

**РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ
ВАЗИРЛИГИ**

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

УМУМИЙ ФИЗИКА КАФЕДРАСИ

**Абдуллаева М. нинг 5440100-“Физика” таълим
йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун**

**«Суюқ фазадан эпитаксиал
қатламларни ўстириш усули»**

мавзусидаги битирув малакавий иши

**Илмий раҳбар: проф. Саидов А.С. физика-математика
фанлари доктори, ЎзР ФА Физика- техника институтининг
етакчи илмий ходими.**

ГУЛИСТОН – 2014 й.

Мундарижа

Кириш.3

1-Боб.

Яримўтказгичли моддаларни суюқ фазадан эпитаксиал ўстириш усуллари.

1- §. Эпитаксиал катламлар устириш тўғрисида маълумотлар.5

2- §. Суюқ фазадан эпитаксиал катламлар устиришнинг асосий усуллари.....7

II Боб.

Суюқ фазадан эпитаксиал катламлар устириш технологиясининг асосий боскичлари

1 -§. Суюқ фазадан эпитаксиал катламлар устириш курилмасини ишга тайёрлаш.....13

2- §. Суюқ фазадан катлам устириш учун кремний тагликларни тайёрлаш.....19

3- §. Эпитаксиал усулда қатламларни устириш механизми.22

III Боб.

Суюқ фазадан ўстирилган эпитаксиал қатламларнинг марфологик ва электрофизик хусусиятларини урганиш

1 §. Устирилган эпитаксиал қатламларнинг марфологиясини урганиш.....24.

2 §. Устирилган эпитаксиал қатламларнинг таркибини ва электрофизик хусусиятларини урганиш25

ХУЛОСА27

КИРИШ.

Мавзунинг долзарблиги. Яримўтказгич моддалар ўзининг тузилиши жихатдан қаттиқ жисмлар гуруҳига киради. Лекин улар ўзининг қатор хоссалари билан бошқа қаттиқ жисмларга нисбатан фан, техника ва турмушда тобора кенг кўламда қўлланилиб бормоқда. Бунинг асосий сабаблари яримўтказгич моддаларнинг ўлчамлари, ҳажми кичик, ишлаш муддати катта ва ишончли, ташқи таъсирларга чидамли ва бажарадиган хизматлари доираси жуда кенг.

Ҳозир яримўтказгичлар қўлланилмайдиган соҳа топилмайди. Яримўтказгичлардан тайёрланган асбоблар эндиликда автоматика, радиоэлектроника, телевидения, компьютер техникаси каби турмушимизнинг равнақи ва муҳташамлигини белгилаб бераётган соҳалардаги ишлаб чиқаришнинг асосини ташкил этади. Яримўтказгич асбоблар ишлатилган ва қишлоқ хўжалигида температурани аниқ ўлчашда, тупроқнинг намлигини аниқлашда, ўсимлик ва ҳайвонларнинг энг муҳим хусусиятларини баҳолашда ва бошқа ишларни бажаришга яроқли қурилмалардан фойдаланиш кўлами кенгайиб бормоқда.

Яримўтказгичлардан тайёрланган фотоэлементлар (қуёш батереялари) қуёшдан келаётган ёруғлик энергиясини бевосита электр энергиясига айлантириб боришига имкон туғдирган бўлса, термоэлементлар (термогенераторлар) қуёшнинг иссиқлик энергияси ҳисобига электр энергияси олишга ёрдам бермоқда. Улар атроф-муҳитни ифлослантирмай, захиралари тугаб бораётган қазилма бойликлардан олинаётган ёнилғилардан фойдаланмасдан, тузилиши жихатидан содда бўлган электр энергияси манбалари ҳисобланади.

БМИнинг мақсади. Ушбу БМИ да яримўтказгичлик эпитаксиал катламларни устириш усулларини хақида умумий маълумотларни ва суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириш усулини урганиш, устириш учун керак буладиган моддаларни тайерлаш, устирилган эпитаксиал

катламларнинг таркибини, морфологик ва электрофизик хусусиятларини урганиш **мақсад** қилиб қўйилган.

Мавзунинг илмий янгилиги шундаки, ҳозирги пайтда компьютер ва бошқа қурилмаларда ишлатилаётган интеграл микросхемаларнинг (ИМС) тезлигини ошириш учун, ҳозирги кунда кунда қулланилаётган кремний урнига унга караганда анча яхши электрофизик хусусиятларга эга белган бошқа яримутказгичлардан , масалан арсенид галлий (GaAs) , кремний карбиди (SiC) , галлий нитрид (GaN), алмаз (C) ва бошқалардан ИМС ларни ясаш керак булади. Ҳозирги кунда ок ёруглик берадиган ёруглик диоди фақат галлий нитрид (GaN) асосида тайёрланади. Лекин галлий нитриди жуда ҳам қиммат. Иккинчи тамондан ёруглик диод ива бошқа қурилмаларни тайёрлаш учун 5-10 мкм. калинликдаги галлий нитрид катлами етарли . Шунинг учун қиммат яримутказгичларни кремний тагликларга устириб, улар асосида яримутказгич асбоблар яратиш мақсадга мувофиқдир.

Малакавий битирув иши кириш, урта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат.

1-Боб.

Яримўтказгичли моддаларни эпитаксиал ўстириш усуллари.

1- §. Эпитаксиал усул тўғрисида маълумотлар.

Ҳозирги замон яримўтказгич монокристаллар ўстириш технологиясида интеграл микросхемалар ва дискрет яримўтказгичли асбоблар ишлаб чиқаришда эпитаксиал жараёнлар энг олдинги ўринни эгаллайди. Эпитаксиал технология қўлланилиши кейинги 10-15 йил ичида сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни 4-5 марта ошириб юборди. Эпитаксиал қатламлар тузилиш жиҳатдан ҳажмий монокристаллдан анча такомиллашганлиги, уларда киришмалар ҳақиқий тақсимотиға эга бўлиши билан бирга, назорат қилиб бўлмайдиган ифлосликлар камлиги билан фарқ қилади.

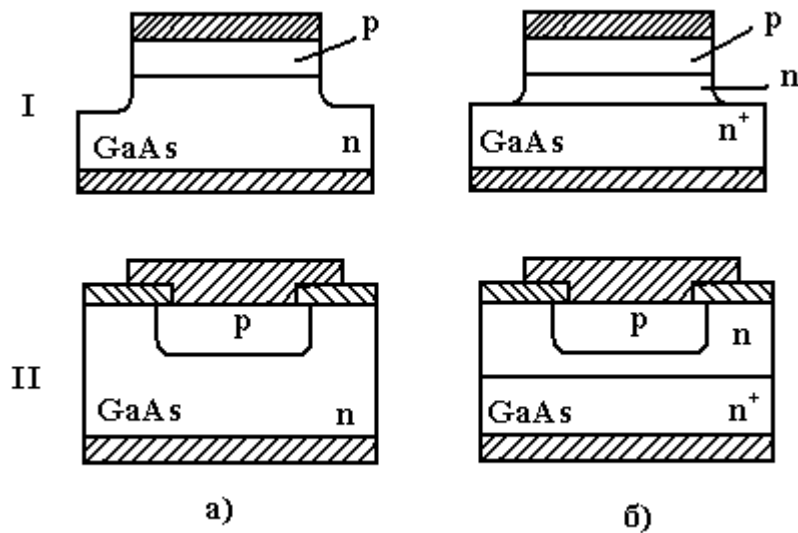
Одатда яримўтказгичли асбобларнинг актив соҳаси пластинканинг унча чуқур бўлмаган сирт микроҳажми қисмида вужудга келтирилади. Пластинканинг қолган қисми эса, шу актив соҳани ушлаб туриш учун ҳизмат қилади. Демак, асбоб тузилмаси актив ва пассив қисмлардан ташкил топади. Пассив қисм технологик жараёнда конструктив вазифани бажариб туради, холос. Чунки, ўта юпқа пластинкалар билан ишлаб чиқариш жараёнида ишлаб бўлмайди.

Эпитаксия, умуман, яримўтказгич пластинкани асбоб учун керак бўлмаган пассив қисмнинг паразит қаршилигини камайтириш йўлини қидириш туфайли вужудга келди. Эпитаксия кичик омли пластинкаларда юқори омли яримўтказгичли қатламларни ўстириш имконини берди.

