

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSYS TA'LIM VAZIRLIGI**

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**«YUZALAR VA CHEGARAVIY QATLAMLARNING
TUZILISHI VA XOSSALARI»**

fanidan o'quv qo'llanma

Toshkent – 2008

Tuzuvchilar: Umirzakov B.E., Tashmuxamedova D.A., Kuliev O.F. «Yuzalar va chegaraviy qatlamlarning tuzilishi va xossalari» fanidan o'quv qo'llanma. – Toshkent, ToshDTU, 2008. – 70 bet.

O'quv qo'llanma «Elektronika va mikroelektronika» bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qaroriga muvofiq chop etildi.

Taqrizchilar: **N. Norqulov** – O'zMU «Fizikaviy elektronika» kafedrası mudiri.
Sh. Mavlonov – ToshDTU «Radiotexnika» kafedrası dotsenti.

SO'Z BOSHI

1965-70 yillarga qadar "Qattiq jismning deyarli barcha asosiy xususiyatlari uning hajmi holatiga (tarkibi, tuzilishiga) bog'liq deb qaralar edi. Ammo bu davrga kelib jismning juda ko'p xossalari uning yuza qatlamlarining holatiga uzviy ravishda bog'liq ekanligi aniqlana boshlandi. Masalan, jismlarning emission va optiaviy xususiyatlari, korroziyaga va ayrim mexanik ta'sirlarga chidamliligi birinchi holda yuzaning tarkibiga

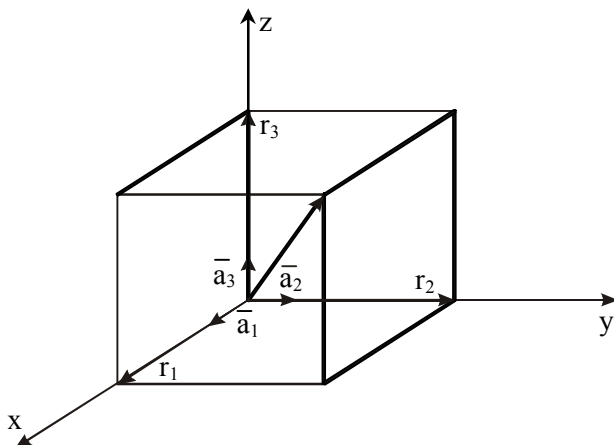
va tuzilishiga bogliq ekanligi malum bo'lib qoldi. Hozirgi paytda qattiq jismning deyarli barcha fizik xususiyatlari, hattoki ayrim mexanik xossalari ba ko'pgina kimyoviy xossalari uning yuzasining holati bilan aniqlanishi tajribada isbotlangan. shuning uchun ham 1970 yillardan boshlab yuzalarni tadqiq qilish va uni o'rganish uchun yangi maxsus usullar ishlab chiqishga juda katta ahamiyat berila boshladi.

Jismning yuza qatlamlari alohida, o'ziga xos bo'lgan murakkab xususiyatlarga ega bo'lib, ular hajmiy xususiyatlardan keskin farq qiladi. Bunday farqlarning juda ko'p sabablari bor. Hattoki, ideal holgacha tozalangan va bir xil tarkibli kristallarda ham yuza va hajm xususiyatlari farq qiladi. Chunki, masalan, hajmda joylashgan atomlar o'zining to'rt tarafidan atomlar bilan bog'langan bo'lsa, yuzadagi atomlar faqat uchta tomondan bog'lanib, tepada atomlar yo'q bo'lganligi uchun to'rtinchi tomondan bog'lanmagan bo'ladi. Shunday qilib yuzadagi kristall tuzulish yoki panjara parametrlari hajmnikidan farq qiladi. Bu esa o'z nabbatida hajm va yuza elektron tuzilishlarining bir-biridan farq qilishiga olib keladi. Yuza qatlamlarga tashqi ta'sir ko'rsatib, uning xususiyatlarini kerakli yo'nalishda o'zgartirish mumkin. Buning uchun ionlar implantatsiyasi, lazer ba boshqa nurlar bilan ishlov berish, aktiv element atomlari ba molekulalar o'tkazish ba boshqa usullardan foydalaniladi. Bu kursda qattiq jism yuzasi ba uning xususiyatlari haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz. Undan tashqari bir-biri bilan kontaktga kiritilgan ikki qattiq jism chegarasida zonaviy uzilishning o'zgarishi haqida ayrim ma'lumotlarni keltiramiz.

I BOB. QATTIQ JISM YUZALARINING TUZILISHI

1.1. Yuzalarning tuzilishi. Uch o'lchamli kristallarning atom tuzilishi haqida tushuncha

Har qanday qattiq jism kristallini "ma'lum bir tartibda joylashgan uch o'lchamli panjara" deb qarash mumkin. "Bunday panjaraning tugunlarida atom (yadro) lar joylashgan" deb tasavvur qilamiz. Bunday tugun orasidagi masofa $1 - 5 \text{ \AA}$ atrofida bo'lishi mumkin. Bitta yo'nalishdagi tugunlar(atomlar) orasidagi masofalar boshqa yo'nalishdagi masofalardan farq qilishi mumkin. Bunda jismning turiga qarab tugunlarda bir turdagi yoki har xil turdagi atomlar joylashishi mumkin. Masalan, Si kristallining hamma tugunlarida Si atomlari joylashgan bo'ladi, GaAs kristallida esa bitta tugunda Ga joylashsa, boshqa tugunda As joylashadi. Eng sodda (primitiv) panjara vektorlarini $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ deb, r_1, r_2, r_3 larni butun sonli koeffitsientlar deb olsak (1.1 – rasm), y holda har qanday atomning holatini quyidagi formula bilan ifodalash mumkin:



1.1-rasm. *Primitiv panjaraning chizma holatdagi ko'rinishi. $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ - birlik vektorlar, r_1, r_2, r_3 - butun sonli koeffitsientlar.*

$$\vec{R} = r_1 \cdot \vec{a}_1 + r_2 \cdot \vec{a}_2 + r_3 \cdot \vec{a}_3 \quad (1.1)$$

Primitiv panjara vektorlaridan tashkil etilgan parallelepiped panjaraning primitiv elementar yacheykasini tashkil qiladi.

Primitiv vektorlar $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ har xil uzunliklarga ega bo'lishi mumkin; demak, kristallning turiga qarab cheksiz ko'p sonli elementar yacheykalar mavjud bo'lishi kerak.

Kristall panjaralar elementar yacheykalarni ketma-ket qo'yish, burish (aylantirish) yoki akslantirish orqali hosil bo'ladi deb qarash mumkin. Demak, **kristall panjara ma'lum bir tartibda joylashtirilgan elementar yacheykalarning majmuidan iborat bo'lar ekan.**

Umuman, kristall panjaralar ma'lum bir nuqtaviy simmetriyaga ega bo'ladi. ya'ni bu panjarani ma'lum bir aylantirishlar, akslantirishlar orqali yana o'zining joyiga (o'z holiga) keltirish mumkin. Geometrik nuqtalarning berilgan konfiguratsiyasini (shaklini) invariant holda saqlaydigan aylantirishlar ba akslantirishlarning umumiy yig'indisi ma'lum bir guruhni tashkil etadi. Bunday guruhlar **nuqtaviy guruhlar** deyiladi.

Uch o'lchamli kristall panjarelarni **7 xil nuqtaviy** guruhlariga ajratish mumkin. Ular **galoedrik nuqtaviy guruhlar** deb ataladi. Har bir galoedrik guruhga bittadan kristall sistema to'g'ri keladi. 7 xil kristall sistema mavjud bo'lib, ular **14 tipdagi** har xil panjarelarni tashkil etadi. Bu panjaralar **Brave panjaralari** deb ataladi. Ular 1.1-jadvalda berilgan.

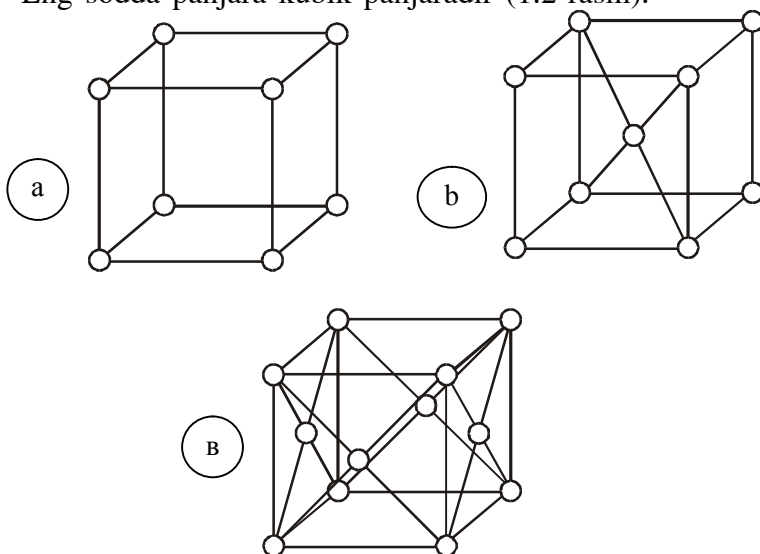
Jadbaldan ko'rinadiki, har bir sistema uchun bitta yoki bir necha Brave panjarasi to'g'ri keladi.

Translyatsion simmetriyadan tashqari kristall panjaralar boshqa simmetriya xossalari bilan ham xarakterlanadi. Bular **yo'nalishlarning nuqtaviy guruhleri** ba **fazoviy guruhleri** deyiladi. Yo'nalishlarning nuqtaviy guruhleri **32 turga** ajratiladi. Bu guruhlarining har biriga bittadan kristall sinflari to'g'ri keladi. **Fazoviy guruhlar soni 230 ta.** Biz yo'nalishlar guruhi ba fazoviy guruhleri ko'rib o'tmaymiz.

Uch o'lchamli kristallarning simmetriya bo'yicha guruhleri

t/r	Kristall tizim	Brave panjarasi
1	Triklin	Oddiy
2	Monoklin	Oddiy, asosi markazlashgan
3	Ortorombik	Oddiy, asosi markazlashgan, hajmiy markazlashgan, yon yoqlari markazlashgan
4	Trigonal	Oddiy
5	Tetragonal	Oddiy, asosi markazlashgan
6	Geksagonal	Oddiy
7	Kubik	Oddiy, asosi markazlashgan, hajmiy markazlashgan, yon yoqlari markazlashgan

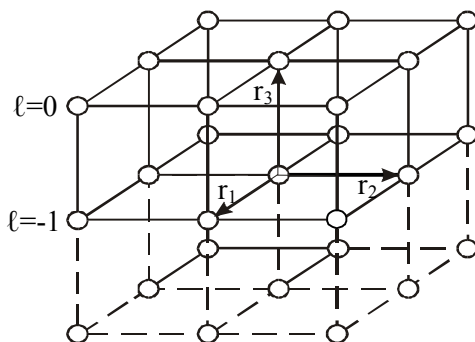
Eng sodda panjara kubik panjaradir (1.2-rasm).



1.2-rasm. Kubik panjaralar: *a* – oddiy; *b* – hajmiy markazlashgan; *c* – yon yoqlari markazlashgan.

Qattiq jism kristallini "parallel joylashgan kristallografik tekisliklardan iborat sistema" deb qarash mumkin. Masalan, primitiv yacheykaning asoslari shunday tekisliklarni tashkil qiladi. Bunday tekisliklarni **atomlar qatlami** deb ham ataymiz.

Umuman kristallofizikada elementar yacheyka asoslarini tashkil qilgan qatlamlar elementar atom qatlamlari deb ataladi. Eng yuqoridagi **qatlam yuza yoki sirt** deb ataladi. Elementar qatlamlar soni cheksiz ko'p bo'ladi. Bu qatlamlar soni vertikal o'q bo'yicha aniqlanadi ba **yuza** qatlam **nolinchi** qatlam deb belgilanadi. Elementar qatlamlarni ℓ harfi bilan belgilaymiz. Yuza qatlam uchun $\ell = 0$, yuza osti qatlami uchun $\ell = -1$ ba hokazo. (1.3 – rasm).



1.3-rasm. Qattiq jismning elementar qatlami.

Elementar qatlamlar orasida yonaki qatlamlar ham joylashishi mumkin (masalan, hajmiy markazlashgan panjaraning **markazida joylashgan atomlar yonaki qatlamni tashkil qilishi mumkin**). Yonaki qatlamlar, ayniqsa ko'p turli atomlarga ega bo'lgan sistemalarda yaqqol ko'rinadi. Demak, primitiv yacheykaning uch o'lchamli qirralarida yotmagan atomlar yonaki qatlamlarni tashkil qiladi. Bu atomlarning o'rni vertikal o'q bo'yicha aniqlanadi. Masalan, qattiq jism 2 xil turdagi atomdan tashkil topgan bo'lsa, yonaki qatlam atomlar o'rni quyidagicha aniqlanadi:

$$n = f_3 + \tau_2 \quad (1.2)$$

n xil atom bo'lsa y holda n -chi xil atomning o'rnini $f_3 + \tau_n$ deb aniqlanadi. f_3 – Z o'qi bo'ylab ikki elementar qatlam orasidagi masofa.

Qattiq jism tarkibida n ta turli atom bo'lsa, birinchi qatlam bilan ikkinchi qatlam orasida birinchi elementar qatlamni qo'shib hisoblaganda n ta yonaki qatlam bo'ladi. Demak, fazoviy panjaradagi istalgan nuqtaning holatini aniqlash uchun avvalo ℓ ba n orqali kerakli tekislikni aniqlab olamiz. Undan keyin bu atomning o'rnini shutekislikning koeffitsientlari orqali topiladi. Bu koordinatalar uchun S_1 ba S_2 degan musbat koeffitsientlarni kiritamiz. Y holda kristall panjaraning istalgan nuqtasidagi atom $R(\ell, n, S_1, S_2)$ holatini quyidagicha aniqlashimiz mumkin bo'ladi:

$$\vec{R} = S_1 \cdot \vec{f}_1 + S_2 \cdot \vec{f}_2 + \ell \cdot \vec{f}_3 + \tau_n \quad (1.3)$$

ℓ – elementar kristall qatlamlarning nomeri.

n – yonaki qatlamlar nomeri.

S_1, S_2 – tekislikning X, Y o'qlariga to'g'ri keluvchi butun sonli koeffitsientlar.

τ_n – Z o'qi bo'yicha elementar qatlam bilan yonaki qatlam orasidagi masofaga to'g'ri keluvchi kattalik.

f_1, f_2, f_3 mos ravishda X, Y, Z o'qlari bo'ylab qo'shni elementar yacheykalarda joylashgan atomlar orasidagi masofa.

1.2. Yuza qatlamlarning vujudga kelishida atomlarning siljishi. Relaksatsiyalangan va rekonstruksiyalangan yuzalar

Agar yuza qatlamdagi joylashgan atomlarning o'rnini hajmda joylashgan atomlar o'rnini bilan ustma-ust tushsa, Bunday sirtlar ideal sirtlar deyiladi. Yuza qatlam uchun: $\ell = 0, n = 0, \tau_1 = 0$. Eng yuza (sirtqi) qatlamda elementar qatlam

ba birinchi yonaki qatlam ustma-ust tushadi; shuning uchun ular orasidagi masofa $\tau_1 = 0$ bo'ladi.

Umuman, eng sirtqi qatlamdagi atomning holatini juda oddiy yozish mumkin. Bunda atomlarning holati R faqatgina S_1, S_2 koeffitsientlarga bog'liq bo'lgan quyidagi formula ko'rinishida bo'ladi:

$$\vec{R} = S_1 \cdot \vec{f}_1 + S_2 \cdot \vec{f}_2 \quad (1.4)$$

Lekin amalda hech qachon yuza qatlamdagi atomlar o'z o'rnini bilan hajmda joylashgan atomlar bilan ustma-ust tushmaydi. Chynki yuza qatlamdagi atomga ta'sir qiluvchi kuchlar hajmda joylashgan atomga ta'sir qiluvchi kuchlardan farq qiladi. Bunga asosiy sabab yuzadagi atom bog'larida uzilishning ro'y berishidir. Natijada yuzadagi atomlar energetik jihatdan eng qulay bo'lgan o'ringa joylashish uchun harakat qiladi, ya'ni **yuzadagi atomlarning siljishi ro'y beradi**. Birinchi qatlamda ro'y bergan siljish qisman 2-qatlamga, keyin 3- ba boshqa qatlamlarga beriladi. Qatlam soni oshgan sari siljish kamayib boradi.

Yuza qatlamda ro'y beradigan siljish kattaligi jismning turiga bog'liq bo'ladi. Agar bu siljish uncha katta bo'lmasa ba jismning elektron tuzilishi hamda boshqa xususiyatlarga katta ta'sir qilmasa, bunday **sirtlarni ideal sirtlarga yaqin** deb qarab, yuzalarning xossalarni aniqlashda hajmga tegishli bo'lgan kattaliklardan foydalanish mumkin bo'ladi. Ko'plab o'tkazilgan tajribalar, nazariy hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, yuza qatlamdagi atomning dastlabki holatga nisbatan **siljishi 0,5 Å va yundan katta** bo'lsa, jismning **elektron tuzilishi**, jumladan energetik zonalar ba elektronlarning fazoviy taqsimoti sezilarli o'zgarar ekan. Bunday katta siljish ($> 0,5\text{Å}$) deyarlik barcha yarim o'tkazgichlar uchun xosdir.

