

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

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

УМУМИЙ ФИЗИКА КАФЕДРАСИ

**МУСАЕВ ОДИЛБЕКнинг 5440100-“Физика” таълим
йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун**

**“Яримўтказгичларда электрон –ковак ўтишларни
ҳосил қилиш ва уларнинг хоссаларини ўрганиш”
мавзусидаги битирув малакавий иши**

Илмий раҳбар:

**Рисбоев Т.Р. физика-
математика фанлари
номзоди, ГулДУ “ Умумий
физика” кафедраси доценти.**

ГУЛИСТОН – 2013 й.

Мундарижа

Кириш.	3
--------------------	----------

Асосий қисм.

I-БОБ.Яримўтказгичларда электрон-ковак ўтишлар ва уларнинг хоссалари.

1-§. Электрон-ковак ўтиш ва унинг турлари.....	5
2-§. Металл-яримўтказгич контакти ва унинг хоссалари.....	13
3-§. Яримўтказгичнинг яримўтказгич билан контакти ва унинг хоссалари.....	16
4-§. Гетероўтишларда р-п ўтишнинг ҳосил бўлиши.....	20

II-БОБ. Яримўтказгичли диодлар олиш технологияси.

1-§. Паст частотали диодлар.....	24
2-§. Ўта юқори частотага мўлжалланган диодлар.....	27
3-§. Стабилитрон ва стабисторлар.....	27
4-§. Туннел диодлар ва варикаплар олиш технологияси.....	28

III -БОБ. р-п –ўтишнинг параметрлари ва характеристикалари.

1-§. р-п –ўтишнинг волтампер характеристикалари.	30
2-§. р-п –ўтишнинг параметрлари.....	33

IV-БОБ. Яримўтказгичли диод хоссаларини амалий ўрганиш.

1-§. Диод хоссаларини амалий ўрганиш қурилмалари схемаси.....	35
2-§. Диод хоссаларини амалий ўрганиш натаижалари	35

Хулоса.	36
---------------------	-----------

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.	39
---	-----------

КИРИШ

Мавзунинг долзарблиги. Инсоният ҳаётининг ҳозирги кундаги даражасини замонавий техника воситаларисиз тасаввур этиб бўлмайди. Бу борада янги техника воситаларини яратишда яримўтказгич моддалар алоҳида аҳамиятга эга бўлмоқда.

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 кишлоқ хўжалигида температурани аниқ ўлчашда, тупроқнинг намлигини аниқлашда, ўсимлик ва ҳайвонларнинг энг муҳим хусусиятларини баҳолашда ва бошқа ишларни бажаришга яроқли қурилмалардан фойдаланиш кўлами кенгайиб бормоқда.

Яримўтказгич моддалар ўзининг тузилиши жиҳатдан 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 ўлчашлари, ҳажми кичик, ишлаш муддати катта ва ишончли, ташқи таъсирларга чидамли ва бажарадиган хизматлари доираси жуда кенг.

Мавзунинг илмийлиги. Бинобарин, яримўтказгич моддалар ва асбобларни тадқиқ этиш, уларнинг имкониятларини кенгайтириш ҳамда янги хоссаларини кашф қилиш масалалари ҳозирги замон фанида муҳим ўрин тутади.

Яримўтказгичнинг ажойиб хоссалари намоён бўладиган сифатли моддалар олиш технологияси ҳозирги замон электроника саноатида катта ва муҳим ўрин тутмоқда. Бу ўринда яримўтказгичли асбоблар ва уларни ишлаб чиқариш технологиясининг ривожига ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлмоқда. 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.