Эпитаксия термини ўтган асрнинг 50-йилларида пайдо бўлди, у “эпи”сирти, “такис”-жойлашиш маъноларини англатади. Бинобарин, эпитаксия бу кристалл таглик сиртида муайян йўналишли кристалл қатламни ўстиришдир. Демак, эпитаксиал қатлам-таглик тузилишини сақловчи, кристалл тагликка ўтқазилган монокристалл материал ҳисобланади. Эпитаксиал ўсиш жараёнида ҳосил бўлувчи фаза эпитаксиал қатлам ўсиши ёрдамида кристалл панжарани қонуний давом эттиради.

Ўтиш қатлами кристалл фазада ўсувчи таглик тузилиши тўғрисидаги маълумотни ташувчи вазифасини бажаради.

1-расмда бир жинсли галлий арсениди пластинкасида ва n^+n тузилмада эпитаксия усули билан тайёрланган планар ва дискрет меза диодларнинг кристаллари кўрсатилган.



1-расм. Галлий арсениди пластинкасида ва n^+n тузилмада тайёрланган планар ва дискрет меза диодлар.

I) меза диодлар II) планар диодлар а) n -GaAs, б) n^+n -GaAs

Бунда p -эпитаксиал қатлам солиштирма қаршилиги бир жинсли n -GaAs пластинанинг солиштирма қаршилигига тенг. Меза кристаллар (1-расм, а, I) ва планар кристаллар (1-расм, а, II) солиштиришларидан келиб чиқадики, иккинчи ҳолат эпитаксиал тузилмаларда (1-расм, б, I ва II) кристаллнинг қалинлик қаршилиги R кам. Шундай қилиб, n^+n тур эпитаксиал тузилмали диодларнинг мезаэпитаксиал ва эпитаксиал-планарларнинг чегара такрорийликлари юқори бўлади. Чунки, $f \approx 1/RC$, бу ерда C - p - n -ўтишининг тўсиқ сиғими.

Эпитаксиянинг афзалликларидан яна бири, қалинликнинг қатлам бўйича талаб даражасидаги киришмалар тақсимотиغا эга бўлган легирланган

пластинкани олиш имкониятини беради. Бу эса, турли хилдаги яримўтказгичли асбоблар ва ИМС ларнинг яратилишига олиб келади.

2-§. Эпитаксиал ўстиришнинг асосий усуллари.

Яримўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлаш технологиясида яримўтказгич материалга баъзи қарама-қарши талаблар қўйилади. Масалан, импульсли диодларда тешилиш кучланишини ошириш учун яримўтказгич пластинанинг солиштирма қаршилигини ошириш керак, у эса иккинчи томондан, ёйилма оқим қаршилиги ўсишига, асбобнинг импульс хоссалари ва тезкорлигини ёмонлаштиради. Транзисторлар тайёрлаш технологиясида ҳам муаммолар мавжуд. Масалан, коллектор соҳасининг солиштирма қаршилигини катта бўлиши юқори тешилиш кучланиши олишига имкон беради, бироқ коллектор ҳажмида катта миқдордаги зарядлар тўпланишига олиб келиб, транзистор тезкорлигини камайтиради ва коллекторнинг катта кетма-кет қаршилиги транзистор қувватини чегаралаб қўяди. Худди шундай муаммолар бошқа яримўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлашда ҳам учрайди. Эпитаксия усули яратилиши бундай муаммоларни ечишда анчагина имконият берди.

Эпитаксиал жараённинг уч гуруҳи: авто-, гетеро- ва хемоэпитаксия кўринишлари маълум.

Автоэпитаксия (гомоепитаксия)- таглик моддадан кимёвий фарқ қилмайдиган, тузилиши бўйича бир хил бўлган таглик сиртида йўналиши кристалл қатлам ўстириш жараёнидир. Бу жараёнда гомоген электрон-ковак тузилма пайдо бўлиши имкони яратилади.

Гетероэпитаксия-кристаллокимёвий ўзаро таъсир натижасида таглик модда таркибидан фарқ қиладиган модда қатламининг йўналишли ўсиши жараёнидир. **Хемоэпитаксия**- ташқи муҳитдан келувчи модда билан тагликнинг ўзаро кимёвий таъсиридан янги фаза ҳосил бўлагани ҳолда модданинг йўналиши ўсиши жараёнидир. Ҳосил бўлган хемоэпитаксиал қатлам, таркиби бўйича, таглик моддадан ва сиртга келувчи моддадан фарқ қилади.

Ўсувчи қатлам ҳосил бўлишидаги физик-кимёвий ҳодисалар табиати фарқи бўйича эпитаксиянинг учта асосий технологик усуллари мавжуд:

- 1) вакуумда молекулалар оқимидан молекулар-нур эпитаксия;
- 2) газ ёки буғ-газ аралашмасида кимёвий ўзаро таъсир оқибатида юз берадиган газ фазали эпитаксия;
- 3) эритиш ёки суюқ фазадан рекристалланиш йўли билан суюқ фазада эпитаксия.

Энди қисқача бу учта усулнинг асосий хусусиятларини кўриб чиқамиз.

Молекулалар-нур эпитаксияси. Вакуумда молекулалар-нурлар оқимидан ҳосил қилинадиган эпитаксия модданинг тўғри кўчишидан содир бўлади. Модда-манба юқори вакуумда фокусланган электрон нур оқими ёрдамида молекулар заррачалар оқимини узлуксиз буғлатиб (оралик ўзаро таъсирсиз) тагликка етказиб берилади. Таглик сиртга ўтирган яримўтказгич зарралари молекулар ўзаро таъсир остида яримўтказгич кристали йўналишини аниқловчи тўғри тизимни ҳосил қилади. Эпитаксиал қатлам ўсиши сирт бўйлаб юз беради ва ўсувчи қатлам таглик тизимини қайтаради.

Молекуляр-нур эпитаксиясининг бошқа тури –бу субримация усулидир. Бу усулда тагликдан бир неча юз микрометр нарида жойлашган яримўтказгични элеткр токида қиздириш билан буғлантириб эпитаксиал қатлам ҳосил қилинади. Бу ҳолда намуна-манба суюлмайди, фақат буғланиш ва унинг тагликка кўчиши юз беради. Олинган қатлам ўта юқори солиштирма қаршиликка эга бўлади, Чунки вакуумли камерада киришмалар кам бўлади. Бироқ, бу усулнинг унумдорлиги кичик бўлганлиги учун ишла чиқаришда қўлланилмайди.

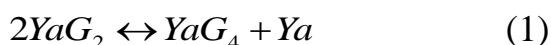
Газ фазада эпитаксия. Газ фазада яримўтказгич атомлари кимёвий бирикмалар таркибида кўчиб, кимёвий ўзаро таъсир ёрдамида ажралиб тагликка ўтиради.

Кимёвий бирикмада элементар яримўтказгичлар-германий ва кремний қатнашиши мумкин. Ишлаб чиқариш шароитида эпитаксиал қатламларни олишда кимёвий усуллар анча кенг қўлланилади.

Газ фазада эпитаксиал ўсишнинг механизмларидан иккитасини кўриб ўтиш мумкин. Биринчи механизмга асосан, тагликда яримўтказгич таглик сиртида катализ диссоциация реакцияси натижасида ҳосил бўлади. Иккинчисига асосан, тагликдан юқорироқда яримўтказгич бирикмалари парчаланиши содир бўлади. Газ фазада диффузия йўли билан яримўтказгич заррачалар тагликка етиб боради.

Яримўтказгич атомларнинг ажралиб чиқиш кимёвий реакцияларни тўртта гуруҳга ажратиш мумкин:

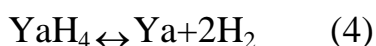
1. Галоид бирикмаларнинг диссоциацияланиши



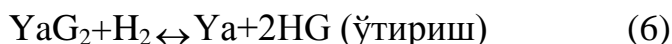
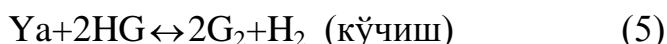
2. Галоид бирикмаларни водород билан тиклаш реакцияси



3. Қиздириш натижасида бирикмаларнинг парчаланиши-пиролиз (иссиқ сочилиш)



4. Иккита босқичда ўтувчи кимёвий кўчиш реакцияси



Бу ердаги барча реакциялар қайтравчи. Реакция қайтиши йўналиши ва ўтириш тезилиги бошланғич моддалар зичлиги ва жараён режимида боғлиқ.

