

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

**Гулистон Давлат Университети
Физика – математика факультети**

“Умумий физика” кафедраси

Қучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг

**5440100- физика таълими йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун
“Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни
суюқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш”
мавзусидаги**

БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Раҳбар катта ўқитувчи:

ф.м.ф.н. У.Т.Давлатов

Гулистон - 2014 й

мундарижа

I – БОБ	Ярим ўтказгичлар.....
1.1.	Ярим ўтказгичларнинг боғланиш турлари.....
1.2.	Ярим ўтказгичларда киришмалар.....
1.3.	Компенсирланган ярим ўтказгичлар.Айниган ярим ўтказгичлар ва айнинаган ярим ўтказгичлар.....
II Боб.	Эпитаксиал усулда ярим ўтказгичларли моддалар ўстириш.....
2.1.	Эпитаксиал усулда кремний ва германий ўстириш усулари.....
2.2.	Эпитаксиал қатламлар олиш қурилмалари.....
2.3.	Эпитаксиал усулда A^3B^5 ва A^2B^6 турдаги яримўтказгичли бирикмаларни ўстириш технологияси.....
III Боб.	Яримўтказгичли $(A^3B^5)_{1-x}(A^2B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш.....
3.1.	Яримўтказгичли $(A^3B^5)_{1-x}(A^2B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш
3.2.	Яримўтказгичли $(A^3B^5)_{1-x}(A^2B^6)_x$ бирикмаларни вольт – ампер хоссаларини ўрганиш.....
3.3.	Яримўтказгичли $(A^3B^5)_{1-x}(A^2B^6)_x$ бирикмаларни фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш.....
Хулоса.....	
Фойдаланган адабиётлар.....	

Кириш

Ишнинг долзарблиги. XX-asrning ikkinchi yarmi hozirgi zamon texnikasining yetakchi sohalaridan biri xisoblangan. Yarimo'tkazgich elektronikasining keskin rivojlanish yillari bo'ldi. Shu yillarda yaratilgan turli turdagi tranzistorlar to'g'rilovchi va impulsli diodlar, fotoelementlar, tunnel diodlar, yorug'lik diodlar, yarimo'tkazgichli kvant generatorlari va boshqa turdagi ko'plab yarimo'tkazgichli asboblarning sanoatda va maxsus texnika qurilmalarida keng miqdorda qo'llanilish davri hisoblanadi. Ma'lumki ko'plab yarimo'tkazgichli asboblarning tuzulishida asosiy element p-n o'tish hisoblanadi. Shu p-n o'tishning nazariy asoslari va uning xosil qilishning turli usullarining yaratilishi yarimo'tkazgichlar elektronikasi rivojini tezlashtiruvchi asosiy omil bo'lib hisoblanadi.

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 тақазо этади. Ҳозирги вақтда оптоэлектроникада қўлланиладиган асбобларни яратишда зарур бўлган структураларни олиш, уларнинг таннариhini пасайтириш мақсадида яримўтказгичлар материалшунослигида жадал илмий изланишлар олиб борилмоқда. A^3B^5 ва A^2B^6 бирикмалари ва уларнинг қаттиқ қоришмалари яримўтказгичлар асбобшунослигида асосий материал ҳисобланади. Аммо A^3B^5 ва A^2B^6 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, $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ ва $(C_2^4)_{1-x}(A^2B^6)_x$ қаттиқ қоришмаларини принципаъ олиш мумкинлиги намоиш қилинган. Ҳозирги вақтгача $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ бирикмалари яъни $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$, ва $(C_2^4)_{1-x}(A^2B^6)_x$ асосидаги бирикмалар $(Ge_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnS)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, қаттиқ қоришмалар экспериментал олинган.

Аммо $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$, ва $(Ge_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnS)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, сингари қаттиқ қоришмалар Битирув малакавий ишларида бизгача тўлиқ ўрганилмаган. Олинган қаттиқ қоришмалар ҳам чуқур ўрганилмаган ва янги тадқиқотларни талаб қилади.

Шу сабаб Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$, ва $(Ge_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnS)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, қаттиқ қотишмаларини 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 Битирув малакавий ишига қадар Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ қотишмаларини ўстириш, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик характеристикаларини ўрганиш, синтез қилинмаган ва тўлиқ ўрганилмаган. Айрим ишлар Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ қотишмаларини ўстириш ва ўрганишга бағишланган. Битирув малакавий ишларида тўлиқ ўрганилмаган. Бундай қаттиқ қоришмаларни тадқиқ қилиш Битирув малакавий ишларида урганишда бошланғич этапда турибди.

Ишнинг мақсади. Кристалл такомиллашган янги Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ўрин алмашинувчи қаттиқ қоришмаларни олиш, уларнинг монокристаллигига эришиш, электрофизик ва фотоэлектрик параметрларини аниқлаш.

Тадқиқот вазифалари:

- Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қотишмаларнинг ўсиш шароитларини тадқиқ қилиш ва суюқ фазада эпителизация усулида чегараланган ҳажмли қотишмалардан уларнинг эпителиал қатламларини олиш;

- Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ қотишмалар эпителиал қатламларининг структуравий такомиллашганлигини, электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини тадқиқ қилиш;

Тадқиқот объекти ва предмети. Тадқиқот объекти Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ қоришмалари ва улар асосидаги p-n ўтишлар, тадқиқот предмети эса $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ва $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ қаттиқ қотишмаларнинг структуравий такомиллашишига эришиш, фундаментал параметрларини аниқлаш

Илмий янгилиги:

1. Биринчи марта баъзи бир турдаги ориентацияли - Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ қоришмаларнинг турли хил қотишма-қоришмадан ўрин

алмашинувчи р-типли ва п-типли монокристалл эпитаксиал қатламлари ўстирилди. Бундай ўрин алмашинувчи каттик қоришмаларнинг ҳосил бўлиши каттик қоришма компоненталарининг изовалентлиги ва молекулаларидаги атомларнинг ковалент радиусларининг йиғиндиси яқинлиги билан боғлиқ.

2. Si тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ($0 \leq x \leq 1$) структуралар вольт-ампер характеристикаларининг тўғри томони ва тескари томон 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 тагликларда суюқ фазадан устирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$, $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{InP})_x$, ва $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$, $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ каттик қоришмаларнинг эпитаксиал қатламлари янги яримўтказгич материаллар ҳисобланади ва қуёш элементларини лойиҳалаш учун фотоактив материал, ҳамда сифатли ва мустаҳкам 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 киймати 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 катта 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 миқдори ва бошқа ташқи таъсирларга жуда сезгирдир. Ярим ўтказгичларнинг бу хоссасидан турли хил вазифаларни бажарувчи асбоблар, сезгир қурилмалар қилишда фойдаланилади.

1.1. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ БОГЛАНИШ 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 киради. Бу элементлар тўрт валент электронга эга бўлиб, ковалент (атом) боғи кристалл панжараси ҳосил қиладилар. Улар бир элемент атомларидан тузилгани учун элементар (соғда) ярим ўтказгичлар дейилади.

Иккинчи тур ярим ўтказгичлар даврий системанинг III гуруҳ элементлари (Al, Ga, In) билан V гуруҳ элементлари (P, As, Sb) нинг бирикмалари

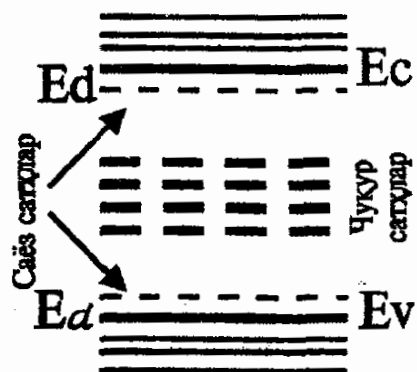
киради. Улар $A^{III} B^V$ бирикмалар деб белгиланади. (GaAs, InSb, GaP, InP ва бошқалар). III гуруҳ элементлари учта валент электронга, V гуруҳ элементлари эса беш валент электронга, эга, шунинг учун $A^{III} B^V$ кўринишдаги кимёвий элементда ўртача ҳар бир атом тўрт валент электронга эга бўлади. Уларни *олмоссимон 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 тутати, 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 тутати.

Учинчи тур ярим ўтказгичларга даврий жадвалнинг V ва VI гуруҳларининг баъзи элементлари киради. 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.

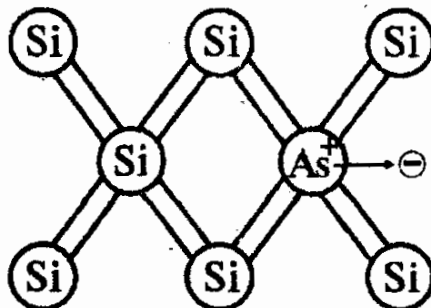
Тўртинчи тур ярим ўтказгичларига VI гуруҳ элементларининг ўтиш металлари (Ti, V, Mn, Fe, Ni, Sm, Eu ва бошқалар) билан ҳосил қилинган бирикмалар киради. Уларнинг бирикмаларида ион боғланиш устувор бўлиб, кўп бирикмалар магнит хоссаларга эгадир. Масалан, EuO, EuS, $CdCr_2Se_4$ ярим ўтказгичлари ферромагнитлардир, 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.

ўтказувчанлик ёки валент зонасига яқин жойлашган бўлса *саёз сатҳ* деб номланади (11.11-чизма). Агар маҳаллий сатҳлар тақиқланган зона ўртасига яқин жойлашган бўлса *чуқур сатҳ* дейилади.



11.11- чизма. Саёз ва чуқур сатҳлар.

Ионланиш жараёнида ўтказувчан зонага қўшимча электрон берувчи киришма *донор киришма* деб аталади. Ми-сол тариқасида кремний кристаллига кириб қолган маргумуш (As) атомни кўриб чиқайлик (11.12- чизма). Ушбу атом бешта валент электронга эга бўлиб, улардан тўрттаси кремний атоми билан ковалент боғ ҳосил қилишда қатнашади.



11.12- чизма. Донор киришма ўзидан электронни бўшатади.

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

$$E_i = -\frac{m_0 e^4 z^2}{2\hbar^2}. \quad (11.27)$$

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

$$E_d = -\frac{m_n^* e^4 z^2}{2\hbar \epsilon^2}. \quad (11.28)$$

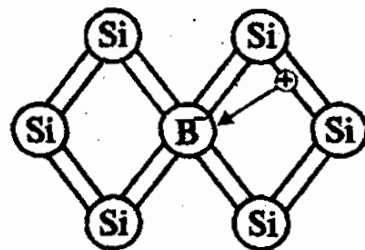
Бундан m^* — кристалдаги электроннинг эффектив массаси, m_0 эркин электрон массаси. У ҳолда

$$E_d = E_i \frac{m_n^*}{\epsilon^2 m_0}. \quad (11.29)$$

Кремний учун $\epsilon \approx 11$ эВ, $\frac{m^*}{m_0} \langle 1$

ва As учун $E_i \approx 10+15$ эВ эканлиги-

ни ҳисобга олсак, E_d нинг эВ улушларига тенг бўлган кичик қийматга эгалигини аниқлаймиз. Демак, кри-



11.13- чизма. Акцептор киришма ўзига электронни олади.

сталл панжарадаги маргумуш атомининг бешинчи валент электронини узиб олиш учун жуда кичик энергия кифоя экан. Дарҳақиқат, маргумиш тақиқланган зонада ўтказувчанлик зонасига яқин бўлган донор сатҳ E_d ҳосил қилади (11.13- чизма). Нормал шароитдаги температурада бу сатҳдаги электрон ўтказувчанлик зонасига ўтиб кетган 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.

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 қўшни кремний атомидан тортиб олиши мумкин. Бунинг учун E_a энергия керак бўлади. Юқоридаги мулоҳазаларни қайтариб E_a учун ҳам (11.28) 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 ўтказгичларни ковак ўтказувчанли 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 зичлиги

$$N_k = 2,2 \cdot 10^{24} \left(\frac{m^*}{m_0 \epsilon} \right)^3. \quad (11.30)$$

бўлгандан бошлаб киришмавий зона ҳосил бўла бошлайди. n -тур ўтказувчанликка эга бўлган кремний учун $N_k \approx 10^{19} \text{см}^{-3}$ 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 тутди. Ҳозирги замон

электроникаси учун ярим ўтказгичларга киришмалар киритиш билан улар параметрини керакли томонга ўзгартириш муҳим масалалардан биридир.

11.7. Компенсирланган ярим ўтказгичлар

Ярим ўтказгич маълум бир киришмалар киритиш натижасида улардаги заряд ташувчиларнинг тўла зичлиги $n+p$ ни камайитиришимиз мумкин. Бундай камайитириш усули *компенсирлаш* деб номланади, ярим ўтказгични эса *компенсирланган ярим ўтказгич* дейилади. Компенсирлаш ёрдамида ярим ўтказгич параметрларини керакли томонга ўзгартириш ҳозирги пайтда долзарб муаммолардан бирига айланиб қолади. Керакли хоссага эга бўлган янги тур ярим ўтказгич модда ҳосил қилишга нисбатан легирлаш ёрдамида унинг хоссаларини ўзгартириш анча арзон ва тездир. Компенсирланган ярим ўтказгич хоссалари компенсирлаш даражаси (K) дан ташқари, компенсирловчи марказлар табиатига ҳам кучли боғланган. Шунинг учун ҳозир компенсирланган ярим ўтказгичларни уч турга ажратиш мумкин.

1. Кучли легирланган компенсирланган ярим ўтказгичлар (КЛК). Бундай ярим ўтказгичларда компенсирловчи марказ сифатида бир зарядли саёз сатҳ ҳосил қилувчи киришмалар олинади.

2. Юқори энергияли зарралар оқими билан нурланган ярим ўтказгичлар. Компенсирловчи марказ сифатида турли чуқур сатҳли радиацион марказлар ва катта ҳажмли нуқсонлар (масалан, тартибсизланган қисмлар (ТК)) муҳим ўрин эгаллайди.

3. Чуқур энергетик сатҳ ҳосил қилувчи киришмалар билан компенсирланган ярим ўтказгичлар. Бундай ярим ўтказгичларда катта амплитудали флуктуацион потенциаллар ва тартибсизланган қисмлар бўлмайди.

11.8. Айниган ярим ўтказгич

Квант механикасида айниш деб системани турли (бир неча) ҳолатларига бирор физик катталикининг (масалан, энергиянинг) битта қиймати мос келишига айтилади. Ярим ўтказгичларда ўтказувчан электронлар ва коваклар зичлиги етарлича катта бўлганда айниш кузатилади. Бунда ярим ўтказгичлар айниган ярим ўтказгичлар деб номланади. Айни-

ган ярим ўтказгичларда заряд ташувчилар Ферми-Дирак тақсимотига бўйсунди. n — турдаги айниган ярим ўтказгичларда Ферми сатҳи (E_F) ўтказувчанлик зонасида жойлашади, p — турдаги айниган ярим ўтказгичда эса E_F валент онада жойлашган бўлади.

n — турдаги ярим ўтказгич учун бу шартни

$$\exp\left(-\frac{E_F}{kT}\right) \ll 1 \text{ ёки } E_F > 0 \quad (11.31)$$

кўринишида ёзишимиз мумкин, p - тур учун эса,

$$\exp\left[\frac{(E_g + E_F)}{kT}\right] \ll 1 \text{ ва } E_F < -E_g \quad (11.32)$$

бўлади. Сферик энергия зонасига эга бўлган изотроп n — тур ярим ўтказгич учун

$$n \approx \frac{4}{3\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{E_F}{kT}\right)^{\frac{3}{2}}, \quad (11.33)$$

ифода ўринли бўлади.

