

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

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

Umirzaqov B.E.

**NANOEPITAKSIAL QATLAMLAR VA
GETEROTIZIMLAR**

O'quv qo'llanma

1-qism

Toshkent 2009

Nanoepitaksial qatlamlar va geterotizimlar: O'quv qo'llanma.
Umirzaqov B.E. – Toshkent, ToshDTU, 2009. – 102 b.

Ushbu o'quv qo'llanma “Elektron texnika komponentlari va materiallari fizikasi va texnologiyasi” mutaxassisligi bo'yicha tahsil olayotgan magistrlar uchun mo'ljallangan. Qattiq jismlar fizikasi, yupqa qatlamlar fizikasi va fizikaviy elektronika sohalari bo'yicha ishlaydigan o'qituvchilar, aspirantlar va ilmiy xodimlar uchun ham ushbu o'quv qo'llanma foydalidir.

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

Taqrizchilar:

N. N o r q u l o v - O'zMU

«Fizikaviy

elektronika» kafedrasi mudiri, dosent;

B. E g a m b e r d i e v - ToshDTU

«Elektronika va mikroelektronika»

kafedrasining professori

I. EPITAKSIAL QATLAMLARNI O'STIRISH USULLARI TO'G'RISIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1.1. Elektron asboblarning rivojlanishida yupqa qatlamlarning ahamiyati

Bundan 40-50 yil muqaddam elektronikaning hamma sohalarida (radiotexnika, televideniye, radioaloqa, elektron asbobsozlik) asosan har xil turdagi radiolampalarning ishlatilishida quyidagi kamchiliklar mavjud edi:

--ularning o'lchamlari nisbatan juda katta;

--ularni ishlatish uchun ko'p qo'shimcha manbalar va elementlar kerak (masalan, katodni qizdiruvchi manba);

--shovqini juda katta, demak, past quvvatli signallar bilan ishlash qiyin;

--signallarni rostdash uchun qo'llaniladigan ko'p turdagi passiv elementlarning (qarshilik, kondensator, drossel, transformator) o'lchamlari ham katta.

O'tgan asrning 70-yillaridan boshlab yuqorida aytilgan sohalarida asosan yarim o'tkazgichli asboblari ishlatila boshlandi. Bu soha rivojlanib aktiv elementlar hosil qilishda qalinligi 100-200 mkm dan oshmaydigan plyonkalardan foydalanish mumkinligi aniqlandi. Bunga asoslangan elektronikani esa *mikroelektronika* deb atala boshlandi.

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

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

Yupqa qatlam hosil qilish usullari juda ko'p va har xil yupqa va o'ta yupqa plyonkalar olishda asosan vakuumda bug'lantirish, ionli yedirish usullari qo'llaniladi. Bu usullarning asosida bitta prinsip yotadi: kerakli jismning (asos) yuzasiga hosil qilinishi kerak bo'lgan plyonka materiallarining atomlari o'tkaziladi, keyin bu sistemaga harorat, lazer nurlari, elektronlar yoki ionlar bilan ishlov berish orqali kerakli plyonka hosil qilinadi. Umuman plyonka hosil qilishning istiqbolli usullarini shartli ravishda quyidagi turlarga bo'lishimiz mumkin: molekulyar nurli, qattiq fazali, reaktiv, ionlar implantasiyasi, ion-plazmali va boshqa usullar. Butun epitaksial plenalar hosil qilish alohida o'rin tutadi.

Ushbu bo'limda asosan vakuumda bug'lantirishga asoslangan usullarning ayrimlari bilan tanishib o'tamiz. Umuman olganda yupqa plyonkalarni vakuumda o'tkazish jarayoni uchta jarayonni o'z ichiga oladi: manbadagi moddani qattiq yoki suyuq fazadan gaz (bug') holiga aylantirish; modda bug'larini bug'lantirgichdan asos (namuna) yuzasiga olib kelish; asos yuzasiga kelib tushgan modda bug'larini kondensasiyalash (qattiq fazaga aylantirish). Bundan ko'rinadiki, vakuumda bug'lanish nazariyasi modda bug'larining muvozanatini aniqlab beradigan fazoviy o'tishlar

termodinamikasi va o'tayotgan jarayonlarning fizikaviy mikroskopik modelini tushuntira oladigan gazlarning kinetik nazariyalarini o'z ichiga olar ekan.

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

Yupqa plyonkalar olish uchun foydalaniladigan qurilmada quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

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

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

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

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

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

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

1.2. Epitaksiyaning turlari, o'stirish usullari

IMSning yarim o'tkazgichli strukturalarini quyidagi uchta jarayonning hech bo'lmaganda bitta yoki ikkitasini qo'llamasdan turib tayyorlab bo'lmaydi: yarim o'tkazgichli qatlamlarni epitaksial o'stirish, diffuziyali va ionli legirlash.

Epitaksiya usuli 60-yillarning boshida ishlab chiqildi va mukammal asboblari hamda qurilmalar yaratishda paydo

bo'lgan ko'pgina qiyinchiliklarni engib o'tish imkoniyatini yaratdi. Bu usul bilan yupqa qatlamlar va strukturalar hosil qilinadi.

Epitaksiya – monokristall tagliklarda monokristall qatlamlar o'stirish jarayonidir. Monokristall tagliklar epitaksial qatlam o'sishi jarayonida kristallanish ro'y berayotgan murtak sifatida orientirlovchi bo'lib xizmat qiladi.

Epitaksiya jarayoni vakuumda, gazli va suyuq fazalarda o'tkazilishi mumkin. IMS texnologiyasida kremniy gazli fazadan epitaksiya qilinadi. Kremniy epitaksiyasining eng ko'p tarqalgan usuli bu *xlorid* usuli bo'lib, bunda kremniy xloridi $SiCl_4$ yodrood H_2 yordamida qaytariladi. Hosil qilinayotgan epitaksial qatlam xlor Cl bilan ifloslanganligi sababli va jarayon haroratini pasaytirish maqsadida ***gidrid*** usuli samarali hisoblanadi.

Epitaksiya usuli kuchli legirlangan, yarim o'tkazgichli plastina-taglikda shu yarim o'tkazgichning kam kirishmali yupqa qatlamini hosil qilish imkoniyatini beradi. Jumladan bu qatlamlar diodlarda baza, tranzistorlarda kollektor sifatida ishlatiladi.

IMS tayyorlashda quyidagi epitaksial strukturalar – epitaksial qatlamlar o'stirilgan tagliklardan foydalaniladi: bir qatlamli, ko'p qatlamli, yashirin qatlamli va geteroepitaksiyali. Epitaksiyali strukturalar quyidagicha belgilanadi: K – kremniy; D , E – kovak (dirochnoy) va elektron turli o'tkazuvchanlik; B , S , M , F – legirlovchi elementlar: bor, sur'ma, margimush, fosfor.

