

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS

TA’LIM VAZIRLIGI

QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI

ISMOILOV DAVRON MAXMADALIYEVICH

**“YUPQA QATLAMLI STRUKTURALAR OLISH VA ULARNING
XUSUSIYATLARINI O‘RGANISH”**

5A140202-fizika (yo‘nalishlar bo‘yicha)

MAGISTR

Akademik darajasini olish uchun yozilgan dissertatsiya

**Ilmiy raxbar
prof. A. Q. Tashatov**

Qarshi-2013 y

MUNDARIJA

KIRISH	3
I BOB. ADABIYOTLARNING QISQACHA TAHLILI	6
1.1. Kremniy monokristallini olish texnologiyasi	6
1.2. Arsenid galliy monokristallarini olish texnologiyasi	11
1.3. Metalloorganik birikmalar asosida gaz fazali epitaksiya usuli	13
1.4. Himoyalashda qo'llaniladigan dielektrikli yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi	15
1.5. Magistrlik dissertatsiyasining asosiy vazifalari	25
II BOB. YUQORI VAKUUM SHAROITIDA YUPQA PLENKALAR OLISH USULLARI VA QURILMALARI	26
2.1. Yupqa plenkalar olish uchun tagliklarni tayyorlash	26
2.2. Yupqa plenkalarini olish usullari va qurilmalar	29
2.2.1. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazish	29
2.2.2. Molekulyar-nurli epitaksiya (MNE)	34
2.2.3. Qattiq fazali epitaksiya (QFE) va reaktiv epitaksiya (RE)	40
2.2.4. Ion implantasiya usuli	42
2.2.5. Ionli aktivlashtirish usuli bilan qattiq jism yuzalarida yupqa plyonkalar hosil qilish	48
III BOB. YUPQA PLENKALARNING XUSUSIYATLARI	51
3.1. Molekulyar nurli epitaksiya (MNE) usuli bilan hosil qilingan plyonka va asos (matritsa) orasidagi chegaraviy qatlam	51
3.2. Qattiq fazali epitaksiya (QFE) usuli bilan olingan plyonka va asos orasidagi chegaraviy qatlam	58
3.3. Kichik energiyali ion implantatsiyaning nanomateriallarni olishdagi imkoniyatlari	62
XULOSA	67
ADABIYOTLAR RO'YXATI	68

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi: Barcha zamonaviy elektron asboblari va qurilmalar, jumladan diodlar, tranzistorlar, integral mikrosxemalar (KIS, UKIS, GIS), turli xil lazerlar, axborotlarni yig'ish, qayta ishlash va uzatish qurilmalarining asosiy elementi sifatida yupqa va o'ta yupqa plenkalar va tizimlar qo'llaniladi. Bunday plenkalar olish va ular asosida ko'p qatlamli tizimlar hosil qilishda o'nlab an'anaviy usullar qo'llaniladi. Ko'p qatlamli geterotizimlarda asosan epitaksial o'stirilgan plenkalar qo'llaniladi. "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 ta turi ma'lum:

1. Avtoepitaksiya – taglikda uning strukturasi bilan bir xil bo'lgan moddaning o'stirilishi bo'lib, ular bir biridan kirishmalarining konsentratsiyasi bilangina farq qiladi.

2. Geteroepitaksiya - taglik yuzasida uning tarkibidan boshqa bo'lgan moddaning o'stirilishi.

3. 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'tqazilayotgan moddadan farq qiladi.

O'sayotgan qatlamning hosil bo'lish jarayonida kechadigan fizik-kimyoviy xodisalarining 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 rekristalizatsiya yo'li bilan olinadigan suyuq fazali epitaksiya.

O'ta yupqa va noyob xususiyatli plenkalar asosan yuqori vakuum sharoitida olinadi. Shuning uchun ushbu magistrlik dissertatsiyasining asosiy maqsadi yupqa plenkalarini o'ta yuqori vakuumda olish usullari va qurilmalari bilan tanishishdir.

Ishning maqsadi: O'ta yupqa va noyob xususiyatli plenkalar asosan yuqori vakuum sharoitida olinadi. Shuning uchun ushbu magistrlik dissertatsiyasini asosiy maqsadi yupqa plenkalarini o'ta yuqori vakuumda olish usullari va qurilmalari bilan tanishish hamda tadqiqotlar o'tkazish.

Vazifalari:

- Si va GaAs monokristalini olish texnologiyasini o'rganish;
- epitaksiya turlarini va qurilmalarini o'rganish;
- yupqa plyonkalar olish usullarini mukammal tahlil qilish;
- ko'p komponentli tizimlar hosil qilishni o'rganish;
- CoSi₂ plyonkasini hosil qilishning optimal texnologik sharoitini aniqlash va uni tadqiqot qilish;

- turli usullar bilan olingan plyonkalarni qiyosiy tahlil qilish;

Tadqiqot ob'ektlari: Molekulyar-nurli epitaksiya, qattiq fazali epitaksiya, va kichik energiyali ionlar implantatsiyasi usullari bilan olingan Si, CoSi₂, GaAs, CaF₂ plenkalarini.

Tadqiqot uslublari: O'ta yupqa plyonkalar olishda molekulyar nurli epitaksiya va kichik energiyali ion-implantatsiya usullari qo'llanilgan. Olingan plyonkalar tarkibi, tuzilishi va xossalarini tekshirish uchun quyidagi usullar qo'llanilgan; fotoelektron spektroskopiyasi, oje-elektron spektroskopiyasi va elastik qaytgan elektronlar spektroskopiyasi.

Ishning ilmiy yangiligi: shundan iboratki, unda ilk marta:

- Termik qizdirishning turli bosqichlarida yupqa plyonkalar tizimining element va kimyoviy tarkibi o'rganilgan;

- CoSi₂ plyonkalarini Si yuzasiga molekulyar nurli epitaksiya va kichik energiyali ion-implantatsiyasi usulida olish jarayonlari atroflicha tekshirilgan.

Tadqiqot usullari: Oje-elektron spektroskopiya, katta energiyali elektronlar difraksiyasi, rastrli elektron mikroskopiya.

Amaliy ahamiyati: Yupqa plenkalar elektron texnika sohasida diodlar, tranzistorlar, integral mikrosxemalar olishda keng qo'llaniladi.

Nashrlar:

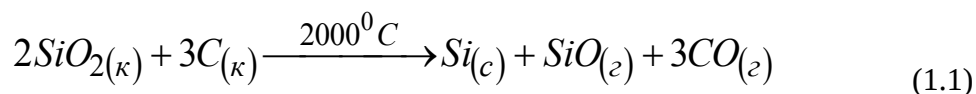
Hajmi va ishning strukturasi: Dissertatsiya kirish, uchta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Umumiy xajmi ____ bet, ____ rasmdan va ____ adabiyotlar ro'yxatidan iborat.

I BOB. ADABIYOTLARNING QISQACHA TAHLILI

1.1. Kremniy monokristallini olish texnologiyasi

Yarim o'tkazgichli kremniy monokristallini olish texnologiyasi quyidagi asosiy bosqichlardan tashkil topadi [1 – 3]: 1) texnik kremniy olish; 2) texnik kremniyni oson qaytariladigan uchuvchan birikmaga aylantirish; 3) birikmani tozalash va qaytarish hamda undan kremniyning polikristall sterjenlarini hosil qilish; 4) kristallash usuli bilan kremniyni yakuniy tozalash (tigelsiz zonali eritish); 5) legirlangan monokristallarni o'stirish (Choxralskiy usuli bilan).

1.1 – rasmda kremniy ishlab chiqarishning asosiy bosqichlarining sxemasi keltirilgan. Texnik kremniy olish uchun kremniy dioksidi (SiO_2) uglerod (S) bilan qaytariladi. Bu jarayon elektr yoyli pechlarda grafitli elektrodlar yordamida o'tkaziladi. Pech eng toza navli kvars qumi va ko'mir, koks va yog'och payrahasi ko'rinishidagi uglerod aralashmasi bilan to'ldiriladi. Elektr tokining ta'sirida bu aralashma 2000°C gacha qizdiriladi va natijada umumiy ko'rinishi quyidagicha bo'lgan reaksiya ketadi:



Bunday yo'l bilan hosil qilingan texnik kremniyning tarkibi: $98 \div 99\%$ Si, $1 \div 2\%$ (Fe, Al, B, P, Ca, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Ti, V va boshqalar) dan iborat bo'ladi.

Polikristall kremniy olishning zamonaviy texnologiyasi trixlorosi-lanni vodorod bilan qaytarilishiga, kremniy tetraxloridini rux bilan qaytarilishiga va monosilanni piroliz qilishga asoslangan. Kremniyning 80% ga yaqini trixlorosilanni (TXS) vodorod bilan qaytarish (tiklash) yo'li bilan olinadi.



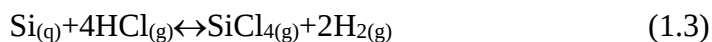
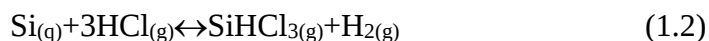
1.1 – rasm. Yarim o‘tkazgichli kremniyni ishlab chiqarishning texnologik sxemasi

Bu jarayon quyidagi afzalliklarga ega: TXS hosil qilishning osonligi va tejamkorligi, TXSni tozalashning samaradorligi, kremniyni ajratib olish va o‘tqizish tezligining yuqoriligi (kremniy

tetraxlorididan foydalanilganda kremniyning ajralishi 15% ni, TXSdan foydalanilganda esa eng kami bilan 30% ni tashkil qiladi), mahsulot tannarxining kamligi.

Trixlorosilan kremniyni gidroxlorlash yo'li bilan hosil qilinadi: bunda texnik kremniy $260^{\circ}\div 400^{\circ}\text{C}$ temperaturada xlorid kislotasi bilan ta'sir ettiriladi.

Kremniyning xlorosilanlarini olish reaksiyalari qaytariluvchan va ekzotermik bo'ladi:



300°C dan yuqori bo'lgan temperaturada reaksiya mahsulotlarida TXS bo'lmaydi. TXSning chiqish miqdorini oshirish uchun jarayonning temperaturasi kamaytiriladi. Bu esa (1.3) reaksiyaning tezligini anchaga sekinlashtiradi. (1.2) reaksiyaning tezligini oshirish uchun katalizatorlardan (mis, temir, alyuminiy va boshqalar) foydalaniladi. Masalan, boshlang'ich kremniyga 5% gacha mis kiritilsa reaksiya mahsulotlarida 265°C temperaturada TXSning miqdori 95% ga etadi.

TXSning sintezi «qaynovchi» qatlamli reaktorda olib boriladi. Bunda zarrachalarining o'lchamlari 0,01 – 1 mm bo'lgan texnik kremniyning kukuni uzluksiz ravishda tepadan berib turiladi.

TXS sintezi jarayonida hosil bo'lgan bug'simon aralashma sovutish zonasiga o'tadi va u bu erda tezda $40\text{--}130^{\circ}\text{C}$ gacha sovutiladi. Natijada har xil kirishmalarning qattiq zarrachalari (temir, alyuminiy va boshqa xloridlar) chang ko'rinishda ajraladi va reaksiyaga kirishmay qolgan kremniy hamda polixloridlar ($\text{Si}_n \text{Cl}_{2n+2}$) bilan birgalikda filtrlar yordamida ajratib olinadi. Changdan tozalangandan so'ng bug'gazli aralashma -70°C da kondensatsiya qilinadi. Bunda TXS SiHCl_3 va tetraxlorosilan SiCl_4 (qaynash temperaturalari mos holda $31,8$ va $57,2^{\circ}\text{C}$) vodoroddan va HCl dan (qaynash temperaturasi 84°C) ajratiladi. Kondensatsiya natijasida olingan aralashma asosan 90 – 95 % gacha TXSdan tashkil topadi. Qolganlari kremniyning tetraxloridi bo'lib, u rektifikatsiya usuli yordamida ajratiladi [4, 5].

Hosil qilingan TXSda katta miqdorda aralashmalar mavjud bo'lib, bulardan tozalash o'ta murakkab jarayondir. Tozalashning rektifikatsiya usuli eng samarador usul hisoblanadi, lekin bu usul bilan hamma kirishmalardan tozalab bo'lmaydi. Shu sababli chuqurroq tozalash uchun qo'shimcha tadbirlardan foydalaniladi. Masalan, kristallizatsiya usullari bilan TXSni bor, fosfor, ugleroddan keraklicha tozalash qiyin. Tozalashning effektivligini oshirish uchun bu mikroaralashmalar uchmaydigan yoki kompleksli birikmalarga aylantiriladi. Bordan tozalash uchun, masalan, TXS bug'lari 120°C da alyuminiy payrahasi orqali o'tkaziladi. Payrahaning

sirti borni yutib, TXSni bordan butunlay tozalaydi. Alyuminiydan tashqari kumush, mis yoki surmadan ham foydalanish mumkin.

Fosfordan tozalash uchun TXS xlor bilan to'yintirilib fosforuchxloridi pentaxloridga aylantiriladi. Qorishmaga alyuminiy xloridi qo'shilganidan so'ng uchmaydigan birikma $\text{PCl}_5 \cdot \text{AlCl}_3$ hosil bo'ladi. U esa rektifikatsiya bilan chiqarib yuboriladi.

Tozalangandan so'ng TXSda mikrokirishmalarning qoldiq miqdorlari massa bo'yicha: bor uchun - $3 \cdot 10^{-8}$, fosfor uchun - $1 \cdot 10^{-7}$, mishyak uchun - $5 \cdot 10^{-10}$, uglerod uchun (uglevodorodlar ko'rinishida) - $5 \cdot 10^{-7} \%$ dan oshiq bo'lmasligi kerak.

Namunalarni elektr o'lchashda donorlarning qoldiq miqdori n-turli kremniylarda solishtirma qarshilikning 5000 Om·sm dan, p-turli kristallarda akseptorlarning qoldiq miqdori 8000 Om·sm dan kam bo'lmasliklarini ta'minlashi kerak [6 – 10].

Yuqori tozalikdagi kremniyni olish uchun polikristall sterjenlar vakuumda zonali eritish usuli yordamida kristallizatsiyali tozalashdan o'tkaziladi.

Kremniy monokristallarini ishlab chiqarish asosan Choxralskiy usuli bilan (elektron sanoati talabining 80 - 90% ga yaqini) va kamroq miqdorda tigelsiz zonali eritish usuli bilan amalga oshiriladi.

Kremniy monokristallarini Choxralskiy usuli bilan o'stirish kirishmalardan maxsus tozalangan argon oqimida $\sim 10^4$ Pa past bosimda amalga oshiriladi. Past bosimda o'stirilganda kremniy eritmasidan uchuvchan kirishmalarning uchib chiqib ketishi osonlashadi.

Kerakli solishtirma qarshilikli n- yoki p- turli monokristall hosil qilish uchun boshlang'ich polikristall kremniy yoki eritma mos holda legirlanadi. Qozonga solinadigan polikremniyga mos elementlar (P, B, As, Sb va boshqalar) yoki ularning kremniy bilan qotishmasi kiritiladi. Bu esa legirlashning aniqligini oshiradi.