11.9. Айнимаган ярим ўтказгич

Ўтказувчан электронлар ва коваклар зичлиги етарлича кичик бўлган ярим ўтказгичларни *айнимаган ярим ўтказгичлар* деб номланади. Айнимаган ярим ўтказгичдаги заряд ташувчилар Максвелл-Болцман тақсимотига бўйсунди. Айнимаганлик шarti ($E_c=0$)

$$\exp\left(-\frac{E_F}{kT}\right) \gg 1 \quad (11.34)$$

кўринишда ёзилади. Бунда Ферми энергияси E_F тақиқланган зона ичида бўлади. Мувозанитий ҳолатдаги электронлар ва коваклар зичлиги учун қуйидаги ифодалар ҳосил қилишимиз мумкин:

$$n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right), \quad (11.35)$$

$$p_0 = N_v \exp\left(-\frac{E_g + E_F}{kT}\right). \quad (11.36)$$

II Боб. Эпитаксиал усулда яримўтказгичларли моддалар ўстириш.

2.1. Эпитаксиал усулда кремний ва германий ўстириш усуллари.

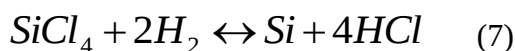
Эпитаксиал қатламларни германий ва кремний асосида ўстириш усуллари ичида кенг тарқалган моносоллин SiH_4 ва моногорман GeH_4 ларни тетрахлорид водородда тикланиш ва иссиқлик парчаланишидир. Кремний ва германий монокристалл қатламлари қизиган тагликлар орқали хлоридли ёки гидридли бўғли фодород газини ва легирланувчи киришмалар ҳайдалиб таглик сиртида ўстиради.

Эпитаксиал ўстириш жараёни қуйидаги амаллардан иборат:

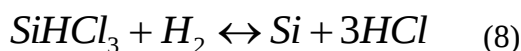
1. реакторга пластикаларни жойлаштириш;
2. инерт газ ва водородни гектор орқали ўтказиш (пуркаш билан);
3. пластинларни тозалаш учун пластинкаларни қиздириш ва газли едириш учун реагентларни бериш;
4. едиришни тўхтатиш ва ўстириш учун керак бўлган температурани таъминлаш;
5. эпитаксиал қатлам ва легирлаш учун реагентларни бериш;
6. реагентларни беришни тўхтатиш ва қисқа вақт давомида водородни ҳайдаш;
7. қиздириш, водород ва инерт газларни беришни тўхтатиш;
8. реакторни бўшатиш.

Ишлаб чиқаришда кремний эпитаксиал қатлами олиш кенг қўланилмоқда.

Эпитаксиал кремнийни хлоридли олиш усули. Бу усулни кенг қўлланилишига унинг етарли даражада соддалиги ва ишлатиладиган метериаллар қулайлиги сабаб бўлмоқда. Кремний тетрахлорид бўғлари ва водород реакторга берилиб, у ерда асосан кремнийнинг тикланиши реакциясиз юз беради:



Баъзан тетрахлорид ўрнига трихлорсилан SiHCl_3 дан фойдаланиб, бу ерда реакцияда асосан тикланиш юз беради:

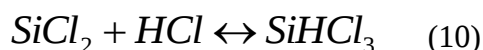


Ўнг ва чап йўналишда бўладиган реакция натижасида қолдиқ водород хлоридидан HCl кремний сиртидаги ифлосликлар, SiO қолдиқлари, кремний таглик сиртидан тизим бузилишларини олиб ташлашда газли едириш учун фойдаланилади.

$SiCl_4$ тикланиш жараёни $SiCl_4 + 2H_2 \leftrightarrow Si + 4HCl$ ифодага нисбатан анча мураккаб. Оралиқ ўзаро таъсир рекацияси икки усулда рўй беришини инобатга олиш керак. Биринчи тизимга асосан, тикланиш кремний дихлорид $SiCl_2$, HCl , ва H_2 ларни қатнашиши рекацияси билан бирга боради:



Бу рекцияга кўшимча водородда тетрахлорид концентрацияси ошиши эпитаксиал катлам ўсиш тезлигини камайтиришга олиб келади. Бундан ташқари қуйидаги реакция ҳам содир бўлади:



Ҳосил бўлувчи кремний водород хлорид бирикмаси водород билан соф кремний ҳосил бўлгунича тикланади.

Иккинчи схемага асосан, газ фазада $SiCl_4$ тикланиш қуйидаги реакциялардан бирида юз бердаи:



ёки



$SiCl_4$ қисман тикланиши тагликда атомлар кремний ҳосил бўлиши билан хлоридлар тикланиши ёки диспропорцияланиш бўйича кетади $SiCl_4$.

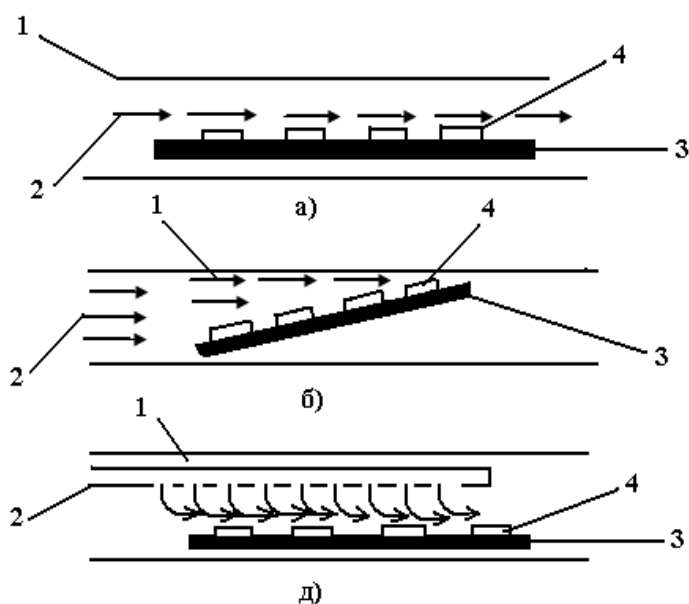
Молекуласига нисбатан $SiHCl_3$ молекуласининг анча енгил сочилиши $SiCl$ энергия боғланишига нисбатан $Si-H$ боғланиш энергиясини кичиклиги билан аниқланади.

Водородда кремний тетрахлоридни кичик зичликларда (7) реакцияга асосан ўсиш тезлиги $SiCl_4$ зичлигига чизиқий боғланишга эғалиги кузатилади. $SiCl_4$ зичлиги кейинги ошиши ўсиш тезлигини камайтиради ва (9) реакция кучайиб таглик едирилишига олиб келади. Кремнийни ўтқазишни 1150^0-1250^0C температуралар оралиғида водородда тетрахлорид концентрация сатҳини 0,5%-1%, газ оқим тезлигини 0,1-1 м/с ушлаган ҳолда амалга ошириш мумкин. Шу шароитда қатлам ўсиш тезлиги 1 мкм/мин га яқин. Унча юқори бўлмаган температураларда ва бугда катта микдордаги тетрахлоридларда, аморф ёки поликристалл кремний қатлами ҳосил бўлади. Тагликда температура ошиши ва газ аралашмасида тетрахлориднинг мол камайиши қатлам зичлашишига ва кристалланишига олиб келади.

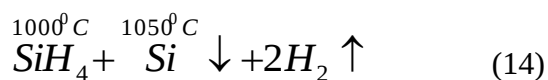
Кремний эпитаксия қатламлари олишнинг гидрид усули. Юқоридаги эпитаксиянинг хлорид усулида таглик температураси 1200^0 га яқин. Шунинг учун юқори легирланган пластинка-тагликдан киришмаларнинг ўсаётган кучсиз легирланган эпитаксия қатлам томон диффузияланиши юз беради. Бу ҳодисани *автолегирлаш* дейилади. Автолегирлашда ўсаётган қатламдан тагликка тескари томонга киришмалар диффузияси рўй бериши ҳам мумкин. Автолегирлаш эпитаксиал қатламда киришмалар зичлигини, қатлам-таглик чегарасида киришмалар зичлигини ва эпитаксиал қатламда берилган зичликдаги киришма соҳаси қалинлигини ўзгартиради.

Тагликка киришмалар диффузияланишини чегаралаш учун диффузия коэффиценти кичик бўлган киришмалар, масалан, n^* -тагликларда фосфор ўрнига Sb ва As танланди.

Киришмалар диффузиясини чегаралашнинг бошқа имконияти бу жараён температурасини камайтиришдир. Кремний эпитаксиясида температурани 1000^0C гача камайтириш учун ўстириш вақтида тагликни ультрабинафша нурлари билан нурлашдан фойдаланиш мумкин. Ультрабинафша нурланиш газ фазада адсорбирлашган киришмалар таъсирини камайтиради. Бу эса, кремний таглик атомларининг сирт бўйлаб ҳаракатчанлигига таъсир қилади. Автолегирлашни анча юқори даражада чегаралаш жараён температурасини камайтириш имконини берувчи эпитаксиянинг гидрид усулидан фойдаланишдир. Бу усулда моносилан пиролиз бўлганлиги учун уни баъзан силанли усул дейилади. Силанли усул силаннинг термик парчаланиши қайтмас реакциясига асосланган



2-расм. Горизонтал реакторлар турлари: 1-реактор (кварц); 2-газ оқими; 3-таглик ушлагич; 4-пластинкалар.



Силан усулида эпитаксиал қатламларни ўстириш қурилмасининг тузилиши хлорид усулига яқин ва моносилан билан ишлаганда эҳтиёткорлик учун қурилма ҳаво ва нам қолдиқларни ҳайдаш учун мосламалар билан таъминланган бўлиши керак.

Монокристалл қатламларни 1000°C - 1050°C температураларда моносилан парчаланиши ҳисобига олинади. Манба сифатида 4%-5% ли моносиланда таркиб топувчи аралашма ва юқори тозаликдаги 95%-96% *He*, *Ar* ёки H_2 газидан фойдаланилади. Жараёни ўтказиш даврида моносилан зичлиги 0,05%-0,1%, газ оқими тезлиги 30 см/с-50см/с. Шу шароитда ўсиш тезлиги 0,2 дан мкм гача ўзгаради.

Усулнинг камчиликлари моносиланнинг ўз-ўзидан ва портлаши бўлганлиги учун, махсус чоралар кўриш керак. Шунинг учун амалда моносилан водородли аралашмада қўлланилади. 5% ли моносилан аралашмаси ўз-ўзидан ёнмайди. Аралашма билан ишлаш хавфсизлик қондаси водород билан ишлашдагидек.

2.2. Эпитаксиал қатламлар олиш қурилмалари.

Ўсувчи эпитаксиал қатламлар сифати кўп жиҳатдан температура ва газодинамик шароитларига боғлиқ. Шунинг учун ўстириш усулларига юқори талаблар қўйилади. Эпитаксиал ўстириш жараёни у амалга ошадиган қурилмадаги реакторлар тузилишига боғлиқ. Уларнинг горизонтал ва вертикал хиллари бор.

Горизонтал реактор анча содда тузилишига эга. Бунда буғ –газ аралашма оқими таглик ушлагичга параллел ўтади ва эпитоксиал қатламлар қалинлиги ҳамда солиштирма қаршилиқни ўзгартиришга олиб келади. Бунда текис ўстиришни ҳосил қилиш учун иккита усулдан фойдаланилади: 1) таглик ушлагич газ оқими йўналишига маълум бир бурчак остида жойлаштирилади. 2) таглик ушлагич узунлиги бўйича газни тақсимлаб киритиш.

Вертикал реакторлар конструкцияси яхшилиги қиздириш ва аралашма газ оқими учун анча яхши шароитни таъминлайди. Таглик ушлагичнинг айлантириши иссиқлик ва газодинамик майдонларининг текис тақсимланишига олиб келади. Тўрт қиррали таглик ушлагич ва газ – буғ аралашмани вертикал киритишнинг вертикал реактор қурилмаси кўрсатилган. Юқори унумдорликка эга бўлган ишчиаралашмани горизонтал киритишнинг баробан кўринишидаги вертикал реактори кўрсатилган. Тўрт қиррали графикли таглик ушлагични қиздириш юқори частотали ток индуктори билан амалга оширилади, реактор кварс найдан иборат. Баробанли таглик ушлагични

занглас пўлатдан тайёрланган реактор ичида резистив элементлар ёрдамида қиздирилади. Бу қиздириш баъзан реакторнинг камчилиги деб аталади.

Халорид усулида эпитаксиал қатламларни олиш қурилмаси берилган.

Легирланган эпитаксиал қатламни олиш учун тетрахлорид кремний ёки легирловчи қўшимчалар n -турни BBr_3 ёки n -турни PCl_3 ҳосил қилувчи легирловчи қўшимча таркибли аралашма $SiCl_4 + BBr_3$ ёки $SiCl_4 + PCl_3$ термостат идишда тетрахлорид температураси юқори аниқликда ушлаб турилади. Бу эса, зарурий бўғ босимини таъминлайди. Одатда бу температура $0^\circ C$ дан паст, чунки $SuCl_4$ жуда учувчи суюқлик.

Системага палладий тозаловидан ўтган водород берилади. Чунки палладий тозалови нам ва кислород қолдиқларидан водородни тозалайди. Палладий ёки платинали тозалов системаси $400^\circ C - 450^\circ C$ қиздирилган диафрагмадан иборат. Бу диаграмма орқали юқори тезликда атомар водород диффузияланади ва унинг сарфи $1m^3/соат$ ни ташкил қилиб бошқа моддалар бу диафрагма орқали умуман ўтмайди, чунки уларнинг диффузия коэффиценти кичик. Тозалов нуқтаси шудрингдан сўнг $-70^\circ C$ ни ташкил этади. Водород 1 крандан - водород сарфини ўлчовчи ротаметр орқали ўтади. 2, 3, 4 кранлар ёпиқ ҳолатда бўлади. Кремнийли тагликлар $1000^\circ C - 1200^\circ C$ гача қиздирилади ва уларнинг сирти водород оқимида тозаланadi. 1 кран ёпилади, 2 ва 3 кранлар очилади. Водород $SiCl_4$ ли идиш орқали ўтади ва реакторга тетрахлорид бўғи билан тўйиниб элементар кремний тикланади.

Реаксияда қатнашмаган $SiCl_4$, H_2NCl ва бошқа маҳсулотлар 5 очик кран орқали скрибберга чиқади. Скриббернинг вазифаси заҳарли чиқиндиларни ушлаб қолиш ва водород алангасида ёндириб юборишдан иборат. Эпитаксиал ўстиришда газ едириш учун 1 кран орқали HCl эпитаксия жараёнидан олдин берилади.