Суюқ фазада эпитаксия. Суюқ фазали эпитаксия усули тўйинган яримўтказгич материал эритмасидан яримўтказгич монокристалл қатламини ўстиришдан иборат. Эритмага чўктирилган яримўтказгич таглик сиртида уни совитиш натижасида кристалланиши юз беради. Кўпчилик ҳолларда суюқ фазадан кристалланишда эритувчи сифатида яримўтказгич суюқ ҳолатида

эрувчанлиги юқори бўлган металл, масалан, Al-Si ёки Au-Si тизимдан фойдаланилади. Яримўтказгич бирикмаларининг суюқ фазада эпитаксиясини олиш учун эритувчилар сифатида осон эрувчи бирикма таркибловчилари, масалан, GaAs ва GaP учун Ga қўлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишига, таглик-эритма чегарасида температура градиенти камайишига олиб келади ва ўстирилган қатлам тозалигини оширади.

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

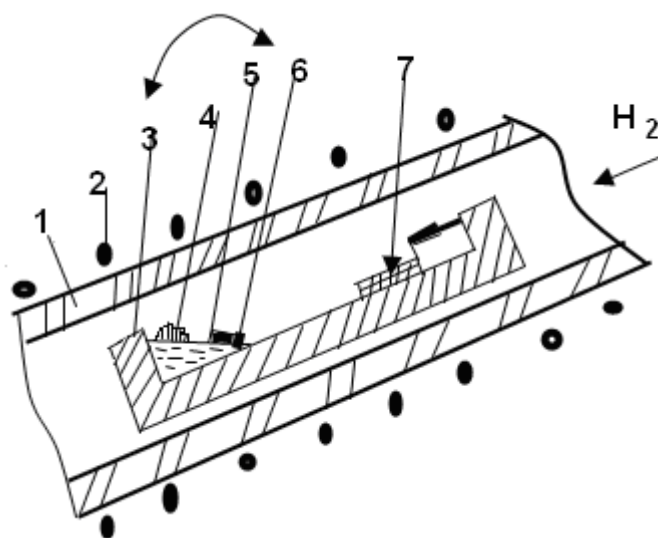
Суюқ фазали эпитаксиянинг афзалликлари: стехиометрик эритмадан фойдаланиш зарур эмаслиги; фаза ўсиши температура комбинацияси ва ликвидус чизиғига яқин таркибда юз бериши; бу ўз навбатида қатламларда кимёвий тузилиш нуқсонлари зичлигини камайтиришга, температура пасайиши билан кўпчилик киришмаларнинг 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 Pa ташкил қилади ва натижада фосфорнинг йўқотилишлари етарлича оз бўлади. (Стехиометрик қотишмадан 1470°C да ўстиришда фосфор босими $3,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ 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 усулларини иккита катта гуруҳга бўлиш мумкин. Улардаги фарқ қатламда киришмаларнинг охириги тақсимооти билан аниқланади.



2-расм. Нелсон усули бўйича суюқ эпитаксия учун контейнер схемаси: 1-Кварс реактор; 2-қаршилик электр печи; 3-графит қайикча; 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.

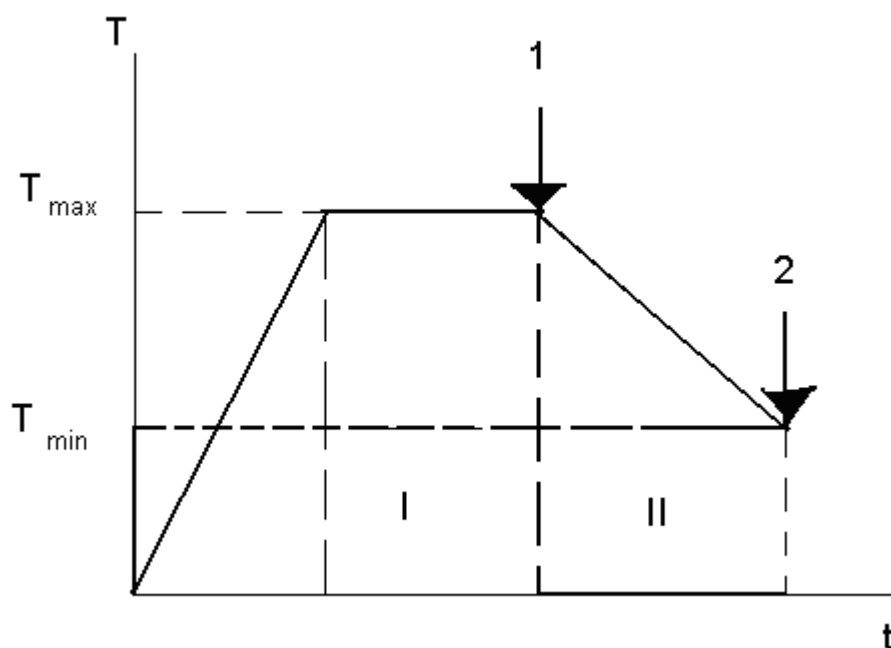
2. Дастур зонали қайта кристалланиш усули. Бунда ташқи фазада вақт давомида кам ўзгарувчи маълум ҳажмли суюқ фаза катламлардан фойдаланилади.

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.



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

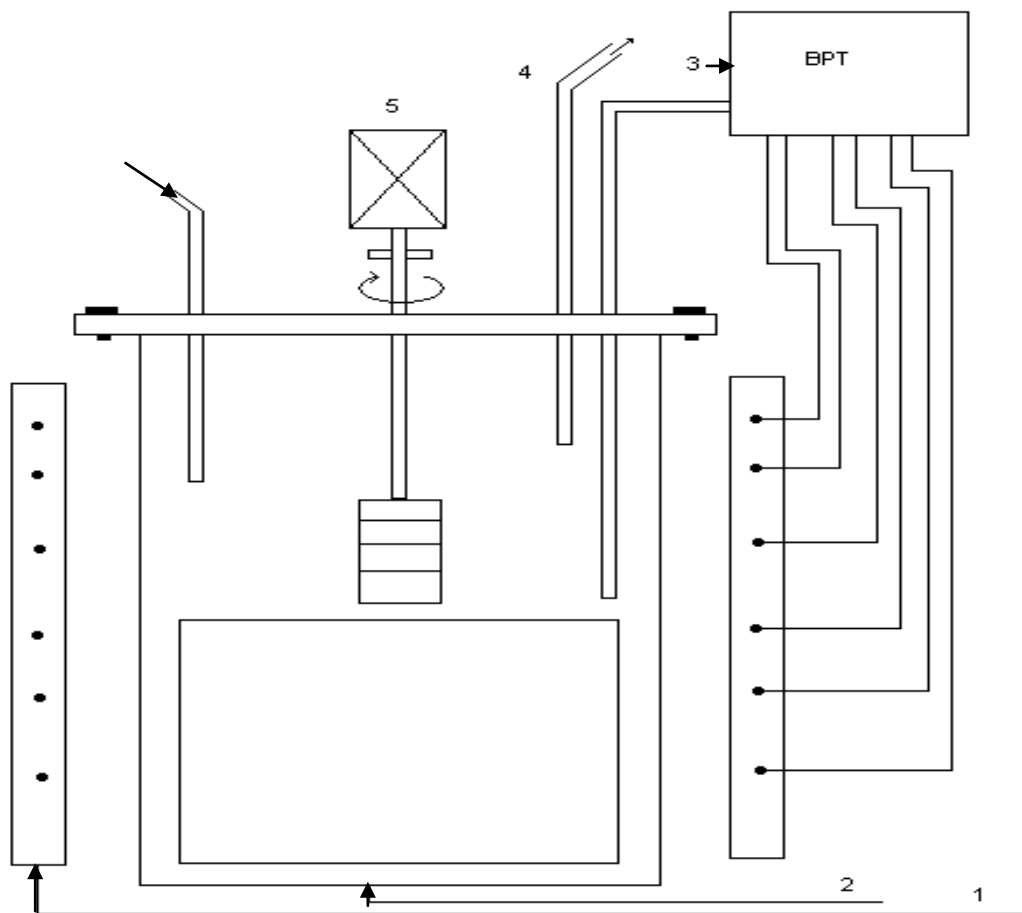
. Эритма совуши тезлиги 1-10К/мин ташкил қилади.