Agar yuza qatlamdagi atomlarning siljigandan keyingi real holatini $R'_s(S_1, S_2)$ deb, dastlabki holatini esa $R_s(S_1, S_2)$ deb belgilasak, ular orasidagi bog'lanishni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

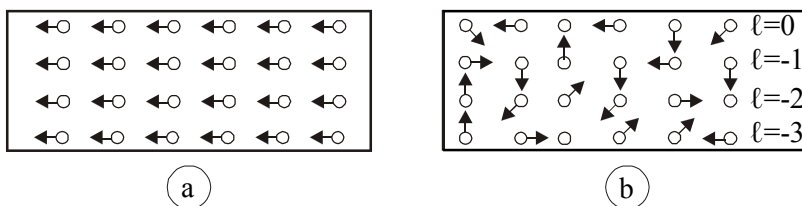
$$\vec{R}'_s(S_1, S_2) = \vec{R}_s(S_1, S_2) + \Delta R_s(S_1, S_2) \quad (1.5)$$

Bu erda: ΔR_s – yuza qatlamning vujudga kelishida atomlarning siljish kattaligini ifodalaydi. Yuzadan pastki qatlamlarga o'tilgan sari ΔR_s ning qiymati kamayib boradi: $\ell \rightarrow \infty$ bo'lsa, $\Delta R_s \rightarrow 0$.

Translyatsion simmetriyaning ta'siriga qarab ΔR_s siljishni 2 ta sinfga ajratish mumkin:

1. **Agar yuza atomlarining siljishi muayyan bir tomonga va bir xil kattalikda ro'y bersa, bunday hodisa relaksatsiya hodisasi deyiladi.** Bunday siljishda yuzadagi barcha ekvivalent atomlar bir xilda siljiganligi uchun translyatsion simmetriya o'zgarmaydi (1.4 – rasm). Demak, bu holda bazis vektorlari o'zgaradi, panjara vektorlari o'zgarmasdan qolaveradi.

2. **Agar yuza qatlamdagi atomlar kattaligi jihatdan ham, yo'nalishi jihatdan ham har xil siljisa, bunday siljish (hodisa) rekonstruktsiya deb ataladi.** Bunday holda har xil elementar yacheykalardagi ekvivalent atomlar har xil tomonga ba har xil masofaga siljiydi; natijada translyatsion simmetriya o'zgaradi. Ya'ni bazis vektori ham, panjara vektori ham o'zgaradi (1.4 – rasm).



1.4-rasm. Relaksatsiyalangan (a) va rekonstruktsiyalangan (b) yuza qatlamlar.

Bizga ma'lumki, har qanday kristall jismda turli xil tipdagi defekt (nyqson)lar mavjud bo'ladi. Yuza qatlamlarda ham har xil defektlar mavjud bo'lib, ularni umumiy holda 2 turga ajratish mumkin:

a) kristallning hajmiy tuzilishida ro'y beradigan defektlar yuzalarda ham mavjud bo'ladi. Bularga jumladan quyidagilar kiradi: vakansiya; tugunlar orasida joylashgan atomlar; antistruktural defektlar; dislokatsiya; kristall bo'laklarning chegaralari.

b) Qattiq jism yuzasining vacuum chegarasidagi defektlar: alohida atomlar; sirtiy pog'onalar, terrasalar, har xil orientirlangan bir xil tipdagi domenlar, g'adir-budurliklardan iborat qatlam kuchlanganligi ba boshqalar.

Yuza qatlamlardagi o'zgarishlarga (nyqsonlarga), relaksatsiya ba rekonstruktsiyadan tashqari kristallda mavjud bo'lgan dislokatsiyalar ham ta'sir qiladi. Dislokatsiyalarning quyidagi turlari mavjud:

1) Chekkali dislokatsiya; 2) Buramali dislokatsiya; 3) Egri chiziqli dislokatsiya ba 4) Aralashmali dislokatsiya.

Dislokatsiyalar alohida ahamiyatga ega bo'lib, y boshqa kurslarda to'liq o'rganiladi.

1.3. Kristallardagi atomlarning bog'lanish turlari

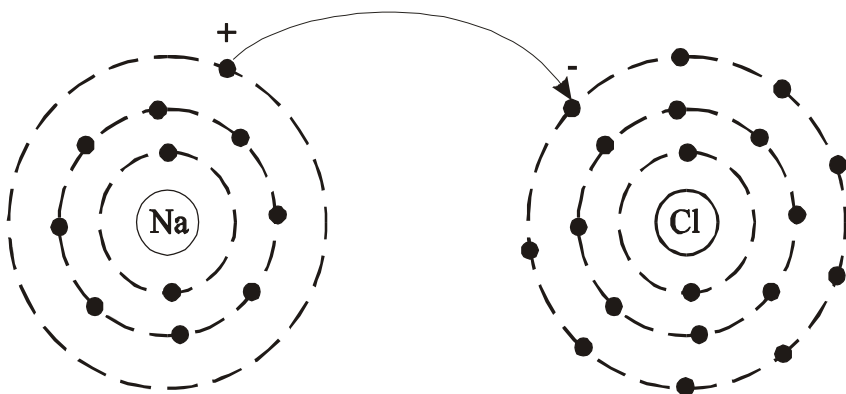
Qattiq jismlarda atomlar bir-biriga juda yaqin joylashgan ($1 - 5 \text{ \AA}$) bo'lib, ular ma'lum bir kuch bilan tutilib turadi. Umuman qattiq jism vujudga kelishida atomlarning valent elektronlari asosiy rolni o'ynaydi. Bitta atom valent elektronining boshqa atom valent elektroni bilan qanday munosabatda bo'lishiga qarab har xil bog'lanishlar mavjud bo'ladi. Bunday bog'lanishlarni qattiq jism uchun 4 ta turga ajratish mumkin: **ionli bog'lanishlar; metall bog'lanishlar; kovalent bog'lanishlar; Vander-Vals bog'lanishi.**

Bu bog'lanishlarning har biri bilan qisqacha tanishib o'tamiz.

1. Ionli bog'lanish

Qattiq jismning tashkil bo'lishida 2 ba 3 xil atomlardan tuzilgan sistemalar orasida ionli bog'lanish ko'p holda asosiy rol o'ynaydi. Bunday bog'lanish ko'pincha balentliklari bir-biridan

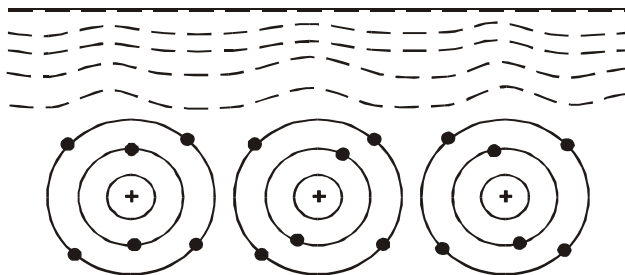
keskin farq qiladigan element atomlari orasida ro'y beradi. Masalan, ishqoriy (ishqoriy er) metallar bilan galogenlar orasida ionli bog'lanish ro'y berishi mumkin. Bunday bog'lanish orqali hosil bo'ladigan kristallarga misol qilib NaCl, KCl, NaBr, BaF₂, CaF₂ ba boshqalarni ko'rsatish mumkin. Bunda Na bir balentli bo'lgani uchun y o'z elektronini oson beradi. Cl esa 7 balentli bo'lgani uchun u elektronni tezda biriktirib oladi ba elektron qavatlarni to'ldiradi. Bunday almashinish tufayli Na "+", Cl esa "-" zaryadlanib qoladi ba ular orasida Kulon kuchlari paydo bo'lib, ion bog'lanish hosil bo'ladi (1.5, a – rasm).



1.5, a – rasm. Ion bog'lanish hosil bo'lishining sxematik tasviri.

2. Metall bog'lanish

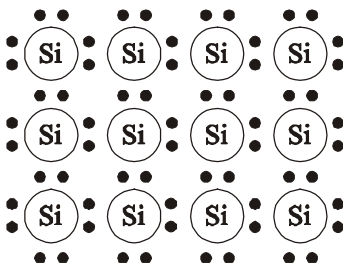
Metall atomlari tashqi elektron qavatlar (balent) elektronlarini umumlashtiradilar. Natijada bu atomlar bir-biriga bog'lanib turadilar. Bunday bog'lanish "metall bog'lanish" deyiladi (1.5, b – rasm).



1.5, b – rasm. Qattiq jism atomlarining valent elektronlari umumlashib valent zonani tashkil qilishining sxematik tasviri.

3. Kovalent bog'lanish

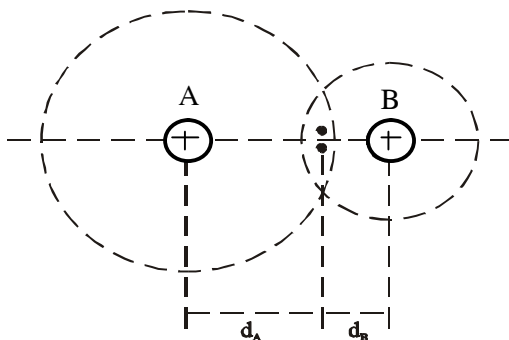
Kovalent bog'lanishda yonma-yon turgan atomlar o'z valent elektronlarini umumlashtiradilar. Masalan: Si ba Ge (1.6 – rasm).



1.6 – rasm. Kovalent bog'lanishning sxematik tasviri.

Ayrim hollarda 2 xil atomlardan tashkil topgan yarim o'tkazgichlarda ham kovalent bog'lanish ro'y berishi mumkin. Bu holda turli xil atomlarning tashqi elektron qavatdagi elektronlar soniga qarab, umumlashgan elektronlar qaysidir bir tur atom tomonga siljigan bo'lishi mumkin. Masalan: A ba B atomlarning bog'lanishini ko'raylik (1.7 – rasm). Bu erda umumlashgan elektronlar B atomga yaqinroq joylashgan. Shuning uchun ham A atom musbat (+), B atom manfiy (–) zaryadlangandek ko'rinadi. Bunday bog'lanishlarni qisman ion

bog'lanish ba qisman kovalent bog'lanish deb qarash mumkin. Umuman u "ion-kovalent bog'lanish" deb ataladi.



1.7 – *rasm.* Ion – kovalent bog'lanishning sxematik tasviri.

Si, Ge, GaAs, GaP kabi qattiq jism elektronikasi, jumladan, mikroelektronika sohasida eng ko'p ishlatiladigan ba istiqbolli yarim o'tkazgichlar kovalent ba ion-kovalent bog'lanishga ega. Ion-kovalent bog'lanishda ionlashish darajasi I ba kationdan anionga o'tgan zaryad (elektron) sonini Δq aniqlash alohida ahamiyatga ega. Bu kattaliklarni aniqlashda ikkilamchi yoki fotoelektron spektroskopiya usullaridan foydalanish mumkin. Bu usullar bilan biror atom ikkinchi atom bilan kimyoviy birikma hosil qilish jarayonida ularning valent zonaga yaqinroq joylashgan negiz elektron sathlarning energetik siljishi aniqlanadi. Masalan, kremniy bariy bilan birikib, BaSi ba BaSi_2 birikmalarni hosil qiladi. Bunda kremniyning L_{23} sathi 2 – 3 eV ga kichik energiyali tomonga siljiydi. Bu esa, kremniy bariydan qisman $\bar{e}$ olganligini bildiradi. Kremniy kislorod bilan birikma hosil qilganda kremniyning L_{23} sathi katta energiya tomonga siljiydi. Bu esa kremniy o'z elektronini kislorodga berayotganini ko'rsatadi. Aniqlangan kimyoviy siljish yordamida kationdan anionga o'tayotgan zaryad miqdori Δq quyidagi formuladan topiladi:

$$\Delta q = \frac{\Delta E}{e^2} \left(\frac{A(r)}{r} - \frac{\alpha}{R} \right) \quad (1.6)$$

α – Modelung doimiysi; ΔE – negiz sathning kimyoviy siljish kattaligi; r – kationning ion radiysi; R – kation va anion orasidagi masofa; $A(r)$ – geometrik faktor bo'lib, quyidagi formuladan topidi:

$$A(r) = \frac{1 - \Gamma^2}{1 - \Gamma^3}; \quad \Gamma \approx 0,5 \quad (1.7)$$

Ionlashish darajasi Poling formulasi bilan topiladi:

$$I = \frac{\chi_A - \chi_B}{|\chi_A - \chi_B|} \left(1 - e^{-\frac{1}{4}(\chi_A - \chi_B)^2} \right) \quad (1.8)$$

χ_A – asosning (matritsaning) elektron qabul qiluvchanligi (o'tkazuvchanlik zonasining kengligi).

χ_B – matritsa atomlarining boshqa atomlar bilan birikma hosil qilgandan keyingi elektron qabul qiluvchanligi.

Tajribalar ko'rsatadiki, BaSi hosil bo'lishida $\Delta q \approx 1$ ga $I = 25 - 30\%$ bo'lar ekan.

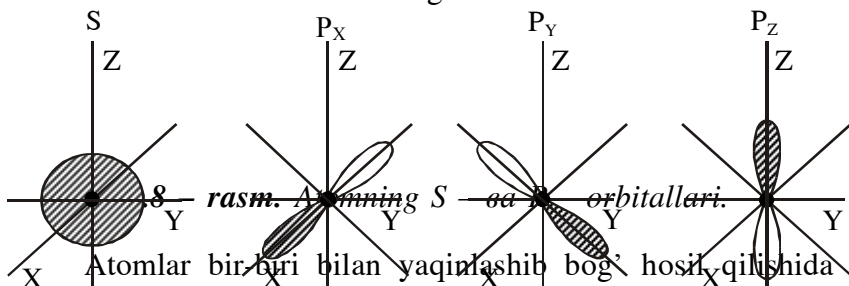
1.4. Bog'lanish turlarining kristall tuzilishga bog'liqligi

1. Kristallning tuzilishi shu kristalldagi atomlar qanday turdagi bog'lanishlardan tashkil topganligiga ham bog'liq bo'ladi. Masalan: ion bog'lanishli kristallda asosiy holda kubik panjara hosil bo'ladi. Ionli bog'lanishda shuni eslatib o'tish kerakki, masalan Na va Cl ionlari bir-birini tutib turish kattaligini aniqlaydigan energiya vujudga keladi. Bu panjarada har bir atomning atrofida yaqin joylashgan qo'shni atomlar mavjud bo'ladi. Bu energiya "Modelung energiyasi" deyiladi. Modelung energiyasi NaCl uchun eng katta bo'ladi. Uning eng xarakterli xususiyatlari quyidagilardan iborat: a) ionli bog'lanish kuchining yo'naltirilmaganligi; b) bir xil ismli zaryadlar bir-biridan imkon qadar yzoqda joylashadi, har xil ismli zaryadlar esa – imkon qadar bir-biriga yaqin joylashadi.

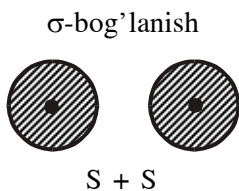
2. Metall bog'lanishlarda elektronlar umumlashgan bo'lgani uchun unda barcha atomlar taxminan bir xil sharoitga ega

bo'ladi. Bunday atomlarning joylashishini bir-biriga juda zich joylashtirilgan 12 ta qo'shniga ega bo'lgan sharlar deb qarash mumkin. Bunday tipdagi bog'lanishga juda zich joylashgan kubik yoki geksagonal panjaralar mos keladi.

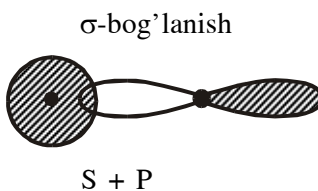
3. Kovalent bog'lanishli kristalllarda kristallning tuzilishi kovalent bog'lanishning tipiga bog'liq bo'ladi. Kovalent bog'lanish hosil qiladigan elektronlar bog'lanish ro'y berishidan oldin yoki bog'lanish paytida o'z orbitalarida ma'lum bir yo'nalish bo'yicha orientirlangan bo'ladi. Umuman, kovalent bog'lanishlarda asosan S yoki P elektron ishtirok etadi. Bu yerdagi kovalent bog'lanishlar 2 xil tipda bo'ladi: σ - va π - bog'lanishlar. S va P orbitalarning har xil o'qlar bo'ylab yo'nalishi 1.8 – rasmda tasvirlangan.