Эпитаксиал ўстириш технологияси пластинкага қўйилган талаблардан келиб чиқади. Бу эпитаксиал қатлами қалинлиги ва легирланиш сатҳ қийматлари (аниқлиги $\pm 5 \div 10\%$) ёмон бўлмаган ҳолда ечилади. Эпитаксиал қатлам қалинлиги талаб даражасидаги такрорийликка эришиш учун ўсиш тезлигининг доимийлигини сақлаш керак. Бунинг учун эса $SiClH$, SiH_2 асосий моддалар концентрацияси сатҳини бу жараёнда температурани ўзгармас ушлаб туриш керак. Эпитаксиал қатлам солиштирма қаршилигининг бир хил бўлишлиги учун қиздириш текис бўлиши керак.

Германий эпитаксиясига қизиқиш германийни кам шовкинли ўта юқори частотали транзисторлар ва гемс яратиш муҳитлигидан келиб чиқади. Чунки, бу асбоблар

кремнийни ИМС ларига нисбатан паст температураларда саралироқ ишлайди. Германий эпитаксиал қатламларини ўстиришнинг хлорид усули яхши ўрганилган.

Ўтказиш 800°C да бажарилади ва германий титрохлориди зичлиги 0,2% га яқин бўлади.

Аралашма орқали тезлиги танланган қиймати реактор тузилишига, оқим бериш усулига боғлиқ бўлиб, одатда тезлик катталиги 20 см/с дан ошмайди. Эпитаксиал қатламнинг 800°C да ўсиш тезлиги 0,5 мкм/мин ни ташкил қилади.

Германий эпитаксиал қатламларни ўстиришнинг гидрид усулида олиш водород муҳитида германий (GeH_4) ёрдамида 700°C температура яқинида ва GeH_4 зичлиги 0,1%-0,2% бўлганида бажарилади. Ўсиш тезлиги 800°C гача ошиб боради, кейин газ фазада GeH_4 парчаланиш камаяди. GeH_4 нинг газ фазали парчаланишини пасайтириши учун юқори тезликдаги газ оқимидан фойдаланилади. Саноат етарли даражада тоза германий тетрохлоридидан фойдаланганлиги учун солиштирма қарлишиги 15-ҳажмдан катта бўлган эпитаксиал қатламни олиш имконини беради.

Яна камроқ қўлланиладиган усуллардан бири ёпиқ ҳавоси сўрилган кварц найда олишдир. Найда германий тетраэдида GeI_4 бўлиб, бу зона 550°C - 700°C гача қиздирилади. Найнинг иккинчи зонасида германий таглик бўлиб унинг температураси 300°C - 400°C ни ташкил қилади. Биринчи зонада қуйидаги реакция кетади: $\text{GeI}_4 + \text{Ge} \rightarrow 2\text{GeI}_2$. Германий диодиди тагликка диффузияланиб, қуйидаги реакция содир бўлади:



Натижада германий тагликка ўтиради, буғлари эса манба соҳасига диффузияланади ва реакция яна қайтарилади.

2.3. Эпитаксиал усуда A^3B^5 ва A^2B^6 турдаги яримўтказгичли бирикмаларни ўстириш технологияси.

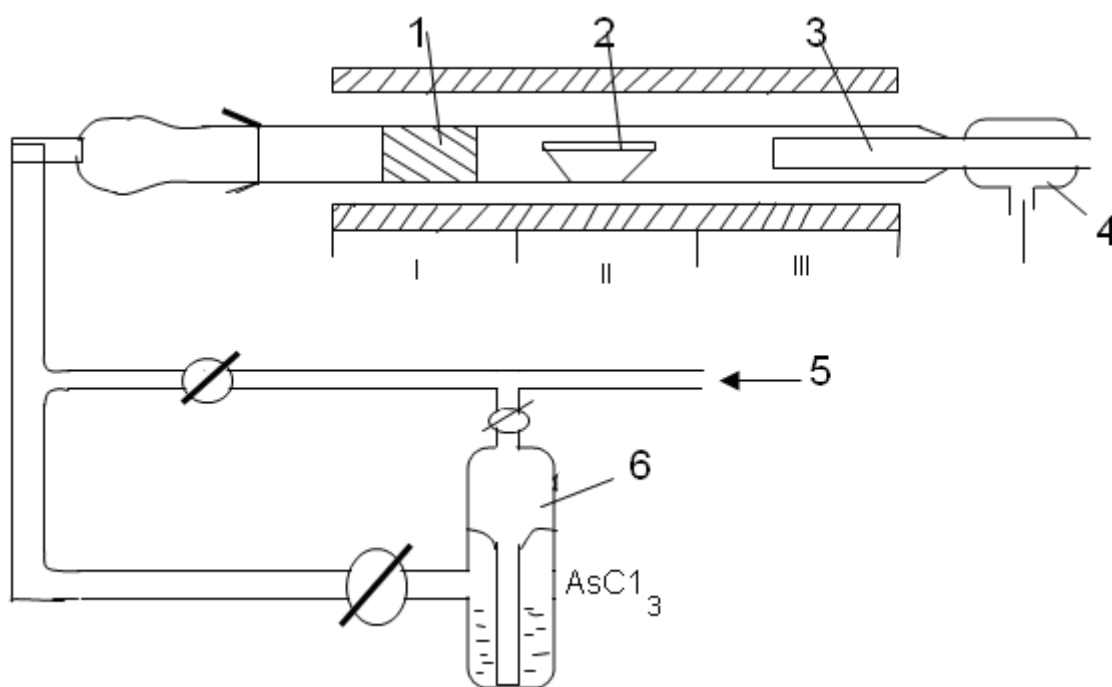
A^3B^5 ва A^2B^6 турдаги кимёвий бирикмаларнинг қўлланилиш соҳалари узлуксиз кенгайиб бормоқда. Ҳозирги вақтда оптоэлектроникада информациянинг тасвирли тизимлари, нурланиш манбалари ва қабул қилгичлар, яримўтказгичли лазерлар ва бошқалар яратилишида кенг фойдаланилмоқда. Юқоридаги барча қурилмаларда яримўтказгичли тузилма фаол иштирок этади, одатда, энг камида иккита авто ёки гетероэпитаксиал қатлам мавжуд.

A^3B^5 ва A^2B^6 турдаги бирикмалар ва улар асосидаги қаттиқ эритмаларни уларнинг эриш температураси ва буғланиш босимининг баландлиги туфайли элементлардан тўғридан-тўғри синтез қилиш мураккабдир. Галлий арсениди ҳавода 300°C температурада қиздирилса оксидланади, 600°C дан бошланиб арсенид ажралиб чиқиш

билан бирикма буғлана бошлайди. Суюулиш температурасида бу босими 10^5 Па ни ташкил қилади.

GaP суюлиш температурасида фосфор буғининг босими $3,5 \cdot 10^6$ Па ташкил қилади. Суюлма ҳолидаги GaAs ва GaP барча контейнер материаллар билан жуда фаол ва ўзаро таъсирда бўла бошлайди. $A^{III}B^V$ технологиясида қўлланилаётган сунъий кврас қотишма GaAs ни кремний билан ифлослантиради.

Юқоридаги қийинчиларни бирикманинг суюлиши эриш температурасидан пастроқ температурада газ фазадан $A^{III}B^V$ турдаги бирикмалар эпитаксиал қатламларини ўстиришда йўқотиш мумкин.

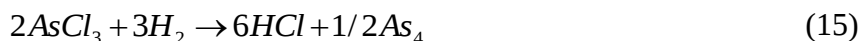


3-расм. Ga-AsCl₃-H₂ тизимида GaAs эпитаксиал қатламлар олиш учун қурилма схемаси: 1-арсеник зонаси 425⁰С (I); 2-галлий зонаси 800⁰С (II); 3-таглик зонаси 750⁰-900⁰С (III); 4-реаксия маҳсулотлари чиқиши; 5-водород кириши; 6-AsCl₃ ли барботер.

GaAs ва қаттиқ эритмалар асосида газ фазада эпитаксия олишда газ ташувчи сифатида водороддан фойдаланилган ҳолда хлорид ва хлорид гидрид тизими ўтқазил мумкин. Бу усулнинг асосий афзаллиги фойдаланилаётган дастгоҳнинг соддалиги; оқим тезлигини ва бирикма-ташувчи зичлигини ўзгартириш йўли билан қатлам ўсиши жараёнини бошқариш мумкинлиги; турли киришмалар билан легирлаш; узлуксиз жараёнда кўп қатламли тузилмаларни олиш; жараёни автоматлаштириш; едиришнинг осонлиги ва бошқалар қиради.

Энди қисқача асосий реагентлар тизимида кимёвий айланишлар ва эпитаксиянинг бир қанча кинетик хусусиятларига тўхталамиз.

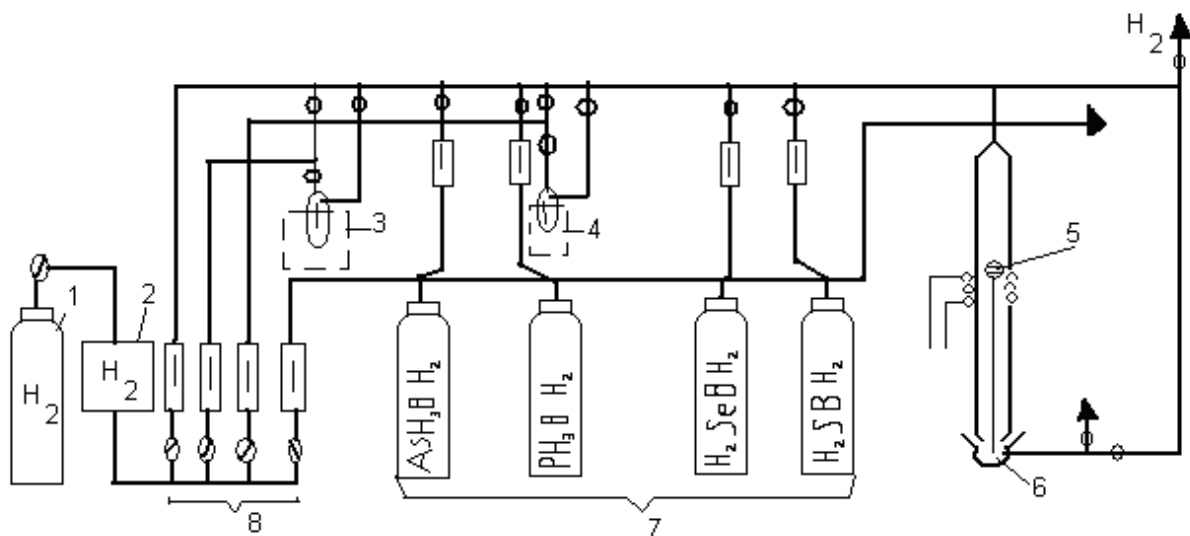
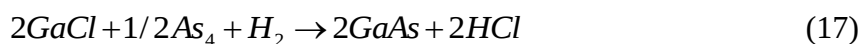
Ga-AsCl₃-H₂ тизимлари афзалликлари битта реакторда AsCl₃ ва юқори тозаликда арсеник ва водород хлориди олиш мумкинлигидир. Бу тизимда галлий арсениди эпитаксиал қатламини олиш қурилмаси 3-расмда кўрсатилган. Реактор учта қизиш зонасига эга. Унинг киришига водородли буғ AsCl₃ аралашма келади ва биринчи зонада қуйидаги реакция содир бўлади:



Иккинчи зонада биринчи зонадан келган водород хлориди эритма галлий билан ўзаро таъсирлашади. 700⁰С дан юқори температурада ортиқча галлий маҳсулоти таъсирида галлий субхлориди пайдо бўлади:



Учинчи зонада гетероген реакция натижасида галлий арсениди синтези ва тагликда эпитаксиал қатлам ҳосил бўлади:



4-расм. Галлий –органик бирикмалардан фойдаланган ҳолда галлий арсениди эпитаксиал қурилма схемаси:

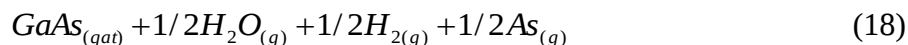
1-газ ташувчи баллон; 2-газни тозалаш блоки; 3-галлий-органик бирикмали барботер; 4-легирловчи кўрғошин манбаи; 5-таглик; 6-кварс реактор; 7-водород аралашмали гидрид баллонлар; 8-ротометр.

Жараённинг ўзига хос хусусияти иккинчи зонада арсеник билан галлий эритмасининг тўйинишидир.

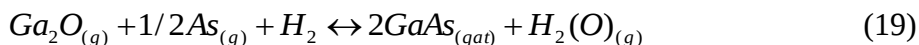
Эритма тўйингандан сўнг унинг сиртида галлий арсениди пардаси ҳосил бўлади, зонага келувчи ортиқча арсеник водород оқими билан қўшилиб кетади ва реакторнинг совуқ қисмларига ўтиради. Одатда тагликни галлий эритмаси арсеник билан тўйиниш

жараёни тугаган жойга киритилади. Бу газ аралашма таркиби ўзгармаслигини таъминлаб қатламнинг бир жинсли ўсишига олиб келади. Зона киришдаги AsCl_3 ва GaCl буг босимлари нисбатини ўзгартириш билан ўтириш зонасида тагликни едириш ва турли тезликда эпитаксиал қатлам ўстириш режимларини аниқлаш мумкин. Қатлам ўсиши тезлиги таглик йўналганлигига боғлиқ. Одатда қуйидаги муносабат кузатилади: $\mathcal{G}_{(111)A} > \mathcal{G}_{(100)A} > \mathcal{G}_{(211)B} > \mathcal{G}_{(311)B}$. Бу ерда А-металл, В-металлоид панжара қисмига тегишли белгилар.

Галлий арсенидининг бошқа тизимларидан ҳам эпитаксиал қатламларни олиш мумкин. Булар $\text{GaCl-AsCl}_3\text{-H}_2$; $\text{GaCl}_3\text{-As-H}_2$; GaAs-HCl-H_2 ; $\text{GaAs-I}_2\text{-H}_2$; $\text{GeAs-H}_2\text{O-H}_2$ тизимларидир. Ўтириш зонасидаги кимёвий реакциялар кинетикаси ўхшаш. Фақат, охириги тизимда, фарқли равишда ташувчи сифатида сув буғидан фойдаланилади. Бу тизимда манба зонасида температура $1000^0\text{-}1100^0\text{C}$ бўлиб, жараён галлий арсенидининг оксидланишига олиб келади:



Температураси 50% кам бўлган зонада, яъни ўтириш зонасида галлий арсенидининг синтези рўй беради ва бу ерда сув ажралиб чиқиши ҳам кузатилади:



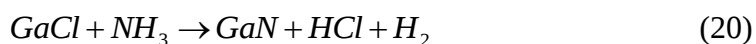
Галлий арсениди ўстириши учун хлорид-гидридли $\text{Ga-HCl-AsH}_3\text{-H}_2$ дан ҳам фойдаланиш мумкин.

$\text{A}^3 \text{B}^5$ ва $\text{A}^2 \text{B}^6$ ларнинг қаттиқ элементлари бинар бирикмалари эпитаксиал қатламларини олишда B^V таркибловчининг уй температурасида газ ҳолда бўлганлиги, газ фазада таркиби ўзгармаслиги ва легирлаш жараёнини бошқаришни таъминлайди.

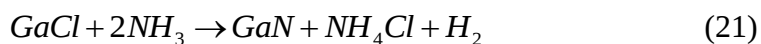
4-расмда бинар бирикмалар GaAs , GaP , GaN ва қаттиқ эритмалар GaAs_x , P_{1-x} , $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$, $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$, $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$, $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ва бошқа газ фазадан ўстириш мумкин бўлган бошқа аралашмалардан эпитаксиал ўсиш ва легирлаш учун қурилма схемаси кўрсатилган.

