

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**Гулистон Давлат Университети
Физика – математика факультети**

“Умумий физика ” кафедраси

Бердикулов Махмуджон Шодиёровичнинг
5440100- физика таълими йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш
учун “Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қотишмали эпитаксиал
қатламнинг хоссалари” мавзусидаги

БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Раҳбар катта ўқитувчи:

ф-м.ф.н. У.Т.Давлатов

Гулистон - 2014 й

Мундарижа

Кириш.....	3
I – БОБ. Ярим ўтказгичлар.....	6
1.1. Ярим ўтказгичларнинг турлари.	7
1.2. Ярим ўтказгичда киришмалар.....	8
1.3. Ярим ўтказгичларда контакт ҳодисалар. Металл – ярим ўтказгич контакти.....	13
1.4. Ярим ўтказгичларда хусусий ўтказувчанлик ва зоналар тузилиши...	18
II-БОБ. Монокристаллар ўстириш технологияси асослари	
2.1. Кристалларни суюқ фазадан ҳосил қилиш. Суюлманинг нормал йўналган кристалланиш усуллари.	24
2.2. Кристаллни эритмадан ўстириш.....	29
2.3. Кристалларни қаттиқ фазадан ҳосил қилиш.....	32
2.4 Кристалларни газсимон фазадан ўстириш.....	33
III-БОБ. Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қотишмалари- ни ўстириш режимлари, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссларини ўрганиш.	
3.1. Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қотишмаларини ўстириш режимлари.....	36
3.2. Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қотишмалар- ини электрофизик хоссларини ўрганиш.....	46
3.3. Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қотишмалари- ни фотоэлектрик хоссларини ўрганиш.....	49
Хулоса.....	51
Фойдаланган адабиётлар.....	53

Кириш

Ишнинг долзарблиги. Ҳозирги вақтда фан техника ривожланган ва биринчи ўринга техник қурилмаларнинг самарадорлиги ҳамда таннархи чиққанлиги туфайли янги, арзон технология ва технологик материалларга бўлган талаб кескин ошиб бормоқда. Ўз навбатида янги технология ҳамда технологик материаллар асосида бирон-бир арзон ва олдингиларига нисбатан устунликка эга бўлган қурилмаларни яратиш эса бу технология ва материалларни чуқур ўрганишни тақозо этади. Ҳозирги вақтда оптоэлектроникада қўлланиладиган асбобларни яратишда зарур бўлган структураларни олиш, уларнинг таннархини пасайтириш мақсадида яримўтказгичлар материалшунослигида жадал илмий изланишлар олиб борилмоқда. $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ бирикмалари ва уларнинг қаттиқ қоришмалари яримўтказгичлар асбобшунослигида асосий материал ҳисобланади. Аммо A^3B^5 нинг жуда кўп бирикмалари нархи баланд ашёлар ҳисобланганлиги боис, улардан массив элементлар тарзида кенг миқёсда фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан чегераланган. Оптоэлектрон элементлар актив қисмининг ўлчами бир неча микрометрни ташкил этиши сабабли, мазкур бирикмаларни қулай ва арзон, $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қоришмаларини принципаъ олиш мумкинлиги намоёиш қилинган. Ҳозирги вақтгача $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ қаттиқ қоришмалар экспериментал олинган.

Аммо $\text{Si}_{1-x}\text{-Ge}_x$ сингари қаттиқ қоришмалар бизгача тўлиқ ўрганилмаган олинмаган. Олинган қаттиқ қоришмалар ҳам чуқур ўрганилмаган ва янги тадқиқотларни талаб қилади.

Шу сабаб Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қотишмани ўстириш, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик характеристикаларини ўрганиш ва уларнинг фотоэлектрик хоссаларига радиацион нурланишнинг таъсирини тадқиқ этиш яримўтказгич материалшунослигининг **долзарб** масаласи ҳисобланади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Такдим этилаётган ишга қадар $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қотишмаси синтез қилинмаган ва тўлиқ ўрганилмаган. Айрим ишлар $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қоришмани ўстириш ва ўрганишга бағишланган. $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ эпитаксиал қатламлари Si тагликларда қалай ва галлий қотишмаларидан ўстирилган. Ўстирилган натижалар Битирув малакавий ишларида тўлиқ ўрганилмаган. Бундай қаттиқ қоришмаларни тадқиқ қилиш бошланғич этапда турибди.

Ишнинг мақсади. Кристалл такомиллашган янги $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ўрин алмашинувчи қаттиқ қоришмаларни олиш, уларнинг монокристаллигига эришиш, электрофизик ва фотоэлектрик параметрларини аниқлаш.

Тадқиқот вазифалари:

- $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қотишмаларнинг ўсиш шароитларини тадқиқ қилиш ва суюқ фазали эпитаксия усулида чегараланган ҳажмли қотишмалардан уларнинг эпитаксиал қатламларини олиш;

- Si тагликларга олинган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қотишмалар эпитаксиал қатламларининг структуравий такомиллашганлигини, электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини тадқиқ қилиш;

Тадқиқот объекти ва предмети. Тадқиқот объекти $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қоришмалари ва улар асосидаги p-n ўтишлар, тадқиқот предмети эса $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қотишмаларнинг структуравий такомиллашишига эришиш, фундаментал параметрларини аниқлаш

Илмий янгилиги:

1. Биринчи марта (111) ориентацияли - Si тагликларга суюқ фазали эпитаксия усулида Pb қотишма-қоришмадан ўрин алмашинувчи $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қоришманинг қалай қотишма-қоришмадан ўрин алмашинувчи $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ қоришманинг p-типи монокристалл эпитаксиал қатламлари ўстирилди. Бундай ўрин алмашинувчи қаттиқ қоришмаларнинг ҳосил бўлиши қаттиқ қоришма компоненталарининг изовалентлиги ва

молекулаларидаги атомларнинг ковалент радиусларининг йиғиндиси яқинлиги билан боғлиқ.

2. Si- $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) структуралар вольт-ампер характеристикаларининг тўғри томони 0.5 дан 1 В гача кучланишлар оралиғида кучланиш ошиши билан номувозанатий заряд ташувчилар амбиполяр диффузияси ва амбиполяр дрейфининг қарама-қарши йўналишлардаги инжекцион камайиши ҳисобига юзага келувчи, токнинг субчизиқли ўсувчи қисмларга эга эканлиги аниқланди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Si тагликларга олинган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қоришмаларнинг эпитаксиал қатламлари янги яримўтказгич материаллар ҳисобланади ва қуёш элементларини лойиҳалаш учун фотоактив материал, ҳамда сифатли ва арзон тагликлар сифатида уларга A^3B^5 ҳамда A^2B^6 яримўтказгич бирикмаларни ўстиришда фойдаланиш мумкин. Улар асосида олинган структуралар эса яримўтказгичлар материалшунослиги учун назарий ва амалий аҳамиятга эга.

I – БОБ ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛАР

Электр ўтказувчанлиги қиймати металллар ($\sigma = 10^{10} \div 10^8 \text{ ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$) ва диэлектриклар ($\sigma = 10^{-8} \div 10^{-12} \text{ ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$) орасида жойлашган моддаларни ярим ўтказгичлар деб аталади. Ярим ўтказгичларнинг яна бир муҳим фарқловчи хусусияти шундан иборатки, температура кўтарилиши билан уларнинг электр ўтказувчанлиги тез ортиб боради. Ушбу моддаларни дастлаб ўрганиш бошланганда киритилган юқоридаги тарифга ҳозирги кунда бир қатор аниқликлар қўшилган. Бу аниқликлар уларнинг энергетик зоналари тузилиши, заряд ташувчиларнинг хоссаларидан келиб чиқади.

Температуранинг етарлича катт оралиғида ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги экспоненциал ўзгаради:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_A / kT) \quad (1)$$

Бунда E_A ўтказувчанликни фаоллаш энергияси деб номланади ва электронни атомлар билан боғланишининг ўртача энергиясини билдиради. Ҳар қандай температурада иссиқлик ҳаракати энергияси таъсирида ярим ўтказгичдаги валент электронларнинг $\exp(-E_A / kT)$ га пропорционал қисми эркин заряд ташувчилар бўлади. Ярим ўтказгичларнинг ўтказувчанлиги бошқа ташқи таъсирлар (масалан, ёруғлик оқими, зарралар оқими, киришмалар, электр майдон) натижасида ҳам, кўп ҳолларда, экспоненциал ўзгаради. Шунинг учун улар температурага, киришма миқдорига ва бошқа ташқи таъсирларга жуда сезгирдир. Ярим ўтказгичларнинг бу хоссасидан турли хил вазифаларни бажарувчи асбоблар, сезгир қурилмалар қилишда фойдаланилади.

1.1. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Ярим ўтказгичларни қандай кимёвий элементлардан ташкил этилганига қараб тўрт турга ажратиш мумкин.

Биринчи турга элементлар даврий жадвалининг IV гуруҳ элементлари Ge ва Si лар қиради. Бу элементлар тўрт валент электронга эга бўлиб, ковалент (атом) боғи кристалл панжараси ҳосил қилади. Улар бир элемент атомларидан тузилгани учун элементар (сода) ярим ўтказгичлар дейилади.

Иккинчи тур ярим ўтказгичлар даврий системанинг III гуруҳ элементлари (Al, Ga, In) билан V гуруҳ элементлари (P, As, Sb) нинг бирикмалари қиради. Улар $A^{III} B^V$ бирикмалар деб белгиланади. (GaAs, InSb, GaP, InP ва бошқалар). III гуруҳ элементлари учта валент электронга, V гуруҳ элементлари эса беш валент электронга, эга, шунинг учун $A^{III} B^V$ кўринишдаги кимёвий элементда ўртача ҳар бир атом тўрт валент электронга эга бўлади. Уларни *олмоосимон ярим ўтказгичлар* деб аталади. Кристалл панжарасида ҳар бир атом қўшни атом билан тўрт валентли боғланишлар ҳосил қилади. Натижада олмос панжарасига ўхшаш кристалл панжараси ҳосил бўлади. Ушбу турдаги моддаларда ковалент боғланиш етакчи ўрин тутади, шунинг учун улар Ge ва Si га ўхшаш хоссаларни намоён қилади. Даврий жадвалнинг II ва VI гуруҳ элементлари бирикмаларида ҳам ўртача ҳар бир атомга тўртта электрон тўғри келади (ZnTe, ZnSe, CdTe, CdS ва бошқалар). Лекин уларда ион боғланиш ковалент боғланишга нисбатан етакчи ўрин тутади.

Учинчи тур ярим ўтказгичларга даврий жадвалнинг V ва VI гуруҳларининг баъзи элементлари қиради. Гуруҳдаги Se ва Te ларнинг ярим ўтказгичлик хоссалари Ge ва Si дан ҳам олдин аниқланган. V гуруҳ элементлари As, Sb ва Bi лар ярим металллар бўлиб, уларнинг кўп хоссалари ярим ўтказгичларга яқиндир. $A^{IV} B^{VI}$

кўринишдаги моддалар (PbS , PbSe , SeTe , GeTe ва бошқалар) ҳам ўртача беш валент электронга эга. Бу моддалар ярим ўтказгичли инфрақизил нурлар қабуллагичида ишлатилади.

VI гуруҳ элементлари (Se , Te , S , O) нинг I – V - гуруҳ элементлари билан ҳосил қилинган кимёвий бирикмалари ичида кўп ярим ўтказгич моддалар мавжуд. Масалан, бирикмаси тўғрилагичларда (кўпроксин тўғрилагич) ва термоэлемент сифатида қўлланилади. Бошқа кўп бирикмаларнинг хоссалари ҳали ўрганилмаган.

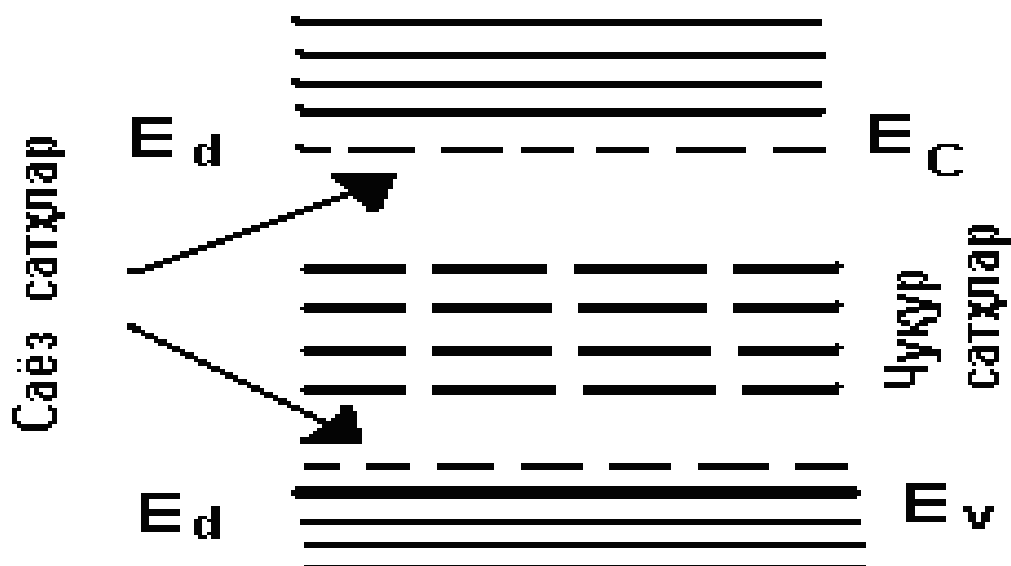
Тўртинчи тур ярим ўтказгичларига VI гуруҳ элементларининг ўтиш металлари (Ti , V , Mn , Fe , Ni , Sm , Eu ва бошқалар) билан ҳосил қилинган бирикмалар киради. Уларнинг бирикмаларида ион боғланиш устувор бўлиб, кўп бирикмалар магнит хоссаларга эгадир. Масалан, EuO , EuS , CdCr_2Se_4 ярим ўтказгичлари ферромагнитлардир, EuTe , EuSe , NiO лар эса антиферромагнит хоссага эга. Бундай бирикмаларнинг баъзилари (V_2O_3 , Fe_3O_4 , NiS , Eu_2O ва бошқалар) температура ва босим ўзгариши билан металл ҳолатига ўтиши мумкин.

1.2 . ЯРИМ ЎТКАЗГИЧДА КИРИШМАЛАР

Ярим ўтказгич кристалл панжарасига ёт атомларнинг муайян миқдорда кириб қолиши натижасида киришмали ярим ўтказгич ҳосил бўлади. Жуда кам миқдордаги киришмалар ҳам ярим ўтказгичларнинг физик хоссасига катта таъсир кўрсатади. Масалан, тоза кремний кристалига 0,00001 % Бор атомлари киритилганда унинг электр ўтказувчанлиги хона температурасида 100000 марта ошиб кетади.

