

**A.NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

FIZIKA FAKULTETI

QATTIQ JISMLAR FIZIKASI KAFEDRASI

QATTIQ JISMLAR FIZIKASI fanidan

KURS ISHI

**MAVZU:QATTIQ JISM YUZALARINING
TUZILISHI**

Bajardi: 403 gurux talabasi Ibragimova V.

Raxbar: dots. A.A.Eshbekov

S A M A R Q A N D – 2 0 1 5

QATTIQ JISM YUZALARINING TUZILISHI

Reja:

1. Kirish

2. Yuzalarning tuzilishi.

Ucho'lchamlik kristallarning atom tuzilishi haqida tushuncha

2.1. Ucho'lchamli panjara.

2.2. Ucho'lchamlik kristallarning simmetriya guruhlari.

2.3. Yuzaqatlam va yonak qatlam.

3. Yuzaqatlamlarning vujudga kelishida atomlarning siljishi.

Relaksatsiya langan va rekonstruktsiya langan yuzalar.

3.1. Ideal sirt haqida tushuncha.

3.2. Relaksatsiya hodisasi.

3.3. Rekonstruktsiya hodisasi.

3.4. Yuzaqatlamdagi defektlar.

4. Kremniy va arsenid galliy monokristallarining yuzasida atomlarning joylashishi

4.1. Si va GaAs asosidagi materiallarning istiqbollari.

4.2. Si monokristallining ideal va real yuzalari.

4.3. GaAs monokristallining yuzi.

Xulosa

Adabiyotlar

**A.NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

FIZIKA FAKULTETI

QATTIQ JISMLAR FIZIKASI KAFEDRASI

QATTIQ JISMLAR FIZIKASI fanidan

KURS ISHI

**MAVZU:QATTIQ JISM YUZALARINING
TUZILISHI**

Bajardi: 403 gurux talabasi Ibragimova V.

Raxbar: dots. A.A.Eshbekov

S A M A R Q A N D – 2 0 1 1

KIRISH

1970

yillargacha

"Qattiqjismningdeyarlikbarchaasosiyxususiyatlariuninghajmiholatiga (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 optikaviy xususiyatlari, korroziyaga va ayrim mexanik ta'sirlarga chidamliligi birinchi galda yuzaning tarkibiga va tuzilishiga bog'liq ekanligi ma'lum bo'lib qoldi. Hozirgi paytda qattiq jismning deyarli barcha fizik xususiyatlari, hattoki ayrim mexanik xossalari va 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.

Qattiq jismlarni, o'zlaridagi atomlarning, molekulalarning yoki ionlarning o'zaro joylashish tartibiga qarab kristallarga va amorf jismlarga ajratadi.

Ulardagiasosiytafovut

—

fazodajoylashganzarrachalariningtartiblilikdarajasidir.

Amorf jismlarda faqat yaqin, tartibbor, ya'ni eng yaqin qo'shni atomlarning joylashishida ma'lum qonuniyat mavjud.

Kristall jismlar yaqin va uzoq tartib mavjudligi bilan xarakterlanadi, ya'ni undagi barcha atomlari niq birtartib bilan joylashib, ma'lum bir fazoviy strukturani hosil qiladi. Kristall va amorf jismlar

strukturasi dagita foyutular dagi fizik xususiyatlarning har xil bo'lishiga sabab bo'ladi. Jumladan, kristallarda mexanik, optik, elektr va boshqa ko'pgina fizik xossalari anizotropdir,

ya'ni bu xossalari kristallarning har xil yo'nalishlarida turlicha namoyon bo'ladi.

Amorf moddalarda esa deyarli barcha fizik xossalari izotropdir. Bundan tashqari, kristallarda aniqlanish va qotish haroratlari mavjud.

Amorf jismlarda esa erish va qotishning aniqlanish harorati mavjud emas. Erish jarayonida amorf moddaning (shisha, smola, kanifol, ...) harorati ham ko'tarila boradi.

Kristall va amorf qattiq jismlarning fizik xususiyatlarini o'rganish asosida maxsus xossalarga ega bo'lgan materiallarni (o'ta mustahkam, korroziyaga chidamli, o'ta toza, issiqlikka chidamli, ... kabi) olishga, sanoatda hamda fan va texnikaning turli sohalarida ishlatiladigan yangi qurilmalarni yasashga keng imkoniyat yaratildi. Masalan, kvant elektronikasida lazer va lazerlarni yaratish o'ta yuqori chastota (SVCh) texnikasida jadal o'zgarish hosil qildi. Shuningdek qattiq jismlardagi dislokatsiyalarning kinetikasini o'rganish asosida o'ta mustahkam materiallar hosil qilindi. Bunday qurilmalarning yaratilishi biologiya, tibbiyot, geologiya, matematika va boshqa fanlarning rivojlanishiga keng imkoniyat yaratdi. Shuning uchun ham hozirgi paytda qattiq jismlar fizikasi fanini o'rganishga jiddiy e'tibor berilmoqda.