Мавзунинг мақсади. Ушбу ишда яримўтказгичли электрон асбобларнинг ишлашининг асосини ташкил этадиган электрон-ковак-ўтишларнинг хоссаларини, ҳосил қилиниш усуллари хамда электрон-ковак – ўтишлар хоссалари асосида яратилган энг содда яримўтказгичли асбоб – диоднинг тузилиши, турлари, қўлланилиш соҳалар хамда ишлаб чиқариш технологиясини баён этиш мақсад қилиб қўйилган. Яримўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлаш технологиясида яримўтказгич материалга баъзи карама-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. Худди шундай муаммолар бошқа яримўтказгичли асбоблар ва ИМС-лар тайёрлашда ҳам учрайди. БМИда яримўтказгичли диодларнинг ажойиб хоссалари билан биргаликда улар ишида учрайдиган айрим муаммоларнинг ҳал этилиш имкониятларини очиб беришга ҳаракат қилинади ва бу муаммолар тажрибаларда ҳам ўрганиб чиқилади.

БМИда яримўтказгичли диодлар тайёрлаш технологияси жараёнларининг асосий тушунчалари, физик, кимёвий, физик-кимёвий хусусиятлари ва уларнинг қонуниятлари баён қилинган бўлиб, у кириш, 3 та боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат бўлиб, 48 бетни ташкил этади

Асосий қисм.

I-БОБ. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ЭЛЕКТРОН-КОВАК

ЎТИШЛАР ВА УЛАРНИНГ ХОССАЛАРИ.

1-§. Электрон-ковак ўтиш ва унинг турлари.

Кўпчилик яримўтказгичли асбоблар тузилмасининг асосий элементи электр ўтиш бўлиб, уларга турли солиштира қаршиликка, турли ўтказувчанлик соҳасига эга бўлган яримўтказгичнинг иккита соҳасида вужудга келган ўтишлар киради. Агар яримўтказгич икки соҳасининг бири n-тур, иккинчи p-тур бўлса, бундай ўтишни электрон-ковак ўтиш ёки p-n ўтиш дейилади. Кўпчилик кенг тарқалган асбобларнинг хоссалари p-n ўтишларда юз берадиган жараёнлар билан аниқланади. Масалан n-тур соҳа ва p-тур соҳаларда киришмалар концентрацияси анча юқори бўлса, унда p-n ўтиш вольт-ампер тавсифномасининг кўриниши оддий p-n ўтиш тавсифномасидан кескин фарқ қилиб, тавсифнома N кўринишда бўлади. Бундай p-n ўтишлардан тайёрланган диодларни туннел диодлари дейилади.

Электрон-ковак ўтишлар симметрик ва носимметрик бўлиши мумкин. Симметрик ва носимметрик бўлиши ток ташувчилар концентрациясининг p-n соҳаларда киришмалар тақсимооти билан аниқланади. Симметрик p-n ўтишларда $n_n = p_p$ шарт бажарилади, бу ерда n_n -n турдаги яримўтказгичдаги коваклар концентрацияси; p_p -p турдаги яримўтказгичдаги коваклар концентрацияси. Шундай қилиб, симметрик p-n ўтишнинг иккала соҳасидаги асосий ток ташувчи зарядлар концентрацияси бир-бирига тенг бўлар экан. Бироқ, амалда носимметрик ўтишлардан фойдаланилади. Носимметрик ўтишлар икки хил кўринишда ҳосил бўлиши мумкин яъни $n_n > p_p$ ёки $p_p > n_n$, бунда фарқ 100-1000 марта бўлиши мумкин. Киришмалар билан юқори легирланган (масалан, $p_p > n_n$ ўтишда p соҳа) кичик омли соҳа эмиттер дейилади. Киришмалар билан кичик легирланган ($p_p > n_n$ ўтишда n соҳа) юқори омли соҳа база дейилади.

Агар носимметрик p - n ўтишнинг p соҳаси анча юқори ўтказувчанликка, яъни киришмалар анча юқори легирланган бўлса, бундай ўтишларни p^+ - n ўтишлар дейилади. Худди шундай n соҳа анча юқори ўтказувчанликка эга бўлса n^+ - p ўтиш дейилади.