Кристалл панжарасидаги киришмалар одатда нуқсон ҳисобланади. Агар киришма кристалл панжарасидаги асосий элемент

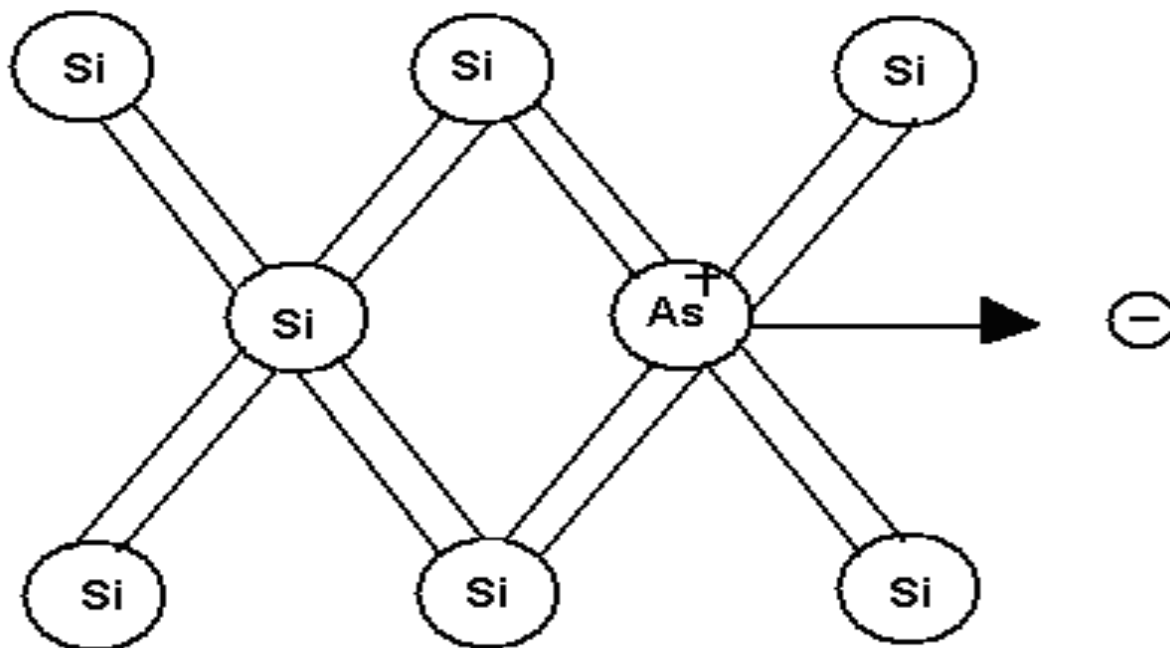
ўрнини эгаллаб олган бўлса уни ўринбосар қаттиқ эритма дейилади. Киришма кристалл панжарасидаги атомлар орасига кириб қолган бўлса суқилма қаттиқ эритма деб аталади. Киришма ва асосий модда эффектив атом радиуси орасидаги фарқ 15 % дан ошмаган ҳолларда ўринбосар киришмалар ҳосил бўлади. Ундан ташқари киришма валентлигининг асосий атом валентлигидан фарқи ± 1 дан ошмаслиги лозим. Суқилма киришма ҳосил бўлиши учун эса киришма атомнинг эффектив радиуси $r_{kp} \leq 0,59r_a$ бўлиши керак (r_a - асосий атомларнинг эффектив радиуси). Киришмалар панжара даврийлигини бузади, тақиқланган зона маҳаллий сатҳлар ҳосил қилади. Кўп ҳолларда маълум бир параметрли ярим ўтказгич ҳосил қилиш учун атайлаб киришмалар киритилади, уни ярим ўтказгичларни *легирлаш* деб аталади. Киришма ҳосил қилган маҳаллий сатҳ ўтказувчанлик ёки валент зонасига яқин жойлашган бўлса *саёз сатҳ* деб номланади (–чизма). Агар маҳаллий сатҳлар тақиқланган зона ўртасига яқин жойлашган бўлса *чуқур сатҳ* дейилади.



6 - чизма. саёз ва чуқур сатҳлар

Ионланиш жараёнида ўтказувчан зонага қўшимча электрон берувчи киришма *донор киришма* деб аталади. Мисол тариқасида

кремний кристаллига кириб қолган маргумуш (As) атомни кўриб чиқайлик (2 – чизма).



7 - чизма. Донор киришма ўзидан электронни бўшатади

Ушбу атом бешта валент электронга эга бўлиб, улардан тўрттаси кремний атоми билан ковалент боғ ҳосил қилишда қатнашади.

Бешинчи валент электрон эса унга заиф боғланган ҳолда бўлади. Бу электронларнинг атомга боғланиш энергиясини топиш учун уни водородсимон атом деб қарашимиз мумкин. Эркин As атомида

$$E_i = -\frac{m_0 e^4 z^2}{2\hbar^2} \quad (2)$$

Диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ бўлган кремний кристаллида бу энергия ϵ^2 марта кичраяди.

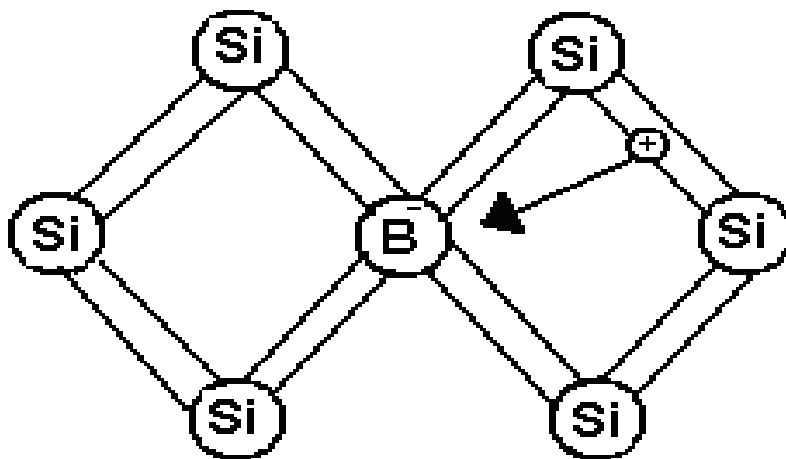
$$E_d = -\frac{m_n^* e^4 z^2}{2\hbar \epsilon^2} \quad (3)$$

Бундан m^* - кристалдаги электроннинг эффектив массаси, m_0 эркин электрон массаси. У ҳолда

$$E_i = E_i \frac{m_n^*}{\varepsilon^2 m_0} \quad (4)$$

Кремний учун $\varepsilon \approx 11$ эВ, $\frac{m^*}{m_0} < 1$ ва As учун $E_i \approx 10 \div 15$ эВ

эканлигини ҳисобга олсак E_d нинг эВ улушларига тенг бўлган кичик қийматга эгалигини аниқлаймиз. Демак, кристалл панжарадаги марғумуш атомининг бешинчи валент электронини узиб олиш учун жуда кичик энергия кифоя экан. Дарҳақиқат, марғумиш тақиқланган зонада ўтказувчанлик зонасига яқин бўлган донор сатҳ E_d ҳосил қилади. (3 - чизма). Нормал шароитдаги температурада бу сатҳдаги электрон ўтказувчанлик зонасига ўтиб келган бўлади. Натижада киришмали кремний кристаллида ўтказувчан электронлар сони кўпайиб кетади. Бундай ярим ўтказгичлар *n – тур ярим ўтказгич* деб аталади. *n – турдаги* ярим ўтказгичларда ўтказувчан электронлар сони соф ярим ўтказгичникидан кўп бўлади.



8 - чизма. Акцептор киришма ўзига электронни олади

Энди Бор (В) атомлари киритилган кремний кристаллини кўриб чиқамиз. Бор атоми уч валентли бўлиб кремний атомлари билан ковалент боғ ҳосил қилиш учун бир электрон етишмайди. Бу электронни Бор атоми кўшни кремний атомидан тортиб олиши мумкин. Бунинг учун E_a энергия керак бўлади. Юқоридаги мулоҳазаларни кўтариб E_a учун ҳам (5) га ўхшаш ифода ҳосил қилишимиз мумкин. E_a нинг қиймати хона температураларида 0, 1 эВ га яқиндир. Бу энергия сатҳи валент зона яқинида жойлашган бўлиб *акцептор сатҳ* деб номланади. Акцептор киришмали ярим ўтказгичларда тоза ярим ўтказгичга нисбатан коваклар сони кўп бўлади. Бундай ярим ўтказгични ковак ўтказувчанлиги ёки *p – тур ярим ўтказгичлар* дейилади.

Киришма атомларининг миқдорини ошириб борсак улар кристалл панжарасида бир – бирига яқин келиб қолади, натижада уларнинг электрон тўлқин функциялари устма – уст тушиб кристалл панжарасида *киришмавий зона* ҳосил қилади. Киришма атомларининг

$$N_k = 2,2 \cdot 10^{24} \left(\frac{m^*}{m_0 \varepsilon} \right)^3 \quad (5)$$

зичлиги

бўлгандан бошлаб киришмавий зона ҳосил бўла бошлайди. n- тур ўтказувчанликка эга бўлган кремний учун $N_k \approx 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ни ташкил этади. Киришмавий зона ҳосил қилувчи ярим *ўтказгичлар кучли легирланган ярим ўтказгичлар* деб аталади.

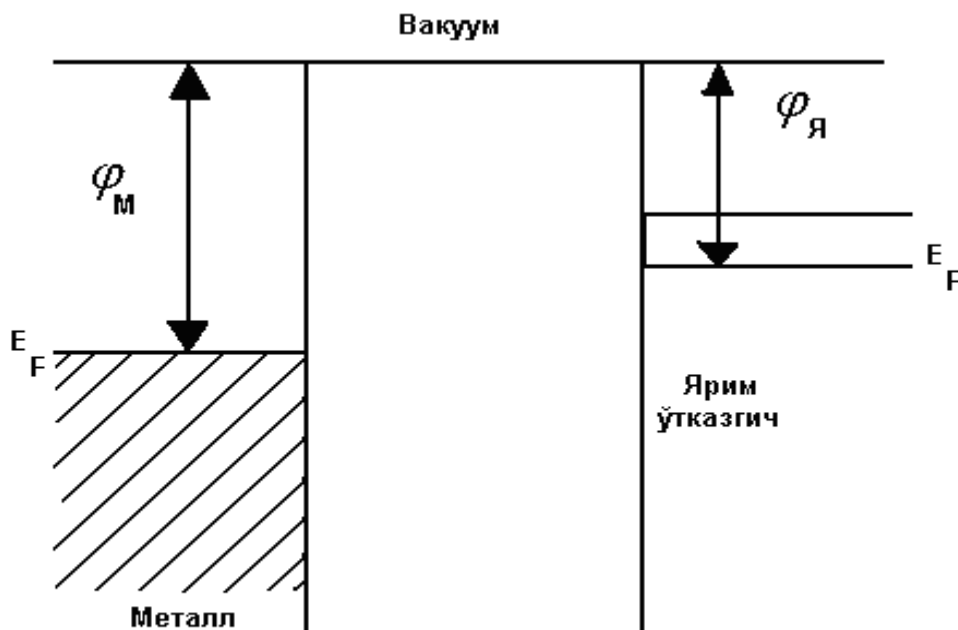
Баъзи киришмалар бир неча сатҳлар ҳосил қилади, уларнинг баъзилари донор, бошқалари акцептор бўлиши мумкин. Бундай киришмалар *амфотер киришмалар* деб аталади.

Ярим ўтказгичдаги киришма сатҳлари ундаги жуда кўп ва турли туман жараёнларда муҳим ўрин тутати. Ҳозирги замон электроникаси учун ярим ўтказгичларга киришмалар киритиш билан улар параметрини керакли томонга ўзгартириш муҳим масалалардан биридир.

1.3. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛАРДА КОНТАКТ ҲОДИСАЛАР. МЕТАЛЛ – ЯРИМ ЎТКАЗГИЧ КОНТАКТИ

Ярим ўтказгичда электр токи ўтказиш учун уни электр манбадан келган металл ўтказгич билан туташтириш (яъни, контактлаш) керак. Натижада металл – ярим ўтказгич контакти ҳосил бўлади. Ярим ўтказгичли асбобларнинг деярли барчаси ярим ўтказгичларнинг металл, ярим ўтказгич, диэлектрик билан контакт ҳосил қилиши натижасида яратилади. Шунинг учун контакт ҳодисаларини ўрганиш муҳим аҳамиятга эга. Қуйида металл билан ярим ўтказгич контактини кўриб чиқамиз. Металл сиртидан иссиқлик ҳаракати таъсирида чиқаётган электронлар оқими учун (8) ифода ҳосил қилинган эди.

Ундаги φ - термодинамик чиқиш иши деб номланади ва у Ферми сатҳидан вакуум сатҳигача бўлган энергетик масофани билдиради. (4 –чизма).



9 -чизма. Металл-ярим ўтказгич контакти.

Металл ва ярим ўтказгичлар алоҳида вакуумда жойлашганда уларнинг ҳар биридан қуйидаги ифодалар билан аниқланувчи электронлар оқими ҳосил бўлади.

$$J_{\text{я}} = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^3} \exp\left(-\frac{\varphi_{\text{я}}}{kT}\right), \quad (6)$$

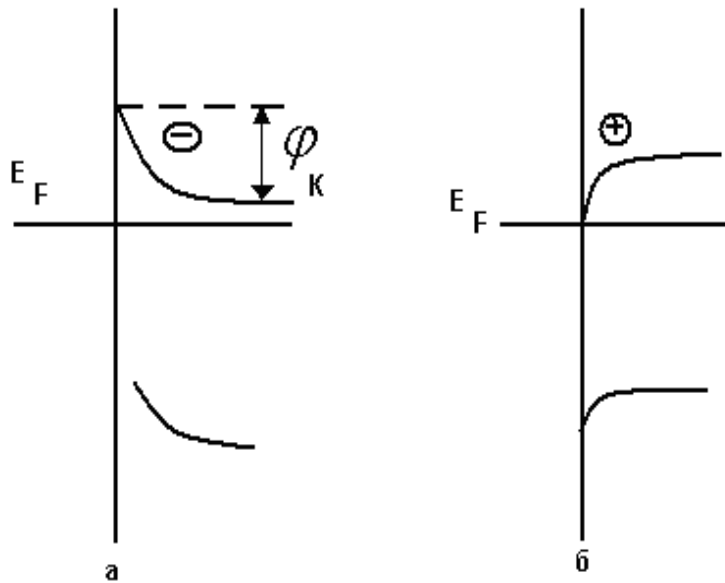
$$J_{\text{М}} = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^3} \exp\left(-\frac{\varphi_{\text{М}}}{kT}\right)$$

Энди ярим ўтказгич билан метални туташтирамиз. 9- чизмада кўрсатилган ҳол учун $\varphi_{\text{м}} > \varphi_{\text{я}}$, бинобарин $J_{\text{я}} > J_{\text{М}}$ бўлади. Демак, бир хил температурада ярим ўтказгичдан металлга ўтаётган электронлар сонидан катта бўлади. Натижада металл сирти манфий, ярим ўтказгич сирти эса мусбат зарядланиб қолади. Контактда электр майдон ҳосил бўлади ва бу майдон $J_{\text{я}}$ ва $J_{\text{м}}$ оқимлар фарқига тенг тескари оқим ҳосил қилмагунча ортиб боради. Электронлар оқими мувозанатлашганда контактдаги электр майдон энергияси $\varphi_{\text{к}}$ чиқиш ишлари айирмасига тенг бўлади.

$$\varphi_{\text{к}} = \varphi_{\text{М}} - \varphi_{\text{я}} \quad (7)$$

Майдон металл ичкарасига кирмайди, у ярим ўтказгич сиртига яқин қатламда ҳосил бўлади (5 - чизма).

а) Ярим ўтказгичдан металлга ўтган электронлар ҳисобига ярим ўтказгичда электронлар зичлиги камаяди ва энергия зонаси юқорига эгриланади. Ярим ўтказгичнинг ҳажмида n_0 ва сиртидаги n электронлар зичлиги



10 -чизма. Металл -ярим ўтказгич контактида беркитувчи ва беркитмайдиган қатламларнинг пайдо бўлиши

$$n = n_0 \exp(-\phi_k / kT) \quad (8)$$

кўринишда боғланган бўлади.

