

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

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

“Умумий физика” КАФЕДРАСИ

**Мувитхонов Илёснинг 5440100-физика таълим йўналиши
бўйича бакалавр даражасини олиш учун “Кремний
таглигида монокристал қатламларни ўстириш ва уларни
хоссаларини ўрганиш”**

Раҳбар: проф: Саидов А.С.

Гулистон-2013 й.

Кириш.

Мавзунинг долбзарблиги. XX асрнинг иккинчи яrimi хозирги замон техникасининг етакчи соҳаларидан бири ҳисобланган яримўтказгичлар электроникаининг кескин ривожланиш даври бўлди. Шу йилларда яратилган турли турдаги транзисторлар тўғирловчи ва импульсли диодлар стабилитронлар, фотоэлементлар тунел диодлар ёруғлик диодлари яримўтказгичли квант генераторлари ва бошқа турдаги кўплаб яримўтказгичли асбобларнинг саноатда ва махсус техника қурилмаларида кенг миқёсда қўлланилиш даври ҳисобланди.

Маълумки кўплаб яримўтказгичли асбобларнинг тузилишида асосий элементи р-п-ўтиш ҳисобланади. Шу йиллари р-п ўтишнинг назарий асослари ва уни ҳосил қилишнинг турли усулларининг яратилиши яримўтказгичлар электроникаси ривожини тезлаштирувчи асосий омил бўлиб ҳисобланади.

Яримўтказгичларда р-п ўтишларни яратиш усулларини уч гуруҳга бўлиш мумкин:

1) Диффузия усули: бу усул яхлит кристалликнинг яримўтказгичнинг бирон қисмининг ўтказувчанлигини турини ўзгартирувчи аралашма атомларини маълум миқдорда диффузия йўли билан киритилишга асосланган.

2) Эритма усули: бу усул металл яримўтказгич эритмасидан яримўтказгич кристаллини ўстириб олишда қаттиқ ва суюқ фазалар соҳасида аралашма атомларининг ўзаро таъсири ва тақсимотига асосланган.

3) Эпитаксия усули: бу усул асос яримўтказгич монокристалли устида худди шундай ёки бошқа хилда яримўтказгичнинг тегишли аралашмалар киритилган қатламаларини эпитаксиал усулда ўстиришга асосланаган.

Бу усуллар ичида диффузия ва эритма усуллари р-п ўтиш яратишда дастлабки усуллар бўлиб яримўтказгич асбоблар ривожига ва уларда бўлган эҳтиёжни тامينлашда кенг қўлланилади.

Агар эпитаксиал қатламлар асос яримўтказгичга ўхшаш бўлса, ҳосил бўлган қатламлар гомоўтишларни ҳосил қилади, бошқа хилдаги яримўтказгич бўлса гетероўтишларни ҳосил қилади.

Шунга қарамасдан бу усуллар айрим камчиликларга эга. Ушбу БМИ да шу камчиликлар барҳам берилган прогрессив усуллар кўриб чиқилади.

Мавзунинг илмийлиги: ҳозирги пайтда асос яримўтказгич (таглик) материалли устида бошқа моддаларнинг юпқа пардаларини ўстириш (эпитаксия усули) билан яримўтказгичлик хоссасига эга бўлган қатламларни ўстириш усули яримўтказгич асбоблар яратишда устун даражадаги технологияга эга бўлиб бормоқда.

Эпитаксиал усулда ҳосил қилинган қатлам эса, таглик тузилишини сақловчи, кристалл тагликка ўтказилган монокристалл металлдир. эпитаксиал ўсиш жараёнида ҳосил бўлувчи фаза эпитаксиал қатлам ўсиши ёрдамида кристалл панжарани қонуний давом эттиради. эпитаксиал жараён уч хил усулда амалга оширилиш мумкин: автоэпитаксия, гетероэпитаксия ва хемоэпитаксия. Бу усуллар яримўтказгич электроникасининг тараққиётида асосий восита бўлиб қолди.

Юқорида айтиб ўтилган усулларнинг такомиллаштирилиши туфайли яримўтказгичларда р-п ўтишни ҳосил қилишнинг суюқликдан эпитаксиялаш усули юзага келди. Суюқликдан эпитаксия усули ўзининг физик ва кимёвий асосларига кўра эритма усулига ўхшашлик томонлари кўп. Лекин оддий эритма усулини кўп қатламли ва коллениар тузилмалар яратишда ишлатиб бўлмайди. Шунингдек бу усулда олинган

металл яримўтказгич чегара қатламининг ёпилиши бир текис бўлмаган ҳолатлар кўп учрайди. Бу эса ҳосил қилинган р-п ўтишнинг яроқсиз бўлишига олиб келади.

Суюқликдан эпитаксиалаш усулида яримўтказгич моддаларнинг монокристалл қатламлари яримўтказгичнинг паст ҳароратда эрийдиган металл суюқлигидаги қоришмали эритмасидан ҳосил қилинади. Бу усул, айниқса $A^3 B^5$ тузилмалардан иборат асосларда гомо ва гетероўтишли яримўтказгич асбоблар яратишда кўп ишлатилмоқда.

Мавзунинг мақсади: суюқликдан эпитаксия усулининг яримўтказгич асбоблар ва моддалар яратиш технологиясида қўлланилишининг турли йўналишига бағишланган тадқиқот ишлари қўлами ниҳоятда кенг, эришилган ютуқлар эса мисилсиз. Шу сабабли бу технологияни ўрганиш ҳозирги замон яримўтказгичли асбоблар тўғрисидаги маълумотларни билиб олишда дастлабки босқич ҳисобланади деб айтиш мумкин. Ушбу БМИ мавзуси айнан суюқликдан эпитаксия усулининг назарияси ва амалиёти тўғрисида умумий маълумотларни ўрганишга бағишланган. БМИ да қуйдаги масалаларни ёритиши асосий мақсад қилиб қўйилган:

1) Суюқликдан эпитаксия усулининг физикавий ва кимёвий асослари;

2) Суюқликдан эпитаксиянинг яримўтказгич материаллар тайёрлаш технологиясида қўлланилиши;

3) Суюқликдан эпитаксиянинг яримўтказгичли электрон асбоблар тайёрлашда ишлатилиши;

4) БМИ да суюқликдан эпитаксия усули билан кремний тағликда турли моддаларнинг қаттиқ қоришмали эпитаксия қатламларини ўстириш технологияси ўрганилади ва шу усулда ҳосил қилинган эпитаксиал қаттиқ

қоришмали юпқа пардаларнинг тузилиши ва уларнинг электрофизик хоссалари амалий тарзда ўрганилади.

5) БМИ да амалий тажриба натижаларининг таҳлили келтирилади ва ҳосил қилинган қаттиқ қоришмаларнинг кузатилган хоссалари тўғрисида илмий хулосалар чиқарилади.

БМИ куйдаги тузилишга эга: кириш, асосий қисм, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

I-БОБ. Яримўтказгичли кристаллар ўстиришнинг эпитаксия усуллари.

1-§. Эпитаксия усули тўғрисида тушунча.

Ҳозирги замон технологиясида интеграл микросхемалар ва дискрет яримўтказгичли асбоблар ишлаб чиқаришда эпитаксиял жараёнлар энг олдинги ўринни эгаллайди. Эпитаксиал технология қўлланиши кейинги йилларда сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни 4-5 марта ошириб юборди. Эпитаксиал қатламлар тузилиш жиҳатдан ҳажмий монокристаллда анча такомиллашганлиги, уларда кришмаларни ҳақиқий тақсимотиға эга бўлиш билан бирга, назорат қилиб бўлмайдиган ифлосликлар камлиги билан фарқ қилади.

Одатда яримўтказгичли асбобларнинг актив соҳаси пластинканинг унга чуқур бўлмаган сирт микроҳажми қисмида вужудга келтирилади. Пластинканинг қолган қисми эса шу актив соҳани ушлаб туриш учун хизмат қилади. Демак, асбоб тузулмаси ва пасив қисмларидан тзилган. Пасив қисм технологик жараёнда конструктив вазифани бажариб туради холос. Чунки, ўта юпқа пластинкалар билан ишлаб чиқариш жараёнида ишлаб бўлмайди.

Эпитаксия, умуман, яримўтказгичнинг пластинкаси асбоб учун керак бўлмаган пасив қисми фаразий қршилигини камайитириш йўлини қидириш туфайли вужудга келади. Эпитаксия кичик омил пластинкада юқори Ом ли яримўтказгичли қатламларни ўстириш имконини беради.

2-§. Эпитаксиал ўтказишнинг асосий усуллари.

Яримўтказгичли асбоблар ва IMS лар тайёрлаш технологиясида яримўтказгич пластинканинг солиштирма қаршилигини ошириш керак, у эса иккинчи томондан, ёйилма оқим қаршлиги ўсишига, асбобнинг импульс хоссалари ва тезкорлигини ёмонлаштиради. Коллектор

ҳажмида катта миқдордаги зарядлар тўпланишига олиб келади, транзистор тезкорлигини камайтиради ва коллекторнинг катта кетма-кет қаршилиги транзистор қувватини чегаралаб қўяди.

Эпитаксия термини ўтган асрнинг 50-йилларида пайдо бўлиб, у “epik”-сирти, “tagus”-жойлашиш маъносини англатади. Демак, эпитаксиал қатлам таглик тузилишини сақловчи, кристалл тагликка ўтказилган монокристалл металлдир. 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 вазифани бажаради. Эпитаксиал жараённинг 3 гуруҳи:

- Автоэпитаксия
- Гетероэпитаксия
- Хемоэпитаксия

кўринишлари маълум.

Автоэпитаксия – таглик моддадан кимёвий фарқ қилмайдиган, тузилиши бўйича бир хил бўлган таглик сиртида йўналиши кристалл қатлам ўстириш жараёнидир. Бу жараёнда гелюген электрон ковак пайдо бўлиши имкони яратилади.

Гетероэпитаксия – кристаллокимёвий ўзаро таъсир натижасида таглик модда таркибида фарқ қиладиган модда қатламининг йўналишли ўсиш жараёнидир.

Хромозэпитаксия – ташқи муҳитдан келувчи модда билан тагликнинг ўзаро кимёвий таъсиридан янги фаза ҳосил бўлгани ҳолда модданинг йўналишли ўсиши жараёнидир. Ҳосил бўлган хемоэпитаксиал қатлам, таркиби бўйича, таглик моддадан ва сиртга келувчи моддадан ҳам фарқ қилади. Ўсувчи қатлам ҳосил бўлишидаги

физик кимёвий ҳодисалар табиати фарқи бўйича эпитаксиянинг 3 та асосий технологик усуллари мавжуд:

- 1) Вокуумда молекулалар оқимидан молекуляр нур эпитаксия;
- 2) Газ ёки буғ-газ аралашмасидан кимёвий ўзаро таъсир оқибатида юз берадиган газ фазали эпитаксия;
- 3) Эритиш ёки суюқ фазадан рекристалланиши йўли билан суюқ фазада эпитаксия.

Бу учта усулнинг асосий хусусиятларини кўрамиз.

- 1) Молекуляр – нур эпитаксияси:

Вокуумда молекуляр-нурлар оқимидан ҳосил қиладиган эпитаксия модданинг тўғри кўчишдан содир бўлади. Модда-манба юқори вокуумда фоксланган электрон нукр оқими ёрдамида молекуляр заррачалар оқимини узлуксиз буғлатиб (оралиқ ўзаро таъсирсиз) тагликка етказиб берилади. Таглик сиртга ўтирган яримўтказгич зарралари молекуляр ўзаро таъсир остида яримўтказгич кристалли йўналиши аниқловчи тўғри тизимни ҳосил қилади. Эпитаксиал қатлам ўсиши сирт бўйлаб юз беради ва ўсувчи қатлам тизимини қатлам тизимини қайтаради.

Молекуляр-нур эпитаксиянинг бошқа тури-бу сублитатсия усулидир. Бу усулдан тагликни бир неча юз микрометр нарида жойлашган яримўтказгични электр тўқида қиздириш билан боғлантириб эпитаксиал қатлам ҳосил бўлади. Олинган қатлам ўта юқори солиштира қаршиликка эга бўлади, чунки вокуумли камерада киришмалар кам бўлади.

- 2) Кимёвий ўзаро таъсир ёрдамида газ фазада эпитаксия.

Газ фазада ярим ўтказгич атомлари кимёвий бирикмалар таркибида кўчиб кимёвий ўзаро таъсир ёрдамида ажралиб тагликка ўтиради. Кимёвий бирикмада элементар яримўтказгичлар германий ва

кремний қатнашиши мумкин. Ишлаб чиқариши шароитида эпитаксиал қатламларни олиш кимёвий усуллари анча кенг қўлланилади.

3) Суюқ фазада эпитаксия.