Shunday qilib yuzadagi kristall tuzilish yoki panjara parametrlari hajmnikidan farq qiladi. Bu esa o'z navbatida 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 implantastiyasi, lazer va boshqa nurlar bilan ishlov berish, aktiv element atomlari va molekulalar o'tkazish va boshqa usullardan foydalaniladi. Bu kurs ishida qattiq jism yuzasi va uning xususiyatlari haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

2. Yuzalarning tuzilishi.

Ucho'lchamlik kristallarning atom tuzilishi haqida tushuncha.

Tayanch so'zlar:

Ionlar implantastiyasi, lazernurlari, aktivelement, nuqtaviy guruhlari, fazoviy guruhlari, kristall panjara, panjaradoimiysi, elementaryacheyka, yuza, sirt, yonak qatlam.

Tabiatdagi moddalar gaz, suyuqlik, qattiq jism va plazma holatlarida bo'ladi. Bu holatlar moddaning agregat holatlari deb atalib, bir-biridan fizik xossalari bilan farq qiladilar. Qattiq jismlarning suyuqlik va gazlardan farqi shundaki, ular o'z shakllarini saqlaydi va ularda oquvchanlik kuzatilmaydi. Mikroskopik nuqtai nazardan bunday farqning bo'lishi, moddani tashkil etuvchi atom va molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir energiyasining katta yoki kichikligi bilan tushuntiriladi. Suyuqlik va gazlarda ularni tashkil qiluvchi atom va molekulalar orasidagi o'zaro ta'sirlashish energiyasi ularning issiqlik harakati energiyasidan kichik bo'ladi. Shuning uchun suyuqlik yoki gazni tashkil etuvchi atom va molekulalar bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chib yurishi mumkin, ya'ni oquvchanlik xossasiga ega. Qattiq jismlarda esa molekula yoki atomlar orasidagi ta'sirlashuv energiyasi ularning issiqlik harakati energiyasidan

ancha katta bo'ladi, shuning uchun ular erkin ko'chib yura olmaydi va muvozanat vaziyatlari atrofida tebranma harakat qilib turadi. Demak qattiq jismni boshqa agregat holatlardan ajratib turuvchi asosiy farqlari birinchidan, uning normal sharoitda o'z shaklini saqlashi; ikkinchidan, ularni tashkil etuvchi atom va molekulalarning tebranma harakatda bo'lishidir.

Qattiq jism sirti — hamma vaqg ikki faza (muhit)ni ajratib turadigan chegaradir. Bu chegara bir tomonda qattiq jism va ikkinchi tomondan, gaz, suyuqlik yoki boshqa qattiq jism orasida bo'ladi. Shuning uchun ajratish sirti chegaraning har ikki tomonidagi fazalar bilan o'zaro ta'sirlashadi.

Sirt bilan bog'liq masalalarni yechish yarim o'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarish va qo'llanishida muhim, chunki sirt xossalarining beqarorligi, ularning benazorat o'zgarishlari asboblarning ishlash muddatini kamaytiradi va ishonchli ishlashini pasaytiradi.

Metallarning zanglashi va oqibatda ularning buzilishi ham sirt xossalariga bog'liq bo'ladi.

Qattiq jism sirtining ba'zi umumiy holatlari haqida to'xtalib o'tsam. Birinchidan, sirtida kristall hajmidagi atomlarning davriy joylashishi buziladi (kesiladi), natijada tugallanmagan (uzilgan) kimyoviy bog'lar paydo bo'ladi. Boshqacha aytganda, sirt mavjudligining o'zi kristalldagi ichki potensial davriy maydonning buzilishidir. Bu davriylikning har qanday buzilishi mahalliy energetik holatlarni yoki sirtiy holatlarni vujudga keltiradi. Bunday sirtiy qolatlar zichligi $10^{18} - 10^{19} m^{-2}$ tartibida bo'ladi, ularni Tamm sathlari deyiladi. Ikkinchidan, haqiqiy sharoitda qattiq jismlar sirtida amalda hamma vaqt oksid parda yoki yopishgan yot atomlar va ionlar bo'ladi. Shu tufayli sirt sohasi murakkab ko'p qatlamli tuzilishga ega bo'ladi.

Ko'p hollarda qattiq jismlar sirtini qoplagan qatlamlarda mahalliy sathlar hosil qiluvchi kirishmalar va nuqsonlar bor. Kristallning o'z sirtidagi ichki holatlar kuchli elektr maydoni ta'siriga tez javob beradi, ularni tezkor holatlar

deyiladi, qatlamlardagi (tashqi) holatlar nisbatan ancha sekin ta'sirlanadi, ularni sekin holatlari deyiladi.

Sirtning miqdoriy tavsifnoma sirtiy σ yoki fazalararo^y energiya bo'ladi. σ ni sirtiy taranglik deyiladi, u sirtni chegaralagan chiziqni birlik uzunlikka va sirt yuzini unga mos kattalikka qadar (miqdorga) o'zgartirish uchun kerak bo'ladigan kuchni bildiradi

Hozir quyida qattiq jism yuzalarining tuzilishi haqida batafsil to'xtalib o'tamiz.