Choxralskiy usuli bilan hosil qilinadigan kremniy monokristallarining asosiy qismi integral mikrosemalar ishlab chiqarishda foydalaniladi, ozgina qismi (2 %) quyosh elementlarini tayyorlashga sarf bo'ladi [11].

Tigelsiz zonali eritish usuli bilan kremniy kristallarini o'stirish ichki diametri boshlang'ich polikristall sterjeni va kristalldan kichik bo'lgan bir o'ramli induktor asosida amalga oshiriladi. Hozirgi zamonaviy tizimlarning deyarli hammasida induktor statsionar holatda bo'ladi, polikristall sterjen va o'sayotgan kristall esa siljtiladi. Tigelsiz zonali eritish usulida kristallarni o'stirish tezligi Choxralskiy usuliga qaraganda ikki marta katta, lekin texnik qiyinchilik sababli kremniy kristalining diametri (~ 150 mm) Choxralskiy usuli bilan olinadigan kristall diametridan kichik bo'ladi.

Tigelsiz zonali eritish usuli bilan olinadigan kremniy monokristallari ishlab chiqarilayotgan kremniy monokristallari umumiy hajmining 10 % ni tashkil qilib, asosan diskret asboblari, ayniqsa katta quvvatli tiristorlar tayyorlash uchun sarflanadi [12 – 15].

1.2. Arsenid galliy monokristallarini olish texnologiyasi

Texnologik siklning birinchi bosqichida arsenid galliy – GaAs ning polikristali galliy va mishyak komponentlarining qotishmasi holida sintez qilinadi. Bunda galliy eritmasi mishyak bug'i bilan ta'sir ettiriladi. Ko'pincha arsenid galliyning sintezi natijasida hosil qilinadigan polikristallni monokristallga aylantirish bitta texnologik qurilmada amalga oshiriladi. Mishyak komponenti oson uchuvchan bo'lgani uchun galliy va mishyakni bir-biriga himoya qatlami ostida eritilgan holatda qo'shiladi. Himoyalovchi qatlam quyidagi talablarni qanoatlantirishi kerak: GaAs ning erish temperaturasi kimyoviy barqarorlik; GaAs ga qaraganda zichligi kam; GaAs eritmasi bilan aralashmaslik; unda mishyak bug'larining erimasligi; kristallni o'stirishda monokristallning murtakdan o'sish jarayonini nazorat qilish uchun bu qatlam shiffof bo'lishi. Bu talablarning ko'pchiligiga bor oksidi - B_2O_3 (yumshash temperaturasi $600\text{ }^{\circ}\text{C}$) asosidagi himoya qatlami javob bera oladi. Biroq $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ da eriydigan mishyak kuchsiz bo'lsa ham B_2O_3 da eriydi. Bu esa mishyakning isrof bo'lishiga sabab bo'ladi. Bu isrofnı kamaytirish uchun himoya qatlamining ustida inert gazning yuqori bosimi hosil qilinadi [16, 17].

Kvarsli tigelga Ga va As aralashmasi solinadi. Bunda mishyak sintez paytida bug'lanish natijasida isrof bo'lishini kompensatsiyalash uchun stexiometriyaga nisbatan ortiqcharok qilib olinadi. Aralashma bor oksidi - B_2O_3 bo'lakchalari bilan berkitiladi. Bu bo'lakchalar $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ da erib, qalinligi 20-40 mm li qatlam hosil qiladi.

Tigel $820-850^{\circ}\text{C}$ temperaturada, yuqori bosim kamerasida (6 MPa), inert gaz atmosferasida qizdiriladi. Buning natijasida mishyak - As (erish temperaturasi $817\text{ }^{\circ}\text{C}$) va galliy - Ga (erish temperaturasi $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) erib komponentlarning suyuq aralashmasini hosil qiladi va GaAs sintezining ekzotermik reaksiyasi boshlanadi. Bunda hosil bo'lgan temperatura GaAsning erish nuqtasidan birmuncha yuqoriroq bo'ladi (GaAsning erish temperaturasi $-1238\text{ }^{\circ}\text{C}$). Sintez jarayoni sintez reaksiyasining tugallanishi va eritmaning gomogenlashishini ta'minlaydigan vaqt mobaynida o'tkaziladi.

Eritma sovitilgandan so'ng GaAs ning polikristali hosil bo'ladi va uni Choxralskiy usuli yordamida monokristallga aylantiriladi [18].

Sintez jarayonida eritmani ushlab turish vaqti τ eritmaga mishyakning diffuziyasi bilan chegaralanadi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\tau = 2,3V \lg[(C_C^* - C_C)/(C_C^* - C_C^o)]/(s_E K_{CG}), \quad (1.4)$$

bu erda V - sintez qilinayotgan eritmaning hajmi; C_C^*, C_C^o, C_C - mishyakning eritmadagi mos holda muvozanatli, boshlang'ich va ayni paytdagi konsentratsiyalari; s_E - eritmaning bug'li faza bilan kontakt yuzasi; K_{SG} – mishyakning bug'lanish (ta'sirlashish) koeffitsienti.

Sintez jarayoni tugaganidan so'ng eritma sovutiladi, natijada arsenid galliyning polikristall quymasi hosil bo'ladi

Arsenid galliy monokristallarini hosil qilishning asosiy usuli bo'lgan Choxralskiy usuli bilan doiraviy qirqim diametri 75 mm bo'lgan dislokatsiyasiz arsenid galliy monokristallari hosil qilinadi. Bunda kristallar B_2O_3 himoya qatlami tagidan GaAs polikristali eritmasidan tortib o'stiriladi. Jarayon argon yoki azot atmosferasida $(2\div 6) \cdot 10^6$ Pa gacha bo'lgan bosimda o'tkaziladi. O'stirilayotgan kristallning bir jinsliligini ta'minlash uchun eritmaga vertikal magnit maydoni qo'yiladi. Kristall hosil qilishdagi umumiy sharoitlar: o'stirish tezligi 3 - 9 mm/soat; kristallni va tigelni aylantirish tezliklari mos holda 6 ayl/minut va 15 – 30 ayl/minut; B_2O_3 qatlamdagi temperatura gradienti 100 – 150 grad/sm.

GaAs asosida integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda yarim izolyasiyalovchi kristallar hosil qilish amaliy ahamiyatga ega. Buning uchun kristallar o'sish jarayonida taqiqlangan zonada chuqur joylashgan akseptor sathlarini beruvchi xrom bilan $5 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ gacha legirlanadi hamda salgina mishyak bilan boyitilgan eritma yoki stexiometriyali eritmadan toza kristallar o'stiriladi. Bunday o'stirilgan kristallarning solishtirma qarshiligi $10^9 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ ga etadi [19 – 23].

1.3. Metalloorganik birikmalar asosida gaz fazali epitaksiya usuli

Bu usulning eng asosiy afzalligi u qat'iy bir jinsli va keskin chegarali birikmalarning mukammal plyonkalarini olish imkonini beradi. Bu usul avvaliga Si va Ge larning epitaksial plyonkalarini hosil qilish uchun ishlatilgan, ammo asosan $A^{III}B^V$ turdagi birikmalarni va ularning boshqa atomlar bilan birikib, 3-4 komponentli plyonkalarini hosil qilishda ham ishlatiladi [24, 25]. Masalan, GaAs plyonkasini olish uchun galliyning metalloorganik birikmasi va arsin (AsH_3) bug'ga aylantiriladi va ular asos yuzasida o'zaro reaksiyaga kirishadi. 1.1 – jadvalda $A^{III}B^V$ misolida GaAs, InP va ularning qattiq fazali ko'p komponentli birikmalarini olish uchun ishlatiladigan materiallar keltirilgan.

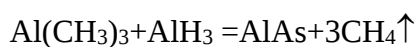
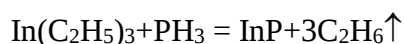
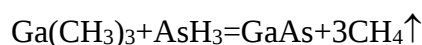
1.1 – jadvaldan $A^{III}B^V$ hosil qilishda uning metall komponentini olishda organik birikmalar (tarkibida uglerod bo'lgan birikmalar, masalan: $Ga(CH_3)_3$, $In(C_2H_5)_3$, $Al(CH_3)_3$, ...) muhim ahamiyatga ega ekanligi ko'rinadi.

1.1 – jadval

GaAs va InP hamda ularning birikmalarini olish uchun ishlatiladigan materiallar

O'stiriluvchi yarimo'tkazgich	Kerakli materiallar		Asos
	III guruh Elementlari	V guruh elementlari	
GaAs	$Ga(CH_3)_3$	AsH_3	GaAs
GaAlAs	$Ga(CH_3)_3$, $Al(CH_3)_3$	AsH_3	GaAs
GaInAs	$Ga(C_2H_5)_3$, $In(C_2H_5)_3$	AsH_3	InP
GaInAsP	$Ga(C_2H_5)_3$, $In(C_2H_5)_3$	AsH_3 , PH_3	InP
InP	$In(C_2H_5)_3$ $In(C_2H_5)_3$	PH_3	InP

Masalan, GaAs, InP, AlAs yarim o'tkazgichli birikmalarni hosil qilish uchun quyidagi reaksiyalardan foydalanamiz:

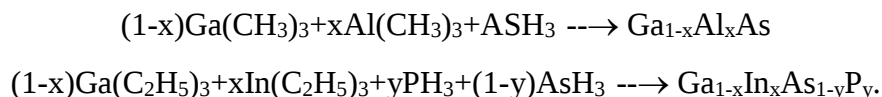


Bu uchala reaksiyada ham ikki komponentli tizim hosil qilingan, bunda metalloorganik birikmaning yoki metaloid-vodorod birikmaning qay biri ko'p, qay biri ozligi katta ahamiyatga

ega bo'lasligi mumkin. Ammo metalloorganik birikmalarning parsial bosimini vodorodli birikma bosimidan 5-10 marta katta qilib olinsa, plyonkalar juda silliq va bir xil turda bo'ladi.

Ammo, 3 yoki 4 va undan ortiq komponentli birikmalar hosil qilishda yuzaga kelib reaksiyaga kirishayotgan moddalarning miqdori hosil bo'layotgan birikmaning tarkibiga, ulardagi konsentrasyon nisbatlarga juda katta ta'sir qiladi.

Quyida 3 va 4 komponentli sistemalar hosil bo'lish reaksiyalarining sxematik ko'rinishi ko'rsatilgan:



Plyonkalarni olish jarayonida ularni kerakli aralashma bilan legirlash mumkin. Buning uchun legirlovchi material bug'ga aylantiriladi va asosiy komponentlarning bug'lariga aralashtiriladi [26 – 30].

Metalloorganik birikmalarni gaz fazali epitaksiyasi usuli bilan olinadigan plyonkalarning asosiy ishlatilish sohaslarini ko'rib o'tamiz:

1. GaAlAs/GaAs geterotizimi asosida kvant o'rali lazerlar olishda;
2. Modullashtirib legirlangan GaAlAs/GaAs geterotizimini olishda;
3. GaInAs/InP geterotizimi chegarasida ikki o'lchamli elektron gazini olishda;
4. 1,3 mkm to'liq uzunligi kichik tok zichligida ishlaydigan geterolazerlar olishda;
5. GaInAs/InP ning kvant o'ramli geterotizimini olishda.

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

Himoyalovchi yupqa qatlamlarga qoyiladigan talablar. Yarim o'tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalarni planar texnologiya bo'yicha tayyorlashda himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlar asosiy rol oynaydi. Ular donor va akseptor kirishmalarni lokal diffuziya qilish, mikrosxemalarning bir-biridan izolyatsiya-langani aktiv va passiv elementlarini shakllantirish, hamda p-n o'tishlarini tashqi ta'sirlardan himoya qilish imkoniyatlarini beradi [31, 32].

Shu sababli planar texnologiyada himoyalovchi dielektrikli yupqa qatlamlarga quyidagi asosiy talablar qoyiladi: 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 [33 – 37].

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

1.2 – 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 molekullari miqdori tushuniladi. To'rtta oqimning xar bittasi oksidlovchi muxit - kremniy tagligi tizimining bitta soxasiga tegishlidir [38, 39].

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

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

$$F_1 = h(C_1 - C_2), \quad (1.5)$$

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 konsentratsiyasi bilan qattiq fazada erigan oksidlovchining konsentratsiyalari orasida taqsimlash koeffitsienti bilan aniqlanadigan nisbat amalga oshadi.

Oksidda oksidlovchining erish jarayonini xarakatlantiradigan kuch gaz – oksid sirti tizimidagi oksidlovchining konsentratsiya gradienti hisoblanadi. Shu sababli oksidlovchining okimi

$$F_2 = \delta (C_2 - C_3) , \quad (1.6)$$

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

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 konsentratsiyalar farqiga to'g'ri proporsional, oksid qatlami qalinligiga esa teskari proporsional bo'ladi:

$$F_3 = D \frac{C_3 - C_4}{x_0} , \quad (1.7)$$

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

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

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

$$F_4 = RC_4, \quad (1.8)$$

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:

$$F = \frac{\frac{R}{a} C_1}{1 + \frac{R}{\delta} + \frac{Rx_0}{D}} = R_{ef} C_1 , \quad (1.9)$$

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 qatlamining o'sish tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{F}{N} = FV = R_{ef} C_1 V; \quad (1.10)$$

yoki

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{\frac{1}{a} C_1 V}{\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\delta}\right) + \frac{x_0}{D}} = \frac{\frac{1}{a} C_1 VD}{\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\delta}\right) D + x_0} \quad (1.11)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$A = 2\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\delta}\right)D \quad \text{va} \quad B = 2\frac{1}{a}C_1VD, \quad (1.12)$$

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

integrallaymiz: $\int (A + 2x_0)dx_0 = \int Bdt$ va $x_0^2 + Ax_0 - Bt = 0$ ni xosil qilamiz.