Atomlar bir-biri bilan yaqinlashib bog' hosil qilishida S bilan S , S va P , P va P lar bir-biri bilan qo'shilishib bog'lar hosil qilishi mumkin, bunday bog'lanish hosil bo'lishida yonma-yon turgan atomlar tashqi elektronlarining orbitalari bir-biriga mos tushishi kerak. Mana shunday bog'lanishlarga 1.9 – rasmda misollar keltirilgan. Bog'lanish hosil bo'lishida yonma-yon joylashgan atom elektronlarining orbitalari qatnashadi. Demak σ - bog'lanishlarda ma'lum bir yo'nalishdagi orbitalar bir-biriga qo'shilib ketishi mumkin ekan; bunda eng kuchli σ - bog'lanish $R + R$ bog'lanishlarga to'g'ri keladi. π - bog'lanishlar asosan R elektronlar orqali amalga oshiriladi; bunda orbitalar bir-biriga parallel joylashgan bo'ladi va elektron orbitalari bir-biriga qismangina qo'shilishi mumkin. π - bog'lanish σ - bog'lanishlarga qaraganda juda ham bo'sh bo'ladi.



16



1.9 – rasm. Bog'lanish hosil qilgan orbitallar juftligi.

Kovalent bog'lanish asosan qo'shni atomlar orasida ro'y beradi. Kovalent bog'lanish keyingi ikkinchi atom bilan ham ro'y berishi mumkin, ammo bu bog'lanish juda bo'sh bo'ladi. Birinchi qarashda *S*- ba *P*- tipdagi atom orbitallarining qaysi birlaridan kristallning bog'lovchi ba antibog'lovchi orbitallari vujudga kelishini aytish juda qiyin. Si, Ge kabi to'rtinchi guruh elementlaridan tashkil topgan ba A_3B_5 , A_2B_6 ikki komponentli yarim o'tkazgichlar uchun sp^3 – ko'rinishidagi gibridlashgan orbitallar eng qulay kombinatsiya ekanligi aniqlangan. Si ba Ge guruhi uchun to'rtta yaqin qo'shniga ega bo'lgan kristall tuzilish xarakterlidir. Bunda qo'shni atomlar tetraedrning uchlariga, qaralayotgan atom uning markaziga joylashadi. Bunda barcha sp^3 – orbitallar σ – tipdagi bog'lovchi ba antibog'lovchi orbitallarni tashkil qilishda qatnashadi. Har bir juft atomga 4 ta bog'lovchi ba 4 ta antibog'lovchi orbitallar to'g'ri keladi. Barcha 8 ta elektronlar 4 ta bog'lovchi orbitallarga joylashsa, antibog'lovchi

orbitallar bo'sh qoladi. Atomlarning bunday joylashish konfiguratsiyasi "olmos" tipidagi tuzilish deyiladi.

1.5. Kristall yuzalarini tayyorlash va o'rganishning eksperimental usullari. Qattiq jism yuzalarini tayyorlash

Yuzalar ma'lum bir usullar bilan kimyoviy toza va yuqori darajada silliqlangan holga keltirilmasa, bu yuzalardan olingan ma'lumotlar noto'g'ri talqin qilinishi mumkin. "Yuzani tayyorlash" deganda quyidagi 3 ta kattalikni imkoni boricha ideal holatga yaqinlashtirish tushuniladi.

1. Kimyoviy tarkibi

Bunda qattiq jism yuzasidagi har qanday chetki aralashmalarni yo'qotishga harakat qilinadi; lekin bizga ma'lumki, adsorbtsiya hisobiga yoki qattiq jism tarkibida ozgina miqdorda bo'lsa ham aralashmalarning mavjudligi tufayli chetki (begona) element atomlaridan tamoman qutilib bo'lmaydi. Agar chetki atomlarning kontsentratsiyasi qattiq jism xossalari ba xususiyatlariga ta'siri sezilmaydigan darajada kichik bo'lsa, bunday yuzalar kimyoviy jihatdan ideal holga yaqinroq deb qabul qilinadi. Umuman yuzada aktiv element atomlarning miqdori 0,1% dan katta bo'lmasligi maqsadga muvofiqdir.

2. Yuzaning morfologiyasi

Har qanday yuza o'ta yuqori darajada silliqlangan bo'lsa ham ma'lum bir notekisliklarga ega bo'ladi. Bu notekisliklar terrasalar, pog'onalar, vakant (bo'sh) joylar, chetki atomlar ba boshqalarning yuzada mavjudligi tufayli vujudga keladi. Yuzalarni silliqlash uchun turli xil usullar qo'llaniladi. Agar bu notekisliklarning kattaligi 5 – 6 Å dan katta bo'lmasa, bu yuza ideal holga yaqin qilib silliqlangan deb tushuniladi.

3. Kristall tuzilish

Relaksatsiya ba rekonstruktsiya hisobiga yuza qatlamlarining kristall tuzilishi hajmnikidan farq qiladi. Umuman olganda, yuzaning kristall panjarasini ba bu panjara parametrlarini hajmnik bilan bir xil qilish ideal toza jismlar uchun deyarli mumkin emas. **Yuzada kristall tuzilishi saqlansa va u yuzaning barcha maydonlarida bir xil bo'lsa, bunday yuzani kristall tuzilishi jihatidan idealga yaqin deb qarash mumkin.** Umuman, idealga yaqin yuzalar hosil qilish uchun dastlab quyidagi usullardan foydalaniladi:

a) kristallarni tabiiy o'stirish. Ammo bu usul juda ham qo'llaniladi.

b) kristallarni yuqori vakuum sharoitida kerakli yo'nalish bo'yicha sindirish.

b) kristallarni kerakli yo'nalish bo'ylab kesish. Bu usulda yuza juda qattiq deformatsiyaga uchraydi ba yuzaga har xil chetki atomlar kelib o'tirishi mumkin; shuning uchun ularni silliqlash ba tozalash uchun maxsys usullar ishlatiladi.

g) maxsys tayyorlangan asoslar yuzida epitaksial plyonkalar hosil qilish.

Epitaksial plyonkalar juda yuqori vakuum sharoitida ($R \leq 10^{-8} Pa$) katta aniqlik bilan hosil qilinadi. Bunday plyonkalarining kimyoviy tozaligi, kristall tuzilishi, yuzasining silliqligi yuqori darajada bo'lganligi uchun ular keyingi paytda mikroelektronikada keng qo'llanilmoqda.

Kristallarning yuzasiga ishlov berish (silliqlash va tozalash)

Vakuumdagi sindirib olingan yoki epitaksial usul bilan olingan kristallarning yuzasida silliqlash olib borilmaydi; ammo ularning tozaligini ba kristall tuzilishini yanada yaxshilash uchun o'ta yuqori vakuum sharoitida lazer nurlari bilan ishlov berish yoki qizdirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Yuzasi eng ko'p nyqsonlarga ega bo'lgan yuza bu kristallardan qirqib olingan shaybalarining yuzasidir. Bunday shaybalar avvaliga shlifovka, keyin esa polirovka qilinadi. **Shlifovka shishaning yuzida** maxsys, har xil diametrli ($d = 1-10 \text{ mkm}$) kukunlarga shaybani

ishqalashdan iborat jarayondir. **Polirovka esa maxsys pasta** (olmos pastasi, Goya pastalari) yordamida shlifovka qilingan shaybani tig'iz yumshoq materiallarga (zamsha) ishqalash orqali amalga oshiriladi. Ayrim hollarda maxsys eritmalardan tok o'tkazish orqali kristallning yuzasi elektropolirovka qilinadi. Bunday shaybalarni keyingi tozalash ularga yuqori vakuum ($P \leq 10^{-6}$ Pa) sharoitida harorat ta'sirida, lazer nurlari, elektronlar bilan bombardimon qilish ba boshqa usullar bilan ishlov berish orqali amalga oshiriladi. Ayrim hollarda yuzalarni qiyin tozalanadigan aralashmalardan tozalash uchun ynga inert gaz ionlari bilan ishlov berilib, keyin yuqori haroratgacha qizdiriladi. Ko'p hollarda ion bilan ishlov berish ba harorat ta'sirida qizdirish ketma-ket, o'nlab marta qaytarilishi mumkin.

II BOB. YUZALARNI TEKSHIRISH USULLARI

Yuzalarning qay darajada tayyorlanganligini ba ularga har xil ishlov berishda o'zgarishlarini o'rganish (aniqlash) uchun yuzalarni tekshirish ba tahlil qilishning juda ko'plab usullari qo'llaniladi. Qattiq jism yuzasini tekshirish usullarining umumiy soni yuzdan ortiqroq. Barcha usullarni shartli ravishda 3 turga ajratish mumkin: elementar ba kimyoviy tarkibni aniqlash usullari; morfologiya ba kristall tuzilishni aniqlash usullari ba elektron tuzilishni o'rganish usullari. Ko'p hollarda bitta usulning o'zi jism yuzasining biror xossasi haqida bevosita ma'lumot bersa, boshqa xossasi haqida bilvosita ma'lumot berishi mumkin. Masalan: ultrabinafsha nurlarning fotoelektron spektroskopiya

usuli yuzaning elektron tuzilishi haqida bevosita ma'lumot bersa, uning kristall tuzilishi haqida ma'lum darajada bilvosita ma'lumot bera oladi. Amalda quyidagi usullar eng ko'p qo'llaniladi:

1. Yuzalarning elementar va kimyoviy tarkibini aniqlash uchun: Oje-elektronlarning spektroskopiyasi (OES), ikkilamchi ionlarning mass-spektroskopiyasi (IIMS) usullari;

2. Yuzalarning morfologiyasi va kristall tuzilishini aniqlash uchun: rastrli elektron mikroskopiya (REM); kichik energiyali elektronlarning difraktsiyasi (Kichik EED); katta energiyali elektronlarning difraktsiyasi (Katta EED); atom ba ionlarning sohilishi (Rezerford sohilishi) usullari;

3. Yuzalarning elektron tuzilishini aniqlash uchun: ikkilamchi elektronlar spektroskopiyasi (IES); to'la toklar spektroskopiyasi (elastik qaytgan elektronlarning spektroskopiyasi); fotoelektronlarning (ultrabinafsha ba rentgen nurlar) spektroskopiyasi usullari.

2.1. Yuzalarni tekshirish usullari haqida umumiy tushunchalar

Elektronlar, ionlar yoki fotonlarning jism yuzasi bilan to'qnashishi har xil jarayonlarni vujudga keltiradi: yuzadan har xil zarralar uchib chiqishi, yuzadagi atomlarning ko'chishi (diffuziya, migratsiya), yangi birikmalar hosil bo'lishi, kristall tuzilishining o'zgarishi ba boshqalar ro'y berishi mumkin. Bularning hammasi material sirtining elektron tuzilishini, jumladan, energetik zonalarning parametrlarini keskin o'zgartirishi mumkin. Massasi katta bo'lganligi uchun eng sezilarli o'zgarishlar materiallarning ionlar bilan ta'sirlashuvida ro'y beradi. Bunday jarayonda ionlarning o'zi ham materialning yuza qatlamlarida o'rnashib qolishi mumkin. Bu hodisa **ionli legirlash** yoki **ionlar implantatsiyasi** deb ataladi. Ammo zarralar bilan to'qnashish jarayonida yuzalarda ro'y beradigan o'zgarishlarni o'rganish bu kursning dasturiga kirmaydi.

Yuzalarga tushayotgan zarralarning turidan qat'iy nazar yundan to'rt xil zarralar uchib chiqishi mumkin: elektronlar,

fotonlar, ionlar, neytral atomlar yoki molekularlar. Bunda uchib chiqayotgan zarralarning energiyasi, zaryadi, nisbiy miqdorlari jisimga tushayotgan zarraning turiga juda ham bog'liq bo'ladi.

Jism yuzasiga tushayotgan zarralarni birlamchi, undan chiqayotganlarini esa ikkilamchi deb belgilaymiz. Emissiya turlarini ham shunga mos ravishda atash mumkin. Masalan, **jismdan elektronlar ionlar yordamida urib chiqarilsa, ion-elektron emissiya, fotonlar yordamida chiqarilsa foto-elektron emissiya deb ataladi.** Emissiya turlari ba ularga asoslangan yuzalarni tekshirish usullari juda ko'p ba xilma-xildir.

2.2. Ikkilamchi elektronlar emissiyasiga asoslangan usullar

Uchib chiqayotgan elektronlarni ularning energiyasi, soni ba fazoviy tarqalishiga qarab tahlil qilish mumkin. Ayrim hollarda faqatgina bitta kattalik haqida olingan ma'lumot yetarli bo'ladi. Masalan, kichik energiyali elektronlarning difraktsiyasi (Kichik EED) usuli 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. **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** (HIE), ya'ni birlamchi elektronlar ta'sirida jismning o'zidan uchib chiqqan elektronlar. Energiyasi $0 \div 50$ eV oraliqda bo'lgan elektronlar HIE deb qabul qilinadi.

Yuzalarni tekshirishning ikkilamchi elektron emissiyasiga asoslangan usullari birlamchi elektronlarning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Birlamchi elektronlarning energiyasini shartli ravishda uchta diapazon (oraliq) ga bo'lish mumkin: kichik ($E_i \leq 50$ eV),

o'rta ($E_f = 50 - 5000 \text{ eV}$) va katta ($E_f \geq 5000 \text{ eV}$) energiyalar. E_f ning kichik energiyali diapazonida quyidagi usullarni qo'llash mumkin:

1. Kichik energiyali elektronlarning difraktsiyasi. Bu usul jism yuzasining birinchi va ikkinchi qatlamlarining kristall tuzilishi va panjara parametrlari to'g'risida ma'lumot beradi.

2. To'la toklar spektroskopiyasi (TTS). Bu usulda E_f ning qiymatini 0 dan 50 eV gacha o'zgartirib borilib unga mos kelgan ikkilamchi elektronlar tokining qiymati qayd qilib boriladi. E_f ning qiymati valent elektronlar taqsimotining maksimumiga mos kelganda ikkilamchi elektronlarning soni sezilarli oshadi. Bunday hodisa E_f 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.

3. Elastik qaytgan kichik energiyali elektronlar spektroskopiyasi. Bu usulda E_f 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_f ga bog'liqlik egri chizig'i emas, balki bu egri chiziqning birinchi yoki ikkinchi tartibli hosilalari qayd qilinadi.

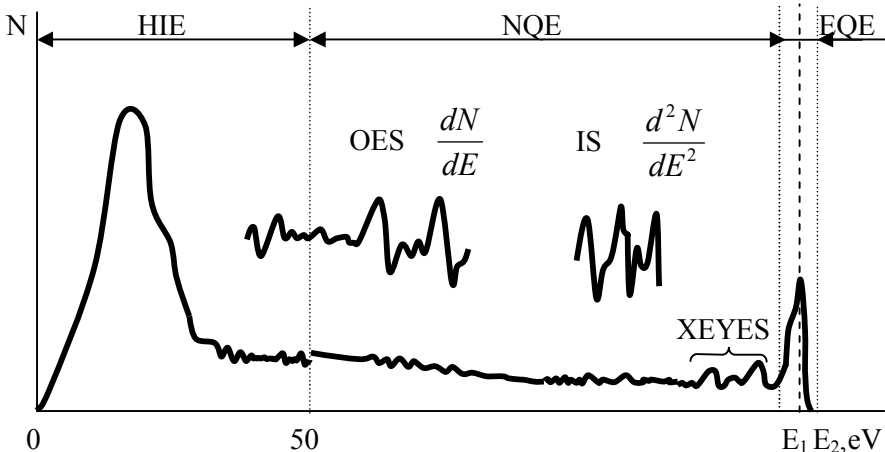
4. Xarakterli energiya yo'qotgan elektronlarning spektroskopiyasi (XEYES). Bu usul elastik qaytgan elektronlarning hosil qilgan cho'qqisiga yaqin joyda hosil bo'lgan cho'qqilarni tahlil qilishga asoslangan. Bunday energiya yo'qotishlar har bir element uchun xarakterli bo'lib uning (ya'ni yo'qotilgan 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_f o'zgarishi bilan o'zgarmaydi. Bu cho'qqilar plazmonlarning uyg'onishi va har xil zonalararo o'tishning ro'y berishi natijasida vujudga keladi.

5. Oje-elektron spektroskopiya. $N(E)$ spektrning $15 \div 20 \text{ eV}$ 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 jism sirtining elementar ba kimyoviy tarkibini, atomlarning kontsentratsiyasini aniqlashda ishlatiladi.

Ionizatsion spektroskopiya. Bunday spektroskopiya $N(E)$ spektrning kattaroq energiyali noelastik qaytgan elektronlar qismidagi cho'qqilarni tahlil qilishga asoslangan (2.1 – rasm). Ionizatsion spektroskopiya (IS) birlamchi elektronlarning jism atomining ichki sathlarida elektronlarni urib chiqarishiga asoslangan. IS jism sirtining tarkibi, elektron tuzilishi haqida ma'lumot beradi.

6. Katta energiyali elektronlar difraktsiyasi. E_i ning katta energiyali ($E_i > 5 \div 10 \text{ keV}$) diapazonida asosan katta energiyali elektronlar difraktsiyasi (Katta EED) degan usul ishlatiladi. Bu usul yuza osti qatlamlarining tuzilishi ba panjara parametrlari haqida ma'lumot beradi.