2.1. Ucho'lchamlipanjara.

Harqandayqattiqjismkristallini

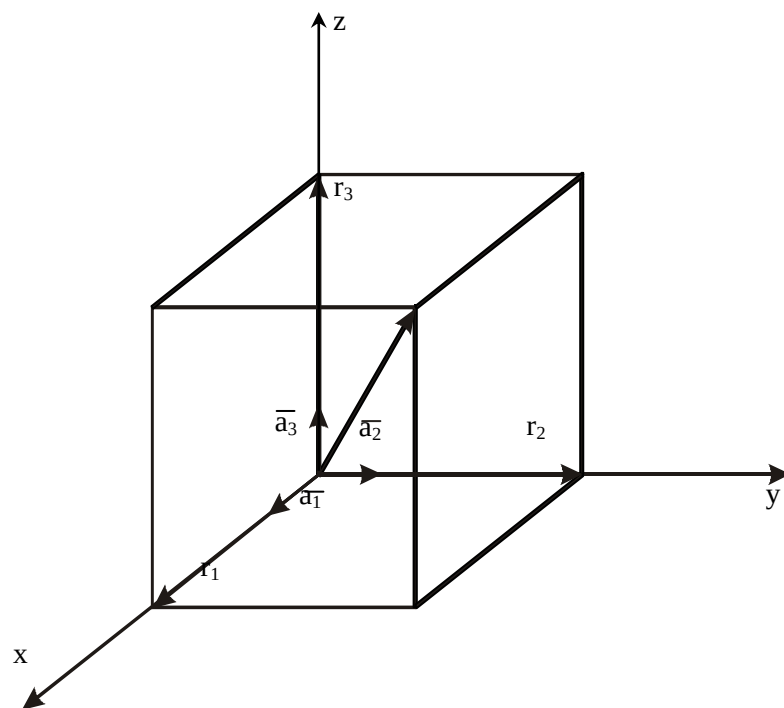
"ma'lumbirtartibdajoylashganucho'lchamlipanjara" debqarashmumkin. "Bunday panjaraning tugunlarida atom (yadro) lar joylashgan" deb tasavvur qilamiz. Bunday tugun orasidagi masofa $1 - 5 \text{ \AA}$ atrofida bo'lishi mumkin. Bitta yo'nalishdagi tugunlar(atomlar) orasidagi masofalar boshqa yo'nalishdagi masofalardan farqqilishi 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 koeffistientlar deb olsak (1–rasm), u holda har qanday atomning holatini quyidagi formula bilan ifodalash mumkin:

$$\vec{R} = r_1 \cdot \vec{a}_1 + r_2 \cdot \vec{a}_2 + r_3 \cdot \vec{a}_3 \quad (1)$$

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.

Kristallpanjaralarelementaryacheykalarniketma-ketqo'yish, burish (aylantirish) yokiakslantirishorqalihosilbo'ladidebqarashmumkin. Demak,

kristallpanjarama'lumbirtartibdajoylashtirilganelementaryacheykalarningm
ajmuidaniboratbo'larekan.



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.

2.2. Ucho'lchamlikristallarning simmetriyaguruhleri.

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 va akslantirishlarning umumiy yig'indisi ma'lum bir guruhni tashkil etadi. Bunday guruhlar **nuqtaviy guruhlar** deyiladi.

Uch o'lchamli kristall panjaralarni **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 tipdagihar** xil panjaralarni tashkil etadi. Bu panjaralar **Brave panjaralari** deb ataladi. Ular 1-jadvalda berilgan.