Газ фазада GaN эпитаксияси биргина шу усулда олиниб, у бу материал асосида технологиялашган монокристалл қатламини олишни таъминлайди.

Эпитаксияни хлорид-гидридли $\text{Ga-HCl-NH}_3\text{-Ar(He)}$ тизимда олиб борилади. Галлийни хлорлаш зона температураси $800^0\text{-}850^0\text{C}$ бўлганда галлий субхлориди GaCl ҳосил бўлгунча давом эттирилиб, сўнг инерт газ оқимида ўстириш зонасига аммиак тўғридан-тўғри тагликка берилади. Бу ерда $1050^0\text{-}1100^0\text{C}$ температурада гетероген реакция юз беради:



Қисман жараён қуйидагича бўлиши ҳам мумкин:



Реаксияда қатнашувчи газлар ва буғлар зичлиги бўйича бир-биридан кучли фарк қилади, шунинг учун эпитаксиал ўстириш бир жинсли бўлиши учун газ оқимларини юқори тезликда ўтказилади. Шунинг учун бу аралашма-гулхан режим деб аталади. Бунда газ аралашма гомогенлашмаган бўлади ва у $A^{III}B^V$ бирикмалар эпитаксиясидан фарк қилади.

Таглик сифатида одатда йўналиши (0001), (1120) ёки (1012) бўлган саприфлардан фойдаланилади, кейин улар водородда юқори температурали едиришдан ўтказилади. Қатламнинг ўсиш тезлиги $\sim 1 \text{ мкм/мин}$ бўлиши мумкин.

Галлий нитриди асосида ёруғлик диодлари битта жараёнда олинади. Олдин азот панжарасида вакансия ҳисобига юқори электрон ўтказувчанликка эга бўлган легирланмаган қатлам ўстирилади. Кейин бу қатлам устига қўрғошин билан легирланган концентрацияланган i -қатлам ўстирилади. Легирланган қатлам ўсиши 900°C да амалга оширилади.

Суюқ фазада эпитаксия. Суюқ фазада эпитаксия кўпчилик $A^{III}B^V$ бинар ва учлик яримўтказгич бирикмаларни ўтқозиш учун, айниқса турли тагликларда кўп қатламли p - n ва изотурдаги тузилмаларни олиш учун қўлланилади.

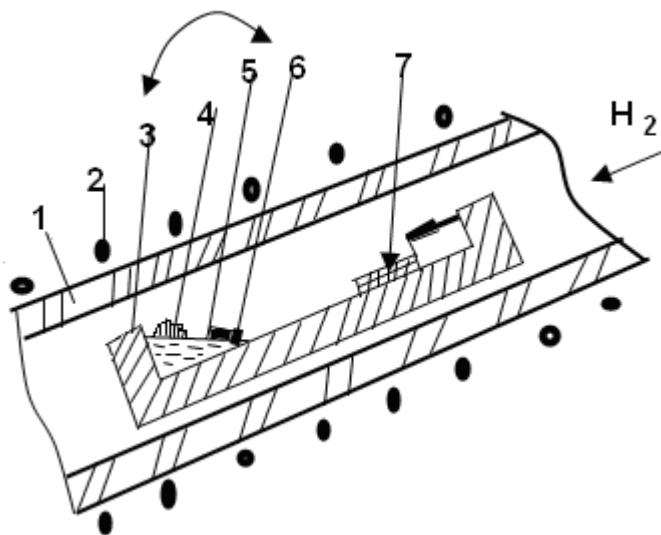
Суюқ фазада эпитаксиянинг афзалликлари: стехиометрик эритмадан фойдаланиш зарур эмаслиги; фаза ўсиши температура комбинацияси ва ликвидус чизигига яқин таркибда юз бериши; бу ўз навбатида қатламларда кимёвий тузилиш нуқсонлари зичлигини камайтиришга, температура пасайиши билан кўпчилик киришмаларнинг тақсимот коэффициентининг камайишига имкон беради. Иссиқлик вакансиялар зичлиги ҳам камаяди.

Суюқ эпитаксияда ликвидуснинг ҳар қандай нуқтасида кристалланиши ва унга енгил учувчи таркибловчиларнинг бу босими камайиши содир бўлади. Масалан, галлий асосида қотишма-эритмадан 1000°C да GaP ни ўстиришда фосфор P_2 буғ босими 10 Па ташкил қилади ва натижада фосфорнинг йўқотилишлари етарлича оз бўлади. (Стехиометрик қотишмадан 1470°C да ўстиришда фосфор босими $3,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ни ташкил қилади).

Суюқ эпитаксия жараёнида ўсиш тезлиги кичик бўлганлиги сабабли қатлам қалинлигини юқорироқ аниқликда бошқариш имконини беради. Бу усул диффузион ва бошқа шакллар билан қатламлар ҳосил қилувчиларга нисбатан ҳам бир қанча марта кўп афзалдир. Бу айниқса, кўп қатламли, даврий тузилмаларни олишда аҳамиятлидир.

Суюқ фазада эпитаксия усули, тагликка нисбатан, қатламда дислокация зичлиги камайишига олиб келиб, ёруғлик асбобларида юз бералидиган нурланишсиз рекомбинация жараёнларини камайтиради.

Суюқ фазадан эпитаксия олиш усуллари иккита катта гуруҳга бўлиш мумкин. Улардаги фарқ қатламда киришмаларнинг охириги тақсимооти билан аниқланади.



5-расм. Нелсон усули бўйича суюқ эпитаксия учун контейнер схемаси: 1-Кварс реактор; 2-қаршилик электр печи; 3-графит қайиқча; 4-модда-манба; 5-лигатура; 6-эритма (гелий); 7-таглик.

1. Йўналишли кристалланиш усули. Бу ҳолда эпитаксия маълум таркибидаги суюқ фазадан ва ташқи муҳит билан ўзаро таъсирсиз ҳажмда бўлади. Эпитаксия жараёнида суюлма ҳажми камаяди.

2. Дастур зонали қайта кристалланиш усули. Бунда ташқи фазада вақт давомида кам ўзгарувчи маълум ҳажмли суюқ фазали қатламлардан фойдаланилади.

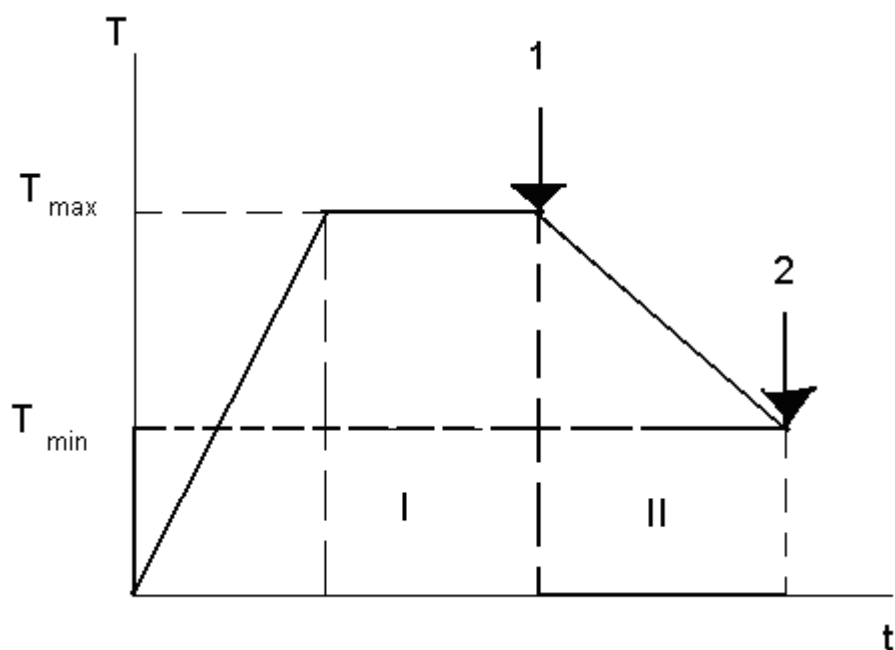
Биринчи гуруҳ усуллари учун қатламнинг бутун қаламлиги бўйича киришмалар тақсимооти бир жинсли эмаслиги характерлидир.

Суюқ эпитаксиянинг классик усули Нелсон томонидан тақдим қилинган бўлиб, контейнернинг (махсус идиш) қарама-қарши томонларига бошланғич эритма таркибловчилари ва таглик жойлашган бўлади (5-расм).

Одатда конструкцияси буралувчи ёки чайқалувчи (тебранувчи) печдан фойдаланилади.

Кўрилатган тизимни фаза диаграммасининг кўринишидан аниқланган температурада ушлаб турилгандан сўнг ва ҳосил бўлган суюқ фазада тўйинган эритма маҳкамланган тагликка қўйилади. Системани секин совитиш билан эритманинг ўрта

тўйиниши, унинг емирилиши ва эпитаксиал қатлам кўринишида тагликда эритма модданинг ажралиб кристалланиши пайдо бўлади. Шу пайтнинг ўзида легирлашни ҳам амалга ошириш мумкин.



6-расм. Суюқ эпитаксияда температура-вақт режими: I-эритманинг тўйиниш соҳаси; II-кристалланиш соҳаси; 1-тагликнинг қотишма билан контакти; 2-тагликдан қотишманинг кетиши.

6-расмда суюқ эпитаксияда температуранинг вақтга боғлиқ режими кўрсатилган. Эритма совуши тезлиги 1-10К/мин ташкил қилади.

III BOB. Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x}(A^2 B^5)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт-ампер хоссаларини.

3.1. Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x}(A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қотишмаларни суюқ фазада ўстириш.

Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, кремнийнинг моно ва поликристалли асосида ўстирилган $(A^3 B^5)$ ва $(A^2 B^5)$ қаттиқ эритмалар пардасини қимматбаҳо бўлган GaAs асосида ўстирилган юпқа пардалар ўрнида ишлатиш мумкин экан.

Қуёш мақомидаги йирик донорли асосларда ўстирилган пардаларни баъзи характистикаларини ўрганишлар шуни кўрсатадики, юпқа пардалар тузилиши асос кристалл тузилишига мос ва кристаллнинг айрим қисмлари тузилиши сақланган ҳолда вертикал тарзда ўсади. Майда кристалл асосларда $(A^3 B^5)$ ва $(A^2 B^5)$ нинг майда кристалл тузилишли пардаси ҳосил бўлади. Бу пардаларда ҳали майда асос кристаллар тузилиши такрорланади ва айрим блоklar 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 $5 \div 10$; $15 \div 20$; $25 \div 3$ мкм га тенг бўлди.

Заряд ташувчиларнинг μ_n ва μ_p ҳаракатланганликларини аниқлаш бўйича ўтказилган Холл тажрибалари ва тўрт зарядли усул билан аниқланган солиштира қаршилик ρ кўрсаткичига, эритма қотишмадан ўстирилган Sn пардалари ўз ҳолича легирланган бўлиб, n-тур ўтказувчанликка эга бўлар экан. Уларда электронлар

ҳаракатчанлиги $\mu_n \approx 700 \div 1300 \frac{b}{c}$, ковакларнинг $\mu_p \approx 600 \div 1700 \frac{b \cdot c}{cm}$ бўлиб,

солиштира қаршилиги $S \approx 0,5 \div 1,5 \text{ ом} \cdot \text{см}$ бўлиши аниқланди.

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

Кристалланиш $680 - 750^\circ\text{C}$ дан бошланганда эса, пардалар тузилиши ҳам дендрит кўринишида бўлади. Ву ҳолда дендритлар улар оралиғида $\sim 5 \sim 10$ мкм қалинликда ҳосил бўлган пардалар устида юзага келади.

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

Пардаларнинг қалинлиги ва тузилишини ўсиш тезлиги ва ҳароратга боғлиқлиниги ўрганиш борасидаги тажрибалардан аниқлашча, кристалланиш 700°C да бошланганда ва пардаларнинг ўсиш тезлиги $0,75 - 0,5$ с/мин бўлганда дендритлар ўлчами ошади, $0,75 - 0,5$ с/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 $1,0 \div 1,3$ с/мин дан ошириш асло мумкин эмаслиги аниқланди. Чунки бунда эритма қотишмасининг ҳажмида ҳажми кристалланиш амалга ошиши 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 $0,5 \div 0,75$ с/мин дан кичик тезликда ўстирилган пардаларда дендритлар деярли пайдо бўлмайди.

Лекин бунда электр энергияси исрофи яна кўпаяди. $750 - 850^{\circ}\text{C}$ ҳароратлар оралиғида $0,5 \div 0,75$ с/мин тезлик билан ўстирилган пардалар текис ва ялтироқ ойна кўринишида бўлади. Ўстирилган қаттиқ қотишмали A^3B^5 ва A^2B^6 пардаларнинг қуёш фотоэлементлари яратишдаги имкониятларини аниқлаш мақсадида қаттиқ қотишмага рухнинг (Z_n) газ фазадан диффузияли асосида р-п ўтиш ҳосил қилинди. Бу р-п ўтишнинг лаборатория шароитида спектралл ва ёруғлик оқимига боғлиқ вольт-ампер характеристикаси ўрганилди.

Даслабки тажриба натижаларига асосланиб айтиш мумкинки, суюқ фазадан кремний тағлиқдан ўстирилган A^3B^5 ва A^2B^6 тузилишли қаттиқ қотишмани таннархи анча қиммат турадиган GaAs асос ўрнида ишлатиш мумкин экан.

Шу асосда айтиш мумкинки истиқболда уларга $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ қаттиқ қотишмаларни ўстириб, юқори самарадорликка эга бўлган қуёш элементларини (ҚЭ) яратиш мумкин.

Суюқ фазада ўстирилган кремний қатламларидаги р – п ўтиш юқоридаги GaAs қатлами билан биргаликда ҳосил қилиб, маълум бир хил ҚЭ ни ҳосил қилиш мумкин.

Бу эса ҚЭ да ютилаётган радиация диопозонининг кенгайишига бинобарин, A^3B^5 ва A^2B^6 қатламлардан ўтаётган квантлар ҳисобига ҚЭ нинг Ф.И.К.ошишига олиб келади.

3.2. Яримўтказгичли $(\text{A}^3\text{B}^5)_{1-x}(\text{A}^2\text{B}^6)_x$ бирикмаларни вольт-ампер хоссаларини ўрганиш.

$\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GdS})_x$ ва $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Gl}_2)_x(\text{GaAs})$ гетироструктураларнинг айрим электрофизик хоссаларини ўрганиш.

Ёруғликка сезгир тузилмаларни ҳосил қилишда, янги яримўтказгич материаллардаги эъзовалентли киришмалар билан боғлиқ бўлган ходисаларни ўрганиш муҳим муаммо ҳисобланади.

Бу йўналишда асосан яримўтказгич тузилмалардаги киришма марказлари зарядининг ёруғлик ва ток модулятсияси билан боғлиқ бўлган ходисалар орқали истиқболли ҳисобланади.

Яримўтказгич тузилмаларда эъзовалент тузилмаларнинг мавжудлиги уларнинг электрик характеристикаларида қатор хусусиятларни юзага чиқаради. Уларнинг бу хоссалари шу тузилмаларнинг микро ва оптоэлектроникада фойдаланиш имконияти борлиги учун амалий аҳамиятга эга.