Bir qatlamli epitaksial strukturalar o'tkazuvchanligi n -tur bo'lgan kremniyli monokristall plastinalarga p -turli qatlamni avtoepitaksiya qilish jarayonida tayyorlanadi. Bir qatlamli epitaksial strukturalar sonli koeffisientli kasr ko'rinishida belgilanadi. Masalan,

$$76 \frac{8KDБ - 0,5}{400 KЭC - 0,01}$$

Sonli koeffisient epitaksiyali strukturaning diametrini ko'rsatadi (76mm), suratdagi birinchi son epitaksiyali qatlam qalinligini belgilaydi (8 mkm), maxrajdagi – plastina qalinligini ko'rsatadi (400 mkm). Suratdagi va maxrajdagi

ikkinchi son epitaksiyalı qatlam (0,5 Om·sm) va taglikning (0,01 Om·sm) solishtırma qarshılıgıga mos keladı.

Ko'p qatlamli epitaksiyalı strukturalar p-turli kremniy plastinasining ikki tomonıga o'tkazuvchanlik turları har xil bo'lgan qatlamları avtoepitaksiya qilish jarayonida tayyorlanadı. Ko'p qatlamli epitaksiyalı strukturalarning belgilanishi bir qatlamli strukturalarning belgilanishıga o'xshash bo'lib, uch sathli bo'ladı.

Yashirin qatlamli epitaksiyalı strukturalar p-turli kremniy plastınalarıda kichik qarshilikli **n**⁺-kremniyli lokal uchastkalarda fosfor bilan legirlangan **n**-turli o'tkazuvchanlikli qatlamni o'stirish yo'li bilan tayyorlanadı. Strukturaning belgilanishi yozilish tartibi bo'yicha quyidagicha: suratda – epitaksial qatlamning qalinlıgı (mkm); material; o'tkazuvchanlik turi va epitaksial qatlamni legirlovchi element; uning solishtırma qarshılıgı (Om·sm); qalinlıgı (mkm); yashirin qatlamning materialı; o'tkazuvchanlik turi va legirlovchi element; uning sirt qarshılıgı (Om/□); maxrajda – epitaksial qatlamning umumiy qalinlıgı (mkm); material; o'tkazuvchanlik turi; legirlovchi element; taglikning solishtırma qarshılıgı (Om·sm); taglikning orientasiyasi va undan og'ish burchagi (graduslarda); asosli qirqimning orientasiyasi va og'ish burchagi; strukturaning nominal diametri (mm). Bunday belgilashga misol:

$$\frac{12 \text{ KЭФ} - 0,8 / 3,5 \text{ KЭС} - 30}{312 \text{ KДБ} - 10 (111) - 8, \left[11 \bar{2} \right] - 45}$$

Geteroepitaksiyalı strukturalar monokristall taglikda o'tkazuvchanlıgı **n**-turli yoki **p**-turli bo'lgan monokristall qatlamları o'stirish bilan tayyorlanadı.

Geteroepitaksiyalı strukturaları belgilashga misol:

$$\frac{10 \text{ KДБ} - 0,5}{60 \text{ С 250}},$$

bu erda suratda qatlamning parametri keltirilgan – qalinlıgı 10 mkm, material – kremniy **p**-turli, bor bilan legirlangan, qatlamning solishtırma qarshılıgı 0,5 Om·sm; maxrajda birinchi son strukturaning diametrini belgilaydı – 60 mm, S

harfi – taglik materialini ko'rsatadi – sapfir, ikkinchi son – taglikning qalinligi – 250 mkm.

Epitaksiyaning turlari va usullari. “**Epitaksiya**” atamasi kristall sirtida orientirlangan holatdagi kristall o'stirish jarayonini bildiradi. Epitaksiyali qatlam kristall taglikka o'tkazilgan monokristall material bo'lib, taglikning strukturasi (morfologiyasi) ni saqlab qoladi.

Epitaksiya jarayonining 3 turi ma'lum:

1. **Avtoepitaksiya** – taglikda uning tarkibi va kristall tuzilishi bilan bir xil bo'lgan moddaning o'stirilishi bo'lib, ular bir-biridan kirishmalarning konsentrasiyasi bilangina farq qiladi. Masalan, kremniyning yuzasida kremniy o'stirish.

2. **Geteroepitaksiya** – monokristall taglik yuzasida uning tarkibidan boshqa bo'lgan monokristall plyonkaning o'stirilishi. Masalan, Si yuzasida GaAs o'stirish.

2. **Xemoepitaksiya** - taglik moddasidan farq qiladigan moddani orientirlangan o'stirish jarayoni bo'lib, hosil bo'layotgan yangi faza taglikning moddasi bilan tashqaridan kelayotgan moddaning kimyoviy ta'sirlanishi natijasida hosil bo'ladi. Buning natijasida hosil bo'lgan **xemoepitaksial** qatlam tarkibi jihatdan taglik moddasidan va o'tkazilayotgan moddadan farq qiladi.

O'sayotgan qatlamning hosil bo'lish jarayonida kechadigan fizik-kimyoviy hodisalarning tabiatiga qarab epitaksiyaning 3 ta texnologik usuli mavjud:

1. Vakuumda molekulyar oqimlar yordamida o'stiriladigan molekulyar nurli epitaksiya.

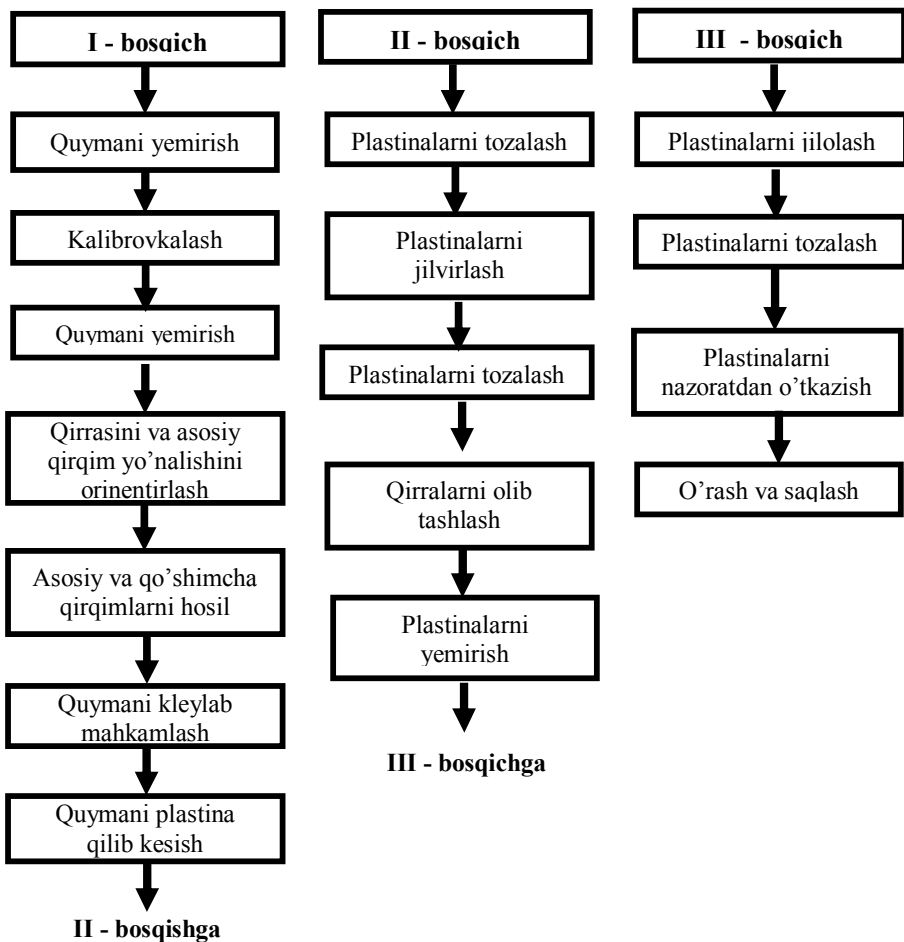
2. Gaz yoki bug'-gaz aralashmali moddalarning kimyoviy ta'siri yordamida olinadigan gaz fazali epitaksiya.