1-jadval

Uch o'lchamli kristallarning simmetriya bo'yicha guruhleri

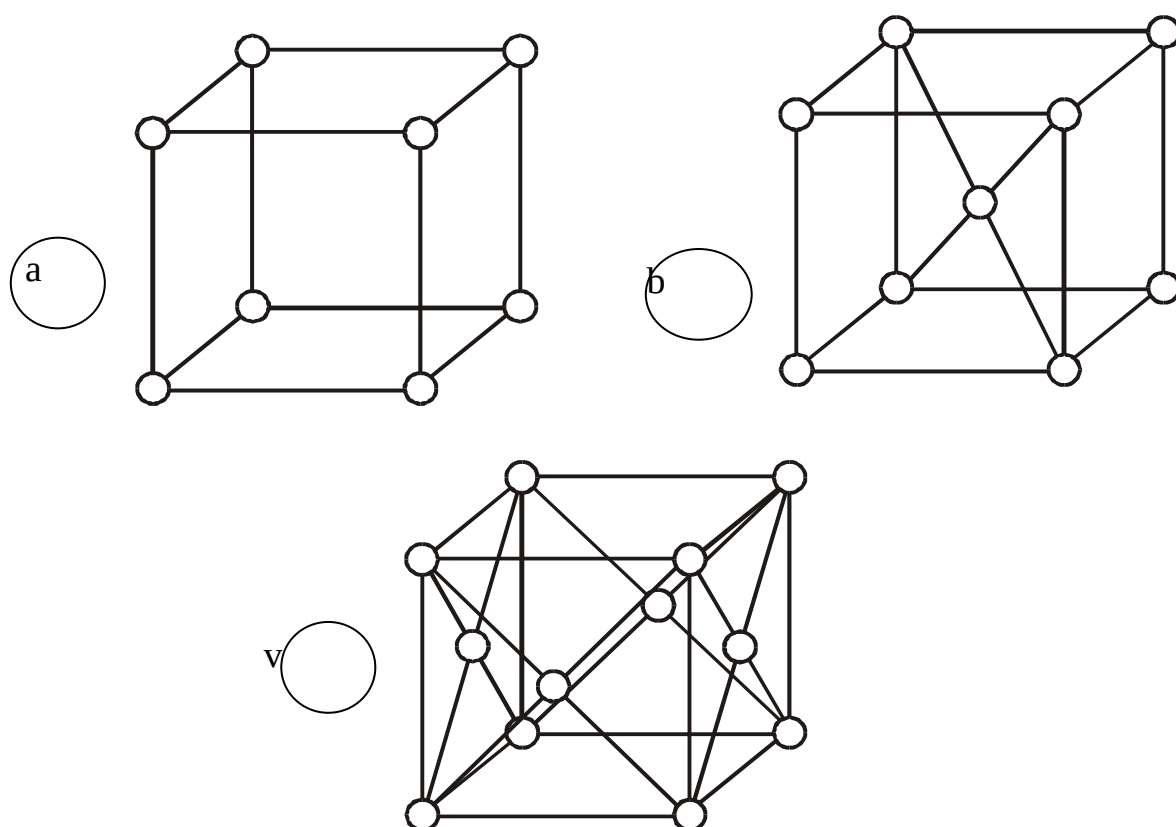
t/r	Kristalltizim	Bravepanjarasi
1	Triklin	Oddiy
2	Monoklin	Oddiy, asosimarkazlashgan
3	Ortorombik	Oddiy, asosi markazlashgan, hajmiy markazlashgan, yon yoqlari markazlashgan
4	Trigonal	Oddiy
5	Tetragonal	Oddiy, asosimarkazlashgan
6	Geksagonal	Oddiy
7	Kubik	Oddiy, asosi markazlashgan, hajmiy markazlashgan, yon yoqlari markazlashgan

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

Translyastion simmetriyadan tashqari kristall panjaralar boshqa simmetriya xossalari bilan ham xarakterlanadi. Bular **yo'nalishlarning nuqtaviy guruhleri** va **fazoviy guruhleri** deyiladi. Yo'nalishlarning nuqtaviy guruhleri **32 turga**

ajratiladi. Bu guruhlarning har biriga bittadan kristall sinflari to'g'ri keladi. **Fazoviy guruhlar soni 230 ta.** Biz yo'nalishlar guruhi va fazoviy guruhlarini ko'rib o'tmaymiz.

Eng sodda panjara kubik panjaradir (2-rasm). 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.



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

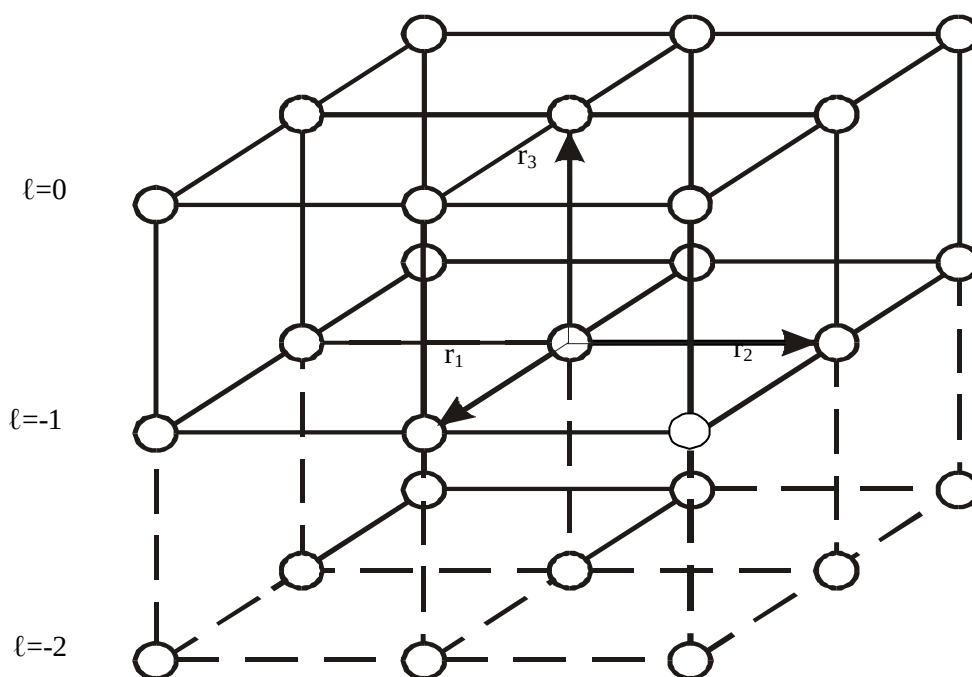
2.3. Yuzaqatlamvayonakiqatlam.

