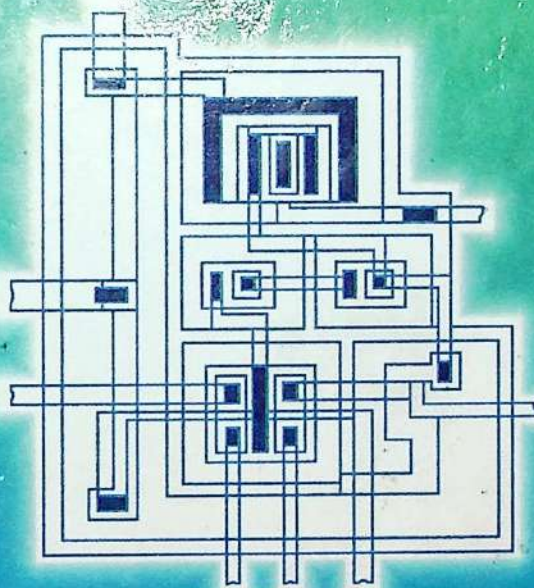


ELEKTRON TEXNIKA MAHSULOTLARINI YIG'ISH TEXNOLOGIYASI



19.

7.

28.

78

5.

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

I.P. Parmonqulov, B.Y. Umirzaqov

ELEKTRON TEXNIKA MAHSULOTLARINI YIG'ISH TEXNOLOGIYASI

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

BOY
KASB-HUNAR KOLLEJII
KUTUBXONASI
INV.

TERMIZ MUHANDISLIK-
TEXNOLOGIYA INSTITUTI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. No 4141
"02" 07 2022 yil

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI TERMIZ FILIALI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. No 3785
"4" 10 2019 yil

«VORIS-NASHRIYOT» MCHJ
TOSHKENT — 2006

Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi ilmiy-metodik birlashmalari faoliyatini muvofiqlashtiruvchi Kengash tomonidan nashrga tavsiya etilgan.

Taqrizchilar: **L.A. Zokirov** – «Radiotexnika, avtomatika va elektronika» kasb-hunar kolleji maxsus fan o'qituvchisi,

A.S. Risbayev – Toshkent davlat texnika universitetining «Umumiy fizika» kafedrası professori, fizika-matematika fanlari doktori.

O'quv qo'llanmada elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda texnologiyaning roli, elektronika elementlar bazasining qisqacha rivojlanish tarixi, elektron texnika mahsulatlari texnologiyasining umumiy tavsifi, elektron texnika mahsulotlarini yig'ishda kechadigan asosiy texnologik jarayonlar (plastina va tagliklarni tayyorlash va tozalash, elektron texnika mahsulotlari topologiyasini shakllantirish usullari, yupqa plyonkalarini hosil qilish usullari), elektron asboblarda foydalaniladigan yupqa qatlamlar fizikasi, ularni hosil qilish texnologiyasi, yarimo'tkazgichli qatlamlar va o'tishlarni hosil qilish usullari va ularning xususiyatlari yoritib berilgan hamda elektron texnika mahsulotlari strukturalarini tayyorlashning umumiy marshrutlari, elektron qurilmalar (strukturalar, yarimo'tkazgichli asboblardan va integral mikroshemalar) hosil qilish va elektron texnika mahsulotlarini yig'ishning texnologik jarayonlari bayon qilingan.

Qo'llanma o'rta maxsus o'quv yurtlarining elektron texnika sohasi bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar va o'qituvchilar uchun mo'ljallangan.

SO'ZBOSHI

O'zbekiston iqtisodiyotining jadal rivojlanishi ishlab chiqarishda zamonaviy texnika va texnologiyaning qo'llanilishiga uzviy bog'liqdir. Bunda sanoatni, ishlab chiqarishni elektronlashtirish va kompleks avtomatlashtirish, hisoblash texnikasi vositalaridan keng foydalanish, EHM orqali boshqariladigan stanoklar, sanoat robotlari, moslanuvchan ishlab chiqarish tizimlarini tatbiq etish birinchi darajali ahamiyatga egadir.

Shu sababli avtomatlashtirish va hisoblash tizimlarining zamonaviy elementlar bazasi bo'lgan yarimo'tkazgichli asboblardan va mikroelektronika mahsulotlari doimo rivojlanib va mukammallashib bormoqda.

Elektron texnika mahsulotlari va qurilmalari ishonchliligining ortishi va ishlab chiqarilishining ko'payishi faqat ularni tayyorlashning texnologik usullari va ishlab chiqarish madaniyatigagina bog'liq bo'lmasdan, balki yarimo'tkazgichli asboblardan va integral mikrosxema (IMS)larining asosiy parametrlarini belgilab beradigan kerakli elektrofizik xususiyatli materiallarni to'g'ri tanlay bilishga ham bog'liq bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli asboblardan va qurilmalarni tayyorlashning texnologik jarayonida avvaldan ma'lum bo'lgan materiallardan (yarimo'tkazgichlar, metallar, qotishmalar, har xil kimyoviy reaktivlardan) tashqari, yangi faqat yarimo'tkazgichli texnologiya uchun maxsus yaratilgan va ma'lum talablarga javob beradigan materiallar (foto-, elektron- va rentgenrezistlar, diffuzantlar, maxsus shisha kabilar)dan keng foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli asboblardan va qurilmalar uchun asos sifatida germaniy va kremniy plastinalari hamda arsenid galliy, fosfid indiy kabi birikmalardan foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli plastinalar monokristall quymalarni olmosli disk yordamida qalinligi 250–600 μm li, tomonlari bir-biriga o'ta parallel holda kesib tayyorlanadi. Shundan keyin bu plastinalar abraziv va olmosli mikrokukunlar yordamida maxsus jilvirlovchi va jilolovchi stanoklarda avval jilvirlanadi, keyin jilolanadi. Yarimo'tkazgichli plastinalarga mexanik ishlovdan keyin ularga kimyoviy ishlov beriladi. Bunda plastinalarning yuzalari maxsus kislotalar, ishqorlar va tuzlardan tayyorlangan yemirgichlar yordamida emiriladi. Kimyoviy ishlovdan so'ng plastinalar o'ta toza distirlangan suvda chayiladi.

Mikroelektronika mahsulotlarini planar texnologiya bo'yicha tayyorlashda himoyalovchi dielektrik plyonkalar: kremniy dioksidi va nitridi, alyuminiy oksididan keng foydalaniladi.

Maxsus materiallar foto-, elektron- va rentgen rezistlar yordamida yarimo'tkazgichli plastina sirtida yaratiladigan va elementlarining o'lchami 1 μm dan kichik bo'lgan asbob va IMS suratlarining releflari hosil qilinadi.

Boshlang'ich yarimo'tkazgich plastinasida elektr o'tkazuvchanligi har xil bo'lgan sohalarini hosil qilishda yuqori temperaturali diffuziya va ion implantatsiya usullari keng qo'llanilmoqda. Legirlovchi kirishmalar sifatida qattiq, suyuq va gazsimon diffuzantlardan hamda ularning ionlaridan foydalaniladi.

Har xil elektrodli materiallar (metallar va ularning qotishmalari) yordamida IMS ning aktiv va passiv sohalariga omik kontaktlar hamda tok o'tkazuvchi yo'lakchalar hosil qilinadi.

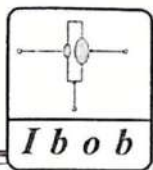
IMS larning aktiv va passiv sohalarini tashqi ta'sirlardan himoyalash uchun kremniy oksidi va nitridi plyonkalari, shishalar, laklar, emallar qo'llaniladi. Yarimo'tkazgichli asboblar va IMS lardagi struktura va elementlari tayyor kristallarni mexanik zarbdan, tebranishlardan himoyalash maqsadida ular shishali, metallshishali, keramikali, metallkeramikali yoki plastmassali qobiqlar bilan germetiklanadi.

Ishlab chiqarishda qo'llaniladigan barcha materiallar berilgan texnik shartlarni qanoatlantirishini aniqlash uchun kirish nazoratidan mukammal o'tkaziladi.

Elektron texnika materiallari, mahsulotlari va qurilmalari texnologiasining rivojlanish darajasi yuqori malakali mutaxassislarning tayyorlanishi bilan uzviy bog'langandir. Xalq xo'jaligining rivojlanishida, iqtisodiyotning o'sishida, ilmiy texnik jarayonning tezlashuvida elektron texnika materiallari, mahsulotlari va qurilmalarining texnologiyasi muhim rol o'ynaydi.

Mazkur qo'llanma 8 ta bobdan iborat bo'lib, 1-bob kirish, elektron asboblar va qurilmalar ishlab chiqarishda texnologiyaning roli, elektronika elementlar bazasining qisqacha rivojlanish tarixiga bag'ishlangan, 2-bobda integral mikrosxemalar texnologiasining umumiy xarakteristikasi ko'rib chiqilgan. 3-bob plastina va tagliklarni tayyorlash hamda tozalashga, 4-bob topologiyani shakllantirish usullariga bag'ishlangan. 5-bobda elektron texnika qurilmalarini ishlab chiqarishda zarur bo'lgan yupqa qatlamlar hosil qilish usullari hamda ularning fizikasi va texnologiyasi haqida so'z yuritilgan. 6-bobda yarimo'tkazgichli qatlamlar, strukturalar va o'tishlar hosil qilish usullari, 7-bobda esa elektron texnika mahsulotlarining strukturalarini tayyorlash marshrutlari bayon qilingan. Oxirgi 8-bobda elektron texnika mahsulotlarini yig'ish texnologiyasi yoritilgan.

Mazkur qo'llanma Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti «Elektronika va mikroelektronika» kafedrasining o'qituvchilari bo'lmish mualliflar tomonidan «Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish texnologiyasi» fanining o'quv dasturi asosida «Elektronika va mikroelektronika» yo'nalishi bo'yicha ta'lim olayotgan o'rta maxsus o'quv yurtlari talabalari va o'qituvchilar uchun mo'ljallab yozilgan.



Kirish. Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarishda texnologiyaning roli. Elektronika elementlari bazasining qisqacha rivojlanish tarixi



Elektronikaning qisqacha rivojlanish tarixi

Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasi zamonaviy mikroelektron apparaturalar yaratish uchun kerak bo'ladigan asosiy bazaviy elementlari ishlab chiqarish jarayonlarini va ularni amalga oshirish usullarini o'z ichiga oladi.

Elektronika — fan va texnikaning elektron va boshqa zaryadli zarrachalarning elektromagnit maydon bilan vakuumda, gazli muhitda, qattiq jismda hamda kristall panjaradagi atom va molekula ichidagi o'zaro ta'sirlashuv xodisalarini o'rganadigan sohasidir. Elektronikaning amaliy vazifasi quyidagi usullarni ishlab chiqish hisoblanadi:

- elektromagnit energiyasini o'zgartirish uchun shu o'zaro ta'sirlashuvdan foydalanadigan elektron asboblarni yaratish usullari;

- elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasining ilmiy asoslari.

Elektronika rivojlanishning bir nechta bosqichlarini bosib o'tdi va bu vaqt ichida elementlari bazasining bir nechta avlodlari bir-birini almashtirdi:

1. Elektron vakuumli asboblarning diskret (uzluksiz) elektronikasi.
2. Yarimo'tkazgichli asboblarning diskret elektronikasi.
3. Mikrosxemalarning integral elektronikasi (mikroelektronika).
4. Funksional mikroelektron qurilmalarning integral elektronikasi (funksional mikroelektronika).
5. O'tgan asrning 90- yillaridan boshlab rivojlanayotgan nanoelektronika.

Birinchi avlodning element bazasi (elektron vakuumli asboblarning diskret elektronikasi) birinchi jahon urushi arafasida birlamchi elektron vakuumli asboblari — avvaliga ikki, keyinchalik uch elektrodli elektron lampalarning yaratilishi bilan paydo bo'ldi. Birinchi jahon urushidan keyin lampali elektron texnika katta sur'atlar bilan rivojlandi.

Birinchi avlod qurilmalarida aktiv va passiv elektradioelementlari (rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik g'altaklari, transformatorlar, ulagichlar va hokazolar) panelga mexanik biriktiriladi va simli o'tkazgichlar yordamida o'zaro elektr ulagichlarga kavsharlanadi yoki payvandlanadi. Keyinchalik ishlab chiqilgan bosma o'tkazgichli

platalar qurilmalar ishonchliligining keskin oshishini va parametrlarning qaytariluvchanligini ta'minladi hamda ishlab chiqarishni avtomatlashtirishni nisbatan osonlashtirdi. Shunga qaramasdan, elektron vakuumli asboblarning texnologiyasining murakkabligi, xizmat qilish muddatining kamligi, tashqi o'lcham va massasining kattaligi, elektr energiyani ko'p talab qilishi elektronika ikkinchi avlodining paydo bo'lishiga sabab bo'ldi.

Yarimo'tkazgichlarni fizikaviy tadqiq qilish XIX asrda boshlangan bo'lsada, ikkinchi avlodning element bazasi (yarimo'tkazgichli asboblarning diskret elektronikasi), shu bilan bir qatorda yarimo'tkazgichlar texnologiyasi tranzistor (inglizcha *transresistance* so'zidan olingan bo'lib — o'tish qarshiligi ma'nosini beradi) paydo bo'lgandan keyingina yaratildi. Birinchi nuqtali o'tishli tranzistor germaniy asosida amerikalik olimlar D. Bardin, U. Brattein, U. Shokli tomonidan 1947-yil 23-dekabrda kashf qilingan edi. Birinchi yassi *p-n-p* strukturali tranzistor 1950-yilda germaniy quymasini eritmadan tortish usuli bilan tayyorlandi. 1953-yilda eritib qotirish usuli yordamida nisbatan yuqqa bazali ($5\text{ }\mu\text{m}$ atrofida) qotishmali tranzistorlar tayyorlandi.

Yarimo'tkazgichli asbobsozlik rivojlanishining birinchi bosqichida asosan germaniydan foydalanildi, chunki uning monokristallarini olish kremniy monokristallarini olishga qaraganda ancha soddadir va bunda yuqori temperaturali qurilmalar va o'ta chuqur tozalash talab qilinmasdi. Birinchi o'stirilgan *p-n* o'tishli kremniyli tranzistorlar 1954-yilda paydo bo'ldi. Bundan keyingi yillarda diffuziya usuli yordamida strukturalar hosil qilish intensiv ravishda ishlab chiqila boshlandi va 1958-yilda mezastrukturali diffuzion tranzistorlar yaratildi. Meza deb atalishiga sabab mezastrukturaning ko'ndalang kesimi tekis qirni (ispancha *mesa* — plato) eslatadi. 1959-yilda planar (inglizcha *planar* — tekis) jarayonning paydo bo'lishi keyingi qadam bo'ldi. Kremniy plastina sirtida izolatsiyalovchi kremniy dioksidining o'stirilishi va unda fotolitografik jarayondan foydalanib berilgan konfiguratsiyali topologik rasmning hosil qilinishi asboblardagi elementlar strukturasining o'lchamlarini o'ta aniqlik bilan nazorat qilish imkoniyatini berdi. Planar texnologiya ko'p yillar davomiga yarimo'tkazgichli asboblarning (YO'A) va integral mikrosxemalar (IMS) ishlab chiqarishda progressni ta'minladi. Bu bilan bir qatorda texnologiyada asosiy usullardan biri bo'lgan monokristall taglikda kerakli qalinlikdagi va elektrofizik xossaga ega yarimo'tkazgichli qatlamni epitaksial o'stirish jarayoni 1960-yilda ishlab chiqildi. Epitaksial texnologiya yuqqa bazali va kichik qarshilikli kollektorli, chastotasi yuqori va sochilish quvvati katta bo'lgan tranzistorlar yaratish imkoniyatini berdi.

Maydon tranzistorlarining ishlash prinsiplari 30- yillarda ma'lum edi. Sifatli monokristallarning olinishi 1958- yilda $p-n$ o'tishli bosh-qariladigan maydon tranzistorlarini tayyorlash imkoniyatini berdi.

Tarkibida o'n va yuz minglab komponentlari — diodlar, tranzistorlar, rezistorlar va boshqalar bo'lgan elektron qurilmalarni yig'ish muammolari uchinchi avlod element bazasining (mikroshemalarning integral elektronikasi yoki mikroelektronika) hamda yarimo'tkazgichli ishlab chiqarishda yangi texnologiyaning yaratilishiga sabab bo'ldi. Bu ko'plab diskret komponentlarni bir biri bilan ulashdan qutilish imkonini berdi.

1959- yili germaniy kristalida mezadiffuziyali texnologiya yordamida birinchi marta triggerning mikroshemasi tayyorlandi. 1960- yilda planar texnologiya bilan yaratilgan kremniyli mikroshemalar paydo bo'ldi.

Kremniyni qayta ishlash texnologiyasining yaxshilanishi narijasida 1962- yilda zatvori izolatsiyalangan maydon tranzistorlari yaratildi. 1963- yilda esa birinchi marta maydon tranzistorli mikroshemalar ishlab chiqildi. MOY tranzistorlari (metall—oksid—yarimo'tkazgich) texnologiyasining mukammal emasligi ularni 70-yillargacha keng qo'llash imkoniyatini bermadi. 60- yillarning o'rtalarida sanoatda ion implantatsiya usuli paydo bo'ldi. Bu usul legirlash konsentratsiyasi va chuqurligini boshqarish aniqligini anchaga oshirdi.

70- yillarning boshida ion-plazmali changlatish usulidan intensiv foydalana boshlandi, elektron litografiya usuli ishlab chiqildi, strukturalarni suyuq yemirgich va eritgichlarni qo'llanmasdan quruq qayta ishlash texnologiyasi paydo bo'ldi. Mana shu davrdan boshlab bipolyar asboblardan va MOY- tranzistorlar bazasida yaratilgan mikroshemalar tezlik bilan rivojlana boshladi. Shu vaqtning o'zida topologik chizmalar va fotoshablonlarni nazorat qilish uchun EHM lardan foydalanila boshlandi. Bu ularning sifatli bo'lishiga sabab bo'ldi hamda mikroshemalarni mashinali loyihalash tizimining yaratilishiga olib keldi. 70- yillarning oxirida mikro-EHM lar yordamida boshqariladigan avtomatlashgan texnologik jarayonlar va qurilmalar paydo bo'ldi.

Mikroshemalar bajarishi kerak bo'lgan vazifalarning murakkablashuvi ularning integratsiya darajasining oshishiga olib keldi. Hozirgi vaqtda integratsiyaning o'ta yuqori darajasiga erishildiki, endi uning bundan ham oshishiga fizik va texnologik cheklashlar yo'l qo'ymaydi.

To'rtinchi avlodning element bazasi (funksional mikroelektron qurilmalarning integral mikroelektronikasi yoki funksional mikroelektronika) funksional yanada murakkab bazaviy elementlarni yaratish yo'llarini qidirish natijasida paydo bo'ldi. Agar sxemotexnik elektroni-

kada ba'zi bir sxemotexnik yacheykalarining elektr holati axborot tashuvchi bo'lsa, funksional mikroelektronikada esa axborot tashuvchi bo'lib dinamik nobirjinslik hisoblanadi. Bunday lokal nobirjinslik ba'zi bir cho'ziq bir jinsli muhitdagi nomuvozanatli holatdan iborat bo'ladi. Funksional mikroelektronika mahsulotlarida dinamik nobirjinsliklarning o'zaro akustik, issiqlik, elektr va magnit maydonlari bilan birgalikdagi ta'sirlardan axborotlarni qayta ishlash, yaratish va saqlash uchun foydalaniladi. Funksional mikroelektronika mahsulotlarida diskret elektroradioelementlarga ekvivalent bo'lgan elementlarni ajratib olish qiyin yoki mumkin emas.

Beshinchi avlod nanoelektronika XX asrning oxirlarida katta odimlar bilan rivojlanishni boshlagan nanotexnologiya asosida yuzaga keldi va uning element bazasi (masalan, nanotranzistorlar) yildan yilga mukammallashib bormoqda.

Elektronikaning element bazasi yildan yilga uzluksiz o'sib boruvchi odimlar bilan rivojlanmoqda. Yuqorida keltirilgan har bir avlod ma'lum bir davrda paydo bo'lib, o'zini oqlaydigan yo'nalishlarda mukammallashib bormoqda. Elektronika mahsulotlarining avloddan avlodga rivojlanishi ularning funksional murakkablashuvi, ishonchlilik va hizmat qilish muddatini oshirish, tashqi o'lchamlari, massasi, tannarxi va sarflaydigan energiyani kamaytirish, texnologiyani soddalashtirish va elektron qurilmaning parametrlarini yaxshilash yo'nalishlari bo'yicha olib borilmoqda.

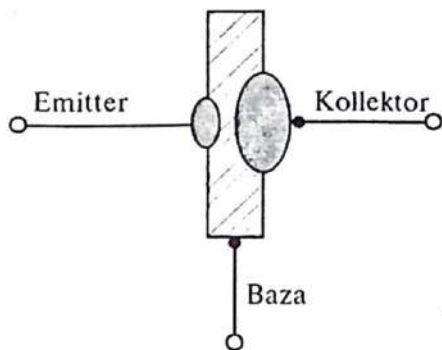


Tranzistorlarning tayyorlash texnologiyasi usullari bo'yicha turlari

Tranzistorlar tayyorlash texnologiyasida qo'llanilgan usuli bo'yicha quyidagi turlarga bo'linadi: qotishmali tranzistorlar, sirt-baryerli tranzistorlar, diffuzion bazali tranzistorlar, mezatranzistorlar, epitaksial mezatranzistorlar, planar tranzistorlar.

Sanoatda birinchi marta qotishmali bipolar tranzistorlar ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi. Ularning umumiy strukturasi 1.1- rasmda keltirilgan. Tranzistor yarimo'tkazgichli materialning legirlangan uchta sohasidan tashkil topadi. Bunda baza sohasining qalinligi juda kichik bo'lib, undagi kirishmalar konsentratsiyasi kollektor va emitter sohalariga qaraganda kam bo'ladi. Bipolar tranzistorlar ikki turli bo'ladi: $n-p-n$ va $p-n-p$ turli. $n-p-n$ turli tranzistorlarda emitter va kollektor sohaları n - turdagi, baza sohasi esa p - turdagi yarimo'tkazgichli materialdan tayyorlanadi.

Qotishmali tranzistorlarda kollektorning qarshiligi kichik bo'ladi. Ular kichik va katta quvvatli kuchaytirgich hamda qayta ulagich sxemalarida qo'llaniladi. Bu tranzistorlarda chegaraviy chastota f ning qiymati taxminan 20 MHz atrofida bo'ladi. Chegaraviy chastotani oshirish uchun bazaning qalinligini kamaytirish kerak. Bu esa kristallning mexanik mustahkamligining kamayishiga olib keladi. Ishlab chiqarishning eng zamonaviy usullarini qo'llab, chegaraviy chastotalari 20 dan 1000 MHz gacha bo'lgan o'rta va yuqori chastotali tranzistorlarni tayyorlash imkoniyatiga ega bo'lindi.

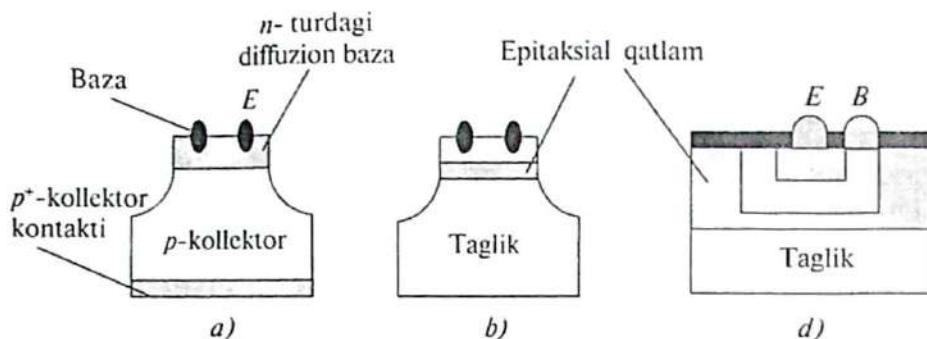


1.1- rasm. Qotishmali tranzistorning strukturasi.

Sirt-baryerli tranzistorlar ommaviy miqdorda tayyorlangan birinchi yuqori chastotali tranzistorlar hisoblanadi. Bu tranzistorlarda o'ta yupqa baza tayyorlash uchun aniq yemirish jarayonidan foydalanildi. Shundan keyin elektr o'tqazish usuli yordamida, bazada kollektor va emitter tayyorlandi. Sirt-baryerli tranzistorlarning asosiy kamchiligi teshuvchi kuchlanishning kichikligidir (taxminan 6 V). Keyinchalik ishlab chiqarishning bu usuli mikroqotishma jarayoni bilan almashirildi.

Diffuzion bazali tranzistorlarda baza materialining solishtirma qarshiligini o'zgartirish hisobiga unda elektr maydoni xosil qilinadi. Bunday tranzistorlarda zaryad tashuvchilar bazasi bir jinsli bo'lgan boshqa tranzistorlardagidek diffuziyalanmasdan, balki baza sohasi orqali ana shu maydon ta'sirida harakatlanadi, ya'ni dreyflanadi. Bu esa zaryad tashuvchilarning baza orqali o'tish vaqtining kamayishiga olib keladi, ya'ni chastota diapazoni kengayadi. Bunday tranzistorlar dreyfli tranzistorlar deb ham ataladi. Umuman, dreyfli tranzistorlarga bazadagi kirishmaning notekis taqsimlanishi hisobiga tezlatuvchi elektr maydoni hosil bo'lgan tranzistorlarning hamma turlari: mezatranzistorlar, planar tranzistorlar va boshqalar kiradi.

Mezatranzistorlar kollektor sohasini hosil qiluvchi yarimo'tkazgichli material asosida tayyorlanadi. Bu sohada diffuziya usuli yordamida baza sohasi shakllantiriladi. Keyin esa bu sohada eritish usuli bilan ikkita metalli poloska hosil qilinadi. Bu poloskalarining biri tranzistorning emitter sohasini, ikkinchisi esa baza kontakti vazifasini bajaradi. Diffuzion baza qalinligining kichikligi yuqoriroq qiymatli



1.2- rasm. Uchta har xil turdagi tranzistorlarning tuzilishi:
a) diffuziya bazali mezatranzistor; b) epitaksial mezatranzistor;
d) epitaksial-planar tranzistor.

chegaraviy chastota hosil qilish imkoniyatini, kollektor sohasi o'lchamlarining nisbatan kattaligi esa sochilish quvvatining katta bo'lishligini ta'minlaydi (1.2- a rasm).

Mezatranzistorlarda qayta ulanish tezligini chegaralaydigan va to'yinish rejimida katta qarshilikka olib keluvchi zaryad tashuvchilarning jamlanishi kuzatiladi. Qarshilikning katta bo'lishiga solishtirma qarshiligi yuqori bo'lgan, mexanik mustahkamlikni ta'minladigan qalinlikdagi materialdan foydalanish zarurligi ham sabab bo'ladi.

Epitaksial mezatranzistorlarda mana shu kamchiliklarni yo'qotish uchun ular kichik solishtirma qarshilikli materialdan nisbatan qalin qilib yasalgan taglikka yuqori solishtirma qarshilikli yupqa epitaksial qatlam o'tqazish yo'li bilan tayyorlanadi (1.2- b rasm).

Planar tranzistorlar taglik sifatida foydalaniladigan kremniy sirtida kremniy ikki oksidi hosil qilinib, keyin unda ochilgan tirqishcha orqali kirishmalarni diffuziya qilib tayyorlanadi (1.2- d rasm). Bunday usulning qo'llanilishi natijasida zararli bo'lgan oquvchi toklarni kamaytirishga va kichik toklarda kuchaytirishning katta qiymatlariga erishish imkoniyatiga ega bo'lindi. Kremniyda epitaksial-planar texnologiyaning qo'llanilishi yaxshi xarakteristikali va ishonchiligi yuqori bo'lgan ko'p miqdordagi tranzistorlarni tayyorlash imkoniyatini berdi.



Integral sxemalarni tayyorlashdagi asosiy texnologik jarayonlar

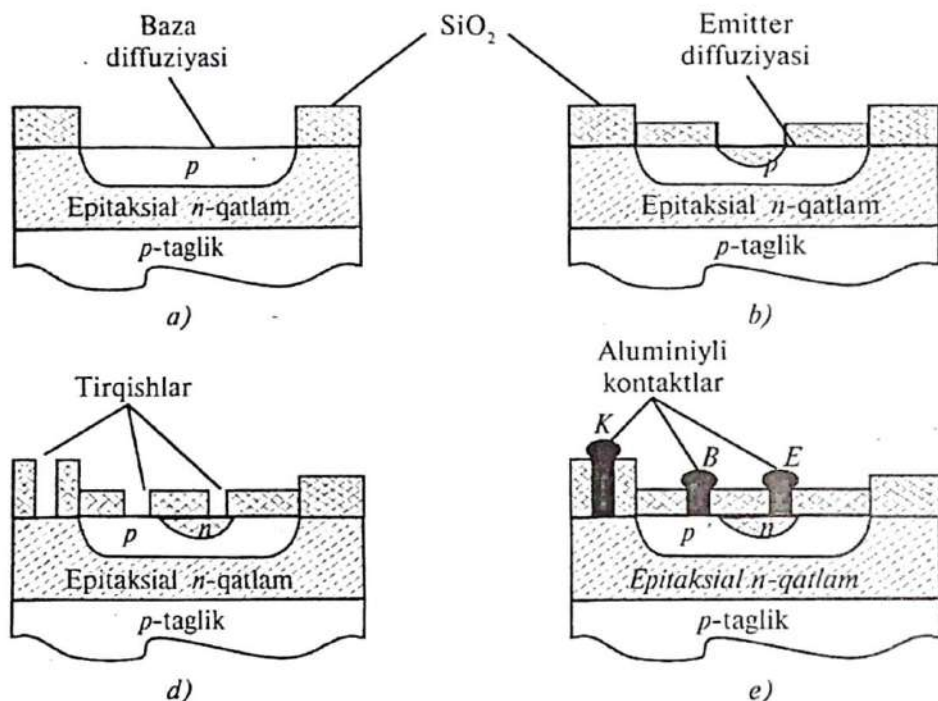
Integral sxema kremniy kristalliga yoki plastinasiga joylashgan tugallangan elektron sxemani hosil qiluvchi tranzistorlar, diodlar, rezistorlar va kondensatorlardan iborat bo'ladi. Birinchi integral sxema

1959- yilda mezatexnologiya asosida yaratildi. Biroq bu usul tezda planar texnologiya usuli tomonidan siqib chiqarildi. Quyida shu usul yordamida integral sxemalar ishlab chiqarish texnologiyasining ba'zi bir bosqichlarini n - p - n tranzistorini tayyorlash misolida ko'rib chiqamiz.

Epitaksial o'stirish. Mezatranzistorlarda kollektor sohasining mexanik mustahkamligini kerakli ta'minlash uchun uning qalinligi 0,05 mm dan kam bo'lmashi kerak. Bundan tashqari, kollektorning sig'imi kichik va teshuvchi kuchlanishi kerakli yuqori bo'lishi uchun u solishtirma qarshiligi katta bo'lgan yarimo'tkazgichli materialdan tayyorlanishi kerak bo'ladi. Bu ikki talabni bir vaqtning o'zida bajarish kollektor o'tishi bilan kollektorning tashqi kontakti orasida kerak emas bo'lgan katta qarshilikning paydo bo'lishiga olib keladi. Bu muammo epitaksial jarayonni qo'llash bilan hal qilindi. Bunda kerakli mexanik mustahkamlik solishtirma qarshiligi kichik bo'lgan kremniydan nisbatan qalin taglik yasash bilan hal qilindi. Taglik sirtida yuqori solishtirma qarshilikli kremniyning yupqa qatlami gazli fazadan o'tqazish usuli yordamida o'stiriladi. Shundan keyin yupqa epitaksial qatlamda tranzistor hosil qilinadi. Bu tranzistorda kerakli kichik sig'imli va yuqori solishtirma qarshilikli kollektor hosil qilinadi hamda kollektor o'tishi va tashqi kontakt oralig'idagi katta qiymatli ketma-ket qarshilik yo'q bo'ladi. Epitaksial qatlamda diskret tranzistor tayyorlanganda u va taglik bir xil turdagi o'tkazuvchanlikka, ya'ni taglik va epitaksial qatlam mos holda n^+ va n yoki p^+ va p turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi mumkin.

Agar tranzistorlar integral mikrosxema tarkibida tayyorlanadigan bo'lsa, unda epitaksial qatlam va taglik qarama qarshi turdagi elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi kerak. 1.3- rasmda keltirilgan integral tranzistor p -turdagi taglik, n -turdagi yupqa epitaksial qatlam va sirtning yuqorisiga chiqarilgan kollektor kontaktidan tashkil topgan.

Sirtini oksidlash. Planar jarayonning eng asosiy xususiyati bu epitaksial qatlam sirtida kremniy ikki oksidini o'stirishdir. Kremniy ikki oksidi diffuziyaga qarshilik qiladigan niqob vazifasini bajaradi. Oksidlash jarayoni ko'p qatlamli strukturani — vaflini kislorod atmosferasida yuqori temperaturada qizdirishdan iboratdir. 1.3- a rasmdan ko'rinib turibdiki, kremniy ikki oksidi p - n o'tishning chegarasini qoplab turibdi. Bu esa p - n o'tishni tashqi muhit ta'siridan saqlaydi. Shu sababli planar texnologiya asosida tayyorlangan asboblarda, hatto korpus (qobiqsiz) tayyorlangan bo'lsa ham, yuqori stabillikli xarakteristikalariga ega bo'ladi.



1.3- rasm. Epitaksial-planar texnologiya asosida tranzistor tayyorlashning to'rtta bosqichi.

Fotorezistivli jarayon va yemirish. Oksidlash jarayonidan so'ng kremniy ikki oksid qatlamida kirishmalar diffuziya qilinadigan tirqish (oyna) ochish kerak bo'ladi. Tirqishlarni tayyorlash texnologiyasi bosma platalar tayyorlashga o'xshash bo'ladi. Birinchi galda oksidlangan sirt yorug'lik sezuvchan emulsiyaning (fotorezistning) yupqa qatlami bilan qoplanadi. Undan keyin yemirilishi kerak bo'lgan uchastkalarining rasmi tushirilgan fotoshablon tayyorlanadi. Shablonda yemirilishi kerak bo'lgan uchastkalar yorug'lik o'tkazmaydigan qilib, kremniy ikki oksidi saqlanadigan uchastkalar esa shaffof qilib tayyorlanadi. Mana shunday qilib tayyorlangan shablon vafli sirtiga qo'yiladi va ultrabinafsha nur bilan yoritiladi. Shaffof uchastkalar tagiga to'g'ri kelgan fotorezist nur ta'sirida polimerlanadi va keyinchalik yoritilmagan uchastkalarni eritishda qo'llaniladigan uchxloretilen ta'siriga chidamli bo'lib qoladi. Qolgan fotorezist qizdirish bilan o'z joyida qotiriladi (fiksatsiyalanadi) va u yemirish jarayoni vaqtida kremniy ikki oksidini yemirilib ketishdan himoya qiladi. Fotorezistda ochilgan tirqish tagidagi kremniy ikki oksidini olib tashlash uchun fluorvodorod kislotasidan foydalaniladi. Yemirish jarayonidan so'ng sirt astoydil tozalaniladi va plastina birinchi diffuziyaga tayyor holga keladi.

Diffuziya. O'tkazuvchanligi p -turli bo'lgan sohani diffuziya bilan hosil qilish uchun bor elementidan foydalaniladi. U vafli sirtiga surkaladi va yuqori temperatura sharoitida tirqish orqali kremniyga diffuziyalanadi. Shunday qilib, tranzistorning p -sohasi hosil qilinadi (1.3- a rasm). Undan keyin oksidlash jarayoni yuqori temperaturada yana takrorlanadi, ochilgan tirqishlar yana kremniy ikki oksidi bilan berkiladi. Qizdirilish vaqtida vaflida diffuziya jarayoni davom etganligi sababli oksidlash vaqtida baza sohasi ozgina bo'lsa ham yana kremniyning ichkarisiga kirib boradi.

Ikkinchi oksidlashdan so'ng yangi fotoshablondan foydalanib ikkinchi fotorezist jarayoni va yemirish o'tkazilib, emitter sohasini hosil qiladigan diffuziya o'tkazish uchun oksid qatlamida tirqish ochiladi (1.3- b rasm). O'tkazuvchanligi n -turli bo'lgan soha ko'proq fosfor yoki mishyak diffuziya qilib hosil qilinadi. Sikl uchinchi marta takrorlanib, endi emitter tirqishini berkitish uchun oksidlash jarayoni o'tkaziladi. Bunda emitter soha yana chuqurlashadi. Bundan keyin yana yemirish usuli bilan oksid qatlamida tashqi kontaktlarni shakllantirish uchun yangi tirqishlar ochiladi. Bu bosqich 1.3- d rasmda keltirilgan. Oxirgi bosqichda oksid qatlamidagi tirqishlar aluminiy bilan metallizatsiyalanib kontaktlar tayyorlanadi (1.3- e rasm).

Yuqorida ishlab chiqarishning eng asosiy jarayonlarini o'z ichiga olgan epitaksial-planar usul sodda holda keltirildi. Aslida bipolar tranzistor tayyorlashning umumiy texnologiyasi 140 ta alohida texnologik operatsiyalardan tashkil topadi.

Ishlab chiqarishda kremniyning bitta plastinasida bir vaqtning o'zida katta miqdorda yarimo'tkazgichli asboblardan va mikroshemalar tayyorlanadi. Bu asboblardan tayyorlanib bo'lgandan so'ng ularni bir biridan ajratish uchun olmosli keskich yoki lazer nuri yordamida skraybirlanadi (tirnab iz tushiriladi) va plastina alohida kristallchalarga sindiriladi. Shundan keyin bu plastinkalar mos holdagi korpus (qobuq)larga mahkamlanadi. Korpuslar tashqi sxemalarga elektr ulash va plastinkalarda ajraladigan issiqlik energiyasini tashqi muhitga uzatish vazifalarini bajaradi.



Elektron texnika mahsulotlari texnologiyasining umumiy tavsifi



Asosiy tushunchalar. Elektron asboblari, qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishdagi asosiy texnologik operatsiyalarning qisqacha tavsifi

«Texnologiya» atamasi — san'at, ustalik, qo'lidan ish kelishlik to'g'risidagi fan ekanligini bildiradi. U ishlab chiqarish jarayonlarida operatsiyali, marshrutli, to'liqlik texnologik jarayonlarni hamda ularni bajarish usullari va yo'llarini belgilashda qo'llaniladi. Bundan tashqari texnologik xarita, qo'llanma va shu kabilardan tashkil topgan texnologik hujjatlar (texnologik marshrutlar, operatsiyalar va shu kabilari) majmuasi ham texnologiya deb ataladi.

Ishlab chiqarish jarayoni korxona xodimlari harakatining majmuasi bo'lib, buning natijasida boshlang'ich material va yarimfabrikatlar tayyor mahsulotlarga aylanadi. U quyidagilarni o'z ichiga oladi: ishlab chiqarishni tayyorlash, material va yarimfabrikatlarni saqlash va nazorat qilish, energetik xo'jalikning xizmati, texnologik va nazorat-o'lchov aslahalari, mahsulotlarni tayyorlashning texnologik jarayonlari va jihozlari, yakuniy nazorat va tayyor mahsulotlarni sotish.

Texnologik jarayon ishlab chiqarish jarayonining bir qismi bo'lib, u boshlang'ich material va yarimfabrikatlarni qayta ishlash bilan bog'liqdir. Texnologik jarayon o'ta murakkab tizim bo'lib, uning elementlariga texnologik uskunalari va asboblari ishlab chiqarish obyektlari, bajaruvchi va nazorat qiluvchi vositalari hamda texnologik va konstruktorlik hujjatlari kiradi. Texnologik jarayonning borishiga qarab, u uzluksiz, diskret (uzlukli), uzluksiz-diskret bo'ladi.

Bundan tashqari *yakka texnologik jarayonlar* ham bo'lib, bularda kam miqdordagi buyumlar (masalan: noyob mikrosxemalar) tayyorlanadi.

Umumiy texnologik jarayonda o'zgarmas chizmalar bo'yicha partiyalab buyumi tayyorlanadi. Bu buyumlar ma'lum qisqa vaqt ichida tayyorlansa, ishlab chiqarish *seriyali* deyiladi. Agar uzoq vaqt davomida ishlab chiqarilsa, ishlab chiqarish *ommaviy* deyiladi.

Operatsiyali texnologik jarayon bitta texnologik operatsiyadan iborat bo'ladi. Bunga plyonkalar, yarimo'tkazgichli o'tishlar hosil qilish kabi jarayonlar misol bo'ladi.

Marshrutli texnologik jarayonlarda ketma-ketligi keltirilgan bir qancha texnologik operatsiyalar natijasida avval yarimfabrikat, oxirgi bosqichda esa tayyor mahsulot hosil bo'ladi.

Mikroshemalar tayyorlashning *to'liq jarayoni* bir nechta marshrutli texnologik jarayonlardan (ko'pincha texnologiya bosqichlari deyiladi) tashkil topadi. Bu marshrutli jarayonlar faqat ketma-ket tartibda emas balki parallel tartibda ham bajarilishi mumkin.

Uzluksiz texnologik jarayonlar tugagunga qadar uzulishi mumkin emas. Aks holda tayyorlanayotgan mahsulotda tuzatib bo'lmaydigan nuqson paydo bo'ladi.

Diskretli (uzlukli) texnologik jarayonlar operatsiyalarga, o'tishlarga bo'linishi bilan xarakterlanadi. Diskret jarayonlarni ma'lum bir vaqtga to'xtatish va ma'lum bir vaqt o'tgandan so'ng yana davom ettirish mumkin. Jarayon davomidagi bunday tanaffuslar tayyorlanayotgan mahsulotlarning sifatiga amalda ta'sir qilmaydi.

Uzluksiz-diskret texnologik jarayonlar ba'zi bir alohida fazalarda uzluksiz, boshqa fazalarda diskret texnologik jarayonlarni birlashtiradi. Bunday jarayonlarda yuz beradigan uzulishlar (to'xtab qolishlar)ning oqibati qaysi fazaga — uzluksiz yoki diskret fazaga to'g'ri kelishiga bog'liq bo'ladi.

Texnologik operatsiya — texnologik jarayonning asosiy qismi bo'lib bitta ish joyida, bitta qurilmada ishlab chiqarish obyektiga tugallangan ishlov berish bilan yakunlanadi. Har bir texnologik operatsiyaning bajarilishi jarayonida ishlov berilayotgan obyektlarda ma'lum bir maqsadga yo'nalgan sifat o'zgarishlari yuz beradi. Masalan, «kesish» operatsiyasining bajarilishi natijasida yarimo'tkazgichli quyma plastinalarga aylanadi, «jilvirlash» va «jilolash» operatsiyalaridan keyin esa plastinalarning shakli va sirti yanada silliq va tekis bo'lib qoladi.

Nazorat operatsiyalari mikroshemalar tayyorlashda ahamiyati katta bo'lganligi sababli texnologik operatsiyalarga tenglashtiriladi. Ular quyidagi maqsadlar uchun qo'llaniladi: boshlang'ich materiallar va yarimfabrikatlar sifatining nazorati (odatda kirish nazorati deb aytiladi); berilgan operatsiyani xarakterlovchi texnologik rejim va parametrlarning nazorati; texnologik operatsiyalarning jarayon davomida yoki bajarilib bo'lgandan so'ng nuqsonlarni aniqlash (operatsiya davomida yoki operatsiyadan so'ngi nazorat); tayyor mikroshemalarning nazorati (oxirgi nazorat).

Asosiy texnologik operatsiyalar — bular obyektlarni texnologik jarayonning oxirida kerakli mahsulotga (yoki yarimfabrikatga) aylantiradigan texnologik operatsiyalardir.

Yordamchi texnologik operatsiyalar yordamchi obyektlar ustida bajariladi. Bularga yog'sizlantirish uchun eritma tayyorlash, sanoat qurilmalardagi kameralarni yuvish va tozalash, gazlarni quritish kabi operatsiyalar misol bo'ladi.

Texnologik o'tish. Har bir texnologik operatsiyani ketma-ket bajariladigan ish uslublari — o'tishlar qatori ko'rinishda tasvirlash mumkin. O'tish — bu qo'llaniladigan uskunaning (uskunalar yig'masining) bir xilligi bilan xarakterlanadigan texnologik operatsiyaning tugallangan qismidir. Masalan, «yarimo'tkazgichli quymani plastinalarga kesish» operatsiyasi quyidagi ketma-ket bajariladigan o'tishlardan tashkil topadi: stanok shpindeliga keskichni o'rnatish, stanokka yelimlangan quymani mahkakmlash, elektr manbani ulash va kesish rejimini belgilash, kesish zonasiga yog'lovchi-sovutuvchi suyuqlikni berish, kesish va shu kabilar.

Texnologik usul (metod). «Metod» so'zi grekcha bo'lib, «tatqiq etish yo'li» ma'nosini beradi. Texnologiyada metod — bu aniq bir texnologik vazifani hal qilish usuli (yo'li) dir. Masalan, agar taglik sirtida, biror bir aniq materialning plyonkasini hosil qilish talab qilingan bo'lsa, unda biz texnologik operatsiyani bajarish usulini tanlashimiz kerak. Agar aniq bir yarimfabrikat yoki tayyor mahsulot hosil qilish kerak bo'lsa, unda marshrutli texnologik jarayonni (marshrutni) bajarish usuli tanlanadi.

Texnologik operatsiyani bajarish usuli ishlab chiqarish obyektining sifat holatini talab qilingan yo'nalish bo'yicha o'zgartirishga olib keladigan aniq tashqi ta'sirlar bilan xarakterlanadi. Har bir texnologik usul fizik-kimyoviy ishlov berishlarni olib borishning aniq turlari va ketma-ketligi (bu usulning nazariy asoslari yoki jarayon mexanizmi) hamda qo'llanilayotgan jihozlar, texnologik aslaha, jarayonni o'tkazish sharoiti va tartibi (bu — shu usul bilan jarayonni o'tkazish texnikasi) bilan farq qiladi.

Mikroshemalarni tayyorlashning har bir texnologik operatsiyasi uchun, qoida bo'yicha, uni o'tkazishning mumkin bo'lgan bir nechta usullari mavjud bo'ladi. Yangi marshrutni loyihalashtirayotgan yoki borini mukammallashtirayotgan texnologning vazifasiga har bir operatsiya uchun samarali texnologik usulni tanlash kiradi, ya'ni texnologik jarayonga qo'yiladigan talablarning ko'pchiligini qanoatlantiruvchi usullar tanlanadi.

Operatsiyani bajarish texnologik usullari har xil belgilar bo'yicha tasniflanadi. Jarayonning qo'llanilishiga bog'liq ravishda nazorat usullari, plyonkalar olish usullari, yarimo'tkazgichli o'tishlarni hosil

qilish usullari va shu kabilar farqlanadi. Ishlab chiqarishning texnologik uchastkalarga bo'linishiga mos holda: mexanik ishlov berish usullari, termik ishlov berish usullari va shu kabilar, bir paytda ishlov beriladigan obyektlarning miqdoriga bog'liq holda individual va guruhli ishlov berish usullari (individual va guruhli usullar) farqlanadi.

Guruhli texnologik usullarda bir xil sharoitda bir paytning o'zida bitta obyektga emas, balki obyektlar partiyasiga texnologik ishlov beriladi. Buning natijasida bir xil bo'lgan bir mahsulot (yarimfabrikat) bilan boshqa mahsulot parametrlarining bir biridan farqini kamaytiradi, texnologik jarayonning mahsuldorligini ko'paytiradi va mahsulotning tannarxini kamaytiradi.

Usulning har xil turlari (modifikatsiyalari). Butunlay yangi texnologik usullar kamdan kam paydo bo'ladi. Yangi aslahalarni ishlab chiqishda, yangi materiallardan foydalanilganda, avvaldan bor bo'lgan muammolarning yangi texnologik yechimlari topilganda va shu kabi boshqa hollarda texnologiyaning mukammallashishi natijasida modifikatsiyalangan usullar paydo bo'ladi. Mana shu sababli hozirgi davrda ko'pgina texnologik operatsiyalarni bajarish usullarining har xil turdagi yig'malari mavjud.

Texnologik aslaha — ishlov beriladigan obyektlar va uskunalarni o'rnatish va mahkamlash, yig'ishni bajarish hamda xomaki mahsulotlar, detallar, yarimfabrikatlar yoki tayyor mahsulotlarni korxona ichida ko'chirish (masalan, har xil ushlagichlar, kassetlar, qayiqchalar va shu kabilar) uchun moslamalarning yig'indisidir.



**Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash
texnologiyasining tasnifi va asosiy bosqichlari**

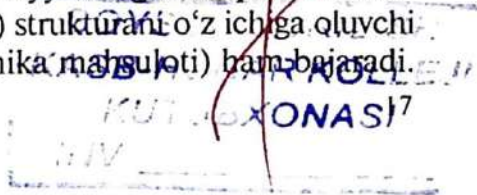


Elektron texnika mahsulotlarining asosiy konstruktiv elementlari.

Har qanday elektron texnika mahsuloti strukturadan, tashqi korpusdan va yig'ish vositalaridan, ya'ni strukturani korpus (qobiq) bilan va tashqi elektr chiqishlari bilan biriktiradigan detallardan tashkil topadi.

Struktura elektron texnika mahsulotining funksional asosi hisoblanadi. U hamma elementlar (komponentlar yoki kristallar), elementlararo bog'lanishlar va kontakt yuzachalardan tashkil topadi.

Korpus elektron texnika mahsulotini ekspluatatsiya qilishda strukturani mexanik yuklanishdan va atrof muhit ta'siridan himoya qiladi hamda mahsulotni apparaturaga qulay va ishonchli montaj qilishni ta'minlaydi. Bu vazifani maxsus tayyorlangan korpusdan tashqari (korpusli elektron texnika mahsuloti) strukturani o'z ichiga oluvchi germetik tarkib (korpussiz elektron texnika mahsuloti) ham bajaradi.



Yig'ish vositalari — bu kavsharlovchi zichlagichlar, chiqish simlari, chiqish ramkalari (lentalar) va boshqalar kiradi. Ular strukturani mustahkam mahkamlash va ularning kontakt yuzachalarini elektron texnika mahsulotini elektron apparaturaga ulash uchun xizmat qiladigan tashqi elektr chiqishlariga biriktirishni ta'minlaydi.

Elektron texnika mahsulotlari tasnifi. Strukturalarining konstruktiv-texnologik tayyorlanishiga qarab elektron texnika mahsulotlari uch guruhga bo'linadi (2.1- rasm): yarimo'tkazgichli, gibridli, boshqa (plyonkali, vakuumli, keramikali va shu kabilar).

Yarimo'tkazgichli elektron texnika mahsulotlarida aktiv va passiv elementlar hamda hamma elementlararo bog'lanishlar yarimo'tkazgichning ichki hajmida va sirtida tayyorlanadi.

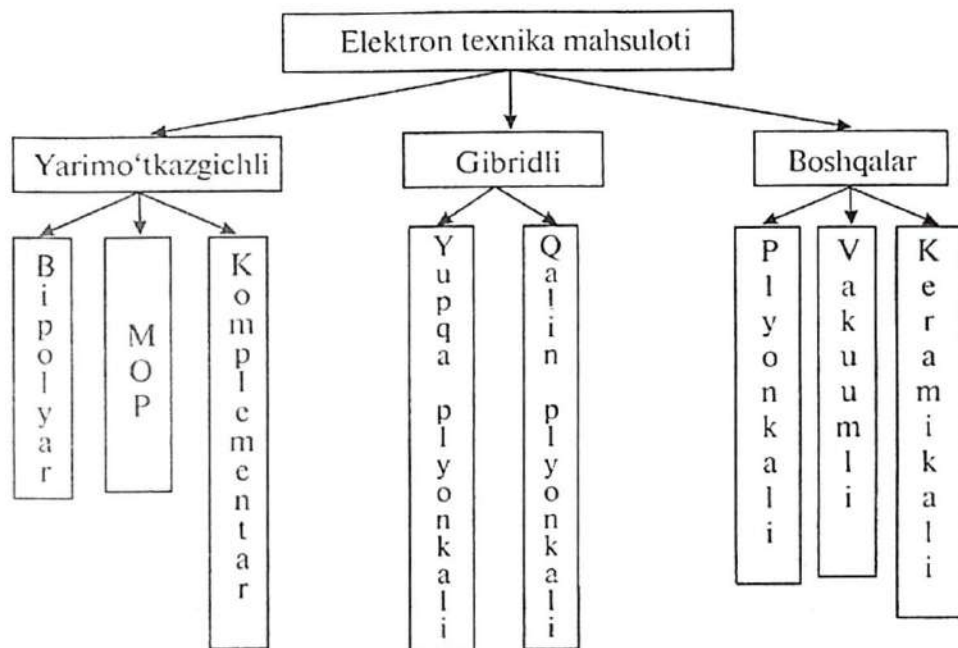
Gibridli elektron texnika mahsulotlarida dielektrik taglikda passiv elementlar plyonka ko'rinishida tayyorlanib, unga aktiv elementlar biriktiriladi va umumiy korpusga joylashtiriladi.

Boshqalar — plyonkali, vakuumli, keramikali. Plyonkali elektron texnika mahsulotlarida hamma elementlar va elementlararo birikmalar plyonka ko'rinishida tayyorlanadi.

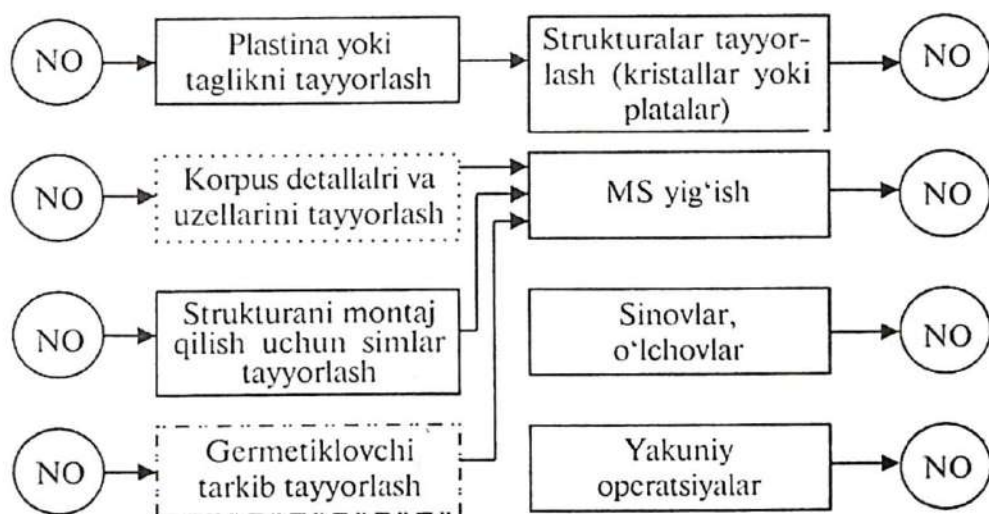
Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasining asosiy bosqichlari. Har qanday elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasida hamma elektron texnika mahsulotlari uchun umumiy bo'lgan quyidagi asosiy bosqichlarni ajratib ko'rsatish mumkin (2.2-rasm): plastina yoki taglikni tayyorlash va tozalash; elektron texnika mahsuloti strukturasi hosil qilish; yig'ish; sinash va o'lchash; yakuniy operatsiyalar.

Har qanday elektron texnika mahsulotini tayyorlash jarayoni nazorat operatsiyalari bilan birgalikda olib boriladi va sinov bilan yakunlanadi. Sinovdan va talablarni qanoatlantiradigan parametrlar o'lchangandan so'ng elektron texnika mahsulotlari yakuniy operatsiyalardan (bo'yash, laklash, rusumlash, o'rash) o'tadi va tayyor mahsulotlar omboriga kelib tushadi. U yerdan elektron texnika apparaturalarini tayyorlovchi — buyurtmachiga beriladi.

Plastina va taglikni tayyorlash. Yarimo'tkazgichli plastinalar va dielektrikli tagliklar mos holda yarimo'tkazgichli va gibrid yoki plyonkali elektron texnika mahsulotlarida strukturalar tayyorlashda asosiy xomaki mahsulotlar hisoblanadi. Bundan tashqari yarimo'tkazgichli plastinalar gibrid elektron texnika mahsulotlarida osma aktiv komponentlar va kristallar tayyorlashda ham qo'llaniladi. Dielektrik tagliklarda gibrid elektron texnika mahsulotlarida strukturaning passiv qismi hamda plyonkali elektron texnika mahsulotlari tayyorlanadi. Hozirgi davrda ko'pchilik yarimo'tkazgichli elektron

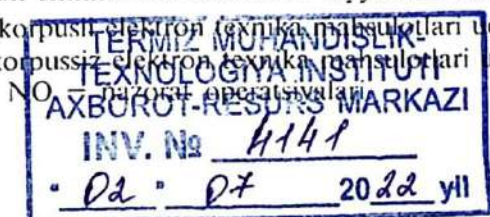


2.1- rasm. Strukturalarning konstruktiv-texnologik tayyorlanishi bo'yicha elektron texnika mahsulotlarining tasnifi.



2.2- rasm. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash bosqichlari:

- — korpusli elektron texnika mahsulotlari uchun;
 - - - - - — korpusiz elektron texnika mahsulotlari uchun;



texnika mahsulotlari sanoat miqyosida kremniy asosida tayyorlanmoqda, chunki kremniyning taqiqlangan zonasi yaxshi o'rganilgan va yarimo'tkazgichli sanoat tomonidan o'zlashtirilgan germaniyga qaraganda katta bo'lib, ishchi temperatura intervali keng, $p-n$ o'tishlarning teskari toki kichik va ularning temperaturaga bog'lanishi nisbatan zaif, teshuvchi kuchlanish katta qiymatga ega bo'lib, ularning teshilishi katta temperaturalarda kuzatiladi. Bulardan tashqari kremniy asosida sizuvchan tokka kuchsiz bog'langan, qarshiligi katta qiymatli rezistorlar tayyorlash mumkin. Kremniyning zichligi germaniyga qaraganda taxminan 2 marta kichik.

Tabiatda kremniy kisloroddan keyin eng ko'p tараqalgan element hisoblanadi. U yer qobig'ining massa jihatidan 27,7% ni tashkil qiladi. Kremniy sirtida yaxshi dielektrik va legirlovchi kirishmalarning (bor, fosfor, mish'yak, surma) kirib borishiga qoniqarli to'sqinlik qiluvchi niqob xususiyatlariga ega bo'lgan tabiatan termik oksid SiO_2 ni osonlik bilan hosil qilish mumkin. Bu kirishmalarning kremniy dioksididagi diffuziya koeffitsiyentlari kremniyga qaraganda juda kichik bo'lganligi sababli kremniy plastinalarining kerakli juda kichik sohalarinigina (lokal) legirlash, qolgan sohalarini SiO_2 plyonkasi bilan himoyalash (niqoblash) imkoniyatini beradi.

Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlashda kremniydan tashqari arsenid galliy GaAs va boshqa yarimo'tkazgichli birikmalar ham qo'llanilmoqda.

Yarimo'tkazgichlarning strukturasi va xossalari elektron texnika mahsulotlarining parametrlarini va xarakteristikalarini belgilaydi. Elektron texnika mahsulotlarining parametrlariga qo'yiladigan talablarga binoan ma'lum rusumli va ma'lum kristallografik yo'nalishli yarimo'tkazgichli material tanlanadi.

Gibrid va plyonkali elektron texnika mahsulotlarida taglik sifatida sital, fotosital, keramika, sapfir kabi materiallar ishlatiladi.

Plastina va taglik tayyorlash yarimo'tkazgichli va dielektrik materiallarga mexanik ishlov berish va hosil qilingan yarimmahsulot (zagotovka)larning sirtini tozalashni o'z ichiga oladi.

Yarimo'tkazgichlar va dielektriklar yuqori qattqlikka va mo'rtlikka ega bo'lganligi sababli ularga mexanik ishlov berish o'ziga yarasha qiyinchilikka ega. Monokristall quymalardan va yassi xomaki mahsulotlardan plastina va tagliklar tayyorlashda abrazivli ishlov berish usuli qo'llaniladi. Bunda ishlov berilayotgan sirtga qaraganda qattqligi yuqoriroq, mo'rtligi esa kamroq bo'lgan abraziv materialdan foydalaniladi.

Abraziv ishlov berishdan avval monokristall quymalarning kristallografik yo'nalishi tekshiriladi, chunki quymalar o'stiradigan qurilmalar quymaning geometrik o'qi bilan berilgan kristallografik yo'nalishning aniq birining ustiga biri tushishini ta'minlay olmaydi.

Abraziv ishlov berilgandan so'ng plastinani tozalash zarur hisoblanadi, chunki ularning sirtida qoladigan iflosliklarning keyingi texnologik jarayonlarda bo'lishi mumkin emas. Iflosliklarni talab qilinadigan tozalik darajasigacha ketkazish ancha murakkab vazifa hisoblanadi. Bu iflosliklarning manbayi texnologik ishlov berishlar va atrof muhit bo'lishi mumkin. Shu sababli plastina va tagliklarning sirlari bir necha marta tozalanadi. Tozalash abraziv ishlov berish jarayoni davomida va undan keyin, ya'ni strukturani tayyorlash operatsiyasi boshlanishidan oldin o'tkaziladi. Hozirgi davrda sanoat ishlab chiqarishda plastina va tagliklar har xil suyuq tarkiblar: organik erituvchilar, kislotalar, ishqorlar, kuchli oksidlovchilar asosidagi aralashmalar yordamida tozalanadi. Quruq tozalash eng oxirgisi bo'lib, odatda keyingi bo'ladigan strukturalar tayyorlash operatsiyalari bilan birgalikda olib boriladi.

Strukturalar tayyorlash. Bu bosqichda topologik chizma va strukturalarning vertikal qirqimlariga mos holda elementlar, elementlararo birikmalar va kontakt maydonchalari shakllantiriladi, ya'ni plastina yoki taglikning gorizontall tekisligida (sirtida) konfiguratsiyalari, o'lchamli va o'zaro joylashishlari berilgan va vertikal yo'nalishda kerakli o'lchamli (plyonkalar qalinligi, legirlash chuqurligi) elementlar hosil qilinadi. Bularga mos holda strukturalar tayyorlashning hamma usullari uchta guruhga bo'linadi: topologiyani shakllantirish usullari, plyonkalarni hosil qilish usullari, plastinani legirlash va yarimo'tkazgichli qatlamlarni o'stirish usullari. Oxirgi guruh usullari faqat yarimo'tkazgichli strukturalar olish jarayonlariga tegishlidir. Elektron texnika mahsulotlarining strukturalari faqat guruhli usullar bilan tayyorlanadi. Ko'pchilik operatsiyalarda plastina yoki tagliklarning partiyasiga bir vaqtda ishlov beriladi va ularning har birida bitta emas, balki ko'plab strukturalar shakllanadi.

Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish. Yig'ish deganda umuman olganda detallar va yig'ma birliklarini (uzellarini) bir biri bilan birlashtiradigan yakunlovchi jarayon tushiniladi. Buning natijasida tayyor mahsulot hosil qilinadi. Korpusli elektron texnika mahsulotlarini yig'ish uchun strukturalar tayyorlash bilan parallel holda korpuslarning detallari va uzellari ba'zi hollarda qo'shimcha armaturalar (simlar), masalan, chiqish ramkalari, lentali nositellarda chiqishlar va shu kabilar ham tayyorlanadi. Korpusiz elektron texnika mahsulotlarini yig'ishda

germetiklovchi tarkiblar tayyorlab qo'yiladi va strukturalarni ulash uchun armatura tayyorlanadi. Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish strukturani korpus asosiga, chiqish ramkalariga yoki qo'shimcha tagliklarga ulashni, osma kristallarni, komponentlarni plataga ulashni, chiqish elektrodlarini kontakt yuzachalarga va tashqi chiqishlarga birlashtirishni, germetiklashni o'z ichiga oladi.

Sinov va o'lchov. Germetiklashdan keyin yashirin nuqsonli elektron texnika mahsulotlarini yoroqli yoki yoroqsizlarga ajratish uchun texnologik sinov o'tkaziladi va parametrlari o'lchanadi. Texnologik sinov iqlimiy, mexanik va elektrlilarga bo'linadi. Iqlimiy sinovlarda elektron texnika mahsulotlari termosikllar, namgarchilikka, issiqlikka va sovuqlikka chidamlilik bo'yicha tekshiriladi. Urilish va tebranishga mustahkamlik bo'yicha mexanik sinovda elektron texnika mahsulotlari konstruksiyasining va ichki sxemali birikmalarning mexanik mustahkamligi tekshiriladi. Elektr sinov jarayonida elektron texnika mahsulotlarining tokli mashg'uloti o'tkaziladi va stabiligi tekshiriladi hamda elektron texnika mahsulotlarining parametrlari o'lchanadi.

Yakuniy operatsiyalar. Yakuniy operatsiyalarga bo'yash, laklash, galvanik qoplash, rusumlash, apparaturaga ulash uchun chiqishlarni tayyorlash, o'rashlar kiradi. Har bir chiqarilayotgan elektron texnika mahsulotida uning shartli belgilanishi, birinchi chiqishning belgisi, chiqarilgan yili va oyi, korxonaning tovar belgisi va texnik nazorat bo'limining muhrilarini o'z ichiga olgan rusum bo'lishi shart. O'rangan elektron texnika mahsuloti tayyor mahsulot omboriga yuboriladi.



Elektron texnika mahsulotlarida strukturani shakllantirish tamoyillari

Konstruksiya va texnologiyani loyihalashning o'zaro bog'liqligi. Elektrodioelementli a'naviy elektron sxemalarni loyihalash amalda keyingi bo'ladigan texnologiyaga kam bog'liq bo'ladi. Elektron texnika mahsulotlaridan bo'lgan mikrosxemalarni loyihalash esa ularni tayyorlash texnologiyasi bilan uzviy bog'langan bo'ladi. Buning sababi shundaki, integral mikrosxemalar kichik o'lchamli katta miqdordagi elementlardan tashkil topgan yagona konstruktiv bir butun ko'rinishga ega bo'ladi. Har bir elementning parametrlari va mikrosxemalarning ishchi xarakteristikallari faqat topologiyaning aniqligi bilangina emas, balki optimal materiallar va texnologiyani tanlashga ham bog'liq bo'ladi. Bunda topologiyani shakllantirish jarayonining aniqligiga ta'sir qiladigan omillarni hisobga olish kerak bo'ladi.

IMS ni loyihalashda konstruksiya va texnologiyani o'zaro bog'liqligi tufayli boshlang'ich ma'lumotlar sifatida tashqi konstruktiv, elektr va ekspluatatsiya ma'lumotlari bilan bir qatorda texnologiyani imkoniyatlari va chegaralanganligini akslantiruvchi ma'lumotlar ham hisobga olinadi. Mana shular IMS larning optimal konstruksiyasini aniqlab beradi. Shunday qilib mikrosxemalar uchun konstruksiyani va texnologiyani loyihalash tushinchalari o'zaro juda yaqin bog'langan bo'lib, bunda aniqlovchi rol texnologiyaga tegishlidir.

Integral texnologiyani asosiy tamoyillari. Elektron texnika mahsulotlarida strukturalar tayyorlashda ularning konstruksiyalarini loyihalash va tayyorlash texnologiyasining o'zaro bog'liqligidan kelib chiqib ma'lum bir tamoyillarni e'tiborga olish kerak bo'ladi.

Elementlarning bir-biri bilan joylasha olish tamoyili elektron texnika mahsuloti bo'lgan integral mikrosxemalarning konstruktiv jihatdan yagona ekanligidan kelib chiqadi. Mikrosxemaning har bir elementi elektoradioelementlardan farqli ravishda alohida texnologik jarayonda tayyorlanmasdan, balki qolgan boshqa elementlar bilan birgalikda tayyorlanadi. Mikrosemalarda faqat konstruktiv integratsiya emas, balki texnologik integratsiya ham kuzatiladi. Bunda bitta texnologik jarayonda bir vaqtda har xil elementlar (masalan, tranzistorlar, diodlar, rezistorlar, kondensatorlar) tayyorlanadi.



Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash usullarining asosiy guruhleri

Elektron texnika mahsulotlari texnologiyasi tarixidan qisqacha ma'lumotlar. Asosiy elektron texnika mahsuloti — integral mikrosxemalar yarimo'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarish texnologiyasining mukammallashishi natijasida paydo bo'ldi. Yarimo'tkazgichlar texnologiyasi esa elektrvakuumli asboblarni texnologiyasi asosida rivojlandi. Elektrvakuumli ishlab chiqarish texnologiyasidan yarimo'tkazgichli strukturalar tayyorlashda asosan yupqa plyonkalar olish usullari ko'chirib olingan. Yarimo'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarish uchun yarimo'tkazgichli o'tishlar hosil qilish jarayonlari o'ziga xosdir.

Eng avval hosil qilingan diod va tranzistorlar nuqtaviy bo'lib, ulardagi $p-n$ o'tishlar yarimo'tkazgichli kristall bilan uchi elektrolitik o'tkirlangan o'tkazgich bilan kontakt qilingan joyda hosil qilingan edi. Biroq nuqtaviy kontaktlar nostabil bo'lib, ularning mexanik mustahkamligi kichik, lekin ularning ustunligi yuzaning kichikligi bo'lib, bu o'tishning sig'imi kichik bo'lishiga sabab bo'ladi. Shu sababli bu usul O'YCh (o'ta yuqori chastota) diapazonli yarimo'tkazgichli diodlarni ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Birlamchi qotishmali tranzistorlar 1949–1950- yillarda ishlab chiqildi. Ularda $p-n$ o'tishlar va omik kontaktlarning (konsentratsiyalari yuqori bo'lgan n^+-n va p^+-p o'tishlar) hosil bo'lishi erigan holatdagi legirlovchi elementli elektrod suyuq fazasining qattiq yarimo'tkazgich bilan o'zaro ta'siriga asoslangan. Yarimo'tkazgich-elektrod tizimi qizdirilganda elektrod eriydi va yarimo'tkazgichli kristall sirtini ho'llaydi hamda uni eritmada eritadi. Sovitilganda elektrod materiali eritmasidagi yarimo'tkazgichning eruvchanligi kamayadi va yarimo'tkazgichning atomlari suyuq fazadan qattiq fazaga o'tadi. Kristallanish markazi bo'lib suyuq eritma–qattiq yarimo'tkazgichning bo'linish chegarasi hizmat qiladi. Kristallanish sohasiga yarimo'tkazgich atomlari bilan birga legirlovchi kirishma atomlari ham o'tadi. Sovitilish natijasida hosil qilingan qayta kristallangan sohaning strukturasi boshlang'ich materialning monokristall strukturasi kabi bo'ladi. Biroq uning o'tkazuvchanlik turi yoki legirlanish darajasi boshqacha bo'ladi. Qotishmali tranzistorlarda o'tishlarning yuzalari katta bo'ladi, baza sohasining kengligini $10\text{ }\mu\text{m}$ dan kichik qilib tayyorlashning iloji yo'q va parametrlarning qaytariluvchanligi yomon.

Sanoat miqyosida diffuziyali tranzistorlar 1953- yildan boshlab chiqarila boshlandi. Hozirgi paytgacha ishlab chiqarish sanoatida har xil o'tishlarni shakllantirish maqsadida yarimo'tkazgichli plastinani legirlashning diffuziya usuli eng ko'p qo'llanilmoqda. Diffuziya natijasida tranzistorlar parametrlarining qaytariluvchanligi yaxshilandi va baza sohasining kengligini $0,2\text{ }\mu\text{m}$ gacha kamaytirish mumkin bo'ldi.

O'tgan asrning 60- yillarida asosiy texnologik muammo kichik sig'imli va yuqori chegaraviy chastotali asboblarni yaratish maqsadida kichik yuzali o'tishlar hosil qilish edi. Bu yo'nalishdagi ishlar mezatexnologiyaga olib keldi.

Birinchi yarimo'tkazgichli mikrosxema 1959- yilda germaniyda mezadiffuziyali texnologiya asosida tayyorlandi. Shu yilning o'zida kremniy xususiy termik oksidining niqoblovchi (ba'zi bir legirlovchi kirishmalarning diffuziyasidan) xossasi aniqlangandan so'ng planar texnologiya paydo bo'ldi. Shu vaqtlarda paydo bo'lgan fotolitografiya jarayoni hisobiga planar texnologiyada kremniyli plastina yuzasida kremniy dioksididan kontaktli niqob hosil qilindi va uning yordamida plastinaga lokal ishlov berish hamda kichik yuzali yarimo'tkazgichli o'tishlar hosil qilish mumkin bo'ldi.

Yarimo'tkazgichli elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda planar texnologiya muhim rol o'ynadi. 1960- yildayoq planar texnologiya hisobida birlamchi planar mikrosxemalar paydo bo'ldi,

keyinchalik ularning ishlab chiqarilishi kengaydi va mukammallashdi. Planar strukturaning mukammallashuvini va yaroqli chiqish foizini oshirish imkoniyatini bergan muhim yutuqlardan biri bu epitaksiya jarayonining, ya'ni plastina sirtida monokristall yarimo'tkazgichli qatlam o'stirishning qo'llanilishi bo'ldi.

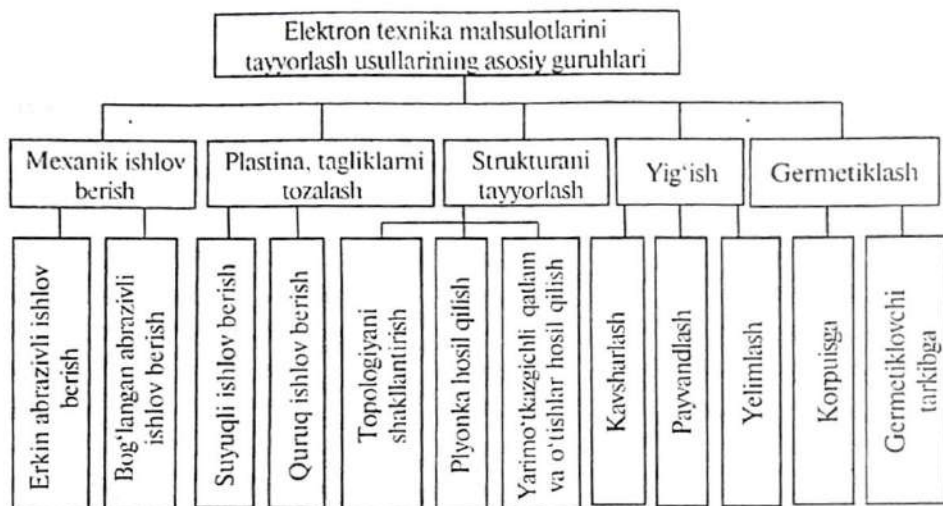
Plyonkali aktiv elementlarni yaratishning qiyinligi sababli plyonkali elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasi orqada qola boshladi. Keyinchalik buning yechimi sifatida gibril mikrosxemalar yaratildi. Bular da yarimo'tkazgichli aktiv elementlar mustaqil texnologik jarayonlarda tayyorlanib, keyinchalik gibril mikrosxemaning passiv elementlari shakllantirilgan plataga biriktiriladigan bo'ldi.

Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasi usullari guruhlar i. Zamonaviy elektron texnika mahsulotlari texnologiyasida fizik-kimyoviy mohiyati bo'yicha har xil usullar va ularning har xil turlarining juda keng yig'malari (naborlari) qo'llanilmoqda. Texnolog har bir konkret hol uchun yangi texnologiya yaratilishida yoki mukammallashishida berilgan mahsulot uchun samarali variant tanlaydi. Texnologik operatsiyalarni o'tkazish usullari ixtiyoriy guruhdagi elektron texnika mahsuloti uchun umumiy bo'lgan texnologiyaning asosiy bosqichlari 2.2- rasmda keltirilgan ketma-ketlik bo'yicha o'rganiladi. 2.3- rasmda elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash usullarining asosiy guruhlar i keltirilgan. Quyida 2.3- rasmda qisqacha tushuntirishlar beriladi.

Plastina va tagliklarni tozalash usullari alohida guruhni tashkil qiladi, chunki tozalash plastina va tagliklarni tayyorlashda va undan keyingina o'tkazilmasdan, balki elektron texnika mahsulotlari strukturasini tayyorlash jarayoni davomida hamda yig'ish bosqichida ham o'tkaziladi. Tozalash o'tkazilayotgan muhitning agregat holatiga bog'liq holda u suyuq va quruq turlarga bo'linadi.

Struktura tayyorlash usullari tarkibiga: elektron texnika mahsulotlarining topologiyasini shakllantirish, ya'ni topologik chizmada berilgan konfiguratsiya, elementlarning o'lchamlari va o'zaro joylashishi, elementlararo bog'lanishlar va kontakt yuzachalarini hosil qilish; plyonkalar hosil qilish usullari; yarimo'tkazgichli qatlamlar va o'tishlar hosil qilish usullari kiradi.

Elektron texnika mahsulotlarining topologiyasini shakllantirish niqoblar yordamida yoki ularsiz ishlov berish vositalarini lokallash yo'li bilan amalga oshiriladi. Hozirgi davrda elektron texnika mahsulotlarini



2.3- rasm. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash usullarining asosiy guruhlari.

ishlab chiqarishda kontaktli niqobdan foydalanish usuli eng keng qo'llanilmoqda. Kontakt niqoblar va ulardan topologik chizmalarining elektron texnika mahsulotidagi mos texnologik qatlamga tushirilishi litografiya usuli bilan amalga oshiriladi.

Plyonkalar hosil qilish usullari hilma xil bo'lib, ularning qo'llanilish darajasi har xil. Plyonkalar elektron texnika mahsulotlarining konstruksiyasi tarkibiga kiradi hamda ulardan elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasida foydalaniladi. Elektron texnika mahsulotlarining konstruksiyasida plyonkalar asosida passiv elementlar (gibrid va plyonkali elektron texnika mahsulotlari), elementlararo birikmalar va kontakt yuzachalari shakllantiriladi; plyonkalar har xil sathlarda joylashgan elementlar va elementlararo birikmalarni izo-latsiyalash, strukturalarni himoyalash uchun, zatvorosti dielektrigi sifatida xizmat qiladi. Detallarni yig'ishda biriktirish jarayonini osonlashtirish, korpuslarni korroziyadan himoyalash uchun ular plyonkalar bilan qoplanadi.

Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasida plyonkalardan plastinalarni saqlashda va operatsiyalararo ko'chirishda (transportirovkalashda), kontaktli niqoblarni shakllantirishda, legirlovchi kirishmalar manbayi sifatida va shu kabilarda foydalaniladi.

Plyonkalar vakuumda, gaz razryadi plazmasida, normal, yuqori va past bosimli bug'gaz aralashmasida, qorishma va elektrolitlarda hosil

qilinadi, suyuq tarkibli holda surkaladi va issiq ishlov berish yo'li bilan qattiq holatga o'tkaziladi. Plyonkalarni hosil qilish usullari keyingi boblarda ko'rib chiqiladi.

Yarimo'tkazgichli qatlam va o'tishlarni hosil qilish usullari quyidagi sabablarga ko'ra bitta guruhga ajratilgan. Birinchidan, yarimo'tkazgichli qatlamlar elektron texnika mahsulotlarida yetakchi ahamiyatga ega. Ikkinchidan, yarimo'tkazgichli qatlam yarimo'tkazgichli plastinada o'stirilgan taqdirda hosil bo'lgan struktura qatlam-plastina yarimo'tkazgichli o'tishni beradi. Uchinchidan, elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda ko'pincha yarimo'tkazgichli qatlamlar asosan yarimo'tkazgichli plastinada o'stiriladi. Yarimo'tkazgichli qatlamlar odatda epitaksial qatlamlar deyiladi. «Epitaksial» so'zi elektron texnika mahsulotlari texnologiyasida quyidagini bildiradi: *plastina sirtida o'stirilayotgan qatlam atomlari plastina atomlari joylashgan tartibda joylashadi, o'sayotgan qatlam plastina strukturasini takrorlaydi, plastina sirti o'stirma rolini bajaradi, chunki uning atrofida qatlam materiali atomlari kristallanadi.*

Yarimo'tkazgichli plastinani legirlash yarimo'tkazgichli o'tishlar hosil qilishning a'nanaviy usulidir. Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda yarimo'tkazgichning panjarasiga kirishma diffuziya yordamida kiritiladi (diffuziyali legirlash) yoki tezlashtirilgan ionlar bilan ishlov beriladi (ionli kiritish).

Germetiklash usullarining (2.3- rasm) alohida guruhga ajratilishidan maqsad korpusiz germetiklash korpusli va bosliqqa yig'ish operatsiyalaridan boshqacha bo'lgan usullar bilan amalga oshirilishini ko'rsatishdir. Korpusli germetiklashda hamma yig'ish operatsiyalari kavsharlash, payvandlash, yelimlash usullari va ularning turlari bilan amalga oshiriladi.



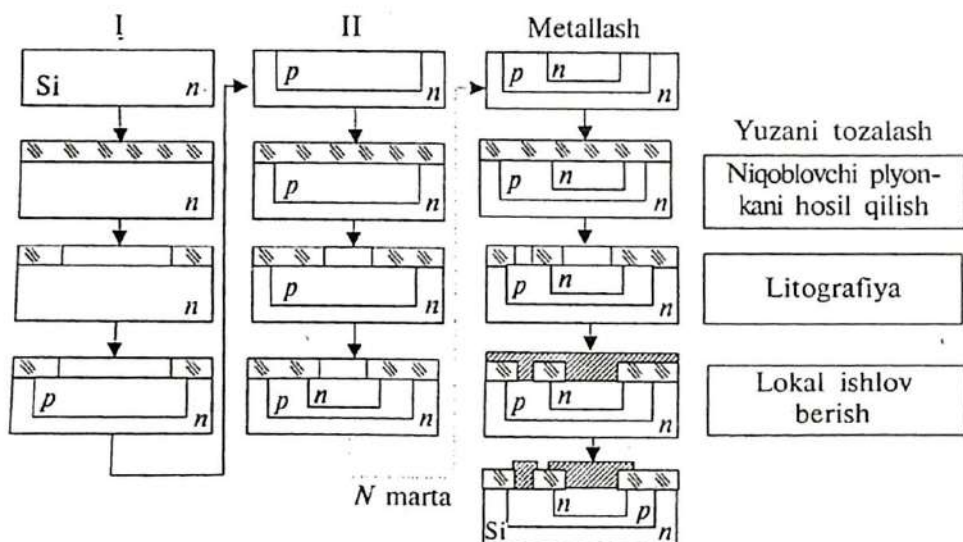
Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlashning asosiy texnologik marshrutlari

Elektron texnika mahsulotlarini sanoat miqyosida ishlab chiqarishda yarimo'tkazgichli strukturalarda planar texnologiya, meza-texnologiya va epitaksiya asosiy usullar hisoblanadi. Plyonkali strukturalarda bu yupqa plyonkali va qalin plyonkali usullardir.

Quyida bu texnologik usullarda ketma-ket kechadigan operatsiya va bosqichlarning mohiyati qisqacha ko'rib chiqiladi.

Planar texnologiya. Bu usulning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, bunda mohiyati jihatdan bir xil bo'lgan texnologik ishlov berishlar quyida keltirilgan tartibda bir nechta marta qaytariladi: niqoblovchi plyonkani hosil qilish, litografiya, yarimo'tkazgichli plastinani legirlash. Niqoblovchi plyonkalar va litografiya plastina yuzasida kontaktli niqoblarni shakllantirish uchun zarur, legirlash esa mana shu niqoblar yordamida yuzaga yaqin qatlamda qarama-qarshi turdagi o'tkazuvchanlikli yoki plastinaning qolgan qismiga nisbatan konsentrasiyasi yuqori bo'lgan kirishmali lokal uchastkalarni hosil qilindi. Har bir mana shunday ishlov berish guruhi ma'lum bir texnologik qatlamning shakllanishi bilan yakunlanadi. Bu ishlov berish guruhining qancha marta qaytarilishi elektron texnika mahsuloti kristallining konstruksiyasi bilan aniqlanadi. Planar strukturani tayyorlashning yakunlovchi bosqichida metallash (elementlarning aktiv sohasiga omik kontaktlar, elementlararo plyonkali birikmalar, kontakt yuzachalari) va strukturalarni tashqi ta'sirlardan dielektrikli plyonka bilan himoyalash operatsiyalari bajariladi.

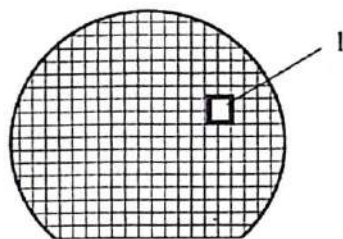
Metallashda ham xuddi tranzistor va u asosdagi boshqa elementlarni shakllantirishdagi kabi kontaktli niqobdan foydalaniladi, ya'ni u niqoblovchi plyonka hosil qilish va litografiya uchun zarurdir. Biroq uchlamchi ishlov berish (legirlash) elektr o'tkazuvchi plyonkani hosil qilish bilan almashtiriladi. Bu plyonkaga metallash topologiyasini shakllantirish uchun litografik ishlov beriladi.



2.4- rasm. Planar jarayonining sxemasi.

Strukturani himoyalash dielektrik plyonkani hosil qilish jarayonini va kontakt yuzachalarni ochadigan tirqish hosil qilish uchun litografik ishlov berishni o'z ichiga oladi. Bu tirqishlar yig'ish bosqichida tashqi chiqish (vivod)lar bilan yoki gibridli elektron texnika mahsulotlarining kontakt yuzachalarini elektr birlashtirish uchun zarurdir.

Planar jarayonining sxemasi 2.4- rasm- da keltirilgan. Bu sxemada planar jarayon- dagi texnologik ishlov berishlar qulaylik uchun bir elementli yarimo't- kazgichli plastina fragmentining (qismi) kesimi yordamida tasvirlangan. Amalda bitta butun plastina emas, balki plastina partiyasiga ishlov beriladi. Har bir plastinada bitta emas, balki ko'plab mikrosxemalar- ning kristallari shakllanadi (2.5- rasm), ya'ni planar texnologiya plastinalarga guruhli ishlov berish usuli hisoblanadi.



2.5- rasm. Kremniy plastinasidagi mikrosxema kristalli (1).

Sxemada keltirilgan «plastinani tozalash» jarayoni har doim keyingi niqoblovchi plyonkani hosil qilishdan oldin kontakt niqob olib tashlangandan so'ng plastina yuzasi iflosliklardan astoydil tozalanishi zarurligini bildiradi. Plastina va tagliklarning ko'p marta tozalanishi faqat planar jarayonda emas, balki har qanday boshqa strukturalarni tayyorlash jarayonlarida ham zarurdir. Shu sababli planar texnologiya- ning asosiy ishlov berishlariga uchta ajratib ko'rsatilgan jarayon kiradi. Bu sxemadagi har bir gorizontaal qator bir turdagi ko'p marta qayta- riladigan ishlov berishni, vertikal qator esa strukturaning texnologik qatlamlarini shakllantiruvchi ishlov berishlarning ketma-ketligini bildiradi (I, II va shu kabilar).

Agar bir qator texnologik ishlov berishni (I) metallash bilan yakunlasak, unda eng sodda planar struktura — planar diskret diod hosil qilinadi. Agar ikki qator (I, II) texnologik ishlov berilsa, metallashdan so'ng diskret tranzistor hosil qilinadi. Uch qator ishlovdan so'ng esa integral tranzistor hosil qilinadi. Agar integral tranzistorni shakllantirish jarayonida plastina sirtining kerakli qismida texnologik ishlov berishning birinchi qatorining bittasida to'xtalsa (keyingi qator ishlov berishni bajarishda niqoblovchi plyonkada tirqish ochilmasdan), unda bu joyda rezistor hosil qilinadi. Agar uchinchi qator ishlov berishdan boshlab tirqish ochilmasa, unda kerakli joyda yo'l-yo'lakay integral diod shakllanadi.

Bir turdagi operatsiyalarning qaytariluvchanligi planar texnologiya- ning universalligini ta'minlaydi. Buning natijasida struktura ishlab

chiqarishni nisbatan kam sonli texnologik uchastkaga bo'lish mumkin. Bu uchastkalarda ixtiyoriy planar struktura — eng sodda diskret dioddan boshlab murakkab bo'lgan O'YCh — tranzistorlar va katta integral mikrosxemalar tayyorlanishi mumkin. Yangi planar struktura ishlab chiqarish texnologiyasiga o'tishni faqat shablon komplektini, aslhalarni va texnologik operatsiyalar o'tkazish rejimlarini o'zgartirish bilan amalga oshirish mumkin.

Planar texnologiya ishlov berishning guruhli xarakterga ega ekanligi tufayli mahsuldorligi yuqori, asbob parametrlarining chetga og'ishi kichik va qaytariluvchanligi yaxshi bo'lib, ishlab chiqarishdagi harajat nisbatan katta emas. Planar asboblarning individual texnologiya bo'yicha tayyorlanadigan asboblarga nisbatan yaxshi xarakteristikalariga ega bo'ladi.

Litografiyaning va lokal legirlashning qo'llanilishi juda ham kichik yuzali va murakkab konfiguratsiyali $p-n$ o'tishlar hosil qilish imkoniyatini beradi. O'tish yuzalarining kichraytirilishi ulardagi sig'imni kamaytiradi, va demak, chegaraviy ishchi chastotani ko'paytiradi. Katta perimetrlilik murakkab topologiyali O'YCh strukturaning yaratilishi va perimetri-ning yuzaga nisbati katta bo'lishi (masalan, taroqsimon, ko'p emitterli strukturalar) tranzistorlarning quvvatini oshiradi. Elektron texnika mahsulotlaridan bo'lgan integral mikrosxemalarning sanoat miqyosida ishlab chiqarilishi planar texnologiyadan boshlangan. Hozirgi paytda planar texnologiya mikrosxemalar, shular qatorida katta va o'ta katta mikrosxemalar tayyorlash texnologik marshrutlarining asosini tashkil qiladi.

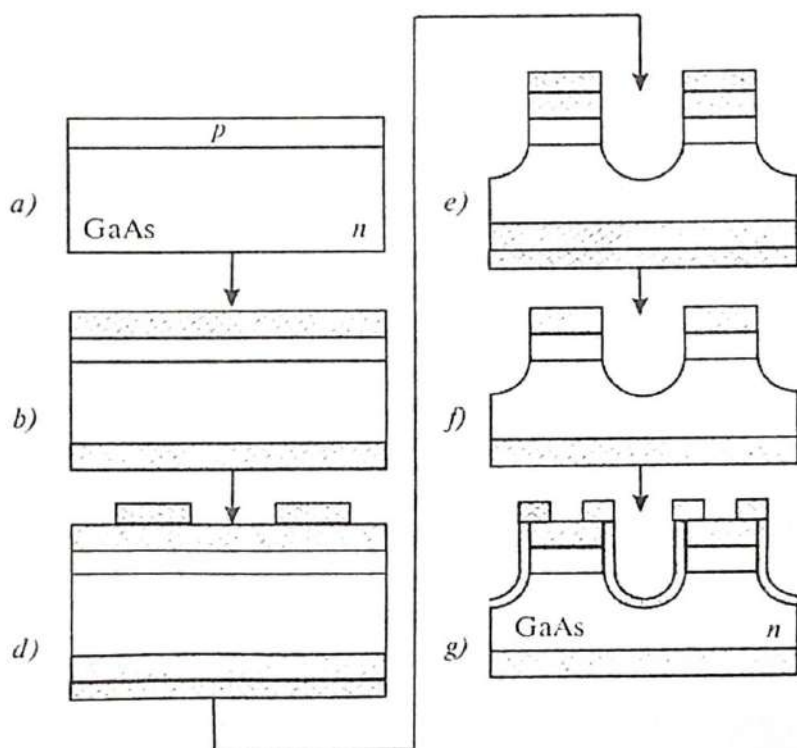
Mezateknologiya. Mezateknologiya yarimo'tkazgichli ishlab chiqarishga fotolitografiya va planar texnologiyadan avval ishlab chiqilgan va kiritilgan edi. Birinchi marta u diskret yarimo'tkazgichli asboblarni tayyorlashda qo'llanildi. Mezateknologiya ishlab chiqilishiga kichik yuzali $p-n$ o'tishlarning yaratilishining zarurligi turtki bo'ldi, chunki bu barer sig'imining kichikligini ta'minlaydi, ya'ni diodlarning ishlashining chastota diapazonini kengaytiradi.

Hozirgi davrda mezateknologiya litografiyadan foydalanilmoqda va gibridli elektron texnika mahsulotlaridagi osma asboblarning va yarimo'tkazgichli diskret diodlar tayyorlashda keng qo'llanilmoqda. Yarimo'tkazgichli mikrosxemalar strukturalarni tayyorlashda mezateknologiya planar texnologiya va epitaksiya bilan birgalikda qo'llanilmoqda.

Mezateknologiya elektron texnika mahsulotlarda elementlarning izolatsiyasi sifatini va integratsiya darajasini oshiradi, parazit sig'imlarni kamaytiradi va boshqa parametrlarni yaxshilaydi.

«Meza» ispancha «stol», «tekis tepalik» mazmunini anglatadi. Yarimoʻtkazgichli texnologiyada meza — bu plastina sirtidan chiqib turgan va yon tomonlari havoli ochiqlik bilan ajratilgan boshlangʻich plastina materialidan boʻlgan ustunchalardir. Bunday ustunchalar kontaktli niqob yordamida yarimoʻtkazgichli plastinada chuqurchali lokal yemirish bilan hosil qilinadi.

Diskret mezadiod strukturasi tayyorlash misolida mezatexnologiyaning asosiy bosqichlarini koʻrib chiqamiz (2.6- rasm). Tayyorlangan toza yarimoʻtkazgichli plastina p - n oʻtish hosil qilish uchun kirishma bilan legirlanadi (a). Undan soʻng plastinaning p - va n -sohalarida omik kontaktlar hosil qilinadi (b). Litografiya yordamida plastinaning ishchi yuzasida kontaktli niqob hosil qilinadi (d). Plastinaning orqa tomoni kislotaga chidamli lak qatlami bilan himoyalanaadi. Shundan soʻng kerakli yuzali p - n oʻtishni ajratish uchun lokal yemirish oʻtkaziladi, yaʼni meza soha hosil qilinadi (e). Bundan keyin niqob va lak olib tashlanadi (f). Hosil boʻlgan meza struktura himoyalovchi dielektrik plyonka bilan qoplanadi (g) va tirqishchalar ochilgan-dan soʻng yigʻish uchastkasiga beriladi. 2.6- rasmdan koʻrinib turibdiki,



2.6- rasm. Mezadiod tayyorlash jarayoni.

mezadiodlarni tayyorlashda diffuziya planar texnologiyadagidek lokal emas, balki plastinaning butun sirtiga o'tqaziladi. Yarimo'tkazgichli plastinaning butun yuzasida hosil qilingan $p-n$ o'tish lokal yemirish natijasida kichik yuzali ko'plab o'tishlarga bo'linadi.

Klassik mezatexnologiya (diskret diodni tayyorlash) quyidagi jarayonlarni o'z ichiga oladi: plastinaning hamma sirtini legirlash va omik kontaktlar hosil qilish, sirtini niqoblash (niqoblovchi plyonka o'tqazish va litografiya), lokal yemirish va mezaning yon sirtlarini himoyalash.

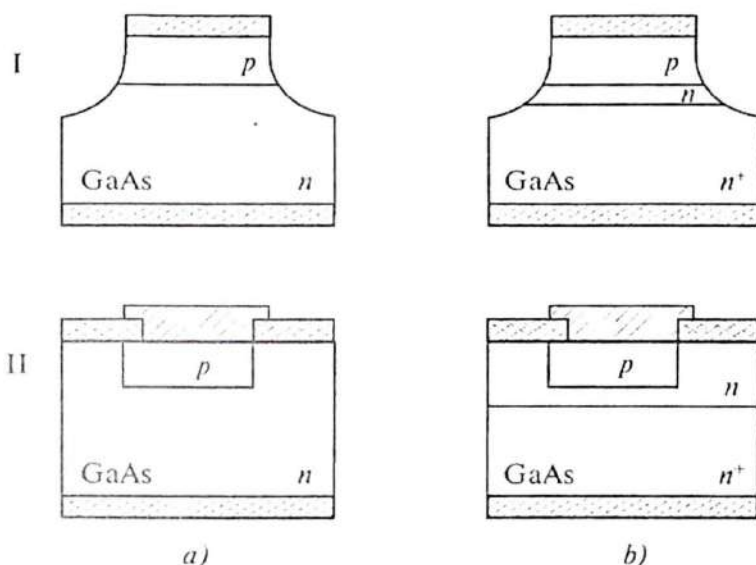
Elektron texnika mahsulotlarining strukturasini tayyorlash jarayonida mezatexnologiya qo'llanganligining o'ziga xos belgisi — kontaktli niqob yordamida yarimo'tkazgichli plastinani havoli oraliq bilan bo'lingan ustunchalar — meza hosil bo'lgungacha chuqur lokal yemirishdir.

Yarimo'tkazgichli qatlamlarni epitaksiyal o'stirish (epitaksiya). Monokristalli yarimo'tkazgichli plastinalarda o'stirilgan monokristalli yarimo'tkazgichli qatlamlardan elektron texnika mahsulotlarida foydalanilganda, ularning parametrlari va qaytariluvchanligi yaxshilanadi, yaroqli mahsulotlarning chiqish foizi oshadi va ularning tan-narxi kamayadi.

Odatda, yarimo'tkazgichli asboblarda va mikroshemalarning aktiv sohalari ishchi sirtga yaqin uncha chuqur bo'lmagan sohalarda shakllantiriladi. Yarimo'tkazgichli plastinaning qolgan qismi faqat konstruktiv rolni bajaradi.

Epitaksiya aktiv elementlar bilan band bo'lmagan yarimo'tkazgichli plastinaning zararli qarshiligini kamaytirish yo'llarini qidirish natijasida paydo bo'ldi. Yarimo'tkazgichli plastinada asosiy qalinlikni kichik omli qilish uchun solishtirma qarshilikning bir jinsli bo'lmagan taqsimotini legirlashning odatdagi an'anaviy usullari bilan hosil qilishning iloji yo'q. Epitaksiya kichik omli plastinalarda yuqori omli yarimo'tkazgichli qatlamlarni o'stirish imkoniyatini beradi. Hosil qilinayotgan epitaksial strukturaning kichik omli qismi ushlab turuvchi asos rolini bajaradi. Mikroshemalarning elementlari yoki yarimo'tkazgichli asboblarning aktiv sohalari kerakli elektr parametrlari epitaksial qatlamda shakllantiriladi.

2.7- rasmda birjinsli galliy arsenidi plastinasida va n^+-n epitaksial strukturada tayyorlangan planar va diskret meza diodlarning kristallari keltirilgan. Bunda n — eritaksial qatlamning solishtirma qarshiligi birjinsli n -GaAs plastinaning solishtirma qarshiligiga teng. Birjinsli materiallardagi meza-kristallar (2.7- a rasm, I) va planar kristallarni (2.7- b rasm, II) epitaksial strukturadagi (2.7- b rasm, I, II) o'xshash



2.7- rasm. Mezadiod (I) va planar diod (II) kristallari birjinsli n -GaAs (a) va n^+ - n -GaAs epitaksial strukturalarda (b) sxematik ko'rinishi.

geometriyali mos kristallar bilan solishtirilganda kristallning qalin qismining qarshiligi R ikkinchi holda kichik ekanligi ko'rinib turibdi. Shunday qilib, epitaksial n - n^+ , mezaepitaksial va epitaksial-planar strukturali diodlarda chegaraviy chastota f_{cheg} katta bo'ladi, chunki $f_{\text{cheg}} \approx 1/RC$, bu yerda C — p - n o'tishning baryer sig'imi.

Bundan tashqari epitaksiyaning ustunligi plastinani legirlashga qaraganda imkoniyati kattaligi va qatlamning qalinligi bo'yicha kerakli bo'lgan kirishma taqsimoti hosil qilishdadir.

Shunday qilib, yarimo'tkazgichli mikrosxema kristallarini, gibril mikrosxemalarda osma kristallarini va zamonaviy yarimo'tkazgichli asboblarni tayyorlashning asosiy tayanch usullari bu planar texnologiya, mezatexnologiya, epitaksiyalardir. Yarimo'tkazgichli mikrosxemalarning kristallarini tayyorlash jarayonlarida planar texnologiya va yuqorida keltirilgan usullarning har xil birikmalari: planar-epitaksial texnologiya, meza-planar-epitaksial texnologiyalar qo'llaniladi.

Plyonkali texnologiya. Plyonkali texnologiya deganda gibril va plyonkali elektron texnika mahsulotlarining platalarini tayyorlash tushuniladi. Shundan so'ng bu platalarga aktiv komponentlar, yarimo'tkazgichli asbob yoki mikrosxemalarning kristallari hamda, imkoniyat bo'lsa, kondensatorlar ham ulanadi. Plyonkali elektron texnika mahsulotlarining platalari mikrosxemalarning funksional tugallangan yarim-fabriki hisoblanadi.

Plyonkalarining qalinligiga va ularni hosil qilishning asosiy usullariga bog'liq holda, mos ravishda yupqa plyonkali texnologiya (plyonkaning qalinligi taxminan $0,01\text{ }\mu\text{m}$ dan $0,10\text{ }\mu\text{m}$ gacha) va qalin plyonkali texnologiya (plyonkaning qalinligi taxminan $12\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$) farq qilinadi.

Yupqa plyonkali texnologiya plyonkalar hosil qilish usullarining xilma xilligi va foydalaniladigan materiallarining nihoyatda ko'pligi bilan farqlanadi. Yupqa plyonkalar ko'p hollarda vakuumda, gaz razıyadlari plazmasida va elektrolitlarda hosil qilinadi. Elementlarning topologiyasi erkin folgali niqob, kontaktli niqob (litografiya) yoki bu ikki usulning kombinatsiyasi yordamida shakllantiriladi.

Platalarni tayyorlashda plyonkalar hosil qilishning ketma-ketligi katta ahamiyatga ega bo'lib, u har bir konkret mikrosxema uchun alohida hal qilinadi.

Yupqa plyonkalar taglikka ko'p hollarda quyidagi ketma-ketlikda o'tqaziladi: rezistiv, o'tkazgichli va kontakt maydonchasi, kondensatorlarning pastki qoplamasi, kondensatorlarning dielektirigi, kondensatorlarning yuqorigi qoplamasi, himoyalovchi plyonkalar.

Qalin plyonkali texnologiya trafaretli bosma usulidan foydalanishga, ya'ni amaliyotda odatda trafaret deb ataladigan to'rtli yoki folgali niqob orqali pastani mexanik bosib o'tkazishga asoslangan. Mikrosxemalarning rezistivli, o'tkazgichli, dielektrikli elementlarini yaratish uchun kerakli xossalarga ega bo'ladigan pastalar komponentlarni tanlash bilan hosil qilinadi. Pastalarni bosmalashning ketma-ketligi bosmalashdan keyin pastalarga ishlov berish temperaturasining kamayish tartibiga mos kelishi kerak. Odatda, pastalar quyidagi ketma-ketlikda bosmalanadi va issiqlik ishlovi beriladi: o'tkazgichli, kontakt maydonchalari, kondensatorlarning pastki qoplamasi, dielektrikli, yuqorigi qoplama, rezistorli, himoyali.



Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablar va ularni bajarish bo'yicha tadbirlar

Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablar. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash jarayonlari ham har qanday mahsulotlarni tayyorlash jarayonlariga qo'yiladigan umumiy talablarga va elektron texnika mahsulotlarining o'ziga qo'yiladigan xususiy talablarga javob bera olishi kerak. *Umumiy talablarni* qisqacha uchta holat bilan bayon qilish mumkin.

Texnologik jarayon ishonchli bo'lishi kerak, ya'ni berilgan sharoitda belgilangan vaqt mobaynida talab qilingan muddatli ishlashi va konstruksiyali berilgan elektr parametrlı elektron texnika mahsulot-

larini qaytariluvchan tayyorlanishini ta'minlay olishi kerak. Elektron texnika mahsulotlari konstruksiyasini, elektr parametrlarini va tashqi ko'rinishini oldindan belgilangan sharoitlarda saqlash va ekspluatatsiya qilishda o'zgartirmasligi kerak.

Texnologik jarayon tejimli bo'lishi kerak, ya'ni elektron texnika mahsulotlarini iloji boricha kam harajatli loyihalash va ishlab chiqarishda ular tannarxining kichikligini ta'minlashi kerak. Buning uchun arzon boshlang'ich materiallar, yarimfabrikatlar, jihozlar kerak bo'ladi. Asosiy konstruksiyalar (plastinalar, tagliklar, kristallar, platalar, korpus detallari va shu kabilar) standartli bo'lishi kerak, chunki standartli detallar partiyasini tayyorlash shu miqdordagi nostandart detallarni tayyorlashga nisbatan kam iqtisodiy harajatni talab qiladi. Jihozlar yuqori mahsulodorlikni va tayyor mahsulotlarning sifatini ta'minlashi kerak.

Texnologik jarayon ishlovchilar va atrof muhit uchun havfsiz bo'lishi kerak. Buning uchun imkoni boricha zaharsiz, yonmaydigan, portlashga havfsiz bo'lgan materiallar qo'llanilishi va bunday moddalar hosil bo'lamaydigan jarayonlardan foydalanish kerak. Texnologik jarayonlarning atrof muhitga zararli ta'sirini kamaytirish uchun mehnat sharoiti yaxshilanishi, havo basseynini ifloslantirishning kamayishi (masalan, ventillatsiyali chiqishlarni tozalash bilan), suv basseynini ifloslantirishning kamayishi (ifloslangan suvni tozalash va uni yana ishlab chiqarishga qaytarish), chiqindisiz ishlab chiqarishga o'tish kerak bo'ladi.

Xususiy talablar elektron texnika mahsulotlari konstruksiyasining o'ziga xosligidan va ularni tayyorlashda qo'llaniladigan asosiy va yordamchi materiallarning texnologik o'ziga xosligidan kelib chiqadi.

Elektron texnika mahsulotlari tayyorlashning texnologik jarayonlarida ishlov berilayotgan obyektlarning mikron siljishlarining yuqori darajada aniqligi, ularning ma'lum bir holatlarda qayd qilinishi hamda birining ustiga biri tushishi ta'minlanib turilishi kerak. Bu obyektlar o'lchamlarining o'ta kichikligi va hosil qilinayotgan elektron texnika mahsulotlari elementlarining nihoyatda kichik o'lchamli (mikron va undan kichik) bo'lganligi bilan bog'liqdir.

Texnologik jarayonlarda ishlov beriladigan obyektlar (plastinalar, tagliklar, kristallar, platalar va boshqalar) bilan manipulatsiya qilish uchun maxsus vositalar qo'llanilishi kerak. Bu yarimo'tkazgichli va dielektrik materiallarning o'ta mo'rtligi hamda yarimfabrikatlar: kristallar, simchalar, korpus detallari va shu kabilar o'lchamlarining kichikligi bilan bog'liqdir.

Texnologik jarayonlar o'la yuqori toza materiallar va parametrlari (temperatura, bosim, namlik, gazlarning miqdori kabilar) yuqori aniqlikda ushlab turiladigan sharoitda o'tkazilishi shart. Bu shakllantirilayotgan elektron texnika mahsulotlari sifatining texnologik omillarga kuchli bog'langanligi bilan bog'liqdir.

Ishlab chiqarish xonalarida statik elektr zaryadi hosil bo'lishi imkoniyatini nihoyatda kamaytirish kerak. Ularning yig'ilishi natijasida o'tkazgichli qismlar orasida hosil bo'ladigan razryadlar hisobiga yuqori omli plastina va tagliklardagi mikrosxema strukturasi buziladi. Buning oldini olish uchun, masalan, havo ionlashtiriladi.

Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablardan quyidagi: materiallarga va yarimfabrikatlarga; aslahalarga, uskunalariga va jihozlarga; ishlab chiqarish korxonasining uy joylaridagi havoli muhitga, jarayonlar olib borilayotgan texnologik gaz va suyuqliklarga; texnologik tartib intizomga va mutaxassislarining malakasiga bo'lgan talablar kelib chiqadi. Bu talablarning hammasi o'zaro bir-biriga bog'liqdir.

Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablarni bajarish. Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablar bajarilishi uchun kompleks tadbirlar va ishlab chiqarish vositalaridan foydalaniladi. Bularning asosiylari quyidagilar:

Korxonaning ishlab chiqarish faoliyatini qattiq reglamentatsiya qilish elektron texnika mahsulotlari ishlab chiqarishga qo'yiladigan talablarning aniq bajarilishini ta'minlaydi. Reglament, ya'ni ishlab chiqarish faoliyati tartibini belgilaydigan talab va qoidalarining majmuasi bo'lib, meyoriy texnik hujjat (MTH) ning mazmunini tashkil qiladi. MTH da elektron texnika mahsulotlarini yaratish va ishlab chiqarishda qo'llaniladigan materiallar tartibi, qo'llanilishga ruxsat etilgan materiallar ro'yxati aks ettirilgan. Har bir material uchun alohida hujjat (FOCT, OCT, instruksiya) taqdim etiladi. MTH da texnik bosqich va materiallarning sifatini baholash uslubi, materiallar va komplekt mahsulotlarining boshlang'ich nazoratini tashkil qilish belgilanadi. MTH da havo va gazli muhitning holati, suvning sifati, aslaha va jihozlarning konstruksiyalari va texnik xarakteristikalari reglamentlanadi; texnologiyaning mazmuni hamda ishlab chiqarishda band bo'lgan ishchilar uchun qoidalar beriladi. Ba'zi bir standartlarning ro'yxati 1- ilovada keltirilgan.

Mikrosxemaga taalluqli normativ-texnik hujjatga konstruktorlik va texnologik hujjatlar kiradi.

Konstruktorlik hujjat asosiy hujjatlar komplekti, integral mikrosxemaning asosiy qismlariga (korpus, osma komponentlar) bo'lgan

hujjatlar komplekti, ekspluatatsiya bo'yicha ko'rsatma, formulyar, pasportlarni o'z ichiga oladi. Asosiy hujjatlar komplektiga funksional, prinsipial elektr va elektromontaj sxemalari; plata yoki umumiy ko'rinishi, kesimi, topologiyasi tasvirlangan kristallning chizmalari; kristallning yoki (va) plataning korpusga montaj chizmasi va tushintiruvchi xatlar kiradi.

Texnologik hujjat mikrosxemalar tayyorlashning hamma texnologik jarayonlaridagi operatsiyalar bo'yicha mukammal bayonini o'z ichiga oladi hamda hamma texnologik jarayonlarni butunicha va har bir alohida operatsiyalarning o'tkazish usullari, tartibi va vositalarini aks ettiradi.

Ishlab chiqarishning bosqichiga bog'liq holda texnologik hujjatlar quyidagi toifalarga bo'linadi: IMS ni tajriba tariqasida ishlab chiqarishga texnologik hujjat, bunga O literi beriladi; IMSni seriyali ishlab chiqarishga texnologik hujjat, bunga A literi beriladi; IMSni ommaviy ishlab chiqarishga texnologik hujjat, bunga B literi beriladi.

Seriyali IMS larga texnologik hujjatlar komplekti asosiy va yordamchi hujjatlardan tashkil topadi. Asosiy hujjatlarga: texnologik jarayonning marshrut kartasi, texnologik jarayonning hamda ular qatorida texnologik nazorat va texnologik ko'rsatmalarning operatsion kartalari kiradi. Yordamchi hujjatlarga mashrutli-nazorat kartasi, standart va nostandart jihozlar ro'yxati, normallashtirgan va maxsus uskunalar, aslahalar ro'yxati, tushintiruvchi xatlar kiradi.

Texnologik jarayonning marshrut kartasi tamomlanadigan operatsiyalar kompleksining ketma-ketligini belgilab beradi. Marshrut kartada detallar tayyorlash yoki detallarni yig'ishning texnologik operatsiyalarining nomlari sanaladi, ularni bajarish tartibi bo'yicha nomlari ko'rsatilgan operatsion texnologik kartalar, qo'llaniladigan materiallar va ular sarfining normalari keltiriladi.

Operatsiya kartasida o'tishlar, ishlov berish rejimlari ko'rsatilgan har bir operatsiyaning bayoni va texnologik jihozlanishi to'g'risidagi ma'lumotlar: berilgan operatsiyada qo'llaniladigan jihoz, aslahalar, idishlarning nomlari; bo'g'inlar (uzellar), detallar, yarim fabrikatlar, materiallarning nomlari, ruxumlari, sorti, o'lchamlari va olib kelish shartlari keltiriladi (belgilanishlar, FOCT lar, nomenklatura nomlari). Operatsion kartalarning soni texnologik jarayondagi operatsiya turlarining soniga teng bo'ladi.

Texnologik ko'rsatmada ish yoki tayyorlash texnologik jarayonlari yoki mahsulotni ta'mirlash usullari, texnik jihozlanish vositalarini ekspluatatsiya qilish qoidalari, alohida operatsiyalarda ro'y beradigan fizik va kimyoviy hodisalarning bayoni keltiriladi.

Marshrut-nazorat kartasi ish joyida buyumning nazoratini qayd qiladigan asosiy hujjat hisoblanadi. Marshrut-nazorat kartasi texnologik ishlab chiqarish jarayonidagi nazorat operatsiyalarining bajarilish ketma-ketligini aniqlab beradi.

Hamma sanab o'tilgan hujjatlar ishlab chiqilgan shakl bo'yicha maxsus blankalarda tuziladi. Hujjatlarga o'zgarishlar faqat texnologik jarayonni o'zgartirish maxsus kartasi tasdiqlangandan so'ngina kiritilishi mumkin.

Elektron gigiyenaga rioya qilish — bu texnologik jarayonlarning ishonchliligini va mikrosxemalar sifatini ta'minlaydigan asosiy holatlarning biridir. Elektron gigiyena — mikrosxema tayyorlashning hamma bosqichlarida ifloslanishni kamaytiradigan yoki yo'qotadigan usullar, vositalar va shart-sharoitlar tizimidir.

Elektron gigiyena reglamentlaydi: ishlov berilayotgan obyektlarning ifloslanishini kamaytiradigan yoki yo'qotadigan texnologiyani loyihalash; ishlab chiqarish binolarida atmosferaning tozaligini ta'minlash; texnologik jarayonlarda toza va o'ta toza gazli va suyuq muhitlarning qo'llanilishi; ishlab chiqarish binolarini va jihozlarni toza holda tutish; hizmat qiluvchi xodimlarning shaxsiy gigiyenasi.

Havoli muhitning tozaligi changning, namlik va begona gazlarning borligi bilan tavsiflanadi.

Havoli muhitning changliligi yaroqli mikrosxemalarning (ayniqsa yuqori darajali integratsiyali mikrosxemalarning) chiqish foizini kamaytiradi va sifatini yomonlashtiradi.

Agar mikrosxemalar elementlarining o'lchamlari chang zarrachalarining o'lchamlariga yaqin bo'lsa va elementlarning soni ko'p bo'lsa, unda havoning changliligi havoning birlik hajmidagi chang zarrachalarining miqdori bilan baholanadi. Standartdagi belgilanishga mos holda mikroelektronika korxonalarida ishlab chiqarish binolaridagi havoli muhitning changliligi bir litr havodagi o'lchamlari $0,5 \mu\text{m}$ dan kichik bo'lmagan zarrachalar miqdori bilan baholanadi. Mana shunga binoan ishlab chiqarish binolari 8 sinfli tozalikka bo'linadi (2.1 - jadval).

Havoli muhitning temperaturasi va namligi texnologik jarayonning sifatiga va qaytariluvchanligiga kuchli ta'sir qiladi.

Temperaturaning tebranishi aslaha va ishlov berilayotgan obyektlarning chiziqli o'lchamlarini, kimyoviy reaksiyalarning tezliklarini, qo'llanilayotgan materiallarning bug'lanish tezligini, nazorat-o'lchagich asboblarning ko'rsatkichlarini, struktura va IMS larning parametrlarini o'zgartiradi. Shu sababli har bir temperatura tebranishiga sezgir texnologik operatsiya uchun havoli muhitning optimal temperatura-

Tozalik sinfi	O'lchamlari 0,5 mkm dan katta bo'lgan zarrachalarning l / havodagi maksimal soni	Ishchi hajm yoki binoning ko'rinishi
1	0	Changdan himoyalovchi kameralar
2	5	
3	35	Changdan himoyalovchi kabinalar Toza xonalar
4	350	
5	1000	
6	3500	Toza binolar Hizmat qilinadigan zona
7	10000	
8	35000	

sidan ruxsat etilgan chetga og'ishning meyorlari belgilab qo'yiladi. Masalan, chizig'ining kengligi 1 μm va undan kichik bo'lgan topologiya rasmi uchun temperaturani $\pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$ aniqlikda ushlab turish kerak bo'ladi.

Namli muhit amalda hamma texnologik operatsiyalar uchun kerak emas hisoblanadi. Ishlab chiqarish binolarida havoning namligi mumkin qadar kichik bo'lishiga harakat qilinadi, biroq bu namlik ishchi hodimlar uchun sanitar normadan kichik bo'lmazligi kerak. Elektron texnika mahsulotlari ishlab chiqarish sharoitiga qo'yilgan talablarga binoan binolar uch kategoriyaga bo'linadi. Bular uchun temperatura va nisbiy namlikning meyorlari 2.2- jadvalda keltirilgan.

2.2- jadval

Mikroiqlim kategoriyasi	Temperatura, $^{\circ}\text{C}$		Nisbiy namlik, %
	Yozda	Qishda	
I	$22 \pm 0,5$	$22 \pm 0,5$	45 ± 5
II	20 ± 1	23 ± 1	50 ± 5
III	20 ± 2	23 ± 2	50 ± 10

Toza binolar, xonalar va lokal hajmlar pretsizion texnologik jarayonlarni o'tkazish imkoniyatini beradi.

Bitta ishlab chiqarish binosida hamma texnologik jarayonlarni muvaffaqiyatli o'tkazish uchun havoli muhitning parametrlari bu

parametrlarga eng sezgir bo'lgan operatsiyani bajarish uchun talab qilinadigan darajada ushlab turilishi kerak. Ishlab chiqarish binosining hamma qismida muhitning yuqori sifatini ta'minlash katta iqtisodiy xarajat bilan bog'liq. Shuning uchun texnologik jarayon havoli muhit parametrlarining bir biriga yaqin qiymatlarini talab qiluvchi operatsiya guruhlariga bo'linadi. Mana shunga mos holda ishlab chiqarish alohida binolarni band qiladigan bir qator texnologik uchastkalarga bo'linadi.

Asosiy operatsiyalar toza xonalarda — temperatura-namlik va boshqa parametrlar bo'yicha talablarni qanoatlantiradigan tozalik sinflari 4 va 5 bo'lgan cheklangan hajmli binolarda bajariladi. Bundan yuqoriroq sinfli tozalik lokal ishchi hajmlarda (changdan himoyalovchi kabina va changdan himoyalovchi kameralarda) hosil qilinadi. Ular pretsizion jarayonlarni bajarish uchun xizmat qiladi.

Lokal ishchi hajmlardagi havoli muhitning tozaligi uzluksiz ravishda tozalangan havo oqimini berib turish bilan amalga oshadi.

Modulli toza xonalar eng progressiv hisoblanadi. Tozalik sinflari bo'yicha differensiyalangan modulli xonalar standart elementlar: filtrlovchi ship, filtrlovchi devollar, perforirovanli pol, eshiklar, tutunlarni chiqarish uchun klapanlar, filtrlovchi bloklar kabilardan tashkil topadi.

Modul turidagi toza binolar texnologiyaning kerakli o'zgarishlariga mos holda rejalashtirishni qulay o'zgartirish bilan farqlanadi.

Toza binolar, xonalar va lokal ishchi hajmlarda havoli muhitning nazorati belgilangan meyordan chetga og'ishlarni aniqlash va parametrlarni talab doirasida ushlab turish imkoniyatini beradi.

Temperatura o'zi yozadigan asboblarni komplekti bilan birgalikda ishlovchi suyuqlik termometrlar, termograflar, qarshilik termometrlari bilan nazorat qilinadi.

Namlik tasmasli diagrammalarga ko'rsatkichlarni yozish imkoniyatini beradigan psixrometrlar, gigrograflar yoki avtomatik uzluksiz ishlovchi asboblarni bilan o'lchanadi.

Havoning chanliligi sedimentatsiyali, filtratsiyali yoki optik usullar bilan o'lchanadi.

Hozirgi paytda havoli muhitning holatini davriy nazorat qilishdan statsionar tizimlar yordamida uzluksiz nazorat qilishga o'tilmoqda. Har xil joylarga o'rnatilgan temperatura, namlik, havo oqimi tezligi datchiklari va chang zarrachalari hisoblagichlarining ko'rsatkichlari markaziy pultga beriladi. Ko'rsatmalarni qayd qilish, qayta ishlash va saqlash EHM lar yordamida amalga oshiriladi.

Gazli muhitning tozaligi ishlab chiqarish binolaridagi havoning tozaligi kabi mikrosxemalarning sifatiga va yaroqli chiqish foiziga ta'sir qiladi. Gazlar himoyalovchi atmosferalar, reagentlar, tashuvchilar, ionlashadigan muhitlar sifatida qo'llaniladi.

Gazli himoyalovchi muhitlar (azot, argon, geliy) yuqori temperaturalar bilan bog'liq operatsiyalarni o'tkazish chog'ida mahsulotlarni oksidlanishdan va korroziyalanishdan himoya qilish uchun, termik jarayonlarni o'tkazishdan avval va keyin qurilmalarni shamollatish uchun hamda namunalarni operatsiyalar aro saqlash va ko'chirishlarda ishlab chiqarish binolaridagi havoli muhitning ta'siridan himoyalash uchun qo'llaniladi.

Gazli reagentlar yarimo'tkazgichlarni legirlashdagi (arsin AsH_3 , fosfin PH_3 , diboran B_2H_6), kremniyli plastinalarni yemirishdagi (xlorli vodorod HCl , bromli vodorod HBr , oltingugurtli vodorod H_2S , xlor Cl va boshqalar), niqoblovchi plyonkalarni hosil qilishdagi (kislород O_2 , silan SiH_4 , ammiak NH_3 , karbonat angidrid gazi CO_2), qaytarish jarayonlaridagi (vodorod H_2) va shu kabilardagi kimyoviy reaksiyalarda qatnashadi.

Gazli tashuvchilar (azot N_2 , argon Ar , kislород O_2 , vodorod H_2 va shu kabilar) legirlovchi kirishma manbalarining bug'larini, suv bug'larini hamda yarimo'tkazgichli qatlamlar yoki har xil plyonkalarni o'stirish uchun boshlang'ich birikmalarning bug'larini qurilmaning ishchi kameralariga ko'chirish uchun qo'llaniladi.

Ionlashuvchi muhitlar, argon, azot, kislород jarayonlarni gazli razryad plazmasida o'tkazish uchun qo'llaniladi.

Suvning tozaligi texnologik jarayonlarni o'tkazish sifatiga ta'sir qiladigan omillardan biridir. Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda iflosliklardan tozalangan suv katta miqdorda har xil qorishmalarni tayyorlashda, yuvishda hamda reagent va himoyalovchi muhit sifatida qo'llaniladi. Suvning tozalik darajasining ko'rsatkichi uning solishtirma qarshiligi hisoblanadi. Suvning qarshiligi temperaturaga kuchli bog'liq bo'lganligi sababli uning $20\text{ }^{\circ}C$ dagi solishtirma qarshiligi-ning qiymati ko'rsatiladi. Ideal toza suvning xususiy solishtirma qarshiligi $25\text{ M}\Omega \cdot \text{sm}$ ga teng bo'ladi.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda suv tozaligining birinchi, ikkinchi va uchinchi darajalari farqlanadi. Bularga solishtirma qarshilikning 18, 10 va 1 MΩ · sm (mos holda A, B va V rusumli suv) qiymatlari mos keladi. Solishtirma qarshilikdan tashqari suvda kremniy kislotasi, mikrozarrachalar, mikroorganizmlar, mis, temir va shu kabilarning miqdorlari ham aniqlanadi.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun suv oldindan, yakuniy va oxirgi (finishnoy) tozalanadi.

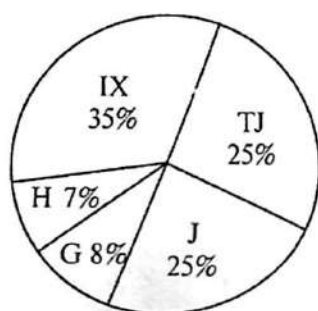
Suvni oldindan tozalash jarayoni u og'ir va kolloid erigan zarrachalardan distillyatsiya, maxsus filtrlar yordamida sorbsiyali, reagentli koagulatsiya, elektrokoagulatsiya va shu kabi usullar yordamida

tozalashni o'z ichiga oladi. Bunday suvda erigan tuzlar va boshqa kirishmalar mavjud bo'ladi. Erigan moddalardan *yakuniy suvni tozalash uchun* ionli-almashuvli smolalar (deionizasiya) va teskari osmos usullari qo'llaniladi. *Oxirgi tozalash* ishchi joyning o'zida suvni foydalanish oldidan bajariladi.

Suvning sifati *aylanma usul* — uning solishtirma qarshiligi orqali nazorat qilinadi. Bu usul iflosliklarning miqdori va sifatini aniqlash imkoniyatini bermaydi. Shu sababli aniq nazorat uchun maxsus usullar qo'llaniladi.

Jihozlarning, binolarning tozaligi va ishlovchilarning shaxsiy gigiyenasi — elektron gigiyenaning eng zarur tashkiliy qismlaridir. Qurilmalardan keladigan iflosliklarni kamaytirishda uni loyihalashdan (materiallarni, konstruksiyalarni, sirt relefini va shu kabilarni tanlash) boshlab, to qurilmalarning tashqi va ichki qismlarining tozaligini reglamentatsiya qilishgacha hisobga olinadi. Toza xonalardagi laminarlikni hamda havo oqimining tozaligini saqlash uchun qurilmalar shunday joylashtiriladiki, bunda ishchi o'rinlar oralig'i 1—1,2 m, devor bilan qurilmalar oralig'i esa 0,5—0,8 m dan kam bo'lishi kerak emas.

Toza xonalarining havosida o'lchamlari 0,01 μm dan 0,1 μm gacha bo'lgan zarrachalar bo'ladi. Bu zarrachalar tozalovchi qurilmalarning oxirgi filtrlari tomonidan tutilmaydi va changlanganlikning



2.8- rasm.

Mikrozarrachali changlarning asosiy manbalari:

IX — ishlovchi xodimlar;
TJ — texnologik jarayon;
J — jihoz, aslaha, avtomatlashtirilish vositalari;
G — gazlar va kimyoviy vositalar; H — havoli muhit.

tahlilida nazorat qilinmaydi hamda ular binoda o'tirib qoladi va yig'iladi. Ularni yo'qotish uchun davriy ravishda namli tozalash kerak. Ba'zida chang sirtidan ko'tarilmasligi uchun unga 5% li glitserin qo'shiladi. Xonalarining pollarini, devorlarini va ship-larini namli tozalashda ishlatiladigan suvlar toza, yaxshi deionlashgan bo'lib, solishtirma qarshiligi 0,5 $\text{M}\Omega \cdot \text{sm}$ dan kichik bo'lmasligi kerak.

2.8- rasmda keltirilgan diagrammadan ko'rinib turibdiki, mikrozarrachali changlarning asosiy manbayi bu ishlovchi xodimlar ekan. Shu sababli, insonni robot bilan almashtiriladigan to'liq avtomatlashtirilgan liniyalar yaratilmaguncha xizmat qiluvchi xodimlar shaxsiy elektron gigiyenaga rioya qilishi shart.

Ishlovchi xodimlardan keladigan iflosliklarning manbayi asosan insonning terisi va kiyimi hisoblanadi. Shu sababli, toza xonalarda ishlar kam chang chiqaradigan materiallardan tayyorlangan maxsus kiyimlarda bajariladi.



Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning xususiyatlari va texnologiya progressivligining kriteriyalari

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning xususiyatlari.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning ba'zi bir xususiyatlari oldingi bandda ko'rib o'tilgan edi. Bular ishlov beriladigan obyektlarning kichik o'lchamliligi va elektron texnika mahsulotlarida hosil qilinadigan elementlarning juda kichik o'lchamliligi; yarimo'tkazgichli plastina, kristallar, dielektrikli tagliklar, platalarning mexanik mustahkamligining kichikligi; ishlov beriladigan obyektlarning havoli, gazli, suyuqli muhitlar iflosliklariga hamda operatsiyalarni bajarish sharoitiga o'ta sezgirligi. Bular texnologik ishlov va rejimlarning yuqori aniqligini va barqarorligini talab qiladi hamda ishlab chiqarish binolarida mikro-iqlimga va tozalikka, texnologik muhit, aslahalar va shu kabilarning tozaligiga yuqori talablar belgilaydi. Mikronli va submikronli obyektlar bilan manipulyatsiya qilishning murakkabligi qo'l mehnatini avtomatlashgan va avtomat mehnat bilan almashtirishni taqozo qiladi.

Qo'shimcha ravishda elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning yana bir qator asosiy xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasi nihoyatda katta odimlar bilan rivojlanmoqda. Bu mahsulotlar texnologiyasining mukammallashayotganligi, ular qo'llanilayotgan sohalarining borgan sari kengayotganligi, ishlab chiqarish hajmining o'sib borayotganligi, ko'plab boshqa sohalar bilan o'zaro bog'lanib borayotganligi va mikroelektronikaning xalq xo'jaligining amalda hamma sohalariga va inson faoliyatining hamma tomonlariga ta'siri, umuman olganda fan-texnik va ijtimoiy taraqqiyotning tezlashuvi bilan tushintiriladi. Mikroelektronika fan-texnik taraqqiyotning «katalizatori» deb ataldi, endi esa uni ijtimoiy taraqqiyotning «katalizatori» deb ham atash mumkin.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda fan va texnikaga ma'lum bo'lgan ko'pgina hodisalar va jarayonlar qo'llaniladi: bug'lanish, sublimasiya, moddaning changlanishi, erish, kristallanish, kondensatsiya, polimerlanish, diffuziya, interferensiya, yorug'likning qutblanishi va shu kabilar; termik, elektron, ion, lazer nurlari bilan

ishlov berish, kavsharlash, payvandlash, presslash, abrazivli ishlov berish, fotokimyoviy ishlov berish va shu kabilar. Sifatning nazorati radioelektron apparatura, rentgentelevizor, elektronli, lazerli mikroskop qo'llanilib bajariladi.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasi jarayonlarida xilma-xil: ixtiyoriy agregat holatli; noorganik va organik; o'tkazgichli, yarimo'tkazgichli, dielektrikli; monokristalli, polikristalli, amorfli, kombinatsiyali materiallar qo'llaniladi. Bularning ko'pchiligi materiallarning maxsus «yarimo'tkazgichli ishlab chiqarish uchun» sinfiga kiradi va o'ta yuqori tozalik talablarini qanoatlantirishi kerak. Qo'llanilayotgan har xil materiallar orasida zaharli, portlashga xavfli, oson alangalanadigan moddalar ham bo'ladi. Bu esa mehnat va atrof muhit muhofazasi qoidalariga, yong'in xavfsizligiga qat'iy rioya qilishni talab qiladi.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasi katta miqdordagi operatsiyalardan va katta hajmdagi guruhli ishlov berishlardan tashkil topadi. Shu sababli rejimlarning ozgina buzilishi yoki chetga og'ishi katta foizli brakka yoki hamma partiyaning brak bo'lishiga olib keladi.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning ko'pgina texnologik jarayonlari boshqarishning nisbatan murakkabligi bilan farq qiladi, chunki hosil qilinayotgan elementlarning parametrlariga bir vaqtning o'zida ko'plab, ba'zi birlarini esa hisobga olish qiyin bo'lgan omillar ta'sir qiladi.

Texnologik jarayon progressivligining kriteriyalari. Progressiv texnologiya mahsulot sifatining doimo yaxshilanishini hamda uzluksiz ravishda mehnat sharoitining yaxshilanishi va atrof muhitga zararli ta'sirining kamaytirilishi bilan ishlab chiqarishning yuqori iqtisodiy samaradorligini ta'minlaydi. Ishlab chiqarishning bu asosiy kriteriyalari (mezoni) o'zaro bog'langan quyida keltirilgan asosiy bir qator kriteriyalar bilan aniqlanadi.

Qo'llanilayotgan texnologik usullar va jarayonlarning universalligi ular yordamida katta miqdordagi har xil ishlov berishlar bajarish mumkinligi va xilma xil buyumlar hosil qilishda ifodalanadi. Masalan, litografiya yordamida hamma guruhdagi mikrosxemalar topologiyasini shakllantirish hamda erkin niqoblar, shablonlar, chiqish ramkalari, tasmalar va shu kabilarni tayyorlash mumkin.

Standartlik esa qo'llanilayotgan materiallar va konstruksiyalarning (plastina, kristallar, tagliklar, platalar, korpus detallari, aslahalar va shu kabilar) standartligidir.

Texnologik jarayonlarning moslanuvchanligi — oson va tezlik bilan o'zgartira olishlik (*gibkost*) birlamchi uchta kriteriyaning yuqori ko'rsatkichlarida amalga oshadi va uncha katta bo'lmagan kapital xarajatlarsiz yangi mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun tezlik bilan qayta qurishni amalga oshirish imkoniyatini beradi. Bunday texnologiyaga epitaksial-planar texnologiya misol bo'lib, u asosida to'liq avtomatlashgan tizim yaratish mumkin bo'ladi.

Operatsiyalar sonining kamligi.

Operatsiyalar bajarilishining yuqori tezligi, texnologik jarayonga kiradi.

Uzluksizlik, bu texnologik jarayondagi bir qator texnologik operatsiyalarining guruhli ishlov berish bilan bir vaqtda bajarilishidir.

Qaytariluvchanlik, bu har bir operatsiya parametrlarining qaytariluvchanligi, ya'ni natijalarni ko'p marta qaytara olish qobiliyati va yaroqli mahsulotlar chiqishi foizining yuqoriligi.

Texnologiyaviylik, bu avtomatlashgan ishlab chiqarish talablariga javob beradigan yarimfabrikatlar konstruksiyalarning texnologiyaviyligi.

Formallashtirishlik, ya'ni texnologik operatsiyalarni matematik modellashtirish imkoniyati. Bu texnologik jarayonlarni EHM yordamida boshqarish uchun kerak.

Tejamkorlik — xomashyo, yoqilg'i, materiallarning kam sarflanishi, yaroqli mahsulotlarning yuqori foizli chiqishi.

Havfsizlik, bu ishlovchilar va atrof-muhit muhofazasini ta'minlash uchun havfsizlikdir.

Keltirilgan progressivlik kriteriyalarning ko'pchiligini vakuumda va gaz razryadi plazmasida yuz beradigan elektron va ion hodisalardan foydalanishga asoslangan jarayonlar qanoatlantiradi.



Plastina va tagliklarni tayyorlash hamda tozalash

III b o b



Umumiy ma'lumotlar

Plastina va tagliklarga qo'yiladigan talablar. Zamonaviy mikrosxemalar tayyorlash texnologiyasi, mikrosxemalar strukturasi tayyorlanadigan yarimo'tkazgichli plastinalar va tagliklarga o'ta yuqori talablar qo'yadi. Bu talablar yarimo'tkazgichning elektrofizik xarakteristikalariga, plastinaning geometrik o'lchamlariga va plastina sirtlarining sifatiga taalluqlidir.

Plastinaning elektrofizik xarakteristikalari va uning kristallografik yo'nalganligi berilgan xossalari mikrosxema hosil bo'lishini ta'minlashi kerak. Bundan kelib chiqqan holda loyihalash bosqichida kerakli kristallografik yo'nalish va yarimo'tkazgichli materialning rusumi tanlanadi hamda plastina tayyorlash jarayonida uning elektrofizik parametrlari va kristallografik yo'nalishi nazorat qilinadi.

Plastinaning geometrik parametrlari: diametri, qalinligi, asosiy va qo'shimcha rusumlovchi kesilmalarning uzunligi va joylashishi, tomonlarning noparallelligi (ponasimonlik), notekislik, egilganlik.

Plastinaning diametri yarimo'tkazgichli quymaning o'lchamlari bilan aniqlanadi. Eng ko'p tarqalgan yarimo'tkazgichlarning standart diametrlari 60, 76, 100, 150, 200 mm li bo'ladi. Katta diametrli plastinalarda mikrosxemalarning ko'p miqdordagi kristallarini tayyorlash mumkin. 3.1-jadvalda kristallar miqdorining kremniy plastinasi diametriga bog'liqligi keltirilgan.

3.1-jadval

Kristallning o'lchami, mm	Kristallning yuzasi, mm ²	Diametri 76 yoki 100 mm bo'lgan plastinadagi kristallar miqdori (qalinligi, μm)	
		76 (450)	100 (600)
1 × 1	1	4214	7598
2 × 2	4	1018	1846
4 × 4	16	236	434
6 × 6	36	95	184

Plastinaning qalinligi texnologik jarayonlarda manipulasiyalarda mexanik yuklanishlarga chidamlilik bilangina aniqlanmasdan, balki shaklni saqlay olishlik bilan ham aniqlanadi. Plastinaning diametri oshishi bilan uning qalinligi o'zgarmasdan qolsa, unda keyingi termik ishlov berishlarda chekka siniqlar ko'payadi. Shu sababli katta diametrli plastinalarning qalinligini oshirish kerak bo'ladi (3.2- jadval).

3.2- jadval

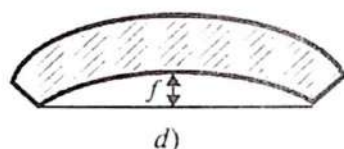
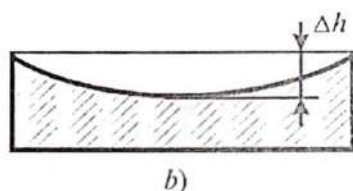
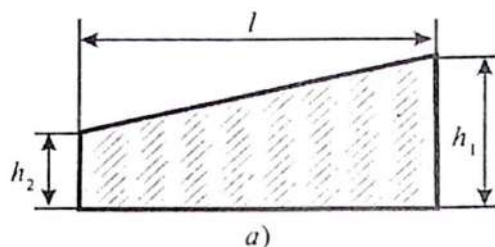
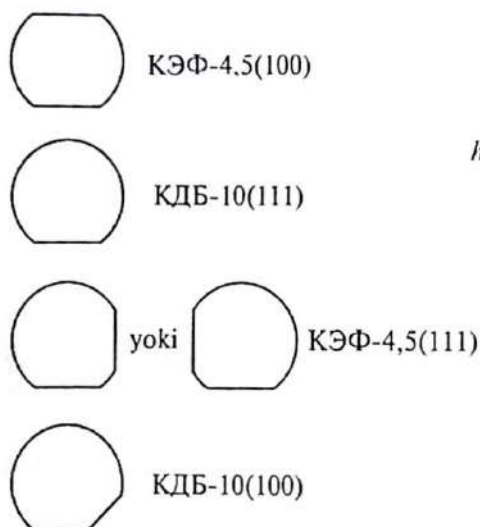
Diametr, mm	Nominal qalinlik, μm							
	Kremniy					Galliy arsenidi		
40	—	—	—	—	—	400	—	—
60	350	—	—	—	—	520	560	600
76	380	420	450	500	—	670	710	750
100	460	500	560	580	600	1000	—	—
150	700	—	—	—	—	—	—	—
200	900	—	—	—	—	—	—	—

Bu esa plastinaning birlik yuzasining qimmatlashishiga sabab bo'ladi.

Asosli kesilma. Tekisligining kristallagrafik yo'nalishi (oriyentatsiyasi) (111) bo'lgan kremniy plastinalarida asosiy kesilma [110], [011], [101] yo'nalishlarda, oriyentatsiyasi (100) bo'lgan plastinalarda [011] yo'nalishda bajariladi. Diametri 100 mm bo'lgan kremniy plastinalarida asosiy kesilma uzunligi 30–35 mm ni tashkil qiladi. Kesilmalar litografik ishlov berishda qurilmaga plastinani oriyentirlangan holatda o'rnatishda kerak bo'ladi. Plastinalarda mikrosxema strukturalari shunday shakllantiriladiki, bunda kristallning bir tomoni asosiy kesilmaga parallel bo'lishi kerak.

Qo'shimcha kesilmalar rusumlovchi ham deyilib, ular yordamida yarimo'tkazgichli materialning rusumini va kristallografik oriyentatsiyasini aniqlash mumkin (3.1- rasm). Kremniy uchun bu kesilmalar asosli kesilmaga 45, 90 va 180° burchak ostida bajariladi. Diametri 100 mm li plastinalar uchun bu kesilmalarning uzunligi 16–20 mm atrofida bo'ladi.

Plastina chekkasining (faskasining) profili to'g'ri burchakli emas, balki doirasimon bo'lishi shart. Bu texnologik jarayonlarning keyingi operatsiyalarida plastina chekkasida yoriqlar va siniqlar hosil bo'lish ehtimolini kamaytiradi. Bundan tashqari doirasimon chekkali plastinalarda epitaksial o'stirilgan yarimo'tkazgichli qatlamlarning va litografiyaning sifati yaxshilanadi.



3.1- rasm. Har xil rusumli va kristallografik oriyentirlangan kremniy plastinasidagi asosiy va qo'shimcha kesilmalar.

3.2- rasm. Tagliklarning aniq shaklidan chetlanishi:
a) tomonlarning noparallelligi – ponasimonlik; b) notekislik; d) egilganlik.

Tomonlarning noparallelligi (ponasimonligi) berilgan l uzunlikda qalinliklarning ayirmasi $h_1 - h_2$ bilan xarakterlanadi (3.2- a rasm).

Notekislik Δh – real sirdan ideal tekis sirtgacha bo'lgan eng katta masofa (3.2- b rasm).

Egilganlik – radial qirqimda real profildagi nuqtadan mos tekis sirtga yondashgan profilgacha bo'lgan eng katta masofa (3.2- d rasm).

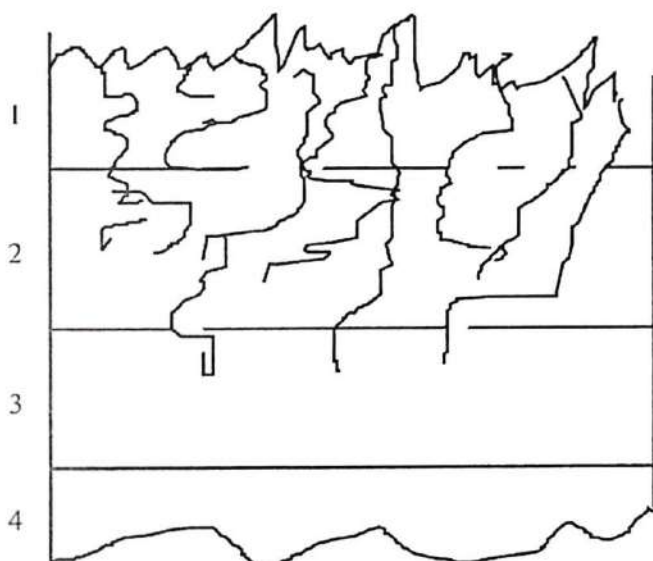
Plastina sirtining sifati: mexanik buzilgan qatlamning chuqurligi, g'adir-budurlik va iflosliklardan tozalanganlik sifati bilan xarakterlanadi.

Mexanik buzilgan qatlam uch qismdan tashkil topadi (3.3- rasm).

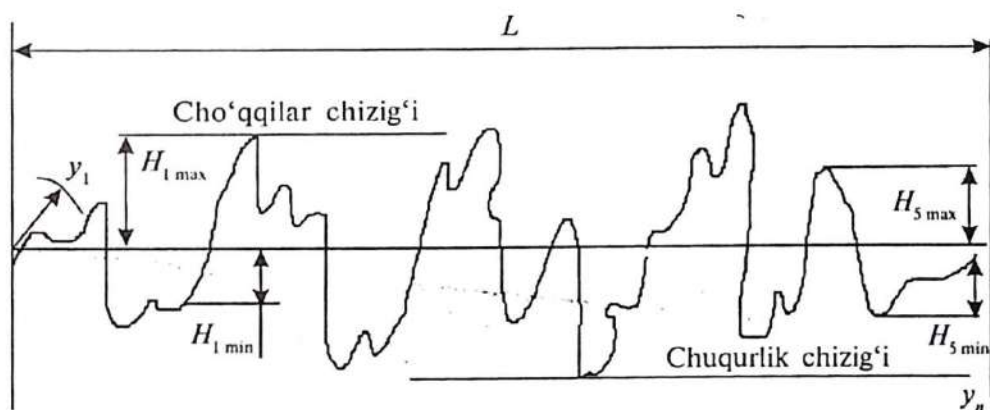
Birinchi qism tashqi relefli qatlam bo'lib, bu qatlam xaotik joylashgan uchliklar, chuqurliklar, yoriqlardan iborat.

Ikkinchi qism yoriqli qatlam bo'lib, bu qatlam yakka holdagi darzliklar va ichki tomonga ketgan yoriqlardan iborat.

Uchinchi qism deformatsiyalangan qatlam bo'lib, dislokasiyalarning to'plami, mikroyoriqlarning davomi va ular atrofida joylashgan mexanik kuchlanishlardan iborat.



3.3- rasm. Plastina sirtining mexanik buzilgan qatlami:
1 – relef qatlam; 2 – yoriqli qatlam; 3 – deformatsiyalangan qatlam;
4 – plastinaning buzilmagan qatlami.



3.4- rasm. Taglikning g'adir-budurli sirtining profili.

Buzilgan qatlam qalinligi abraziv donasining o'lchamlariga proporsional bo'ladi va quyidagi formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$F = k\delta, \quad (3.1)$$

bu yerda kremniy uchun $k = 1,7$; germaniy uchun $k = 2,2$; δ – abraziv donining o'lchami.

G'adir-budurlik (3.4- rasm) profil R_a ning o'rtacha arifmetik og'ishi, ya'ni L asos uzunligi chegarasidagi profil og'ishlari absolut qiymatlarining o'rtacha arifmetigi bilan baholanishi mumkin:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.2)$$

yoki R_z profil notekisligining taxminan o'n nuqtadagi o'rtacha balandligi bilan baholanishi mumkin:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 H_{i \max} - \sum_{i=1}^5 H_{i \min} \right). \quad (3.3)$$

R_a va R_z parametrlarning qiymatlariga bog'liq holda ishlov berilgan sirtning sifati mos holda g'adir-budurlik sinfi bilan baholanadi. Plastinalar sirtining silliqdori 13–14 sinflardan past bo'lishi kerak emas. Bu balandliklari mos holda 0,1 dan 0,025 μm gacha bo'lgan mikro-notekisliklarga to'g'ri keladi.

Plastinalarni tozalash sifati quyidagicha baholanadi: sirt bilan mexanik va kimyoviy bog'langan iflosliklarning borligi bilan; plastina sirtining birlik yuzasiga to'g'ri keladigan adsorbsiyalangan kirishma atomlari va ionlari miqdori bilan yoki adsorbsiyalangan kirishma molekullari monoqatlamlarining soni bilan. Plastinalarni kirishmalar adsorbsiyasidan to'liq himoya qilishning iloji yo'qligi sababli ideal toza sirtlar olib bo'lmaydi. Toza sirt deganda shunday texnologik toza sirt tushuniladiki, unda qolgan kirishmalarning konsentratsiyasi mikrosxemalarning berilgan qiymatli parametrlarining qaytalanishiga va ularning stabiligiga ta'sir qilmasligi kerak.

Gibrid va plyonkali mikrosxemalarning tagliklari elementlarning tarkibiy qismi bo'lib hisoblanmaydi, ular asosning plyonkali va osma elementlarini ushlab turuvchi konstruktsiya vazifasini bajaradi hamda elementlar va elementlararo birikmalarda elektr izolatsiyasi sifatida ham xizmat qiladi. Ular birinchi navbatda yaxshi izolatsiya va mexanik hossalarga ega bo'lishlari kerak.

Tagliklar yuqori solishtirma qarshilikli, dielektrik kirituvchanligi va dielektrik yo'qotishning tangens burchagi kichik, elektr va mexanik mustahkamligi yuqori bo'lgan dielektrik materiallardan tayyorlanadi. Elementlardan issiqlik uzatish samarali bo'lishi uchun taglikning materiali yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi kerak.

Taglikning materiali mikrosxemalarning strukturasi tayyorlashda kerak bo'ladigan texnologik ishlovlarga chidamli bo'lishi, texnologik jarayonning o'tkazilish sifatiga yomon ta'sir qilmasligi (vakuumda plyonka o'tqazishda gaz chiqarmasligi, struktura topologiyasini shakllantirishda qo'llaniladigan yemirgichlarga inert bo'lishi, issiqlikka chidamli bo'lishi va boshqalar) kerak.

Bu talablarning hammasini qanoatlantiradigan ideal material yo'q. Asosiy talablarga ko'proq javob bera oladigan taglik materiallariga sapfir, shisha, sitall, keramika, polikor, poliimidlar misol bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli va dielektrik materiallarga mexanik ishlov berish. Yarimo'tkazgichli materiallar va monokristall dielektrik sapfir mexanik ishlov beriluvchi uchastkaga quyma ko'rinishida keladi; amorf va boshqa dielektrik materiallar (shisha, sitall, polikor, keramika) list holida keladi.

Plastina va tagliklarni tayyorlashda mexanik ishlov berish abrazivlar yordamida bajariladi.

Sintetik abraziv materiallar. Mikrosxemalar ishlab chiqarishda foydalaniladigan sintetik abraziv materiallarga: olmos, kremniy karbidi, elektrokorund, kremniy, xrom, sirkoniy, seolit oksidlari misol bo'ladi.

Abraziv materiallar kukun holatda ishlatiladi. Abraziv kukunlar donalarining o'lchamlariga bog'liq holda to'rtta guruhga bo'linadi: shlifdonali, shlifkukunli, mikrokukunli va o'ta mayda kukunli. IMS ishlab chiqarishda oxirgi uchtasidan foydalaniladi.

Abraziv yoki olmosli kukunlarni belgilashda materialning markasi va donadorligining tartib raqami hisobga olinadi. Masalan, ЭБМ14 belgisi — elektrokorund oq, asosiy fraksiyadagi donalarining o'lchami 14 μm dan 10 μm gacha bo'lgan mikrokukun ekanligini, АСМ10/7 belgisi — olmos sintetik, asosiy fraksiyadagi donalarining o'lchamlari 10 μm dan 7 μm gacha ekanligini bildiradi.

Abraziv ishlov berishning mohiyati qattiqroq va mo'rtligi kamroq abrazivning qattiqligi kamroq va mo'rtligi ko'proq materialga mexanik ta'siridir. Abraziv kukunlar erkin va bog'langan holatlarda ishlatiladi.

Erkin abrazivlar yordamida ishlov berish abraziv kukunlarning suspenziyasi yoki pastasidan foydalanib kesuvchi disk, polotnolar, jilvirlovchi doirachalar yordamida bajariladi. Bunda ularning katta tezlikli harakati natijasida abraziv donalariga energiya beriladi. Katta energiyali abraziv zarrachalari ishlov berilayotgan material sirtiga urilib lokal mikroyemirish hosil qiladi. Ushalgan zarrachalar ishlov berilayotgan zonadan suspenziyaning suyuq qismi bilan olib ketiladi

Bog'langan abrazivlar bilan ishlov berish ishchi qismi maxsus bog'lovchi yordamida birlashtirilgan abraziv donachali (asosan olmos donalari) uskunalar (disk, doira) bilan bajariladi. Ishlov berilayotgan materialdagi ajralayotgan zarrachalarni olib ketishda maxsus moylovchi-sovituvchi suyuqliklar (MSS) qo'llaniladi. MSS lar suvdan, sirt-aktiv moddadan (SAM), moylovchi moddadan va jihoz detallarining korroziyasini sekinlatgichlardan tashkil topadi.

Tagliklar va plastinalar sirtidagi iflosliklar, ulardan tozalash usullari. Plastina (taglik) sirtidagi atomlar hajmidagi atomlarga nisbatan kimyoviy bog'lanishlari to'yinmagan bo'ladi. Shu sababli ifloslanishga olib keladigan sirtning adsorbsiyali qobiliyati yuqori bo'ladi. Ifloslantiruvchi modda bilan sirtning bog'lanish turiga binoan fizik va kimyoviy adsorbsiyalar farqlanadi.

Fizik adsorbsiya molekulalararo (Van-der-Vaals kuchlari) va elektrostatik kulon o'zaro ta'sirlashuvlar natijasidir. Adsorbsiyalangan zarrachalar issiqlik harakati natijasida bog'lanish kuchlarini yengishi va sirtidan uzulib chiqib ketishi (desorbsiya) mumkin, ya'ni fizik adsorbsiya qaytuvchan jarayondir. Fizik adsorbsiyalangan iflosliklar bir nechta qatlam bo'lib sirtida joylashadi va toza eritgich, vakuumda kuydirish (bug'lantirish) yordamida osongina ketkaziladi.

Kimyoviy adsorbsiya qaytmas jarayon, chunki iflosliklar bilan sirt orasida mustahkam kimyoviy bog'lanishlar hosil bo'ladi. Bu iflosliklar bitta qatlam (monoqatlam) bo'lib joylashadi va ularni ketkazish ancha murakkabdir.

Iflosliklar manbai faqatgina operatorlar, ishlab chiqarish binolaridagi havo, aslaha, jihozlar bo'libgina qolmasdan, balki texnologik ishlov berishlar hamdir. Mana shu bilan tozalash operatsiyalarining ko'p karrali ekanligi tushuntiriladi. Har xil ishlov berishlarda iflosliklarning darajasi va tarkibi ham har xil bo'lib, har bir operatsiya o'tkazishdan oldin sirtning tozaligiga bo'lgan talab ham har xil bo'ladi.

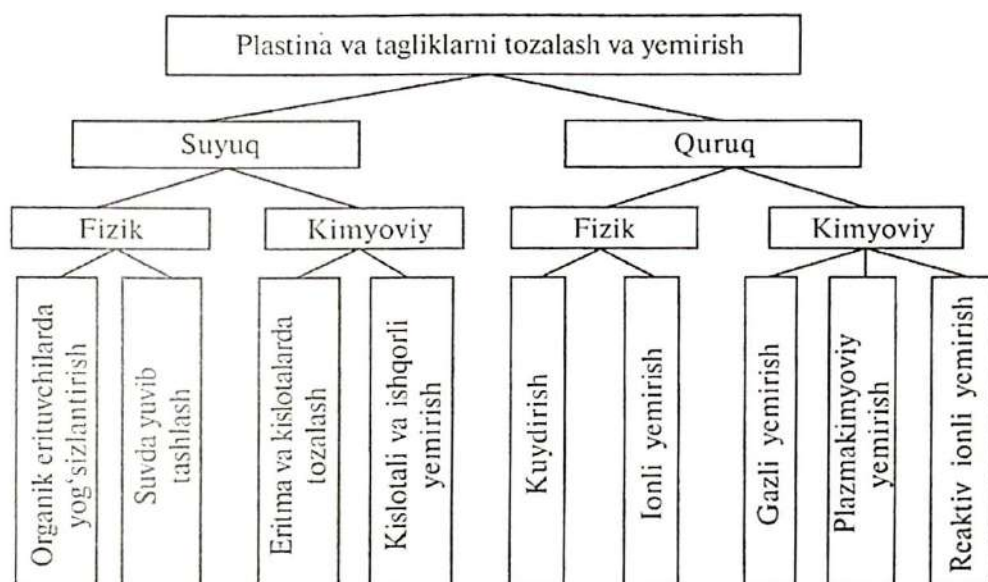
Plastina va taglik sirtida bir vaqtning o'zida ko'p turdagi iflosliklar mavjud bo'ladi. Bularni yo'qotish uchun har xil turdagi tozalash va yemirish usullaridan foydalaniladi. Bu usullarning tasnifi 3.5- rasmda keltirilgan.

Qo'llaniladigan vositalarga mos holda tozalash *suyuq* va *quruq tozalashga* bo'linadi.

Suyuq tozalash organik erituvchilardan hamda ishqorli, kislotali, peroksidli va boshqa reaktivli suvdan foydalanib o'tkaziladi. Taglik (plastina) sirtini bir xil tozalash uchun sirtni gidrofil holatga, ya'ni suv bilan yaxshi ho'llanadigan holatga o'tkazish kerak. Yog'li iflosliklarni ketkazish, ya'ni sirtni gidrofob holatdan (suv bilan yomon ho'llanadigan holat) gidrofil holatga o'tkazish operatsiyasi *yog'sizlantirish* deyiladi. Yog'sizlantirish suyuq tozalashda birinchi operatsiya hisoblanadi.

Umuman yarimo'tkazgichli tagliklarni yuvib tozalash ikki bosqichdan tashkil topadi:

- 1) organik eritgichlarda yog'sizlantirish (toluol, spirt);
- 2) o'ta toza suvda yuvish.



3.5- rasm. Plastina va tagliklarni tozalash va yemirish usullarining tasnifi.

Tagliklarni yog'sizlantirishda iflosliklar qutbsiz tabiatga ega bo'lsa, unda toluol, to'rt xlorli uglerod, freondan foydalaniladi. Agar iflosliklar qutbli bo'lsa, unda aseton, spirt, uch xlor etilenlardan foydalaniladi.

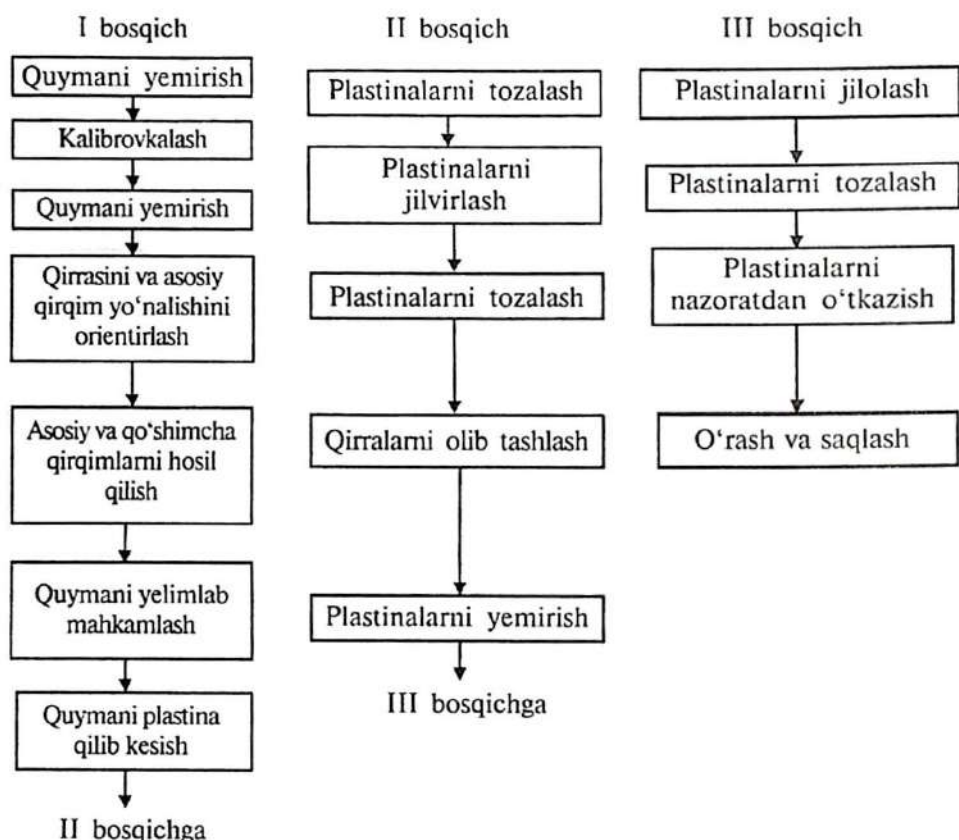
Quruq tozalash mikrosxemalarning elementlari va elementlararo bog'lanishlarni shakllantirish bosqichida qo'llaniladi va odatda eng mas'uliyatli texnologik jarayonlarni (yupqa qatlamni changlantirib hosil qilish, litografiya, termik oksidli qatlam, epitaksial qatlam kabilar) o'tkazishdan oldin bajariladi. Quruq tozalash usullari qimmatbaho, havfli va ekologiyaga salbiy ta'sir qiladigan suyuq reaktivlarsiz amalga oshiriladi. Bundan tashqari quruq tozalash jarayonlari oson boshqariladi va ularni avtomatlashtirish mumkin.

Tozalash jarayonlarining mexanizmi nuqtayi nazari bo'yicha hamma usullar shartli ravishda fizik va kimyoviy usullarga bo'linadi. Fizik usullarda iflosliklar oddiy eritish, kuydirish, sirtga katta energiyali inert gazlarining ionlari bilan ishlov berish bilan yo'qotiladi. Agar bu usullar yordam bermasa, unda kimyoviy usullardan foydalaniladi.



Plastina va tagliklarni tayyorlash marshrutlari

Kremniy plastinasini tayyorlash marshruti. Yarimo'tkazgichli plastinalarni tayyorlashning texnologik marshrutlari tayyorlanadigan mikrosxemalarning, qo'llanilayotgan yarimo'tkazgich hossalarning har xilligi tufayli bir biridan farq qilishi mumkin. 3.6- rasmda kremniy plastinasini tayyorlashning umumiy marshruti keltirilgan.



3.6- rasm. Kremniy plastinalarini tayyorlash umumiy marshrutining sxemasi.

Keltirilgan marshrutdagi operatsiyalarni sanab, bir nechtasining vazifasini ko'rsatib o'tamiz:

- Quymani yemirish uning sirtini tozalash va nuqsonlarni aniqlash uchun o'tkaziladi.
- Kalibrovka quymaga standart plastina diametriga teng bo'lgan silindr shaklini berish uchun bajariladi.
- Undan keyingi quymani yemirish kalibrovka jarayonida kristall strukturasi buzilgan qatlamini olib tashlash uchun o'tkaziladi.
- Quyma qirrasini oriyentatsiyalash quyma qirra tekisligining bosh kristallografik tekislikdan oriyentatsiya buzilishini (og'ish burchagini) aniqlash uchun o'tkaziladi. Mana shunga asosan quymani plastinalarga kesishdan oldin u kesuvchi asboba nisbatan og'ish burchagini hisobga olgan holda stanokka mahkamlanadi.
- Asosiy qirqim yo'nalishini oriyentatsiyalash. Asosiy qirqim texnologik qurilmalarda plastinalarni bir xil oriyentatsiyalash uchun kerak bo'ladi.

- Qo'shimcha qirqimlar plastinalarning aralashib ketganida bir-biridan ajratish (sortirovka qilish) uchun kerak bo'ladi.

- Kesish uchun stanokka quymani elimlab mahkamlash.

- Quymani plastinalar qilib kesish.

- Oldingi operatsiyalarda hosil bo'lgan iflosliklarni yo'qotish uchun plastinalarni tozalash.

- Plastinalarni jilvirlash uning qalinligini bir xil qilish, plastina tomonlarining tekisligini va parallelligini yaxshilash, sirdagi g'adir-budirliklarni kamaytirish uchun o'tkaziladi.

- Plastina iflosliklardan tozalanadi.

- Plastina sirtining chekkasidagi faskalar olib tashlanadi. Bu strukturalarni shakllantirishning yuqori temperaturali jarayonlarida dislokatsiya va mexanik kuchlanishlarning hosil bo'lish ehtimolligini kamaytiradi, ya'ni nuqsonlar zichligi kamayib yaroqli plastinalar chiqish foyizi oshadi.

- Mexanik buzilgan sirt qatlamini olib tashlash uchun plastinalarni yemirish va ularni tozalash.

- Plastinalarni jilolash. Bu jilvirlash va faskani olib tashlashdan keyin sirtga ishlov berishning sifatini va aniqligini yaxshilash, oynasimon tekis, silliqlik sinfi 14 va undan yuqori bo'lgan sirt hosil qilish uchun o'tkaziladi.

- Plastina sirtini tozalash va quritish.

- Plastinalarning geometrik, elektrofizik parametrlari va sirt sifatining belgilangan me'yorlarga mos kelishini nazorat qilish.

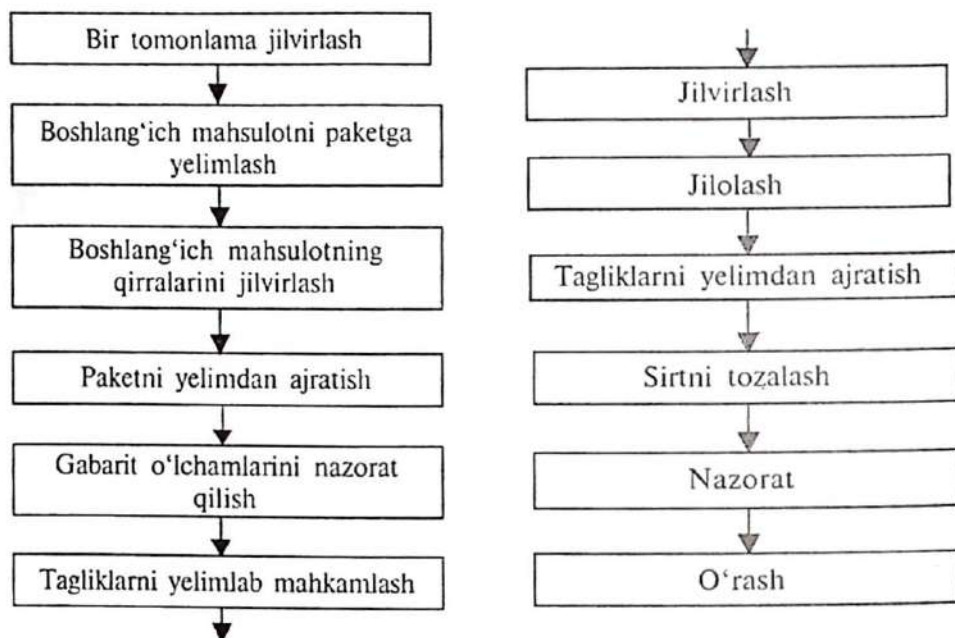
- Plastinalarni saqlash va mikrosxemalar strukturasi tayyorlaydigan sexlarga tashish uchun o'rash.

3.6- rasmdan ko'rinib turibdiki, kremniyli plastinalarni tayyorlashning hamma marshruti uchta bosqichdan tashkil topar ekan: *birinchi bosqich* — quymani mexanik ishlovga tayyorlash va uni plastinalarga kesish; *ikkinchi bosqich* — plastinalarga boshlang'ich ishlov berish (jilvirlash va faskalarni olib tashlash); *uchinchi bosqich* — plastinalarga oxirgi ishlov berish (jilolash). Bu bosqichlarning har biri plastinalarning nazorati bilan yakunlanadi.

Shisha, sitall va keramikali tagliklarni tayyorlash marshrutlari.

Bu materiallarning hammasi strukturaviy tuzilishiga binoan kristallografik oriyentatsiya talab qilmaydi. Bundan tashqari ularning asosan list holatida tayyorlanishi sababli ulardan taglik tayyorlash jarayonlari ancha soddalashadi.

Misol tariqasida 3.7- rasmda sitalldan tagliklar tayyorlash marshruti sxemasi keltirilgan.



3.7- rasm. Sitalli tagliklarni tayyorlash umumiy marshruti sxemasi.



Quymalarni tayyorlash va plastina qilib kesish

Quymalarni plastina qilib kesishga tayyorlash. Quymalar o'stirilgandan so'ng uning o'stirmali va dumli qismlari kesib tashlanadi hamda elektrofizik parametrlari belgilangan meyorga mos kelmaydigan yoki ruxsat etilmagan nuqsonlari bo'lgan qismlari ham olib tashlanadi. Quymaning diametri odatda standart plastinalarning diametridan katta bo'ladi, chunki jihoz kerakli chetga og'ishni ta'minlay olmaydi. Quymalarning shakli ham silindrdan farq qiladi hamda o'stirilgan quymaning sirtida to'liqsimon, konussimon notekisliklar mavjud bo'lishi mumkin.

Kalibrovkalash quyma sirti bo'ylab jilvirlovchi doira bilan jilvirlash (doirasimon jilvirlash) orqali amalga oshiriladi. Kalibrovkalashdan oldin quymaning chekkalariga markazlashtiruvchi moslagich yordamida o'qlari quymaning geometrik o'qi bilan mos tushuvchi markazlar elimlanadi. Mana shu markazlar yordamida quyma doirasimon jilvirlovchi stanokka mahkamlanadi.

Kalibrovkalash rejimi: jilvirlovchi doiraning aylanish chastotasi (2500 ± 500) ayl/min; quymaning aylanish chastotasi (350 ± 50) ayl/min; jilvirlovchi doiraning bo'ylama tezligi 2–4 m/min, ko'ndalang tezligi har bir ikkilangan yurish uchun 0,005–0,2 mm.

Kalibrovkalashdan so'ng markazlar ajratib olinadi, quymaning chekkalari quymaning geometrik o'qiga o'ta perpendikular holatda jilvirlab tashlanadi hamda quymadagi mexanik buzilgan qatlam va iflosliklarni olib tashlash uchun yemirgich yordamida emiriladi.

Quyma chekkalari va asosli qirqimlarning kristallografik oriyentatsiyalanganligining nazorati rentgen yoki optik usullar yordamida bajariladi.

Oriyentatsiyalashning rentgen usulidagi aniqlik $\pm(2-6)'$, optik usulda $\pm(15-30)'$ ni tashkil qiladi.

Berilgan kristallografik tekislikdan quyma chekkasining oriyentatsiyadan chetga og'ganlik burchagi topilgandan so'ng va asosli qirqim yo'nalishi aniqlangandan keyin quyma chekkasiga asosli qirqim yo'nalishini hamda berilgan tekislik qay tomonga og'ganini ko'rsatuvchi strelka qo'yiladi.

Asosli va qo'shimcha qirqimlar tekis jilvirlovchi stanokda olmosli doira yordamida quymaning hosil qiluvchisi bo'ylab jilvirlash bilan hosil qilinadi. Buning uchun quyma maxsus qirgichlarga mahkamlanadi. Asosli qirqim hosil qilingandan so'ng quyma qisqichlarda aylantiriladi, mahkamlanadi va yordamchi qirqim jilvirlanadi.

Jilvirlashdan so'ng quymaning qirqimlari yemiriladi.

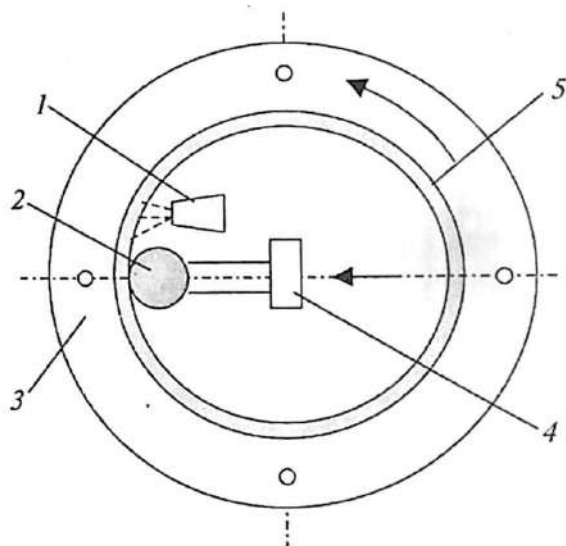
Quymani plastinalarga kesish. Mexanik qayta ishlov berishning birinchi bosqichi bo'lgan bu jarayonda monokristall quyma qalinligi 250–600 μm , tomonlari parallel bo'lgan plastinalarga bo'linadi. Yarimo'tkazgichli materiallarga mexanik qayta ishlov berishda ularning o'ta mo'rtligi sababli tokarlik, frezerlik, yo'nuvchi yoki burg'ulab teshuvchi stanoklardan foydalanib bo'lmaydi. Shu sababli mexanik qayta ishlov berishda bog'langan holatdagi (olmosli disk va jilvirlagichlar) va erkin holatdagi (abrazivli suspenziya va olmosli pastalar) abrazivlardan foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli quymalarni plastina qilib kesishda asosan ikki usuldan foydalaniladi:

1. Ichki qirrasini olmosli kesuvchi disk bilan kesish.
2. Abrazivdan foydalanib metall sim qirgich bilan kesish.

Birinchi usuldan ishlab chiqarish korxonalarida keng foydalaniladi. Bu usul boshqa usullarga qaraganda plastinaning yaxshi sifatini va katta mahsuldorlikni ta'minlaydi.

Ikkinchi usul bilan esa laboratoriya sharoitida foydalaniladi.



3.8- rasm. Ichki olmosli kesuvchi disk bilan kesish jarayoni sxemasi:

1 – sovituvchi suyuqlik berib turuvchi qurilma; 2 – quyma; 3 – diskning asosi; 4 – quyma mahkamlanadigan ushlagich; 5 – diskning kesuvchi olmosli qirrasi.

Ichki qirrasi olmosli kesuvchi disk bilan kesishning mohiyati quyidagicha (3.8- rasm). Stanokning shpindeliga olmosli disk mahsus boltlar yordamida mahkamlanadi. Shpindel kovagining ichiga yarim-o'tkazgichli quyma yelimlangan ushlagich joylashtiriladi. Stanok ishga tushirilganda olmos disk mahkamlangan shpindel aylana boshlaydi. Quymali ushlagich gorizontal yoki vertikal yo'nalishda olmosli diskka tomon harakatlantiriladi va unga sekin asta tekkiziladi. Tekkizilgan joyga sovituvchi suyuqlik uzluksiz ravishda berib turiladi va shu bilan kesish jarayoni boshlanadi.

Kremniy quymasini kesishda quyidagi rejim taklif qilinadi: diskning aylanish chastotasi 4000–5000 ayl/min, quymani uzatib turish tezligi – 30–60 mm/min, sovituvchi suyuqlik 3 l/min atrofida berib turiladi.

Bu usulning ustunligi quyidagicha: kesish tezligi yuqori (40 mm/min gacha), yaxshi sifatli ishlov berilgan sirt (silliqlikning 8- sinfi), plastinaning qalinligi bo'yicha kam farqlanishi ($\pm 20 \mu\text{m}$), chiqindining kamligi.

Plastinalar nazoratdan so'ng jilvirlashga beriladi.

Yarimo o'tkazgichli plastinalarni elementlarga (kristallchalarga) ajratib kesish. Plastinani mayda kristallarga, ya'ni elementlarga ajratish texnologik siklning oxirida, yig'ish operatsiyasidan oldin amalga oshiriladi. Kristallchalarga ajratish uchun kesishning quyidagi usullaridan foydalaniladi:

1. Tashqi qirrasi olmoslangan disk bilan kesish.
2. Metall sim bilan (abraziv yordamida) kesish.
3. Olmosli metall polotno yordamida kesish.
4. Abraziv yordamida metall polotno bilan kesish.
5. Ultratovushli qurilmadan foydalanib kesish.
6. Olmos bilan chizib kesish.
7. Elektron nur yordamida chizib kesish.
8. Lazer nur yordamida chizib kesish.

Bu usullardan eng ko'p qo'llaniladigani olmos bilan chizib kesish bo'lib, uning yordamida plastina kvadrat va to'g'ri to'rtburchak shakldagi kristallchalarga bo'linadi.

Doira yoki murakkab geometrik shaklli elementlarni hosil qilishda plastina ultratovushli qurilmadan foydalanib kesiladi.



Plastinalarni jilvirlash, faskani olib tashlash va jilolash

Kremniy plastinalarini jilvirlash. Kesish jarayonidan keyin plastinaning sirtida 100 μm atrofida mexanik buzilgan qatlam hosil bo'ladi (3.3- rasm). Buzilgan qatlam jilvirlash jarayonida olib tashlanadi. Bunda cho'yan, shisha, po'lat, mis yoki latundan qilingan jilvirllovchi disklardan foydalaniladi. Jilvirlash uchun donalari M14 dan M5 gacha bo'lgan abraziv mikrokukundan foydalaniladi.

Jilvirlash natijasida tozaligi 9–12- sinfdagi sirt hosil qilinadi. Texnologiyaning turiga qarab jilvirlash boshlang'ich va yakuniy, konstruktiv belgi bo'yicha bir tomonlama va ikki tomonlama jilvirlashga bo'linadi. Boshlang'ich jilvirlashda M14–M10, yakuniy jilvirlashda M7–M5 mikrokukunidan foydalaniladi.

Erkin abraziv bilan ikki tomonli jilvirlash jarayoni. Sanoat ishlab chiqarishida ko'pincha kremniy plastinalariga unumdorligi yuqori bo'lgan erkin abraziv bilan ikki tomonli jilvirlash usuli qo'llaniladi. Erkin abraziv yordamida ikki tomonli jilvirlash jarayoni maxsus stanoklarda, masalan CДШ-150 da bajariladi.

Ikki tomonli jilvirlashda donadorligi M14 dan M5 gacha bo'lgan yashil kremniy karbidi yoki oq elektrokorundi mikrokukunlarining suvli va glitserinli suspenziyasidan foydalaniladi. Bunda qattiq va suyuq komponentalarning nisbati $Q : S = 1 : 3$ ga teng bo'lishi kerak. Yuqorida aytib o'tganimizdek jilvirlash jarayoni bir necha bosqichda, sekin-asta mikrokukunlarning donadorligini kamaytirib borish bilan o'tkaziladi.

Jilvirlash jarayonidan so'ng plastinalar iflosliklardan tozalanadi va nazorat qilinadi.

Faskalarni olib tashlash. Plastinalarning yon sirtlaridan faskalar abrazivli ishlov berish yoki kimyoviy yemirish bilan olib tashlanadi.

Faskalar olib tashlangandan so'ng plastinalar tozalanadi, yemiriladi va faskalar profili nazorat qilinadi.

Yarimo'tkazgichli plastinalarni jilolash. Jilolash jarayoni jilvirlash jarayonidan abrazivning turi va o'lchami hamda jilolagichning materiali bilan farq qiladi. Bunda qattiq tekis jilvirlovchi disklar yumshoq materiallar: zamsh, batist, jun, shoyi kabi materiallar bilan qoplanadi. Jilolash jarayoni bir necha bosqichda o'tkaziladi. Bunda sekin-astalik bilan dona o'lchami va abraziv qattiqligi kamaytirib boriladi va ohirgi bosqichda umuman abrazivdan foydalanilmaydi.

Boshlang'ich va oraliq mexanik jilolashda abraziv sifatida o'lchami 3 μm dan 1 μm gacha bo'lgan mikrokukunlar: sintetik olmos, aluminiy va xrom oksidi suspenziyasi va pastalaridan foydalaniladi.

Mexanik jilolash uch bosqichda amalga oshiriladi.

1. *Boshlang'ich jilolash.* Bunda plastinalar batist materiallarga surkalgan ACM3 olmos kukuni va bir necha tomchi yog' yordamida jilolanadi.

2. *Oraliq jilolash.* Bunda material almashtiriladi va ACM1 kukunidan foydalaniladi.

3. *Yakuniy nozik jilolash.* Bunda asosan batist materiali va donalarining o'lchami 1 μm dan kichik bo'lgan xrom, aluminiy, kremniy, sirkoniy oksidlaridan foydalaniladi.

Jilolashdan so'ng sirt tozaligi 13–14- sinfga mos kelishi kerak.

Jilolashning yangi zamonaviy usuliga kimyoviy-mexanik jilolash usuli misol bo'ladi. Bunda odatdagi abrazivli mexanik ta'sirdan tashqari ishlov berilayotgan sirtga kimyoviy ta'sir o'tkaziladi. Jilolovchi tarkib — suspenziya, qurum, kremniy, sirkoniy, aluminiy oksidlarining submikronli kukunlari ishqor asosida tayyorlanadi. Jarayon davomida kremniy ishqor bilan kimyoviy ta'sirlashadi. Shundan so'ng hosil bo'lgan birikma abraziv zarrachalar yordamida parchalanadi. Bunday jilolashdan so'ng plastinaning sirtida tirnalgan izlar hosil bo'lmaydi va mexanik buzilgan qatlamning chuqurligi 1 μm dan oshmaydi. Agar kimyoviy-mexanik jilolash abraziv ta'sirisiz o'tkazilsa, bunday jilolash kimyoviy-dinamik jilolash ham deyiladi.

Shundan so'ng plastinalar suspenziyadan gliserinli distirlangan suv yordamida yuvib tozalanadi va sirtini tozalash, sifat nazorati va o'rash operatsiyalariga uzatiladi.



Fizikaviy tozalash. Tozalashda birinchi navbatda sirt bilan organik va kimyoviy bog'langan molekular iflosliklar, undan keyin esa qoldiq ionli va atomar iflosliklar yo'qotiladi. Fizikaviy suyuqli tozalashda sirtning tarkibi o'zgarmagan holda unga adsorbsiyalangan iflosliklar desorbsiyalanadi, ya'ni kimyoviy reaksiyasiz oddiy eritish yo'li bilan tozalanadi.

Organik erituvchilarda yog'sizlantirish (yuqib tashlash) (toluolda, to'rtxlorli uglerodda, dixloretanda, etil, metil va izopropil kabi spirtlarda) plastina va taglik sirtlaridan hayvon va o'simlik tabiatli yog'larni, mineral moylarni, mumni, parafinni va boshqa organik va mexanik iflosliklarni olib tashlash uchun qo'llaniladi.

Yog'sizlantiruvchi tarkibni tanlashda ko'pchilik organik erituvchilarning qutbsiz ekanligi va ular faqat qutbsiz organik iflosliklarni erita olishi hisobga olinadi. Shu sababli avval benzol, toluol, to'rtxlorli uglerod kabi qutbsiz yoki kuchsiz qutbli erituvchilar yordamida qutbsiz iflosliklar (parafinlar, vazelinlar, mineral yog'lar) yo'qotiladi, undan keyin aseton, spirtlar, uch xloretilen kabi qutbli erituvchilar yordamida qutbli iflosliklar (yog'lar, oqsillar, sirt-aktiv moddalarning izlari kabilar) yo'qotiladi. Bir vaqtda intensiv ravishda ham qutbli, ham qutbsiz organik iflosliklarni yo'qotish uchun sanoat ishlab chiqarishda har xil erituvchilarning aralashmasi keng qo'llaniladi. Organik erituvchilarda yog'sizlantirish ko'p hollarda suyuqliklarga botirish, erituvchining bug'larida, ultratovush yordamida, oqimli (purkab) ishlov berish bilan bajariladi.

Botirish bilan yog'sizlantirish suyuqlik sathi baland bo'lgan ikki—to'rtta biri-biriga payvandlangan vannadan iborat butun blokli maxsus germetik qurilmada bajariladi. Yarimo'tkazgichli plastinalar (yoki tagliklar) ftoroplast kabi kimyoviy inert kassetalarga joylashtiriladi va eng kam sathli vannaga botiriladi va tozalanib borishi bilan sathi balandroq vannalarga ketma-ket ravishda o'tkazib boriladi.

Erituvchining temperaturasi oshib borishi bilan yog' molekularining eruvchanligi ham oshib boradi. Shu sababli yog'sizlantirish qaynoq yoki qaynab turgan erituvchilarda olib boriladi.

Berilgan plastinalar soni va berilgan aniq erituvchining miqdori uchun yog'sizlantirish jarayonining nazoratlanuvchi parametrlari bo'lib erituvchining temperaturasi va ishlov berish vaqti hisoblanadi.

Erituvchining bug'larida yog'sizlantirish kam eruvchi va suyuqlanish temperaturasi yuqori bo'lgan iflosliklarni yo'qotish uchun

qo'llaniladi. Bug'lar bilan ishlov berishda izopropilli spirt, freonlar, xlorlangan uglevodorodlardan foydalaniladi. Plastinali kassetalar qurilmaning germetik ishchi kamerasiga joylashtiriladi. Bu kameraga haydovchi kubdan erituvchining bug'lari kelib turadi.

Ultratovushli yog'sizlantirish tubi va devorlari UT-chastotali mexanik tebranadigan maxsus vannalarda bajariladi.

Plastina va tagliklarga ishlov berishda ultratovush tebranishlari kavitatsiya (gaz va bug' pufakchalari) hosil bo'lmaydigan 400 kHz chastotalardi olib boriladi.

Ultratovush tebranishlari mahsuldorlikni oshiradi va yog'sizlantirish hamda suyuqli ishlov berishning boshqa operatsiyalar sifatini yaxshilaydi.

Suv bilan yuvib tashlash yog'sizlantirishdan keyingi qoldiq qutbli erituvchilardan hamda yemirgich, flyus, kislota, ishqor, tuzlar va boshqa iflosliklarning qoldiqlarini tozalashda qo'llaniladi.

Yuvish 50–60 °C gacha qizdirilgan deionlashgan suvda bajariladi. Shundan so'ng sovuq suvda yuviladi.

Kimyoviy tozalash. Ishlov berishning bu turida tozalanayotgan obyektning iflosliklari yoki sirt qatlami kimyoviy reaksiya natijasida parchalanadi.

Kimyoviy yog'sizlantirish yog' molekulalarini parchalaydigan, lekin ishlov berilayotgan materialga ta'sir qilmaydigan tarkiblarda bajariladi.

Yuvuvchi kukunlar qorishmasida yog'sizlantirish (masalan, «Lotos») ba'zida mexanik jilolashdan so'ng oldindan tozalash uchun qo'llaniladi. Bunda plastinalar jilolavchi disklarda yelimlangan holatda yuviladi.

Ishqorlarda yog'sizlantirish kimyoviy reaksiya bilan boradi. Masalan, stearinni sovunlash quyidagi tenglama bo'yicha yuz beradi:



bu yerda $C_{17}H_{35}COONa$ – natriy stearati (sovun); $C_3H_5(OH)_3$ – gliserin. Hosil bo'lgan bu ikki modda suvda oson eriydi. Suv bilan yuvilmaydigan yog'lar bunda parchalanmaydi, lekin emulsiya hosil qilishi mumkin. Ayniqsa ishqorga sirt aktiv elementlar qo'shilsa emulsiya albatta hosil bo'ladi. Emulsiya yuvuvchi qorishmadagi iflosliklarni o'zida ushlab turadi va shu bilan ularning qaytadan tozalanayotgan sirtga o'tirishiga yo'l qo'ymaydi.

Yog'sizlantirish 70–90 °C temperaturada botirish, changlantirish yo'llari bilan, ultratovushli vannalarda olib boriladi.

Peroksid-ammiakli qorishmalarda (PAQ) yog'sizlantirish. PAQ vodorod peroksidi, ammoniy gidrooksidi va suvdan tashkil topadi

hamda ma'lum nisbatlarda ($\text{H}_2\text{O}_2 : \text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 4$) tayyorlanadi. Bunday qorishma juda yaxshi yog'sizlantirish xususiyatlariga ega bo'lib, universal vosita hisoblanadi, chunki bu qorishma yordamida suv bilan yuviladigan yog'lar, yuvilmaydigan yog'lar, noorganik iflosliklar, natriy, mis, kumush va boshqa metallarning ionlari olib tashlanadi.

Yog'sizlantirish jarayonida peroksid atom holatidagi kislorod chiqarib parchalanadi:



Atomar kilorodning ajralishi temperatura oshishi bilan ko'payadi. Shu sababli jarayon $80-90^\circ\text{C}$ temperaturalarda olib boriladi. Atomar kislorod organik va noorganik iflosliklarni oksidlaydi.

Kislotalarda yuvish sirtni metallarning atom va ionlaridan, yog'li iflosliklardan hamda oksidlar, nitridlar, sulfidlar va boshqa kimyoviy birikmalardan tozalashda qo'llaniladi. Metall ionlari vodorod ionlari tomonidan siqib chiqariladi. Metall atomlarini yo'qotish uchun ularni eritadigan kislotalardan foydalaniladi. Metallarning tozalanayotgan sirtga qaytadan adsorbsiyalanishdan saqlash uchun kompleks hosil qiluvchilardan foydalaniladi. Ular metall ionlari bilan turg'un birikmalar — komplekslar hosil qiladi va bular qorishmada qoladi.

Kremniy plastinasi sirtidan oksidli plyonkalarni yo'qotish uchun fluor kislotasining asetondagi qorishmasidan (1 : 15 hajmiy nisbatlarda) foydalaniladi.

Peroksidli-kislotalar qorishmasida (PKQ) yuvish yoki kislotalarning boshqa kuchli oksidlovchilar (masalan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) bilan qorishmasida yuvish natijasida metallarning atomlari va ionlari, organik iflosliklar samarali yo'qoladi. Amalyotda boshqa kislotalarga qaraganda bir qancha ustunliklarga ega bo'lgan azot kislotasi ko'proq qo'llaniladi.

Yemirish odatda yog'sizlantirishdan keyin o'tkaziladi, chunki mana shu holdagina yemirgich plastina sirtini butunlay ho'llaydi va yuqori qatlam bir tekis olib tashlanadi.

Yemirish jarayonini besh bosqichga bo'lish mumkin: 1) ishlov beriladigan sirtga reagentlarning diffuziyasi; 2) ularning sirt tomonidan adsorbsiyalanishi; 3) ularning ishlov berilayotgan material bilan kimyoviy ta'sirlanishi; 4) kimyoviy reaksiya mahsulotlarining desorbsiyalanishi; 5) ularning sirtidan diffuziyalanishi.

Yemirish tezligi sirtga reagentlarning diffuziyasi, yoki yemirgichdagi reaksiya mahsulotlari, yoki sirtidagi kimyoviy reaksiyaning tezligi bilan chegaralanadi.

Yemirishning yig'indi jarayonini aniqlovchi diffuziya bosqichi eng sekin bo'ladigan yemirgichlar jilolovchi yemirgichlar deyiladi. Bunday yemirgichlar sirdagi fizik va kimyoviy nobirjinsliklarga sezgirsiz bo'lib, ular g'adir-budurliklarni silliqlaydi, mikroreliefni tekislaydi. Jilolovchi yemirgichlarda yemirish tezligi qovushqoqlikka va yemirgichning aralashtirilishiga kuchliroq, temperaturaga esa kam bog'liq bo'ladi. Yemirgichning jilolovchi xususiyatini kuchaytirgich uchun diffuzion jarayon tezligini kamaytirish kerak. Buning uchun masalan, gliserin qo'shiladi. Natijada yemirgichning qovushqoqligi oshadi va uning jilolovchi xususiyati yaxshilanadi.

Sirt kimyoviy reaksiyalari eng sekin yuz beradigan yemirgichlar selektiv yemirgichlar deyiladi. Selektiv yemirgichlarda yemirish tezligi temperaturaga, strukturaga va kristallografik oriyentatsiyaga bog'liq bo'lib, qovushqoqlikka va yemirgichning aralashtirilishiga esa bog'liq bo'lmaydi. *Har xil kristallografik yo'nalishlarda yemirish tezliklarining farqi katta bo'lgan selektiv yemirgichlar anizotrop yemirgichlar deb ataladi.*

Yemirishning maqsadiga bog'liq holda kerakli hossalari yemirgichlar qo'llaniladi. Masalan, kremniy plastinasida mikrosxema strukturalarini tayyorlashda jilolovchi yemirgichlar qo'llaniladi. Strukturalarni tayyorlash jarayonida elementlarning izolatsiyasini ta'minlash uchun anizotrop yemirgichlar yordamida kremniyda chuqurchalar hosil qilinadi. Sirt nuqsonlarni oydinlashtirishda ham selektiv yemirgichlar qo'llaniladi.

Kremniyni kislotali yemirish plastinada ixtiyoriy kristallografik oriyentatsiyali g'adir-budurligi 12- dan 14- sinfgacha bo'lgan oynaday silliq sirtini olishni ta'minlaydi.

Yemirish jarayoni mikrosxemalar texnologiyasida alohida o'rin tutadi. Bu jarayon faqat tozalash uchungina o'tkazilmasdan, balki tagliklarga o'lchamli ishlov berishda, buzilgan qatlamni olib tashlashda, mikrosxemalar topologiyasini shakllantirish uchun har xil materiallar qatlamlarini lokal olib tashlashda qo'llaniladi. Shu sababli kimyoviy yemirish jarayonini mukammal ko'rib chiqamiz.

Integral mikrosxema tagliklariga kimyoviy ishlov berish. Kimyoviy ishlov berish quyidagi maqsadlar uchun o'tkaziladi:

1. Plastinada toza sirt hosil qilish.
2. Plastinadagi mexanik buzilgan qatlamni olib tashlash.
3. Plastinadan ma'lum qalinlikdagi boshlangich materialni olib tashlash.
4. Taglik sirtida kerakli joylardan boshlang'ich materialni olib tashlash.
5. Taglik sirtiga kerakli elektrofizik xossalarni berish.

6. Taglikning kristall panjarasidagi strukturaviy nuqsonlarni aniqlash.

7. Mezostrukturalar olish.

8. Galvanik qoplamalar o'tqazish.

Tagliklarda toza sirt olish murakkab va qiyin jarayon bo'lib, quyidagilarni o'z ichiga oladi:

a) distillangan suvda va eritgichlarda yuvish.

b) eritgichlarda ultratovush yordamida yuvish.

d) kimyoviy yoki gazli yemirish.

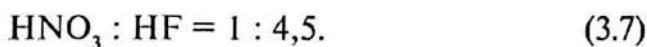
Kimyoviy ishlov berishning mohiyati taglik sirtini kislotali yoki ishqorli eritgichlarda eritishdan iborat. Agar eritgich mo'l bo'lib uning temperaturasi o'zgarmas bo'lsa, qatlam bir xil tezlikda olib tashlanadi. Buning natijasida olib tashlanayotgan qatlam qalinligini aniq hisoblash mumkin. Yarimo'tkazgichning materialiga qarab, har xil eritgichlar qo'llaniladi.

Germaniyga kimyoviy qayta ishlov berishda asosiy eritgich sifatida azot va fluor kislotasining aralashmasi hamda vodorod peroksididan foydalaniladi. Azot kislotasi germaniy uchun kuchli oksidlovchi hisoblanadi. Fluor kislotasi bu oksidni eritadi. Vodorod peroksidida yemirish 70–80 °C temperaturada olib boriladi. Yemirgichlarning yemirish tezligini, yani kimyoviy reaksiyaning borishini boshqarish mumkin. Agar tezlatish kerak bo'lsa, brom, sekinlatish kerak bo'lsa, sirka kislotasi ma'lum miqdorda yemirgichga qo'shiladi. Germaniy (Ge) uchun eng ko'p ishlatiladigan yemirgichning tarkibi quyidagicha:

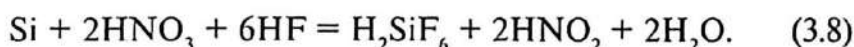


Kremniy (Si) uchun ikki turdagi yemirgichdan foydalaniladi: kislotali va ishqorli.

Kislotali yemirgich sifatida azot va fluor kislotalarining har xil tarkibdagi aralashmasidan foydalaniladi. Bunda eng katta yemirish tezligi yemirgich tarkibining quyidagi molar nisbatida kuzatiladi:



Kremniy (Si) quyidagi reaksiya bo'yicha eriydi:



Eng yaxshi jilolovchi xususiyatlarga ega yemirgichlarda azot kislotasining miqdori ko'proq bo'ladi ($\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2 : 1$ yoki $3 : 1$). Yemirish tezligini kamaytirish uchun asosiy kislotalarga sirka kislotasi CN_3COOH (3.3- jadval) qo'shiladi.

Kremniy uchun ishlatiladigan asosiy kislotali yemirgichlar

Yemirgich turi	Hajmiy tarkib	Qo'llanilishi	Yemirish vaqti
CP-8	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$	Kimyoviy jilolash	1–2 min
CP-4A	$\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CH}_3\text{COOH} = 5 : 3 : 5$	Kimyoviy jilolash va <i>p-n</i> o'tish chegarasini aniqlash	2–3 min
Uayt yemirgichi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 3:1$	{111} tekisligini kimyoviy jilolash	15 s
Dyosh yemirgichi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CH}_3\text{COOH} = 3 : 1 : 8$	Ixtiyoriy tekislikni sekin kimyoviy jilolash	1–16 soat

Kremniyni ishqorli yemirish. Ishqorli yemirgich sifatida 10–20% KOH va NaOH ning suvli eritmasidan foydalaniladi. Oksidlovchi vazifasini suv, oksidni erituvchi vazifasini (kompleks hosil qiluvchi) gidrooksid bajaradi. Bu jarayon 90–100 °C da olib boriladi.

Kremniyni ishqorli yemirishdagi yig'indi reaksiyaning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:



Yemirishning tezligi temperatura va yemirgich konsentratsiyasining oshib borishi bilan ortib boradi. Yemirish tezligi o'zgarmas bo'lishi uchun yemirgich aralashtirib turiladi. Yemirishning maksimal tezligi yemirgichning 30% li konsentratsiyasida kuzatiladi.

Ishqorli yemirgichlar anizotrop yemirishli xarakterga ega bo'ladi. Undan dislokatsiyalar va boshqa nuqsonlarning borligini aniqlashda foydalaniladi.

Yemirish jarayonini o'tkazish texnikaşi yemirishning maqsadi bilan aniqlanadi.

Kimyoviy-dinamik yemirish yuqori sifatli, g'adir-budurligi 14- sinfga to'g'ri keladigan sirtli va geometrik parametrlari aniq plastina hosil qilishda qo'llaniladi. Agar kimyoviy ishlovlar berish jarayonida taglik statik (qo'zg'almas) holatda bo'lsa taglikning sirtlari har xil emiriladi. Bu holatni yo'qotish uchun kimyoviy-dinamik yemirishdan foydalaniladi. Bunda taglik aylantirib, yemirgich aktiv aralashtirib turiladi.

Botirib yemirish statik rejimda qurilma vannasida (aylantirilmadan va qiyshaytirilmadan) plastina sirti sifatiga yuqori talablar qo'yilmaganda plastinali kassetani aylantirib, yemirgichli vannaga goh tushirib, goh ko'tarib bajariladi.

Yemirishdan keyingi yuvish siqib chiqaruvchi usuldan foydalanilib bajariladi. Bunda yemirgich to'kilmasdan, aks holda havo tegib uni oksidlaydi, vannaga deionlashgan suv quyiladi va yemirgich suyultirilib sekin asta siqib chiqariladi.

Plastinalarni quritish yemirgich yuvib tashlangandan so'ng va qoldiq iflosliklar yo'qotilgandan keyin erituvchilar bug'ida konveyer pechlarida infraqizil (IQ) yoki ultrabinafsha (UB) nurlanishli lampalar ostida, qaynoq va quritilgan inert gaz, azot yoki havo oqimlarida, yuqori tezlikli sentrofugalarda 30000 ayl/min aylanish chastotalarda bajariladi.

Suyuqli tozalash marshruti har bir alohida holat uchun: plastinalarni jilvirlash, faskalarni olib tashlash, plastinalarni jilolashdan keyin; epitaksial o'stirish, birinchi termik oksidlash, diffuziya operatsiyalari, mikrosxemani yig'ishdan oldin ishlab chiqiladi.



Quruq tozalash va yemirish

Quruq tozalash usullari (3.5- rasm) kuydirish (qizdirish) usulidan tashqari yaqindan beri qo'llanilmoqda.

Termik ishlov berish (kuydirish). Termik ishlov berish sirtga adsorbsiyalangan kirishmalarni yo'qotishda, sirtagi iflosliklarni parchalashda va uchuvchan birikmalarni bug'lantirishda qo'llaniladi. Qoida bo'yicha, kuydirish vakuum va termik qurilmalarda oksidlash, epitaksiya kabi jarayonlar oldidan o'tkaziladi. Masalan, kremniyda niqoblovchi plyonka o'stirishdan oldin sirtagi gazlar va namlik plastinani oksidlash temperaturasigacha qizdirish mobaynida yo'qotiladi. Kremniy qatlamlarini epitaksial o'stirishdan oldin oksidli plyonkalar kremniy plastinasini vodorodda 1200—1250 °C temperaturada kuydirish bilan yo'qotiladi. Keramikali, shishali, kvarsli, sapfirli tagliklarni tozalash marshrutining oxirgi operatsiyalari bo'lib vakuumda kuydirish hisoblanadi.

Ionli yemirish. Ionli yemirish bu sirtida gazlar adsorbsiyalangan va iflosliklar bo'lgan moddadan qatlamni changlantirib yo'qotish jarayonidir. Yemirish vakuum qurilmalarda plastina yoki tagliklarni (ko'pincha bunday holatlarda nishon ham deyiladi) inert gazlarining tezlashtirilgan musbat ionlari bilan bombardirovkalash orqali bajariladi. Ko'pincha uncha qimmat va kamyob bo'lmagan argondan foydalaniladi.

Yemirish changlantirishning bo'sag'aviy energiyasidan kattaroq bo'lgan energiyaning ma'lum bir aniq qiymatlarida boshlanadi. Kremniyni yemirish ion toki zichligi 10 A/m^2 dan katta va ionlar energiyasi $1-10 \text{ KeV}$ larda bajariladi. Energiyaning katta qiymatlarida ionlar chuqurroqqa kirib ketadi va changlantirish kuzatilmaydi.

Changlantirish samaradorligi, ya'ni yemirish *changlantirish koeffitsiyenti* bilan xarakterlanadi.

Changlantirish koeffitsiyenti moddaning changlanayotgan massasi m (grammlarda) bilan quyidagi ifoda orqali bog'langan:

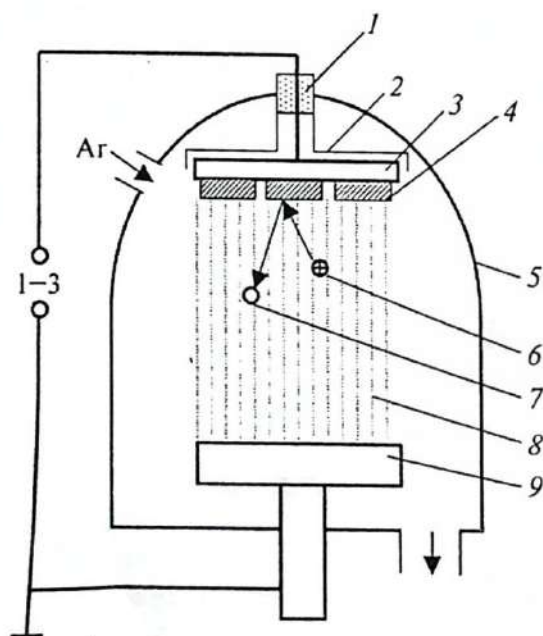
$$S = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot m z_e / (A I_i t), \quad (3.10)$$

bu yerda $6,02 \cdot 10^{23}$ – Avogadro soni, mol^{-1} ; z_e – ion zaryadi; I_i – ion toki, A; t – bombardirovka vaqti, s; A – nishon moddasining atom massasi.

Qurilmalarning tuzilishiga bog'liq holda ion-plazmali yemirish va ion-nurli yemirish farqlanadi.

Ion-plazmali yemirish vakuum qurilmalarning diodli yoki triodli kameralarida bajariladi.

Diodli kameralarda yemirish (3.9- rasm) o'zgarmas yoki o'zgaruvchan YCh-kuchlanishlarda o'tkaziladi. Plastinalar katodda joylash-tiriladi. Kameradan havo so'rib olinadi va ninali qo'ygich orqali argon ishchi bosimgacha kiritiladi.



3.9-rasm. Diodli vakuum kamerasida ion-plazmali yemirish jarayonining sxemasi:

1 – izolyator; 2 – ekran; 3 – katod; 4 – plastinalar; 5 – vakuum kamerasi; 6 – bombardirovkalayotgan argon ionlari; 7 – plastinadan changlanayotgan zar-racha; 8 – biqsima razryad plazmasi; 9 – anod.

1–3 kV o'zgarmas kuchlanish berilganda katod anod oralig'ida gazning elektr teshilishi ro'y beradi va ma'lum bir razryad tokida biqsima razryad yoqiladi hamda yemirish jarayoni boshlanadi.

Triodli kameralarda ion-plazmalı yemirish nomustaqil yoy razryadi plazmasida bajariladi.

Ion-nurli yemirish ion nurlari maxsus gazrazryadli manba va tortuvchi hamda ion tezlatkichli tizimlar yordamida shakllanadigan vakuumli qurilmalarda bajariladi. Manbadagi inert gazining bosimi (0,1 Pa atrofida) gazrazryadli plazmani hosil qiladigan darajada yuqori bo'lishi kerak.

Manbadan chiqayotgan ionlar nuri qurilmaning ishchi kamerasiga yo'naltiriladi. Bu yerda aylanadigan qiya stolchada plastinalar joylashtirilgan bo'ladi. Stolchaning qiyaligini o'zgartirib ionlarning tushish burchagini boshqarish mumkin. Ishchi kameradagi bosim manbadagiga qaraganda ancha kichik bo'lishi kerak (0,04 Pa dan kam). Bu ionlar nurining sochilishining va tozalanayotgan plastinalarning ifloslanishining oldini oladi.

Ishlov berilayotgan sirtida yig'ilib qoladigan musbat zaryadni kompensatsiyalash uchun elektronlarni emissiya qiladigan qizdiriladigan katod-neйtralizator qo'llaniladi.

Ion-nurli yemirishda nishonlar gaz razryadi plazmasidan tashqarida joylashtiriladi. Bu jarayonning parametrlarini: ionlar energiyasini, ionlar nuri tokining zichligini va ishlov berilayotgan sirtga tushayotgan ionlarning tushish burchagini alohida-alohida boshqarish imkoniyatini beradi.

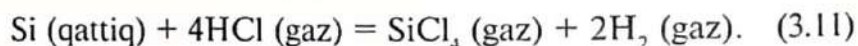
Ion yemirishning ustunliklari: ko'pincha sirtga normal yo'nalish bo'yicha yemirishi, bu esa lokal ishlov berishda yaxshi natijalarni ta'minlaydi, chunki amalda yemirish tezligining yon tashkil etuvchisi yo'q; inersiyasizligi, yemirish jarayoni namunalardan potensialni olish bilan to'xtaydi.

Ion yemirishning kamchiliklari: yemirish tezligi kichik (0,1–1 nm/s); radiasiya va issiqlik ta'sirlari kuchli, buning natijasida kontakt niqoblari buzilishi va strukturaning elektrofizik parametrlari degredasiyalanishi mumkin hamda yemirish paytida namunalarni sovutish kerakligi.