3. Suyuq fazadagi yoki qorishma-eritmalaridan rekristallizasiya yo'li bilan olinadigan suyuq fazali epitaksiya.

1.3. Tagliklarni tayyorlash

Plyonkalar ma'lum bir tagliklar yuzasida o'stirilganligi uchun uning mukammalligi (tozaligi, silliqligi, tarkibi bir xilligi, monokristallik darajasi va b.) taglikning sifatiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun tagliklarni yuqori sifatda tayyorlashga alohida ahamiyat beriladi.

Yarim o'tkazgichli plastinalarni tayyorlashning texnologik marshrutlari tayyorlanadigan mikrosxemalarning, qo'llanilayotgan yarim o'tkazgich xossalarning har xilligi tufayli bir-biridan farq qilishi mumkin. 1.1-rasmda kremniy plastinasini tayyorlashning umumiy marshruti keltirilgan.



1.1-rasm. Kremniy plastinalarini tayyorlash umumiy marshrutining sxemasi.

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

Quymani yemirish uning sirtini tozalash va nuqsonlarni aniqlash uchun o'tkaziladi.

Kalibrovka quymaga standart plastina diametriga teng bo'lgan silindr shaklini berish uchun bajariladi.

Undan keyingi quymani emirish kalibrovka jarayonida kristall strukturasi buzilgan qatlamini olib tashlash uchun o'tkaziladi.

Quyma qirrasini orientasiyalash quyma qirra tekisligining bosh kristallografik tekislikdan orientasiya buzilishini (og'ish burchagini) aniqlash uchun o'tkaziladi. Mana shunga asosan quymani plastinalarga kesishdan oldin u kesuvchi asbobga nisbatan og'ish burchagini hisobga olgan holda stanokka mahkamlanadi.

Asosiy qirqim yo'nalishini orientasiyalash

Asosiy qirqim texnologik qurilmalarda plastinalarni bir xil orientasiyalash uchun kerak bo'ladi.

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

Kesish uchun stanokka quymani elimlab mahkamlash. Quymani plastinalar qilib kesish.

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

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

Plastina iflosliklardan tozalanadi.

Plastina sirtining chekkasidagi faskalar olib tashlanadi. Bu strukturalarni shakllantirishning yuqori haroratli jarayonlarida dislokasiya va mexanik kuchlanishlarning hosil bo'lish ehtimoligini kamaytiradi, ya'ni nuqsonlar zichligi kamayib, yaroqli plastinalar chiqish foizi oshadi.

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

Plastinalarni jilolash. Bu jilvirlash va faskani olib tashlashdan keyin sirtga ishlov berishning sifatini va

aniqligini yaxshilash, oynasimon tekis, silliqlik sinfi 14 va undan yuqori bo'lgan sirt hosil qilish uchun o'tkaziladi.

Plastina sirtini tozalash va quritish.

Plastinalarning geometrik, elektrofizik parametrlari va sirt sifatining belgilangan normalarga mos kelishini nazorat qilish.

Plastinalarni saqlash va mikrosxemalar strukturasi tayyorlaydigan sexlarga tashish uchun o'rash. 1.1-rasmdan ko'rinib turibdiki, kremniyli plastinalarni tayyorlashning hamma marshruti uchta bosqichdan tashkil topar ekan: birinchi bosqich – quymani mexanik ishlovga tayyorlash va uni plastinalarga kesish; ikkinchi bosqich – plastinalarga boshlang'ich ishlov berish (jilvirlash va faskalarni olib tashlash); uchinchi bosqich – plastinalarga oxirgi ishlov berish (jilolash). Bu bosqichlarning har biri plastinalarning nazorati bilan yakunlanadi.

Yarim o'tkazgichli plastinalarni jilvirlash

Kesish jarayonidan keyin plastinaning sirtida 100 mkm atrofida mexanik buzilgan qatlam hosil bo'ladi. Buzilgan qatlam jilvirlash jarayonida olib tashlanadi. Bunda cho'yan, shisha, po'lat, mis yoki jezdan qilingan jilvirlovchi disklardan foydalaniladi. Jilvirlash uchun donalari M14 dan M5 gacha bo'lgan abraziv mikrokukundan foydalaniladi.

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

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

Ikki tomonlama jilvirlashda donadorligi M14 dan M5 gacha bo'lgan yashil kremniy karbidi yoki oq elektrokorund mikrokukunlarining suvli va gliserinli suspenziyasidan foydalaniladi. Bunda qattiq va suyuq komponentalarning

nisbati $Q : S = 1 : 3$ ga teng bo'lishi kerak. Yuqorida aytib o'tganimizdek, jilvirlash jarayoni bir necha bosqichda, sekin-asta mikrokukunlarning donadorligini kamaytirib borish bilan o'tkaziladi.

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

Yarimo'tkazgichli plastinalarni jilolash

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

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

Mexanik jilolash uch bosqichda amalga oshiriladi.

1. Boshlang'ich jilolash. Bunda plastinalar batist materiallarga surkalgan ASM3 olmos kukuni va bir necha tomchi yog' yordamida jilolanadi.

2. Oraliq jilolash. Bunda material almashtiriladi va ASM1 kukunidan foydalaniladi.

3. yakuniy nozik jilolash. Bunda asosan batist materiali va donalarining o'lchami 1 mkm dan kichik bo'lgan xrom, alyuminiy, kremniy, sirkoniy oksidlaridan foydalaniladi.