Бундай қатламнинг солиштирма қаршилиги катта бўлганлиги учун уни беркитувчи қатлам дейилади. Агар $\phi_M < \phi_Y$ бўлса, у ҳолда $J_M < J_Y$ ва металл сирти мусбат, ярим ўтказгич сирти манфий зарядланади. Энергия зонаси пастга эгриланади (5 – чизма, б).

Беркитувчи қатламнинг мувозанат шароитидаги кенглиги :

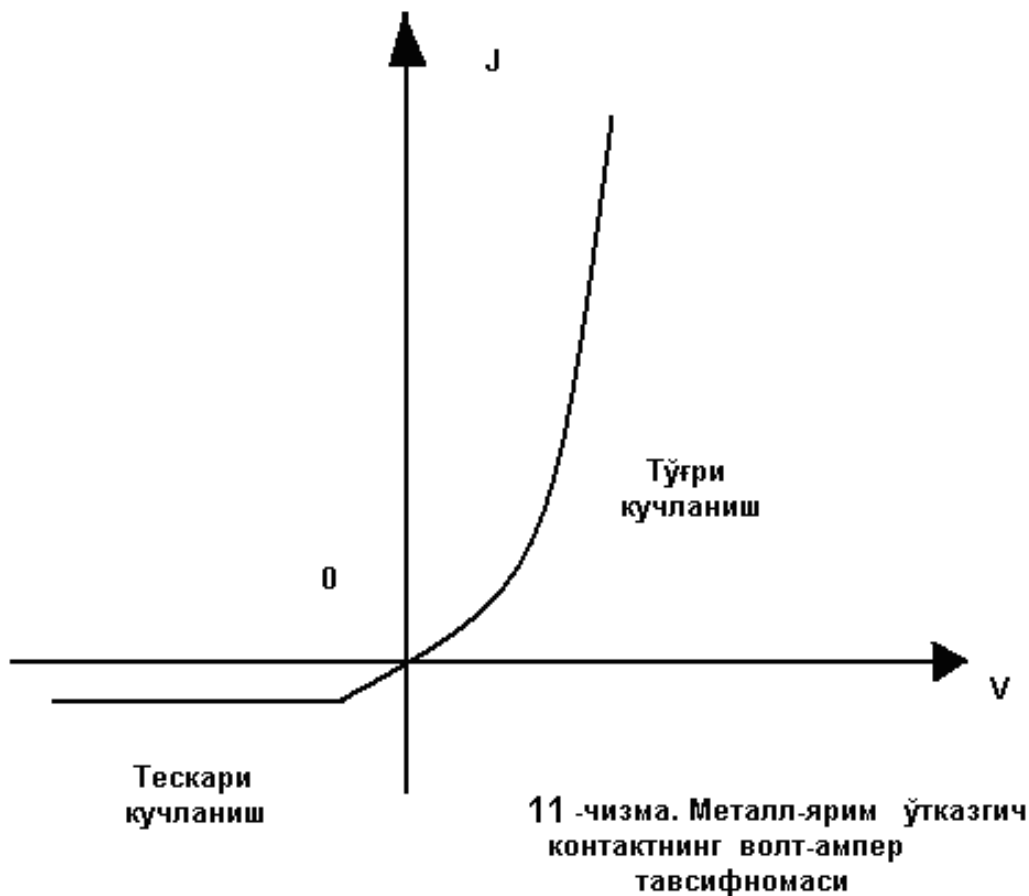
$$L = \left(\frac{\epsilon \phi_k}{2\pi e^2 n_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Беркитувчи қатламли металл – ярим ўтказгич контактлари ўзгарувчан ток тўғрилагичлари бўлиб хизмат қила олади. Шундай контактнинг металл қисмига мусбат кутб, ярим ўтказгич қисмига манфий кутб уланган V кучланишли электр токи манбаини кўриб чиқамиз. Бундай уланишда контакт потенциаллар айирмаси камаяди:

$$\phi = \phi_K - eV. \quad (10)$$

Ярим ўтказгичдан металлга томон ҳаракатланаётган электронлар учун потенциал тўсиқ пасаяди, электронлар оқими ортиб кетади. Агар занжир берк бўлса доимий ток ҳосил бўлади. Токнинг қиймати кучланиш ортиши билан жуда тез, кўрсаткичли функция сингари ортиб боради (6 - чизма). Бундай кучланишни *тўғри кучланиш* деб номланади. Контакт қатлам кенглиги ҳам (9) га мувофиқ камаяди:

$$L(V) = \left[\frac{E(\varphi_K - eV)}{2\pi e^2 n_0} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$



Энди контактдаги металлга манфий, ярим ўтказгичга мусбат кулбни улаймиз. Бундай кучланиш *тескари кучланиш* деб аталади. У ҳолда контактдаги потенциал тўсиқ баландлиги ортади:

$$\varphi = \varphi_K + e|V| \quad (12)$$

Электронларнинг ярим ўтказгичдан металлга томон оқими камаяди. Металлдан ярим ўтказгичга томон электронлар оқими ўзининг кичик қийматича қолаверади. Бу оқимлар фарқидан ҳосил бўлган ток жуда кичик бўлиб, *тескари ток* дейилади. Тескари кучланиш ортиб борган сари контакт қатлами ҳам кенгайиб боради, электронлар оқими эса 0 га интилади. *Тўғри ток* тескари токдан бир неча тартиб катта бўлади.

Шунинг учун, айтиш мумкинки, беркитувчи металл – ярим ўтказгич контакти токни бир томонга яхши ўтказди, тескари томонга эса деярли ўтказмайди. Бундай контакт Шоттки контакти деб номланиб, тўғрилагич, яъни диод вазифасини бажариши мумкин. Уларни Шоттки диодлари деб аталади. Шоттки контакти икки сиртнинг туташидан иборат, шунинг учун у муайян электр сифимга эгадир:

$$C = \frac{\varepsilon}{4\pi L} = \left(\frac{e^2 n_0}{8\pi \varphi_K} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

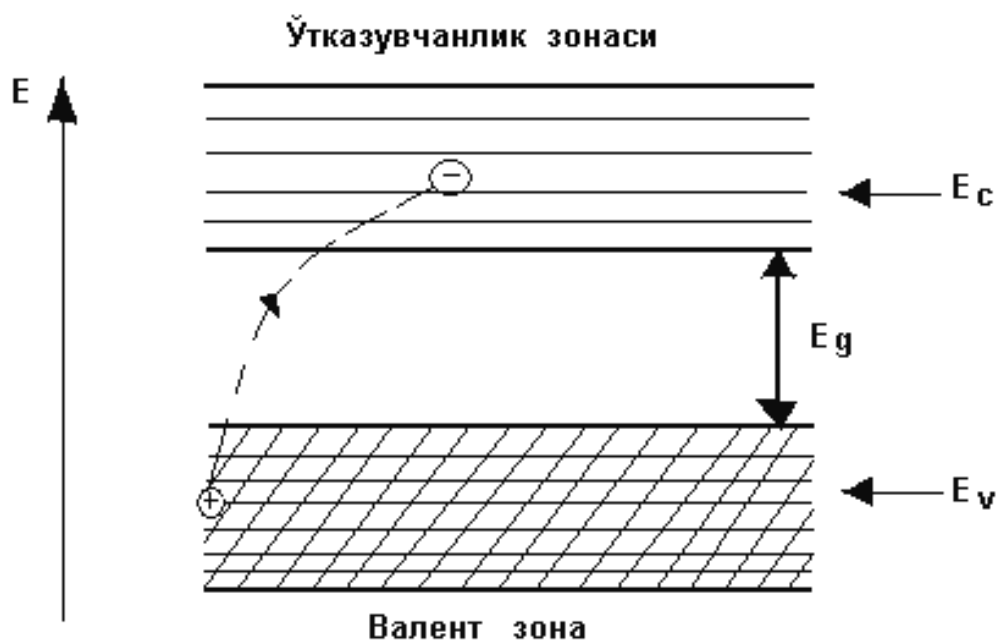
Ташқи электр манбага уланган ушбу ифодадаги φ манба кучланишига боғлиқ бўлади, у ҳолда (10) га мувофиқ:

$$C = \left[\frac{e^2 n_0}{8\pi (\varphi_K - eV)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Демак контактнинг сифими ташқи кучланишга боғлиқ экан. Вариациялар деб номланувчи асбобларнинг ишлаш тамойили ана шундай кучланиш билан бошқариладиган электр сифимларга асосланади.

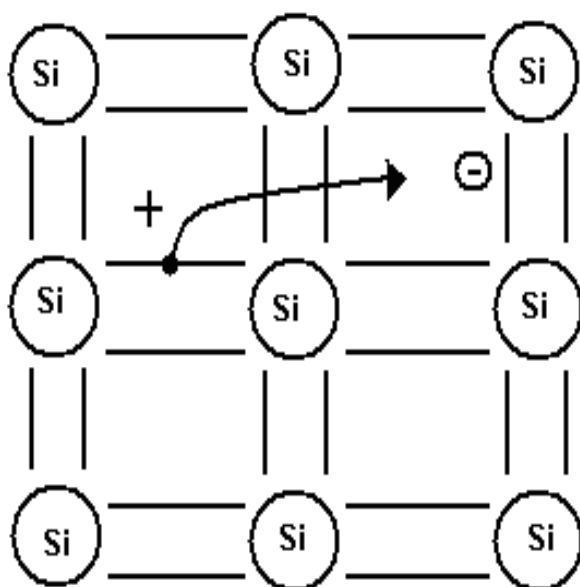
1.4. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛАРДА ХУСУСИЙ ЎТКАЗУВЧАНЛИК ВА ЗОНАЛАР ТУЗИЛИШИ.

Бегона киришмалар йўқ тоза ҳолдаги ёки киришмалар хиссаси кам бўлган, ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги хусусий ўтказувчанлик деб номланади. Тоза ярим ўтказгич моддалар паст температурада электр токини ёмон ўтказди. Бунга сабаб, уларда электроннинг энергетик зоналари тўлдирилиши диэлектриклардагига ўхшашлигидир. $T = 0\text{K}$ да ярим ўтказгичларда валент зонаси электронлар билан тўла тўлган бўлиб, унда юқориги зона ўтказувчанлик зонаси бўш бўлади. (7- чизма). Етарлича паст температураларда ўтказувчан зона бўшлиги учун ярим ўтказгич электр токини ўтказмайди. Температура кўтарилиши билан иссиқлик энергияси таъсирида валент зонадаги баъзи электронлар ўтказувчан зонага ўтиб олади. Валент зонада эса мусбат зарядли коваклар ҳосил бўлади.



1 - чизма. Ярим ўтказгичнинг энергия зоналари

Металларда фаркли ўларок, ярим ўтказгичларда заряд ташувчилар вазифасини электронлар ва коваклар ўтайди. Ҳақиқий кристаллда бу ходиса қуйидагича содир бўлади. Ковалент боғланиш ҳосил қилишда катнашаётган электронларда бир иссиқлик ҳаракати натижасида атомдан узилиб эркин электронга айланади (8 – чизма.)



2 - чизма. Эркин электрон
ва ковакнинг пайдо
бўлиши

Электрон етишмаётган боғланиш ҳаракатчан ковакдан иборат. Эркин электрон ҳам, эркин ковак ҳам кристалл панжара бўйлаб кўчиб юриши мумкин. Кўшни боғдан электрон тортиб олиш натижасида мазкур жойда ковак йўқолади, лекин кўшни боғда ковак ҳосил бўлди. Бу ходиса ковакнинг кўчиб юришидир.

Узилган электронлар яна қайтиб ўзи ҳосил қилган ковакка тушса, эркин электрон ва ковак жуфти йўқолади, бунини *рекомбинация* дейилади. Нолдан фаркли температураларда ярим ўтказгичларда албатта бундай коваклар ва ўтказувчанлик электронлари мавжуд бўлади ва улар электр токини ўтказа олади. Ярим ўтказгичларнинг бу хоссаси уларни диэлектриклардан фарқлайди. Диэлектрикларда нормал шароитда бундай заряд

ташувчилар бўлмайди ёки жуда кам миқдорда ҳосил бўлади. Тоза ярим ўтказгичларда қанча ўтказувчанлик электронлари пайдо бўлса, шунча коваклар ҳосил бўлади. Мувозанатий ҳолатда ўтказувчанлик электронлари зичлигини n_0 , ковакларникини p_0 деб белгиласак, хусусий ўтказувчанлик учун

$$n_0 = p_0 = n_i \quad (15)$$

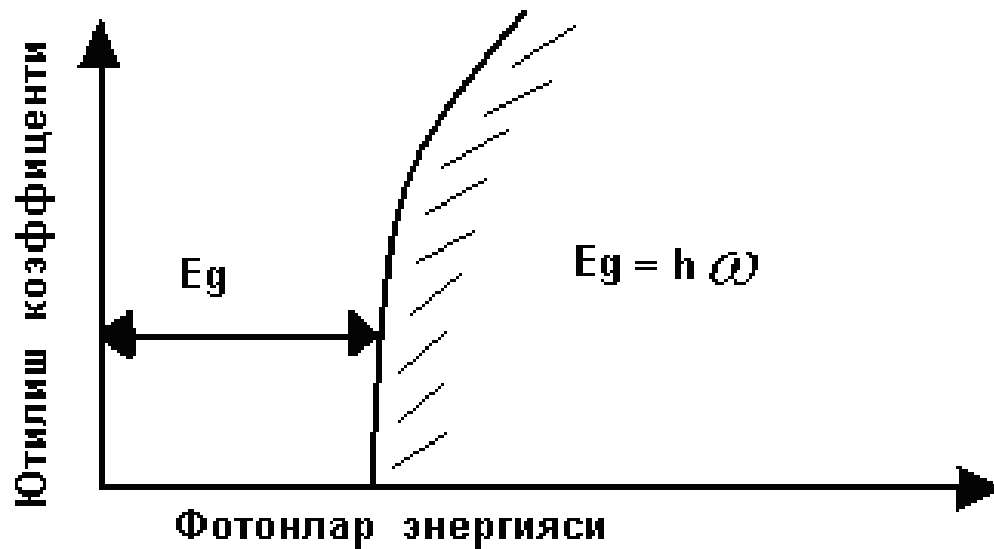
Бундан n_i - хусусий ярим ўтказгичдаги заряд ташувчилар зичлиги (intrinsic - хусуий).

Маълум бир температурадаги заряд ташувчилар миқдори тақиқланган зона кенглигига боғлиқ бўлади. E_g – қанча кичик бўлса, ўтказувчанлик электронлари сони шунча кўп бўлади.

Ge учун $E_g \approx 0.67$ эВ, Si учун $E_g \approx 1.14$ эВ ни ташкил қилади. Шунинг учун, масалан, хона температурасида ($T = 300^\circ \text{K}$) Ge кристаллдаги ўтказувчанлик электронлари зичлигиникидан тахминан 10^3 марта катта.