Суюқ фазали эпитаксия усули тўйинган яримўтказгич материалл эритмасидан яримўтказгич монокристалл қатлампдан ўстиришдан иборат. Эритмага чўктирилган яримўтказгич таглик сифатида уни ҳсовитиш натижасида кристалланиши юз беради. Кўпчилик ҳолларда суюқ фазадан кристалланишда эритувчи сифатида яримўтказгич суюқ фазада эпитаксияни олиш учун эритувчилар сифатида осон эрувчи бирикма таркибловчилар, масалан, CaAs ва CaP учун Ca қўлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишга, таглик эритма чегарасида температура гроденти камайишга олиб келади ва ўстирилган қатлам тозалигини оширади.

Газ ва суюқ эпитаксиал қўшилган усул:

Яримўтказгич таглик сиртига эффектив таркибли суюқ фазали ҳосил қилувчи юпка металл қатлам суркалади. Бу паст температураларда эпитаксиал қатламларни олиш имконини беради. Бу ерда эритма қатлами 1мкм дан ошмайди ва амалга эпитаксиал қатлам ўсиш тезлиги эритмада диффузияланиш вақтига боғлиқ бўлмайди. Эпитаксия усулида олинган тузилмалар тавсифномалари қотишмали усулидагига асосан ўхшаш.

3-§. Кремний ва германий эпитаксияси.

Эпитаксиял қатламларни германий ва кремний асосида ўстириш усуллари ичида кенг тарқалгани моносиалан SiH_4 ва моногорман GeH_4 ларини тетрoхлорид водородда тикланиши ва иссиқлик парчаланишидир. Кремний ва германий монокристалл қатламлари

қизиган тагликлар орқали хлоридли ёки гидиретли буғли водород газини ва лигерланувчи кришмалар ҳайдалиб таглик сиртида ўтиради.

Эпитаксиал ўстириш жараёни қуйдаги амаллардан иборат:

1. Реакторга пластинкаларни жойлаштириши.
2. Инертгаз ва водородни реактор орқали ўтказиши (пуркаш билан):
3. Пластинкаларни тозалаш учун пластинкаларни қиздириш ва газли едириш учун риогентларни бериш.
4. Ўйдирилишни тўхтатиш ва ўстириш учун керак бўлган температурани тامينлаш.
5. Эпитаксиал қатлам ва лигерлаш учун риогентларни бериш.
6. Риогентларни беришни тўхтатиш ва қисқа вақт давомида водородни ҳайдаш.
7. Қиздирилган, водород ва инерт газларини беришни тўхтатиш.
8. Риакторни бўшатиш.

Ишлаб чиқаришда кремний эпитаксиал қатламини олиш кенг қўлланилмоқда.

4-§. Эпитаксиал қатламлар олиш қурилмалари .

Ўсувчи эпитаксиал қатламлар сифати кўп жиҳатдан температура ва газодлинет шароитларга боғлиқ. Шунинг учун эпитаксия қурулмаларини юқори талаблар қўйилади. Эпитаксиал ўстириш қурилмаси реакторлар тузилишига боғлиқ уларнинг горизантал ва вертикал хиллари бор.

Горизантал реактор.

Анча содда тузилишга эга. Бундан буғ-газ аралашма оқими таглик ушлагичига параллел ўтади ва эпитаксиал қатламлар қалинлиги ҳамда солиштирма қаршилиқни ўзгартиришга олиб келади. Янада текс ўстиришни ҳосил қилиш учун иккита усулдан фойдаланилади.

1) Таглик ушлагич газ оқими йўналишига маълум бир бурчак остида жойлаштирилади.

2) Таглик ушлагич учунлиги бўйича газни тақсимлаб киритиш.

Вертикал риаксиялар.

Конструкцияси яхшилиги қиздириши ва аралашмали газ оқими учун анча яхши шароитни тامينлайди. Таглик ушлагичнинг айлантириши иссиқлик ва газодианаллик майдонларнинг текс тақсимланишига олиб келади. Тўрт қиррали графитли таглик ушлагични қиздириш юқори частотали ток индиктори билан амалга оширилади, риактор юқори майдондан иборт. Барабанли таглик ушлагични зангламас пўлатдан тайёрланган риактор ичида резистив элементлар ёрдамида қиздирилади. Бу қиздириш баъзан риакторнинг камчилиги деб аталади.

II-БОБ. Яримўтказгич монокристалл бирикмаларни ўстиришнинг эпитаксия усулининг технологик хусусиятлари.

1-§. Кўп қатламли бирикмаларнинг афзалликлари.

Ҳар қандай атомларнинг аралашмасидан кристалл қаттиқ жисм ҳосил қилинганда атомларнинг жойлашишида узлуксизлик шартларига амал қилинади. Акс ҳолда атомлар жойлашишида кристалл панжарага хос бўлган тартиб бузилади ва турли дислокациялар юзага чиқади. Мураккаб бирикмаларнинг қаттиқ қотишмаларини ҳосил қилишда ҳам шу тартиб бузилмаслиги керак. Бунинг кристалл ўстиришда кристаллокимёнинг термодинамик принципларига амал қилинади. Бу принципларга кўра таркибловчилари кимёвий элементлар атомларидан иборат бўлган ҳар қандай тизимда элементларнинг миқдорлари қандай бўлишидан қатъий назар атомлар орасида кимёвий ўзаро таъсир юзага келади. Паст ҳароратларда атомлар эффектив зарядлари ва ўлчамларига мос ҳолда бир-бирига нисбатан ўзаро таъсир энергияси минимал бўладиган ҳолатни эгаллашга ҳаракат қиладилар. Лекин атомларнинг бундай жойлашишига кристалл тузилиши имкониятлари тўсқинлик қилади. Юқори ҳароратларда эса бу тўсқинликда атомларнинг иссиқлик ҳарорати ҳам кўшилади. Шунга қарамай, маълум иссиқлик шароитларида энтропиянинг ўзгариши ҳисобига тизимнинг термодинамик потенциалининг намоёниши кузатилади. Бу эса энергетик жиҳатдан тузилиш тўсиқлари мавжуд бўлган ҳолда ҳам турли таркибловчи (бирикмалар) нинг ўзаро ўрин алмашишидан ҳосил бўладилар қаттиқ қотишмалар ўстириш мумкинлигини кўрсатади.

Яримўтказгич моддалар ўзининг хоссаларини ёруғлик таъсирида сезиларли ўзгартириш хусусиятига эга. Масалан, кремнийнинг электр ўтказувчанлиги ёруғлик таъсирида 10^5 мартагача ўзгариши мумкин.

Лекин унинг сезгирлиги λ -1 мкм дан катта нурлар учун кремний кристалли деярлик шаффоф, яъни жуда кам ютилади. Тўлқин узунлиги λ -1 мкм дан кичик нурлар эса асосан кристаллнинг сирт қатламларида ютилиб қолади ёки қайтиб сочилади. Бундай турлар яримўтказгич ҳажмида эркин ток ташувчи зарядларни (электрон ва ковокларни) жуда кам ҳосил қилади.

Германий кристалли учун максимум ютилиш соҳаси тўлқин узунлиги λ -1,72 мкм, галлий арсениди учун λ -0,87 мкм бўлган нурларга тўғри келади. Яъни бу асосий яримўтказгич моддаларнинг фотосезгирлиги узоқ инфрақизил нурлар соҳасига тўғри келади.

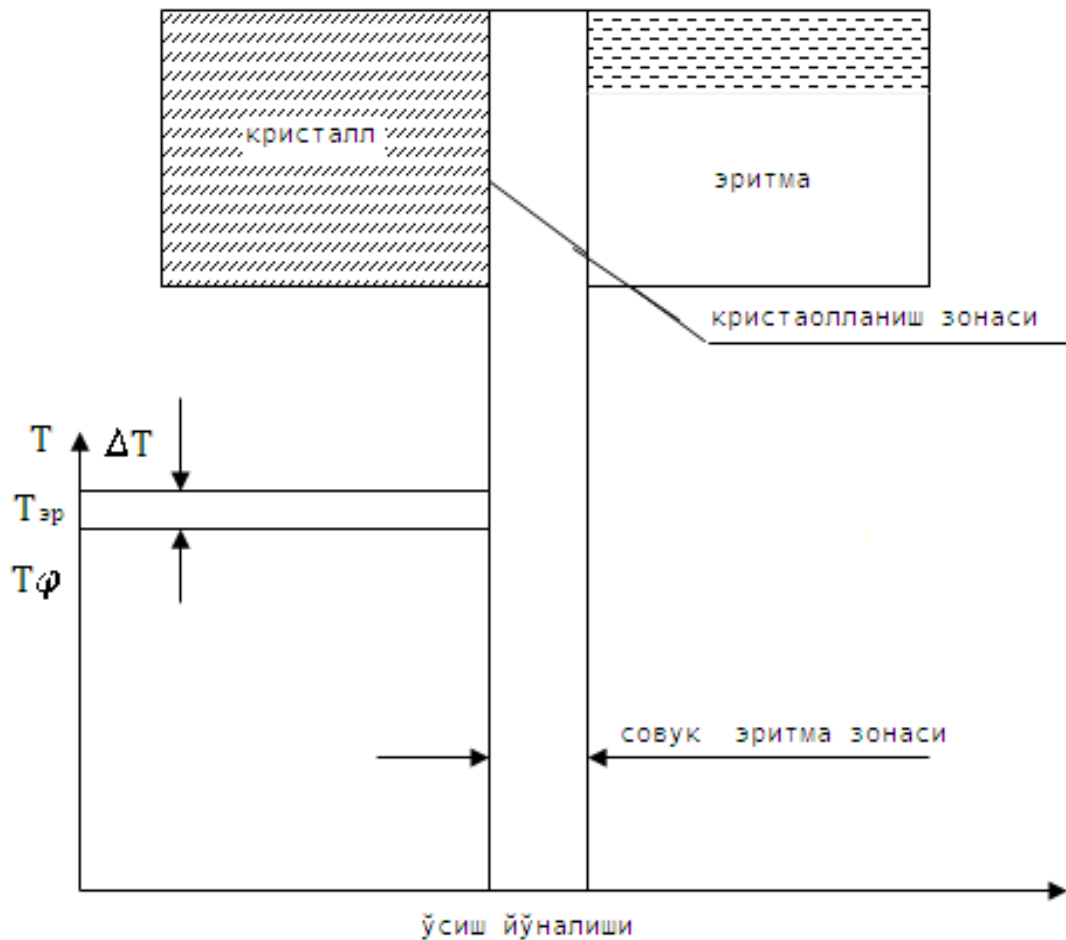
Ҳозирги замон оптоэлектроникаси учун эса инфрақизил ($\lambda < 1$ мкм) ва кўринувчи нурлар (λ -0,76÷0,36 мкм) соҳасида ишловчи сезгир асбоблар керак. Фотосезгирлиги бу диапозонга тўғри келган яримўтказгич асбобларни яратиш муҳим долзарб масалалардан ҳисобланади.

Яримўтказгич моддаларнинг ҳоссаларининг ўрганиш бўйича олиб борилган илмий тадқиқот ишлари эпитаксиялаш усуллари билан турли яримўтказгич моддаларнинг турли тартибдаги қатламларни ҳосил қилиш имкониятларини кўрсатади. Эпитаксиал ўстириш усули билан ҳоссалари яхши ўрганилган моддалардан юқори фотоэлектрик параметрларга эга бўлган янги типдаги қаттиқ қотишмали яримўтказгич моддалардан мукамал монокристалларни ўстириш мумкин. Шундай моддалар қаторига $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ таркибли тузилмаларни ҳам киритиш мумкин. Бу модда таркибидаги Si ҳам, Zn Se ҳам мукамал ўрганилган моддалар сарасига киради. Шу сабабдан улар асосидаги мураккаб бирикмани ўстириш ҳам илмий, ҳам амалий жиҳатдан катта эътиборга эга.

Рух селениди кўринувчи ва инфрақизил (ИК)(0,5-12 мкм) соҳада ишловчи оптоэлектрон асбобларни яратишда ишлатилади.

Ушбу ишда эпитаксиал усулда ўстирилган $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) ўринбосар қаттиқ қоришмалар эпитаксиал қатламларни рентгенодиффактометриқ тадқиқот қилиш натижалари келтирилади. Бу ерда x қаттиқ қоришмада уни ташкил этувчи компоненталарининг бирининг фоизларда ҳисобланган атомий массаси ортиб бориши билан иккинчисиники камайишини билдиради. Бу қаттиқ қоришма аргон фазада суюқ эпитаксия усулида калийнинг чекланган ҳажмидаги қоришма қотишмасидан 800-1000° температура оралиқида палладийдан ўтказиб тозаланган водород муҳитида мажбурий совутиш йўли билан ўстириб олинади. Рентген дифракцияси ёрдамида ўстириб олинган эпитаксиал плёнкаларнинг тузилиши текширилади. Таглик сифатида солиштирма қаршилиги $\rho \approx 0,01$ Ом см ва аксентор ўтказувчанликдаги (111) кристалланиш йўналишдаги кремнийнинг монокристалли ишлатилади. Тагликнинг диаметри 20 мм ва қалинлиги 350 мкм га тенг. қоришма-қотишманинг таркибини аниқлаш учун $\text{Zn} + \text{Zn Se} + \text{Si}$ дан иборат тизим ўрганиб чиқилди.