2.1 – rasm. Ikkilamchi elektronlarning energiya bo'yicha taqsimoti.

2.3. 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 erda ham qo'llash mumkin. Ammo ionlarni hosil qilish ba boshqarish elektronlarga nisbatan ancha murakkabdir ba 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 usullardan: ion – neytrallanish spektroskopiyasi (INS), ikkilamchi ionlar mass – spektroskopiyasi (IIMS), sochilgan ionlar spektroskopiyasi (SIS), ion zondli rentgen nurlari spektroskopiyasi (IRS). Bular ichida juda ahamiyatlilari ikkilamchi ionlarning mass-spektroskopiyasi ba sochilgan (qaytgan) ionlarning spektroskopiyasidir. Bu usullar jismning tarkibini ba atomlar kontsentratsiyasini 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'llanilmaydi.

Ionlar ta'sirida ajralib chiqqan elektronlarni tahlil qilishga asoslangan har xil usullarni joriy qilish mumkin. Bunda ikki xil emissiya ro'y berishi mumkin: potentsial ba 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 emissiyasiga asoslangan usullarda ko'pincha rentgen nurlari tahlil qilinadi. Bunda ion zondli rentgen nurlari spektroskopiyasi degan usul ahamiyatliroqdir. Ammo bu usul asosan yuzadan ancha pastroqda joylashgan qatlamlar to'g'risida ma'lumot beradi.

2.4. Yuzalarni tekshirishda fotonlar oqimidan foydalanish

Qo'llaniladigan zarralarning orasida fotonlar yuza xususiyatlariga eng kam ta'sir qiladigan zarradir. Bunga sabab, birinchidan, 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. Kerakli 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 sezgirliги yuqori bo'lgan zamonaviy detektorlardan foydalanib bunday signallarni katta aniqlik bilan qayd qilish mumkin.

Asosan foton-foton ba foton-elektron emissiyasiga asoslangan usullar ko'p qo'llaniladi. Yuzaga tushayotgan ba qaytayotgan fotonlar to'liq uzunliklariga qarab to'rtta guruhga ajratilishi mumkin: infraqizil (IK), ko'rinuvchi, ultrabinafsha (YB) ba rentgen nurlanishlar. Foton-foton emissiyasi usullarini alohida ko'rsatish mumkin:

1. IK-yutilish. Bunda IK fotonlar yuzaning monomolekulyar qatlamida tebranma holatni vujudga keltirishi mumkin. IK ning bu tebranishlarda yutilishini tahlil qilib yuza qatlamning molekulyar tuzilishi haqida ma'lumot olinadi.

2. Ko'zga ko'rinuvchi nurlar diapazonida ellipsometriya ba nurlarning kombinatsion sochilishi (NKS) degan usullar qo'llaniladi. Ellipsometriya usulida yuzaga yaxshi nazorat qilinadigan nurlar dastasi yuboriladi va uning qaytishida qytblanish fazasining o'zgarishi tahlil qilinadi. Bunda yuzaning holati to'g'risidagi ma'lumot sindirish ko'rsatkichini o'lchash orqali olinadi.

NKS usuli, yorug'lik material bilan ta'sirlanishi 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. YB-yutilish. Bu usul ko'proq yuza ostidagi chuqurroq qatlamlar haqida ma'lumot beradi.

4. Rentgen-foton spektroskopiyasi. Rentgen nurlar ta'sirida jismdagi atomlarning elektronlari bir satxdan ikkinchi sathga o'tadi. Bunda qoldiq energiya nurlanishlar (foton) hosil qilishi mumkin. Bu nurlanishlarning chastotalari ba intensivliklarini tahlil qilib yuza holati to'g'risida juda kerakli ma'lumotlar olinadi. Foton-elektron emissiyasiga asoslangan usullar juda ko'p. Ularning eng asosiylari:

1. *Ultrabinafsha nurlarning fotoelektron spektroskopiyasi (YBFES)*. Yuzalardan ultrabinafsha nurlar ta'sirida uchib chiqqan elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi tahlil qilinadi. YBFES valent zonasidagi elektronlarning spektri haqida to'g'ridan-to'g'ri ma'lumot beradi. Bundan tashqari zonalarning parametrlarini (Fermi sathining o'ri, zonalarning kengligi, egilishi ba boshqalar) aniqlashga imkon beradi.

2. *Rentgen fotoelektronlarning spektroskopiyasi (RFES)*. Bu usul valent zona ba undan pastda joylashgan elektron sathlar to'g'risida ma'lumot beradi.

3. *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 ba kimyoviy tarkibi, atomlarning kontsentratsiyalari aniqlanadi.

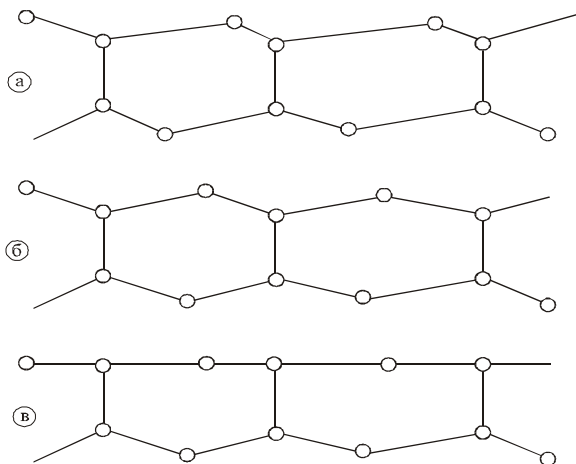
III BOB. YARIM O'TKAZGICHLAR YUZALARINING ATOM VA ELEKTRON TUZILISHI

Kristallarning yuza tuzilishi juda ko'p yillardan beri o'rganilib kelinmoqda. Ularning ichida keyingi 20 yilda o'tkazilgan eksperimentlar alohida ahamiyatga ega; chunki bu eksperimentlar asosan o'ta yuqori vakuum ($10^{-8} \div 10^{-10}$ Pa) sharoitida kristallarni sindirish hamda ularni harorat ba boshqa usullar bilan tozalash orqali amalga oshirilgan. Shunga qaramasdan hozirgi paytgacha ham eng ko'p tekshirilgan Si ba GaAs yuzalarining tuzilishi haqida juda ishonarli ma'lumotlar yetarli emas. Mikroelektronikada asosan Si ba GaAs kristallari ishlatilgan ba ishlatilib kelinmoqda. Bugungi kunda 1 sm^3 ga 1000 dan ortiq p-n, n-p, p-n-p o'tishlar joylashtirilgan katta (hajmiy) integral sxemalar ishlab turibdi. 1 sm^3 da milliondan ortiq o'tishlarni joylashtirish imkonini beradigan o'ta katta integral sxemalar yaratish ystida ish olib borilmoqda. Shuning uchun ham Si ba GaAs lar yuzasi har tomonlama o'rganilgan ba o'rganish davom ettirilmoqda.

3.1. Si monokristallarining yuzi

Si ning (100), (111), (110) kristallografik yo'nalishlarga mos kelgan yuzalari juda ko'p o'rganilgan. Ular asosan yuqori vakuumda sindirib o'rganilgan (kremniy (111) yo'nalishi bo'yicha oson sinadi). Sindirilgan zahoti azot haroratigacha ($\approx 10\text{K}$ gacha) sovitilgan kristallarning yuzasi 2×1 yacheykaga ega ekanligi aniqlangan. Bu kristallni 500K gacha qizdirilganda uning yuzasi (7×7) yacheykaga o'tadi. Agar qizdirishni davom ettirsak, taxminan 1170 K da (1×1) yacheyka hosil bo'lishi

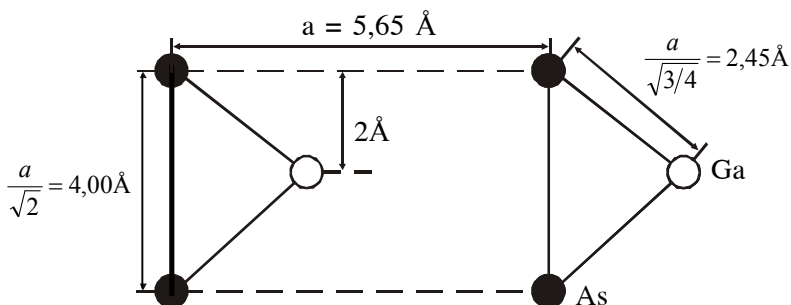
aniqlangan. Si yuzasiga ozgina miqdorda ($0,1$ monoqatlam) Te yoki Cl atomlarini o'tkazib yuza barqarorlashtirilsa ham 1×1 yacheyka hosil bo'lganligi aniqlangan. Shuning uchun ham yuqori haroratda Si yuzasida 1×1 yacheykaning hosil bo'lishi chetki atomlarning yuzaga chiqib o'ta barqarorlashishi tufayli ro'y beradi, deb faraz qilish mumkin. Umuman 1×1 yacheyka hosil bo'lganda ham yuzadagi atomlar relaksatsiyalangan (ma'lum bir tartibda siljigan) bo'ladi. Bu siljish kattaligi eng yaxshi sharoitda $0,12 - 0,16 \text{ \AA}$ ekanligi aniqlangan. 3.1 – rasmda Si (111) monokristallining ideal yuzasi, birinchi qatlami relaksatsiyalangan, birinchi va ikkinchi qatlamlari relaksatsiyalangan hollar uchun to'g'ri keladigan shakllar keltirilgan.



3.1 – rasm. Si (111) yuzasi (1×1) yacheykasining geometrik ko'rinishi: a – ideal sirt; b – birinchi qatlam relaksatsiyalangan; B – birinchi va ikkinchi qatlam relaksatsiyalangan.

3.2. GaAs monokristallarining yuzi

Arsenid galliyning kristall ba elektron tuzilishi kremniy ba germaniydan farqli ravishda ikki xil atomlardan: arsenid ba galliy atomlaridan tashkil topgan. Bu atomlar orasidagi bog'lanish faqatgina kovalent emas, qisman ionli hamdir. Yuqori vakuumda sindirilgan arsenid galliyning yuza qismida atomlar joylashishi juda ko'p hollarda hajmniki bilan bir xil bo'ladi, ya'ni 1×1 tuzilishni beradi. Arsenid galliyning (111) ba (100) yon sirlari yuzalari bir xil atomlardan: yoki Ga dan yoki As dan iborat bo'ladi. Demak, bu yo'nalishlar uchun yuzaning birinchi qatlamida galliy, ikkinchi qatlamida mishyak, Uchinchi qatlamida yana galliy joylashgan bo'ladi. Arsenid galliyning (110) yo'nalishiga mos keluvchi sirtida har bir qatlamning o'zida galliy ba mishyak atomlari galma-gal almashinib keladi. GaAs (100) kristalliga tepa tomondan qaraganda atomlarning joylashishi 3.2 – rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi.

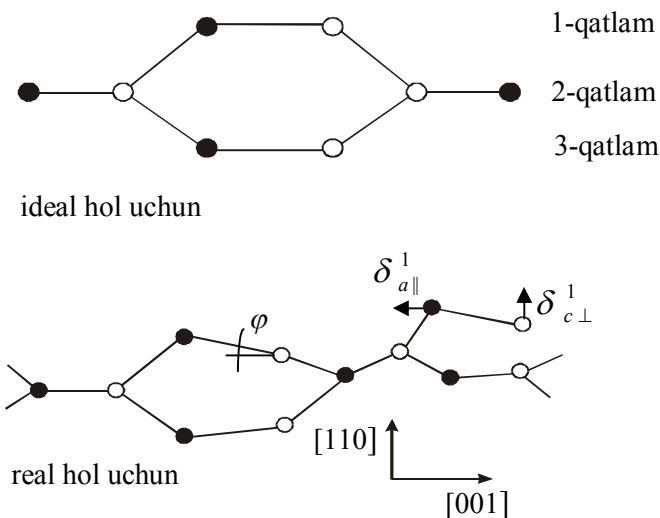


3.2 – *rasm. GaAs (110) yon sirtining tepasidan ko'rinishi.*

Biz bilamizki, elementar yacheyka hajmiy kristallar uchun parallelepiped ko'rinishga ega bo'lsa, sirt uchun to'rtburchak shaklga ega bo'ladi. Rasmda bu elementar yacheyka shtrix chiziq bilan ko'rsatilgan. Har bir yacheykada hammasi bo'lib ikkitadan atom joylashgan: bitta Ga ba bitta As.

GaAs (110) kristali yuza qismidagi uchta qatlamda atomlarning joylashishi ideal ba real hol uchun 3.3 – rasmda ko'rsatilgan. Real holda masalan Ga atomlari o'z qatoridan ma'lum bir masofa siljigan bo'ladi. Bu bog'lanishlar qisman ionli bo'lganligi uchun juda kuchli bo'ladi. Shuning uchun ham

ko'p hollarda kristall panjaraning kuchli rekonstruktsiyasi ro'y bermaydi. Ammo ozroq bo'lsa ham relaksatsiya ba rekonstruktsiyaning mavjudligi GaAs yuza qismi elektron tuzilishining "hajmiy" elektron tuzilishidan farq qilishiga olib keladi.



3.3–rasm. GaAs (110) yuzasidagi 3 ta qatlamda atomlar-ning joylashish sxemasi.

3.3. Yarim o'tkazgichlarning energetik zonalari haqida tushuncha

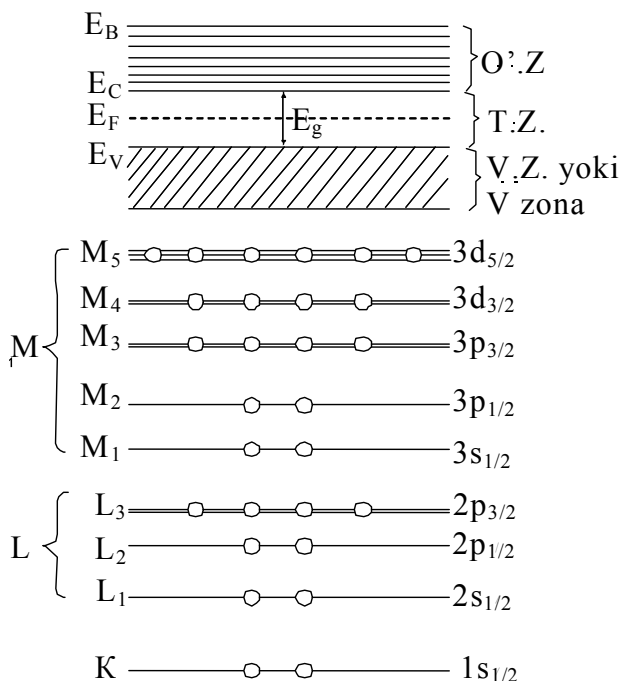
Juda yaxshi tozalangan va yuzadagi atomlarining joylashishi hajmdagi bilan deyarli bir xil deb faraz qilingan yarim o'tkazgichlar **ideal yarim o'tkazgichlar** deb hisoblanadi. Qattiq jismlarda sathlar atomlardagi kabi harflar yoki sonlar bilan

belgilanadi. Qattiq jismda elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi va sathlarning belgilanishi (germaniy misolida) 3.4-rasmda keltirilgan.

Endi bu rasimga izoh beramiz:

1. Yadroga eng yaqin joylashgan sath K harfi yoki 1 raqami bilan belgilanadi. Bu sathda 2 tagacha elektron joylashishi mumkin. Uni $1s_{1/2}$ deb belgilash mumkin.

2. K dan keyingi sathlar to'plamini L yoki 2 deb belgilanadi. Bu to'plamdagi 4 ta sathda 8 tagacha elektron joylashadi. Bu sathlar L_1 yoki ($2s_{1/2}$), L_2 ($2p_{1/2}$), L_3 ($2p_{3/2}$) deb belgilanadi. L_3 ya'ni ($2p_{3/2}$) sath juda yaqin joylashgan 2 ta sathdan iborat bo'lganligi uchun unda 4 tagacha elektron bo'ladi.



3.4-rasm. Qattiq jismda elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi: E_B –vakuum sathi, E_F –Fermi sathi, E_S –o'tkazuvchanlik zonasining ($O'.Z$) pastki chegarasi,

E_B – valent zonasining (V.Z) yuqori chegarasi, E_g – taqiqlangan zona kengligi.

3. Keyingi bir necha sathlar to'plami M yoki 3 deb belgilanadi. Bu to'plamda 9 ta sath bo'lib, ularda 18 tagacha elektronlar joylashishi mumkin. Bu sathlardagi belgilashlar: $M_1 - 3s_{1/2}$ (2 ta elektron), $M_2 - 3p_{1/2}$ (2 ta), $M_3 - 3p_{3/2}$ (4 ta), $M_4 - 3d_{3/2}$ (4 ta), $M_5 - 3d_{5/2}$ (6 ta).

4. M dan keyingi sathlar to'plami N yoki 4 deb belgilanadi. Bu to'plamda 32 tagacha elektron bo'lishi mumkin. Bizning misolimiz (3.4–rasm) shartli ravishda Ge ga to'g'ri kelganligi uchun bu sathlar to'plamida 4 ta elektron bo'ladi. Bu elektronlar umumlashib valent zonani tashkil qiladi.