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

Jilolashning yangi zamonaviy usuliga kimyoviy-mexanik jilolash usuli misol bo'ladi. Bunda odatdagi abraziv mexanik ta'sirdan tashqari ishlov berilayotgan sirtga kimyoviy ta'sir o'tkaziladi. Jilolovchi tarkib – suspenziya, qurum, kremniy, sirkoniy, alyuminiy oksidlarining submikronli kukunlari ishqor asosida tayyorlanadi. Jarayon davomida kremniy ishqor bilan kimyoviy ta'sirlashadi. Shundan so'ng hosil bo'lgan birikma abraziv zarrachalar

yordamida parchalanadi. Bunday jilolashdan so'ng plastinaning sirtida tirnalgan izlar hosil bo'lmaydi va mexanik buzilgan qatlamning chuqurligi 1 mkm dan oshmaydi. Agar kimyoviy-mexanik jilolash abraziv ta'sirisiz o'tkazilsa, bunday jilolash kimyoviy-dinamik jilolash ham deyiladi.

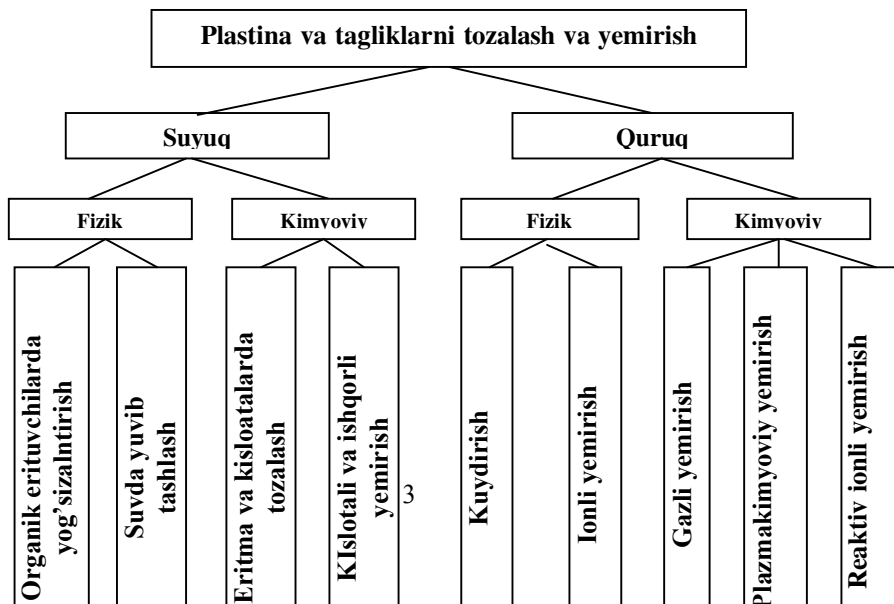
Shundan so'ng plastinalar suspenziyadan gliserinli distillangan suv yordamida yuvib tozalanadi va sirtini tozalash, sifat nazorati va o'rash operatsiyalariga uzatiladi.

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

Fizik adsorbsiyalangan iflosliklar bir nechta qatlam holatda sirtida joylashadi va toza eritgich, vakuumda kuydirish (bug'lantirish) yordamida osongina ketkaziladi.

Kimyoviy adsorbsiyada iflosliklar bilan sirt orasida kimyoviy bog'lanishlar hosil bo'ladi. Bu iflosliklar bitta qatlam holatda joylashadi va ularni ketkazish ancha murakkab bo'ladi.

Plastina va taglik sirtida bir vaqtning o'zida ko'p turdagi iflosliklar mavjud bo'ladi. Bularni yo'qotish uchun har xil turdagi tozalash va yemirish usullaridan foydalaniladi. Bu usullarning tasnifi 1.2-rasmda keltirilgan.



1.2-rasm. Plastina va tagliklarni tozalash va yyemirish usullarining tasnifi

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

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

Umuman yarim o'tkazgichli tagliklarni yuvib tozalash ikki bosqichdan tashkil topadi:

- 1) Organik eritgichlarda yog'sizlantirish (toluol, spirt).
- 2) O'ta toza (distillangan) suvda yuvish.

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

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

Tozalash jarayonlarining mexanizmi nuqtai nazari bo'yicha hamma usullar shartli ravishda fizik va kimyoviy

usullarga bo'linadi. Fizik usullarda iflosliklar oddiy eritish, kuydirish, sirtga katta energiyali inert gazlarining ionlari bilan ishlov berish bilan yo'qotiladi. Agar bu usullar yordam bermasa, unda kimyoviy usullardan foydalaniladi.

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

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

1. Platinada toza sirt hosil qilish.
2. Platinadagi mexanik buzilgan qatlamni olib tashlash.
3. Platinadan ma'lum qalinlikdagi boshlangich materialni olib tashlash.
4. Taglik sirtida kerakli joylardan boshlang'ich materialni olib tashlash.
5. Taglik sirtiga kerakli elektrofizik xossalarni berish.
6. Taglikning kristall panjarasidagi strukturaviy nuqsonlarni aniqlash.
7. Mezostrukturalar olish.
8. Gal'vanik qoplamalar o'tqazish.

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

- a) distillangan suvda va eritgichlarda yuvish.
- b) eritgichlarda ultratovush yordamida yuvish.
- v) kimyoviy yoki gazli yemirish.

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

Germaniyga kimyoviy qayta ishlov berishda asosiy eritgich sifatida azot va fluor kislotasining aralashmasi hamda

vodorod peroksididan foydalaniladi. Azot kislotasi germaniy uchun kuchli oksidlovchi hisoblanadi. Ftor kislotasi bu oksidni eritadi. Vodorod peroksidida yemirish 70 – 80°C haroratda olib boriladi. Yemirgichlarning yemirish tezligini, ya'ni kimyoviy reaksiyaning borishini boshqarish mumkin. Agar tezlatish kerak bo'lsa, brom , sekinlatish kerak bo'lsa, sirka kislotasi ma'lum miqdorda yemirgichga qo'shiladi. Germaniy (Ge) uchun eng ko'p ishlatiladigan yemirgichning tarkibi quyidagicha:

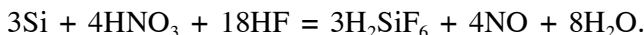


Kremniy (Si) uchun ikki turdagi yemirgichdan foydalaniladi: kislotali va ishqorli.

Kislotali yemirgich sifatida azot va ftor kislotalarining har xil tarkibidagi aralashmasidan foydalaniladi. Bunda eng katta yemirish tezligi yemirgich tarkibining quyidagi molyar nisbatida kuzatiladi:



Kremniy (Si) quyidagi reaksiya bo'yicha eriydi:



Eng yaxshi jilolovchi xususiyatlarga ega yemirgichlarda azot kislotasining miqdori ko'proq bo'ladi ($\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$ yoki $3:1$). Yemirish tezligini kamaytirish uchun asosiy kislotalarga sirka kislotasi CN_3COON (1.1-jadval) qo'shiladi.