$(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ қаттиқ қотишманинг шишасиман текс қатламини олиш учун унинг совутиш тезлиги 1-1,5 град/мин бўлиши зарурлиги аниқланади. Ўстирилган қаттиқ қотишмалар блокларининг ўлчами ~52 мм ва кристалл йўналиши (111)дан иборат бўлиб, бу йўналиш тагликнинг кристалл йўналиши билан бир хил ва электрон ўтказувчанликга эга, қалинлиги эса ~20мкм атрофида $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ қаттиқ қотишманинг ўсиш жараёни 1-расмда кўрсатилган.



1-расм. $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ каттик қотишманинг ўсиш схемаси

Электроника соҳасида $A^3 B^5$ ва бошқа турдаги кимёвий бирикмаларнинг қўлланиш соҳалари узлуксиз кенгайиб бормоқда. ҳозирги вақтда оптоэлектроникада информациянинг тасвирли тизимлари нурланиш манбалари ва қабул қилгичлар яримўтказгичли лазерлар ва бошқалар яратилишида кенг фойдаланилмоқда. Юқорида барча қурилмаларда яримўтказгичли тузилма фаол иштирок этади, одатда энг камида иккита авто-ёки гетероэпитаксиал қатлам мавжуд.

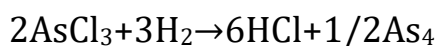
$A^3 B^5$ турдаги бирикмалар ва улар асосидаги каттик эритмаларни уларнинг эриш температураси ва буғланиши босимнинг балантлиги туфайли элементлардан тўғридан –тўғри синтез қилиш мураккабдир.

Галлий арсенид ҳавода 300°C температурада қиздирилиб оксидланади. 600°C дан бошланиб арсенид ажралиб чиқиш билан бирикма бир бирига боғлана бошлайди. Суюлиш температурасида буғ босими 10^{-5} Ра ни ташкил қилади. Фосфор буғининг босими $3,5 \cdot 10^6$ Ра ни ташкил қилади. $\text{As}^3 \text{ As}^5$ технологиясига қўлланилаётган сунъий кварс қотишма Са As кремний билан ифлослантиради.

Юқоридаги қийнчиликларни бирикманинг суюлиши эриш температурасидан пастроқ температурада газ фазадан $\text{As}^3 \text{ As}^5$ турдаги бирикмалар эпитаксиал қатламларни ўстиришда йўқотиш мумкин.

2-§. Мураккаб бирикмалар эпитаксиасининг кинетик хусусиятлари.

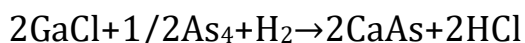
$\text{Ga-As Cl}_3\text{-H}_2$ тизимларининг ўстиришнинг афзалликлари шундаки битта реакторга As Cl_3 ва юқори тозалikka арсенид ва водород хлориди олиш мумкинлигидир. Бу тизимда галлий арсениди эпитаксиал қатламнинг олиш қурилмасида ишлатилган реактор учта қизиш зонасига эга. Унинг киришга водородли буғ As Cl_3 аралашма келади ва биринчи зонада қуйидаги реакция содир бўлади:



Иккинчи зонада биринчи зонадан келган водород хлориди эритма галлий билан ўзаро таъсирлашади. 700°C дан юқори температурадан ортиқча галлий маҳсулоти таъсирида галлий субхлориди, пайдо бўлади.



Учунчи зонада гетерген реакция натижасида галлий арсениди синтези ва тагликда эпитаксиал қатлам ҳосил бўлади.

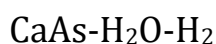
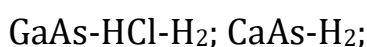
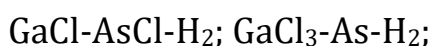


Жараённинг ўзига хос хусусияти иккинчи зонадан арсеник билан галлий эритмасининг тўхташидир.

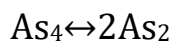
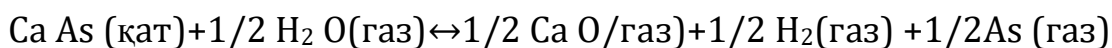
Эритма тўйингандан сўнг унинг сиртида галлий арсениди пардаси ҳосил бўлади, зонага келувчи ортикча арсенид водород оқими билан қўшилиб кетади ва реакторнинг совуқ қисимларига ўтиради.

Одатда тагликни галлий эритмаси арсеник билан тўйиниш жараёни тугаган жойга киритилади.

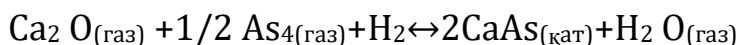
Галлий арсенидининг бошқа тизимларидан ҳам эпитаксиал катламларни олиш мумкин. Булар:



тузимларидир. Ўтириш зонасидаги кимёвий реакциялар кинетикаси ўхшаш. Фақат охириги тизимда, фаркли 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.



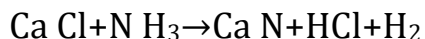
Температура 50% кам бўлган зонада, яъни ўтириши зонасида галлий арсениднинг синтези рўй беради ва бу ерда сув ажралиб чиқиши ҳам кузатилади.



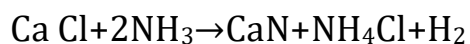
Галлий арсениди ўстириши учун хлоридгидридли $\text{Ca-HCl-AsH}_3\text{-H}_2$ дан ҳам фойдаланиши мумкин.

Эпитаксияни хлорид-гидридли $\text{Ca-HU-NH}_3\text{Ar(He)}$ тизимида олиб борилади. Галлийни хлорлаш зона температураси $800^0\text{-}850^0\text{C}$ бўлганда галлий субхлориди Ca Cl ҳосил бўлгунча давом эттириб, сўнг инерт газ оқимида ўстириш зонасига ўтказилади. Боғланмаган канал орқали

ўтказиш зонасига амиак тўғридан-тўғри тағликка берилади. Бу ерда 1050⁰-1100⁰С температурада гетероген реакция юз беради.



қисман жараён қуйдагича бўлиши ҳам мумкин.



Реаксияда катнашувчи газлар ва буғлар зичлиги бўйича бир-биридан кучли фарқ қилади, шунинг учун, эпитаксиал ўстириш бир жинсли бўлиши учун юз оқимларини юқори тезликда ўтказилади. Шунинг учун бу аралашма гулхан режм дейилади. Бунда газ аралашма ганонлашмаган бўлади ва у $\text{A}^3 \text{B}^5$ бирикмалар эпитаксиясидан фарқ қилади.

3-§. $\text{A}^3 \text{B}^5$ бинар ва учлик яримўтказгич бирикмаларнинг суюқ фазадан эпитаксияси.

Суюқ фазада эпитаксия кўпчилик $\text{A}^3 \text{B}^5$ бинар ва учлик яримўтказгич бирикмалардан ўтказиш учун, айниқса турли тағликларда кўп қатламли р-п ва изотурларда тузилмаларни олиш учун қўлланилади. Суюқ фазали эпитаксияни афзалликлари; стехиометрик эритмадан фойдаланиш зарур эмаслигини; фаза ўсиши температура комбинацияси ва ликвидус чизиқига яқин таркибида юз бериши; бу ўз навбатида қатламларда кимёвий тузилиш нуқсонлари зичлигини камайтиришига, температура пасайиши билан кўпчилик киришмаларнинг тақсимот коэффисентини камайтиришига имкон беради. Иссиқлик ва консиялар зичлиги ҳам камаяди.

Суюқ фазада эпитаксия усули, тағликка нисбатан, қатламда диспаксия зичлиги камайишига олиб келиб, ёруғлик асбобларда юз берадиган нурланишсиз рекомбинация жараёнларини камайтиради.

III-БОВ. Кремний таглигида суюқ фазадан эпитаксиал қатламларни ўстириш ва улар тузилишининг физикавий асослари.

1-§. $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ эпитаксиал қатламларни ўстириш.

Илмий тадқиқот ишларида ва электрон асбоблар яратиш технологиясига бағишланган адабиётларда асосан $\text{A}^3 \text{B}^5$ бирикмалар, жумладан, Ga As устига турли усулларда ўринбосар қаттиқ қоришмалар ўстириш бўйича маълумотлар келтирилади. Кейинги йилларда эса C^4 тагликда, масалан Si_2 тагликда эпитаксиалл усуллар билан қаттиқ қоришмалар ўстириш ва уларнинг электрофизик хоссалари тўғрисида маълумотлар келтирилади.

Ушбу БМИда $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ва $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ қаттиқ қоришмаларни ўстириш ва уларни хоссаларини ўрганиш борасидаги маълумотлар келтирилади.

Тажрибалар суюқ қўрғошин (Pb) муҳитида олиб борилади. Бу усулда олиб борилганда, аввало эриш ҳарорати юқори бўлган моддаларнинг кристалланиш ҳарорати пасаяди сўнг ҳосил бўлаётган қоришмага бегона атомларнинг диффузияланиб кириш имкониятлари чекланади.

$(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ қаттиқ қоришма эпитаксиал усул билан кремний (Si) устига паулмей (Cd) ваолтингугурт (S) қатламларини атом массалари (X) ни танлаб ўстиришни билдиради. Ўстириши жараёнини амалга ошириш учун қалинлиги $\sim 350\text{мкм}$ ва диаметри 20мм ва р-тур ўтказувчанлиги эга бўлган (III) йўналишда ўстирилган кремнийкристалли танлаб олинади. Тажрибалар қўрғошинли (Si-CdS-Sn) эриган қоришмада олиб борилади. Технологик жараёнлар амалга оширган параметрлар қуйдагича бўлиши аниқланди: Кристалланишнинг бошланиши температураси $\sim 950^\circ\text{C}$, тагликнинг

юқори ва пастки қисмлари ораси -1мм, қоришма эритмасининг совутилиш тезлиги -1град/мин. Ўстирилган кристаллар ялтироқ текс сиртга эга бўлиб, улар (III) йўналишда ўсган, n-тур ўтказувчанликга эга ва солиштирма қаршилиги $\rho \sim 0,016 \text{ Ом см}$ ни ташкил этади.

Ўстиришнинг технологик режмаларини танлаб, 10-25мкм қалинликдаги эпитаксиал қатламлар олиш мумкин.

Ўстирилган эпитаксиал қатламлар $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ нинг сирти ва синдирилган кирраларини микрозаррали рентген нурлари билан ўтказилган тадқиқотлар кўрсатадики, қатлам таркибидаги моддалар тақсимооти сирт бўйлаб бир хилда бўлиб, макроскопик деффектлар металл қолдиқлар мавжуд эмаслиги аниқланди. қаттиқ қоришма $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ нинг таркиби парда қалинлиги бўйича $0 \leq x \leq 0,01$ оралиқда бир текс ўзгариб боради.

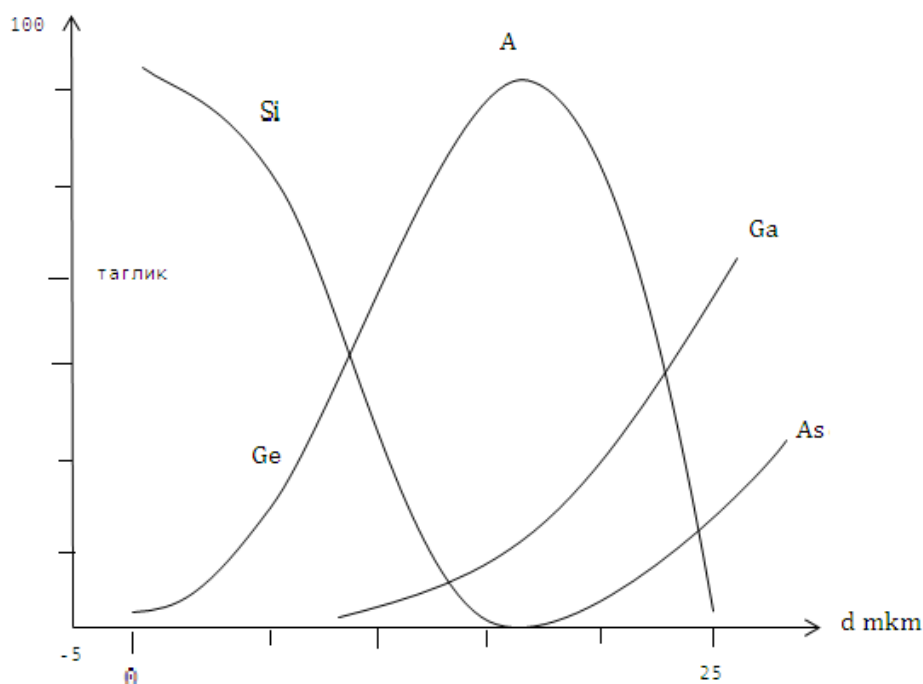
2-§. $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_y$ эпитаксиал қатламларни ўстириш.