Gazli yemirish. Jarayonning mohiyati ishlov berilayotgan material bilan gazsimon moddaning kimyoviy ta'sirlanishidan iborat bo'lib, buning natijasida oson uchuvchan birikmalar hosil bo'ladi. Gazli yemirishda iflosliklar plastina yoki taglikning sirt qatlami bilan birga chiqib ketadi.

Kremniy plastinalarini yemirish uchun gazli reagent sifatida galogenlar, galogenvodorodlar, oltingugurt birikmalari, su bug'lari qo'llanilishi mumkin.

Kremniyni xlorli vodorod bilan yemirish plastinalarda kremniy qatlamlarini o'stirishda keng qo'llaniladi:



Xlorli vodorod bug'lari epitaksial o'stirish qurilmasining 1150–1250 °C temperaturagacha qizdirilgan kremniy plastinalari joylashtirilgan reaksiya kamerasiga vodorod oqimi bilan olib kelinadi.

Sapfirni vodorod bilan yemirish suyuqli yemirishga qaraganda mexanik buzilgan qatlamsiz va mikrokirishmalarsiz bo'lgan taglik sirtini hosil qilish imkoniyatini beradi. Bu esa sapfir sirtida keyingi kremniy qatlamlarini o'stirishda kata ahmiyatga ega hisoblanadi. Sapfirning emirilishi quyidagi kimyoviy reaksiya bilan boradi:



Temperaturaning 1200–1600 °C oraliqlarida sapfirni vodorod jiloli emiradi.

Plazmakimyoviy yemirish. Plazmakimyoviy yemirish ion yemirish kabi vakuum qurilmalarida o'tkaziladi hamda gaz razryad plazmasidan foydalaniladi. Plazmakimyoviy yemirish (ion yemirishdagi fizik changlantirishdan farqli ravishda) kimyoviy tabiatga ega. U gaz razryadi plazmasida hosil bo'ladigan kimyoviy aktiv zarrachalarning reaksiya qobiliyatining kattaligidan foydalanishga asoslangan.

Plazmakimyoviy yemirish jarayonini beshta bosqichga bo'lish mumkin: vakuum qurilmaning kamerasiga plazma hosil qiluvchi gaz, bug' yoki aralashmalarini olib kelish; gaz razryadida kimyoviy aktiv zarrachalarning hosil bo'lishi; ularni ishlov berilayotgan sirtga olib kelish; oson uchuvchan birikmalarni hosil qiluvchi kimyoviy reaksiyalar; desorbsiya va hosil bo'ladigan uchuvchan birikmalarni vakuum qurilmaning so'ruvchi tizimi orqali chiqarib yuborish.

Plazma hosil qiluvchi gazlar ishlov berilayotgan materialning xossalariidan kelib chiqib tanlanadi. Kremniy va uning birikmalarini yemirish uchun ko'pincha freon-14 CF_4 ning (2–8)% kislorod bilan aralashmasi qo'llaniladi.

Plazmali yemirish gazli yemirish plazmasining o'zida yashash vaqti katta ($F^+ - 0,1-1 \text{ s}$) yoki kichik ($\text{CF}_3^+ - 10 \mu\text{s}$ atrofida) bo'lishidan qat'iy nazar hamma kimyoviy aktiv zarrachalarning ishtirokida amalga oshiriladi. Diod turidagi kamerada kremniy plastinalari pastki sekin

aylanadigan elektrodga (0,1 ayl/s) joylashtiriladi. Plastinalar ion bombardirovkaning oldini olish uchun elektroddan elektr bo'yicha izolatsiya qilinadi.

Radikal plazmakimyoviy yemirish vakuum kamerasing perforli metall ekran bilan yoki magnitli elektr maydoni bilan gaz razryadi plazmasidan ajratilgan sohasida o'tkaziladi. YCh-plazma ishchi kameraning silindrik sirti bilan ekran oralig'ida hosil qilinadi. Yemirish plazmadan plastinalar joylashgan zonaga kirayotgan faqat neytral kimyoviy aktiv O atomlari yoki yashash vaqti katta bo'lgan F' radikallari yordamida amalga oshiriladi. Plazmaning zaryadlangan zarrachalari silindrlil ekran teshikchalari orqali plastinaning sirtiga kela olmaydi. Zaryadlangan zarrachalardan holi bo'lgan zonada uyg'ongan fluor atomlari va atomar kislorod ishchi gaz molekullari bilan ko'p marta to'qnashishi natijasida tartibsiz harakatlanishi yemirishning bir jinsligini ta'minlaydi.

Reaktivli ionli yemirish. Reaktivli ionli (ion-kimyoviy ham deyiladi) yemirish jarayonining mexanizmi bo'yicha kombinatsion usul hisoblanadi. Ishlov berilayotgan materialning olib tashlanishi uning tezatilgan ionlar bilan changlantirilishi va plazmadagi kimyoviy aktiv zarrachalari ta'sirida oson uchuvchan birikmalar hosil bo'lishi natijasida yuz beradi. Bu usul plazmakimyoviy usuldan ionlarining energiyalarining kattaligi va changlantirish uchun etarliligi bilan ionli yemirishdan esa inert gazlari emas balki kimyoviy aktiv zarrachali plazmadan foydalanishligi bilan farq qiladi.

Ionli va plazmakimyoviy yemirishlarga o'xshatilib, reaktivli ion yemirish ishlov beriladigan plastinalar (tagliklar) gaz razryadi plazmasiga joylashtirilgan holatda (*reaktivli ion-plazmali yemirish*) bajarilishi mumkin yoki vakuumda avtonom joylashgan manbadan (*reaktiv ion-nurli yemirish*) hosil qilingan ion dastasi ta'sir ettirilishi mumkin.

Reaktiv ion-plazmali yemirish jihozlari ion-plazmali yemirish jihozlari bilan bir xil bo'ladi. Plastinalar pastki elektroddan izolyatsiyalanmagan elektrodga joylashtiriladi (3.9- rasm). Reaktiv ion-nurli yemirish ion-nurli yemirish o'tkaziladigan vakuum qurilmalariga o'xshash bo'lgan vakuum qurilmalarida bajariladi.



Plastina va tagliklarning sifatini nazorat qilish

Mexanik ishlov berish sifatining nazorati. Plastina va tagliklarni tayyorlash texnologik jarayonlarida ishlov berilayotgan obyektlarning nazorati hamma mexanik operatsiyalarda o'tkaziladi.

Jilvirlash operatsiyasidan keyin plastina qalinligining aniqligi $\pm(2-5) \mu\text{m}$ dan oshmasligi kerak. Qalinlik ФИП-2 qurilmasi, induktiv datchiklar yordamida aniqlanadi. Keyingi vaqtlarda geometrik parametrlar kontaktsiz usullar yordamida nazorat qilinmoqda. Bunda plastina va tagliklarga mexanik ta'sirlar o'tkazilmaydi. Mahsulotlarning geometrik parametrlari YKТП-1, СПТ-1, СТ-100 kabi qurilmalar yordamida avtomatik nazorat qilinadi.

Ko'pincha maxsulot sifati quyidagi asosiy mezonlar asosida baholanadi.

1. Plastinaning geometrik o'lchamlari va shakli.
2. Plastina sirtining qayta ishlov tozaligi.
3. Mexanik buzilgan qatlam chuqurligi.

1) Plastinani geometrik o'lchamlari va shakli bo'yicha baholash uchun uning qalinligi bir necha nuqtalarda o'lchanadi, plastinaning egriligi, ponasimonligi, tekisligi tekshiriladi.

2) Plastina sirti qayta ishlov tozaligini tekshirishda, silliqlikni baholashda etalon sirt bilan solishtiriladi yoki mikro notekisliklarning balandligi mikroiinterferometrlar МИИ-4, МИИ-11 kabi asboblarda yordamida aniqlanadi.

3) Mexanik buzilgan qatlam chuqurligi ilmiy tekshiruv va tajribaviy konstruktorlik ishlari o'tkazilayotgan bosqichlarda, texnologik jarayonlarni sozlash bosqichlarida nazorat qilinadi.

Tayyor plastina va tagliklarning nazorati (oxirgi nazorat) oxirgi tozalashdan keyin bajariladi. Tayyorlamaning sifatini tavsiflaydigan nazorat qilinuvchi parametrlarga qalinlik, notekislik, tomonlarning noparallelligi, egilganlik, chizilganliklarning, yoriqlarning, siniqlarning borligi va uzunligi, tozalik sifati. Qolgan parametrlar texnologiya tomonidan kafolatlanadi.

Tozalash sifatining nazorati. Sirtning ifloslanganligini miqdor va sifat jihatdan nazorat qilishning ko'p usullari mavjud. Bularning ko'pchiligi laboratoriya sharoitida texnologiya ishlab chiqilayotganida qo'llaniladi.

Tozalash jarayoni o'tkazilgandan so'ng taglik va plastinalar sirtidagi iflosliklarni miqdoriy va sifat jihatdan nazorat qilish quyidagi usullar yordamida amalga oshiriladi:

- nurlanuvchi nuqtalar usuli;
- tomchi usuli yoki ho'llanishning chegara burchagini o'lchash;
- tribometrik usul;
- yuvuvchi eritmalarini nazorat qilish usuli;
- yuvuvchi suvning solishtirma qarshiligini o'lchash usuli.



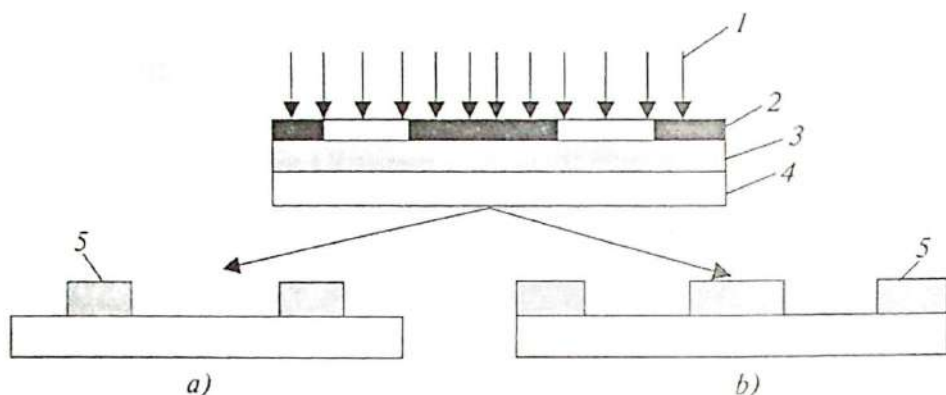
Litografiyaning qo'llanilishi. Yarimo'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarish sanoatida 1957- yilda litografiya usulining qo'llanilishi elektronika element bazasining keyingi rivojlanish bosqichini belgilab berdi va diskret elementlarni ishlab chiqarishdan integral elementlarni tayyorlashga o'tish imkoniyati vujudga keldi. Litografiya planar texnologiyaning ajralmas jarayoni bo'lib qoldi. Litografiya yordamida niqoblovchi yupqa qatlamda tirgichcha ochiladi va u orqali lokal diffuziya qilinadi, keyin esa alyuminiy yupqa qatlamda metallashning nusxasi hosil qilinadi. Mezatexnologiyada chuqur lokal yemirish uchun kontakt niqobi hosil qilinadi. Litografiya yordamida mikron va undan kichik o'lchamli elementlarning aniq nusxasini hosil qilish mumkin. Litografiya yordamida shablonlar tayyorlanadi. Shunday qilib, litografiya yordamida plastina sirtida shakllanadigan texnologik qatlamlar topologiyasiga mos keluvchi tirgichli kontakt niqob hosil qilinadi va keyinchalik bu topologiya (rasm) shu qatlamning materialiga beriladi.

Litografiya jarayonining mohiyati. Litografiya murakkab texnologik jarayon bo'lib, aktinorezistlarni aktinichli nurlantirilganda hosil bo'ladigan hodisalardan foydalanishga asoslangan.

Amaliyotda oddiygina rezist deyiladigan aktinorezistlar ma'lum to'liq uzunlikdagi nurlanishga (aktinichli nurlanishga) sezgir, litografiya jarayonida qo'llaniladigan texnologik ta'sirlarga chidamli (rezist — qarshilik ko'rsatmoq) materiallardan tayyorlanadi. Nurlanish ta'sirida rezistlarda yuz beradigan jarayonlar ularning maxsus tarkib-larga — ochiltirgichlarga bo'lgan chidamligini qaytmas qilib o'zgartiradi.

Nurlangandan keyin ochiltirgichlarda eruvchanligi oshadigan rezistlar pozitiv rezistlar deyiladi. Negativ rezistlar esa nurlanishdan so'ng ochiltirgichlarda amalda erimaydi.

Litografiya jarayonining mazmuni quyidagicha: plastina yoki taglikning maxsus tayyorlangan sirtiga yorug'lik sezuvchi material — rezistning yupqa qatlami surkaladi. Rezist qurigandan keyin taglik sirtida mustahkam plyonka hosil bo'ladi. Undan keyin plastina sirtiga



4.1- rasm. Kontaktli rezistli niqoblarni negativ (a) va pozitiv (b) rezistlar yordamida hosil qilish: 1 – aktiv nurlar; 2 – fotoshablon; 3 – fotorezist qatlami; 4 – taglik; 5 – rezistli niqob.

shablon (kontaktli rasmga tushirish) qo'yiladi. Shablon orqali rezist seza oladigan va uning xossalarini o'zgartiradigan aktinichli yorug'lik tushiriladi. Plyonka ochiltirilgandan va polimerlangandan so'ng rezistda kerakli relef – rezistli niqoblar, ya'ni plyonkada ochiq (rezist plyonkadan holi) va yopiq (rezist plyonkali) qismlar hosil bo'ladi. Bu hosil bo'lgan relef taglikka o'tkaziladi (4.1- rasm). Demak, pozitiv rezistlarda niqob tirqishchaga nurlangan qismlar, negativ rezistlarda esa nurlanmagan qismlar mos keladi.

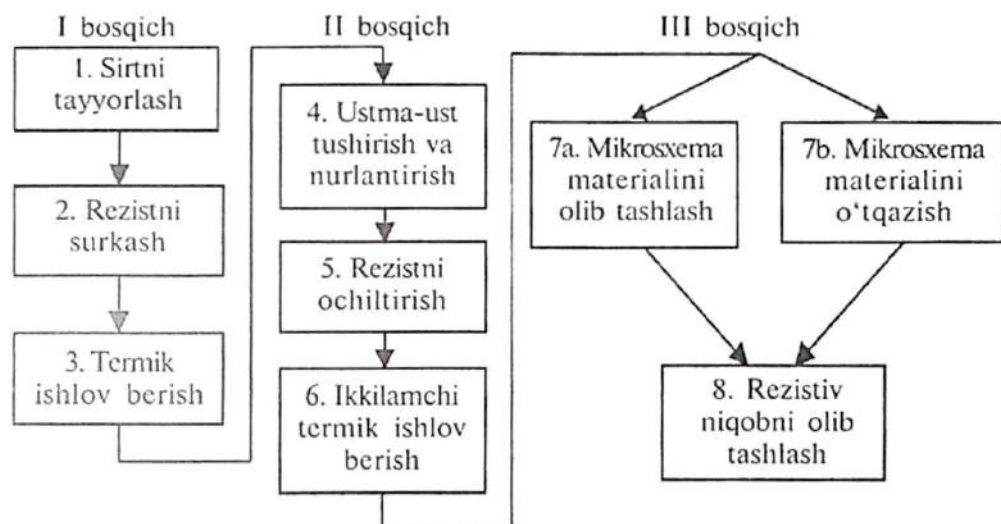
Rezist plyonkasida hosil qilingan «tirqishchalar» bir qancha zarur texnologik operatsiyalarni o'tkazish imkoniyatini beradi: yarimo'tkazgich materialida qatlamni olib tashlash uchun va mezastruktura hosil qilish uchun taglikni lokal yemirish, diffuziyaga «tirqishchalar» ochish uchun himoyalovchi dielektrik qatlamlar SiO_2 va Si_3N_4 ni olib tashlash, hamda omik kontakt va murakkab geometrik shakldagi tok o'tkazuvchi yo'lakchalarni hosil qilish uchun metall qatlamlarni yemirish kabilar.

Litografiya jarayonining bosqichlari va asosiy operatsiyalari. Litografiya jarayonini har biri bir qancha operatsiyalarni o'z ichiga olgan uchta bosqichga bo'lish mumkin (4.2- rasm).

Rezist qatlamini shakllantirish: taglik sirtini tayyorlash, rezist qatlamini hosil qilish, qatlamga termik ishlov berish (1- quritish).

Rezistli kontakt niqobni shakllantirish: rezist qatlamga topologiya rasmini berish; ustma-ust tushirish va eksponirovaniye (nurlantirish), ochiltirish, termik ishlov berish (2- quritish).

Elektron texnika mahsuloti strukturasi shakllanayotgan qatlam materialiga niqobdagi topologik rasmni berish: materialni olib tashlash (yemirish) yoki materialni hosil qilish (masalan, metall plyonkasi), rezistli niqobni olib tashlash.



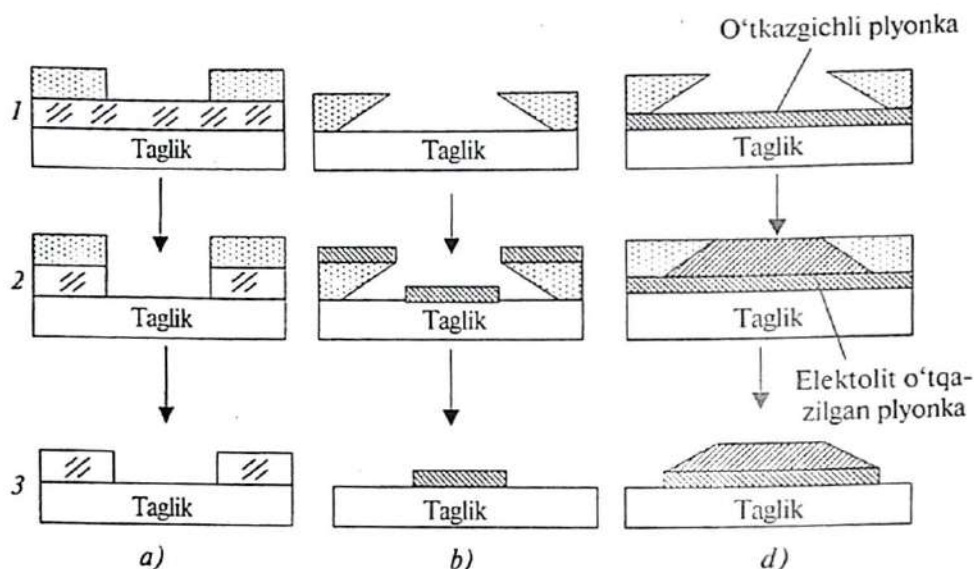
4.2- rasm. Litografiya jarayonining bosqichlari (I, II, III) va operatsiyalari (1–8): I bosqich – rezist qatlamini shakllantirish; II bosqich – rezist qatlamiga rasmni berish; III bosqich – mikrosxema materialiga rasmni berish.

4.2- rasmdan va uni to'ldiruvchi 4.3- rasmdan rezistiv niqobdan rasmni berish ikkita usul orqali amalga oshirilishi ko'rinib turibdi.

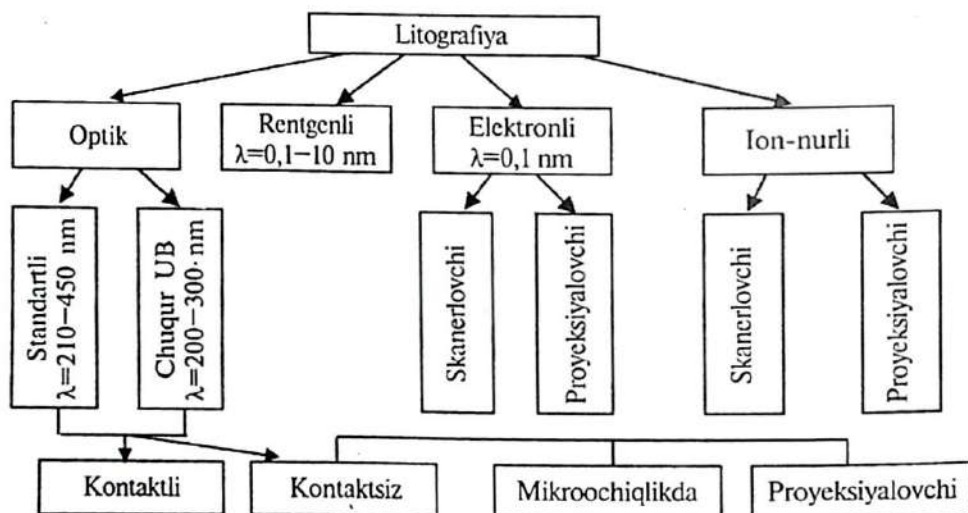
*To'g'ri litografiya*da rasm shakllanadigan plyonka taglikda rezist qatlam shakllantirishdan avval hosil qilinadi. Plyonkada hosil qilinadigan rasm niqobdagi rasmga mos keladi.

*Teskari litografiya*da rasm hosil qilinadigan plyonka shakllanib bo'lgan rezistiv niqobning ustida hosil qilinadi. 4.3- b rasmda ko'rsatilishicha plyonkaning qismi niqob bilan birga olib tashlanadi («portlovchi» litografiya) va taglikda plyonkaning kerakli rasmi qoladi. «Portlovchi» litografiya uchun niqob tirqishchasi yon devorlarining mos shakli (manfiy qiyalikli) va plyonkaga nisbatan qalin qatlamli rezist ta'minlanishi kerak. Teskari litografiyaning yana bir usuli bu plyonkani elektrolitik ravishda faqat niqobning tirqishchasiga rasmni katta aniqlik bilan tushirishdir. Teskari litografiya plyonkaga beriladigan rasm rezistiv niqobdagi rasmga qarama-qarshi bo'ladi. Teskari litografiyaning ustunligi yemirishning keraksizligidir.

Litografiya usullarining tasnifi. Qo'llanilayotgan nurlanishning turiga qarab litografiya optik, rentgen, elektron va ion litografiyalarga bo'linadi (4.4- rasm). Optik litografiya (fotolitografiya), standart yoki chuqur ultrabinafsha sohali, nurlatish (eksponirovaniye) usuliga mos holda kontaktli yoki kontaktsiz (mikroochiqlikli va proyeksionli) bo'lishi mumkin.



4.3- rasm. To'g'ri (a), teskari «portlovchi» (b) va teskari elektrolitli o'tqazilgan plyonkali (d) litografiya: 1 – rezistiv niqobni shakllantirish; 2 – to'g'ri litografiyada niqobdan rasmni SiO₂ qatlamga uzatish (a), plyonkani tirqishda va niqob ustida (b) yoki tirqishda (d) hosil qilish; 3 – rezistiv niqobni olib tashlash.



4.4- rasm. Litografiya jarayonlarining tasnifi.

Elektronli litografiya rezist qatlamiga topologik rasmni fokuslangan bitta elektron nuri bilan ketma-ket uzatish yoki hamma rasmni birdaniga proyeksiyalash yo'li orqali bajariladi. Ionli litografiya ham shunga o'xshash bajariladi.



Standart fotolitografiya. Standart fotolitografiya uchun to'liq uzunliklari 310 dan 450 nm gacha bo'lgan ultrabinafsha (UB) nurlanishga sezgir bo'lgan fotorezistlar qo'llaniladi.

Fotorezistlar murakkab polimerli kompozitsiyalardan tashkil topgan bo'lib, tarkibi fotosezgir va plyonka hosil qiluvchi komponentlar, erituvchilar va maxsus qo'shimchalardan iborat bo'ladi.

Fotorezistlar deb ularga tasir qiladigan aktiv yorug'lik bilan yoritilganda ularning hossalari, eng avvalo eruvchanligi o'zgarib, kislotali va ishqorli yemirgichlar tasiriga chidamli bo'lib qoladigan moddalarga aytiladi. Demak, fotorezistlar yordamida yarimo'tkazgichli plastina sirtida kerakli konfiguratsiyali tasvirli himoya plyonkasi hosil qilinadi. Tasvir relefi yorug'lik tasirida yoritilgan yoki yoritilmagan qismlar holida hosil bo'ladi. Nurlangandan so'ng fotorezistning plyonkasi ochiltiriladi. Buning natijasida fotorezistning bir qismi (kerakli tasvir) taglikda qolib, keyingi texnologik operatsiyalarda niqob sifatida xizmat qiladi, keraksiz qismi esa olib tashlanadi.

Fotorezistlar asosan polimer moddalardan tayyorlanganligi sababli sezgirligi ultrabinafsha nurlar sohasiga to'g'ri keladi. Fotorezistlar ulardagi yorug'lik ta'sirida kechadigan foto-kimyoviy reaksiyalarning xarakteriga qarab ikkita guruhga bo'linadi: 1) negativ va 2) pozitiv.

Negativ fotorezistlar polivinilsinnamit yoki kauchuklar asosida tayyorlanadi. Negativli fotorezistlarda yorug'lik ta'sirida taglikning sirtida erimaydigan plyonkali qismlar hosil bo'ladi va ochiltirilgandan so'ng ular sirtida qoladi. Demak, fotorezistda fotoshablonning negativ tasviri hosil bo'ladi (4.1-a rasm).

Pozitiv fotorezistlar fotosezgir plyonka hosil qiluvchi bo'lgan o-naftoxinondiazidlar va fenolformaldegidli smolalar asosida tayyorlanadi. Pozitiv fotorezistning molekulasida, qisqacha NXD, R_1-O-R_2 tuzilishga ega bo'lib, bu yerda R_1 va R_2 — yorug'likka sezuvchan va polimer qismi, O — ularni birlashtiruvchi kislorodning atomi.

Pozitiv fotorezistda esa aksincha, yorug'lik tasir etgan qismlar taglik sirtidan eritgichlar tasirida olib tashlanadi. Natijada sirtida qolgan fotorezistning qatlami fotoshablonning pozitiv nusxasini beradi (4.1-b rasm).

Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida negativ fotorezist sifatida polivinil spirti va polivinilsinnamat kislotasining murakkab efiri asosidagi tarkibdan foydalaniladi. Bundan tashqari har xil qo'shimchalar qo'shilgan siklokauchuk ham ishlatiladi. Uning yorug'likni sezuvchanligini oshirish uchun har xil organik azidlar (alkilazidlar, alkenazidlar, arilazidlar, bisazidlar kabilar) qo'shiladi.

Pozitiv fotorezist sifatida novolak va yorug'lik sezuvchan naftoxinondiazid asosidagi tarkib eng ko'p qo'llanilmoqda.

Sanoatda ko'p qo'llaniladigan ba'zi bir fotorezistlarning xossalari 4.1- jadvalda keltirilgan.

4.1- jadval

Fotorezist rusumi	1 μ m qalinlikdagi qatlam uchun sezgirlik darajasi, chiz/mm	Nuqsonlar zichligi bo'yicha kislotaga chidam- lilik, mm^{-2} , ko'pi bilan	Ochiltir- gichga chidam- lilik, s	Kinematik qovush- qoqlik**, 20 $^{\circ}\text{C}$ da, sSt
ФП-307	500	0,35	90	6
ФП-309	400	0,5	—	6
ФП-330	400	0,75	60	5,9
ФП-333	500	0,2	180	6
ФП-334	400	0,2	600	4,5
ФП-383	400	0,2	180	6—6,5
ФП-PH-7	400	0,2	40*	2—2,5
ФП-617	500	0,05	30*	21—26
ФП-617P	500	0,005	40*	8—15
ФП-626	500	0,005	30*	20,5—25,5
ФН-106	200	0,4	—	7
ФН-108	400	0,25	—	3,5

* Ochiltiruvchi qorishmadagi fotoeruvchanlik omili (eng kami bilan) — yoritilgan va yoritilmagan qismlarining eruvchanlik tezliklari nisbati.

** Olib kelingandagi holat bo'yicha.

Fotorezistlardan yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikro-sxemalar tayyorlash texnologiyasida foydalanishda quyidagi asosiy mezonlar hisobga olinadi: ma'lum to'lqin uzunlikdagi yorug'likni sezuvchanlik; minimal o'lchamli mikrorelef tasvirini hosil qila olishlik imkoniyati; kislotaga chidamlilik; taglikka bo'lgan so'riluvchanlik (adgezsiya); texnologiyaga moslashuvchanlik.

Fotoshablonlar va ularni tayyorlash texnologiyasi. Fotoshablonlar fotolitografiyaning asosiy uskunasi hisoblanadi va ular yordamida elektron texnika mahsulotlarining topologiyasiga mos holda fotoqatlam lokal nurlantiriladi.

Fotoshablonlar deb, tekis parallel tomonli shaffof materialdan qilingan va uning tomonlarida yorug'likning ma'lum to'lqin uzunligini o'tkazadigan va o'tkazmaydigan, asbob yoki integral mikrosxemaning topologiyasini belgilaydigan tasvirlar tushirilgan plastinaga aytiladi.

Shunday qilib, fotoshablonlar yordamida fotorezist qatlamida har qanday murakkab rasmning mikrotasvirini hosil qilish mumkin. Fotoshablonning asosi uchun ishlov berish oson bo'lgan va nurlanish ta'sirida xossalarini o'zgartirmaydigan borosilikatli optik shisha yoki polimer plyonkalar kabi materiallardan foydalaniladi. Shisha sirtidagi tasvir fotografiya usuli bilan hosil qilinadi. Shisha plastinada hosil qilingan tasvirning materialiga qarab fotoshablonlar emulsiyali, metallangan va rangli(transporent) fotoshablonlarga bo'linadi.

Emulsiyali fotoshablonlarda odatdagi fotografiya usuli bilan emulsiyali qatlamda optik zichligi maksimal va minimal bo'lgan tasvirli qismlar hosil qilinadi.

Metallangan fotoshablonlarda tasvirning qismlari yupqa xrom qatlami orqali hosil qilinadi.

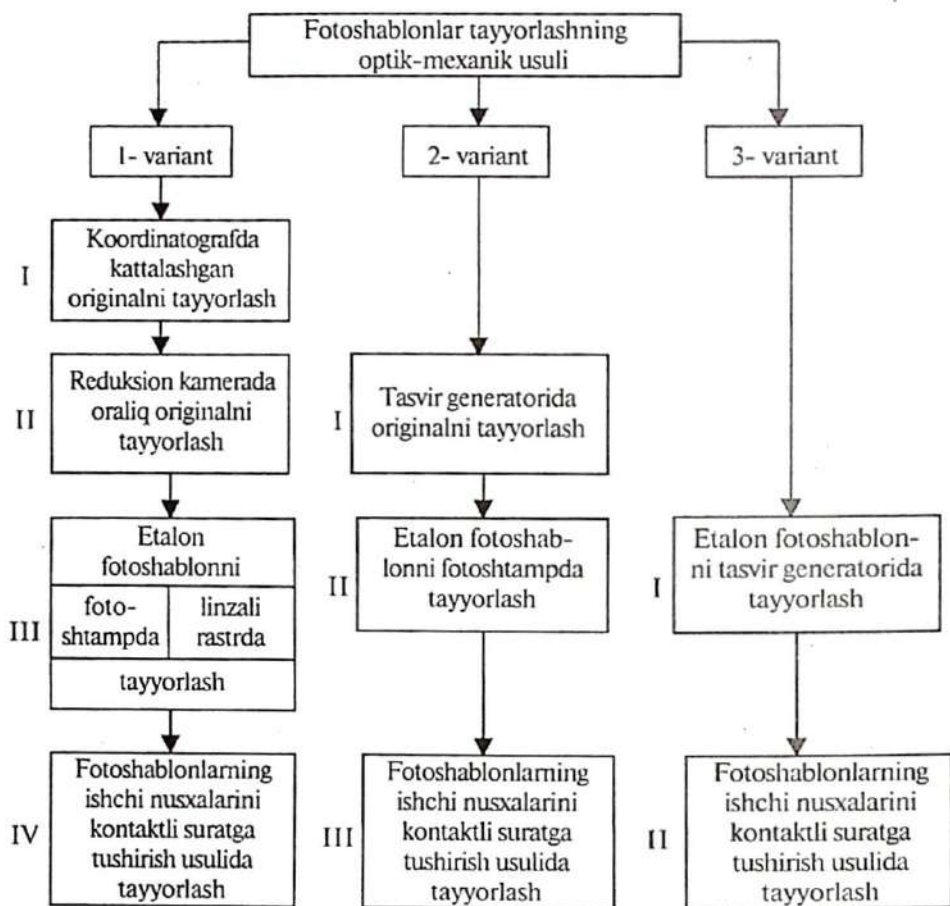
Rangli fotoshablonlarda tasvirlar temir oksidi plyonkasi yordamida hosil qilinadi.

Rangli fotoshablonlardan foydalanish kontaktli bosmada yorug'likning qaytish (akslanish) effektini kamaytirish imkoniyatini berdi va buning natijasida hosil qilinadigan mikrotasvirning sifati anchaga yaxshilandi.

Fotoshablonlar negativ (qorong'i maydonli), bunda tasvirning elementlari qora maydonda yorug' qismlar ko'rinishida yoki pozitiv (yorug' maydonli), bunda tasvir elementlari yorug' fonda qora qismlar ko'rinishida bo'lishi mumkin. Fotoshablonlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

- 1) tasvirdagi elementlar geometrik o'lchamlarining yuqori darajadagi aniqligi;
- 2) fragmentlar oralig'idagi qadam o'lchamining aniqligi;
- 3) rasm va uning o'lchamlarining vaqt bo'yicha o'zgarmasligi;
- 4) ishqalanishga chidamliligi;
- 5) ishchi sirtining tekisligi;
- 6) fotoshablonlar komplektining bir-biriga mos tushishi.

Hozirgi vaqtda fotoshablonlarni tayyorlashda optik-mexanik usuldan foydalaniladi. Bu usul uch xil variantda qo'llanilib, ular bir-biridan operatsiyalar ketma-ketligi va foydalaniladigan aslahalar bilan farq qiladi (4.5- rasm).



4.5- rasm. Fotoshablonlarni tayyorlash variantlari.

Birinchi variantning *birinchi operatsiyasida* sirtiga qora bo'yoq qatlami surkalgan qog'oz yoki shishaga, yoki ikki qatlamli polimer plyonkaga yakka fragment yoki fotoshablonning moduli 100–1000 marta kattalashtirilib koordinatograf yordamida chiziladi. Koordinatografda shakl chizish avtomatik ravishda EHM dan foydalanilgan holda avvaldan tayyorlangan dastur asosida amalga oshiriladi.

Bu variantning *ikkinchi operatsiyasida* reduksiya kamerada oraliq (emulsiya) original tayyorlanadi. Bunda birinchi operatsiyada hosil qilingan kattalashtirilgan original reduksiya kameraga joylashtiriladi va 50–100 marta kichraytirilgan holda yuqori aniqlik qobiliyatiga ega bo'lgan fotoplastinaga fotosurati olinadi.

Uchinchi operatsiyada oraliq originaldagi rasm ishchi maydonning hamma yuzasiga multiplikatsiya qilinadi, ya'ni etalon fotoshablon tayyorlanadi. Multiplikatsiya jarayoni maxsus qurilmalar: bir o'rinli yoki ko'p o'rinli fotoshtamlarda amalga oshiriladi.

Oraliq original fotoshtampning proyeksiyalovchi kamerasiga joylashtiriladi. Fotoshtamp oraliq originaldagi rasmni etalon fotoshablonning yorug'lik sezgir qatlamli plastinasi sirtiga ishchi o'lchamlargacha kichraytirilgan holdagi suratini tushiradi va mana shu suratni plastinaning hamma sirtiga multiplikatsiyalaydi.

To'rtinchi — yakunlovchi operatsiyada hosil qilingan etalon fotoshablondan ishchi nusxalar tayyorlanadi. Bu operatsiyada etalon fotoshablondagi rasm yorug'lik sezgir qatlamli metallangan plastinaga kontaktli suratga tushiriladi.

Fotoshablonlarni sanoatda tayyorlash. Yarimo'tkazgichli asboblarning va integral mikrosxemalar ishlab chiqarilishini ta'minlab turish uchun sanoatda metallangan fotoshablonlar ishlab chiqarilishi yo'lga qo'yilgan. U har xil texnologik jarayonlar kompleksini o'z ichiga oladi: optik shishadan plastinalar tayyorlash, shisha plastinalarga mexanik va kimyoviy ishlov berish, yuvish, shisha plastinalar sirtini metall yoki rangli plyonkalar bilan qoplash, mana shu plyonkalarda fotorezist qatlamini hosil qilish, kontakt suratga olish, fotorezist qatlamiga fotokimyoviy ishlov berish, fotoshablonlarning sifatini nazorat qilish va ularni o'rash.

4.6- rasmda fotoshablonlarni sanoatda seriyali ishlab chiqarishning sxemasi keltirilgan.

Fotoshablonlarni nazorat qilish. Fotoshablonlarni nazorat qilish murakkab va ko'p mehnat talab qiladigan operatsiyadir. Bu operatsiyada mehnatni eng ko'p talab qiladigan va vaqtni oladigan qismi bu ishchi maydonning sifatini tekshirishdir. Fotoshablonlarning ishchi maydonida biron bir sirt nuqsonlari: tirnalgan, ko'chgan, oq, qora nuqta va boshqalar bo'lmashligi kerak.

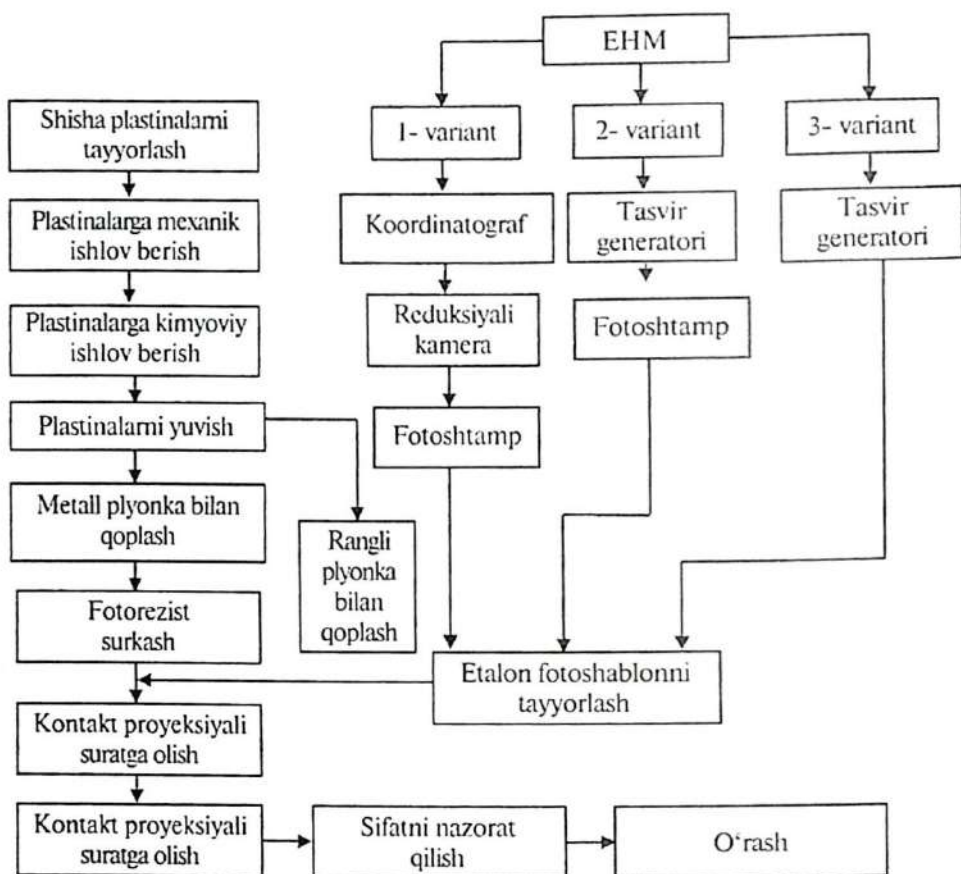
Fotoshablonning quyidagi parametrlari nazorat qilinadi:

- 1) mikrotasvirdagi elementlarning shakli va o'lchamlari;
- 2) fotoshablon komplektidagi elementlarning ustma-ust tushish aniqligi;
- 3) ishchi maydonining tozaligi.

Fotoshablonlar predtsizion o'lchov qurilmalarida mikroskopdan foydalangan holda nazorat qilinadi.

Fotoqatlamni shakllantirish (4.2 va 4.3- rasmlarga q.) bu qo'llanilayotgan fotorezistlarning boshlang'ich xossalari saqlangan holda taglikka yaxshi adgeziyalanadigan, bir xil qalinlikdagi, nuqsonsiz fotoqatlamni hosil qilishni ta'minlashi kerak.

Tagliklarni fotorezist surkashga tayyorlash har bir muayyan hol uchun alohida bo'lib, taglikning materiali, uni hosil qilish texnologiyasi, sirtining holati va fotoniqobning keyinchalik nimaga ishlatilishi bilan aniqlanadi.



4.6- rasm. Fotoshablonlarni seriyali tayyorlash..

Fotolitografiyaga tayyorlangan sirt fotorezist bilan yaxshi ho'llanadigan, suv bilan esa yomon ho'llanadigan bo'lsa, optimal tayyorlangan sirt hisoblanadi. Ko'pchilik polimerli fotorezistlar gidrofob bo'lib, gidrofbli sirlarni yaxshi ho'llaydi.

Shunday qilib, fotorezist surkashga tayyorlangan sirt ham iflosliklardan tozalanishi kerak, ham gidrofob bo'lishi kerak.

Shu sababli, fotolitografiyani kremniy dioksidi bo'yicha kremniy termik oksidlangan zahoti, dioksid sirti gidrofob bo'lib turgan paytda o'tkazilishi shart. Agar SiO_2 plyonkali plastina bir soatdan ortiq saqlangan bo'lsa, unda uning sirti gidrofil bo'lib qoladi. Shuning uchun bunday sirlarga quruq inert gazda, vakuumda yoki organosilanli qorishmalar qo'llaniladigan maxsus gidrofoblovchi termik ishlov berish kerak bo'ladi.

Fotorezistli qatlamni surkash sentrofuga, changlantirish, botirib olish kabi usullar yordamida bajariladi.

Sentrofuga usuli doirasimon plastinalar uchun qo'llaniladi. Taglik sentrofuga diskasiga joylashtiriladi va aylantirilganda vakuumli so'rish bilan ushlab turiladi. Taglikka bir necha tomchi fotorezist tomiziladi va shu zahoti sentrofuga ulanadi. Aks holda undagi erituvchilarning bug'lanib ketishi oqibatida fotorezistning qovushqoqligi bir zumda o'zgaradi. Sentrofuganing aylanishi tufayli suyuq fotorezist taglikning sirti bo'ylab sentrofuganing aylanishiga proporsional bo'lgan markazdan qochma kuch ta'sirida oqib, butun sirtga surkaladi.

Bu usulning ustunliklari: har bir plastina va plastinalar partiyasi doirasida bir xil qalinlikning yuqori qaytariluvchanligi, yupqa ($0,1-0,2 \mu\text{m}$) qatlamlar hosil qilish imkoniyati.

Usulning kamchiliklari: $2-3 \mu\text{m}$ dan katta bir xil qalinlikdagi qatlamlar hosil qilish imkoniyati yo'qligi, chekkalarning qalinlashishi, sentrofuga aylanganda havodagi chang zarrachalarini biriktirib olishi natijasida qatlamning ifloslanishi, erituvchilarning bug'lanishi sababli fotorezist qovushqoqligini har doim nazorat va to'g'rilab turish kerakligi. Markazdan qochma kuch ta'sirida quriyotgan plyonkalarda ichki kuchlanishlar hosil bo'ladi. Bulardan tashqari jarayonni avtomatlashtirish ancha qiyin.

Fotorezistni changlantirib surkash uchun forsunkadan foydalaniladi. Bunda fotorezist qorishmasining kuchli ingichka oqimini soplodan chiqish paytida sochish uchun qisilgan havodan foydalaniladi. Bir xil qalinlikdagi qatlamni hosil qilish uchun changlatish harakatlanayotgan forsunka bilan harakatlanayotgan taglikda bajariladi. Qatlam parametrlari havoning bosimi va temperaturasiga, forsunka soplosidan taglikkacha bo'lgan masofaga, forsunka va taglikning harakat tezligiga hamda fotorezist parametrlariga bog'liq bo'ladi. Fotoqatlamning adgeziyasini yaxshilash uchun taglikni qizdirish mumkin. Bu usul yordamida notekis sirtlarga ham qatlam surkash mumkin hamda aniqligi 5% bo'lgan qalinliklari $0,3 \mu\text{m}$ dan $20 \mu\text{m}$ gacha qatlamlar hosil qilish mumkin. Qatlam chekkalarida qalinlashish kuzatilmaydi. Mexanik kuchlanish yo'qligi tufayli qatlamlarning nuqsonligi sentrofugaga qaraganda 3-4 marta kam bo'ladi. Fotorezistning sarfi nisbatan juda kam hamda mahsuldorlik yuqori va avtomatlashtirish imkoniyati mavjud. Bu usulning kamchiligi qatlamni surkash paytida chang va boshqa iflosliklarning fotorezistning ingichka oqimi (struyasi) tomonidan tortilishidir. Changlantirish usuli bilan to'g'ri burchakli dielektrik tagliklarga rezist surkaladi.

Botirish usuli ikki xil ko'rinishga ega. Birinchi xilida taglik fotorezistga oddiy botiriladi va undan boshqariladigan $6-150 \text{ mm/min}$ tezlik bilan chiqarib olinadi. Sekin chiqarilganda yupqaroq va bir jinsliroq

qatlam hosil bo'ladi. Bu usul ikki tomonlama qatlam surkashda va qalin qatlamlar hosil qilishda qo'llaniladi. Bunda bir xil qalinlikka bo'lgan ta'lab uncha yuqori bo'lmaydi.

Ikkinchi xilida taglik surkaladigan yupqa rezist orqali suvga yoki organik erituvchiga botiriladi va chiqarib olinadi. Rezist molekulası qutbli bo'lganligi uchun sirtga qarab oriyentirlanadi va taglikni botirilganda monosloy va chiqarib olinayotganda yana bir monosloy qoplab oladi. Botirishni bir necha marta takrorlab, qalinligi 150–300 Å bo'lgan rezist qatlamini hosil qilish mumkin. Jarayonning asosiy ustunligi bu juda ham yupqa, bir xil qalinlikdagi, nuqsonsiz, parametrlari yuqori darajada qaytariladigan qatlamlar hosil qilishdir. Bu esa keyinchalik submikronli elementlar (nanotexnologiyada) shakllantirishni ta'minlaydi.

Termik ishlov berish (birlamchi quritish) suyuq fotorezist surkal-gandan so'ng bajariladi. Quritish jarayonida erituvchi chiqarib yuboriladi va plyonkada taxlovchi murakkab relaksatsiyalovchi jarayon yuz beradi. Bunda molekular zich taxlanadi, ichki kuchlanish kamayadi va fotoqatlamning taglikka adgeziyasi oshadi. Quritishda erituvchi butunlay chiqarib yuborilishi kerak, aks holda nurlatish vaqtida molekularning fotosezgir qismi ekranlanadi. Quritish inertgaz atmosferasida o'tkazilishi taviya etiladi. Havoda fotorezist oksidlanishi mumkin.

Quritish jarayonining asosiy parametrlari temperatura va vaqt hisoblanadi.

Infraqizil quritish zamonaviy fotolitografiya liniyalarida qo'llaniladigan asosiy sanoat usuli hisoblanadi. IQ quritishda eritgich rezist qatlami qalinligi bo'yicha bir xilda chiqarilishi bilan farqlanadi. Quritish jarayoni bir necha minutni tashkil qiladi. IQ quritish fotorezist surkal-gandan keyin shu zahoti IQ lampa tagida uzluksiz azot gazini purkab turib bajariladi.

Quritish bilan fotoqatlamni shakllantirish jarayoni yakunlanadi.

Fotoniqobni shakllantirish fotoqatlamda topologik rasm hosil qilinadigan texnologik bosqich hisoblanadi.

Fotorezistlarga yorug'lik tushirilganda ularda fotokimyoviy reaksiya yuz beradi va fotorezistning boshlang'ich xossasi o'zgaradi. Yemirishdan keyingi fotoshablondagi tasvir fotoqatlamga beriladi, ya'ni topologik tasvirli fotoniqob shakllanadi.

IMS tayyorlash texnologiyasida litografiya bir necha marta qo'llaniladi. Shu sababli ikkinchi litografiyadan boshlab fotoshablondagi tasvir taglikdagi tasvir bilan ustma-ust tushishi kerak. Sanoatda eng

ko'p qo'llaniladigan usullardan biri kontaktli tasvir xosil qilish bo'lib, u o'z ichiga kontaktli fotolitografiyani oladi. Bunda fotoshablon bilan taglik bir-biriga tekkizib turiladi.

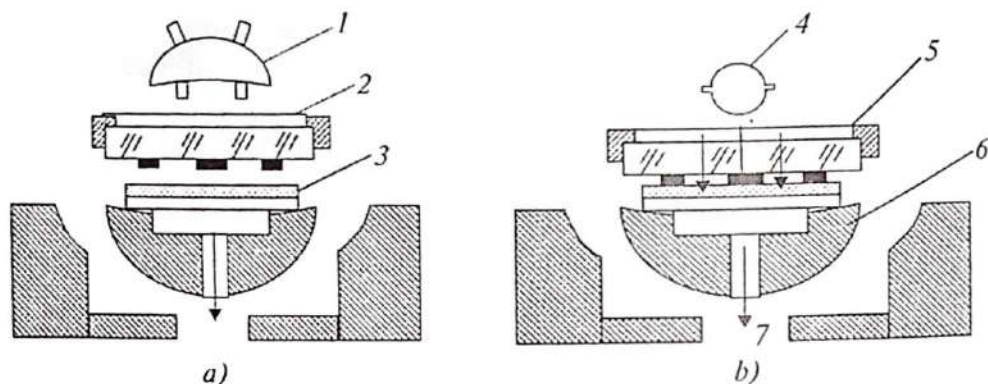
Kontaktli fotolitografiyaning texnologik jarayoni quyidagi operatsiyalarni o'z ichiga oladi:

1. Boshlang'ich taglik sirtini tayyorlash.
2. Taglik sirtiga fotorezist qatlamini surkash.
3. Fotorezistni birlamchi quritish — plyonka hosil bo'lishi.
4. Fotoshablondagi tasvirni taglikdagi tasvir bilan ustma-ust tushirish.

5. Kontakt usuli bilan tasvir hosil qilish.
6. Fotorezistni ochiltirish.
7. Fotorezistni ikkilamchi quritish — polimerlash.
8. Fotorezist plyonkasidagi tasvir relefini nazorat qilish.
9. Taglikni yemirish.
10. Taglik sirtidagi fotorezist qatlamini olib tashlash.
11. Taglikdagi tasvir relefini nazorat qilish.

Ustma-ust tushirish keyingi tasvirga tushiradigan qurilmaning o'zida shablon va taglikdagi rasmlar birining ustiga biri qo'yiladi va mikroskopda qarab turib bajariladi. Ustma-ust tushirish aniqligi komplektidagi fotoshablonlarning ustma-ust tushirish aniqligiga, oldingi fotolitografiya jarayonidagi topologik tasvirni tushirish aniqligiga va mana shu ustma-ust tushirish operatsiyasi aniqligiga bog'liq bo'ladi. Komplektidagi shablonlarning bir-biri bilan va har bir shablonning taglikdagi tasvir bilan ustma-ust tushirishi uchun maxsus topologik rasmlar — uzuksimon, xochsimon, shtrixsimon va shu kabi ko'rinishdagi ustma-ust tushirish figuralari qo'llaniladi. Ustma-ust tushirish qurilmasining asosiy elementlari ikki maydonli mikroskop, sferik asosli stolcha (4.7- rasm), fotoshablonni mahkamlash uchun ramka va o'zaro perpendikular yo'nalishlarda aniq siljituvchi qurilma va shu kabilar hisoblanadi. Shablon va fotoqatlam sirtlarining bir-biriga tegishi natijasida qirilmassligi uchun ularning orasida mikroazor qo'yiladi. Mikroazorning maksimal kengligi kerakli kattalashtirishda mikroskopning aniqlik chuqurligi bilan cheklanadi. Masalan, 100–200× marta kattalashtirishda mikroazor 10–30 µm atrofida qo'yiladi.

O'lchamlari 2–5 µm bo'lgan rasm elementlarini ustma-ust tushirish uchun 200 marta kattalashtiradigan mikroskop kerak bo'ladi. Agar 10–15 µm li aniqlik chuqurligi kerak bo'lsa, unda kuzatiladigan maydon 1–3 mm ni tashkil qiladi. Bu esa taglikning hamma yuzasi bo'yicha ustma-ust tushirishni sifatli bajarish imkoniyatini bermaydi. Shu sababli



4.7- rasm. Fotolitografiya jarayonida ustma-ust tushirish (a) va kontaktli tasvirga tushirish sxemasi (b):

1 – ikki maydonli mikroskop; 2 – shablonushlagich; 3 – fotoqatlamli taglik;
4 – UB-nurlanish manbayi; 5 – fotoshablon; 6 – sharli stolcha; 7 – so‘rish.

ustma-ust tushirish uchun taglikning bir biridan uzoqroqda joylashgan ikki qismini bir vaqtda kuzatish uchun ikki maydonli mikroskopdan foydalaniladi.

Mikroochiqlik qo‘yilgandan so‘ng, operator mikroskop orqali kuzatib, avvaliga katta siljitishlar yordamida tasvirning qatorlari va ustunlarini ustma-ust tushiradi. Undan keyin ustma-ust tushiruvchi figuralar yordamida ochiqlikni nazorat qilingan holda aniq ustma-ust tushirish bajariladi.

Kontakt usuli bilan tasvirga tushirish (mos ravishda litografiya jarayonining hammasi kontaktli fotolitografiya deyiladi) rasmlar ustma-ust tushirilgandan keyin va shablon-taglik bir-biri bilan to‘la kontaktda bo‘lib zazor yo‘qolganda bajariladi (4.7-b rasm). Kontakt uchun kerakli kuchlanish vakuumli yoki pnevmatik qisish bilan amalga oshiriladi. UB-nurlanish manbayi sifatida simob-kvarsli lampaga qo‘llaniladi. Fotorezistning yutilish spektri bilan manba nurlanishi spektrlarini bir-biri bilan moslashtirish uchun yorug‘lik filtrlaridan foydalaniladi. Tasvirga tushirilayotgan fotoqatlam sirtini bir xil yoritilishi uchun nurlanish dastasining paralleligi 1–5 kvarsli linzalardan iborat bo‘lgan kondensorlar tizimi tomonidan ta‘minlanadi.

Yoritilganlik tanlangandan so‘ng va fotoshablon-taglik zich kontakt qilingandan keyin tasvirga tushirish jarayoni amalda nurlantirish vaqti orqali nazorat qilinadi. Tasvirga tushirish uchun kerakli vaqtni pardachalarining ochilish va yopilish vaqti 0,05–0,1 s bo‘lgan elektromagnitli zatvor ta‘minlaydi. Bu yaxshi aniqlikni ta‘minlaydigan tasvirga tushirish vaqti intervaliga (1 s – 2 min) to‘g‘ri keladi.

Kontakli fotolitografiyaning qo'llanilishini cheklaydigan narsa bu fotoshablon va taglik sirtlarining mexanik buzilishidir, bu sirtlar ustma-ust tushirishda bir-biri bilan juda yaqin masofada ($10-15\text{ }\mu\text{m}$) joylashgan bo'ladi, tasvirga tushirishda esa bir-biriga zich tekkizilib turiladi. Plyonkali rasmning mexanik yeyilishi natijasida fotoshablonlarni tez-tez almashtirishga to'g'ri keladi. Bu esa qurilmalarning to'xtatilishiga sabab bo'ladi va tasvirga tushirish jarayonini avtomatlashtirishga to'sqinlik qiladi.

Fotoshablon fotoqatlamga tekkizilganda unga chang zarrachalarini, shisha mikrozarrachalarini va shu kabilarni kiritib yuboradi. Fotoshablonga esa fotorezist zarrachalari yopishadi. Bularidan tashqari fotoshablon va fotoqatlam oralig'iga tushib qolgan UB-nurlanishga shaffof bo'lmagan har qanday zarrachalar fotoniqobda nuqson hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

Fotoshablon bilan taglik orasida to'liq zich kontakt hosil qilish ham amalda juda qiyin, chunki kontaktlanadigan sirtlar ideal tekis emas va ular oralig'ida qo'pincha chet zarrachalar mavjud bo'ladi. Shu sababli hosil bo'ladigan qisman havoli ochiqliklar difraksiya effektini kuchaytiradi va hosil qilinayotgan tasvir o'lchamlarining qo'shimcha kengayishiga olib keladi.

Kontakli fotolitografiya hozirgi davrda ham keng qo'llanilmoqda va u eng ko'p o'rganilgan usul hisoblanadi hamda yuqori mahsuldorligi va tannarxining yuqori emasligi bilan ajralib turadi. Fotoshablon-taglik kontaktining yaqinligi tufayli bu usulda yuqori aniqlikka erishilgan. Qalinligi $0,5\text{ }\mu\text{m}$ bo'lgan pozitiv fotoqatlamga o'lchamlari $1\text{ }\mu\text{m}$ bo'lgan elementlarni berish mumkin. Shunga qaramasdan kontakli fotolitografiyaning yuqorida keltirilgan cheklanishlari tufayli IMS elementlari topologiyasini hosil qilish texnologiyasining bundan buyog'iga mukammalashishi uchun, ya'ni integrasiya darajasini yanada oshirish uchun tasvirga tushirishning kontaktsiz usullari va difraksiyalı hodisalarini kamaytirish yo'nalishlari bo'yicha rivojlanmoqda.

Mikroochiqlikli tasvirga tushirishning kontakli tasvirga tushirishdan farqi ustma-ust tushirishdan keyin taglik va shablon oralig'ida $10-25\text{ }\mu\text{m}$ ochiqlik bo'ladi va mana shu holatda fotoqatlam nurlantiriladi. Mikroochiqlikning bo'lishi yorug'lik difraksiyasining berilayotgan rasmga ta'sirini kuchaytiradi. Elementlarning erishilgan minimal o'lchamlari kattalashadi va $2-4\text{ }\mu\text{m}$ ni tashkil qiladi. Biroq ochiqlik shablonlarning qirilishlarini kamaytiradi va ularning xizmat qilish davri ko'payadi.

Proyeksiyalı tasvirga tushirish soyali usullardan farqli ravishda bir xil yorug'lik oqimini ekranlashga emas, balki proyeksiyalashga, ya'ni

shablon topologiyasiga mos keladigan tasvirni fotoqatlam sirtida maxsus obyektivli optik tizim yordamida hosil qilishga asoslangan. Shablon taglikdan ma'lum masofda joylashganligi uchun qirilish butunlay kuzatilmaydi. Proyeksiyali tasvirga tushirishni cheklaydigan asosiy sabablar: yuqori aniqlikli, katta maydonli obyektivlarni yaratish murakkabligi, hamma texnologik ishlov berishlarda taglik sirtlarining tekislikligini saqlash mumkin emasligi. Fotoqatlamlar qalinligining qaytariluvchanligiga va bir xilligiga yuqori talablar qo'yiladi. Mana shular bilan masshtabni kichraytiradigan qadamli multiplikasiya usulining qo'llanilish ustunligi tushintiriladi. Oraliq fotooriginal (OFO) deb ataladigan fotoshablonlarda 4–20 marta kattalashtirilgan bitta yoki bir nechta kristallar topologiyasi tasviri mavjud bo'ladi. Tasvir tushirilgandan keyin qurilma stolchasi bir qadamga siljiriladi va taglikning yangi holatida keyingi qismining tasviri tushiriladi. Bu operatsiya taglikning hamma qismi tasvirga tushirilgungacha davom etadi.

Qadamli proyeksiyali tasvirga tushirishning ustunliklari: ustma-ust tushirishning 0,1 μm gacha bo'lgan yuqori aniqligi, taglikning notekislikligiga bo'lgan sezgirligining nisbatan kamligi, 1 mkm gacha bo'lgan elementlarni hosil qilish imkoniyatini beradigan yuqori aniqlik.

Ochiltirish – tasvirga tushirishda lokal nurlantirishga mos holda fotoqatlamdagi ortiqcha qismlarni olib tashlash jarayonidir.

Negativli fotorezistlarni ochiltirish organik erituvchilarda: toluolda, uchxloretilenda, dioksanda va shu kabilarda nurlantirilmagan qismlarni oddiy eritishdan iborat bo'lgan jarayondir. Ochiltirgich yaxshi erituvchanlik hususiyatiga ega bo'lib, fotoqatlamning nurlatirilgan qismiga ta'siri minimal bo'lishi shart.

NXD asosidagi pozitiv fotorezistlarni ochiltirish tasvirga tushirishda hosil bo'ladigan indenkarbon kislotasini oson eruvchan tuzga aylaniradigan kimyoviy reaksiyadan iborat bo'lib, keyinchalik bu tuz osongina yuvuladi. Ochiltirgich sifatida KOH, NaOH, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ lar asosidagi suvli va suv-glitserindagi ishqorli kuchsiz eritmalardan foydalaniladi.

Ochiltirish qorishmaga botirish, ochiltirgich bug'larida ushlab turish yoki aylanayotgan taglikka purkashlar bilan amalga oshiriladi. Ochiltirishdan keyin taglikni deionlashgan suv oqimida astoydil yuvish operatsiyasi keladi.

Termik ishlov berish (ikkilamchi quritish) ochiltirgichni, suvni yo'qotish, fotoniqobning kimyoviy turg'unligini va taglikka adgeziyasini oshirish uchun o'tkaziladi. Quritish negativ fotorezistlarda termopolimerlash bilan, pozitiv fotorezistlarda esa molekulalarning parchalanishi va polimer tashkil etuvchilarning qisman birlashishi bilan boradi.

Fotoniqobning sifati buzilmasligi uchun temperatura sekin asta ikki-uch bosqichda ko'tariladi. Ko'pchilik fotorezistlar uchun ikkilamchi quritishning maksimal temperaturasi 150 °C ni, umumiy vaqti esa 1–1,5 soatni tashkil qiladi.

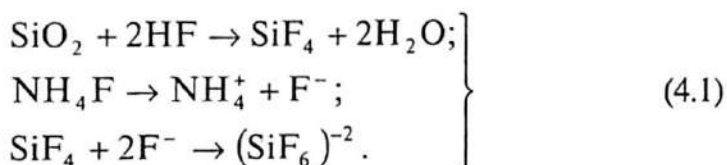
Fotoniqobdagi tasvirni IMS materiali qatlamiga uzatish ikkita usul yordamida bajariladi (4.2 va 4.3- rasmlarga q.). To'g'ri fotolitografiya yemirish eng javobgarli operatsiya hisoblanadi. Chunki yemirishdan keyingi brakni to'g'rilab bo'lmaydi. Yemirgich faqat olib tashlanadigan material bilan ta'sirlashishi kerak, aks holda IMS strukturalarining avvalroq shakllangan sohalariga ham keraksiz ravishda ta'sir qilishi mumkin. Agar yemirgich fotoqatlamga ta'sir qilsa, u holda shakllanayotgan elementlarning o'lchamlarini nazorat qilib bo'lmaydi.

Agar rasmni uzatishda kerak bo'ladigan fotoniqob yemirgichning ta'siriga chidamasa, unda oldindan hosil qilingan qatlam asosidagi niqobdan foydalaniladi. Bunda avval rasm mana shu qo'shimcha qatlamga beriladi, undan keyin esa hosil qilingan niqobdan IMS materialiga beriladi. Masalan, U- yoki V-simon chuqurchalarni mos holda (111) Si yoki (100) Si larda hosil qilish uchun chuqur lokal yemirishda mana shunday qo'shimcha qatlam sifatida SiO₂ qatlamdan foydalaniladi.

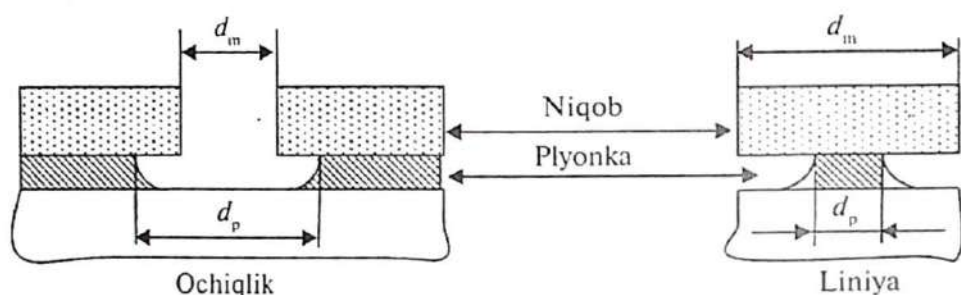
Yemirish sifati fotoniqobning taglikka adgeziya kattaligi bilan, niqobda nuqsonlarning borligi bilan va yemirgichning xossasiga, yemirish usuliga va rejimlariga bog'liq bo'ladi.

Ko'chirilgan rasm sifatining asosiy kriteriyasi *yemirish ponasi, ya'ni rasm gorizontal o'lchamlarining niqobga nisbatan ketib qolishi hisoblanadi.*

Suyuqli yemirishda rasm sifatining yaxshi bo'lishligini bufer yemirgichlar ta'minlaydi. Chunki bunda yemirishning sekinlashgan jarayonini nazorat qilish oson va uning tamom bo'lganligini qayd qilish mumkin. Kremniy dioksidini yemirish, masalan, standart bufer yemirgichi HF : NH₄F : H₂O = 1 : 3 : 7 da bajariladi:



Qorishmadagi dissotsiyanuvchi ammoniy floridi gazsimon kremniy tetraftoridini turg'un ion holatida bog'lab turganligi sababli, kremniy tetraftoridi pufakchalarining birdaniga ajralishiga to'sqinlik qiladi va shu bilan fotoniqobga gidromexanik ta'sir o'tkazadi hamda uning qatlam holatida ajralishiga turtki beradi.



4.8- rasm. Suyuqli izotrop yemirishda topologik rasmning buzilishi.

Suyuq yemirgichlarning ko'pchiligi izotrop hisoblanadi, ya'ni hamma yo'nalishlar bo'yicha yemirish tezligi amalda bir xil bo'ladi, shu sababli niqob rasmi ko'chirishda buziladi (4.8- rasm). Mana shunga binoan suyuqli yemirish o'lchamlari 1–2 μm dan kichik bo'lgan elementlar hosil qilishni ta'minlay olmaydi.

Quruq yemirish (3.6- bandga q.) kattaroq aniqlik darajasini ta'minlaydi. Elementlarining o'lchamlari submikron bo'lgan IMS larni hosil qilishda parallel elektrodli vakuum kameralarda reaktiv ionli va ion-plazmali yemirishlardan foydalaniladi. Bu usullarda yemirish yuqori anizotropiyali bo'lganligi sababli, yemirilgan sohalar o'lchamlarini aniq nazorat qilish imkoniyatini beradi. Yemirish jarayonining parametrlari qattiq nazorat qilinishi kerak, aks holda zararli qo'shimcha effektlar: radiatsion buzilishlar va polimerlarning o'tqazilishi yuz beradi.

Teskari fotolitografiyada topologiyani fotoniqobdan IMS qatlamiga ko'chirish fotoniqobni olib tashlash operatsiyasi bilan birga (4.3- b rasmga q.) yoki qatlamni o'tqazish operatsiyasi bilan birga (4.3- d rasmga q.) o'tkaziladi.

Fotoniqobni olib tashlashdan yana bir maqsad fotolitografiya jarayonida ifloslangan taglikni astoydil tozalashdir. Fotorezistlar organik moddalar bo'lib, ulardan tozalash usullari 3.5- bandda ko'rilgan edi.

Fotoniqobni suyuqli olib tashlash va tozalash kimyoviy ishlov berish uchun universal avtomatlashtirilgan jihozli «Lada-1 Elektronika» kabi maxsus kompleks liniyalarida bajariladi.

Organik erituvchilarda ishlov berish jarayoni: aluminiydan fotoniqobni metanolamin va dimetilformamid aralashmasida olib tashlash va deionlashgan suvda yuvish, suvda UT-li yuvib tashlash va quritish, MMY-3 mikroskopi yordamida plastinalarni nazorat qilishlarni o'z ichiga oladi.

Oltिंगугurt-peroksidli qorishmada ishlov berish jarayoni: kremniy oksididan fotoniqobni olib tashlash va deionlashgan suvda yuvish; suvda UT-li yuvib tashlash va quritish; sentrofugada gidrodinamik yuvib tashlash; nazorat kabi operatsiyalardan tashkil topadi.

Fotoniqobni plazmakimyoviy olib tashlash eng samarali va xavfsiz jarayon bo'lib, bir vaqtning o'zida plastinani tozalashni ham ta'minlaydi. Bu jarayon, masalan, vakuumli yarimavtomat «Plazma-600», «Plazma-600T» larda kislorod va azot aralashmasining past temperaturali plazmasida bajariladi. Azot kremniyning ochiq qismlarini oksidlanishdan saqlaydi.

Fotoniqoblarni olib tashlashlarning texnologik marshrutlari har bir muayyan holati uchun, fotorezistning rusumiga, taglik materialiga va shu kabilarga bog'liq holda ishlab chiqiladi.

Chuqur ultrabinafshada fotolitografiya. Chuqur ultrabinafsha (ChUB) sohaning to'liq uzunligining kichikligi tufayli difraksiyaning kamayishi hisobiga bu sohada tasvirga tushirish fotolitografiyaning aniqlik darajasini oshadi. Bu fotolitografiyaning nisbatan yangi yo'nalishi bo'lib, nurlanish manbayi spektrlari, fotoshablonlarda va proyeksiyalovchi optik tizimlarda qo'llaniladigan materiallarning o'tkazib yuborish (yutilish) spetrlari hamda rezistlarning spektral sezgirliklarini moslashtirish kerakligiga bog'liq holda ma'lum bir cheklanishlarga ega. Standart fotorezistlarning ChUB ga sezgirligi kam yoki aniqlik darajasi kichik bo'ladi. ChUB sohada tasvirga tushirish uchun elektronorezistlardan foydalaniladi (4.4- bandga q.). Nurlanish manbai sifatida simob-ksenonli lampalar, rux yoki kadmiy qo'shilgan simobli yoyli lampalar, deyteriyli lampalar, ionli lazerlar qo'llaniladi. Fotoshablon asosi sifatida o'tkazish chegarasi 160–170 nm bo'lgan kvardsdan foydalaniladi. ЭМ-5004 qurilmasida qadamli proyeksiyada $\lambda = 260$ nm li nurlanishda 5×5 mm maydonda o'lchamlari 0,6–0,8 μ m bo'lgan elementlar hosil qilish mumkin.

Sezgirligi yuqori rezistlar yaratilsa va jihozlar mukammallashsa ChUB da fotolitografiya katta va o'ta katta IMS lar ishlab chiqarishning kerakli usuli bo'lishi mumkin.



Brak turlari va fotolitografiyaning sifatini ta'minlash

Fotolitografik jarayonlarni o'tkazish bir qator nazorat operatsiyalari bilan birgalikda olib boriladi.

Nazoratning asosiy bosqichlari:

- fotorezistning nazorati;
- fotoshablonlar sifatining nazorati;

- taglik sirtining nazorati;
- fotoqatlamning nazorati;
- fotoniqobning nazorati;
- hosil qilingan rasmning nazaroti.

Brakovka kriteriyalari va ruxsat etilgan nuqsonlar mos holdagi texnologik nazorot kartalari orqali reglamentlanadi.

Kontaktli fotolitografiyada tasvirni uzatish sifatining buzilishini shartli ravishda lokal nuqsonlarga, fotoshablon orqali berilgan rasm elementlari o'ldhamlarini noaniq uzatilishiga, ustma-ust tushirish noaniqligiga bo'lish mumkin.

Lokal nuqsonlar — teshilganlik (teshik yoki ortiqcha orolcha ko'rinishidagi nuqsonlar), yoriqlar, timalganliklar, chet kiritmalar, tok olib keluvchi yo'lakchalarning uzilganligi, rasm elementlari chegarasidagi do'ngliklar va chuqurchalar individual hisoblanadi. U hamma strukturalarga (modullarga) emas, balki yakka strukturaga tegishli bo'lib, nihoyatda xavfli hisoblanadi. Bitta lokal nuqsonning paydo bo'lishi butun mikrosxemani brakka olib keladi.

Lokal nuqsonlarning hosil bo'lish sabablari quyidagicha: fotorezist, ochiltirgich, yemirgich, deionlashtirilgan suvlarning xususiy iflosliklari; tashqi atmosferadan, idishlar, aslahalar, jihozlar, operatorlar bilan kontaktdan; fotoshablonlar nuqsonlari — teshilganliklar, shaffof elementlarda noshaffof plyonkalar elementlarining qoldiqlari, shisha o'yiqlari, xiralangan dog'lar, chang, iflosliklar, fotorezist qoldig'i; taglik sirtidagi nuqsonlar, plyonkada do'ngliklarning bo'lishligi; fotorezistiv qatlamning nuqsonlari — teshiklar, fotoshablon va fotorezist qatlam orasiga qattiq zarrachalarning tushib qolishi natijasidagi mexanik buzilishlar.

Fotoshablondan o'ldhamlar va konfiguratsiyaning noaniq berilishi quyidagi har xil sabablar tufayli bo'lishi mumkin: texnologik operatsiyalar o'tkazishning optimal usullari va rejimlarini noaniq tanlash, hamda berilgan rejimlardan chetlanish; berilgan turdagi taglik uchun rezist va (yoki) yemirgichning noto'g'ri tanlanishi; shablonning ishchi yuzasi bilan fotoqatlam sirti o'rtasida majburiy ochiqlik bo'lishligi; taglik yoki fotoshablon shakllaridagi nuqsonlar, fotoqatlam va taglikka surkalgan plyonka qalinligining bir tekis emasligi, fotoqatlam va shablon oralig'iga chet zarrachalarning kirib qolishligi; jihozlarning nomukammalligi va boshqalar.

Rasm elementlarining ustma-ust tushish noaniqligi qo'llanilayotgan komplektidagi fotoshablonlarning ustma-ust tushish noaniqligi, ustma-ust tushish belgisi yoki jihozlarning nomukammalligi, vizual ustma-ust tushirishda esa operatorlarning individual xususiyatlariga va charchaganligi natijasida hosil bo'ladi.

Nazorat operatsiyalarining hammasi amalda mikroskoplar yordamida bajariladi. Ustma-ust tushish noaniqligi, masalan, mikroskop ($300\times-400\times$ marta kattalashtirish) yordamida ustma-ust tushish figuralari chegaralari bilan ular markazlarining hisoblangan nokelishilganliklari orasidagi ochiqlikni o'lchash bilan baholanadi.

Elektron texnika mahsulotlari elementlari topologiyasini hosil qilishdagi ko'p muammolarni proyeksiyali fotolitografiyaga o'tish bilan hal qilish mumkin.



Elektron litografiya

Elektron litografiya usulining asosi va ustunliklari. Elektron-nurli litografiya tezlangan elektronlar to'lqin uzunliklarining nihoyatda kichikligi sababli amalda difraksiya kuzatilmasligi va buning natijasida sezgirlik darajasining yuqori bo'lishligi bilan farq qiladi. Elektron to'lqin uzunligi λ (nm) quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} \approx \frac{1,24}{\sqrt{2U}}, \quad (4.2)$$

bu yerda m , e — elektron massasi va zaryadi, U — tezlatuvchi kuchlanish, V.

Tezlatuvchi kuchlanishning 10^2 dan 10^4 V gacha bo'lgan qiymatlarida elektron to'lqin uzunligi 0,1 nm dan 0,01 nm gacha o'zgaradi. Elementning chegaraviy o'lchami 0,05 μm . Elektron litografiya tizimlari yuqori chuqurlikli aniqlikka egaligi sababli tagliklarning tekis bo'lishligini talab qilmaydi. Elektron nurdan ustma-ust tushish belgisini topishda foydalanish mumkin. Bu esa ustma-ust tushish aniqligini oshiradi. Tasvirga tushirish (eksponirovaniye) vakuum qurilmalarda bajarilganligi sababli jarayonning tozaligi va yuqori avtomatlashtirish ta'minlanadi. Topologiyani EHM xotirasiga kiritilgan algoritm orqali uzatish esa tasvirga tushirishni shablonsiz bajarish imkonini beradi.

Elektronli tasvirga tushirish (eksponirovaniye) tezlangan elektronlarning elektronorezist bilan notermik ta'sirlashuviga asoslangan. Elektronlar katta energiyaga ega bo'lganliklari sababli yo'lidagi hamma kimyoviy bog'larni uza oladi. Bir paytning o'zida molekalalarni ko'ndalang biriktirish ham yuz beradi. Odatda bu ikki effektning birortasi ustunroq bo'ladi; ularning tezliklari orasidagi farq qancha katta bo'lsa, rezist shuncha yaxshi bo'ladi.

Elektronorezistlarning sezgirliги zaryadning dozasi bilan aniqlanadi. Bunda pozitiv rezistda nurlangan qismlar qatlamning butun chuqurligi bo'yicha ochiltiriladi, negativlarda esa nurlangan qismda ochiltiril-

gandan so'ng boshlang'ich qalinligining 0,5 qismi qoladi. Sezgirlik elektronlarning energiyasiga, ochiltirgich turiga, ochiltirish sharoitiga, rezist qalinligiga va shu kabilarga bog'liq bo'ladi. Qoida bo'yicha sezgirliги kamroq rezistlar ko'proq nurlatiladi va ularning sezgirlik darajalari yuqori bo'ladi. Elektronlar energiyasining oshishi bilan sezgirlik oshadi, biroq sochilish ham oshganligi sababli sezgirlik darajasi kamayadi. Sezgirlik darajasini cheklaydigan yana bir omil bu ochiltirish vaqtida rezistlarning shishib qolishi hisoblanadi. Bu omil ko'proq negativ rezistlarda kuzatiladi.

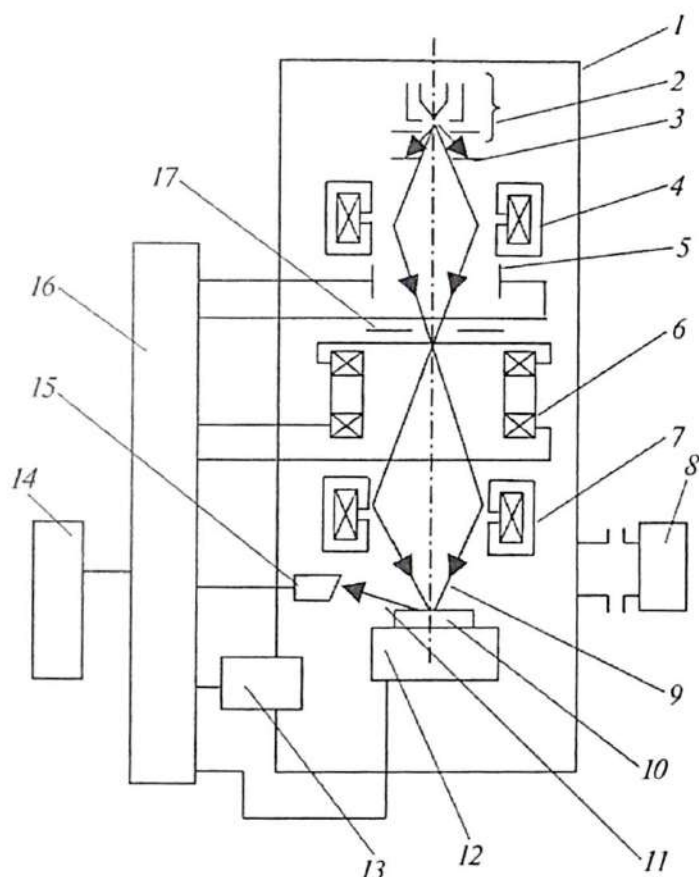
Elektronorezistlar (4.2- jadval) asosan katta molekular massaga ega bo'lgan organik materiallar bo'lib, ular ko'rinadigan va UB – yorug'likka yuqori shaffoflikka ega. Pozitiv rezistlar polimetilmetakrilat (PMMA) va polibutensulfon (PBS) asosida, negativ rezistlar poliglitsidilmetakrilat (GMA) asosida tayyorlanadi. Rusumlarining nomlanishi: ERP (ЭРП) – elektronorezist pozitiv, ERN (ЭРН) – elektronrezist negativ.

4.2- jadval

Rusumi	Sezgirlik, C/sm ²	Uzatiladigan elementning minimal o'lchami, μm
ЭРП-1	$5 \cdot 10^{-5}$	0,5
ЭРП-4	$5 \cdot 10^{-6}$	1
ЭРП-7	$1 \cdot 10^{-5}$	1
ЭРН-16	$1 \cdot 10^{-7}$	2,0–3,0
ЭРН-20	$5 \cdot 10^{-5}$	1,0–1,5

Neytral fotondan (optik va rentgen nurlanishlar) farqli ravishda elektron zaryadli bo'lgani sababli elektron optika, ya'ni elektr va magnet maydonlari yordamida elektronlarni tezlatish, fokuslash va hosil qilingan elektron nurni og'dirish mumkin. Tasvirga tushirishning ikki usuli qo'llaniladi: birinchi usulda doirasimon, kvadrat yoki to'g'ri burchakli kesimli fokuslangan bitta holdagi nur berilgan dastur asosida harakat qildiriladi (skanlovchi elektronografiya); ikkinchi usulda shablondagi tasvirni 1 : 1 yoki 10 : 1 dan 30 : 1 gacha bo'lgan mashtabda keng elektron dastasi yordamida taglikning hamma sirtiga yoki uning bir qismiga proyeksiyalanadi.

Skanlovchi elektronografiya. Qurilmaning vakuum kamerasida shakllangan elektron nur elektronorezist qatlamli taglik tekisligiga fokuslanadi (4.9- rasm). Nazariy jihatdan diametri 1 nm atrofida nur



4.9- rasm. Skanlovchi elektronolitografiya vakuum qurilmasining sxemasi:

1 – vakuum kamerasi; 2 – elektron pushka; 3 – kvadratlí diafragma; 4 – kondensor linzasi; 5 – nurni so‘ngdiruvchi og‘diruvchi plastinalar; 6 – og‘diruvchi chulg‘amlar; 7 – proyeksiyalovchi linzalar; 8 – vakuum tizimi; 9 – elektron nur; 10 – taglik; 11 – ikkilamchi elektronlar; 12 – taglikni siljituvchi tizim; 13 – siljitishning pretsizionli datchigi; 14 – axborotni kirituvchi qurilma; 15 – ikkilamchi elektronlar datchigi; 16 – boshqarish tizimi; 17 – diafragma.

hosil qilish mumkin, lekin amalda elektron-optik tizimlarning nomukammalligi tufayli ancha katta diametrli nur hosil bo‘ladi. Rezist qatlami sirti bo‘ylab nurni skanlash maxsus boshqaruv tizimi yordamida amalga oshiriladi. Rezist qatlami alohida qismma-qism – kadr (ЭЛТБП qurilmasida 2×2 mm) holida tasvirga tushiriladi, chunki nurning siljirilishi hamma yuzaga ishlov berish uchun yetarli emas. Skanlash ikki xil usul orqali amalga oshiriladi. *Rastrli skanlashda* nur kadrning hamma yuzasi bo‘ylab siljiriladi va bunda topologiya dasturiga mos holda kerakli joylarda yoqiladi va o‘chiriladi.

Vektorli skanlashning mahsuldorligi yuqoriroq bo'lib, bunda nur keyingi elementga o'tish momentida yoqilib faqat topologiya elementiga mos joylardagina siljiriladi. Keyingi kadrlarni tasvirga tushirish o'tish taglikli stolchani ikkita chiziqli va burchakli koordinatlar bo'yicha pretsizionli siljitib amalga oshiriladi.

Bu usulning asosiy kamchiligi tasvirga tushirish vaqtining kattaligi sababli mahsuldorlikning pastligidir, chunki nurning diametri kamaytirilganda uning tokini kichraytirish va skanlash qatorlari sonini oshirish kerak. Asosiy vazifa — elektronorezistlarning sezgirligini oshirishdir.

Proyektsiyali elektronolitografiya. Topologiyani masshtabi saqlangan holda proyeksiyalashda shablon-fotokatod, masshtabni kichraytirib proyeksiyalashda ham shablon-katod, ham metall folgali erkin niqobdan foydalaniladi.

Masshtabi saqlangan holda proyeksiyalash bir vaqtning o'zida taglikning hamma sirtini nurlantirish imkoniyatini beradi. Fotokatod jilolangan kvarsli plastinadan iborat bo'lib, uning sirtiga UB-nurlanishga noishaffov bo'lgan 1 : 1 masshtabda rasmlı qatlam (xrom, titan dioksidi) tayyorlangan bo'ladi. Bu qatlamning ustiga yuqori fotoemissiyali materialning (palladiy, seziy yodidi) tekis qatlami hosil qilinadi. Fotokatod kvarsli tomonidan ultrabinafsha nur bilan yoritiladi, teskari tomonidan niqoblovchi plyonka bilan berkitilmagan qismlaridan fotoelektronlar emissiyalanadi. Bu elektronlar elektr maydoni yordamida tezlashtiriladi va fokuslovchi tizim yordamida katodning tasviri elektronorezist qatlamiga proyeksiyalanadi.

Masshtabni kichraytirib proyeksiyali tasvirga tushirish bir necha millimetrlı maydonchada amalga oshiriladi. Elektronlar manbayi sifatida elektronlar pushkasining termokatodi yoki fotokatod-shablondan foydalaniladi. Termokatodli tizimlarda metall folgali shablonlardan foydalaniladi. Shablonning kichraytirilgan tasviri taglikka proyeksiyalanadi. Shundan so'ng stolcha siljiriladi va elektronorezist qatlamining hammasi to'liq tasvirga tushirilmaguncha shunday davom ettiriladi. Bunda ustma-ust tushirish ham, o'tkir fokuslangan nurni skanlash ham skanlovchi elektronolitografiya rejimlarida bajariladi. Masshtabni kichraytirib tasvirga tushirish o'lchamlari 0,25 μm gacha bo'lgan elementlarni hosil qilish imkoniyatini beradi. Bu jarayonning mahsuldorligi skanlovchi tasvirga tushirishga qaraganda yuqori (bitta maydonchaga 1 s dan kam), lekin shablonlarni tayyorlashning murakkabligi uning kamchiligidir.

Hozirgi davrda elektronli tasvirga tushirish fotooriginallarni, foto- va rentgenshablonlarni, proyeksiyalovchi elektronolitografiya shablonlarini hamda elementlarining o'lchamlari 1 μm dan kichik bo'lgan

yarimo'tkazgichli o'ta katta IMSlarni tayyorlashda qo'llanilmoqda. Masalan, nuri to'g'ri burchak shaklli 01CJIC1-001 qurilma elementlarining o'lchamlari 1 μm bo'lgan beshinchi va oltinchi darajali integratsiyali mikrosxemalarni tayyorlash uchun mo'ljallangan. Bu qurilmaning mahsuldorligi bir soatda diametri 76 mm li beshta plastinadir.



Rentgenli litografiya

Rentgenli litografiya asoslari. Nurlanishning to'liq uzunligini kamaytirish yo'li bilan litografiyaning sezgirlik darajasini oshirish va shablon-taglik kontaktini yo'qotish usullarini qidirish natijasida rentgenli tasvirga tushirish jarayoni paydo bo'ldi.

Rentgenli litografiyada tasvirga tushirish to'liq uzunligi 0,4–5 nm li xarakteristikali rentgen nurlanishi yordamida bajariladi.

Rentgenli nurlanish (RN) nishonni tezlangan elektronlar oqimi bilan nurlantirish yo'li bilan hosil qilinadi. Tezlangan elektronlarning nurlantirilayotgan modda atomlari bilan ta'sirlashishi xarakteriga bog'liq holda ikki turdagi RN hosil bo'ladi: *oq* va *xarakteristikali*. *Oq nurlanish* elektronlarning tashqi qobiqdagi elektronlar bilan ta'sirlashib tormozlanishi natijasida hosil bo'ladi. *Xarakteristikali nurlanish* tezlangan elektronlarning nurlantirilayotgan modda atomining ichki qobig'idagi elektronlar bilan ta'sirlashishi oqibatida hosil bo'ladi. Bunda ichki qobiqdagi elektronlar tashqi qobiqqa o'tadi yoki atomdan chiqib ketadi. Elektronlarning atomdagi bo'shagan ichki qobiqqa o'tishida xarakteristikali rentgen nurlanishi kuzatiladi. Har xil ichki qobiqdagi elektronlarning kinetik energiyalari farqi tashqiga nisbatan ancha katta bo'ladi. Shu sababli xarakteristikali nurlanishning to'liq uzunligi oq nurlanishning to'liq uzunligiga qaraganda ancha kichik bo'ladi. Rentgenrezist qatlamiga RN yutilganda hosil bo'ladigan fotoelektronlar uning strukturasini qayta quradi. Fotoelektronlar ta'sirida strukturalash va destrukturalash jarayonlari elektronrezistlarni tezlangan elektronlar bilan nurlantirilgandagi jarayonlarga o'xshash bo'ladi. Shu sababli rentgenli litografiyada elektronrezistlarni qo'llash mumkin. Rentgenrezistlarning sezgirliги — rentgenrezist qatlamini butun chuqurligi bo'yicha ocha oladigan birlik yuzaga yutilgan RN energiyasi bilan aniqlanadi. Amaliyotda asosan PMMA va PBS asosidagi sezish qobiliyati 0,1 va 0,5 mm hamda mos holdagi sezgirliklari 1000 va 100 mJ/sm² bo'lgan rezistlar qo'llaniladi.

Rentgen nurlanish manbalari. RN standart manbalari 10–20 keV gacha tezlangan elektronlar bilan bombardimon qilinadigan metall nishonlardan iborat bo'ladi. Atom nomeri kichik materialdan

tayyorlangan nishonlarda kontrastlikni yomonlashtirilgan fonli nurlanish kam bo'ladi. RN to'liq uzunligi 0,4–5 nm li materiallar juda kam (4.3- jadval).

4.3- jadval

Rentgen nurlanishi nishoni materiallari

Material	Atom nomeri	To'liq uzunligi, nm	Energiya, keV
1. Palladiy	46	0,437	2,83
2. Radiy	45	0,46	2,69
3. Molibden	42	0,54	2,29
4. Kremniy	14	0,71	1,74
5. Aluminiy	13	0,83	1,49
6. Mis	29	1,33	0,93
7. Uglerod	6	4,47	0,28

Rentgenli litografiya uchun ideal manba bo'lib yuqori sezish qobiliyatiga ega bo'lgan sinxrotron hisoblanadi.

Rentgen litografiya uchun shablonlar. Rentgen shablonlar tasvirga tushirish vaqti katta bo'lmasligi uchun qo'llanilayotgan rentgen nurlanishiga shaffov bo'lgan asosda tayyorlanishi kerak. Plyonkali rasm materiallari esa shaffov bo'lishi kerak emas. Bundan tashqari asos o'lchamlarining stabiligini saqlashi, ko'p marta foydalanilishi uchun yetarlicha mustahkam va optik ustma-ust tushirishdan foydalaniladigan bo'lsa, unda ko'rinadigan yorug'likka shaffov bo'lishi kerak.

Shablonning niqoblovchi qatlami sifatida odatda oltin qo'llaniladi. Shablonning asosi uchun 4.4- jadvalda keltirilgan materiallar qo'llaniladi.

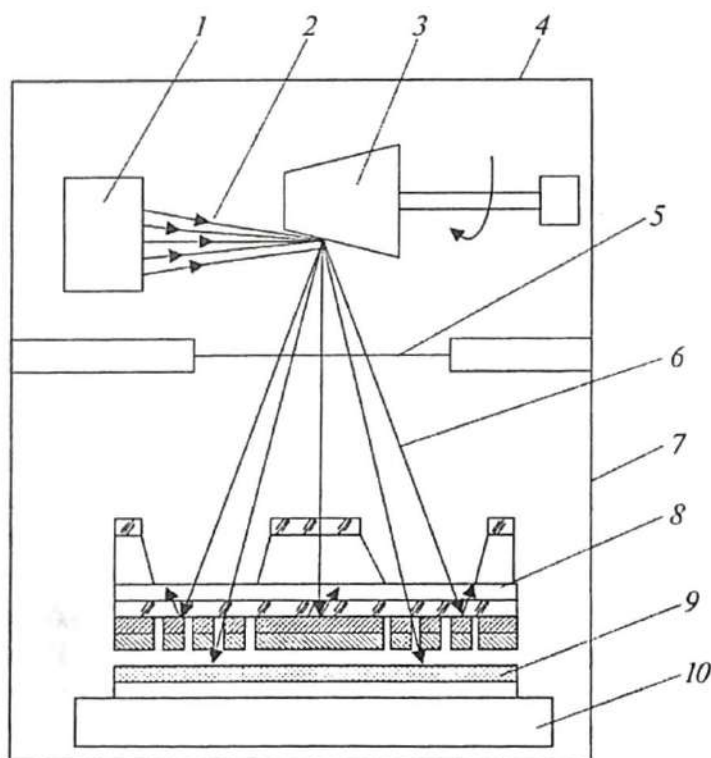
4.4- jadval

Rentgenshablonlar asosi uchun materiallar

Asos materiali	Qalinlik, μm	Ushlab turuvchi struktura	To'liq uzunligi, nm
Kremniy	2–4	Kremniy plastinasi	0,83
Berilliy	12	Metalli halqa	0,4–0,83
Kremniy nitridi	0,2–0,5	Kremniy plastinasi	0,83–1,33
Aluminiy oksidi	0,2	Alyuminiy plastinasi	0,83–1,33
Moylar	3–6	Shishali yoki metalli	0,83–4,5
Poliimid	0,5	halqa	1,33

Rentgen litografiyasi uchun shablonlarni ishlab chiqarish texnologiyasi ancha murakkab muammolardan hisoblanadi. Kuchli legirlangan kremniy plastinasi sirtida qalinligi $3\text{ }\mu\text{m}$ atrofida bo'lgan kuchsiz legirlangan kremniy qatlami o'stiriladi. Bu qattlamning ustiga kremniy dioksidi yoki aluminiy oksidi, xrom va oltin o'tqaziladi. Undan so'ng xrom-oltin ikkilangan qatlamda elektron-nurli litografiya va quruq yemirish bilan birgalikdagi yordamida rasm shakllantiriladi. Shundan so'ng kremniy dioksidi kontaktli niqobdan foydalanib kuchli legirlangan kremniy yemirish bilan olib tashlanadi. Bunda yemirgich kuchsiz legirlangan qatlamga ta'sir qilmaydi.

Rentgenli tasvirga tushirish (eksponirovaniye). Rentgen diapazon-dagi to'liq uzunliklari uchun optik tizim hosil qilish mumkin emasligi sababli tasvirga tushirish faqat soyali usul yordamida amalga oshiriladi. Bunda shablondagi rasmning mashtabi $1 : 1$ bo'lishi kerak. Qurilmaning vakuum kamerasida aylanib turadigan nishon — anod elektronlar oqimi bilan nurlantirilganda rentgen nurlanishi hosil bo'ladi (4.10- rasm).



4.10- rasm. Rentgenli tasvirga tushirish sxemasi:

1 — elektron pushkasi; 2 — elektron nurlar; 3 — nishon; 4 — rentgen nurlari shakllantiriladigan vakuum kamerasi; 5 — berilliyli darcha; 6 — rentgen nurlari; 7 — tasvirga tushirish kamerasi; 8 — kremniyli rentgenshablon; 9 — rentgenrezist qatlamli taglik; 10 — ustma-ust tushirish qurilmasi.

Berilliyli darcha orqali rentgen nurlari dastasi geliy bilan to'ldirilgan tasvirga tushirish kamerasiga o'tadi. Geliy havoga qaraganda rentgen nurlarini yutmaydi. Rentgen nurlarini fokuslovchi linzalar bo'lmaganligi sababli tasvirga tushirish tarqalayotgan nurlar bilan amalga oshiriladi. Bu topologik elementlar shaklining buzilishiga sabab bo'ladi.

Elementlari submikronli o'lchamli IMS larni tayyorlashda taglik va shablon tekiliklarining nostabilligi tufayli tasvirga tushirish vakuumda taglikni shablona nisbatan qadamli siljitish bilan amalga oshirish hamda ustma-ust tushirishning $0,05 \mu\text{m}$ atrofidagi yuqori aniqligi talab qilinadi.

Ustma-ust tushirish har xil usullar yordamida bajariladi. Agar elementlarning o'lchamlari $2-5 \mu\text{m}$ bo'lsa, optik mikroskop yordamida vizual ustma-ust tushirishni qo'llash mumkin. Bunda yorug'likning difraksiyalı panjara ko'rinishdagi belgilardagi difraksiya effektidan foydalaniladi. Agar shablondagi va taglikdagi rasmlar ozgina bo'lsa ham ustma-ust tushmasa unda yirik muagrlı rasm hosil bo'ladi. Submikronli elementlarda yuqori aniqlikdagi ustma-ust tushirish va shunga mos usullar talab qilinadi. Rentgenli tasvirga tushirish jarayonida taglik orqali o'tayotgan rentgen nurlarini registratsiya qilishga asoslangan ustma-ust tushirish aniqligining nazoratini amalga oshirish mumkin.



Ion-nurli litografiya

Ion-nurli litografiyaning xususiyatlari. Ion-nurli litografiya elektron va rentgen litografiyalardagi cheklanishlarni engish uchun bo'lgan harakatlar natijasida paydo bo'ldi. Tezlashtirilgan ionlar nurini qo'llash bir qator ustunliklarni beradi. Ionlar katta massaga ega va shu sababli rezist qatlamida sochilishi kamroq bo'ladi. Ularda sochilish rasmning yaqin joylashgan elementlariga tarqalganda elektronlarga tegishli bo'lgan kerak bo'lmaydigan yaqinlik effekti kuzatilmaydi. Rezistda generatsiyalanadigan ikkilamchi elektronlarning energiyalari juda kam bo'ladi va ularning yugurish yo'li 10 nm dan oshmaydi. Ion nurida elektron nurga qaraganda o'zaro itarilish kuchsizroq bo'ladi. Rentgen nurlari kabi katta energiyali ionlar aniqlik darajasini cheklaydigan difraksiyaga kamroq beriladi. Rentgen nurlanishdan farqli ravishda ionlar uchun kollimirlangan nurlar hosil qilish mumkin. Bu esa aniqlik darajasini kamaytiradigan geometrik effektlarni yo'q qiladi (4.4- bandga q.). Ionli litografiyada optik litografiyaga nisbatan difraksiya bilan bog'langan muammolar bo'lmaydi. Mana shularning hammasi elementlarning o'lchamlari $0,5 \mu\text{m}$ dan katta bo'lmagan

topologik rasm hosil qilish imkoniyatini beradi. Ion-nurli tasvirga tushirish usun elektronolitografiyaga nisbatan ko'p marta kam bo'lgan nurlanish dozasi talab qilinadi.

Ion-nurli litografiya uchun rezistlar. Ion nuri yordamida kontaktli niqobni shakllantirish uchun elektronorezistlarni qo'llash mumkin, hatto ularning ba'zi birlarining elektronlarga nisbatan ionlarga sezgirligi yuqoriroq ekan. Bu amaliyotda qo'llaniladigan energiyalarda ionlarning elektronlarga nisbatan ionlashtirish qobiliyati kata ekanligi bilan tushintiriladi. Hamma polimer va ba'zi bir noorganik rezistlar, masalan, GeSe asosidagi rezist negativ ionorezist sifatida foydalaniladi. Kerakli mos tarkibli plazmada ochiltirishda oson uchuvchan birikmalar hosil bo'lishi natijasida ionorezist qatlamidan ion bilan nurlantirilmagan qismlari olib tashlanadi.

Ion-nurli litografiya uchun shablonlar. Hozirgi davrda rentgen-shablonlarga konstruksiyasi jihatdan o'xshash shablonlar qo'llanilmoqda. Bular ionlarga shaffof bo'lgan membranalar bo'lib, shablonning massiv qismi tarafidan ushlab turiladi (4.4- bandga q.). Tasvirga tushirish jarayonining aniqlik darajasi membrananing qalinligiga bog'liq bo'ladi. Qalin membranalarda ionlarning sochilishi kuchliroq bo'ladi, bu esa aniqlik darajasini kamaytiradi. Shu sababli qalinligi 70–200 nm bo'lgan aluminiy oksidli asosli shablonlar qo'llaniladi. Bulardan tashqari qalinligi 0,7–1 μm bo'lgan (110) Si asosli shablonlar ham qo'llanilmoqda. Bu ikki turdagi shablonlarda asosning ishchi tomonida qalinligi 0,5–1 μm li niqobli plyonka ionlar uchun noshaffof bo'lgan oltindan tayyorlanadi.

Ion-nurli tasvirga tushirish. Ioncrezistda tasvirni shakllantirish uchun ikki xil usuldan foydalanish mumkin: fokuslangan nur bilan skanlash, shablondagi topologiyani taglik tekisligiga proyeksiyalash.

Skanlovchi ion-nurli litografiya skanlovchi elektronolitografiyaga o'xshash bo'ladi. Ionlar manbaida hosil qilinayotgan (xuddi ion-nurli yemirishdagi kabi, 3.6- bandga q.) He^+ , H^+ yoki Ar^+ ionlari manbadan tortib olinadi, tezlashtiriladi va taglik tekisligiga elektron-optik tizim yordamida fokuslanadi. Skanlash yuzasi 1 mm^2 li kadr qilib bajariladi. Bunda taglikli stolcha qadamli siljiladi va har bir kadrda ustma-ust tushiriladi. Fokuslangan ionli nur bilan skanlash elementlarining o'lchamlari 0,03 μm dan 0,3 μm gacha bo'lgan topologiyani hosil qilishda qo'llaniladi.

Proyeksiyali ion-nurli litografiya keng kollimirlangan yuzasi 1 sm^2 bo'lgan ion dastasi yordamida bajariladi. Ustma-ust tushirish skanlash rejimida ustma-ust tushirish belgilari yordamida metall belgi chekkasida potensialning o'zgarishini qayd qilish yo'li bilan bajariladi.

Ion litografiya jarayoni elektronolitografiya kabi oson avtomatlashtiriladi. Ion-nurli litografiyaning xususiyati shundaki, ion nur yordamida tasvirga tushirishdan tashqari quyidagi texnologik operatsiyalarni bajarish mumkin: sirlarni tozalash, yemirish (3.6- band), plyonkalarni o'tqazish hamda bitta texnologik qurilmada mana shu operatsiyalarni boshqa quruq jarayonlar, masalan, ochiltirish, teshik hosil qilish kabilar bilan birgalikda bajarish mumkin. Shunday qilib, ion-nurli litografiya integrallangan texnologik jarayonlarni yaratishda imkoniyatlarni kengaytiradi.

Litografiya jarayonlarini qiyoslash va rivojlanish tendensiyalari. O'ta katta IMS, katta IMS, IMS hamda shablonlar, erkin niqoblar, chiqiq romchalari, tasmalari va boshqa mahsulotlarni tayyorlashning texnologik marshrutlarini loyihalashda rasmni shakllantirish usulini tanlash uchta asosiy parametr bo'yicha amalga oshiriladi: aniqlik darajasi — akslantirish mumkin bo'lgan chiziqlarning minimal kengligi, ustma-ust tushirish aniqligi, jarayonning mahsuldorligi. Bulardan tashqari, albatta qo'llanilayotgan usulning iqtisodiy samaradorligi ham hisobga olinadi.