II Боб.

Суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириш технологиясининг асосий боскичлари

1 -§. Суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириш курулмасини ишга тайёрлаш.

Хозирги пайтда суюк фазадан эпитаксиал катламларни устириш учун горищонтал ва вертикал холда жойлащган реакторлардан фойдаланилади.

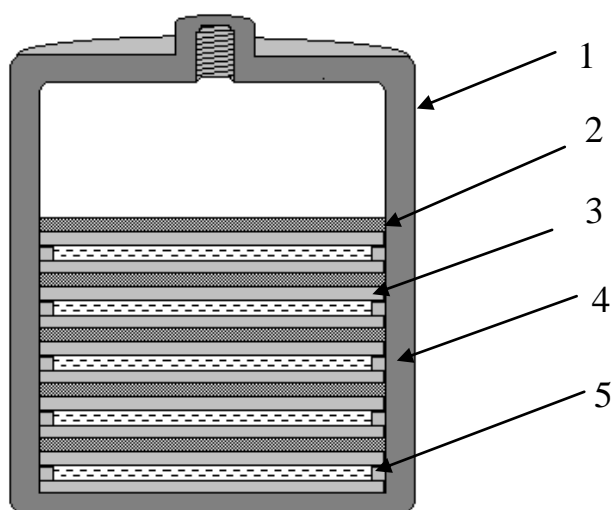


4-расм. Вертикал реакторли эпитаксиал устириш курулмаси :
1-иссиклик блоки, 2-реактор ,3-бошккариш блоки,4-газ тозалаш
блоки, 5-центрифуга

Иссиклик блоқи уч қисмдан иборат бўлиб, пастки, урта ва юқори қисмлар алоҳида бошқарилади ва урта қисм соҳасита ҳарорат бир хил бўлиши таъминланади. Бошқарув блоқи юқори аниқлида ҳароратни бошқариш имконини берувчи қурилма ВРТ (Р-111, И-102) дан иборат. Бу қурилма ёрдамида иссиқлик блоқидаги ҳароратни аввалдан тайёрланган программа бўйича қиздириш, маълум бир ҳароратда ушлаб туриш ва маълум бир тезликда совитиш мумкин. Одатда эпитаксиал устириш жараёнида 1-1,5 гр/мин. Тезлик билан совитилади ва жараён 5-6 соат давом этади. Бундан каттарок тезликларда устирилган эпитаксиал қатламлар сифати ёмонлашади. Секинроқ тезликларда эа энергия ва вақт сарфи ошиб кетади. Устириш жараёнида тагликлар ва суюқ аралашма оксидланмаслиги учун жараён тозаланган водород атмосферасида олиб борилади. Устириш жараёнида кремний таглиги юқори ҳароратда (тахминан 900-1000⁰С) кислород билан реакцияга киришиб таглик юзасида SiO₂ оксид қатламини ҳосил қилади ва яримутқазгичли эпитаксиал қатлам устиришга тускинлик қилади. Шунинг учун устириш жараёнида водороднинг тозаллигига қата эътибор берилади. Чунки унинг таркибида кам микдорда булғар кислород молекулалари ҳам жараёнга салбий таъсир қилади. Техник водород "Палладий-15" қурилмаси ёрдамида тозаланади . Тозалашнинг моҳияти шундан иборатки, палладий моддаси 400⁰С га қиздирилганда унинг кристалл панжаралари орасидан энг кичкина булган атомлар, яъни водород атомларигина ута олади ва бошқа газлар атомларидан тозаланади. Тозаланган водороднинг сифати унинг шудринг нуктаси билан аниқланади. Шудринг ҳосил бўлиш ҳарорати -75⁰С ёки ундан паст бўлиши керак, акс холда кремний тагликлар оксидланади.

Кремний тагликларни ушлаб туривчи қурилма –кассета деб аталади ва у жуда тоза графитдан ясалади. Чунки графит юқори ҳароратларда ҳам метал-эритувчиларда (Sn, Ga, Bi, Pb, In) эримайди ва эпитаксиал қатламни ифлослантормайди. Графит кассета цилиндрик шаклга эга бўлиб унга бирданига 50-60 та тагликлар жойлаштирилиши ва эпитаксиал қатламлар устирилиши мумкин. Тагликлар кассетага жойлаштирилганда улар орасида

1-1,5 мм. калинликда бушлик (зазор) ҳасил қилинад. Устириш жараёнида бу бушликлар туйинтирилган эритма билан тулдирилади. Тагликлар орасидаги масофа 1-1,5 мм. дан ката бўлса, устирилаётган эпитаксиал катламнинг сифати бузилади. Агарда масофа 1-1,5 мм. дан кичик бўлса, у ҳолда ораликка киридилган эритма таркибидаги яримутказгич мода микдори тагликларда яхлит эпитаксиал катлам ҳосил қилиш учун етарли бўлмаслиги мумкин. Кассета юқори тамонидан молибден штока бириктирилган бўлиб, у вертикал йуналишда пастга ва юқорига ҳаракатлана олади. Кассета электр мотор ёрдамида шток орқали уз уқи атрофида айланма ҳаракат қила олади. Бу нарса устириш жараёни тугаганда, тагликлар орасидаги металл-эритма марказдан қочма қуч таъсирида (центрифуга) тукиб ташлаш учун керак бўлади.



5-расм.. Графит кассетанинг кундаланг кесими.

1-қормус, 2-графит прокладкалар, 3-тагликлар, 4- графит подпоркалар, 5-туйинтирилган металл-эритма

Ҳолат диаграммаси асосида таркиби аниқланган ва торозида улчаб олинган металл-эритувчи (масалан калай, кургошин, галлий, висмут, индий), устирилиши керак бўлган яримутказгич моддалар (Ge , GaAs , GaP , GaN ва ҳақоза) ва яримутказгични леғрлаш учун ишлатиладиган моддалар кварц тигельга солинади.

Суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириш жараёни куйидаги кетма-кетликлардан иборат:

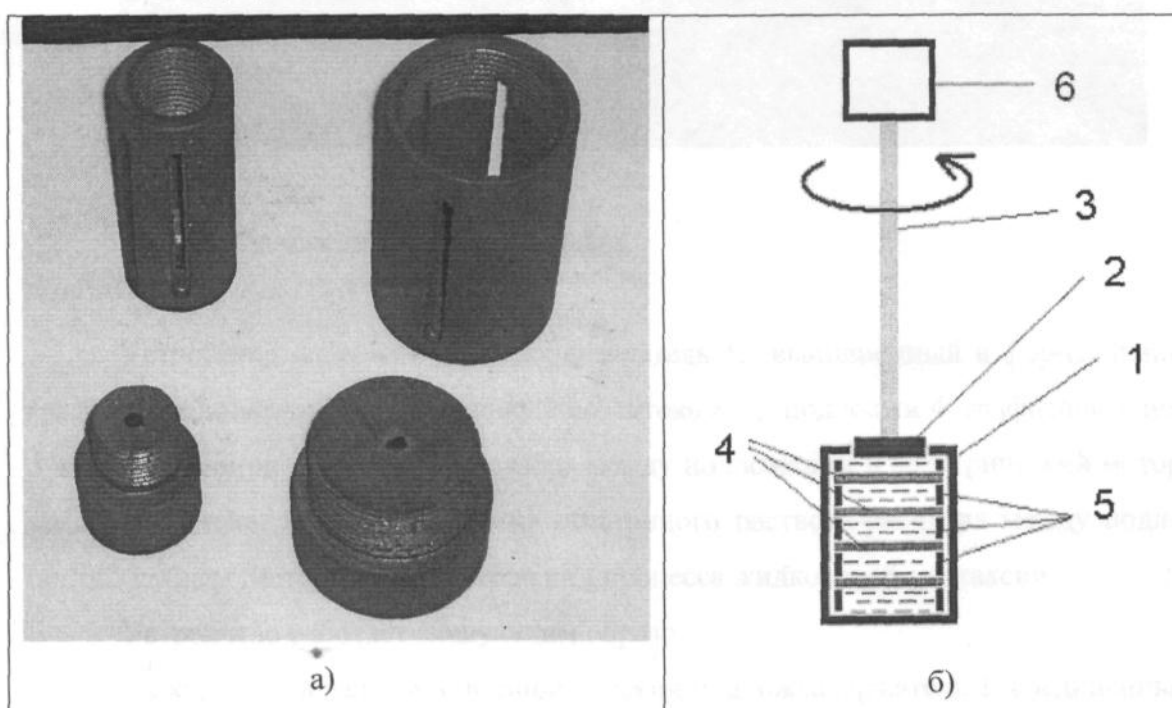
- 1.Керакли метал-эритма таркибини холат диограммасидан аниклаш ва торозида тортиш. Sn-100 гр. Si-1,2гр. Ge-4,7гр.
2. Si тагликларни кислоталар билан тозалаш, химик шкафта куритиш ва кассетага жойлаштириш.
3. Метал-эритма компоненталарини кварц тигелга солиш ва реакторнинг пастки кисмига жойлаштириш.
- 4.Водородни тозалайдиган “Палладий -15” курилмасини ток манбаига улаб уни 400 °С хароратгача киздириш
5. Реакторни юкори кисмидан герметик тарзда беркитиб реактор ичида, форвакуум насос ёрдамида, вакуум хосил килий .(Реакторнинг герметиклигини текшириш учун, реактор ичидаги босим 0,01 мм.с.уст. дан кам дулиши керак.
6. Реактор ичида, кассета метал-эритмадан 3-5 см. баландликда жойлаштирилади
7. Кварц реактор печкада керакли хароратгача (800-1000°С) киздирилади ва шу хароратда моддаларнинг тулик эриши учун 1 соат ушлаб турилади.
8. Печканинг пастки ва юкори кисмларини бошкариш оркали кассета ва метал-эритма жайлашган кисмдаги харорат бир хиллиги тامينланади.
9. Горизонталь холатда жойлаштирилган тагликлар орасига метал-эритмани киритиш учун, кассета метал-эритма ичига туширилади.
10. Кассетани метал-эритма ичидан чикариб олиш ва 3-4 см. баландликда махкамлаш.
- 11.Реакторнинг киритилган программага мувафик 1-1,5 гр/ мин тезлик билан маълум бир хароратгача совитиш. Эпитаксиал устириш жараёнида бошлаш ва тухтатиш хароратлари оралиги канча ката булса, эпитаксиал

катлам шунчалик калин булади. Эпитаксиал катлам ораликдаги метал-эритмадан пастки ва юкориги тагликларга уса бошлайди.

12. Харорат маълум бир даражага етгандан кейин центрифуга ишга туширилади ва марказдан кочма куч тасирида тагликлар оралигидаги метал-эритма кайтатдан кварц тигелга тукилади ва шу билан эпитаксиал устириш жараёни тухтатилади.

Горизонтал ҳолатда жойлашган реакторларда эпитаксиал устиришда ишлатиладиган кассета пенал типиди булиб, унда бир пайтда 4-5 тагликни жойлаштириш мумкин. Горизонтал реакторларнинг самарадорлиги вертикаль реакторларникига караганда анча камроқ.

.6-расмда графитдан тайёрланган кассета ва унинг центрифуга билан биргаликда ишлаш принципи курсатилган.



6-расм.а-графит кассетанинг қисмларга ажратилган ҳолатдаги тасвири. б-графит кассета шток орқали электр мотор билан уланган: 1-кассета, 2-графит прокладкалар, 3- молибден шток, 4-тагликлар, 5-метал-эритма, 6-электр мотор.

7-расмда суюк фазали эпитаксия жараёнида фойдаланиладиган кварц тигеллар тасвирланган. Тигалларни кварцдан тайёрланишининг сабаби, кварц юкори хароратларда хам ($1000-1100^{\circ}\text{C}$) металлларда эримади вaш у сабабли ичидаги метал-эритмани ифлослантирмайди.



7-расм. Метал-эритмани солиш учун мулжалланган кварц тигеллар.

2- §. Суюк фазадан катлам устириш учун кремний тагликларни тайёрлаш.



8-расм. Чохралский усули билан устирилган монокристалл кремний . Диаметри-40мм. солиштирма каршилиги-1,1-1,5 Ом.см, кристаллографик йуналиши-(111)

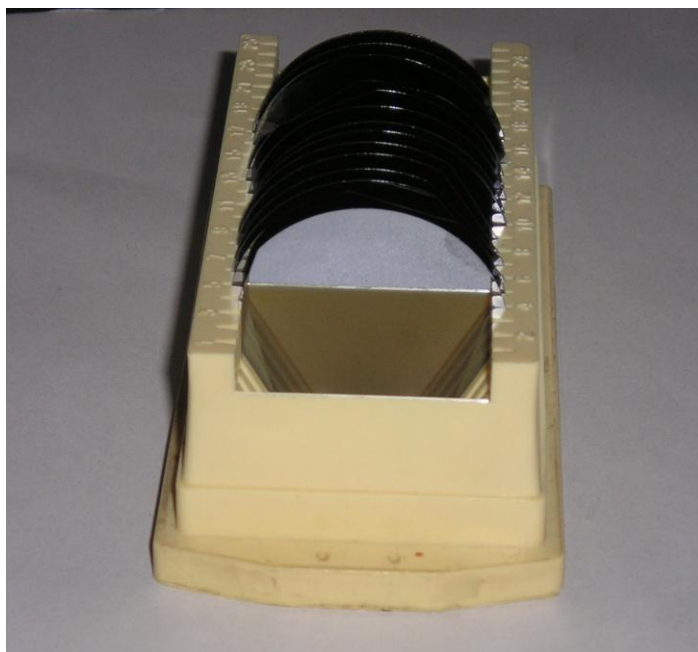
8-расмда курсатилган монокристалл кремний стержендан алмаз дисклар ёрдамида, тагликлар тайёрлаш учун, калинлиги 500-550мкм. белган шайбалар кесилади. 9-расмда тайёрланган кремний тагликлар курсатилган. Бу тагликлар кейинги боскичта кислоталар ёрдамида сайкалланади. Тагликларни кислотада сайкаллашдан мақсад, таглик юзасидаги, қасиш жараёнида ҳосил булган, ҳар хил нуқсонларни ва оксид катламини йукотишдир. Эпитаксиал катлам устириш учун фойдаланиладиган кремний тагликларнинг кристаллографик йуналиши албатта (111) йуналиш булиши керак. Чунки бошқа кристаллографик йуналишларда эпитаксиал катламлар яхши усмайди. Кремний тагликни

сайкаллаш учун ишлатиладиган кислоталар аралашмаси куйидагидан иборат: 3-кисм плавик кислота (HF) 5-кисм азот кислота (HNO_3) ва 3-кисм сирка кислота (CH_3COOH) . Химик реакция жараёнида азот кислотаси кремний таглик юзасини оксидлантиради, плавик кислота эса шу оксид катламини емиради, сирка кислотаси эса жараённинг тезлигини секинлаштиради. Сайкаллаш жараёни 2-3 минут давом этади . Сайкаллаш жараёнида кила юзасида сарик тутун хосил булади. Кислотода сайкалланган тагликлар дистирланган сувда яхшилаб ювилади ва куритилади.



9-расм. Кремний стержендан кесиб олинган тагликлар. Диаметри-40мм. калинлиги -500-550мкм. n-типа утказувчанлик, 130-140 дона.

10-расмда сайкалланиб тайёр холатга келтирилган кремний тагликлар курсатилган.