Электр ўтишларни ҳосил қилиш учун қўлланиладиган яримўтказгичли материал модда хилига қараб, гомоген ва гетероген ўтишларга бўлинади. Бир жинсли яримўтказгич материалда ҳосил қилинган ўтишларни гомоген ўтиш ёки гомоўтишлар дейилади. Бунда кремний, германий, галлий арсениди ва бошқалар киради. Гетероўтишлар эса, турли яримўтказгичлар орасида вужудга келган ўтиш бўлиб, уларга германий-кремний, германий-галлий арсениди ва бошқалар киради. Яримўтказгич сиртига металлни ўтказиш билан олинган ўтишни Шотки ўтиш дейилади. Агар n - ва p -соҳалар оралиғида хусусий электр ўтказувчанлик i -соҳа вужудга келтирилган бўлса, бундай тузилмалар p - i - n , p^+ - i - n^+ ва шунга ўхшаш белгиланади. Булардан ташқари, яримўтказгичли тузилмаларга транзисторларни p - n - p ёки n - p - n , тиристорларни n - p - n - p тузилмаларни ва бошқаларни мисол қилиб кўрматиш мумкин.

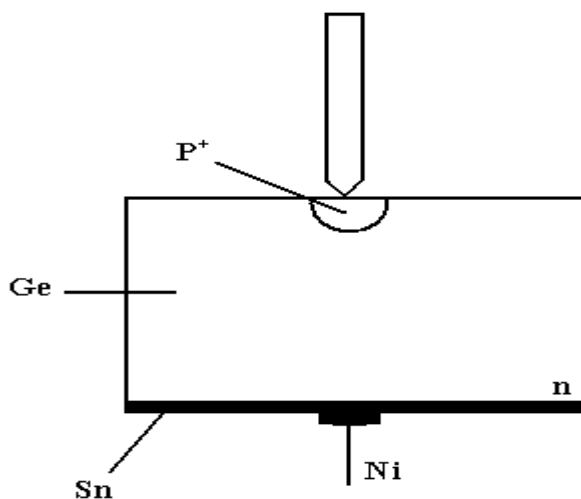
Электр ўтишлар кескин ва текис p - n ўтишларга бўлинади. Кескин ўтишда киришмалар концентрациясини ўзгартириш соҳаси қалинлиги фазовий заряд соҳаси қалинлигидан етарли даражада кичик бўлади. Соҳа қалинлиги деганда, киришма концентрацияси градиенти йўналишидаги ўлчам тушунилади. Текис электр ўтишларда киришма концентрациясининг ўзгариш соҳаси қалинлиги фазовий заряд соҳаси қалинлигига яқин бўлади.

Ўтиш майдонидаги қараб нуқтавий ва ясси электрон-ковак ўтишларга ҳам бўлинади. Ясси ўтишлар тайёрланиш усулларига қараб қотишмали диффузион, ион, планар, эпитаксиал, планар-эпитаксиал ва шу кабиларга бўлинади.

Яримўтказгичли асбобларни ишлаб чиқариш технологияси жуда тез ривожланиб бормоқда. Биз бу ерда яримўтказгичли асбобларни ишлаб

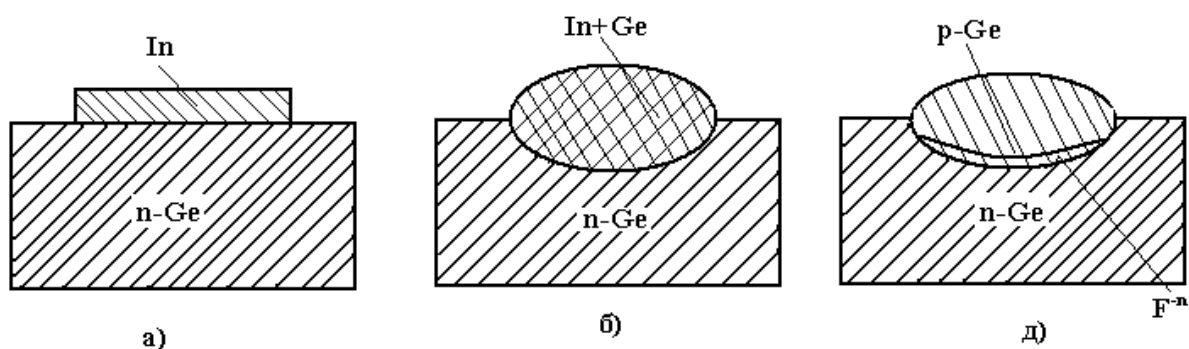
чиқариш ва тайёрлаш асосларини ташкил қилувчи бош технологик усулларга тўхталамиз.