Optik litografiya yuqori mahsuldorlikni ta'minlaydi va ommaviy ishlab chiqarishda IMS topologiyasini shakllantirishda asosiy usul hisoblanadi. Optik litografiya jarayonlari juda ham yaxshi yo'lga qo'yilgan bo'lib, borgan sari uncha katta bo'lmagan sarf-harajatsiz mukammallashtirilmoqda hamda yetarli miqdordagi pretsizion uskunalarga ega. Prognozchilarning fikricha, hozirgi davrda va yaqin o'n yilliklarda optik litografiya eng tejamkor jarayon sifatida o'z o'rnini saqlab qoladi. Qadamlı multiplikasiya uskunalarining xarakteristikaları ChUB (chuqur ultrabinafsha) uchun linzalarga o'tilishi bilan keskin yaxshilanishi kutilmoqda.

Elektronolitografiya yuqori aniqlik darajasini ta'minlaganiga qaramasdan mahsuldorligining kamligi, uskunalarining qimmat baholigi hamda maxsus rezistlardan foydalanish kerakligiga bog'liq bo'lgan qiyinchiliklar bilan ajralib turadi. Hozirgi paytda bu usul presizionli shablonlarni ishlab chiqarishda hamda o'ta katta IMS larni kichik seriyali ishlab chiqarishda qo'llanilmoqda.

Katta va o'ta katta IMS larni tayyorlashda ishlab chiqarishni optimizatsiyalash maqsadida hozirgi davrda topologiyani shakllantirish bitta mahsulot uchun optik, elektron va rentgen litografiyalı ishlov berish bilan amalga oshiriladi: shablonlarni tayyorlashda — elektronolitografiya, mikrosxema strukturalarini tayyorlashda IMS topologiyasiga qo'yiladigan talabga bog'liq holda — bu litografiyalardan ixtiyoriy bittasi yoki birgalikdagisi.

Rentgenli litografiya multiplikatsiya tizimi va shablonlarni tayyorlash texnologiyasi mukammallashtirilgan taqdirda optik va elektron litografiyalari oralig'idan joy olishi mumkin.

Ion-nurli litografiya hozirgi davrda asosan ilmiy izlanishlar olib borilayotgan bosqichda.



Plyonkali strukturalar topologiyasini shakllantirish

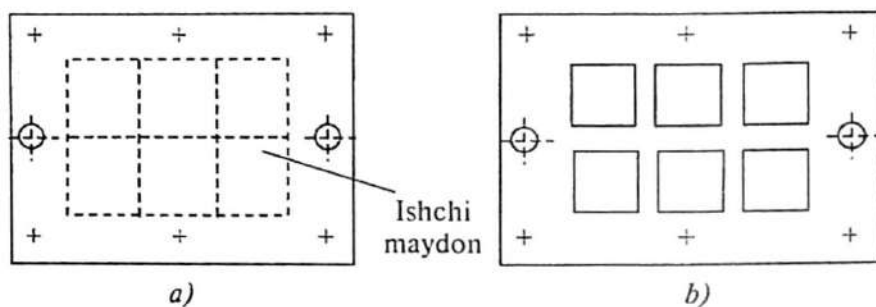
Plyonkali elementlar topologiyasini shakllantirish usullari.

Elektron texnika mahsulotlari yupqa va qalin plyonkali strukturalarining topologiyasini shakllantirish uchun erkin niqoblar qo'llaniladi. Plyonkani o'tqazish va erkin niqob yordamida rasm elementlarini hosil qilish bitta texnologik jarayonda amalga oshiriladi va shu sababli kontaktli niqoblarda zarur bo'lgan yemirish bu yerda kerak bo'lmaydi. Bu jarayonlar plyonkani o'tqazish usuliga bog'liq holda ikkiga bo'linadi: *erkin niqob usuli* va *trafaret bosma usuli*. Bu ikki usul ham yuqori aniqlik darajasini ta'minlay olmaydi. Shuning uchun pretsizionli yupqa plyonkali va ba'zan qalin plyonkali elementlarni yaratishda avval ko'rilgan kontaktli fotolitografiya qo'llaniladi. Ba'zi hollarda fotolitografiya va erkin niqobdan birgalikda foydalanib topologiya shakllantiriladi.

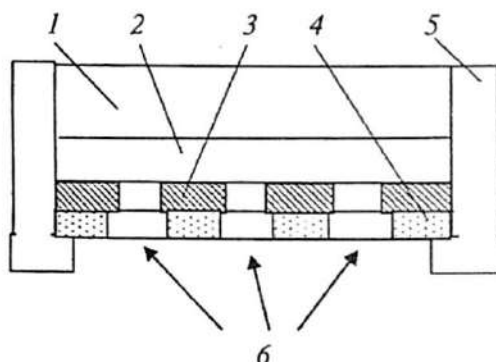
Erkin niqob usulining mohiyati va xususiyatlari. Usul erkin niqob yordamida taglikning kerakli qismlarini vakuum qurilmalarida changlatib o'tqazilayotgan plyonka zarrachalari oqimidan ekranlashdan iboratdir.

Oldingi changlatish jarayonida taglikda hosil qilingan plyonkali rasm bilan niqobni ustma-ust tushirish havoda yoki vakuum kamera-sining o'zida bajariladi. Vakuum siklida niqob orqali bitta plyonkani changlatib o'tqazishda niqob, niqobosti va taglik ularning ustma-ust tushishini ta'minlaydigan umumiy ushlab turgich — kassetaga yig'iladi. Undan so'ng kasseta aylanuvchi disk yoki barabanga o'rnatiladi. Niqobosti niqobning egilmasligini ta'minlaydigan nisbatan qalin panjaradan iborat bo'lib, teshiklari guruhli niqobning kadrlari bilan ustma-ust tushiriladi (4.11- rasm).

Ushlab turg'ichni yig'ish (4.12- rasm): ushlab turg'ichda niqobni niqobosti bilan birga fiksatsiyalash; plyonkani changlatib o'tqazish jarayoni davrida taglikning yuzasi bo'yicha temperaturani tekislab turuvchi massiv asos — stolchaning ikki tayanchi oralig'iga taglikni mahkamlash; niqob-taglik zich kontakt bo'lguncha bu oraliq yig'ilmalar bir-biri bilan biriktiriladi.



4.11- rasm. Erkin niqob (a) va niqobosti (b).



4.12- rasm. Erkin niqob orqali plyonkani changlatib o'tqazish uchun ushlab turgichni yig'ish sxemasi:

1 – temperaturani tekislovchi stolcha; 2 – taglik; 3 – niqob; 4 – niqobosti; 5 – ushlab turgich; 6 – changlanayotgan zarrachalar oqimi.

Erkin niqob usulining xususiyatlari quyidagilardan tashkil topadi. Erkin niqoblar yordamchi texnologik jarayonda tayyorlanadi va taglikda plyonkali rasmni hosil qilishda ko'p marta foydalaniladi. Erkin niqob yordamida rasmni hosil qilish jarayoni kontaktli niqob yordamida rasm hosil qilish jarayoniga nisbatan kam mehnat talab qiladi.

Erkin niqoblar niqobdagi rasmga nisbatan teskari bo'lgan rasm hosil qilish imkoniyatini beradi. Erkin niqob yordamida berk yoki spiralsimon rasmlar hosil qilish mumkin emas.

Keltirilgan kamchilaklarga qaramasdan erkin niqob usuli yupqa plyonkali elektron texnika mahsulotlari texnologiyasida keng qo'llanilmoqda.

Erkin niqobga talablar. Plyonkani changlatib o'tqazish sharoitida sifatli rasm hosil qilish kerakligi erkin niqoblarning materialiga va ularning konstruksiyasiga ma'lum talablar qo'yadi.

Niqoblarni tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallarga tekis silliq sirtlar hosil bo'lgungacha ishlov berilishi kerak, ular keraklicha qattiq

va elastiklikka ega bo'lishi kerak, niqob taglik sirtiga zich joylasha olishi kerak va qizdirilganda deformatsiyalanmasligi kerak. Niqob materiali oldinga changlatishdan qolgan qatlamlardan yaxshi tozalangan bo'lishi kerak, changlatish sharoitida xususiy bug'larining bosimi past bo'lishi kerak, gaz chiqarishi minimal va changlanayotgan material bilan ta'sirlashmasligi kerak. Bu talablarning ko'pchiligiga berilliyli bronza, zanglamaydigan po'lat, permalloy, molibden, tantal, volfram, invar va tok o'tkazmaydigan materiallar — grafit va fotositallar yuqori darajada javob bera oladi.

Niqob qalinligi kerakli qattiqlikni va kamroq deformatsiyalanishni saqlash uchun juda ham kichik bo'lmisligi kerak hamda rasmni aniqroq uzatish uchun juda ham qalin bo'lmisligi kerak.

Hozirgi vaqtda qalinligi 50–100 μm bo'lgan erkin niqoblar qo'llanilmoqda.

Erkin niqoblarning rasmini tayyorlash aniqligi changlatib o'tqazilayotgan IMS elementlari nominallarining talab qilingan aniqligi bilan aniqlanadi. Masalan, nominal qarshiligining aniqligi $\pm 5\%$ gacha bo'lgan rezistorlarni va nominal sig'iminin aniqligi $\pm 10\%$ gacha bo'lgan kondensatorlarni tayyorlash uchun niqobdagi kesilmalar o'lchamlarining aniqligi $\pm 5 \mu\text{m}$ dan oshmasligi kerak.

Erkin niqoblarni tayyorlash texnologiyasi va konstruksiyalari. Yupqa plyonkali strukturalarning topologiyasini shakllantirish uchun monometalli va aniqroq bo'lgan bimetallic ikki hamda uch qatlamli niqoblar qo'llaniladi.

Monometalli niqoblar kesilmalar aniqligiga bo'lgan talabga binoan har xil usullar bilan tayyorlanadi.

Elektroerroziviy usul topologiyasi sodda bo'lgan mikrosxemalar uchun qo'llaniladi. Kesilmalar suyuq dielektrikka joylashtirilgan folgali tayyorlamaga katta sondagi elektruchqinli razryadlarni ketma-ket ta'sir ettirilib hosil qilinadi. Uskuna — elektrodning materiali va razryad impulsining parametrlari mos holda tanlanganda qutb effekti kuzatiladi. Bunda asosan bitta elektrod — niqob tayyorlamasi eriydi va bug'lanadi.

Fotokimyoviy usul fotolitografiya jarayonida shakllantirilgan kontaktli niqob orqali tanlab lokal yemirishga asoslangan. Bu usul bilan kengligi folga qalinligidan kichik bo'lgan teshik hosil qilib bo'lmaydi. Hosil qilingan niqobdagi bir xil elementlarning o'lchamlarida 5–15 μm atrofida farq bo'ladi.

Bimetallic ikkiqatlamli niqoblar berilliyli bronzali asosga o'tqazilgan 7–10 μm qalinlikdagi nikel qatlamidan iborat bo'ladi. Berilliyli bronza-ning qalinligi 100 μm atrofida bo'lib, qattiqlikni va mexanik

mustahkamlikni ta'minlaydi. Nikel qatlami bronzali asosda adgeziya kuchlari yordamida ushlab turiladi. Niqoblar fotokimyoviy usul, ya'ni fotolitografiya yordamida va undan keyingi lokal yemirish bilan tayyorlanadi. Bu jarayonda teskari fotolitografiya rasmni fotoniqobdan nikel qatlamiga aniq uzatishni ta'minlaydi. Mana shu rasm keyinchalik niqob yordamida IMS larning yupqa plyonkali elementlariga uzatiladi.

Ikki qatlamli bimetall niqoblarning asosiy kamchiligi nikel va bronzalar chiziqli kengayishi temperaturaviy koeffitsiyentlarining har xilligi tufayli kuchli deformatsiyalanishidir. Bu kamchilikni yo'qotish uchun oldindan asos tayyorlamasiga va tayyor niqoblarga termik ishlov beriladi yoki uch qatlamli bimetall niqoblar qo'llaniladi.

Bimetalli uch qatlamli niqoblar ikki qatlamli niqoblardan asosning ikki tomoniga ham nikel o'tqazilishi bilan farqlanadi. Niqob asosini yemirishni kamaytirish ikki tomonlama yemirish bilan amalga oshiriladi.

Uch qatlamli bimetall niqoblarni tayyorlash texnologiyasi murakkabroq bo'lib, ular aniqligi katta va murakkab rasmlarni hosil qilish kerak bo'lsa va bu iqtisodiy jihatdan qulay bo'lgan holatlarda qo'llanilishi mumkin.

Trafaret bosma usuli. Trafaret bosma qadimdan qo'llanilib kelingan. Hozirgi paytda trafaret bosma tekstil sanoatida matolarga rasm tushirish uchun (shelkografiya); dekorativ amaliy san'atda uncha murakkab bo'lmagan rasmlar grafik asarlarni ko'paytirish uchun; kam nusxadagi plakatlar tayyorlashda va shu kabilarda qo'llanilmoqda. Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda trafaret bosma shelkografiya va bosma platalar tayyorlash texnologiyasidan olingan.

Trafaret bosma:ning mohiyati erkin maska teshiklari orqali maxsus pastani mexanik bosib o'tkazishdan va undan keyingi plyonka elementlariga kerakli xossalarni ta'minlash uchun termik ishlov berishdan iborat.

Qalin plyonkali elementlarni shakllantiruvchi erkin niqoblar trafaret bosmaning usuliga bog'liq holda yupqa plyonkali texnologiyada qo'llaniladiganlarga o'xshash holda to'rtli (setkali) yoki folgali bo'lishi mumkin.

To'rtli niqoblar eng ko'p qo'llaniladi. To'rt maxsus qurilma yordamida bir xil tortiladi va aluminiy qotishmali qattiq ramkaga mahkamlanadi. To'rtning ortiqcha qismlari kesib tashlanadi. Shundan so'ng ramka yog'sizlantiriladi, suvda yuviladi va quritiladi. To'rtning ikki tomoniga plyonkali fotorezist СПФ , ТФПК bir nechta qatlam qilib surkaladi. Fotorezist o'rniga qo'llaniladigan maxsus yorug'liq sezuvchi tarkib (ФСТ) botirish yoki sepish bilan surkaladi. Pigment qog'ozi ham qo'llanilishi mumkin.

Tasvirga tushirilgandan va ochilitirilgandan keyin IMS topologiyasiga mos bo'lgan to'ring ochiq qismlari hosil qilinadi. Mayda yacheykali to'rlar elementlarning aniq konturini hosil qilish imkoniyatini beradi. Yirik yacheykalar qolgan sharoitlarning bir xilligida qalinligining bir jinsiligi katta bo'lgan qalinroq plyonkalar shakllantirish imkoniyatini beradi. To'rsimon niqoblar 100–150 μm li aniqlik darajasini ta'minlaydi va 400–2000 siklli bosma turg'unlikka ega. Aniqlik darajasi va turg'unlik pigment qog'ozi asosidagi niqoblarda eng kam bo'ladi.

To'rli niqobni taglik bilan ustma-ust tushirish ikki bosqichda bajariladi: avval niqobni mikrometrli stoldagi harakatchan karetkaga asosli shtiftga teshiklari yordamida o'rnatiladi, aniq ustma-ust tushirish mikroskop va mikrometrik vint yordamida bajariladi. Eng oxirida taglikli kassetalar stolning qo'g'almas qismiga vakuumli qisish bilan mahkamlanadi.

Folgali niqoblar 70 μm li aniqlik maksimal darajasini ta'minlaydi, 1000 sikldan kam bo'lmagan bosmaga chidaydi. Bu niqoblar rasm zichligi yuqori bo'lgan IMS larni tayyorlashda qo'llaniladi.



Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida strukturalarning sirtiga yupqa qatlamli qoplamalarni vakuumda o'tqazish yoki olib tashlash kabi jarayonlar katta o'rin egallaydi. Bu jarayonlar siyraklashgan gazlarda kechadigan molekular-kinetik hodisalarga asoslangan. Yupqa plyonkalar o'tqazishining ikkita asosiy usuli mavjud: termovakuumli bug'lanirib o'tqazish va katodli changlantirib o'tqazish. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazishda modda bug'lanish temperaturasi gacha qizdiriladi va uning bug'lari taglik sirtida kondensatsiyalanadi. Bunda taglikning temperaturasi bug' manbayining temperaturasidan pastroq bo'ladi. Katodli changlantirib o'tqazishda xona temperaturasida bo'lgan o'tqaziladigan modda gaz razryadi plazmasidagi kichik energiyali ionlar bilan bombardimon qilinadi. Buning natijasida changlangan atomlar taglikka yetib boradi va uning sirtida kondensatsiyalanadi. Bu ikkala usuldan o'tqazuvchi, rezistivli va dielektrikli plyonkalar hosil qilishda foydalaniladi.



5.1. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazish

Usulning asosi. Usul modda bug'ining yo'nalgan oqimini hosil qilish va bu bug' oqimini temperaturasi bug' manbayi temperaturasidan kichik bo'lgan taglik sirtiga kondensatsiyalanishiga asoslangan. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazish jarayonini to'rtta bosqichga bo'lish mumkin: modda bug'ini hosil qilish, bug'ning manbadan taglikka tomon tarqalishi, taglikda bug'ning kondensatsiyalanishi, o'sish markazlarining hosil bo'lishi va plyonkaning o'sishi.

Modda bug'ini hosil qilish uchun modda bug'lantiriladi yoki sublimatsiyalanadi. Modda qizdirilganda undagi atomlarning o'rtacha kinetik energiyasi oshib boradi. Buning natijasida ularning atomlararo bog'lanishni uzish ehtimoli ham oshadi. Atomlar sirtidan ajralib chiqadi va fazoda tarqalib bug' hosil qiladi.

Tizimning muvozanat holatida, ya'ni modda sirtidan chiqib ketayotgan atomlar soni qaytib tushayotgan atomlar soniga teng bo'lgan holatga mos keluvchi bug'ning bosimi p_s to'yingan bug'ning bosimi deyiladi. Bug'lanishning shartli temperaturasi deb $p_s = 1,33 \text{ Pa}$ ga teng bo'ladigan moddaning temperaturasi aytiladi.

Bug'lanishning solishtirma tezligi deb 1 sm^2 yuzadan bir sekunda bug'lanayotgan moddaning grammlar hisobidagi miqdoriga aytiladi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$V_{\text{bug}} = 5,85 p_s \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad (5.1)$$

bu yerda p_s — modda to'yingan bug'ining bosimi, Pa; M — moddaning molekular massasi, g/mol; T — moddaning temperaturasi, K.

Bug'ning manbadan taglikka tomon tarqalishi birinchi navbatda vakuum darajasi ta'sir qiladigan diffuziya va konveksiya yo'llari bilan amalga oshadi. Bug'lanayotgan materialning isroflanishini kamaytirish va bir xil qalinlikdagi plyonka hosil qilish uchun zarrachalarning taglik tomon to'g'ri chiziqli harakatini amalga oshirish kerak. Buning asosiy sharti bug' zarrachasining erkin yugurish yo'li uzunligi manba — taglik masofasidan katta bo'lishligidir.

Gazlarning kinetik nazariyasiga binoan

$$\lambda_{o'r} = \frac{kT}{\pi \sqrt{2} \delta^2 p}, \quad (5.2)$$

bu yerda $\lambda_{o'r}$ — gaz molekulasini erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi, sm; $k = 1,37 \cdot 10^{-17} \text{ Pa} \cdot \text{sm}^3/\text{K}$ — Bolsman doimiysi; T — gazning absolut temperaturasi, K; δ — gaz zarrachasining effektiv diametri, sm; p — gazning bosimi, Pa.

(5.2) ifodaga binoan $p \approx 10^{-3} \text{ Pa}$ dan boshlab gaz zarrachalarining erkin yugurish yo'li uzunligi bug' manbayidan taglikkacha bo'lgan masofadan (bu masofa sanoatda ishlatiladigan vakuum qurilmalarida 30 sm dan oshmaydi) katta bo'ladi. Demak, mana shu bosimdan boshlab bug' zarrachasining qoldiq gaz molekulasini bilan to'qnashish ehtimolligi juda kichik bo'ladi va bug'lantirilayotgan moddaning zarrachalari taglik tomon to'g'ri chiziqli harakat qiladi.

Taglik sirtida bug'ning kondensatsiyalanishi taglikning temperaturasi va atomli oqim zichligiga bog'liq bo'ladi. Taglikka yetib borgan bug' atomlari: a) shu zahoti undan qaytadi (elastik to'qnashadi); b) adsorbsiyalanadi va qisqa vaqtdan so'ng taglikdan qaytib chiqadi (qayta bug'lanadi); d) adsorbsiyalanadi va sirt bo'ylab qisqa vaqtli migratsiyadan so'ng unda butunlay qoladi (kondensatsiya).

Bug' atomlarining taglik atomlari bilan bog'lanish energiyasi taglik atomlarining o'rtacha energiyasidan katta bo'lsa, kondensatsiya kuzatiladi, aks holda atomlar sirtdan qaytib ketadi. Agar taglik qizdirilgan bo'lsa, uning atomlarining energiyasi katta va bug'larning kondensatsiyalanish ehtimoli kichik bo'ladi.

Bug' oqimining berilgan zichligida taglik sirtidan hamma atomlar qaytib ketadigan va yupqa qatlam hosil bo'lmaydigan temperatura kondensatsiyaning kritik temperaturasi deyiladi.

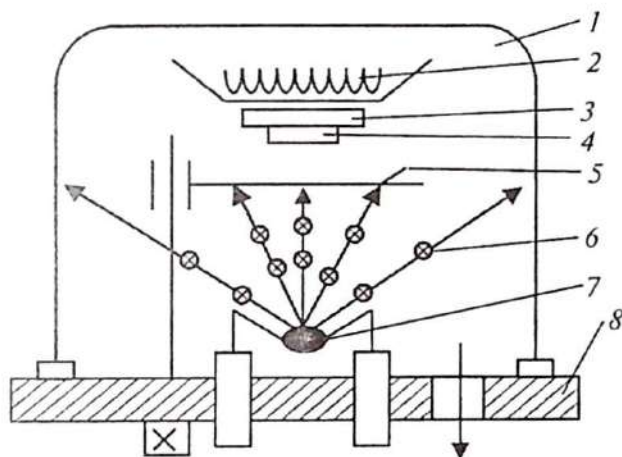
*Berilgan temperatura uchun **atomar oqimning kritik zichligi** deb, taglikda atomlar kondensatsiyalanadigan eng kichik zichlikka aytiladi.*

O'sish markazlarining hosil bo'lishi atomlarning atom — taglik tizimida erkin energiyaning minimumiga mos keluvchi o'rinlarni topish natijasida ro'y beradi. Bug'larning kondensatsiyalanishi davomida o'simtalar o'sib boradi, ular orasida birlashtiruvchi ko'priklarchalar hosil bo'ladi, o'simtalar birlashib yirik orolchalarga aylanadi. Bundan so'ng orolchalar birlashib bitta to'r hosil bo'ladi. To'r yaxlit plyonkaga aylanadi va qalinlik bo'yicha o'sish boshlanadi. Mana shu vaqtdan boshlab taglikning ta'siri yo'q bo'ladi va bug' zarrachalari sirtidan umuman qaytmasdan hammasi amalda kondensatsiyalana boshlaydi.

Termovakuumli bug'lantirish (TVB) texnikasi. Kremniy oksidi plyonkalarini termik bug'lantirish bilan hosil qilish jarayoni maxsus bosimli vakuum kameralarida o'tkaziladi. Buning uchun BYTI-5 vakuum qurilmasidan foydalaniladi. Jarayonning sxemasi 5.1- rasmda keltirilgan. Jarayon vakuum kamerasini yuklash bilan boshlanadi: bug'lantiriluvchi material tigellarga joylashtiriladi, tagliklar taglik ushlagichlarga, niqoblar niqob ushlagichlarga o'rnatiladi. Undan keyin kamera germetik yopilib, undagi havoni so'rish boshlanadi. Berkitgich (zaslonka)ning yopiq holatida tagliklarni belgilangan temperaturagacha, bug'latgichlar esa bug'lanish temperaturasigacha qizdiriladi. Kameradan havoni so'rish chegaraviy vakuum darajasigacha amalga oshiriladi. Bundan keyin berkitgich ochiladi va changlantirish boshlanadi. Belgilangan qalinlikdagi plyonka hosil qilinganidan keyin berkitgichni yopish yo'li bilan changlatish jarayoni to'xtatiladi. Tagliklar sovutiladi va keyin sekin-asta kameraga havo kiritiladi, so'ng tagliklar yechib olinadi.

TVB jarayonining asosiy parametrlari: vakuum kamerasidagi bosim, bug'lantirgichlarning temperaturasi, tagliklarning temperaturasi, bug'lantirish vaqti.

Usulning ustunliklari va kamchiliklari. TVB jarayoni yaxshi o'rganilgan bo'lib, ko'pgina passiv elementlar hosil qilish, yarimo'tkazgichli strukturalarni metallash imkoniyatini beradi, fotoshablonlar va shu kabilarni tayyorlashda qo'llaniladi. TVB yordamida metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklarning plyonkalarini hosil qilish mumkin. Jarayonni avtomatlashtirishning nisbatan osonligi EHM yordamida boshqariladigan murakkab vakuum qurilmalar va komplekslar yaratish imkoniyatini beradi.



5.1- rasm. Termovakuum changlatish jarayonining sxemasi:

1 – vakuum kamera; 2 – taglik qizdirgichi; 3 – taglik ushlagichi;
4 – taglik; 5 – berkitgich (zaslonka); 6 – bug‘lanuvchi moddaning zarralari;
7 – kremniy monooksidi bo‘lagi solingan bug‘lantirgich; 8 – tayanch plita.

Usulning kamchiliklari: qotishmalar va murakkab moddalarni bug‘lantirib o‘tqazishda komponentlar foizli nisbatlarining o‘zgarishi, katta sirtli tagliklarda bir xil qalinlikdagi plyonkalar hosil qilish qiyinligi, qiyin eruvchan materiallarning plyonkalarni hosil qilish qiyinligi, bug‘lantirgichlarning yuqori inersionligi, plyonkalar adgeziyasining nisbatan yuqori emasligi, bug‘latirish vaqtiga nisbatan so‘rish jarayoni tayyorgarlik vaqtining uzunligi, ishlash resurslari 50–100 soatdan oshiq bug‘lantirgichlarni yaratish murakkabligi, jihozlarning nisbatan murakkabligi.



Himoyalashda qo‘llaniladigan dielektrikli yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi

Himoyalovchi yupqa qatlamlarga qo‘yiladigan talablar. Yarimo‘tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalarni planar texnologiya bo‘yicha tayyorlashda himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlar asosiy rol o‘ynaydi. Ular donor va akseptor kirishmalarni lokal diffuziya qilish, mikrosxemalarning bir-biridan izolatsiyalangan aktiv va passiv elementlarini shakllantirish hamda $p-n$ o‘tishlarni tashqi ta’sirlardan himoya qilish imkoniyatlarini beradi.

Shu sababli planar texnologiyada himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlarga quyidagi asosiy talablar qo‘yiladi: dastlabki taglikning sirtini diffuziyalanuvchi elementar (bor, fosfor, sur‘ma, mishyak va

boshqalar) kirishmalarning kirishidan to'liq himoyalash; vaqt bo'yicha kimyoviy chidamlilik va barqarorlik; bir jinslilik va nuqsonsizlik; solishtirma qarshilik va elektr mustahkamligining yuqoriligi; yuqori mexanik mustahkamlik.

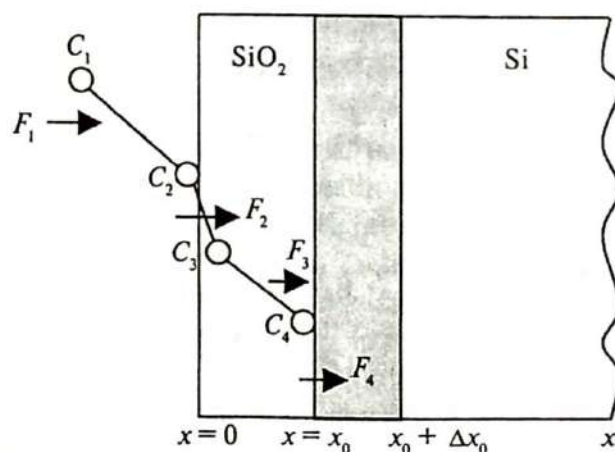
Himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlar yuqorida keltirilgan talablarga mumkin qadar to'liq javob bera oladigan moddalardan hosil qilinadi.

Himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlar tayyorlash uchun boshlang'ich materiallar sifatida kvars, kremniyning monooksidi va dioksidi, kremniy nitridi, aluminiy oksidi va nitridi, bor nitridi va boshqalardan foydalanish mumkin. Biroq hozirgi davrda sanoatda ko'proq ikki material: kemniy dioksidi va nitridi keng qo'llanilmoqda.

Kremniy termik oksidlash kinetikasi. Yarimo'tkazgichli asboblarda va IMSlarni planar texnologiya bo'yicha tayyorlashda kremniy termik oksidlash usuli eng ko'p tarqalgan bo'lib, bunda himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlam SiO_2 boshlang'ich kremniyli tagliklarni oksidlovchi muhitda qizdirish bilan hosil qilinadi. Bu usul yuqori sifatli niqoblovchi, bir xil qalinlik va strukturali, yuqori himoyalovchi va dielektrikli xossalarga ega bo'lgan yupqa qatlamlar olish imkoniyatini beradi.

Kislorodli atmosferada termik oksidlash bilan himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlam SiO_2 ning hosil bo'lish jarayoni kinetikasini ko'rib chiqamiz

5.2- rasmda kremniy termik oksidlash jarayonining modeli keltirilgan bo'lib, u oksidlovchi (gaz)—oksid qatlami (qattiq)—kremniy tagligi tizimidan iborat. Bu tizim orqali to'rtta oqimdan tashkil topgan «oksidlovchining oqimi» o'tadi.



5.2- rasm. Kremniyli termik oksidlash jarayonining modeli.

«Oksidlovchining oqimi» deganda taglikning birlik sirtidan birlik vaqtda kesib o'tadigan oksidlovchining molekulari miqdori tushuniladi. To'rtta oqimning har bittasi oksidlovchi muhit — kremniy tagligi tizimining bitta sohasiga tegishlidir.

Rasmdan shu narsa ko'rinib turibdiki, F_1 oqim kremniy taglik sirtiga oksidlovchining gaz fazasidagi massa uzatilishiga mos keladi. Kremniy sirtida doimo oksidning yupqa qatlami bo'lgani uchun F_1 oqimni oksidlovchining oksid sirtiga uzatiladigan oqim deb hisoblashimiz mumkin. Bu uzatilish diffuziya jarayoni hisobiga hamda majburiy ravishda gaz-uzatuvchi yoki oksidlovchi oqimining siljishi hisobiga amalga oshishi mumkin. Uzatilish tezligi oksidlash jarayonining texnologik rejimiga bog'liq bo'ladi.

Sanoatda kremniyni termik oksidlash jarayoni uchun ishchi kameradan ma'lum bir tezlikda o'tayotgan F_1 oksidlovchining majburiy oqimidan foydalaniladi:

$$F_1 = h(C_1 - C_2), \quad (5.3)$$

bu yerda h — oksidlovchini gaz fazasidan massa uzatish jarayoni tezligining konstantasi; C_1 — gaz fazasi hajmidagi oksidlovchining muvozanatli konsentratsiyasi; C_2 — oksidlovchining oksid sirtidagi konsentratsiyasi.

Oksid sirtiga yetib borgan oksidlovchi shu sirtga adsorbsiyalanadi va unda erib ketadi. Bunda gaz fazadagi oksidlovchining konsentratsiyasi bilan qattiq fazada erigan oksidlovchining konsentratsiyalari orasida taqsimlash koeffitsiyenti bilan aniqlanadigan nisbat amalga oshadi. Oksidda oksidlovchining erish jarayonini xarakatlantiradigan kuch gaz-oksidi sirti tizimidagi oksidlovchining konsentratsiya gradiyenti hisoblanadi. Shu sababli oksidlovchining oqimi

$$F_2 = \delta(C_2 - C_3), \quad (5.4)$$

bu yerda δ — oksid qatlamidagi oksidlovchining erish jarayoni tezligining konstantasi; C_3 — gaz faza chegarasidagi oksidlovchining konsentratsiyasi.

Oksid qatlamda erigan oksidlovchi gaz faza-oksidi bo'linish sirtidan oksid-kremniy taglik bo'linish sirtiga diffuziyalanadi. Bu holatda oksidlovchining oqimi F_3 oksidlanish chegarasidagi konsentratsiyalar farqiga to'g'ri proporsional, oksid qatlami qalinligiga esa teskari proporsional bo'ladi:

$$F_3 = D \frac{C_3 - C_4}{x_0}, \quad (5.5)$$

bu yerda D – oksidlovchining oksiddagi diffuziya koeffitsiyenti; C_4 – oksid-kremniy taglik chegarasidagi oksidlovchining konsentratsiyasi; x_0 – oksid qatlamining qalinligi.

Oksid qatlami orqali diffuziyalangan oksidlovchi oksid-kremniy chegarasiga etib keladi va kremniy bilan reaksiyaga kirishadi. Kremniyning oksidlanishi natijasida oksidning yangi qatlami hosil bo'ladi.

F_4 oqim oksid-kremniy bo'linish sirtida kechayotgan oksidlanish kimyoviy reaksiyasining tezligini ifodalaydi. Kremniyning oksidlanish tezligi oksidlovchining konsentratsiyasiga proporsional, shu sababli,

$$F_4 = RC_4, \quad (5.6)$$

bu yerda R – oksidlash reaksiyasi tezligining konstantasi.

Turg'un rejimda (muvozanatda) hamma oqimlar bir-biriga teng, ya'ni $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$ bo'lgani uchun oqimlar tenglamalarini birgalikda yechib, oksidlovchining yig'indi oqimi uchun alohida oqimlarni hisobga olgan holdagi ifodasini topish mumkin.

Bu ifodaning oxirgi ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$F = \frac{\frac{R}{a}C_1}{1 + \frac{R}{\delta} + \frac{Rx_0}{D}} = R_{ef}C_1, \quad (5.7)$$

bu yerda $0 < a < 1$, R_{ef} – oksidlash jarayoni tezligining effektiv konstantasi.

Agar V birlik hajmdagi oksidning oksidlash reaksiyasi natijasida hosil bo'lishi uchun oksidlovchining N zarrachasi ketgan bo'lsa, unda oksid qatlamining o'sish tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{F}{N} = FV = R_{ef}C_1V \quad (5.8)$$

yoki

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{\frac{1}{a}C_1V}{\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\delta}\right) + \frac{x_0}{D}} = \frac{\frac{1}{a}C_1VD}{\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\delta}\right)D + x_0}. \quad (5.9)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$A = 2\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\delta}\right)D \quad \text{va} \quad B = 2\frac{1}{a}C_1VD, \quad (5.10)$$

unda $\frac{dx_0}{dt} = \frac{B}{A + 2x_0}$ ni hosil qilamiz. Endi bu ifodani o'zgaruvchilarni

bo'laklash usuli bilan integrallaymiz: $\int (A + 2x_0) dx_0 = \int B dt$ va $x_0^2 + Ax_0 - Bt = 0$ ni hosil qilamiz.

Bu kvadrat tenglamani yechib, oksid qalinligining vaqt bo'yicha funksiyasining ifodasini topamiz:

$$x_0 = -\frac{A}{2} + \frac{A}{2} \sqrt{1 + \frac{t}{A^2/(4B)}} \quad (5.11)$$

yoki

$$\frac{x_0}{A/2} = \sqrt{1 + \frac{t}{A^2/(4B)}} - 1. \quad (5.12)$$

Kremniyni termik oksidlash jarayonining ikkita chegaraviy holini ko'rib chiqamiz:

1-hol. Oksidlash jarayoni katta vaqtda o'tkazilmoqda, ya'ni $t \gg A^2/(4B)$, unda quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\left(\frac{x_0}{A/2} \right)^2 = \frac{t}{A^2/(4B)} \quad \text{yoki} \quad x_0^2 = Bt. \quad (5.13)$$

Shunday qilib, bu chegaraviy holda termik oksidlash jarayonining parabolik qonuni amal qiladi. B konstanta oksidlash tezligi konstantasi sifatida qaraladi.

2-hol. Oksidlash jarayoni nisbatan kichik vaqtda o'tkazilmoqda, ya'ni $t \ll A^2/(4B)$, bunda

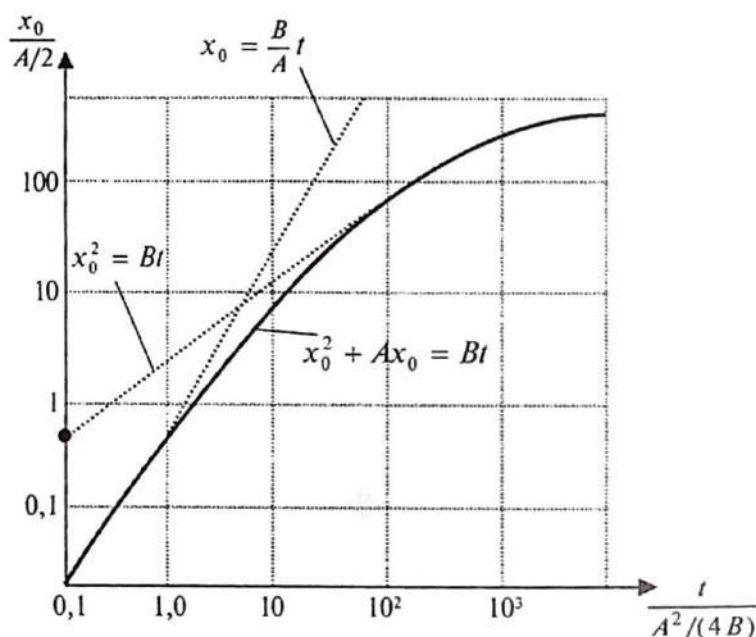
$$\frac{x_0}{A/2} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{t}{A^2/(4B)} \right).$$

Bundan

$$x_0 = \frac{B}{A} t. \quad (5.14)$$

5.3- rasmda oksid qalinligining termik oksidlash jarayoni vaqtiga umumiy va uning ikkita chegaraviy holi uchun bog'lanishlari ko'rsatilgan.

Kremniyni suv bug'ida termik oksidlash. Kremniyda himoyalovchi dielektrik yupqa qatlamini hosil qilish uchun yuqori tozalikdagi suv bug'ida ($10-20 \text{ M}\Omega \cdot \text{sm}$ atrofida) termik oksidlashdan foydalaniladi. Agar bug' miqdori reaksiya tezligini cheklamasa, kremniyning suv bug'i bilan yuqori temperaturali reaksiyasidan foydalaniladi. Kremniy plastinkasi sirtida suv bug'ining kerakli parsial bosimini ushlab turish uchun suv isitiladi.



5.3- rasm. SiO_2 yupqa qatlami qalinligining kremniyni oksidlash jarayoni o'tkazilayotgan vaqtga bog'lanishi.

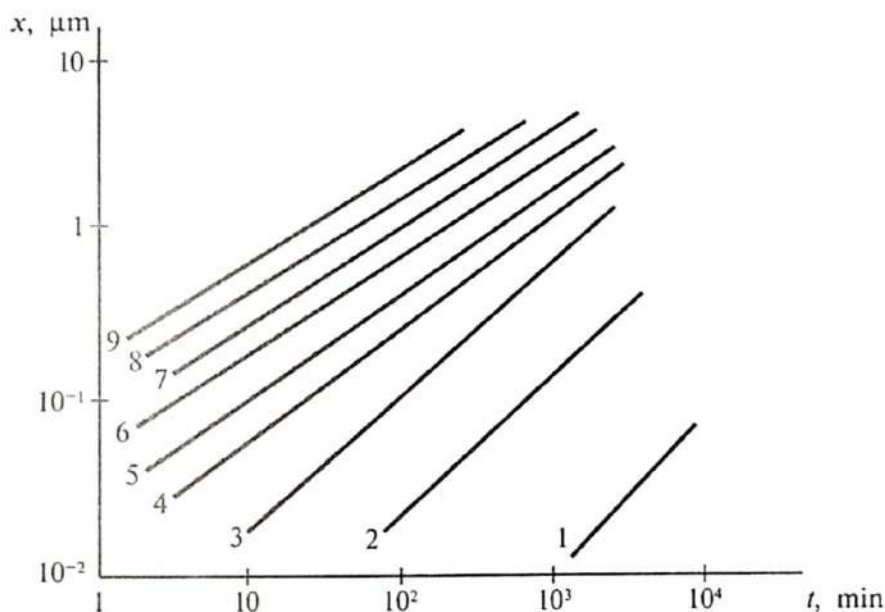
Oksid yupqa qatlamining strukturaviy shakllanishi oksid qatlami orqali kremniy sirtiga suvning diffuziyali uzatilishi hisobiga ro'y beradi. Oksid yupqa qatlamining strukturaviy shakllanishiga oksidlash reaksiyasi jarayonida hosil bo'ladigan va plastinkaning ichkarisiga diffuziyalana-digan vodorod ta'sir ko'rsatadi. Vodorod diffuziya koeffitsiyentining ($2 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^2/\text{s}$, 1050°C da) suv diffuziya koeffitsiyentidan ($2 \cdot 10^{-10} \text{ sm}^2/\text{s}$, 1050°C da) ancha katta ekanligidan kremniy-oksidi bo'linish chegarasida gidroksid guruhining hosil bo'lishi faqat suv molekulasini borligi bilan emas, balki vodorodning ham borligi bilan tushuntiriladi.

Oksidlanish jarayoni 1100°C temperaturadan yuqori temperaturalarda o'tkazilganda oksid qatlami parabolik qonun bo'yicha hosil bo'ladi va $x^2 = Bt$ ifoda bilan tasvirlanadi. Jarayon 1100°C dan past temperaturada o'tkazilganda oksid qatlamining hosil bo'lish qonuni parabolik bo'lmasdan

$$x^2 + b_1x = b_2t \quad (5.15)$$

ko'rinishga ega bo'ladi.

Oksidlanish jarayoni past temperaturada o'tkazilgan sari oksid qatlami chiziqli qonunga yaqin qonun bo'yicha hosil bo'ladi. Oksid yupqa qatlami o'sishining chiziqli qonuni yuqori bosimli ($2,5 \cdot 10^5 - 4,0 \cdot 10^7 \text{ Pa}$) suv bug'ida $500-800^\circ\text{C}$ temperaturalarda kuzatiladi.



5.4- rasm. Suv bug'i atmosferasida o'stirilgan SiO_2 yupqa qatlamining har xil temperaturalarda vaqtga bog'lanishi:

1 – 600 °C; 2 – 700 °C; 3 – 800 °C; 4 – 900 °C; 5 – 1000 °C;
6 – 1100 °C; 7 – 1200 °C; 8 – 1300 °C; 9 – 1400 °C.

5.4- rasmda suv bug'i atmosferasida har xil temperaturalar uchun oksid yupqa qatlami qalinligining jarayonni o'tkazish vaqtiga bog'lanishi keltirilgan.

Oksidli yupqa qatlamning o'sish tezligiga taglikning oriyentatsiyasi, elektr o'tkazuvchanlik turi va boshlang'ich taglikdagi kirishmalar konsentratsiyasi katta ta'sir qiladi.

Planar texnologiyada yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikro-sxemalar tayyorlashda himoyalovchi dielektrik yupqa qatlamlar muhim ahamiyatga ega. Ular donor va akseptor kirishmalarini lokal diffuziya o'tkazish, mikrosxemalarning bir-biridan izolatsiyalangan passiv va aktiv elementlarini shakllantirish, shuningdek, p - n o'tishlarni tashqi ta'sirlardan himoyalash imkoniyatlarini beradi.

Himoyalovchi dielektrik plyonkalarni hosil qilish uchun boshlang'ich materiallar sifatida kvars, kremniy monooksidi va dioksidi, kremniy nitridi, aluminiy oksidi va nitridi, bor nitridi va hokazolar ishlatilishi mumkin.

Himoyalovchi kremniy oksidi yupqa qatlamlarini hosil qilish uchun kremniy monooksidini bug'lantirishga asoslangan ikkita usul qo'llaniladi. Birinchi usulda texnik kukunsimon kremniy monooksidi ishlatiladi. Ik-

kinchi usulda esa kremniyli elektrod kislorod atmosferasida qizdiriladi. Bunda uning sirti kremniyga nisbatan bug'larining bosimi yuqoriroq bo'lgan va oson bug'lanadigan kremniy monooksidi bilan qoplanadi.

Yarimo'tkazgichli taglikka changlatish yo'li bilan hosil qilinadigan oksidlar Si-SiO-SiO_2 kompleksi ko'rinishida bo'ladi. Bir jinsli himoyalovchi oksid qatlamini hosil qilish uchun kremniy monooksidi kukunidan bug'lantirish manbayi sifatida foydalanilganda eng e'tiborli narsalardan biri kremniy monooksidi kukuni joylashtiriladigan mahsus likobcha (tigel)ning konstruksiyasi hisoblanadi. Bug'lanish tezligi likobchanning geometrik shakliga, monooksid kukunining haroratiga, bosimiga, shuningdek, bir jinslilikiga bog'liq bo'ladi. Ma'lum bir turdagi manbalardan foydalanilganda bug'lanish tezligi likobchani qizdiradigan elektr quvvatini o'zgartirish bilan boshqariladi. Bu usulda boshlangich plastinaga himoyalovchi qatlamning adgeziyasi yaxshi bo'lishini ta'minlash uchun kremniy plastinalari 300°C va undan yuqoriroqqacha qizdiriladi. Agar changlatish kichik tezlikda, lekin kislorodning yuqori parsial bosimida amalga oshirilsa, bu holda yupqa qatlam SiO_2 kabi xususiyatlarga ega bo'ladi. O'tkazish tezligining katta qiymatlarida yoki kislorodning nisbatan kichikroq parsial bosimlarida o'tqazilgan yupqa qatlamning optik xarakteristikalarini SiO plyonkalariga xos xususiyatlarga o'xshash bo'ladi.

SiO_2 plyonkasi xususiyatlariga ega bo'lgan himoyalovchi yupqa qatlamlarni odatda manbaning $1300-1400^\circ\text{C}$ temperaturasida va umumiy bosimi $6,5 \cdot 10^{-4}$ Pa dan kam bo'lmagan holda hosil qilinadi.

Oksid plyonkalarini vakuumda changlatish usuli bilan olish uchun manba sifatida kremniy qo'llanilishi mumkin. Bunda kremniyning sirtida ro'y beradigan reaksiya asosiy rol o'ynaydi. Bu sirt yaqinidagi kislorodning temperaturasi va parsial bosimi kremniy sirtiga kislorod adsorbsiyasi va SiO_2 ning bug'lanish tezliklarini aniqlaydi. Kremniy $700-1000^\circ\text{C}$ temperaturagacha qizdiriladi. Kislorodning parsial bosimi shunday bo'lishi kerakki, bunda kremniyli manba sirtida $\text{Si} + \text{O} \rightarrow \text{SiO}$ reaksiyasi ta'minlanishi lozim. Bu usul bilan boshlang'ich yarimo'tkazgichli plastinada $0,1 \mu\text{m}$ qalinlikdagi yupqa qatlamni 900°C temperaturada va $1,3 \cdot 10^{-4}$ Pa bosimda 30 minut ichida olish mumkin. Plastinalar joylashtirilgan taglik qizdirilganda oksid bug'larining adsorbsiyasi va ularning yarimo'tkazgichli plastinalarga adgeziyasi yaxshilanadi. O'tqazilgan oksid plyonkasining bug'lanib ketmasligi uchun plastinalarining temperaturasi manba temperaturasidan $100-200^\circ\text{C}$ pastroq bo'lishi lozim.



Zamonaviy texnik tizimlar va vositalarni boshqarish hamda fan va texnikaning rivojlanishi elektronikaning yetakchi tarmoqlaridan biri bo'lgan mikroelektronika hamda endigina paydo bo'layotgan nanoelektronika sohalarida faoliyat ko'rsatadigan malakali mutaxassislarni tayyorlash bilan uzviy bog'liqdir.

Zamonaviy elektronika mahsulotlari bo'lmish integral mikro-sxemalar, mikroprosessorlar, o'ta yuqori chastotali detektorlar, quyosh elementlari, lazerlar, mini va mikro EHMLar va o'ta yuqori xotirali tizimlar va boshqa noyob elektrik asboblarni yaratish yangi xususiyatga ega bo'lgan yupqa va o'ta yupqa ko'p komponentli qatlamlar tizimlarini yaratishni taqozo qiladi. Shu boisdan ham keyingi yillarda yupqa va o'ta yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi va fizikasiga bo'lgan e'tibor keskin ortib ketdi.

Yuqorida yupqa plyonkalar olish va ularning xususiyatlarini o'rganishning 70- yillardan boshlab qo'llanilib kelinayotgan an'anaviy usullari bilan tanishib o'tdik.

Bu usullar bilan olingan plyonkalarining qalinligi asosan bir necha mikrondan o'nlab mikrongacha bo'lib, ular qattiq jisimli elektron asbobsozlikda hozirgi kunda ham muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda. Ushbu bo'limda yuqori vakuumli sharoitda yupqa ($d \approx 10^2 - 10^3$ nm) va o'ta yupqa ($d < 100$ nm) plyonkalar olishning zamonaviy MNE, QFE, ionlar implantatsiyasi va eng zamonaviy (nanoassembler) usullarining ayrimlari bilan qisqacha tanishamiz. Zamonaviy usullar yordamida asosan plyonka hosil qilish o'ta yuqori vakuum sharoitda olib borilishi, o'ta yaxshi tozalangan asos (taglik)lardan va atom (molekula) manbalaridan foydalanilishi, plyonkalarining mukammalligi (yuqori darajada tekisligi, bir jinsliligi, silliqdigi, monokristalligi) bilan eski (an'anaviy) usullaridan tupdan farq qiladi.

1960–65- yillargacha elektronikaning hamma sohaları (radiotexnika, televideniye, radioaloqa, elektron asbobsozlik)da asosan har xil turdagi radiolampalarning ishlatilishida quyidagi kamchiliklar mavjud edi:

- ularning o'lchamlari nisbatan juda katta;
- ularni ishlatish uchun qo'shimcha manbalar va elementlar kerak bo'ladi (masalan, katodni qizdiruvchi manba);
- shovqini juda katta, demak, past quvvatli signallar bilan ishlash qiyin;
- signallarni rostlash uchun qo'llaniladigan ko'p turdagi passiv elementlarning (qarshilik, kondensator, drossel, transformator) ham o'lchamlari katta.

Yupqa plyonkalar olish usullari va ularning qiyosiy tavsiflari

N°	Plyonka olish usullari	Turi	O'sish tezligi	Qulayliklari	Asosiy kamchiliklari	Mikroelektro-nikada ishlatilishi
1	Vakuumba bug'lantirish: a) termik; b) elektron bombardimon; d) reaktiv; e) lahzali diskret; f) ko'p manbali termik.	M, D, Y M, D, Y M, D, Y M, D, Y M, D, Y M, D, Y	Bug'lantirish temperaturasi Elektron. energ. Tem-ra, bosim Tem-ra, bosim Temperatur	Istalgan asos yuzasida istalgan turdagi monokristall plyonkalar olish mumkin. Yupqa, o'ta yupqa, ko'p komponentli va ko'p qatlamli epitaksial plyonkalar olish mumkin.	Yuqori vakuumli ($P \leq 10^{-6}$ Pa) qurilmaning zarurligi	Juda keng qo'llaniladi
2	Ionli yedirish: a) yuqori chastotali; b) reaktiv; d) getterli; e) o'zgaruvchan tok.	M, D, Y M, D, Y M, D, Y M, D, Y M, D, Y	Ion toki va ener. Ion toki va ener. Ion toki va ener. Ion toki va ener. Ion toki va ener.	Yuqori adgeziya. Ko'p turdagi materiallarning mavjudligi. Ko'p komponentli epitaksial plyonkalar olish mumkinligi.	Yuqori vakuumli ($P \leq 10^{-6}$ Pa) o'ta murakkab tizimlardan iborat qurilma zarurligi. Zarur nishon (asos) ni tanlash qiyinligi	Qo'llaniladi (istiqlolga ega)
3	Kimyoviy usullar: a) elektrokimyoviy; b) kimyoviy-qaytarish; d) bug'(gaz) fazasida o'stirish; e) anodli oksidlash; f) termik o'stirish.	M M M, Y, O O O	Tok zichligi Eritma tem., pH Bosim, tem-ra Tok zichligi Bosim, tem-ra	Yuqori vakuumli qurilmaning kerak emasligi. Oddiy qurilmada silliq o'stirish mumkinligi.	Asosan amorf plyonkalar olinadi. Plyonkalar qalinligi va turi cheklangan	Kam qo'llaniladi

M – metall, D – dielektrik, Y – yarimo'tkazgich, O – oksid.

70- yillardan boshlab yuqorida aytilgan sohalarda asosan yarim-o'tkazgichli asboblari ishlatila boshlandi. Bu soha rivojlanib aktiv elementlar hosil qilishda qalinligi 100–200 μm dan oshmaydigan plyonkalardan foydalanish mumkinligi aniqlandi. Bunga asoslangan elektronika esa *mikroelektronika* deb atala boshlandi.

Hozirgi paytda *nanoelektronika* rivojlanmoqda, ya'ni elektron asbobsoslikda qalinliklari o'nlab nanometr ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$) bo'lgan plyonkalarni ishlatish ustida ishlar olib borilmoqda. Bunday plyonkalar ustma-ust, qatlama-qatlam qilib joylashtirilib aktiv va passiv elementlar hosil qilishda ishlatilishi mumkin. Fan va texnika rivojlanib uch o'lchamli tizimlar hosil qilinmoqda. Bunday tizimlarda 1 sm^3 hajmda yuz minglab-millionlab yupqa plyonkali elementlarni joylashtirish mumkin. Ular asosida hosil qilingan integral sxemalar *katta* va *o'ta katta integral mikrosxemalar* deb ataladi.

Demak, kerakli maqsadlarda ishlatilishi mumkin bo'lgan yupqa qatlamlarni hosil qilish, ularning tarkibini, kristall va elektron tuzilishini, fizik va kimyoviy xususiyatlarini o'rganish fanning ahamiyatini belgilasa, olingan yupqa plyonkalarning asbob sifatida ishlatilishi uning xalq ho'jaligida va texnikada qo'llanilishini aks ettiradi.

Yupqa qatlam hosil qilish usullari juda ko'p va har xil. Bu usullarning qanday manbaga bog'liq ravishdagi asosiy turlari, qulayliklari va kamchiliklari, mikroelektronikada ishalitilish darajasi 5.1- jadvalda keltirilgan.



Adsorbsiya jarayonida o'ta yupqa qatlamlar hosil bo'lishining asosiy bosqichlari

Avval ko'rsatib o'tganimizdek yupqa plyonkalarni vakuumda o'tqazish jarayoni uchta jarayonni o'z ichiga oladi: manbadagi moddani qattiq yoki suyuq fazadan gaz (bug') holiga aylantirish; modda bug'larini bug'lantirgichdan asos (namuna) yuziga olib kelish; asos yuzasiga kelib tushgan modda bug'larini kondensatsiyalash (qattiq fazaga aylantirish), o'sish markazlarining hosil bo'lish va plyonkalarning o'sishi.

Bundan ko'rinadiki, vakuumda bug'lanish nazariyasi modda bug'larining muvozanatini aniqlab beradigan fazoviy o'tishlar termodinamikasi va o'tayotgan jarayonlarning fizikaviy mikroskopik modelini tushuntira oladigan gazlarning kinetik nazariyalarini o'z ichiga olar ekan.

Bu qismda asosan yuzalarda plyonkalar hosil bo'lish jarayonlariga o'rganiladi.

Yupqa plyonkalar olish uchun foydalaniladigan qurilmada quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

1. Plyonka hosil qilish jarayoni imkon qadar yuqori vakuumda amalga oshirilishi kerak.

2. Bunday qurilmada kamida ikkita tizim mavjud bo'lishi kerak:

– asos tizimi. Uni qizdirish, tozalash, siljitish va kerakli burchakka burish imkoni bo'lishi kerak;

– bug'lantiruvchi sistema. U plyonka hosil qilish uchun kerakli bo'lgan materialning atomlari (molekulalari) manbayi bo'lib xizmat qiladi.

Hozirgi zamon qurilmalarida aytilganlardan tashqari hosil qilinayotgan plyonkaning qalinligini, tarkibini, kristall tuzilishlarini hamda ayrim xususiyatlarini o'rganish uchun kerak bo'ladigan tizimlar ko'zda tutiladi.

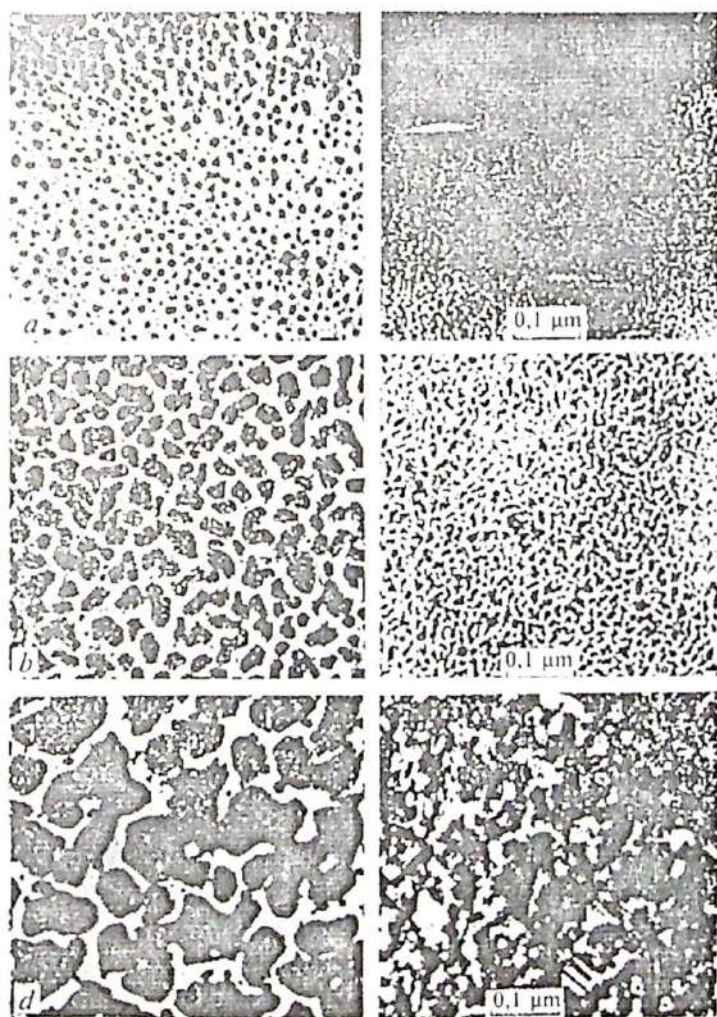
Plyonka hosil bo'lishi uchun kerakli qattiq jism (taglik asos) ning yuzasiga boshqa jism atomlari kelib o'tirishi shart. Qattiq jismning yuzasiga har qanday chetki atomlarning kelib o'tirish hodisasi **adsorbsiya** deyiladi. Bunda asos **adsorbent**, kelib o'tirgan atom esa **adsorbat** deb yuritiladi.

Kelib o'tirgan atomlarning asos atomlari bilan qanday holatda ekanligiga qarab fizik va kimyoviy adsorbsiyalar mavjud bo'ladi.

Agar adsorbat va adsorbent atomlari orasida elektronlarning almashuvi (yoki umumlashuvi) ro'y bermasa, **fizik adsorbsiya** deyiladi.

Fizik adsorbsiya jarayonida qattiq jism yuzasiga zaryadlar atom holida emas, ko'pincha molekula holida o'tiradi. **Fizik adsorbsiya** qattiq jism yuzasidagi molekula va kelib o'tirayotgan molekula orasidagi, yani molekulalararo tasirlashuv (Van-der-Vaals kuchlari) va vodorodli bog'lanish kuchlari natijasida ro'y beradi. Fizik adsorbsiyada adsorbsiyalangan molekula o'zining tuzilishini to'liq saqlaydi, alohidaligini yo'qotmaydi, ya'ni adsorbat va adsorbent molekulalari alohida-alohida tizimchalar holida mavjud bo'lib, o'zaro juda bo'sh Van-der-Vaals kuchlari bilan bog'lanib turadi. Shuning uchun ham fizik adsorbsiyalangan molekula nisbatan osongina yuzadan uchib chiqishi mumkin. Inert gaz atomlari fizik adsorbsiyalanib shu holda adsorbsiyalanishi (qayta uchib chiqishi) mumkin. Boshqa gazlarning va metall bug'larining molekulalari fizik adsorbsiya bosqichidan o'tib, qattiq jism yuzasi bilan kimyoviy tabiatga ega bo'lgan kuchliroq qutbli bog'lanish hosil qilishi mumkin. Bunday kuchli bog'lanish faqat atomlarga taalluqli bo'lganligi uchun adsorbsiyalangan molekula avval dissotsiyalanadi, yani alohida-alohida atomlarga aylanadi va keyin yuza bilan bog'lanish hosil qiladi. **Kimyoviy adsorbsiya (xemisorbtsiya)** jarayonida yangi modda hosil bo'lishi kuzatilmaydi, yani kimyoviy reaksiya ro'y bermaydi. Kimyoviy adsorbsiyani kimyoviy reaksiyaga sharoit tug'dirib beradigan boshlang'ich bosqich deb qarash mumkin.

Adsorbsiya natijasida plyonka hosil bo'lishining eng umumiy hol-
larini ko'rib chiqamiz: bunda qattiq jismning yuzasida alohida-alohida
atomlar yoki atomlar guruhlari (2–15 atom) hosil bo'ladi (5.5-*a* rasm).
Biz ularni *plyonka hosil bo'lish markazlari* (murtaklar) deb ataymiz.
Bu markazlar atrofida qo'shni atomlar to'planib ular ham yuza
bo'yicha kengayadi, ham balandlik bo'yicha o'sib borib «klasterlar» deb
ataladigan alohida-alohida uchastkalar hosil bo'ladi. Ko'pincha klaster-
lar qalinligi 100–200 Å bo'lgungachaga ular umuman bir biriga qo'shi-
lib ketmaydilar, ya'ni bir guruh o'tirgan atomlar bilan ikkinchi guruh
atomlari orasida ochiq joylar (kanallar) hosil bo'ladi. Plyonkalarining
bunday o'sishi *orolchali o'sish* xarakteriga ega deyiladi (5.5- *b, d* rasm).



5.5- rasm. Yuqori vakuum sharoitida har xil qalinliklarda o'stirilgan oltin
plyonkasining yoritilgan (chapda) va yoritilmagan (o'ngda) holatlardagi
tuzilishi: *a* – 24 Å ; *b* – 108 Å ; *d* – 300 Å .

Agar bu kengayish davomida markazlar atrofidagi atomlar birlari bilan tez qo'shilib ketsa (qalinlik 3–4 monoqatlamdan, ya'ni 15–20 Å dan oshmay turib), bunday o'sish **qatlamma-qatlam o'sish** deb ataladi.

Murtaklar hosil bo'lishining har qanday nazariyasida ham bug'langan molekula (atom)larning asos yuzasi bilan to'qnashuvi birinchi bosqich deb hisoblanadi. Bog'langan atomlar asos yuzasiga o'tirib soviydi, ya'ni kondensatsiyalanadi. Ular qaytadan yana uchib chiqishi yoki yuzalarga o'tirib qolishi mumkin. Yuzaga kelib tushayotgan atomlarning energiyasi kT dan (T – asos temperaturasi) juda katta. Bu atomlar qanchalik tez, ya'ni asos bilan unga o'zining barcha zahira (zapas) energiyasini berib ulgurmasdan muvozanatga kelishi ahamiyatlidir. Bunday muvozanatda atom adsorbsiyalanishi yoki qayta bug'lanishi mumkin. Bu hodisa **termik akkomodatsiya koeffitsiyenti** α_T bilan ifodalanadi:

$$\alpha_T = \frac{E_V - E_R}{E_V - E} = \frac{T_V - T_R}{T_V - T}, \quad (5.16)$$

bu yerda E_V – asosga tushirilayotgan bug' holidagi atomlarning energiyasi; E_R – desorbsiyalangan atomlarning asos bilan muvozanat ro'y berishidan oldingi energiyasi; E – desorbsiyalangan atomning asos bilan muvozanat ro'y berganidan keyingi energiyasi; T_V , T_R , T – mos holdagi temperaturalar. Bundan $\alpha_T < 1$ ekanligi ko'rinadi.

Nazariy tadqiqotlar asosida Kabreri, Svannig, Mak Kerori va Erlax kabi olimlar «issiq» atom bir o'lchamli panjara bilan to'qnashganda $\alpha_T < 1$ shart bajarilishi uchun $E_V \geq E$ bo'lishi kerakligini aniqlaganlar. Bu olimlar kelib o'tirayotgan atomlarning massasi kristall panjaradagi atomlarning massasidan qancha katta bo'lsa, to'liq termik akkomodatsiya ($\alpha_T = 1$) hodisasi ro'y berish ehtimolligi shuncha katta bo'lishini ham aniqlaganlar. Uch o'lchamli panjaralar uchun termik akkomodatsiya to'liq ro'y berishi uchun $E_V \leq E$ bo'lishi yetarli ekanligini Gudmant aniqlagan. Masalan, atom desorbsiyalanishi uchun kerak bo'ladigan aktivatsiya energiyasi 0,5 eV bo'lsa, termik aktivatsiya to'liq bo'lmisligi uchun, kelib tushayotgan atomning energiyasi temperatura orqali ifodalanganda 6500K dan katta bo'lishi kerak.

Mak-Fi va Lennard-Djons tushayotgan atom o'zining ortiqcha kinetik energiyasini yo'qota borib asosga o'rtnashib qolishi uchun $2/Y$ vaqt kerakligini aniqlagan. Bu yerda Y – asos kristall panjarasining tebranish chastotasi. Demak, kristallga kelib tushgan atom bir necha tebranish jarayonida o'zining barcha ortiqcha energiyasini deyarli

yo'qotadi. Shuning uchun ham juda ko'p hollarda muvozanat juda tez (oniq vaqtda, birdaniga) ro'y beradi deb qarash mumkin (juda yengil atomlar va juda katta energiyali atomlar bundan mustasno).

Asosga kelib o'tirayotgan atomlar soni ma'lum miqdorga yetgandan keyin, agar markazlar hosil bo'lishi ro'y bermasa, *statsionar* (muvozanat) holat vujudga keladi, ya'ni tushayotgan va qaytadan uchib chiqayotgan (bug'lanayotgan) atomlar soni aynan teng bo'ladi. Bu holda asos yuzasini to'ldirayotgan atom (adatom)lar soni n_1 atom kelib o'tirish tezligi R ga bog'liq bo'ladi.

$$n_1 = \frac{R}{Y_0} \exp \frac{\Delta G_{des}}{kT}, \quad (5.17)$$

bu yerda, Y_0 — adsorbsiyalangan molekulalarning desorbsiyalanish chastotasiga ($\sim 10^{14} \text{ s}^{-1}$) teng bo'lgan tebranish chastotasi; ΔG_{des} — desorbsiyani aktivatsiya qilish erkin energiyasi.

Agar atomlarning yuzaga kelib o'tirishi to'xtasa va $R \rightarrow 0$ bo'lsa, u holda asosning adsorbatlar bilan to'lishi ham nolga intiladi. Adsorbatning qayta bug'lanishiga qadar yuzada o'tirish vaqti (τ_n) quyidagiga teng:

$$\tau_n = \frac{1}{Y_0} \exp \frac{\Delta G_{des}}{kT}. \quad (5.18)$$

Umuman, bir tekis plyonkalar atomlar tushish tezligi katta bo'lganda hosil bo'ladi. Yupqa plyonkalarda markazlar hosil bo'lishining ikki xil nazariyasi (modeli) mavjud: 1) kapillar model va 2) atom modeli. Bu modellar bir-biri bilan markazlar hosil bo'lish energiyasini hisoblash usuli bilan farq qiladi.



Kub panjarali plyonkalarni epiktaksiyal o'stirish

Plyonkali materiallarning elektronika sohasida ishlatilishida eng asosiy o'rinni epitaksiyal plyonkalar egallaydi. Bunday plyonkalar katta va o'ta katta integral sxemalar ishlab chiqarishda, lazer asboblari yaratishda, yuqori va o'ta yuqori chastotali rezonatorlar olishda, quyosh elementlari olishda, umuman eng zamonaviy va eng noyob mikroelektron asboblari ishlab chiqarishda alohida rol o'ynaydi. U kelajak elektronikasi, ya'ni nanoelektronikaning ham asosini tashkil etishi tabiiy.

Asos va plyonkaning elektron tuzilishi (taqiqlangan zonaning kengligi) bir-biridan farq qilsa, bunday tizim *geterostruktura* (getero-tuzilma) deb ataladi.

Kristall panjarasining tuzilishi asosning kristall panjarasi tuzilishi bilan bir xil bo'lgan monokristall plyonkalar **epitaksial plyonkalar** deyiladi. Plyonkaning kristall tuzilishi asosniki bilan bir xil bo'lsa-yu, ammo ularning tarkibi (elektron tuzilishi) farq qilsa, bunday plyonka **geteroepitaksial plyonka** deyiladi. Bu yerda biz vakuumda bug'lantirishga asoslangan molekular nurli, qattiq fazali va reaktiv epitaksiya usullari bilan tanishib o'tamiz.

Kub panjarali materiallarning plyonkalarini bir-birlarining ustiga o'stirish hozirgi zamon elektronikasida juda keng qo'llaniladi. Masalan, MDY (M – metall, D – dielektrik, Y – yarimo'tkazgich) tizimlarning asosiy qismini kub panjarali plyonkalar tashkil qiladi. Ko'p qatlamli (hajmiy) mikrotizimlar hosil qilishda metall xususiyatga ega bo'lgan CoSi_2 va NiSi_2 kabi silitsidlar, Si, Ge, GaAs (va boshqa $A^{III}B^V$ birikmalar) kabi yarimo'tkazgichlar, CaF_2 , BaF_2 kabi dielektrik materiallar kub panjaraga ega bo'lganligi uchun juda ahamiyatlidir.

Asosning yuzasida biror plyonkani o'stirishda ularning kristall tuzilishlari bir xil bo'lishidan tashqari plyonkaning va o'tish qatlamining sifati quyidagi asosiy omillarga ham bog'liq bo'ladi:

1. Plyonka va asosning kristall panjaralari doimiylarining qiymatlariga. Ularning panjara doimiysi qiymatlari bir-birlariga juda yaqin bo'lishi (farq $\sim 0,07\%$ dan oshmasligi) kerak.

2. Plyonka va asosning chiziqli kengayish temperatura koeffitsiyentlariga (ChKTK). Ular ham katta farq qilmasligi kerak.

3. Yuzalarining va chegaraviy qatlamining energetik parametrlariga.

4. O'tqazilayotgan atomlarning diffuziya qobiliyatiga.

5. Asos va plyonkadagi atomlarning bog'lanish turiga.

6. Asos va plyonkaning o'zaro ta'sirlashuv xarakteriga.

5.2- jadvalda geteroepitaksiya tizimlarida ishlatish mumkin bo'lgan materiallarning panjara doimiylari va fizik xususiyatlari keltirilgan.

Demak, plyonka o'stirishda $a_s - a_n$ bo'lishi asosiy shart ekan. Asos va plyonkaning panjara doimiysi va ChKTK lari bir-birlaridan sezilarli farq qilsa, epitaksial plyonka kristall tuzilishining mukammalligi kamayadi. Agar ularning energetik parametrlari farq qilsa, plyonkaning morfologiyasi va ko'p hollarda yuza qatlamlarning stexiometrik tarkibi buziladi.

Plyonka qanday rejimda o'sayotganligi quyidagi shartlar orqali aniqlanadi:

Agar qattiq jism yuzasiga: a) plyonka tekis qatlamma-qatlam o'sib borsa, bunday o'sish mexanizmi **Frank-van der Merve mexanizmi** deb ataladi; b) orolchali o'sish ro'y bersa **Folmer—Veber mexanizmi** deb ataladi; d) qatlamma-qatlam o'sishdan orolchali o'sishga o'tib borsa, **Stranskiy—Krastanov mexanizmi** deyiladi.

Kub panjarali materiallarning panjara doimiylari qiymatlari

Yarimo'tkazgichlar

Material	a , Å	Tuzilishi
C	3,567	O
Si	5,451	O
Ge	5,646	O
Sn	6,4892	O
GaAs	5,653	A.s.
InP	5,869	A.s.
GaP	5,4512	A.s.
SiC	6,479	A.s.
CdTe	6,482	A.s.
CuCl	5,407	A.s.
PdTe	6,462	T. t.
PbSe	6,14	T. t.

Dielektriklar

Material	a , Å	Tuzilishi
CdF ₂	5,388	F
CaF ₂	5,464	F
SrF ₂	5,789	F
BaF ₂	6,200	F
SrO	5,10	T. t.
TiO	4,235	T. t.

Metallar

Material	a , Å	Tuzilishi
SiSi ₂	5,365	F
NiSi ₂	5,406	F
ZnN	4,778	T. t.

A.s. – aldanma sinkli ((Z)-F43m),

O – olmos ((D)-Fd3m)

F – flyurit ((F)-Fm3m),

T.t. – tosh tuzi((R)-Fm3m)

Geteroepitaksial materiallar o'stirishda plyonka va asosning solishtirma sirtiy energiyalari (γ_p va γ_a) katta farq qilsa, kerakli morfologiyali plyonka olish muammo bo'lib qoladi. Masalan $\gamma_a \ll \gamma_p$ bo'lsa, plyonka yakka-yakka orolchalar holida o'sa boshlaydi yoki plyonkada kanallar, chuqurliklar hosil bo'ladi. Bu holda ko'pincha fasetlangan (qirralari boshqa yo'nalishga oriyentirlangan) sirtlar hosil bo'lishi va stexiometrik tarkib keskin o'zgarishi mumkin.

Yuqorida ko'rsatib o'tilgan fizik jihatlar epitaksial o'sish jarayonida va yangi epitaksial tizimlarni hosil qilishda hisobga olish shart bo'lgan asosiy omillardir.

5.2- jadvaldan ko'rinadiki, M-D-Y tizimini hosil qilishda CoSi₂ (metall), Si (yarimo'tkazgich), CaF₂ (dielektrik) eng qulay material-

lardir. CaF_2 - Si - CoSi_2 epitaksial qatlamlar «M-D-Y» tizimi uchun panjara parametrlari juda yaqin bo'lgan va yaxshi sifatli geterotuzilma qatlamlar hosil qiladigan yagona tizimdir (5.3- jadval). Ikkinchi tomondan ularning fizik xususiyatlari noyob texnik ko'rsatkichga ega bo'lgan asboblarni yaratishga imkon beradi.

5.3- jadval

CaF_2 , Si va CoSi_2 ning kristall tuzilishi va fizikaviy xususiyatlari

Material	Si	CoSi_2	CaF_2
Nuqtaviy guruh	M3m	m3m	m3m
Fazoviy guruh	Fb3m	Fm3m	Fm3m
Tuzilishi	Olmos	Flyurit	Flyurit
a , Å $t = 20^\circ\text{C}$	5,431	5,365	5,464
$(\Delta a/a_{\text{Si}})$ %	—	-1,21	+0,61
ChKTK · 10^6 1/grad	2,5	15,4	19,1
Erish tem-si, $^\circ\text{C}$	1415	1326	1360
Fizik xususiyati	Y	M	D
O'ziga xos kattaliklari	$E_g = 1,12$ eV	$c = 15 \mu\text{m}\Omega \cdot \text{sm}$	$E_g = 12,1$ eV

Si, CoSi_2 , CaF_2 (BaF_2 , SiF_2) epitaksial kombinatsiyalarning qattiq jism elektronikasida va mikroelektronikada mustaqil qo'llanilishi mumkin bo'lgan sohalarida ustida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

1. CaF_2 , SiF_2 , BaF_2 bufer qatlamlari bilan qoplangan kremniy monokristallari zamonaviy elektronikaning yarimo'tkazgichli materiallar epitaksiyasi uchun universal taglik asos bo'lib xizmat qiladi. Hozirgi paytda A_3B_5 , A_2B_6 , A_4B_6 kabi birikmalarni o'stirishda taglik eng asosiy muammo bo'lib qolmoqda. Asos sifatida fluoridlarning yupqa qatlamlari bilan qoplangan kremniydan foydalanish juda istiqbolli bo'lib, quyidagi afzalliklarga ega:

a) kremniyli monokristallar juda arzon, kristallik mukammalligi juda yuqori, yuqori mexanik mustahkamlikka ega, yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega (masalan, GaAs dan uch marta katta) bo'lib, hozirgi kunda diametri 200 mm gacha bo'lgan kremniyli asoslar olinmoqda;

b) kremniyli planar texnologiya — eng samarali bo'lib, uning bugungi kunda raqobatchisi (konkurenti) yo'q;

- d) uch o'ldhamli integral tizimlar olish imkonini beradi;
- e) sezgir elementni yuqori epitaksial qatlamda monolit integratsiya qilish va signallarni qayta ishlash tizimini kremniy asosida amalga oshirish imkoniyati mavjud.

Ftoridlar ikkita maqsad bo'yicha bufer qatlamlar sifatida ishlatilishi mumkin:

- a) plyonkani elektr asosdan izolyatsiyalash;
- b) plyonka va asos panjara doimiylarining mos kelmasliklarini kamaytirish, muvofiqlashtiruvchi o'tish qatlami hosil qilish.

Shunday qilib bufer qatlamli kremniylar uch o'ldhamli IS olishda opto va fotoelektron qurilmalarda, lazer asboblari va IK-detektorlar olishda qo'llaniladi.

2. Metall-epitaksial dielektrik-kremniy vertikal MDY tranzistorlar ishlab chiqarishning asosini tashkil qiladi. MDY tizimi metall bazali va sizuvchi bazali tranzistorlarni ishlab chiqarish imkonini beradi. Bu tranzistorlar ayniqsa o'ta yuqori chastotalarda (150 GHz) barqaror ishlashi katta ahamiyatga ega.

3. O'ta yuqori chastotali asboblari yaratishda. Ko'p qatlamli $\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CoSi}_2/\text{Si}$ tizimlar quyun-prolet diodlar, Shottkning O'YCh diodlarini olishda ishlatilmoqda.

4. Umumlashgan monolit nurlanish detektorlari yaratishda. Si, CoSi_2 , CaF_2 epitaksial kombinatsiyalari ultrabinafsha va rentgen nurlari detektorlarining asosiy elementlari bo'lib xizmat qiladi.

5. Qo'shimcha yo'nalishlar. CoSi_2 Shottki barerli asboblari, omik kontaktlar, o'zaro ulovchi tizimlar olishda keng qo'llaniladi. CoSi_2 ning Si dagi yupqa qatlamlari temperatura datchiklarining faol qismi bo'lib xizmat qiladi. CaF_2 plyonkalari submikron litografiyada (elektron rezistor sifatida), optik qabul qiluvchi qurilmalarda, opto va fotoelektronika asboblari interferensiyalar manzara hosil qiluvchi qatlamlar sifatida ishlatiladi.



O'ta yupqa qatlamlarda fizik jarayonlar kechishining o'ziga xosligi. Elektron qurilma va asboblari yupqa plyonkalar asosida yaratish istiqbollari

O'ta yupqa qatlamlarda ro'y beradigan fizik hodisalar qalin qatlamlarda ro'y beradigan fizik hodisalardan tubdan farq qiladi. Ularning eng asosiy sabab o'ta yupqa qatlamlarda ro'y beradigan fizik hodisalar (masalan, elektronlarning harakati) klassik fizika qonunlariga emas balki kvant fizikasi qonunlariga amal qila boshlaydi. Bunday fizik hodi-

salarga, jumladan, quydagilarni misol qilishimiz mumkin: elektronlarning emissiyasi, tok tashuvchilarning ko'chuvchanligi, optik xususiyatlar, elektr o'tkazuvchanligi va hokazo.

Bundan tashqari o'ta yupqa qatlamlarda ro'y beradigan fizik hodisalarga quydagi omillar (sababli) ham sezilarli tasir qiladi.

1. Har qanday yaxshi tayyorlangan, nuhsonsiz deb hisoblangan plyonkaga ham u o'stirilgan asos ta'sir qiladi va bu ta'sir atomlar orasidagi masofaga, ularning tekis-notekis joylashishiga (morfologiyasiga), kristall panjara parametrlariga ta'sir qiladi, ya'ni plyonka-asos chegarasida asos yuzasining notekisligi hamda asos kristall panjara doimiylarining plyonka doimiylariga mos kelmaganligi sababli plyonka xususiyatlarini (panjara kattaliklarini) o'zgartiruvchi omillar sabab bo'ladi.

2. Plyonka-asos chegarasida albatta o'zaro diffuziya hodisasi ro'y beradi: plyonka ichiga asos atomlari, asos ichiga plyonka atomlari kirib boradi.

3. Qatlam yupqa bo'lganligi sababli fizik jarayonlarning ro'y berishida qatlam bilan bir vaqtda asos ham ishtirok etishi mumkin.

Shuning uchun ham, ya'ni mana shu uchala holni hisobga olganimizda yupqa qatlamlarda ro'y beradigan fizik hodisalar juda murakkab kechishi ko'rinib turibdi. Aytilganlarga yana o'nlab omillar qo'shilihi mumkin, masalan, plyonka bilan asosning temperatura koefitsiyentlari har xilligi, ularning boshqa tashqi ta'sirlar natijasida o'zgarishlarining har xilligi misol bo'la oladi. Ammo, yuqoridagi omillarni hisobga olgan holda yupqa plyonkalarining tarkibini, kristall tuzilishini, umuman xususiyatlarini kerakli yo'nalishda o'zgartirish mumkin. Bunday plyonkalar boshqa usullar bilan olib bo'lmaydigan o'ziga xos noyob xususiyatlarga ega bo'ladi. Ko'pgina fizik hodisalar, masalan, emissiya hodisalari, elektr o'tkazuvchanlik, $p-n$ o'tish jarayonlari juda yupqa qatlamlarning xususiyatlariga bog'liq bo'lib qoladi. Shuning uchun ham bunday plyonkalardan foydalanish elektron asboblari va qurilmalar (yarimo'tkazgichli diodlar, tranzistorlar, kuchaytirgichlar, integral mikroshemalar, quyosh elementlari, yuqori chastotali asboblari va boshqalar) o'lchamlarini juda kichraytirish imkoniyatini beradi.

Hozirgi paytda elektronikada o'lchamlari **mikrometr (μm)**larda bo'lgan plyonkalar ishlatilsa, kelajakda **nanometr (nm)** o'lchamli **plyonkalar** ishlatiladi. Si, CoSi_2 , CaF_2 , SiO_2 , GaAs kabi yarimo'tkazgich va dielektrik plyonkalar mikroelektronika asboblariining eng asosiy komponentlari hisoblanadi. Ulardan va ularga boshqa element atomlarini kiritib tayyorlangan ko'p qatlamli tizimlar har xil MOP,

MDP- tranzistorlar, IK- fotodiodlar, lazerlar, optoelektron va elektron eslab qoluvchi tizimlar, O'YCh asboblari, quyun-prolyot diodlari, katta va ultra katta integral sxemalar tayyorlashda keng qo'llaniladi.

Yuqorida sanab o'tilganlar orasida metall bazali (MBT) va singish bazali (SBT) O'YCh tranzistorlar alohida o'rin tutadi. Bunda $n-p-n$ bipolar tranzistorlardagi yarimo'tkazgichli baza metall xususiyatga ega bo'lgan yupqa CoSi_2 qatlami bilan almashtiriladi. Natijada bazaning qarshiligi keskin kamayadi va undagi elektronlar konsentratsiyasi 10^3 marta ortadi (bipolar tranzistorda kremniyli baza uchun $N \approx 10^{19} \text{ sm}^{-3}$, metall bazada esa $N \approx 10^{22} \text{ sm}^{-3}$). MBT uchun tok tashish koeffitsiyenti quyidagi formuladan topiladi:

$$\alpha = \alpha^* \exp\left(-\frac{d}{\lambda}\right) \approx 1 - \frac{d}{\lambda}, \quad (5.19)$$

bu yerda $\alpha^* \approx 0,9-1$; d – bazaning qalinligi; λ – elektronlarning bazadagi erkin yugurish yo'li uzunligi.

MBT va SBT juda yuqori chastotalarda ($f \geq 20-30 \text{ GHz}$) shovqinsiz ishlash qobiliyatiga ega.



Ionli aktivlashtirish usuli bilan qattiq jism yuzalarida yupqa plyonkalar hosil qilish

QFE yoki RE usuli bilan, umuman, qattiq jism yuzasiga atomlarni o'tkazib keyin ishlov berish usullari yupqa plyonkalar hosil qilishda ko'p ishlatiladi. Ammo ko'p hollarda o'tqazilgan plyonka atomlari va taglik atomlari bir-biriga aralashib, yangi plyonka hosil bo'lishida ayrim qiyinchiliklar vujudga keladi. Masalan, hosil qilishimiz kerak bo'lgan plyonkaning qalinligini oshirish uchun temperaturani ko'tarish kerak bo'ladi. Temperaturani ko'tarish esa quyidagi asosiy muammolarni vujudga keltiradi:

- plyonkaning qalinligini nazorat qilib bo'lmaydi va tekis chegaraviy qatlam olib bo'lmaydi;

- kerakli bir jinsli tarkibni hosil qilish qiyin bo'ladi;

- yuqori temperaturalarda plyonkaning ustki qatlamlari bug'lanib ketishi mumkin;

- yuqori temperaturalarda asosning tarkibidagi chetki aralashmalar aktivlashishi mumkin. Ular diffuziya hisobiga plyonka ichiga yoki chegaraviy qatlamga to'planadi.

Bu muammolarni ma'lum bir miqdorga hal qilish uchun ionli-aktivlashtirish (faollashtirish) usul ishlatiladi. Bu usulga asosan asosning

yuzasi plyonka o'tqazishdan oldin ionlar bilan uriladi. Bunda ikki holni ko'rib chiqish mumkin:

1. Agar ionlar energiyasi uncha katta bo'lmasa ($E_i \approx 400-500$ eV) ular asosning yuzasida ko'plab kristallanish markazlarini hosil qiladi. Bu markazlar nisbatan kichik temperaturalarda asos yuzasida mukammal plyonkalar olish imkonini beradi.

2. Agar ionlarning energiyasi katta bo'lsa ($E_i > 500-1000$ eV), bu ionlar kristallarning ichida yurib borib atomlarning harakati uchun ma'lum bir yo'llar ochadi (g'ovaklar hosil qiladi), keyin bu yuzaga kerakli materialning atomlari o'tkaziladi. Uncha katta bo'lmagan ma'lum bir temperaturalarda yuzaga o'tqazilayotgan atomlar bu g'ovaklar orqali asosning ichki qismiga kirib boradi va uning atomlari bilan intensiv aralashadi. Demak, bu usul bilan kichik temperaturalarda asos va plyonka atomlarining aralashib ketishini va kerakli birikma hosil qilinishini ta'minlash mumkin. Ionlarning energiyasini o'zgartirish yo'li bilan hosil qilinishi kerak bo'lgan plyonkaning qalinligini kerakli miqdorda o'zgartirishimiz va nazorat qilishimiz mumkin.

Ionli aktivlashtirish usulining xususiy holi *ion-molekular usul* deb ham yuritiladi. Bu usulga, asosan, yuzaga tushirilayotgan atomlarning ma'lum bir qismi ionlashtiriladi va ularga energiya beriladi. Bu tushayotgan ionlar asos va o'tkazilgan atomlarning aralashib ketishini tezlashtiradi va nisbatan kichik temperaturalarda kerakli plyonkalar olishni ta'minlaydi.

Plyonkalarni ionli o'tqazish jarayonini umumiy izohlash uchun energetik **aktivatsiya (faollik) darajasini baholash** kerak bo'ladi. Ionlar ta'siri bilan bog'liq bo'lgan energetik aktivatsiya **energiya koeffitsiyenti** (ϵ) deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi:

$$\epsilon = \frac{E_i + E_n}{E_n} = 1 + \frac{n_i \cdot e_i}{n_n \cdot e_n}, \quad (5.20)$$

bu yerda $E_i + E_n$ — ionlar ta'siri bor paytda asos yuzasiga tushib kondensatsiyalanayotgan barcha zarralarning kinetik energiyasi; E_n — ionlar ta'siri yo'q paytida barcha zarralarning kinetik energiyasi; n_i/n_n — ionlar tezligining o'tqazish tezligiga nisbati; e_i/e_n — ionlar oqimi energiyasining ionlar ta'siri yo'q paytidagi zarralar oqimi energiyasiga nisbati.

Ionli aktivatsiya usuli bilan plyonkalar olishda asos yuzasida ro'y beradigan jarayonlar ionlarning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Ionlar energiyasining kattaligiga qarab ionlar ta'siri effektini shartli ravishda beshta oraliqqa bo'lishimiz mumkin:

1. $E_i \approx 10^{-2}-10$ eV. Bu oraliqda ionlar kondensatsiyani termik aktivlashtiradi va migratsiyani kuchaytiradi.

2. $E_i \approx 10^{-1} - 5 \cdot 10^2$ eV. Asos yuzasidagi chetki atomlar uchib ketadi, adgeziya yaxshilanadi va ancha mujassam qatlamlar hosil bo'ladi.

3. $E_i \approx 5 - 5 \cdot 10^3$ eV. Zaryadlangan nuqsonlarning markazlari vujudga keladi, kristall tuzilishda nuqsonlar hosil bo'ladi.

4. $E_i \approx 5 \cdot 10^1 - 10^4$ eV. Kristall tuzilish buzila boshlaydi, ikkilamchi yedirish ro'y beradi.

5. $E_i \approx 5 \cdot 10^3 - 10^5$ eV. Ionlarning va ketma-ket atomlarning asosning ichki qatlamlarida joylashib qolishi (implantatsiyasi) ro'y beradi.



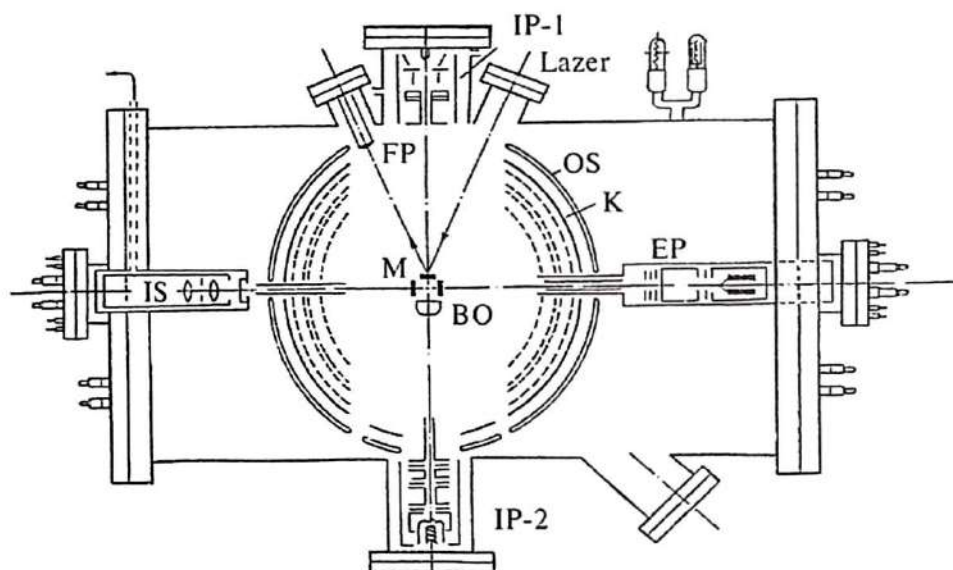
Ion implantatsiya usuli

Bu usulda kerakli element atomlari to'raligicha ionlarga aylantiriladi va ularga elektr maydoni yordamida energiya berilib, asosning yuzasiga tushiriladi. Bu energiya hisobiga ionlar asosning ichiga kirib borib joylashadi. Ko'pincha, jarayonning o'zida kerakli birikmalar hosil bo'ladi. Masalan, BaSi yoki BaSi₂ birikmasini olish uchun kremniyning yuzasiga bariy ionlari bilan uriladi. Bunda bariyning ko'p qismi kremniyning yuza osti qatlamlariga joylashib, kerakli birikmalarni hosil qiladi. Ion implantatsiya usulida monokristallarning yuzasi buziladi, ko'p hollarda hosil bo'layotgan plyonka amorf bo'ladi, uni kristall holga aylantirish uchun qizdirish kerak bo'ladi. Ion implantatsiya usulining eng asosiy afzalligi shundan iboratki, bu usul bilan har qanday materialga turli xil atomlarni kiritish mumkin. Ion implantatsiyasini amalga oshirish va keyingi qizdirish usuli bilan yupqa plyonkalar hosil qilish, hamda uning xususiyatlarini o'rganish imkonini beradigan zamonaviy qurilmalardan bittasining ko'rinishi 5.6- rasmda berilgan.

Bunday qurilma tahminan quyidagi qismlardan tashkil topadi: vakuum hosil qiluvchi tizim, ion to'p, asos (taglik) tizimi, fotonlar dastasini hosil qiluvchi qurilma, elektron to'p, ochib yopish qurilmasi, qo'shimcha ishlov berish tizimlari.

Ion to'pi yordamida gaz yoki metall ionlari nishonning yuziga tushiriladi. Plyonka hosil qilishda kichik energiyali ($E_v = 0,5 - 10$ keV) ionlar oqimi (dastasi) dan foydalaniladi. Nishonni orqa tomonidan volfram nurlanishi (700–800 °C gacha) va elektronlar zarbasi (700° dan to 2500 °C gacha) bilan qizdirish mumkin. Nishonni yuza tomondan lazer nurlari yordamida ishlab berish imkoniyati mavjud.

Elektron to'p va analizatorlar tizimi (to'rlar $T_1 - T_4$ va kollektor k) yordamida yuzaning morfologiyasi va kristall tuzilishi o'rganiladi.



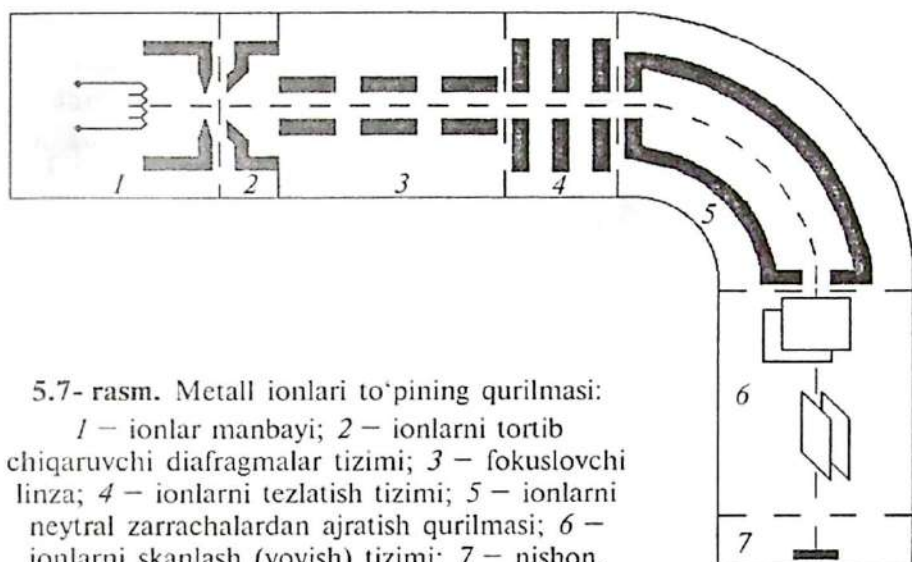
5.6- rasm. Eksperimental qurilma: IS – yorug‘lik manbayi; EP – elektron to‘p; M – nishon; IP-1 – gaz (Ar^+ , O_2^+ , N_2^+) ionlarning manbayi; IP-2 – hosil qilinadigan plyonka atomlari va molekularining manbayi; FP – foto qabulqilgich; OS – ekran; BO – qizdirilish qurilmasi.

Ultra binafsha nurlarining fotoelektron spektroskopiyasi (yorug‘lik manbalari va analizatorlar tizimi) yordamida yuzaning elektron tuzilishi o‘rniladi.

Asosga yuqori vakuum ($P \leq 10^{-6}$ Pa) sharoitida ishlov beriladi, ya’ni imkon qadar u yuqori temperaturagacha qizdiriladi. Natijada yuza qo‘shimchalardan tozalanadi va silliqiladi. Juda toza yuzalar hosil qilish uchun ayrim hollarda qizdirish jarayoni yuzalarga gaz ionlari bilan ishlov berish bilan navbatma-navbat olib boriladi. Bunday usullar bilan yuzadagi notekisliklarning o‘lchamlari 30–50 Å gacha keltiriladi. Umuman, kremniyni oltingugurtdan mutlaqo tozalash mumkin (qayd qiluvchi asboblarning imkoniyati qadar), uglerod va kisloroddan esa to‘la tozalab bo‘lmaydi. Asos bilan bir qatorda manba ham yuqori darajada tozalanadi.

Ionli legirlash qurilmalarining asosini ion to‘pi tashkil etadi. Uning turli-tuman xillari mavjud. Adabiyotlarda ionlar energiyasining 10 keV dan 300 keV gacha oralig‘ida ishlashi uchun mo‘ljallangan tezlatgichlarning tafsiloti mavjud, lekin rasmiy jihatdan bu soha mazkur sharhning muhokama doirasiga kirmaydi.

Bu yerda qattiq jism $E_0 \leq 10$ keV energiyali ionlar bilan legirlanganda sirtidagi xossalarning o‘zgarishi va yangi xususiyatli qatlamlar



5.7- rasm. Metall ionlari to'pining qurilmasi:

1 – ionlar manbayi; 2 – ionlarni tortib chiqaruvchi diafragmalar tizimi; 3 – fokuslovchi linza; 4 – ionlarni tezlatish tizimi; 5 – ionlarni neytral zarrachalardan ajratish qurilmasi; 6 – ionlarni skanlash (yoyish) tizimi; 7 – nishon.

(plyonkalar) hosil bo'lishi muhokama qilinadi. Biroq hamma tezlatgichlarning ishlash prinsipi bir xil.

Tezlatgichlar quyidagi asosiy qismlardan tashkil topgan: ion manbayi, manbadan ionlarni tortib oluvchi, tezlashtiruvchi va fokuslovchi elektrodlar, ionlarni massalari bo'yicha taqsimlovchi (separator-tanlovchi), skanlash (yoyish) qurilmasi. Ular bir-biridan odatda faqat tezlatish va fokuslash usullari bilan farq qiladi.

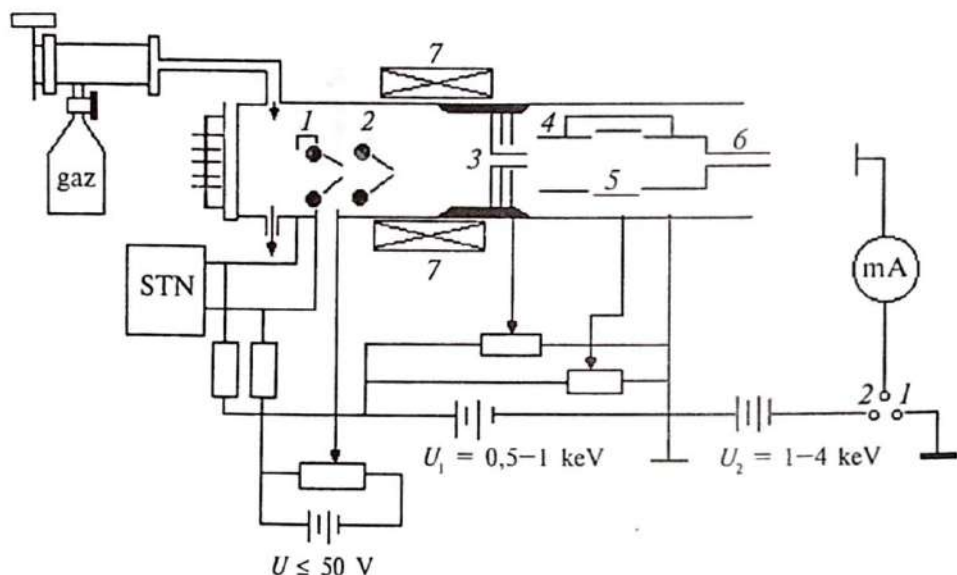
Metall ionlari bilan legirlash qurilmasining tuzilish sxemasi 5.7- rasmda tasvirlangan.

5.8- rasmda gaz atomlari ionlari bilan legirlash imkoniyatini beradigan qurilmaning sxemasi keltirilgan.

Bu qurilmalarning tarkibiy qismlarini qo'rib chiqamiz.

1. Ionlar manbayi. Ion manbayida atomlar aralashmasining ionlashishi amalga oshiriladi. Gazsimon moddalardan ham, qattiq moddalardan ham ion dastalarini olish imkonini beruvchi manbalar keng qo'llaniladi. Qo'llanish maqsadiga qarab quyidagi manba turlarining biridan foydalaniladi: cho'g'lanuvchi katodli manba, yuqori chastotali manba, Penning razryadli manbayi, duaplazmatron plazma generatori – plazma oqimi olinadigan razryadli qurilma, changlanishdan foydalaniladigan manba va atomlarning sirtiy potensial ionlashishiga asoslangan manba.

Ion turiga nisbatan universalligi hamda intensiv ion dastasi olish imkoniyati tufayli hozirgi vaqtda cho'g'lanuvchi katodli manbalardan ilmiy izlanishlarda ham, sanoat qurilmalarida ham keng foydalanilmoqda. Katod va anod orasidagi fazoda zarur gaz yoki qattiq jism



5.8- rasm. Gaz ionlari to'pining qurilmasi:

1 – cho'g'lantirish tolasi; 2 – anod; 3 – diafragmalar tizimi; 4–6 – fokuslovchi va tezlashtiruvchi diafragmalar tizimi; 7 – elektromagnit; STN – cho'g'lanish tokining stabilizatori.

bug'larining yuqori bosimi (odatda 10^{-3} – 10^{-1} Pa) hosil qilinadi. Ionlarni olish prinsipi atomlarning tezlashtirilgan elektronlar bilan to'qnashishi natijasida ionlashishiga (elektron qabul qilishi yoki yo'qotishi) asoslangan. Razryad volframdan yasalgan katod va anod o'rtasida yonadi. Elektronlarning razryadda bo'lish muddatini uzaytirish, ya'ni ionlashish intensivligini kuchaytirishga tashqi magnit maydoni yordamida erishiladi.