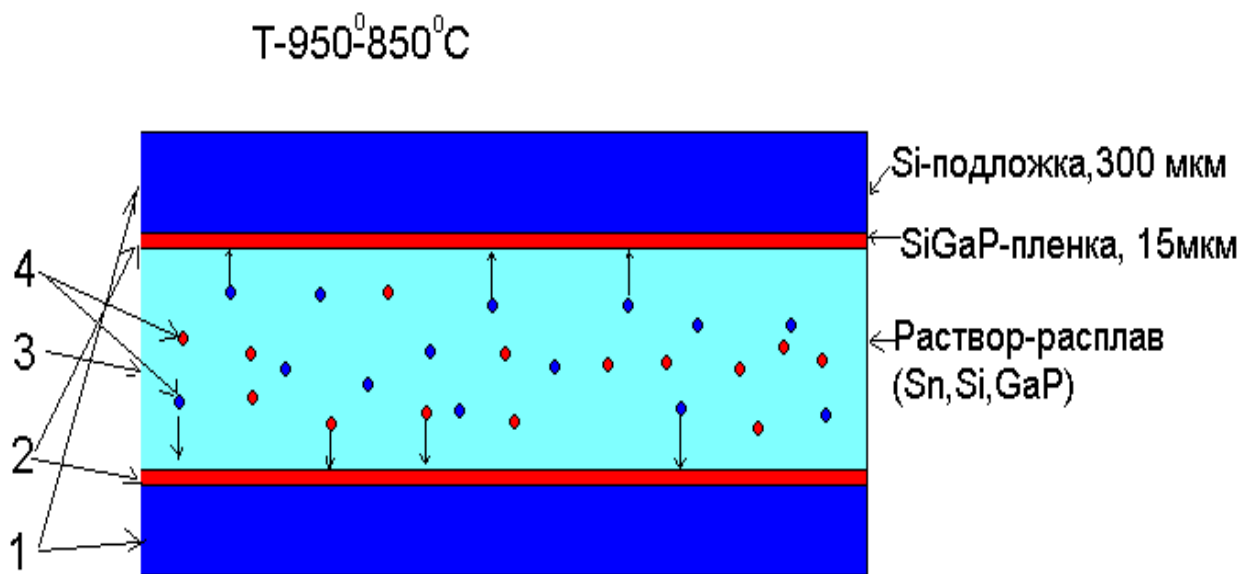
10-расм. Кислотада сайкалланган кремний тагликлар. Диаметр-40 мм., калинлиги 400-450 мкм., n-тип утказувчанликка эга.



11-расм. Суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириш курилмасининг умумий курилиши.

3- §. Эпитаксиал усулда қатламларни устириш механизми.

Суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириш жараёни анча мураккаб жараён бўлиб, бунда усаётган яримутказгичнинг каттик фазаси ва туйинган эритмали суюк фаза узаро мувазанат ҳолига яқин бўлиши керак. Ҳарорат градиенти ҳам бўлмаслиги, яни ҳарорат ҳамма жойда бир хил бўлиши керак. Акс ҳолта метал-эритувчи тагликларни эритиб юбориши ёки суюк фазанинг ичида кристаллар уса бошлаши мумкин. Бу эса эпитаксиал катламларнинг сифатига салбий таъсир қилади.

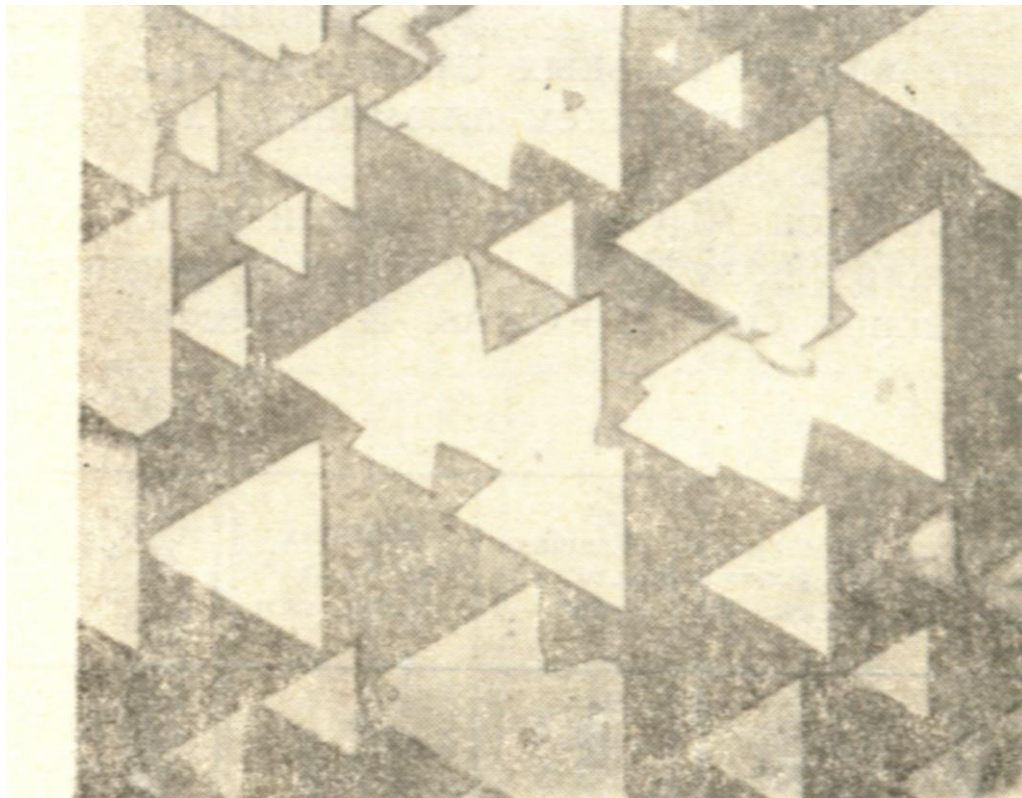


12-расм. Кремний тагликларга суюк фазадан эпитаксиал катламлар устириши. 1-кремний тагликлар, 2-устирилаётган эпитаксиал катламлар, 3-туйинтирилган метал-эритма, 4- металда эритилган яримутказгичлар ва киритмаларнинг атом ва молекулалари.

12- расмда эпитаксия жараёнининг бориши тасвирланган.. Бу ерда пастки ва устки кремний тагликлар 1- орасидаги метал эритма 3-нинг калинлигини узгартириш ҳисобига, усаётган яримутказгичли эпитаксиал катламлар 2- нинг калинлигини бошқариш мумкин. Агарда устириш жараёнида ҳароратнинг аста секинлик билан (тахминан 1-1,5 гр/мин.) тушиши тامينланмаса, у ҳолда яримутказгичларнинг металда эритилган атом ва молекулалари эритманинг ичида кристаллана бошлайди. Бу

кристаллар катталашини жараёнида огирлик кучи ва архимед кучлари таъсирида пастки ёки юкори тагликларга бориб жойлашади ва эпитаксиал катлам сифатини бузади.

13- расмда кремний таглик устига эпитаксиал катлам узиш жараёни тасвирланган. Бу ерда мунтазам учбурчаклар усаётган эпитаксиал катламнинг дастлабки кристалларидир. Усаётган кристалларнинг хаммасининг бир хил геометрик шаклга эга болиши бу усаётган катламнинг монокристаллигини билдиради. Бу геометрик фигураларнинг йунилиши (ориентацияси) бир иллиги, бу усаётган катлам молекулаларига кремний тагликнинг кучли таъсир килаетгани ва уларни бир хил кристаллографик тартибда жойлаштирётганини билдиради. Узиш жараёнида бу мунтазам учбурчак шаклидаги кристаллар бир-бири билан кушилиб кети яхлит монокристалл катлам хосил килади.



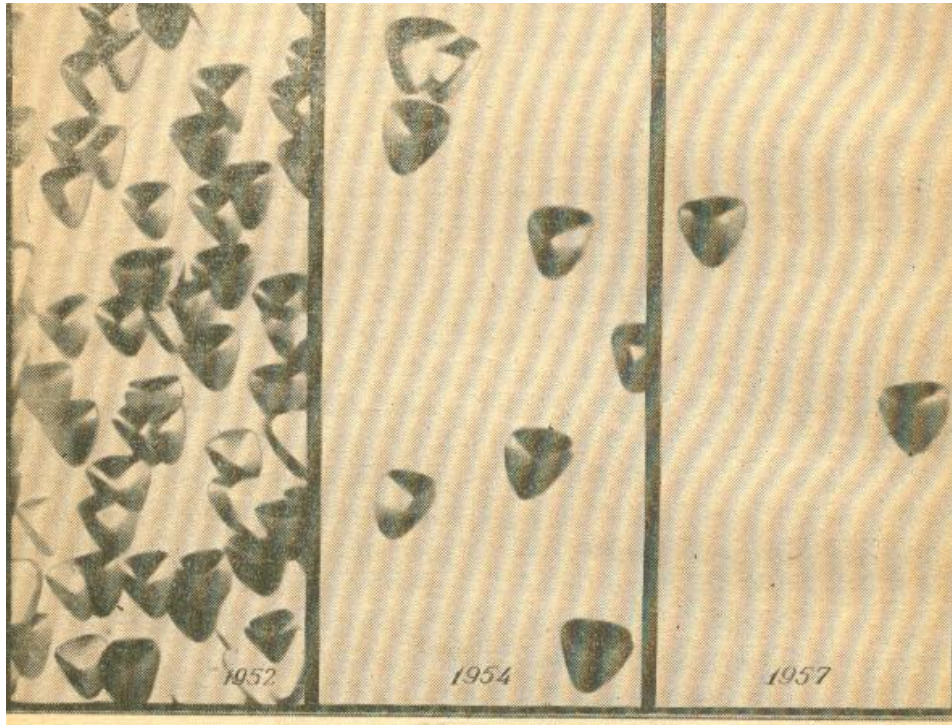
13-расм. Кремний таглик юзасида эпитаксиал катлам кристалларининг узишининг бошланиш жараёни. 340 марта катталаштирилган.