Bu kvadrat tenglamani echib, oksid qalinligining vaqt bo'yicha funktsiyasining ifodasini topamiz:

$$x_0 = -\frac{A}{2} + \frac{A}{2} \sqrt{1 + \frac{t}{A^2/(4B)}} \quad (1.13)$$

yoki

$$\frac{x_0}{A/2} = \sqrt{1 + \frac{t}{A^2/(4B)}} - 1 \quad (1.14)$$

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:

$$\left(\frac{x_0}{A/2}\right)^2 = \frac{t}{A^2/(4B)} \quad \text{yoki} \quad x_0^2 = Bt \quad (1.15)$$

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

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

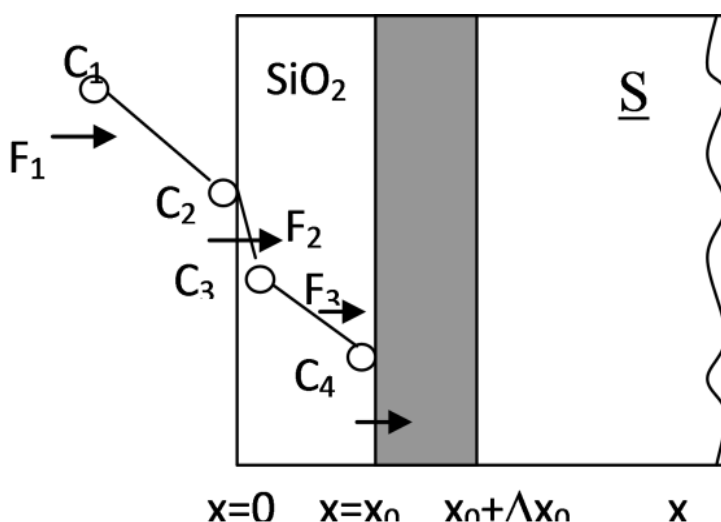
Bundan

$$x_0 = \frac{B}{A} t. \quad (1.16)$$

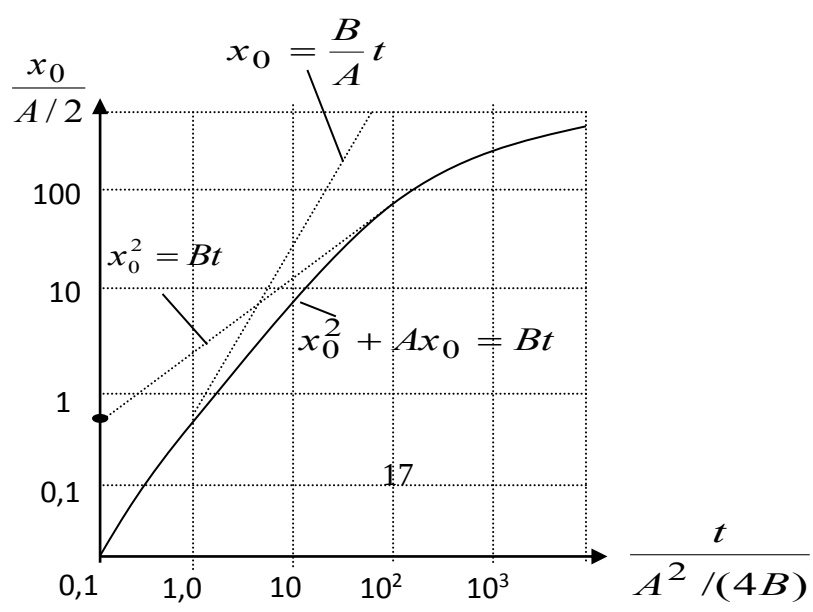
1.3 – rasmda oksid qalinligining termik oksidlash jarayoni vaqtiga umumiy va uning 2 ta chegaraviy xoli uchun bog'lanishlari ko'rsatilgan.

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 [40 – 45].

Kremniy plastinkasi sirtida suv bug'ining kerakli partial bosimini ushlab turish uchun suv isitiladi. Oksid yupqa qatlamining strukturaviy shakllanishi oksid qatlami orqali kremniy sirtiga suvning diffuziyali uzatilishi xisobiga roy beradi. Oksid yupqa qatlamining strukturaviy shakllanishiga oksidlash reaksiyasi jarayonida hosil bo'ladigan va plastinkaning ichkarisiga diffuziyanadigan vodorod ta'sir ko'rsatadi.



1.2 – rasm. Kremniyni termik oksidlash jarayonining modeli.



1.3 – rasm. SiO_2 yupqa qatlami qalinligining kremniyni oksidlash jarayoni o'tkazilayotgan vaqtga bog'lanishi.

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 qatlamining hosil bo'lish qonuni parabolik bo'lmasdan

$$x^2+b_1x=b_2t \quad (1.17)$$

ko'rinishga ega bo'ladi.

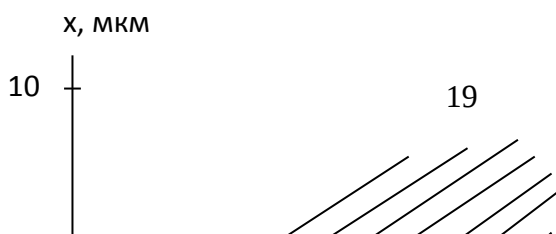
Oksidlanish jarayoni past temperaturada o'tkazilgan sari oksid qatlami chiziqli qonunga yaqin qonun bo'yicha hosil bo'ladi. Oksid yupqa qatlami o'sishining chiziqli qonuni yuqori bosimli ($2,5 \cdot 10^5$ – $4,0 \cdot 10^7 \text{ Pa}$) suv bug'ida $500 - 800^\circ\text{C}$ temperaturalarda kuzatiladi [46, 47].

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

Oksidli yupqa qatlam-ning o'sish tezligiga taglikning orientatsiyasi, elektr o'tkazuvchanlik turi va boshlang'ich taglikdagi kirishmalar kontsentratsiyasi katta ta'sir qiladi.

Planar texnologiyada yarim o'tkazgichli asboblarda 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.



1.4 – rasm. Suv bug'li atmosferasida o'stirilgan SiO₂ yupqa qatlamining har xil temperaturalarda vaqtga bog'lanishi: 1 – 600 °C; 2 – 700 °C; 3 – 800 °C; 4 – 900 °C; 5 – 1000 °C; 6 – 1100 °C; 7 – 1200 °C; 8 – 1300 °C; 9 – 1400 °C.

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 [48 – 53]. 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 likobchanning 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 boshlangich plastinaga himoyalovchi qatlamning adgeziyasi yaxshi

bo'lishini ta'minlash uchun kremniy plastinalari 300 °C va undan yuqoriroqqacha qizdiriladi. Agar changlatish kichik tezlikda, lekin kislorodning yuqori partsial bosimida amalga oshirilsa, bu holda yupqa qatlam SiO₂ kabi xususiyatlarga ega bo'ladi. O'tkazish tezligining katta qiymatlarida yoki kislorodning nisbatan kichikroq partsial bosimlarida o'tqazilgan yupqa qatlamning optik xarakteristikalar SiO₂ plyonkalariga xos xususiyatlarga o'xshash bo'ladi.

SiO₂ 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 roy beradigan reaksiya asosiy rol oynaydi.

Bu sirt yaqinidagi kislorodning harorati va partsial bosimi kremniy sirtiga kislorod adsorbsiyasi va SiO₂ 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 °C 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 [54, 55].

1.5. Magistrlik dissertatsiyasining asosiy vazifalari

1. Mavzu bo'yicha adabiyotlarni tahlil qilish va dissertasiya ishi vazifalarini aniqlash.
2. Molekulyar-nurli epitaksiya va ion implantasiya usullari bilan yupqa plyonkalar olish qurilmalarini tuzilishi va ishlash prinsiplarini o'rganish.
3. CoSi₂/Si(111) epitaksial tizimi chegaraviy qatlamining tarkibi va kristall tuzilishini o'rganish.
4. GaAs va CaF₂ yupqa plyonkalari elektronogrammalarini tahlil qilish.
5. Rastrli elektron mikroskopiya usuli bilan olingan BaSi₂/Si yuza topografiyasini tahlil qilish.

II BOB. YUQORI VAKUUM SHAROITIDA YUPQA PLENKALAR OLISH USULLARI VA QURILMALARI

Yuqori vakuumda yupqa plenka olishning usullari bilan tanishib o'tamiz: termovakuumli bug'lantirish, molekulyar-nurli epitaksiya, qattiq fazali epitaksiya va ionlar implantatsiyasi. Plenkalar asosan biror taglik yuzasida o'stiriladi. Shuning uchun taglikning o'ta yuqori darajada silliqligi va tozaligi o'stirilayotgan plenkani mukammallik (bir jinsliligi, kristall va elektron tuzilishi) darajasini belgilaydi.

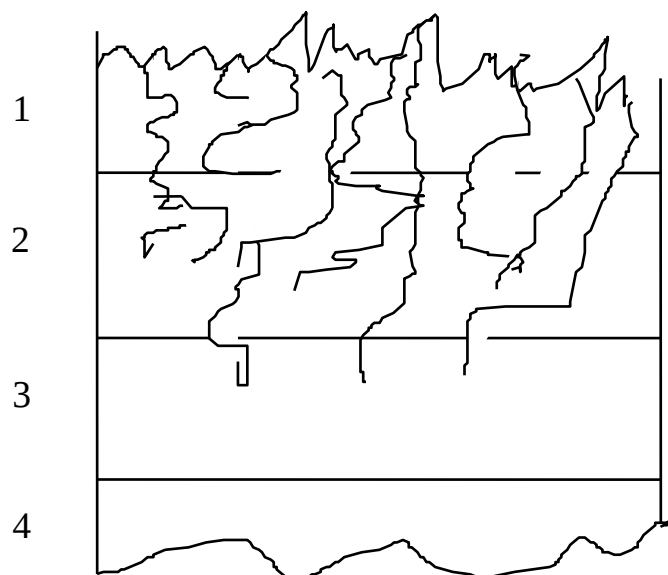
2.1. Yupqa plenkalar olish uchun tagliklarni tayyorlash

Yarim o'tkazgichli plastinalarni jilvirlash. Kesish jarayonidan keyin plastinaning sirtida 100 mkm atrofida mexanik buzilgan qatlam xosil bo'ladi (2.1 – rasm). Buzilgan qatlam jilvirlash jarayonida olib tashlanadi. Bunda cho'yan, shisha, po'lat, mis yoki latundan qilingan jilvirlovchi disklardan foydalaniladi. Jilvirlash uchun donalari M14 dan M5 gacha bo'lgan abraziv mikrokukundan foydalaniladi.

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

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 elektrokorundi mikrokukunlarining suvli va glitserinli suspenziyasidan foydalaniladi. Bunda qattiq va suyuq komponentalarning nisbati $Q : S = 1 : 3$ ga teng bo'lishi kerak.



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

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

Boshlang'ich va oraliq mexanik jilolashda abraziv sifatida o'lchami 3 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 abrazivli 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.

2.2. Yupqa plenkalarni olish usullari va qurilmalari

2.2.1. Termovakuumli bug'lantirib o'tqazish

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 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.

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 sirtdan ajralib chiqadi va fazoda tarqalib bug' hosil qiladi.

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

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

$$V_{\text{oye}} = 5,85 \rho_s \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad (2.1)$$

bu erda p_s – modda toyingan 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 konvektsiya yo'llari bilan amalga oshadi. Bug'lanayotgan materialning isroflanishini kamaytirish va bir xil qalinlikdagi plyonka hosil qilish uchun zarrachalarning taglik tomon to'g'ri chiziqli harakatini amalga oshirish kerak. Buning asosiy sharti bug' zarrachasining erkin yugurish yo'li uzunligi manba – taglik masofasidan katta bo'lishligidir.

Gazlarning kinetik nazariyasiga binoan

$$\lambda_{yp} = \kappa T / (\pi \sqrt{2} \delta^2 p), \quad (2.2)$$

bu erda $\lambda_{0,r}$ – gaz molekulasini erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi, sm; $k = 1,37 \cdot 10^{-17}$ Pa·sm³/K – Boltzman doimiysi; T – gazning absolyut temperaturasi, K; δ – gaz zarrachasining effektiv diametri, sm; r – gazning bosimi, Pa.

(2.2) ifodaga binoan $r \approx 10^{-3}$ 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 molekulaslari 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 boylab 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 atomoqimning kritik zichligi deb, taglikda atomlar kondensatsiyalanadigan eng kichik zichlikka aytiladi.

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

Termovakuumli bug'lantirish (TVB) texnikasi. Kremniy oksidi plyonkalarini termik bug'lantirish bilan hosil qilish jarayoni maxsus bosimli vakuum kameralarida o'tkaziladi. Buning uchun VUP-5 vakuum qurilmasidan foydalaniladi. Jarayonning sxemasi 2.2 – 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

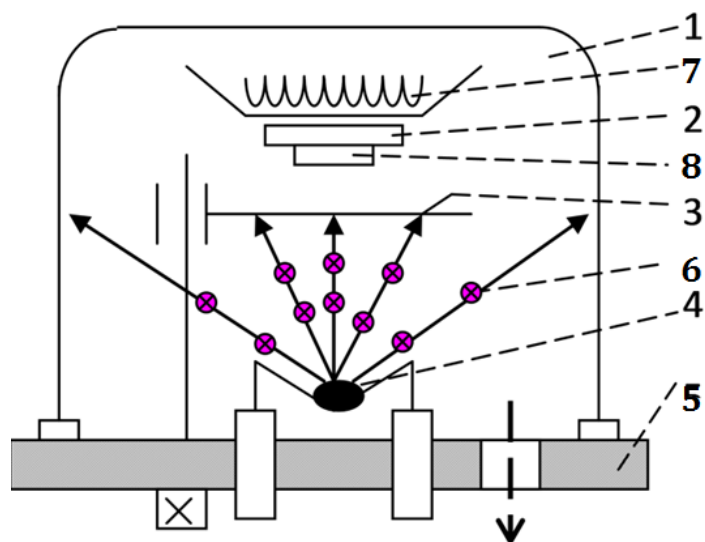
yopiq holatida tagliklarni belgilangan haroratgacha, bug'latgichlar esa bug'lanish haroratigacha qizdiriladi. Kameradan havoni so'rish chegaraviy vakuum darajasigacha amalga oshiriladi.

Bundan keyin berkitgich ochiladi va chang-lantirish boshlanadi. Belgilangan qalinlikdagi plenka hosil qilinganidan keyin berkitgichni yopish yo'li bilan changlatish jarayoni to'xtatiladi. Tagliklar sovutiladi 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 plenka hosil qilish qiyinligi, qiyin eruvchan materiallarning plenkalarni hosil qilish qiyinligi, bug'lantirgichlarning yuqori inertsiyaligi, plenka 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.



2.2 – 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.

2.2.2. Molekulyar-nurli epitaksiya (MNE)

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

Yupqa qatlamlar olish va yupqa qatlamlar asosida ko'p komponentli tizimlar hosil qilishning eng zamonaviy usullaridan biri molekulyar nurli **epitaksiyadir**. MNE usulini plyonkalar va ular orasidagi qatlamlarning eng yuqori sifatda tayyorlash imkonini beradi. Bu esa o'z navbatida mukammal yarim o'tkazgichli geterotizimlar (yakka geteroo'tishlar, yakkalangan potensial o'ralar, davriy va ko'p qatlamli tizimlar) hosil qilishning barcha talablarini bajaradi. Purkaladigan (yuzaga o'tqaziladigan) materiallarning o'ta toza manbalaridan foydalanish, o'ta yuqori vakuum ($R \leq 10^{-7}$ Pa), asos temperaturasini xatosiz nazorat qilish, o'sish jarayonlarini kompyuterli boshqarish tizimini qo'llagan holda turli usullar bilan o'rganish (diagnostika qilish) hammasi birgalikda sifat jixatdan yangi texnologiyani vujudga keltirdi.