Umumankristallofizikadaelementaryacheykaasoslarinitashkilqilganqatmlarelementaratomqatlamlaridebataladi.

Engyuqoridagi **qatlamiyuzayoki sirt** deb ataladi. Elementar qatlamlar soni cheksiz ko'p bo'ladi. Bu qatlamlar soni vertikal o'q bo'yicha aniqlanadi va **yuza qatlam nolinchi** qatlam deb belgilanadi. Elementar qatlamlarni ℓ harfi bilan belgilaymiz. Yuza qatlam uchun $\ell = 0$, yuza osti qatlami uchun $\ell = -1$ va hokazo. (3-rasm). 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:

$$n = f_3 + \tau_2 \quad (2)$$

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



3-rasm. Qattiq jismning elementar qatlami.

Qattiqjism tarkibidantaturli atom bo'lsa, birinchi qatlam bilan ikkinchi qatlam orasidagi birinchi elementar qatlamni qo'shib hisoblaganda yonak qatlam bo'ladi. Demak, fazoviy panjaradagi istalgan nuqtaning holatini aniqlash uchun avvalo ℓ va n orqali kerakli tekislikni aniqlab olamiz. Undan keyin bu atomning o'rnini shu tekislikning koeffitsientlari orqali topiladi.

Bu koordinatalar uchun S_1 va S_2 degan musbat koeffitsientlarni kiritamiz. U holda kristall panjaraning istalgan nuqtasidagi atom $R(\ell, n, S_1, S_2)$ holatini quyidagicha aniqlashimiz mumkin bo'ladi:

$$\vec{R} = S_1 \cdot \vec{f}_1 + S_2 \cdot \vec{f}_2 + \ell \cdot \vec{f}_3 + \tau_n \quad (3)$$

ℓ – elementar kristall qatlamlarning nomeri.

n – yonak qatlamlar nomeri.

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

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

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

3. Yuzaqatlamlarning vujudgakelishida atomlarning siljishi.

Relaksastiyalangan va rekonstrukstiyalangan yuzalar

Tayanch so'zlar:

Ideal sirt, energetik zonalar, elektronlarning fazoviy taqsimoti, relaksastiya, rekonstrukstiya, ekvivalent atomlar, defekt (nuqson), sirtiyl pog'onalar, translyastion simmetriya.

3.1. Ideal sirthaqidatushuncha.

Agaryuzaqatlamdagijoylashganatomlarningo'rihajmdajoylashganatomlaro'r nibilanustma-usttushsa, bunday sirtlarideal sirtlardeyiladi. Yuza qatlam uchun: $\ell = 0$, $n = 0$, $\tau_1 = 0$. Eng yuza (sirtqi) qatlamda elementar qatlam va 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 koefitsientlarga bog'liq bo'lgan quyidagi formula ko'rinishida bo'ladi:

$$\vec{R} = S_1 \cdot \vec{f}_1 + S_2 \cdot \vec{f}_2 \quad (4)$$

Lekinamaldahechqachonyuzaqatlamdagiatomlaro'zo'ri nibilanhajmdajoylashganatomlarbilanustma-usttushmaydi. Chunki yuza qatlamdagi atomga ta'sir qiluvchi kuchlar hajmda joylashgan atomga ta'sir qiluvchi kuchlardan farqqiladi. 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- va 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 va jismning elektron tuzilishi hamda boshqa xususiyatlarga katta ta'sir qilmasa, bunday **sirtlarni ideal sirtlarga yaqin** deb qarab, yuzalarning xossalarini 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 $0,5 \text{ \AA}$ va undan katta** bo'lsa, jismning **elektron tuzilishi**, jumladan energetik zonalar va elektronlarning fazoviy taqsimoti sezilarli o'zgarar ekan. Bunday katta siljish ($> 0,5 \text{ \AA}$) 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:

$$\vec{R}'_s(S_1, S_2) = \vec{R}_s(S_1, S_2) + \Delta R_s(S_1, S_2) \quad (5)$$

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, $\Delta R_s \rightarrow 0$.

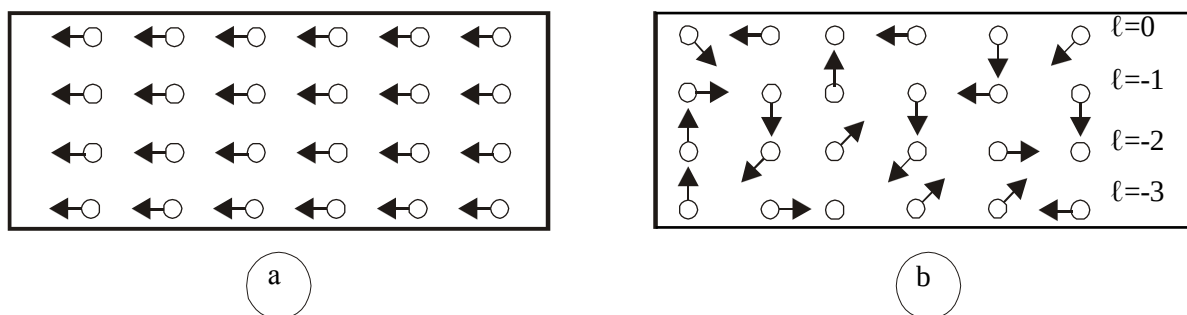
3.2. Relaksastiyahodisasi.