Панжара доимийси $a=5,41^{\circ}\text{А}$ бўлган кремний (Si) билан пвнжврв доимийси $a=5,65^{\circ}\text{А}$ бўлган (GaAs) арсенидгаллийнинг ҳам эпитаксиал қатламлари ўстирилди. Бунда бир кристладан бошқасига ўтишда кристалл доимийлари орасидаги тофовутлар билан боғлиқ муаммоларни камайтириш мақсадида, кремнийли тагликдан арсенидгаллий кристаллига ўтишда оралиқ қатламлардан фойдаланилади. Бу оралиқ воситага қатлам сифатида қуйдаги таркибли аралашмадан фойдаланилади: Si_2 , SiGe , Ge_2 ва GaAs . Бу ердаги Si_2 , SiGe , Ge_2 ва GaAs молекулаларининг атомларининг ковалент радиуслари йиғиндиси бир-биридан 4,3% кўп фарқ қилмайди. Бошқача айтганда, бу моддалар параметрлари ўринбосар қаттиқ киришмалар ҳосил қилиш шартини қаноатлантиради.

Бу таркиб асосида диаметри 20мм, қалинлиги-350мкм, ва (III) йўналишда ўстирилган кремний монакристалли устига кўрғошининг (Si , Ge , GaAs-Pb) таркибли қоришма-эритмасида $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ таркибидаги қаттиқ қоришма қатламлари ўстирилади.

Кўзгусимон текс сиртга эга бўлган $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ қаттиқ қоришманинг эпитаксиал қатламларини ўстириш қуйдаги технологик жараёнда олиб борилади кристалланишнинг бошланиш температураси – 850°C , қаттиқ қоришмани совутиши тезлиги $-1^\circ\text{C}/\text{мин}$, тагликлар оралиғи $1\div 1,5$ мм ни ташкил этади. Ўстирилган қатламлар р-тур ўтказувчанликга эга. Ўстириш жараёни параметрларига боғлиқ ҳолда $20 \div 55$ мкм қалинликдаги эпитаксиал пардаларни олиш мумкин.

Ўстирилган эпитаксиал қатламларни синдириб уларни ён кирралари “Jeol” JSM5910LV-Япон ресурсли рентген микроанализаторида ўрганилади. Олинган натижалар кўрсатишича ўстириш туфайли текс эпитаксиал қатлам ҳосил қилинган, унда қаттиқ қоришманинг дастлабки ўтиш қатлами, эпитаксиал қатламда Ge , Ga ва As атомларининг мавжудлиги аниқланди. 2-расмда Ge , Ga ва As атомларининг $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ қатлам бўйлаб тақсимооти кўрсатилган. Тажриба натижаларининг таҳлили кўрсатадики, Si дан иборат тагликда суюқ эпитаксия жараёнида дастлаб $\text{Si}_{1-x}\text{Ce}_x$ қаттиқ қоришма ҳосил бўлиб, унда Ge нинг миқдори бир текс ортиб боради. Бу қатлам таркиби $\text{Si}_{0,8}\text{Ce}_{0,2}$ ($x=0,2$)га етгунча унда Ga As нинг миқдори 1мол% дан кам бўлар экан.



2-расм. Эпитаксиал қатламда Si, Ge, Ga ва As атомлари тақсимооти.

Германий (Ge) миқдори ортиб бориб 20 ат% га етганда Si-Si молекулаларини ўрнини GaAs молекулалари тезлик билан эгаллай бошлайди. Ўсаётган эпитаксиал қатлам қалинлиги ортиб бориб, Si миқдори камайиб боради. Бу жараён қоришмада Ge миқдори 90 ат % га етгунча давом этади ва шу тариқа $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0,20 \leq x \leq 0,90$) таркиб кўринишдаги германий миқдори кўп бўлган (А нуқта) қаттиқ қоришма қатлами юзага келади. Эпитаксиал қатлам ўсиши давом этиши билан унда GaAs миқдори ортиб бориб, унинг миқдори эса камаяди. Натижада қуйидаги таркибдаги $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ ($0,09 \leq x \leq 0,92$) қаттиқ қоришма қатлами ҳосил бўлади. Бу қаттиқ қоришманинг сирт қатлами, асосан GaAs кристаллига под панжара параметрлари билан ифодаланади. Шундай қилиб, пастки қисми Si кристаллига оид, юқори қисми GaAs кристаллига оид эпитаксиал қатлам ҳосил бўлади. Унинг формуласи қуйидагича бўлади: $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_y$.

**IV-БОБ. $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) ва $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$
тузилмаларнинг фотоэлектрик хоссалари.**

1-§. $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилманинг фотоэлектрик хоссалари.

Ишнинг бу қисмида суяқ фазадан эпитаксиал усулда ўстирилган каттик қотишмалар $(\text{Si}_2)_x (\text{CdS})_x$ ва $(\text{Si}_2)_{1-x-y} (\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ асосида яратилган р-п ўтишли намуналарнинг электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш бўйича олинган натижалар келтирилади. Тажрибалар ўтказиш учун намуналарга вокуумда кулларини чанглатиш усили билан очик контактлар ўрнатилади.

Солиштирма қаршилиги $\rho \sim 0,016$ Ом см ва қалинлиги $d=25$ мкм бўлган базавий $n(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) каттик қоришма устида рSi тузилишли қатлам ўрнатилиб р-п-ўтиш ҳосил қилинади. Таглик рSi нинг солиштирма қаршлиги 10 Ом см га тенг.

рSi- $n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилманинг вольтампер характеристикаси 243 К да 423 К температура оралиғида ўрганилади. (3-расм). Бу характеристиканинг дастлабки қисми 0,5В гача қуйидаги назарий боғланишга мос келади:

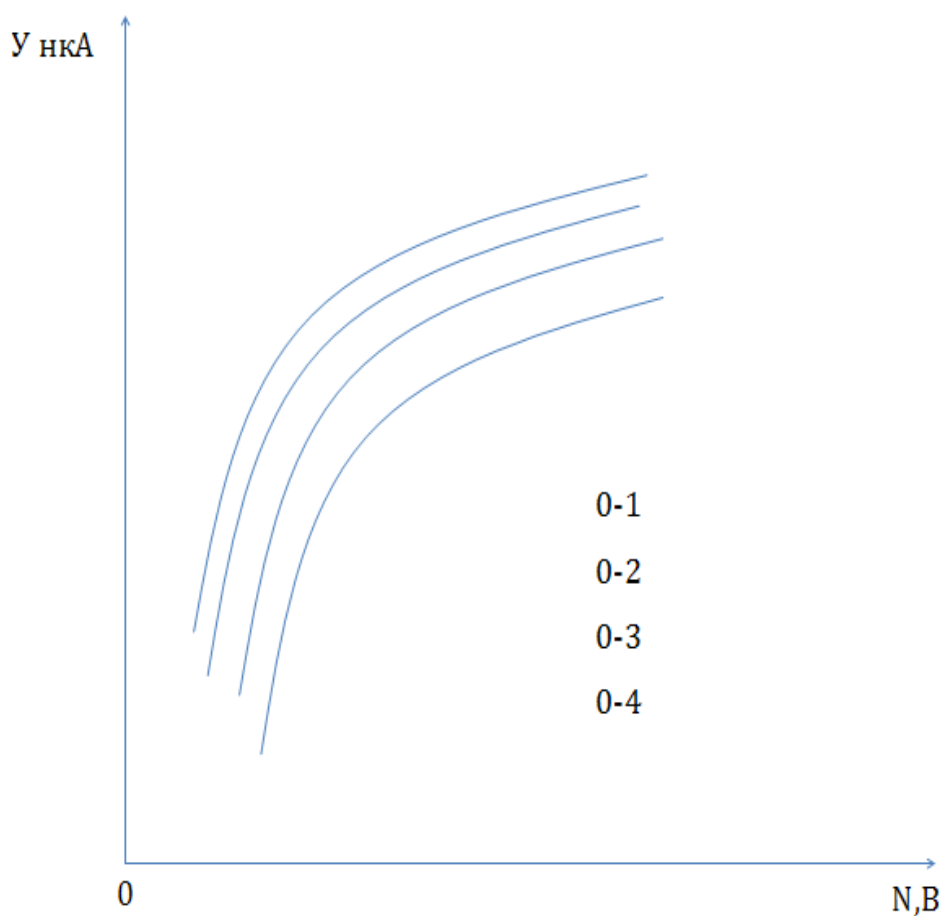
$$Y=Y_0 \exp (qV/cKT) \quad (1)$$

Бунда q -электрон заряди, k -Больцман доимийси, V -нурланиш, T -абсолют ҳарорат.

(1) формуладаги экспонента даражасидаги C катталики тажриба натижалари асосида қуйидаги боғланишдан аниқлаш мумкин.

$$C = \frac{q}{kT} \cdot \frac{V_2 - V_1}{\ln(J_1 / J_2)} \quad (2)$$

Бу ерда U_2/U_1 кучланишнинг V_1 ва V_2 қийматларидаги миқдорлари.
 Хона температурасида $C \approx 5,71$ га тенг бўлади.



3-расм. $pSi_n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилманинг турли температурадаги вольтампер характеристикаси.

Тажриба натижаларидан асосий бўлмаган зарядларнинг диффузия узунлиги L_p ни ҳам топиш мумкин C ва L_p нинг турли температураларидаги қиймати 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал.

T						
C						
L_1						

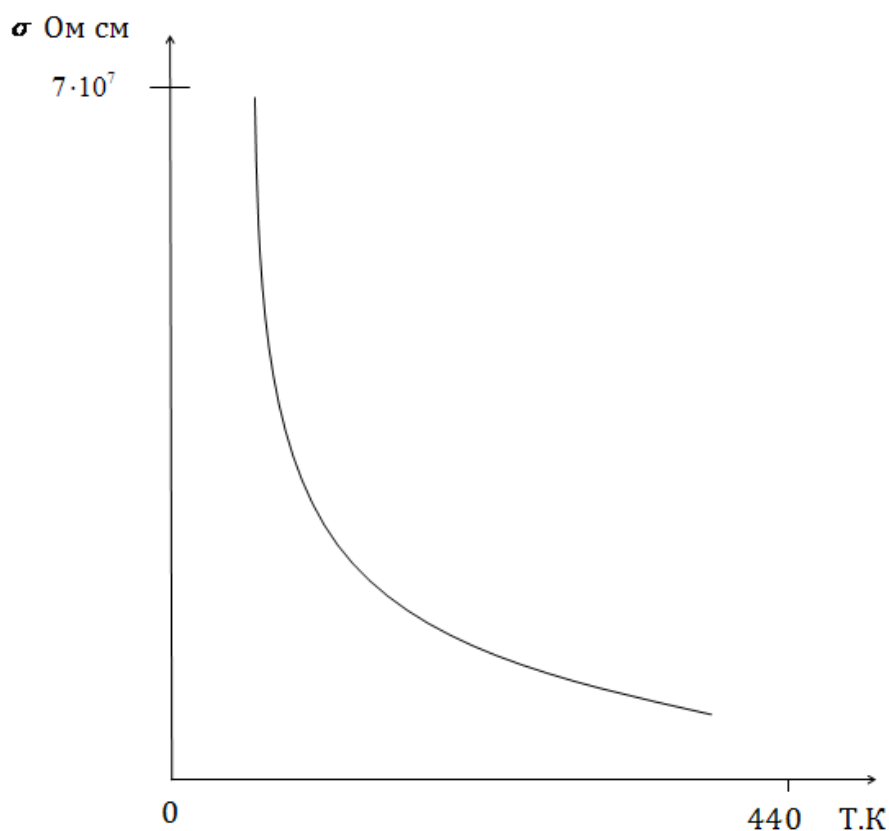
Жадвалдан кўриниб турибдики, тажриба ўтказилган температура жараёнида L_p миқдори температурага кучсиз боғланган.

(1) формуладаги Y_0 катталикини қуйдагича аниқлаш мумкин:

$$Y_0 = \frac{kT}{q} \cdot \frac{s \cdot v \cdot ch\left(\frac{d}{L_p}\right)}{2(v+1) \cdot L_p \cdot \rho \cdot tq\left(\frac{d}{2L_p}\right)} \quad (3)$$

Бу ерда S -намуна юзаси, $\rho - p - n$ —ўтишнинг солиштирма қаршлиғи, ушбу тажриба учун $v \approx 29$ га тенг бўлган миқдор.

Тажрибадан Y_0 миқдорни аниқлаб, (3) формула ёрдамида ρ ни ҳисоблаш мумкин. ρ нинг турли температурадаги қийматлари 4-расмда келтирилган.



4-расм. $pSi_n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилма учун солиштирма қаршилиқнинг температурага боғлиқлик графиги.