Uayt yemirgichi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 3:1$	{111}tekisligini kimyoviy jilolash	15 s
Desh yemirgichi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CN}_3\text{COON} = 3:1:8$	Ixtiyoriy tekislikni sekond kimyoviy jilolash	1...16 soat
Yemirgich turi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$	Kimyoviy jilolash	Yemirish vaqti
SR-8	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$	Kimyoviy jilolash	1.....2 min
SR-4A	$\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CN}_3\text{COON} = 5:3:5$	Kimyoviy jilolash va <i>p-n</i> o'tishning chegarasini aniqlash	2...3 min

Kremniy uchun ishlatiladigan asosiy kislotali yemirgichlar

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

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



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

Ishqorli yemirgichlar anizotrop yemirishli xarakterga ega bo'ladi. Undan dislokasiyalar va boshqa nuqsonlarning borligini aniqlashda qo'llaniladi.

Agar kimyoviy ishlovlar berish jarayonida taglik statik (qo'zg'almas) holatda bo'lsa, taglikning sirtlari har xil yemiriladi. Bu holatni yo'qotish uchun kimyoviy-dinamik qayta ishlovdan foydalaniladi. Bunda taglik aylantirib, yemirgich aktiv aralashtirib turiladi.

Plastina va tagliklarning sifatini nazorat qilish

Plastina va tagliklarni tayyorlash texnologik jarayonlarida ishlov berilayotgan ob'ektlarning nazorati hamma mexanik operatsiyalarda o'tkaziladi.

Jilvirlash operatsiyasidan keyin plastina qalinligining aniqligi $\pm(2-5)$ mkm dan oshmasligi kerak. Qalinlik FIP-2 qurilmasi, induktiv datchiklar yordamida aniqlanadi. Keyingi vaqtlarda geometrik parametrlar kontaktsiz usullar yordamida nazorat qilinmoqda. Bunda plastina va tagliklarga mexanik ta'sirlar o'tkazilmaydi. Mahsulotlarning geometrik

parametrlari UKTP-1, SPT-1, ST-100 kabi qurilmalar yordamida avtomatik nazorat qilinadi.

Ko'pincha mahsulot sifati quyidagi asosiy mezonlar asosida baholanadi.

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

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

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

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

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

- 1) nurlanuvchi nuqtalar usuli;
- 2) tomchi usuli, yoki ho'llanishning chegara burchagini o'lchash;
- 3) tribometrik usul;
- 4) yuvuvchi eritmalarni nazorat qilish usuli;
- 5) yuvuvchi suvning solishtirma qarshiligini o'lchash usuli.

1.4. Kristallarning yuzasiga vakuumda ishlov berish (silliqlash va tozalash)

Vakuumda sindirib olingan yoki epitaksial usul bilan olingan kristallarning yuzasida silliqlash olib borilmaydi; ammo ularning tozaligini va 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 nuqsonlarga ega bo'lgan yuza bu

kristallardan qirqib olingan shaybalarning yuzasidir. Bunday shaybalar avvaliga shlifovka, keyin esa silliqlanadi. **Shlifovka shishaning yuzida** maxsus, har xil diametrli ($d=1-10\text{mkm}$) kukunlarga shaybani ishqalashdan iborat jarayondir. **Polirovka esa maxsus pasta** (olmos pastasi, goya pastalari) yordamida shlifovka qilingan shaybani tig'iz yumshoq materiallarga (zamsh) ishqalash orqali amalga oshiriladi. Ayrim hollarda maxsus eritmalardan tok o'tkazish orqali kristallning yuzasi elektropolirovka qilinadi. Bunday shaybalarni keyingi tozalash ularga yuqori vakuum ($P \leq 10^{-6} \text{ Pa}$) sharoitida harorat ta'sirida, lazer nurlari, elektronlar bilan bombardimon qilish va boshqa usullar bilan ishlov berish orqali amalga oshiriladi. Ayrim hollarda yuzalarni qiyin tozalanadigan aralashmalardan tozalash uchun unga inert gaz ionlari bilan ishlov berilib, keyin yuqori haroratgacha qizdiriladi. Ko'p hollarda ion bilan ishlov berish va harorat ta'sirida qizdirish ketma-ket, o'nlab marta qaytarilishi mumkin.

Yuza qatlamlardagi o'zgarishlarga (nuqsonlarga), relaksasiya va rekonstruksiya tashqari kristalda mavjud bo'lgan dislokasiyalar ham ta'sir qiladi. Dislokasiyalarning quyidagi turlari mavjud: 1) chekkali dislokasiya; 2) buramali dislokasiya; 3) egri chiziqli dislokasiya va 4) aralashmali dislokasiya.

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

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.

Kimyoviy tarkibi

Bunda qattiq jism yuzasidagi har qanday chetki aralashmalarni yo'qotishga harakat qilinadi; lekin bizga ma'lumki, adsorbsiya hisobiga yoki qattiq jism tarkibida ozgina miqdorda bo'lsa ham, aralashmalarning mavjudligi tufayli chetki (begona) element atomlaridan tamoman qutilib bo'lmaydi. Agar chetki atomlarning konsentrasiyasi qattiq

jism xossalari va xususiyatlariga ta'siri sezilmaydigan darajada kichik bo'lsa, bunday yuzalar kimyoviy jihatdan ideal holga yaqinroq deb qabul qilinadi. Umuman yuzada aktiv element atomlarining miqdori 0,1% dan katta bo'lmasligi maqsadga muvofiqdir.

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 va 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.

Kristall tuzilish

Relaksasiya va rekonstruksiya hisobiga yuza qatlamlarining kristall tuzilishi hajmnikidan farq qiladi. Umuman olganda, yuzaning kristall panjarasini va bu panjara parametrlarini hajmniki 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 kam qo'llaniladi.

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

v) kristallarni kerakli yo'nalish bo'ylab kesish. Bu usulda yuza juda qattiq deformasiyaga uchraydi va yuzaga xar hil chetki atomlar kelib o'tirishi mumkin; shuning uchun ularni silliqlash va tozalash uchun maxsus usullar ishlatiladi.

g) maxsus tayyorlangan asoslar yuzida epitaksial plyonkalar xosil qilish.

Epitaksial plyonkalar juda yuqori vakuum sharoitida ($P \leq 10^{-8}$ 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.