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

Agar yuza atomlarining siljishi muayyan birtomonga yabir xil kattalikdaro'ybersa, bunday hodisa relaksastiyahodisasi deyiladi. Bunday siljishda yuzadagi barcha ekvivalent atomlar bir xilda siljiganligi uchun translyastion simmetriya o'zgarmaydi (4–rasm). Demak, bu holda bazis vektorlari o'zgaradi, panjara vektorlari o'zgarmasdan qolaveradi.

3.3. Rekonstruksiyahodisasi.

Agaryuzaqatlamdagiatomlarkattaligijihatdanham, yo'nalishijihatdanhamhar xil siljisa, bunday siljish (hodisa) rekonstruksiyadebataladi. Bunday holda har xil elementar yacheykalardagi ekvivalent atomlar harxil tomonga va har xil masofaga siljiydi; natijada translyastion simmetriya o'zgaradi. Ya'ni bazis vektori ham, panjara vektori ham o'zgaradi (4-rasm).



4-rasm. Relaksastiyalangan (a) va rekonstruksiyalangan (b) yuza qatlamlar.

3.4. Yuzaqatlamdagidefektlar.

Bizgama'lumki, harqandaykristalljismdaturli xil tipdagidefekt (nuqson) larmavjudbo'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; dislokastiya; kristall bo'laklarning chegaralari.

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

Yuza qatlamlardagi o'zgarishlarga (nuqsonlarga), relaksastiya va rekonstruktsiyadan tashqari kristallda mavjud bo'lgan dislokastiyalar ham ta'sir qiladi. Dislokastiyalarning quyidagi turlari mavjud:

1) Chekkali dislokastiya; 2) Buramali dislokastiya; 3) Egri chiziqli dislokastiya va 4) Aralashmali dislokastiya.

Dislokastiyalar alohida ahamiyatga ega bo'lib, u boshqa kurslarda to'liq o'rganiladi.

4. Kremniy va arsenid galliy monokristallarining yuzasida atomlarning joylashishi

Tayanch so'zlar:

Elementar yacheyka, kristall panjara, ideal sirt, relaksastiyalangan sirt, monokristall, kristallografik yo'nalish, kovalent bog'lanish.

4.1. Si va GaAs asosidagi materiallarning istiqbollari.

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 va boshqa usullar bilan tozalash orqali amalga oshirilgan. Shunga qaramasdan hozirgi paytgacha ham eng ko'p tekshirilgan Si va GaAs yuzalarining tuzilishi haqida juda ishonarli ma'lumotlar etarli emas. Mikroelektronikada asosan Si va GaAs kristallari ishlatilgan va ishlatilib kelinmoqda. Bugungi kunda 1 sm^3 ga 1000 dan ortiq r-n, n-r, r-n-r 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 ustida ish olib borilmoqda. Shuning uchun ham Si va GaAs lar yuzasi har tomonlama o'rganilgan va o'rganish davom ettirilmoqda.

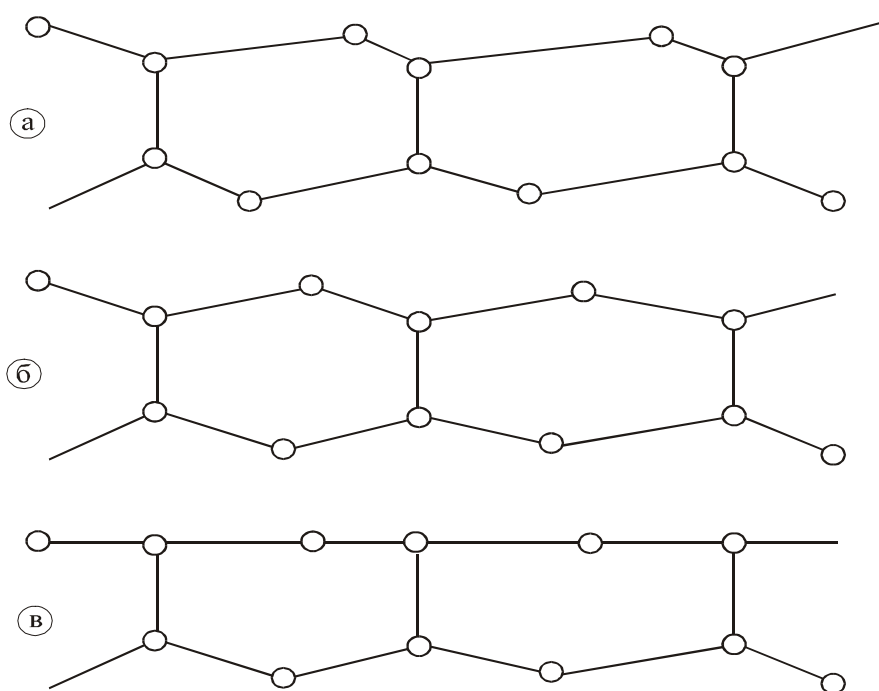
4.2. Si monokristallining ideal va real yuzalari.