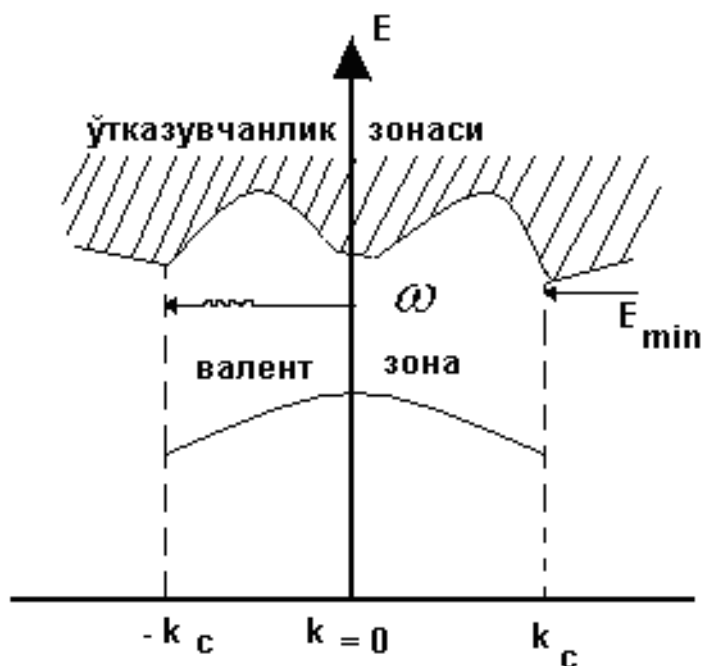
Ярим ўтказгичларнинг тақиқланган зона кенглигини оптик усулда аниқлаш мумкин. Бунинг учун ярим ўтказгичларда ёруғлик нури ютилиш коэффицентини тўлқин узунлигига боғлиқлиги ўрганилади. Фотон энергияси $\hbar\omega < E_g$ бўлганда у деярли ютилмайди, чунки унинг энергияси валент зонадаги электронларни ўтказувчанлик зонасига кўтариш учун етмайди. $\hbar\omega \geq E_g$ бўлганда фотонларнинг ютилиши бошланади (9 - чизма).

Кристаллда электрон ковак жуфти ҳосил бўлади. Электронларнинг ўтказувчанлик зонасига бундай ўтиш бевосита (яъни тўғри) ўтиш деб



3 - чизма. Ярим ўтказгичда ёруғлик ютилишига доир

номланади. Баъзи ярим ўтказгичларнинг (масалан Ge, Si) зоналар тузилиши мураккаб бўлади. Уларнинг ўтказувчанлик зонасидаги электронлар учун энг кичик энергия ($E_{\min}$) га тўғри келувчи тўлқин вектор k_c , валент зонадаги ковакларнинг энг катта энергиясига мос келувчи тўлқин вектор ($k = 0$) билан мос келмайди (10 - чизма).



4- чизма. Тўғри ва нотўғри ўтишлар

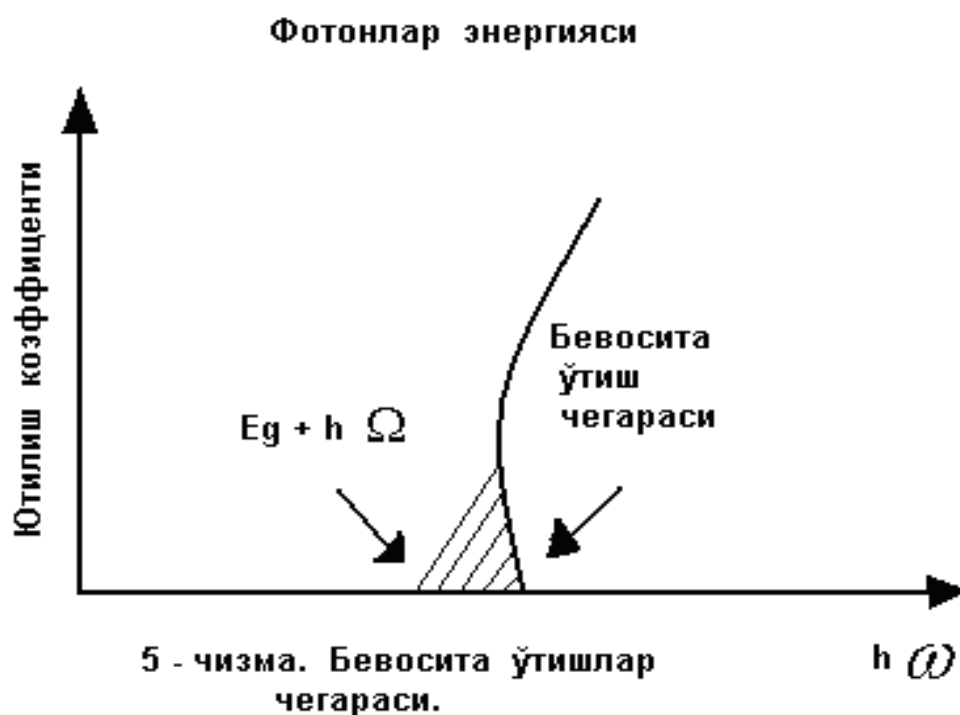
Энди бевосита ўтиш учун ҳаракат миқдори сақланиш қонуни бажарилмайди. Лекин, бундай ўтишлар фотон ҳосил бўлиши билан

амалга ошиши мумкин. Унда энергия сақланиш қонуни $\hbar\omega_\phi < E_g + \hbar\omega_q$. Имплуснинг сақланиш қонуни эса

$$\vec{k}_\phi = \vec{k}_c + \vec{k}_q \quad (16)$$

кўринишда ёзилади.

Бунда ω_ϕ ва k_ϕ лар уйғотилган фотоннинг такрорийлиги ва тўлқин вектори. Ёруғдик таъсирида электронларнинг бундай ўтиши *бевосита* ўтиш деб номланади. Билвосита ўтишда ярим



ўтказгичларнинг тақиқланган зона кенглигини тўғридан – тўғри аниқлаб бўлмайди. Тақиқланган зона чегараси силжиган бўлади. Ярим ўтказгичда ютилган фотон эркин электрон ва ковак ҳосил қилади. Энергиянинг бир қисми эса $\hbar\omega_q$ энергияли фотон ҳосил қилишга сарқланади. Баъзи ярим ўтказгичлар учун тақиқланган зона кенглиги 1 – жадвалда келтирилган d - ҳарфи билан *бевосита* ўтиш, i - ҳарфи билан *билвосита* ўтиш кузатилган ярим ўтказгичлар белгиланган.

1 – жадвал.

№	Яримўтказг ич кристали	Ўти ш тури	Eg ,Эв		№	Яримўтказг ич кристали	Ўти ш тури	Eg ,Эв	
			0 ⁰ К	300 ⁰ К				0 ⁰ К	300 ⁰ К
1	Si	i	1,1 7	1,14	9	Te	d	0,3 3	-
2	Ge	i	0,7 4	0,67	1 0	PbS	d	0,2 9	0,35
3	InSb	d	0,2 3	0,18	1 1	PbSe	d	0,1 7	0,27
4	InAs	d	0,3 6	0,35	1 2	PbTe	d	0,1 9	0,3
5	InP	d	1,2 9	1,35	1 3	CdS	d	2,5 8	2,42
6	GaP	i	2,3 5	2,26	1 4	CdSe	d	1,8 4	1,74
7	GaAs	d	1,5 2	1,43	1 5	CdTe	d	1,6 1	1,45
8	AlSb	i	1,6 5	1,52	1 6	SnTe	d	0,3	0,18

2- БОБ. МОНОКРИСТАЛЛАР ЎСТИРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ АСОСЛАРИ.

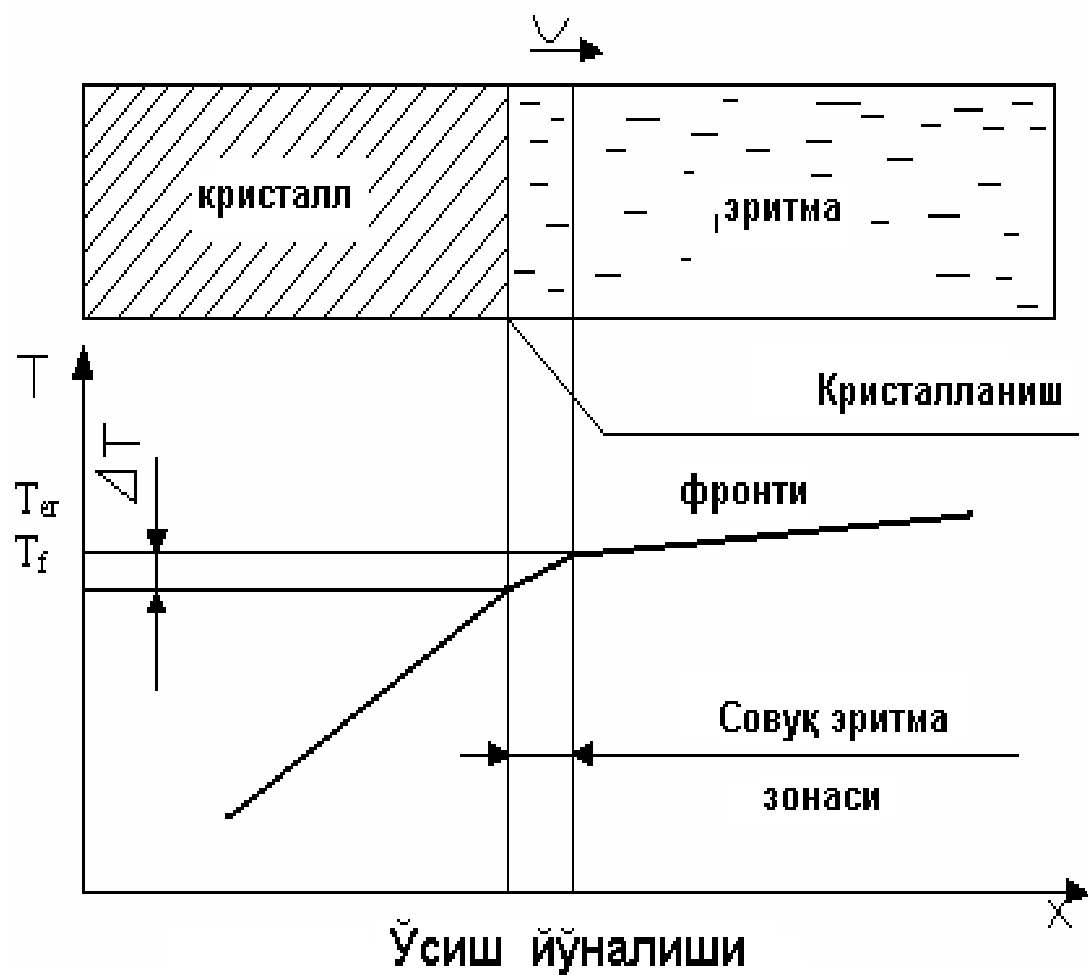
Яримўтказгич монокристаллар ва эпитакциал қатламлар ўстириш каттик фазадан, суюқ фазадан, газ фазадан амалга оширилиши мумкин. Биз қуйида бу ҳолларнинг ҳар бири ҳақида тўхтаб ўтамиз.

2.1. КРИСТАЛЛАРНИ СУЮҚ ФАЗАДАН ҲОСИЛ ҚИЛИШ КРИСТАЛЛАРНИ СУЮЛМАЛАРДАН ҲОСИЛ ҚИЛИШ.

Кристалларни бундай ўстиришнинг икки гуруҳ усуллари ишланган бўлиб, улар суюлмаларнинг ўзидан ўстириш ва эритмалардан ўстириш усуллари дир.

Бу усуллар саноатда кенг қўлланади. Уларнинг унумдорлиги юқори. Жараёнлар киришмалар деярли бўлмаган бир таркибловчи тизимда боргани туфайли ўстириш тезлиги анча катта, етарлича тоза кристаллар олинади. Кристалларни бу усулларда ўстиришда мумкин бўлган энг катта температуралар талаб қилади. Бу эса, баъзи муаммоларни келтириб чиқаради. Хусусан, жараён юқори температурада бориши учун қувватдор қурилмалар бўлиши зарур. Ушбу шароитда суюлма ифлосланиши ҳам мумкин.

Монокристалларни суюлмадан ўстиришнинг барча усуллари суюлманинг йўналган кристалланиши жараёнларига асосланган. Бунда суюлма ΔT қадар ўта совиган ҳолда кристаллнинг ўсиши бир фазавий чегарада амалга ошади ва иссиқлик кристалланиш фронтидан бир йўналишда асосан олиб келади. (12 - расм). Бу жараёнда битта монокристалл ҳосил бўлади.



12-расм. Суюлмадан йўналган кристалланиш усулида кристалл ўстиришда температура тақсимоти.

Йўналган кристалланиш усуллари уч гуруҳга бўлинади.

- 1) тайёрлама моддани суюлтирилади ва кейин уни бир томонидан кристалланади (нормал йўналган кристалланиш)
- 2) Суюлган тайёрлама моддадан монокристалл тортиб олинади (суюлмадан кристалларни тортиб олиш):
- 3) Ҳар бир пайтда тайёрлама модданинг фақат унда катта бўлмаган қисми (зонаси кетма – кет суюлтирилиб, кейин уни кристалланади (зоналар қайта кристалланиши усуллари).

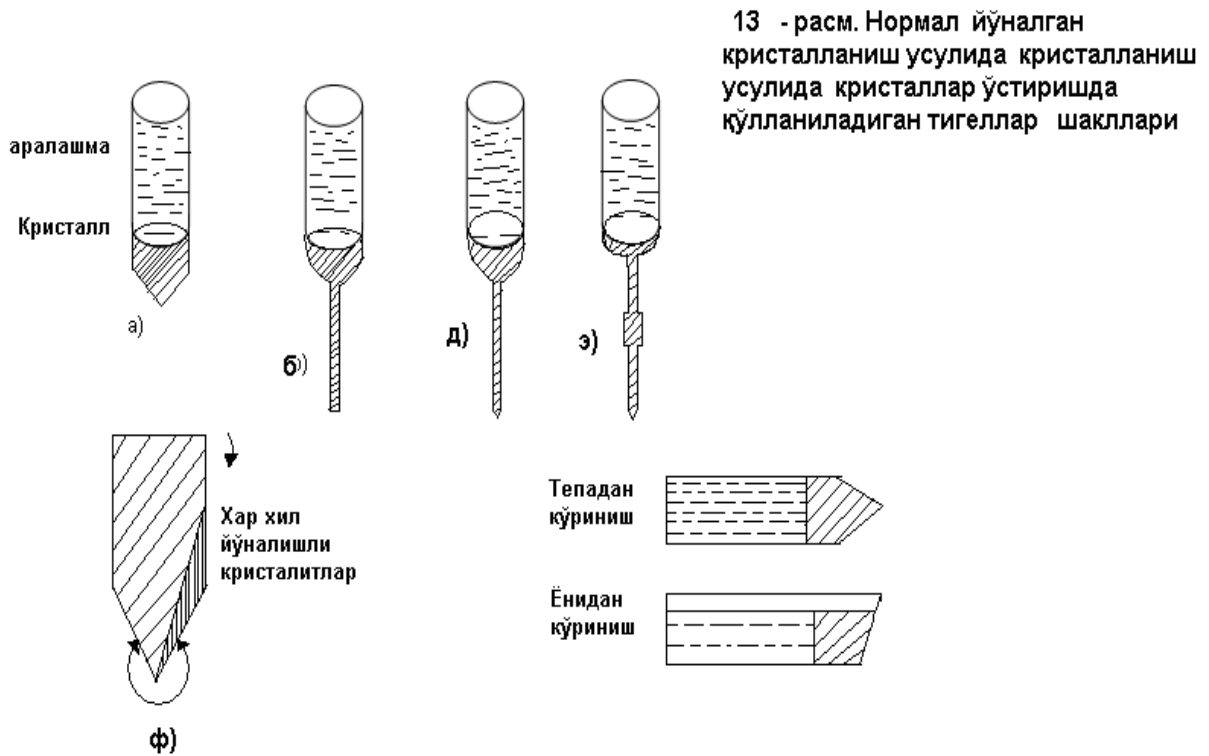
Суюлмаларнинг нормал йўналган кристалланиш усуллари.