II. QATTIQ JISM YUZALARINING TUZILISHI

2.1. Uch o'lchamli kristallarda atomlarning joylashishi

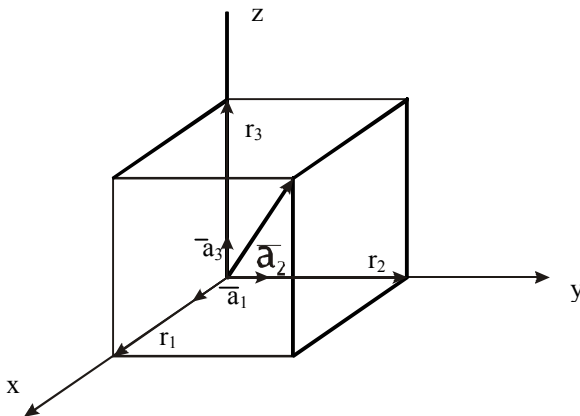
Har qanday qattiq jism kristalini "ma'lum bir tartibda joylashgan uch o'lchamli panjara" deb qarash mumkin. "Bunday panjaraning tugunlarida atom (yadro)lar joylashgan" deb tasavvur hilamiz. Bunday tugun orasidagi masofa $1 - 5 \text{ \AA}$ atrofda bo'lishi mumkin. Bitta yo'nalishdagi tugunlar (atomlar) 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 kristalining hamma tugunlarida Si atomlari joylashgan bo'ldi, GaAs kristalida esa bitta tugunda Ga joylashsa, boshqa tugunda As joylashadi. Eng sodda panjara vektorlarini $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ deb, r_1, r_2, r_3 larni butun sonli koeffitsientlar deb olsak (2.1-rasm), u holda har handay atomning holatini quyidagi formula bilan ifodalash mumkin:

$$\vec{R} = r_1 \cdot \vec{a}_1 + r_2 \cdot \vec{a}_2 + r_3 \cdot \vec{a}_3 \quad (2.1)$$

$\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ – birlik vektorlar

r_1, r_2, r_3 – butun sonli koeffitsientlar



2.1-rasm. Sodda panjaraning chizma holatdagi ko'rinishi

Sodda panjara vektorlaridan tashkil etilgan parallelepiped panjaraning sodda elementar yacheykasini tashkil hiladi. Sodda 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'ldi, 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 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 **goloedrik nuqtaviy guruhlar** deb ataladi. Har bir goloedrik guruhga bittadan kristall sistema to'g'ri keladi. 7 xil kristall sistema mavjud bo'lib, ular **14 tipdagi** har xil panjaralarni tashkil etadi. Bu panjaralar **Brave panjaralari** deb ataladi. Ular 2.1-jadvalda berilgan.

2.1-jadval.

Uch o'lchamli kristallarning simmetriya bo'yicha guruhleri

N	Kristall tizim	Brave panjara
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

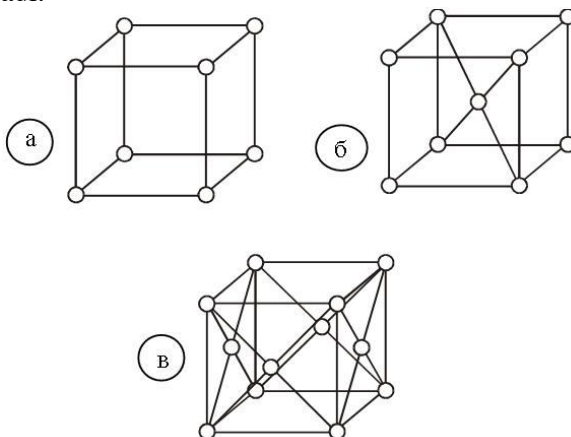
Jadvaldan ko'rinadiki, har bir sistema uchun bitta yoki bir necha Brave panjarasi to'g'ri keladi.

Translyasion simmetriyadan tashqari kristall panjaralar boshqa simmetriya xossalari bilan ham xarakterlanadi. Bular **yo'nalishlarning nuqtaviy** 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 (2.2-rasm). Qattiq jism kristallini "parallel joylashgan kristallografik tekisliklardan iborat sistema" deb qarash mumkin. Masalan, sodda yacheykaning asoslari shunday tekisliklarni tashkil qiladi. Bunday tekisliklarni **atomlar qatlami** deb ham ataymiz.

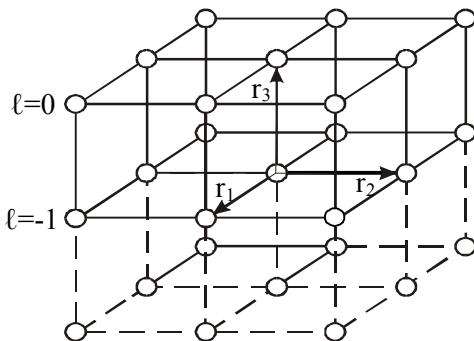
Umuman kristallofizikada elementar yacheyka asoslarini tashkil qilgan qatlamlar elementar atom qatlamlari deb ataladi.



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

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 va **yuza qatlam 0-qatlam** deb belgilanadi. Elementar qatlamlarni *l* harfi bilan belgilaymiz. Yuza qatlam uchun $l=0$, yuza osti qatlami uchun $l = -1$ va hokazo. (2.3-rasm). Elementar qatlamlar orasiga yonaki qatlamlar ham joylanishi 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, sodda yacheykaning uch o'lchamli qirralarida yotmagan atomlar yonaki qatlamlarni tashkil qiladi. Bu atomlarning o'zni vertikal' o'q bo'yicha aniqlanadi. Masalan, qattiq jism 2 xil turdagi atomdan tashkil topgan bo'lsa, yonaki qatlam atomlar o'zni quyidagicha aniqlanadi:



2.3-rasm. Qattiq jismning elementar qatlami

$$n = f_3 + \tau_2 \quad (2.2)$$

n xil atom bo'lsa, u n xil atomning o'zni $f_3 + \tau_n$ 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 va n orqali kerakli tekislikni aniqlab olamiz. Undan keyin bu atomning o'zni 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:

$$\vec{R} = s_1 \cdot \vec{f}_1 + s_2 \cdot \vec{f}_2 + \ell \cdot \vec{f}_3 + \tau_n \quad (2.3)$$

ℓ - elementar kristall qatlamlarning nomeri.

n - yonaki qatlamlar nomeri.

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

$\tau_n - Z$ 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, U, Z o'qlari bo'ylab qo'shni elementar yacheylalarda joylashgan atomlar orasidagi masofa.

2.2. Qattiq jism yuzasida atomlarning siljishi

Agar yuza qatlamdagi joylashgan atomlarning o'rni hajmda joylashgan atomlar o'rni bilan ustma-ust tushsa, bunday sirtlar ideal sirtlar deyiladi. Yuza qatlam uchun: $\ell = 0, n = 0, \tau_1 = 0$

Eng yuza (sirtki) qatlamda elementar qatlam va birinchi yonaki qatlam ustma-ust tushadi; shuning uchun ular orasidagi masofa $\tau_1 = 0$ bo'ladi.