Ушбу битирув малакавий ишида $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GdS})_x$ ва $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Gl}_2)_x(\text{GaAs})$ қаттиқ эритмаларнинг ва улар асосида олинган эзотоп бўлмаган p-n тузилмаларнинг электрик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш бўйича олинган натижалар баён этилади.

Бу тузилмалар P-Si- тагликда $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GdS})_x$ ва n-типдаги қатламларнинг эпитакциал кўриниш ва $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Gl}_2)_x(\text{GaAs})$ структуралар p-тип ўтказувчанликдаги қаттиқ қотишмасини n-Si тагликда қалайли эритма қотишмада эпитакциал ўстириш йўли билан ҳосил қилинган.

P-Si-n(Si_2)_{1-x}(GdS)_x ($0 \leq X \leq 0$) ва (Si_2)_{1-x-y}(Gl₂)_x(GaAs) ($0 \leq X \leq 0,90$) p- типли ўтказувчанликка эга бўлган n-Si тагликда кўрғошиннинг эритмали қотишмасидан ташкил топган тузилмаларни P-Si-n(Si_2)_{1-x}(GdS)_x(GdS)_x ($0 \leq X \leq 0$) ва (Si_2)_{1-x-y}(Gl₂)_x(GaAs) ($0 \leq X \leq 0,90$) ўрганишда кумушни вакуумда чанглантриш йўли билан омик контакт ҳосил қилинади. Бу омик контактлар тузилмаларнинг орқа томонидан ялпи бўлса эпитаксиал қатлам томонидан юзаси 4мм² бўлган тўртбурчаклардан иборат n(Si_2)_{1-x}(GdS) ва P-(Si_2)_{1-x-y}(Gl₂)_x(GaAs) қаттиқ эритмаларнинг эпитакциал қатламларини кремнийли p ва n ўтказувчанликдаги тагликда ўстириш жараёнида баъзан қатлами қаттиқ эритмадан иборат бўлган R_{ом} P-n - R_{ом} турдаги диод тузилманинг шаклланишини эътиборга олиш зарур.

P-Si - n (Si_2)_{1-x}(GdS)_x ($0 \leq X \leq 0,01$) тузилмаларнинг вольт-ампер характеристикалари. Қуйида P-Si - n (Si_2)_{1-x}(GdS)_x ($0 \leq X \leq 0,01$) тузилмаларнинг вольт-ампер характеристикаларини ўрганиш бўйича натижалар келтирилади.

Тажрибаларда n турдаги ўтказувчанликка эга бўлган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GdS})_x$ ($0 \leq X \leq 0,01$) каттик қотишманинг монокристалл асосида солиштира қаршилиги -0.016 ом·см бўлган $\text{PSi} - n (\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GdS})_x$ ($0 \leq X \leq 0,01$) тузилмалар тайёрланди.

Кремний таглик (III) ориентация йўқолишига, p -тип йўналишга эга бўлиб, солиштира қаршилиги 10 ом·см га тенг.

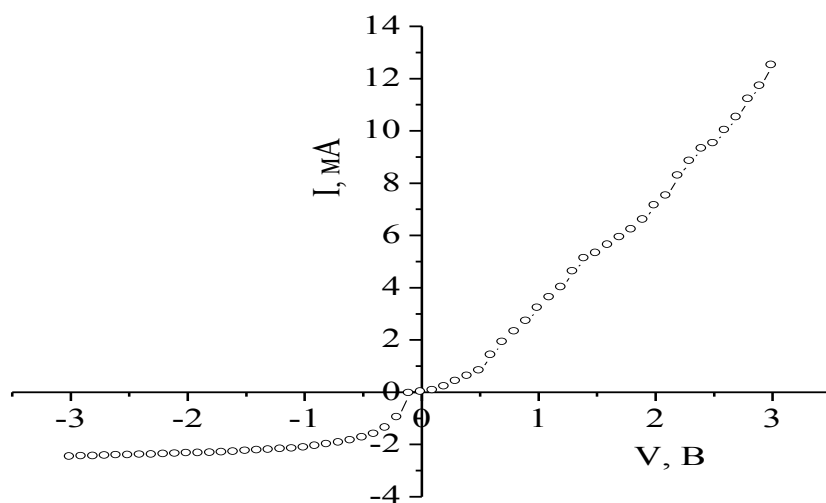
(8 расм) да тадқиқ этилган тузилмаларнинг хона хароратида қоронғуликда олинган тўғри ва тескари йўналишдаги вольт-ампер характеристикалари келтирилган.

Қуйидаги (8-расмда) тузилма тўғрилаш хоссасига эга эканлиги кўриниб турибди. Унинг тўғрилаш коэффциенти 0 дан 1 вольт оралиғида $1,1-35$ оралиғидаги қийматлари олинса бу коэффциент кучланишнинг $1,1$ дан 3 вольт оралиғидаги қийматларида $3,6-5,4$ вольтгача боради.

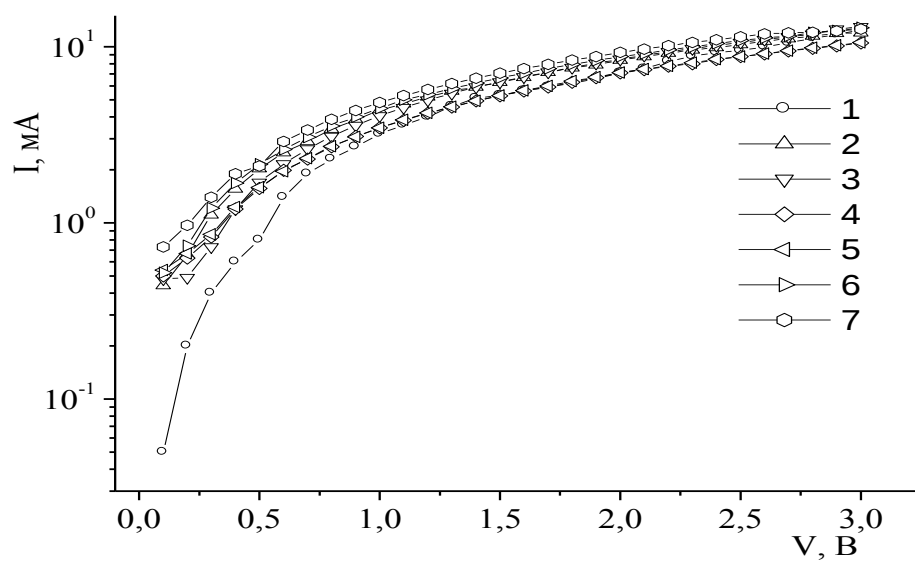
$\text{PSi} - n (\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GdS})_x$ ($0 \leq X \leq 0,01$) тузилмадан ток ўтиш механизмига температурани таъсирини ўрганиш учун тузилмаларнинг $T=295$ дан 425 к гача бўлган оралиқдаги вольт-ампер характеристикаси ўрганнилди.

(9 расмда) Бу вольт-ампер характеристикасини тўғри йўналишдаги қийматлари яримлогорифмик қийматларда келтирилган.

Олинган боғланишларнинг 0 дан $0,5$ вольтгача дўлган бошланиш қисми температурага экспонентциал боғланишга



8-расм. $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) тузилманинг $T=293$ к даги вольт-ампер характеристикаси.



9-расм. $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) тузилманинг BAX, тўғри чизиqli қисмининг яримлогорифмик ўлчамида турли хароратлар учун графиклари ўлчанган қийматларига эга эканлигини кўриш мумкин. Бундай боғланиш учун р-п тузилмалар учун В.С.Стафив томонидан қуйидаги муносабат аниқланди.

$$I = I_0 \cdot l \frac{qv}{kt} \quad (28)$$

Бу ерда q - элементар заряд v - кучланиш k – Больцман доимийси t – абсолют температура.

Экспонентадаги “С” кўрсаткич вольт-ампер характеристикасидан аниқланган бўлиб, хона хароратида тахминан $\sim 5,71$ вольтга тенг ва қуйидагича аниқланади.

$$C = \frac{2b + Ch \left(\frac{W}{hp} \right) + 1}{b + 1}; \quad (29)$$

Бу ерда $W/2p = 5,49 > 1$, W - база узунлиги, $L_p = \sqrt{Dp\tau_p}$ $b = \mu_n / \mu_p$ электрон ва ковакларнинг ҳаракатланчанликлари нисбатлари. Асосий зарядларнинг ҳаракатчанлиги Холл усули билан аниқланиб хона хароратида $\mu = 290 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{С}$ $A^{II} B^{IV}$ гуруҳ материалларида коваклар ҳаракатчанлиги электронларникидан анча камлигини ҳисобга олиб, тажриба натижаларини баҳолаш учун $\mu_p = 10 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{С}$ деб қабул қилинди. Бунда “С” нинг қийматларини тажрибадан олинган эгри чизиклар асосида ҳисоблаб ва ўрганилаётган ҳолатда $b = 29$ эканлигини этиборга олиб W/LP нисбатни ҳам аниқлаш мумкин.

Натижада LP ни ва асосий бўлмаган зарядларнинг яшаш вақтини ҳаратакчанлик яшаш вақтини аниқлаш мумкин.

$$\mu_p \tau_p = \frac{qL^2 p}{kT} \quad (30)$$

Турли хароратларда аниқланган юқоридаги параметрларнинг қийматлари 1-жадвалда келтирилган хона хароратида $\mu_p \tau_p$ кўпайтмага тенг.

Бу жадвалдан кўриниб турибдики температуранинг $-295 - 425 \text{ K}$ оралиғида асосий бўлмаган зарядларнинг диффузия узунлиги температурага кучсиз боғланган. (9-расмда) $\mu_p \tau_p$ кўпайтманинг температурага боғлиқлиги кўрсатилган. Қуйидаги расмдан кўриниб турибдики, бу кўпайтма температура ортиши билан ортади. Бу ходисани асосий бўлмаган зарядларни панжаранинг иссиқлик тебраниш сочилиши билан изохлаш мумкин.

Бундай сочилиш асосий бўлмаган зарядларнинг ҳаракатчанлигининг камайишига олиб келади.

(28) формуладаги экспонента олдидаги I_0 кўпайтма қуйидаги формуладан аниқланади.

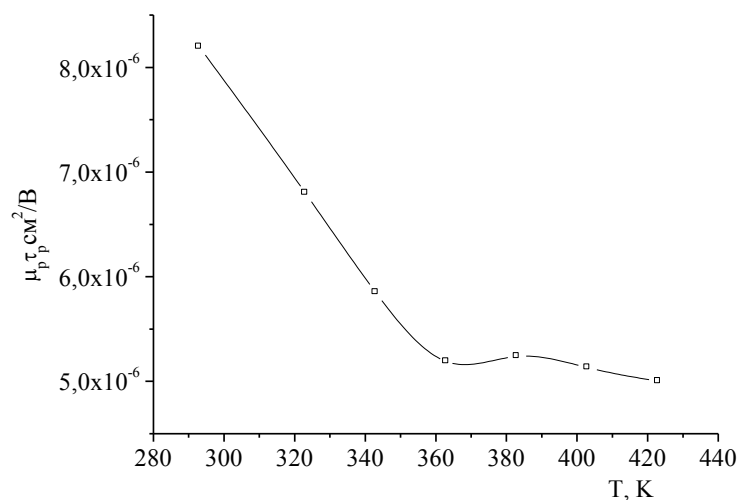
$$I_0 = \frac{kT}{q} \cdot \frac{S \cdot b \cdot Ch(W/Lp)}{2(b+1) \cdot Lp \cdot \rho \cdot tg(W/2Lp)}; \quad (31)$$

Бунда S -намуна юзаси, ρ – $n-n$ ўтиш қатламининг солиштирма қаршилиги I_0 нинг вольт-ампер характеристикасидан аниқланган қийматлари (1-жадвалда келтирилган) 31-формула ва 1-жадвал асосида тағлик ва плёнка ўтиш қатламининг солиштирма қаршилиги ҳисоблаб чиқарилган.

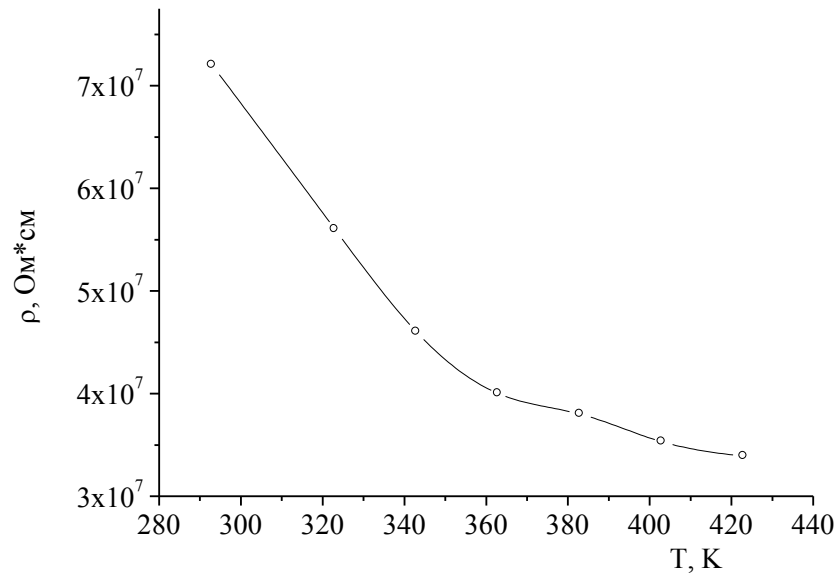
Қуйидаги 10- расмда ρ нинг температурага боғлиқлиги кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики тағлик ва эпитаксиал парда орасида $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) тузилмасини $S = 7,2 \cdot 10^7$ ом · см хона хароратидаги юқори компенсацияланган қатлам юзага келади. Шунингдек 10 – расмдан кўриниб турибдики, температура ошиши билан бу қатламнинг қаршилиги текис камайиб боради. Бу қатламда зарядларнинг иссиқлик таъсирида юзага келиши билан изохлаш мумкин.

Қуйидаги 3.2 – расмда вольт-ампер характеристикасининг кучланиши 1,7 дан 3 вольтгача бўлган қисмида оддий экспоненцион боғланишдан сўнгра барча вольт-ампер характеристикасида температурага боғлиқ бўлмаган чўзилган чизикли қисмлар юзага келади.

Вольт – ампер характеристикасининг бу қисмларини “инжекцияси” ходисаси назарияси билан изохлаш мумкин.



9-расм. Қаттиқ қотишмадаги $n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) асосий бўлмаган зарядлар – ковакларнинг ҳаракатчанлигининг яшаш вақтига қўпайтмасининг температурага боғлиқлиги.



10-расм. Psi-n(Si₂)_{1-x}(CdS)_x (0 ≤ x ≤ 0.01) тузилмадаги таглик ва эпитаксиал пардадаги ўтиш катталигининг юқори омли солиштирма қаршилигининг температурага боғлиқ графиги.

Бундай ходисалар турли материаллардан тайёрланган тузилмаларда кузатилган. Бу ходисага асосан вольт – ампер характеристикаси ўзига хос махсус характерга эга бўлиб, қуйидаги боғланиш билан характерланади.