Бу усулларнинг барчасида суюлмали идиш (тигел) деворлари билан тегишган ҳолда кристалл ўсади. Кристалланиш фронтида ўта совиш ҳосил қилиш учун суюлмали тигелни иситгичга нисбатан ёки иситгични тигелга нисбатан жилдириб турилади. Бу ишни, жилдиришсиз суюлмали тигелни температура градиенти мавжуд бўлган ҳолда совитиш эвазига ҳам бажариш мумкин.

Нормал йўналган кристалланиш жараёни махсус равишда кристалланиш марказлари ҳосил қилмасдан ҳам ўтказилиши мумкин. Бу ҳолда кристалланувчи бутун модда жараён бошида суяқ ҳолатда бўлади. Тигелнинг модданинг суюлиш температурасидан паст температурадаги соҳаси совиганда, қоида тариқасида, бир неча кристалланиш марказлари ўз-ўзидан ҳосил бўлади. Ўсиш жараёни самарадорлигини ошириш учун бир неча хил тузилишли тигеллар ишлатилади (13 а, ф - расм)

Даставвал кристалланувчи модда хажмини камайтириш учун тигелнинг бир учи конус шаклида қилинади. Бу жойда кристалланиш маркази ҳосил бўлиши эҳтимоллиги ортади. Ўсиш учун қулай йўналган марказ бошқалари ўсишини тўхтатади. Бундай натижага эришиш учун тигелнинг бир учи капиллар шаклида ясалади. (13 б, д, э - расм).

Нормал йўналган кристалланиш жараёнини амалгам ошириш учун керакли анжомлар:



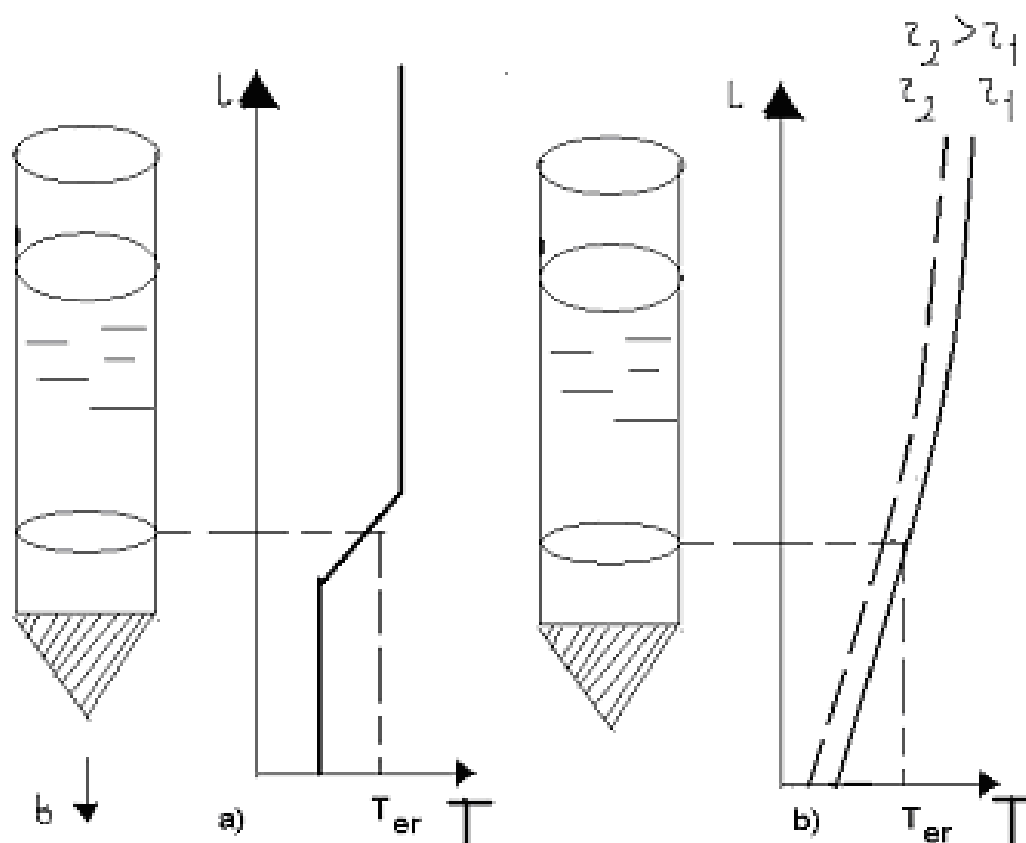
- тайин шаклли тигел, у кимёвий барқарор (бирикма ҳосил қилмайди, таъсирлашмайдиган) моддадан тайёрланади; $\vartheta_1 < \vartheta_2$
- тайин иссиқлик майдони ҳосил қиладиган печ;
- печнинг температураси ва тигел ёки иситгични механик кўчиришни бошқарадиган тизим.

Тигелни суюлма ҳўлласлиги, у етарли термик ва механик мустаҳкамликка эга бўлиши керак.

Тигелларни тайёрлашда кўпинча кварс шиша, алюминий оксиди Al_2O_3 , сирконий диоксиди, торий диоксиди ва б. қўлланилади.

Кристалларни печларда турли температура градиенти мавжуд бўлган шароитда ҳам ўстирилади, бунда орасида температуралар фарқи бўлган изотермик соҳалар вужудга келтирилади. Бир соҳа модданинг суюлиш температурасидан юқорида, иккинчиси пастда бўлади. (14 -расм).

Бу соҳалар орасида иссиқлик алмашинуви жуда кам бўлиши чоралари кўрилади. Агар тигелни жилдирмасдан печнинг температурасини умумий пасайтирилиши ҳисобига кристалл ўстирилса, бу ҳолда температура тақсимои 14. – расмдагидек бўлади.



14 - расм. Нормал йўналган кристалланиш усулида кристаллар ўстиришда печлардаги температура тақсимои

Нормал йўналган кристаллаш бир қатор яримўтказгичлар ва диэлектрларнинг йирик кристалларини олиш учун қўлланади.

Қараб чиқилган усулнинг асосий камчилиги шуки, ўстириётган кристалл ва тигелнинг иссиқликдан чизиқий кенгайиш коэффициентлари ҳар хил бўлиши туфайли бу усулда мукаммал кристаллар олиш қийин бўлади.

2.2. КРИСТАЛЛНИ ЭРИТМАДАН ЎСТИРИШ .

Бу жараён олдин қўрилган тоза суюлмадан ўстиришга нисбатан анча паст температураларда олиб борилиши мумкин.

Ушбу усул билан

- жуда юқори суюлиш температурасига эга бўлган моддалар кристалларини (масалан, олмосни);
- суюлиш температурасида таркибловчилари буғи босими жуда юқори бўлган ёки парчаланиб суюладиган кимёвий бирикмаларни;
- суюлмаси юқори даражада қовушмоқ бўлган моддалар кристалларини;
- паст температурали полиморф (кўп шаклли) моддалар кристалларини ўстириш мумкин.

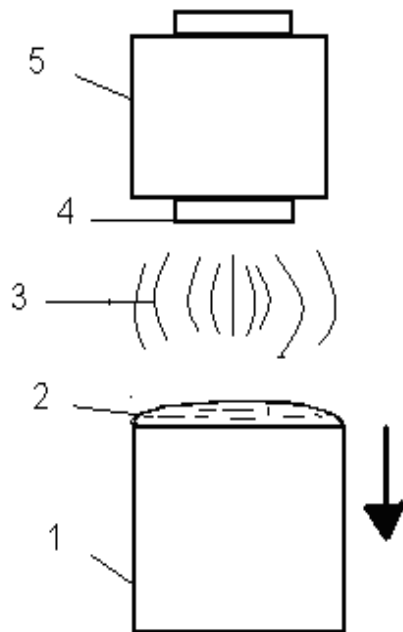
Жараённинг паст температурали бўлиши кўпинча тозароқ ва мукаммалроқ монокристаллар олиш имконини беради.

Эритувчига қўйиладиган талаблар:

- у кристалл ўстириш жараёни температурасини муҳим даражада пасайтириши ва ўз буғининг босими етарлича паст бўлиши керак;
- ўстирилаётган кристаллни ифлосламаслиги, я'ни тақсимот (сегрегатсия) коэффициентини кичик бўлиши керак;
- унинг кристаллдаги атомлари нейтрал киришма бўлиши маъқул. Бундай эритувчини талаб олиш анча қийин.

Ушбу ҳоллар фарқ қилинади:

1. Ўстирилаётган кристалл таркибига кирмайдиган модда эритувчи хизматини бажаради (масалан, NaCl кристаллини ўстиришда сув.).
2. Ўстирилаётган бирикманинг таркибловчиларидан бири эритувчи бўлади (масалан, GaP кристаллини ўстиришда).



17 -расм. Аланга билан суюлтириш усулида (Вернейл усули) кристаллни ўстириш:

1-ўстирилаётган кристалл. 2- суюлма
3- аланга 4-дастлабки модда кукни ва
кислород юбориладиган найча: 5- водород
юбориладиган найча

Биринчи ҳолда ўстирилган кристалл эритувчининг барча таркибловчилари киришмалар сифатида қолдиқ киришмалари билан биргаликда мавжуд бўлади. Шунинг учун бундай кристаллар унча тоза эмас.

Иккинчи ҳолда эритмада чет моддалар йўқ, ўстирилаётган кристалларнинг тоза даражасини фақат эритма таркибловчилари тозалиги аниқлайди.

Эритмада кристалл ўсиши ҳолидай бу жараён қуйидаги босқичлардан иборат:

- дастлабки таркибловчиларнинг эриши;
- таркибловчиларнинг эритманинг суюқ фазаси орқали кристалланиш фронти томонига диффузияланиш;
- кристалланиш фронтида таркибловчиларнинг ўтириб қолиши;
- кристалланиш иссиқлигининг сочилиши;

Эритмадан ҳосил қилинаётган кристалларнинг ўсиш тезлиги ўз суюлмаларидан олинадиган кристалларникига нисбатан икки – уч тартиб чамасидан кам (10^{-3} - 10^{-2} см /соат) бўлади, аммо уни оширишнинг баъзи чоралари ҳам мавжуд.

Кристалланувчи модданинг эритувчанлигини ошириш учун шу модда билан таъсирлашувчи таркибловчилар эритмага қўшилади. Улар минерализаторлар дейилади.

Эритмалардан яримўтказгичлар монокристалларини ўстириш усуллари бир - биридан эритманинг кристалланувчи модда билан ўта тўйиниши қандай ҳосил қилиши билан фарқланади;

- эритувчининг буғланиши билан;
- кристалланувчи модда манбайи ва хамиртуруш орасида температуралар фарқи вужудга келтириш билан;
- электр майдонда кристаллаш билан;
- тўйинган эритмани секин совитиш билан;

бутун намунада ҳосил қилинган температура градиенти бўлгани ҳолда зонавий суюлтириш билан.

Махсус хамиртурушлар киритмасдан, балки кристалланиш марказларининг ўз-ўзидан (спонтан) пайдо бўлиши ва ўсиши йўли билан ҳам эритмадан кристалларни ўстириш мумкин (оммавий кристалланиш) ёки кристалларни хамиртуруш атрофида ўсишини назорат қилиб ўстириш мумкин.

Энг сода ҳолда кристалл ўсиши учун керак бўлган эритманинг ўта тўйинишини эритувчининг буғланиши ёки тўйинган эритманинг секин совитилиши орқали пайдо қилинади. Бу ҳолда оммавий кристалланиш оқибатида кичик кристаллар олинади, уларда нуқсонлар кўп, кришмалар жуда нотекис тақсимланган. Йирик кристалларни эритмалардан хамиртуруш асосида ўстириш худди суюлмадан ўстириш усулларига ўхшаб кетади.

2.3. КРИСТАЛЛАРНИ ҚАТТИҚ ФАЗАДАН ҲОСИЛ ҚИЛИШ

Бундай жараёнлар уч асосий йўналишда олиб борилади:

- 1) каттик фазада ва қувушиш ҳолидай деформатсиялаш киздируви воситаси қайта кристаллаш;
- 2) полимер аврилишлар воситасида қайта кристаллаш;
- 3) аморф ҳолатдан ва ўта тўйинган каттик эритмадан қайта кристаллаш усуллари мавжуд.

Бу жойда қайта кристаллаш деганда каттик фазадан кристалл ўстирилганда кристалл панжараси симметрияси (тузилиши) ўзгармаслиги (рекристалланиш) ёки бошқа симметрияли янги кристалл панжараси ҳосил бўлишини тушунилади.

Бу усулларнинг афзалликлари: материалнинг суюлиш температурасидан анча паст температураларда кристаллар ўстириш имконияти кристаллар олиш технологиясини соддалаштиради: зарур шаклли кристаллар олиш жараёнлари соддалашади, чунки, ўсаётган кристалл шакли олдиндан тайинланади; паст температурада диффузия коэффицентлари кичик бўлганлиги туфайли киришмаларнинг ўсаётган кристаллдаги тақсимооти дастлабки моддадагидек сақланади.

Мазкур усулларнинг камчиликлари ҳам бор: каттик фазадан кристаллашнинг имконий марказлари миқдори кўп бўлади. Марказлар вужудга келишини ва бинобарин, йирик яримўтказгич монокристаллар ўстиришни бошқариш қийин. Шунинг учун бу усуллар батафсил қаралмайди.

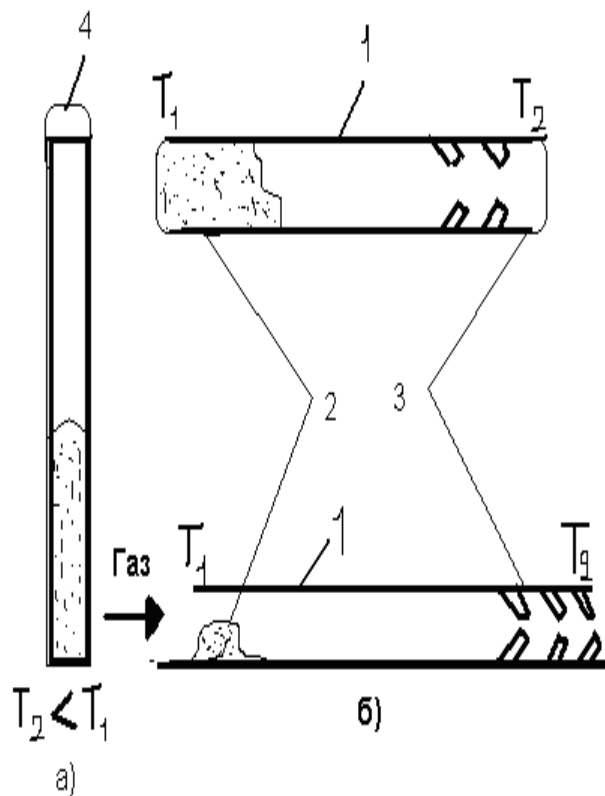
Аморф ҳолатдан ва ўта тўйинган каттик эритмалардан қайта кристаллаш усуллари юпқа эпитаксиал қатламли яримўтказгич моддалар ва микроэлектрон асбоблар технологиясида етарлича кенг қўлланишга эга бўлмоқда.

2.4. КРИСТАЛЛАРНИ ГАЗСИМОН ФАЗАДАН ЎСТИРИШ.