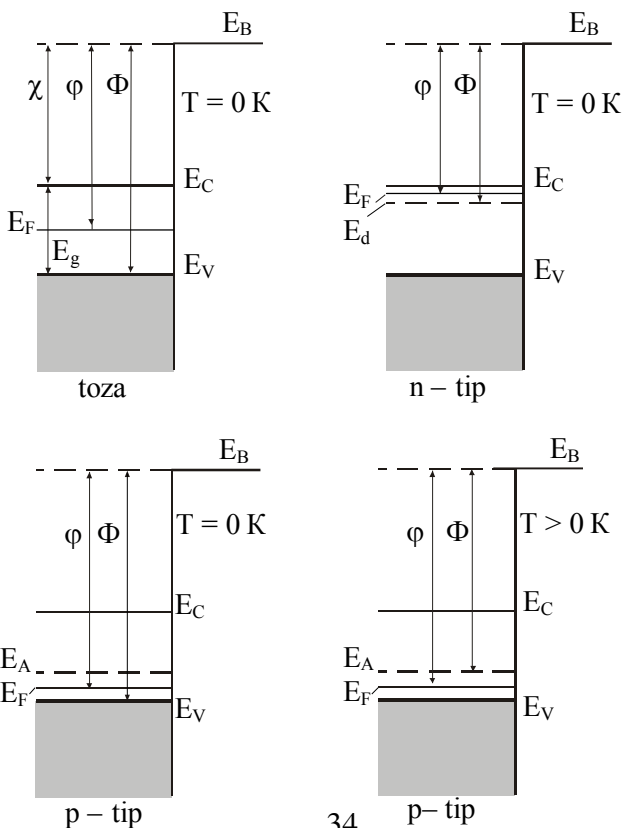
Sathlarni hisobga olganda Ge atomi uchun elektron konfiguratsiyalarni quyidagicha yozish mumkin: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$. s , p va d larning daraja ko'rsatkichlari shu sathlardagi elektronlarning soniga teng bo'ladi. Ge atomi uchun $4s^2 4p^2$ valent elektronlarga to'g'ri keladi. Qattiq jismda bu elektronlar valent zonani tashkil qilganligi uchun B deb belgilanadi. Boshqa belgilashlar atomdagidan farq qilmaydi.

Amalda toza yarim o'tkazgichlar deyarli ishlatilmaydi. Ularning tarkibiga ma'lum bir miqdorda chetki qo'shimchalar kiritiladi. Masalan, kremniyga bor (B), alyuminiy (Al), fosfor (P), ruh (Zn). Bu qo'shimchalarning miqdori 1,0% atrofida bo'lishi mumkin. Qo'shimchasi bor yarim o'tkazgichda, agar bu qo'shimchalar kristallning hamma joylarida bir tekis taqsimlangan va yuzadagi atomlar hajm bilan bir xil joylashgan bo'lsa, u aralashmali ideal yarim o'tkazgich deb ataladi.

Masalan, kremniyga (4 valentli) fosfor (5 valentli) kiritilsa va u kremniyning o'rnini olsa, uning 4 elektroni atrofdagi kremniylarning valent elektronlari bilan kovalent bog' hosil qiladi, bittasi esa bo'sh qoladi. U bu elektronni osongina elektr maydon ta'sirida yoki boshqa biror ta'sir natijasida o'tkazuvchanlik zonasiga bera oladi. Bunday hosil bo'lgan o'tkazuvchanlik "donorli yoki elektronli yoki n-tipi o'tkazuvchanlik" deb ataladi. Agar kremniyga bor kiritilgan bo'lsa (3 valentli) uning uchta elektroni atrofidagi uchta Si bilan

kovalent bog'lanish hosil qiladi, bitta kremniyga esa elektron etishmay qoladi, ya'ni u "musbat" ishoraga ega bo'lib qoladi va o'ziga valent zonadan elektron olishga harakat qiladi. Bunday o'tkazuvchanlik "aktseptorli o'tkazuvchanlik" yoki "teshikli (yoki p-tip) o'tkazuvchanlik" deb ataladi. 3.5–rasmda toza va aralashmali o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ideal yarim o'tkazgichlar energetik zonalarining tuzilishi ko'rsatilgan.

Rasmdagi belgilashlar quyidagicha: χ – yarim o'tkazgich o'tkazuvchanlik zonasining kengligi, E_g – taqiqlangan zonaning kengligi, ϕ – termoelektronlarning chiqish ishi, Φ – fotoelektronlarning chiqish ishi, E_D – donor sathlari, E_A – aktseptor sathlari.



3.5-rasm. Toza va aralashmali yarim o'tkazgichlar energetik zonalarining sxematik ko'rinishi.

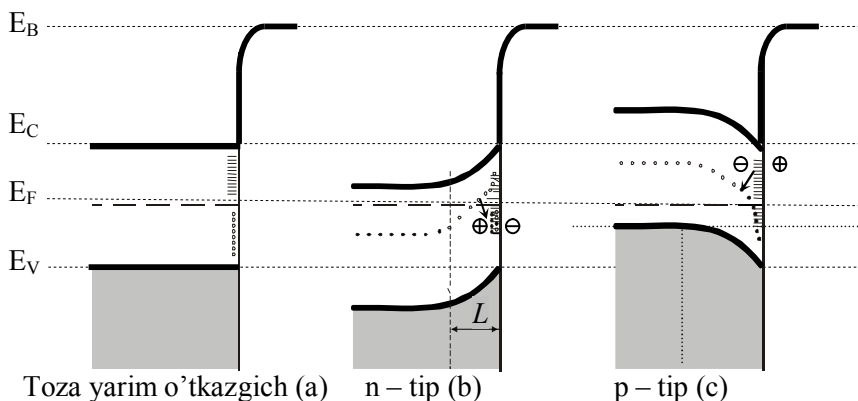
Rasmdan ko'rinadiki, termoelektron chiqish ishi φ har qanday yarim o'tkazgich uchun (toza yoki aralashmali) va har qanday haroratda ham Fermi sathidan hisoblanadi. Fotoelektron chiqish ishi Φ esa ko'p hollarda yarim o'tkazgichning turiga va haroratiga bog'liq bo'ladi. «Toza» yarim o'tkazgichda Φ ning qiymati valent zonaning eng yuqori sathidan vakuum sathigacha bo'lgan energiyaga teng bo'ladi ($T > 0\text{ K}$ da: $\Phi = E_v - E_B$). n-tip yarim o'tkazgichda Φ ning qiymati $T = 0\text{ K}$ da donor sathlaridan hisoblanadi: $\Phi = E_D - E_B$. p-tip yarim o'tkazgichda $T = 0\text{ K}$ uchun $\Phi = E_B - E_B$, $T > 0\text{ K}$ uchun esa $\Phi = E_A - E_B$. Bunga sabab p-tip yarim o'tkazgichda $T = 0\text{ K}$ da aktseptor sathlarda elektronlar mavjud bo'lmaydi. $T > 0\text{ K}$ da aktseptor sathlarga valent zonadan o'tgan elektronlar joylashishi mumkin. Ushbu rasmdagi holatlar etarli darajada yuqori legirlangan p- va n-tip yarim o'tkazgichlarga taalluqli. Umuman ko'p hollarda fotoemissiya valent elektronlarning emissiyasi bilan aniqlanadi va Φ aralashmali yarim o'tkazgichlar uchun ham valent zonaning yuqori sathi E_B dan hisoblanadi.

3.4. Yarim o'tkazgichlar yuzasining real holdagi energetik tuzilishi

Real holdagi yarim o'tkazgichning yuzasi juda murakkab kristall tuzilishiga ega, shuningdek murakkab elektron tuzilishga ega bo'ladi. Real kristallarning elektron tuzilishi haqida umumiy mulohazalarga suyanagan holda ayrim ma'lumotlarni berish mumkin bo'ladi.

Har qanday kristallning energetik holatini tasvirlashda "har qanday sharoitda (aralashma qo'shilsa, boshqa modda bilan birikma hosil qilsa va hokazo) ham ularning Fermi sathlari o'z joyini o'zgartirmaydi" degan tushunchaga asoslanish kerak. Bizga ma'lumki, eng tashqi, ya'ni yuzadagi atomlarning, masalan

kremniy atomlarining bittadan elektronlari bog'lanmagan holda bo'ladi, ular neytrallanishi uchun bu atomlar bittadan elektron qabul qilib olishlari kerak. Yuzadagi har bir atomning bittadan bo'sh elektroni bor bo'lgani uchun yuzaga tegishli yangi sathlar hosil bo'ladi. Bu sathlar Tamm sathlari deyiladi (yoki "adashgan atomlar sathlari" deyiladi). Toza yarim o'tkazgichda Tamm sathlarining yarmisi elektronlar bilan to'la, yarmisi bo'sh bo'ladi (3.6, a – rasm). n – tip yarim o'tkazgichda ortiqcha va oson harakat qila oladigan elektronlar mavjud bo'lganligi uchun bu elektronlar yuzadagi Tamm sathlarini to'ldira boshlaydi.



3.6–rasm. Toza va aralashmali yarim o'tkazgichning tuzilishi.

Natijada kristallning yuza qismi manfiy, yuza osti qismi esa musbat zaryadlanadi va donor elektronlarning yuzaga o'tishi qiyinlasha boradi; bu esa zona chegaralarining egilishiga olib keladi. Egilish qismining kengligi donor elektronlarining konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi. Donor elektronlarining

kontsentratsiyasi qancha katta bo'lsa, egilish kengligi L shuncha qisqa bo'ladi; chunki bu elektronlar qancha ko'p bo'lsa, shuncha tez va qisqa masofada Tammning bo'sh sathlarini to'ldirishga ulguradi (3.6, b – rasm). p – tip yarim o'tkazgichda ortiqcha teshiklar mavjud bo'lganligi uchun ular Tamm sathlaridagi elektronlarni o'ziga qabul qila boshlaydi. Yuza musbat yuza osti esa manfiy zaryadlanib qoladi (3.6, c – rasm).

Shunday qilib yuzada zonalar egilishining vujudga kelishi yarim o'tkazgich n – tip bo'lsa, elektronlarning chiqish ishini kattalashtiradi, p – tip bo'lsa – kamaytiradi. Rasmdan ko'rinadiki, yarim o'tkazgichlarda termoelektron chiqish ishi sirtidagi (yuzadagi) Fermi sathining holati bilan aniqlanadi va uning qiymati yarim o'tkazgichga qanday aralashma kiritilishidan qat'iy nazar (p – tipdan n – tipga o'tsa ham) deyarli o'zgarmaydi, hamda quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\varphi \cong \chi + \frac{1}{2} E_g \quad (3.1)$$

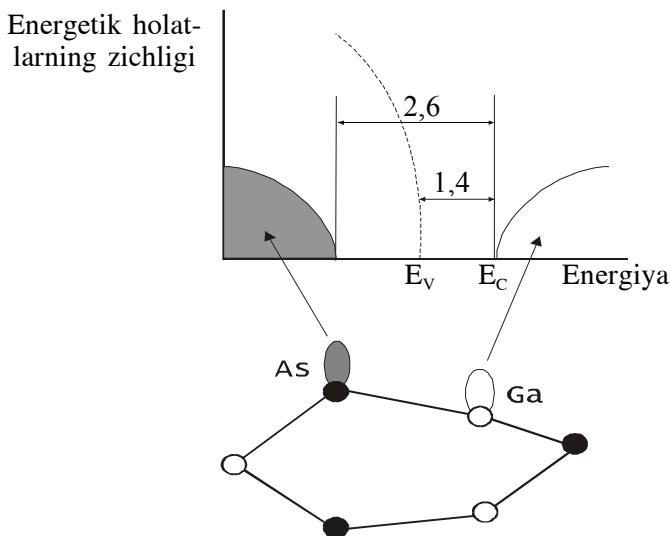
Bu yarim o'tkazgichlarning yuzasida Fermi sathi holati o'zgarmaydi, ammo xajmdagi Fermi sathi o'zgaradi. Bunday yarim o'tkazgichlar yuzasidagi Fermi sathining holati fiksatsiyalangan (muvofiqlashgan) yarim o'tkazgichlar deb ataladi: agar u elektronli (donorli, ya'ni n – tip) yarim o'tkazgich bo'lsa, uning yuzasi har doim «manfiy», agar kovakli (aktseptorli, ya'ni p – tip) bo'lsa – «musbat» zaryadlanadi.

Ko'rib o'tilgan yarim o'tkazgichlarda fotoelektronlarning chiqish ishi (valent zonasining eng yuqori sathidan hisoblanganda) aralashmaning turiga qarab sezilarli darajada o'zgaradi. Bu o'zgarishning eng maksimal qiymati yarim o'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligiga yaqin bo'ladi (masalan, Si uchun ~ 1 eV, GaAs uchun $\sim 1,4$ eV).

Agar yarim o'tkazgich yuzasida zonalar egilishi yo'q deb faraz qilinsa, Fermi sathi fiksatsiyalanmagan bo'ladi. Bunda yarim o'tkazgich n – tipdan p – tipga o'tganda (yoki aksi) fotoelektronlar chiqish ishi o'zgarmaydi va aksincha termoelektronlar chiqish ishi o'zgaradi. Ammo deyarli hamma

yarim o'tkazgichlarda (ayrim ion bog'lanishli birikmalardan tashqari) zonalar egilishi kuzatiladi.

Zonalar chegaralarining egilishi toza va aralashmali kremniyda yaqqol ko'rinadi. GaAs va Ga kabi ikki komponentli yarim o'tkazgichlarda yuzadagi atomlarning joylashishi hajmdagi joylashishga juda yaqin bo'ladi, ya'ni 1×1 tuzilish hosil bo'ladi (3.2 ga qarang). Ammo real holda hattoki qisman ion bog'lanishga ega bo'lgan kristallarda ham ma'lum bir miqdorda relaksatsiya yoki rekonstruktsiya ro'y beradi. Natijada yuzada bitta qatorda turishi kerak bo'lgan atomlar bir oz siljiydi (3.7–rasm). Tajribalarning ko'rsatishicha siljish natijasida hosil bo'lgan burchak – $\varphi \approx 25 \div 30^\circ$ atrofida bo'lishi mumkin. Natijada GaAs ning yuza qismidagi elektron tuzilish hajmnikidan sezilarli farq qiladi. Bu farq 3.7–rasmida aks ettirilgan.



3.7–rasm. GaAs (110) ning relaksatsiyalangan yuzasi elektron va fazoviy tuzilishining sxematik tasviri.

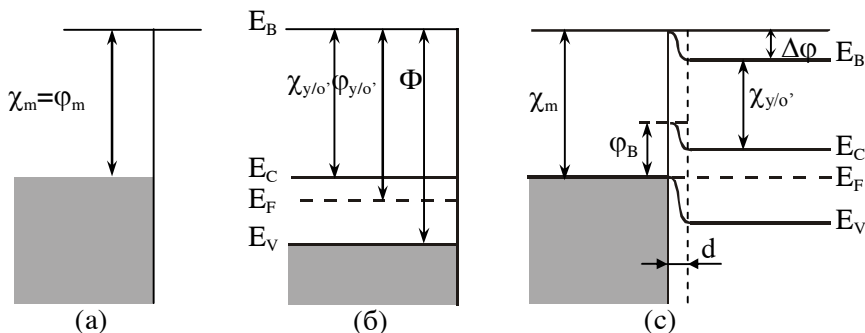
Ideal holda hajm uchun taqiqlangan zonaning (E_v va E_c orasidagi masofa) kengligi 1,4 eV ni tashkil etadi. Yuzadagi atomlarning hosil qiladigan energetik sathlarining tuzilishi hajmnikidan farq qiladi. O'tkazilgan tajribalar ko'rsatadiki, bu farq asosan Tamm sathlari (bog'larning uzilishi tufayli hosil bo'ladigan sathlar) tufayli vujudga keladi. Bunda mishyak atomlari Ga dan elektron qabul qilib olib, valent zonaning ichkarirog'iga joylashgan to'la sathlarni vujudga keltiradi. Ga atomlari esa elektronlarini bergani uchun o'tkazuvchanlik zonasida bo'sh sathlar hosil qiladi. Yuzaga tegishli bo'lgan to'la va bo'sh sathlar orasidagi masofa, ya'ni taqiqlangan zona kengligi 2,6 eV ni tashkil qiladi.

IV BOB. CHEGARAVIY QATLAMLAR

4.1. Metall va yarim o'tkazgich chegarasidagi qatlamning tuzilishi

Biz shu paytgacha yuza qatlamlarining tuzilishi bilan tanishib chiqdik. Yuza qatlamni ham "ikki muhit chegarasi" deb qarash mumkin. Ammo bu yerda, ya'ni ikkinchi muhitda atomlar umuman yo'q (vakuum sharoitida) yoki juda kam (gaz muhitida) bo'ladi. Biz endi qattiq jism bilan qattiq jism kontaktlarida ro'y beradigan hodisalar bilan qisqacha tanishib o'tamiz. Bunda asosan ideal hollarni va faqatgina elektron tuzilishnigina ko'rib o'tamiz. Jumladan, bir jism ikkinchi jism bilan kontakt hosil qilgan joydagi atomlarning diffuziyasini hisobga olmaymiz va bu joyda kristall panjara o'zgarmaydi deb faraz qilamiz.