Қуйидаги
$$V \approx V_0 \cdot I^{JW} \quad (32).$$

Бунга
$$a = \frac{1}{2qD_n \cdot \mu_t} \quad (33)$$

бўлиб, фақат асосий зарядларнинг диффузия коэффицентиға боғлиқ параметри ҳисобланади.

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n$$

N_t -концентрациясига боғлиқ параметр ҳисобланади. J – ток зичлиги вольт – ампер характеристикасининг чизиқли қисмини пайдо бўлишининг асосий шарти учун қуйидагини ёзиш мумкин.

$$J_a W > 2 \quad (34)$$

Бу шарт барча температура учун аниқланиши мумкин. Бундай АВХ нинг пайдо бўлиши назарий жихатдан асосий бўлмаган зарядларнинг амбиполяр диффузиясининг

ўзаро тўқнашув йўналишидаги ва уларнинг амбиполяр дрефи туфайли содир бўлиши мумкин.

Бу ҳолда чуқур киришмаларнинг заряди инжиксия туфайли модиялантияланади деб қараш мумкин. (32) формуладан фойдаланиб ВАХ натижаларига кўра a параметрни аниқлаш мумкин.

$$a = \frac{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \cdot S}{(I_2 \cdot I_1) \cdot W} \quad (35)$$

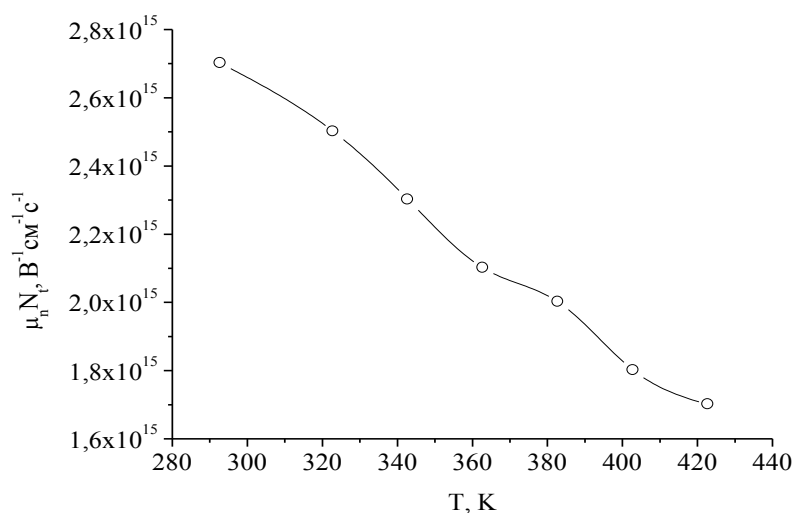
Бу ерда I_1 I_2 – ток кучи U_1 U_2 кучланишлар йўналиши бўйича аниқланган қиймати. a нинг ВАХ нинг турли ҳароратдаги қийматлари (2) жадвалда келтирилган, a нинг аниқланган қийматлари ВАХ даги чизиқли оқимининг юзага келишига сабабчи бўлган чуқур аралашмалар концентрацияси N_t ни аниқлашга имкон беради.

Тажрибадан $N_t \approx 9,2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ эканлиги аниқланди. 2-жадвал $\mu_n \cdot N_t = 1/(2kat)$

Формула асосида қаттиқ қотишма $\text{n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ асосида заряд ҳаракатчанлиги чуқур аралашмалар концентратциясига кўпайтмасини ($\mu_n \cdot N_t$) нинг ҳароратга боғлиқлигини аниқлаш мумкин. II-расмдан кўриниб турибдики 293-423 К температура оралиғида ($\mu_n \cdot N_t$) кўпайтма температура ортиши билан камаяди.

$T, \text{ K}$	293	323	343	363	383	403	423
$a, \text{ см/А}$	$4,5 \cdot 10^4$	$4,55 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^4$

Таблица-2 a параметрнинг ҳароратга боғлиқлик қийматлари.



11-расм. Қаттиқ қотишма $n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ даги асосий зарядлар электронлар ҳаракатчанлиги (μ_n) нинг чуқур киришмалар концентратциясига (N_t) нинг кўпайтмасининг температурага боғлиқлиги

3.3. Ψ - $n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) тузилманинг спектрал фото сезгирлиги.

CdS аралашмаларнинг кремнийли тузилмаларидаги фото вольт ходисасига таъсирини ўрганиш мақсадида Ψ - $n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) тузилманинг фотосезгирлигини спектралл фотосезгирлиги ўрганилиб чиқилди.

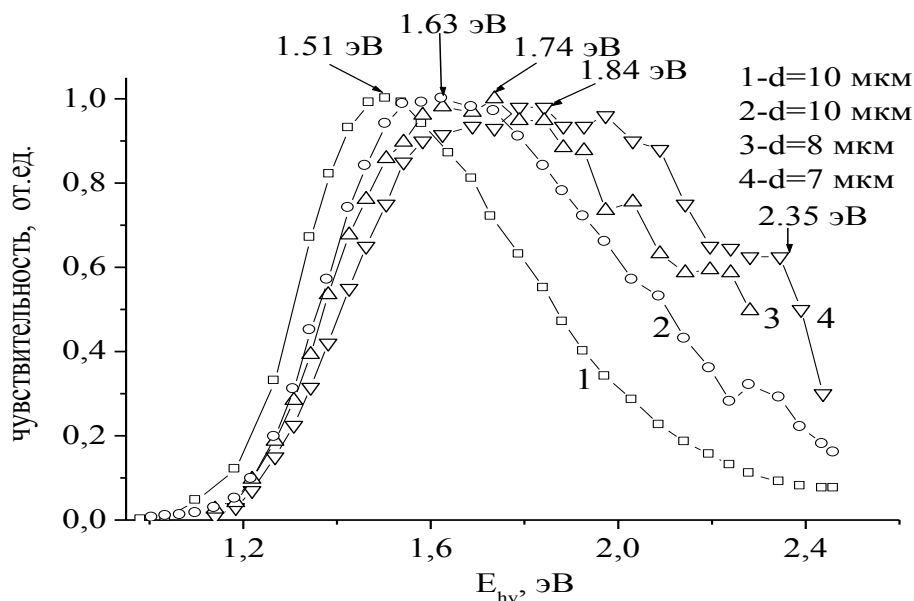
Бу боғланишлар 12-расмда келтирилган. Расмдаги 1 эгри чизик CdS аралашмаси бўлмаган Si эпитакциал қатламдаги $pSi - nSi$ ўтишига мос келади. Қатлам қалинлиги 10 мкм 2,3,4, эгри чизиклар эпитакциал қатламли ва CdS аралашмалари бўлган турли қалинликдаги эпитакциал қатлам бўлган $p-n$ ўтишларга мос келади.

pSi тузилмаларнинг таглик қалинлиги 400 мкм га тенг. Тузилмани ёритиш эпитакциал плёнка томонидан амалга оширилади.

12-расмдан кўришиб турибдики $pSi-nSi$ тузилмаларнинг спектрал фотосезгирлиги сиртдаги nSi эпитакциал қатлам $n(Si_2)_{1-x}(CdS)$ билан алмаштирилганда қисқа тўлқинлар томонга кенгаяди. Шу билан бирга фотосезгирликнинг максимум ҳам катта энергияли фотонлар томонга силжийди.

Маълумки, эпитакциал $n(Si_2)_{1-x}(CdS)$ қатламнинг қалинлиги $p-n$ ўтишни ажратувчи тўсиқнинг жойлашиш чуқурлигини белгилайди. Бинобарин унинг

калинлиги кичик бўлганда сезгирликнинг максимуми катта энергияли фотонлар энергиясига мос келади.



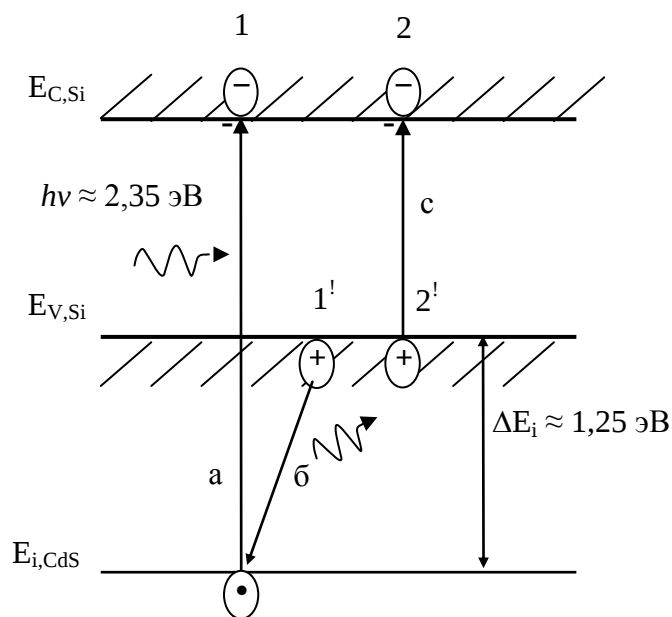
12-расм. $\text{Psi-n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилманинг фотосезгирлигининг турли хил намуналар учун 2, 3, 4 қаттиқ қотишмали $\text{p}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ дан иборат эпитакциал қатламли намуналар ўлчанган.

Фотонлар энергияси $E \approx 2,35 \text{ эВ}$ бўлганда CdS киришмали намуналарда сезгирликнинг максимуми спектрнинг қисқа тўлқин соҳасида кузатилади. Маълумки сульфит калийнинг кристал панжарасида жойлашган CdS боғланишнинг монизация энергия.

$E_{\text{CdS}} = 2,48 \text{ эВ}$ га тенг бўлиб, бу энергия Si нинг кристалл панжарасидаги $\text{Si}-\text{Si}$ боғланишнинг монизация энергияси $E_{\text{Si-Si}} = 1,1 \text{ эВ}$ дан анча катта CdS молекуладаги атомларнинг ковалент боғланиши $\text{Si}-\text{Si}$ боғланишдан анча кучли, лекин Si нинг тетраэдрик панжарасида Si нинг иккита атомини ўрнини CdS молекуласи эгалламаганда CdS боғланиш энергияси унинг атрофидаги Si атомидаги таъсирида кучсизланади, натижада қаттиқ қоришма $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ нинг кристаллик панжарасидаги CdS молекулаларининг мослашиш энергияси $\Delta E = E_{\text{CdS}} - E_{\text{ph}} = 0,13 \text{ эВ}$ га камаяди. Буни CdS молекулаларининг $\Delta E_i = E_{\text{ph}} - E_{\text{gSi}} = 1,25 \text{ эВ}$ га тенг ва валент соҳа типидан пастда жойлашган киришма сатҳини ҳосил қилиш билан...

CdS тўғри соҳали Si қийшиқ соҳали яримўтказгич бўлган учун унинг хусусий ютилиш коэффитциэнти Si никига нисбатан катта, шу сабабли нурланиш спектрининг қисқа тўлқинли санасида CdS молекула аралашмалари киришмасининг

электронларнинг Фотозепция кесими S_i-S_i боғланишдан электронларнинг фотозепция кесимидан катта.



13-расм. Қаттиқ қотишмали $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ нинг сохали тузилишининг энергетик $a - E_{i,CdS}$ сатхдан электрон ўтишлар $S - E_{hv} = \Delta E_i$ энергияли фотонлар чиқариш билан боғлиқ ўтишлар c – нурланиш ҳисобига қўшимча электрон ковак жуфтлари ҳосил бўлиши билан боғлиқ электр ўтиш кўрсатилган. Ўстирилган эпитакциал қатламларда CdS аралашмаларнинг моляр миқдори тахминан $1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ га тенг эканлигини рентгенли таҳлиллар кўрсатади. Шу сабабли $n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилмаларда фотонурланишнинг спектрини қисқа тўлқинли соҳасида кучайиши кузатилади. Буни CdS изовалентли киришмаларга фотовольт ҳодисасининг таъсири деб қарасак уни қуйидагича изохлаш мумкин.

Энергияси $E_p \cdot h \geq 2 \cdot E_q$ Si бўлган квантлар CdS қатламда ютилиб E_{icds} сатхларда жойлашган ковакларни ҳосил қилади. (13-расм d ўтиш) Бўшалган ўринларга валент соҳадаги электронлар ўтиши мумкин.

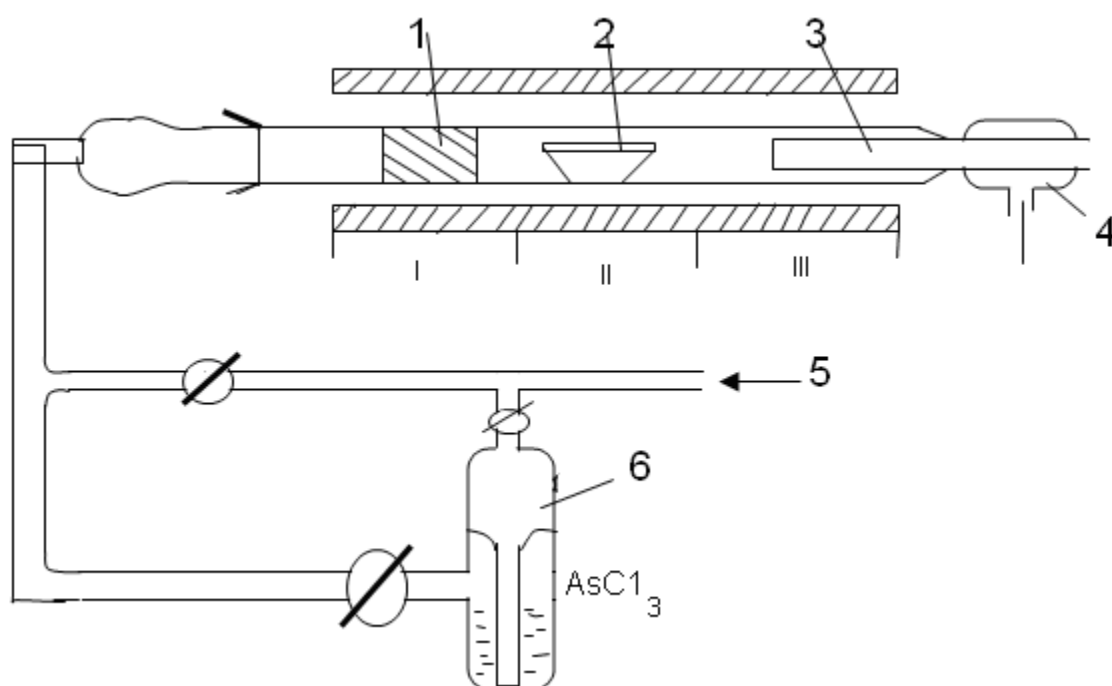
Бунда $h\nu \geq E_{q, Si}$ энергияли квант нурлантирилади (13-расм b ўтиш).