Газсимон фазадан кристалларни ўстиришда қўлланадиган усулларнинг икки гуруҳи бор:

1. *Тоza физик конденсацияланишга асосланган усуллар.* Уларнинг энг муҳими сублимация – конденсация жараёнига асосланган усулдир:

2. *Кристалланиш зонасида (соҳасида) газсимон кимёвий бирикмаларнинг парчаланиш (ёки тикланиши) ҳисобига кимёвий синтезланиш ва кимёвий кўчиришга асосланган усуллар.*



15 - расм Газ фазадан кристалларни ўстириш учун қўлланиладиган ёпиқ ва оқимли (очиқ) тизмлар; а - ёпиқ тизим; б- оқимли тизим (1-контейнер; 2- дастлабки модда (шихта) 3- ялпи кристалланиш зонаси; 4- монокристалл хамиртуруш

Электронлар техникасининг газсимон фазадан олинадиган энг муҳим материаллари монокристаллари орасида биринчи ўринларда $A^{II}B^{IV}$, $A^{IV}B^{VI}$ бирикмалар ва кремний карбиди туради.

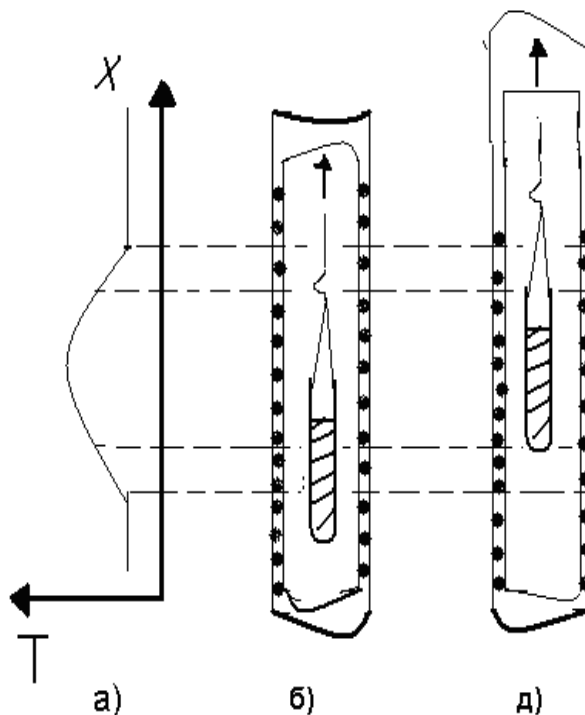
Кристалларни газсимон фазадан суюлиш температурасидан анча паст температураларда ўстириш мумкин. Бунда амалда ҳар қандай моддалар кристалларини ҳосил қилса бўлади.

Сублимация - конденсация усули билан кристаллаш.

Бу усул буғи суюлиш температурасидан пастда етарлича юқори босим ҳосил қиладиган моддалар кристалларини бошқа газсимон усуллар ночор бўлган ҳолдаги моддалар кристалларини ўстиришда қўлланилади. Бу усулда кристалланишни ёпиқ ёки оқимли тизимларда ўтказилади.

Ёпиқ тизим кавшарланган кварс ампуласи бўлиши мумкин. Қийин суюлувчан моддалар учун корунд (Al_2O_3) ёки қийин суюлувчан металллардан тайёрланган кавшарланган тигеллардан фойдаланиш мумкин. Баъзи ҳолларда, заруратан, тигелларни бошқа материалларидан (масалан, графитдан, шиш углероддан) жипс ёпилмайдиган қилинади, аммо, тигелдан буғларнинг чиқиб кетиши кам бўлиши керак (квазиберк тизимлар).

Берк (ёпиқ) тизимларда масса узатилиши молекуляр дацалар (вакуумда), ё молекуляр ёки конвентив диффузия орқали амалгам оширилади.



16 - расм. Ампулада ёйилган транспорт реакциядан фойдаланиб кристалл ўстириш:

а - печ баландлиги бўйича температура тақсимооти;

б - тортиб чиқариш бошида ампула вазияти;

д - жараённинг кейинги босқичи

Оқимли тизимларда кристаллар ўстиришда дастлабки модда буғларини кристалланиш зонасига инерт газ олиб боради.

Кимёвий реакция иштирокида кристалланиш усулларини суюлтириш температурасидан пастда ўз буғлари босими кичик бўладиган моддалар ёки сублиматсия жараёнида ўз таркиби бузиладиган моддалар кристалларини ўстиришда қўлланилади. Кимёвий транспорт иштирокида кристалларни ўстириш берк ёки квазиберк тизимларда бажарилади: газсимон кимёвий бирикмаларни парчалаш (ёки тиклаш) усулини оқимли тизимларда қўлланилади.

Кристалларни газсимон фазадан ўстириш усуллариининг барчасида кристалланиш марказларининг ўз-ўзидан ҳосил бўлишидан ёки хамиртурушлардан фойдаланиш мумкин. (16-расм). Биринчи ҳолда ўстирилган игнасимон кристаллар, пластинасимон ёки поликристалл ўсмали кристаллар электрон техникада камдан – кам қўлланади. Баъзи ҳолларда хамиртурушсиз технология етарлича йирик монокристаллар беради. (17-расм).

III-БОБ. Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қотишмаларини ўстириш режимлари, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш..

3.1 Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ қотишмасини суюқ фазали эпитаксия усулида ўстириш технологик қурилмаси ва ўстириш режимлари.

“ЭПОС” вертикал жойлашгин реакторли қурилма асосида эпитаксиал катламларнинг қаттиқ қоришма-қотишмасини ўстириш қурилмаси тайёрланилди (18 -расм.). Қурилма қуйидаги блоклардан ташкил топган: 1-иссиқлик блоки, 2-реактор, 3-бошқарув блоки, 4-газни тозалаш блоки, 5-центрифуга. Иссиқлик блоки, уч зонали печкадан таркиб топган бўлиб уларнинг ҳар бирини алоҳида бошқариш мумкин. Бошқарув блоки юқори температурали ВРТ (Р-111, И-102) дан иботар бўлиб у олдиндан бериладиган дастур асосида температурани бошқаради. ЭПОС вертикал жойлашгин реакторли қурилманинг умумий қурилиши (19-расм.). тасвирланган.

Эксперимент ўтқизиш вақтида водород “Палладий-2” қурилмаси асосида, кераксиз ифлосланишлардан наъмуна устиришда тозаланади.

Ушбу қурилманинг умумий қурилиши (20 -расм.) тасвирланган.

Қўйидаги 21 -расмда а) монокристалл кремнийнинг умумий қўрилиши.

б) монокристалл кремнийнинг 20 мм қилиб кесиб тайёрланган булаклари. Ушбу 22-расмда . а) устиришга тайёрланган подложкалар, б) кварсдан тайёрланган ҳар хил улчамли стаканчалар тасвирланган.

Тагликлар маҳкамладиган графит кассетаси (23-расм.) қуйидагилардан таркиб топган: ички томонида тирқишлари бўлган цилиндрлик корпус, тагликларни ажратиб турувчи колцолар ва

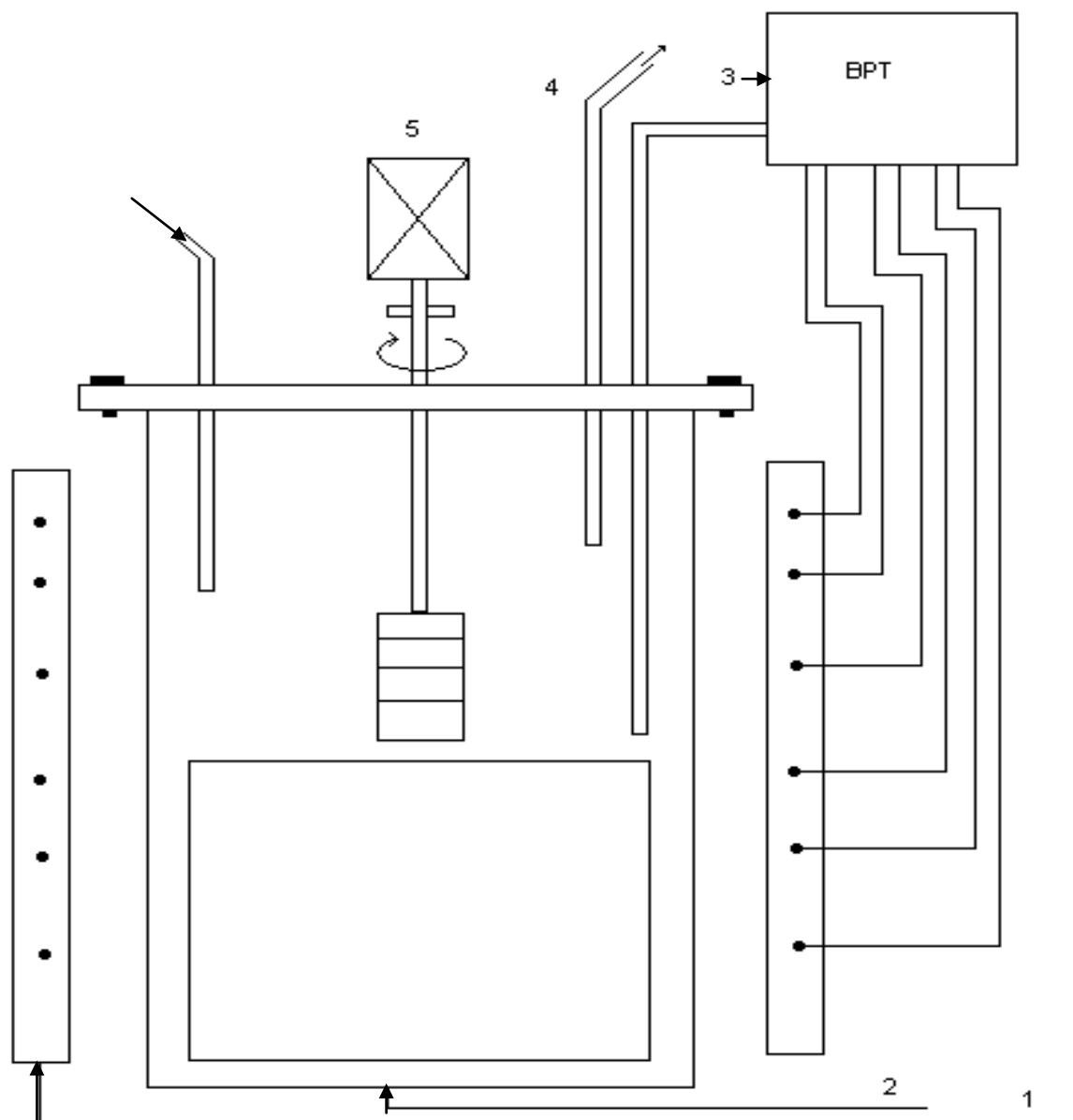
прокладкалар. Кассета тоза графитдан тайёрланган. Кассета юқори штокга қистирилади, ҳамда ўзининг ўқи атрофида айлантеририлиши мумкин. Аралашма-қоришма кварц тигель ичига жойлаштирилади, тигель эса реакторнинг пастки қисмига жойлаштирилади. Суюқ фазали эпитаксиянинг муҳим жихати кристалланиш жараёни ўз вақтида тугатиш ва тагликлар устида қолган аралашма-қоришмани чиқариб ташлашдан иборат. Шунинг учун ўстириш қурилмасига электродвигател ўрнатилган. Кристалланиш жараёни тугагандан кейин электродвигател ёрдамида кассета ўз ўқи атрофида 2500 айл/мин тезликда айлантеририлади. Натижада марказдан қочма куч эвазига эпитаксиал қатлам сиртидаги аралашма-қоришманинг қолдиқлари тозаланади.

Қаттиқ қоришма-қотишмани ўстириш жараёни қуйидаги этаплардан иборат.

1. Аралашма-қоришманинг таркибий қисмларини тарозида аниқлаш.
2. Кремний таглигини тайёрлаш ва уни кассетага жойлаштириш.
3. Аралашма-қоришманинг таркибини тарозига қўйиш.
4. Аралашма-қоришманинг таркибий қисмларини тигелга жойлаштириш.
5. Системани вакуум ҳолатига келтириш ва ундан тоза вадародни ўтказиш.
6. Кассеталарни вертикал тигелларга маълум масофаларда жойлаштириш.
7. Аралашма-қоришмани гомогенизация қилиш учун системани эпитаксия ўстириш температурасига нисбатан бир неча ўн градус юқори температурагача қиздириб бир неча дақиқа шу температурада ушлаб туриш.
8. Аралашма-қоришманинг кристалланиш температурасига совитиш ва уни шу температурада бир неча дақиқа ушлаб туриш.

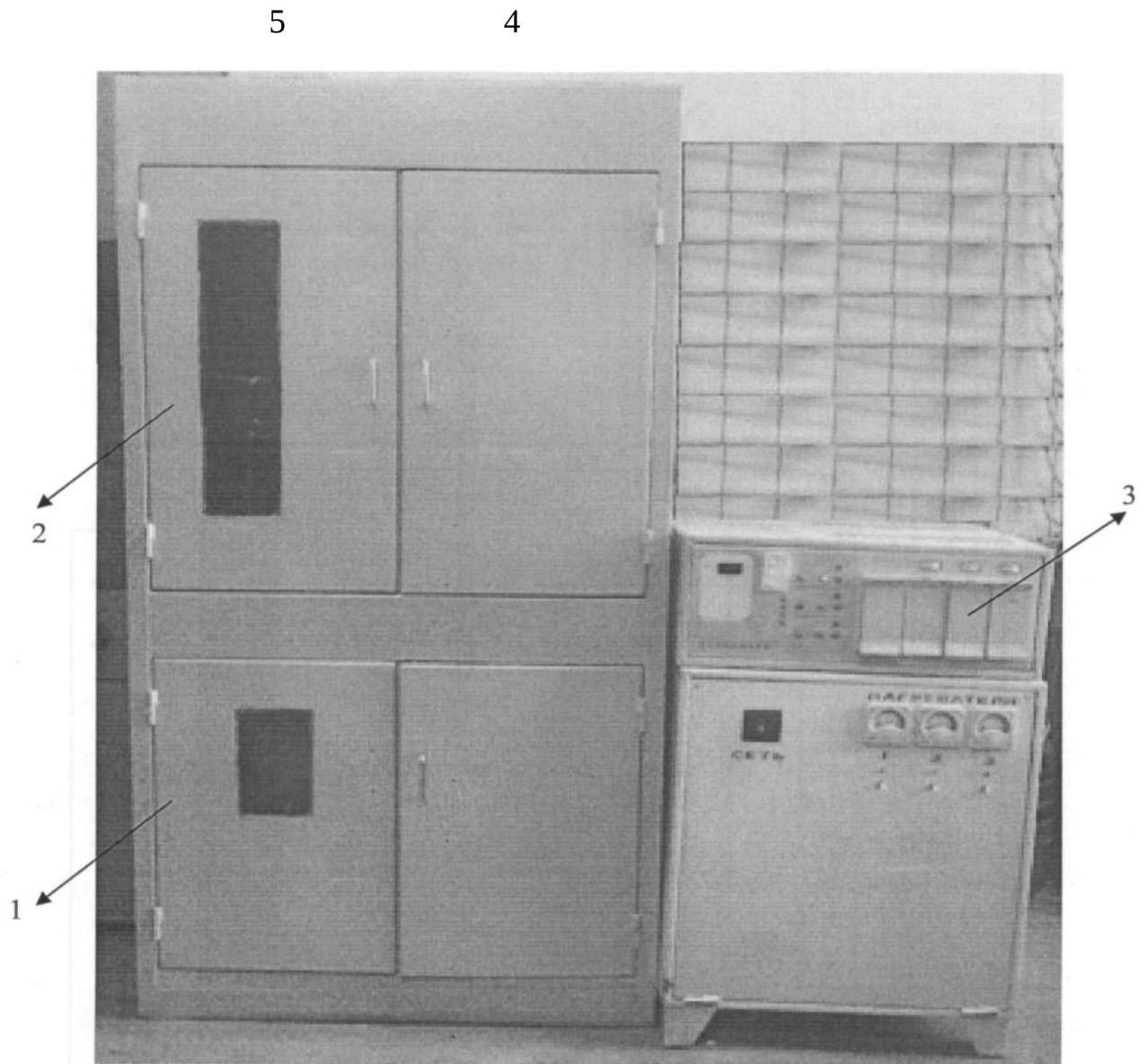
9. Қиздириш блокининг қўшимча чўлғамларини ишлатиб, бир хил температурали зонанинг кенглигини ошириш ва кассетанинг барча қисмини камраб олиш.
10. Кассеталарни аралашма-қоришма тубига чўктириш умумий ҳажм бўйлаб горизонтал йўналишда падложкаларни жойлаштириш. Махсус графит падборкалар ёрдамида тагликлар оралиғини 0.25-2.5 мм интервалини ўзгартириш мумкин. Маълумки, чегараланган ҳажмда ўстиришда аралашма-қоришманинг эриган қисмларининг ортиқчаси тўлиғича тагликлар устига кристалланади. Бу бизга ўстилаётган қатламнинг қалинлигини бошқариш имконини беради.
11. Кассетани Аралашма-қоришмадан чиқариб ундан маълум масофада жойлаштириб маҳкамлаб қўйиш.
12. Олдиндан белгиланган дастур асосида аралашма-қоришмани мажбурий совитиш системасини ишга тушириш. Бунда горизонтал жойлашган пастки ва устки тагликларда қаттиқ қоришманинг кристалланиш жараёни юз беради.
13. Температура маълум қийматига келганида центрифуга ишга тушади ва марказдан қочма куч ҳисобига тагликлар оралиғидаги қотишма-қоришма чиқариб ташланади ва шунинг билан кристалланиш жараёни тўхтатилади.