Ishqoriy va ishqoriy-yer metallarining bir zaryadli ionlarini olish uchun odatda sirtidagi musbat ionlashish hodisasiga asoslangan manbalardan foydalaniladi. Qayd etilgan metallar atomlarining ionlashish energiyasi kichik ($E_i \leq 6$ eV) bo'lganligi tufayli bu atomlar cho'g'langan volfram simining sirti bilan to'qnashganda ionlashadi va shuning uchun ham anod va volfram sim orasida razryad hosil qilishning va magnit maydonlaridan foydalanishning zarurati qolmaydi. Hosil bo'lgan ionlar tortuvchi elektrodlar yordamida manbadan chiqarilib, so'ngra fokuslovchi elektrodlar maydoniga tushiriladi.

2. Fokuslash va tezlatish. Ionlar dastasini fokuslash ionlarni tezlashtirishdan oldin amalga oshiriladi. Fokuslash fokuslovchi va tortuvchi elektrodlardan tuzilgan elektrostatik linza yordamida bajariladi. So'ngra bu ionlar tezlatuvchi elektrod maydonida tezlashtiriladi. Ionlarni quyi (10–15 keV) energiya olguncha tezlatishga mo'ljallangan

qurilmalarda odatda bitta tezlatuvchi elektroddan, ancha yuqori energiyalar uchun esa bir nechta elektrodlardan (tezlatuvchi seksiyali bo'limlardan iborat naydan) foydalaniladi.

3. **Ionli dastaning separatori (analizatori, tahlillagichi).** Ionlarni massasi bo'yicha tanlash bevosita ion manbalaridan keyin yoki ular tezlashtirilganidan keyin amalga oshirilishi mumkin. Bu usullarning har biri o'z ustunlik va kamchiliklariga ega. Amalda ionlarni massasiga ko'ra ajratish uchun magnitli, elektromagnit va elektrostatik separatorlardan foydalaniladi.

4. **Ionlar dastasini skanlash.** Implantatsiyaning bir jinsliligini ta'minlash (va ba'zi hollarda legirlangan maydonni oshirish) uchun bir necha usullardan foydalaniladi: ionlar dastasini skanlash, namunani siljitish va dastani fokuslash. So'nggi ikki usul uncha katta aniqlik talab qilmaydigan izlanishlar uchun yaraydi.

Implantatsiyanuvchi ionlarning yetarli bir tekis (notekisligi $\leq 1\%$) taqsimlanishini ta'minlash uchun X va Y yo'nalishlardagi elektrostatik skanlash eng ko'p qo'llaniladi. Bunda 0,002–10 kHz oraliqdagi chastotali arrasimon kuchlanish generatorlaridan foydalaniladi.

Tajribalar o'tqazish vaqtida amalga oshiriladigan texnologik jarayonlar. Tajribalar jarayonida ionli implantatsiya bilan bir qatorda ko'pgina texnologik operatsiyalar amalga oshiriladi: namunalarni vakuumda qizdirish, lazer nurlari bilan ishlov berish, namuna sirtiga begona atomlarni o'tqazish (changlantirish), elektronlar bilan uzoq vaqt «o'qqa tutish», oksidlash. Elektron to'p va analizator elektrodleri sirtlarining ifloslanishiga yo'l qo'ymaslik maqsadida bu operatsiyalarni qurilmaning asosiy kamerasida emas, balki qo'shimcha (ishlov berish) kamerasida bajarish maqsadga muvofiqdir.

1. Namunalarni tozalash 10^{-6} Pa dan yuqori bo'lgan vakuumda yuqori temperaturali qizdirish yo'li bilan, zarur bo'lganda esa ionli ishlov berish va keyingi qizdirish yo'li bilan bajarilishi zarur.

$T \approx 1000$ K temperaturagacha qizdirish isitgichning volfram spiralinig issiqlik nurlanishi hisobiga, undan yuqori temperaturagacha qizdirish esa (orqa tomondan) elektronlar oqimini yo'naltirish bilan amalga oshiriladi.

Namunalarni ionlar bilan tozalaganda $8 \mu\text{A} \cdot \text{sm}^{-2}$ tok zichligiga ega bo'lgan 0,5–1,5 keV energiyali Ar^+ ionlar dastasidan foydalanish mumkin.

2. Ishqoriy va ishqoriy-yer elementlarining atomlarini namuna sirtiga o'tqazish (changlantirish) tok o'tkazilganda qiziydigan tantaldan (yoki nikeldan) yasalgan qayiqcha yoki naylar yordamida amalga oshiriladi. Tantaldan yasalgan qayiqchaga joylashtirilgan BaTi tabletka-

sidan (kichkina disk ($D=10$ mm) shaklidagi bo'lakchasidan) Ba atomlari, kapillyar tuynukli nay ko'rinishidagi standart natriy va seziy manbalaridan Na va Cs atomlari olinadi. Namuna sirtining bariy va ishqoriy metallar atomlari bilan qoplanish tezligini aniqlashda changlanish jarayonida namuna chiqish ishining o'zgarishidan foydalanish mumkin. Bunda $eq(r) = eq_{min}$ bo'lgandagi qalinlik $\theta \approx 1$ monoqatlam deb qabul qilinadi. Bundan tashqari changlanish tezligini kalibrlash (taqqoslash, baholash) yoki oje-elektron spektroskopiyasi usullari bilan aniqlash mumkin.

3. Sirtga kislorodli ishlov berish asbobda zarur bosim oraliqlaridagi dinamik muvozanat barqarorlashgunicha chiqaruvchi kameraga kislorodni uzluksiz yuborilishi bilan amalga oshiriladi. Qizdiriladigan shisha naychaga joylashtirilgan $KMnO_4$ kukuni kislorod manbayi bo'lib xizmat qiladi. Gazsimon kislorod oqimi suyuq kislorodli qopqon orqali o'tadi. Naychaning isish temperaturasini o'zgartirib, turli bosimdagi kislorodni olish mumkin.

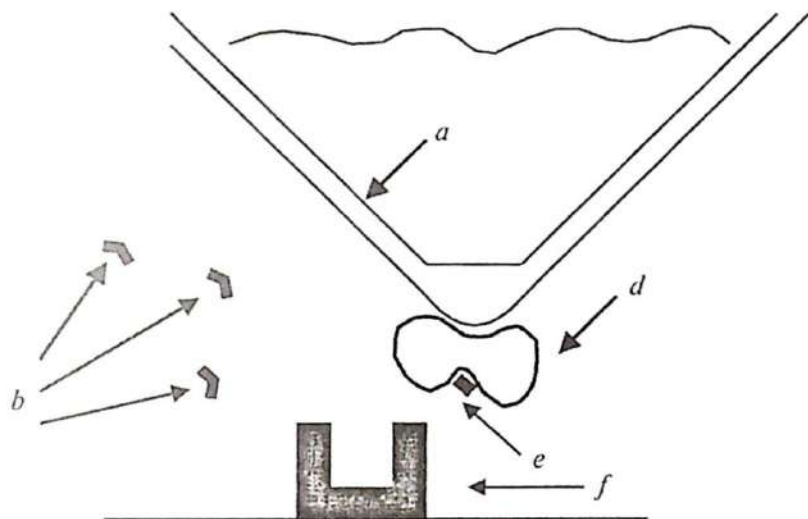
4. O'rganilayotgan namunalarning sirtiga elektronlar dastasi bilan ishlov berish ko'p elektrodli elektron to'pdan foydalanib bajariladi. To'p $10-100 \text{ mA} \cdot \text{sm}^{-2}$ oraliqdagi elektron toki zichligini ta'minlaydi. Dastaning nishondagi diametri ~ 3 mm ni tashkil qiladi.

Lazerli ishlov berish asosan impulsli lazer nurlari bilan amalga oshiriladi. Bu maqsadda ko'pincha qattiq jismli (Nd^{3+}) LTI turidagi lazer qurilmasidan foydalanish mumkin. Lazer nurlari niishon yuzasiga kvarts oyna orqali tushiriladi (5.6- rasmga qarang).



Nanoassambler-atomlar (molekulalar)ni ketma-ket yig'ish usuli bilan nanomateriallar hosil qiluvchi qurilma

Yuzalar va o'ta yupqa qatlamlarni o'rganishning eng yuqori bosqichlarida o'ta zamonaviy elektron zondli asboblarda paydo bo'ldi. Skanlovchi tunnel mikroskop (STM) va atom kuchlanishli mikroskop (AKM). Bu mikroskoplar AKM yordamida qattiq jism yuzasidagi atomlarining joylashishini aniqlash xatoligi $0,1 \text{ \AA}$ dan oshmaydi. Bu mikroskoplarga bir oz o'zgartirishlar kiritib ular orasida alohida-alohida atomlarni yig'ib yangi nanomateriallar hosil qilish mumkin. Misol sifatida 5.9- rasmda AKM yordamida oqsil molekulalarini tartibli joylashtirib nanotuzilma hosil qilish jarayoni ko'rsatilgan. Harakatlanuvchi zond kantilever deb nomlanadi. AKM ga asoslangan molekular manipulyator (boshqargich) yordamida reagentdan alohida-alohida molekulalarni olib yuzaning istalgan nuqtasiga olib borish va lokal



5.9- rasm. AKM asosidagi molekular manipulator:

a – AKM zondi (kantilever)ning uchi; *b* – eritmadagi reagent (ligand) molekulari; *d* – zond uchidagi oqsilning katta molekulas; *e* – oqsil tutib olgan molekula; *f* – ligandaning taglik bilan to‘qnashuvi jarayonida ro‘y beradigan kimyoviy reaksiya natijasida vujudga kelgan tuzilma.

kimyoviy reaksiyani amalga oshirish mumkin. Zondning uchiga joylashtirilgan oqsilning katta molekulas o‘ziga yaqin joylashtirilgan eritma tarkibidagi kichik molekular (ligandalar)ni birin-ketin bog‘lay boshlaydi. Keyin zond bu molekularni taglik yuzasining kerakli nuqtasiga joylashtiradi. Taglik bilan, har bir molekula bilan, molekularning bir-biri bilan kimyoviy reaksiyalari natijasida liganda molekularidan tashkil topgan yangi nanotizim hosil bo‘ladi (5.9- rasm). Bu tizim yangi tuzilishga va xususiyatlarga ega bo‘ladi. Shunday qilib, AKM yordamida nanoobyektlarni faqatgina o‘rganish emas uni hosil ham qilish mumkin ekan.



O‘ta yupqa qatlamlarni o‘rganishning zamonaviy usullari haqida umumiy ma’lumotlar

O‘ta yupqa qatlamlarni va yuzalarini o‘rganishning zamonaviy usullari o‘ta yuqori vakuum sharoitida yuzalari har xil turdagi zarralarni yo‘naltirish va undan uchib chiqayotgan zarralarni energiya bo‘yicha, massa bo‘yicha yoki chiqish burchagi bo‘yoicha taxlil qilishga asoslangan.

Yuzaga yo‘naltiriladigan zarralar ham, ajralib chiqadigan zarralar ham to‘rt xil bo‘lishi mumkin: elektronlar, fotonlar, ionlar, neytral atomlar (yoki molekular).

Keyingi 20–25 yil ichida yuzalarning tarkibini, tuzilishini va xususiyatlarini oʻrganishga juda katta eʼtibor qaratilmoqda. Bu esa oʻz navbatida yuzalarni tekshirish usullarining kengayishiga va rivojlanishiga olib kelmoqda. Bunga asosiy sabab jismlarning qator (emissiya, optik, emirilishga chidamlilik, ayrim mexanik, fizik va kimyoviy) xususiyatlari koʻp jihatdan uning ichki qatlamlariga emas, balki yuza qatlamlariga bogʻliq ekanligidir. Jumladan horziri zamon texnologiyasida, xususan, mikro- va optoelektronikada, qattiq jismning yuza va yuza osti qismi asosiy oʻrinni egallaydi. Bu qatlamlarning tarkibini va tuzilishini oʻzgartirish uchun juda koʻp usullar qoʻllaniladi: ionlarni implantatsiya qilish, diffuziya, impulsli elektron dastalari va lazer nurlari bilan ishlov berish, yuqori temperaturada qizdirish. Undan tashqari qattiq jism yuzasida molekular oqimlardan foydalanib kerakli kristallarning yupqa epitaksial qatlamlarini hosil qilish ham juda ahamiyatlidir.

Zamonaviy tekshirish usullari jism yuzasiga zarralar (elektron, ion, neytral atom yoki molekula, foton (toʻlqin tabiatini tekshirmaganimiz uchun fotonlarni zarra deb ataymiz)), keskin qizdirish yoki kuchli elektr maydon bilan taʼsir qilib, undan uchib chiqayotgan zarralarni har tomonlama tahlil qilishga asoslangan. Amalda ionlar, elektronlar va fotonlar taʼsiriga hamda tahliliga asoslangan usullar keng qoʻllaniladi. Zamonaviy tahlilning vazifasi qattiq jism yuzasidagi yupqa qatlamlarning elementar va kimyoviy tarkibini, atomlarning miqdorini (konsentratsiyalarini) va ularning qatlamlar boʻyicha taqsimlanishini, elektron va kristallik tuzilishini aniqlashdan iboratdir. Yuza haqida har tomonlama maʼlumot (informatsiya) olish uchun bir vaqtning oʻzida bir necha usullarni ketma-ket qoʻllashga toʻgʻri keladi. Koʻp hollarda yuzadagi elementlarning tarkibini aniqlash kifoya qiladi. Bu holda elementlarning tarkibi chiqayotgan zarralar (nurlanishlar)ning energiyasi orqali, atomlarning miqdori esa ularning intensivligi orqali ifodalanadi.

Elektronlar, ionlar yoki fotonlarning jism yuzasi bilan toʻqnashishi turli xil jarayonlarni vujudga keltiradi: yuzadan har xil zarralar uchib chiqishi, yuzadagi atomlarning koʻchishi (diffuziya, migratsiya), yangi birikmalar hosil boʻlishi, kristall tuzilishning oʻzgarishi va boshqalar roʻy berishi mumkin. Bularning hammasi material sirtining elektron tuzilishini, jumladan, energetik zonalarining parametrlarini keskin oʻzgartirishi mumkin. Massasi katta boʻlganligi uchun eng sezilarli oʻzgarishlar ionlar bilan taʼsirlashuvda roʻy beradi. Bunday jarayonda ionlarning oʻzi ham materialning yuza qatlamlarida oʻrnashib qolishi mumkin. Bu hodisa *ionli legirlash* yoki *ionlar implantatsiyasi* deb ataladi.

Bunda uchib chiqayotgan zarralarning energiyasi, zaryadi, nisbiy miqdorlari jismga tushayotgan zarraning turiga juda ham bog'liq bo'ladi.

Jism yuzasiga tushayotgan zarralarni **birlamchi**, undan **chiqayotganlarni esa ikkilamchi** deb belgilaymiz. Emissiya turlarini ham shunga mos ravishda atash mumkin. Masalan, ionlar ta'sirida jismdan elektronlar urib chiqarilsa **ion-elektron emissiya**, fotonlar yordamida chiqarilsa **foto-elektron emissiya**, elektronlar ta'sirida urib chiqarilsa, **elektron-elektron** (yoki **ikkilamchi elektron**) emissiya deb ataladi.

Emissiya turlari va ularga asoslangan yuzalarni tekshirish usullari juda ko'p va xilma-xildir. Biz ayrim usullarning umumiy prinsiplari bilan qisqacha tanishib o'tamiz.

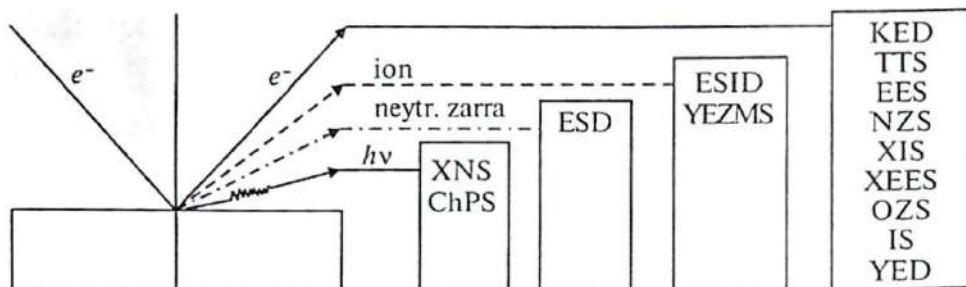
Yuzalarga elektronlar oqimini yo'naltirishga asoslangan usullar. Tezlashtirilgan (energiyali) elektronlar bilan «o'qqa tutilgan» qattiq jismda sodir bo'ladigan oddiy jarayonlarni o'rganish sirtning va sirt osti qatlamlarining elektron va kristall tuzilishi to'g'risida, element va kimyoviy (undagi atom zarralarining kimyoviy bog'lanishlari) tarkibi haqida, o'rganilayotgan namuna-moddaning chiqish ishi va boshqa emission xossalari to'g'risida hamda turli omillar (ionli implantatsiya, plyonkani changlatish — «elektron «o'qqa tutish», qizdirish va hokazo) ta'sirida moddaning yuqorida keltirilgan parametrlarining o'zgarishi to'g'risida mufassal ma'lumot olish imkonini beradi.

Qattiq jisimga yuzasiga tushayotgan birlamchi elektronlar uning yuzasidan yuqorida aytilgan zarralarning to'rtala turini ham urib chiqarishi mumkin. Amalda bu zarralar ichida ikkilamchi elektronlarni tahlil qilishga asoslangan usullar ko'prok ishlatiladi. Quyida biz birlamchi elektronlardan foydalanishga asoslangan eng ko'p tarqalgan usullarning ayrimlarini ko'rib chiqamiz (5.10- rasm).

Ikkilamchi elektronlar emissiyasiga asoslangan usullar uchib chiqayotgan elektronlarni ularning energiyasi, soni va fazoviy tarqalishiga qarab tahlil qilish mumkin. Ayrim hollarda faqatgina bitta kattalik haqida olingan ma'lumotlar yetarli bo'ladi. Masalan, kichik energiyali elektronlarning difraksiyasi (KED) metodi uchun elastik qaytgan elektronlarning fazoviy tarqalishini tahlil qilish kifoya qiladi.

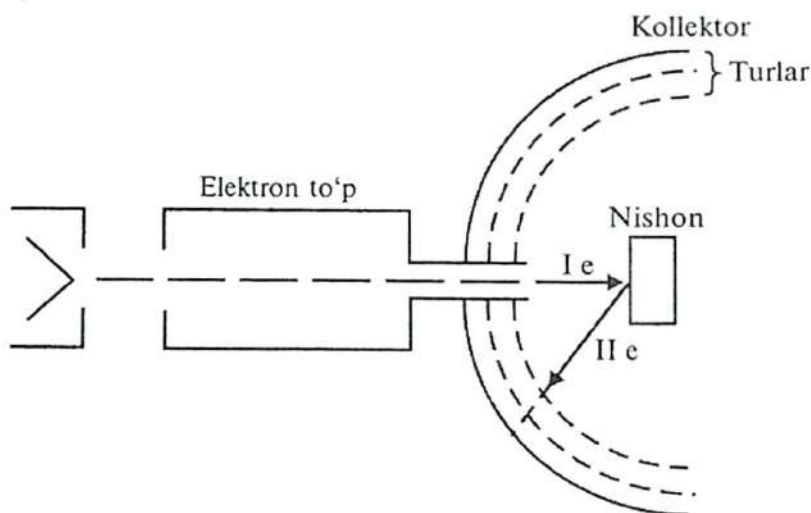
Umuman, elektron-elektron (ikkilamchi elektron) emissiyada uchib chiqayotgan elektronlarning tarkibida uch turdagi elektronlar mavjud bo'ladi:

1. Elastik (energiyasini yo'qotmasdan) **qaytgan birlamchi elektronlar (EQE)**. Bu elektronlarning energiyasi taxminan birlamchi elektronlarning energiyasiga teng bo'ladi.



5.10- rasm. Elektronlar bilan nurlantirishga asoslangan usullar:

KED – kichik energiyali elektronlarning difraksiyasi; TTS – to‘la toklar spektroskopiyasi; EES va NES – elastik va noelastik qaytgan elektronlarning spektroskopiyasi; HIS – haqiqiy ikkilamchi elektronlarning spektroskopiyasi; XEES – xarakterli energiyasini yo‘qotgan elektronlar spektroskopiyasi; IS – ionlanish spektroskopiyasi; OES – oje-elektronlarning spektroskopiyasi; YED – yuqori energiyali elektronlarning difraksiyasi; ESID – elektronlar bilan stimullashtirilgan ionlar desorbsiyasi; YEZMS – yuzalarning elektron zondli mass-spektrometriyasi; ESD – elektron bilan stimullashgan zarralarning desorbsiyasi; XNS – xarakterli nurlanish spektroskopiyasi; ChPS – chegaraviy potentsiallar spektroskopiyasi.



5.11- rasm. Yuzalarni elektron-elektron emissiya usullari bilan tahlil qilish qurilmasining eng oddiy chizmasi.

2. **Noelastik (energiyasining bir qismini yo‘qotib) qaytgan birlamchi elektronlar (NQE).** Shartli ravishda energiyasi 50 eV dan katta bo‘lgan ikkilamchi elektronlar NQE deb qabul qilinadi.

3. **Haqiqiy ikkilamchi elektronlar (XIE),** ya‘ni birlamchi elektronlar ta‘sirida jismining o‘zidan uchib chiqqan elektronlar. Energiyasi 0–50 eV oraliqda bo‘lgan elektronlar XIE shartli deb qabul qilinadi.

Ikkilamchi elektronlarni tahlil qilish uchun ishlatiladigan eng oddiy qurilmaning tasviri 5.11- rasmda keltirilgan.

Bunday o'lashlar albatta yuqori vakuum ($p \leq 10^{-5}$ Pa) sharoitida amalga oshiriladi. Qurilma elektron to'p, nishon (o'rganilayotgan jism) va elektron analizatoridan iborat. Elektronlar analizatori sifatida ko'pincha kollektor va to'rlardan (1 tadan 4 tagacha to'r bo'lishi mumkin) iborat tizim ishlatiladi. To'rlarga nishonga nisbatan to'xtovchi potensial berib kollektorga o'tadigan elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishini aniqlash mumkin. Mahsus usullar qo'llab kollektorning har xil nuqtalaridagi elektronlarni qayd qilib ularning fazoviy burchaklar bo'yicha taqsimotini ham o'rganish mumkin. Qattik jism sirtini KED usuli bilan tahlil qilish uchun kolektorning ichki tomoniga lyuminafor moddasi suriladi.

Yuzalarni tekshirishning ikkilamchi elektron emissiyasiga asoslangan usullari birlamchi elektronlarning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Birlamchi elektronlarning energiyasini shartli ravishda uchta diapozon (oralig'ga bo'lish mumkin: kichik ($E_1 \leq 100$ eV), o'rta ($E_1 \equiv 100-5000$ eV) va katta ($E_1 \leq 5000$ eV) energiyalar. E_1 ning kichik energiyali diapozonida quyidagi usullarni qo'llash mumkin.

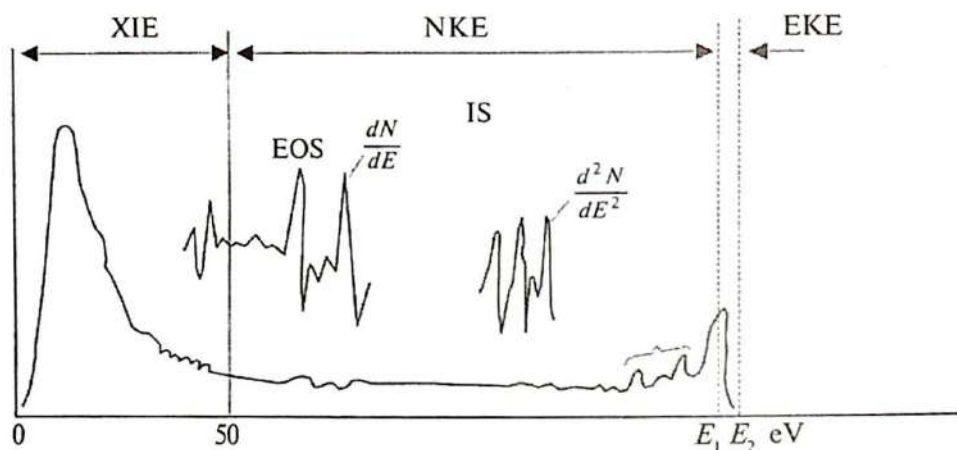
Kichik energiyali elektronlarning difraksiyasi. Bu usul jism yuzasining birinchi va ikkinchi qatlamlarining kristallik tuzilishi va panjara parametrlari to'g'risida ma'lumot beradi.

To'la toklar spektroskopiyasi (TTS). Bu usulda E_1 qiymatini 0 dan ~ 50 eV gacha o'zgartirib borilib, unga mos kelgan ikkilamchi elektronlar tokining qiymati qayd qilinib boriladi. E_1 ning qiymati valent elektronlar taqsimotining maksimumiga mos kelganda ikkilamchi elektronlarning soni sezilarli oshadi. Buday hodisa E_1 ning qiymati plazmonlarning uyg'onish energiyasiga teng (yoki yaqin) bo'lganda ham ro'y beradi. Bu usul valent zonasi va bo'sh sathlarning energetik tuzilishini o'rganish uchun qo'llaniladi.

Elastik qaytgan kichik energiyali elektronlar spektroskopiyasi. Bu usulda E_1 ni o'zgartira borib elastik qaytgan elektronlar tokining qiymati qayd qilib boriladi. Bunda ham TTS dagi kabi ma'lumotlar olinadi.

Keyingi ikkala usulda ham tokning E_1 ga bog'liqlik egri chizig'i emas, balki bu egri chiziqning birinchi yoki ikkinchi tartibli hosilalari qayd qilinadi.

Tekshirish usullarining eng ko'pi E_1 ning o'rtacha energiyali diapazonida to'g'ri keladi. Bu diapazon uchun ikkilamchi elektronlarning energetik taqsimoti $N(E)$ shartli ravishda 5.12- rasmda keltirilgan.



5.12- rasm. Ikkilamchi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti (spektri).

Bunday spektr ikkilamchi tokning to'xtatuvchi potensial (energiya)ga bog'liqlik $I_2(E_2)$ egri chizig'ini differensiallash orqali olinadi, ya'ni $N(E) \equiv di_2/dE_2$ qayd qilinadi.

E_1 ning o'rta energiyali diapazonlarida quyidagi usullarni qo'llash mumkin:

Elastik qaytgan elektronlarning spektroskopiyasi (EES).

Noelastik qaytgan elektronlarning spektroskopiyasi (NES).

Haqiqiy ikkilamchi elektronlarning spektroskopiyasi.

Bu usullarning har biri bir necha turlarga bo'linishi mumkin va ular jism sirtining elektron tuzilishi va tarkibining o'zgarishi haqida qimmatli ma'lumotlar beradi.

5.12-rasmda keltirilgan spektrning uchala qismida ham intensivligi uncha katta bo'lmagan cho'qqichalar va chuqurchalar borligi ko'rinib turibdi.

Bularni yaqqol ko'rish uchun spektrni yana bir marta yoki ikki marta differensiallash mumkin. Elektron-elektron emissiyaning ko'pgina usullari ana shu cho'qqilarni tahlil qilishga asoslangan E_1 ning o'rtacha energiyali diapazonda eng keng qo'llaniladigan usullar quyidagilardir:

Xarakterli energiya yo'qotgan elektronlarning spektroskopiyasi (XEES). Bu usul elastik qaytgan elektronlar hosil qilgan cho'qqining yaqinida hosil bo'ladigan cho'qqilarni tahlil qilishga asoslangan. Bunday energiya yo'qotishlar har bir element uchun xarakterli bo'lib, uning (ya'ni yo'qotilgan energiyaning) qiymati birlamchi elektronlarning energiyasiga bog'liq bo'lmaydi. Bu cho'qqilar bilan elastik qaytgan elektronlar hosil qilgan cho'qqi orasidagi energetik masofa

ΔE birlamchi energiya E_i o'zgarishi bilan o'zgarmaydi. Bu cho'qqilar plazmonlarning uyg'onishi va har xil zonalararo o'tishning ro'y berish natijasida vujudga keladi.

Oje-elektron spektroskopiya. $N(E)$ spektrning 15–20 eV dan boshlab to noelastik qaytgan elektronlar qismining o'rtalarigacha bo'lgan oraliqda hosil bo'ladigan juda kichik cho'qqilarni tahlil qilishga asoslangan usulni *oje-elektron spektroskopiya* (OES) deyiladi. Bunday cho'qqilarni hosil qiladigan elektronlar haqiqiy ikkilamchi elektronlar bo'lib, ular uch bosqichli jarayon natijasida vujudga keladi. OES usuli jism sirtining elementar va kimyoviy tarkibini; atomlarning konsentratsiyasini aniqlashda keng qo'llaniladi.

Ionizatsion spektroskopiya (IS). Bunday spektroskopiya $N(E)$ spektrning kattaroq energiyali noelastik qaytgan elektronlar qismidagi cho'qqilarni tahlil qilishga asoslangan (5.12- rasmga q.). Ionizatsion spektroskopiya birlamchi elektronlarning jism atomining ichki sathlaridagi elektronlarini urib chiqarishga asoslangan. IS jism sirtining tarkibi, elektron tuzilishi haqida ma'lumot beradi.

E_i ning katta energiyali ($E_i > 5-10$ keV) diapazonida asosan *yuqori energiyali elektronlar difraksiyasi* (YED) degan usul ishlatiladi. Bu usul yuza osti qatlamlarining tuzilishi va panjara parametrlari haqida ma'lumot beradi.

Biz elektron-elektron spektroskopiyani ($E \leq 5000$ eV bo'lgan hol uchun) eng ko'p tarqalgan usullariningina ko'rib o'tdik. Bu spektroskopiyani elektronlarning energiyasi va fazoviy burchagiga bog'liq bo'lgan yana juda ko'p usullari mavjuddir. Bular bilan maxsus adabiyotlar yordamida tanishish mumkin.



Birlamchi elektronlar ta'siriga asoslangan boshqa usullar

1. Elektron-ionlar emissiyasi. Birlamchi elektronlar jism atom va molekullari bilan noelastik to'qnashuv ularni hayajonlangan yoki ionlashgan holga aylantirishi mumkin: ketma-ket to'qnashuvlardan keyin bu ionlar yuzadan qalqib chiqishi (desorbsiyalanishi) mumkin. Bu hodisa elektronlar bilan stimullashtirilgan ionlar desorbsiyasi (ESID) deyiladi. Ajralib chiqqan ionlarni mass-spetrometr yordamida tahlil qilish mumkin. Bunday usul *yuzalarning elektron zondli mass-spektrometriyasi* (YEZMS) deyiladi. YEZMS usuli jismni impulsli qizdirish usuli bilan birgalikda qo'llanilsa ayniqsa yaxshi natijalar beradi.

2. Elektron-neytral zarralarning emissiyasi. Elektronlar ta'siri yordamida yuzadan neytral atom yoki molekullarni ham urib chiqarish mumkin. Bunga asoslangan usulni elektronlar bilan stimulashtirilgan neytral zarralarning (EDS) tahlili yoki neytral zarralarning mass-spektroskopiyasi usuli deyiladi. Ammo elektronlar bilan desorbsiyalangan neytral zarralarning miqdori ionlarnikiga nisbatan juda (10^2 – 10^3 marta) kam bo'ladi. Shuning uchun ularni mass-spektrometr yordamida tahlil qilish juda qiyin. Bu usul hozircha ko'p qo'llanilmaydi.

3. Elektron-fotonlar emissiyasi. Qattiq jism yuzasiga tushayotgan elektronlar ta'sirida undan fotonlar uchib chiqishi mumkin. Bunga asoslangan holda xarakterli nurlanish spektroskopiyasi (XNS) va chegaraviy potentsiallar spektroskopiyasi (ChPS) degan usullar ishlab chiqilgan. Fotonlar zaryadsiz bo'lganligi va har xil tomonlarga sochilib chiqqanligi uchun ularni qayd qilishda har xil muammolar vujudga keladi. Ammo bu usul o'ta noyob natijalar olish imkonini berganligi uchun ko'p qo'llaniladi.



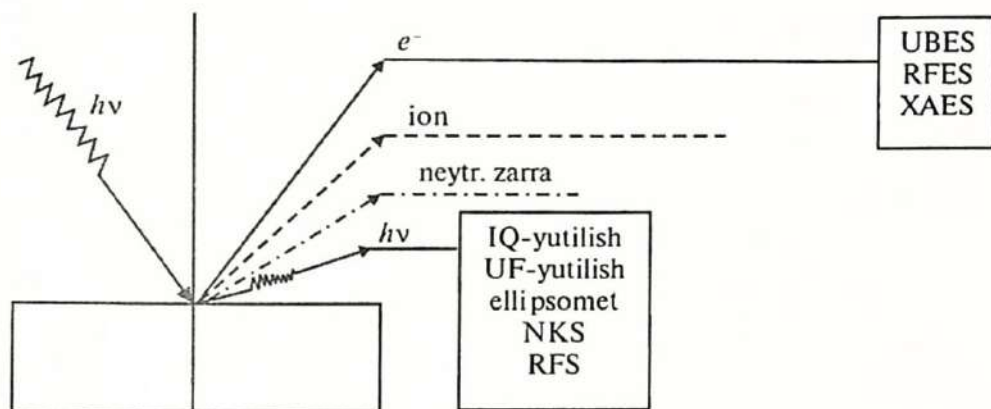
Yuzalarni tekshirishda fotonlar oqimidan foydalanish

Yuzalarni diagnostika qilishda zond sifatida ishlatiladigan zarralarning orasida fotonlar yuza xususiyatlariga eng kam ta'sir qiladigan zarradir. Bunga sabab, birinchidan, fotonning impulsi juda kichik, ikkinchidan, u neytral zarra bo'lganligi uchun yuzalarning zaryadlanib qolishiga bog'liq bo'lgan jarayonlar keskin kamayadi. Fotonlardan foydalanishning salbiy tomonlari ham bor. Kırakli diapazonda fotonlarning kuchli intensivlikka ega bo'lgan oqimini olish juda qiyin. Bundan tashqari ikkilamchi zarralarni hosil qilish effekti juda kam. Shuning uchun yuza qatlamlardan chiqayotgan signallar juda kichik bo'ladi. Ammo sezgirliqi yuqori bo'lgan zamonaviy detektorlardan foydalanib bunday signallarni katta aniqlik bilan qayd qilish mumkin.

Asosan foton-elektron va foton-foton emissiyaga asoslangan usullar ko'p qo'llaniladi (5.13- rasm). Yuzaga tushayotgan va undan qaytayotgan fotonlarning to'liq uzunliklariga qarab to'rtta guruhga ajratish mumkin: infra-qizil (IQ), ko'zga ko'rinadigan, ultrabinafsha (UB) va rentgen nurlari.

Bu usullar orasida quyidagilarni alohida ta'kidlash mumkin:

1. IQ yutilish. Bunda IQ fotonlar yuzaning monomolekular tebranma holatni vujudga keltirishi mumkin: IQ ning bu tebranishlardan yutilishini tahlil qilib, yuza qatlamning molekular tuzilishi haqida ma'lumot olinadi. Yarimo'tkazgichlarda va dielektriklarda IQ nurlar



5.13- rasm. Fotonlar bilan nurlantirishga asoslangan usullar:

UBES — ultrabinafsha nurlar fotoelektron spektroskopiyasi; RFES — rentgen nurlar FESi; XAES — kimyoviy tahlil uchun elektron spektroskopiya; NKS — nurlarning kombinatsion sochilishi; RFS — rentgen-foton spektroskopiyasi.

yutilishi natijasida donor sathlardan o'tkazuvchanlik zonasiga, valent zonadan akseptor satxlarga elektronlar o'tishi ro'y beradi. Bu esa donor va akseptor sathlarning energetik holatini aniqlash imkonini beradi.

2. Ko'zga ko'rinuvchi nurlar diapozonida ellipsometriya va nurlarning kombinatsion sochilishi (NKS). Ellipsometriya usulida yuzaga yaxshi nazorat qilinadigan nurlar dastasi yuboriladi va uning qaytishida qutblanish fazasining o'zgarishi tahlil qilinadi. Bunda yuzaning holati to'g'risida ma'lumot sindirish ko'rsatkichini o'lchash orqali olinadi.

NKS usuli, yorug'lik material bilan ta'sirlashishi natijasida har xil o'tishlarning vujudga kelishiga asoslangan. Sochilayotgan fotonlar bunday o'tishlar natijasida o'z energiyasini oshirishi yoki kamaytirishi mumkin. Emissiyalangan fotonlar chastotalarining o'zgarishini tahlil qilib, tekshirilayotgan jism yuzasi to'g'risida ma'lumot olinadi.

3. UB yutilish. Bu usul ko'proq yuza va yuza osti qatlamlarida elektronlarning energetik taqsimoti haqida eng aniq ma'lumotlar bera oladi. UBES valent zonasidagi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti (spektri) haqida to'g'ridan-to'g'ri ma'lumot beradi. Bundan tashqari zonalarning parametrlarini (kengligi, Fermi sathining o'rni, zonalarning egilishi va boshqalar) aniqlashga imkon beradi.

4. Rentgen-foton spektroskopiyasi. Rentgen nurlar ta'sirida jismdagi atomlarning elektronlari bir sathdan ikkinchi sathga o'tadi. Bunda qoldiq energiya nurlanishi (foton) hosil qilinishi mumkin. Bu nurlanishlarning chastotalari va intensivliklarini tahlil qilib yuza holati to'g'risida juda kerakli ma'lumotlar olinadi.

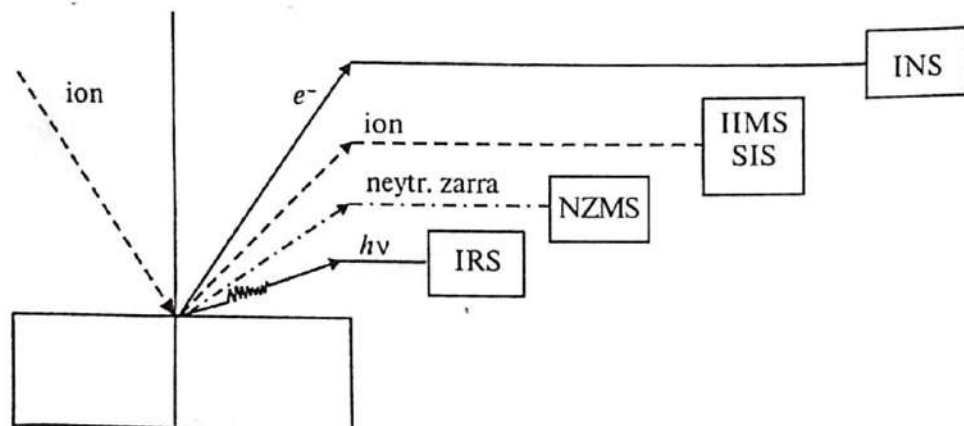
5. Rentgen fotoelektronlarning spektroskopiyasi (RFES). Bu usul valent zona va undan pastda joylashgan elektron sathlar to'g'risida ma'lumot bera oladi.

6. Kimyoviy tahlil uchun elektron spektroskopiya (KTES). Bu usul OES usuliga o'xshash. Bunda pastki elektron sathlardagi bo'sh o'rinlar elektron ta'sirida emas, rentgen nurlari ta'sirida hosil qilinadi. KTES yordamida material yuzasining elementar va kimyoviy tarkibi, atomlarning konsentratsiyalari aniqlanadi.

5.13. Yuzalarni tekshirishda ionlardan foydalanish

Ionlar bilan ta'sir qilganda ham yuzadan to'rt xil zarralar ajralib chiqqanligi uchun yuqorida ko'rib o'tilgan usullarni bu yerda ham qo'llash mumkin. Ammo ionlarni hosil qilish va boshqarish elektronlarga nisbatan ancha murakkabdir va bunday qurilmalarni yaratish juda ko'p qiyinchiliklar bilan aloqador bo'ladi. Shuning uchun yuzalarni tahlil qilishda ionlar eng kerakli, yuqori aniqlikdagi ma'lumotlarni olishdagina qo'llaniladi. Eng ko'p qo'llaniladigan usullar 5.14- rasmda ko'rsatilgan. Bular ichida eng ahamiyatlilari *ikkilamchi ionlarning mass-spektrometriyasi* (IIMS) va sochilgan (qaytgan) ionlarning spektroskopiyasidir (SIS). Bu usullar jismning tarkibini va atomlar konsentratsiyasini yuqori darajada aniqlash imkonini beradi.

Ionlar ta'sirida ajralib chiqqan neytral zarralarni ham tahlil qilish mumkin. Ammo, ilgari aytib o'tganimizdek, ularni qayd qilish qiyin bo'lganligi uchun bunday usullar deyarli qo'llanmaydi.



5.14- rasm. Ionlar bilan nurlantirishga asoslangan usullar:

INS – ion-neitrallanish spektroskopiyasi; IIMS – ikkilamchi ionlar mass-spektrometriyasi; SIS – sochilgan ionlar spektroskopiyasi; IRS – ion zondli rentgen nurlari spektroskopiyasi.

Ionlar ta'sirida ajralib chiqqan elektronlarni tahlil qilishga asoslangan har xil usullarni joriy qilish mumkin. Bunda ikki xil emissiya ro'y berishi mumkin: potensial va kinetik emissiya. Ion-elektron emissiyaga asoslangan usullar elektron-elektron emissiya usullariga nisbatan murakkab bo'lsa ham aniqligi yuqori bo'lganligi uchun yuzalarni tahlil qilishda ancha keng qo'llaniladi.

Ion-foton emissiyaga asoslangan usullarda ko'pincha rentgen nurlari (energiya va burchak bo'yicha) tahlil qilinadi. Bunda ion zondli rentgen nurlari spektroskopiyasi (IRS) degan usul ahamiyatliroqdir. Ammo bu usul, asosan, yuzadan ancha pastroqda joylashgan qatlamlar to'g'risida ma'lumot beradi.



Nanokristallarni o'rganishning zamonaviy usullari

Nanoindustriya, nanotexnologiya hozirgi zamonning eng yangi, eng dolzarb va eng keng ko'lamli ilmiy va texnikaviy yo'nalishidir. U fizika, kimyo, radiotexnika, elektornika, hisoblash texnikasi va ko'p bosqichli matematik modellash, kosmosni o'zlashtirish va boshqa yo'nalishlarning keskin rivojlanishiga asos bo'ladi.

Dunyoning rivojlangan mamlakatlari AQSH, Germaniya, Yaponiya kabi davlatlarda juda katta mablag'lar bilan ta'minlangan nanotexnologiya markazlari tashkil etilgan va maxsus xalqaro konferensiyalar faoliyat ko'rsatmoqda. Hozirgi paytda Rossiyada, Xitoyda va boshqa davlatlarda yangi «Nanotexnologiya» markazlari tashkil etilmoqda.

Nanotexnologiya markazlari ishlarni asosan uchta yo'nalish bo'yicha olib bormoqdalar:

1. Shu sohada e'lon qilinayotgan ilmiy ishlarning tahlili.
2. Nazariy ilmiy tadqiqotlar va jarayonlarni kompyuterlarda modellash.
3. Eksperimental tadqiqotlar.

Nanoindustriyaning qaror topishi va rivojlanishi nanoelektronikaning rivojlanishi bilan aniqlanadi. Nanoelektronikaning rivojlanishi esa birinchi navbatda noyob xususiyatli yangi nanoplyonkalar, nanotizimlar hosil qilish va ularni o'rganish bilan uzviy bog'liqdir. Hozirgi paytda nanoobyektlarni o'rganish uchun o'ta noyob qurilmalar tayyorlangan: **skanlovchi-tunnel mikroskop** va **atom kuchlanishli mikroskop**. Bu qurilmalarning aniqlik darajasi $0,1 \text{ \AA}$ ga teng.

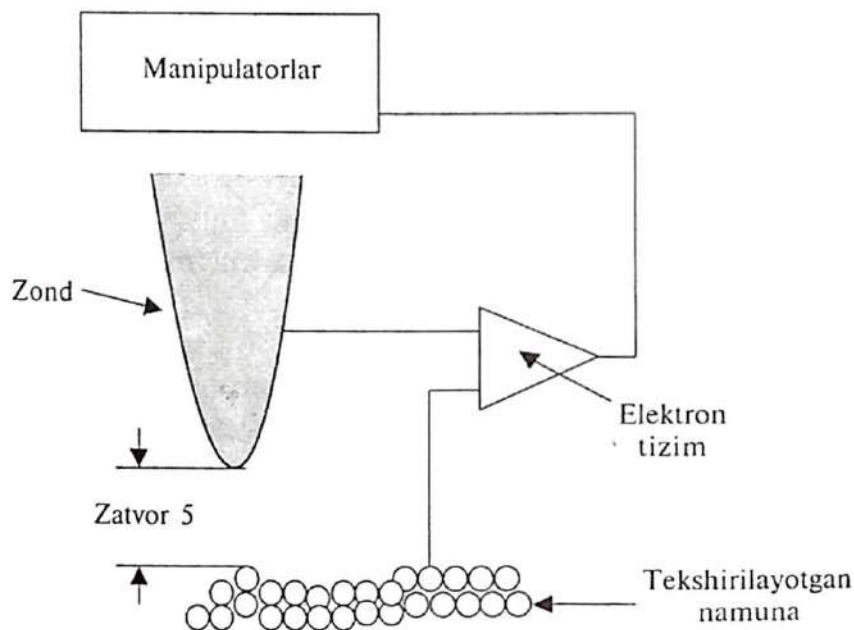
Quyida shu mikroskoplarning tuzilishi va ishlash prinsiplari bilan qisqacha tanishib o'tamiz.

Skannovchi-tunnel mikroskop (STM)

STM ning birinchi nusxasi 1981- yilda IBM firmasining Shveysariya bo'limi xodimlari Binning va Rorerlar (ular keyinchalik Nobel mukofotiga sazovor bo'lganlar) tomonidan yaratilgan.

STM ning ishlash prinsipi elektronlarning vakuum to'siq (baryer) orqali tunnel (sizib) o'tishi hodisasiga asoslangan. Tunnel effektining nazariyasi 1928- yilda G.A.Gamov tomonidan yaratilgan. Tunnel effekti quyidagicha tushuntiriladi. Zarracha (masalan, elektron) ning energiyasi ma'lum bir kengligi chegaralangan to'siqning balandligidan kichik bo'lsa, u to'siqdan sakrab o'tmasdan uning ichkarisi orqali sizib o'tishi mumkin. Zond (o'tkir uchli nina) va namuna (taglik) orasidagi masofa STM da to'siq vazifasini bajaradi (5.15- rasm).

Masofa kattaligi elektronning to'lqin uzunligiga yaqin bo'lishi kerak. Shuning uchun STM larda bu masofa (to'siq) kattaligi ko'pincha $L = 5 \text{ \AA}$ ga, ya'ni taxminan 2 ta atom diametriga teng qilib olinadi. Zond va namuna (taglik) orasidagi masofa tunnel toki kattaligiga keskin ta'sir qiladi (masofaning $1 \text{ \AA}$ ga o'zgarishi tok qiymatini 10 marta o'zgartiradi). Bu hodisa tunnel masofasini, ya'ni tunnel tokini o'zgartirmay (doimiy bir xil) ushlab turishga asoslangan «kuzatuvchi tizim» ni yaratishga imkon beradi.



5.15- rasm. STM dagi «nina-namuna tokni boshqarish tizimi»ning ko'rinishi.

Zamonaviy pezomanipulatorlar texnik jihatdan o'lchash aniqligini $0,1 \text{ \AA}$ atrofida bo'lishini ta'minlaydi. Bu aniqlik analogli va raqamli o'zgartirgichlarda 20- razryadli o'ta katta integral sxemalarni qo'llash orqali ta'minlanadi. O'ta mukammal o'zgartgichlardan foydalanib, asbobning aniqligini yanada oshirish mumkin. Tunnel toki doimiy qiymatdan chetga chiqsa, bu o'zgarish toki kuchaytirgichga beriladi. Kuchaytirilgan tunnel tokining kattaligi (xatolik signali) zond tagidagi tekshirilayotgan jism yuzasining relefiga (notekisligiga) to'g'ridan-to'g'ri bog'liq bo'ladi. Skanlashning tanlab olingan masshtabiga bog'liq ravishda kompyuter ekranida yuzaning tekshirilayotgan qismining tasviri (skani) hosil bo'ladi. Tekshirilayotgan yuza qismining o'rnini tayanch (reper) nuqtaga nisbatan $0,1 \text{ \AA}$ aniqlikda topiladi. Shuning uchun ham bu usul nanoo'lchamli obyektlarni, hattoki yuzadagi alohida-alohida atomlarni va molekulalarni juda katta aniqlikda ko'ra olish imkonini beradi, ya'ni STM «atomar» ajrata olish qobiliyatiga ega.

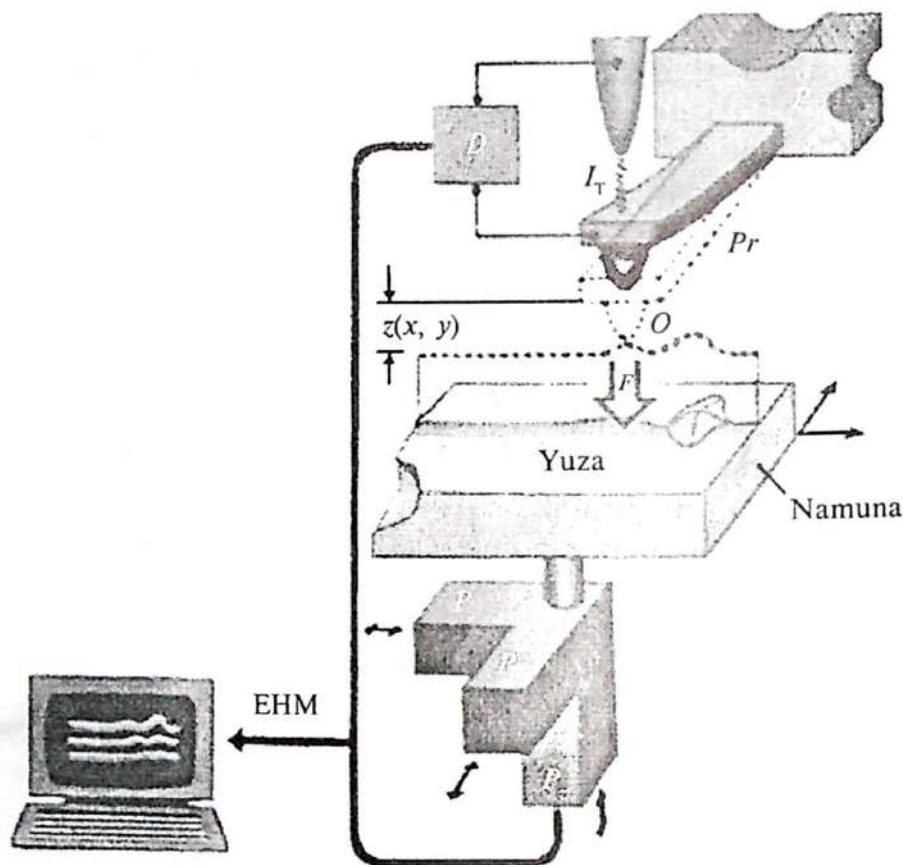
Atom kuchlanishli mikroskop (AKM)

STM ning bitta kamchiligi bor: uning yordamida faqatgina o'zidan elektr tokini yaxshi o'tkazadigan materiallarni o'rganish mumkin.

1986- yilda skanlovchi atom-kuchlanishli mikroskop (Atomic Force Microscope, AFM) paydo bo'ldi. AKM turli tabiatga (metal, yarimo'tkazgich, diyelektrik) ega bo'lgan materiallar yuzasida atomlar joylashishini juda katta ($0,1 \text{ \AA}$) aniqlik bilan o'lchaydi. Bu mikroskopda STM dan farqli ravishda $0,1 \text{ \AA}$ harakatlanuvchi zond yuzaga doimo tegib turadi, ya'ni u bilan kontaktga bo'ladi va zondning yuza notekisliklarida tushib-chiqishi o'lchab boriladi.

AKM ning ishlash prinsipi jismdagi atomlarning bog'lanish kuchlaridan foydalanishga asoslangan (5.16- rasm). Ikki atom orasidagi masofa juda kichik (taxminan $1 \text{ \AA}$) bo'lganda ularga itarish kuchlari ta'sir qilsa, katta masofalarda tortishish kuchlari ta'sir qiladi. Aynan shunday kuchlar bir-biriga yaqinlashayotgan har qanday jismlar orasida vujudga keladi. AKM da bunday jismlar vazifasini o'rganilayotgan namuna va uning yuzasida sirpaniyotgan uchli olmosli nina (zond) bajaradi.

Jism yuzasi va nina orasida ta'sir kuchining har qanday o'zgarishi nina mahkamlangan prujina P_r ning siljishiga olib keladi. Bu siljish D datchik yordamida qayd qilinadi. Datchik sifatida juda katta aniqlikka ega bo'lgan tunnel (ayrim hollarda optik yoki sig'im) datchiklari qo'llanilishi mumkin. Prujinaning siljish kattaligi yuza relefining balandligi, ya'ni topografiyasi to'g'risida aniq ma'lumot beradi. AKM



5.16- rasm. Atom-kuchlanishli skanerli mikroskopning chizmasi:
 Pr – O uchli nina mahkamlangan prujina; P_x , P_y , P_z – pyzeoelektrik o'zgarmaslar.

dagi P_x va P_y pyzeoelektrik o'zgartkichlar nina tipidagi namunani skanlashga (yuza bo'yicha, ya'ni x va y o'qi bo'ylab siljishga), P_z esa nina va yuza orasidagi masofani boshqarishga hizmat qiladi.

5.15. | Yupqa plyonkalar sifatini nazorat qilish

Plyonkaning nuqsonlari. Yupqa plyonkalarining sifati taglik sirtining tayyorlanish sifatiga, o'stirilayotgan plyonka materiali zarra-chalar manbayining sifatiga, texnologik sharoit va rejimlariga amal qilish aniqligiga, shu davrdagi qurilma va texnologiyaning mukammallik darajasiga bog'liq bo'ladi.

Yupqa plyonkaning asosiy nuqsonlari: elektrofizik parametrlarining berilgan qiymatlardan chetga og'ishi, plyonka qalinligining berilgan qiymatga mos emasligi, partiyadagi va taglik yuzasi bo'yicha

qalinlikning bir xil emasligi, g'ovaklik, adgeziyaning qoniqarsizligi hamda ko'zga ko'rinib turadigan shishganlik, ko'chganlik, chizilganlik, yoriqlar, bo'rtiklar, oqqanlik, bug'lantirilgan moddaning tomchilari, plyonkalar materiali rangiga nomoslik, kremniy dioksidi uchun qalinlikning bir xil emasligining kattaligi. Niqob orqali o'tqazilayotgan plyonkaning topologiyadan chetga og'ishi mumkin.

Yupqa plyonkalar sifatini nazorat qilish. Sanoat ishlab chiqarishda tarkibga va plyonkaning qo'llanilishiga bog'liq holda faqat bitta-ikkita parametrlari nazorat qilinadi. Plyonkaning nazorati plyonka o'tqazilayotgan jarayon vaqtida va undan so'ng bajariladi.

Plyonkani o'tqazish jarayonida jarayonning parametrlari va o'sayotgan plyonkaning parametrlari nazorat qilinadi. Jarayon parametrlari, taglik temperaturasi, plyonkaning o'sish tezligi, ishchi kameradagi bosim va shu kabilar sharoitning bir xilligini ta'minlash, ya'ni takrorlanadigan parametrlar plyonkalar hosil qilish uchun nazorat qilinadi. Ba'zi parametrlar, masalan, bug'lantirgich va taglik temperaturasi, vakuum darajasi, gazli muhitning tarkibi kabilar inersiya va jarayon parametrlari tebranishlarining fizikaviy cheklanganligi tufayli ularni boshqarish bilan yo'qotib bo'lmaydi. Shu sababli plyonka asosiy parametrining o'zgarishlari datchik yordamida uzluksiz nazorat qilinadi va kerakli qiymatga erishilgandan so'ng avtomat ravishda jarayon to'xtatiladi.

Plyonkaning o'sish tezligi va qalinligining nazorati termovakuumli bug'lantirish jarayonida ko'proq rezistivli, ionizatsiyali va rezonansli usullar yordamida bajariladi. Rezistiv usul faqat elektr o'tkazuvchi materiallar plyonkalari uchun, qolgan ikkitasi esa har qanday material plyonkalari uchun qo'llaniladi.

Rezistiv usul vakuum kamerada taglik charxpalagiga o'rnatilgan nazoratlanuvchi namuna — «guvoh»ning qarshiligini to'g'ridan-to'g'ri o'lchashga asoslangan. Plyonkani changlantirish bir vaqtning o'zida ham ishchi taglikka, ham «guvohga» boradi. «Guvohning» kontakt maydonchalari prujinali kontaktlar yordamida kerakli aniqlikni ta'minlaydigan tashqi ommetrga ulanadi. «Guvoh» orqali o'tayotgan tokning kattaligi nazorat qilinayotgan plyonkaning shakllanish sharoitini o'zgartiradigan darajadagi chegaraviy qiymatdan oshib ketmasligi kerak.

Agar plyonkaning solishtirma qarshiligi changlatish jarayoni davomida o'zgarmas bo'lsa, unda plyonkaning qarshiligi ma'lum bo'lgan quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$R = \frac{\rho l}{hb}, \quad (5.21)$$

bu yerda R – plyonkaning qarshiligi, Ω ; ρ – plyonka materialining solishtirma qarshiligi, $\Omega \cdot \text{sm}$; l va b – nazoratlanuvchi namunadagi plyonkaning bo‘yi va eni, sm ; h – plyonkaning qalinligi, sm .

«Guvohning» qarshiligini mana shunday o‘lchab, plyonkaning qalinligini va o‘rish tezligini aniqlash mumkin, chunki changlatish vaqti ma’lum. Berilgan qarshilik qiymatiga erishilgandan so‘ng, ya’ni plyonka kerakli qalinlikka ega bo‘lgandan keyin, changlatish jarayoni avtomatik ravishda zaslonka ulanib to‘xtatiladi. Bu usul KC-1, KC-2 kabi o‘lchovchi asboblarda qo‘llaniladi va plyonka qalinligini o‘lchash aniqligi ($\pm 5-10$)% ni tashkil qiladi.

Ionlashtiruvchi usul ionlashtiruvchi vakuummetrda foydalaniladigan prinsipga asoslangan. Ionlashtiruvchi datchik taglikning yoniga o‘rnatiladi. Bug‘lanayotgan moda molekular oqimining bir qismi va qoldiq gazlar datchikning ichki hajmiga o‘tadi va u yerda katoddan chiqayotgan hamda anod tomonidan tezlashtirilayotgan elektronlar ta’sirida ionlashadi. Moda bug‘idan va qoldiq gazdan hosil bo‘layotgan ionlar signal kollektoriga kelib tushadi. Faqat qoldiq gaz molekularining ionlari kompensirlovchi kollektorga kelib tushadi. Ikkala kollektordagi toklarning o‘zgaruvchan tashkil etuvchilari kuchaytirgichda kuchaytiriladi va bir-biridan ayiriladi. Hosil bo‘lgan va yana bir marta kuchaytirilgan ion toklarining ayirmasi detektirlanadi va plyonka bug‘lantirib o‘tqazish tezligini qayd qiladigan strelkali asbobga va plyonka qalinligini ko‘rsatadigan raqamli integratorga beriladi. Berilgan qalinlikdagi plyonka hosil bo‘lgandan so‘ng o‘lchash asbobi modda oqimini berkitish to‘g‘risida berkitgichga (zaslonkaga) signal beradi.

Chastotali usul kvarsdagi pyzeoeffektdan foydalanishga asoslangan. Ma’lum bir kristallografik tekislik bo‘yicha monokristalldan kesib olingan kvars plastinasi elektr maydonining o‘zgarish takti bo‘yicha o‘zining o‘lchamlarini o‘zgartirish (qisilish va cho‘zilish) xususiyatiga ega. O‘zgaruvchan tok zanjiriga ulangan kvars plastinasida mexanik tebranishlar kuzatiladi. Agar elektr maydonining chastotasi kvarsning xususiy chastotasi f_0 ga yaqinlashganda elektromexanik rezonans kuzatiladi. Bunda tokning va kvarsning xusuiy mexanik tebranishlarining amplitudasi maksimal bo‘ladi. Kvars massasining o‘zgarishi Δm rezonans chastotasining Δf o‘zgarishiga olib keladi:

$$\Delta f/f_0 = \Delta m/m_0, \quad (5.22)$$

bu yerda m_0 – kvarsning boshlang‘ich massasi.

Kvars plastinasi suv bilan sovitiladigan ushlagichga mahkamlanib, qurilmaning vakuum kamerasiga taglikning yoniga joylashtiriladi. Plyonkaning o'sishi jarayonida kvars rezonatorining massasi ham osha boshlaydi. Bu uning rezonans chastotasining kamayishiga olib keladi. Agar changlanayotgan plyonkaning zichligi d ma'lum bo'lsa, unda qalinlik h quyidagi ifoda yordamida aniqlanishi mumkin:

$$h = \Delta m / dS, \quad (5.23)$$

bu yerda S — plyonka yuzasi. (5.21) va (5.22) tenglamalardan:

$$h = m_0 \Delta f / f_0 dS. \quad (5.24)$$

Shunday qilib, Δf ni o'lchash orqali changlanayotgan plyonka qalinligini aniqlash mumkin.

Fotometrik usul avvalgi ko'rilgan uchta usuldan farqli ravishda faqat vakuumdagina emas, balki gaz razryadi plazmasida ham nazorat qilish imkoniyatini beradi. Bu usul «shaffof plyonka—yutuvchi taglik» tizimidan qaytgan yorug'likning interferensiyasiga asoslangan. Lazer nuri bilan o'sayotgan plyonka sirti zondlanadi. Ishchi muhit — plyonka va plyonka — taglik chegaralaridan bu nur qaytadi. Interferensiya tufayli qaytish koeffitsiyenti plyonkaning qalinligiga bog'liq bo'ladi va uning o'sishi bilan o'zgaradi. Plyonkaning o'sishi bilan qaytish koeffitsiyentining o'zgarib borishi fotopriyomnik tomonidan qayd qilib boriladi. Fotopriyomnikdan kuchaytirilgan signal kuchlanishning ketma-ketli to'g'ri burchakli impulslariga aylantiriladi. Bularning soni esa plyonka qalinligiga mos keladi. Kerakli qalinlikka erishilgandan so'ng plyonkaning o'sishini to'xtatadigan irochi qurilmaga signal beriladi. Fotometrik usul kontaktsiz usul bo'lib, datchiklar ish vaqti, temperatura, ishchi kameradagi muhit tarkibi kabilar bilan chegaralanmagan. Undan faqat plyonkalar hosil qilish jarayonlaridagina emas, balki quruq yemirishning tugash momentini aniqlashda ham foydalansa bo'ladi.

Plyonkalar hosil qilish jarayoni o'tkazilgandan so'ng sifatning nazorati imkon qadar operativ usullar yordamida bajariladi.

Elektron texnika mahsulotlaridagi yarimo'tkazgichli strukturalarni tayyorlashda kremniy dioksidi va nitridi dielektrik plyonkalari quyidagi parametrlar bo'yicha nazorat qilinadi.

Plyonkaning qalinligi ellipsometrik, interferenfiyali usullar yordamida o'lchanadi. Interferensiyali usulning eng soddasi bu rangli usuldir. Bu usul pona hosil bo'lguncha ftor kislotasida yemirilgan plyonka sirtiga normal tushayotgan oq nurning o'chiruvchi interferensiyasiga asoslangan. O'chiruvchi interferensiya tufayli qaytgan to'lqinda plyonka qaliligiga bog'liq bo'lgan oq nur tashkil etuvchisi bo'lmaydi.

Shu sababli SiO_2 va Si_3N_4 plyonkalarining har xil qalinligiga har xil rang to'g'ri keladi. O'chiruvchi interferensiya sharti quyidagi ko'rinishga ega:

$$2nh = \frac{2k-1}{2} \lambda, \quad (5.25)$$

bu yerda h — plyonka qalinligi; n — plyonkaning sindirish koeffitsiyenti; $k = 1, 2, 3$ — interferensiya tartibi; λ — tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligi.

Plyonka qalinligining oshib borishi bilan interferensiya tartibi o'zgarishi bir xil rangda takrorlanadi. Shu sababli plyonkaning qalinligini aniqlash uchun interferensiya tartibi (mikroskopda kuza-tilayotgan halqalarning soni)ni aniqlash kerak. Undan so'ng maxsus jadvallar yordamida qalinlik topiladi. Rang usulida xatolik 10% dan oshmaydi. Plyonkalar qalinligini o'lchash oralig'i 0,05 μm dan 1,54 μm gacha.

Qalinlikni o'lchashning ellipsometrik usuli plyonka sirtiga qiya tushayotgan nur dastasidan qaytgan qutblangan monoxromatik yorug'likning qutblanish holatining o'zgarishini tahlil qilishga asoslangan. Qaytishda elliptik qutblangan to'lqin hosil bo'ladi. Odatda qalinlikni aniqlash uchun tushgan va qaytgan to'lqinlardagi fazalar hamda amplitudalar orasidagi nisbatdan foydalaniladi.

Ellipsometrik usul yupqa (0,1–10 μm) va o'ta yupqa (nanometrning bir necha qismidan bir necha o'nlab nanometrgacha) plyonkalarining sindirish ko'rsatkichi va qalinliklarini o'lchash uchun qo'llaniladi.

SiO_2 va Si_3N_4 plyonkalarining g'ovakligi ularga misni elektrolitik o'tqazilgandan so'ng mikroskop tagida kuzatish bilan aniqlanadi. Mis faqat plyonkaning teshib o'tilgan g'ovaklariga o'tiradi.

Elektrografik usulning mohiyati quyidagicha. Ikki elektrod oralig'iga gidroksinonning 3–4 % eritmasi bilan xo'llangan fotoqog'oz va Si-SiO_2 namunasi qistiriladi. Elektrodlar oralig'iga 10–15 V kuchlanish beriladi. Tizim orqali o'tayotgan elektr toki fotoqog'ozning emulsiyasiga ta'sir qiladi. Bunda uning mikronuqsonli joylari qorayadi.

Dielektrik-yarimo'tkazgich bo'linish chegarasining holati dielektrik tagidagi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi, sirt potentsiali, dielektrikdagi qo'zg'almas zaryad, sirt holatlari zichligi, qo'zg'almas zaryadning stabilligi, sirt holatlarining relaksatsiya vaqti kabilar bilan baholanadi. Dielektrik-yarimo'tkazgich bo'linish chegarasi parametrlarining ko'pchiligini avtomatlashtirilgan sanoat qurilmalarida MOY strukturalarning volt-farada xarakteristikalarini o'lchash yo'li bilan nazorat qilish mumkin. Parametrlarning qiymatlari EHMda hisoblangan nomogrammlar bo'yicha hisoblanadi.



Yarimo'tkazgichli qatlamlar va o'tishlarni hosil qilish usullari



Yarimo'tkazgichli strukturalarning turlari, ularni hosil qilish fizikasi va texnologiyasi

Yarimo'tkazgichli asboblarda va mikrosxemalarning asosini bitta va undan ortiq elektron-kovakli o'tishlar yoki boshqacha to'g'irlovchi va to'g'irlamaydigan (omik) kontaktlar mavjud bo'lgan yarimo'tkazgichli kristall tashkil qiladi. To'g'irlovchi ($p-n$) va to'g'irlamaydigan kontaktlar o'tkazuvchanlik turi, kattaligi o'zgaradigan chegara sohasida hosil bo'ladi. Bunda o'tish sohasida kirishmalar konsentratsiyasining taqsimotiga bog'liq holda bir necha turlarini ajratib ko'rsatish mumkin (6.1- rasm).

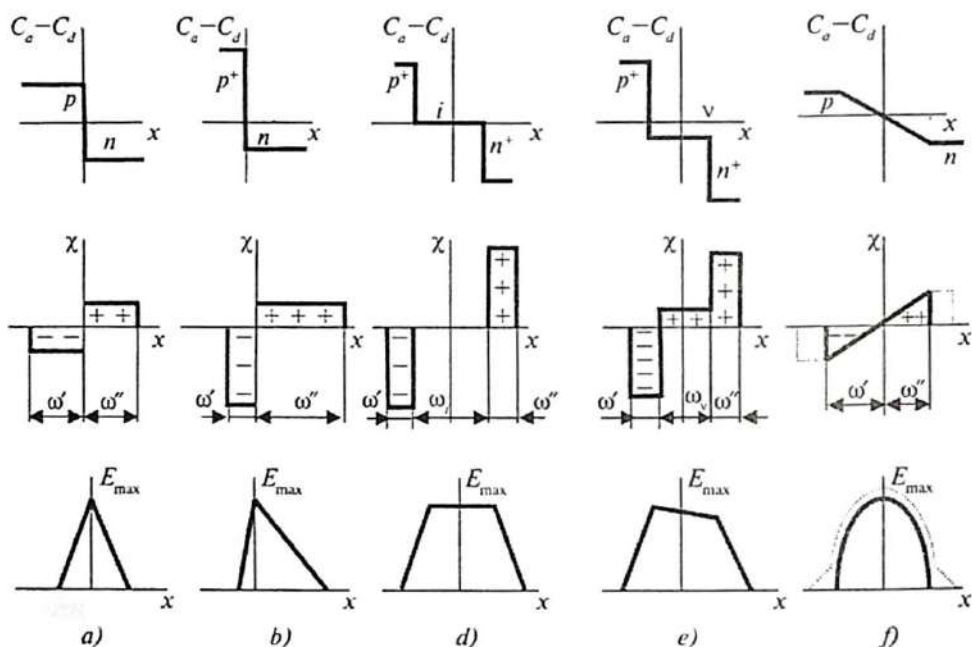
Keskin $p-n$ o'tishlar (6.1-*a, b* rasm). Bunday o'tishlarda elektr o'tkazuvchanlikning turi chegarada keskin ravishda o'zgaradi va ikki tomonda kontakt tekisligidagi kirishmalarining konsentratsiyalari kontakt sohasigacha bo'lgan masofada o'zgarishsiz qoladi.

Ideal keskin o'tishlarga eng yaqin strukturalarga qotishmali va epitaksial strukturalar misol bo'ladi. Solishtirma o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan sohalar «+» belgi bilan belgilanadi: p^+-n o'tish, n^+-p o'tish kabi.

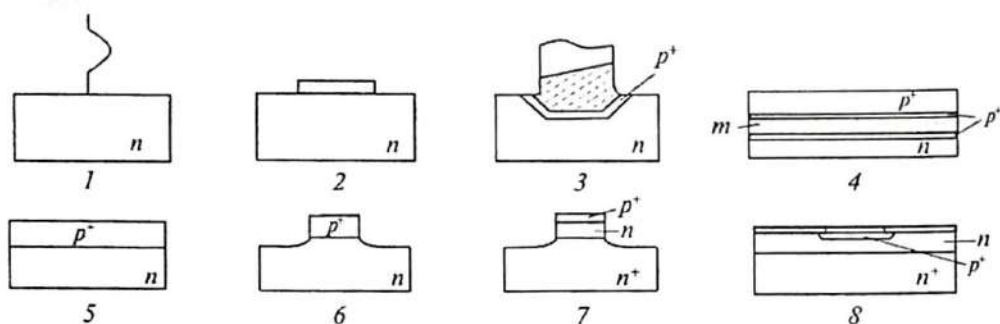
$p-i-n$ turdagi strukturalar (6.1-*d, e* rasm). Agar n - va p - sohalar oralig'ida xususiy o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan i - qatlam (*intrinsic* — xususiy) joylashgan bo'lsa, bunday turdagi strukturalar $p-i-n$, p^+-i-n^+ kabi belgilanadi. Odatda, xususiy yarimo'tkazgich hosil qilish qiyin bo'lganligi sababli p - va n - sohalar oralig'iga solishtirma qarshiligi yuqori bo'lgan yo p - turli yoki n - turli, mos holda, p yoki n harflari bilan belgilanadigan material joylashtiriladi, ya'ni: $p\pi n$, $p\nu n$ kabi.

$p-i-n$, $p\pi n$ va boshqa turdagi bo'lgan strukturalarni yuqori qarshilikli yarimo'tkazgich plastinasining qarama-qarshi tomoniga eritib qotishma hosil qilish yoki diffuziya bilan, yoki bu sohalarini epitaksial o'stirish usullari bilan hosil qilish mumkin. Shu sababli har bir o'tish (p_i yoki n_i) keskin (qotishma hosil qilish va epitaksiya usulida), yoki silliq (diffuziya usulida) bo'lishi mumkin.

Silliq $p-n$ o'tishlar (6.1-*f* rasm). Bunday o'tishlarda elektr o'tkazuvchanlik turi yoki qiymati asta-sekin o'zgarib boradi. Kirishma



6.1- rasm. Kirishmalar konsentratsiyasi $C_a - C_d$, hajmiy zaryad zichligi χ va elektr maydoni E larning taqsimoti.



6.2- rasm. Yarimo'tkazgichli eng sodda strukturalar:

1 – nuqtali kontaktli; 2 – sirt-baryerli; 3 – qotishmali lokal; 4 – qotishmali katta yuzada; 5 – diffuziyali; 6 – meza-diffuziyali; 7 – meza-epitaksiyal; 8 – planar-epitaksiyal.

konsentratsiyasi esa kontakt tekisligiga perpendikular yo'nalishda silliq (taxminan chiziqli) o'zgaradi. Silliq $p-n$ o'tishlar eritmadan yarimo'tkazgichni o'stirish usuli bilan, dasturlashtirilgan epitaksial o'stirish bilan va kirishmani chuqur diffuziya qilish yo'li bilan hosil qilinadi.

Keskin, silliq $p-n$ o'tishlar va $p-i-n$ strukturalar geometrik o'tish tekisligiga nisbatan kirishmalarning taqsimotiga bog'liq holda simmetrik (6.1- a, d, f rasm) yoki asimmetrik (6.1- b, e rasm) bo'lishi mumkin.

Ko'rib o'tilgan struktura turlarining ko'pchiligini geteroo'tish — ikkita har xil yarimo'tkazgichli materiallarning kontaktlari ko'rinishda ham hosil qilish mumkin: Ge—Si, Ge—GaAs va boshqalar. Getero-o'tishlarga metall-yarimo'tkazgich, MDY (metall-dielektrik-yarimo'tkazgich) yoki MOY (metall-oksid-yarimo'tkazgich) strukturalar ham kiradi.

6.2-rasmda har xil usullar bilan tayyorlangan eng sodda strukturalar ko'rsatilgan.



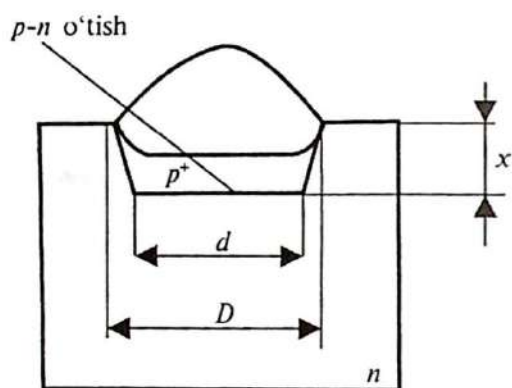
Strukturalarni qotishmali usuli bilan hosil qilish

Qotishmali usul 50- yillarda elektr parametrlari nazariy hisoblangan qiymatlarga yaqin bo'lgan birinchi yassi diod va tranzis-torlarni yaratish imkoniyatini berdi. Hozirgi vaqtda bu usul yarimo'tkazgichli kristallga elektrod uchlarini va kontaktlarni ulashda, ba'zi hollarda elektr o'tishlarini tayyorlashda asosiy ahamiyatga ega. Usulning mohiyati quyidagicha: yarimo'tkazgichli plastina sirtiga legirlovchi metall yoki qotishma joylashtiriladi. Undan keyin bu tizim eriguncha qizdiriladi va sovitiladi. Bunda legirlovchi kirishmaning atomlari kristallanayotgan yarimo'tkazgichning kristall panjarasiga joylashib qoladi va natijada o'tish hosil bo'ladi. Qotishma hosil bo'lish jarayoni-ning borish xarakteri va olinayotgan o'tishlarning sifati metall va yarimo'tkazgichlarning sirt xossalari, atrof muhitning tozaligi, komponentlarning o'zaro eruvchanligi, metall va yarimo'tkazgich atomlarining suyuq fazadagi diffuziyasi, eritmaning oquvchanliklari bilan aniqlanadi. Qotishma hosil bo'lishidagi fizik jarayonlarni uchta ketma-ket bosqichga bo'lish mumkin: yarimo'tkazgich sirtining elektrod materiali bilan qo'llanishi; holat diagrammasi bilan aniqlanadigan elektrod qotishmada ma'lum bir hajmdagi yarimo'tkazgichning erishi; eritmani sovitish natijasida erigan yarimo'tkazgich materialining kristallanishi oqibatida p - n yoki omik o'tishlar hosil bo'lishi.

Qotishmali p - n - o'tishlarni n -Ge va n -Si asosida tayyorlashda metall sifatida indiy, aluminiy, qalay, oltin ishlatiladi.

Berilgan komponentning qotishmada eruvchanligi holat diagrammasidagi likvidus chizig'i bilan aniqlanadi. Eritilish jarayoni diffuziya bilan uzviy bog'liq bo'ladi. Eritmaga o'tgan yarimo'tkazgichning atomlari diffuziya natijasida tekis taqsimlanadi.

Yarimo'tkazgich yuzasida h qalinlikda metall elektrod eritilganda yarimo'tkazgichning erish chuqurligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:



6.3- rasm. Qotishmali usul bilan $p-n$ o'tishni hosil qilish sxemasi.

$$x = \frac{S_y}{1-S_y} \cdot \frac{d_m}{d_y} h, \quad (6.1)$$

bu yerda S_y — yarimo'tkazgichning metallda massa ulushlardagi eruvchanligi; d_m va d_y — metall va yarimo'tkazgichning zichligi.

Muvozanat holati ro'y berganda, ya'ni elektrodli qotishma yarimo'tkazgichni kerakli chuqurlikda eritgandan so'ng eritma sovutiladi. Qorishma yarimo'tkazgich bilan o'ta to'yinaganligi natijasida yarimo'tkazgich qattiq faza ko'rinishida kristallanadi.

Yarimo'tkazgichning eritmadan bunday kristallanishi qayta kristallanish (rekristallizatsiya) deyiladi. Sovitish boshlangungacha mavjud bo'lgan qattiq va suyuq fazalarning bo'linish chegarasida yarimo'tkazgichning har xil legirlangan sohalarining kontakti hosil bo'ladi (6.3- rasm). Agar eritilayotgan metall akseptorli kirishma bo'lsa, yarim o'tkazgichli boshlang'ich plastina esa n - turli bo'lsa, yoki metall donorli kirishma bo'lsa, yarim o'tkazgich esa p - turli bo'lsa unda qotishmali keskin $p-n$ o'tish hosil bo'ladi.

Unda kirishmaning taqsimoti zinapoyasimonga o'xshash bo'ladi. Oda'da, yarimo'tkazgichli boshlang'ich plastinada kirishmaning konsentratsiyasi nisbatan kichik bo'ladi (10^{14} — 10^{16} sm^{-3} atrofida). Qayta kristallangan qatlamda esa legirlovchi kirishmaning konsentratsiyasi bir necha tartibga yuqori bo'lib, 10^{18} — 10^{20} sm^{-3} ni tashkil qiladi.



Yupqa qatlamni va strukturalarni epitaksial o'stirish usuli bilan hosil qilish

IMS ning yarimo'tkazgichli strukturalarini quyidagi uchta jarayonning hech bo'lmaganda bitta yoki ikkitasini qo'llamasdan turib tayyorlab bo'lmaydi: yarimo'tkazgichli qatlamlarni epitaksial o'stirish, diffuziyali va ionli legirlash.

Epitaksiya usuli o'tgan asrning 60- yillarining boshida ishlab chiqildi va mukammal asboblarni hamda qurilmalar yaratishda paydo bo'lgan ko'pgina qiyinchiliklarni yengib o'tish imkoniyatini yaratdi. Bu usul bilan yupqa qatlamlar va strukturalar hosil qilinadi.

Epitaksiyaning turlari va usullari. «Epitaksiya» atamasi kristall sirtida oriyentirlangan holatdagi kristall oʻstirish jarayonini bildiradi. Epitaksiyali qatlam kristall taglikka oʻtkazilgan monokristall material boʻlib, taglikning strukturasi (morfologiyasi) ni saqlab qoladi.

Oʻsayotgan qatlamning hosil boʻlish jarayonida kechadigan fizik-kimyoviy hodisalarning tabiatiga qarab epitaksiyaning 3 ta texnologik usuli mavjud:

1. Vakuumda molekular oqimlar yordamida oʻstiriladigan molekular nurli epitaksiya (MNE).

2. Gaz yoki bugʻ-gaz aralashmali moddalarning kimyoviy taʼsiri yordamida olinadigan bugʻ-gaz fazali epitaksiya (BGF epitaksiya).

3. Suyuq fazadagi yoki qorishma-eritmalaridan rekristalizatsiya yoʻli bilan olinadigan suyuq fazali epitaksiya.

Epitaksiya jarayonining koʻpchiligini bugʻ-gazli fazadan oʻtqazish tashkil qiladi va elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasida asosan mana shu usuldan foydalaniladi.

Hozirda molekular-nurli epitaksiya (MNE) deyiladigan vakuumli epitaksiyaning yuqorida koʻrilgan termovakuumli changlatishdan farqi shundaki, MNE jarayoni oʻta yuqori vakuum sharoitida oʻtkaziladi. MNE va BGF epitaksiyalarning Choxralskiy usuli bilan monokristallar oʻstirishdan farqi avvalo shundaki, kristallar erish temperaturasidan past temperaturalarda oʻsadi. Suyuq fazali epitaksiya eritma holatdagi metallarda eritilgan moddaning taglik sirtida kristallanishiga asoslangan. Bu usul, asosan, ikkilangan va uchlangan yarimoʻtkazgichli birikmalarning qatlamlarini hosil qilishda qoʻllaniladi.

Qatlam va tagliklarning tarkibiga bogʻliq holda epitaksiya jarayonining 3 ta turi maʼlum:

1. *Avtoepitaksiya* — taglikda uning strukturasi bilan bir xil boʻlgan moddaning oʻstirilishi boʻlib, ular bir biridan kirishmalarining konsentratsiyasi bilangina farq qiladi.

2. *Geteroepitaksiya* — taglik yuzasida uning kimyoviy tarkibidan boshqa boʻlgan moddaning oʻstirilishi. Geteroepitaksial qatlamlar oʻstirilishida qatlam-taglik chegarasida tarkib jihatdan nobirjinsli (geterogenli) oʻtish hosil boʻladi.

3. *Xemoepitaksiya* — taglik moddasidan farq qiladigan moddani oriyentirlangan oʻstirish jarayoni boʻlib, hosil boʻlayotgan yangi faza taglikning moddasi bilan tashqaridan kelayotgan moddaning kimyoviy taʼsirlanishi natijasida hosil boʻladi. Buning natijasida hosil boʻlgan xemoepitaksial qatlam tarkibi jihatdan taglik moddasidan va oʻtqazilayotgan moddadan farq qiladi.

Epitaksiya usuli kuchli legirlangan, yarimo'tkazgichli plastina-taglikda shu yarimo'tkazgichning kam kirishmali yupqa qatlamini hosil qilish imkoniyatini beradi. Bu qatlam diodlarda baza, tranzistorlarda kollektor va boshqa sohalar bo'lib xizmat qiladi.

IMS tayyorlashda quyidagi epitaksial strukturalar — epitaksial qatlamlar o'stirilgan tagliklardan foydalaniladi: bir qatlamli, ko'p qatlamli, yashirin qatlamli va geteroepitaksiyali. Epitaksiyali strukturalar quyidagicha belgilanadi: K — kremniy; D, E — kovak (dirochnoy) va elektron turli o'tkazuvchanlik; B, S, M, F — legirlovchi elementlar: bor, surma, mishyak, fosfor.

Bir qatlamli epitaksial strukturalar o'tkazuvchanligi n -tur bo'lgan kremniyli monokritall plastinalarga p -turli qatlamni avtoepitaksiya qilish jarayonida tayyorlanadi. Bir qatlamli epitaksial strukturalar sonli koeffitsiyentli kasr ko'rinishida belgilanadi. Masalan,

$$76 \frac{8\text{KDB}-0,5}{400\text{KES}-0,01}.$$

Sonli koeffitsiyent epitaksiyali strukturaning diametrini ko'rsatadi (76 mm), suratdagi birinchi son epitaksiyali qatlam qalinligini belgilaydi (8 μm), maxrajdagi — plastina qalinligini ko'rsatadi (400 μm). Suratdagi va maxrajdagi ikkinchi son epitaksiyali qatlam (0,5 $\Omega \cdot \text{sm}$) va taglikning (0,01 $\Omega \cdot \text{sm}$) solishtirma qarshiligiga mos keladi.

Ko'p qatlamli epitaksiyali strukturalar p -turli kremniy plastinasining ikki tomoniga o'tkazuvchanlik turlari har xil bo'lgan qatlamlarni avtoepitaksiya qilish jarayonida tayyorlanadi. Ko'p qatlamli epitaksiyali strukturalarning belgilanishi bir qatlamli strukturalarning belgilanishiga o'xshash bo'lib, uch sathli bo'ladi.

Yashirin qatlamli epitaksiyali strukturalar p -turli kremniy plastinalarida kichik qarshilikli n^+ -kremniyli lokal uchastkalarda fosfor bilan legirlangan n -turli o'tkazuvchanlikli qatlamni o'stirish yo'li bilan tayyorlanadi. Strukturaning belgilanishi yozilish tartibi bo'yicha quyidagicha: suratda — epitaksial qatlamning qalinligi (μm); material; o'tkazuvchanlik turi va epitaksial qatlamni legirlovchi element; uning solishtirma qarshiligi ($\Omega \cdot \text{sm}$); qalinligi (μm); yashirin qatlamning materiali; o'tkazuvchanlik turi va legirlovchi element; uning sirt qarshiligi (Ω/q); maxrajda — epitaksial qatlamning umumiy qalinligi (μm); material; o'tkazuvchanlik turi; legirlovchi element; taglikning solishtirma qarshiligi ($\Omega \cdot \text{sm}$); taglikning oriyentatsiyasi va undan og'ish burchagi (graduslarda); asosli qirqimning oriyentatsiyasi va og'ish burchagi; strukturaning nominal diametri (mm). Bunday belgilashga misol:

$$\frac{12\text{KEF}-0,8/3,5\text{KES}-30}{312\text{KDB}-10(111)-8, \left[\begin{smallmatrix} - \\ 112 \end{smallmatrix} \right] -45}$$

Geteroepitaksiyalı strukturalar monokristall taglikda o'tkazuvchanligi *n*- yoki *p*-turli bo'lgan monokristall qatlamlarni o'stirish bilan tayyorlanadi.

Geteroepitaksiyalı strukturalarni belgilashga misol:

$$\frac{10\text{KDB}-0,5}{60\text{C}250},$$

bu yerda suratda qatlamning parametri keltirilgan — qalinligi 10 μm, material — kremniy *p*-turli, bor bilan legirlangan, qatlamning solishtirma qarshiligi 0,5 Ω · sm; maxrajda birinchi son strukturaning diametrini belgilaydi — 60 mm; *C* harfi — taglik materialini ko'rsatadi — sapfir, ikkinchi son — taglikning qalinligi — 250 μm.



Kremniyli qatlamlarning epitaksiyasi

Bug'-gazli fazadan epitaksiya. IMS texnologiyasida kremniy gazli fazadan epitaksiya qilinadi. Kremniy epitaksiyasining eng ko'p tarqalgan usuli bu xlorid usuli bo'lib, bunda kremniy xloridi SiCl₄ vodorod H₂ yordamida qaytariladi. Hosil qilinayotgan epitaksial qatlam xlor Cl bilan ifloslanganligi sababli va jarayon temperaturasini pasaytirish maksadida gidrid usuli samarali hisoblanadi.

Kremniy va germaniy epitaksiyasining texnologik xususiyatlari. Kremniy va germaniyni epitaksiyalı qatlamlarini o'stirishda eng ko'p qo'llaniladigan usul bu bug'-gaz fazasidan epitaksiya qilish bo'lib, eng asosiylari ularning tetraxloridlarini vodorod bilan tiklash va monosilan SiH₄ va monogerman GeH₄ larni termik ajratish usullaridir. Bunda qizdirilgan taglik ustidan xlorid yoki gidrid va legirlovchi kirishmalarining bug'lari bilan birgalikdagi vodorod gazi o'tkazilishi natijasida qaytarilgan kremniy yoki germaniyni monokristall qatlamlari shu taglik ustiga o'tiradi.

Epitaksial o'stirishning tipik jarayonlari quyidagi operatsiyalardan tashkil topadi:

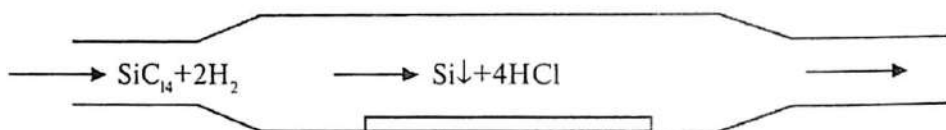
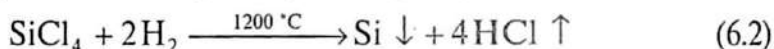
1. Reaktorga plastinalarni yuklash.
2. Reaktorni inert gazlar va vodorod bilan puflash.
3. Plastinani qizdirish va ularni tozalash maqsadida gazsimon emiruvchi reagentlarni yuborish.
4. Yemirishni to'xtatish va o'stirish uchun kerakli bo'lgan temperaturani o'rnatish.

5. Epitaksial qatlamlarni o'tqazish va legirlash uchun reagentlarni (xlorldning bug'lari yoki gidridlar va legirlovchi kirishmalarni vodorod bilan birgalikda) berish.

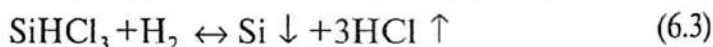
6. Reagentlar berishni to'xtatish va vodorod bilan qisqa muddatli puflash.

7. Qizdirishni to'xtatish, vodorod va inert gazlar bilan puflash. Reaktordan plastinalar olish.

Kremniy epitaksiyasining xloridli usuli. Bu usul soddaligi va boshlang'ich materiallarning bemaololigi tufayli keng tarqalgan. Bunda kremniy SiCl_4 tetraxlorid bug'i va vodorod H_2 reaktorga beriladi va u yerda kremniy tiklanishining asosiy reaksiyasi yuz beradi:



Ba'zan tetraxlorid SiCl_4 o'rniga uchxlorsilan SiHCl_3 dan foydalaniladi. Bunda kremniyning tiklanish reaksiyasi quyidagicha bo'ladi:



Agar xlorli vodorod HCl ortiqcha bo'lsa, unda ikkita reaksiya ham o'ngdan chapga boradi. Bunday holdan tagliklarni gazli yemirish usuli bilan tozalash sifatida foydalaniladi. SiCl_4 ning kichik konsentratsiyalarida o'sish tezligi konsentratsiyaga chiziqli bog'langan bo'ladi. SiCl_4 ning katta konsentratsiyalarida o'sish tezligi kamayadi va taglikni kimyoviy yemirish jarayoni boshlanadi. Odatda, vodorodda SiCl_4 ning konsentratsiyasi 1% gacha bo'lgandagina o'sish reaksiyasi yuz beradi.

Kremniy quyidagi sharoitda o'tqazilishi mumkin:

1. Temperatura intervali $1150-1250^\circ\text{C}$ atrofida bo'lishi kerak.
2. Vodorodda SiCl_4 ning konsentratsiyasi 0,5–1% sathda ushlab turiladi.

3. Gaz oqimining tezligi 0,1–1 m/s ni tashkl qilishi kerak.

Mana shu shartlar bajarilganda o'sish tezligi $1\text{ }\mu\text{m/min}$ ga yaqin bo'ladi.

Kremniy epitaksiyasining gidrid usuli. Epitaksiya jarayonini xlor usuli yordamida o'tkazilganda taglikning temperaturasi 1200°C atrofida bo'ladi. Bunday temperaturada kuchli legirlangan taglikdan kirishmalar kuchsiz legirlangan epitaksial qatlamga sezilarli diffuziyalanadi.

Bu hodisa avtolegirlash deyiladi va u kirishmalar taqsimotiga salbiy ta'sir qiladi. Bu ta'sirni kamaytirish maqsadida yo diffuziya koefitsiyenti kichik bo'lgan kirishmalardan foydalaniladi, masalan: fosfor P o'rniga surma Sb yoki mishyak As, yoki jarayon temperaturasi kamaytirish kerak bo'ladi.

Kremniy epitaksiyasida gidrid usulidan foydalanilganda jarayonning temperaturasi 1000 °C gacha kamaytirish imkoniyatiga ega bo'linadi. Gidrid usulining mohiyati monosilan SiH₄ ni piroliz qilishdir. Shu sababli bu usul silan usuli ham deyiladi.

Gidrid usulida monosilan SiH₄ temperatura ta'sirida parchalanadi va bu reaksiya $\text{SiH}_4 \xrightarrow{1000-1050\text{ }^\circ\text{C}} \text{Si} \downarrow + 2\text{H}_2 \uparrow$ ko'rinishga ega bo'ladi va erkin kremniy temperaturasi 1000 °C gacha kamaytirilgan taglikka o'tiradi. Bu esa taglikdan kirishmalar diffuziyasini amalda yo'q qiladi va legirlovchi kirishmalari bir xil taqsimlangan epitaksiyal qatlam o'sishini ta'minlaydi.

Gidrid usuli quyidagi sharoitda o'tkaziladi:

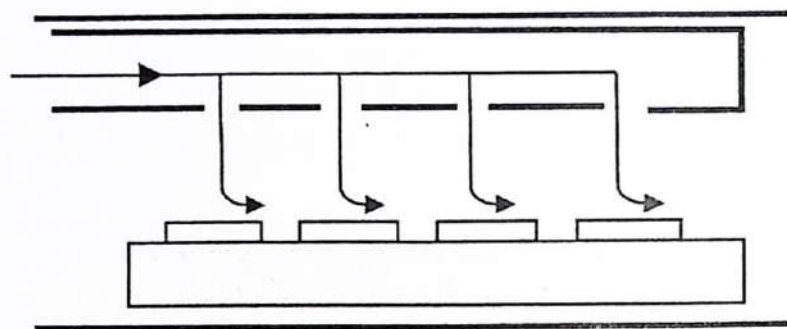
- O'tqazishning optimal temperaturasi 1050–1100 °C.
- Manba sifatida 4–5% SiH₄ va 95–96% yuqori tozalikdagi inert gazlari yoki vodoroddan tashkil topgan manba qo'llaniladi.
- O'tqazish vaqtida vodoroddagi monosilan SiH₄ ning konsentratsiyasi 0,05–0,1%.
- Gaz oqimining tezligi 30–50 sm/s.

Bu shartlar bajarilganda o'sish tezligi 0,2 dan 2 μm/min gacha o'zgaradi.

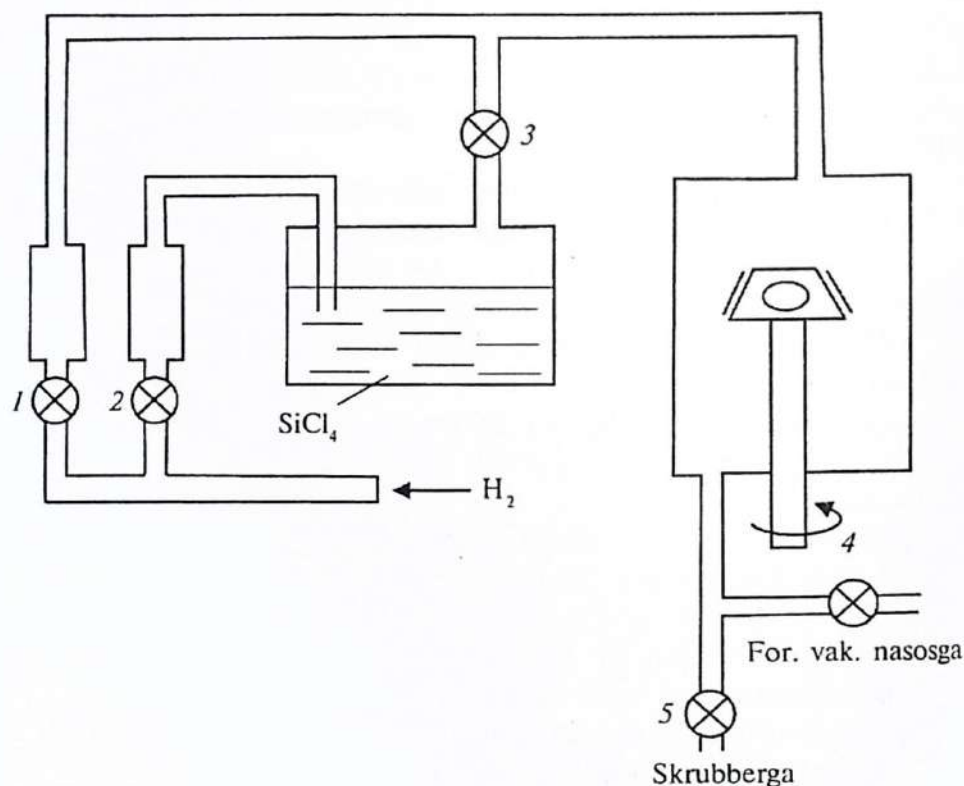
Epitaksiyal qatlam o'stirish qurilmalari (reaktorlari). Epitaksiyal qatlam o'stiriladigan qurilmalar — reaktorlar konstruksiya jihatidan asosan 2 turli bo'ladi: gorizontall va vertikal.

Gorizontall reaktorlar eng oddiy konstruksiyaga ega. Bug'-gaz aralashmasining oqimi taglik ushlagichga parallel harakatlanib, plastina ustidan oqib o'tadi va bunda oqimning konsentratsiyasi borgan sari kamayib boradi. Tagliklarda hosil bo'lgan epitaksiyal qatlamlarning qalinligi va solishtirma qarshiligi vaqtga bog'liq holda o'zgarib boradi. Hamma tagliklarda epitaksiyal qatlamlar bir xil qalinlikda o'sishi va bir xil solishtirma qarshilikka ega bo'lishi uchun ikkita usuldan foydalaniladi: taglik ushlagich gaz oqimi yo'nalishiga ma'lum bir burchak ostida o'rnatiladi yoki taglik ushlagichning uzunligi bo'yicha gaz taqsimlagichdan foydalaniladi (6.4- rasm).

Gorizontall reaktorlarda kerakli sharoitlarni hosil qilib parametrlari bir xil bo'lgan epitaksial qatlam o'stirish ancha murakkab. Vertikal reaktorlar konstruksiyasi o'q simmetriyal bo'lganligi sababli bug'-gaz



6.4- rasm. Si epitaksiya o'tqazishning gorizontal reaktor sxemasi.



6.5- rasm. Kremniyni epitaksiya qilish uchun vertikal qurilma sxemasi.

aralashmasini qizdirish va oqimi uchun eng yaxshi sharoit yaratib beradi. Vertikal reaktorlarda tagliklar o'q simmetriyasiga asosan aylantirib turiladi. Bu esa issiqlik va gazdinamikali maydonlarni bir xil ushlab turishga yordam beradi. 6.5- rasmda mana shunday qurilmaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Tetraxlorid kremniyli yoki legirlovchi qo'shimchalar bilan birgalikdagi — $\text{SiCl}_4 + \text{BBr}_3$ yoki

$\text{SiCl}_4 + \text{PCl}_3$ aralashmali idish SiCl_4 ning temperaturasini o'ta yuqori aniqlikda ushlab turadigan termostatga joylashtiriladi. Odatda bu temperatura 0°C atrofida bo'ladi, chunki SiCl_4 — o'ta uchuvchan suyuqlikdir. Kislorod va namlikdan tozalash maqsadida platina yoki palladiy diafragmalari orqali o'tkazilgan vodorod sistemaga 1 kran va uning sarfini o'lchab turuvchi rotometr orqali beriladi. 2, 3, 4 kranlar yopiq turadi. Kremniyli tagliklar $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$ gacha qizdiriladi va vodorod oqimida sirlari tozalanadi. 1 kran yopiladi va 2, 3 kranlar ochiladi. Vodorod SiCl_4 idishi orqali o'tkazilib, SiCl_4 bug'i bilan to'yintiriladi va u reaktorda elementar kremniygacha tiklanadi. Reaksiya mahsulotlari — SiCl_4 , H_2 , HCl va boshqalar ochiq 5 kran orqali skrubberga chiqarib yuboriladi. U yerda zaharli gazlar ajratib olinib, vodorod alangasida yoqib yuboriladi.

Zamonaviy sanoat qurilmalarida, masalan, УНЭС-2П-КА da epitaksiya jarayoni asosan EHM yordamida boshqariladi, operator faqat plastinalarni yuklash va olish bilangina shug'ullanadi.

Sapfir va shpinelga kremniyning geteroepitaksiyasi. Kremniyning sapfirdagi geteroepitaksial strukturasi (KHC) СВІС (o'ta katta integral sxema)larda MDY (metall-dielektrik-yarimo'tkazgich)larni tayyorlashda keng qo'llanilmoqda. KHC strukturalari yordamida elementlarni joylashtirishning juda ham yuqori zichligi va ularni sxemada oson izolatsiyalash ta'minlanadi. Bunda avval sapfirli taglikda kremniyning epitaksial qatlami o'stiriladi va unda IMS elementlari hosil qilinadi. Undan keyin elementlar orasidagi uchastkalar izolatsiyalovchi taglik-kacha yemirib tashlanadi. Eng ko'p tarqalgan kremniyning geteroepitaksial strukturalariga sapfirdagi $\text{Si-Al}_2\text{O}_3$ va shpineldagi $\text{Si-MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ qatlamlari misol bo'ladi.

Sapfir va shpinelda kremniyning geteroepitaksial qatlamlarini muvaffaqiyatli o'stirish qatlam — taglikning bo'linish chegarasidagi kristallografik nisbatlarga va taglik sirtining holatiga kuchli bog'liq bo'ladi.

Kremniyni sapfirda geteroepitaksial o'stirishda quyidagi oriyentatsiyali nisbatlardan ko'proq foydalaniladi: $\text{Si}(100)//\text{Al}_2\text{O}_3(1\bar{0}12)$, $\text{Si}(111)//\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ yoki $\text{Si}(111)//\text{Al}_2\text{O}_3(1\bar{0}10)$.

Epitaksial qatlamlar xlorid yoki gidrid usullari yordamida o'stiriladi.

KHC strukturalarda o'tkazuvchanligi n - va p -turli bo'lgan va solishtirma qarshiliklari $0,1\text{--}20\ \Omega \cdot \text{sm}$ bo'lgan qatlamlar hosil qilinadi. MOY (metall-oksid-yarimo'tkazgich) KHC IMS larni tayyorlash uchun oriyentatsiyasi (100) va qalinligi $0,5\text{--}1\ \mu\text{m}$ bo'lgan kremniyning geteroepitaksial qatlamlaridan foydalaniladi.

Molekular-nurli epitaksiya. Yupqa qatlamlar olish va yupqa qatlamlar asosida ko'p komponentli tizimlar hosil qilishning eng zamonaviy usullaridan biri molekular nurli **epitaksiyadir**. MNEda hosil bo'layotgan plyonka berilgan asosning **yuzasida o'sadi** va u bu yuza bilan **aralashib ketmaydi**.