Ш Боб.

Суюқ фазадан ўстирилган эпитаксиал катламларнинг марфологик ва электрофизик хусусиятларини уганиш.

1 §. Устирилган эпитаксиал катламларнинг марфологиясини урганиш

Устирилган эпитаксиал катламлар ИМС ва бошка дискрет яримутказгичли асбоблар тайёрлашга ярокли булиши учун улардаги, усиш жараёнида хосил буладиган, нуксонлар сони иложи борича камрок булиши керак. Агарда нуксонлар сони $10^4/см^2$ дан яъни, бир квадрат сантиметрдаги нуксонлар сони 10000 тадан кам булса, бу эпитаксиал катлам ярокли булиши мумкин. Устирилган эпитаксиал катламларнинг сифати аниклаш учун бу катлам танлаб тасир этувчи (селектив) кислоталар ёрдамида емирилади. Танлаб таъсир этувчи кислота эпитаксиал катлам юзасидаги нуксонли жойлардаги атом ва молекулаларни тезрок емира бошлайди. Чунки нуксонли жойлордаги атомлар бир-бирлари билан узаро заифрок (нуксонсиз кристалл панжарасига нисбатан) боғланган. Натижада кислота тасирида эпитаксиал катлам юзасида чукурчалар хосил булади. Бу чукурчалар эпитаксиал катлам ичкарасидаги ипсимон нуксонларнинг юзага чиккан жойларидир. Бу нуксонларни микраскоп тагида санаб, бир квадрат сантиметрдаги нуксонлар сони аникланади ва эпитаксиал катлам сифати аникланади. Эпитаксиал катламда нуксонлар сони канча кам булса ундаги эркин ток ташувчиларнинг яшаш вакти τ ва харакатчанлиги μ шунчалик ката булади. 14-расмда эпитаксиал катлам юзасида кислота тасирида хосил булган чукурчалар тасвирланган. Бу учбурчак шаклидаги чукурчалар нуксонлар булир, кристаллар устириш технологияси ривожланиши билан, нуксонлар сони йилдан-йилга камайиб борган. Хозирги пайтда яхши монокристалл кремнийларда нуксонларсони $10^2/см$ дан кам.



14-расм. Эпитаксиал катлам юзасидаги нуксонларнинг турли йиллардаги сони. Технология ривожланиши билан нуксонлар сони камайиб борган.

Бундан ташқари, устирилган катламларнинг сифати рентгеноструктурный анализ усули билан ҳам аникланади. Бу усулда эпитаксиал катламларнинг монокристаллиги, кристалл панжарасинин даври, ҳар хил иккиламчи кристаллитлар аникланади.

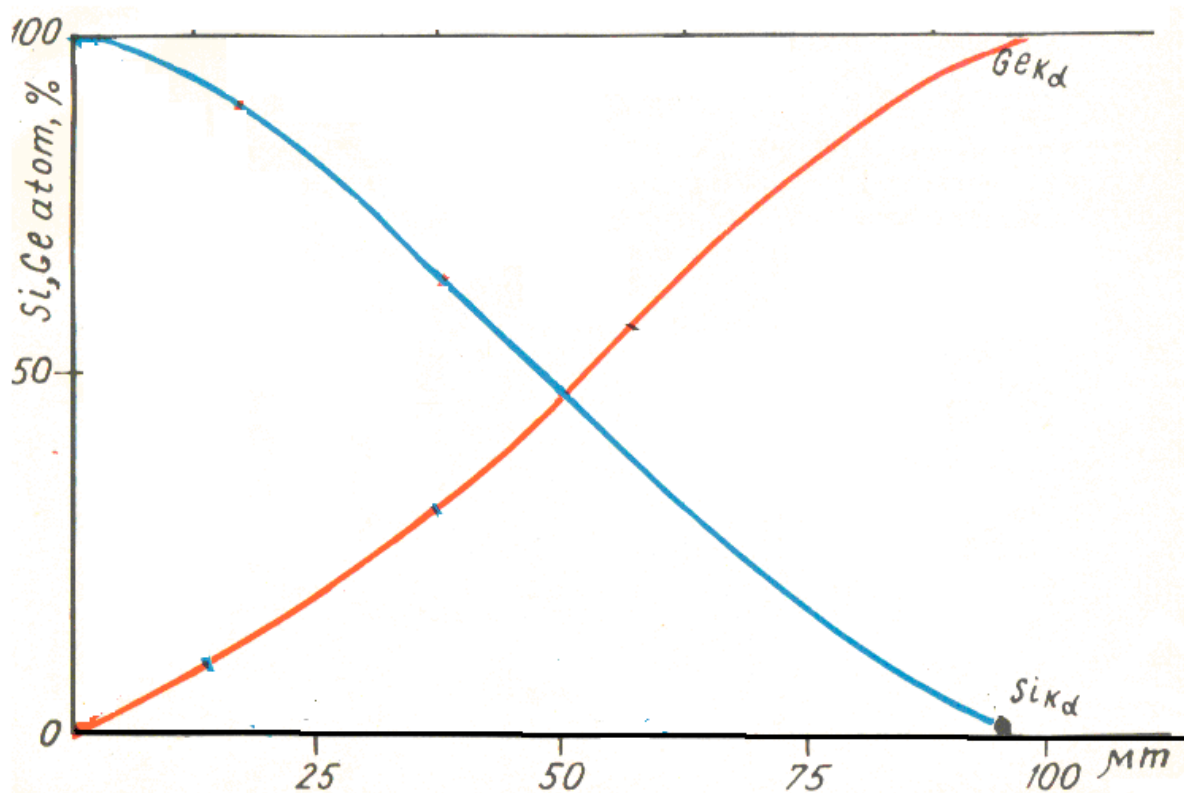
2 §. Устирилган эпитаксиал қатламларнинг таркибини ва электрофизик хусусиятларини урганиш

Устирилган эпитаксиал катламларнинг кристаллографик мукамаллигини урганишдан ташқари уларнинг таркибини ҳам урганиш муҳим аҳамиятга эга. Чунки метал-эритма таркибидаги хама моддалар ҳам эпитаксиал катлам таркибига бир хилда кирмайди ва узиш жараёнида эпитаксиал катлам таркиби узгариб бориши мумкин.

Кремний тагликларга кремний–германий каттик аралашмаси устирилганда ($\text{Si}_x \text{Ge}_{1-x}$ $0 < x < 1$), эпитаксия жараёнида аввал кремний тагликларга кремний уса бошлайди ва катлам калинлаша бориши билан кремний камайиб бориб германий орта бошлайди. 100 мкм. Калинликка эга булган эпитаксиал катлам юзасида 100% германий хосил булади. Бу жараён бир яримутказгич (масалан кремний) устига бошка бир ярим утказгични (германий, арсенид галлий, нитрил галлий) эпитаксиал устириш имконини беради. Эпитаксиал катлам таркиби аста секинлик билан узгариб борганлиги учун, эпитаксиал катламда нуксонлар сони кам булади. Бунинг натижасида таглик ва эпитаксиал катлам материаллари орасидаги термик кенгайиш коэффициентисидаги ва кристалл панжара доимийсидаги фарклар натижасида юзага келадиган нуксонлар камайади.