“ЭПОС” вертикал жойлашгин реакторли курилма асосида эпитаксиал катламларнинг қаттиқ коришма-қотишмасини ўстириш курилмаси



18-расм. Курилманинг схематик курилиши қуйидаги блоклардан ташкил топган: 1-иссиқлик блоки, 2-реактор, 3-бошқарув блоки, 4-газни тозалаш блоки, 5-центрифуга..

ЭПОС вертикал жойлашгин реакторли курилманинг умумий курилиши тасвирланган.



19-рasm Қурилма қуйидаги блоклардан ташкил топган: 1-иссиқлик блоки, 2-реактор, 3-бошқарув блоки, 4-газни тозалаш блоки, 5-центрифуга..

“Палладий-2” қурилмасининг умумий қурилиши.



20-расм. Эксперимент ўтқазиш вақтида водород “Палладий-2” қурилмаси асосида, кераксиз ифлосланишлардан наъмуна устиришда тозаланади.



а)

б)

21 -расмда а) монокристалл кремнийнинг умумий кўриниши.
б) монокристалл кремнийнинг 20 мм қилиб кесиб тайёрланган булаклари.

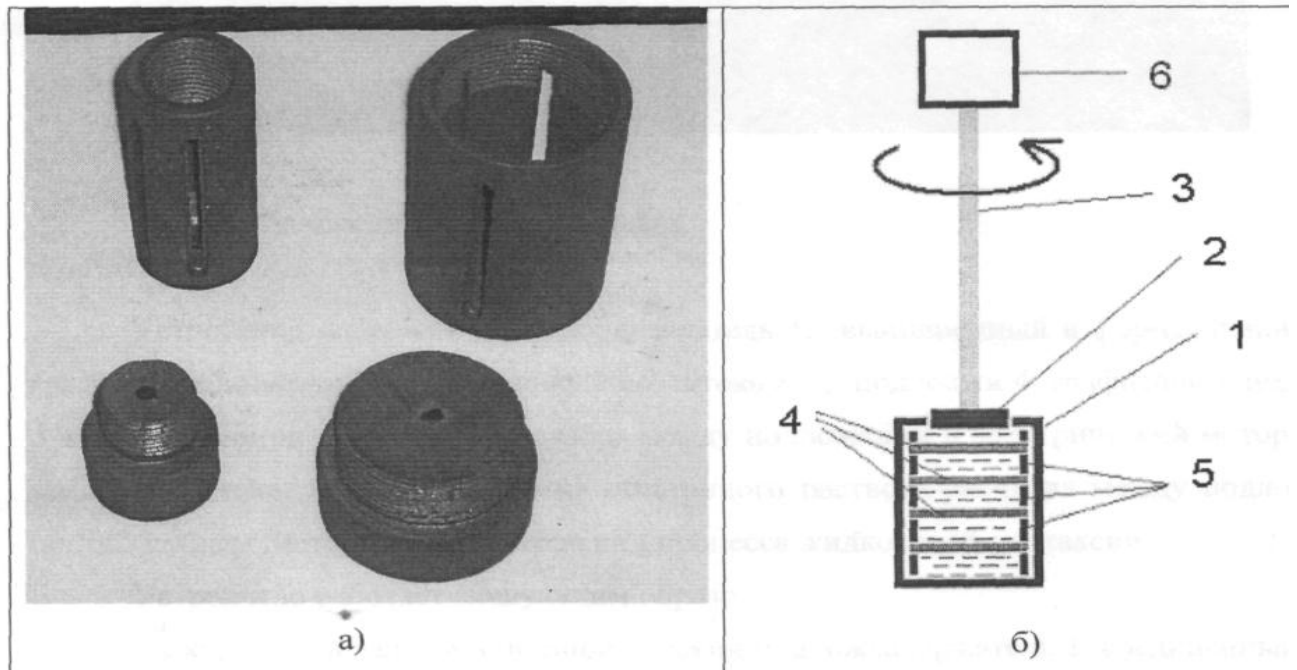


а)



б)

22-расм. а) устиришга тайёрланган подложкалар, б) кварсдан тайёрланган хар хил улчамли стаканчалар.



23 -Расм . а) Графитли кассета, графитли ва кварцли прокладкалар
 б) ортикчи суюлма-қотишмаларни тушириб ташловчи айлана қурилмаси.
 Ушбу расмда тасвирланган 1-графитли кассета, 2-асосий ўққа маҳкамловчи
 мослама, 3-графит кассета билан айлантирувчи мосламани ушлаб турувчи ўқ,
 4-устирилаётган подложка(таглик)лар, 5-устирилувчи аралашма, 6- ортикча
 аралашмаларни тушириб ташловчи айлантирувчи мослама.

Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики Кремнийнинг моно ва
 поликристалл асосида ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ қаттиқ эритмалар пардасини
 қимматбаҳо бўлган GaAs асосида ўстирилган юпка пардалар
 ўрнида ишлатиш мумкин экан.

“Қуёш мақомидаги йирик донорли асосларда ўстирилган
 пардаларни баъзи характеристикаларини ўрганишлар кўрсатадики, юпка
 пардалар тузилиши асос кристалл тузилишига мос ва кристаллнинг
 айрим қисмлари тузилиши сақланган ҳолда вертикал тарзида ўсади.
 Майда кристалл асосларда GaAs нинг майда кристалл тузилишли
 пардаси ҳосил бўлади. Бу пардаларда ҳам майда асос кристаллар

тузилиши такрорланади ва айрим блоклар тузилишини сақлаган ҳолда тик устун тарзида шаклланади. Блоклар орасидаги тирқишнинг кенглигига боғлиқ ҳолда айрим блоклар ҳам турлича қалинликка эга бўлади.

Масалан, тирқиш ўлчами 0,5 ; 0,75 ва 1,0 мм бўлганда блоклар ўлчами $5 \div 10$; $15 \div 20$; $25 \div 30$ мкига тенг бўлади. Заряд

тушувчиларнинг μ_n ва μ_p ҳаракатчанликларини аниқлаш бўйича ўтказилган ҳолли тажрибалари ва тўрт зондли усул билан аниқланган солиштирма қаршилиқ ρ кўрсатишича, эритма қотишмадан

ўстирилган Sn пардалари ўз ҳолича легирланган бўлиб n - тур ўтказувчанликка эга бўлар экан. Уларда электронлар ҳаракатчанлиги

$$\mu_n \approx 800 \div 1200 \frac{см \cdot В}{С}, \text{ ковакларнинг } \mu_p \approx 500 \div 1800 \frac{В \cdot с}{см}$$

бўлиб, солиштирма қаршилиги $\rho \approx 0,5 \div 1,5 Ом \cdot см$ бўлиши аниқланган.

Кристалланишнинг бошланғич температураси (T_0) га боғлиқ ҳолда пардалар сирти турлича кўринишга ва турлича қалинликда бўлади.

Кристалланиш $700^\circ C$ дан бошланганда эса, пардалар тузилиши ҳам дендрит кўринишда бўлади. Бу ҳолда дендритлар улар оралиғида $\sim 5 \sim 10$ мкм қалинликда ҳосил бўлган пардалар устида юзага келади.

Ҳаракат ошиши билан дендритлар ўлчами ортиб боради ва устки асосига етиб боради. Нармал шароитларда ўстирилган қаттиқ қотишмалар пардаси текис ва силлиқланган сиртга эга бўлиб, бу сиртларда асосдаги пардаларга ўхшаш пардозлар кўриниб туради.

Пардаларнинг қалинлиги ва тузилишини ўсиш тезлиги ва ҳароратга боғлиқлигини ўрганиш борасидаги тажрибалардан аниқланишига, кристалланиш 700°C да бошланганда ва пардаларнинг ўсиш тезлиги $0,75 - 0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ дан кичик бўлганда ўсиш вақти чўзилади.

Бу эса электр энергиянинг сезиларли исрофига олиб келади. Бундай тажрибаларда пардаларнинг параметрларида ўзгариш сезилмайди.

Ўсиш ҳарорати 800°C ва ундан катта бўлганда, ўсиш тезлигини $1,0 \div 1,2^0 \text{ с}/\text{мин}$ дан ошириш асло мумкин эмаслиги аниқланди. Чунки бунда эритма қотишмасининг ҳажмида, ҳажмий кристалланиш амалга ошириш кузатилади. Бу ҳолатни парда билан боғланилган ёки кучсиз боғланишда бўлган дендрит ҳосил бўлишидан аниқлаш мумкин. Бундай ҳолда парда сиртидаги дендритларнинг пардадан осон ажралиши кузатилади. Бундай ҳароратда $0,5 \div 0,75^0 \text{ C}/\text{мин}$ дан кичик тезликда ўстирилган пардаларда дендритлар деярли пайдо бўлмайди.

Лекин дунда электр энергияси исрофи яна кўпаяди. $700-800^{\circ}\text{C}$ ҳароратлар оралиғида $0,75 \div 1,0^0 \text{ C}/\text{мин}$ тезлик билан ўстирилган пардалар текис ва ялтироқ ойна кўринишида бўлади.

Ўстирилган қаттиқ қотишмали $\text{Si} - \text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ва $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ пардаларнинг қуёш фотоэлементлари яратишдаги имкониятларини аниқлаш мақсадида қаттиқ қотишмага руҳнинг (Zn) газ фазодан диффузияли асосида p-n ўтиш ҳосил қилинди. Бу p-n ўтишнинг лаборатория шароитида спектралл ва ёруғлик оқимида боғлиқ вольт – ампер характерисликаси ўрганилди. Бу p-n ўтишнинг спектралл сезгирлиги $0,4 \text{ мкм}$ ва $0,92 \text{ мкм}$ оралиғидаги нурланиш тўлқин узунлигига тўғри келар экан. Салт юриш кучланиши $U_{xx}=0,8 - 0,83 \text{ В}$, қисқа туташув токи $J_{r33} \approx 1,8 \div 1,9 \frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$ га тенглиги аниқланди. Бу

кўрсаткичлар GaAs асосидаги гомо $p-n$ - ўтишлар учун адабиётларда келтирилган миқдорларга мос келади. Монокристалл GaAs асосларда олинган $p-n$ - ўтишларда ҳам шундай кўрсаткичларга эришилган.

3.2. Кремний тагликка ўстирилган $Si_{1-x}Ge_x$ қаттиқ қотишмаларини электрофизик хоссаларини ўрганиш..

Ушбу $p-n$ - ўтишнинг қоронғуликдаги тўғри ва тескари ВАХ ларида сирқиш токи мавжуд. Бу ходиса қаттиқ қотишма қатламларида рекомбинация марказларининг мавжудлиги билан изоҳланади. Рекомбинация марказлари мавжудлиги намунанинг салт юриши кучланиши U_{xx} нинг камайишига олиб келади.

Дастлабки тажриба натижаларига асосланиб айтиш мумкинки, кремний тагликда ўстирилган қотишмали $Si_{1-x}Ge_x$ тузилиши қаттиқ қотишмаларини таннархи анча қиммат турадиган GaAs асос ўрнида ишлатиш мумкин экан. Шу асосда айтиш мумкинки, истиқболда уларга $Al_xGa_{1-x}As$ қаттиқ қотишмаларни ўстириб, юқори самарадорликка эга бўлган қуёш элементлари (ҚЭ) яратиш мумкин.

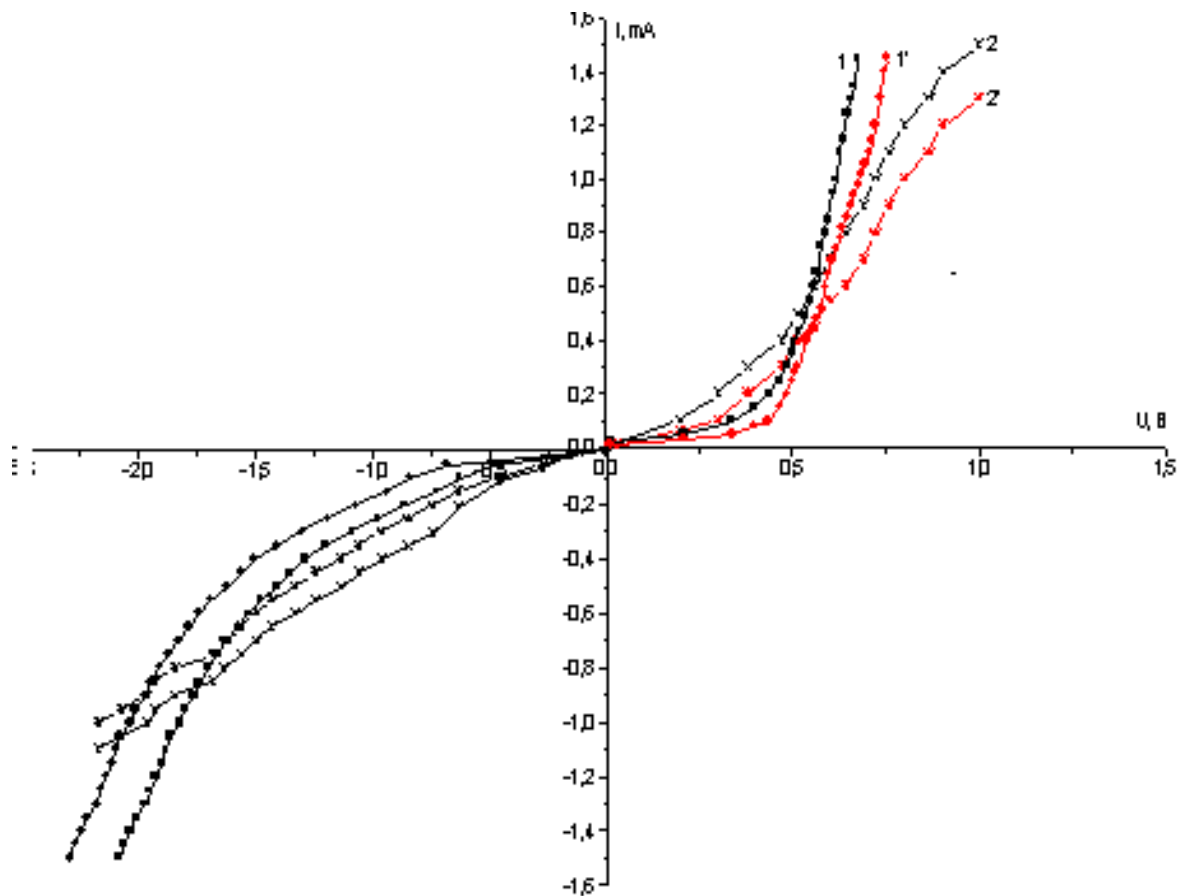
Поликристалл кремний қатламларидаги $p-n$ - ўтишли юқоридаги GaAs қатлами билан биргаликда ҳосил қилиб, маълум бир хилдаги каскадли ҚЭ ни ҳосил қилиш мумкин. Бу эса ҚЭ да ютилаётган радиация диапазоннинг кенгайишига бинобарин, устки $AlGaAs$ ва GaAs қатламлардан ўтаётган квантлар ҳисобига ҚЭ нинг Ф.И.К ошишига олиб келади.