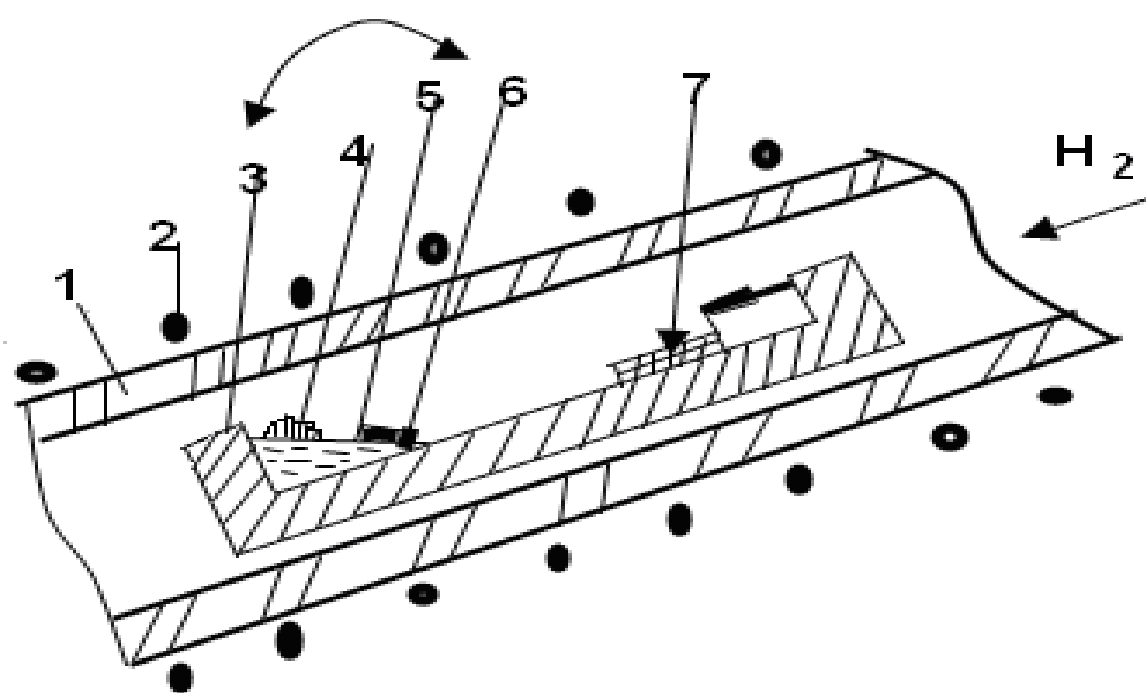
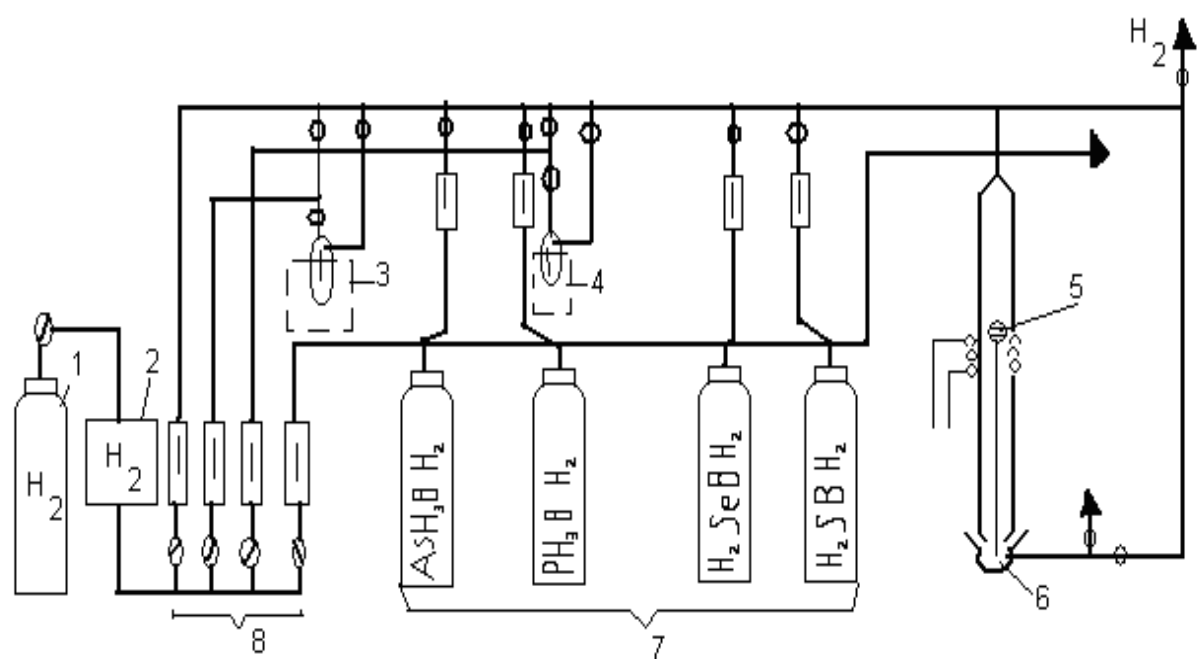
Бу квантлар Si атомлари томонидан ютилиб қўшимча электронлар жуфтини ҳосил қилади. (13-расм c ўтиш) натижада $E_{ph} \geq 2 \cdot E_{q, Si}$ энергияли битта фотон икки жуфт фотозарраларни ҳосил қилади.

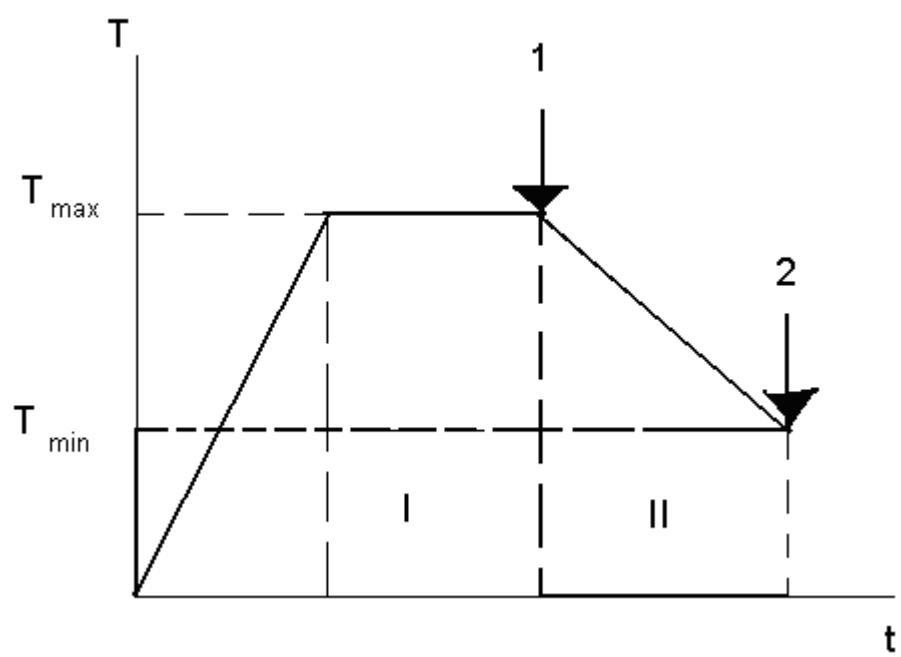
(11^1 ва 2.2^1) ўтишлар. Бу эса pSi - nSi₂ тузилманинг спектрнинг қисқа тўлқинли соҳасида сезгирлигининг ошишига сабаб бўлади.

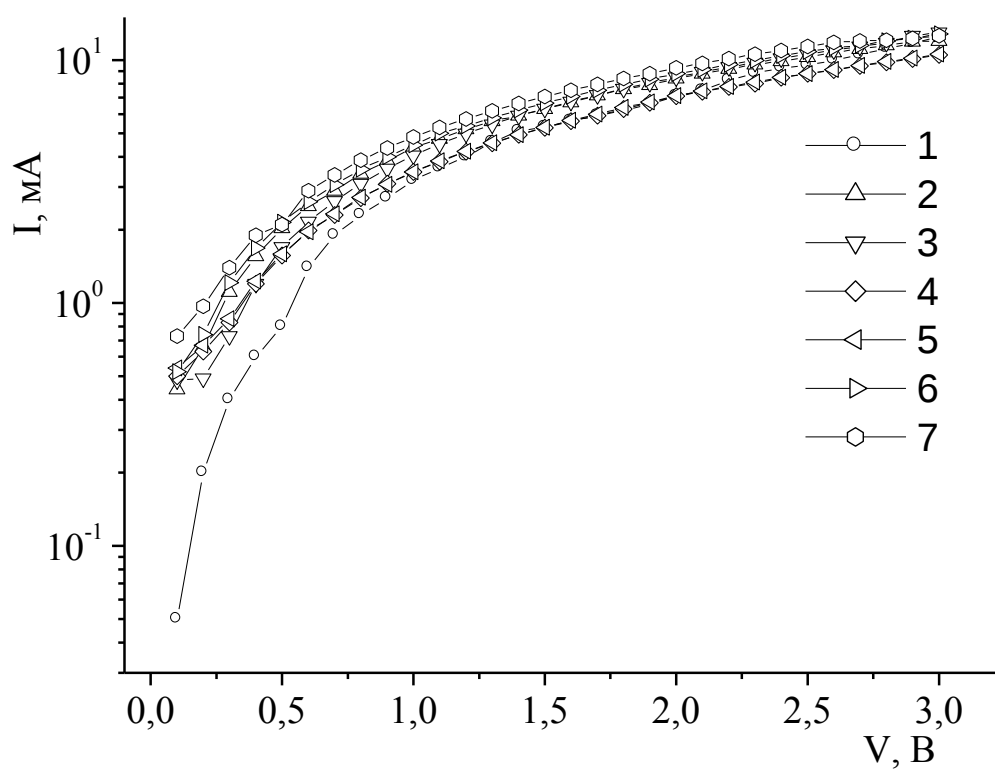
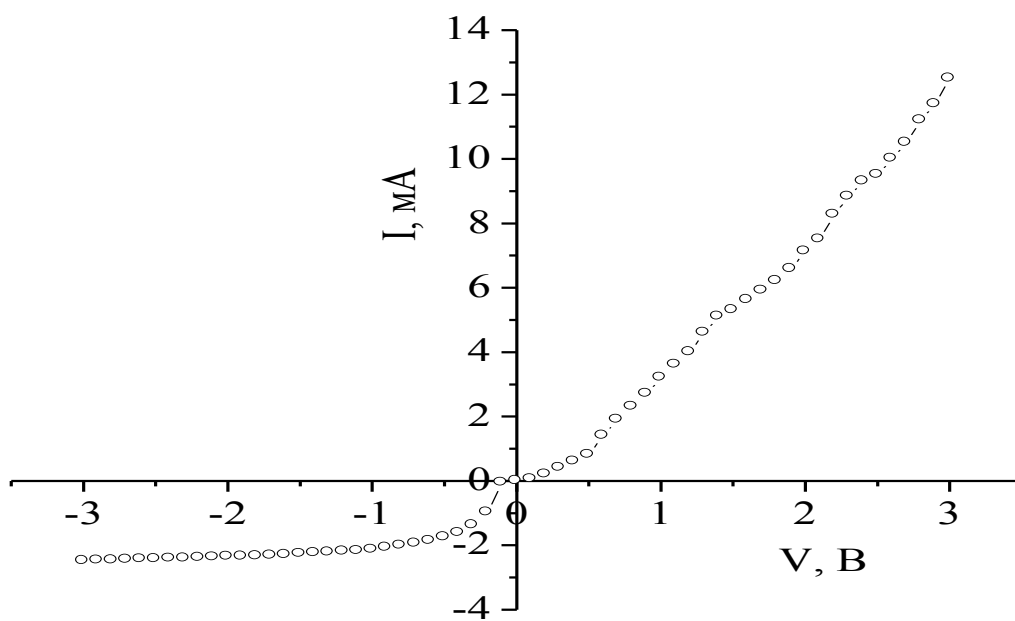
12-расм. Psi-S тузилманинг фотосезгирлигининг турли хил намуналар учун кузатилган графиги бунда 1 nSi эпитакиал қатламли намуналар учун 2, 3, 4 қаттиқ қотишмали $n(\text{Si}_2)\text{CdS}$ дан иборат эпитакиал қатламли намуналар учун.

13-расм. Қаттиқ қотишмали $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})$ нинг сохали тузилишининг энергетик диаграммаси $a - E_{Si}\text{CdS}$ сатхдан электрон ўтишлар $b - E_h = E_i$ энергияли фотонлар чиқариш билан боғлиқ ўтишлар C – нурланиш ҳисобига қўшимча электрон ковак жуфтларининг ҳосил бўлиши билан боғлиқ электрон ўтишлар.