Metall bilan yarim o'tkazgich o'zaro kontakt qilinganda ular orasida to'g'rilash xususiyatiga ega bo'lgan kontakt hosil bo'lishi 1874 yilda aniqlangan. 4.1-rasmda ideal hol uchun metall va yarim o'tkazgichning elektron tuzilishi, ular kontaktga kirmasdan oldingi va keyingi holati tasvirlangan.

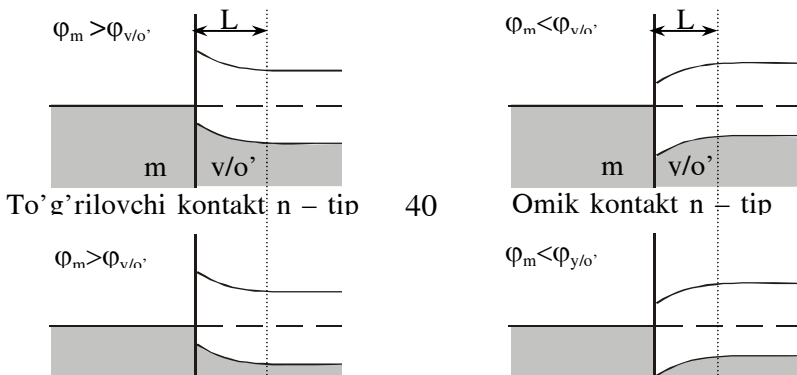


4.1-rasm. Energetik diagramma: a – metall; b – yarim o'tkazgich; c – metall-yarim o'tkazgich kontakti.

Umuman olganda, har qanday to'g'rilovchi kontaktda ikki jism chegarasida bar'yer (to'siq) hosil bo'ladi. Bu to'siq "Shottki bar'yeri" deyiladi. Uning kattaligi:

$$\varphi_B = \varphi_m - \chi_{y/o'} \quad (4.1)$$

φ_B – Shottki bar'yerining kattaligi, φ_m – metallning chiqish ishi, $\chi_{y/o'}$ – yarim o'tkazgichning elektron qabul qiluvchanligi, d – metall va yarim o'tkazgich kontakt qilingandan keyingi oraliq (kontakt kengligi), E_F – Fermi sathi. Metall bilan yarim o'tkazgich qo'shilganda omik yoki to'g'rilovchi kontakt hosil bo'lishi mumkin. Qanday kontakt hosil bo'lishi yarim o'tkazgichning turiga hamda uning chiqish ishiga bog'liq bo'ladi (4.2-rasm).



4.2–rasm. Har xil metall – yarim o'tkazgich kontaktlarining energetik diagrammasi.

Metall – yarim o'tkazgich kontaktida o'tish qatlami ichida termodinamik muvozanat Fermi sathlarining barobarlashishi tufayli o'rnatiladi. 4.1–rasmdagi holni (ya'ni $\chi_{y/o'} < \phi_m$) ko'rib o'tamiz. Metall – yarim o'tkazgich kontakti vujudga kelgach, elektronlar yarim o'tkazgichdan metallga o'ta boshlaydi. Natijada metallning sirti yarim o'tkazgichga nisbatan manfiy zaryadlana boshlaydi. Bu zaryadlanish d oraliqda elektronlarning o'tishini to'xtatadigan kuchlanish E ga teng bo'lgan elektr maydoni vujudga kulguncha davom etadi. Bunda metall – yarim o'tkazgich chegarasida hosil bo'ladigan kontakt potentsiallar farqi (KPF) $\Delta\phi$ quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta\phi = \chi_m - \chi_{y/o'} \quad (4.2)$$

Bunda d oraliqda elektr maydonning kuchlanishi

$$E = \frac{\Delta\phi}{ekd} \quad (4.3)$$

ga teng bo'ladi: e – elektron zaryadi, k – oraliq d ning dielektrik doimiysi.

Materialdan ketgan yoki unga kelgan ortiqcha elektronlarning qanday qalinlikdan (L) chiqqanligini quyidagi formuladan topamiz:

$$L = \frac{\chi_m - \chi_{y/o'}}{4\pi e^2 knd} \quad (4.4)$$

n – moddaning birlik hajmidagi elektronlar konsentratsiyasi.

Misol, $\chi_m - \chi_{y/o'} = 1 \text{ eV}$, $k = \omega$, $n_{y/o'} = 10^{14} \text{ sm}^{-3}$, $n_m = 10^{22} \text{ sm}^{-3}$ va $d \approx 10^{-7} \text{ sm}$ bo'lsa, $L_{y/o'} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ sm}$, $L_m \approx 5 \cdot 10^{-11} \text{ sm}$ bo'ladi. Demak metallda L qalinlik juda kichik bo'ladi, yarim o'tkazgichda esa u sezilarli kattalikka ega bo'ladi. Bunda yarim o'tkazgichdan metallga elektronlar chegaraga yaqin joydan eng ko'p o'tadi. Chiqib ketgan elektronlar soni kontakt sohasidan (chegaradan) uzoqlashgan sari kamayib borib L qalinlikda nolga teng bo'ladi. Demak, yarim o'tkazgichda kontakt yuzasida elektronlar soni eng kam va L qalinlikdan keyin esa kontaktga kirmagan holdagiga (n_0) teng bo'ladi.

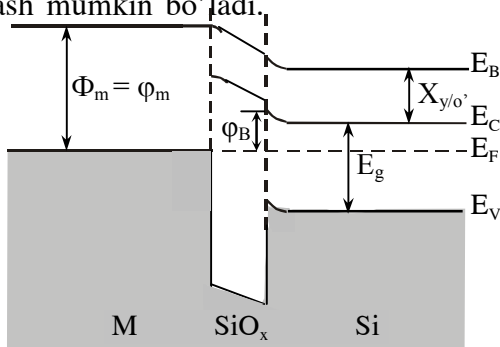
$$n(x) = n_0 e^{-\frac{\varphi(x)}{kT}} \quad (4.5)$$

n_0 – yarim o'tkazgichning ichki ($x \geq L$) qismidagi, ya'ni $\Delta\varphi = 0$ bo'lgan joyidagi elektronlar konsentratsiyasi.

Elektronlarning chiqib ketishi kontakt yaqinida yarim o'tkazgich zonalarining egilishiga olib keladi (4.2–rasm), bu egilish kengligi L ga teng bo'ladi.

Real holda har qanday yarim o'tkazgichning yuza qismida yupqa oksid qatlami bo'ladi. Masalan, kremniyning yuzida kremniy oksidi mavjud bo'ladi ($\text{SiO}_x \rightarrow \text{SiO}_2$). Shuning uchun ham real sistemalarda biz xohlaymizmi, yo'qmi, har doim yarim o'tkazgich va metall kontakti chegarasida oksid qatlami mavjud bo'ladi. Kontakt hosil qilishdan oldin yuqori vakuum sharoitida yarim o'tkazgich va metall juda yaxshilab tozalangan bo'lsa, oksid qatlami juda ham yupqa bo'ladi ($< 20 - 25 \text{ \AA}$).

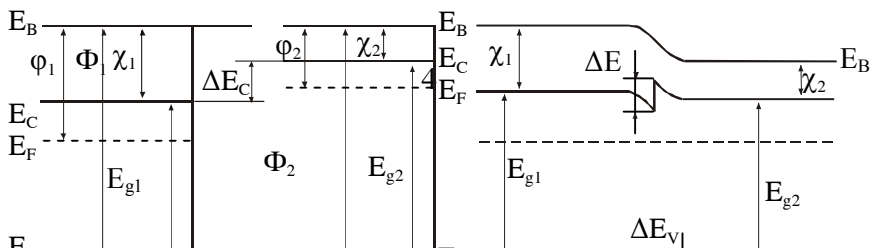
Oksid qatlamini hisobga olsak, kontakt yaqinidagi qatlamlarning zonaviy tuzilishini 4.3–rasmda keltirilgan shaklda tasvirlash mumkin bo'ladi.



4.3–rasm. *Yupqa oksid qatlamiga ega bo'lgan yarim o'tkazgich va metall orasidagi Shottki bar'yerining ko'rinishi.*

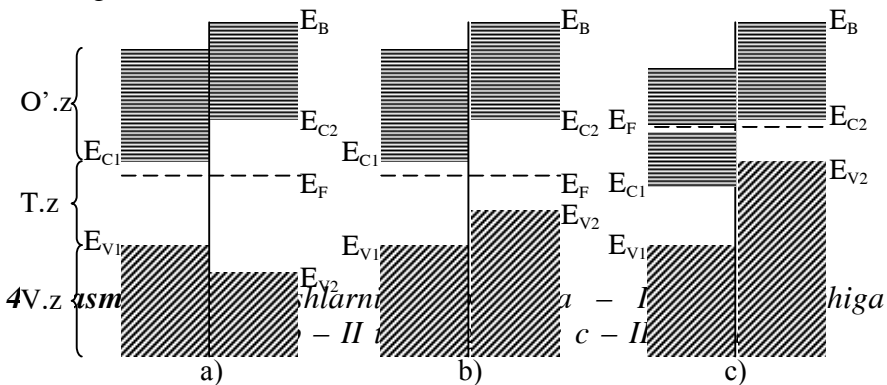
4.2. Yarim o'tkazgich va yarim o'tkazgich orasidagi chegaraviy qatlam

Hozirgi zamon texnologiyasida geteroo'tishlar tayyorlash eng dolzarb muammolardan biri bo'lib kelmoqda. Shuning uchun bitta yarim o'tkazgichning ustida ikkinchi yarim o'tkazgich qatlamlarini hosil qilish va chegaraviy qatlamni o'rganish keyingi vaqtda juda ham rivojlandi. Buning asosiy sababi hozirgi zamon mikroelektronika asboblarning (tranzistor, integral sxemalar, har xil nurlarning detektorlari, o'ta yuqori chastotali asboblari, axborotlarni eslab qoluvchi sistemalar) asosiy qismini bir-biri bilan kontaktga kiritilgan yarim o'tkazgichlar tashkil qiladi. Bitta tipdagi yarim o'tkazgich ustiga boshqa tipdagi yarim o'tkazgich o'tkazilsa va ularning tarkibi (energetik zonalarining tuzilishi, masalan, taqiqlangan zonaning kengligi) bir-biridan farq qilsa, geterostruktura hosil qilingan bo'ladi. Geteroo'tishga qisqacha quyidagicha ta'rif berish mumkin: **geteroo'tish – bu taqiqlangan zonalarining kengligi har xil bo'lgan ikkita yarim o'tkazgichlar kontaktidan hosil qilingan tizimdir.** Masalan, Ge ($E_g = 0,7$ eV) – GaAs (1,4 eV), Si (1,1 eV) – GaAs (1,4 eV). Bunday sistemalarni hosil qilish uchun har xil usullardan: purkash (adsorbtsiya), epitaksial o'tkazish, ionlar implantatsiyasi va boshqalardan foydalaniladi. Ikkita yarim o'tkazgich kontaktga kiritilganda yangi bir xususiyatli materialning paydo bo'lishi asosan kontakt qilingan sohada elektron tuzilishning keskin o'zgarishi sababli bo'ladi. 4.4–rasmda bir-biridan taqiqlangan zonasining kengligi bilan farq qiladigan ikkita n – tipdagi yarim o'tkazgichning kontaktdan oldingi va kontakt hosil qilingandan keyingi zonaviy tuzilishi tasvirlangan.

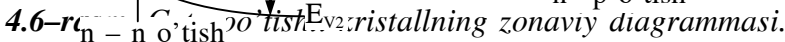


4.4–rasm. *n* – tipdagi yarim o'tkazgichlarning kontaktdan oldingi (a) va keyingi (b) zonaviy diagrammasi.

Umuman yarim o'tkazgichlar kontaktlari uchun ikki xil turdagi geterostrukturalar mavjud bo'ladi. Ularning ideal hol uchun (kontakt sohasida ro'y beradigan zonalar egilishini hisobga olmasdan hosil qilingan) energetik diagrammalari 4.5–rasmda keltirilgan.



Bu rasmda keltirilgan misollar ideal hol uchun mos keladi. Real holda zonalarining egilishlarini va energetik zonalarining boshqa xususiyatlarini hisobga olish kerak bo'ladi. Geteroo'tishlar bir xil tip o'tkazuvchanlikka (masalan *n*–*n*, *p*–*p*) ega bo'lsa uni izotipli geteroo'tish, har xil tip o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa anizotipli geteroo'tish deyiladi. 4.6–rasmda



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

15

MNE da hosil bo'layotgan plyonka berilgan asosning yuzasida o'sadi va bu yuza bilan plyonka atomlari aralashib ketmaydi. MNE da kerakli atomlar asosning yuzasiga kelib o'tiradi va yuzada qatlam-qatlam o'sib boraveradi.

Kremniyning yuzasiga kobalt kremniy (CoSi_2) plyonkasini MNE yo'li bilan hosil qilish jarayoni: yuqori vakuum sharoitida yuzasi juda yaxshi tozalangan kremniy monokristalining sirtiga kobalt (Co) va kremniy (Si) manbalaridan ularning atomlari kelib o'tira boshlaydi. Bunda har bir momentda bitta kobalt atomi kelib o'tirganda, ikkita kremniy atomi tushadi. Asosning harorati shunday tanlanadiki, yuzaga kelib o'tiradigan atomlar CoSi_2 birikmasini hosil qiladi va ularning plyonkasi epitaksial o'sa boshlaydi.

Boshqa usullarga nisbatan, avval qayd qilganimizdek, MNE usuli quyidagi asosiy afzalliklarga ega:

- 1) asos va atom (molekula) lar manbalarini yuqori darajada tozalash va eksperimentni juda yuqori vakuumda o'tkazish hisobiga epitaksiya haroratini juda pastga tushirish mumkin ($500 \div 600 \text{ K}$);
- 2) har xil turdagi (metall, yarim o'tkazgich, dielektrik) materiallarni bir-birining ustiga qatlam-qatlam kerakli qalinlikda o'tkazish mumkin;
- 3) bunday qatlamlarni (masalan: metall – dielektrik – yarim o'tkazgich, metall – oksid – yarim o'tkazgich, yarim o'tkazgich – dielektrik – yarim o'tkazgich) davriy ravishda bir xil ustma-ust o'tkazib borish mumkin, ya'ni hajmiy strukturalar olish mumkin;
- 4) bunday o'stirishda bitta turdagi qatlam ikkinchi turdagi qatlam bilan keskin chegara hosil qilishi mumkin;
- 5) plyonkalar hosil qilish jarayonida uni legirlash uchun legirlovchi moddaning tarkibini va kontsentratsiyasini o'zgartirish yo'li bilan xususiyati o'zgarib boruvchi tizimlarni hosil qilish mumkin.

Yuqorida ko'rsatilgan afzalliklar tufayli MNE plyonkalar mikroelektronikaning rivojlanishida asosiy rolni o'ynagan bo'lsa, nanoelektronikaning paydo bo'lishiga sabab bo'ldi.

Umuman yupqa epitaksial plyonkalar alohida o'ziga xos bo'lgan xususiyatlarga ega bo'ladi. Bunday xususiyatlarning paydo bo'lishida asosning ta'siri ham, plyonka o'sish davomida legirlanish darajasi ham, plyonkaga tushgan, undan o'tayotgan va chiqayotgan elektronlar va fotonlarning ta'sirlari ham massiv plyonkalardan ko'ra farq qilishlari asosiy rol ni o'ynaydi.

Shunday qilib, kristall panjara parametrlari bir xil bo'lgan MNE qatlam va asos chegarasida, nazariy jihatdan atomlarning o'zaro aralashib ketishi ro'y bermaydi. Ammo amaliyotda har qanday ideal sharoitda, masalan avtoepitaksiya (Si monokristali yuzasida Si qatlami, Ge da Ge va h.k.) usuli bilan hosil qilingan plyonkalarda ham asos va plyonka chegarasida atomlarning o'zaro aralashib ketishi ro'y beradi. Ya'ni ular chegarasida yangi qatlam hosil bo'ladi. Bunday qatlam chegaraviy qatlam deb ataladi. O'ta yuqori vakuum ($P \leq 10^{-8}$ Pa) sharoitida yuqori darajada silliqlangan va tozalangan asos yuzasida avtoepitaksial qatlam hosil qilinsa, chegaraviy qatlamning kengligi $10 \div 20 \text{ \AA}$ bo'ladi. Shunday sharoitda asosning yuzasida boshqa tarkibli plyonka o'stirilsa va ularning panjara doimiylari o'zaro juda kam farq qilsa ($< 0,7\%$), chegaraviy qatlamning qalinligini $20 \div 50 \text{ \AA}$ gacha kamaytirish mumkin. Agar plyonka va asosning panjara parametrlari katta farq qilsa ($3 \div 4\%$), chegaraviy qatlamning qalinligi $400 \div 500 \text{ \AA}$ gacha borishi mumkin.