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

$$\vec{R} = s_1 \cdot f_1 + s_2 \cdot f_2 \quad (2.4)$$

Lekin amalda xech qachon yuza qatlamdagi atomlar o'z o'rnida hajmda joylashgan atomlar bilan ustma-ust tushmaydi. Chunki 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- 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

xususiyatlariga 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 **$\mathbf{R}'_s(S_1, S_2)$ deb**, dastlabki holatini esa **$\mathbf{R}_s(S_1, S_2)$ deb** belgilasak, ular orasidagi bog'lanishni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\bar{R}'_s(S_1, S_2) = \bar{R}_s(S_1, S_2) + \Delta R_s(S_1, S_2)_2 \quad (2.5)$$

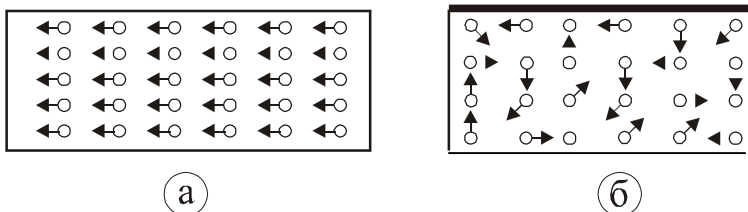
Bu erda: ΔR_s –yuza qatlamning vujudga kelishida atomlarning siljish kattaligini ifodalaydi. Yuzadan pastki qatlamlarga o'tilgan sari ΔR_s ning qiymati kamayib boradi:

$\ell \rightarrow \infty$ bo'lsa $\Delta R_s \rightarrow 0$.

Translyasion 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 relaksasiya hodisasi deyiladi.** Bunday siljishda yuzadagi barcha ekvivalent atomlar bir xilda siljiganligi uchun translyasion simmetriya o'zgarmaydi (2.4 – rasm). Demak, bu holda bazis vektorlari o'zgaradiyu, panjara vektorlari o'zgarmasdan qolaveradi.

2. **Agar yuza qatlamdagi atomlar kattaligi jihatdan ham, yo'nalishi jihatdan ham har xil siljisa, bunday siljish (hodisa) rekonstruksiya deb ataladi.** Bunday holda har xil elementar yacheykalardagi ekvivalent atomlar har xil tomonga va har xil masofaga siljiydi; natijada translyasion simmetriya o'zgaradi. Ya'ni bazis vektori ham, panjara vektori ham o'zgaradi (2.4-rasm).



2.4-rasm. *Relaksasiyalangan (a) va rekonstruksiyalangan (b) yuza qatlamlar.*

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

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

b) Qattiq jisim yuzasining vakuum chegarasidagi nuqsonlar: alohida atomlar; sirtiy pog'onalar, terrasalar, har xil orientirlangan bir xil tipdagi domenlar, g'adirdurliklardan iborat qatlam kuchlanganligi va boshqalar.

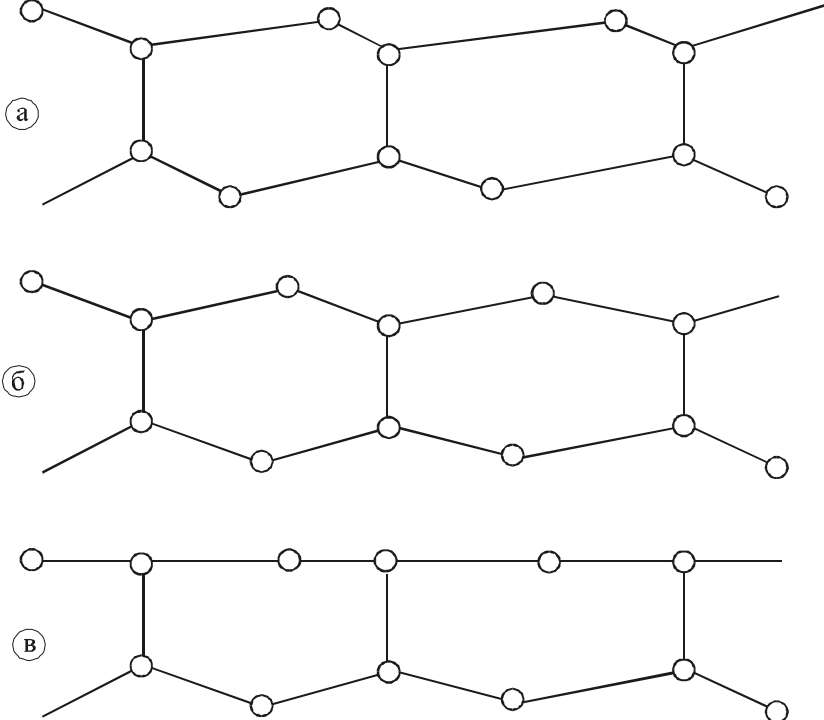
2.3. Kremniy va arsenid galliy monokristallarining yuzasida atomlarning joylashishi

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 kremniy va arsenid galliy 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.

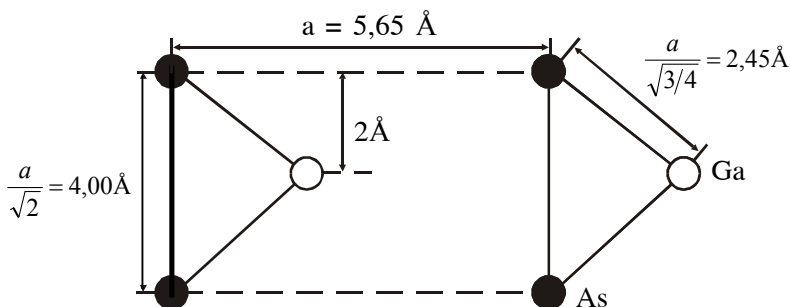
1. Si monokristallarining yuzasi.

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 1170K 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 relaksasiyalangan (ma'lum bir tartibda siljigan) bo'ladi. Bu siljish kattaligi eng yaxshi sharoitda $0,12 - 0,16 \text{ \AA}$ ekanligi aniqlangan. 2.5-rasmda Si (111) monokristalining ideal yuzasi, birinchi qatlami relaksasiyalangan, birinchi va ikkinchi qatlamlari relaksasiyalangan hollar uchun to'g'ri keladigan shakllar keltirilgan.



2.5 – rasm. Si (111) yuzasi (1x1) yacheykasining geometrik ko'rinishi: a – ideal sirt; б – birinchi qatlam relaksasiyalangan; B – birinchi va ikkinchi qatlam relaksasiyalangan;

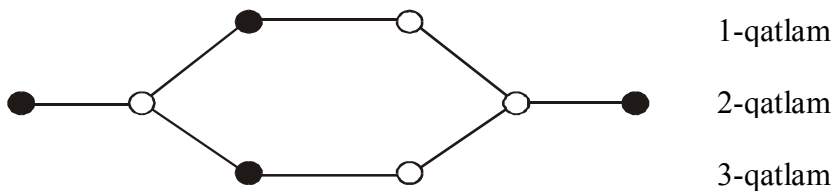
Arsenid galliyning kristall va elektron tuzilishi kremniy va germaniydan farqli ravishda ikki xil atomlardan: arsenid va galliy atomlaridan tashkil topgan. Bu atomlar orasidagi bog'lanish faqatgina kovalent emas, qisman ionli hamdir. Yuqori vakuumda sindirilgan arsenid galliyning yuza qismida atomlar joylashishi juda ko'p xollarda hajmniki bilan bir xil bo'ladi, ya'ni 1×1 tuzilishni beradi. Arsenid galliy (111) va (100) ning yon sirtlari yuzalari bir xil atomlardan: yoki Ga dan yoki As dan iborat bo'ladi. Demak, bu yo'nalishlar uchun yuzaning birinchi qatlamida galliy, ikkinchi qatlamida margimush, uchinchi qatlamida yana galliy joylashgan bo'ladi. Arsenid galliyning (110) yo'nalishiga mos keluvchi sirtida har bir qatlamning o'zida galliy va margimush atomlari galma-gal almashinib keladi. CaAs (100) kristaliga tepa tomondan qaraganda atomlarning joylanishi 2.6-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi.