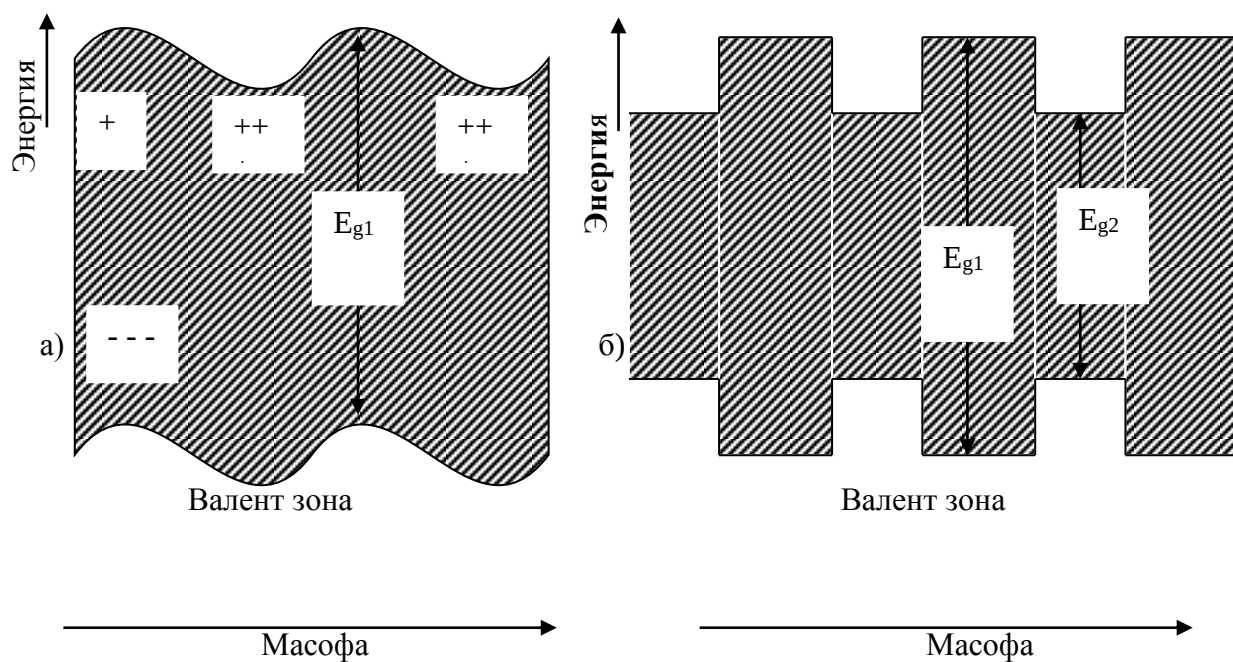
Keyingi 40 yil ichida qattiq jism elektronikasida ishlatiladigan aktiv elementlarning o'lchamlari $\sim 10^4$ marta kamaydi: yuzlab mkm (birinchi tranzistorlarda) dan yuzlab angstromlarga (kvant o'rali geterotizim). Bunday o'lchamli tizimlarni suyuq fazali epitaksiya yoki gazlarni tashish hamda boshqa usullar bilan olish juda qiyin va amalga oshirib bo'lmaydigan vazifadir. MNE esa har qanday qalinlikdagi (1 nm dan to yuzlab mkm gacha) plyonkalarni kerakli kimyoviy tarkib va kerakli konsentratsiyali aralashmalar bilan tayyorlash imkonini beradi. Ko'p komponentli, bir o'lchamli o'ta yupqa plyonkalar davriy tizimlarining yuqori panjarasini hosil qilish g'oyasi 1969 yilda Esaki va Su tomonidan ishlab chiqilgan. Bunda yuqori panjara olishning ikki xil turi taklif qilingan: o'zgaruvchan legirlangan va o'zgaruvchan tarkibli (2.3 – rasm).

Quyida o'ziga xos noyob xususiyatli epitaksial plyonkalar olish uchun xal qilinishi kerak bo'lgan vazifalarni sanab o'tamiz.

1. O'ta yuqori vakuum va o'ta yuqori tozalikdagi modda atomlari oqimidan foydalanish hisobiga yuqori tozalikdagi monokristallar olish.
2. Nisbatan kichik haroratda o'stirish hisobiga o'zaro diffuziyani keskin kamaytirib, chegarada tarkibi keskin o'zgaradigan o'ta yupqa qatlamli tizimlarni hosil qilish.
3. Kichik-kichik markazlar hosil bo'lishini yo'qotadigan pog'onali o'sish mexanizmidan foydalanish hisobiga geteroepitaksiya uchun silliq nuqsonsiz sirtlarni (yuzalarni) olish.
4. O'sish jarayonini nisbatan kichik tezlikda olib borish hisobiga olinayotgan o'ta yupqa qatlamlarning qalinligini nazorat qilish (boshqarish).
5. Murakkab tarkibli profilga yoki legirlanishga ega bo'lgan tizimlar olish.
6. Kerakli (boshqariladigan) zonaviy tizimga ega bo'lgan tizimlar hosil qilish.

Hozirgi paytda geteroo'tishlar va yuqori panjaralar $\text{GaAs-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ tizimi uchun to'laroq o'rganilgan. Amaliy ahamiyatini hisobga olgan holda quyidagi tizimlar ham har tomonlama o'rganilmoqda: InAs-GaSb , InAs-AlSb , InAlAs-InGaAs , Ge-CaAs , Ge-CaAs , CdTe-HgTe va ko'pgina har xil panjara doimiysiga ega bo'lgan $\text{A}^{\text{III}}\text{V}^{\text{V}}$ birikmalari.

Yarim o'tkazgichlarning geterochegaralarida lokal zonaviy tuzilishlari keskin uzilishga ega. Real holda fazaviy zaryadlarning effektlari hisobiga uzilish sohasida zonalarining bir tekis egilishi ro'y beradi. Uzilishlarning xarakteriga qarab geterochegaralarni to'rtta turga ajratish mumkin.



2.3 – rasm. Ikki turdagi o‘ta yuqori panjaralarda zonalar chegaralari fazoviy yo‘lining ko‘rinishi:

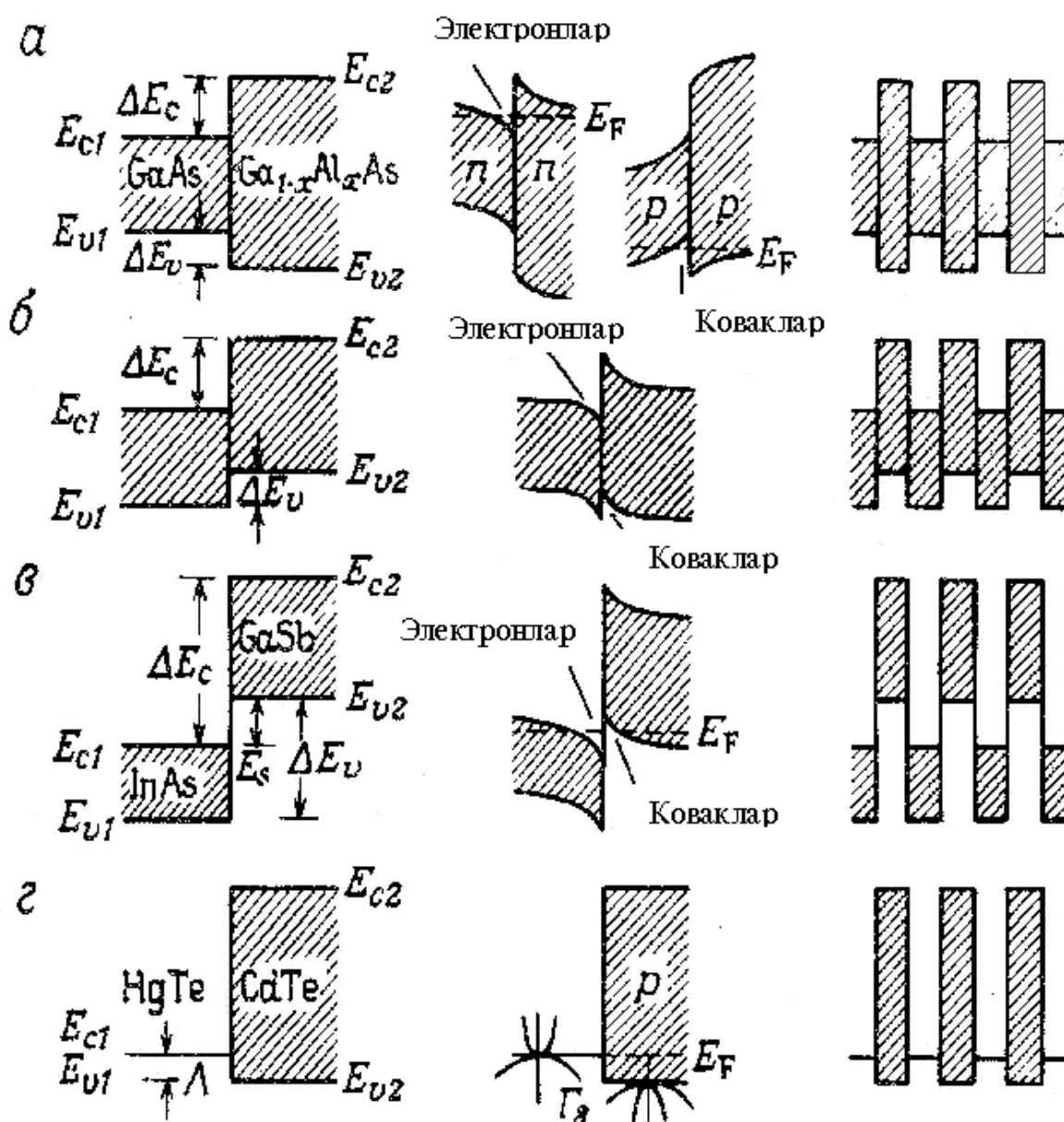
a-ketma-ket n va p qatlamli legirlangan o‘ta yuqori panjara, b-o‘zgaruvchan tarkibli yarimo‘tkazgichning kompozitsion o‘ta yuqori panjarasi. Ta’qiqlangan zona – shtrixlangan.

2.4 – rasmda ideal va real xol uchun hamda yuqori panjara uchun geterochegaralardagi zonalar yo‘llari ko‘rsatilgan.

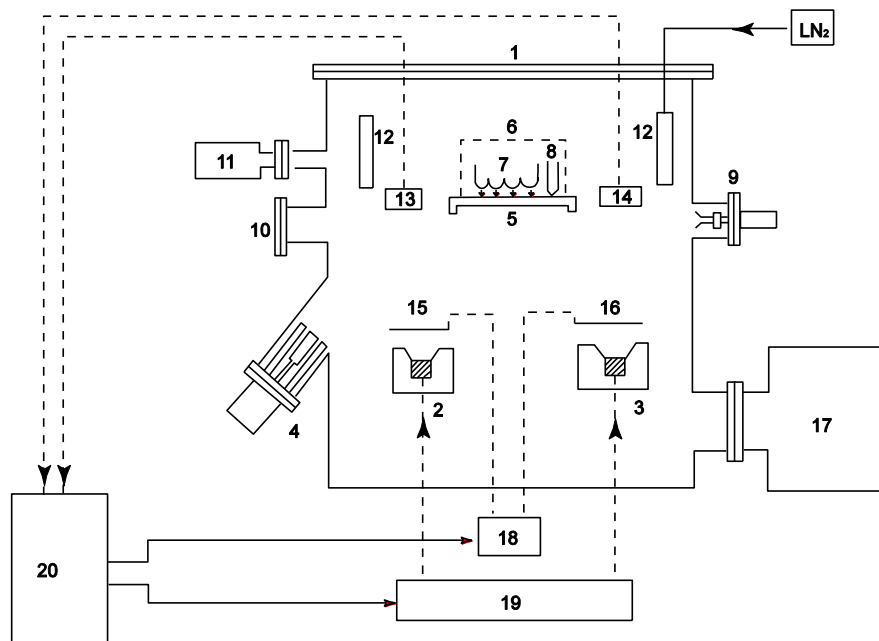
Molekulyar nurli epitaksiya usulini kremniyning yuzasida kobalüt kremniy (CoSi_2) plyonkasini hosil qilish jarayoni orqali ko‘rib o‘tamiz (2.5 – rasm): yuqori vakuum sharoitida yuzasi juda yaxshi tazalangan kremniy monokristalining sirtiga kobalüt (Co) va kremniy (Si) manbalaridan ularning atomlari kelib o‘tira boshlaydi. Bunda effizion manbalarining rejimi har bir momentda yuzaga bitta kobalüt atomi kelib o‘tirsada ikkita kremniy atomi kelib o‘tiradigan qilib tanlab olinadi.

Asosning temperaturasi shunday tanlanadiki, yuzaga kelib o‘tirayotgan atomlar CoSi_2 birikmasini hosil qiladi va ularning plyonkasi epitaksial o‘sa boshlaydi.

Hosil qilinayotgan plyonkalarining qalinligi va o‘shish tezligi kvarsli datchiklar yordamida aniqlanadi. Plyonkalarining kristall tuzilishi, panjaraning turi va parametrlari katta energiya elektronlarning difraksiyasi usuli bilan aniqlanadi. O‘shish jarayoni EHM yordamida boshqarib boriladi.



2.4 – rasm. Geterochegaralarning to'rtta turi uchun zonalar chegaralarning yo'li o'zgarishi: zonalarining uzilishi (chapda), zonalarining egilishi va zaryad tashuvchilarning lokalizatsiya soxalari (o'rtada), yuqori panjara (o'ngda): a – I turdagi geteroo'tish, b – II turdagi geteroo'tish: zonalarining pog'onali yo'li; v – II tur geteroo'tish ta'qiqlangan zonalarini kesishmaydigan; g – III tur geteroo'tish



2.5 – rasm. MNE o‘stirish qurilmasi: 1 – vakuum kamerasi; 2, 3 – elektron nurli bug‘latgich (ENB); 4 – effuzion manba; 5 – namuna; 6 – manipulyator; 7 –qizdirgich; 8 – termopara; 9 – katta energiyali elektronlar to‘pi; 10 – lyuminissentli ekran; 11 – gazoanalizator; 12 – kriopanel; 13, 14 – o‘shish tezligini aniqlovchi kvarsli datchiklar; 15, 16 – yopqich (zaslonka); 17 – ion nasosi; 18 – yopqichni boshqarish tizimi; 19 – ENB manbasi; 20 – EHM.

2.2.3. Qattiq fazali epitaksiya (QFE) va reaktiv epitaksiya (RE)

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

1) asos yuqori darajada aralashmalardan tozalanadi va yuzasi silliqatlanadi, kelib o'tiradigan atomlar manbai ham qizdirish yo'li bilan aralashmalardan tozalanadi;

2) xona haroratida (yoki past temperaturalarda) asos yuzasiga kerakli atomlar purkalib (o'tqazilib) qatlamlar hosil qilinadi.

asos sekin-asta kerakli temperaturagacha qizdiriladi, bunda yuzadagi qatlam atomlari asos ichiga va asosdagi atomlar qatlam ichiga kirib boradi, ular orasida kimyoviy reaksiya bo'ladi va birikmalar hosil bo'ladi.

Shunday qilib, QFE da avvaliga asosning yuziga kerakli atomlar (malekulalar) o'tkaziladi, so'ng asos kerakli haroratgacha qizdirish yo'li bilan o'tqazilgan atomlar va asos atomlari aralashtirilib yupqa epitaksial qatlam olinadi.