Нуқтавий р-п-ўтиш. Нуқтавий р-п ўтишларни тайёрлаш учун п-турдаги германийдан фойдаланилади. Олдиндан силлиқланган пластинкага диаметри 20-30 мкм бўлган бериллий бронзадан қилинган нина зонд маҳкамланади. Кейин электрокавшарлаш усулида зонд орқали қисқа вақтли импульсли қувватли ток ўтказилади. Контакт жой зонд материални эришигача қиздирилади ва мис германий ичи томон диффузияланиб, зонд остида анча катта бўлмаган ҳажмда р-тур соҳани ҳосил қилади, чунки мис германий учун акцептор киришма вазифасини ўтайди (1-расм).



1-расм. Нуқтавий р-п ўтиш тузилмасининг кўриниши.

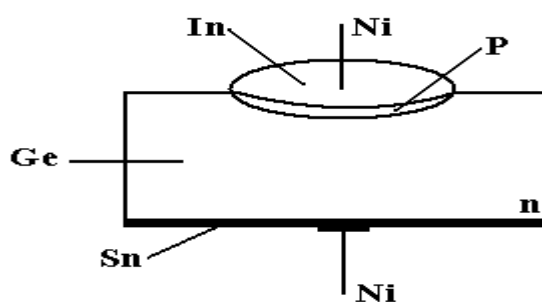
Қотишмали р-п ўтишлар. Қотишмали усулни қўллаганда, силлиқланган ва едирилган монокристалл германий п-тур пластинкага уч валентли кичкина металл парча индий ўрнатилиб (2-расм а), кейин инерт газ муҳитида ёки вакуумда 550-600⁰С температурагача қиздирилади. Бунда индий шу температурада эрийди ва ҳосил бўлган томчи германийни ўзида эритади (2-расм, б). Маълум вақт ўтгандан сўнг печка ўчирилади. Совуқ индийда германийнинг эрувчанлиги кам, шунинг учун совиш натижасида германий қайта кристаллана бошлайди ва томчи тубида р-турдаги қайта кристалланган юпқа қатлам ҳосил бўлади (2-расм).



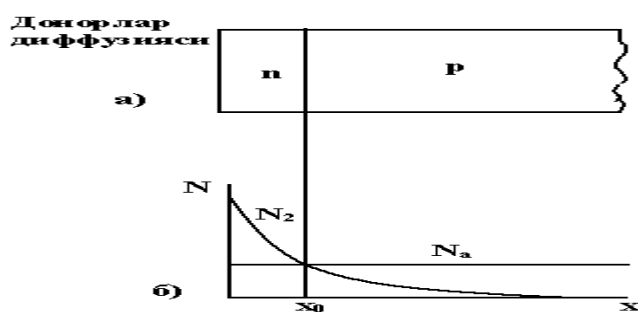
2-расм. Қотишмали p-n ўтиш тузилмасининг ҳосил бўлиши.

Қайта кристалланиш пайтида германий индий атомларини эгаллаб олади. Совиган томчининг қолган қисми етарли тозаликдаги индий бўлиб, омик контакт вазифасини бажаради. Унга ташқи чиққич, одатда, ингичка никел сими кавшарланади.

Германий пастки қисмига Sn(қалай) ўтказилади, у n-германий учун омик контакт вазифасини ўтайди. Бу ерда ҳам ташқи чиққич сифатида никел симидан фойдаланиш мумкин (3-расм). Ҳосил бўлган p-n ўтишлар кескин ўтишлар бўлиб, уларнинг майдони нуқтавий p-n ўтишларга нисбатан катта бўлганлиги учун сиғими анча катта. Шунинг учун бундай ўтишлар асосан қувватли диодлар ва транзисторлар тайёрлашда қўлланилади.