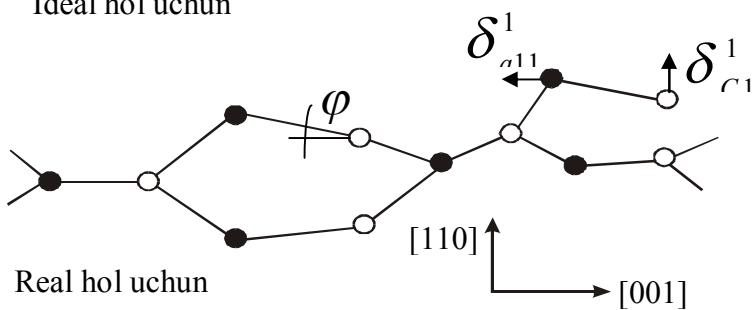
2.6 – rasm. GaAs (110) yon sirtining tepasidan ko‘rinishi

Biz bilamizki, elementar yacheyka hajmiy kristallar uchun parallelepiped ko‘rinishga ega bo‘lsa, sirt uchun to‘rt burchak shaklga 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 (elementar yacheyka turgan margimushning har bittasi 0,25 ga teng).

GaAs (110) kristali yuza qismidagi uchta qatlamda atomlarning joylashishi ideal va real xol uchun 2.7-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 uchun ham ko‘p hollarda juda kuchli bo‘ladi. Shuning uchun kristall panjaraning kuchli rekonstruksiya ro‘y bermaydi. Ammo ozroq bo‘lsa ham relaksasiya va rekonstruksiyaning mavjudligi, GaAs yuza qismi elektron tuzilishining "hajmiy" elektron tuzilishidan farq qilishiga olib keladi.



Ideal hol uchun



Real hol uchun

2.7 – rasm. GaAs (100) yuzasidagi 3 ta qatlamda atomlarning joylashish sxemasi

Adabiyotlar

1. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. Под ред. Н.Д. Федорова – М.: Радио и связь, 1998.
2. Технология тонких плёнок. Под ред. Л.Майселла, Р. Глэнгл. I и II т. – М.: Радио, 1997.
3. Физика тонких плёнок. Под ред. Г.Хасса. IV и V. – М.: Мир, 1972.
4. Молекулярно – лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под ред. Л. Ченга. К.Полса. – М.: Мир, 1989.
5. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е., Ражаббаев Р.Р. Каттик жисм сиртларининг иккиламчи электрон спектроскопияси: Ўқув ўлланма. – Т.: Конструктор, 1993.
6. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е., Пармонкулов И.П. Электрон техника махсулотлари ва қурилмалари технологияси. Дарслик – Т.: Мехнат, 2005.
7. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение гениальной идеи.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004.
8. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А. Электронная спектроскопия наноплёнок и наноструктур, созданных ионной имплантацией. – Т.: ТашГТУ, 2004.
9. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. 3-е изд. – М.: ЛБЗ, 2002.
10. Нанотехнологии в электронике. Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: Техносфера, 2005.
11. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. – М.: Логос, 2006.
12. www.membrana.ru, www.new-garbage.com,
www.stalinit.com, www.ntpo.com, www.vacuumtex.com

MUNDARIJA

I. Epitaksial qatlamlarni o'stirish usullari to'g'risida umumiy ma'lumotlar	3
1.1. Elektron asboblarning rivojlanishida yupqa qatlamlarning ahamiyati.....	3 5
1.2. Epitaksiyaning turlari, o'stirish usullari.....	7
1.3. Tagliklarni tayyorlash.....	17 20
1.4. Kristallarning yuzasiga vakuumda ishlov berish (silliqlash va tozalash).....	20 24
II. Qattiq jism yuzalarining tuzilishi.....	26
2.1. Uch o'lchamli kristallarda atomlarning joylashishi.....	30 30
2.2. Qattiq jism yuzasida atomlarning siljishi.....	34
2.3. Kremniy va arsenid galliy monokristallarining yuzasida atomlarning joylashishi.....	36 38
III. Yuqori vakuum sharoitida epitaksial plyonkalarini hosil qilish usullari.....	45 45
3.1. Molekulyar-nurli epitaksiya.....	55
3.2. Qattiq fazali va reaktiv epitaksiya.....	57
3.3. Ionli aktivlashtirish usuli bilan qattiq jism yuzalarida yupqa plyonkalar hosil qilish.....	60 62 62
3.4. Ion implantasiya usuli bilan yuzalarni modifikatsiya qilish va yupqa plyonkalar olish istiqbollari.....	66
IV. Yupqa qatlamlarni o'stirish bosqichlari.....	67 72

4.1. Yupqa qatlamlarda markazlar (o'simtalar) hosil bo'lish nazariyasi.....	74
.....	74
4.2. Epitaksial plyonkalar olishning bosqichlari o'sish kinetikasi.....	79
.....	79
4.3. Polikristall plyonkalarining o'sish jarayonida nuqsonlarning vujudga kelishi.....	82
4.4. Monokristall plyonkalardagi nuqsonlar.....	84
V. Kremniy yuzasida epitakcial plyonkalar o'stirish	89
5.1. Kremniy yuzasida kremniy o'stirish (avtoepitaksiya)....	94
5.2. Kremniy epitaksial qatlamlarida kristallografik nuqsonlar.....	100
.....	
5.3. Kremniy monokristali yuzasida CoSi_2 ni epitaksial o'stirish.....	
.....	
5.4. MNE va QFE usullarining afzalliklari va kamchiliklari	
VI. Uch qatlamli metall-yarim o'tkazgich-dielektrik geteroepitaksial tizimlar.....	
6.1. Kubik panjarali materiallarni epitaksial o'stirish.....	
VII. Ikki komponentli yarim o'tkazgichlarni epitaksial o'stirish.....	
7.1. Molekulyar nurli epitaksiyasi (MNE) usuli bilan GaAs plyonkasini o'stirish.....	
7.2. GaAs va uning birikmalarini metalloorganik birikmalar asosida gaz fazali epitaksial o'stirish.....	
7.3. MNE usulida $\text{A}^{\text{II}}\text{V}^{\text{VI}}$, $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ birikmalarni va ularning qattiq eritmalarini yaratish.....	

7.4. MNE usulida $A^{II}V^{VI}$ birikmalarni va ularning qattiq birikmalarini yaratish..... 7.5. Epitaksial qatlamlar yuzasida kontaktlar hosil qilish.... Adabiyotlar..... 	
---	--