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

QFE usulida kerakli atomlar yuzaga o'tqazilib, amorf plyonka hosil qilinadi va qizdirish natijasida plyonka-asos chegarasida atomlarning bir-biriga aralashib ketib birikma hosil bo'lishi va uning kristallanishi ro'y beradi. Natijada yangi tarkibli epitaksial plyonka hosil bo'lishi mumkin. Bu plyonkaning tarkibi va qalinligi o'tqazilgan atomlarning konsentratsiyasiga, asos haroratiga, yuzaga qanday monokristalning qaysi qirradi orientatsiyalanganligiga (yo'nalganligiga) va sirtning tozaligiga bog'liq bo'ladi.

QFE usulini CoSi_2/Si (111) plyonkasini hosil qilish jarayoni orqali ko'rib o'tamiz. QFE bilan bunday plyonka hosil qilishning ikki usuli mavjud. Birinchi usulga binoan Si ning toza yuzasiga So atomlarining qatlamlari xona haroratida o'tqaziladi va keyin qizdirila boshlanadi. Natijada Co va Si atomlari aralashib va birikmalar hosil bo'ladi. $T = 300^\circ\text{C}$ gacha qizdirilganda CoSi_2 ning poliamorf plyonkasi, $T = 400 - 450^\circ\text{C}$ ning polikristal plyonkasi va $T = 500 - 550^\circ\text{C}$ - CoSi_2 ning monokristall plyonkasi hosil bo'ladi. Bu usulda hosil qilingan plyonkada quyidagi nuqsonlar mavjud: mikroteshiklar vujudga keladi; yuza notekis va kam zichlikka ega bo'ladi; CoSi_2 ning monokristali ikkita orientatsiyaga ega bo'lishi mumkin.

Ikkinchi usulda Si (111) yuzasiga Co va Si atomlari bir xil miqdorda ketma-ket o'tqaziladi va bu tizimni 400°C qizdirilganda CoSi_2 epitaksial plyonkasi hosil bo'ladi. Bu plyonka atom darajasida silliq minimal mikroteshiklarga ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-2}$) ega, tekis va bir xil tarkibli mukammal bo'ladi.

Ayrim hollarda 2 yoki 3 komponentli plyonkalar olishda QFEning boshqacha usuli ham qo'llaniladi. Masalan, kobalt-kremniy (CoSi_2) hosil qilish uchun kremniyning yuzasida kremniy

plyonkasi hosil qilinib, uning yuzasiga kobalüt o'tkaziladi, yoki kremniyning yuzasiga kobalüt o'tkazilib, uning yuzasiga kremniy o'tkaziladi, keyin kerakli darajada qizdiriladi.

Bu usul bilan hosil qilingan plyonkada quyidagi nuqsonlar vujudga keladi:

a) plyonkada har xil kanallar hosil bo'lishi mumkin;

b) plyonkaning hamma joylarida tarkib bir xil bo'lmashligi mumkin;

v) plyonka atomlarining aralashib ketishi hisobiga hosil bo'lgani uchun uning qalinligini to'g'ri nazorat qilish qiyin;

g) plyonkaning asos bilan chegarasi bir tekis bo'lmaydi va hokazo.

Qaysi usul qo'llanishidan qat'iy nazar QFE da quyidagi kamchiliklar mavjud:

a) haroratni xona temperaturasidan sekin-asta 500 – 600 °C gacha oshirib borish kerak bo'ladi;

b) plyonka asos chegarasida atomlarning aralashuvida asos atomlari ham qatnashadi.

Natijada hosil bo'layotgan plyonka qalinligini boshqarish va nazorat qilish juda qiyin bo'ladi. Bu ayniqsa Si – CoSi₂ – Si kabi ko'p qatlamli tizimlar olish imkoniyatlarini cheklab ko'yadi.

QFEning xususiy holi reaktiv epitaksiyadir (RE). *Reaktiv epitaksiya deb asosning yuzasiga atomlarning kelib o'tirishi jarayonida asosni epitaksial plyonka hosil bo'lish temperaturasigacha qizdirib turish yo'li bilan asos va kelib o'tirgan modda atomlari birikmasidan tashkil topgan plyonka hosil qilish jarayoniga aytiladi.* Masalan, CoSi₂ olish uchun Co atomlari asos yuzasiga 600 – 650 °C haroratda o'tqaziladi. Bunda So atomlari Si ning ichiga diffuziya tufayli kirib boradi va CoSi₂ plenkasini hosil qiladi. Bu usulda ko'pincha orolchali o'sish kuzatiladi.

2.2.4. Ion implantasiya usuli

Bu usulda kerakli element atomlari to'raligicha ionlarga aylantiriladi va ularga elektr maydoni yordamida energiya berilib, asosning yuzasiga tushiriladi. Bu energiya hisobiga ionlar asosning ichiga kirib borib joylashadi. Ko'pincha, jarayonning o'zida kerakli birikmalar hosil bo'ladi. Masalan, BaSi yoki BaSi₂ birikmasini olish uchun kremniyning yuzasiga bariy ionlari bilan uriladi. Bunda bariyning ko'p qismi kremniyning yuza osti qatlamlariga joylashib, kerakli birikmalarni hosil qiladi. Ion implantasiya usulida monokristallarning yuzasi buziladi, ko'p xollarda hosil bo'layotgan plyonka amorf bo'ladi, uni kristall holga aylantirish uchun qizdirish kerak bo'ladi. Ion implantasiya usulining eng asosiy afzalligi shundan iboratki, bu usul bilan har qanday materialga turli xil atomlarni kiritish mumkin.

Ionli legirlash uchun asbob-uskunalar. Ionli legirlash qurilmalarining turli-tuman xillari mavjud. Adabiyotlarda E₀ energiyaning 10 keV dan 300 keV gacha oralig'ida ishlashi uchun mo'ljallangan tezlatgichlarning tafsiloti mavjud, lekin rasmiy jihatdan bu soha mazkur sharhning muhokama doirasiga kirmaydi.

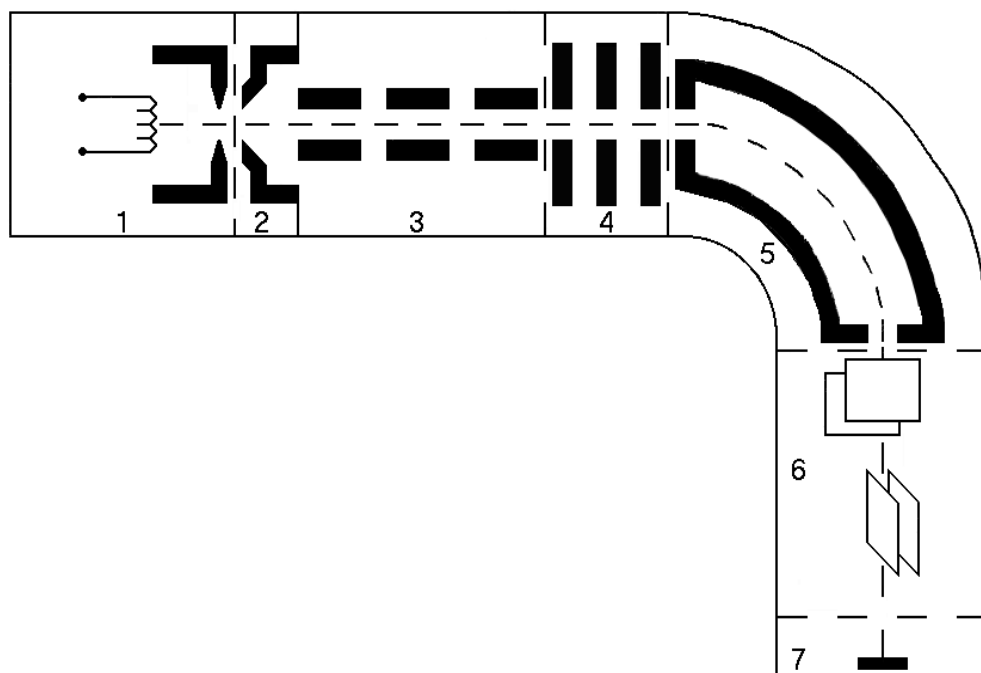
Bu erda qattiq jism $E_0 \leq 10$ keV energiyali ionlar bilan legirlanganda sirtidagi xossalarning o'zgarishi va yangi xususiyatli qatlamlar (plyonkalar) hosil bo'lishi muhokama qilinadi. Biroq hamma tezlatgichlarning ishlash prinsipi bir xil.

Tezlatgichlar quyidagi asosiy qismlardan tashkil topgan: ion manbai, manbadan ionlarni tortib oluvchi, tezlashtiruvchi va fokuslovchi elektrodlar, ionlarni massalari bo'yicha taqsimlovchi (separator- tanlovchi), skanlash (yoyish) qurilmasi. Ular bir-biridan odatda faqat tezlatish va fokuslash usullari bilan farq qiladilar. Ionli legirlash qurilmasining tuzilish sxemasi 2.6 – rasmda tasvirlangan.

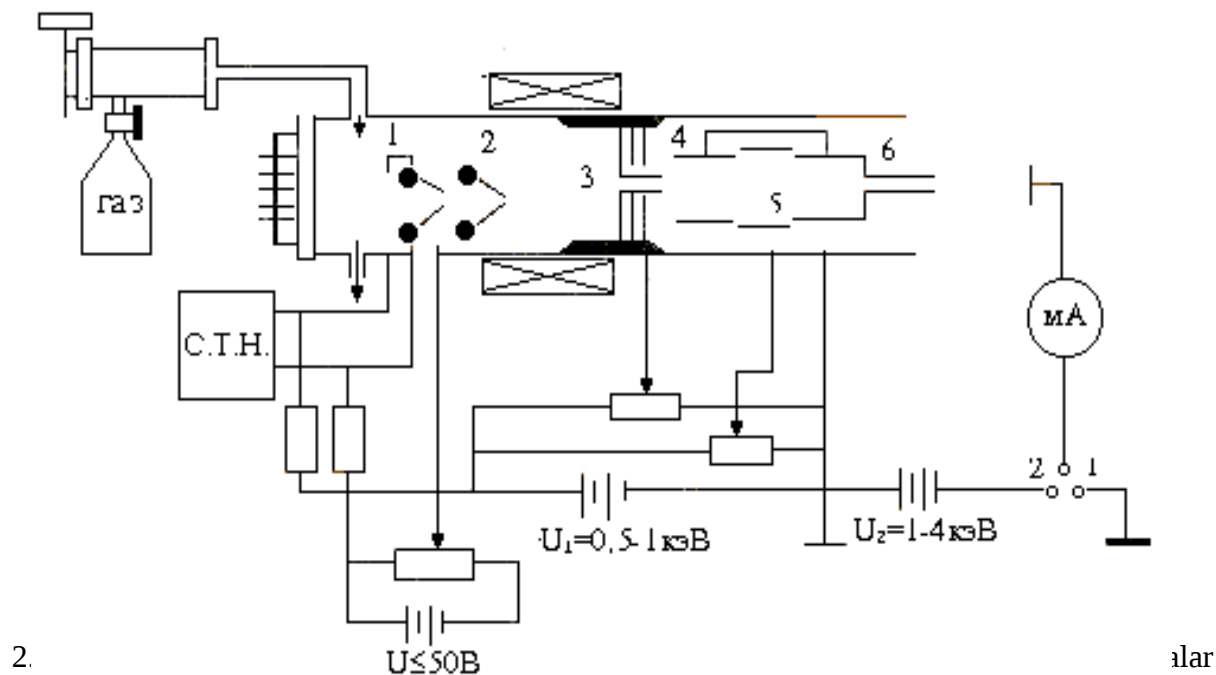
1. Ionli manba. Ion manbaida atomlar aralashmasining ionlashishi amalga oshiriladi. Gazsimon moddalardan ham, qattiq moddalardan ham ion dastalarini olish imkonini beruvchi manbalar keng qo'llaniladi. Qo'llanish maqsadiga qarab quyidagi manba turlarining biridan foydalaniladi: cho'g'lanuvchi katodli manba, yuqori chastotali manba, Penning razryadli manbai, duaplazmatron plazma generatori - plazma oqimi olinadigan razryadli qurilma, changlanishdan foydalaniladigan manba va atomlarning sirtiy potensial ionlashishiga asoslangan manba.

Ion turiga nisbatan universalligi hamda intensiv ion dastasi olish imkoniyati tufayli hozirgi vaqtda cho'g'lanuvchi katodli manbalardan ilmiy izlanishlarda ham, sanoat qurilmalarida ham keng foydalanilmoqda. Katod va anod orasidagi fazoda zarur gaz yoki qattiq jism bug'larining yuqori bosimi (odatda $10^{-3} \div 10^{-1}$ Pa) hosil qilinadi. Ionlarni olish prinsipi atomlarning tezlashtirilgan elektronlar bilan to'qnashishi natijasida ionlashishiga (elektron qabul qilishi yoki yo'qotishi) asoslangan. Razryad volüframdan yasalgan katod va anod o'rtasida yonadi. Elektronlarning razryadda bo'lish muddatini uzaytirish, ya'ni ionlashish intensivligini kuchaytirishga tashqi magnit maydoni yordamida erishiladi.

Ishqoriy va ishqoriy-er metallarining bir zaryadli ionlarini olish uchun odatda sirtidagi musbat ionlashish hodisasiga asoslangan manbalardan foydalaniladi. Qayd etilgan metallar atomlarining ionlashish energiyasi kichik ($E_I \leq 6$ eV) bo'lganligi tufayli bu atomlar cho'g'langan volüfram simining sirti bilan to'qnashganda ionlashadi va shuning uchun ham anod va volüfram sim orasida razryad hosil qilishning va magnit maydonlaridan foydalanishning zarurati qolmaydi. Hosil bo'lgan ionlar tortuvchi elektrodlar yordamida manbadan chiqarilib, so'ngra fokuslovchi elektrodlar maydoniga tushiriladi.



2.6 – a, rasm. Metall ionlari to‘pining qurilmasi: 1-ionlar manbai; 2-ionlarni tortib chiqaruvchi diafragmalar tizimi; 3-fokuslovchi linza; 4-ionlarni tezlatish tizimi; 5-ionlarni neytral zarrachalardan ajratish qurilmasi; 6-ionlarni skanlash (yoyish) tizimi; 7-nishon.



tizimi; 4-6-fokuslovchi va tezlashtiruvchi diafragmalar tizimi; 7-elektromagnit; S.T.N.-choʻgʻlanish tokining stabilizatori.

2.Fokuslash va tezlatish. Ionlar dastasini fokuslash ionlarni tezlashtirishdan oldin amalga oshiriladi. Fokuslash fokuslovchi va tortuvchi elektrodlardan tuzilgan elektrostatik linza yordamida bajariladi. Soʻngra bu ionlar tezlatuvchi elektrod maydonida tezlashtiriladi. Ionlarni quyi ($10 \div 15 \text{ keV}$) energiya olguncha tezlatishga moʻljallangan qurilmalarda odatda bitta tezlatuvchi elektrodan, ancha yuqori energiyalar uchun esa bir nechta elektrodlardan (tezlatuvchi seksiyali boʻlimlardan iborat naydan) foydalaniladi.