MNE usuli plyonkalarni va ular orasidagi qatlamlarni eng yuqori sifatda tayyorlash imkonini beradi. Bu esa o'z navbatida mukammal yarimo'tkazgichli geterotizimlar (yakka geteroo'tishlar, yakkalangan potensial o'ralar, davriy va ko'p qatlamli tizimlar) hosil qilishning barcha talablarini bajaradi. Purkaladigan (yuzaga o'tqaziladigan) materiallarning o'ta toza manbalaridan foydalanish, o'ta yuqori vakuum ($P = 10^{-7}$ Pa), asos temperaturasini xatosiz nazorat qilish, o'sish jarayonlarini kompyuterli boshqarish tizimini qo'llagan holda turli usullar bilan o'rganish (diagnostika qilish) hammasi birgalikda sifat jixatdan yangi texnologiyani vujudga keltirdi.

Keyingi 40- yil ichida qattik jism elektronikasida ishlatiladigan aktiv elementlarning o'lchamlari $\sim 10^4$ marta kamaydi: yuzlab μm (birinchi tranzistorlarda) dan yuzlab angestremlargacha (kvant o'rali geterotizim). Bunday o'lchamli tizimlarni suyuq yoki gaz fazali epitaksiya hamda boshqa usullar bilan olish juda qiyin va amalga oshirib bo'lmaydigan vazifadir. MNE esa har qanday qalinlikdagi (1 nm dan to yuzlab μm gacha) plyonkalarni kerakli kimyoviy tarkib va kerakli konsentratsiyali aralashmalar bilan tayyorlash imkonini beradi. Ko'p komponentli, bir o'lchamli o'ta yupqa plyonkalar davriy tizimlarining yuqori panjarasini hosil qilish g'oyasi 1969- yilda Esaki va Su tomonidan ishlab chiqilgan. Bunda yuqori panjara olishning ikki xil turi taklif qilingan: o'zgaruvchan legirlangan va o'zgaruvchan tarkibli (6.6- rasm).

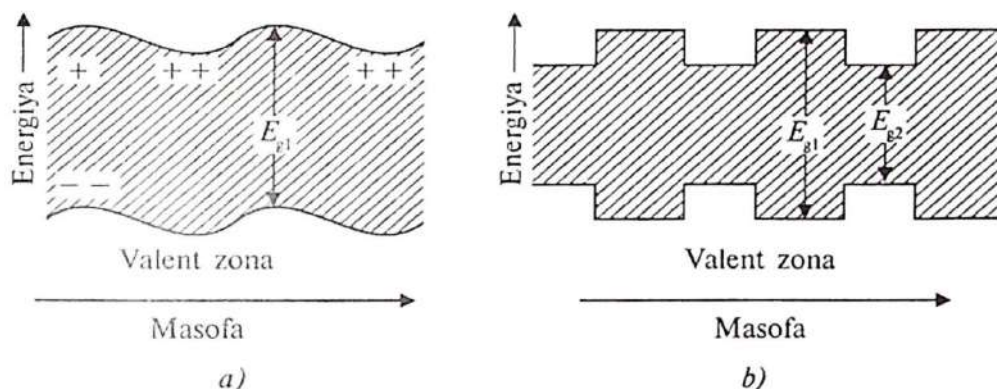
Quyida o'ziga xos noyob xususiyatli epitaksial plyonkalar olish uchun hal qilinishi kerak bo'lgan vazifalarni sanab o'tamiz.

1. O'ta yuqori vakuum va o'ta yuqori tozalikdagi modda atomlari oqimidan foydalanish hisobiga yuqori tozalikdagi monokristallar olish.

2. Nisbatan kichik haroratda o'stirish hisobiga o'zaro diffuziyani keskin kamaytirib, chegarada tarkibi keskin o'zgaradigan o'ta yupqa qatlamli tizimlarni hosil qilish.

3. Kichik-kichik markazlar hosil bo'lishini yo'qotadigan pog'onali o'sish mexanizmidan foydalanish hisobiga geteroepitaksiya uchun silliq nuqsonsiz sirtlarni (yuzalarni) olish.

4. O'sish jarayonini nisbatan kichik tezlikda olib borish hisobiga olinayotgan o'ta yupqa qatlamlarning qalinligini nazorat qilish (boshqarish).



6.6- rasm. Ikki turdagi o'ta yuqori panjaralarda zonalar chegaralari fazoviy yo'lining ko'rinishi:

- a) ketma-ket (o'zgaruvchan) legirlangan n va p qatlamli o'ta yuqori panjara;
 b) o'zgaruvchan tarkibli yarimo'tkazgichning kompozitsion o'ta yuqori panjarasi.
 Ta'qiqlangan zona shtrixlangan.

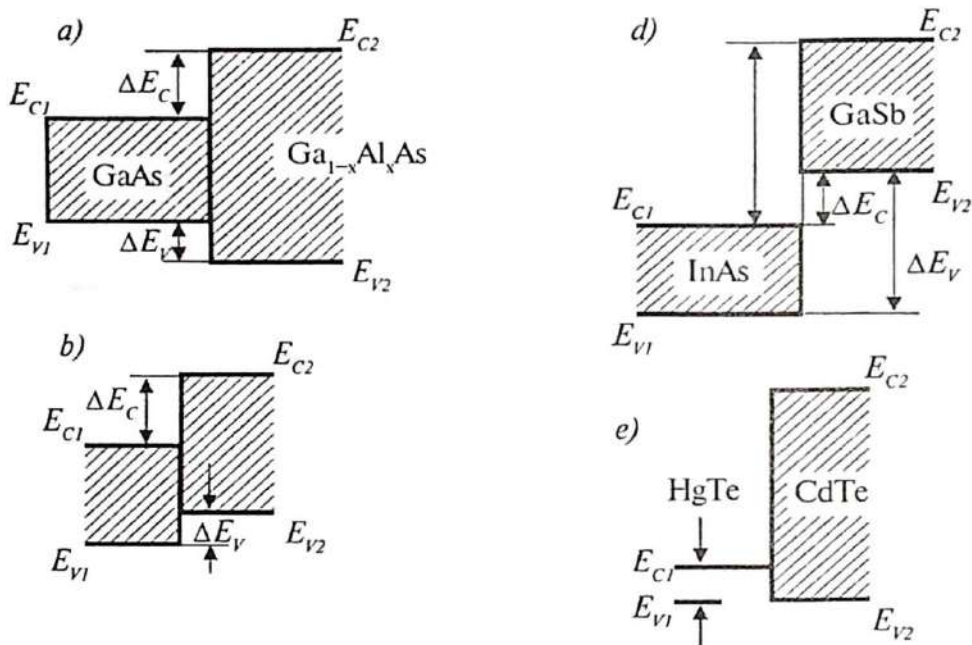
4. Murakkab tarkibli profilga yoki legirlanishga ega bo'lgan tizimlar olish.

5. Kerakli (boshqariladigan) zonaviy tizimga ega bo'lgan tizimlar hosil qilish.

Hozirgi paytda geteroo'tishlar va yuqori panjaralar $\text{GaAs-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ tizimi uchun to'laroq o'rganilgan. Amaliy ahamiyatini hisobga olgan holda quyidagi tizimlar ham har tomonlama o'rganilmoqda: InAs-GaSb , InAs-AlSb , InAlAs-InGaAs , Ge-CaAs , Ge-CdAs , CdTe-HgTe va ko'pgina har xil panjara doimiysiga ega bo'lgan $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ birikmalari. Yarimo'tkazgicnlarning geterochegaralarida lokal zonaviy tuzilishlari keskin uzilishga ega. Real holda fazaviy zaryadlarning effektlari hisobiga uzilish sohasida zonalarining bir tekis egilishi ro'y beradi. Uzilishlarning xarakteriga qarab geterochegaralarni to'rtta turga ajratish mumkin. 6.7- rasmda ideal hol uchun hamda yuqori panjara uchun geterochegaralardagi zonalar yo'llari ko'rsatilgan.

Molekular nurli epitaksiya usuli bilan plyonkalarni o'stirish qurilmasi 6.8- rasmda keltirilgan.

Kremniyning yuzasida kobalt kremniy (CoSi_2) plyonkasini hosil qilish jarayonini ko'rib chiqamiz: yuqori vakuum sharoitida yuzasi juda yaxshi tozalangan kremniy monokristalining sirtiga kobalt (Co) va kremniy (Si) manbalaridan ularning atomlari kelib o'tira boshlaydi. Bunda effizion manbalarining rejimi har bir momentda yuzaga bitta kobalt atomi kelib o'tirsa, ikkita kremniy atomi kelib o'tiradigan qilib tanlab olinadi.



6.7- rasm. Geterochegaralarning to'rtta turi uchun zonalar chegaralari yo'lining o'zgarishi:

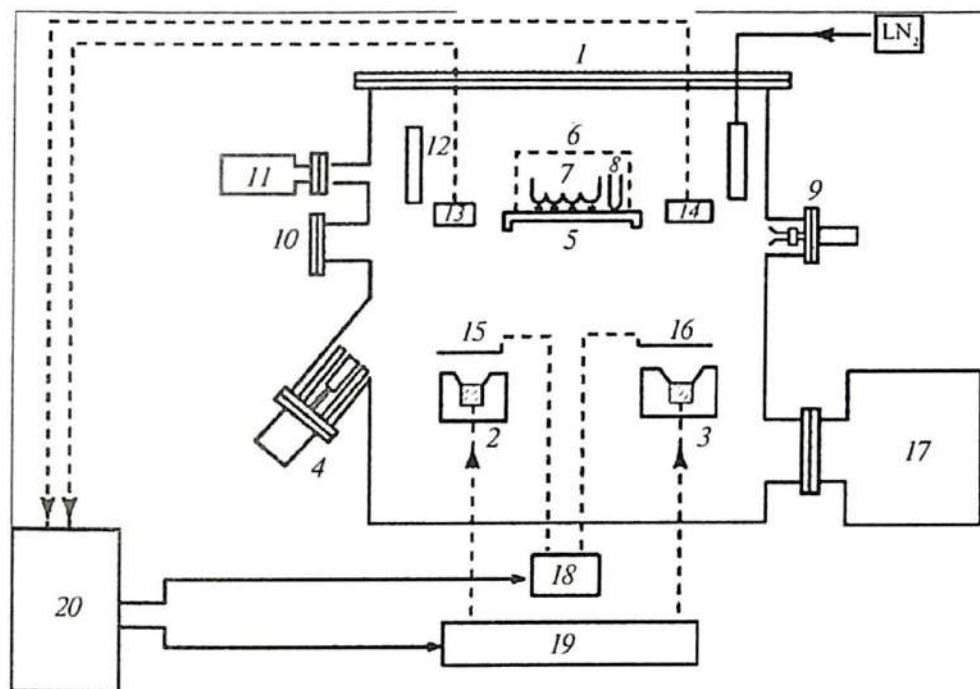
a) I tur geteroo'tish; b) zonolari pog'ona yo'lli II tur geteroo'tish; d) taqiqlangan zonolari kesishmaydigan II tur geteroo'tish; e) III tur geteroo'tish.

Asosning temperaturasi shunday tanlanadiki, yuzaga kelib o'tirayotgan atomlar CoSi_2 birikmasini hosil qiladi va ularning plyonkasi epitaksial o'sa boshlaydi.

Hosil qilinayotgan plyonkalarining qalinligi va o'sish tezligi kvarsli datchiklar yordamida aniqlanadi. Plyonkalarining kristall tuzilishi, panjaraning turi va parametrlari katta energiya elektronlarning difraktsiyasi usuli bilan aniqlanadi. O'sish jarayoni EHM yordamida boshqarib boriladi. Shunday tozalashlardan keyin manbalar ishga tushiriladi va atomlarning uchib chiqish rejimlari tanlanadi. Manbadan uchib chiqqan atomlar asosning yuziga kelib o'tira boshlaydi. O'sish jarayoni taxminan quyidagicha ro'y beradi:

1) asosning har joy-har joyiga alohida atomlar kelib o'tiradi (adsorbsiyalanadi);

2) asosning har joyidagi alohida atomlar bir-biriga kelib qo'shilib kichik to'plamlar hosil qiladi va bularning ayrimlari kritik o'lchamgacha kattalashib plyonka hosil qilish markazlari bo'lib xizmat qilishi mumkin. Bunda ularning o'lchamlari 20–30 Å gacha boradi;



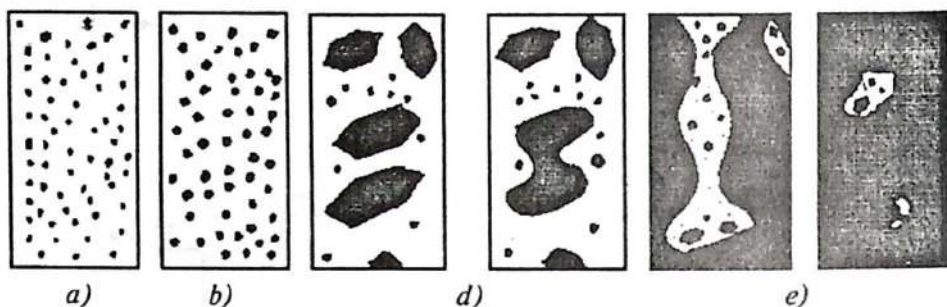
6.8- rasm. MNE o'stirish qurilmasi:

1 – vakuum kamerasi; 2, 3 – elektron nurli bug'latgich (ENB); 4 – effuzion manba; 5 – namuna; 6 – manipulator; 7 – qizdirgich; 8 – termopara; 9 – katta energiyali elektronlar to'pi; 10 – luminessentli ekran; 11 – gazoanalizator; 12 – kriopanel; 13, 14 – o'sish tezligini aniqlovchi kvarsli datchiklar; 15, 16 – yopqich (zaslonka); 17 – ion nasosi; 18 – yopqichni boshqarish tizimi; 19 – ENB manbasi; 20 – EHM.

3) keyingi atomlar kelib tushishi va atrofdagi ayrim atomlarning kelib qo'shilishi hisobiga bu markazlar yoniga va balandligi bo'yicha kritik o'lchamgacha o'sa boshlaydi va orolchalar hosil bo'ladi;

4) yonma-yon turgan kichik orolchalarning qo'shilishi natijasida o'lchami kattaroq bo'lgan orolchalar paydo bo'la boshlaydi. Bu hodisa **koalesensiya** deb ataladi. Orolchalar kichik bo'lgan paytda ularning ko'rinishi uchburchaksimon bo'ladi, ular kattalashganda ko'pincha oltiburchak ko'rinishiga ega bo'ladi. Bu oltiburchaklarning o'lchamlari tahminan 100–1000 Å bo'ladi. Orolchalar qo'shilishi natijasida yuzada bo'sh joylar ko'payadi, chunki ikkita kichik orolchaning umumiy yuzi har doim ular qo'shilgan keyingi yuzadan katta bo'ladi;

5) orolchalarning orasida yangi markazlar hosil bo'lib, ular ham o'sa boshlashi mumkin. Ma'lum vaqtdan keyin hamma orolchalar bir-biriga chegaradosh bo'lib qoladi va ular chegaralarida kanallar hosil bo'ladi;



6.9- rasm. Yupqa plyonkalar hosil bo'lishining sxematik tasviri:
 a) ayrim atomlarning yuzaga o'rinish qolishi; b) markazlar hosil bo'lishi;
 d) markazlar o'sib alohida orolchalarning hosil bo'lishi; e) orolchalarning
 bir-biriga qo'shilib ketishi.

6) kanallar va ochiq qolgan joylarga yana atomlar o'tira boshlaydi va **ikkilamcha markazlar** hosil bo'ladi, natijada notekis bo'lsa ham uzluksiz plyonka o'sa boshlaydi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan bosqichlarning ayrimlari chizma tarzida 6.9- rasmda keltirilgan. **Peshli o'sish jarayonini 4 ta bosqichga ajratadi:** markazlar va orolchalar tizimining hosil bo'lishi; orolchalarning o'sishi va koalesensiyasi (qo'shilishi); kanallarning vujudga kelishi; uzluksiz plyonkaning hosil bo'lishi.

Ko'pincha bu plyonkalar polikristall holda bo'ladi. Ulardagi orolchalarni yo'qotish uchun «plyonka-taglik» tizimi yuqori temperaturagacha qizdiriladi.

Qattiq fazali epitaksiya. Qattiq fazali epitaksiya KFE ham MNE kabi o'ta yuqori vakuumda amalga oshiriladi. QFEni uchta bosqichga ajratish mumkin:

1) asos yuqori darajada aralashmalardan tozalanada va yuzasi silliqlanadi, kelib o'tiradigan atomlar manbayi ham qizdirish yo'li bilan aralashmalardan tozalanadi;

2) xona haroratida (yoki past temperaturalarda) asos yuzasiga kerakli atomlar purkalib (o'tqazilib) qatlamlar hosil qilinadi.

3) asos sekin-asta kerakli temperaturagacha qizdiriladi, bunda yuzadagi qatlam atomlari asos ichiga va asosdagi atomlar qatlam ichiga kirib boradi, ular orasida kimyoviy reaksiya bo'ladi va birikmalar hosil bo'ladi.

Shunday qilib, QFEda avvaliga asosning yuziga kerakli atomlar (malekulalar) o'tkaziladi, so'ng asos kerakli haroratgacha qizdirish yo'li bilan o'tqazilgan atomlar va asos atomlari aralashtirilib yupqa epitaksial qatlam olinadi.

QFE da hosil bo'ladigan plyonkaning tarkibi va qalinligi o'tkazilayotgan atomlarning konsentratsiyasiga, haroratiga va ma'lum paytgacha vaqtga bog'liq bo'ladi.

QFE usulida kerakli atomlar yuzaga o'tqazilib, amorf plyonka hosil qilinadi va qizdirish natijasida plyonka-asos chegarasida atomlarning bir-biriga aralashib ketib birikma hosil bo'lishi va uning kristallanishi ro'y beradi. Natijada yangi tarkibli epitaksial plyonka hosil bo'lishi mumkin. Bu plyonkaning tarkibi va qalinligi o'tqazilgan atomlarning konsentratsiyasiga, asos haroratiga, yuzaga qanday monokristalning qaysi qirradi oriyentatsiyalanganligiga (yunalganligiga) va sirtning tozaligiga bog'liq bo'ladi.

QFE usulini $\text{CoSi}_2/\text{Si(III)}$ plyonkasini hosil qilish jarayoni orqali ko'rib o'tamiz. Si ning toza yuzasiga So atomlarining qatlamlari xona haroratida o'tqaziladi va keyin qizdirila boshlanadi. Natijada Co va Si atomlari aralashib va birikmalar hosil bo'ladi. $T = 300^\circ\text{C}$ gacha qizdirilganda CoSi_2 ning poliamorf plyonkasi, $T = 400\text{--}450^\circ\text{C}$ ning polikristal plyonkasi va $T = 500\text{--}550^\circ\text{C}$ — CoSi_2 ning monokristall plyonkasi hosil bo'ladi. Bu usulda hosil qilingan plyonkada quyidagi nuqsonlar mavjud: mikroteshiklar vujudga keladi; yuza notekis va kam zichlikka ega bo'ladi; CoSi_2 ning monokristali ikkita oriyentatsiyaga ega bo'lishi mumkin.

Demak QFE usushi bilan plyonka hosil qilishda asos (taglik) atomlari ishtirok etadi, ya'ni taglik atomlari plnkaning tarkibiga kiradi. Masalan QFE da CoSi_2 hosil qilingan bo'lib undagi Si taglik atomlaridir.

Ayrim hollarda 2 yoki 3 komponentli plyonkalar olishda QFE ning boshqacha usuli ham qo'llaniladi. Masalan, kobalt-kremniy (CoSi_2) hosil qilish uchun kremniyning yuzasida kremniy plyonkasi hosil qilinib, uning yuzasiga kobalt o'tkaziladi, yoki kremniyning yuzasiga kobalt o'tkazilib, uning yuzasiga kremniy o'tkaziladi, keyin kerakli darajada qizdiriladi.

Bu usulda hosil qilingan plyonkada quyidagi nuqsonlar vujudga keladi:

- a) plyonkada har xil kanallar hosil bo'lishi mumkin;
- b) plyonkaning hamma joylarida tarkib bir hil bo'lmasligi mumkin;
- d) plyonka atomlarining aralashib ketishi hisobiga hosil bo'lgani uchun uning qalinligini to'g'ri nazorat qilish qiyin;
- e) plyonkaning asos bilan chegarasi bir tekis bo'lmaydi va hokazo.

Qaysi usul qo'llanishidan qat'iy nazar QFE da quyidagi kamchiliklar mavjud:

a) haroratni xona temperaturasidan sekin-asta 500–600 °C gacha oshirib borish kerak bo'ladi;

b) plyonka asos chegarasida atomlarning aralashuvida asos atomlari ham qatnashadi. Natijada hosil bo'layotgan plyonka qalinligini boshqarish va nazorat qilish juda qiyin bo'ladi. Bu ayniqsa Si-CoSi₂-Si kabi ko'p qatlamli tizimlar olish imkoniyatlarini cheklab ko'yadi.

QFening hususiy holi reaktiv epitaksiyadir (RE). *Reaktiv epitaksiya deb asosning yuzasiga atomlarning kelib o'tirishi jarayonida asosni epitaksial plyonka hosil bo'lish temperaturasi gacha qizdirib turish yo'li bilan asos va kelib o'tirgan modda atomlari birikmasidan tashkil topgan plyonka hosil qilish jarayoniga aytiladi.* Masalan, CoSi₂ olish uchun Co atomlari asos yuzasiga 600–650 °C haroratda o'tqaziladi. Bunda Co atomlari Si ning ichiga diffuziya tufayli kirib boradi va CoSi₂ plyonkasini hosil qiladi. Bu usulda ko'pincha orolchali o'sish kuza-tiladi.



Diffuziyali legirlash

Usulning asoslari. Diffuziyali legirlash ma'lum bo'lgan diffuziya hodisasiga, ya'ni modda zarrachalarining konsentratsiyalari kamayadigan tomonga yo'nalgan siljishiga asoslangan. Diffuziyaning harakatlantiruvchi kuchi modda atom yoki molekulalarining konsentratsiyasi gradiyentidir. Konsentratsiya gradiyenti qancha katta bo'lsa, diffuziya shuncha intensiv bo'ladi. Kremniy yoki germaniylarning o'tkazuvchanligi turini o'zgartirish uchun diffuziyadan foydalanishni birinchi marta 1952- yilda amerikalik olim Pfann taklif qilgan.

Integral mikrosxema texnologiyasida har xil turdagi legirlangan qatlamlarni hosil qilish uchun ko'pincha yuqori temperaturali diffuziyadan foydalaniladi. Buning uchun plastina yuqori temperaturagacha qizdiriladigan kvarsli quvurga joylashtiriladi. Quvur orqali legirlovchi kirishmaning bug'lari o'tkaziladi. Ular plastina sirtiga adsorbsiyalanadi va kristal panjaraga diffuziyalanadi.

Diffuziya uch xil amalga oshiriladi:

1. Almashuv mexanizmi, bunda ikki atom o'zaro joylarini almash-tiradi yoki bir necha atomlar ishtirokida halqali almashuv ro'y beradi;

2. Vakansiyali mexanizm, bunda vakant (bo'sh) tugunlarga ki-rishma atomlarining ketma-ket sakrash yo'li bilan o'tirishi orqali diffuziya amalga oshiriladi. Bunday kirishmalar *asosiy atom o'rniga o'tiruvchi kirishmalar* deyiladi.

3. Tugunlararo mexanizm, bunda kirishma atomlari ketma-ket bitta tugunlar oralig'idan boshqa tugunlar oralig'iga o'tishi bilan diffuziya amalga oshiriladi. Bunday kirishmalar *kiritilgan kirishmalar* (*примеси внедрения*) deyiladi.

Kremniy va germaniylarni kirishmalar bilan legirlashda vakantli mezanizmning ehtimoli ko'p bo'lib, u kristalldagi Shotki va Frenkel nuqsonlarining borligi bilan aniqlanadi. Bunday nuqsonlarning hosil bo'lishi panjaraning issiqlik tebranishlari bilan bog'langan. Vakansiyalar miqdori temperatura oshishi bilan eksponensial ravishda oshib boradi:

$$N_{\text{vak}} = N e^{-E/(kT)}, \quad (6.4)$$

bu yerda E — vakansiya hosil bo'lishi uchun kerak bo'ladigan energiya; N — yarimo'tkazgichning kristall panjarasi tugunlarida joylashgan atomlar miqdori.

Bitta vakansiya hosil bo'lishi uchun bir necha elektron-volt energiya kerak bo'ladi. Xona temperaturasida 10^{15} – 10^{16} atomga 1 ta vakansiya to'g'ri keladi. Temperatura 1000–1200 °C gacha oshirilganda vakansiyalar soni yarimo'tkazgichdagi atomlar soni bilan tenglashib qoladi.

Kirishmalarning yarimo'tkazgichlarda eruvchanligi temperatura oshishi bilan oshib boradi va maksimal qiymatga erishgandan so'ng kamaya boshlaydi.

Yarimo'tkazgichlarda kirishmalarning *chegaraviy eruvchanligi* deb, berilgan temperaturada berilgan yarimo'tkazgichning birlik hajmida bo'lishi mumkin bo'lgan kirishmalarning aniq maksimal miqdoriga aytiladi.

Diffuziya uchun Fik qonunlari. A. Fik tomonidan ko'rinishda taklif qilingan bu ikki qonun issiqlik o'tkazuvchanlikning tenglamalariga asoslangan bo'lib, moddalarning diffuziyali ko'chish jarayonlarini tavsiflaydi. Fikning qonunlari diffuziyaning ikkita tenglamasi ko'rinishida tasvirlanadi. Diffuziyaning birinchi tenglamasi kirishma atomlarining yuqori konsentratsiyali sohadan past konsentratsiyali sohaga yarimo'tkazgich plastinasiga asosan normal yo'nalish bo'yicha oqimini aniqlaydi:

$$F = -D \frac{dC}{dx}, \quad (6.5)$$

bu yerda D — diffuziya koeffitsiyenti bo'lib, son jihatdan diffuziya yo'nalishiga normal bo'lgan birlik yuzadan birlik vaqtda kirishma konsentratsiyasining gradiyenti $dC/dx=1$ ga teng bo'lganda o'tayotgan

atomlar miqdoriga teng, tenglamaning o'ng tomonidagi minus ishorasi atomlarning diffuzion siljishi konsentratsiya kamayayotgan tomonga ekanligini ko'rsatadi.

Diffuziyaning ikkinchi tenglamasi diffuziya koeffitsiyenti konsentratsiyaga bog'liq emas deb qabul qilinib, birinchi tenglamadan chiqariladi:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2}. \quad (6.6)$$

Fikning ikkinchi tenglamasi diffuziyaning asosiy qonunini ifodalaydi. U ixtiyoriy vaqt mobaynida va ixtiyoriy masofadan diffuziyaning berilgan temperaturasida yarimo'tkazgichga kiritilayotgan kirishmaning konsentratsiyasini aniqlaydi. Bu ifodada temperatura diffuziya koeffitsiyenti orqali qatnashadi:

$$D = D_0 e^{-\frac{\Delta E}{kT}}, \quad (6.7)$$

bu yerda D_0 — o'zgarmas bo'lib, son jihatdan cheksiz katta teperatura-dagi diffuziya koeffitsiyentiga teng; ΔE — berilgan kirishma uchun diffuziya jarayonining aktivlash energiyasi, ya'ni kirishma atomining panjaradagi vakant tugunga sakrab o'tishi uchun kerak bo'ladigan energiya.

Yarimo'tkazgichlarda diffuziya jarayoni yuqori temperaturalarda o'tkaziladi. Masalan: germaniy uchun — 800–900 °C da, kremniiy uchun — 1000–1200 °C da.

Diffuziyali legirlashni o'tkazish usullari. Diffuziya jarayoni temperaturaning nisbatan cheklangan diapazonida o'tkaziladi.

Izolatsiyalangan, yuqori vakuumli hajmga yarimo'tkazgich plastinalari va kirishma elementi joylashtiriladi. Shundan keyin ular ma'lum temperaturagacha qizdiriladi. Kirishma elementining sublimasiyasi yoki bug'lanishi natijasida hajmda uning bug'larining ma'lum bir parsial bosimi hosil bo'ladi. Bug'ning molekullari plastinaning hamma sirtlariga adsorbsiyalanadi va ichkariga diffuziyalanadi. Umumiy holda muvozanatli konsentratsiyaning kattaligi bug'ning bosimiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun kirishma sirt konsentratsiyasining kattaligi bug' bosimini nazorat qilish yo'li bilan boshqariladi.

Diffuzion jarayonlar ochiq yoki berk quvurlarda o'tkaziladi. Ochiq quvurda diffuziya quvurining oxiri atmosferaga chiqarilgan bo'ladi. Berk quvur deganda germetik ampulada o'tkazilgan diffuziya tushuniladi.

Ochiq quvurda o'tkaziladigan diffuziya jarayoni eng ko'p tarqalgan bo'lib, unda qattiq, suyuq, gazsimon kirishma manbalaridan foydalaniladi. Kremniy uchun asosiy diffuzantlarga fosfor va bor kiradi. Odatda, ularning gazsimon, suyuq yoki qattiq ko'rinishdagi kimyoviy birikmalaridan foydalaniladi. Gazsimon diffuzantlarga bor va fosforning gidridlari, suyuq diffuzantlarga galogenidlari, qattiq diffuzantlarga esa oksidlari misol bo'ladi.

Planar texnologiya bo'yicha elektron asboblari va qurilmalarni tayyorlash jarayonida kirishma yarimo'tkazgichli plastinaning kerakli tirqishiga kiritiladi va bu jarayon ikki bosqichda bajariladi. Birinchi bosqich — kiritish bosqichida kirishmaning kerakli miqdori sirt qatlami qatlamiga kiritiladi va kremniy sirtida erfc funksiyali taqsimotli kirishmaning yupqa diffuzion qatlami hosil qilinadi. Undan keyingi ikkinchi bosqich — tarqatish bosqichida esa diffuzant atomlari bo'lmagan atmosferada yarimo'tkazgich plastinasi qizdiriladi, ya'ni kirishmaning diffuziyali qayta taqsimoti yuz beradi va kirishma kerakli chuqurlikka kerakli konsentratsiyada haydaladi.

Diffuziyada kirishmaning taqsimoti. Kirishma atomlari yo vakansiyalarga yoki bo'g'in oraliqlariga diffuziyalanadi. Asosiy legirlovchi kirishmalar bor B, fosfor P, indiy In, galliy Ga, surma Sb, mishyak As hisoblanadi. Bu asosiy legirlovchi kirishmalar vakansiyalarga joylashadi, qolgan noasosiylari esa bo'g'in (asosiy atom) oraliqlariga kiradi. IMS texnologiyasida kirishma atomlari konsentratsiyasining diffuziyadan keyin chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini aniqlash eng kerakli vazifa hisoblanadi. Bunda kirishma atomlari manbaning turiga qarab 2 xil taqsimlanishi kuzatiladi.

1. Manbadagi kirishma atomlari miqdori cheklangan. Bunday hol uchun yupqa sirt qatlamda kirishma atomlari konsentratsiyasining taqsimot profili quyidagi qonunga bo'ysinadi:

$$C(x, t) = \frac{N}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right), \quad (6.8)$$

bu yerda N — sirtning birlik yuzasidagi kirishma atomlarining zichligi bo'lib, diffuziyaning ixtiyoriy vaqtida o'zgarmas, atom/sm²; x — shu konsentratsiyaga tegishli bo'lgan chuqurlik, sm; D — kirishmaning diffuziya koeffitsiyenti, sm²/s; t — diffuziya vaqti, s.

Diffuzion p - n o'tishning joylashgan chuqurligi quyidagi formula yordamida topiladi:

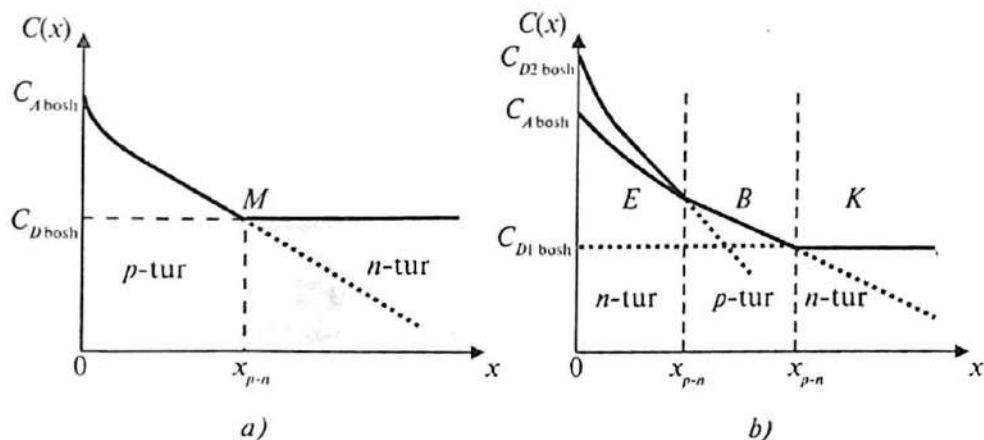
$$x_{p-n} = 2\sqrt{Dt} \sqrt{\ln\left(\frac{C_0}{C_b}\right)}, \quad (6.9)$$

Diod va tranzistorli strukturalarda $p-n$ o'tishning hosil bo'lishida kirishmalarning taqsimoti. Elektron asboblari va qurilmalarni loyihalashda $p-n$ o'tishning qaysi chuqurlikda hosil bo'lishini aniq hisoblash muhim ahamiyatga ega. Boshlang'ich plastinadagi kirishma konsentratsiyasi ma'lum bo'lsa, unga turi qarama-qarshi bo'lgan kirishmani shunday rejimda kiritish kerakki, bunda $p-n$ o'tish hosil bo'lishi kerak bo'lgan chuqurlikda ikkala kirishmaning konsentratsiyasi bir-biriga teng bo'lsin. Mana shunday holat 6.12-*a* rasmda M nuqta bilan ko'rsatilgan. Bu nuqtaga mos keladigan x_{p-n} chuqurlikda akseptor va donor kirishmalarning konsentratsiyalari bir-biriga teng bo'ladi va bunday struktura *diodli struktura* deyiladi. Ikki va undan ortiq $p-n$ o'tishli strukturalar hosil qilishda ham qarama-qarshi xarakterli kirishmalarning ketma-ket diffuziyasidan foydalaniladi. Bunda ham $p-n$ o'tishlarning joylashgan chuqurliklari akseptor va donor kirishmalar konsentratsiyalarining bir-biriga tengligidan topiladi. 6.12-*b* rasmda tranzistorli strukturalar uchun kirishmalar taqsimoti va $p-n$ o'tishlarning joylashgan chuqurliklari ko'rsatilgan. Odatda, $C_{A\text{ bosh}}$ konsentratsiyaning qiymati $C_{D1\text{ bosh}}$ ning qiymatidan bir necha tartibga, $C_{D2\text{ bosh}}$ ning qiymati esa $C_{A\text{ bosh}}$ ning qiymatidan bir necha tartibga yuqori bo'ladi.

Diffuziya jarayonida hosil qilinadigan strukturalarni hisoblash usullari. Diffuziya o'tkazish jarayonida hosil qilinadigan strukturalarni hisoblashda asosan ikki turdagi masala yechiladi:

1. *To'g'ri masala*, bunda berilgan texnologik rejim asosida kirishmalar konsentratsiyasi taqsimoti profili aniqlanadi.

2. *Teskari masala*, bunda kirishma taqsimoti parametrlari asosida diffuziya jarayonining rejimlari aniqlanadi.



6.12- rasm. Diodli (*a*) va tranzistorli (*b*) strukturalarda $p-n$ o'tishning hosil bo'lishida kirishmalarning taqsimoti.

To'g'ri masalaga tegishli bo'lgan misollarni yechish hollari bilan tanishamiz.

Ikki bosqichli diffuziya uchun kirishmalar taqsimotini hisoblash. Planar texnologiyada diffuziya ikki bosqichda o'tkaziladi: birinchi bosqich — *kiritish (zagonka) bosqichi* deyiladi. Bu bosqich sirt konsentratsiyasi C_{01} o'zgaras bo'lgan manbadan nisbatan qisqa t_1 vaqt davomida o'tkaziladi. Bu vaqt ichida sirtga kiritilgan kirishma atomlari miqdori N (atom/sm²) keyingi bosqichda diffuzant manbayi bo'lib xizmat qiladi.

Ikkinchi bosqich — *tarqatish (razgonka) bosqichi* deyiladi va u t_2 vaqt davomida o'tkaziladi va bunda sirt konsentratsiyasi vaqtga bog'liq holda o'zgaradi:

$$C_{02} = \frac{N}{\sqrt{\pi D_2 t_2}}. \quad (6.15)$$

Ikki bosqichli diffuziyada kirishmalar taqsimoti profilini qurish uchun kiritish va tarqatish bosqichlarining temperaturasi va o'tkazish vaqtini bilish kerak. t_1 temperatura kirishmaning diffuziya koeffitsiyenti D_1 ni va shu kirishmaning chegaraviy eruvchanligiga teng bo'lgan sirt konsentratsiyasi C_{01} ni aniqlaydi.

Kiritish bosqichida kiritilgan kirishma atomlarining sirt zichligi kirishma taqsimotini integrallash bilan aniqlanadi:

$$N = \int_0^\infty C(x) dx = \int_0^\infty C_{01} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D_1 t_1}} dx = 2C_{01} \sqrt{\frac{D_1 t_1}{\pi}}. \quad (6.16)$$

Tarqatish bosqichidan so'ng kirishmalarning taqsimoti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$C(x, t) = \frac{2C_{01}}{\pi} \sqrt{\frac{D_1 t_1}{D_2 t_2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4D_2 t_2}\right) = \frac{N}{\sqrt{\pi D_2 t_2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4D_2 t_2}\right). \quad (6.17)$$

1- misol. Solishtirma qarshiligi $\rho = 10 \text{ } \Omega \cdot \text{sm}$ bo'lgan p -turli kremniyga fosfor ikki bosqichli diffuziya quyidagi rejimlar asosida o'tkazilmoqda:

$T_1 = 1050 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_1 = 10$ minut, $T_2 = 1150 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_2 = 2$ soat. Hosil bo'lgan kirishma taqsimoti profili qurilsin va p -n o'tishning chuqurligi aniqlansin.

Yechish:

1. $C = f(T)$ grafigidan (4- ilova) $T = 1050 \text{ } ^\circ\text{C}$ uchun C_{01} aniqlanadi. Fosforning kremniydagi chegaraviy eruvchanligi $1,2 \cdot 10^{21} \text{ sm}^{-3}$ ga teng ekan. $C_{01} = 1,2 \cdot 10^{21} \text{ sm}^{-3}$ deb qabul qilamiz.

2. $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) $T = 1050^\circ\text{C}$ uchun D_1 topiladi:
 $D_1 = 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ sm}^2/\text{s}$.

3. Kiritilgan kirishma atomlarining sirt zichligi N hisoblanadi:

$$N = 2C_{01} \sqrt{\frac{D_1 t_1}{\pi}} = 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{21} \cdot \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^{-14} \cdot 10 \cdot 60}{3,14}} = 5,2 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-2}.$$

$D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) $T = 1150^\circ\text{C}$ uchun D_2 topiladi:

$$D_2 = 4 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2/\text{s}.$$

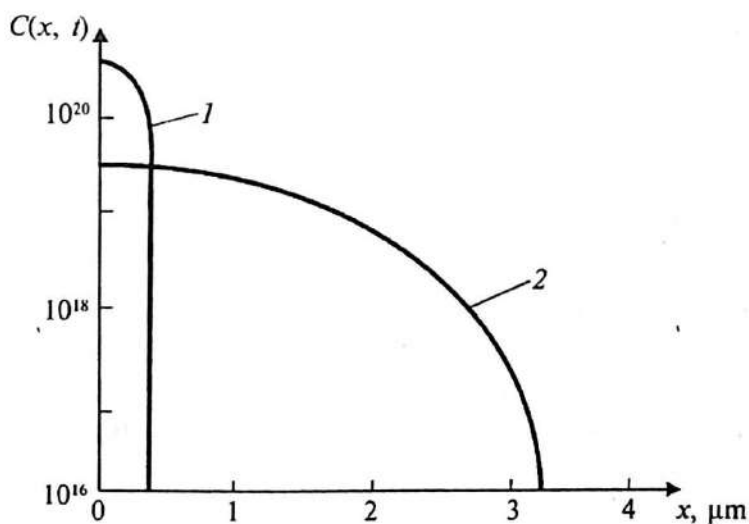
5. Tarqatish bosqichidan keyingi taqsimot egri chizig'ini quramiz:

$$\begin{aligned} C(x, t) &= \frac{N}{\sqrt{\pi D_2 t_2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 D_2 t_2}\right) = \\ &= \frac{5,2 \cdot 10^{15}}{\sqrt{3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-13} \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot 4 \cdot 10^{-13} \cdot 7,2 \cdot 10^3}\right) = \\ &= 5,5 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{x^2}{1,5 \cdot 10^{-8}}\right). \end{aligned}$$

Kiritishdan keyingi taqsimot quyidagi ifoda yordamida quriladi:

$$C(x, t) = C_{01} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D_1 t_1}} = 1,2 \cdot 10^{21} \operatorname{erfc} \frac{x}{7,75 \cdot 10^{-6}}.$$

Bu taqsimotlar 6.13- rasmda keltirilgan.



6.13- rasm. Kiritish (1) va tarqatish (2) bosqichlaridan keyingi fosforning hisoblangan profil taqsimoti.

6. p - n o'tishning chuqurligi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$x_{p-n} = 2\sqrt{D_2 t_2} \sqrt{\ln \frac{C_{02}}{C_b}},$$

bu yerda $C_{02} = \frac{N}{\sqrt{\pi D_2 t_2}} = 5,5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ ga teng.

Boshlang'ich plastinadagi kirishma konsentratsiyasining qiymati $\rho = f(C)$ grafigidan (5- ilova) topiladi: $C_b = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$. Unda p - n o'tishning chuqurligi:

$$x_{p-n} = 2\sqrt{4 \cdot 10^{-13} \cdot 7,2 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{\ln \frac{5,5 \cdot 10^{19}}{1,2 \cdot 10^{15}}} = 3,5 \text{ } \mu\text{m}.$$

Taxminiy usul bilan hisoblangan p - n o'tishning chuqurligi:

$$x_{p-n} \approx 6 \sqrt{D_2 t_2} = 6\sqrt{4 \cdot 10^{-13} \cdot 7,2 \cdot 10^3} = 3,2 \text{ } \mu\text{m},$$

bu esa aniq qiymatga juda yaqin keladi.

Ikkilangan ketma-ketli diffuziya holi uchun kirishmalar taqsimotini hisoblash. Diffuziyali tranzistor, tiristor, varikap va ko'pgina boshqa asboblarda hamda IMS larni tayyorlashda ularning aktiv strukturalarini hosil qilish uchun har xil turdagi elektr o'tkazuvchanlikli qatlamlar ketma-ket diffuziyadan foydalanib olinadi.

Konsentratsiyasi C_b bo'lgan kirishma bilan bir tekis legirlangan n -turli yarimo'tkazgichga ikkilangan kema-ket diffuziya qilinib, avval parametrlari C_{0A} , D_A , t_A bo'lgan akseptor kirishmasi, keyin esa parametrlari C_{0D} , D_D , t_D bo'lgan donor kirishmasi kiritilmoqda. Bunda natijaviy konsentratsiyaning taqsimoti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$C(x, t) = C_{0A} \exp\left(-\frac{x^2}{4D_A t_A}\right) - C_{0D} \operatorname{erfc} \frac{x^2}{2\sqrt{D_D t_D}} - C_b. \quad (6.18)$$

Birinchi diffuziyada kirishma, bizning misolimizda akseptor kirishmasi, chuqurroqqa kiritiladi. Ikkinchi diffuziyada donor kirishmasi esa yuzaroqqa, lekin yuqoriroq konsentratsiyada kiritiladi, natijada n - p - n struktura hosil bo'ladi. Agar p -turli yarimo'tkazgich olinib, kirishmalarining o'rinlari almashtirilsa, p - n - p struktura hosil qilinadi.

Kichikroq sirt konsentratsiyali va kattaroq chuqurlikka o'tkaziladigan birinchi diffuziya *baza diffuziyasi* deyiladi va u p -turdagi baza sohasini hosil qilish uchun xizmat qiladi. Yuqori sirt konsentratsiyali

va kichikroq chuqurlikka o'tkaziladigan ikkinchi diffuziya *emitter diffuziyasi* deyiladi va u n -turdagi emitter sohasini hosil qilish uchun xizmat qiladi.

Baza diffuziyasi ikki bosqichda o'tkaziladi. Shu sababli uning natijaviy (6.18) taqsimotga qo'shgan ulushi Gauss egri chizig'i bilan ifodalanadi. Emitterli diffuziya bir bosqichda o'tkaziladi va kirishmalarining taqsimoti erfc funksiya bilan ifodalanadi.

(6.18) ifodada emitter diffuziyasi o'tkazilayotgan vaqtda akseptorli kirishmaning siljishi hisobga olinmagan. Agar hisobga olinadigan bo'lsa, bu ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$C(x, t) = C_{0A} \exp\left(-\frac{x^2}{4(D_A t_A + D_A^* t_D)}\right) - C_{0D} \operatorname{erfc} \frac{x}{4\sqrt{D_D t_D}} - C_b, \quad (6.19)$$

bu yerda

$$C_{0A} = \frac{N_A}{\sqrt{\pi (D_A t_A + D_A^* t_D)}}, \quad (6.20)$$

D_A^* — donor diffuziyasi temperaturasiga mos keladigan akseptor kirishmasining diffuziya koeffitsiyenti.

Emitter p - n o'tishining chuqurligini topish uchun (6.18) ifodadan foydalaniladi. Bu ifodadagi C_b konsentratsiyaning qiymati donor hamda akseptor kirishmalar konsentratsiyalariga nisbatan ko'p marta kichik bo'lganligi uchun hisobga olinmaydi va ifoda nolga tenglashtiriladi. Unda (6.18) ifodadan quyidagini hosil qilamiz:

$$C_{0D} \operatorname{erfc} \frac{x_{p-n}^e}{2\sqrt{D_D t_D}} = C_{0A} \exp\left(-\frac{(x_{p-n}^e)^2}{4D_A t_A}\right). \quad (6.21)$$

erfc funksiyaning approksimatsiyasidan foydalanib, quyidagini topamiz:

$$C_{0D} \exp\left[-\left(\frac{x_{p-n}^e}{2\sqrt{D_D t_D}} + 0,3\right)^2\right] = C_{0A} \exp\left(-\frac{(x_{p-n}^e)^2}{4D_A t_A}\right). \quad (6.22)$$

(6.22) ifodadan:

$$x_{p-n}^e = \left[\left(\frac{1}{2\sqrt{D_D t_D}} + \frac{0,3}{x_{p-n}^e}\right)^2 - \frac{1}{4D_A t_A}\right]^{-\frac{1}{2}} \sqrt{\ln\left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}}\right)}. \quad (6.23)$$

Bu tenglama iteratsiya usuli bilan yechiladi, bunda boshlang'ich qiymat uchun

$$x_{p-n}^{e0} = 6\sqrt{D_D t_D} \quad (6.24)$$

ni qabul qilamiz, unda

$$x_{p-n}^{e1} \approx \left(\frac{1}{4D_D t_D} - \frac{1}{4D_A t_A} \right)^{-\frac{1}{2}} \sqrt{\ln\left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}}\right)}. \quad (6.25)$$

Emitter $p-n$ o'tish chuqurligining aniqroq ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$x_{p-n}^e = \left[\left(\frac{1}{2\sqrt{D_D t_D}} + \frac{0,3}{x_{p-n}^{e1}} \right)^2 - \frac{1}{4D_A t_A} \right]^{-\frac{1}{2}} \sqrt{\ln\left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}}\right)}. \quad (6.26)$$

Kollektor $p-n$ o'tishning chuqurligini aniqlashda uning emitter diffuziyasi vaqtidagi siljishini hisobga olish kerak bo'ladi, unda

$$x_{p-n}^k = 2\sqrt{D_A t_A + D_A^* t_D} \sqrt{\ln\left(\frac{C_{0A}}{C_b}\right)}, \quad (6.27)$$

bu yerda C_{0A} (6.20) formuladan aniqlanadi.

2- misol. Elektr o'tkazuvchanligi n -turli, solishtirma qarshiligi $\rho = 0,15 \, \Omega \cdot \text{sm}$ bo'lgan kremniyga ketma-ket bor va fosfor quyidagi rejimlarda diffuziya qilinmoqda: $T_A = 1200 \, ^\circ\text{C}$, $t_A = 1$ soat, $T_D = 1100 \, ^\circ\text{C}$, $t_D = 2$ soat. Bor atomlarining sirt zichligi $I_A^* = 5 \cdot 10^{14} \, \text{sm}^{-2}$, fosfor sirt konsentratsiyasi chegaraviy eruvchanligiga teng bo'lgan cheksiz kirishma manbayidan diffuziya qilinmoqda. Hosil bo'lgan $n-p-n$ strukturadagi kirishmalar taqsimoti profili hisoblansin.

Yechish:

1. $\rho = f(c)$ grafigidan (5- ilova) kremniyning boshlang'ich plastinasidagi donor kirishmaning konsentratsiyasini topamiz: $C_b = 5 \cdot 10^{16} \, \text{sm}^{-3}$.

2. $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) diffuziya koeffitsiyentlarining qiymatini topamiz: $D_A = 2 \cdot 10^{-12} \, \text{sm}^2/\text{s}$, $D_A^* = 2,5 \cdot 10^{-13} \, \text{sm}^2/\text{s}$, $D_D = 1 \cdot 10^{-13} \, \text{sm}^2/\text{s}$.

3. $C = f(T)$ grafigidan (4- ilova) fosforning chegaraviy eruvchanligini topamiz: $C_{0D} = 1,2 \cdot 10^{21} \, \text{sm}^{-3}$.

4. $D_A t_A$ va $D_A^* t_D$ ko'paytmalarning qiymatlarini solishtiramiz: $D_A t_A = 2 \cdot 10^{-12} \cdot 60 \cdot 60 = 7,2 \cdot 10^{-9} \, \text{sm}^2$, $D_A^* t_D = 2,5 \cdot 10^{-13} \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60 =$

$= 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^2$. Demak, $D_A t_A \gg D_A^* t_D$ va bundan taqsimotni qurish uchun (6.14) formuladan foydalanish mumkin ekanligi kelib chiqadi:

$$C(x, t) = C_{0A} \exp\left(-\frac{x^2}{4D_A t_A}\right) - C_{0D} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D_D t_D}} - C_b,$$

bu yerda $C_{0A} = \frac{N_A}{\sqrt{\pi D_A t_A}} = \frac{5 \cdot 10^{14}}{\sqrt{3,14 \cdot 7,2 \cdot 10^{-9}}} = 3,3 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$.

5. Taqsimotni qurishda x o'qidagi qadamni ratsional tanlab olish uchun kollektor va emitter o'tishlarning joylashgan chuqurliklarini aniqlaymiz:

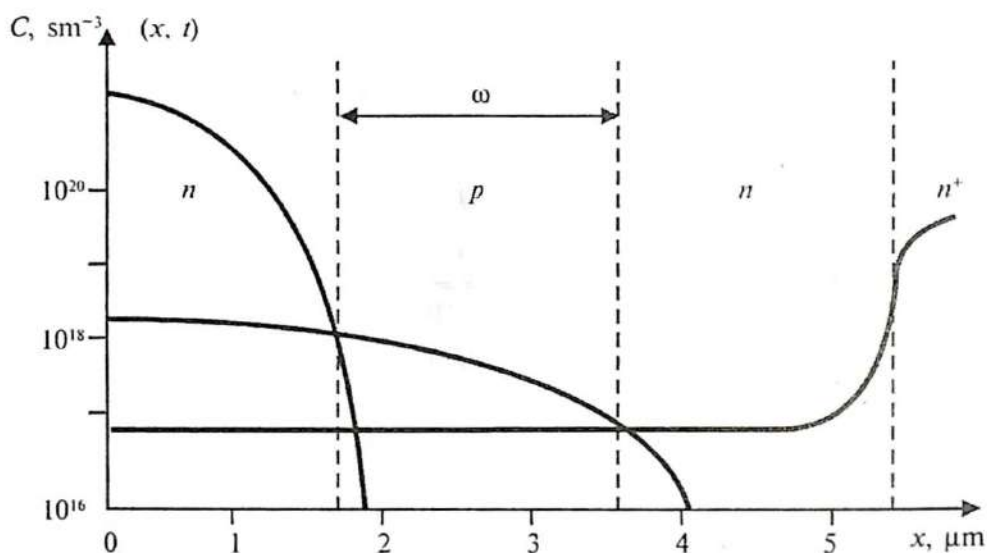
$$\begin{aligned} x_{p-n}^K &= 2\sqrt{D_A t_A} \cdot \sqrt{2,3 \lg\left(\frac{C_{0A}}{C_b}\right)} = 2\sqrt{7,2 \cdot 10^{-9}} \cdot \sqrt{2,3 \lg\left(\frac{3,3 \cdot 10^{18}}{5 \cdot 10^{16}}\right)} = \\ &= 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ sm} = 3,5 \text{ } \mu\text{m}. \end{aligned}$$

Emitter $p-n$ o'tish joylashgan chuqurlikni topish uchun (6.17)–(6.19) formulalardan foydalanamiz:

$$x_{p-n}^{e0} \approx 6\sqrt{D_D t_D} = 6\sqrt{1 \cdot 10^{-13} \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ sm} = 1,6 \text{ } \mu\text{m};$$

$$\begin{aligned} x_{p-n}^{e1} &= \left(\frac{1}{4D_D t_D} - \frac{1}{4D_A t_A}\right)^{-\frac{1}{2}} \sqrt{2,3 \lg\left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}}\right)} = \\ &= \left(\frac{1}{4 \cdot 7,2 \cdot 10^{-10}} - \frac{1}{4 \cdot 7,2 \cdot 10^{-9}}\right)^{-\frac{1}{2}} \sqrt{2,3 \lg\left[\frac{1,2 \cdot 10^{21}}{3,3 \cdot 10^{18}}\right]} = 1,35 \cdot 10^{-4} \text{ sm} = 1,35 \text{ } \mu\text{m}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{p-n}^e &= \left[\left(\frac{1}{2\sqrt{D_D t_D}} + \frac{0,3}{x_{p-n}^{e1}}\right)^2 - \frac{1}{4D_A t_A}\right]^{-\frac{1}{2}} \sqrt{2,3 \lg\left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}}\right)} = \\ &= \left[\left(\frac{1}{2 \cdot \sqrt{7,2 \cdot 10^{-10}}} + \frac{0,3}{1,35 \cdot 10^{-4}}\right)^2 - \frac{1}{4 \cdot 7,2 \cdot 10^{-9}}\right]^{-\frac{1}{2}} \sqrt{2,3 \lg\left(\frac{1,2 \cdot 10^{21}}{3,3 \cdot 10^{18}}\right)} = \\ &= 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ sm} = 1,2 \text{ } \mu\text{m}. \end{aligned}$$



6.14- rasm. Ikkilangan ketma-ket diffuziya natijasida olingan n - p - n tranzistorida kirishma taqsimotining hisoblangan profili.

6. Taqsimotni quramiz:

$$C(x, t) = 3,3 \cdot 10^{18} \exp\left(-\frac{x^2}{2,84 \cdot 10^{-8}}\right) - 1,2 \cdot 10^{21} \operatorname{erfc} \frac{x}{5,35 \cdot 10^{-5}} - 5 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}.$$

$x = 1,2 \mu\text{m}$ chuqurlikkacha $0,3 \mu\text{m}$ li qadamdan foydalanamiz, $x = 1,5 - 3,5 \mu\text{m}$ chuqurlikda qadamni $0,5 \mu\text{m}$ qilib olamiz. Odatda, bunday taqsimot alohida olingan egri chiziqlar ko'rinishida ifodalanadi (6.14- rasm).

Diffuziya rejimlarini aniqlash. Endi teskari masalalarni yechishga o'tamiz. Teskari masalalar amaliyotda muhim ahamiyatga ega, chunki diffuziya jarayonini o'tkazish uchun diffuziya rejimlarini: vaqtini va temperaturasini aniq bilish kerak bo'ladi. Teskari masalalarni aniq yechish ko'pincha Dt ko'paytmanni aniqlashga olib kelinadi. Undan keyin ko'pincha T temperaturaning qiymati qabul qilib olinadi va shu bo'yicha kirishmaning diffuziya koeffitsiyenti topiladi. Undan keyin esa diffuziya vaqti t aniqlanadi. Ba'zan kirishmaning chegaraviy erishi-ning temperaturaga bog'liqligini ham hisobga olishga to'g'ri keladi.

Kirishma taqsimoti parametrlariga asosan diffuziya rejimlarini aniqlash. Bir bosqichli diffuziya yoki haydash bosqichini hisoblash uchun teskari masalani yechish juda oddiy. Masalan, ion implantatsiya

yordami bilan hosil qilingan miqdori cheklangan kirishmali qatlamdan diffuziya jarayoni o'tkazilmoqda. Unda

$$x_{p-n} = 2\sqrt{Dt} \sqrt{\ln\left(\frac{C_0}{C_b}\right)}, \quad (6.28)$$

formulaga asosan quyidagini yozishimiz mumkin:

$$Dt = \frac{x_{p-n}^2}{4 \ln\left(\frac{C_0}{C_b}\right)}. \quad (6.29)$$

Endi diffuziya jarayonining yoki temperaturasini, yoki vaqtini tanlab olish kerak. Agar ishlab chiqarish minimal vaqt talab qilsa, unda jarayon temperaturasi hisoblangan diffuziya koeffitsiyenti orqali aniqlanadi:

$$Dt = \frac{x_{p-n}^2}{4t \ln\left(\frac{C_0}{C_b}\right)}. \quad (6.30)$$

3- misol. Solishtirma qarshiligi $\rho = 1 \Omega \cdot \text{sm}$ bo'lgan p -turli kremniya ion implantatsiya yordamida kiritilgan mishyak As tarqatilmoqda. Agar p -n o'tishning chuqurligi $x_{p-n} = 0,5 \mu\text{m}$, sirt konsentratsiyasi $C_0 = 1,5 \cdot 10^{20} \text{sm}^{-3}$, jarayonning vaqti bo'lsa $t = 1$ soat, mishyakni tarqatish bosqichi o'tkazilayotgan diffuziyaning temperaturasi aniqlansin va kremniya kiritiladagan mishyak atomlarining miqdori topilsin.

Yechish:

1. $\rho = f(C)$ grafigidan (5- ilova) C_b aniqlanadi: $C_b = 1,5 \cdot 10^{16} \text{sm}^{-3}$.
2. Diffuziya koeffitsiyentini hisoblaymiz:

$$D = \frac{x_{p-n}^2}{4t \ln\left(\frac{C_0}{C_b}\right)} = \frac{0,25 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2,3 \lg\left(\frac{1,5 \cdot 10^{20}}{1,5 \cdot 10^{16}}\right)} = 1,9 \cdot 10^{-14} \text{sm}^2/\text{s}.$$

3. Mishyakning topilgan kremniydagi diffuziya koeffitsiyenti qiymatiga $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) 1070°C temperatura mos keladi: $T = 1070^\circ\text{C}$.

4. Birlik yuzaga kiritilgan mishyak atomlarining miqdori sirt konsentratsiyasining ifodasi asosida topiladi: $C_0 = \frac{N}{\sqrt{\pi Dt}}$;

$$N = C_0 \sqrt{\pi Dt} = 1,5 \cdot 10^{20} \sqrt{3,14 \cdot 1,9 \cdot 10^{-14} \cdot 1 \cdot 60 \cdot 60} = 2,2 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}.$$

4- misol. Solishtirma qarshiligi $\rho = 10 \Omega \cdot \text{sm}$ bo'lgan n -turdagi kremniyga bor ikki bosqichli diffuziya qilinmoqda. Agar kirishmaning taqsimoti quyidagi parametrlarga $C_{02} = 5 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$, $x_{p-n} = 2,5 \mu\text{m}$ ega bo'lsa, kiritish va tarqatish jarayonlarining temperaturalari va vaqtlarini aniqlang.

Yechish.

1. $\rho = f(C)$ grafigidan (5- ilova) C_b ni topamiz: $C_b = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$.

2. $D_2 t_2$ ko'paytmani hisoblaymiz:

$$D_2 t_2 = \frac{x_{p-n}}{4 \ln \left(\frac{C_{02}}{C_b} \right)} = \frac{6,25 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 2,3 \lg \left(\frac{5 \cdot 10^{18}}{4,5 \cdot 10^{14}} \right)} = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^2.$$

3. T_2 temperaturani 1150°C deb qabul qilamiz: $T_2 = 1150^\circ\text{C}$. $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) T_2 temperaturaga mos keladigan diffuziya koeffitsiyenti D_2 ni topamiz: $D_2 = 7,2 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2/\text{s}$. Bunga asosan t_2 vaqtni hisoblaymiz:

$$t_2 = \frac{1,7 \cdot 10^{-9}}{D_2} = \frac{1,7 \cdot 10^{-9}}{7,2 \cdot 10^{-13}} = 2,36 \cdot 10^3 \approx 40 \text{ min}.$$

4. Borning kiritish bosqichi temperaturasini 1050°C deb qabul qilamiz: $T_1 = 1050^\circ\text{C}$. Bu temperaturaga mos keladigan borning eruvchanligi C_{01} ni $C = f(T)$ grafigidan (4- ilova), diffuziya koeffitsiyenti D_1 ni $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) topamiz: $C_{01} = 3 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$, $D_1 = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ sm}^2/\text{s}$.

5. Kiritish vaqtini hisoblaymiz:

$$t_1 = \frac{D_2}{D_1} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{C_{02}}{C_{01}} \right)^2 t_2 = \frac{7,2 \cdot 10^{-13}}{6,9 \cdot 10^{-14}} \left(\frac{3,14}{2} \cdot \frac{5 \cdot 10^{18}}{3 \cdot 10^{20}} \right)^2 \cdot 2,4 \cdot 10^3 = 10,6 \text{ s}.$$

Bunday vaqt davomida kiritish jarayonini amalda bajarib bo'lmaydi, shu sababli kirishma yo borning cheklangan manbayidan, yoki ion implantatsiya usuli yordamida kiritilishi kerak bo'ladi.

6. Kiritish bosqichida kiritilishi kerak bo'lgan bor atomlari miqdorini hisoblaymiz:

$$N = C_{02} \sqrt{\pi D_2 t_2} = 5 \cdot 10^{18} \sqrt{3,14 \cdot 1,7 \cdot 10^{-9}} = 3,6 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}.$$

Diffuzantning cheklangan manbasidan foydalanilganda kiritish vaqti t_1 ni o'zimiz qabul qilib olamiz va $D_1 \cdot C_{01}^2 = D_2 C_{02}^2 \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \frac{t_2}{t_1}$ ko'paytmaning qiymatini aniqlaymiz.

7. $t_1 = 10$ min deb olamiz, unda

$$D_1 C_{01}^2 = 7,2 \cdot 10^{-13} \cdot 25 \cdot 10^{36} \left(\frac{3,14}{2} \right)^2 \cdot \frac{2,4 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^2} = 1,78 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{sm}^4 \cdot \text{s}}.$$

8. $T_1 = 1050$ °C ga teng deb qabul qilamiz. Bu temperaturaga mos keluvchi borning kremniydagi diffuziya koeffitsiyentining qiymati $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) topiladi: $D_1 = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ sm}^2/\text{s}$ va C_{01} hisoblanadi:

$$C_{01} = \sqrt{\frac{1,78 \cdot 10^{26}}{D_1}} = \sqrt{\frac{1,78 \cdot 10^{26}}{6,9 \cdot 10^{-14}}} \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}.$$

Ikkilangan ketma-ket diffuziya rejimlarini aniqlash. Yuqoridagi misollarda kirishma bir jinsli legirlangan yarimo'tkazgichga diffuziya qilingan edi. Ikkilangan ketma-ketli diffuziyada emitter diffuziyasi bir jinsli bo'lmagan legirlangan baza sohasiga diffuziya qilinadi. Shu sababli texnologik rejimlarni hisoblash murakkablashadi. Hisoblash uchun boshlang'ich ma'lumotlar sifatida kollektor va emitterli p - n o'tishlarining chuqurliklari x_{p-n}^k , x_{p-n}^e , epitaksial qatlamdagi kirishma konsentratsiyasi C_b , diffuziyalanayotgan akseptor va donor kirishmalarning sirt konsentratsiyalari C_{0A} , C_{0D} kerak bo'ladi.

Aniqlanishi kerak bo'lgan parametrlar: baza diffuziyasida akseptorli kirishmani kiritish rejimlari: $(T_{A1}; t_{A1}; N_A)$ va tarqatish rejimlari: $(T_{A2}; t_{A2})$ hamda emitter diffuziyasida donorli kirishmani tarqatish rejimlari: $(T_D; t_D)$.

Baza diffuziyasining rejimini hisoblash bir jinsli legirlangan yarimo'tkazgichga ikki bosqichli diffuziya rejimini hisoblash kabi bir xil bo'ladi. Hisoblashni soddalashtirish uchun emitter diffuziyasi jarayonida akseptor kirishmasi taqsimoti sezilarli siljimaydi deb qabul qilinadi:

$$(Dt)_{eff} = D_{A2} \cdot t_{A2} + D_{A3} \cdot t_{D1} \approx D_{A2} \cdot t_{A2}, \quad (6.31)$$

bu yerda D_{A3} — akseptor kirishmasining emitter diffuziyasi jarayonidagi diffuziya koeffitsiyenti.

Emitter diffuziyasi rejimini hisoblashda (4.20) ifodadan foydalaniladi. Bu tenglik $D_D \cdot t_D$ ko'paytmaga nisbatan yechilib, diffuziya jarayonining temperaturasi va vaqti aniqlanadi:

$$D_D \cdot t_D = \frac{(x_{p-n}^e)^2}{4 \left[\sqrt{\ln \left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}} \right) + \frac{(x_{p-n}^e)^2}{(4 D_A t_A)}} - 0,3 \right]^2}. \quad (6.32)$$

5- misol. Kremniyga borning bazaviy diffuziyasida kiritish (T_{A1} , t_{A1} , N_A) va tarqatish rejimlari (T_{A2} , t_{A2}) hamda emitter diffuziyasida fosforning kiritish rejimi (T_D , t_D) quyida berilgan boshlang'ich ma'lumotlar asosida aniqlansin: $C_b = 5 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$, $x_{p-n}^e = 1,2 \text{ } \mu\text{m}$, $x_{p-n}^k = 3,5 \text{ } \mu\text{m}$, $C_{0A} = 3,3 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$, $C_{0D} = 1,2 \cdot 10^{21} \text{ sm}^{-3}$.

Yechish.

Avvaliga baza diffuziyasi rejimlarini aniqlaymiz.

1. Ko'paytmani hisoblaymiz:

$$D_{A2} t_{A2} = \frac{(x_{p-n}^e)^2}{4 \ln(C_{0A} / C_b)} = \frac{12,25}{4 \cdot 2,3 \lg[3,3 \cdot 10^{18} / (5 \cdot 10^{16})]} = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^{-2}.$$

2. Tarqatish bosqichi uchun temperaturaning qiymatini $T_{A2} = 1150 \text{ } ^\circ\text{C}$ deb olamiz. Unda $D = f(T)$ grafigidan shu temperaturaga mos keladigan borning kremniydagi diffuziya koeffitsiyenti $D_{A2} = 7,2 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2/\text{s}$ ga teng ekanligi topiladi. Shu asosda jarayon vaqtini hisoblaymiz:

$$t_{A2} = \frac{7,3 \cdot 10^{-9}}{D_{A2}} = \frac{7,3 \cdot 10^{-9}}{7,2 \cdot 10^{-13}} = 1,01 \cdot 10^4 \text{ s} = 2 \text{ soat } 50 \text{ min}.$$

3. Baza diffuziyasi uchun kerak bo'ladigan bor atomlarining sirt zichligini topamiz:

$$N_A = C_{0A} \sqrt{\pi D_{A2} t_{A2}} = 3,3 \cdot 10^{18} \sqrt{3,14 \cdot 7,3 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}.$$

4. Kiritish rejimini quyidagi ko'paytma asosida tanlab olamiz:

$$D_{A1} t_{A1} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{N_A}{C_{0A1}} \right)^2 = D_{A2} t_{A2} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{C_{0A}}{C_{0A1}} \right)^2.$$

Borni kiritish temperaturasini $T_{A1} = 1050 \text{ } ^\circ\text{C}$ deb qabul qilamiz va $C = f(T)$ grafigidan bu temperaturaga mos keluvchi C_{0A1} , $D = f(T)$ grafigidan D_{A1} topiladi: $C_{0A1} = 3 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$, $D_{A1} = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ sm}^2/\text{s}$.

Borni kiritish vaqti:

$$t_{A1} = \frac{D_{A2}}{D_{A1}} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{C_{0A}}{C_{0A1}} \right)^2 t_{A2} = \frac{7,2 \cdot 10^{-13}}{6,9 \cdot 10^{-14}} \cdot \left(\frac{3,14}{2} \cdot \frac{3,3 \cdot 10^{18}}{3 \cdot 10^{20}} \right)^2 \cdot 1,01 \cdot 10^4 \approx 30 \text{ s.}$$

Bu vaqt ichida kiritish jarayonini amalga oshirib bo'lmaydi. Shu sababli 4- misoldagi kabi $t_{A1} = 10 \text{ min}$ deb olamiz va quyidagi ko'paytmani hisoblaymiz:

$$D_{A1} C_{0A1}^2 = D_{A2} C_{0A}^2 \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 t_{A2} / t_{A1} =$$

$$= 7,2 \cdot 10^{-13} \cdot (3,3 \cdot 10^{18})^2 \cdot \left(\frac{3,14}{2} \right)^2 \cdot \frac{1,01 \cdot 10^4}{6 \cdot 10^2} = 3,24 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{sm}^4 \cdot \text{s}}.$$

$C_{0A1} = 5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ deb qabul qilamiz, unda

$$D_{A1} = \frac{3,24 \cdot 10^{26}}{C_{0A1}^2} = \frac{3,24 \cdot 10^{26}}{(5 \cdot 10^{19})^2} = 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2 / \text{s}.$$

Diffuziya koeffitsiyentining bu qiymatiga mos keladigan temperatura $D = f(T)$ grafigidan topiladi: $T_{A1} \approx 1065^\circ \text{C}$.

7. Emitter diffuziyasi rejimini aniqlash uchun quyidagi ko'paytmani topamiz:

$$D_D t_D = \frac{(x_{p-n}^e)^2}{4 \left[\sqrt{2,3 \lg(C_{0D}/C_{0A}) + (x_{p-n}^e)^2 / (4 D_{A2} t_{A2})} - 0,3 \right]^2} =$$

$$= \frac{1,44 \cdot 10^{-8}}{4 \left[\sqrt{2,3 \lg[1,2 \cdot 10^{21} / (3,3 \cdot 10^{18})] + 1,44 \cdot 10^{-8} / (4 \cdot 7,2 \cdot 10^{-9})} - 0,3 \right]^2} = 7,2 \cdot 10^{-10} \text{ sm}^2.$$

8. Emitter diffuziyasi vaqtini belgilab olamiz: $t_D = 1$ soat, fosforning diffuziya koeffitsiyentining qiymati $D_D = 7,2 \cdot 10^{-10} / (60 \cdot 60) = 2 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2 / \text{s}$. $D = f(T)$ grafigidan foydalanib, bunga to'g'ri keladigan temperaturani aniqlaymiz: $T_D = 1125^\circ \text{C}$.

Emitter diffuziyasi vaqtida bor konsentratsiyasining taqsimoti o'zgarimas, deb qabul qilgan farazimizning qanchalik to'g'riligini baholaymiz. $T = 1125^\circ \text{C}$ uchun $D_{A3} t_D = 4 \cdot 10^{-13} \cdot 60 \cdot 60 = 1,44 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^2$, $D_{A2} t_{A2} = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^2$.

Shunday qilib, $D_{A2} t_{A2} \gg D_{A3} t_D$ tengsizlik keraklicha bajarilayapti.

Quyida emitter diffuziyasi jarayonida kollektor o'tishining siljishini hisobga olish kerakligiga oid misol keltirilgan.

6- misol. Elektr o'tkazuvchanligi n -tur bo'lgan kremniyning boshlang'ich epitaksial qatlamidagi donorli kirishmaning konsentratsiyasi $C_b = 5 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ hamda $x_{p-n}^e = 1 \text{ } \mu\text{m}$, $x_{p-n}^k = 2 \text{ } \mu\text{m}$, $C_{0A} = 3 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$, $C = 5 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$ bo'lgan holat uchun ion imlantatsiya usuli bilan baza sohasini hosil qilish uchun kiritilayotgan bor atomlari miqdori va kiritish rejimi T_{A2} , t_{A2} , ion implantatsiya yordamida emitter sohasini hosil qilish uchun kiritiladigan fosfor atomlari miqdori va kiritish rejimi T_{D2} , t_{D2} aniqlansin.

Yechish.

1. Baza diffuziyasini qo'rib chiqamiz. Emitter diffuziyasi vaqtidagi yuqori temperaturaning ta'sirini hisobga olish uchun quyidagi kattalikni kiritamiz:

$$D_A t_A = D_{A2} t_{A2} + D_{A3} t_D,$$

bu yerda $D_{A3} - T_D$ temperaturadagi borning diffuziya koeffitsiyenti.

Ko'paytmani hisoblaymiz:

$$D_A t_A = \frac{(x_{p-n}^k)^2}{4 \ln \left(\frac{C_{0A}}{C_D} \right)} = \frac{4 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 2,3 \lg [3 \cdot 10^{18} / (5 \cdot 10^{15})]} = 1,565 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^2.$$

2. Birlik yuzaga kiritilishi kerak bo'lgan bor atomlari miqdori:

$$N_A = C_{0A} \sqrt{\pi D_A t_A} = 3 \cdot 10^{18} \sqrt{3,14 \cdot 1,565 \cdot 10^{-9}} = 2,1 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}.$$

3. Emitter diffuziyasini ko'rib chiqamiz. Fosfor atomlari ion imlantatsiya usuli yordamida kiritilayotganligi sababli emitter diffuziyasi kirishma miqdori cheklangan qatlamdan kiritish bosqichiga o'xshash bo'ladi. Shu sababli emitter o'tishi joylashgan chuqurligi Gauss egri chiziqlari bilan tasvirlanadigan ikkita taqsimotning tenglik shartidan topiladi:

$$C_{0D} \exp \left(-\frac{(x_{p-n}^k)^2}{4 D_D t_D} \right) = C_{0A} \exp \left(-\frac{(x_{p-n}^e)^2}{4 D_A t_A} \right).$$

Bu ifodadan quyidagi ko'paytmani topamiz:

$$D_D t_D = \left[\frac{4 \ln \left(\frac{C_{0D}}{C_{0A}} \right)}{(x_{p-n}^e)^2} + \frac{1}{D_A t_A} \right]^{-1} = \left[\frac{4 \cdot 2,3 \lg [5 \cdot 10^{20} / (3 \cdot 10^{18})]}{1 \cdot 10^{-8}} + \frac{1}{1,565 \cdot 10^{-9}} \right]^{-1} = 3,73 \cdot 10^{-10} \text{ sm}^2.$$

4. Birlik yuzaga kiritilishi kerak bo'lgan fosfor atomlarining miqdorini hisoblaymiz:

$$N_A = C_{0A} \sqrt{\pi D_A t_A} = 5 \cdot 10^{20} \sqrt{3,14 \cdot 3,73 \cdot 10^{-10}} = 1,71 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-2}.$$

5. Emitter diffuziyasining temperaturasi qabul qilamiz: $T_D = 1100^\circ\text{C}$. Bu temperaturaga to'g'ri keladigan fosforning diffuziya koeffitsiyentini grafikdan aniqlaymiz: $D_D = 1,1 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2/\text{s}$. Unda emitter diffuziyasi vaqti

$$t_D = 3,73 \cdot 10^{-10} / D_D = 3,73 \cdot 10^{-10} / (1,1 \cdot 10^{-13}) = 3,39 \cdot 10^3 \text{ s} = 56,5 \text{ min}.$$

6. Baza diffuziyasining rejimlarini aniqlaymiz. $T_D = 1100^\circ\text{C}$ da borning diffuziya koeffitsiyenti $D_{A3} = 2,5 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2/\text{s}$ ga teng ekanligi $D = f(T)$ grafigidan (6- ilova) topiladi.

$D_{A2} t_{A2}$ ko'paytmani hisoblaymiz:

$$D_{A2} t_{A2} = D_A t_A - D_{A3} t_D = 1,565 \cdot 10^{-9} - 2,5 \cdot 10^{-13} \cdot 3,39 \cdot 10^3 = 7,2 \cdot 10^{-10} \text{ sm}^2$$

7. Baza diffuziyasining temperaturasi qabul qilamiz: $T_{A2} = 1150^\circ\text{C}$. Bunga to'g'ri keladigan borning diffuziya koeffitsiyentini grafikdan (6- ilova) aniqlaymiz: $D_{A2} = 7,2 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2/\text{s}$. Bazaviy diffuziyaning vaqti:

$$t_{A2} = 7,2 \cdot 10^{-10} / D_{A2} = 7,2 \cdot 10^{-10} / (7,2 \cdot 10^{-13}) = 10^3 \text{ s} = 16 \text{ min } 45 \text{ s}.$$

8. Baza diffuziyasidan keyin hosil bo'lgan diffuziyali baza qatlami-ning parametrlarini baholaymiz. Borning sirt konsentratsiyasi

$$C_{0A}^* = \frac{N_A}{\sqrt{\pi D_{A2} t_{A2}}} = \frac{2,1 \cdot 10^{14}}{\sqrt{3,14 \cdot 7,2 \cdot 10^{-10}}} = 4,4 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}.$$

Kollektor o'tishining joylashgan chuqurligi

$$\begin{aligned} x_{p-n}^* &= 2\sqrt{D_{A2} t_{A2}} \sqrt{2,3 \lg(C_{0A}^* / C_b)} = \\ &= 2\sqrt{7,2 \cdot 10^{-10}} \cdot \sqrt{2,3 \lg[4,4 \cdot 10^{18} / (5 \cdot 10^{15})]} \approx \\ &\approx 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ sm} = 1,4 \text{ } \mu\text{m}. \end{aligned}$$

Shunday qilib, baza diffuziyasidan keyin borning sirt konsentratsiyasi va kollektor o'tishining chuqurligi talab qilingan qiymatlaridan anchaga farq qilib, bu qiymatlarga emitter diffuziyasidan keyingina erishilar ekan.

Ko'rib o'tilgan 5- va 6- misollar $D_{A_2}t_{A_2}$ va $D_{A_3}t_D$ ko'paytmalarning nisbatlariga bog'liq holda baza diffuziyasi natijasida hosil qilingan kirishmaning taqsimotiga emitter diffuziyasining ta'sirini hisobga olish kerakligi yoki kerak emasligini ko'rsatadi.



Ionli legirlash

Ionli legirlash birinchi marta p-n o'tishni tayyorlash uchun amerikalik olim Shokli tomonidan 1954- yilda qo'llanilgan. Ion implantatsiya usulida kirishmalarning musbat zaryadli ionlari ion nurli tezlatkichda yuqori tezlikkacha tezlashtirilib kristall sirtiga bombardimon qilinib kiritiladi. Kristall panjarasiga kiritilgan kirishma ioni uni legirlaydi va shu vaqtning o'zida radiatsion buzilishlar ham hosil qiladi. Kiritilgan ionlar konsentratsiyasining taqsimoti Gauss egri chizig'i bilan ifodalanadi va uning asosiy parametri tezlangan ionlarning yugurish yo'li hisoblanadi. Kichik dozali nurlanishda hosil bo'ladigan radiatsiyali buzilishlar yarimo'tkazgichning kristall strukturasi buzmaydi, biroq kirishma atomlarining katta dozasi bilan nurlanganda kristall amorf lanadi. Mana shu buzilishlarni yo'qotish va kiritilgan kirishma atomlarini aktivlash uchun kristall qizdiriladi.

Ion implantatsiya usuli kiritish (zagonka) bosqichi texnologiyasida kirishma atomlarining aniq o'lchangan miqdorini kiritishda keng qo'llanilmoqda. Bular esa kirishma profilini shakllantirish uchun o'tkaziladigan keyingi diffuzion tarqatish (razgonka) bosqichida kirishma manbayi bo'lib xizmat qiladi. Bundan tashqari bipolar tranzistorlarda yupqa baza sohasini hosil qilish, MDY tranzistorlarida bo'sag'a kuchlanishini boshqarish va boshqa maqsadlar uchun implantatsiyadan foydalaniladi.

Ion implantatsiyali strukturalarni nazorat qilish uchun kiritilgan atomlarning profil taqsimoti tekshiriladi va zaryad tashuvchilarning effektiv sirt konsentratsiyasi o'lchanadi.

Implantatsiya to'g'risida fizik tushunchalar. Ion implantatsiya usulining mohiyati energiyalari 10 keV dan 1 MeV gacha bo'lgan tezlangan ionlarning nurli oqimi bilan qattiq jismlarning xossalari va strukturalarini o'zgartirish maqsadida ularni bombardimon qilishdir.

Implantatsiya jarayonidagi asosiy hodisalar. Tezlangan ionlar atom yadrosidagi musbat zaryadlarning itaruvchi kuchlarini yengib kristall panjaraga kirib boradi. Bunda ionlarning kirish chuqurligi ularning energiyasi oshib borishi bilan ortib boradi. Yengil ionlar og'ir ionlarga qaraganda chuqurroqqa kiradi, biroq og'ir ionlarning harakat trayektoriyalari to'g'ri chiziqqa yaqinroqdir. Ionlarning implantatsiyasi davomida radiatsiyali nuqsonlar yig'ilib boradi. Kiritilgan ionlarning ko'pchisi

ligi tugun oralig'ida joylashadi va elektr jihatdan noaktiv hisoblanadi. Ularni tugunga o'tqazish ya'ni aktivlashtirish uchun yarimo'tkazgichlar qizdiriladi (otjig). Qizdirish jarayoni davomida radiatsiyali nuqsonlar parchalanadi va kiritilgan kirishmalar vakant tugunlarga joylashadi, buning natijasida o'tkazuvchanligi p - yoki n -turli bo'lgan qatlam hosil bo'ladi.

Ionning o'rtacha to'liq yugurishi. Ionlarning moddaga kirish chuqurligi yugurish yo'li bilan xarakterlanadi. Alohida ionning trayektoriyasi siniq chiziq kabi bo'ladi va bundagi har bir to'g'ri chiziqli qism va to'la uzunlik har xil bo'ladi. Shu sababli har bir ionning yugurishlarining jamlanmasi tasodifiy kattaliklar taqsimotining normal qonuni bo'yicha o'rtacha to'la yugurish yo'li R va yugurish yo'lining o'rtacha kvadratik og'ishi ΔR qiymatlari bilan guruhlanadi. Amalda ionning boshlang'ich tezligi yo'nalishidagi proyeksiyalari bo'lgan o'rtacha normal yugurish yo'li R_p va uning o'rtacha kvadratik og'ishi ΔR_p ahamiyatga ega.

6.1- jadvalda kremniyda 20–200 keV energiyali bir necha ionlar uchun o'rtacha normal yugurish va yugurishning standart og'ishlarining qiymatlari nanometrda keltirilgan.

6.1- jadval

E, keV		$^{11}\text{V}^+$	$^{27}\text{Al}^+$	$^{31}\text{P}^+$	$^{75}\text{As}^+$	$^{121}\text{Sb}^+$
20	R_p	78	29	26	16	14
	ΔR_p	32	11	9,4	3,7	2,4
40	R_p	161	56	49	27	23
	ΔR_p	54	19	16,4	6,2	3,8
60	R_p	244	85	73	38	31
	ΔR_p	71	27	23	8,4	5,1
80	R_p	324	114	98	48	38
	ΔR_p	84	35	30	10,5	6,3
100	R_p	398	144	123	58	46
	ΔR_p	94	42	35	12,5	7,4
120	R_p	469	175	149	68	53
	ΔR_p	102	48	41	14,5	8,4
140	R_p	537	205	175	79	60
	ΔR_p	110	54	47	16	9,5
160	R_p	603	236	201	89	67
	ΔR_p	116	60	52	18	10,5
180	R_p	665	266	228	99	74
	ΔR_p	121	60	57	20	11,5
200	R_p	725	297	254	110	81
	ΔR_p	126	70	61	22	12,5

Kiritilgan ionlar yugurishlarining taqsimoti. Kiritilgan ionlar taqsimotining profili nurlangan qatlam chuqurligi bo'yicha o'rtacha normal yugurish yo'li taqsimotining xarakteri bilan aniqlanadi. Agar ionlar oqimi ixtiyoriy sirt yuzasiga tushsa nooriyentirlangan tushish deyiladi. Bunday holda kiritilgan atomlarning taqsimoti Gauss egri chizigi bilan ifodalanadi:

$$C(x) = \frac{N}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-R_p}{\Delta R_p} \right)^2 \right]. \quad (6.33)$$

Bunda kirshmalar konsentratsiyasining maksimumi diffuziya usulidagidan farqli o'laroq, sirtida emas, balki $x = R_p$ chuqurlikda yotadi:

$$C_{\max} = \frac{0,4N}{\Delta R_p}. \quad (6.34)$$

$R_p \pm \Delta R_p$ chuqurlikdagi konsentratsiyaning maksimal konsentratsiyaga nisbati:

$$\frac{C(R_p \pm \Delta R_p)}{C_{\max}} = \frac{1}{\sqrt{e}} = 0,607. \quad (6.35)$$

Bundan yugurishlarning dispersiyasini (standart og'ish) tajriba yo'li bilan hosil qilingan taqsimot profilidan aniqlashda foydalaniladi.

Ion implantatsiya rejimlari. Ion implantatsiya rejimlarini aniqlashdagi asosiy parametrlar *tezlangan ionlarning energiyasi* va *nurlanish dozasi* hisoblanadi. Zaryadi q (C) bo'lgan ion potentsiallar farqi U (V) ta'sirida E (J) energiyaga ega bo'ladi:

$$E = qU. \quad (6.36)$$

Amalda tezlangan ionlarning energiyasi elektron-volt (eV) yoki kiloelektron-voltlarda ifodalanadi (keV). Agar ionlashish darajasi $n = 1, 2, 3$ elektron bo'lsa, ionning zaryadi 1 dan $3e$ gacha o'zgaradi. Umumiy holda

$$q = ne. \quad (6.37)$$

Ionlashish darajasini belgilash uchun «+» simvolidan foydalaniladi. Masalan $^{31}\text{P}^+$, $^{31}\text{P}^{++}$, $^{31}\text{P}^{+++}$ kabi. Bu yerda 31 soni fosfor ionining atom massasini ko'rsatadi.

Nurlanish dozasi deganda berilgan vaqt ichida birlik yuzani bombardimon qilayotgan zarrachalar miqdori tushyniladi. Nurlanish dozasi Q (C/m²) ion tokining zichligi j (A/m²) va nurlanish vaqti t (s) bilan aniqlanadi:

$$Q = jt. \quad (6.38)$$

Dozani birlik sirtga kiritilgan zarrachalar miqdori (ion/m^2) orqali ifodalash uchun Q ning kattaligi bitta ionning zaryadiga bo'linadi:

$$N = Q/q = j \cdot t / (e \cdot n) . \quad (6.39)$$

Elektronning zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ekanligini e'tiborga olsak, Q ning o'lchamlari $\mu\text{C}/\text{sm}^2$ bo'lsa, nurlanish dozasi (ion/sm^2):

$$N = 6,25 \cdot 10^{12} Q/n . \quad (6.40)$$

Ion implantatsiya usuli planar texnologiyada asosiy hisoblanib, u ionlarning dozali miqdori ko'rinishidagi kirishmalar kiritish bosqichini diffuziyali tarqatish bosqichi bilan birga o'tkazish imkoniyatini beradi. Seriyali ishlab chiqarishda ion implantatsiya usulining foydalanilishi asoslanadigan asosiy ustunligi shundaki, plastina sirtiga kiritilayotgan kirishma miqdorini aniq nazorat qilish mumkinligi va sirtning yuqori darajada bir jinsli legirlanishidir.

Ion implantatsiya qilingan qatlamdan kirishmalarning diffuziyasi. Kichik dozali $Q \leq 10^2 \mu\text{C}/\text{sm}^2$ nurlanishlar uchun ion-implantatsiya usuli bilan legirlangan qatlamdan kirishmalarning diffuziyasini kirishmaning miqdori cheklangan manbadagi kabi bo'lyapti deb qabul qilish mumkin:

$$C(x, t) = \frac{N}{\sqrt{\pi D t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 D t}\right) . \quad (6.41)$$

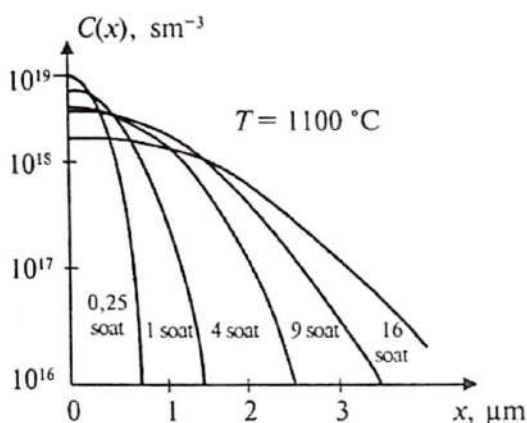
Faqat bu tenglamada implantatsiya bilan hosil qilingan kirishmaning avvalgi taqsimotini hisobga olish kerak bo'ladi. Bunda qo'shma taqsimot quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$C(x, t) = \frac{N}{\sqrt{\pi}(\sqrt{2}\Delta R_p + \sqrt{D t})} \exp\left[-\left(\frac{x - R_p}{\sqrt{2}\Delta R_p + 2\sqrt{D t}}\right)^2\right] . \quad (6.42)$$

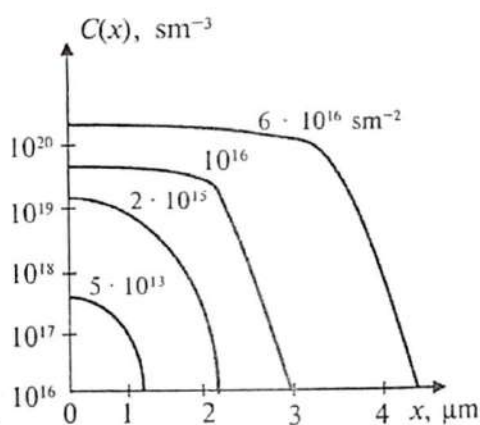
Implantatsiyadan keyin hamda past temperaturali qizdirishdan (отжиг) keyin $\sqrt{D t} \ll \Delta R_p$ bo'lganligi uchun (6.42) ifodali taqsimot (6.33) bilan ifodalangan taqsimotga mos keladi:

$$C(x, t) = \frac{N}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta R_p} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - R_p}{\Delta R_p}\right)^2\right] . \quad (6.43)$$

Yuqori temperaturali diffuziyali tarqatishdan keyin $\sqrt{D t} \gg \Delta R_p$, $R_p = x$ bo'lgani uchun (6.42) taqsimot diffuziyali taqsimot kabi bo'ladi va (6.41) ifoda bilan aniqlanadi.



6.15- rasm. Kremniyda borning tarqatilishdan keyingi taqsimot profili.



6.16- rasm. Kremniyda fosforning taqsimot profili.

Agar $\sqrt{Dt} \ll \Delta R_p$ bo'lsa, unda kirishmalar taqsimoti (6.42) tenglama asosida quriladi.

6.15- rasmda argon atmosferasida 1100 °C temperaturada 0,25–16 soat davomida tarqatilgan bor konsentratsiyasi taqsimotining profili keltirilgan. Bor $N = 3 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ dozada va $E = 30 \text{ keV}$ energiyada implantatsiya qilingan. Agar $D = \text{const}$ bo'lsa, unda p - n o'tishning joylashgan chuqurligini quyidagi ifoda orqali hisoblash mumkin:

$$x_{p-n} = 2\sqrt{Dt} \cdot \sqrt{\ln \frac{C_0}{C_b}}. \quad (6.44)$$

Katta dozada nurlantirilib hosil qilingan qatlamlardan diffuziya qilinayotganda (6.40) tenglik buziladi. 6.16- rasmda $E = 40 \text{ keV}$ energiyada va $5 \cdot 10^{13}$ dan $6 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-2}$ gacha bo'lgan doza oralig'ida kiritilgan fosfor quritilgan azot atmosferasida 1150 °C temperaturada, 1,5 soat davomida tarqatilgandan keyingi profili keltirilgan.

Ion implantatsiyali strukturalarni hisoblash usullari. Ion implantatsiyali strukturalarni texnologik hisoblashlarda ham diffuziyadagiga o'xshab to'g'ri va teskari masalalar uchraydi. To'g'ri masalada berilgan ion, energiya va nurlanish dozasi asosida konsentratsiyaning taqsimot profilini qurish kerak bo'ladi. Bunda taqsimot profili yuqoridagi (6.33) ifoda bilan tavsiflanadi va uni qurish R_p va ΔR_p larni jadvaldan yoki hisoblab topishga asoslanadi. Tranzistorli strukturalar uchun profil qurish ancha murakkab bo'lib, bu yerda ikki marta implantatsiya o'tkazish kerak bo'ladi.

Strukturalarga ikkilangan implantatsiya bilan kiritilgan kirishmalar konsentratsiyasining taqsimot profilini hisoblash. Turi n - p - n bo'lgan

tranzistor yaratish uchun elektr o'tkazuvchanligi n -turli bo'lgan epitaksial qatlarga baza sohasini hosil qilish uchun energiyasi E_A va dozasi N_A bo'lgan akseptor kirishmasi ionlari va emitter sohasini shakllantirish uchun energiyasi E_D va dozasi N_D bo'lgan donor kirishmasi ionlari ketma-ket implantatsiya qilinmoqda. Bunda quyidagi tengsizliklar bajarilgan:

$$1) R_{pA} > R_{pD}; \quad 2) C_{\max A} < C_{\max D}.$$

Kirishmalarning yakuniy taqsimoti quyidagicha ifodalanadi:

$$C(x) = C_{\max A} \exp \left[- \left\langle (x - R_{pA}) / (\sqrt{2} \Delta R_{pA}) \right\rangle^2 \right] - C_{\max D} \exp \left[- \left\langle (x - R_{pD}) / (\sqrt{2} \Delta R_{pD}) \right\rangle^2 \right] - C_b. \quad (6.45)$$

Kollektor p - n o'tishining joylashgan chuqurligi quyidagi shart bo'yicha aniqlanadi:

$$C_{\max A} \exp \left[- \left(\frac{x_{p-n}^k - R_{pD}}{\sqrt{2} \Delta R_{pD}} \right)^2 \right] - C_b = 0. \quad (6.46)$$

$$\text{Bundan,} \quad x_{p-n}^k = R_{pD} + \Delta R_{pD} \sqrt{2 \ln (C_{\max A} / C_b)}, \quad (6.47)$$

$$\text{bu yerda} \quad C_{\max A} = N_A / (\sqrt{2} \Delta R_{pA}). \quad (6.48)$$

Emitter p - n o'tishning chuqurligi $C(x_{p-n}^e) \geq C_b$ ni hisobga olgan holda quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} C_{\max A} \exp \left[- \left\langle (x_{p-n}^e - R_{pA}) / (\sqrt{2} \Delta R_{pA}) \right\rangle^2 \right] = \\ = C_{\max D} \exp \left[- \left\langle (x_{p-n}^e - R_{pD}) / (\sqrt{2} \Delta R_{pD}) \right\rangle^2 \right], \end{aligned}$$

bundan

$$x_{p-n}^e = (-m + \sqrt{m^2 - ac}) / a, \quad (6.49)$$

bu yerda $a = \Delta R_{pD}^2 - R_{pA}^2$, $m = -R_{pA} \cdot \Delta R_{pA}^2 + R_{pD} \cdot \Delta R_{pA}^2$,

$$c = R_{pA}^2 \cdot \Delta R_{pD}^2 - R_{pD}^2 \cdot \Delta R_{pA}^2 - 2 \Delta R_{pA}^2 \cdot \Delta R_{pD}^2 \ln \frac{N_A \Delta R_{pD}}{N_D \Delta R_{pA}}.$$

Agar $C(x_{p-n}^e) \approx C_b$ tenglikdan kelib chiqadigan bo'lsak, unda emitter o'tishining chuqurligi x_{p-n}^e ni taxminan quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$x_{p-n}^e \approx R_{pD} + \Delta R_{pD} \sqrt{2 \ln \left(\frac{C_{\max D}}{C_b} \right)}. \quad (6.50)$$

Baza sohasining qalinligi:

$$\omega \approx x_{p-n}^k - x_{p-n}^e. \quad (6.51)$$

1- misol. Elektr o'tkazuvchanligi n -turli bo'lgan kremniyga bor $^{11}\text{B}^+$ va fosfor $^{31}\text{P}^+$ ionlarining implantatsiyasi natijasida tranzistorli struktura hosil qilingan. Agar $C_b = 10^{16} \text{ sm}^{-3}$, $E_A = 100 \text{ keV}$, $N_A = 5 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-2}$, $E_D = 200 \text{ keV}$, $N_D = 1 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ bo'lsa, kirishmalar konsentratsiyasining taqsimot profili hisoblansin.

Yechish. 4.2- jadvaldan 100 keV energiyali bor ioni uchun $R_{pA} = 0,398 \mu\text{m}$, $R_{pA} = 0,094 \mu\text{m}$, 200 keV energiyali fosfor ioni uchun $R_{pD} = 0,254 \mu\text{m}$, $R_{pD} = 0,061 \mu\text{m}$ ekanligini topamiz.

Bor va fosforning maksimal konsentratsiyalarini hisoblaymiz:

$$C_{\max A} = \frac{0,4 \cdot N_A}{\Delta R_{pA}} = \frac{0,4 \cdot 5 \cdot 10^{13}}{0,094 \cdot 10^{-4}} = 2,12 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3},$$

$$C_{\max D} = \frac{0,4 \cdot N_D}{\Delta R_{pD}} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 10^{15}}{0,061 \cdot 10^{-4}} = 6,55 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}.$$

Kollektor va emitter $p-n$ o'tishlarining joylashgan chuqurligini topamiz:

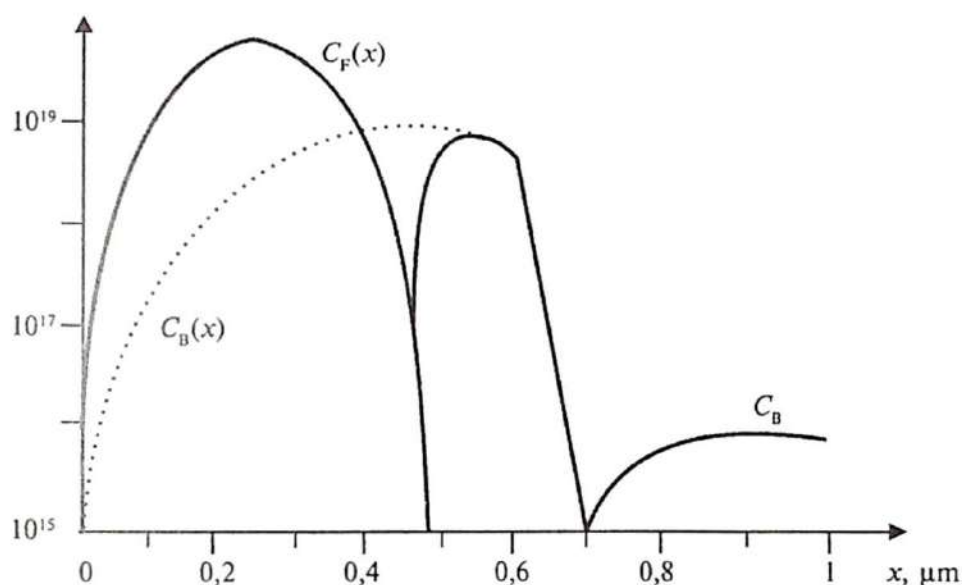
$$x_{p-n}^k = R_{pA} + \Delta R_{pA} \sqrt{2 \ln \frac{C_{\max A}}{C_b}} = 0,398 + 0,094 \sqrt{4,6 \lg \frac{2,12 \cdot 10^{18}}{1 \cdot 10^{16}}} = 0,705 \mu\text{m},$$

$$x_{p-n}^e = R_{pD} + \Delta R_{pD} \sqrt{2 \ln \frac{C_{\max D}}{C_b}} = 0,254 + 0,061 \sqrt{4,6 \lg \frac{6,55 \cdot 10^{19}}{1 \cdot 10^{16}}} = 0,510 \mu\text{m}.$$

Baza sohasining qalinligi:

$$\omega \approx x_{p-n}^k - x_{p-n}^e = 0,705 - 0,510 \approx 0,2 \mu\text{m}.$$

(6.45) ifodadan foydalanib $n-p-n$ tranzistor strukturadagi akseptor va donor kirishmalarning yakuniy taqsimotini quramiz. 6.17- rasmda bu taqsimot uzluksiz chiziqli sifatida ko'rsatilgan. Shu rasmning o'zida



6.17- rasm. n - p - n tranzistorda bor va fosforning taqsimoti.

kiritilgan bor $C_B(x)$ va fosfor $C_F(x)$ atomlarining taqsimoti alohida ko'rsatilgan. Bu rasmdan ko'rinib turibdiki, emitter o'tishining holatini aniqlovchi sodda formula keraklicha aniq natija berar ekan.

Ikki qatlamli strukturalarda kirishmalar konsentratsiyalari taqsimotini hisoblash. MOY (MOP)- strukturalarni hosil qilishda kremniyga kirishmalar ko'pincha dioksid yupqa qatlami orqali implantatsiya qilinadi. Ikki qatlamli strukturalar SiO_2 -Si ning bo'linish chegarasida ularning tormozlash xususiyatlarining har xilligi tufayli kirishmalarining konsentratsiyalari sakrab o'zgaradi. Ikki qatlamli strukturalarda taqsimot profilini nazariy qurish uchun quyidagicha mulohaza yuritamiz. Bizga N doza bilan nurlantirilgan strukturaning alohida komponentlari SiO_2 va Si dagi ionlar taqsimotining profillari ma'lum bo'lsin. SiO_2 dagi profilda oksid yupqa qatlamining qalinligi d_1 ga teng chuqurlikda qirqim o'tkazamiz. Bu qirqimning chap va o'ng tomonlarida yotgan atomlar miqdorini mos holda N_1 va N_2 bilan belgilaymiz. Si ning profilda ham d_2 chuqurlikda shunday qirqim o'tkazamizki, bunda $N'_1 = N_1$ va $N'_2 = N_2$ bo'lsin.