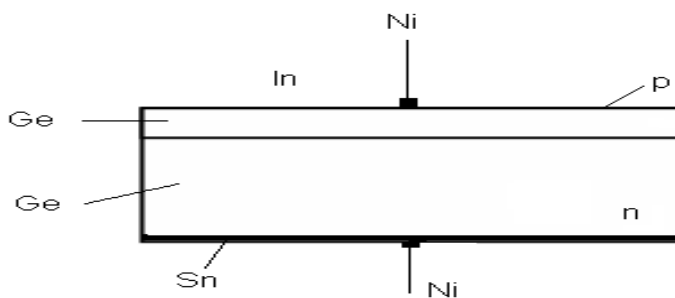


3-расм. Қотишмали p-n ўтиш тузилмаси.



4-расм. Диффузион p-n ўтишнинг ҳосил бўлиши.

Диффузион р-п ўтишлар. Диффузион р-п ўтишни яратиш учун яримўтказгичга киришмаларнинг газ кўринишида суюқ ва қаттиқ фазадаги диффузиясидан фойдаланилади. Усуллардан бири газ муҳитда диффузияни кўрамиз. Бу ҳолатда юпқа яримўтказгич пластинка, масалан, кремний n-тур акцептор буғи билан тўлдирилган модда (бор) буғ печкага киритилади ва юқори температурагача қиздирилади. Кристаллга кирган киришма диффузия чуқурлиги технологик режимга (температура ва диффузия вақти) боғлиқ ва осон бажарилади. Диффузия тугагандан сўнг пластинканинг бир томони ва тўрт ёқлари бошланғич n-тургача едирилади ва қолган бир томонида р-тур диффузион қатлам қолади. 4-расмда диффузион р-п ўтишни ҳосил бўлиши, 5-расмда диффузион р-п ўтиш тузилмаси кўрсатилган.

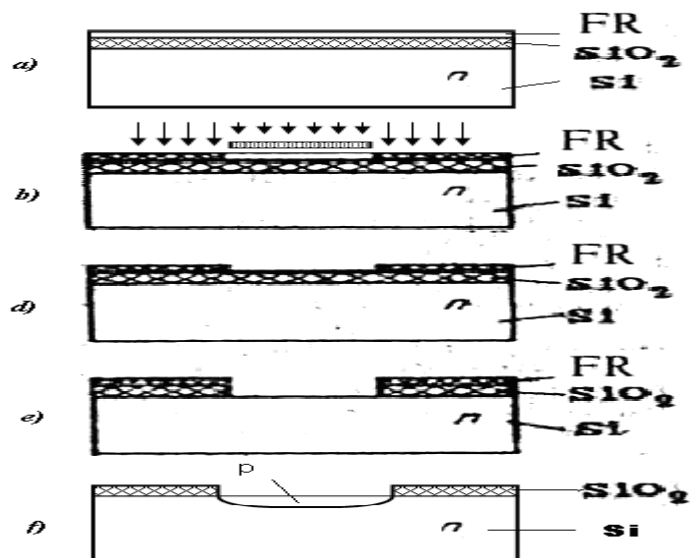


5-расм. Диффузион р-п ўтиш тузилмаси.

Диффузион усул текис р-п ўтишларни олишни таъминлайди. Ундан ташқари, бу усул битта пластинкада кўплаб ўтишларни олиш имконини беради.

Планар р-п ўтишлар. Бу усулнинг келиб чиқиши барча р-п ўтишлар асосидаги диод, транзистор ва контактлар таянч ярим ўтказгичининг кичик қалинлик сирт текислигида жойлашган. Планар технология (инглизча *планар-ясси* сўзидан олинган) диффузион технологиянинг ривожланиш маҳсулидир. Яримўтказгич сиртида ўтказилган ҳимоя қатлам тирқиши орқали киришма диффузияси натижасида олинган ўтиш планар ўтиш дейилади. Кремнийд ҳимоя қатлами сифатида кремнийнинг ўзида вужудга келтирилган кремний оксидидан фойдаланилади. Планар р-п ўтишнинг вужудга келиш технологик

жараёни босқичлари 6-расмда кўрсатилган. Планар технологиянинг асосини фотолитография ташкил қилади.