3. Ionli dastaning separatori (analizatori, tahlilagichi). Ionlarni massasi boʻyicha tanlash bevosita ion manbalaridan keyin yoki ular tezlashtirilganidan keyin amalga oshirilishi mumkin.

Bu usullarning har biri o'z ustunlik va kamchiliklariga ega. Amalda ionlarni massasiga ko'ra ajratish uchun magnitli, elektromagnit va elektrostatik separatorlardan foydalaniladi.

4. Ionlar dastasini skanlash. Implantasiyaning bir jinsliligini ta'minlash (va ba'zi hollarda legirlangan maydonni oshirish) uchun bir necha usullardan foydalaniladi: ionlar dastasini skanlash, namunani siljitish va dastani fokuslash. So'nggi ikki usul uncha katta aniqlik talab qilmaydigan izlanishlar uchun yaraydi.

Implantasiyalanuvchi ionlarning etarli bir tekis (notekisligi $\leq 1\%$) taqsimlanishini ta'minlash uchun X va Y yo'nalishlardagi elektrostatik skanlash eng ko'p qo'llaniladi. Bunda $0,002 \div 10 \text{ kGs}$ oraliqdagi chastotali arrasimon kuchlanish generatorlaridan foydalaniladi.

Tajribalar o'tqazish vaqtida amalga oshiriladigan texnologik jarayonlar. Tajribalar jarayonida ionli implantasiya bilan bir qatorda ko'pgina texnologik operatsiyalar amalga oshiriladi: namunalarni vakuumda qizdirish, lazer nurlari bilan ishlov berish, namuna sirtiga begona atomlarni o'tqazish (changlantirish), elektronlar bilan uzoq vaqt "o'qqa tutish", oksidlash. Elektron to'p va analizator elektrodleri sirtlarining ifloslanishiga yo'l qo'ymaslik maqsadida bu operatsiyalarni qurilmaning asosiy kamerasida emas, balki qo'shimcha (ishlov berish) kamerasida bajarish maqsadga muvofiqdir.

1. Namunalarni tozalash 10^{-6} Pa dan yuqori bo'lgan vakuumda yuqori temperaturali qizdirish yo'li bilan, zarur bo'lganda esa ionli ishlov berish va keyingi qizdirish yo'li bilan bajarilishi zarur.

$T \approx 1000 \text{ K}$ haroratgacha qizdirish isitgichning volfram spiralining issiqlik nurlanishi hisobiga, undan yuqori temperaturagacha qizdirish esa (orqa tomondan) elektronlar oqimini yo'naltirish bilan amalga oshiriladi.

Namunalarni ionlar bilan tozalaganda $8 \text{ mA} \cdot \text{sm}^{-2}$ tok zichligiga ega bo'lgan $0,5 \div 1,5 \text{ keV}$ energiyali Ar^+ ionlar dastasidan foydalanish mumkin.

2. Ishqoriy va ishqoriy-er elementlarining atomlarini namuna sirtiga o'tqazish (changlantirish) tok o'tkazilganda qiziydigan tantaldan (yoki nikeldan) yasalgan qayiqcha yoki naylar yordamida amalga oshiriladi. Tantaldan yasalgan qayiqchaga joylashtirilgan BaTi tabletkasidan (kichkina disk ($D \leq 10 \text{ mm}$) shaklidagi bo'lakchasidan) Va atomlari, kapillyar tuynukli nay ko'rinishidagi standart natriy va seziiy manbalaridan Na va Cs atomlari olinadi. Namuna sirtining bariy va ishqoriy metallar atomlari bilan qoplanish tezligini aniqlashda changlanish jarayonida namuna chiqish ishining o'zgarishidan foydalanish mumkin. Bunda $e\phi(t) = e\phi_{\min}$ bo'lgandagi qalinlik $\theta \approx 1$ monoqatlam deb qabul qilinadi. Bundan tashqari changlanish tezligini kalibrlash (taqqoslash, baholash), yoki oje-elektron spektroskopiyasi usullari bilan aniqlash mumkin.

3. Sirtga kislorodli ishlov berish asbobda zarur bosim oraliqlaridagi dinamik muvozanat barqarorlashgunicha chiqaruvchi kameraga kislorodni uzluksiz yuborilishi bilan amalga oshiriladi. Qizdiriladigan shisha naychaga joylashtirilgan KMnO_4 kukuni kislorod manbai bo'lib xizmat qiladi. Gazsimon kislorod oqimi suyuq kislorodli qopqon orqali o'tadi. Naychaning isish temperaturasi o'zgartirib, turli bosimdagi kislorodni olish mumkin.

4. O'rganilayotgan namunalarning sirtiga elektronlar dastasi bilan ishlov berish ko'p elektrodli elektron to'pdan foydalanib bajariladi. To'p $10 \div 100 \text{ mA} \cdot \text{sm}^{-2}$ oraliqdagi elektron toki zichligini ta'minlaydi. Dastaning nishondagi diametri $\sim 3 \text{ mm}$ ni tashkil qiladi.

5. Lazerli ishlov berish asosan impulsli lazer nurlari bilan amalga oshiriladi. Bu maqsadda ko'pincha qattiq jisimli (Nd^{3+}) LTI turidagi lazer qurilmasidan foydalanish mumkin. Lazer nurlari nishon yuzasiga kvars oyna orqali tushiriladi.

2.2.5. Ionli aktivlashtirish usuli bilan qattiq jism yuzalarida yupqa plyonkalar hosil qilish

QFE yoki RE usuli bilan umuman, qattiq jism yuzasiga atomlarni o'tkazib keyin ishlov berish usullari yupqa plyonkalar hosil qilishda ko'p ishlatiladi. Ammo ko'p hollarda o'tqazilgan plyonka atomlari va asos atomlari bir-biriga aralashib, yangi plyonka hosil bo'lishida ayrim qiyinchiliklar vujudga keladi. Masalan: hosil qilishimiz kerak bo'lgan plyonkaning qalinligini oshirish uchun temperaturani ko'tarish kerak bo'ladi. Temperaturani ko'tarish esa quyidagi asosiy muammolarni vujudga keltiradi:

- plyonkaning qalinligini nazorat qilib bo'lmaydi va tekis chegaraviy qatlam olib bo'lmaydi;
- kerakli bir jinsli tarkibni hosil qilish qiyin bo'ladi;
- yuqori temperaturalarda plyonkaning ustki qatlamlari bug'lanib ketishi mumkin;
- yuqori temperaturalarda asosning tarkibidagi chetki aralashmalar aktivlashishi mumkin.

Ular diffuziya hisobiga plyonka ichiga yoki chegaraviy qatlamga to'planadi.

Bu muammolarni ma'lum bir miqdorda xal qilish uchun ion-aktivasion usul ishlatiladi. Bu usulga asosan asosning yuzasi plyonka o'tqazishdan oldin ionlar bilan uriladi. Bunda ikki holni ko'rib chiqish mumkin:

1. Agar ionlar energiyasi uncha katta bo'lmasa ($E_i \leq 400 \div 500 \text{ eV}$) ular asosning yuzasida ko'plab kristallanish markazlarini hosil qiladi. Bu markazlar nisbatan kichik temperaturalarda asos yuzasida mukammal plyonkalar olish imkonini beradi.

2. Agar ionlarning energiyasi katta bo'lsa ($E_i > 500 \div 1000 \text{ eV}$), bu ionlar kristallarning ichida yurib borib atomlarning xarakati uchun ma'lum bir yo'llar ochadi (g'ovaklar hosil qiladi),

keyin bu yuzaga kerakli materialning atomlari o'tkaziladi. Uncha katta bo'lmagan ma'lum bir temperaturada yuzaga o'tqazilayotgan atomlar bu g'ovaklar orqali asosning ichki qismiga kirib boradi va uning atomlari bilan intensiv aralashadi. Demak, bu usul bilan kichik temperaturalarda asos va plyonka atomlarining aralashib ketishini va kerakli birikma hosil qilinishini ta'minlash mumkin. Ionlarning energiyasini o'zgartirish yo'li bilan hosil qilinishi kerak bo'lgan plyonkaning qalinligini kerakli miqdorda o'zgartirishimiz va nazorat qilishimiz mumkin.

Ionli aktivlashtirish usulining xususiy holi ion – molekulyar usul deb ham yuritiladi. Bu usulga asosan, yuzaga tushirilayotgan atomlarning ma'lum bir qismi ionlashtiriladi va ularga energiya beriladi. Bu tushayotgan ionlar asos va o'tkazilgan atomlarning aralashib ketishini tezlashtiradi va nisbatan kichik temperaturalarda kerakli plyonkalar olishni ta'minlaydi.

Plyonkalarni ionli o'tqazish jarayonini umumiy izohlash uchun energetik **aktivatsiya (faollik) darajasini baholash** kerak bo'ladi. Ionlar ta'siri bilan bog'liq bo'lgan energetik aktivatsiya **energiya koeffitsienti** (ε) deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{E_i + E_n}{E_n} = 1 + \frac{n_i \cdot e_i}{n_n \cdot e_n}.$$

Bu erda $E_i + E_n$ – ionlar ta'siri bor paytda asos yuzasiga tushib kondensatsiyalanayotgan barcha zarralarning kinetik energiyasi; E_n – ionlar ta'siri yo'q paytda barcha zarralarning kinetik energiyasi; n_i/n_n – ionlar tezligining o'tqazish tezligiga nisbati; e_i/e_n – ionlar oqimi energiyasining ionlar ta'siri yo'q paytidagi zarralar oqimi energiyasiga nisbati.

Ionli aktivatsiya usuli bilan plyonkalar olishda asos yuzasida ro'y beradigan jarayonlar ionlarning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Ionlar energiyasining kattaligiga qarab ionlar ta'siri effektini shartli ravishda beshta oraliqqa bo'lishimiz mumkin:

1. $E_i \approx 10^{-2} \div 10$ eV. Bu oraliqda ionlar kondensatsiyani termik aktivlashtiradi va migratsiyani kuchaytiradi.
2. $E_i \approx 10^{-1} \div 5 \cdot 10^2$ eV. Asos yuzasidagi chetki atomlar uchib ketadi, adgeziya yaxshilanadi va ancha mujassam qatlamlar hosil bo'ladi.
3. $E_i \approx 5 \div 5 \cdot 10^3$ eV. Zaryadlangan nuqsonlarning markazlari vujudga keladi, kristall tuzilishda nuqsonlar hosil bo'ladi.
4. $E_i \approx 5 \cdot 10^1 \div 10^4$ eV. Kristall tuzilish buzila boshlaydi, ikkilamchi edirish ro'y beradi.
5. $E_i \approx 5 \cdot 10^3 \div 10^5$ eV. Ionlarning va ketma-ket atomlarning asosning ichki qatlamlarida joylashib qolishi (implantatsiyasi) ro'y beradi.

III BOB. YUPQA PLENKALARNING XUSUSIYATLARI

3.1. Molekulyar nurli epitaksiya (MNE) usuli bilan hosil qilingan plyonka va asos (matritsa) orasidagi chegaraviy qatlam

Mikroelektronikaning asosiy yutuqlari, nanoelektronika-naning paydo bo'lishi va rivojlanishi tarkibi, tuzilishi va xususiyatlari jihatidan mukammal yupqa va o'ta yupqa ko'p komponentli va ko'p qatlamli plyonkalar tizimlarini hosil qilish bilan chambarchas bog'liqdir.

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

Kristill panjarasining tuzilishi asosning kristall panjarasi tuzilishi bilan bir xil bo'lgan monokristall plyonkalar epitaksial plyonkalar deyiladi.

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 oynagan 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 rolni oynaydi.

Shunday qilib, kristall panjara parametrlari bir xil bo'lgan MNE qatlam va asos chegarasida, nazariy jihatdan atomlarning o'zaro aralashib ketishi roy 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 roy beradi. Ya'ni ular chegarasida yangi qatlam hosil bo'ladi. Bunday qatlam chegaraviy qatlam deb ataladi. O'ta yuqori vakuum ($R \leq 10^{-8}$ 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 $400 \div 500 \text{ E}$ 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 silliqqlanishi va tozalanishi, molekulyar va atomar

manbalarini yuqori tozalash, o'tqazish rejimlarini juda aniq olib borish bilan bir qatorda quyidagilar ham katta rol oynar 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 3.1-jadvalda ularning ayrim kattaliklari keltirilgan.

3.1-jadval

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

Material	Kristall tuzilish	Panjara doimiysi a , Å	CHKHK, Å/°C	Erish harorati T , °C	Fizikaviy xususiyati	SSEE, erg/sm ²		
						100	110	111
<i>Si</i>	Kubik (olmos)	5,431	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1415	yarim o'tk-ch	1710	1690	1360
<i>CaF₂</i>	Kubik (flyuorit)	5,464	$19,1 \cdot 10^{-6}$	1360	diel-k	–	1082	540
<i>CoSi₂</i>	Kubik (flyuorit)	5,365	$15,4 \cdot 10^{-6}$	1320	metall	4130	2960	2380
<i>GaAs</i>	Kubik (aldamchi ruh panjarasi)	5,653			yarim o'tk-ch			

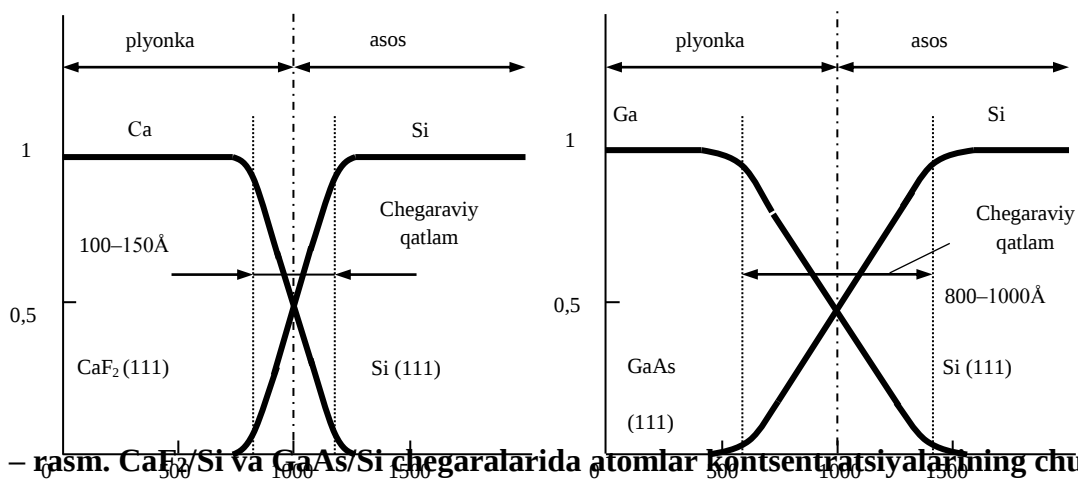
Jadvaldan ko'rinadiki, *CoSi₂* – *Si* – *CaF₂* tizimini hosil qilish har tomonlama nisbatan qulayliklarga ega. Chunki ularning panjaralari bir xil tipda va doimiysi katta farq qilmaydi. Ammo ChkHK farq qilganligi tufayli chegaraviy qatlam kengroq bo'ladi. Plyonka hosil qilishda

yuza tomonga qaysi kristallografik tomon to'g'ri kelishi ham muhim rol oynaydi. Masalan, (100) yo'nalishda CaF_2 uchun SSEE juda katta. Shuning uchun bunday sirlarda o'ta mukammal plyonkalar olish deyarli mumkin emas.