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 relaksastiyalangan (ma'lum bir tartibda siljigan) bo'ladi. Bu siljish kattaligi eng yaxshi sharoitda $0,12 - 0,16\text{ \AA}$ ekanligi aniqlangan. 5–rasmda Si (111) monokristallining ideal yuzasi, birinchi qatlami relaksastiyalangan, birinchi va ikkinchi qatlamlari relaksastiyalangan hollar uchun to'g'ri keladigan shakllar keltirilgan.

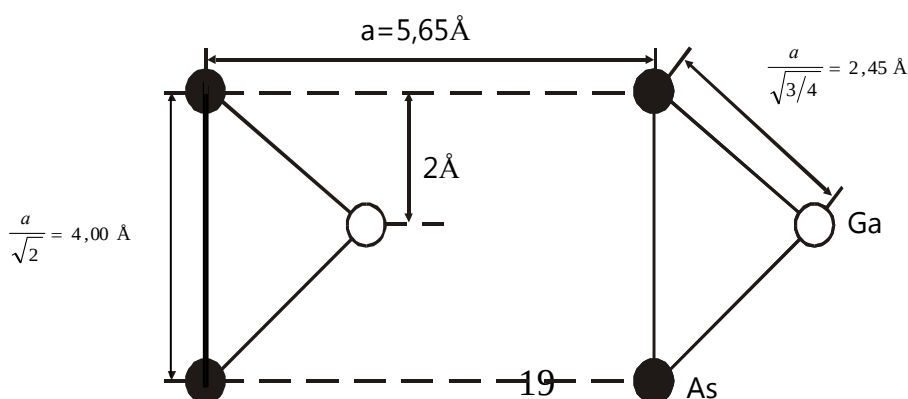
4.3. GaAsmonokristalliningyuzi.

Arsenidgalliyningkristallvaelektrontuzilishikremniyvagermaniydanfarqliravis hdaikkixilatomlardan: arsenidvagalliyatomlaridantashkiltopgan. 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) va (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 va mishyak atomlari galma-gal almashinib keladi. GaAs (100) kristalliga tepa tomondan qaraganda atomlarning joylashishi 6–rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi.



5–rasm. Si (111) yuzasi (1x1) yacheykasining geometrik ko'rinishi: a – ideal sirt; b – birinchi qatlam relaksastiyalangan; v – birinchi va ikkinchi qatlam relaksastiyalangan.



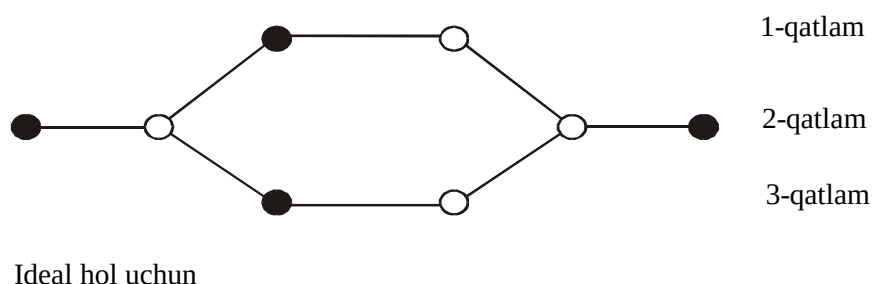
6–rasm. *GaAs (110) yon sirtining tepasidan ko'rinishi.*

Biz bilamizki,

elementary yacheyka hajmiy kristallar uchun parallelepiped ko'rinishga ega bo'lsa, sirt uchun to'rt burchak shakliga ega bo'ladi. Rasmda bu elementar yacheyka shtrix chiziq bilan ko'rsatilgan. Har bir yacheykada hammasi bo'lib ikkitadan atom joylashgan: bitta Ga va bitta As.

GaAs (110) kristali yuza qismidagi uchta qatlamda atomlarning joylashishi ideal va real hol uchun 7–rasmda ko'rsatilgan.

Real holda masalan Ga atomlari o'z qatoridan ma'lum birmasofa 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 va rekonstruktsiyaning mavjudligi GaAs yuza qismi elektron tuzilishining "hajmiy" elektron tuzilishidan farqqilishiga olib keladi.