Chegaraviy qatlamning kengligi yana plyonka va asosning sirtiy energiyalariga bog'liq bo'ladi. Ularning sirtiy energiyalari keskin farq qilishi plyonkaning orolchali bo'lib o'sishiga va natijada notekis qatlamlar hosil bo'lishiga olib keladi. Natijada chegaraviy qatlamning kengligi ham o'zgaruvchan bo'ladi.

Epitaksial plyonkalar hosil qilish qizdirish va keyin sovitish jarayonlari bilan uzviy bog'liqdir. Shuning uchun ham hosil qilinayotgan plyonkaning mukammalligi ham chegaraviy qatlamning kengligi va sifati hamda plyonka va asosning kristall panjaralarining kengayish harorat koeffitsientlari kattaliklariga bog'liq bo'ladi. Agar ularning harorat koeffitsientlari sezilarli farq qilsa, qizdirish yoki sovitish jarayonida plyonka va asos

orasida qo'shimcha kuchlanish vujudga keladi va u plyonkaning ham, chegaraviy qatlamning ham sifatiga salbiy ta'sir qiladi.

Shunday qilib, mukammal plyonkalar va chegaraviy qatlamlar hosil qilish uchun o'ta yuqori vakuum, asosning o'ta yuqori darajada silliqalanishi va tozalanishi, molekulyar va atomar manbalarini yuqori tozalash, o'tqazish rejimlarini juda aniq olib borish bilan bir qatorda quyidagilar ham katta rol o'ynar ekan:

1. Asos va plyonka panjara parametrlarining bir-biriga juda yaqin bo'lishi ($\leq 0,7\%$);
2. Asos va plyonka sirtiy solishtirma erkin energiyalarining (SSEE) mumkin qadar keskin farq qilmasligi;
3. Kristall panjara chiziqli kengayish harorat koeffitsientlari (ChKHK) ning o'zaro yaqin bo'lishi.

Hozirgi zamon elektronikasida Si, GaAs, CoSi₂, CaF₂ lar va ularning birikmalari YaDYa va MDYa tizimlar hosil qilishda keng qo'llaniladi. Quyidagi 4.1-jadvalda ularning ayrim kattaliklari keltirilgan.

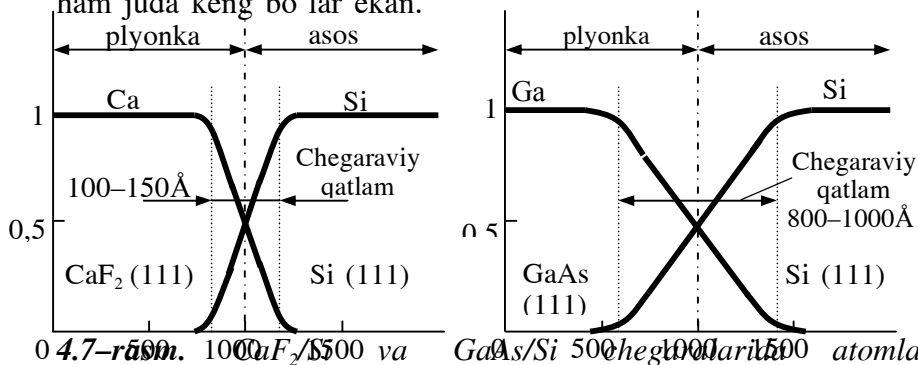
Jadvaldan ko'rinadiki, CoSi₂ – Si – CaF₂ tizimini hosil qilish har tomonlama nisbatan qulayliklarga ega. Chunki ularning panjaralari bir xil tipda va doimiysi katta farq qilmaydi. Ammo ChKHK farq qilganligi tufayli chegaraviy qatlam kengroq bo'ladi. Plyonka hosil qilishda yuza tomonga qaysi kristallografik tomon to'g'ri kelishi ham muhim rol o'ynaydi. Masalan, (100) yo'nalishda CaF₂ uchun SSEE juda katta. Shuning uchun bunday sirtlarda o'ta mukammal plyonkalar olish deyarli mumkin emas.

4.1-jadval

Si, GaAs, CoSi₂, CaF₂ larning fizikaviy va strukturaviy xususiyatlari

Material	Kristall tuzilish	Panjara doimiysi a , Å	CHKHK, Å°S	Eriş harorati T , °S	Fizikaviy xususiyati	SSEE, erg/sm ²		
						100	110	111
Si	Kubik (olmos)	5,431	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1415	yarim o'tk-ch	1710	1690	1360
CaF ₂	Kubik (flyuorit)	5,464	$19,1 \cdot 10^{-6}$	1360	diel-k	–	1082	540
CoSi ₂	Kubik (flyuorit)	5,365	$15,4 \cdot 10^{-6}$	1320	metall	4130	2960	2380
GaAs	Kubik (aldamchi ruh panjarasi)	5,653			yarim o'tk-ch			

GaAs ning panjara doimiysi keskin farq qilganligi uchun Si – GaAs, CaF₂ – GaAs, CoSi₂ – GaAs tizimlarida o'tish qatlamlari juda keng bo'ladi. 4.7–rasmda har xil “plyonka-asos” tizimlari uchun chegaraviy qatlam qalinliklari keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki, panjara doimiysi katta farq qilsa, chegaraviy qatlam ham juda keng bo'lar ekan.



4.7–rasm. CaF_2/Si va GaAs/Si chegaraviy qatlamlarining chuqurlik profili bo'yicha o'zgarishi.

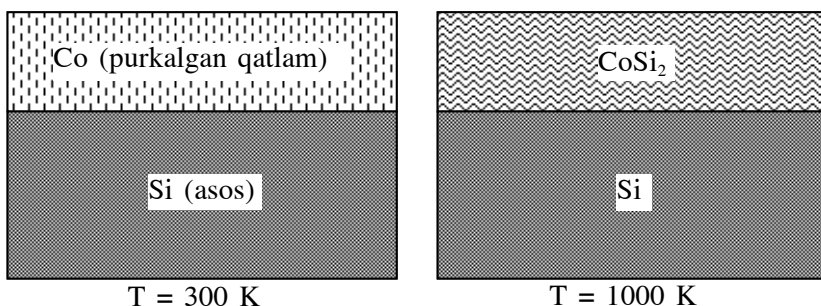
Panjara doimiylarining mos kelmasligi oʻstirilayotgan MNE plyonkaning kristall tuzilishida nuqsonlarni vujudga keltiradi. Bu ayniqsa yupqa plyonkalarda ($\leq 200 \div 300 \text{ \AA}$) yaqqol seziladi. 4.8–rasm^{da} Si yuzasida oʻstirilgan CaF_2 va GaAs plyonkalarining elektronogrammalari (katta energiyali difraktsiya tasvirlari) keltirilgan. Ikkala holda ham plyonka qalinligi $300 \text{ \AA}$.

4.8–rasm. Si (111) yuzasida hosil qilingan GaAs va CaF_2 plyonkalarining elektronogrammalari.

Rasmdan koʻrinadiki, GaAs/Si uchun tasvir CaF_2/Si ga nisbatan ancha chaplangan va ikkilamchi reflekslar mavjud. Buning asosiy sababi GaAs va Si panjara doimiylarining bir – biridan sezilarli farq qilishidir (4.1-jadvalga qarang).

4.4. Qattiq fazali epitaksiya (QFE) usuli bilan olingan plyonka va asos orasidagi chegaraviy qatlam

Qattiq fazali epitaksiya usulida yuzaga kelib oʻtirayotgan atomlar (molekulalar) asos atomlari bilan aralashib oʻzaro birikma hosil qilib yangi xususiyatli plyonkani vujudga keltiradi. 4.9–rasm^{da} CoSi_2 plyonkasini QFE usuli bilan hosil qilishning shakliy tasviri keltirilgan.



4.9–rasm. QFE usuli bilan CoSi_2 plyonkasining hosil boʻlish jarayoni.

Qattiq fazali epitaksiya ham molekulyar nurli epitaksiya (MNE) kabi o'ta yuqori vakuumda amalga oshiriladi. QFE ni uchta bosqichga ajratish mumkin:

- 1) asos yuqori darajada aralashmalardan tozalanadi va yuzasi silliqlanadi, kelib o'tiradigan atomlar manbai ham qizdirish yo'li bilan aralashmalardan tozalanadi;
- 2) xona haroratida (yoki past haroratda) asos yuzasiga kerakli atomlar o'tqaziladi;
- 3) asos sekin-asta kerakli haroratgacha qizdiriladi, bunda yuzadagi plyonka atomlari asos ichiga va asosdagi atomlar plyonka ichiga kirib boradi, ular orasida kimyoviy reaksiya ro'y beradi va birikmalar hosil bo'ladi.

Shunday qilib, QFE da avvaliga asosning yuziga kerakli atomlar (molekulalar) o'tqaziladi, so'ng asos kerakli darajada qizdirilishi yo'li bilan yupqa epitaksial qatlam olinadi.

QFE da hosil bo'ladigan plyonkaning tarkibi va qalinligi o'tqazilayotgan atomlarning konsentratsiyasiga, haroratiga va ma'lum paytgacha vaqtga bog'liq bo'ladi.

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'tqaziladi, yoki kremniyning yuzasiga kobalt o'tqazilib, uning yuzasiga kremniy o'tqaziladi, keyin kerakli darajada qizdiriladi.

QFE quyidagi kamchiliklarga ega:

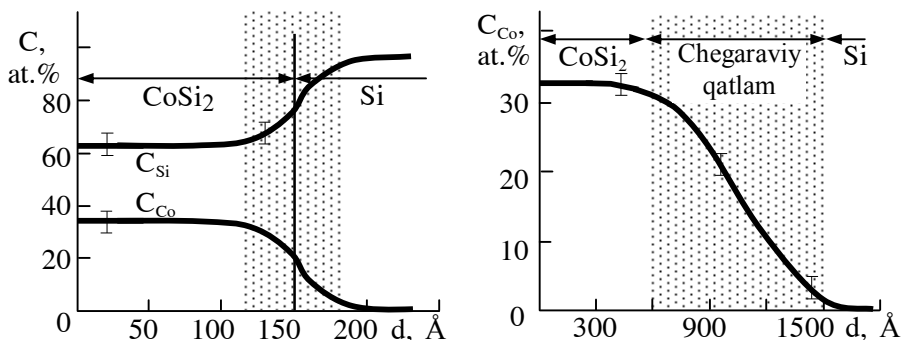
- a) plyonkada har xil kanallar hosil bo'lishi mumkin;
- b) ayrim qismlarda tarkib boshqacha bo'lishi mumkin;
- v) plyonka atomlarning aralashib ketishi hisobiga hosil bo'lgani uchun uning qalinligini to'g'ri nazorat qilish qiyin;
- g) uning asos bilan chegarasi bir tekis bo'lmaydi va hokazo.

Reaktiv epitaksiya deb asosning yuzasiga atomlarni kelib o'tirishi jarayonida asosni qizdirish yo'li bilan asos va kelib o'tirgan modda atomlaridan tashkil topgan plyonka hosil qilish jarayoniga aytiladi.

Shunday qilib, QFE da ham RE da ham plyonka asosning yuza va yuza osti qatlamlarida o'sadi. Bunday o'sish o'zaro diffuziya hodisasiga asoslangan. Bunda yuzaga o'tqazilgan

(tushayotgan) atomlarning konsentratsiyasiga bog'liq ravishda har xil qalinlikdagi plyonkalar olish mumkin. QFE va RE o'sishda asos va plyonka orasida qat'iy chegara bo'lmaydi. Masalan, CoSi_2 va Si orasida qat'iy chegara yo'q. CoSi_2 plyonkaning pastki chegarasidan boshlab So ning miqdori sekin-asta kamayib boradi, ya'ni chegaraviy qatlam vujudga keladi. Ko'pincha bu chegaraviy qatlamning kengligi 1000 – 1200 Å gacha boradi. Agar CoSi_2 epitaksial plyonka bo'lsa, chegaraviy qatlam ham epitaksial bo'ladi.

4.10–rasmda CoSi_2/Si (110) plyonka – asos tizimida So atomlari konsentratsiyasining (C_{Co}) profil bo'yicha taqsimlanishi ko'rsatilgan.



4.10–rasm. CoSi_2/Si chegarasida atomlarning profil bo'yicha taqsimlanishi.

Rasmdan ko'rinadiki, CoSi_2 plyonkasining qalinligi 100 – 150 Å dan kichik bo'lsa, o'tish qatlamining qalinligi ham 100 – 120 Å dan katta bo'lmaydi, nisbatan qalin >100 – 150 Å plyonkalar olishda esa chegaraviy qatlam qalinligi keskin oshib ketadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, plyonka qalinligi 800 – 1000 Å dan keyin qancha kattalashtirilsa ham chegaraviy qatlam qalinligi juda kam o'zgaradi.

V BOB. YUPQA PLENKALAR HOSIL QILISH USULLARI

Yarim o'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 xodisalarga asoslangan. Yupqa plyonkalar o'tqazishning 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' manbaining temperaturasidan pastroq bo'ladi. Katodli changlantirib o'tqazishda xona tempreaturasida bo'lgan o'tqaziladigan modda gaz razryadi plazmasidagi kichik energiyali ionlar bilan bombardimon qilinadi. Buning natijasida changlangan atomlar taglikka etib boradi va uning sirtida kondensatsiyalanadi. Bu ikkala usuldan o'tkazuvchi, 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' manbai temperaturasidan kichik bo'lgan taglik sirtiga kondensatsilanishiga 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 r_s to'yingan bug'ning bosimi deyiladi. Bug'lanishning shartli temperaturasi deb $r_s = 1,33$ Pa ga teng bo'ladigan moddaning temperaturasi aytiladi .

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

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

bu erda ρ_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'lishlidir.

Gazlarning kinetik nazariyasiga binoan

$$\lambda_{yp} = \kappa T / (\pi \sqrt{2} \delta^2 p), \quad (5.2)$$

bu erda $\lambda_{o'r}$ – gaz molekulasini erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi, sm;

$k = 1,37 \cdot 10^{-17} \text{ Pa} \cdot \text{sm}^3/\text{K}$ – Boltsman doimiysi; T – gazning absolyut temperaturasi, K; δ - gaz zarrachasining effektiv diametri, sm; r – gazning bosimi, Pa.

(5.2) ifodaga binoan $r \approx 10^{-3} \text{ Pa}$ dan boshlab gaz zarrachalarining erkin yugurish yo'li uzunligi bug' manbaidan 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

molekulalari 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 etib borgan bug' atomlari a) shu zahoti undan qaytishi (elastik to'qnashish), b) adsorbsiyalanadi va qisqa vaqtdan so'ng taglikdan qaytib chiqishi (qayta bug'lanish), v) 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 sirtidan qaytib ketadi. Agar taglik qizdirilgan bo'lsa, uning atomlarining energiyasi katta va bug'larning kondensatsiyalanish ehtimoli kichik bo'ladi.

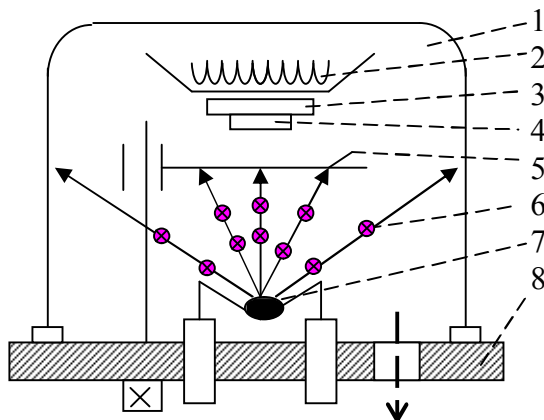
Bug' oqimining berilgan zichligida taglik sirtidan hamma atomlar qaytib ketadigan va yupqa qatlam hosil bo'lmaydigan temperatura kondensatsiyaning kritik temperaturasi deyiladi.

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'prikchalar 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

VUP-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 haroratgacha, bug'latgichlar esa bug'lanish haroratigacha qizdiriladi. Kameradan havoni so'rish chegaraviy vakuum darajasigacha amalga oshiriladi.



5.1 – rasm. Termovakuum changlatish jarayonining sxemasi: 1–vakuum kamerasi, 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.

Bundan keyin berkitgich ochiladi va chang-lantirish boshlanadi. Belgilangan qalinlikdagi plenka hosil qilinganidan keyin berkitgichni yopish yo'li bilan changlatish jarayoni to'xtatiladi. Tagliklar sovitiladi va keyin sekin - asta kameraga havo kiritiladi, so'ng tagliklar echib olinadi.