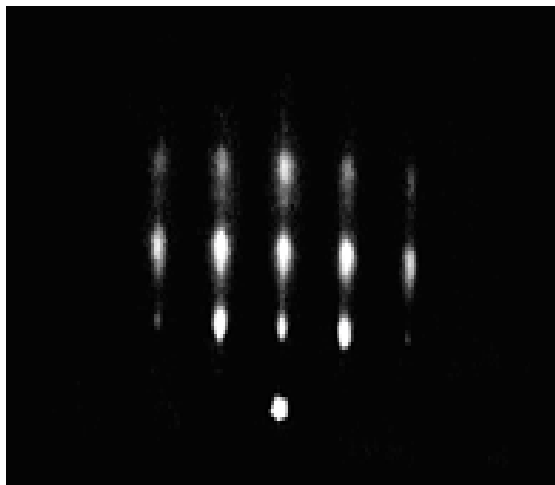
GaAs ning panjara doimiysi keskin farq qilganligi uchun $\text{Si} - \text{GaAs}$, $\text{CaF}_2 - \text{GaAs}$, $\text{CoSi}_2 - \text{GaAs}$ tizimlarida o'tish qatlamlari juda keng bo'ladi. 3.1-rasmda har xil "plyonka-asos" tizimlari uchun chegaraviy qatlam qalinliklari keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki, panjara doimiysi katta farq qilsa, chegaraviy qatlam ham juda keng bo'lar ekan.

Panjara doimiylarining mos kelmasligi o'stirilayotgan MNE plyonkaning kristall tuzilishida nuqsonlarni vujudga keltiradi. Bu ayniqsa yupqa plyonkalarda ($\leq 200 \div 300 \text{ \AA}$) yaqqol seziladi. 3.2 – rasmda Si yuzasida o'stirilgan CaF_2 va GaAs plyonkalarining elektronogrammalari (katta energiyali difraktsiya tasvirlari) keltirilgan. Ikkala holda ham plyonka qalinligi $300 \text{ \AA}$.

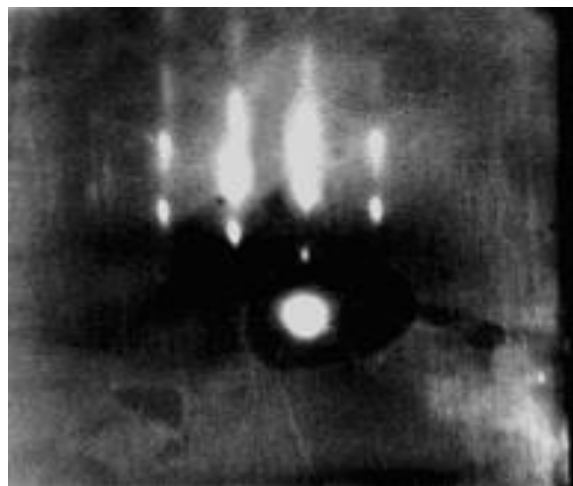
Rasmdan ko'rinadiki, GaAs/Si uchun tasvir CaF_2/Si ga nisbatan ancha chaplangan va ikkilamchi reflekslar mavjud. Buning asosiy sababi GaAs va Si panjara doimiylarining bir – biridan sezilarli farq qilishidir (3.1-jadvalga qarang).



3.1 – rasm. CaF₂/Si va GaAs/Si chegaralarida atomlar konsentratsiyalarining chuqurlik profili boyicha o'zgarishi.



3.2. CaF_2/Si



GaAs/Si

ining

elektronogrammalari.

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

Qattiq fazali epitaksiya usulida yuzaga kelib o'tirayotgan atomlar (molekulalar) asos atomlari bilan aralashib o'zaro birikma hosil qilib yangi xususiyatli plyonkani vujudga keltiradi.

3.3 – rasmda $CoSi_2$ plyonkasini QFE usuli bilan hosil qilishning shakliy tasviri keltirilgan.

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 kontsentratsiyasiga, 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.

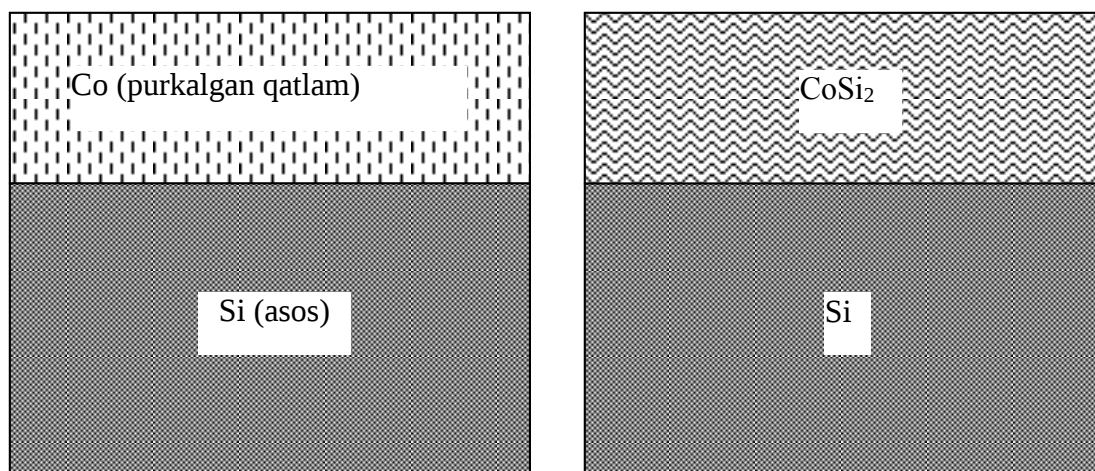
Shunday qilib, QFE da ham RE da ham plyonka asosning yuza va yuza osti qatlamlarida o'sadi. Bunday o'sish o'zaro diffuziya hodisasiga asoslangan. Bunda yuzaga o'tqazilgan

(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 Co 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.

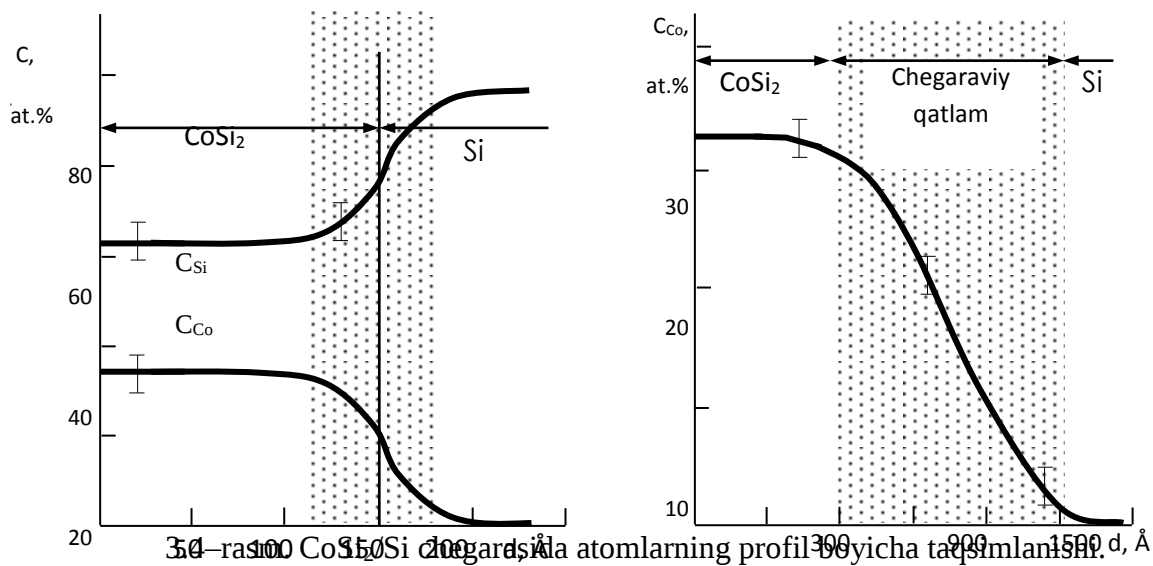
3.4–rasmda CoSi_2/Si (110) plyonka – asos tizimida Co atomlari konsentratsiyasining (C_{Co}) profil boyicha taqsimlanishi ko'rsatilgan.

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.



3.3–rasm. QFE usul bilan CoSi_2 plyonkasining hosil bo'lish jarayoni.



3.3. Kichik energiyali ion implantatsiyaning nanomateriallarni olishdagi imkoniyatlari

Energiyaga bog'liq ravishda ion implantatsiya usulini shartli ravishda 3turga bo'lish mumkin:

- 1 - kichik energiyali $E_i \approx 0.2-10 \text{ keV}$
- 2 - o'rta energiyali $E_i \approx 10-50 \text{ keV}$
- 3 - katta energiyali $E_i > 50 \text{ keV}$

O'rta va katta energiyali nurlar implantatsiyasi yarimo'tkazgichlarda p yoki n tipli aralashmalar hosil ilish uchun ishlatiladi. So'ngi yillarda ular chuqur qatlamlarda nanonuqtalar olish uchun ham ishlatilmoqda. Kichik energiyali ionlar implantatsiyasi asosan qattiq jismni yuza

qatlamlarini modifikatsiya qilish uchun, hamda nanofazalar, nanoklasterlar, nanokristallar va nanoplenkalar olish uchun qo'llanilmoqda. Modifikatsiya jarayonini sirtida reaksiyasiz amalga oshirish mumkin, buning natijasida sirtning fizik xususiyatlari o'zgarib boradi va ikkilamchi emissiya xususiyati oshib boradi. Ion bombardirovka – nishonga

Urilgan ionlar na'muna ichida qolishi, elastic va noelastic qaytishi, ikkilamchi ionlar hosil qilishi mumkin (3.5 – rasm). Ion implantatsiyada esa ionlar nishon ichida qoladi.

Kichik energiyali ionlar implantatsiyasida ionlar asosan qattiq jismning yuza va yuza osti qatlamlariga joylashadi. Ionlar monokristall yuziga tushkanda, ularning ayrimlari kanallar boylab o'z harakatini davom ettirishi va bu uzoq masofalargacha davom etishi mumkin

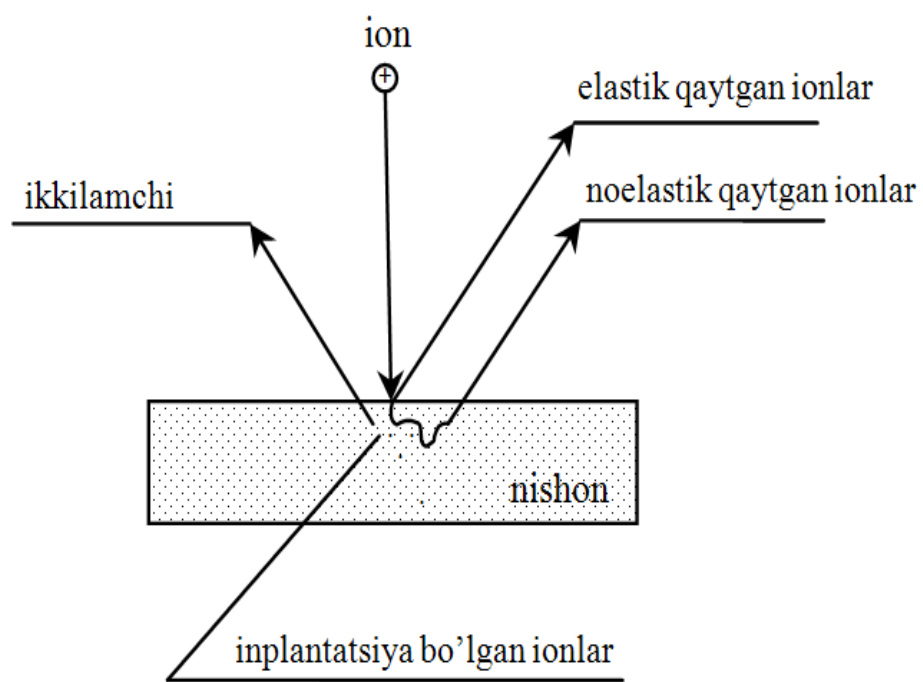
Kanallanish ikki xil bo'ladi: o'q va tekislik bo'yicha. Ionlarni asosiy qismi betartib tarqalib yuza osti qatlamlarga joylasha boshlaydi, bunday joylashish diffusion joylashish deb ataladi. Ular energiyaga bog'liq ravishda muayyan bir chqurlikda joylashadi. Ionlar joylashgan qatlamlarni ionli legirlangan qatlam deb ataladi. Ionli legirlangan qatlam va bu qatlamning pastida, legirlangan qatlamdan ko'ra 2-3 barobar katta bo'lgan qatlamlarni kristall panjarasi buzuladi va amorflana boshlanadi.

Kerakli brikmani hosil qilish uchun, amorf qatlamlarni kristallash uchun ion implantatsiyadan so'ng, haroratli yoki lazerl ishlov beriladi.

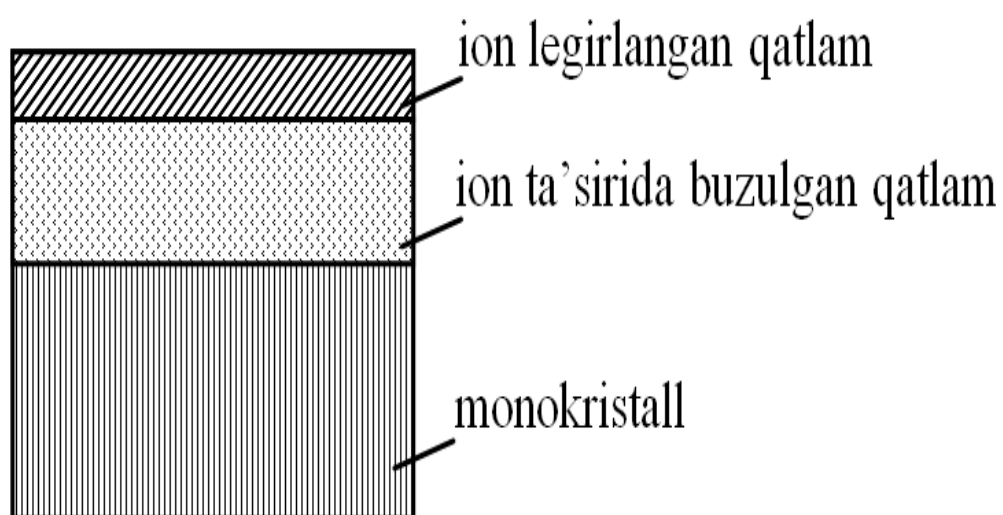
Tajribalar ko'rsatadiki, kichik dozalarda $D < 10^{15} \text{sm}^{-2}$ ionlar yuzani alohida – alohida maydonlariga tushadi, bu joylarni shartli ravshida nanoklasterlar, kattaroq bo'lsa orolchalar deb atash mumkin. Bu na'munalarni qizdirib monokristallar hosil qilish mumkin (3.6 – rasm). Shu usul bilan Si yuzasida BaSi_2 , CoSi_2 ; GaAs yuzasida esa $\text{Ga}_x\text{Ba}_{1-x}\text{As}$, $\text{Ga}_x\text{Na}_{1-x}\text{As}$ larning nanoklasterlari olingan.