15-расмдан куришиб турибдики, эпитаксиал катлам узиш жараёнида унинг таркибидаги кремний камайиб, германий ошиб боради ва юза кисмида 100% германий хосил булади.

Устирилган эпитаксиал каттик қаришмалли катлам $\text{Si}_x \text{Ge}_{1-x}$ ($0 < x < 1$) нинг электрофизик хусусиятлари ҳам урганиб чиқилди.



15-расм. Кремний-германий каттик аралашма $\text{Si}_x \text{Ge}_{1-x}$ ($0 < x < 1$) таркибидаги кремний ва германийларнинг калинлик буйича таксимланиши.

Ҳосил қилинган плёнканинг электрофизик ҳоссаларини ўрганиш бўйича ўтказилган тажрибалар асосида қатламнинг солиштирма қаршилиги (ρ), Холл ҳаракатчанлиги (μ_x), эркин ток ташувчилар концентрацияси (n), эпитаксиал катлам калинлиги (d) ва эпитаксиал қатламнинг ўтказувчанлик хили аниқланди. 300°K температурада ўтказилган тажрибаларга кўра қуйидаги маълумотлар олинди:

Солиштирма қаршилиги – (ρ) 0,1-10 Ом.см;

Холл ҳаракатчанлиги – (μ_x)- 500-1000 см²/(В·с);

Электронлар концентрацияси – (n)-10¹⁶ - 10¹⁷ см⁻³

Ўтказувчанлиги хили – электронли

Эпитаксиал катлам калинлиги - 100 мкм.

ХУЛОСА

1. Менинг БМИ да яримўтказгичларни суяк фазадан эпитаксиал ўстириш технологиясини ва бу усулда устирилган катламларнинг марфологияси ва таркибини ўрганиш мақсад қилиб қўйилган эди. Шу сабабли мен дастлаб яримўтказгичли кристаллар, уларни ўстиришнинг усуллари ва технологиялари батафсил ўрганиб чиқдим.

2. Маълумки, кристалл ўстиришда эпитаксиал технология қўлланилиши кейинги 10-15 йил ичида сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни 4-5 марта ошириб юборди. Эпитаксиал қатламлар тузилиш жиҳатдан ҳажмий монокристаллдан анча такомиллашганлиги, уларда киришмалар ҳақиқий тақсимотиға эга бўлиши билан бирга, назорат қилиб бўлмайдиган

ифлосликлар камлиги билан фарқ қилади. Эпитаксия кичик омни пластинкаларда юқори омни яримўтказгичли қатламларни ўстириш имконини берди.

3.Яримўтказгич моддаларнинг хоссаларини ўрганиш бўйича олиб борилган илмий тадқиқот ишлари эпитаксиялаш усуллари билан турли яримўтказгич моддаларнинг турли тартибдаги қатламларини ҳосил қилиш имкониятларини кўрсатади.

4.Эпитаксия термини ўтган асрнинг 50-йилларида пайдо бўлди, у “эпи”сирти, “такис”-жойлашиш маъноларини англатади. Эпитаксия - бу кристалл таглик сиртида муайян йўналишли кристалл қатламни ўстиришдир. Эпитаксиал қатлам - таглик тузилишини сақловчи, кристалл тагликка ўтказилган монокристалл материал ҳисобланади. Эпитаксиянинг афзалликларидан яна бири, калинликнинг қатлами бўйича талаб даражасидаги киришмаларни легирлаш имконияти мавжудлигидир.

5. Эпитаксиал жараённинг уч гуруҳи: авто-, гетеро- ва хемоэпитаксия кўринишлари маълум. Мен ўз ишимда бу уч жараённинг имкониятларини ва афзаллик томонларини ўрганиб чиқдим.

6. Ўсувчи қатлам ҳосил бўлишидаги физик-кимёвий ҳодисалар табиати фарқи бўйича эпитаксиянинг учта асосий технологик усуллари мавжуд:

- а) вакуумда молекулалар оқимидан молекулар-нур эпитаксия;
- б) газ ёки буғ-газ аралашмасида кимёвий ўзаро таъсир оқибатида юз берадиган газ фазали эпитаксия;
- в) эритиш ёки суюқ фазадан рекристалланиш йўли билан суюқ фазада эпитаксия.

7.Ҳозирги пайтда суюқ фазадан эпитаксия усули кўпроқ ишлатилади. Чунки бу усулда тўйинган яримўтказгич материал эритмасидан унга чўктирилган яримўтказгич таглик сиртида монокристалл қатламини ўстириш мумкин.

8. Эпитаксиал имкониятларини ўрганиш мақсадида бу усулда кремний ва германий ўстириш технологиясини ўрганиб чиқдим.

9. Шундай қилиб, эпитаксиал ўстириш усули билан ҳоссалари яхши ўрганилган моддалардан юқори фотоэлектрик параметрларга эга бўлган янги типдаги қаттиқ қотишмали яримўтказгич модданинг мукамал монокристалларини ўстириш мумкин. Шундай моддалар қаторига $\text{Si}_x \text{Ge}_{1-x}$ ($0 < x < 1$) ҳам киради.

10. $\text{Si}_x \text{Ge}_{1-x}$ ($0 < x < 1$) қаттиқ қоришма суюқ фазали эпитаксия усулида, қалайнинг чекланган ҳажмидаги қоришмали қотишмасидан 800-1000⁰ температура оралиғида, палладийдан ўтказиб тозаланган водород муҳитида мажбурий совутиш йўли билан ўстириб олинади.

11. Si ва Ge асосида $\text{Si}_x \text{Ge}_{1-x}$ ($0 < x < 1$) қаттиқ қоришманинг ҳосил бўлиши Si атомлари ва Ge атомлари радиуслари бир бирига яқинлиги билан изоҳланади. Микрондли рентген таҳлили эпитаксиал узиш жараёнида қатламнинг таркиби узғариб боришини ва дастлаб кремний тагликка кремний уса бошлашини ва узиш жараёнида кремний атомлари аста секинлик билан германий атомлари билан алмашилиб бориши маълум булди. Катламнинг сиртида 100% германий ҳасил булиши курсатиб берилди.

12. Ҳосил қилинган плёнканинг электрофизик ҳоссаларини ўрганиш бўйича ўтказилган тажрибалар асосида қатламнинг солиштирма қаршилиги (ρ), Холл ҳаракатчанлиги (μ_x), эркин ток ташувчилар концентрацияси (n), эпитаксиал қатлам калинлиги (d) ва эпитаксиал қатламнинг ўтказувчанлик хили аниқланди. 300⁰К температурада ўтказилган тажрибаларга кўра қуйидаги маълумотлар олинди:

Солиштирма қаршилиги – (ρ) 0,1-10 Ом.см;

Холл ҳаракатчанлиги – (μ_x)- 500-1000 см²/(В·с);

Электронлар концентрацияси – (n)-10¹⁶ - 10¹⁷ см⁻³

Ўтказувчанлиги хили – электронли

Эпитаксиал қатлам калинлиги - 100 мкм.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Андреев В. М., Долгинов Л. М., Третьяков Д. Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М.: Советское радио, 1975. 328 с.

2. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов, т.1, 2. - М.: Металлургиз., 1962,

3. Александров Л. Н. Гетероэпитаксиальное осаждение полупроводниковых

пленок.- Микроэлектроника, 1972, т. 1, № 2, с. 120-133.

3. Саидов А.С., Саидов М.С., Кошчанов Э.А. Жидкостная эпитаксия компенсированных слоев арсенида галлия и твердых растворов на его основе.-Т.:ФАН,1986.-129 с.

4. А.В. Ржанов Электронные процессы на поверхности полупроводников. М.: Наука. 1970.

5. С.М. Файншрейн. Обработка и защита поверхности полупроводниковых приборов. Изд. Энергия . Москва 1970.

8. С.М. Зи. Физика. полупроводниковых приборов. М.: Мир. 1984 .

9. С.И. Власов. Физика полупроводниковых приборов. Т. 2004.

10. А. Тешабоев, С. Зайнобидинов, И. Каримов, Н. Рахимов, Р. Алиев. Яримутказгичли асбоблар физикаси. А.: Хдёт. 2002.

11. Журнал Технической Физики. Физика Твердого Тела. Физика и техника полупроводников. <http://journals.ioffe.ru>