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

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

Usulning kamchiliklari: qotishmalar va murakkab moddalarni bug'lantirib o'tqazishda komponentlarning protsentli nisbatlarining o'zagirishi, katta sirtli tagliklarda bir xil qalinlikdagi plenkalarni hosil qilish qiyinligi, qiyin eruvchan materiallarning plenkalarni hosil qilish qiyinligi, bug'lantirgichlarning yuqori inertsionligi, plenkalarni 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.

5.2. Himoyalashda qo'llaniladigan dielektrikli yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi

Himoyalovchi yupqa qatlamlarga qo'yiladigan talablar. Yarim o'tkazgichli asboblarni va integral mikrosxemalarni planar texnologiya bo'yicha tayyorlashda himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlar asosiy rol o'ynaydi. Ular donor va aktseptor kirishmalarni lokal diffuziya qilish, mikrosxemalarning bir-biridan izolyatsiyalangan 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) kirishmalarining 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 xosil qilinadi.

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

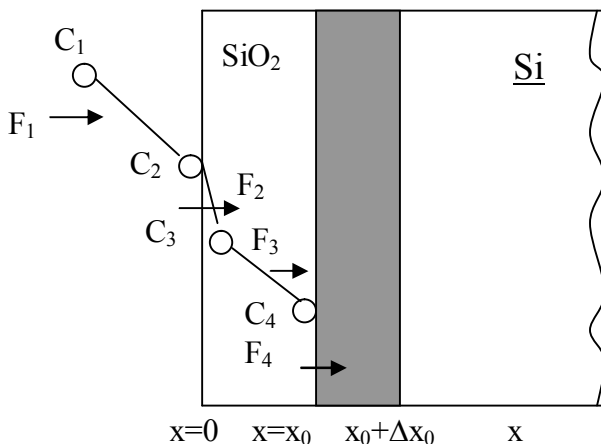
Kremniyni termik oksidlash kinetikasi. Yarim o'tkazgichli asboblarda va IMSlarni planar texnologiya bo'yicha tayyorlashda kremniyni termik oksidlash usuli eng ko'p tarqalgan bo'lib, bunda himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlam SiO_2 boshlang'ich kremniyli tagliklarni oksidlovchi muhitda qizdirish bilan hosil qilinadi. Bu usul yuqori sifatli niqoblovchi, bir xil qalinlik va strukturali, yuqori himoyalovchi va dielektrikli hossalarga 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 kremniyni 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.

"Oksidlovchining oqimi" deganda taglikning birlik sirtidan birlik vaqtda kesib o'tadigan oksidlovchining molekularlari miqdori tushuniladi. To'rtta oqimning xar bittasi oksidlovchi muxit - kremniy tagligi tizimining bitta soxasiga tegishlidir.

Rasmdan shu narsa ko'rinib turibdiki, F_1 oqim kremniy taglik sirtiga oksidlovchining gaz fazasidagi massa uzatilishiga mos



5.2 – rasm. Kremniyni termik oksidlash jarayonining modeli.

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 erda h - oksidlovchini gaz fazasidan massa uzatish jarayoni tezligining konstantasi; S_1 – gaz fazasi hajmidagi oksidlovchining muvozanatli konsentratsiyasi; S_2 – oksidlovchining oksid sirtidagi konsentratsiyasi.

Oksid sirtiga etib borgan oksidlovchi shu sirtga adsorbsiyalanadi va unda erib ketadi. Bunda gaz fazadagi oksidlovchining kontsentratsiyasi bilan qattiq fazada erigan oksidlovchining kontsenratsiyalari orasida taqsimlash koeffitsienti bilan aniqlanadigan nisbat amalga oshadi. Oksidda oksidlovchining erish jarayonini xarakatlantiradigan kuch gaz – oksid sirti tizimidagi oksidlovchining kontsentratsiya gradienti hisoblanadi. SHu sababli oksidlovchining okimi

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

bu erda δ - oksid qatlamidagi oksidlovchining erish jarayoni tezligining konstantasi; S_3 – gaz faza chegarasidagi oksidlovchining kontsentratsiyasi.

Oksid qatlamda erigan oksidlovchi gaz faza – oksid bo'linish sirtidan oksid – kremniy taglik bo'linish sirtiga diffuziyalanadi. Bu xolatda oksidlovchining oqimi F_3 oksidlanish chegarasidagi kontsentratsiyalar 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 erda D – oksidlovchining oksiddagi diffuziya koeffitsienti; C_4 – oksid - kremniy taglik chegarasidagi oksidlovchining kontsentratsiyasi; 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 xosil bo'ladi.

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

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

bu erda R – oksidlash reaksiyasi tezligining konstantasi.

Turg'un rejimda (muvozanatla) hamma oqimlar bir – biriga teng, ya'ni $F_1=F_2=F_3=F_4=F$ bo'lgani uchun oqimlar tenglamalarini birgalikda echib 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 erda $0 < a < 1$, R_{ef} – oksidlash jarayoni tezligining effektiv konstantasi.

Agar V birlik xajmdagi oksidni oksidlash reaksiyasi natijasida hosil bo'lishi uchun oksidlovchining N zarrachasi ketgan bo'lsa, unda oksid qatlaminin 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:

$$\int (A + 2x_0)dx_0 = \int Bdt \quad \text{va} \quad x_0^2 + Ax_0 - Bt = 0 \quad \text{ni}$$

xosil qilamiz.

Bu kvadrat tenglamani echib, oksid qalinligining vaqt bo'yicha funktsiyasining 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 xosil 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. V konstanta oksidlash tezligi konstantasi sifatida qaraladi.

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

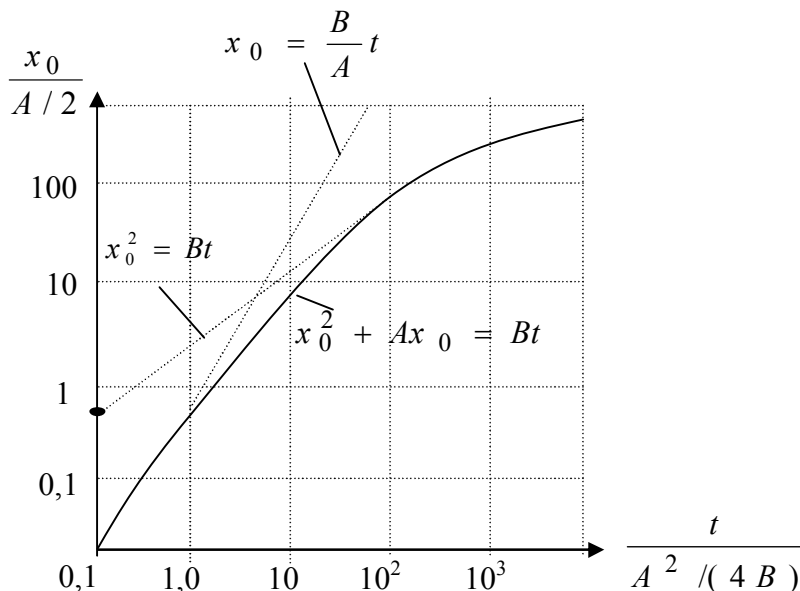
$$\frac{x_0}{A/2} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{t}{A^2/(4B)} \right);$$

Bundan

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

5.3 – rasmda oksid qalinligining termik oksidlash jarayoni vaqtiga umumiy va uning 2 ta chegaraviy xoli uchun bog'lanishlari ko'rsatilgan.

Kremniyni suv bug'ida termik oksidlash. Kremniyda ximoyalovchi dielektrik yupqa qatlamini hosil qilish uchun yuqori tozalikdagi suv bug'ida (10-20 MOM·sm atrofida) termik oksidlashdan foydalaniladi. Agar bug' miqdori reaksiya tezligini cheklamasa, kremniyning suv bug'i bilan yuqori temperaturali reaksiyasidan foydalaniladi.



5.3 – rasm. *SiO₂ yupqa qatlami qalinligining kremniyni oksidlash jarayoni o'tkazilayotgan vaqtga bog'lanishi.*

Kremniy plastinkasi sirtida suv bug'ining kerakli partsial bosimini ushlab turish uchun suv isitiladi.

Oksid yupqa qatlamining strukturaviy shakllanishi oksid qatlami orqali kremniy sirtiga suvning diffuziyali uzatilishi xisobiga ro'y beradi. Oksid yupqa qatlamining strukturaviy shakllanishiga oksidlash reaksiyasi jarayonida hosil bo'ladigan va plastinkaning ichkarisiga diffuziyalanadigan vodorod ta'sir ko'rsatadi. Vodorodning 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 – oksid 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

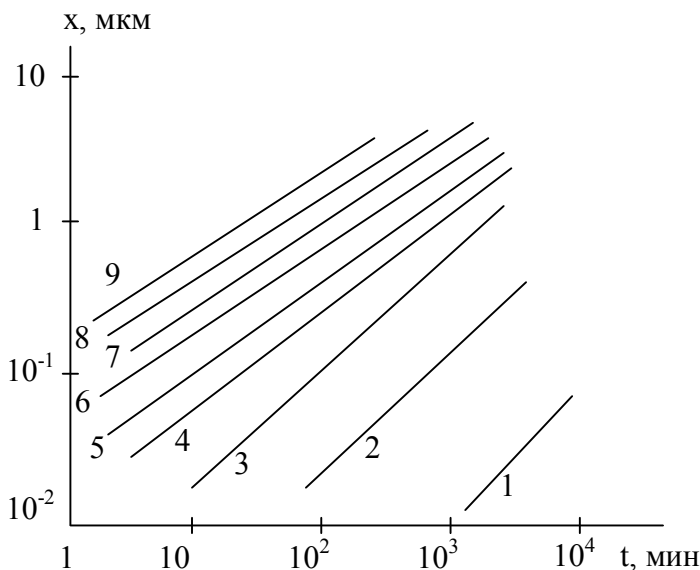
bo'yicha hosil bo'ladi va $x^2=Bt$ ifoda bilan tasvirlanadi. Jarayon 1100°C dan past temperaturada o'tkazilganda oksid qatlaminig hosil bo'lish qonuni parabolik bo'lmasdan

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

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 ($2,5 \cdot 10^5 - 4,0 \cdot 10^7$ Pa) suv bug'ida $500 - 800^\circ\text{C}$ temperaturalarda kuzatiladi.

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



5.4 – rasm. Suv bug'I atmosferasida o'stirilgan SiO_2 yupqa qatlaminig 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 .

Oksidli yupqa qatlam-ning o'sish tezligiga taglik-ning orientatsiyasi, elektr o'tkazuvchanlik turi va bosh-lang'ich taglikdagi kirishma-lar kontsentratsiyasi katta ta'sir qiladi.

Planar texnologiyada yarim o'tkazgichli asboblari va integral mikrosxemalar tayyorlashda himoyalovchi dielektrik yupqa qatlamlar muhim ahamiyatga ega. Ular donor va akseptor kirishmalarini lokal diffuziya o'tkazish, mikrosxemalarning bir - biridan izolyatsiyalangan 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 kvarts, kremniy monooksidi va dioksidi, kremniy nitridi, alyuminiy 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. Ikkinchi 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.

Yarim o'tkazgichli taglikka changlatish yo'li bilan hosil qilinadigan oksidlar Si-SiO-SiO₂ kompleksi ko'rinishida bo'ladi. Bir jinsli himoyalovchi oksid qatlamini hosil qilish uchun kremniy monooksidi kukunidan bug'lantirish manbai sifatida foydalanilganda eng e'tiborli narsalardan biri kremniy monooksidi kukuni joylashtiriladigan mahsus likobcha (tigel) ning konstruksiyasi hisoblanadi. Bug'lanish tezligi likobchani geometrik shakliga, monooksid kukunining haroratiga, bosimiga, shuningdek bir jinsliligiga bog'liq bo'ladi. Ma'lum bir turdagi manbalardan foydalanilganda bug'lanish tezligi likobchani qizdiradigan elektr quvvatini o'zgartirish bilan boshqariladi. Bu usulda boshlang'ich 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 partsial bosimida amalga oshirilsa, bu holda yupqa qatlam SiO_2 kabi xususiyatlarga ega bo'ladi. O'tkazish tezligining katta qiymatlarida yoki kislorodning nisbatan kichikroq partsial bosimlarida o'tqazilgan yupqa qatlamning optik xarakteristikalarini SiO_2 plyonkalariga xos xususiyatlarga o'xshash bo'ladi.

SiO_2 plyonkasi xususiyatlariga ega bo'lgan himoyalovchi yupqa qatlamlarni odatda manbaning 1300-1400 °C haroratida 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 harorati va partsial bosimi kremniy sirtiga kislorod adsorbsiyasi va SiO_2 ning bug'lanish tezliklarini aniqlaydi. Kremniy 700 – 1000 °C haroratgacha qizdiriladi. Kislorodning partsial 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 yarim o'tkazgichli plastinada 0,1 mkm qalinlikdagi yupqa qatlamni 900°S haroratda va $1,3 \cdot 10^{-4}$ Pa bosimda 30 daqiqa ichida olish mumkin. Plastinalar joylashtirilgan taglik qizdirilganda oksid bug'larining adsorbsiyasi va ularning yarim o'tkazgichli plastinalarga adgeziyaisi yaxshilanadi. O'tqazilgan oksid plenkasining bug'lanib ketmasligi uchun plastinalarining harorati manba haroratidan 100 – 200 °C pastroq bo'lishi lozim.

ADABIYOTLAR

1. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников. –М.: Мир, 1990. –480с.
2. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. –М.: Высшая школа, 1982. 528с.
3. Umirzakov B.E., Tashmuxeamedova D.A. Qattiq jism yuzalarini o'rganish usullari: O'quv qo'llanma. –ToshDTU, 2005. –63b.
4. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий. –Т.: Фан, 1989. –158с.
5. Кремков М.В., Беседина Е.А. Диагностика поверхности материалов. –Т.: Фан. 1986, –100с.
6. Шульман А.Р., Фридрихов С.А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. –М.: Наука, 1977. 552с.
7. Palmberg P.W. The Structure and Chemistry Solid Surface. New - York, 1988, p.29.
8. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е., Ражаббоев Р.Р. Каттик жисм сиртларининг иккиламчи электрон спектроскопияси: Ўқув қўлланма. –Т.: Конструктор, 1993. –66б.
9. Касымов А.Х. Электрониканинг физикавий асослари: Ўқув қўлланма. –Т.: Фан, 1997. –186б.
10. Ченг Л., Плог К. Молекулярно – лучевая эпитаксия и гетероструктуры. –М.: Мир, 1989. –560с.
11. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. –М.: Высшая школа, 2000. –510с.
12. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. –М.: Наука, 2006. 490с.
13. www.ioffe.rssi.ru/journals/ftt/
14. www.issp.ac.ru/journal/surface/
15. <http://www.ufn.ru/>

MUNDARIJA

Soʻz boshi.....	4
I Bob. Qattiq jism yuzalarining tuzilishi.....	4
1.1. Yuzalarning tuzilishi. Uch oʻlchamli kristallarning atom tuzilishi haqida tushuncha.....	5
1.2. Yuza qatlamlarning vujudga kelishida atomlarning siljishi. Pelaksatsiyalangan va rekonstruksiyalangan yuzalar.....	8
1.3. Kristallardagi atomlarning bogʻlanish turlari.....	8
1.4. Bogʻlanish turlarining kristall tuzilishga bogʻliqligi.....	11
1.5. Kristall yuzalarini tayyorlash va oʻrganishning eksperimental usullari. Qattiq jism yuzalarini tayyorlash.....	11
II Bob. Yuzalarni tekshirish usullari.....	20
2.1. Yuzalarni tekshirish usullari haqida umumiy tushunchalar□□□□..	21
2.2. Ikkilamchi elektronlar emissiyasiga asoslangan usullar.....	24
2.3. Yuzalarni tekshirishda ionlardan foydalanish.....	24
2.4. Yuzalarni tekshirishda fotonlar oqimidan foydalanish.....	27
III Bob. Yarim oʻtkazgichlar yuzalarining atom va elektron tuzilishi.....	27
3.1. Si monokristallarining yuzi.....	28
3.2. GaAs monokristallarining yuzi.....	30
3.3. Yarim oʻtkazgichlarning energetik zonalari haqida tushuncha.....	34
3.4. Yarim oʻtkazgichlar yuzasining real holdagi energetik tuzilishi.....	38
VI Bob. Chegaraviy qatlamlar.....	38
4.1. Metall va yarim oʻtkazgich chegarasidagi qatlamning tuzilishi.....	41
4.2. Yarim oʻtkazgich va yarim oʻtkazgich orasidagi	48
	51

chegaraviy qatlam.....	51
4.3. Molekulyar nurli epitaksiya (MNE) usuli bilan hosil qilingan plyonka va asos (matritsa) orasidagi chegaraviy qatlam.....	52
4.4. Qattiq fazali epitaksiya (QFE) usuli bilan olingan plyonka va asos orasidagi chegaraviy qatlam	65
V bob. Yupqa plenkalar hosil qilish usullari.....	
5.1. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazish.....	
5.2. Himoyalashda qo'llaniladigan dielektrikli yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi.....	
Adabiyotlar.....	