4-расмда ҳам таглик pSi билан $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ эпитаксиал парда орасида юқори қоришмали қатлам ҳосил бўлиши кўриниб турибди. Бу қатлам қаршилиги хона температурасида $7,2 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ га тенг.

Температура ортиши билан юқори Ом ли қатлам қаршилиги камайиб боради. Бу ходисани температура ортиши билан бу қатламда эркин зарядлар концентрациясининг иссиқлик туфайли кўпайиши билан изоҳлаш мумкин.

3-расмга кўра кучланишнинг $1,7 \div 3 \text{ В}$ оралиқдаги қийматларида температурага боғлиқ бўлмаган чизиқли боғланишга яқин қисмлар мавжуд. Бу қисмлар инъекцияли қашшоқлашув назариясида кўрсатилган қуйидаги боғланиш билан ифодалаш мумкин:

$$V = V_0 \exp(J \alpha d) \quad (4)$$

Бу ерда $\alpha = 1 / (2qD_n N_i)$ -асосий зарядларнинг фақат диффузия ва чуқур киришмаларнинг коэффицентларига боғлиқ бўлган параметр, J-ток зичлиги.

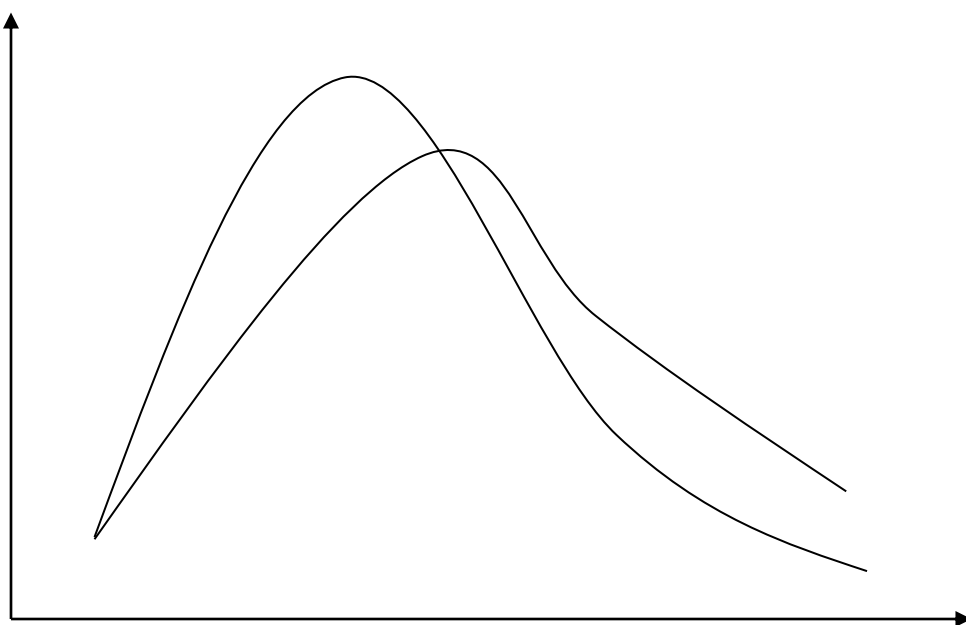
Вольтампер характеристикасидан α коэффисентни аниқлаш мумкин:

$$\alpha = \frac{\ln(V_2 / V_1) \cdot S}{(J_2 - J_1) d} \quad (5)$$

α -коэффисент қийматлари орқали чуқур киришмаларнинг N_i концентрацияни аниқлаш мумкин. Ўрганилган намуналарда чуқур киришмалар концентрацияси $N_i = 9,210^{12} \text{ см}^{-3}$ га тенглиги аниқланади.

Агар кремний pSi-nSi тузилмаларда эпитаксиал nSi қатлам n $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) каттиқ қоришма билан алмаштирилса, уларнинг спектрал сезгирлиги қисқа тўлқинлар томонга силжийди. Бу ҳолат 5-расмда

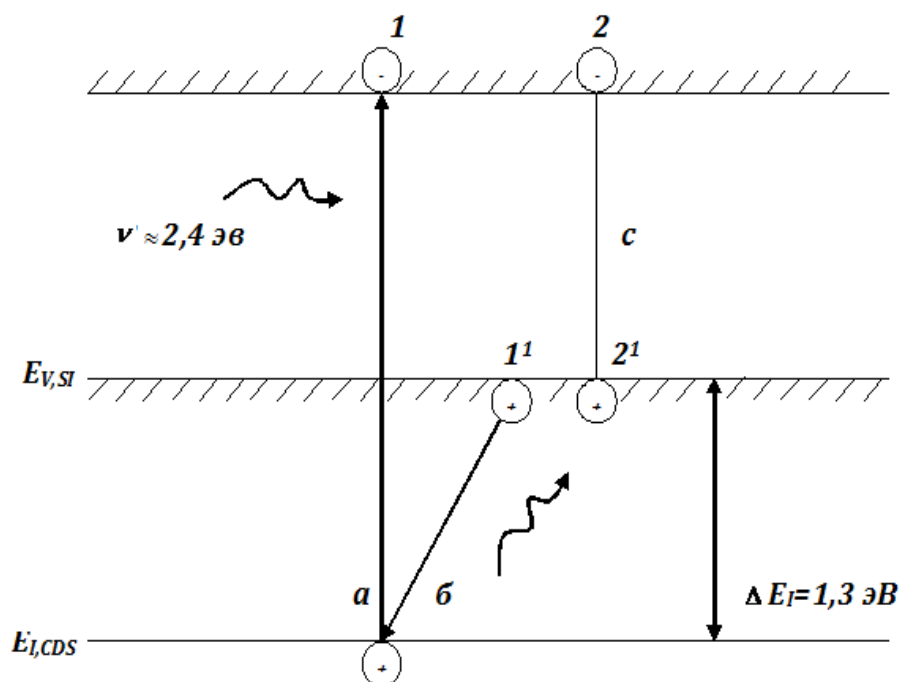
кўрсатилган (2,3,4 эгри чизиклар). Шу билан бирга тузилма сезгирлигининг максимум энергияси ҳам катта энергия фотонлар томонга силжийди. Эпитаксиал қатламли $n(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) қаттиқ қоришмалардан тайёрланган намуналарнинг спектрал сезгирлиги спектрнинг қисқа тўлқинли қисмида энергияси $E_{\text{cds}}=2,35$ эВ бўлган максимум кузатилади. Кадмий сульфид кристалл панжарасидаги Cd-S боғланишнинг ионлашиш энергияси $E_{\text{cds}}=2,48$ ЭВ. Бу энергия кремнийнинг кристалл панжарасидаги Si-Si молекуладаги атомлар боғланишидан анча кучли. Лекин Cds молекулалари кремнийнинг тетраэурин панжарсида иккита кремний атомли ўрнини эгаллаб қаттиқ қоришма ҳосил қилганда, Cd-S боғланиш унинг атрофидаги кремний атомлари таъсирида кучсизланади. Бу эса қаттиқ қоришма $(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ нинг кристалл панжарасига жойлашиб олган Cds молекулаларининг ионизация энергиясини $\Delta E = E_{\text{cds}} - E_{\text{ph}} = 2,48 \text{ эВ} - 2,35 \text{ эВ} = 0,13 \text{ эВ}$ га камайтиради (5-расм).



5-расм. p Si- $n(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) қаттиқ қоришмадан тайёрланган турли намуналарда кузатилган спектрал фотосезгирлик.

1- $n\text{Si}$ нинг эпитаксиал қатлами бўлган намуна; 2,3,4- $n(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ қаттиқ қоришманинг эпитаксиал қатлами бўлган намуналар.

Коволент боғланишли Cd-S дан электронларнинг фотоэмиссияси худди шундай боғланишли Si-Si дагидан анча кучли. Рентген микротаҳлили натижаларидан аниқланишича ўстирилган эпитаксиал $E_{ph} \geq 2,2$ эВ нинг молларда ҳисобланган миқдори $\sim 1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ни ташкил этади. Шу сабабли ҳам қаттиқ қоришма $n(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ дан иборат эпитаксиал қатламли намуналарда спектрнинг қисқа тўлқинли қисмида фотон энергияси $E_{ph} \geq 2,2$ эВ бўлган соҳдан бошлаб фотосезгирлик ортиб боради. Бу ҳодисани изовалентли аралашма Cd-S га фотовольтаик эффект таъсири деб қарасак, уни қуйдагича изоҳлаш мумкин. Энергияси $E_{ph} \geq 2 E_{q, \text{Si}}$ бўлган фотонлар ковалент боғланишли Cd-S да ютилиб $E_{i, \text{CdS}}$ сатҳларда жойлашган ковокларни ҳосил қилади. (6-расм, а-ўтиш). Бу ковоклар ўрнига кремнийнинг валент соҳаси шпидаги электрон ўтиб, $E_{hv} \geq 2 \cdot E_{d, \text{Si}}$ энергияли ковалентлар нурлантиради (6-расм, б-ўтиш). Бу квантлар кремний атоларида ютилиб, қўшимча электрон-ковак жуфтларини ҳосил қилади (6-расм, с-ўтиш). Бундай ютилишлар туфайли энергияси $E_{ph} \geq 2 E_{q, \text{Si}}$ бўлган фотонлар икки жуфти ток ташувчиларни юзага келтиради ($1,1^1$ ва $2,2^1$). Бу ҳодиса энергияси $E_{ph} \geq 2 E_{d, \text{Si}}$ бўлган фотон соҳасида қаттиқ қоришма $(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ нинг спектрида фотосезгирликнинг ортиши сабабчиси бўлади деб айтиши мумкин.



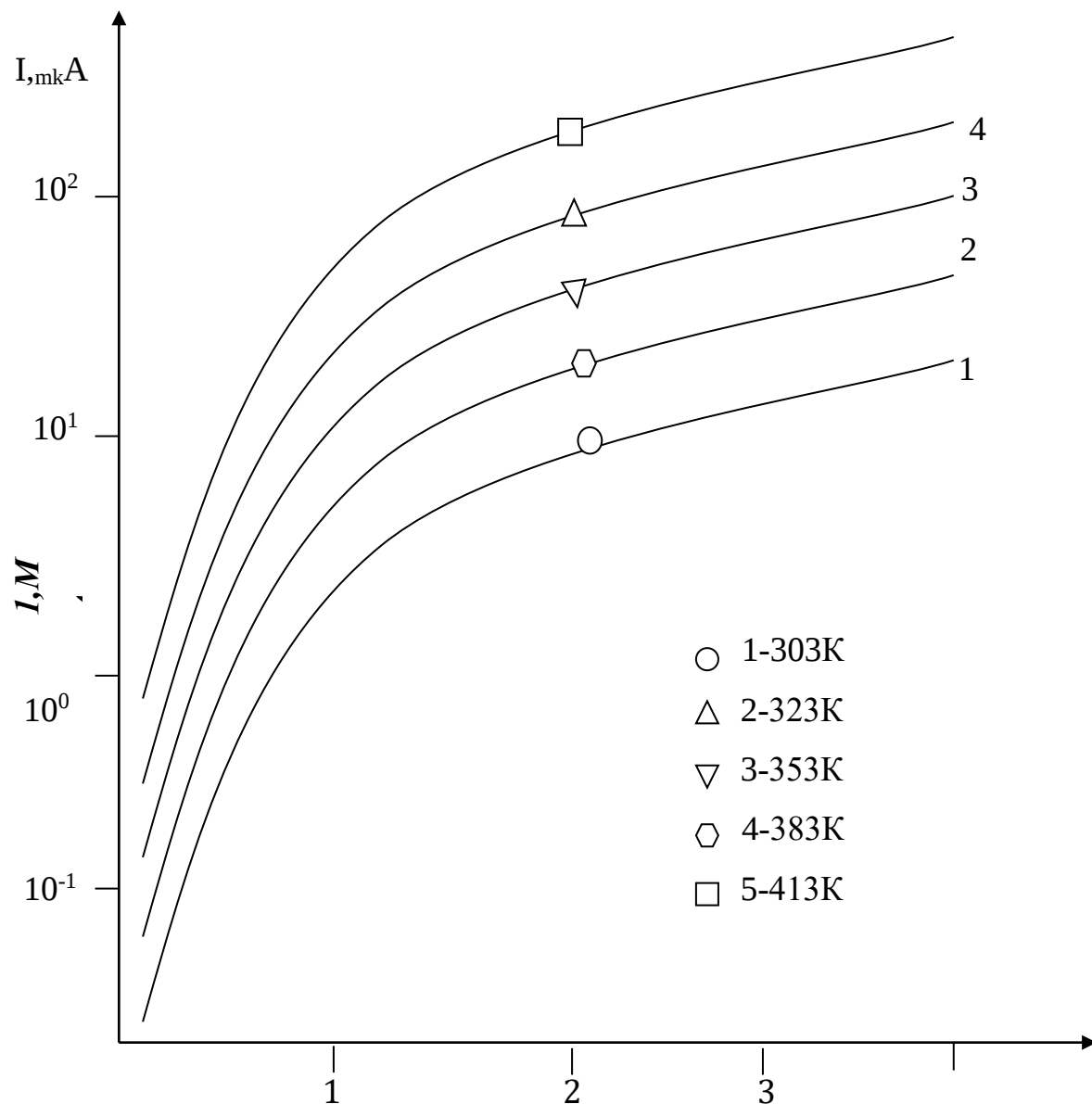
6-расм. Каттик қоришма $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})$ нинг сохавий тузилиши, диаграммаси ва ундаги электрон утишлар.