Agar yugurishlar va standart chetga og'ishlarning SiO_2 qatlamdagi R_{n1} va ΔR_{n1} , Si qatlamdagi R_{n2} va ΔR_{n2} larning qiymatlari ma'lum bo'lsa, bu taqsimotni analitik ravishda qurish mumkin. Kremniyga kiritilgan kirishma konsentratsiyasining taqsimot profilini qurish uchun dioksid

yupqa qatlamida $x = 0$ dan $x = d_1$ gacha bo'lgan qismidagi tormozlanayotgan ionlarning dozasi N_1 ni aniqlash kerak:

$$N_1 = \int_0^{d_1} C(x) dx = \frac{N}{\sqrt{2\pi\Delta R_{p1}}} \int_0^{d_1} \exp \left[- \left(\frac{x - R_{p1}}{\sqrt{2\Delta R_{p1}}} \right)^2 \right] dx =$$

$$= \frac{N}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{d_1 - R_{p1}}{\sqrt{2\Delta R_{p1}}} \right). \quad (6.52)$$

Oksid orqali kremniyga o'tgan ionlar dozasi:

$$N_2 = N - N_1. \quad (6.53)$$

Dioksid yupqa qatlami bo'lmagandagi ionlar dozasi kremniyda $x = 0$ dan $x = d_2$ gacha bo'lgan chuqurlikda mavjud bo'ladi:

$$N'_1 = \frac{N}{\sqrt{2\pi\Delta R_p}} \int_0^{d_2} \exp \left[- \left(\frac{x - R_{p2}}{\sqrt{2\Delta R_{p2}}} \right)^2 \right] dx = \frac{N}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{d_2 - R_{p2}}{\sqrt{2\Delta R_{p2}}} \right). \quad (6.54)$$

(6.52) va (6.54) ifodalarni bir biriga tenglab quyidagini hosil qilamiz:

$$\operatorname{erf} \frac{d_1 - R_{p1}}{\sqrt{2\Delta R_{p1}}} = \operatorname{erf} \frac{d_2 - R_{p2}}{\sqrt{2\Delta R_{p2}}}.$$

Bu tenglik o'rinli bo'lishi uchun erf-funksiyalarning argumentlari ham bir-biriga teng bo'lishi kerak:

$$\frac{d_1 - R_{p1}}{\sqrt{2\Delta R_{p1}}} = \frac{d_2 - R_{p2}}{\sqrt{2\Delta R_{p2}}}. \quad (6.55)$$

Bundan ionlarning $N'_1 = N_1$ dozasi tormozlanadigan kremniydagi ekvivalent qatlamning qalinligini topamiz:

$$d_2 = R_{p2} + (d_1 - R_{p1}) \frac{\Delta R_{p2}}{\Delta R_{p1}}. \quad (6.56)$$

Kremniyga kiritilgan kirishmaning taqsimotini qurishda koordinatlar boshi kremniy sirtiga joylashtiriladi. Shu sababli taqsimot profili Gauss egri chizig'i sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$C(x) = \frac{0,4N}{\Delta R_{p2}} \exp \left[- \left(\frac{x + d_2 - R_{p2}}{\sqrt{2\Delta R_{p2}}} \right)^2 \right]. \quad (6.57)$$

2- misol. Energiyasi 40 keV va nurlanish dozasi $6,2 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-2}$ bo'lgan bor ionlari qalinligi $d_1 = 0,2 \text{ } \mu\text{m}$ bo'lgan dioksid yupqa qatlami orqali kremniyga kiritilmoqda. Kremniydagi bor ionlari konsentratsiya-sining taqsimoti qurilsin.

Yechish. 1. Kremniy uchun 6.1- jadvaldan, kremniy dioksidi uchun 6.2- jadvaldan quyidagilarni aniqlaymiz: $R_{p1} = 0,142 \text{ } \mu\text{m}$, $\Delta R_{p1} = 0,04 \text{ } \mu\text{m}$, $R_{p2} = 0,161 \text{ } \mu\text{m}$, $\Delta R_{p2} = 0,054 \text{ } \mu\text{m}$.

2. (6.56) formula yordamida kremniydagi ekvivalent qatlamning qalinligini topamiz:

$$d_2 = 0,161 + (0,2 - 0,142) \cdot \frac{0,054}{0,040} = 0,239 \text{ } \mu\text{m}.$$

3. Bor taqsimoti profillari uchun hisoblash formulalarini yozamiz: kremniyda

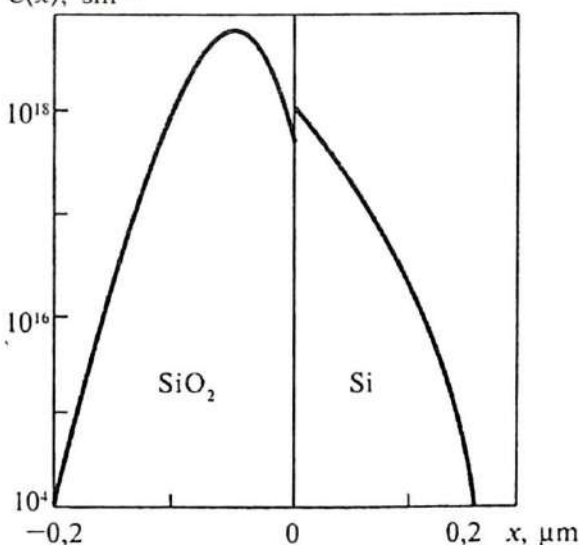
$$C(x) = \frac{0,4 \cdot 6,2 \cdot 10^{13}}{0,054 \cdot 10^{-4}} \exp \left[- \left(\frac{x + 0,239 - 0,161}{\sqrt{2} \cdot 0,054} \right)^2 \right] = 4,6 \cdot 10^{18} \exp \left[- \left(\frac{x + 0,078}{0,0765} \right)^2 \right];$$

kremniy dioksidida

$$C(x) = \frac{0,4 \cdot 6,2 \cdot 10^{13}}{0,04 \cdot 10^{-4}} \exp \left[- \left(\frac{x - 0,142}{\sqrt{2} \cdot 0,04} \right)^2 \right] = 6,2 \cdot 10^{18} \exp \left[- \left(\frac{x - 0,142}{0,0566} \right)^2 \right].$$

4. Hisoblash formulalari asosida ikki qatlamli strukturadagi borning taqsimot profilini quramiz (6.18- rasm).

$C(x)$, sm^{-3}



6.2- jadval

M_i	E , keV	R_p , nm	ΔR_p , nm
^{11}B	20	69	24
	40	142	40
	100	339	67
	140	453	78
^{75}As	40	35	12,5
	80	52	18
	150	83	29

6.18- rasm. SiO_2 -Si strukturada borning taqsimoti.

5. (6.52) formula yordamida dioksid yupqa qatlamida qoladigan bor ionlarining dozasi topamiz:

$$N_1 = \frac{6,2 \cdot 10^{13}}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{0,2 - 0,142}{\sqrt{2} \cdot 0,04} \right) = 5,75 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}.$$

6. Kremniyga o'tgan bor ionlarining dozasi:

$$N_2 = N - N_1 = 6,2 \cdot 10^{13} - 5,75 \cdot 10^{13} = 4,5 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-2},$$

ya'ni kremniyga to'liq nurlanish dozasi 0,1 qismidan ham kichik qismi o'tgan.

Implantatsiya rejimlarini aniqlash. Biz yuqorida ion-implantatsiyali strukturalarni hisoblashga doir amaliyotda ko'p uchraydigan to'g'ri masalalarni yechish namunalari ko'rib chiqdik. Teskari masalalarni echish ancha murakkab bo'lib, ular ionlarning berilgan o'rtacha normal yugurishlarini hosil qilishga kerak bo'ladigan energiyani aniqlashga yoki berilgan kirishma konsentratsiyasini ta'minlaydigan nurlanish dozasi aniqlashga olib kelinadi.

Berilgan yugurishni hosil qilishga kerak bo'ladigan ionlar energiyasini aniqlash. Yugurish bilan energiya orasidagi bog'lanishni hisoblashga doir formulalarni keltirib chiqarish ancha murakkab bo'lganligi sababli bu masalani yechishda eng oddiy bo'lgan usuldan, ya'ni 6.1-jadvaldan foydalaniladi. Bu jadval yordamida $R_p = f(E)$ bog'lanish quriladi va shu asosda berilgan yugurish uchun kerakli energiyani qiyamati topiladi. Masalan, $R_p = 398 \mu\text{m}$ berilgan bo'lsa, unda bu yugurishni ta'minlash uchun bor ionining energiyasi $E = 100 \text{ keV}$ bo'lishi kerak va hokazo.

Berilgan kirishma konsentratsiyasini hosil qilish uchun nurlanish dozasi hisoblash. Kiritilayotgan kirishmaning taqsimot profili Gauss egri chizig'i bilan ifodalanganligi sababli uni qurish uchun o'rtacha normal yugurish R_p , yugurishning o'rtacha kvadratik og'ishi ΔR_p va nurlanish dozasi N larni bilish kerak. Odatda bu uchta parametrlarning hammasi noma'lum. Ma'lum bo'lganlarga p - n o'tishning joylashgan chuqurligi x_{p-n} , kirishmaning maksimal konsentratsiyasi $C_{\max}$ va yarimo'tkazgich plastinasidagi boshlang'ich kirishmaning konsentratsiyasi C_b kabilar kiradi.

p - n o'tish joylashgan chuqurlikning ifodasi (6.33) dan $C(x) = 0$ da tenglab topiladi:

$$x_j = R_p + \Delta R_p \sqrt{2 \ln \left(\frac{C_{\max}}{C_b} \right)}. \quad (6.58)$$

Nurlanish dozasi quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$C_{\max} = \frac{0,4N}{\Delta R_p} \quad \text{yoki} \quad N = 2,5\Delta R_p C_{\max}.$$

Yugurishlarning standart og'ishlari ΔR_p ni aniqlash uchun grafik yechimdan foydalanamiz. Energiyaning bir necha qiymatlarini beramiz, ularga to'g'ri keladigan ΔR_p va R_p ning qiymatlarini topamiz va (6.58) tenglamaning o'ng tomonining energiya bo'yicha bog'lanishini quramiz. Shundan keyin energiya o'qiga parallel ravishda x_{p-n} ning berilgan qiymati bo'yicha to'g'ri chiziq o'tkazamiz, ya'ni (6.58) tenglamaning chap tomonini quramiz. (6.58) tenglamaning o'ng va chap qismlarining kesishgan nuqtasi izlanayotgan energiya E ning qiymatini beradi. Topilgan energiya uchun yugurishning standart og'ishi ΔR_p ni aniqlaymiz va nurlanish dozasi hisoblaymiz.

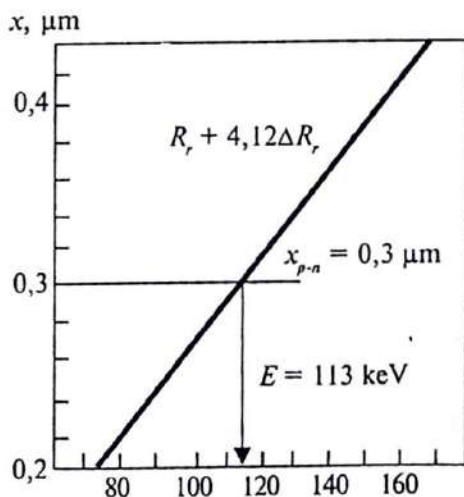
3- misol. Elektr o'tkazuvchanligi p -turli va $C_b = 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ bo'lgan kremniyga fosforning implantatsiyasi yordamida $x_{p-n} = 0,3 \text{ } \mu\text{m}$ chuqurlikda p - n o'tishni hosil qilish uchun ionlarning energiyasi va nurlanish dozasi aniqlansin. Bunda $C_{\max} = 5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ ga teng bo'lishi ta'minlansin.

Yechish. 1. (5.58) tenglamaga binoan,

$$x_j = R_p + \Delta R_p \sqrt{4,6 \lg \frac{5 \cdot 10^{19}}{1 \cdot 10^{16}}} = R_p + 4,12\Delta R_p.$$

2. $R_p + 4,12\Delta R_p$ ning energiya bo'yicha 80–160 keV oraliqdagi bog'lanishini 6.1- jadvaldan foydalanib quramiz (6.19- rasm). Shu rasmda $x_{p-n} = 0,3 \text{ } \mu\text{m}$ chizig'ini o'tkazamiz va kesishgan nuqtasi bo'yicha $E = 113 \text{ keV}$ ekanligini aniqlaymiz. Amaliy maqsadlarda qulaylik uchun ionlarning energiyasi 5 yoki 10 ga bo'linadigan qilib tanglab olinadi. Shu sababli $E = 110 \text{ keV}$ deb qabul qilamiz.

3. Interpolatsiyani qo'llab, 6.1- jadval dan $E = 110 \text{ keV}$ uchun $R_p = 136 \text{ nm}$, $\Delta R_p = 38 \text{ nm}$ ekanligini topamiz.



6.19- rasm. Ionlarning energiyasini grafik usulda aniqlash.

4. Nurlanish dozasini topamiz:

$$N = 2,5 \Delta R_p C_{\max} = 2,5 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{19} = 4,75 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}.$$

Tranzistor strukturasi hosil qilish uchun implantatsiya rejimlarini hisoblash. Bu hisoblashni bajarishda yuqorida ko'rilgan usullardan foydalaniladi. Buni aniq misolda ko'rib chiqamiz.

4-misol. Strukturasi $n-p-n$, baza sohasining qalinligi $w = 0,1 \text{ } \mu\text{m}$, emitter o'tishining chuqurligi $x_{p-n}^e = 0,2 \text{ } \mu\text{m}$ bo'lgan tranzistor kremniyda hosil qilinmoqda. Bunda epitaksial qatlamdagi donorlarning konsentratsiyasi $C_b = 2 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ va akseptor hamda donor kirishmalarining maksimal konsentratsiyalari $C_{\max A} = 3 \cdot 10^{18}$, $C_{\max D} = 1 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$ ga teng. Emitter va baza sohalari, mos ravishda, fosfor va borni implantatsiya qilib hosil qilinmoqda. Mana shu implantatsiyalarning rejimlari aniqlansin.

Yechish. Ion implantatsiya rejimlari N_A , N_D dozalar va E_A , E_D energiyalar bilan aniqlanadi. Bu masalani umumiy ko'rinishda yechish mumkin emas. Shu sababli bir qator soddalashtirilgan nisbatlarni kiritamiz.

1. Kollektor $p-n$ o'tishining joylashgan chuqurligining ifodasini yozamiz:

$$\begin{aligned} x_{p-n}^k &= R_{pA} + \Delta R_{pA} \sqrt{4,6 \lg \frac{C_{\max A}}{C_b}} = \\ &= R_{pA} + \Delta R_{pA} \sqrt{4,6 \lg \left[\frac{3 \cdot 10^{18}}{(2 \cdot 10^{16})} \right]} = R_{pA} + 3,16 \Delta R_{pA}. \end{aligned}$$

Massalari $M_1 > M_2$ bo'lgan ionlar uchun 20–100 keV energiyalar oralig'ida yugurish va yugurishning standart og'ishlari o'rtasida quyidagi taxminiy nisbatlar o'rinli bo'ladi:

$$\frac{\Delta R_p}{R_p} \approx \frac{\gamma}{3} \quad \text{yoki} \quad \Delta R_p = \frac{\gamma R_p}{3}.$$

Shu sababli

$$x_{p-n}^k = R_{pA} + 3,12 \gamma R_{pA} / 3 \approx 2 R_p,$$

bundan

$$R_{pA} = x_{p-n}^k = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ } \mu\text{m}.$$

6.1-jadvaldan foydalanib, $E_A = 40$ keV deb olamiz, unda $R_{pA} = 0,161 \mu\text{m}$, $\Delta R_{pA} = 0,0538 \mu\text{m}$ bo'ladi. Demak,

$$x_{p-n}^k = 0,161 + 3,12 \cdot 0,058 = 0,33 \mu\text{m}.$$

Bu qiymat talab qilingan x_{p-n}^k ning qiymatidan 10% ga farq qilmoqda. Bunga esa ruxsat etiladi.

2. Bor ionlari bilan nurlantirish dozasi

$$N_A = \sqrt{2\pi\Delta R_{pA}C_{\max A}} = \sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 5,38 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{18}} = 4 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-2}.$$

3. Emitter $p-n$ o'tishining joylashgan chuqurligi uchun taxminiyl ifoda quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} x_{p-n}^e &\approx R_{pD} + \Delta R_{pD} \sqrt{4,6 \lg (C_{\max A} / C_b)} = \\ &= R_{pD} + \frac{\gamma}{3} R_{pD} \sqrt{4,6 \lg [1 \cdot 10^{20} / (2 \cdot 10^{16})]} \approx 2,5 R_{pD}, \end{aligned}$$

bundan $R_{pD} = x_{p-n}^e / 2,5 = 0,2 / 2,5 = 0,08 \mu\text{m}$.

6.1-jadvaldagi ma'lumotlardan foydalanib, $E_D = 80$ keV deb qabul qilamiz, unda $R_{pD} = 0,098 \mu\text{m}$, $\Delta R_{pD} = 0,0295 \mu\text{m}$ va $x_{p-n}^e = 0,098 + 4,44 \cdot 0,0295 = 0,23 \mu\text{m}$.

Fosfor ionlari bilan nurlantirish dozasi:

$$N_D = \sqrt{2\pi\Delta R_{pD}C_{\max D}} = \sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 2,95 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{20}} = 7,4 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}.$$

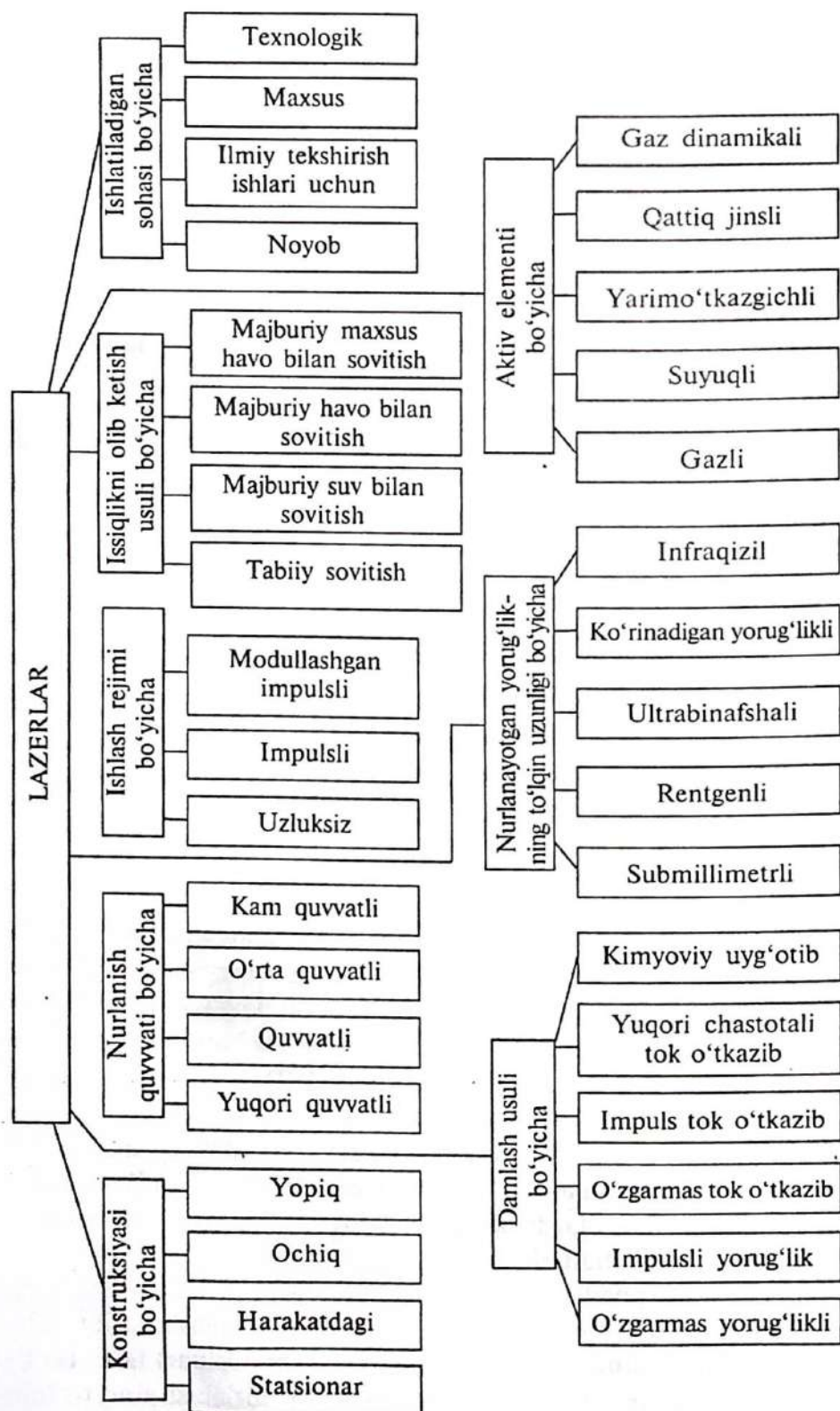


Lazerli texnologiya asoslari

Lazerlarning tasnifi. Hozirgi vaqtda materiallarga ishlov berishda lazer nurlanishi bilan lokal qizdirishga asoslangan texnologik jarayonlardan foydalanish rivojlanib bormoqda. Lazer so'zi inglizcha Light Amplification by stimulated Emission of Radiation so'zlarining bosh harflaridan tashkil topgan bo'lib (LASER), majburiy nurlanish yordamida yorug'likni kuchaytirish degan ma'noni beradi.

Kvant elektronikasining zamonaviy holati har xil maqsadlar uchun yaratilgan katta sondagi asboblardan va ular asosida yaratilgan lazer qurilmalaridan iborat. Lazerlar fizik-texnik parametrlarining sakkizta asosiy belgisi bo'yicha tasniflanadi (6.20- rasm).

Bu belgilarga quyidagilar kiradi: 1) nurlanish quvvati; bu belgining xususiyati quvvatli va o'ta quvvatli lazerlarning ishlashida ionlashtiruvchi nurlanishning (neytron va gamma-nurlanishlar) hosil bo'lishidir; 2) ishlash rejimi; 3) hosil bo'layotgan nurlanishning to'lqin



6.20- rasm. Lazerlarning fizik-texnologik parametrlar bo'yicha tasnifi.

uzunligi: rentgen ($3 \cdot 10^{-3}$ – $3 \cdot 10^{-7}$ μm), ultrabinafsha (0,2–0,4 μm) ko‘rinadigan yorug‘lik (0,4–0,7 μm), yaqin infraqizil (0,7–1,4 μm), infraqizil (1,4– 10^2 μm), submillimetrlil (10^2 – 10^3 μm); 4) aktiv elementi: qattiq jismli (rubin, shisha, aktivlangan neodim, aluminotriyli granat, plastmassalar), yarimo‘tkazgichli (ZnS, ZnO, CaSe, Te, PbS, GaAs va boshqalar), suyuq (kamyob yerli aktivlashtiruvchi yoki organikli bo‘yovchilar bilan), gazli (He-Ne, argon, kripton, ksenon, neon, He-Cd, CO₂ va boshqalar), gazdinamikli (CO₂; N₂; H₂O va boshqalar); 5) invers aholini hosil qilish usuli (nakachka – damlash); 6) issiqlikni olib ketish usuli; 7) qanday ishga mo‘ljallanganligi; 8) konstruktiv jihatdan tayyorlanganligi.

Texnologik jarayonda lazerlarning qo‘llanilishi. Kvant elektromagnit sohasida ko‘p yillik fundamental tadqiqotlar natijasida o‘tgan asr oltmishinchi yillarining boshida birinchi lazerlar paydo bo‘ldi va ulardan yangi texnologik jarayonlarda keng foydalana boshlandi.

Bu qurilmalarning ishlashi 1917- yilda A. Eynshteyn tomonidan kashf qilingan indusirlangan nurlanish hodisasi va uni V.A. Fabrikant tomonidan ko‘rsatilgan elektromagnit to‘lqinlarni kuchaytirish uchun qo‘llash mumkin ekanligiga asoslangan.

Lazerlarning xususiyati shundaki, ulardan nurlanayotgan yorug‘lik shungacha bo‘lgan har qanday energetik manbada hosil qilib bo‘lmaydigan xossalarga ega. Bu xossalarga birinchi navbatda nurlanishning monoxromatikligi bo‘lib, u yuqori darajadagi kogerentlik bilan uzviy bog‘langan. Ikkinchidan nurlanishning quvvati bo‘lib, u zamonaviy lazerlarda impulsda yuzlab gigavatt va uzluksiz rejimda esa yuzlab kilovattga yetadi. Uchinchidan ko‘pincha asosiy xarakteristikasi deb hisoblanadigan nurlanishning ingichga dasta ko‘rinishda yo‘naltirilishi.

Mana shu xossalari tufayli lazerlar fan va texnikada keng qo‘llanilmoqda (aloqa, lokatsiya, o‘lchash texnikasi, golografiya, moddani ichki strukturasini tekshirishda, bir tomonga yo‘naltirilgan kimyoviy reaksiyani amalga oshirishda, izotoplarni ajratishda, termoyadroviy sintezda, tibbiyotda va hokazo).

Lazer nurlanishining juda kichik burchakda tarqalishi uni kichik yuzalarda (to‘lqin uzunligi bilan o‘lchanadigan) fokuslash imkoniyatini beradi. Buning natijasida materialni energiya bilan fokuslashgan nuqtasida lokal qizdira oladigan, uni bug‘lantirib yubora oladigan va ishlov berilayotgan sohadan olib ketadigan darajadagi intensiv yorug‘lik oqimining quvvatli zichligini hosil qilish mumkin.

Texnologik jarayonlarda uzluksiz yoki impulsli rejimlarda ishlaydigan lazerlardan foydalanish mumkin. Alohida qisqa impuls

Aloqa, lokatsiya, golografiya, o'lchov texnikasi, termik ishlov berish va boshqalar	Payvandlash	Yupqa qatlamlarni bug'lantirish	Teshiklar teshish, materiallarni kesish va bichish	Maxsus vazifalarni bajarish
1	2	3	4	5
10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}
10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{15}	10^{16}

$E, \text{W/m}^2$

6.21- rasm. Lazer nurlanishning quvvatiga bog'liq holda lazerlar qo'llaniladigan sohalar.

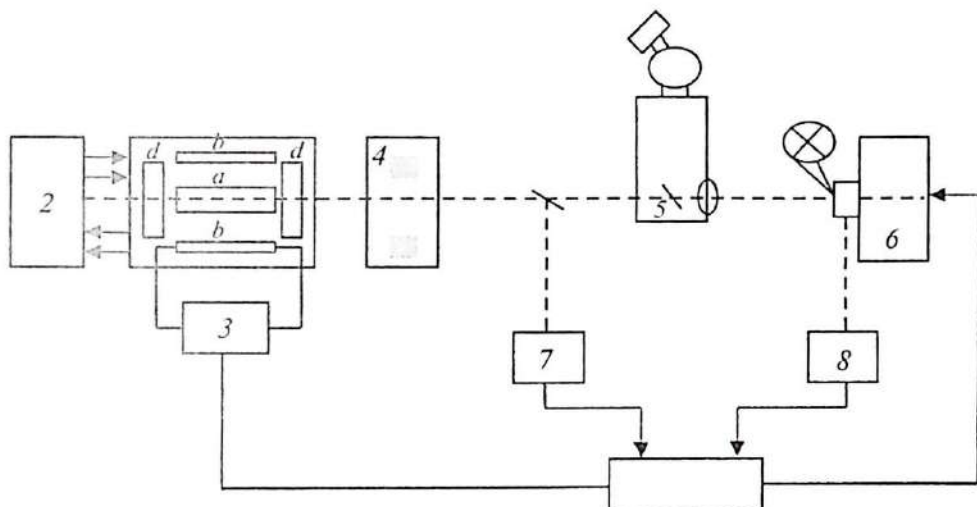
ko'rinishidagi nur generatsiya qiladigan lazerlardan (odatda qattiq jismli lazerlar) tirqish hosil qilishda, nuqtali payvandlashda va boshqa katta yuzali ishlovni talab qilmaydigan texnologik operatsiyalarda foydalaniladi. Uzlüksiz rejimda ishlaydigan lazerlar (asosan gazli lazerlar) tezkor kesishda, chokli payvandlashda va katta o'lchamli mahsulotlarga termik ishlov berishda qo'llaniladi.

Hozirgi davrda lazerli texnologiyaning asosiy nazariyasi va amaliyoti keraklicha yaxshi o'rganilgan. Ayniqsa, materiallarga ishlov berishda, elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarishda, umuman yarimo'tkazgichlar texnologiyasi uchun texnologik rejimlar va ularni amalga oshirishda lazerli qurilmalardan keng foydalanilmoqda. Mahsulotlarga ishlov berish uchun kerakli lazer nurlanishning quvvat zichligiga bog'liq holda lazerlarni qo'llanilish sohalari 6.21- rasmda qo'rsatilgan.

Lazer nurlanish bilan termik ishlov berishda va payvandlashda modda lokal qizdiriladi va bunda modda buzilmaydi.

Sanoatda lazerlar ko'proq o'lchamli ishlov berishda, xususan teshiklar hosil qilishda keng qo'llanilmoqda. Mana shunday ishlarga mo'ljallangan lazerli texnologik qurilmaning sxemasi 6.22- rasmda keltirilgan. Qurilmaning lazerli boshi uchta asosiy qismdan iborat: aktiv element (*a*), yorituvchi tizim (*b*) va rezonator (*d*). Aktiv element sifatida rubin, neodimli shisha, aluminotriy granat va boshqa moddalardan qilingan sterjenlardan foydalaniladi. Bularning ichidan eng ko'p tarqalgani neodimli shishadan qilingan sterjen bo'lib, u $1,06 \mu\text{m}$ to'lqin uzunlikdagi nurlarni hosil qiladi.

Yorug'lik tizimi damlovchi impulsli lampa va qaytargichlardan tashkil topgan. Lazer boshi rezonatori ikkita tekis parallel qaytarish koeffitsiyentlari 100% ga yaqin («yopiq» oyna) va 30% («chiqish» oynasi) bo'lgan dielektrik oynalardan iborat.



6.22- rasm. Detallarga o'lehamli ishlov berishda qo'llaniladigan lazer qurilmasining blok-sxemasi:

1 – lazer boshi; 2 – sovitish tizimi; 3 – tok manbai; 4 – nurlanishni dozirovka qiladigan qurilma; 5 – fokuslash va kuzatish uchun optik tizim; 6 – ishchi stol; 7 – nurlanish parametrlarining datchigi; 8 – texnologik jarayonlar parametrlarining datchigi; 9 – dasturlovchi qurilma (EHM).

Lazerning tok manbai yuqori voltli to'g'rilagichdan zaryadlanadigan kondensatorlar batareyasi va yoquvchi blokdan iborat. Yoquvchi blok lampadagi razryad oralig'ida birlamchi ionlashishni hosil qilish uchun xizmat qiladi. Lazer boshini sovitish tizimi undagi impuls lampalarining yonishi vaqtida ajraladigan katta miqdordagi issiqlikni olib ketib, uni sovitib turadi. Katta quvvatli va chastotali lazerlarda berk tizimli suvli sovitishdan foydalaniladi.

Nurlanishni dozirovka qiladigan qurilma boshqariladigan diafragma va har xil zichlikdagi yorug'lik filtrlari yig'masini o'z ichiga oladi.

Optik tizimga detalning ishlov berilayotgan sirtiga yorug'lik oqimining yuqori zichlikdagi nurlanishini shakllantiruvchi qurilma va boshqaruvchi hamda kuzatuvchi qurilmalar kiradi.

Lazer qurilmasi tarkibiga ishlov berilayotgan detalni mahkamlash va siljitish uchun ishchi stol va texnologik jarayonni nazorat qilish va boshqarish uchun mahsus dasturlashgan qurilmalar (EHMlar) ham kiradi.

Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasida lazerlarning qo'llanilishi. Yarimo'tkazgichli texnologiyada lazer nurlanishidan foydalanish birinchi navbatda moddaning kichik hajmida katta energiyani uyg'unlashtirish imkoniyatiga asoslangan bo'lib, bu

esa o'z navbatida strukturalarga termik ishlov berish imkoniyatini tug'diradi. Bunday qayta ishlov avval ion-implantatsiya usuli bilan olingan strukturalar asosida IMS ishlab chiqarishda zarurdir. Ion-implantatsiya jarayonida yarimo'tkazgichning chuqurligi $1\text{ }\mu\text{m}$ dan katta bo'lmagan sirt qatlami eng ko'p tartibsizlanadi, bundan tashqari kiritilgan ionlarning ko'pchiligi tugunlar oralig'ida joylashadi va bu yerda ular elektr jihatdan noaktiv bo'ladi. Ularni tugunlarga o'tkazish uchun, ya'ni kiritilgan ionlarni aktivlash uchun, shuningdek, yarimo'tkazgichning kristall strukturasi tartiblash maqsadida kuydirish (qizdirish) jarayoni amalga oshiriladi. Kuydirish jarayonida radiatsion nuqsonlarning parchalanishi va annigilyatsiyasi (yo'q bo'lib ketishi) ro'y beradi, kiritilgan ion-kirishmalar esa vakant tugunlar o'rnini egallab, aktivlashadi, buning natijasida elektr o'tkazuvchanligi p - yoki n -turli qatlam hosil bo'ladi. IMS larni ishlab chiqarishda yarimo'tkazgichli plastinalarga legirlovchi kirishmalarning implantatsiyasi mikrosxemaning topologiyasi bilan aniqlanuvchi lokallashtirilgan aniq sohalarda amalga oshiriladi. Shu sababli yarimo'tkazgichli plastinalarni faqat implantatsiya qilingan qismlarigina lokal lazer kuydirish foydali hisoblanadi.

Lazerlar — katta yorqinlikka ega bo'lgan kogerent va monoxromatik elektromagnit nurlanishli fotonlarning quvvatli dastasini hosil qiluvchi qurilmadir. Lazerlar monoxromatik nurlanishni vujudga keltirishda yordam beruvchi aktiv elementning turiga qarab uch xilga bo'linadi: qattiq jismli, suyuqlikli va gazli. Qattiq jismli lazerlar bir qancha ustunliklarga ega: nurning o'tkir fokuslanishi, tezkorlik, optik shaffof atmosferada ishlash imkoniyati, ikkilamchi rentgen nurlanishning yo'qligi, qurilmaning soddaligi kabilar.

Qattiq jismli lazerlarda aktiv ishchi element sifatida asosan $0,01-0,05\%$ Cr_2O_3 qo'shimchali Al_2O_3 sintetik rubinning sterjeni; neodimli aluminat granat (AIG); neodimli shishalar va hokazolar qo'llaniladi. Qattiq jismli lazerlarda fotonlar oqimini hosil qilishning prinsipi impulsli damlash (nakachka) lampasi bilan yoritish yordamida aktiv elementdagi kirishmalarning ionlarini qo'zg'atib, elektronlarini yuqoriroq energetik sathlarga o'tkazishdan iborat. Yoritilish to'xtatilganidan so'ng elektronlar o'z energetik sathiga qaytadi va bunda ortiqcha olgan energiyasini quvvatli fotonlar oqimi sifatida nurlantiradi. Fotonlar oqimining jo'shqin ortib borishini ularning AIG sterjenining oynasimon qirralaridan ko'p marotabali qaytishlari qo'llab turadi. Fotonlar oqimi sterjenning yarim shaffof qirrasidan nurlanadi.

Neodimli AIG asosidagi qattiq jismli lazerlarning aslligi o'zgartiriladigan rejimda impulslarining davri 10–100 ns., maksimal quvvat zichligi 100 MW/sm², asosiy garmonika uchun to'liq uzunligi $\lambda = 1,064 \mu\text{m}$ va ikkinchi garmonika uchun $\lambda = 0,53 \mu\text{m}$ to'liq uzunligiga ega bo'ladi.

Lazerli kuydirish texnologiyasi ion implantatsiya qilingan kremniy qatlami, kremniy tagliklarga changlantirilib o'tqazilgan polikristall kremniy va KNS-strukturalarning kristall strukturalarni yaxshilash hamda kiritilgan kirishmalarni aktivlash uchun qo'llaniladi. Lazer kuydirish vaqtida kristall sirtida qattiq qizigan yoki erigan yupqa qatlam hosil bo'lib, ular juda katta tezlik bilan ($v > 100 \text{ sm/s}$) rekristallizatsiyalanadi. Bu holatda plastinaning 10 μm chuqurligidan boshlab harorat atrof-muhitnikidan farq qilmaydi. Demak, namuna butunicha qizimaydi, bu esa o'z navbatida kristalldagi zaryad tashuvchilarning yuqori yashash vaqtini saqlash imkoniyatini beradi. Lazer kuydirish jarayoni quyidagi asosiy parametrlar bilan aniqlanadi: nurlanishning to'liq uzunligi, plastina sirtidagi energiya zichligi, impulsning davriyligi, namunani qizdirish temperaturasi.

Ion implantatsiyalangan strukturalarni lazer kuydirish termik diffuzion kuydirishdan farqli ravishda kiritilgan kirishmani yupqa sirt qatlamida saqlab qolish va kirishmaning yuqori elektr aktivligini ta'minlash imkonini beradi.

Bundan tashqari lazer nurlanish yordamida lazerli legirlash ham amalga oshiriladi. Bunda kremniy sirtida legirlovchi elementning yupqa qatlami hosil qilingandan keyin uni impulsli lazer dastasi bilan nurlantiriladi. Shunday usul bilan kremniyda kichik chuqurlikda joylashgan *p-n*-o'tishlar va GaAs da omik o'tishlar shakllantiriladi. Legirlash effekti metall yupqa qatlami va yarimo'tkazgichning yupqa sirt qatlamining lazer nuri ta'sirida erishi bilan asoslanadi. Bunda sirt energiyasining zichligi 1–10 J/sm² ni tashkil qiladi va uning asosiy qismi impuls davridan kichik 1–10 ns vaqt davomida eriydigan metall plyonkasi tomonidan yutiladi. Impuls energiyasining ortishi bilan kremniy qatlamida legirlovchi kirishmaning atomlar miqdori ortib boradi va maksimumga yetadi, keyin esa kamayadi. Bu katta energiyalarda kirishmalarning tez bug'lanib ketishi bilan tushuntiriladi. Legirlash yarimo'tkazgichning suyuq fazasida kirishmaning diffuziyalanishi hisobiga amalga oshiriladi. Shundan keyingi qatlamning bir zumda kristallanishi metastabil o'ta to'yingan qattiq qorishmani hosil qiladi. Bundagi kirishmalarning konsentratsiyalari ko'pincha eruvchanlikning chegaraviy qiymatlaridan 1–2 tartibga yuqori bo'ladi.

Epitaksial qatlamlarning nuqsonlari. Nuqsonlar taglik kristallidagi nuqsonlardan hamda qatlam o'sish jarayonida hosil bo'ladi. Nuqsonlarning eng ko'p miqdori taglik — qatlam materiallari juftligini tanlash bilan, taglik sirtini tayyorlash sifati bilan, legirlash bilan, jarayonni o'tkazish tozaligi bilan va kristallanish sharoitlari bilan bog'liq bo'ladi.

Dislokatsiyalar taglik yuzasiga chiqib o'sayotgan qatlamga o'tadi; ular qatlamda sirt iflosliklari, nuqsonlari, materiallarning kristallografik mos emasliklari natijasida hosil bo'ladi. Dislokatsiyalarning paydo bo'lishligiga sabab qatlam va taglik atomlari o'lchamlari hamda legirlash darajasidagi katta farq natijasida hosil bo'ladigan mexanik kuchlanishlardir.

Taxlanish nuqsonlari — atom qatlamlari ketma-ketligining buzilgan sohalari bo'lib, ularning yon chegaralarida qatlamning qolgan qismlari kristallografik strukturasi bilan nomoslik hosil bo'ladi.

O'sish nuqsonlari hosil bo'ladi: kattaroq yot zarrachalar, masalan, abraziv zarrachalari o'rnatilgan joylarda; o'sish tezlashgan sohalarda yoki tez o'sayotgan murakkab uchrashgan joylarda; kirishmalarining eruvchanlik chegarasidan oshib ketgan yuqori konsentratsiyali sohalarda; o'ta to'yinish katta bo'lgan hollarda, bunda modda konglomerat bo'ladi, ya'ni atom yoki molekulalar to'plamlari holida kristallanadi. O'sish jarayonida bu nuqsonlar chuqurchaga, do'nglikka, piramidaga va polikristall qismga aylanadi.

Epitaksial qatlamlar nazorati. Sanoat ishlab chiqarishda qalinlik, solishtirma qarshilik, zichlik, taxlanish nuqsonlari nazorat qilinadi.

Qatlamlarning qalinligi *qiya yoki sharli jilvirni bo'yash usullari* bilan aniqlanadi. Nazoratlanuvchi namuna $1-5^\circ$ burchak ostida jilvirilanadi yoki uning sirti diametri 25–150 mm li po'lat shar yordamida uncha katta bo'lmagan o'yiqli jilvirib hosil qilinadi. Jilvirning maxsus qorishmalarda bo'yalishi p - va n - sohalardagi elektrodlar potentsiallarining har xilligi natijasida hosil bo'ladi. Bular esa qorishmadagi misning tanlab p - sohaga, yoki n - sohaning tanlab oksidlanishini ta'minlaydi. Konsentratsiyali gomoo'tishlar $n-n^+$, $p-p^+$ larning bo'linish chegarasini aniqlash uchun selektiv yemirish qo'llaniladi. Bo'yalgan jilvirler mikroskop tagida epitaksial qatlamning haqiqiy qalinligini emas, balki kattaroq qiymatli l ni aniqlash imkonini beradi (6.23- rasm). Epitaksial qatlamning qalinligi qiyali jilvir uchun quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$h = l \operatorname{tg} \alpha. \quad (6.59)$$

Sharli jilvir uchun qatlam qalinligi $h = P/4D$ formula bilan hisoblanadi. O'lchash aniqligi o'rtacha $\pm 5-10\%$ ni tashkil qiladi.

Kontaktsiz buzmaydigan IQ interferometriya usuli taglikning optik konstantalaridan optik konstantalari katta farq qiladigan qatlamlar uchun qo'llaniladi. Bu usulda o'lchash aniqligi $\pm 5\%$ ni tashkil qiladi.

IQ nurlar qisman havo-qatlam chegarasidan qaytadi, qisman epitaksial qatlamdan o'tib ketadi va qatlam-taglik chegarasidan qaytadi. Ikki qaytgan nurning qo'shilishi natijasida qora va yorug' yo'llarning ketma-ketligi ko'rinishida interferensiya tasviri hosil bo'ladi. Epitaksial qatlamning qalinligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$h = \Delta N / 2n\Delta k, \quad (6.60)$$

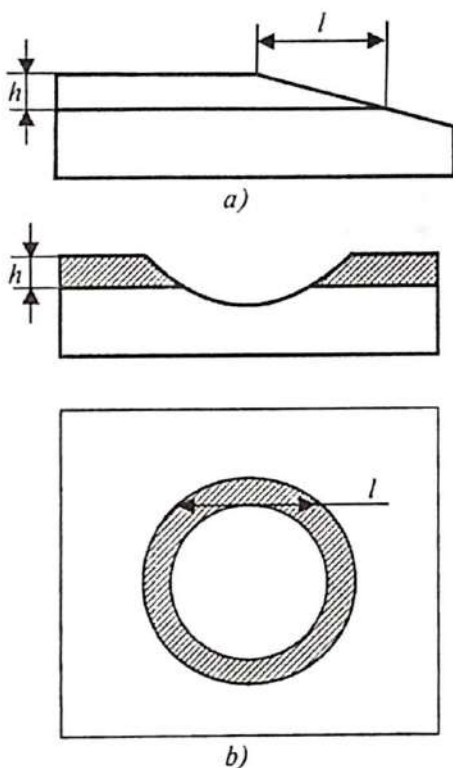
bu yerda ΔN — o'lchangan intervaldagi maksimum va minimumlarning soni; n — qatlamning sindirish koeffitsiyenti; $\Delta k = 1/\lambda_1 - 1/\lambda_2$ — kuzatilayotgan maksimumlar va minimumlar to'lqin uzunliklariga teskari bo'lgan kattaliklar farqi.

Bu usul o'lchash tezligi bilan farq qiladi, biroq qalinligi ikki μm dan bir necha o'n μm gacha bo'lgan, kuchli legirlangan taglikda o'stirilgan epitaksial qatlamlar uchun qo'llash mumkin.

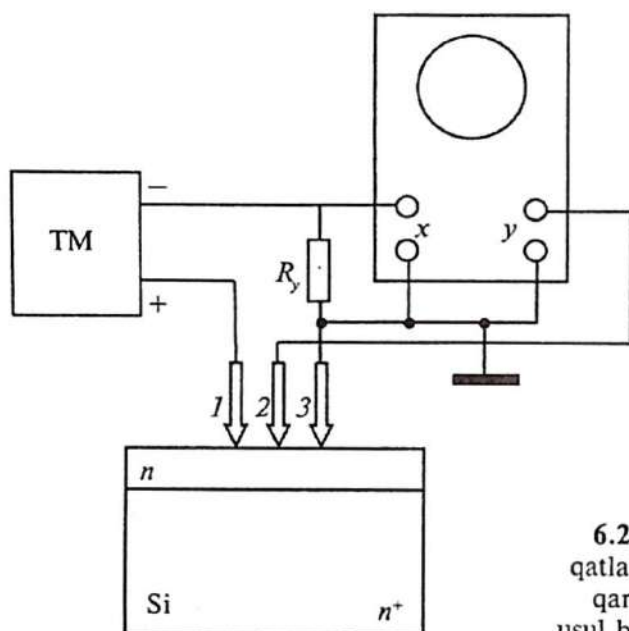
Solishtirma qarshilik zondli va volt-farada usullari yordamida o'lchanadi. Yuqori qarshilikli tagliklarda o'stirilgan teskari turdagi o'tkazuvchanlikli epitaksial qatlamlar uchun odatdagi *to'rtzondli usul* qo'llaniladi. Solishtirma qarshilik quyidagi formula bilan hisblanadi:

$$\rho = 4,535 \frac{U}{I} h, \quad (6.61)$$

bu yerda U — o'rta zondlar oralig'idagi kuchlanishning pasayishi, V; I — chekka zondlar oralig'ida epitaksial qatlam orqali o'tayotgan tok, A; h — qatlam qalinligi, sm.



6.23- rasm. Epitaksial qatlamning qalinligini aniqlash uchun qiya (a) va sharli (b) jilvirlar



6.24- rasm. Epitaksial qatlamlarning solishtirma qarshiligini uchzondli usul bilan o'lchash sxemasi.

Kichik qarshilikli tagliklarda ($\rho_f / \rho_{Si} \geq 50$) o'tkazuvchanligi shu turdagi epitaksial qatlamlarning solishtirma qarshiligi uchzondli usul yordamida o'lchanadi (6.24- rasm). Solishtirma qarshilik quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$U_{tesh} = 68,39\rho^{0,5360} + 21\rho^{0,8772}, \quad (6.62)$$

bu yerda U_{tesh} — 2- va 3- zond oralig'idagi teshuvchi kuchlanish.

Teshuvchi kuchlanish kirish qarshilig katta bo'lgan ossillograf yordamida o'lchanadi.

Volt-farada usuli yordamida solishtirma qarshilikni o'lchash o'tish sig'imini o'tishdagi kuchlanish va kirishmalar konsentratsiyasi bilan bog'langan nisbatdan foydalaniladi.

Epitaksial qatlamlarning strukturali nuqsonlari yorug'lantiruvchi (просвечивающий) rentgen topografiyasi (Lang usuli), elektron mikroskopiyasi yordamida va selektiv yemirib nuqsonlar aniqlashtirildandan so'ng mikroskopda vizual kuzatilib tekshiriladi. Oxirgi usul eng sodda va kam vaqt talab qiladi. Yemirishdan so'ng taxlanish nuqsonlarining sirtga chiqish joylarida taglikning kristallografik oriyentatsiyasiga bog'liq holda har xil yemirish shakllari hosil bo'ladi: uchburchaklar, to'rtburchaklar, trapetsiyalar, yakka yoki V- simon chiziqlar, agar nuqsonlar bir-birining ustiga tushgan taqdirda qo'shilgan yemirish shakllari hosil bo'ladi. Dislokatsiyalarning sirtga chiqqan joylarida yemirishning dislokatsiya chuqurchalari aniqlanadi. Chuqurchalar yoki yemirish shakllari soni, hamda ularning o'lchamlari metallografik

mikroskoplar МИМ-7 (200 $\times$) va ММҮ-1 (190 $\times$) yordamida aniqlanadi. Nuqsonlarni aniqlashtiruvchi yemirgichlarning tarkibi qatlamning materialiga, taglikning oriyentatsiyasiga va shu kabilarga bog'liq holda tanlanadi. *Nuqsonlar zichligi* qatlamning birlik yuzasidagi nuqsonlar soni bilan aniqlanadi va texnikaviy talab bilan solishtiriladi.

Diffuzion qatlamlardagi nuqsonlar va nazorati. Dislokatsiyalar asosan kirishma va yarimo'tkazgich atomlari o'lchamlarining mos emasligi tufayli hosil bo'ladi. Mukammalroq qatlamlar atom radiuslari kremniylikidan kamroq farq qiladigan kirishmalar As, Ga, Al diffuziyalangananda hosil bo'ladi.

Yuqori temperaturali diffuziyada kremniy sirtida kerak bo'lmagan kimyoviy birikmalar, qotishmalar hosil bo'lish jarayoni va ularning bug'lanishi kuzatilishi mumkin. Bu notekisliklar — eroziyaning paydo bo'lishiga olib keladi. Diffuziyadan oldin kremniyli plastinalar salgina oksidlanadi, bu oksid eroziyaning hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaydi va amalda diffuziyaga halaqit qilmaydi.

p-n o'tish yotgan chuqurlik plastina-yo'ldoshdagi epitaksial qatlam qalinligini aniqlash kabi aniqlanadi.

Sirt qarshilik to'rtzondli usul bilan aniqlanadi. Solishtirma qarshilik (6.61) formula bo'yicha hisoblanadi.

Diffuzion qatlam qalinligi bo'yicha kirishmalar konsentratsiyasi taqsimoti differensial elektr o'tkazuvchanlik usuli bilan aniqlanadi. Qatlamning sirtida elektr o'tkazuvchanlik σ_1 o'lchanadi. Shundan so'ng Δ qalinlikdagi qatlam olib tashlanadi va yana sirt elektr o'tkazuvchanlik σ_2 o'lchanadi. Olib tashlangan qatlamdagi kirishmaning o'rtacha konsentratsiyasi quydagi formula yordamida hisoblanadi:

$$N = (\sigma_1 - \sigma_2) / q\mu\Delta, \quad (6.63)$$

bu yerda q — elektron zaryadi; μ — tok tashuvchilar harakatchanligi.

Shundan so'ng yana qatlamning bir qismi olib tashlanadi, σ_3 o'lchanadi va hokazo.

Diffuzion qatlamlarning nuqsonlari epitaksial qatlamlardagi kabi tekshiriladi. Eroziyani kuzatish uchun kattalashtirishi 200 $\times$ dan ko'proq bo'lgan mikroskoplar qo'llaniladi. Qora fonda mayda yorug' nuqtalarning bo'lishi eroziyaga mos keladi.

Ionlar kiritilgandan so'ng qatlamlarning nazorati. Ionlarni kiritish texnologik jarayonlarining rivojlanishi qatlamlarni nazorat qilishning o'ziga xos usullarini qo'llashga olib keldi. Qatlam chuqurligi bo'yicha konsentratsiya taqsimotini aniqlash uchun ikkilamchi ionlarning mass-spektroskopiyasi va qatlamma-qatlam Xoll koeffitsiyentini o'lchash usullari qo'llaniladi. Qalinligi 0,3–3 nm bo'lgan qatlamlarda kirishmalarining tarkibi va miqdorini aniqlash uchun oje-elektronlar spektroskopiyasi qo'llaniladi.



IMS larni konstruksiyalash va tayyorlash bosqichlari

IMS tayyorlash uchun juda ko'p jarayon va operatsiyalardan foydalaniladi. Ma'lum bir jarayonni o'tkazish uchun operatsiyani bajarish ketma-ketligi keltirilgan *struktura sxemasidan* foydalaniladi. Lekin bu sxemada na ishlayotgan, na loyihalashtirilayotgan texnologik jarayon to'g'risida miqdoriy axborotlar keltirilmaydi

IMS texnologiyasida *profilli texnologik sxema* keng tarqalgan. Bunda har bir operatsiyadan keyin hosil bo'ladigan strukturalar (profillar) ko'rsatiladi.

Umumiy texnologik jarayonlar bajarilishining aniq ketma-ketligi keltirilgan ma'lum miqdordagi bir xillashtirilgan jarayon yoki operatsiyalardan tashkil topgan bo'lib, ma'lum bir turdagi buyum yoki yarimfabrikatni tayyorlash uchun qo'llaniladi.

Bir xillashtirilgan texnologik jarayon bir xil turdagi operatsiyalar majmuasidan iborat bo'lib, bitta texnologik uchastkada va bir-biriga yaqin jihozlardan foydalaniladi. Masalan kimyoviy tozalash, diffuziya, oksidlash, fotolitografiya va boshqalar.

Umumiy texnologik jarayonni tavsiflashda *spiralsimon texnologik sxemadan* foydalanish qulaydir.

IMS tayyorlash texnologiyasining hamma bosqichlarini to'rtta guruhga biriktirish mumkin:

1. Boshlang'ich plastinani hosil qilish.
2. Yarimo'tkazgich, dielektrik va metall qatlamli plyonkalarni o'stirish.
3. Plastina sirtida IMS topologiyasini hosil qiluvchi rasmlarni shakllantirish.
4. IMS ni yig'ish va montaj qilish.



Bipolar strukturalarni tayyorlash

Umumiy ma'lumotlar. Bipolyar IMS elementlari elektr jihatdan bir-biridan va taglikdan izolatsiyalangan alohida sohalarda – cho'ntaklarda shakllanadi.

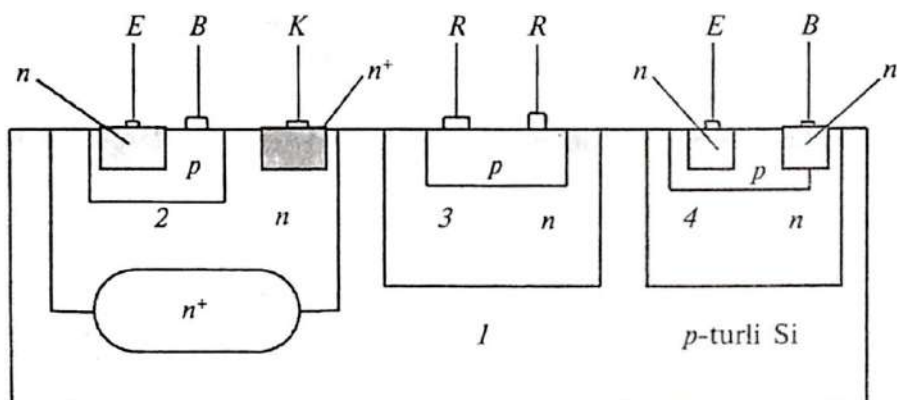
IMSlarning ko'pchiligini tayyorlashda boshlang'ich material sifatida kollektorlar qarshiligini kamaytiradigan yashirin n^+ sohasi bo'lgan epitaksial strukturalardan foydalaniladi. Chiqisha olishlik tamoyiliga mos holda tranzistorlar bilan bir vaqtla diodlar, rezistorlar, kondensatorlar ham shakllantiriladi. Texnologik marshrutning yakuniy bosqichlarida aktiv sohalarga kontaktlarni, elementlar oralig'ida o'tkazuvchi yo'lakchalarni, tashqi elektr biriktirishlar uchun kontakt maydonchalarini shakllantirish uchun metallash bajariladi. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash jarayonining asosini epitaksiya, planar va meza-texnologiya (1.5- bandga q.) tashkil qiladi. Kontakt niqobi asosan kremniy dioksididan shakllantiriladi. Kremniy dioksidi plyonkasi akseptorli kirishmalardan faqat bordan niqoblaydi. Aluminiy, indiy, galliy bu plyonkada yuqori diffuziya koeffitsiyentiga ega. Bu kirishmalarining diffuziyasidan kremniy nitrididan hosil qilingan niqob himoya qiladi. Donor kirishmalaridan boshqalarga qaraganda ko'proq fosfor ishlatiladi. Fosforning diffuziya koeffitsiyenti surma va mishyakka qaraganda katta hamda kremniyda chegaraviy eruvchanligi surmaga nisbatan yuqori.

Donorlar kremniyda, odatda, akseptorlarga qaraganda sekinroq diffuziyanadi va yaxshiroq eriydi. Shu sababli kremniyli bipolar $n-p-n$ tranzistorlar $p-n-p$ tranzistorlarga qaraganda ko'proq tarqalgan. Eruvchanligi yuqori bo'lganligi uchun emitter sohalari yaratish uchun fosfor qo'llaniladi. Buning natijasida kirishmaning konsentratsiyasi 10^{21} sm^{-3} atrofida bo'lishligi, va demak, injeksiya koeffitsiyentining yuqoriligi ta'minlanadi. Emitter sohalari bilan bir vaqtda omik kontaktlarning qarshiligini kamaytirish uchun n^+ -sohalar hosil qilinadi.

Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishda asosiy muammo bu elementlarni maksimal zichlantirishda ishonchli izolatsiya yaratishdir. Bipolar IMS texnologiyasining mukammallashuvi bir qator umumiy (tipovoy) texnologik marshrutlarning yaratilishiga olib keldi.

Bipolar IMS larning asosiy elementi bipolar kremniyli tranzistor hisoblanadi. Tranzistor bilan bir vaqtda mos kelishlik prinsipi asosida diodlar, rezistorlar, kondensatorlar shakllanadi. 7.1- rasmda bipolar IMS ning umumiy strukturaviy sxemasi keltirilgan. Bu sxemada aktiv elementlari bir-biridan teskari kuchlanish berilgan $p-n$ o'tish yordamida izolatsiyalangan.

Yarimo'tkazgichli IMS da rezistorlar kremniy monokristalining ichki qismida yuqori omli qatlamlar shaklida hosil qilinadi. Bunday rezistorning qarshiligi kirishma konsentratsiyasi profiliga, diffuziya chuqurligiga va diffuzion uchastkaning geometrik o'lchamlariga bog'liq



7.1- rasm. Kremniyli IMSning strukturasi:

1 – elektr o'tkazuvchanlik turi p bo'lgan taglik; 2 – bipolar tranzistor; 3 – diffuzion rezistor; 4 – baza va kollektor sohalari birlashtirib hosil qilingan diod.

bo'ladi. IMSda kondensatorlar ikki xil bo'ladi: 1) diffuzion kondensator, bunda p - n o'tishning sig'imidan foydalaniladi va 2) yupqa plyonkali kondensator, bu kremniyli taglikning sirtida mahsus uchastkalarda tayyorlanadi. Bunda dielektrik sifatida kremniy dioksididan foydalaniladi. Kondensatorlarning qoplamalari sifatida Si va Al plyonkasi xizmat qiladi. Bunday kondensatorlarning sig'imi SiO_2 qatlamining qalinligi $0,08 \mu\text{m}$ bo'lganda $600 \mu\text{m}^2$ kvadrat metall plyonkali yuzada $0,25 \text{ pF}$ ni tashkil qiladi. Maksimal ishchi kuchlanish 20 V ga yetadi.

IMSda diodlar 2 xil bo'ladi:

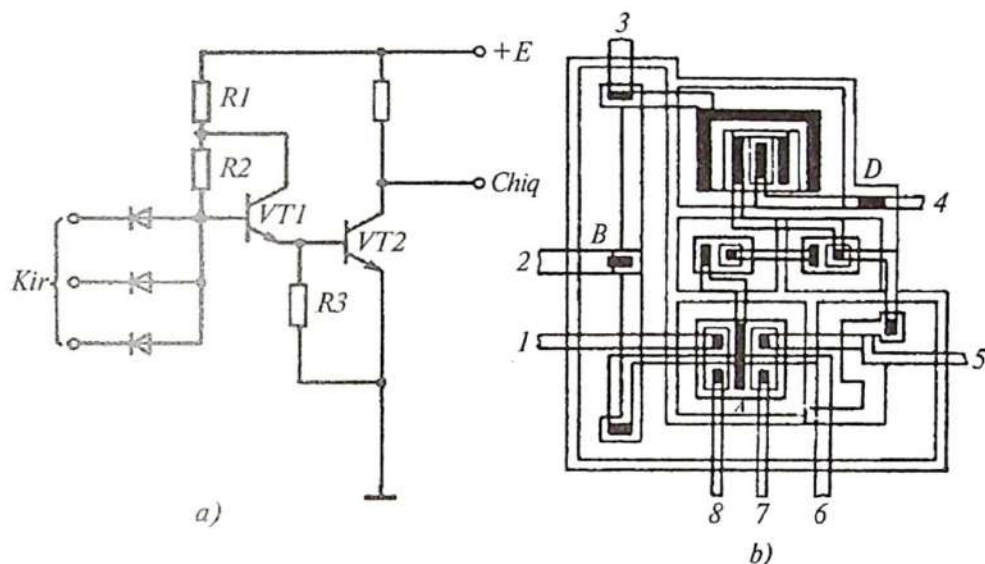
- 1) emitter-baza o'tishiga ekvivalent bo'lgan kichik teshuvchi kuchlanishli diod,
- 2) tranzistordagi kollektor – baza o'tishiga ekvivalent bo'lgan o'rtacha teshuvchi kuchlanishli diod.

7.2- rasmda bipolar rezistor – tranzistorli IMS mantiqiy elementi-ning elektr sxemasi va topologiyasi qo'rsatilgan.

A nuqtada kirish diodi kollektor – baza qisqa tutashtirilgan, B nuqtada rezistorli izolatsiyalashgan soxa eng musbat potensial bilan birlashtirilgan, D nuqtada taglik eng kichik manfiy potensial massa (zemlya) bilan birlashtirilgan.

IMSlarning yuzasi 6 dan 38 mm^2 gacha bo'ladi. Shu sababli diametri 200 mm bo'lgan kremniy plastinasida yuzdan minggacha IMS larni joylashtirish mumkin.

Bipolar IMS larning quyidagi turlari mavjud: $\Delta T J I$ – diod-tranzistorli mantiqli; $T T J I$ – tranzistor-tranzistorli mantiqli; $\Theta C J I$ –



7.2- rasm. Mantiqiy elementning elektr sxemasi (a) va topologiyasi (b):
1, 5, 7, 8 – kirishlar (vxodi); 2 – eng katta musbat potensial; 3 – chiqish;
4 – yer (massa).

emitter-bog‘langan mantiqli; TTIHA – tranzistor-tranzistorli mantiqli shottki diodi bilan; I^2I – integral inyeksiyali mantiqli va boshqalar.

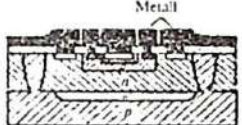
Elementlari p - n o‘tishlar bilan izolatsiyalangan IMSlar tayyorlash. Ishlab chiqarishda yaxshi o‘zlatirilgan va texnologiyasi oson bo‘lgan bu jarayonlarda izolatsiya epitaksial qatlamning hamma chuqurligi bo‘yicha diffuziyalash yordamida hosil qilinadi. Buning natijasida p - n o‘tishlar bilan o‘ralgan cho‘ntaklar (karmanlar) hosil qilinadi. Mikrosxemaning ishlashida taglikka kattaroq manfiy potensial beriladi. Natijada o‘tishlar yopiq va tranzistorli yoki boshqa elementli cho‘ntaklar taglikdan va boshqa cho‘ntaklardan izolatsiyalanadi.

Epitaksial n -qatlam chuqurligi bo‘yicha ajratuvchi diffuziya usuli bilan bipolar IMSlar tayyorlash ikki bosqichdan iborat: yashirin n^+ -sohali epitaksial struktura tayyorlash (7.1-jadval, 1–6) va bu struktura bipolar IMS tayyorlash (7.1-jadval, 7–16).

Quyida elementlari p - n o‘tish yordamida izolatsiyalangan bipolar IMS shakllanishining asosiy jarayonlari integral n - p - n tranzistor misolida keltirilgan. Boshlang‘ich material sifatida g‘adir-budirligi $0,001 \mu\text{m}$ gacha jilolangan p -turli Si plastinkasi hizmat qiladi. Texnologik jarayonlar operatsiyalarining nomlari va ketma-ketligi 7.1-jadvalda keltirilgan.

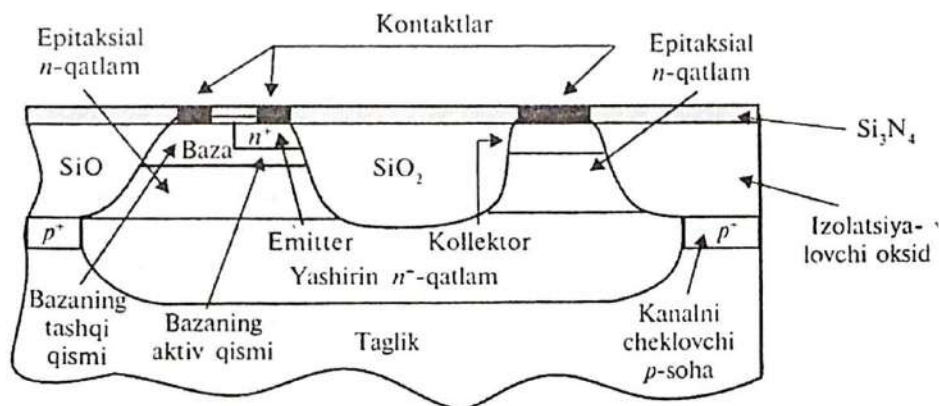
**Bipolar yarimo'tkazgichli strukturalarni shakllantiruvchi
texnologik jarayon**

Operatsiyalarning nomlari	Ko'ndalang kesim strukturasini
1. Jilolashdan keyin p -turdagi plastinalarni tozalash; ularning sifatini aniqlash	
2. Birlamchi oksidlash; oksid qatlamining qalinligini va g'ovakligining bor-yo'qligini nazorat qilish	
3. Yashirin kollektor sohasini hosil qilish uchun fotolitografiya (I shablondan foydalaniladi)	
4. Kollektorning yashirin qatlamini hosil qilish uchun diffuziya; yashirin kollektor sohasining sirt qarshiligini nazorat qilish	
5. Oksidni olib tashlash	
6. O'tkazuvchanligi p -turdagi kremniyning epitaksial qatlamini o'tqazish; epitaksial qatlamning nuqsonliligini va qarshiligini nazorat qilish	
7. Qayta oksidlash; oksidning qalinligini va g'ovakligining bor-yo'qligini nazorat qilish	
8. Izolatsiyalovchi soha va baza sohaslarida o'tkaziladigan diffuziya uchun fotolitografiya (II shablon)	
9. Baza sohasini va izolatsiyalovchi halqani shakllantiruvchi diffuziya	
10. Emitter sohasini hosil qilish uchun oksidlash va fotolitografiya (shablon III)	
11. Emitter sohasini hosil qilish uchun diffuziya va izolatsiyalovchi halqani birlashtirish	
12. Emitter va kollektorga omik kontaktlari tagida n^+ sohasini hosil qilish uchun I- fotolitografiya (shablon IV)	
13. Baza sohasida omik kontakt tagida p^+ sohasini diffuziya bilan hosil qilish uchun ikkinchi litografiya (shablon V)	

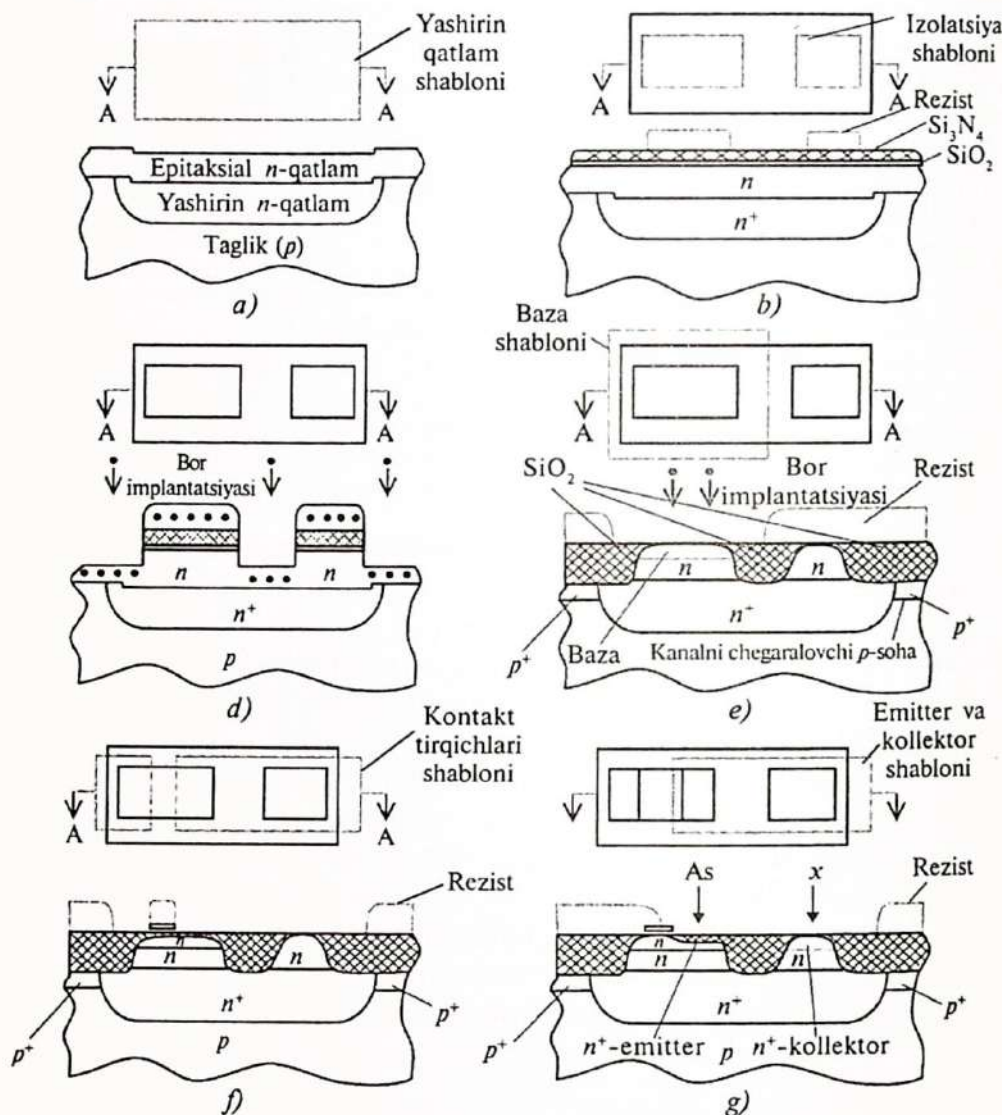
14. Alumiiniy bilan metallash	
15. Kontaktlar hosil qilish uchun fotolitografiya (shablon VI); alumiiniy kuydirish	
16. O'zaro birikmalar (kommutatsiya) hosil qilish uchun metallash va fotolitografiya (shablon VII); ishlay olishini elektr nazorot qilish; bo'laklash; yig'ish; yaroqsizlarni aniqlash va saralash; yaroqsizlik sababini tahlil qilish va TJga tuzatish kiritish	

Elementlari dielektrik bilan izolatsiyalangan bipolar IMSlar tayyorlash. Dielektrik bilan izolatsiyalash IMSlar parametrlarining yaxshilanishini ta'minlaydi. 7.3- rasmda kremniy dioksidining qalin qatlamidan foydalanib izolatsiyalangan bipolar $n-p-n$ tranzistorli mikrosxema keltirilgan. Bu usuldan foydalanilganda aktiv element ishg'ol qilgan yuza va parazit sig'img'lar kamayadi.

Boshlang'ich material sifatida p -turli o'tkazuvchanlikli kirishmalar bilan kuchsiz legirlangan ($\sim 10^{15} \text{ sm}^{-3}$) tagliklardan foydalaniladi. Avval taglik yuzasida niqoblovchi qatlam sifatida ishlatiladigan kremniyning oksidi hosil qilinadi. Undan so'ng yashirin qatlam diffuziyasi uchun tirqishchalar ochiladi. Bu tirqishchalardan mishyak yoki surma ion implantatsiya qilinadi. Bunday yashirin qatlamlar kollektorning kuchli legirlangan n^+ -qismi sifatida kollektorning qarshiligini kamaytirish



7.3- rasm. Oksid bilan izolatsiyalangan bipolar tranzistorli IMS ning tasviri.



7.4- rasm. Bipolar tranzistorning har xil bosqichlardagi shakllanishining yuqoridan va ko'ndalang kesimlarining ko'rinishi:

a) yashirin qatlam shablони hamda epitaksial qatlam o'stirilgandan va yashirin n^+ -qatlam shakllangandan so'ngi struktura; b) izolatsiyani shakllantiruvchi shablon hamda nitrid kremniy va oraliq oksiddan tashkil topgan ikki qatlamli niqobning sirtida fotorezistli niqobli strukturaning ko'rinishi; d) nitrid kremniy, oraliq oksid va kremniy qatlamlari yemirilgandan so'ngi hamda inversli kanal sohasining kengayishini cheklovchi ion implantatsiyadan keyingi strukturaning ko'rinishi; e) bazani hosil qiluvchi shablon hamda izolatsiyalovchi oksidli sohalar o'stirilgandan so'ngi va baza sohasiga bor implantatsiya qilingandan keyingi strukturaning ko'rinishi; f) kontakt sohalarini shakllantiruvchi shablon hamda baza hosil qilingandan so'ngi va baza, emitter va kollektorga kontakt tirgichlari ochilgandan keyingi strukturaning ko'rinishi; g) emitter va kollektor kontaktlarini hosil qilish uchun shablon hamda emitter va kollektor sohalariga mishyak implantatsiya qilingandan keyingi strukturaning ko'rinishi.

uchun xizmat qiladi. Implantatsiyalangan qatlam termik ishlov berish yo'li bilan taglikning ichkarisiga yashirin qatlamni shakllantirish uchun haydaladi. Yashirin qatlam shakllangandan so'ng taglik sirtida o'tkazuvchanligi n -turli bo'lgan epitaksial qatlam o'stiriladi (7.4- *a* rasm).

Epitaksial qatlam o'stirilgandan so'ng termik oksidlash yo'li bilan avval qalinligi ~ 50 nm bo'lgan oraliq plyonka SiO_2 o'stiriladi va undan keyin taglik sirtiga qalinligi taxminan ~ 100 nm atrofda bo'lgan Si_3N_4 plyonkasi o'tqaziladi. Bu plyonka qiyin oksidalanadigan bo'lgani sababli o'zining tagidagi kremniy qatlamlarini oksidlanishdan saqlaydi. Oraliq yupqa oksidli qatlam esa buferli qatlam vazifasini bajarib, keyingi bo'ladigan yuqori temperaturaviy oksidlash bosqichlarida elastik kuchlanishlar natijasida defektlarning hosil bo'lishidan himoya qiladi. O'stirilgan plyonkaning sirtida izolatsiyalovchi sohalarning holatlarini aniqlash uchun fotolitografiya o'tkaziladi (7.4- *b* rasm). Fotorezistdan maska sifatida foydalanib, nitrid kremniy, oraliq oksid qatlamlari va epitaksial qatlamning yarim qalinligi yemiriladi (7.4- *d* rasm). Mana shu bosqichda kanalning tarqalishini cheklovchi sohalarni shakllantirish uchun yemirilgan qismlarga bor ionlarining implantatsiyasini o'tkazish mumkin. Bu operatsiyadan maqsad izolatsiyalovchi oksid tagidagi p -turli taglikning legirlash darajasini oshirishdir. Mana shu bilan kuchsiz legirlangan p -turli taglik sirti o'tkazuvchanligi turi inversiyasining oldi olinadi. Aks holda har xil asboblari yashirin qatlamlarining bir-biri bilan elektr bog'lanishi yuz beradi. Fotorezist olib tashlangandan so'ng Si_3N_4 qatlami bilan himoyalangan epitaksial qatlamning hammasi SiO_2 ga aylanmaguncha termik oksidalanadi (7.4- *e* rasm). Bundan keyin SiO_2 qatlami saqlangan holda Si_3N_4 qatlamini selektiv olib tashlash mumkin.

Si_3N_4 plyonkasi olib tashlangandan so'ng strukturaning sirti yana oksidlanishi mumkin va baza sohasiga kirishmani ion implantatsiyalash uchun fotolitografiya yordamida fotorezist qatlamida maska shakllanadi (7.4- *e* rasm). Bunda kirishma ionlarining kanallab ketish jarayonini kuchsizlantirish maqsadida kirishmaning implantatsiyasi oksid plyonkasi orqali o'tkaziladi. Baza, emitter va kollektorning belgilangan sohalariga kontakt tirqishlari bir vaqtning o'zida bitta shablondan foydalangan holda ochilishi mumkin (7.4- *f* rasm). Emitter va kollektor kontaktlari sohalariga kichik energiyada, ammo katta dozada mishyak ionlari implantatsiyalanayotganda baza kontaktini himoya qilish uchun fotorezistli niqobdan foydalaniladi (7.4- *g* rasm).

Texnologik siklning tanlangan bu varianti qo'shimcha ravishda kollektor kontakti sohasiga fosfor ionlarining lokal implantatsiyasini ham o'z ichiga olishi mumkin. Bundan tashqari bazaning tashqi sohasiga bazaning kontakt qarshiligini kamaytirish maqsadida yuqori

dozadagi kirishma ionlarining lokal implantatsiyasi ham o'tkazilishi mumkin. Bu vaqtda emitter va kollektor kontaktlari fotorezistli niqob bilan himoyalangan bo'lishi kerak.

7.3

MOY strukturalarni tayyorlash

Umumiy ma'lumotlar. IMS tarkibida eng ko'p indutsirlangan kanalli MOY (MOP) tranzistorlar qo'llaniladi. Birinchi marta sanoat ishlab chiqarishida p -kanalli tranzistrlar MOY-IMS lar tayyorlandi, chunki p -Si sirtida termik oksidlashda IMS elementlarini elektr bog'laydigan invers n -qatlami hosil bo'lishi tufayli n -kanalli MOY larni tayyorlashda qiyinchilik tug'diradi. Hozirgi davrda texnologiyaning mukammallashganligi tufayli, asosan elektronlar harakatchanligining yuqoriligi sababli tezkorligi katta bo'lgan n -kanalli IMS lar tayyorlanmoqda. Bulardan tashqari ham n -kanalli, ham p -kanalli tranzistorlar tarkibida bo'lgan komplementar mikrosxemalar KMOY-IMS lar ham tayyorlanmoqda.

MOY-IMSlar planar va epitaksial-planar texnologiya bo'yicha tayyorlanadi. MOY-tranzistorlar konstruksiyasining va elementlar o'zaro izolatsiyasining oddiyligi tufayli operatsiyalar sonining umumiy miqdori bipolar texnologiyaga qaraganda ancha kamligi IMSlarning yaroqli chiqishini ko'paytiradi va tannarxini kamytiradi.

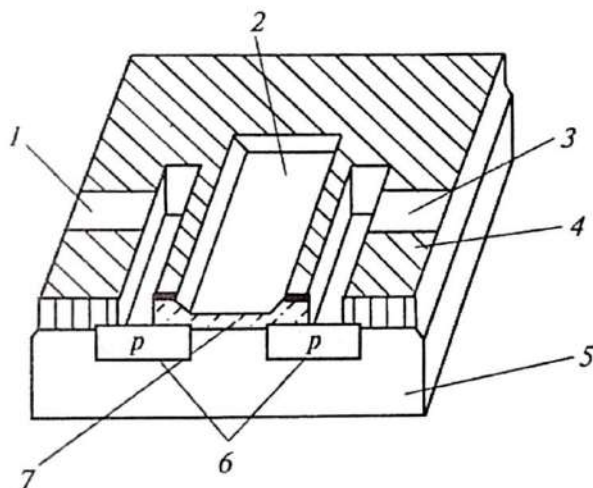
MOY-IMS texnologiyasida nozik jihatlar: zatvorosti oksidini hosil qilish, zatvor bilan kanalning bir biri bilan aniq ustma-ust tushishini ta'minlash va kanali qisqa bo'lgan struktura hosil qilish.

Zatvorosti oksidi IMS aktiv elementining tarkibiy qismi hisoblanadi. Unga kontakt niqobi materialiga qaraganda ham qattiqroq talab qo'yiladi: yuqori elektr mustahkamlik, hajmda va Si-SiO₂ chegarasida minimal zaryad, xossalarning maksimal stabilligi va shu kabilar. Sirt zaryadining zichligi Si (100) uchun $1,4 \cdot 10^{-8}$ C/sm² ni, Si (111) uchun $1,4 \cdot 10^{-8}$ C/sm² ni tashkil qiladi. Mana shuning uchun ham Si (100) afzal hisoblanadi.

Zatvor istok va stok sohalarini ortiqcha qoplamasligi kerak, aks holda hosil bo'ladigan parazit sig'imler IMS ning tezkorligini kamaytiradi. Agar zatvorning uzunligi kanalning uzunligidan kichik bo'lsa, unda istok-stok zanjiri elektr jihatdan uzilgan bo'lib qoladi.

Kanal uzunligi tok tashuvchilarning istokdan stokka o'tish vaqtini, demak, MOY-IMS ning tezkorligini belgilaydi.

MOY-IMS lar tezkorligini oshirish ularning qo'llanilish sohasini kengaytiradi, bitta elementga to'g'ri keladigan yuzaning kichikligi va texnologiyaning soddaligi esa yuqori darajali integratsiyani amalga oshirish imkoniyatini beradi. MOY-strukturalar ko'pchilik katta va o'ta katta integral sxemalar asosini tashkil qiladi.



7.5- rasmi. IMS dagi MDY tranzistorining konstruksiyasi:

1, 3 — mos holda istok va stokning aluminiyli kontaktlari; 2 — aluminiyli zatvor; 4 — izolatsiyalovchi oksid; 5 — kremniyli taglik; 6 — istok va stokning p -turdagi sohalari; 7 — zatvorosti dielektrigi.

Maydonli IMS larni tayyorlash texnologiyasi. Maydonli IMS tarkibida indutsirlangan kanalli MOY tranzistorlar eng ko'p qo'llaniladi. 7.5- rasmda IMS dagi p -kanalli MDY tranzistori strukturasining sxemasi keltirilgan.

Quyida MDY-IMS texnologiyasining asosiy variantlaridan biri — p -kanalli MDY-tranzistorli strukturani tayyorlashni ko'rib chiqamiz.

Bunday struktura hosil qilish uchun boshlangich material sifatida n -turdagi, qalinligi 200–250 μm bo'lgan kremniydan foydalaniladi. Bir-biriga yaqin joylashgan p -turli kirish va chiqish sohalari oksidli niqobdan tirqish ochib, 1–2 mikron chuqurlikka diffuziya bilan hosil qilinadi. Bu sohalar oralig'ida kremniy sirtida yupqa (50–100 μm) va o'ta toza kremniy oksidining (SiO_2) plyonkasi hosil qilinadi va unga aluminiy plyonkasi o'tqaziladi. Bu MDY tranzistoriga zatvor bo'lib xizmat qiladi. Kirish va chiqishning p -turli sohalarida aluminiyli omik kontaktlar shakllanadi. Agar zatvorosti dielektrigi sifatida kremniy oksidi qo'llanilsa, unda IMS IMS-MOY (metall-oksid-yarimo'tkazgich) turli yoki MOY-IMS deyiladi.

MOY integral sxemalarining konstruksiyasi va texnologiyasining sezilarli soddaligi ularning radioelektron qurilmalarda keng qo'llanilishiga asos bo'ldi.

Bipolar IMS lar ishlab chiqarishda texnologik operatsiyalarning umumiy soni 130 ni tashkil qilsa, MOY-IMS larda esa 45 ni tashkil qiladi. MOY-IMS texnologiyasida murakkab operatsiyalar sonining kamayishi yaroqli qurilmalar chiqishining oshishiga sabab bo'ldi.

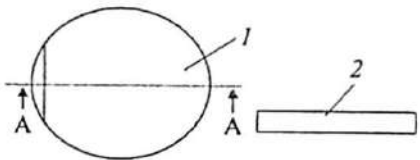
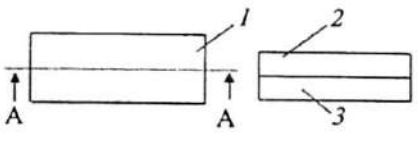
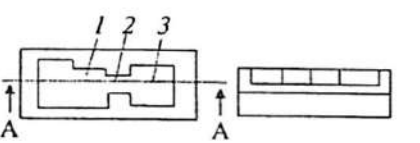
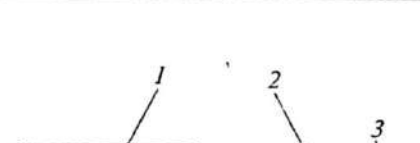
MOY-IMS tayyorlashning asosiy texnologiyasi, bu p - yoki n - kanalli MOY-IMS tayyorlash usuli hisoblanadi. Bu texnologiyada berilgan strukturalarni shakllantirish uchun bipolar IMS texnologiyasidagi fizik-kimyoviy jarayonlardan foydalaniladi.

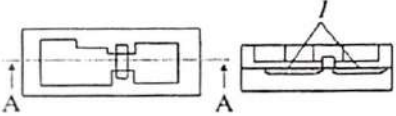
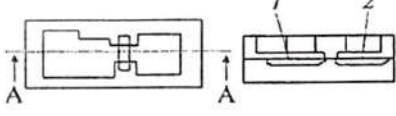
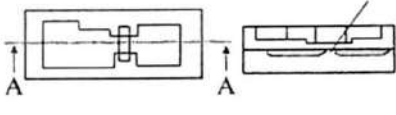
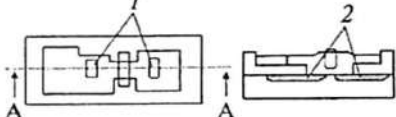
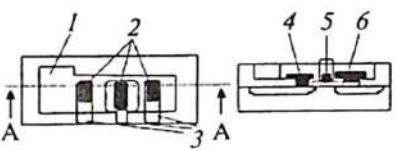
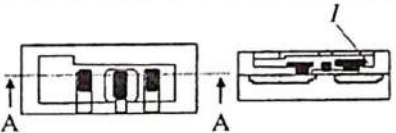
MOY-IMS tayyorlashning ko'p sonli texnologik usullari mavjudligiga qaramasdan asosiy texnologiya sifatida p - yoki n -kanalli MOY-IMS tayyorlash jarayoni hisoblanadi. Bu texnologik jarayonning sxemasi 7.2- jadvalda keltirilgan.

Boshlang'ich kremniy plastinasining diametri 60–250 mm atrofida bo'ladi.

7.2- jadval

Integral MOY tranzistorini tayyorlashning texnologik (o'quv-laboratoriyaviy) jarayoni

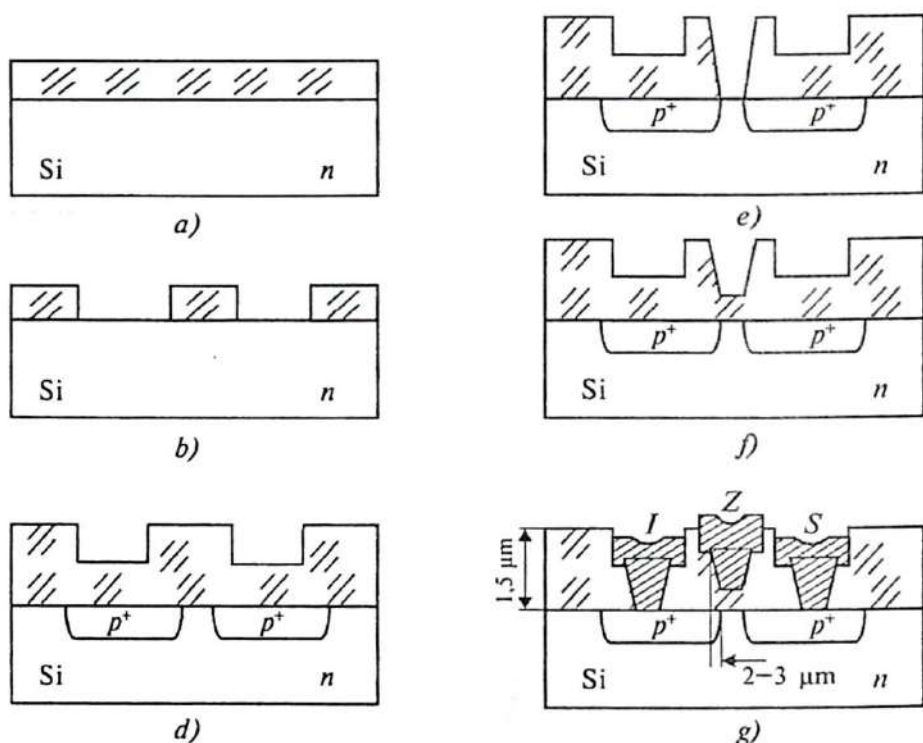
Operatsiyaning nomi	Operatsiyadan keyingi struktura fragmentining plani va profili (A-A bo'yicha qirgim)	Eslatma
Taglikni boshlang'ich nazorat qilish		1 – diametri 60 dan 250 mm gacha bo'lgan kremniy plastinasi; 2 – plastina qirgimining fragmenti
Plastinani birlamchi oksidlash		1 – Si plastinasidagi struktura fragmentining plani; 2 – oksid qatlami; 3 – n -turli Si taglik
Birlamchi niqoblash va birlamchi yemirish		1 – istok sohasi; 2 – zatvor sohasi; 3 – stok sohasi
Ikkilamchi niqoblash va diffuziyaga tayyorlash uchun ikkilamchi yemirish		1 – niqobdagi zatvor sohasi; 2 – zatvordagi qalinligi 0,2 μm bo'lgan dielektrik oksidli qatlam; 3 – ikkilamchi yemirishdan keyingi qalinligi 0,8 μm bo'lgan boshlang'ich oksid

<i>p</i> -turli istok va stokning diffuzion sohalarini oksidlovchi diffuziya bilan hosil qilish		1 – chuqurligi 2 μm li <i>p</i> -turli diffuzion qatlam
Uchlamchi yemirish		1 – istok; 2 – stok
Ikkilamchi oksidlash		1 – qalinligi 0,02 μm bo'lgan yangi oksid (zatvorosti) qatlami
Uchlamchi maskalash va to'rtlamchi yemirish		1 – omik kontaktlar ostida tirqishcha ochish uchun maska; 2 – omik kontaktlar osti tirqishchasi
Metallash, to'rtlamchi maskalash va beshinchi yemirish		1 – <i>p</i> -tipning diffuzion qatlamlari; 2 – omik yemirish kontaktlar; 3 – o'zaro birikmalar; 4 – kirish; 5 – zatvor; 6 – chiqish
Passivlash		1 – passivlovchi qoplama

Qalin oksidli *p*-MOY-IMS va *n*-MOY-IMS larni tayyorlash.

Metall zatvorli hamda metallizatsiya va kremniy plastinasi oralig'ida qalin oksidli IMSlarni tayyorlashning eng sodda bo'lgan jarayonlarini ko'rib chiqamiz. Bu parazit sig'imni kamaytiradi hamda avval qo'llanilgan yupqa oksidli texnologiyaga qaraganda yana ba'zi bir boshqa ustunliklar beradi.

Kanali p-turli MOY-IMS lar planar texnologiya bo'yicha tayyorlanadi. Lokal diffuziya va qalin oksidni o'stirish bir vaqtda yoki alohida o'tkazilishi mumkin (7.6- rasm).



7.6- rasm. Qalin oksidli p -turli kanalli MOY-IMS larni tayyorlash sxemasi: a) niqoblovchi oksidni oʻstirish; b) birlamchi fotolitografiya; d) lokal diffuziya, qalin oksidni oʻstirish; e) ikkilamchi fotolitografiya; f) yupqa zatvorosti oksidni oʻstirish; g) uchlamchi fotolitografiya, zatvorlarni va metallashni shakllantirish.

Ikkinchi holatda oksid bugʻgazli fazadan oʻtqaziladi. Istok va stoklarning aktiv sohalari ustidagi oxirgi oksidning qalinligi $1\ \mu\text{m}$, boshlangʻich n -turli kremniy sirtidagi oksidning qalinligi $1,5\ \mu\text{m}$ ni tashkil qiladi. Eng murakkabi bu yupqa oksid tagida tirqishcha ochish uchun fotolitografiyani va undan keyingi qalin oksidni yemirishlarni oʻtkazishdir.

7.4.

Kremniyli strukturalarni metallash va himoyalash

Strukturalarni metallash. IMS elementlari elektrodlari va kontakt maydoncha oraliqʻida tok oʻtqazuvchi metall birikmalar xosil qilishda termovakuumli changlatish, bugʻlantirish jarayonlaridan foydalaniladi. IMS dagi elementlararo birikmalar yuzalari aktiv va passiv elementlar yuzalariga teng, xatto katta boʻlishi ham mumkin.

Metallash usuliga talab berilgan elektr parametrlari, yaroqli buyumlar chiqish prosenti, ishonchlilik, tayyorlashning oddiyligi va narxiga qarab qoʻyiladi.

Kremniydagi aktiv va passiv elementlar elektrodlarini metallash tizimi kichik qarshilikli kontakt hosil qilish imkoniyatini berishi kerak. Metall dielektrik bilan yaxshi birikma hosil qilishi kerak, plyonkaning juda ingichka bo'laklarga bo'linishiga imkon berishi kerak va tashqi chiqishlarni biriktirishga qo'llaniladigan qotishma bilan birikma hosil qila olishi kerak. IMS tayyorlashda bu operatsiyaning umumiy ketma-ketligi quyidagicha:

1. Metallni changlantirib plyonka hosil qilish.
2. Bu plyonkada fotolitografiya yordamida kerakli rasmni hosil qilish.

3. Kremniyga kichik omli kontaktlar hosil qilish uchun termik qayta ishlov berish yoki kuydirish.

Ko'p qatlamli strukturalar hosil qilishda yarimo'tkazgichli plastinalar ustida quyidagi qo'shimcha operatsiyalar o'tqaziladi:

1. Dielektrik hosil qilish.
2. Pastki metall plyonkaga kontakt talab qilingan joyda dielektrikda tirqishcha ochish uchun fotolitografik qayta ishlov berish.

3. Metallning ikkinchi qatlamini o'tqazish va unda rasm hosil qilish.

Aluminiyli birikmalar. Kremniyli IMS texnologiyasida elementlararo birikmalarni tayyorlashda aluminiyli metallash keng qo'llaniladi. Buning natijasida IMSni tayyorlashda faqat bitta metall dan foydalaniladi. Bu esa texnologiyani soddalashtiradi. Vakuumda aluminiyli bug'lantirish eng ko'p o'rganilgan va oson bajariladigan jarayondir. Bundan tashqari aluminiy oksidlarga yaxshi adgeziyalanadi. Aluminiy plyonkalariga fotolitografiya usullari yordamida kerakli konfiguratsiyalarni hosil qilishi uchun oson ishlov berish mumkin. Aluminiy alohida qizdiriladigan tigellar yoki elektron nurlar yordamida bug'lantiriladi. IMS larda aluminiy plyonkasining qalinligi bir mikron atrofida bo'ladi. Kerakli rasm, ya'ni konfiguratsiya hosil qilingandan so'ng aluminiyli qoplamaga kremniy bilan kichik qarshilikli kontakt hosil qilishi uchun termik qayta ishlov beriladi. Bunda bir necha minut davomida 550 °C temperaturada qizdiriladi. Aluminiy p - va n^+ -turli kremniy bilan qarshiligi juda kichik bo'lgan kontakt hosil qiladi va mana shunday qatlamlardan IMSda foydalaniladi.

Omik kontaktlar. Omik kontaktlar ishchi tok diapazonida qarshiligining to'g'ri chiziqliligi bilan ifodalanadi. Kontakt qarshiligini kamaytirishning asosiy usullaridan biri yarimo'tkazgichning sirtini kuchli legirlashdir. O'tkazuvchanligi n -turli kremniyga aluminiyli kontakt hosil qilinsa, uning qarshiligi p -turga qaraganda 100 marta yuqori bo'ladi. Shu sababli n -turli kremniyga kontakt hosil qilish uchun molibdenli idishdan termik bug'lantiriladigan oltindan foydalaniladi. Bunday

plyonkalarining qalinligi 20 nm dan oshmaydi. Plyonka 500 °C da qizdiriladi va uning sirtiga 0,5–1,5 μm bo'lgan kumush qatlami qoplanadi.

IMS ning aktiv sohasi bir necha kv. μm dan ortmaydi va ulardan elektrod uchun chiqiq chiqarish qiyin. Chiqiq chiqarish uchun kontakt maydonchalari hosil qilinadi. Bu maydonchalarning bir qismi aktiv soha bilan biriktiriladi, katta periferiya qismi esa kremniy dioksidi sirtida joylashadi. Kontakt maydonchalarining qatlam osti titan-nikel, titan-kumush, titan-oltin yoki toza aluminiydan tayyorlanadi.

Hozirgi vaqtda IMS ishlab chiqarishda omik va to'g'rilovchi kontaktlar qiyin eruvchi metallarning silitsidlari asosida hosil qilinmoqda.

Yarimo'tkazgichli strukturalar sirtini himoyalash. Yarimo'tkazgichli materiallar va p - n o'tish sirtlarining holatlari diskret yarimo'tkazgichli asboblardan va IMS larning elektr parametrlariga kuchli ta'sir qiladi. Chunki sirtning strukturasi bog'lanishlari qisman uzilgan atomlardan tashkil topadi, bular esa yarimo'tkazgichning turiga bog'liq bo'lmagan holda akseptorli energetik sathlarni hosil qiladi. Ular bilan birga tashqaridan gaz va suyuqlik ko'rinishidagi moddalarning adsorbsiyasi natijasida qo'shimcha sirt holatlari hosil bo'ladi. Bu sathlar donor yoki akseptor xarakteriga ega bo'lishi mumkin. Buning natijasida yarimo'tkazgich — muhit chegarasida energetik zona egrilanadi va yarimo'tkazgichli materialning sirtida invers qatlam hosil bo'ladi.

Sirt holatlari yarimo'tkazgichlarning bir qancha parametrlariga salbiy ta'sir qiladi. Bulardan eng kerakligi noasosiy zaryad tashuvchilarning sirt rekombinatsiyasi tezligidir. Tranzistorlarda sirt rekombinatsiyasining tezlashishi zaryad tashuvchilarni uzatish va kuchaytirish koeffitsiyentlarining kamayishiga olib keladi. Yarimo'tkazgichli kristalllarda sirt holatlarining o'zgarishi atrof muhitning o'zgarishi va uning yarimo'tkazgichli materialga ta'siri natijasida yuzaga keladi. Shu sababli yarimo'tkazgichli strukturalar sirtini himoyalash sifatiga tayyor asboblarning elektr parametrlari bilan bir qatorda ularning ishonchligi va ishlab berish vaqti bog'liq bo'ladi.

Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida tashqi agressiv muhitning yarimo'tkazgichli kristall sirtiga ta'sirini yo'qotish uchun har xil texnologik usul va operatsiyalardan foydalaniladi. Noplanar turda tayyorlanadigan asboblarni himoyalash uchun suyuq kremniy organik laklar va kompaundlar yarimo'tkazgichli kristall sirtiga surkaladi. Bular qurigandan va qotgandan keyin asboblarni tashqi atmosfera ta'siridan saqlaydi. Bu usulning ustunligi uning oddiyligida va avtomatlashtirish imkoniyati borligidadir.

Yarimo'tkazgichli asboblari va IMSlar ishlab chiqarishda kremniy dioksidi SiO_2 va nitridi Si_3N_4 plyonkalari strukturalarni himoyalovchi sifatida keng qo'llanilmoqda. Asboblarni tayyorlashning planar variantida kremniy dioksidi SiO_2 va nitridi Si_3N_4 himoyalovchi plyonkalar boshlang'ich taglikda $p-n$ o'tishdan oldin hosil qilinadi.

Bulardan tashqari yarimo'tkazgichli materiallar sirtini himoyalashda metall oksidlari va shisha plyonkalardan ham foydalaniladi.

Umuman yarimo'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarishda planar va noplanar epitaksial texnologiyalarda foydalaniladigan himoyalovchi plyonkalarga quyidagi asosiy talablar qo'yiladi:

- Diffuziyalanuvchi elementlarning sirtiga to'liq kirib borishidan himoyalash.

- Vaqt bo'yicha chidamlilik.
- Bir jinslilik va nuqsonsizlik.
- Elektr mustahkamlik.
- Yuqori mexanik mustahkamlik.



Yupqa plyonkali strukturalar texnologiyasining umumiy marshrutlari

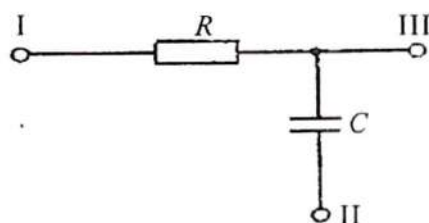
Gibrid integral mikrosxemalarda (GIS) hamma passiv elementlar dielektrik plastinada (taglikda) plyonka holatda hosil qilinadi. Aktiv elementlar: diodlar va tranzistorlar esa plyonkali sxemaga osma ravishda ulanadi. Murakkab GIS larda osma elementlar sifatida IMS lar va mikroelektron komponentlar qo'llanilgan bo'lsa, uni mikroyig'ma (mikrosborka) deyiladi. GIS lar yupqa va qalin plyonkali xillarga bo'linadi.

Plyonkali texnologiya deganda gibrid va plyonkali IMS larning platalarini tayyorlash tushuniladi. Yupqa plyonkali texnologiyada qalinligi bir μm dan oshmagan passiv elementlar changlatish, bug'latish, ion plazmali jarayonlar yordamida tayyorlanadi. Qalin plyonkali texnologiyada esa passiv elementlarning qalinligi 5–25 μm bo'lib, trafaret bosma yordamida hosil qilinadi.

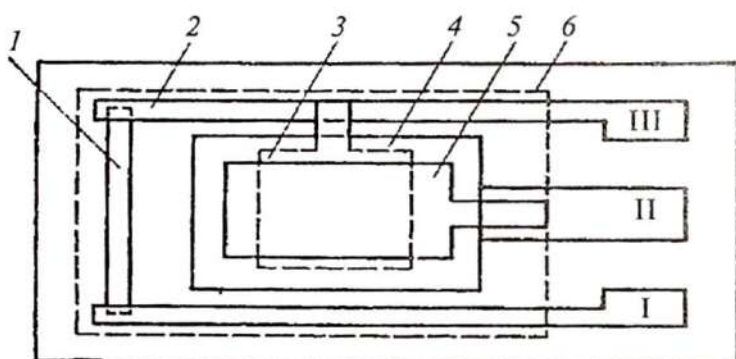
Yupqa plyonkali strukturalar: 1) erkin maska; 2) fotolitografiya yordamida tayyorlanadi.

Erkin maska yordamida yupqa plyonkali strukturalar hosil qilish. Erkin metall maskalar termovakuumli changlatish va ion plazmali bug'latishlar bilan birgalikda elementlar topologiyasini hosil qilish uchun foydalaniladi.