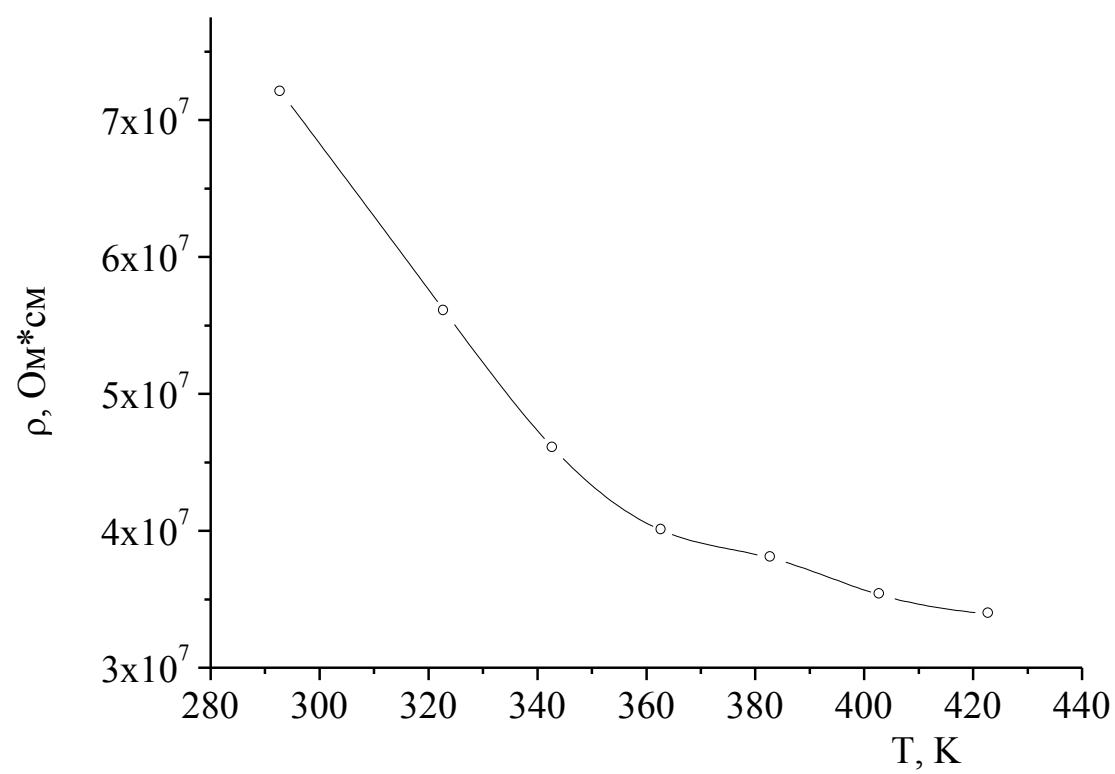
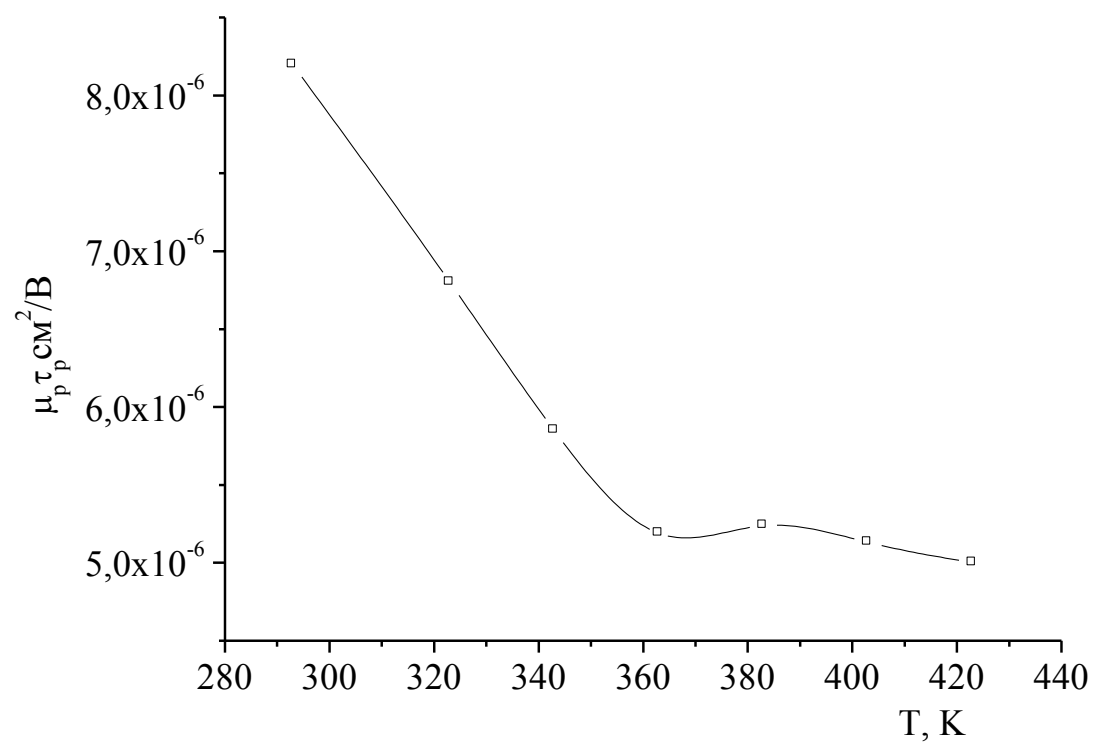
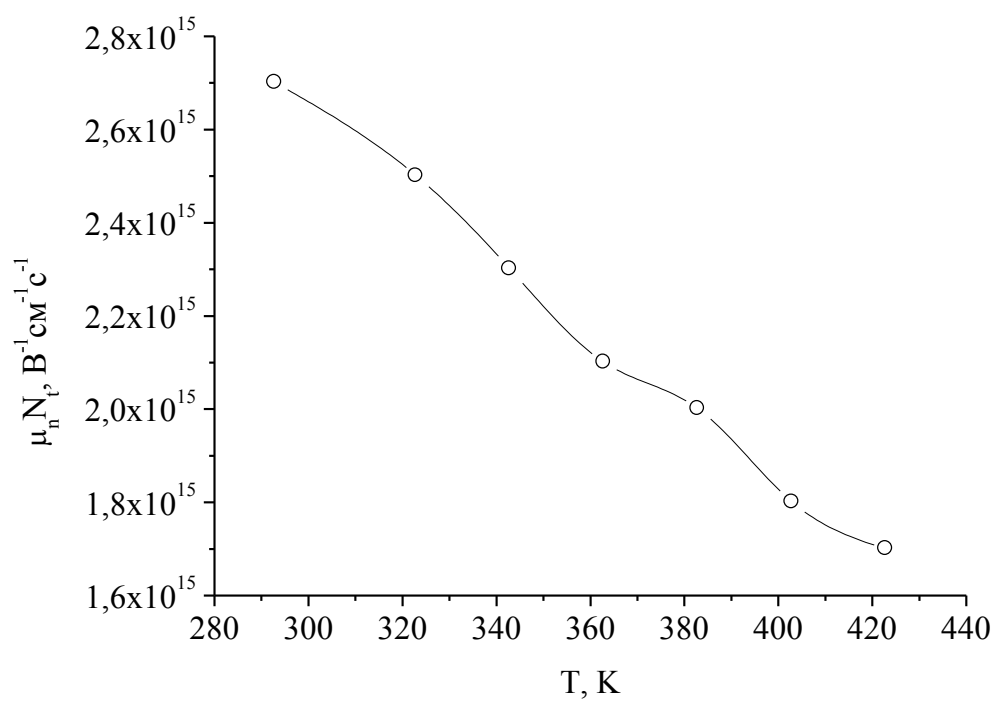
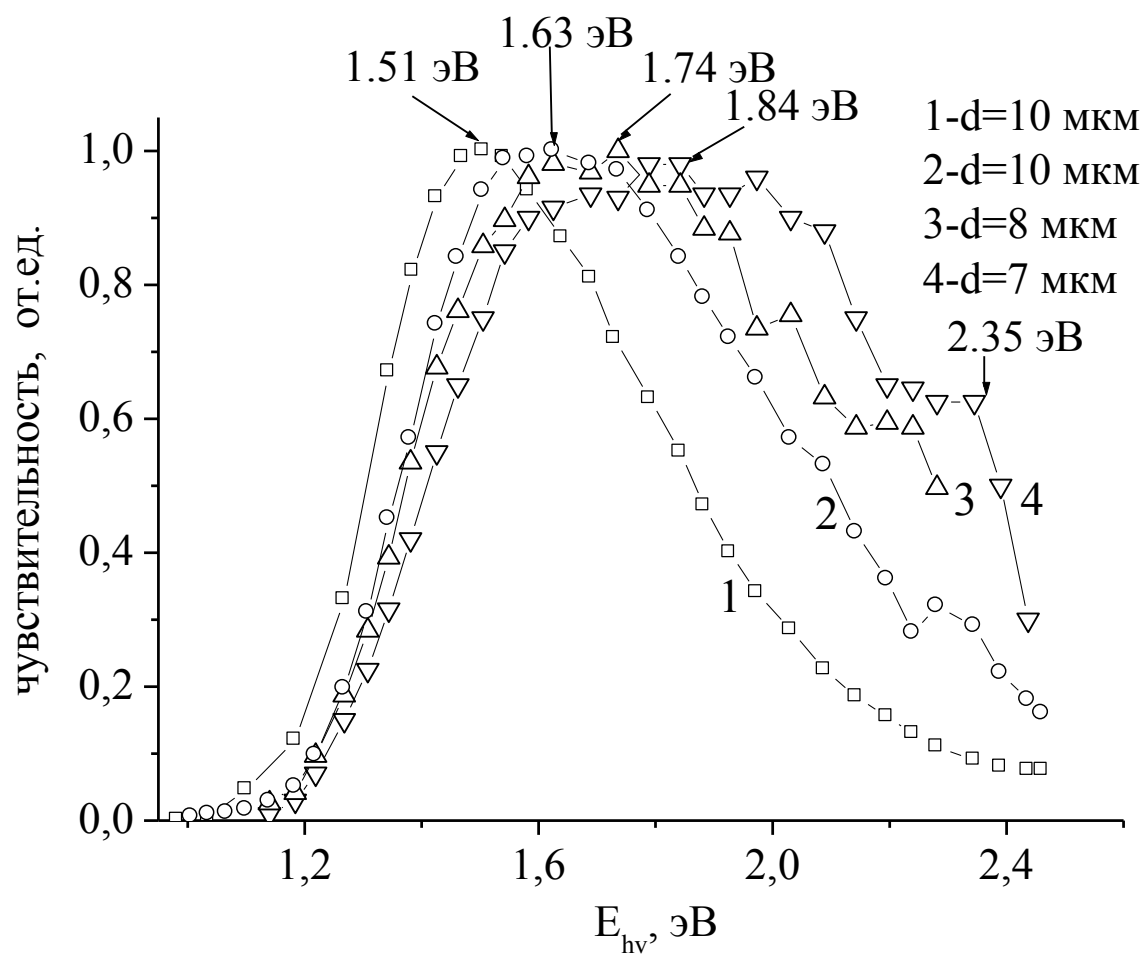
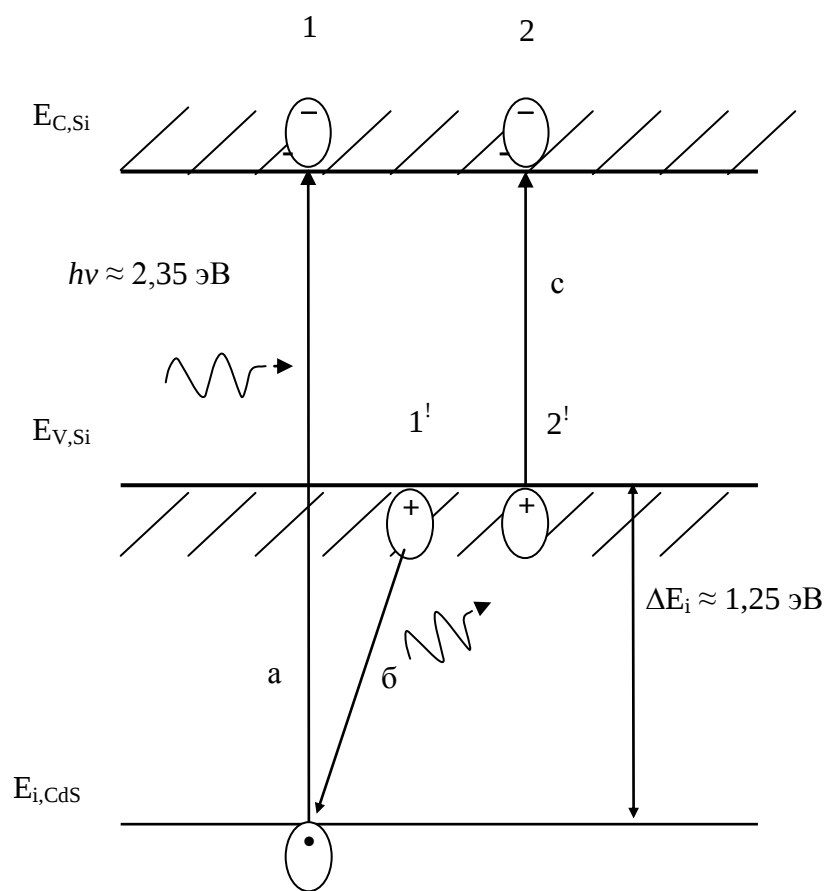


таблица 3.2

T, K	295	323	343	363	383	403	425
$a, \text{см/А}$	$4,5 \cdot 10^4$	$4,55 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^4$







Гулистон Давлат Университети физика- математика факультети
4-босқич талабаси Кучқарова Дилрабо Зоиржановна томонидан
5440100- физика таълим йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш
учун “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ
қотишмаларни суяқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер
хоссаларини ўрганиш” мавзусидаги битирув малакавий ишига
ТАҚРИЗ

Кучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг бакалаврлик битирув малакавий иши мавзуси: “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суяқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганишга бағишланган бўлиб, ушбу танланган битирув малакавий ишининг мавзуси ҳозирги кунда энг долзарблиги билан ажралиб туради. Чунки ҳозирги вақтда энергия турларидан бири бўлган, қайта тикланувчи энергия турларига талаб кескин ошиб бормоқда, шунинг учун ярим ўтказгичли хоссаларига эга бўлган материалларни чуқур ўрганишни тақазо этади.

Кучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг битирув малакавий ишининг тадқиқотлар натижаси шуни кўрсатади, бунда “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суяқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш” орқали, кремний асосидаги гетероструктураларни суяқ фазадан ўстирилганда, уларнинг электрофизик ва оптик хусусийятлари ҳам яхшиланиб борар экан.

Кучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг битирув малакавий иши: кириш қисми, 3 та боб, хулоса ва фойдаланган адабиётлар рўйхати билан бирга интернет маълумотларидан иборат.

I - бобда. Ярим ўтказгичлар. Ярим ўтказгичларнинг боғланиш турлари тўғрисида баён қилинган.

II - бобда. Эпитаксиал усулда ярим ўтказгичларли моддалар ўстириш баён қилинган .

III-бобда. . Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суяқ фазада ўстириш, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш. тажрибавий натижалари келтирилган.

Кучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг битирув малакавий иши Низом талабларига тўлиқ жавоб беришига ишонч билдираман.

Шу сабабли Кучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суяқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш” мавзусидаги битирув малакавий ишини давлат аттестацияси комиссиясида ҳимоя қилишга тавсия қиламан ва ДАК да юқори даражада баҳолаш мумкин.

Ўз РФА “Физика-Қуёш” ИИЧБ нинг
Физика-техника интитутги етакчи
илмий ходими, профессор.

А.С.Саидов

Гулистон Давлат Университети физика - математика факультети 4-босқич талабаси Қучқарова Дилрабо Зоиржановна томондан 5440100 - физика таълим йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш” мавзусидаги бажарган битирув малакавий ишига илмий рахбар

ХУЛОСАСИ.

Қучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг бакалаврлик битирув малакавий ишини мавзуси: : “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш”га бағишланган бўлиб, ушбу танланган мавзуси ҳозирги кунда энг долзарб мавзулардан бири ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда қайта тикланувчи энергия турларига бўлган талаб кескин ошиб бормоқда, шунинг учун ярим ўтказгичли хоссаларга эга бўлган материалларни чуқур ўрганишни тақозо этади.

Қучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг битирув малакавий ишидаги тадқиқотлар шуни кўрсатадики, “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш” орқали, кремний асосидаги структураларни суюқ фазадан ўстирилганда, уларнинг электрофизик ва оптик хусусийятлари ҳам яхшиланиб борар экан.

БМИда Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш устида изланишлар олиб борган.

Биринчи бобда: Ярим ўтказгичларнинг боғланиш турлари тўғрисида, иккинчи бобда: Эпитаксиал усулда ярим ўтказгичларли моддалар ўстириш, учинчи бобда: Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш, уларнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш. тажрибавий натижалари баён қилинганлиги кўриниб турибди. Қучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг битирув малакавий ишида ҳақиқий чизма, жадвал ва графикларидан ўз ўрнида фойдаланган.

Ушбу битирув малакавий иши кириш қисми, 3 та боб хулоса ва фойдаланган адабиётлар рўйхатидан, интернет маълумотларидан иборат.

Қучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг битирув малакавий иши амалдаги Низомлар талабларига тўлиқ жавоб беришини, битирувчининг билими ва малакаси қўйилган муаммони мустақил ҳал қилишга етарли эканлигига ишонч билдираман.

Қучқарова Дилрабо Зоиржановнанинг: “Яримўтказгичли $(A^3 B^5)_{1-x} (A^2 B^6)_x$ бирикмалар асосида қаттиқ қотишмаларни суюқ фазада ўстириш ва уларнинг вольт – ампер хоссаларини ўрганиш” мавзусидаги Битирув малакавий ишини давлат аттестацияси комиссиясида ҳимоя қилишга тавсия этаман.

Иш раҳбари

Ф-м. ф.н. Ў.Т. Давлатов