2-§. $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ тузилманинг фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш.

Юқоридаги бобларда (III-боб, 1-§) кўрғошиннинг Si-Ge-GaAs-Pv таркибли қоришма эритмасида каттик қоришма $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ нинг эпитаксиал тузилмаларини ўстириш технологияси ва ҳосил қилинган қатламларда ташкил этувчи компоненталарнинг жойлашиши ҳақида маълумот берилди.

БМИ нинг ушбу қисмида шу тузилмалар асосида яратилган намуналарнинг электрон ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш бўйича олинган маълумотлар келтирилади.

Қаттиқ қотишмали $n\text{Si-}\rho(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ эпитаксиал ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) тузулманинг 303-413 К температуралар оралиғида олинган вольтамперхарактеристика ВАХ лари натижалари 7-расмда кўрсатилган.



7-расм. $n\text{Si-}\rho(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) тузилманинг турли хароратдаги ВАХ лари.

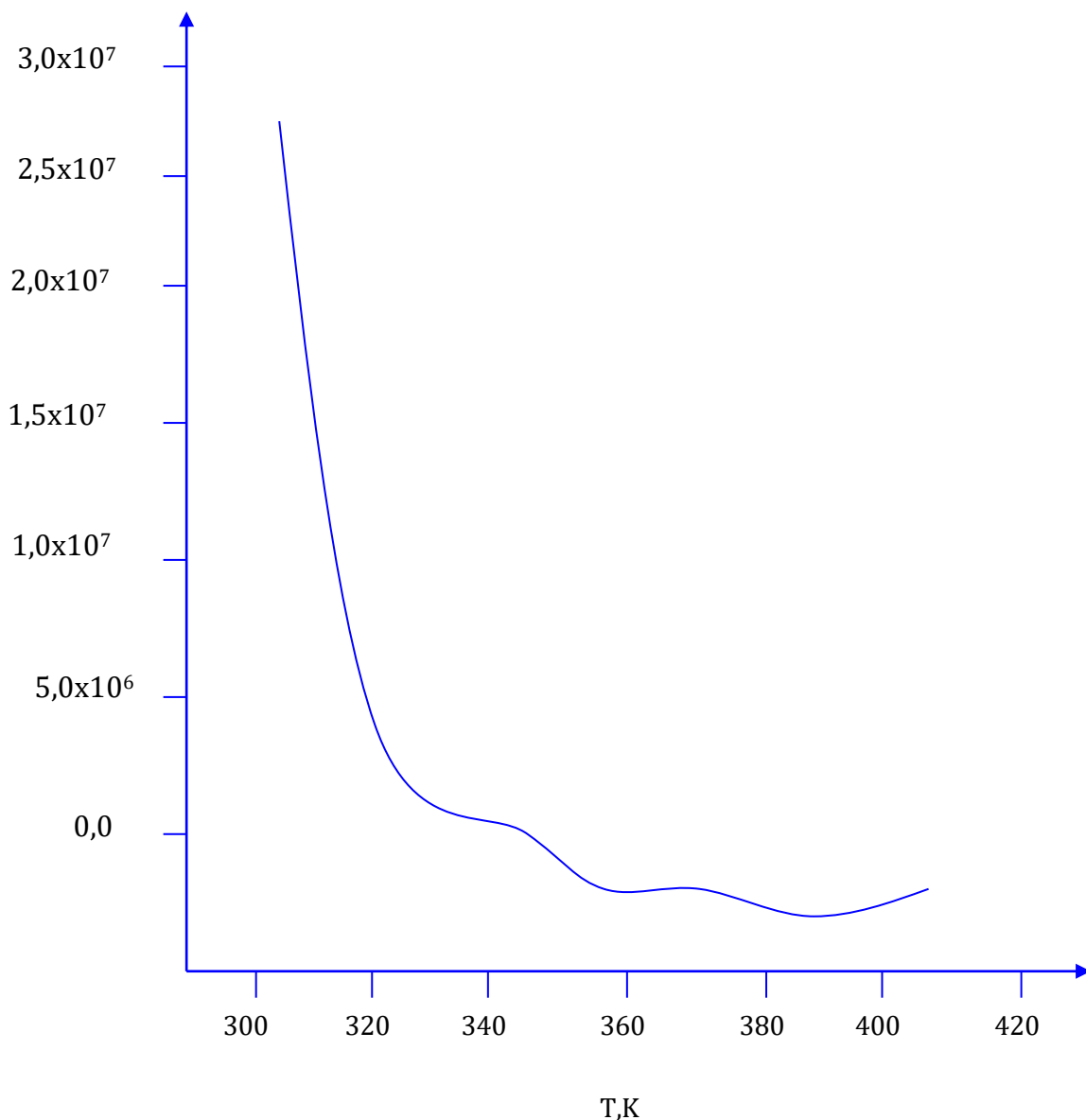
Тузилманинг $n\text{Si-}\rho(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) қатламанинг солиштирма $\rho \sim 0,5$ Ом см ва қалинлиги ~ 25 мкм. ВАХ нинг дастлабки қисми (1) формулага жуда яхши мос келади. Бунда хона температурасида экспонента кўрсаткичи $C=5,7$ га тенг. Асосий ток

ташувчилар ковоклар ҳисобланади, уларнинг Холл услуби билан аниқланган ҳаракатчанлиги $\mu=800 \text{ см}^2/\text{вс}$ га тенг. У ҳолда $v = \mu_n / \mu_p$ нисбат 14,5 га тенг бўлади. Ушбу натижалар асосида C нинг ва асосий бўлмаган зарядларнинг диффузия йўли узунлиги L_n нинг ҳисобланган қийматлари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал.

T, K
 C
 L_n, MKM

(4) формула ва ВАХ натижалари асосида эпитаксиал тузилмага ўстирилган nSi ўтиш қатламининг солиштирма қаршилиги турли ҳароратлар учун ҳисоблаб топилиши мумкин. Ҳисоблашлар натижалари 8-расмда келтирилган.

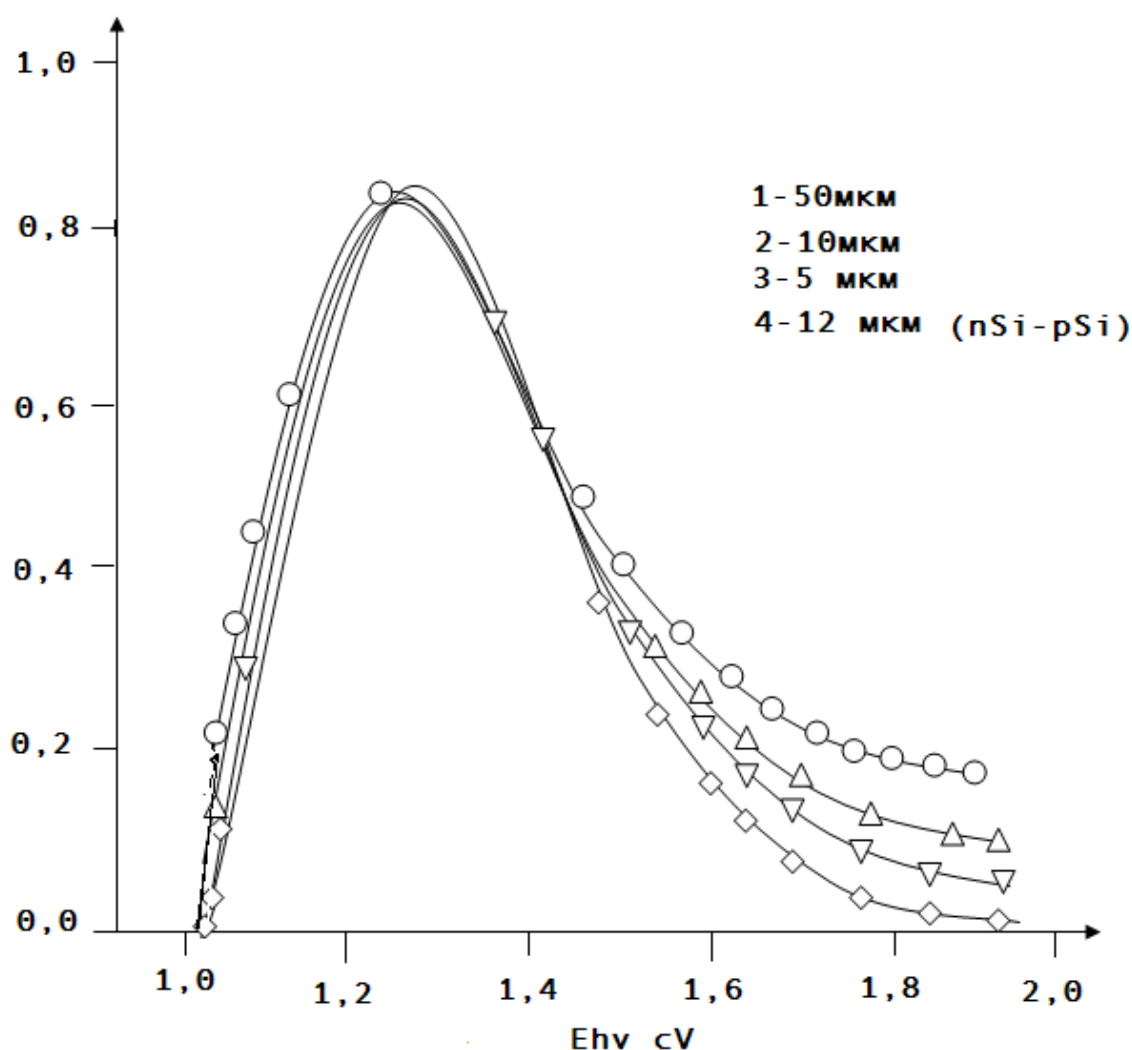


8-расм. Si-ўтиш қатламининг солиштирма қаршилиги.

Расмдан кўриниб турибдики, таглик билан эпитаксиал парда оралиғида юқори Омли қаттиқ қотишмали қатлам ҳосил бўлади. Бу қатламнинг хона ҳароратидаги солиштирма қаршилиги $\rho \sim 2,6 \cdot 10^7$ Ом см га тенг.

7-расмга кўра айтиш мумкинки, намунага қўйилган кучланишнинг 1,5 дан 3 В гача бўлган қийматларида барча намуналар ВАХсида чизиқли боғланишга яқин қисмларга эга.

Турли қалинликдаги $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) қатламларнинг спектрал фотосезгирлиги бўйича олинган натижалар 9-расмда кўрсатилган Ga As нинг мол миқдори (92 мол%) ортиб бориши билан спектрнинг қисқа тўлқинли томонида фотосезгирликнинг ортиши, Ga As нинг камайиши билан фотосезгирликнинг пасайиши кузатилади.



9-расм. Турли қалинликдаги $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ эпитаксиал қатламларнинг спектрал фотосезгирлиги.

Фотосезгирлик спектрининг $E_{ph} \approx 1,55$ эВ энергияси атрофидаги кучайишинин (9-расм, 2-чирик) қаттиқ қотишма $\text{Si}_{0,72}\text{Ge}_{0,28}$ нинг кристаллик панжарасида жойлашган ковалент боғланишли Ga As молекулаларининг ионлашиши билан боғлашилган.

Хулоса.

Ушбу битирув малакавий ишимнинг мавзуси бўйича ўрганиб чиқилган маълумотлар асосида қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин.

1. Ҳозирги пайтда яримўтказгичли материаллар асосида яратилган турли туман хоссали электрон асбоблар яратилгани ва уларнингҳар хил асбоб-ускуналарда муваффақият билан ишалиталётганига қарамай янги хоссали яримўтказгичли материалларни яратишга бўлган талаб ўсиб бормоқда.

2. Дастлабки яримўтказгичли асбобларда уларнинг тоза монокристалларни олиш талаб қилинган бўлса, ҳозирги пайтда турли кимёвий элементларнинг бирикмалардан иборат эпитаксиал қатлам олиш технологияси ривожланмоқда.

3. Эпитаксиал усулда яримўтказгичли монокристаллар олишда сиёсий талаб бир-бири устига ўстириладиган параметрларнинг панжара доимийликлари ва температурадан кенгайиш коэффициентлари ўзаро яқин бўлиши ҳисобланади. Бу йўлдаги изланишлар туфайли $A^3 A^5$, $A^2 B^6$, $A^{II} B^{VI}$ C^V каби бирикмалар ҳосил қилинади ва улар асосида турли электрон асбоблар яратилади.