Yupqa plyonkali strukturalarni tayyorlash uzluksiz, alohida va kombinatsiyali vakuum jarayonlari orqali bajariladi. Bunda *kombinatsiyali vakuum jarayoni* ko'proq qo'llaniladi. Bu jarayonni RC-IM yupqa plyonkali strukturani tayyorlash misolida ko'rib chiqamiz (7.7- rasm).



a)



b)

7.7- rasm. Yupqa plyonkali RC-IM ning prinsipial elektr sxemasi (a) va topologiyasi (b):

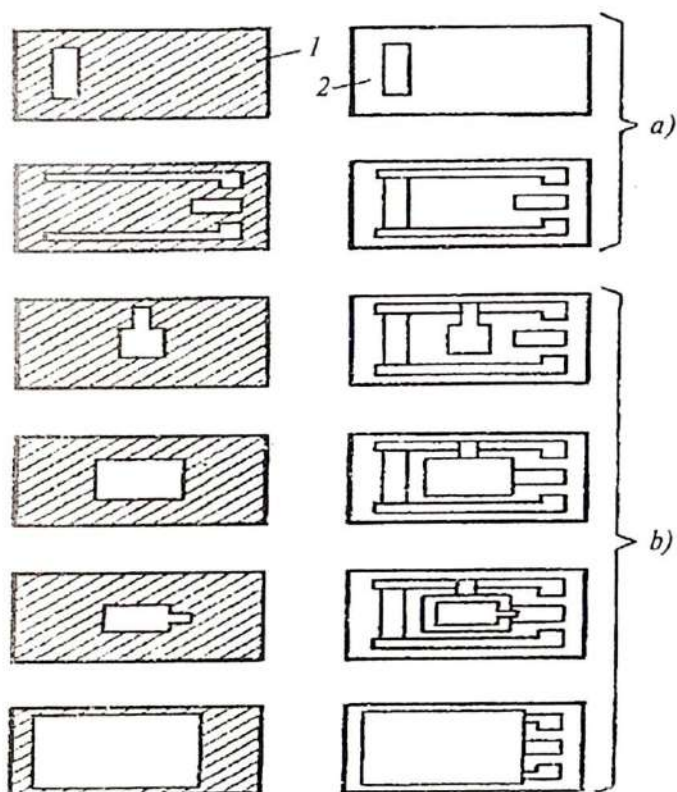
1 – rezistor (xrom); 2 – o‘tkazuvchi yo‘lchalar va kontakt maydonchalari (qatlam tagi xromli mis); 3 – kondensatorning pastki qoplamasi (aluminium); 4 – kondensatorning dielektrigi (germaniy monooksidi); 5 – kondensatorning yuqori qoplamasi (aluminium); 6 – himoya qatlami (kremniy monooksidi).

Yupqa plyonkali RC-strukturalarni erkin maska yordamida tayyorlash jarayonlarini ikkita a) va b) bosqichga bo‘lish mumkin (7.8- rasm).

a) *Rezistivli va o‘tkazgichli plyonkalarni changlatish* uzluksiz jarayon holida bitta vakuum kamerasida bajariladi. Rezistiv qatlam xromni changlantirib hosil qilinadi. U sublimatsiyalanadigan modda bo‘lib, erish temperaturasidan kichik bo‘lgan 500 °C temperaturada uchiriladi. Bunda rezistivli volfram bug‘lantirgichdan foydalaniladi.

Changlantirish jarayoni davomida xrom qoldiq kislorod bilan birikib yuqori qarshilikli plyonka hosil qiladi. Xromni changlatishda taglik 200–250 °C gacha qizdiriladi. Kerakli qalinlikdagi plyonka hosil bo‘lgandan so‘ng jarayon to‘xtatiladi.

O‘tkazgichli plyonkalar suyuq holdagi misdan bug‘lantirilib hosil qilinadi.



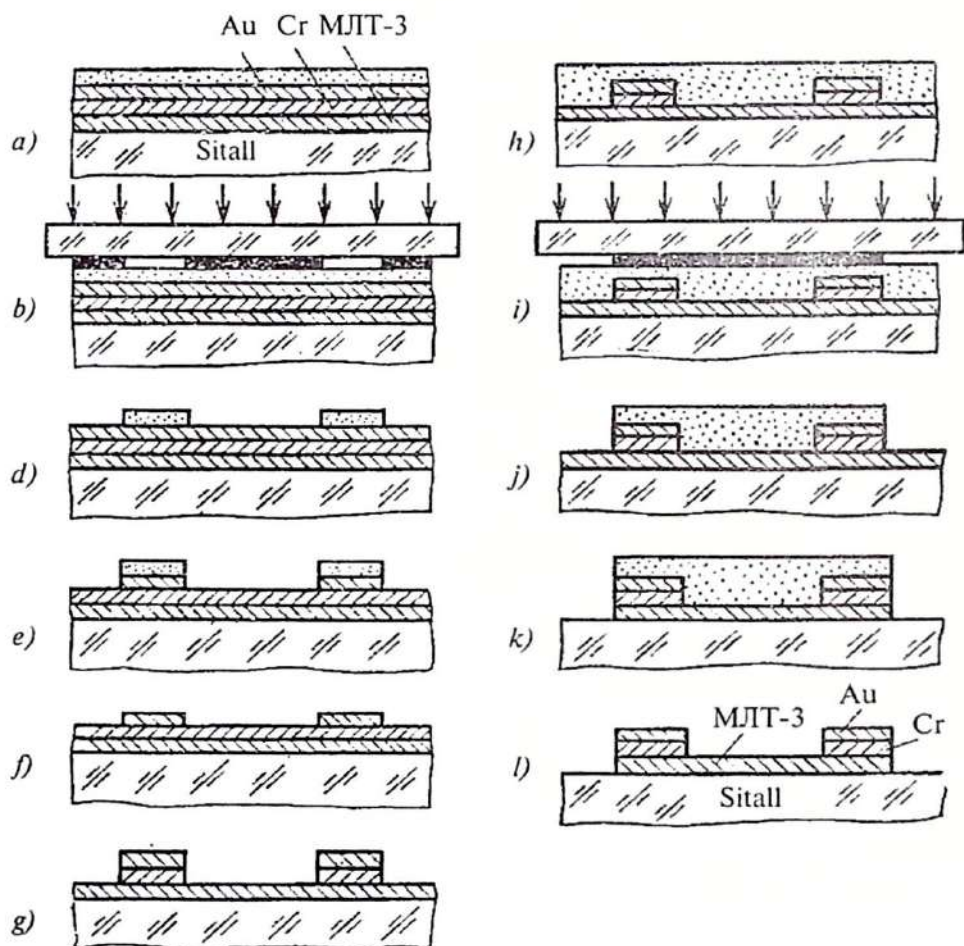
7.8- rasm. Erkin maska yordamida yupqa plyonkali RC-IM ni tayyorlash sxemasi:

- a) rezistorlar, o'tkazgichlar va kontakt maydonchalarini changlatib hosil qilish;
 b) kondensator qatlamlari va himoya plyonkasini changlatib hosil qilish;
 1 — erkin maska; 2 — taglik

b) *Kondensator qoplamalari va himoya qatlami* boshqa qurilmada changlantirib hosil qilinadi.

Vakuum kamerasining to'rtta holati plyonkalarni changlatish ketma-ketligiga mos holda changlantiriladigan materiallar — navekalar: aluminiy, germaniy monooksidi, aluminiy va kremniy monooksidi bilan yuklanadi. Keyin kamera germetiklanadi va $1,3 \cdot 10^{-3}$ Pa bosimgacha havosi so'riladi. Taglikning temperaturasi ishchi holatgacha ko'tariladi va changlatishning hamma jarayonlarida o'zgarmas holatda ushlab turiladi.

Fotolitografiya yordamida yupqa plyonkali strukturalarni tayyorlash. Fotolitografiya murakkab va qimmat turadigan jarayon bo'lganligi uchun bu usuldan erkin maska yordamida murakkab topologiyali va nominal parametrlari yuqori aniqlikda bo'lgan elementlarni hosil qilib bo'lmaydigan holatlarda foydalaniladi.



7.9- rasm. Yupqa plyonkali R-IM ni fotolitografiya yordamida tayyorlash sxemasi:

a) MJIT-3, xrom, oltin plyonkalarini o'tkazish va fotoqatlamni shakllantirish; b) rasmga tushirish; d) ochiltirish (proyavleniye); e) oltin plyonkasini lokal yemirish; f) fotoniqobni olib tashlash; g) xrom plyonkasini yemirish; h) fotoqatlamni shakllantirish; i) rasmni tushirish; j) ochiltirish (proyavleniye); k) MJIT-3 qotishmani lokal yemirish; l) fotoniqobni olib tashlash.

Yupqa plyonkali R- strukturalarni fotolitografiya yordamida tayyorlash sxemasi ikki bosqichdan iborat bo'ladi (7.9- rasm). Avval o'tkazgich va kontakt maydonchalari tag osti xrom bo'lgan oltindan tayyorlanadi. Bunda xrom MJIT-3 qotishmadan tayyorlangan rezistorlarning plyonkaga adgeziyasini yaxshiroq ta'minlab beradi.

Undan keyin ikkinchi fotolitografiya yordamida rezistor shakllanishi tugallanadi. Rasmda o'tkazgichlar ko'rsatilmagan. Bu yerda asosiy qiyinchilik yemirgichni tanlash bo'lib, u faqat kerakli materialnigina olib tashlashi va plyonkaning parametrlarini yomonlashtirmasligi kerak.

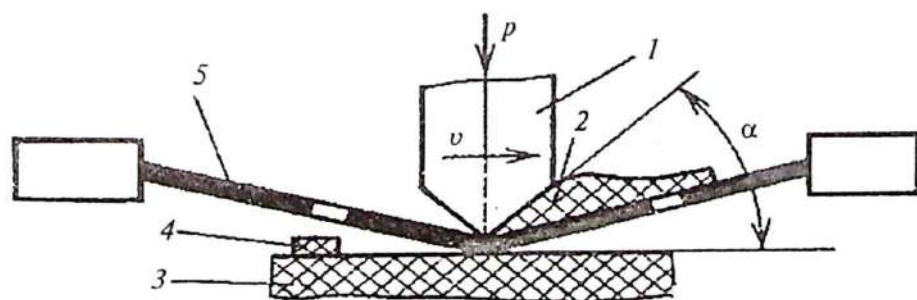
Qalin plyonkali gibril IMS larni ishlab chiqarish texnologiyasi IMS konstruktiv elementlaridagi o'tkazgichlar, rezistorlar va dielektriklar rolini bajaruvchi har xil materiallarning qalinligi $10\text{ }\mu\text{m}$ dan yuqori bo'lgan qatlamlarini hosil qilishga asoslangan. IMS ning berilgan shaklini hosil qilish uchun trafaret bosma – shelkografiya (setkografiya) usulidan foydalaniladi. Bu quyidagicha o'tkaziladi: ma'lum tarkib va qovushqoqlikka ega bo'lgan pasta rakel yordamida to'rtli trafaret orqali bosilib, uning shakli tushiriladi (7.10- rasm). Hosil bo'lgan shaklli qatlamlarga uning plataga mustahkamlanishi va kerakli elektrofizik va mexanik xususiyatlarga ega bo'lishi uchun qayta ishlov beriladi – quritiladi, qizdiriladi, kuydiriladi.

Qalin plyonkali texnologiyada aniqlik bo'yicha yutqazilsa ham jarayonning oddiyligi va iqtisodiy jihati bilan ancha katta yutuqqa ega bo'linadi.

7.11- rasmda qalin plyonkali GIS tayyorlash texnologik jarayoni-ning struktura sxemasi keltirilgan.

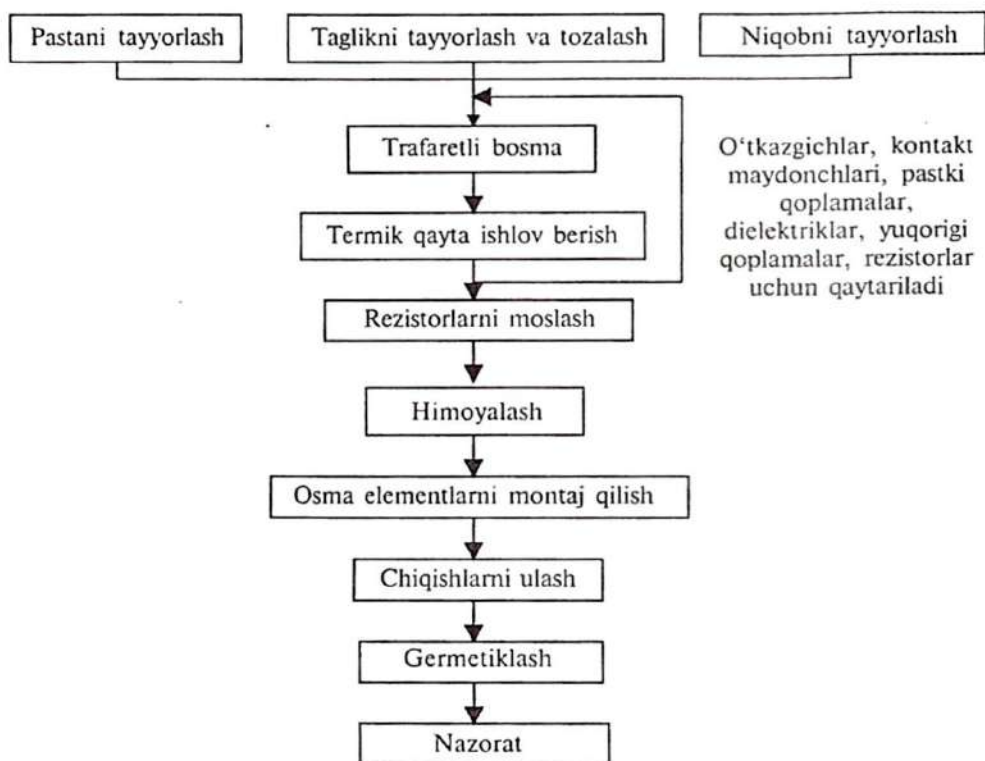
Pastalar bosishning ketma-ketligi termik ishlov temperaturasining kamayish tartibiga mos kelishi kerak.

Qalin plyonkali strukturalar uchun tagliklar asosan 22XC markali alumokeramikadan tayyorlanib, uning tarkibi 94,4% aluminiy, 2,76% kremniy, 2,35% marganes, 0,49% xrom oksidlaridan tashkil topgan.



7.10- rasm. Kontaktsiz trafaret jarayonining sxemasi:

1 – rakel; 2 – pasta; 3 – taglik; 4 – pastaning izi; 5 – niqob (maska); v – rakelning harakat tezligi; α – rakelning taglik sirti bilan uchrashish burchagi; p – bosim.



7.11- rasm. Qalin plyonkali gibril IMS larni tayyorlash sxemasi.

Taglik uchun materiallarning dielektrik singdiruvchanligi iloji boricha kichik qiymatga ega bo'lgani ma'qul, chunki bunda elektr signalining kechikishi minimum holga keladi:

$$\frac{\tau_k}{l} = \frac{\epsilon}{c},$$

bu yerda τ_k — kechikish vaqti; l — trakt uzunligi; ϵ — dielektrik singdiruvchanlik; c — yorug'lik tezligi.

Odatda, pastalar quyidagi ketma-ketlikda bosiladi va termik ishlov beriladi: o'tkazgichlar, kontakt maydonchalari, kondensatorning pastki qoplamasi, dielektriklar, ustki qoplama, rezistorlar, himoyalash.

O'tkazuvchi qatlam uchun pastalar nodir metallar (Au, Ag, Pd) asosida tayyorlanadi.

O'tkazuvchi qatlamning tipik tarkibi: 12% Pd, 75% Au va 13% bog'lovchi materialdan iborat bo'ladi.

Rezistorlar uchun pastalar kermet materiallari asosida tayyorlanib, ularda o'tkazuvchi faza sifatida metallar (Pd, Ag, W va volfram karbidi), dielektrik material sifatida esa metallarning oksidi va shisha hisoblanadi.

Dielektrik materiallar ko'p qatlamli strukturalarni va kondensatorlarning qoplamalarini izolatsiya qiluvchi germetik qoplama sifatida ishlatiladi.

Germetik qoplama sifatida har xil organik kompaundlar qo'llaniladi.

Kondensatorlar tayyorlashda dielektrik qatlam sifatida segneto-elektrik materiallardan foydalaniladi, masalan: BaTiO_3 asosidagi ПК-1000—30 markali pasta.

Pastalarga termik ishlov berish ikkita operatsiyani o'z ichiga oladi: quritish va kuydirish.

Quritish operatsiyasida pastadagi uchuvchan komponentlar sekin asta yo'qotiladi. Bu jarayon $80-150^\circ\text{C}$ temperaturada 5—15 minut davomida pechda yoki infraqizil lampalarda o'tkaziladi.

Kuydirish operatsiyasi esa konveyerli, uzluksiz ishlovchi, masalan, CK-10/16.6-5 markali elektr pechlarida bajariladi.



Katta va o'ta katta IMS strukturalarini tayyorlash texnologiyasining xususiyatlari

Katta va o'ta katta IMS larning tavsifi. IMS larning funksional murakkablashuvi integratsiya darajasining oshishi bilan bog'langan. Yarimo'tkazgichli bu IMS lar uchun elementlar o'lchamlarini kichraytirish yoki kristallning yuzasini kattalashtirish bilan erishiladi. Biroq kristallning yuzasini elementlar sonining oshishiga proporsional ravishda oshirib bo'lmaydi, chunki bunday qilinsa nuqtali nuqsonlar hisobiga brakning oshishiga sabab bo'ladi. Shu sababli kristallning yuzasi saqlansa ham, oshirilsa ham integratsiya darajasining oshishi element o'lchamlarining va metallashgan yuzalarning kichrayishiga, ularning joylashish zichligining oshishiga bog'liq bo'ladi. Bu yerda shuni qayd qilish kerakki, bunda katta va o'ta katta IMS elementlarining o'lchamlari ham gorizontall, ham vertikal yo'nalishlarda kamaytiriladi.

Katta va o'ta katta IMSlarni gibridli tayyorlash kommutatsiya platalarini, har xil funksional qo'llanilishli yarimo'tkazgichli mikro-sxemalarni tayyorlash jarayonlarini ko'zda tutadi va keyinchalik esa ular yagona korpusga yig'iladi. Bu cheklangan integratsiya darajasi har bir kristall doirasida yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga erishish imkoniyatini beradi. Mana shu tamoyil bo'yicha mikroprosessorli va boshqa funksional murakkab mikroyig'malar tayyorlanadi.

Mikroshemalarda integratsiya darajasini kattalashtirish texnologik jarayonlarning mukammallashtirish, yangi sxemotexnik va konstruktiv-texnologik yechimlar ishlab chiqish yo'llari bilan amalga oshiriladi.

hollarda esa rezistorlar va kondensatorlardan tashkil topadi. Bu yerda asosiy tendensiya kommutasion plataga komponent sifatida montaj qilingan alohida sitalli platada tayyorlangan diskret yoki plyonkali elementlardan foydalanishdir. Bunda asosiy muammo issiqlikni yaxshiroq olib ketishni ta'minlashdir. Mana shu sababli taglik sifatida ko'proq yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan keramikadan foydalaniladi. Bundan tashqari sitall, polikor, metalli va egiluvchan poliimidli tagliklar ham qo'llaniladi.

Yupqa plyonkali texnologiya yuqori seza olish va aniqlikni ta'minlaydi, biroq u ayniqsa yuqori chastotalarda parazit (zararli) bog'lanishlarni minimumga keltira olmaydi. Parazit bog'lanishlarni kamaytirish uchun o'tkazgichlarning va qatlamlar orasidagi izolatsiyaning qalinligini oshirish kerak. Lekin qalin plyonkali texnologiya birikmalarning yuqori zichligini ta'minlay olmaydi. Shu sababli ba'zi hollarda yupqa va qalin plyonkali texnologiya birgalikda qo'llaniladi. Quyida kommutatsion platalarda ko'p sathli elementlararo birikmalarni shakllantirishning asosiy usullari ko'rib chiqilgan.

Yupqa plyonkali texnologiya quyidagilarni o'z ichiga oladi: sitalli taglikda termovakuumli bug'lantirib yoki ion-plazmali usul bilan hosil qilingan birlamchi o'tkazuvchan sath va fotolitografiya; SiO , SiO_2 , Al_2O_3 izolatsion qatlamlarni, negativ fotorezistni, poliimidli lakni shakllantirish; ikkilamchi o'tkazuvchan sathni shakllantirish; himoya qatlamini hosil qilish va fotolitografiya. Yupqa plyonkali texnologiya ko'pi bilan ikki o'tkazuvchan qatlamli platalarni tayyorlash uchun qo'llaniladi.

Qalin plyonkali texnologiya o'tkazuvchan qatlam miqdori ikkidan ko'p bo'lgan qatlamli platalarda qo'llaniladi. Birikmalarni hosil qilish jarayoni trafaret bosma va har bir qatlamga termik ishlov berishni o'z ichiga oladi. Texnologiyaning alohida xususiyati, bu ikkilangan bosma va izolatsiyali qatlamlarga termik ishlov berish hamda qalin (bir necha o'n mikrometr) izolatsiyali qatlamlar orqali kontakt o'tishlarni o'stirish yo'li bilan shakllantirish zarurligidir. Rasm konturini saqlash bo'yicha izolatsiyali qatlam pastalariga yuqori talablar qo'yiladi. Yaxshi natijalar ko'proq sitallosementlardan foydalanilganda ta'minlanadi. Jarayon kontakt yuzachalarni qalaylash bilan yakunlanadi. Taglik sifatida asosan 22XC rusumli alumokeramika qo'llaniladi.



Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish

VIII b o b

Elektron asboblari va IMS larni yig'ish eng ko'p mehnat talab qiladigan va mas'uliyatli texnologik bosqich hisoblanadi.

Yig'ish bosqichi yarimo'tkazgichli plastinani planar texnologiya bo'yicha guruhli ishlov berilgandan va alohida elementlarga (kristallchalarga) ajratilgandan keyin boshlanadi. Bu kristallchalar sodda (diodli yoki tranzistorli) strukturadan yoki murakkab integral mikro-sxemadan iborat bo'lib, diskret, gibrid yoki monolit kompozitsiyalarni yig'ishga yuboriladi.

Yig'ish jarayoni uchta asosiy texnologik operatsiyadan iborat: korpus asosiga kristallni biriktirish; yarimo'tkazgichli kristallning aktiv va passiv elementlarini hamda korpusning ichki elementlarini tok keluvchi ulagichlarga biriktirib ulash; kristallni tashqi muhitdan germetizatsiyalash.



Plastina va tagliklarni bo'laklash

Elektron texnika mahsulotlarini yig'ishga tayyorgarlik. IMS ning tayyor strukturalarining elektr parametrlari avtomatik ravishda zondli nazoratdan o'tgandan so'ng plastina yoki tagliklar alohida strukturalarga: kristall yoki platalarga bo'laklanadi. Bo'laklashdan so'ng keyingi yig'ish uchun oriyentatsiyani, ya'ni kristallar, platalarning o'zaro joylashishini saqlab qolish muhimdir. Bu ayniqsa plastinalarga tegishlidir. Mana shu sababli plastinalar yopishqoq elastik tasmaga joylashtiriladi va butun qalinlik bo'yicha bo'linmasdan, balki kesish yoki skraybirlash bilan materialni mexanik kuchsizlatiradigan iz (riski) tushiriladi. Skraybirlash inglizcha *scribe* — tirnash so'zidan olingan. Mana shu tasmaning o'zida plastinani kristallchalarga bo'laklash uchun sindirish, iflosliklardan deionlashgan suv bilan gidromexanik tozalash, quritish, vizual nazoratlar bajariladi va sortirovka qilinadi. Elastik tasma bir xil cho'zilganda kristallar siljiydi va ularni keyingi operatsiya — kristallarni montaj qilishga uzatadigan aslahaning ushlab olishiga qulaylik tug'diradi.

Bo'laklash jarayoniga qo'yiladigan talablar. Bo'laklashning murakkabligi faqat yarimo'tkazgichli va dielektrik materiallarning qattiqligi va mo'rtligi bilangina emas, balki plastina va tagliklarda IMS

hollarda esa rezistorlar va kondensatorlardan tashkil topadi. Bu yerda asosiy tendensiya kommutasion plataga komponent sifatida montaj qilingan alohida sitalli platada tayyorlangan diskret yoki plyonkali elementlardan foydalanishdir. Bunda asosiy muammo issiqlikni yaxshiroq olib ketishni ta'minlashdir. Mana shu sababli taglik sifatida ko'proq yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan keramikadan foydalaniladi. Bundan tashqari sitall, polikor, metalli va egiluvchan poliimidli tagliklar ham qo'llaniladi.

Yupqa plyonkali texnologiya yuqori seza olish va aniqlikni ta'minlaydi, biroq u ayniqsa yuqori chastotalarda parazit (zararli) bog'lanishlarni minimumga keltira olmaydi. Parazit bog'lanishlarni kamaytirish uchun o'tkazgichlarning va qatlamlar orasidagi izolatsiya-ning qalinligini oshirish kerak. Lekin qalin plyonkali texnologiya birikmalarning yuqori zichligini ta'minlay olmaydi. Shu sababli ba'zi hollarda yupqa va qalin plyonkali texnologiya birgalikda qo'llaniladi. Quyida kommutatsion platalarda ko'p sathli elemntlararo birikmalarni shakllantirishning asosiy usullari ko'rib chiqilgan.

Yupqa plyonkali texnologiya quyidagilarni o'z ichiga oladi: sitalli taglikda termovakuumli bug'lantirib yoki ion-plazmali usul bilan hosil qilingan birlamchi o'tkazuvchan sath va fotolitografiya; SiO , SiO_2 , Al_2O_3 izolatsion qatlamlarni, negativ fotorezistni, poliimidli lakni shakllantirish; ikkilamchi o'tkazuvchan sathni shakllantirish; himoya qatlamini hosil qilish va fotolitografiya. Yupqa plyonkali texnologiya ko'pi bilan ikki o'tkazuvchan qatlamli platalarni tayyorlash uchun qo'llaniladi.

Qalin plyonkali texnologiya o'tkazuvchan qatlam miqdori ikkidan ko'p bo'lgan qatlamli platalarda qo'llaniladi. Birikmalarni hosil qilish jarayoni trafaret bosma va har bir qatlamga termik ishlov berishni o'z ichiga oladi. Texnologiyaning alohida xususiyati, bu ikkilangan bosma va izolatsiyali qatlamlarga termik ishlov berish hamda qalin (bir necha o'n mikrometr) izolatsiyali qatlamlar orqali kontakt o'tishlarni o'stirish yo'li bilan shakllantirish zarurligidir. Rasm konturini saqlash bo'yicha izolatsiyali qatlam pastalariga yuqori talablar qo'yiladi. Yaxshi natijalar ko'proq sitallosementlardan foydalanilganda ta'minlanadi. Jarayon kontakt yuzachalarni qalaylash bilan yakunlanadi. Taglik sifatida asosan 22XC rusumli alumokeramika qo'llaniladi.



Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish

Elektron asboblari va IMS larni yig'ish eng ko'p mehnat talab qiladigan va mas'uliyatli texnologik bosqich hisoblanadi.

Yig'ish bosqichi yarimo'tkazgichli plastinani planar texnologiya bo'yicha guruhli ishlov berilgandan va alohida elementlarga (kristallchalarga) ajratilgandan keyin boshlanadi. Bu kristallchalar sodda (diodli yoki tranzistorli) strukturadan yoki murakkab integral mikrosxemadan iborat bo'lib, diskret, gibrid yoki monolit kompozitsiyalarni yig'ishga yuboriladi.

Yig'ish jarayoni uchta asosiy texnologik operatsiyadan iborat: korpus asosiga kristallni biriktirish; yarimo'tkazgichli kristallning aktiv va passiv elementlarini hamda korpusning ichki elementlarini tok keluvchi ulagichlarga biriktirib ulash; kristallni tashqi muhitdan germetizatsiyalash.



Plastina va tagliklarni bo'laklash

Elektron texnika mahsulotlarini yig'ishga tayyorgarlik. IMS ning tayyor strukturalarining elektr parametrlari avtomatik ravishda zondli nazoratdan o'tgandan so'ng plastina yoki tagliklar alohida strukturalarga: kristall yoki platalarga bo'laklanadi. Bo'laklashdan so'ng keyingi yig'ish uchun oriyentatsiyani, ya'ni kristallar, platalarning o'zaro joylashishini saqlab qolish muhimdir. Bu ayniqsa plastinalarga tegishlidir. Mana shu sababli plastinalar yopishqoq elastik tasmaga joylashtiriladi va butun qalinlik bo'yicha bo'linmasdan, balki kesish yoki skraybirlash bilan materialni mexanik kuchsizlatiradigan iz (riski) tushiriladi. Skraybirlash inglizcha *scribe* – tirnash so'zidan olingan. Mana shu tasmaning o'zida plastinani kristallchalarga bo'laklash uchun sindirish, iflosliklardan deionlashgan suv bilan gidromexanik tozalash, quritish, vizual nazoratlar bajariladi va sortirovka qilinadi. Elastik tasma bir xil cho'zilganda kristallar siljiydi va ularni keyingi operatsiya – kristallarni montaj qilishga uzatadigan aslahaning ushlab olishiga qulaylik tug'diradi.

Bo'laklash jarayoniga qo'yiladigan talablar. Bo'laklashning murakkabligi faqat yarimo'tkazgichli va dielektrik materiallarning qattiqligi va mo'rtligi bilangina emas, balki plastina va tagliklarda IMS

elementlari va elementlararo birikmalar shakllanib bo'lganligi bilan ham bog'liqdir. Bularning ozgina bo'lsa ham shikastlanishi brakka olib keladi. Bo'laklash jarayoni kristallar va platalarni avtomatik montaj qilishga bo'lgan talablarni ham qanoatlantirishi kerak.

Bo'laklash jarayoniga bo'lgan asosiy talablar: alohida struktura bilan band bo'lgan maydonchalar oraliqidagi kesilish chiziqlarining aniq oriyentatsiyalanishining zarurligi; kesilish chiziqlarining tashqarisida elementlar va mexanik kuchlanishlarni minimumga keltirish natijasida mikrosxema elementlari va metallashning butunligini ta'minlash; kristall va platalar yon tomonlarining kesilgan o'ta vertikal tekisligini hosil qilish; bo'laklangan strukturalarning oriyentatsiyasini saqlash va avtomatlashgan yig'ish uchun zarur bo'lgan o'lchamlar hamda shakllar aniqligining takrorlanishini ta'minlash; taglikning berilgan yuzasida strukturalarning chiqishini ko'paytirish uchun kesilish chizig'ining minimal enini hosil qilish.

Taglik va plastinalarni bo'laklash uchun abrazivli ishlov berish, lazer nuri bilan ishlov berish, kimyoviy yemirish qo'llaniladi.

Abrazivli kesish. Abrazivli ishlov berish jarayonining mohiyati 3- bobda keltirilgan edi. Abrazivli kesish yordamida ixtiyoriy materiallardan tayyorlangan plastina va tagliklarni bo'laklash mumkin.

Tashqi qirradi olmoslangan disk bilan kesish sanoat ishlab chiqarishda plastinalarni bo'laklab kesishda va chuqur iz hosil qilishda keng qo'llanilmoqda. Bunday kesishning mexanizmi ichki tomni olmosli disk bilan kesish mexanizmiga o'xshash. Tashqi qirradi olmoslangan disk o'zining markaziy qismi bilan stanokning shpindeliga mahkamlanadi. Plastinalarni kristallarga bo'laklash uchun avtomatli stanoklar, masalan, disklari 45000 ayl/minut gacha tez aylanadigan ЭМ-225 rusumli stanoklar qo'llaniladi. Kesilish chizig'i atrofida 10 μm gacha bo'lgan buzilgan zona hosil bo'ladi.

Tashqi qirradi olmoslangan disk bilan kesishning mahsuldorligi yuqori, diametri katta va qalin plastinalar hamda dielektrik tagliklarni bo'laklash imkoniyatini beradi.

Po'latli polotno bilan kesish yoki polotnolar yig'masi bilan abrazivli suspenziyadan foydalanib kesish laboratoriya sharoitida plastina va tagliklarni birdaniga bo'laklashda qo'llaniladi. Bu usul mahsuldorlik va sifatning yuqori bo'lishligini ta'minlay olmaydi. Kristallar o'lchamlarining aniqligi yuqori emas va strukturalar abrazivli suspenziya bilan ifloslanadi.

Sim bilan kesish ham laboratoriya sharoitida plastinalarni birdaniga bo'laklashda qo'llaniladi. Po'latli yoki volframli simdan foydalaniladi.

Olmosli keskich yordamida skraybirlash sanoat ishlab chiqarishda asosan dielektrikli tagliklarni bo'laklash uchun qo'llaniladi. Nisbatan yaqin kunlarga bu usul yarimo'tkazgichli plastinalarni bo'laklashda keng qo'llanilib kelindi. Hozirgi vaqtda bu usul quyidagi ikki sabab tufayli ishlab chiqarishni qanoatlantirmaydi: hosil qilingan izning chuqur emasligi katta diametrli qalin plastinalarning sifatli sindirilishini ta'minlay olmaydi, yon qirralarining novertikalligi avtomat yig'ishda uskuna bilan kristallni olib qo'yishni qiyinlashtiradi.

Plastina va tagliklarni lazerli bo'laklash. Lazerli nurlanish yordamida bo'laklash kontaktsiz usulga kiradi va bunda ishlov berilayotgan materialga mexanik ta'sir ko'rsatilmaydi. Bo'laklashni avval iz hosil qilib (lazerli skraybirlash) yoki material qalinligi bo'yicha lazer nurini o'tkazib (lazerli kesish) bajariladi.

Iz katta quvvatli fokuslangan lazer nuri ta'sirida materialning bug'lanishi natijasida hosil bo'ladi. Lazerli kesishda esa materialning erishi ham ro'y beradi.

Lazerli skraybirlashning qo'llanilishi natijasida jarayonning mahsuldorligi olmosli skraybirlashga qaraganda 4—5 barobar oshadi. Hosil qilinadigan iz chuqurligining katta 5—100 μm gacha bo'lishligi bo'laklashdan so'ng yaroqli chiqish foizini oshiradi. Lazer nuri yordamida oksid qatlami va metall orqali kesishni amalga oshirish mumkin.

Lazerli bo'laklashning kamchiliklari: jihozning murakkabligi va tannarxining yuqoriligi; sirtni bug'lanish va erish mahsulotlari bilan ifloslanishdan saqlash uchun maxsus plyonka bilan himoyalashning zarurligi, kremniyda strukturalari buzilgan zonaning paydo bo'lishi, diametri 100 mm dan katta bo'lgan qalin plastinalarni bo'laklashning murakkabligi.

Lazerli skraybirlash yirik seriyali ishlab chiqarishda diametri 76 mm gacha bo'lgan kremniy plastinalarini bo'laklashda qo'llaniladi. Lazer nuri bilan skraybirlashni mishyakning zaharli birikmalari ajralishi sababli galliy arsenidi uchun qo'llab bo'lmaydi. Lazerli skraybirlash keramikali tagliklarni bo'laklashda muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda.

Plastinani sindirib bo'laklash. Skraybirlashdan keyin plastina yoki tagliklar qattiqligi kuchsizlangan izli chiziqlar bo'ylab sindirib bo'laklanadi. Sindirib bo'laklashning uchta usuli mavjud.

Silindrsimon valik yordamida qo'l bilan sindirib bo'laklashda prujinali asos-rezina ustiga joylashtirilgan plastina usti bo'ylab valik aylantirilib yurgiziladi. Valikning harakat yo'nalishi iz yo'nalishi bilan bir xil bo'lishi kerak. Avvaliga plastina yoki tagliklar uzunasiga bo'linadi. Undan keyin 90° ga buriladi va kristallarga yoki platalarga bo'linadi. Qo'l bilan bo'laklashda operatsiyaning bajarilish sifati opera-

torning san'atiga bog'liq bo'ladi. Bu usul kam mahsuldorligi va sifatining pastligi tufayli kichik seriyali ishlab chiqarishda va laboratoriya sharoitida qo'llaniladi.

Yarimsferada sindirib bo'laklashda mahsuldorlik oshadi va operatsiyaning bajarilish sifatiga operatorning ta'siri yo'qotiladi. Bunda plastina sferik sirtga yaxshi cho'ziladigan membrana yordamida siqilib bir vaqtning o'zida hamma izlar bo'yicha sindirib bo'laklanadi. Bosim membranadan bo'laklanadigan plastinaga gidravlik usul yoki qisilgan gaz yordamida uzatiladi.

Bu usul diametri 76 mm dan katta bo'lmagan plastinalarni kvadrat shakldagi kristallchalarga bo'laklashda qo'llaniladi.

Ikki silindrik valik oralig'da prokatka qilib sindirib bo'laklashda yuqori mahsuldorlik va kristallarning sifatligi ta'minlanadi. Bu usul yarim avtomatli qurilma ПЛП-3 da amalga oshirilgan bo'lib, yirik seriyali ishlab chiqarishda diametri 150 mm gacha bo'lgan plastinalarni hamda galliy arsenidini bo'laklash uchun qo'llaniladi. Termoplastik yoki oson cho'ziluvchan yopishqoq plyonka-uzatkichdagi plastina avtomatning harakatlanuvchi tasmaiga joylashtiriladi. Plyonka-uzatkich ustidan ichki diametri plastinaning diametridan kattaroq bo'lgan lavsanli plyonkadan qilingan halqa bilan berkitiladi. Plastinaning ishchi tomoni yopishqoq qoplamali lavsan plyonka bilan berkitiladi va bu plyonka bo'laklangandan so'ng osongina olib tashlanadi. Pastki valik po'lat, ustki valik esa rezinali qoplamali bo'ladi. Tasmada plastinalar valikka kelib qolganda valiklar bir biri bilan yaqinlashadi va plastinaning chekkasi qisib olinadi. Prokatkada elastik valikning deformatsiyasi tufayli plastinaga eguvchi zo'riqish beriladi va plastina iz bo'yicha sindiriladi. Yuqorgi valik to'xtaydi. Transport tasma plastinani orqaga qaytaradi. Operator plastinani 90° ga aylantiradi va jarayon plastina kristallarga to'liq bo'laklanguncha takrorlanadi.

Bo'laklashdan so'ng nazorat 100–200 marta kuchaytira oladigan mikroskop yordamida vizual bajariladi. Bo'laklanmagan, iz bo'yicha sinmagan, qirralari uchgan, metallangan joylari qirilgan va shu kabi kamchiliklari bo'lgan kristallar brak qilinadi.

Kimyoviy bo'laklash. Butunlay kimyoviy yemirish bilan bo'laklash hozirgi vaqtda yarimo'tkazgichli strukturalar uchun kam qo'llanilmoqda. Buning uchun oldindan sirtni niqoblash uchun fotlitografiya jarayoni o'tkaziladi.

O'ta katta IMSlar ishlab chiqarishda diametri 150 mm va undan katta diametrli plastinalarni qo'llashda bo'laklashning nomexanik usullaridan foydalanishni taqozo qiladi. Shu sababli, anizotrop yemirish, lazerli kesish va shu kabi boshqa usullar mukammalashi va ishlab chiqilishi kerak.

Kavsharlash, payvandlash va yelimlash quydagi yig'ish operatsiyalarini bajarishda asosiy usullar hisoblanadi: kristallar va platalarning montaji, simli chiqiqlarni ulash, korpuslarni germetizatsiyalash.

Yarimo'tkazgichli asbobning yoki IMSning kristallini korpus asosiga kavsharlash, evtektik qotishma eritmasidan foydalanib payvandlash hamda elimlash jarayonlari yordamida biriktiriladi.

Kristallni biriktirish operatsiyasiga bo'lgan asosiy talab bu yuqori mexanik mustahkamlikka, yaxshi elektr o'tkazuvchanlikka va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kristall-korpus asosi birikmasini hosil qilishdir.

Kavsharlash. Bu jarayon ikkita har xil detalni eritmasdan turib kovsharlagich (pripoy) deb ataladigan uchinchi komponenta yordamida bir biri bilan biriktirishdir. Bunda kavsharlab biriktirish jarayoni davomida kavsharlagich suyuq holatda, biriktiriladigan detallar esa qattiq holatda bo'ladi. Kavsharlagich erish temperaturasigacha qizdirilganda u va biriktirilayotgan detallar bilan bir vaqtda: biriktirilayotgan materiallarning suyuq kavsharlagichda erishi, kavsharlagichning biriktirilayotgan materiallarga diffuziyalanib qattiq qorishma hosil qilishi, kavsharlagichning biriktirilayotgan detallar materiallari bilan kimyoviy ta'sirlashib intermetall birikmalar hosil bo'lishi kuzatiladi.

Sovitilgandan so'ng kavsharlagich biriktirilayotgan detallar yuzasida kristallanib, ular bilan mustahkam metall bog'lanishini hosil qiladi.

Biriktirilayotgan detallarning sirtlari oksid va iflosliklardan yaxshilab tozalanishi shart. Kavsharlagichning sirtida ham oksid va iflosliklar bo'lmasligi kerak. Qavsharlash chokining hosil bo'lish temperaturasi tayyor strukturaning parametrlarini yomonlashtiradigan darajada yuqori bo'lmasligi kerak. Kavsharlagich esa IMSning ishchi temperaturalarida (kremniy uchun 125°C) o'zining xususiyatlarini o'zgartmasligi kerak.

Kavsharlagichlar erish temperaturasiga bog'liq holda past temperaturali (450°C gacha) va yuqori temperaturali (450°C dan katta) kavsharlagichlarga bo'linadi.

Yumshoq yoki past temperaturali kavsharlagichlarga qalay va qo'rg'oshinlarning qotishmalari (ПОС-40: 40% Sn + 60% Pb; ПОС-61: 61% Sn + 38,2% Pb + 0,8 Sb), qalay bilan vismutning qotishmalari (ПОВи-05: 99,6–99,4% Sn + 0,4–0,6% Bi) va boshqalar misol bo'ladi. Past temperaturali kavsharlagichlarga yarimo'tkazgichli asboblarda va IMS lar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladigan evtektikali qotishmalar Au+Si va Au+Ge ham kiradi. *Evtektikali qotishmalar deb,*

Yelimli birikmalarning mustahkamligi yelimlanadigan sirtlarning tayyorgarlik sifatiga, yelimning qalinligiga, rejimning to'g'ri tanlanganligiga, yelimning sifatiga bog'liq bo'ladi.

Yelimlashdan oldin sirtlar iflosliklardan astoydil tozalanadi. Tozlash uchun qo'llaniladigan organik erituvchilar quritish orqali butunlay chiqarib yuborilishi kerak, aks holda qoldiq erituvchi yelimning qotishida g'ovaklik va ichki kuchlanish hosil qiladi.

Yelim qatlamidagi nuqsonlar miqdori qalinligi oshishi bilan oshadi, birikma mustahkamligi esa kamayadi. Shu sababli, yelim qatlamining qalinligi 0,05–0,1 mm bilan chegaralanadi.

Yig'ish operatsiyalari uchun epoksidli smola, poliimid va shu kabilar asosidagi yelimlar qo'llaniladi.



Kristallar va platalarning montaji

To'g'ri kontakt usuli. IMS strukturalari ishchi yuzalarini tepaga qaratib korpus asosiga, chiqiqli rom yoki tasmalarning o'tqaziladigan maydonchasiga, gibrid IMSlarning passiv qismiga yoki qo'shimcha kontaktli tagliklarga ulanadi.

Montaj operatsiyalariga qo'yiladigan asosiy talablar: birikmalarning yuqori mexanik mustahkamligini, strukturadan issiqlikni yaxshiroq olib ketishni va ba'zi hollarda yaxshiroq elektr o'tkazuvchanlikni ta'minlash. Montaj ishlari bajarilayotganda avvalgi birikmalar buzilib ketmasligi va strukturalarning parametrlari yomonlashmasligi va ularning mexanik butunligi buzilmasligi uchun temperatura va siquvchi kuchlanish juda ham yuqori bo'lishi kerak emas. Shu bilan birga ular birikmalarning keraklicha mustahkam bo'lishligini ta'minlashi kerak. Montaj usullarini tanlashda IMS larning ekspluatatsiya sharoitlarini ham hisobga olish kerak.

Yelimli birikmalar jarayonining soddaligi, qotish temperaturasining pastligi, keraklicha mexanik mustahkamligi va ishonchligi tufayli montaj ishlarida keng qo'llanilmoqda. Yelimli birikmalar konstruksiyani soddalashtiradi, massani kamaytiradi, qimmatbaho materiallarni tejaydi.

Yelimli birikmalarning kamchiliklari: issiqlik o'tkazuvchanligining kichikligi, nuqsonli strukturalarni almashtirishning imkoniyati yo'qligi, elektrodli chiqiqlarni ulash vaqtida qizishligi, germetik korpus ichida gaz ajralish ehtimolligi.

Kristallar va platalar montajida ЭД-5 epoksidli smola asosidagi yelimlar, BK-2 yelimi, K-400, K-350-61, BK-4, BK-8, BK-9, ЭЧТ, ЭЧБТ, ЭК-1 va shu kabi yelimlar qo'llaniladi. Bu yelimlar 300 °C

temperaturagacha yaxshi mustahkamlikni ta'minlaydi. Bu esa chiqiqlarni keyingi biriktirishni yelimli choklarni buzmasdan amalga oshirish imkoniyatini beradi.

Issiqlik o'tkazuvchanlikni yaxshilash hamda kristallar va korpus asosidagi kontakt qarshiligini kamaytirish uchun yelim tarkibiga metalli to'ldirgichlar, masalan, kumush qo'shiladi.

Shishali birikmalar ChKTK (chiziqli kengayishning temperatura koeffitsiyenti) bo'yicha yaxshi moslashuvni ta'minlaydi va tannarxining kichikligi bilan ajralib turadi. Shishiali birikmalarning asosiy kamchiliklari: elektrli kontaktning yo'qligi, issiqlik olib ketilishining yomonligi, shishaning yumshash temperaturasining yuqoriligi (500 °C atrofida). Shishali birikmalar asosan sitalli, polikorli va keramikali platalarni montaj qilishda qo'llaniladi.

Shishali montaj texnologiyasi tozalangan sirtga shishali kukun suspenziyasi yoki shishapasta surkashni, kassetadagi biriktiriladigan detallarni siqishni, quritishni, atmosferasi nazoratlanadigan pechda eritishni o'z ichiga oladi.

Metalli kavsharlagichlar bilan kavsharlash yuqori issiqlik va elektr o'tkazuvchanlikni, mexanik mustahkamlikni, ChKTK bo'yicha yaxshi moslashishni ta'minlaydi. Yumshoq kavsharlagichlar kerak bo'lsa, kristallarni demontaj qilish imkoniyatini beradi. Biroq yumshoq kavsharlagichlarning nisbatan erish temperaturalarining kichikligi, asosan 280–300 °C dan katta emasligi keyingi yig'ish operatsiyalarida qizdirish zarurligi sababli ularning qo'llanilishini cheklaydi.



Elektrodli chiqiqlarni ulash

Montajning yakuniy operatsiyalari. Plata va kristallar ulangandan so'ng elementlar orasidagi elektr birikmalarni hamda strukturalar orasidagi va tayyor IMSlardagi tashqi chiqiqlarni bir biri bilan ulash operatsiyalari bajariladi. Bularga GIS larda passiv qismi kontakt yuzachalarini aktiv osma elementlarga omik kontaktli ulash, IMS strukturalari kontakt yuzachalarini korpusning tashqi chiqiqlariga ulash kabilar kiradi. Bu birikmalarning hammasi kavsharlash, payvandlash va yelimlash yordamida bajariladi.

Qo'llanilayotgan vositalarga bog'liq holda simli va simsiz montaj farqlanadi. Simli montaj uchun oltin, aluminiyli simlar, aluminiy-kremniy, aluminiy-magniy qotishmalaridan foydalaniladi. Kristallar-ni hajmiy ulagichlarga montaji simsiz bajariladi.

Elektrodli birikmalarning asosiy xususiyatlari: biriktiriladigan obyektlar qalinligidagi farqning kattaligi; biriktiriladigan obyektlar

o'lehamlarining kichikligi tufayli aniq oriyentirlash va ustma-ust tushirishning murakkabligi; ChKTK bo'yicha to'liq mos keluvchi va keraksiz o'zaro ta'sirlashmaydigan materiallarni tanlashning murakkabligi; individual simli qo'shimcha birikmalar hajmining kattaligi; simli montaj tannarxining yuqoriligi; birikmalarning nuqsonlari tufayli IMSlar ishdan chiqish foizining yuqoriligi.

Murakkabligi va kamchiliklariga qaramasdan asosan simli yig'ish qo'llaniladi.

Simli yig'ishning ustunliklari: birikma sifatini vizual nazorat qilish imkoniyati; simli birikmalarning ancha katta quvvatlarni uzata olish qobiliyati; simli kontaktlarni kavsharlash va payvandlash usullarining ishlab chiqarishda yaxshi yo'lga qo'yilganligi, aslahalarning borligi.

Zamonaviy yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalarda kontakt maydonchalarning o'lehamlari bir necha o'n mikrometrlarni tashkil qiladi. Shu sababli ulagichlarni biriktirib ulash jarayoni texnologik operatsiyalarning ichida eng ko'p mehnat talab qiladigan jarayondir.

Hozirgi paytda ulagichlarni integral mikrosxemaning kontakt maydonchalariga ulash uchun payvandlashning quyidagi turlaridan foydalaniladi: termokompressiyali, elektrokontaktli, ultratovushli, lazerli nuqtali, elektron-nurli. Bundan tashqari kavsharlash va yelimlashdan ham foydalansa bo'ladi.

Termokompressiyali payvandlash. Mikrobirikma detallarga bir vaqtda temperatura va bosimni ta'sir ettirish natijasida hosil bo'ladi. Plastikli deformatsiya mustahkam birikma hosil bo'lishining kerakli sharti hisoblanadi.

Temperatura biriktirilayotgan material juftligi evtektik nuqtasidan oshib ketmasligi kerak va odatda ko'proq plastik bo'lgan materialni qizdirish temperaturasiga teng bo'ladi. Ko'p hollarda u 300–400 °C tashkil qiladi.

Bosim biriktirilayotgan materiallarga pona, kapillar yoki «qush tumshug'i» shaklli payvandlovchi uskuna orqali beriladi.



Elektron texnika mahsulotlarini tasmali uzatgichda yig'ish

Simsiz yig'ish. Mehnati ko'proq bo'lgan simli elektrodli chiqiqlar yordamida yig'ishdan farqli ravishda hajmli chiqiqlar va tasmali uzatkichlardagi yassi chiqiqlardan foydalanib yig'ilganda mahsuldorlik keskin oshadi va IMS larning tannarxi keskin kamayadi, chunki

chiquqlarni ulash guruhli usulda bajariladi va yig'ish jarayoni oson avtomatlashadi. Yassi chiquqlarni guruhli ulashda ham simli chiquqlarni individual ulashda qo'llaniladigan usullardan foydalaniladi. Bunda hamma chiquqlarni bir vaqtda ulashni ta'minlaydigan uskunaning konstruksiyasi bilangina farqlanadi. Egiluvchan tasmali uzatkichdagi chiquqlardan foydalanib yig'ish guruhli ulashdagi eng samarali usullardan hisoblanadi. Egiluvchan tasmali uzatkichlarni qo'llash natijasida rulonli texnologiya yaratildi hamda yig'ish va germetiklash jarayonlari to'liq avtomatlashtirildi.

Chiquqlarning tasmali uzatkichlari. Avvaliga chiquqlarning qattiq metalli uzatkichlari ishlab chiqildi, keyinchalik esa yupqa metall folgali uzatkichlar yaratildi, o'tgan asrning 60- yillari oxirida birinchi marta yupqa mis o'tkazgich shakllantirilgan tok o'tkazmaydigan tasma qo'llanildi. Yig'ish operatsiyasining uzluksiz jarayoniga chiquqlarning ulanish sifatini va IMSlarning elektr parametrlarini korpusga montaj qilishgacha nazorat qilishni kiritish zarurligi chiquqlarning metallidan dielektrikli tasmalarga o'tishini ta'minladi.

Chiquqlarning qattiq metalli uzatkichlari — ramkalar yoki tasmalar — kovar, nikel, 42H «Feni» qotishmasi, 47HД qotishmasi tasmalaridan qalinligi 0,15–0,3 mm qilib shtampovka yordamida tayyorlanadi. Chiquqlar tasma bilan bir butun, tasmadagi bitta IMS uchun chiquqlar kadr bo'ladi. Kadrlar ma'lum bir qadam oraliqida joylashadi. Tasma chiquqlarni ushlab turadi va yig'ishning texnologik jarayonida transportirovka vositasi hisoblanadi. Kristall tasmaning o'tqazuvchi yuzachasiga montaj qilinadi va simli yoki yassi ulagichlar yordamida kristallning kontakt yuzachalari tasmaning chiquqlariga ulanadi. Germetizatsiya qilingandan so'ng chiquqli IMS tasmaning ushlab turuvchi qismidan ajratiladi. Qattiq tasmalarda faqat IMS larning tashqi chiquqlari tayyorlanadi.

Aluminiyli yoki mis folgali egiluvchan tasmalar qalinligi 30–80 μm bo'lib, katta IMS kristalli bilan korpus yoki ramka chiquqlari orasidagi, kristall bilan plataning kontakt yuzachalari orasidagi oraliq birikmalarni ulash uchun foydalaniladi.

Poliimid plyonkali chiquqlarning tasmali uzatkichlari qalinligi 80–120 μm bo'lib, avtomatlashgan yig'ishning ko'pgina talablariga javob beradi. Chiquqlar bir-biridan elektr izolyatsiyalanganligi sababli kristallarni plataga yoki korpusga montaj qilishdan oldin nazorat qilish imkoniyatini beradi.

Kristallni germetizatsiyalash. Yarimo'tkazgichli kristall oriyentirlanib, korpus asosiga biriktirilib va uning kontakt maydonchalariga ulagichlar ulangandan keyin uni tashqi muhit ta'siridan himoya qilish kerak. Buning uchun uning atrofida germetik va mexanik mustaqkam qobiq hosil qilinadi. Bunday qobiq kristallni berkitadigan va tashqi muhitdan izolatsiyalaydigan qopqoqni (ballon) korpus asosiga biriktirib yoki korpus asosini unda joylashgan yarimo'tkazgichli kristall bilan birgalikda plastmassa bilan o'rab olinib hosil qilinadi.

Korpus asosini qopqoq yoki ballon (yarimo'tkazgichli asboblarning diskret varianti) bilan germetik biriktirish uchun kavsharlash, elektrokontakt yoki sovuq payvandlashdan keng foydalaniladi. Korpusiz kristallni germetizatsiyalash uchun esa plastmassani quyish, o'rash va presslashdan foydalaniladi.

Korpuslarning turlari. Aktiv va passiv elementlari bo'lgan yarimo'tkazgichli kristallni tashqi mexanik, ob-havo va yorug'lik ta'sirlaridan himoya qilish uchun uni maxsus korpusga joylashtiriladi.

Korpusning asosiy vazifalari: asbobning hamma elementlarini yagona kompleksga birlashtirish; yarimo'tkazgichli kristalldan issiqlikni olib ketish; mexanik kuchlanishlarning kristallga o'tishiga yo'l qo'ymaslik; tok keluvchi qismlarning izolyatsiyalanishini ta'minlash; namlik, gaz va agressiv muhitlardan himoyalash. Tashqi konstruktiv jihozlanishi bo'yicha korpuslarning tasnifi 8.1-jadvalda keltirilgan. Har bir turdagi korpusning gabarit va ulovchi o'lchamlari standartga asoslangan bo'ladi.

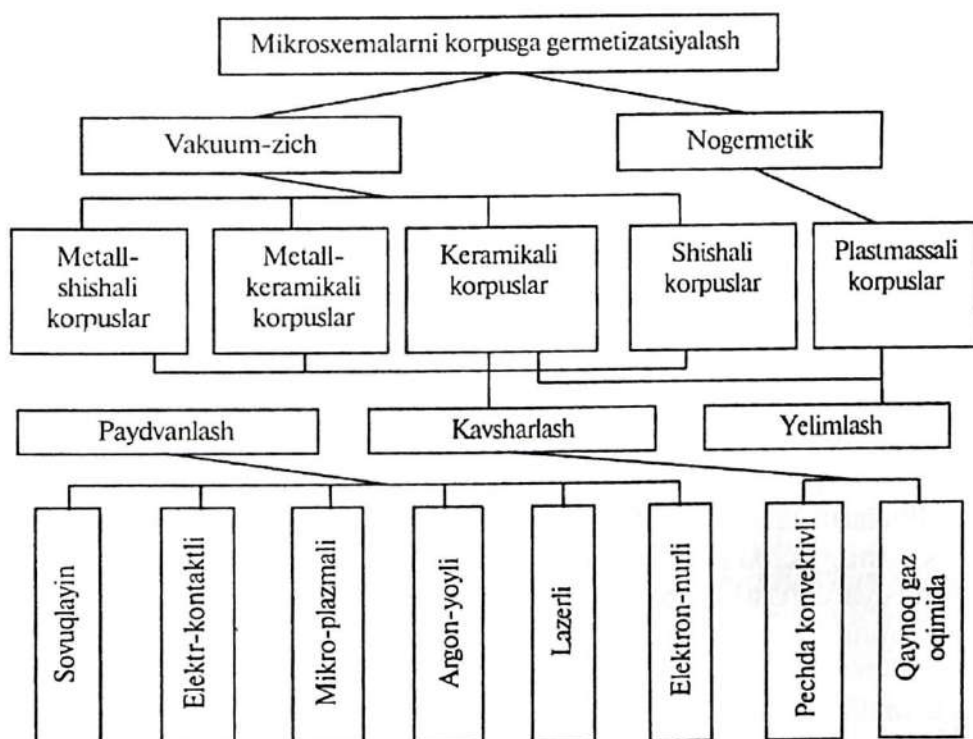
Qo'llanilgan materialga bog'liq holda korpuslar shishali, keramikali, metallkeramikali, metallshishali, plastmassali turlarga bo'linadi.

Korpusning detallarini va uzellarini tayyorlash. IMSni korpusga germetizatsiyalashdan avval korpusning detallari va uzellari: izolatsiyalangan ulagichli asos, korpus qopqog'i, yordamchi detallar tayyorlab qo'yiladi.

Korpusning metalli detallari asosan ishchi uskunalari puanson va matrisa bo'lgan mexanik shtamplarda sovuq holda shtampovkalab tayyorlanadi. Sovuq shtampovka yordamida kesib tashlash, teshik hosil qilish, korpus qopqog'ini tayyorlash, hajmli shtampovka kabilar bajariladi.

Metallshishali uzellar konveyer pechlarida avvaldan tayyorlab qo'yilgan va grafitli kassetalarda yig'ilgan detallarni (kovar va shisha kabilarni) kavsharlab hosil qilinadi.

Turi	Asos tekisligida korpus proyeksiyasining shakli	Asos tekisligida ulagichlar proyeksiyasining joylashishi	Asos tekisligiga nisbatan ulagichlarning joylashishi
1	To'g'ri burchakli	Korpus proyeksiyasi chegarasida	Perpendikular
2	To'g'ri burchakli	Korpus proyeksiyasi chegarasi tashqarisida	Shuning o'zi
3	Aylana yoki oval	Korpus chegarasida yoki undan tashqarida	Shuning o'zi
4	To'g'ri burchakli	Korpus proyeksiyasidan tashqarida	Parallel
5	Kvadrat	Korpus proyeksiyasi chegarasida	Asos tekisligida va korpusning yon tomonida



8.1- rasm. IMS larni korpuslarda germetizatsiyalash usullari tasnifi.

Korpusda mikrosxemalarni germetizatsiyalash usullari va uslublari. Korpusga IMSni germetizatsiyalashda ham yig'ish operatsiyasining boshqa turlarida qo'llanilgan usullardan: kavsharlash, payvandlash va yelimlashdan foydalaniladi (8.1- rasm). Kavsharlash va payvandlash vakuum zich bo'lgan germetik birikmalarni hosil qilish imkoniyatini beradi. Yelimlash eng oddiy va tejamli usul hisoblanadi, biroq u germetik birikma hosil qilmaydi.

8.7.

Korpussiz germetizatsiyalash

Korpussiz germetizatsiyalashda qattiq ramkachaga yoki boshqa armaturaga yig'ilgan kristallar yoki platalar tashqi ta'sirlardan polimerli kompaundlar yordamida himoya qilinadi. Kompaundlar konstruktiv ochiqliklarga hamda IMSning bariga quyilib to'ldiriladi va korpuslilardan farqli ravishda monolit bo'lib qoladi.

Germetiklovchi kompaundlar asosan epoksidli, kremniyorganikli va poliefirli smolalar asosida hosil qilinadi. Quyida korpussiz germetizatsiyalashning usullari ko'rib chiqilgan.

Quyib presslash seriyali ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi, chunki u tannarxining kichikligi va avtomatlashtirilishining osonligi sababli mahsuldorligining yuqoriligi bilan ajralib turadi. Germetiklash jarayoni transferli quyish qurilmalarida bajariladi. Bu usul plastmassali materiallarning temperatura va bosim ta'sirida erib va oqib maxsus quyma qolipdagi hamma bo'shliqlarni to'ldirishga asoslangan.

Quyib presslash usuli mahsuldorligining yuqoriligi, tashqi ko'rinishining yaxshiligi va tayyor mikrosxemalar geometrik shaklining aniqligi bilan farq qiladi. Biroq germetiklash jarayoni katta kapital sarfni talab qiladi va shu sababli katta seriyali ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Vakuum ostida quyish mahsuldorligi kam, biroq qimmatbaho qurilmalarni talab qilmaydi. Yig'ilgan strukturalar maxsus quymali shakllarning ichki hajmiga joylashtiriladi va ular quyuvchi avtomatli operatsiya uchastkasi bo'ylab harakatlantiriladi. Quyilgandan so'ng kompaund qotiriladi. Shundan so'ng IMS quyma shakldan chiqarib olinadi va shtampda chiqiqli tasmaning ortiqcha qismlari olib tashlanadi.

Hamma tarafidan o'rab olishda aylanib turgan strukturaga vakuumli germetiklovchi materialning tomchisi tomiziladi. Sirt tarangligi kuchlari natijasida kompaund oqadi va sferik shaklli qobiq hosil bo'ladi. Uning geometriyasi germetiklanayotgan strukturaning shakliga bog'liq bo'ladi.

Bu usul odatda gibrid mikrosxemalarda osma aktiv komponentlarni germetiklashda qo'llaniladi.

Aniq o'Ichamli tomchini strukturaning ishchi tomoniga changlatish va surkash hamda botirib olish aktiv komponentlarni yoki mikrosxemalarni germetiklashda qo'llaniladi. Bular keyinchalik umumiy qobiqda yakuniy yana germetiklanadi.

Korpussiz germetizatsiyalashning ustunliklari: texnologik jarayonlarning soddaligi va tannarxining pastligi, operatsiyalar sonining qisqarganligi, materiallarning kamyob emasligi va arzonligi, yig'ish va germetizatsiyalash jarayonlarining uzluksizligida avtomatlashtirish imkoniyati. Plastmassali germetiklangan mikrosxemalar korpusli IMS larga qaraganda mexanik yuklanishlarga ishonchligi yuqori bo'lib, bu chiqiqlar siljib ketadigan ichki erkin ochiqliklarning yo'qligi bilan tushintiriladi. Shu sababli ular avtomobil transportida, temirchi bolg'asidagi yurgizgichlarda va shu kabilarda qo'llaniladi.

Plastmassali germetiklangan mikrosxemalarni saqlash va ekspluatatsiya qilishda ishdan chiqishlarning asosiy turlari: metallashdagi va chiqiqlardagi uzilishlar, qisqa tutashuvlar, shuntlovchi zanjirlar. Bu ishdan chiqish turlarining sababi germetiklovchi materiallarda mavjud bo'lgan tuzlarning dissosiyatsiya jarayonlaridir. Dissosiyatsiya korroziyaga, zararli birikmalar hosil bo'lishiga va elektr zanjirining uzilishiga olib keladi. Metall ionlarining elektrodlararo ko'chishi qisqa tutashuvga olib kelishi mumkin.

Plastmassali qobiqlardagi mikrosxemalarning issiqlik hossalarini faqat germetiklovchi materiallarning ishchi temperaturasini oshirish bilangina yaxshilash mumkin.



Yig'ish jarayonlari sifatining nazorati

Birikmalar sifatini nazorat qilishning eng samarali usullariga mexanik mustahkamlikka sinash va metallografik tahlillar kiradi.

Birikmalarining mexanik mustahkamligini tekshirish uchun ko'pgina moslagichlar va qurilmalar hamda sinash usullari mavjud. Masalan, chiqiqlari ulangan strukturalarni qirqimga sinashda taglik sirtiga parallel ta'sir qiladigan cho'zuvchi kuch qo'yiladi. Birikmalarni uzilishga sinash chiqiqlarni 30, 45 va 90° li burchak ostida ko'p martalab egish bilan bajariladi (VKПМ-1 qurilmasi).

Yelimli birikmalarining mustahkamligi hga sinash bilan aniq-
lanadi. Yelimli birikmaning uzishga mustahkam $\cdot 25-150) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ dan
kam bo'lmasligi kerak.

Metallografik tahlil chokli birikmalarning ko'ndalang va qiyali qirqimlarini (shliflarini) tekshirishga asoslangan bo'lib, buning natijasida ularning ichki strukturasi va kavsharlashdagi xo'llanmay qolgan uchastkalarni, erib ketgan, mikroyoriqlar, bo'shliqlar, intermetalli qo'shilmalar, donalar chegarasi bo'yicha kavsharlagichning diffuziyasini aniqlash imkoniyatini beradi.

*Rentgenli defektoskopiya*da sochilayotgan nurlar yordamida ichki nuqsonlar aniqlanadi va birikmalarning ishonchligi to'g'risida axborot olinadi. Metallografik tahliliga qaraganda bu usulda mahsulot buzilmasdan butunligicha qoladi.

*Ko'z orqali nazorat*da uzilishlar, tutashuvlar, payvandlash yoki kavsharlash zonalarining siljishi, mikroyoriqlar, deformatsiyalar aniqlanadi.

Mikroshemalar elektr parametrlarining nazorati yig'ish rejimlarining to'g'ri tanlanganligini baholash imkoniyatini beradi.

Germetiklash jarayonida materiallar, yarimfabrikatlarning kirish nazorati, detallar va uzellarning nazorati, germetiklash chokining nazorati, tayyor mikroshemalarni sinash va chiqish nazorati amalga oshiriladi.

Sovuq shtampovkadan so'ng detallar nazorati vizual qarab chiqish orqali bajariladi.

Detallar o'lchamlari universal o'lchovli uskunalar: shtangensirkul, mikrometr, indikator va optik asbob — uskunali mikroskop yordamida o'lchanadi.

Detallar sirtlarining tekisligi lekalli chizg'ich yordamida yorug'li yoriq usuli bilan tekshiriladi. Inson ko'zi 0,003–0,004 mm ochiqlikni ilg'iy oladi.

Detal uzellari o'lchamlarining aniqligi, ishlov berilgan sirt, galvanik qoplamalar sifati, kavsharlangan choklar bo'yicha nazoratlanadi.

Germetiklikga nazorat ikki marta o'tkaziladi: izolatsiyalangan chiqiqli korpus asosi tayyorlangandan so'ng va mikroshema germetiklangandan keyin.

Germetiklikni nazorat qiladigan ko'p usullar mavjud. Eng ko'p qo'llaniladigan usullarga mass-spektrometrik, vakuum-suyuqlik va namli usullar kiradi.



8.9. Mikroshemalarni tayyorlashning yakuniy operatsiyalari

IMSlar germetizatsiyalanganidan so'ng yakuniy texnologik operatsiyalardan oldin ular iqlim, elektrik va mexanik sinovlardan o'tkaziladi. Texnologik sinov jarayoni davomida yashirin nuqsonli IMSlar

aniqlanadi va chiqarib tashlanadi. Shu bilan IMSlarni foydalanish sharoitida ishonchliligi kafolatlanadi.

Texnologik sinovlar o'tkazilgandan va parametrlar o'lchangandan so'ng yakuniy texnologik operatsiyalar bajariladi va IMSlar iste'molchilarga jo'natiladi.

Yakuniy texnologik operatsiyalarga IMSlarni tashqi ta'sirlardan himoyalashni ta'minlaydigan tashqi jihozlash, apparaturaga ulash uchun qulayliklar, IMS turi to'g'risida ma'lumotlar hamda tashqi estetik bezash kabi operatsiyalar kiradi.

Galvanik qoplamalar hosil qilishda ko'pincha qalay va vismutli elektrolitlar qo'llaniladi.

Korpuslarni bo'yash uchun ular qaynab turgan organik erituvchilarda astoydil yog'sizlantiriladi, undan so'ng erituvchi tamoman chiqib ketguncha quritiladi. Shundan so'ng gruntovkaning yupqa qatlami surkaladi, quritiladi va bo'yoq bilan qoplanadi. Yaxshi bo'yalgan sirtga rusumlash belgilari qo'lda bosmali moslagich, yarim avtomatlar yoki avtomatlar yordamida qo'yiladi.

Rusumlash belgilari quritilgandan so'ng korpuslar laklanadi.

IMS larni apparaturalarga ulashni osonlashtirish uchun ularning chiqiqlariga qalayli-qo'rg'oshinli kavsharlagichlar surkaladi.

Istemolchilarga tayyor IMS larni jo'natish uchun ular maxsus taralarga o'rab joylashtiriladi.

ILOVALAR

1. Xatolik funksiyasi va uning ba'zi bir xossalari

Xatolik funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-a^2} da.$$

To'ldiruvchi xatolik funksiyasiga ta'rif:

$$\operatorname{erfc} z = 1 - \operatorname{erf} z.$$

Ularning ba'zi bir umumiy xossalari:

$$\operatorname{erf} 0 = 0, \operatorname{erf} \infty = 1,$$

$$\operatorname{erf} z \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} z, \quad z \ll 1 \text{ hol uchun,}$$

$$\operatorname{erfc} z \approx \frac{e^{-z^2}}{\sqrt{\pi z}}, \quad z \gg 1 \text{ hol uchun,}$$

$$\frac{d \operatorname{erf} z}{dz} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-z^2}, \quad \int_0^z \operatorname{erfc} z dz = z \operatorname{erfc} z + \frac{1}{\sqrt{\pi}} (1 - e^{-z^2}),$$

$$\int_0^\infty \operatorname{erfc} z dz = \frac{1}{\sqrt{\pi}}.$$

II- jadval: erfc z funksiyaning qiymatlari

z	erfc z	Z	erfc z	z	erfc z	z	erfc z
0	1,00000	1,00	0,15730	2,00	0,00468	3,00	0,00002209
0,10	0,88754	1,00	0,11980	2,10	0,00298	3,10	0,00001165
0,20	0,77730	1,20	0,08969	2,20	0,00286	3,20	0,00000603
0,30	0,67137	1,30	0,06599	2,30	0,00114	3,30	0,00000603
0,40	0,57161	1,40	0,04772	2,40	0,000689	3,40	0,00000152
0,50	0,47950	1,50	0,03390	2,50	0,000407	3,50	0,000000743
0,60	0,39614	1,60	0,02365	2,60	0,000236	3,60	0,000000356
0,70	0,32220	1,70	0,01621	2,70	0,000134	3,70	0,000000167
0,80	0,25790	1,80	0,01091	2,80	0,000075	3,80	0,000000077
0,90	0,20309	1,90	0,00721	2,90	0,000041	3,90	0,000000035

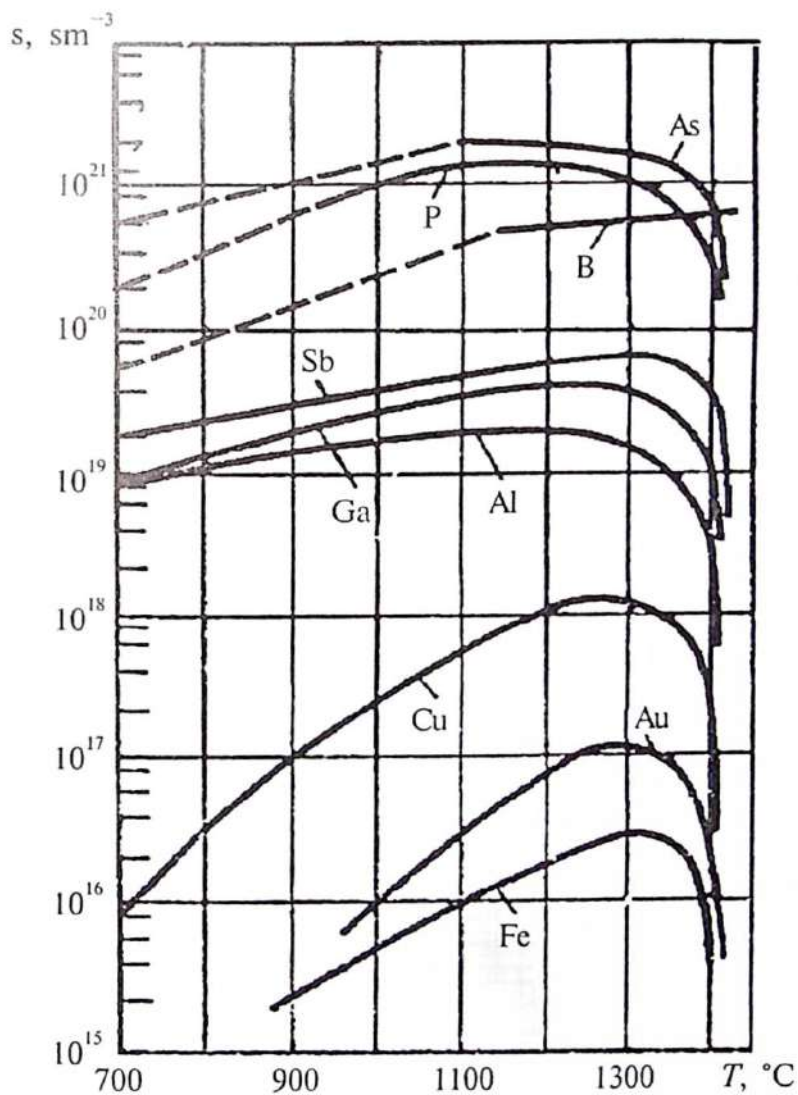
2. Kremniyning xossalari

Atom nomeri	14
Atom massasi	28,06
Atom zichligi, sm^{-3}	$5,02 \cdot 10^{22}$
Zichligi	$2,33 \text{ g/sm}^3$
Kristall strukturasi	olmos turli
Atom sathlarining konfiguratsiyasi	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Panjara doimiysi (kubning qirradi), a	0,543 nm
Tetraedrik radius, r_0	0,118 nm
{001} tekisliklari orasidagi fazo	0,542 nm
{011} tekisliklari orasidagi fazo	0,383 nm
{111} tekisliklari orasidagi fazo	0,313 nm
Erish nuqtasi	1412 °C
Ta'qiqlangan zona, E_g	1,11 eV
O'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning effektiv massasi	$0,26m_0$
Valent zonadagi kovaklarning effektiv massasi	$0,38m_0$
Diffuziya koeffitsiyentlari:	
elektronlar (D_n)	$34,6 \text{ sm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
kovaklar (D_p)	$12,3 \text{ sm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Elastiklik moduli {111} yo'nalish (Y)	$1,9 \cdot 10^{12} \text{ din} \cdot \text{sm}^{-1}$
Zaryad tashuvchilarning xususiy konsentratsiyasi, n_i	$1,3 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$
Noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti	$2,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
Panjarada elektronlarning harakatchanligi, μ_n	$1350 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
Panjarada kovaklarning harakatchanligi, μ_p	$480 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
Issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti:	
Si	$-2,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
SiO ₂	$-0,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Dielektrik doimiysi, μ/μ_0	
Si	$\sim 11,7$
SiO ₂	$\sim 3,9$
Sindirish koeffitsiyenti, n	3,44
SiO ₂ uchun sindirish koeffitsiyenti	1,46
Issiqlik o'tkazuvchanlik	$1,412 \text{ W} \cdot \text{sm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Termik diffuziya koeffitsiyenti, k	$0,87 \text{ sm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Teshilish kuchlanganligi, E	$3 \cdot 10^5 \text{ V} \cdot \text{sm}^{-1}$
Xususiy materialning solishtirma qarshiligi	$2,3 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{sm}$

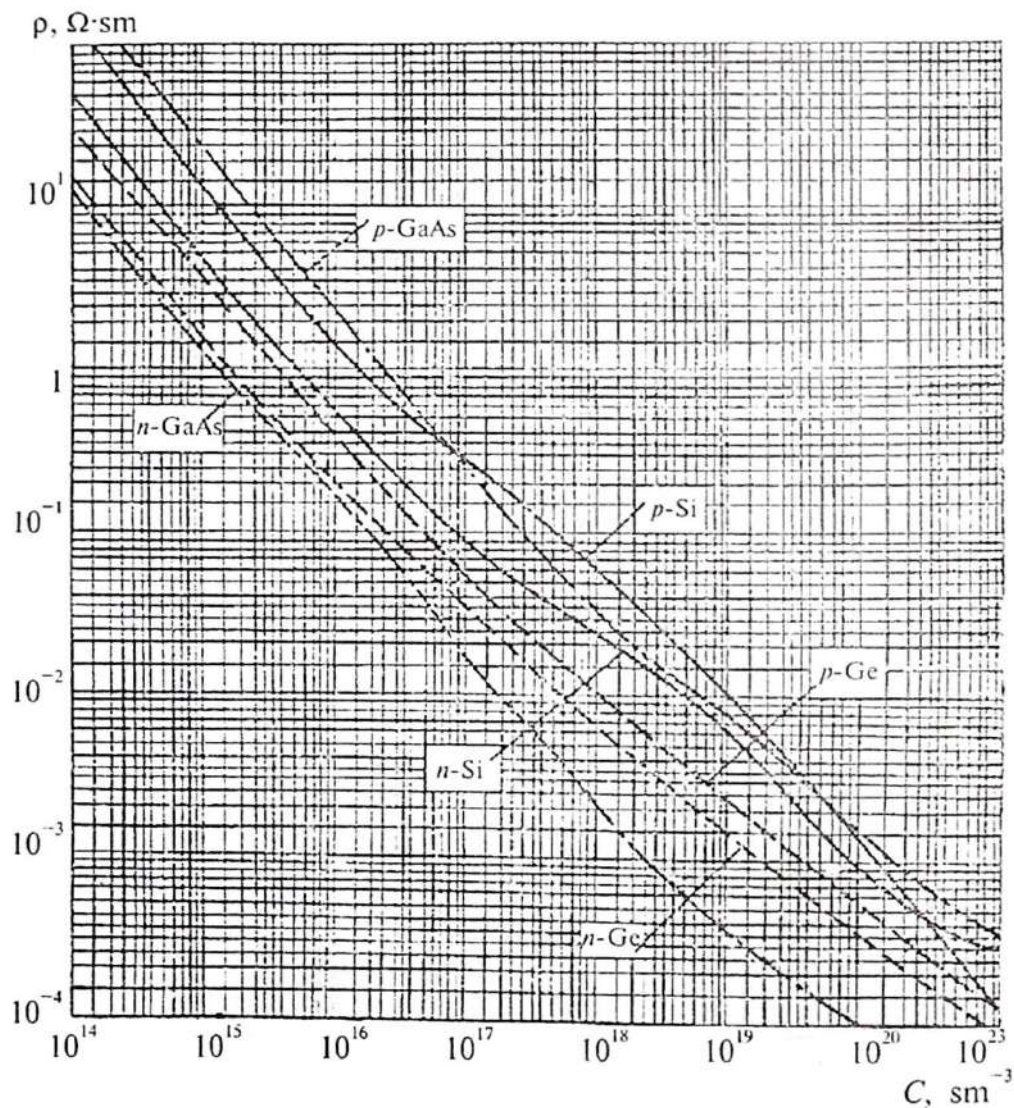
3. Mikroelektronikada foydalaniladigan fizik doimiylar

Elektronning zaryadi	$e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Elektron energiya	$1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Plank doimiysi	$h \approx 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ $\approx 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ $\hbar \approx 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s/rad}$ $\approx 6,6 \cdot 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s/rad}$
1 sikl/s	$1 \text{ sikl/s} = 2\pi \text{ rad/s} = 1 \text{ Hz}$
Kvant energiyasining oqimi ...	$\Phi_0 = h/2q \approx 2,1 \cdot 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{s}$ (yoki Wb)
Bolsman doimiysi	$k \approx 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ $\approx 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$
Vakuumning magnit kirituvchanligi	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$
Vakuumning dielektrik kirituvchanligi	$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \approx 10^{-9}/36\pi \text{ F/m}$
Vakuumda yorug'likning tezligi	$c = (\epsilon_0\mu_0)^{-1/2} \approx 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Ko'rinadigan yorug'likning vakuumdagi to'liq uzunligi	$0,4-0,7 \text{ } \mu\text{m}$ ($4000-7000 \text{ } \text{\AA}$)
Avogadro soni, A_0 , N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ molekul/g} \cdot \text{mol}$
Issiqlik potentsiali	$V_t = kT/q$
27 °C (300 K) da	$0,025860 \text{ V}$
20 °C (293 K) da	$0,025256 \text{ V}$
Erkin elektronning massasi	$m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Erkin protonning massasi	$M_p = 1,67264 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
1 eV energiyali yorug'lik kvantining to'liq uzunligi, λ	$1,23977 \text{ } \mu\text{m}$
1 $\text{\AA}$	$10^{-1} \text{ nm} = 10^{-4} \text{ } \mu\text{m} = 10^{-8} \text{ sm} = 10^{-10} \text{ m}$
1 mil	$10^{-3} \text{ dyuym} = 25,4 \text{ } \mu\text{m}$
1 eV	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
1 J	$10^7 \text{ erg} = 6,242 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 2,389 \cdot 10^{-1} \text{ kal}$
1°	$60' = 0,01745 \text{ rad}$
$\lambda \text{ (nm)} = 1240/E \text{ (eV)}$	

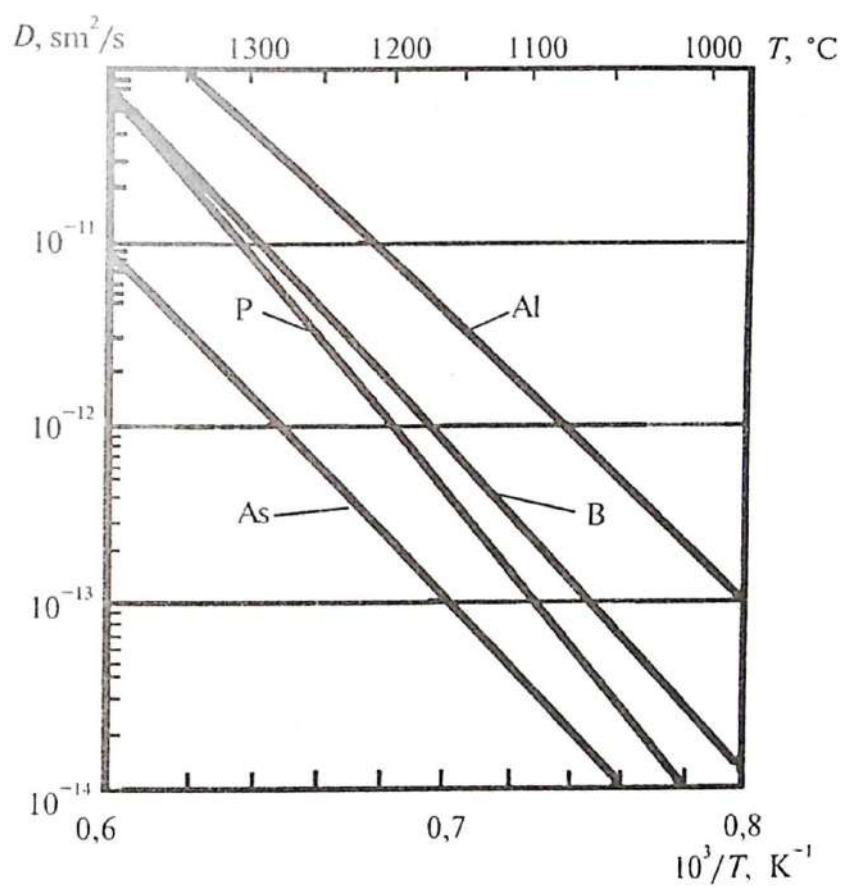
4. Kremniyda kirishma elementlari chekli erishlarining temperaturaga bog'lanishi



5. Si, Ge va GaAs solishtirma qarshiliklarning
kirishma konsentratsiyasiga bog'lanishi



6. Kremniyda kirishmalar diffuziya koeffitsiyentlarining temperaturaga bog'lanishi



7. Eng asosiy yarimo'tkazgichlarning elektr xossalari

Xossalari	Kremniy, Si	Germaniy, Ge	Galliy arsenidi, GaAs	Galliy fosfidi, GaP
Taqlangan zona kengligi, eV: 0 K da 300 K da,	1,21 1,10	0,756 0,66	1,52 1,43	2,34 2,26
Taqlangan zona kengligining tempe- ratura koeffitsiyenti, 10^{-4} , eV/K	-4,1	-4,4	-5,0	-3,67
Xususiy solishtirma qarshiligi, $\Omega \cdot \text{sm}$, 300 K da	$2,5 \cdot 10^3$	47	$3,7 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{16}$
Zaryad tashuvchilar- ning xususiy konsentratsiyasi, sm^{-3} , 300 K	$1,45 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{13}$	10^7	10^5
Kirishmasiz yarim- o'tkazgichlarda zaryad tashuvchi- larning harakatchan- ligi, 300 K da, $\text{sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$: elektronlar kovaklar	1450 480	3900 1900	10500 425	300 100300
Kirishmasiz yarim- o'tkazgichlarda zaryad tashuvchi- larning harakat- chanligining tempe- raturaga bog'liqligi, $\text{sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$: elektronlar kovaklar	$1300(T/300)^{-2}$ $500(T/300)^{-2,7}$	$4500(T/300)^{-1,6}$ $3500(T/300)^{-2,33}$	$8500(T/300)^{-1}$ $420(T/300)^{-2,1}$	$110(T/300)^{-1,5}$ $75(T/300)^{-1,5}$
Eng ko'p tarqal- gan kirishmalar- ning elektr tabiati: neytral kirishmalar donorlar akseptorlar chuqur energetik sathlar hosil qiluvchi kirishmlar	H, N, C, Ge, Pb, Ar P, As, Sb, Li B, Al, Ga, In Cu, Au, Zn, Mn, Fe, S, Ni	H, N, C, Si, Pb, Ar P, As, Sb, Li B, Al, Ga, In Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Mn, Ni, Fe, S, Se, Te	H, N, B, Al, In, P, Sb Si, Sn, Te, S, Se Zn, Cd, Be, Li Cr, Fe, V, Ni, Mg, Au, Ge, Mn, Ag	H, N, B, Al, In, As, Sb Si, Sn, Te, S, Se Be, Mg, Zn, Cd, C Cu, O, Ge, Co, Fe, Cr, Mn

8. Ba'zi bir elementlarning erish T_{er} va bug'lanish $T_{bug'}$ temperaturalari

Element	Atom massasi	T_{er} , °C	$T_{bug'}$, °C	Bug'lantirgichga tavsiya qilingan materiallar	
				simga, lentaga	tigelga
Ag	107,9	961	1047	Mo, Ta	Mo, C
Al	27	660	1150	W	C, BN, TiB ₂ -BN
Au	197	1063	1465	W, Mo	Mo, C
Bi	209	271	698	W, Mo, Ta, Ni	Metallar, oksidlar
Cd	112,4	321	264	W, Mo, Ta, Ni, Fe	Metallar, oksidlar
Co	58,9	1490	1650	W	Al ₂ O ₃ , BeO
Cr	52	1800	1205	W, Ta	—
Cu	63,5	1083	1273	W, Mo, Ta	Mo, C, Al ₂ O ₃
Ge	72,6	959	1251	W, Mo, Ta	W, C, Al ₂ O ₃
Mg	24,3	651	443	W, Mo, Ta, Ni	Fe, C
Mn	54,9	1244	980	W, Mo, Ta	Al ₂ O ₃
Mo*	95,9	2622	2533	—	—
Ni	58,7	1455	1510	W	Oksidlar
Pd	106,4	1555	1566	W	Al ₂ O ₃
Pt	195	1774	2090	W	ThO ₂ , ZrO ₂
Sb	121,8	630	678	Mo, Ta, Ni	Metallar, oksidlar
Si	28	1415	1342	—	BeO, ZrO ₂ , ThO ₂
Ta*	181	2996	3070	—	—
Ti	47,9	1725	1546	W, Ta	C, ThO ₂
W*	183,9	3382	3309		
Zn	65,4	419	343	W, Ta, Ni	Fe, Al ₂ O ₃ , C, Mo

* Elektron-nurli qizdirib yoki ion bombardirovkali changlantirib bug'lantirish tavsiya etiladi.

1. Малышева И.А. Технология производства интегральных микросхем. — М., «Радио и связь», 1991.
2. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. — М., «Мир», 1985.
3. Курносоев А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. — М.; «Высшая школа», 1986.
4. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. — М., «Радио и связь», 1987.
5. Технология СБИС, в 2-х книгах. Под ред. С. Зи. — М., «Мир», 1986.
6. Таруи Я. Основы технологии СБИС. — М., «Радио и связь», 1985.
7. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. Под ред. Н.Д. Федорова. — М., «Радио и связь», 1998.
8. Parmanqulov I.P., Umirzaqov B.Y. va boshqalar. Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasi. O'quv qo'llanma. — T., TDTU, 2002.
9. Технология тонких плёнок. Под. ред. Л.Майселла, Р. Глэнгл. I и II т. — М., «Сов. радио», 1977.
10. Физика тонких плёнок. Под. ред. Г.Хасса. IV и V. — М., «Мир», 1972.
11. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под. ред. Л.Ченга. К.Полса. — М., «Мир», 1989.
12. Кремков М.В., Беседина Е.А., Шевелев С.В. Диагностика поверхности материалов. — Т., «Фан», 1997.
13. Umirzaqov B.Y. Qattiq jism yuzalari va chegaraviy qatlamlarning tuzilishini o'rganish usullari. O'quv qo'llanma. — T., TDTU, 1997.
14. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий. — Т., «Фан», 1989.
15. Normuradov M.T., Umirzaqov B.Y., Rajabbayev R.R. Qattiq jism sirtlarining ikkilamchi elektron spektroskopiyasi. O'quv qo'llanma. — T., «Konstruktor», 1993.
16. Umirzaqov B.Y. Qattiq jism yuzalarini tekshirish usullari. — T., ToshGTU, 1997.
17. Normuradov M.T., Umirzaqov B.Y., Parmonqulov I.P. Elektron texnika mahsulotlari va qurilmalari texnologiyasi. Darslik. — T., «Mehnat», 2005.
18. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение гениальной идеи.: Пер. с англ. — М., Изд. дом «Вильямс», 2004.
19. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А. Электронная спектроскопия нанопленок и наноструктур, созданных ионной имплантацией. — Т., Типография ТашГТУ, 2004.
20. Алексеев А.Г. Основы микросхемотехники. 3-е изд. — М., Изд. дом ЛБЗ, 2002.

MUNDARIJA

So'zboshi	3
-----------------	---

I b o b. Kirish. Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarishda texnologiyaning roli. Elektronika elementlari bazasining qisqacha rivojlanish tarixi

1.1. Elektronikaning qisqacha rivojlanish tarixi	5
1.2. Tranzistorlarning tayyorlash texnologiyasi usullari bo'yicha turlari	8
1.3. Integral sxemalarni tayyorlashdagi asosiy texnologik jarayonlar	10

II b o b. Elektron texnika mahsulotlari texnologiyasining umumiy tavsifi

2.1. Asosiy tushunchalar. Elektron asboblari, qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishdagi asosiy texnologik operatsiyalarning qisqacha tavsifi	14
2.2. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasining tasnifi va asosiy bosqichlari	17
2.3. Elektron texnika mahsulotlarida strukturani shakllantirish tamoyillari	22
2.4. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash usullarining asosiy guruhlari	23
2.5. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlashning asosiy texnologik marshrutlari	27
2.6. Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablar va ularni bajarish bo'yicha tadbirlar	34
2.7. Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning xususiyatlari va texnologiya progressivligining kriteriyalari	43

III b o b. Plastina va tagliklarni tayyorlash hamda tozalash

3.1. Umumiy ma'lumotlar	46
3.2. Plastina va tagliklarni tayyorlash marshrutlari	53
3.3. Quymalarni tayyorlash va plastina qilib kesish	56
3.4. Plastinalarni jilvirlash, faskani olib tashlash va jilolash	59
3.5. Plastina sirtlarini suyuqlik tozalash	61

1. Малышева И.А. Технология производства интегральных микросхем. — М., «Радио и связь», 1991.
2. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. — М., «Мир», 1985.
3. Курносков А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. — М.; «Высшая школа», 1986.
4. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. — М., «Радио и связь», 1987.
5. Технология СБИС, в 2-х книгах. Под ред. С. Зи. — М., «Мир», 1986.
6. Таруи Я. Основы технологии СБИС. — М., «Радио и связь», 1985.
7. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. Под ред. Н.Д. Федорова. — М., «Радио и связь», 1998.
8. Parmanqulov I.P., Umirzaqov B.Y. va boshqalar. Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasi. O'quv qo'llanma. — T., TDTU, 2002.
9. Технология тонких плёнок. Под. ред. Л.Майселла, Р. Глэнгл. I и II т. — М., «Сов. радио», 1977.
10. Физика тонких плёнок. Под. ред. Г.Хасса. IV и V. — М., «Мир», 1972.
11. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под. ред. Л.Ченга. К.Полса. — М., «Мир», 1989.
12. Кремков М.В., Беседина Е.А., Шевелев С.В. Диагностика поверхности материалов. — Т., «Фан», 1997.
13. Umirzaqov B.Y. Qattiq jism yuzalari va chegaraviy qatlamlarning tuzilishini o'rganish usullari. O'quv qo'llanma. — T., TDTU, 1997.
14. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий. — Т., «Фан», 1989.
15. Normuradov M.T., Umirzaqov B.Y., Rajabbayev R.R. Qattiq jism sirtlarining ikkilamchi elektron spektroskopiyasi. O'quv qo'llanma. — T., «Konstruktor», 1993.
16. Umirzaqov B.Y. Qattiq jism yuzalarini tekshirish usullari. — T., ToshGTU, 1997.
17. Normuradov M.T., Umirzaqov B.Y., Parmonqulov I.P. Elektron texnika mahsulotlari va qurilmalari texnologiyasi. Darslik. — T., «Mehnat», 2005.
18. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение гениальной идеи: Пер. с англ. — М., Изд. дом «Вильямс», 2004.
19. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А. Электронная спектроскопия нанопленок и наноструктур, созданных ионной имплантацией. — Т., Типография ТашГТУ, 2004.
20. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. 3-е изд. — М., Изд. дом ЛБЗ, 2002.

MUNDARIJA

So'zboshi	3
-----------------	---

I b o b. Kirish. Elektron asboblari va qurilmalar ishlab chiqarishda texnologiyaning roli. Elektronika elementlari bazasining qisqacha rivojlanish tarixi

1.1. Elektronikaning qisqacha rivojlanish tarixi	5
1.2. Transistorlarning tayyorlash texnologiyasi usullari bo'yicha turlari	8
1.3. Integral sxemalarni tayyorlashdagi asosiy texnologik jarayonlar	10

II b o b. Elektron texnika mahsulotlari texnologiyasining umumiy tavsifi

2.1. Asosiy tushunchalar. Elektron asboblari, qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishdagi asosiy texnologik operatsiyalarning qisqacha tavsifi	14
2.2. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash texnologiyasining tasnifi va asosiy bosqichlari	17
2.3. Elektron texnika mahsulotlarida strukturani shakllantirish tamoyillari	22
2.4. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlash usullarining asosiy guruhlari	23
2.5. Elektron texnika mahsulotlarini tayyorlashning asosiy texnologik marshrutlari	27
2.6. Texnologik jarayonlarga qo'yiladigan talablar va ularni bajarish bo'yicha tadbirlar	34
2.7. Elektron texnika mahsulotlarini ishlab chiqarishning xususiyatlari va texnologiya progressivligining kriteriyalari	43

III b o b. Plastina va tagliklarni tayyorlash hamda tozalash

3.1. Umumiy ma'lumotlar	46
3.2. Plastina va tagliklarni tayyorlash marshrutlari	53
3.3. Quymalarni tayyorlash va plastina qilib kesish	56
3.4. Plastinalarni jilvirlash, faskani olib tashlash va jilolash	59
3.5. Plastina sirtlarini suyuqli tozalash	61

3.6. Quruq tozalash va yemirish	67
3.7. Plastina va tagliklarning sifatini nazorat qilish	71

IV b o b. Elektron texnika mahsulotlari topologiyasini shakllantirish usullari

4.1. Umumiy ma'lumotlar	73
4.2. Optik litografiya (fotolitografiya)	77
4.3. Brak turlari va fotolitografiyaning sifatini ta'minlash	91
4.4. Elektron litografiya	93
4.5. Rentgenli litografiya	97
4.6. Ion-nurli litografiya	100
4.7. Plyonkali strukturalar topologiyasini shakllantirish	103

V b o b. Yupqa plenkalar hosil qilish usullari

5.1. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazish	108
5.2. Himoyalashda qo'llaniladigan dielektrikli yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi	111
5.3. Yuqori vakuum sharoitida o'ta yupqa (nano) plyonkalar olish va ko'p qatlamli tizimlar hosil qilish usullari	119
5.4. Adsorbsiya jarayonida o'ta yupqa qatlamlar hosil bo'lishining asosiy bosqichlari	121
5.5. Kub panjarali plenkalarni epiktaksial o'stirish	125
5.6. O'ta yupqa qatlamlarda fizik jarayonlar kechishining o'ziga xosligi. Elektron qurilma va asboblari yupqa plyonkalar asosida kichiklashtirish istiqbollari	129
5.7. Ionli aktivlashtirish usuli bilan qattiq jism yuzalarida yupqa plyonkalar hosil qilish	131
5.8. Ion implantasiya usuli	133
5.9. Nanoassambler-atomlar (molekulalar)ni ketma-ket yig'ish usuli bilan nanomateriallar hosil qiluvchi qurilma	138
5.10. O'ta yupqa qatlamlarni o'rganishning zamonaviy usullari haqida umumiy ma'lumotlar	139
5.11. Birlamchi elektronlar ta'siriga asoslangan boshqa usullar	145
5.12. Yuzalarni tekshirishda fotonlar oqimidan foydalanish	146
5.13. Yuzalarni tekshirishda ionlardan foydalanish	148
5.14. Nanokristallarni o'rganishning zamonaviy usullari	149
5.15. Yupqa plyonkalar sifatini nazorat qilish	152

VI b o b. Yarimo'tkazgichli qatlamlar va o'tishlarni hosil qilish usullari

6.1. Yarimo'tkazgichli strukturalarning turlari, ularni hosil qilish fizikasi va texnologiyasi	157
6.2. Strukturalarni qotishmali usul bilan hosil qilish	159
6.3. Yupqa qatlamni va strukturalarni epitaksial o'stirish usuli bilan hosil qilish	160
6.4. Kremniyli qatlamlarning epitaksiyasi	163
6.5. Diffuziyali legirlash	174
6.6. Ionli legirlash	194
6.7. Lazerli texnologiya asoslari	207
6.8. Legirlangan qatlamlarning nuqsonlari va nazorati	214

VII b o b. Elektron texnika mahsulotlari strukturalarini tayyorlashning umumiy marshrutlari

7.1. IMS larni konstruksiyalash va tayyorlash bosqichlari	218
7.2. Bipolar strukturalarni tayyorlash	218
7.3. MOY strukturalarni tayyorlash	226
7.4. Kremniyli strukturalarni metallash va himoyalash	230
7.5. Yupqa plyonkali strukturalar texnologiyasining umumiy marshrutlari	233
7.6. Qalin plyonkali strukturalar texnologiyasining umumiy marshrutlari	237
7.7. Katta va o'ta katta IMS strukturalarini tayyorlash texnologiyasining xususiyatlari	239

VIII b o b. Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish

8.1. Plastina va tagliklarni bo'laklash	243
8.2. Yig'ish usullari	247
8.3. Kristallar va platalarning montaji	250
8.4. Elektrodli chiqiqlarni ulash	251
8.5. Elektron texnika mahsulotlarini tasmali uzatgichda yig'ish	252
8.6. IMS larni korpusda germetizatsiyalash	254
8.7. Korpussiz germetizatsiyalash	256
8.8. Yig'ish jarayonlari sifatining nazorati	257
8.9. Mikrosxemalarni tayyorlashning yakuniy operatsiyalari	258
Ilovalar	260
Adabiyotlar	268

Parmonqulov I.P.

Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish texnologiyasi: O'rta maxsus o'quv yurtlarining fizika va elektronika sohasi talaba va o'qituvchilari uchun qo'llanma/I.P.Parmonqulov, B.Y.Umirzaqov. — T.: «Voriz-Nashriyot» MChJ, 2006. — 272 b.

I. Umirzaqov B.Y.

BBK 31.23ya73

PARMANKULOV ISAMIDDIN PATTAYEVICH,
UMIRZAQOV BOLTOXODJA ERMATOVICH

ELEKTRON TEXNIKA MAHSULOTLARINI YIG'ISH TEXNOLOGIYASI

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

*«Voriz-Nashriyot» MChJ
Toshkent—2006*

Muharrir *N. Go'ipov*
Musahhih *S. Musaxojiyev*
Kompyuterda sahifalovchi *M. To'xtaxo'jayeva*

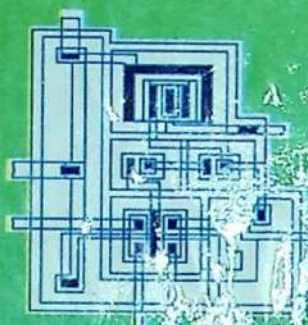
Original-maketdan bosishga ruxsat etildi 30.08.06. Bichimi 60x90^{1/16}.
Kegli 11 shponli. Tayms garn. Ofset bosma usulida bosildi. Hajmi 17,0 b.t.
2800 nusxada bosildi. Buyurtma № 187.

«Voriz-Nashriyot» MChJ, Toshkent, Shiroq ko'chasi, 100.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining
G'afur G'ulom nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi.
100129. Toshkent. Navoiy ko'chasi, 30.
100128. Toshkent. Usmon Yusupov ko'chasi, 86.



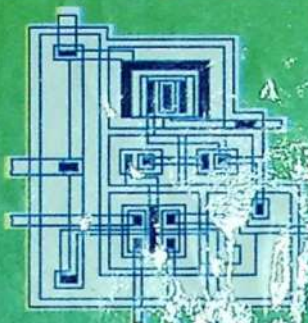
**ELEKTRON TEXNIKA
MAHSULOTLARINI
YIG'ISH TEXNOLOGIYASI**



«VORIS»



**ELEKTRON TEXNIKA
MAHSULOTLARINI
YIG'ISH TEXNOLOGIYASI**



«VORIS»