Ionlar dozasi oshirilib borganda klasterlar kengayib, orolchalar hosil bo'ladi, katta dozalarda $D > 10^{16} \text{sm}^{-2}$ yaxlit legirlangan qatlam hosil bo'ladi, bu qatlamni qizdirib yangi turdagi nanomaterial olish mumkin (3.7 – rasm). Ion implantatsiya usuli yordamida bir xil atomli plenklar olish, asosan yuza va yuza osti qismlariga ma'lum dozali boshqa atomlarni kiritish orqali, shu material yuzasida va yuzaga osti qatlamlarida nanomateriallar yoki nanoplenkalar hosil qilish mumkin.

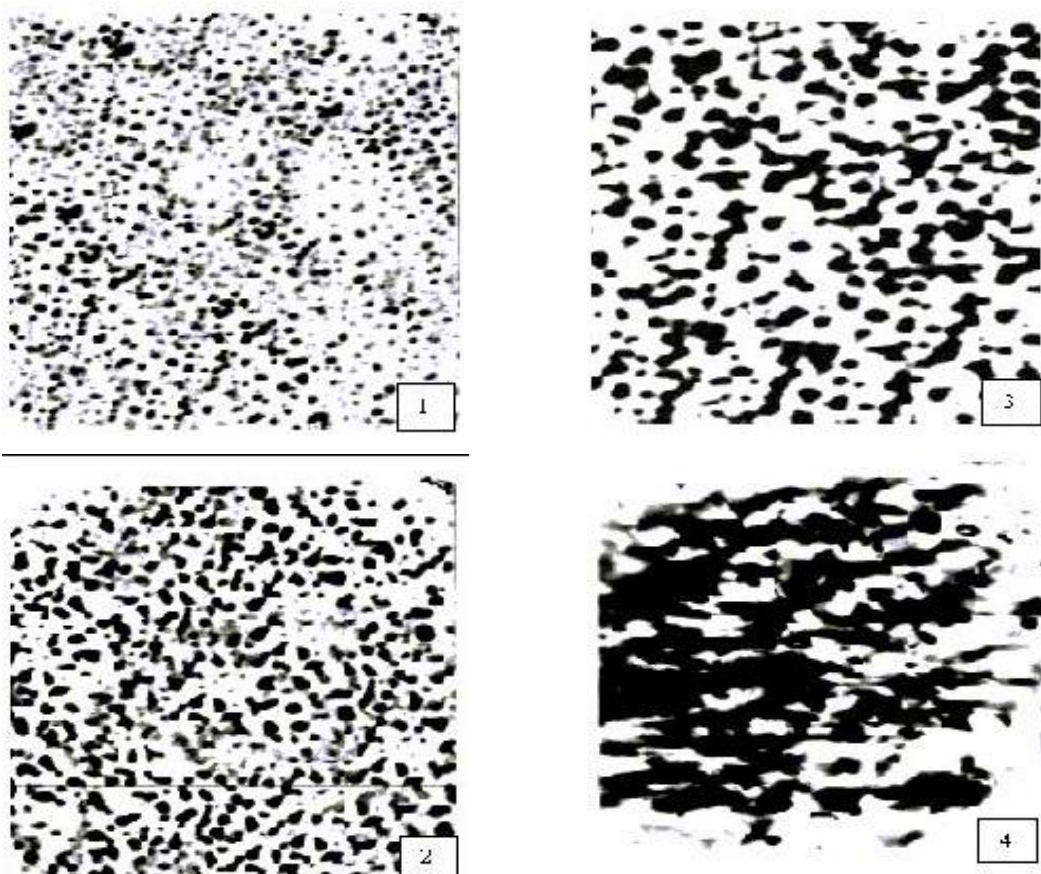
Bunday turdagi materiallar lazer texnologiyalarida har xil kuchaytiruvchi qurilmalarda, tranzistorlarni ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Agar birlik yuzaga tushayotgan ionlar konsentratsiyasi 10^{14} - 10^{15}sm^{-2} ta bo'lsa, u holda yuzaning turli nuqtalarida nanomateriallar hosil qilinadi, doza ortib borishi bilan yuzada nanoplenkalar hosil bo'ladi.



3.5 – rasm. Ion inplantatsiya jarayonida sirtida yuz beradigan hodisalar.



3.6 – rasm. Ion legirlangan qatlamning ko'rinishi.



3.7 – rasm. Ba^+ ionlari bilan legirlangan Si (111) sirtiing ko'rinishi, $E_i = 1$ keV.

Xulosa

1. Yupqa plenkalarni olish va xususiyatlarini o'rganish bo'yicha adabiyotlar o'rganildi va ular tahlil qilinib ishning asosiy vazifalari aniqlandi.
2. Yupqa plenkalarni olishning yuqori vakuumli usullari va qurilmalarining tuzilishi o'rganildi. Asosiy usullari: termovakuumli bug'lantirib o'tkazish, molekulyar-nurli epitaksiya, qattiq fazali epitaksiya, reaktiv epitaksiya, ion implantasiya, ionli aktivlashtirish.
3. MNE usuli bilan olingan CoSi_2 – Si tizimining chegaraviy qatlamida tarkibi, kristall tuzilishi o'rganildi. Chegaraviy qatlam kubik panjaraga ega ekanligi va Co 30 at.% dan 1 at.% gacha kamayishi aniqlandi.
4. Si yuzasida o'stirilgan GaAs va CaF_2 plenkalarining elektronogrammalari tahlil qilindi.
5. Ba ionlari ta'sirida Si monokristallari yuza qatlamlarining topografiyasi o'zgarishi jarayoni rastri elektron mikroskop yordamida olingan kartinalarda tahlil qilindi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. «CoSi Technology: IBM next advance in chip design»,
[//http://www.chips.ibm.com/bluelogic/showcase/soi](http://www.chips.ibm.com/bluelogic/showcase/soi).
2. Boltayev X.X., Madatova M.X. Ismoilov D.M., Maxmudov S. CoSi₂ nanoplyonkasini Si yuzasida epitaksial o'stirish Nanotexnologiya va qayta tiklanadigan energiya manbalari: muammolar va yechimlar. Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Qarshi. 2012. bet. 27-28.
3. Normuradov M.T., Umirzakov B.E., Rajabbayev R.R. Qattiq jism sirtlarining ikkilamchi elektron spektroskopiyasi. O'quv qo'llanma. Toshkent: Konstruktor, 1993. – 85 s.
4. Normurodov M.T., Umirzakov B.E., Parmankulov I.P. Elektron texnika materiallari va qurilmalari texnologiyasi. Toshkent. «Mexnat» nashriyoti. 2004. 362 b.
5. Tashatov A. Q., Ismoilov D. M., Sayfullayev SH.A. Ko'pqatlamli geterotizimlarning tutash chegaralarini o'rganish. Fan, taraqqiyot va yoshlar ilmiy amaliy konferensiya materiallari. Qarshi 2013. bet.
6. Tashatov A. Q., Ismoilov D. M., Yovqochdiyev M. Yupqa ko'p qatlamli plyonkalar hosil qilish va ularning xususiyatlarini o'rganish Qar DU xabarlari. 2013. bet. 16-19.
7. Tashatov A.Q. Ismoilov D.M. Metal sirti energetik zona parametrlarini fotoelektron siyepektroskopiyasi yordamida aniqlash Fan, taraqqiyot va yoshlar ilmiy amaliy konferensiya materiallari.. Qarshi 2012. bet 118
8. Tashatov A.Q. Ismoilov D.M. Nanoplyonkalarni ion implantasiyasi yordamida hosil qilish va uning tarkibini oje-elektron spektroskopiyasi usulida o'rganish Fan, taraqqiyot va yoshlar ilmiy amaliy konferensiya materiallari. Qarshi 2012. bet 110.
9. Umirzakov B.E. Qattiq jism yuzalarini tekshirish usullari. Toshkent. TashTU. 1997. 62 b.
10. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Boltaev E.U., Dzhurakhalov A.A. Obtaining of epitaxial films of metal silicides by ion implantation and molecular beam epitaxy // Materials Science and Engineering B. – Holland, 2003. – V. 101. – P. 124-127.
11. Umirzaqov B.E. Qattiq jism yuzalari va chegaraviy qatlamlarning tuzilishini o'rganish usullari». O'quv qo'llanma. TDTU. 1997 y.
12. Umirzaqov B.E. qattiq jism yuzalarini o'rganish usullari. TDTU. 1995 y.
13. www.sciencedirect.com/science/journal/00086223
14. Арапкин Л.В., Юрьев В.А. Классификация нут-кластеров Ge в массивах, формируемых на поверхности Si (100) методом молекулярно-лучевой эпитаксии при низких температурах // Успехи физических наук, 2010. – т. 180. – № 3. – С. 289-302.
15. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. Учебное пособие. Физматлит. 2006. 589 с.

16. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников. М.: Мир. 1990. 480с.
17. Викулин, В.И. Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. М. “Радио и связь”. 1990.
18. Галкин Н.Г., Горошко Д.Л., Чусовитин Е.А., Полярный В.О., Гутаковский А.К., Латышев А.В., Khang Y. Формирование, кристаллическая структура и свойства кремния со встроенными нанокристаллитами дисилисида железа на подложках Si (100) // Физика и техника полупроводников, – Санкт-Петербург, 2007. – т. 41. –вып. 9. – С. 1085-1092.
19. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1985. – 486 с.
20. Зигбан К., Нордлинг К. и др. Электронная спектроскопия / пер. с англ. под ред. И.Б.Боровского. – М.: Мир, 1971. – 330 с.
21. Касымов А.Х. Электрониканинг физикавий асослари. Ўқув қўлланма. Тошкент. Фан. 1997. 186 б.
22. Клышко Д. Рассеяние света. НиТ. Научные журналы. Наука и жизнь. 10 декабря 2002 г. (ранее опубликовано Наука и жизнь. 1988. №1).
23. Кремков М.В., Беседина Е.А., Шевелев С.В. Диагностика поверхности материалов. Ташкент. “Фан”. 1997 г.
24. Крипнер И. Применение электронной спектроскопии для анализа поверхности. Под ред. Х. Ибаха. – Рига: Зиматке, 1980. – 318 с.
25. Лютович А.С. Ионно-активированная кристаллизация плёнок. Ташкент. “Фан” 1982г.
26. Малышева И.А. – “Технология производства интегральных микросхем” -М., Радио и связь, 1991.
27. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под. ред. Л.Ченга. К.Полса. М., Мир. 1989 г., 582 с.
28. Нагаев Э. Намагничивает свет. НиТ. Научные журналы. Наука и жизнь. 17 декабря 2002 г. (ранее опубликовано Наука и жизнь. 1988. №9).
29. Неволин В. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера. 2006. 160 с.
30. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. «Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий». Тошкент. «Фан». 1989 г. 158 с.
31. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. М.: Наука. 2006. 490 с.
32. Панкратов С., Панов В. Поверхности твердых тел. НиТ. Научные журналы. Наука и жизнь. 2 декабря 2002 г. (ранее опубликовано Наука и жизнь. 1986. №5, №6).
33. Праттон М. Введение в физику поверхности (состав и структура). Удмуртский государственный университет. Oxford. 2000. 216с.

34. Таруи Я. – “Основы технологии СБИС” – М., Радио и связь, 1985.
35. Ташмухамедова Д.А. Исследование состава и электронной структуры границы раздела CoSi_2/Si // Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая. – Москва, 2006. – Т. 70. – № 8. – С. 1230-1232.
36. Технология тонких плёнок. Под. ред. Л.Майселла, Р. Глрнгл. I е II о. Сов. Радио. 1977 г.
37. Тонкие пленки: взаимная диффузия и реакции. – М.: Мир, 1982. – 576 с.
38. Точиский Э.И. Кристаллизация и термообработка тонких плёнок. Минск. “Наука и техника”. 1976.
39. Тыщенко И.Е., Попов В.П., Талочкин А.Б., Гутаковский А.К., Журавлев К.С. Формирование пленок нанокристаллического кремния имплантацией больших доз ионов H^+ в слои кремния на изоляторе и последующим быстрым термическим отжигом. //Физика и техника полупроводников. 2004. том 38. вып.1. с. 111 – 116.
40. Умирзаков Б.Е., Ташатов А. К., Холмирзаев Н.С., Исмоилов Д. М., Тошмирзаева С.А. Изучение оптических свойств и электрического сопротивления эпислоев CoSi_2 на кремний. IV международная конференция по актуальным проблемам молекулярной спектроскопии конденсированных сред. Самарканд 2013 г. с.
41. Устинов В.М. Технология получения и возможности управления характеристиками структур с квантовыми точками // Физика и техника полупроводников. – Санкт-Петербург, 2004. – Т. 38. – вып. 8. – С. 963-970.
42. Физика тонких плёнок. Под. ред. Г.Хасса. IV и V . М.Мир. 1972 г.
43. Штейнман Э.А., Вдовин В.И., Изотов А.Н., Пархоменко Ю.Н., Борун А.Ф. Фотолюминесценция и структурные дефекты слоев кремния, имплантированных ионами железа. //Физика твердого тела. 2004, том 46, вып. 1. с. 26 – 30.
44. Элементы информационных систем <http://www.phys.rsu.ru/web/nano/elements.html>
45. <http://www.n-t.ru/nj/nz/1986/0501.htm>
46. <http://chemictry.fas.nY.edu/page/home>
47. <http://gizmod.ru/keyword>
48. <http://prb.aps.org/abstract/PRB>
49. http://www.intel.com/technology/itj/2002/volume06issue02/art05_transistorarch/p05_architecture.htm
50. <http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/VRAN/SESSION/DISCUSS.HTM#001>
51. <http://www.computerra.ru/offline/2002/439/17343/>
52. <http://cmliris.harvard.edu>
53. http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/505674/
54. <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ftp/>

55. <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/jtf/1999/09/page-85.html.ru>
56. <http://www.issp.ac.ru/journal/surface/>
57. <http://www.krugosvet.ru/articles/106/1010644/1010644a2.htm#1010644-L-104>
58. http://www.osp.ru/cw/2003/35/038_1.htm
59. http://www.springerlink.com/content/1063-7850?sortorder=asc&p_o=132
60. <http://www.n-t.ru/nj/nz/1988/0901.htm>
61. <http://www.n-t.ru/nj/nz/1988/0101.htm>