4. БМИ да турли моддалардан иборат тагликарда эпитаксиал қатламлар ўстириш технологияси ўрганиб чиқилади. Кремний ва германий эпитаксиясининг ўзига хос хусусиятлари ва уларнинг эпитаксия қатламларини ўстириш қурилмалари тўғрисида маълумотлар берилди.

5. Ҳозирги пайтда турли тўлқин узунликдаги ишловчи электрон асбоблар муҳим аҳамиятга эга бўлмоқда. Бундай асбобларнинг яратилиши яримўтказгичларнинг кўп қатламлари тузилмаларини ўстириш технология туфайли юзага келади. Бу тузилмалар эпитаксиал усулларда юпка пардаларни олиш билан амалга оширилади.

6. Кўп қатламлар тузилмалар дастлабки пайтда арсенид галлий кристалли устига эпитакциал усуллар билан турли элементларнинг юпқа пардаларини ўстириш билан ҳосил қилинмоқда. Илмий тадқиқот ишларида ва электрон асбоблар яратиш технологиясига бағишланган адабиётларда асосан A^3B^5 бирикмалар, жумладан, Ga As устига турли усулларда ўринбосар қаттиқ қоришмалар ўстириш бўйича маълумотлар келтирилади. Кейинги йилларда эса C^4 тагликда, масалан Si_2 тагликда эпитаксиалл усуллар билан қаттиқ қоришмалар ўстириш ва уларнинг электрофизик хоссалари тўғрисида маълумотлар келтирилади.

7. Ушбу ишда кремний тагликга эпитаксиал қатламлар устида олиб борилган тадқиқот ишлари ҳақида маълумот келтирилади.

Тажрибалар суюқ кўрғошин (Pb) муҳитида олиб борилади. Бу усулда олиб борилганда, аввало эриш ҳарорати юқори бўлган моддаларнинг кристалланиш ҳарорати пасаяди сўнг ҳосил бўлаётган қоришмага бегона атомларнинг диффузияланиб кириш имкониятлари чекланади.

8. $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ қаттиқ киришма эпитаксиал усул билан кремний (Si) устига паулмей (Cd) ва олтингугурт (S) қатламларини атом массалари (X) ни танлаб ўстиришни билдиради. Ўстириши жараёнини амалга ошириш учун қалинлиги $\sim 350\text{мкм}$ ва диаметри 20мм ва р-тур ўтказувчанлиги эга бўлган (III) йўналишда ўстирилган кремнийкристалли танлаб олинади. Тажрибалар кўрғошинли (Si-CdS-Sn) эриган қоришмада олиб борилади.

9. Ўстирилган кристаллар ялтироқ текс сиртга эга бўлиб, улар (III) йўналишда ўсган, n-тур ўтказувчанликга эга ва солиштирма қаршилиги $\rho \sim 0,016\text{ Ом см}$ ни ташкил этади.

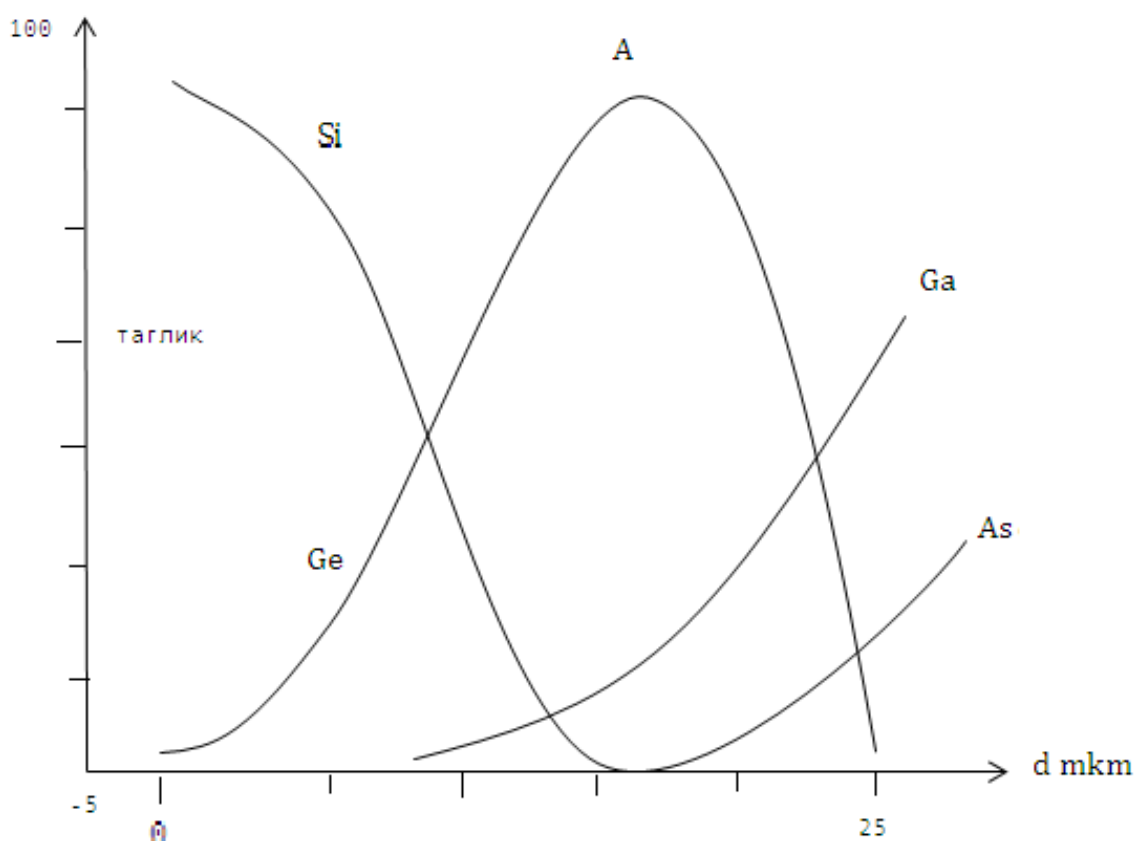
10. Ишда $Si-\rho(Si_2)_{1-x-y}(Ce_2)_x(GaAs)_y$ эпитаксиал қатламларни ўстириш бўйича ҳам маълумотлар келтирилади.

Панжара доимийси $a=5,41^{\circ}\text{A}$ бўлган кремний (Si) билан пвнжврв доимийси $a=5,65^{\circ}\text{A}$ бўлган (GaAs) арсенидгаллийнинг ҳам эпитаксиал қатламлари ўстирилди. Бунда бир кристладан бошқасига ўтишда кристалл доимийлари орасидаги тофовутлар билан боғлиқ муаммоларни камайтириш мақсадида, кремнийли тагликдан арсенидгаллий кристаллига ўтишда оралик қатламлардан фойдаланилади. Бу оралик воситага қатлам сифатида қуйдаги таркибли аралашмадан фойдаланилади: Si_2 , SiGe , Ge_2 ва GaAs .

11. Бу таркиб асосида диаметри 20мм, қалинлиги-350мкм, ва (III) йўналишда ўстирилган кремний монакристалли устига кўрғошининг (Si, Ge,- GaAs-Pv) таркибли қоришма-эритмасида $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ таркибидаги қаттиқ қоришма қатламлари ўстирилади.

Ўстирилган қатламлар р-тур ўтказувчанликга эга. Ўстириш жараёни параметрларига боғлиқ ҳолда $20 \div 55$ мкм қалинликдаги эпитаксиал пардаларни олиш мумкин.

12. Ўстирилган эпитаксиал қатламларни синдириб уларни ён қирралари “Jeol” JSM5910LV-Япон ресурсли рентген микроанализаторида ўрганилади. Олинган натижалар кўрсатишича ўстириш туфайли текс эпитаксиал қатлам ҳосил қилинган, унда қаттиқ қоришманинг дастлабки ўтиш қатлами, эпитаксиал қатламда Ge, Ga ва As атомларининг мавжудлиги аниқланди. 2-расмда Ge, Ga ва As атомларининг $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ қатлам бўйлаб тақсимооти кўрсатилган. Тажриба натижаларининг таҳлили кўрсатадики, Si дан иборат тагликда суюқ эпитаксия жараёнида дастлаб $\text{Si}_{1-x}\text{Ce}_x$ қаттиқ қоришма ҳосил бўлиб, унда Ge нинг миқдори бир текс ортиб боради. Бу қатлам таркиби $\text{Si}_{0,8}\text{Ce}_{0,2}$ ($x=0,2$)га етгунча унда Ga As нинг миқдори 1мол% дан кам бўлар экан.



2-расм. Эпитаксиал қатламда Si, Ge, Ga ва As атомлари тақсимооти.

13. Германий (Ge) миқдори ортиб бориб 20 ат% га етганда Si-Si молекулаларини ўрнини GaAs молекулалари тезлик билан эгаллай бошлайди. Ўсаётган эпитаксиал қатлам қалинлиги ортиб бориб, Si миқдори камайиб боради. Бу жараён қоришмада Ge миқдори 90 ат % га етгунча давом этади ва шу тариқа $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0,20 \leq x \leq 0,90$) таркиб кўринишдаги германий миқдори кўп бўлган (А нукта) қаттиқ қоришма қатлами юзага келади. Эпитаксиал қатлам ўсиши давом этиши билан унда GaAs миқдори ортиб бориб, унинг миқдори эса камаяди. Натижада қуйидаги таркибдаги $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ ($0,09 \leq x \leq 0,92$) қаттиқ қоришма қатлами ҳосил бўлади. Бу қаттиқ қоришманинг сирт қатлами, асосан GaAs кристаллига под панжара параметрлари билан

ифодаланади. Шундай қилиб, пастки қисми Si кристаллига оид, юқори қисми GaAs кристаллига оид эпитаксиал қатлам ҳосил бўлади. Унинг формуласи куйидагича бўлади: $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_y$.

14. Солиштира қаршилиги $\rho \sim 0,016$ Ом см ва қалинлиги $d=25$ мкм бўлган базавий $n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) қаттиқ қоришма устида pSi тузилишли қатлам ўрнатилиб p-n-ўтиш ҳосил қилинади. Таглик pSi нинг солиштира қаршлиги 10 Ом см га тенг.

pSi- $n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})$ ($0 \leq x \leq 0,01$) тузилманинг вольтампер характеристикаси 243 К да 423 К температура оралиғида ўрганилади. (3-расм).

15. 3-расмга кўра кучланишнинг $1,7 \div 3$ В оралиқдаги қийматларида температурага боғлиқ бўлмаган чизиқли боғланишга яқин қисмлар мавжуд. Бу қисмлар инъекцияли қашшоқлашув назариясида кўрсатилган куйидаги боғланиш билан ифодалаш мумкин:

$$V = V_0 \exp(J \alpha d) \quad (4)$$

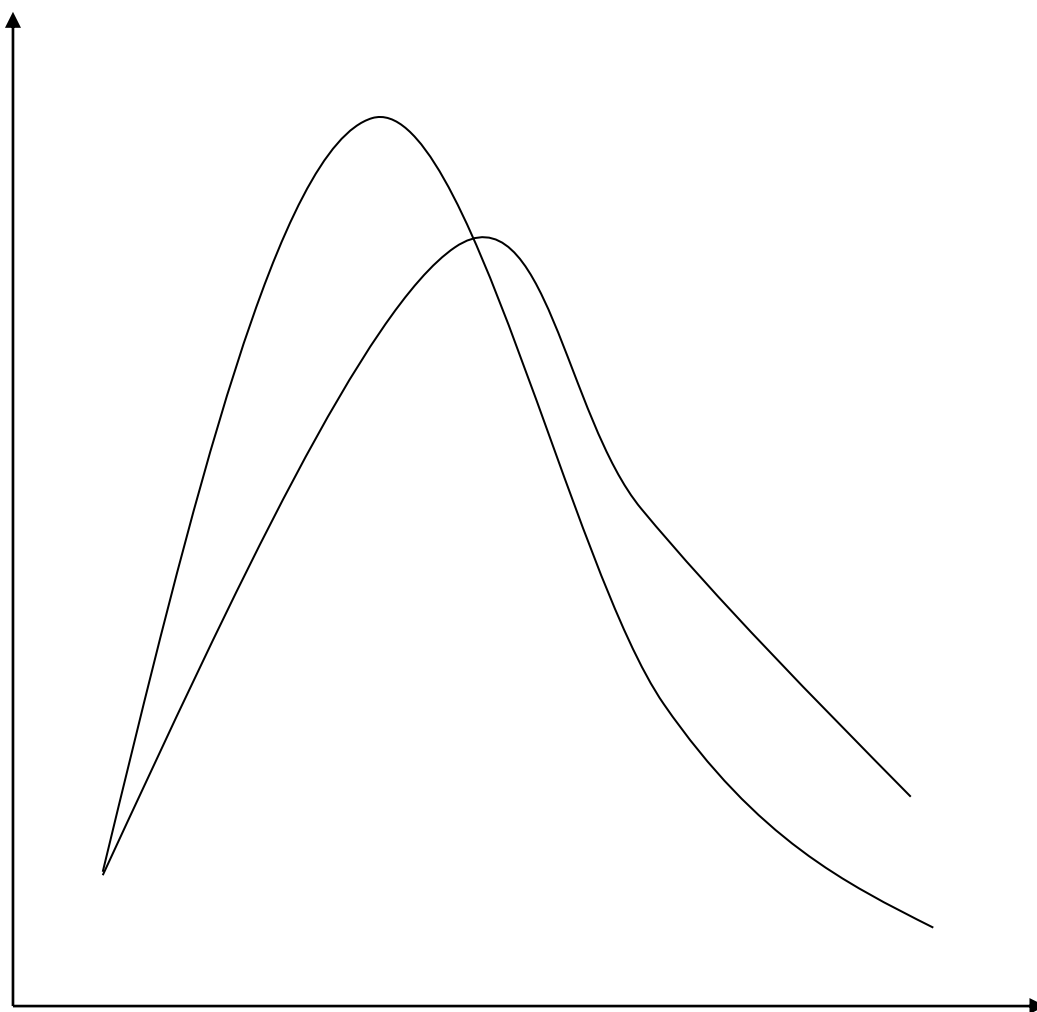
Бу ерда $\alpha = 1/(2qD_n N_i)$ -асосий зарядларнинг факат диффузия ва чуқур киришмаларнинг коэффицентларига боғлиқ бўлган параметр, J-ток зичлиги.