Қўйидаги 24-расмдаги олинган натижаларда, суюқ фазадан кремний тагликда ўстирилган $Si - Si_{1-x}Ge_x$ гетеротузилманинг тўғри ва тескари вольт-ампер хоссалари кўрсатилган.

Улчаш натижаларидан шу нарса куришиб турибдики, галлий эритмаси ёрдамида ўстирилган наъмуна учун, 1 – хона ҳароратидаги, 1' - иссиқлик

таъсир этказилгандан кейинги ҳолатдаги вольт – ампер характеристикалари, қалай эритмаси ёрдамида устирилган намуна учун, 2 – хона ҳароратидаги, 2' - иссиқлик таъсир этказилгандан кейинги ҳолатдаги вольт – ампер характеристикалари, тўғри ва тескари ўтиш натижалари кўрсатилган. (1,2) улчанган намуналар (1) галлий эритмасидан ва (2) қалай эритмасидан қоронгиликдаги, (1',2') улчанган намуналар галлий эритмасидан ва қалай эритмасидан устирилган намуналарнинг иссиқлик таъсир этказилгандаги характеристикалари курсатилган.

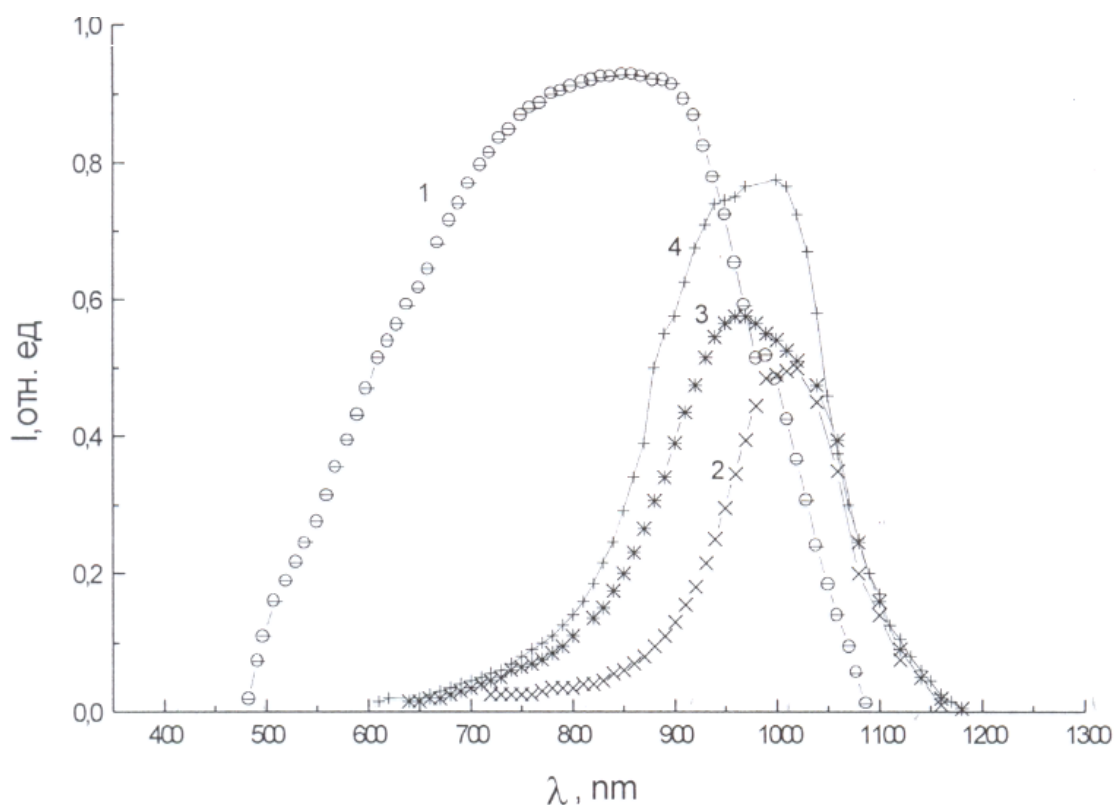
Улчанган тажриба натижаларидан шу нарса куринадики, ушбу графикдаги чизиклардан куришиб турибдики, шунингдек (1) ва (2) эгри чизиклар иссиқлик ишлови берилмагандан қоронгиликда олинган натижаларни қайд этилган. Иссиқлик ишлови берилгандан кейин намуналарнинг вольт-ампер характеристикаларида келтирилган (1'') ва (2'') чизиклар иссиқлик таъсир қилингандан кейинги ҳолда анча яхшиланар экан.



24- расм. Суюқ фазадан Si тагликда ўстирилган Si - Si_{1-x} Ge_x гетеротузилманинг вольт-ампер характеристикаси (1,2) улчанган наъмуналар (1) галлий эритмасидан ва (2) қалай эритмасидан устирилган. Графикдаги (1',2') улчанган наъмуналар (1') галлий эритмасидан ва (2') қалай эритмасидан устирилган наъмуналарнинг иссиқлик таъсир этказилгандан кейинги характеристикалари кўрсатилган.

3.3. Кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ каттик қотишмаларини фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш..

Ўстирилган намуналарни турли қалинликдаги асос томонидан эритиб $n / \text{Si} - p / \text{Si}_{1-x} \text{Ge}_x$ гетеротузилмаларнинг спектралл характеристикалари ўрганилди. Бу тузилмада $p - n$ ўтишлар асос (n / Si) ва эпитаксиал қатлам ($p / \text{Si}_{1-x} \text{Ge}_x$) оралиғидаги гетероқатламда жойлашган



25- расм $n / \text{Si} - n / \text{Si}_{1-x} \text{Ge}_x - p / \text{Si}_{1-x} \text{Ge}_x$ гетероструктураларининг спектрал характеристикаси. (1) – одатдаги қуёш элементи, (2) - $d = 420$ мкн, (3) - $d = 220$ мкн, (4) - $d = 170$ мкн қалинликлари камайтириб борилган

25- расмдан кўриниб турибдики, таглик қалинлиги d камайиши билан ютилаётган тўлқинлар диапазони қисқа тўлқинлар томонга кенгаяди. Бунда $p - n$ да ҳосил бўлган фототок қиймати ортар экан. Бу

омил $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ каттик қотишмаларни келажакда қуёш нурланишининг инфрақизил нурланишини электр энергиясига айлантирувчи ўзгартгичлар яратишда ишлатиш мумкинлигини кўрсатади.

Ўлчаш натижаларидан шуни хулоса қилиб айтиш мумкинки, кремний тагликга чекланган ҳажмдан $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ каттик эритмалар ўстириш бўйича ишлаб чиқилган усул бу йўналишда келажакда каттик эритмалар ва улардан тайёрланган тизилмалар асосида асбоблар тайёрлашда фойдаланиш мумкин.

Суюқ фазадан кремний тагликка ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ эритмалар ва улар асосида олинган тизилмалар микрометериаллар сифатида, назарий ва амалий аҳамият касб этади.

Кремний тагликда суюқ фазадан ўстирилган каттик эритмалар $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ эпитаксиал қатламлари электроника, оптоэлектроника, микроэлектроника ва қуёш элементларини ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади.

ХУЛОСА.

Олинган натижалар ва хулосалар.

1. Суюқ фазадан кремний тагликда ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ эритмаларни ўстириш қурилмасининг умумий ишлаш режими ўрганилди.
2. Кремний тагликда суюқ фазадан ўстирилган Si_{1-x}Ge ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ эритмаларни ўстириш тежими ўрганилган.
3. Суюқ фазадан ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ эритмаларни, кремний таглигининг баъзи бир хоссалари, устириш режимига тайёрлаш куриб чиқилди.
4. Суюқ фазадан ўстирилган кремний таглик асосидаги $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ эритмаларни, қалайдан ва галлийдан устирилган наъмуналарнинг, вольт – ампер характеристикаларини ўрганилди.
5. Кремний тагликда суюқ фазадан ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ эритмаларнинг, кремний таглик томонидан қалинлигининг камайтириб бориш ёрдамида уларнинг спектралл характеристикалари ўрганилди.
6. Суюқ фазадан кремний тагликда буфер қатлам сифатида ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) эпитаксиал қатламларнинг электрик, оптик хоссалари комплекс ҳолда ўрганилган.
5. Суюқ фазадан кремний тагликда буфер қатлам сифатида ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) қаттиқ эритмалар асосида толали – оптик алоқа системалари учун фотоқабулқилгичлар яратиш мумкин.
7. Битирув малакавий ишда келтирилган натижалар кейинги илмий тадқиқот ишларида тажрибавий материал сифатида қўлланилиши мумкин, келтирилган кўрсатмалар эса экспериментал ишлар олиб боришда асос қилиб олиши мумкин.

Ушбу Битирув малакавий ишда тадқиқот натижалари шу нарсани кўрсатадики, биз ўрганган кремний тагликда суюқ фазадан ўстирилган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) структуралар муайян бир қурилма структурасини

тайёрлашда қўллашга яроқли экан ва улар асосида олинган қурилмалар яхши кўрсаткичларга эга бўлиши мумкин.

БМИ тадқиқот натижаларидан шуни хулоса қилиб айтишимиз мумкинки, кремний тагликда суюқ фазадан эпитакциал усул билан олинган $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) каттик эритмалар асосан эффектив қуёш элементлари ишлаб чиқишда ва бошқа яримўтказгичли қурилмалар яратишда қимматбаҳо бўлган GaP GaAs, каби яримўтказгич материалларини тежашда қўллаш мумкин бўлади.

Бу материаллар кремний таглик билан алмаштирилса, ўз навбатида анча маблағни тежашга имкон беради.

Битирув малакавий иши 54 - бет , - расм, та жадвал ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатини, ҳамда интернет маълумотларидан иборат

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. Азизов М. Яримўтказгичлар физикаси. Т. 1974 йил.
2. Акрамов Ҳ ва б. Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар. Т. 1994 йил.
3. Шолимова К.В., Физика полупроводников . М. 1985 год.
4. А. Тешабоев ва б. Яримўтказгичлар ва яримўтказгичли асбоблар технологияси. Т. 2006 йил.
5. Зайнобиддинов С, Тешобоев А. Яримўтказгичлар физикаси. Т. 1999 йил.
6. Таркуша. Ж.М. Основы физики полупроводников. М. 1982 год.
7. Абакумов. А.А., Захидов. Р.А., Харченко В.В. Плавление и кристаллизация слитков поликристаллического кремния с применением гелиоконцентрирующих установок // Гелиотехника . 1997. № 3. С. 78- 82
8. Абакумов А.А. , Саидов А.С. и др. Труды 3 – й международной научно – технической конференции « Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», Москва, ГНУ ВИЭСХ, 14 – 15 мая 2003 г. С. 58 -62
9. Саидов А.С., Абакумов А.А., Саидов М.С. Солнечно – радиационная плавка металлургического кремния // Гелиотехника. 2003 . № 1 , С. 96 – 97.
10. Турсунов М.Н., Дадамухаммедов с. И.др. Кремниевые солнечные элементы с тонкими фронтальными диффузионными слоями // Гелиотехника. 2003 №2. С. 20 - 25
11. Ўзбекистон энциклопедияси. Т. 4, 6 б, Т10, 407 – 408, 186, 399, 400, 401 бб.
12. Физический энциклопедический словарь. М. 1995 г. 450 -455 стр.
13. Саидов М.С, Саидов А.С, Кутлимуратов А, Сапаев Б, Давлатов Ў. Т «Твердые растворы $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x(\text{GaAs})_x$ выращенные методом жидкофазный эпитаксии на поликристаллических кремниевых подложках » // Доклады АНРУз 2001 № 10 -11 , С 19 -22

14. Саидов А.С., Кутлимуратов А., Сапаев Б., Давлатов Ў.Т «Замина **GaAs** подложек кремниевый при выращивании пленок твердых растворов **(Si₂)_{1-x} (GaAs)_x** жидкофазным методом» Тез. Дока 3 Российской конференции по материаловедению и физико –химическим основам технологий получения легированных кристаллов кремний и приборных структур на их основе, Москва 26 -30 мая 2003 г –С 259.
15. Саидов А.С., Кутлимуратов А., Сапаев Б., Давлатов Ў.Т. «Фотовольтаический эффект слоя, выращенного на кремниевой подложке жидкофазной методом» // Гелиотехника, 2004, № 1– С. 9- 13
16. Давлатов Ў.Т . «Гетероструктуры **Si - Si_{1-x} Ge_x, Si -Si_{1-x} Ge_x-GaAs , Si – (Si₂)_{1-x} (GaAs)_x** ($0 \leq x \leq 1$) полученные методом жидкофазной эпитаксий, их электрофизические и фотоэлектрические характеристики» // Дисс. Ф.м.ф.н., Ташкент 2006, -130с
17. Хажиев М.У., Атабаев И.Г., Абдуллаев А.А., Жураев Х.Н., Давлатов У.Т. “Установка для выращивания кристаллов TRI-ARC MELTING FURNACE WITH CRYSTAL PULLER”. Труды международной конференции посвященной 70- летию физико-технического института НПО «Физика-солнце» Ташкент-2013г. 14-15 ноября 266-268стр

Интернет маълумотлари

1. [http: // www. gduportal.uz/](http://www.gduportal.uz/) - Гулистон давлат университети ички ахборот таълим партали
2. [http: // www. Dissertant.uz/](http://www.Dissertant.uz/) - Ёш олимлар партали
3. [http: // www. Allbest.ru/](http://www.Allbest.ru/)-Электрон кутубхоналар библиотекаси
4. [http: www. Edu.ru/](http://www.Edu.ru/)- Россия федерацияси таълим партали
5. [http: www.ref.uz/-Рефератлар](http://www.ref.uz/-Рефератлар) коллекцияси.
6. [http: www.dissertant.uz-Ёш](http://www.dissertant.uz-Ёш) олимлар партали.