7–rasm. GaAs (110) yuzasidagi 3 ta qatlamda atomlarning joylashish sxemas

X U L O S A

Bizga ma'lumki qattiq jismning deyarli barcha fizik xususiyatlari, hattoki ayrim mexanik xossalari va 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. Qattiq jismlarni, o'zlaridagi atomlarning, molekulalarning yoki ionlarning o'zaro joylashish tartibiga qarab kristallarga va amorf jismlarga ajratadi. Ulardagiasosiytafovut – fazodajoylashganzarrachalariningtartibililikdarajasidir. Amorfjismlardafaqatyaqin, tartibbor, ya'niengyaqinqo'shniatomlarningjoylashishidama'lumqonuniyatmavjud.

Kristall jismlar yaqin va uzoq tartib mavjudligi bilan xarakterlanadi, ya'ni undagi barcha atomlari niqab tartib bilan joylashib, ma'lum bir fazoviy strukturani hosil qiladi. Kristall va amorf jismlar strukturasi dagi tafovutlarning fizik xususiyatlarning har xil bo'lishiga sabab bo'ladi. Jumladan, kristallarda mexanik, optik, elektr va boshqa ko'pgina fizik xossalari anizotropdir, ya'ni bu xossalari kristallarning har xil yo'nalishlarida turlicha namoyon bo'ladi. Shuningdek, qattiq jismlardagi dislokatsiyalarning kinetikasi ni o'rganish asosida o'ta mustahkam materiallar hosil qilinadi.

Shunday qilib yuzadagi kristall tuzilish yoki panjara parametrlari hajmnikidan farq qilgan ekan. Bu esa o'z navbatida hajm va yuz 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 va boshqa nurlar bilan ishlash berish, aktiv element atomlari va molekulalar o'tkazish va boshqa usullardan foydalanilgan ekan. GaAs (110) kristali yuzasi qismidagi uchta qatlamda atomlarning joylashishi real holda masalan Ga atomlari o'z qatoridan ma'lum bir masofa siljigan bo'ladi. Bubog'lanishlar qisman ionli bo'lganligi uchun juda kuchli bo'ladi. Shuning uchun ham ko'phollarda kristall panjara kuchli rekonstruktsiya siroy bermaydi. Ammo o'zroq bo'lsah amrelaksatsiya va rekonstruktsiyaning mavjudligi GaAs yuzasi qismidagi elektron tuzilishining "hajmiy" elektron tuzilishidan farq qilishiga olib keladi.

Nazorat cavollar:

1. Uch o'lchamli panjara qanday parametrlarga ega?
2. Uch o'lchamli kristallarning qanday simmetriya guruhlari mavjud?
3. Hajmiy struktura yuza strukturasidan qanday parametrlari bilan farqlanadi?
4. Kubik panjaraning turlarini aytib bering.
5. Panjaraning istalgan nuqtasidagi atom holatini aniqlovchi formulani yozib bering.
6. Monokristall, polikristall, amorf moddalarda atomlar qanday joylashadi?
7. Bravepanjaralarinima?
8. Nimauchunyzaqatlamdagiatomlarningholati xajmdagiatomlarholatidanfarqqiladi?
9. Ideal sirt deganda qanday sirt tushuniladi?
10. Real sirt deganda nimani tushunasiz?
11. Relaksastiyahodisasinima?
12. Rekonstrukstiyahodisasinitushuntiring.
13. Sirtidagi atomlarning holatini qanday formula bilan ifodalash mumkin?
14. Yuza qatlamidagi atomlarning real holati va ideal holati orasidagi bog'lanish qanday ifodalanadi?
15. Kristallardagi qanday defektlarni bilasiz, yuza qatlamdagi defektlarning turlari?
16. Dislokastiyanima?
17. Si (111) yuzasi (1x1) yacheykasining ideal va relaksastiyalangan holati shakllarini chizing.
18. Kremniy yuzasini qizdirish jarayonida qanday barqaror yacheykalar hosil bo'ladi?

19. Nima uchun Si yuzasida normal sharoitda (1x1) yacheyka mavjud bo'lmaydi?
20. Nima uchun GaAs yuzasida asosan (1x1) yacheyka mavjud bo'ladi?
21. GaAs (110) yuzasidagi 3 ta qatlamda atomlarning joylashish sxemasini chizing (ideal va real hol uchun).

ADABIYOTLAR

1. Umirzakov B.E., Tashmuxeimedova D.A. Qattiq jism yuzalarini o'rganish usullari: O'quv qo'llanma. – ToshDTU, 2005. – 63b.
2. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий. – Т.: Фан, 1989. – 158с.
3. Кремков М.В., Беседина Е.А. Диагностика поверхности материалов. – Т.: Фан, 1986, – 100с.
4. Шульман А.Р., Фридрихов С.А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. – М.: Наука, 1977. 552с.
5. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е., Ражаббоев Р.Р. Қаттиқ жисм сиртларининг иккиламчи электрон спектроскопияси: Ўқув қўлланма. – Т.: Конструктор, 1993. – 66б.
6. Касымов А.Х. Электрониканинг физикавий асослари: Ўқув қўлланма. – Т.: Фан, 1997. – 186б.
7. www.ioffe.rssi.ru/journals/ftt/
8. www.issp.ac.ru/journal/surface/