Вольтампер характеристикасидан α коэффисентни аниқлаш мумкин:

$$\alpha = \frac{\ln(V_2 / V_1) \cdot S}{(J_2 - J_1) d} \quad (5)$$

α -коэффисент қийматлари оркали чуқур киришмаларнинг N_i концентрацияни аниқлаш мумкин. Ўрганилган намуналарда чуқур киришмалар концентрацияси $N_i = 9,210^{12} \text{ см}^{-3}$ га тенглиги аниқланади.

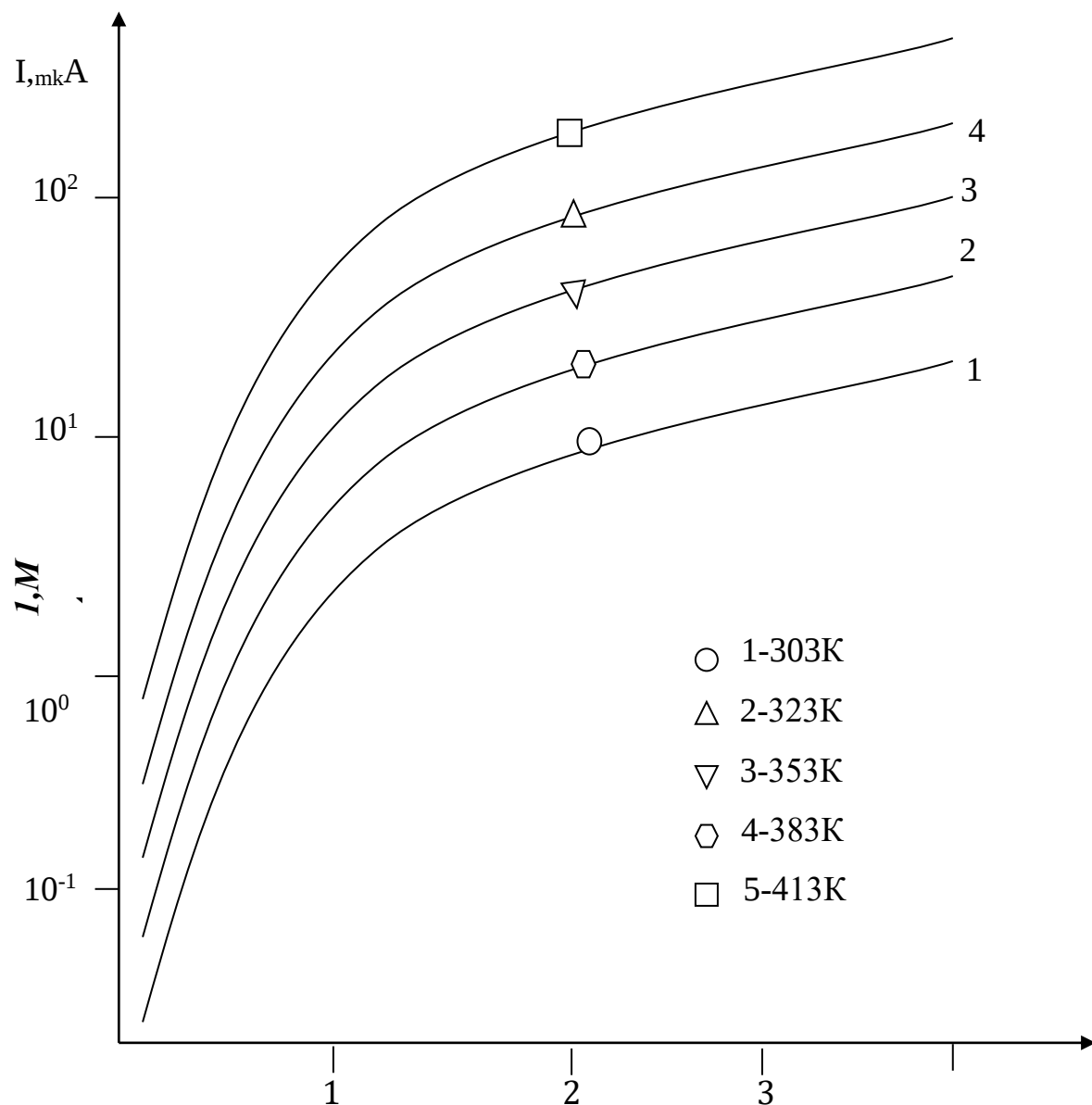
16. Агар кремний pSi-nSi тузилмаларда эпитаксиал nSi қатлам n $(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) қаттиқ қоришма билан алмаштирилса, уларнинг спектрал сезгирлиги қисқа тўлқинлар томонга силжийди. Бу ҳолат 5-расмда кўрсатилган (2,3,4 эгри чизиқлар).



5-расм. p Si-n $(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) қаттиқ қоришмадан тайёрланган турли намуналарда кузатилган спектрал фотосезгирлик.

1- nSi нинг эпитаксиал қатлами бўлган намуна; 2,3,4-n $(\text{Si}_2)_{1-x} (\text{CdS})_x$ қаттиқ қоришманинг эпитаксиал қатлами бўлган намуналар.

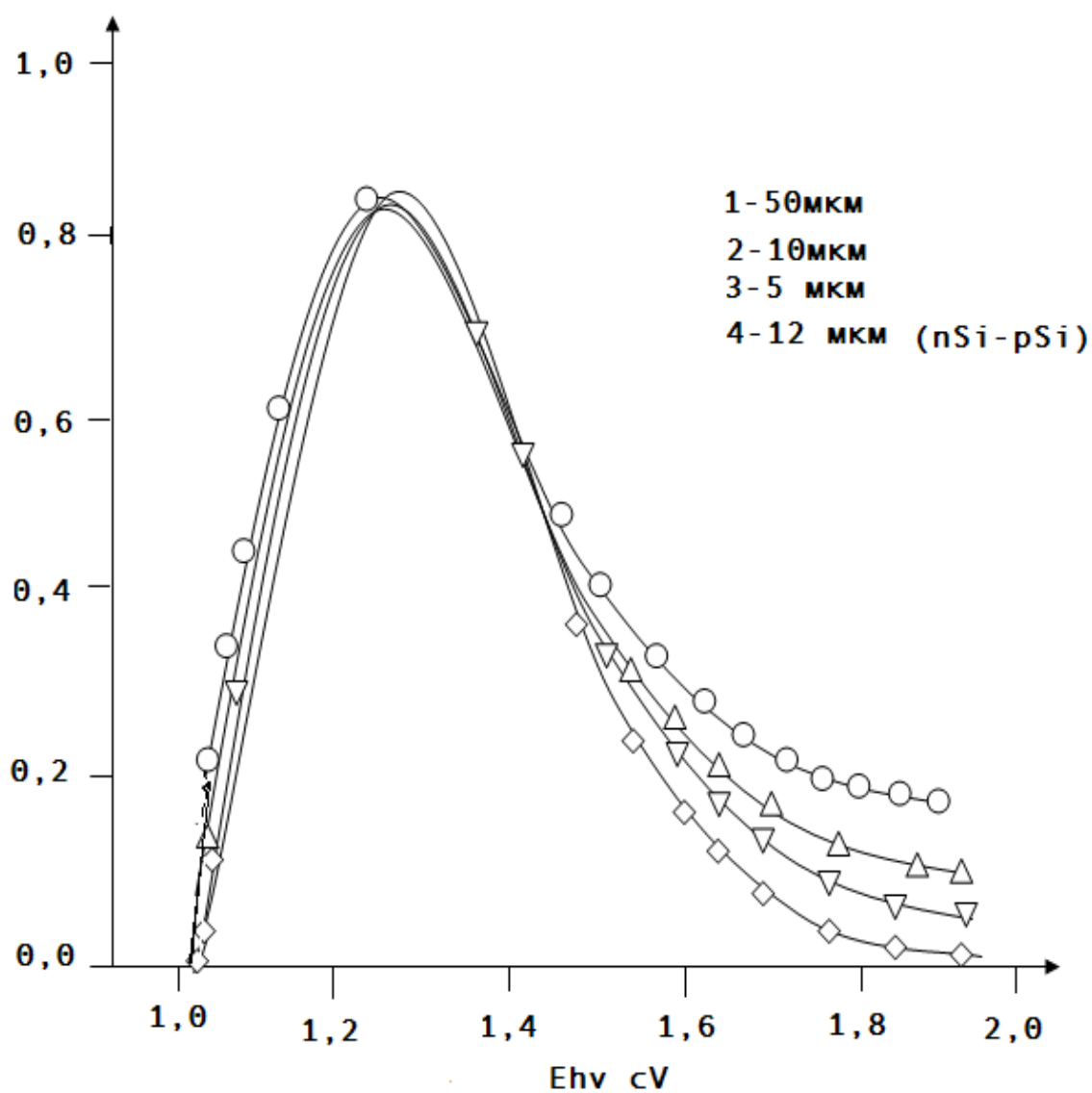
17. Қаттиқ қотишмали $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ эпитаксиал ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) тузулманинг 303-413 К температуралар оралиғида олинган вольтамперхарактеристика ВАХ лари натижалари 7-расмда кўрсатилган.



7-расм. $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) тузилманинг турли ҳароратдаги ВАХ лари.

18. Турли қалинликдаги $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ ($0 \leq x \leq 0,28$; $0 \leq y < 0,03$) қатламларнинг спектрал фотосезгирлиги бўйича олинган натижалар 9-расмда кўрсатилган Ga As нинг мол миқдори (92 мол%) ортиб бориши билан спектрнинг қисқа тўлқинли томонида фотосезгирликнинг

ортиши, Ga As нинг камайиши билан фотосезгирликнинг пасайиши кузатилади.



9-расм. Турли қалинликдаги $n\text{Si-p}(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ce}_2)_x(\text{GaAs})_y$ эпитаксиал қатламларнинг спектрал фотосезгирлиги.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР:

1. И.А.Каримов. “Муқобил энергия манбалари”
2. Алферов Ж.И., Андерев В.А. “Перспективк фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергия//Преобразования солнечной энергии. Черноголовка: ИХФ АН СССР. 1981. с.7-20.
3. Васильев А.М, Лайдсман А.П. «Полупроводниковые фотопреобразователи. М. Сон радио 1971. 246 с.
4. Алферов Ж.А., Андреев В.М., Арипов Х.К и др. «Модель автономной солнечной установки о гетерофотоэлементами концентраторами излучения// Гелиотехника. 1981 №2 с. 3-6.
5. Гридтхес В.А., Орлов П.П., Попов Л.В. «Солнечная энергия и космические полеты» М. Наука, 1984. 284 стр.
6. М.М. Колтун. Солнечные элементы. Наука. 1987.
7. Бардина Н.Н., Григорьева Г.И., Донецкий Г.С., Зайцева А.К. «Высокоэффективные кремниевые фотопреобразователи и перспективы их освещежествования. Гелиотехника 1982 г. № 1. с 3-7
8. Бринкворт Б.Д. «Солнечная энергия для человека: Пер. с англ./ Под ред. Тарнижевского В.В. М. Мир. 1976. 291 с.
9. М.А. Азизов. “Яримўтказгичлар физикаси” Т. 1974
10. С.Зайнобиддинов ва б. “Яримўтказгичлар физикаси”. Т. 2000 й.
11. Л.С. Стилбанс. “Физика полупроводников” М. 1967.
12. И.Г. Пичугин., Ю.М.Таиров. “ Технология полупроводниковых приборов» М. 1984 г