6-расм. Планар p-n ўтишнинг вужудга келиш технологик жараёни босқичлари.

Оксидланган монокристалл кремний пластинка сиртига фоторезист (ФР) юпқа қатлам ўтказилади (6-расм, а). Фоторезист парда ниқоб орқали ультрабинафша нур билан ёритади (6-расм, б). Фоторезист экспозицияланган жойи полимерланади ва еримайдиган бўлиб қолади. Натижада, ёдиргичда едирилган полимерланмаган жойи ювилиб кетади (6-расм, д). Кейин оксид қатлам очилган жой едиргичлар билан едирилади, фоторезист билан химояланган жой эса қолади (6-расм, е). Бу амалда кейин, таглик кремний пластинкага диффузия ўтказилади. Киришма диффузияси фақат тирқиш орқали ўтказилади (6-расм, ф). Диффузия юқори температурада ўтказилганлиги учун сирт яна оксидланиб қолади. Фотолитографиядан фойдаланган ҳолда оксидланиб қолган жой едирилади ва очилган жойга металл контакт ўтказилади. Бу амаллар натижасида битта пластинкада бир неча ўн ва ҳатто юзлаб бир хил диод тузилмаларни олиш мумкин. Олинган у планар p-n ўтишлар тузулмаси кристалларга кесилади. Баъзан, диодларни йиғиш ишини осонлаштириш учун пластинка иккинчи томонига омик

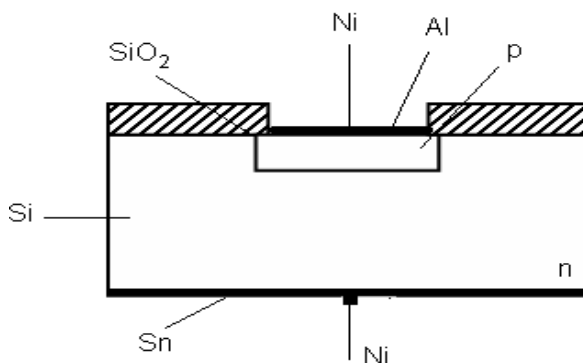
контактлар ўтказилиши мумкин. Планар p-n ўтиш тузилмасининг умумий кўриниши 7-расмда кўрсатилган.

Планар технологияни германийда ҳам қўллаш мумкин. Бу ҳолатда, кремний оксид парда германий сиртига кремний-органик бирималарни термик буғлатиш билан ўтказилади. Планар усулда олинган асбоблар гуруҳининг электр параметридаги фарқлар энг кичик. Чунки, бу асбоблар яримўтказгичли битта пластинкадан бирлик технологияда олинади. Шунинг учун ҳам планар технология микроэлектрониканинг асосини ташкил қилади.

Эпитаксиал p-n ўтишлар. Эпитаксиал усулдан электрон-ковак ўтишларни олиш турли тағликларда яримўтказгичли эпитаксиал пардаларни ўстиришга асосланган. Агар ўсган яримўтказгич эпитаксиал қатлам ўтказувчанлигига қарама-қарши бўлса, унда p-n ўтиш ҳосил бўлади (8-расмда тағлик сифатида p-германий бўлиб, унга n-турдаги эпитаксиал германий парда ўтказилган).

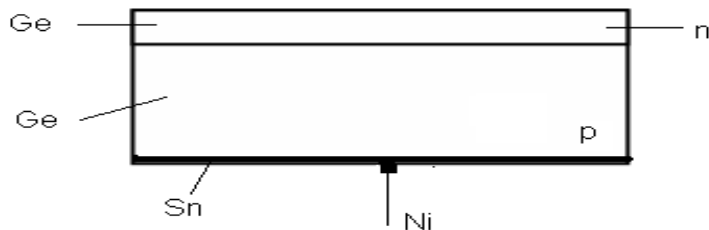
Ҳозирги вақтда турли тағликларда эпитаксиал пардаларни ўстириш усули ишлаб чиқилиши импульсли диодлар, юқори такрорийлиги транзисторлар ва бошқа яримўтказгичли асбобларни ишлаб чиқаришда кенг қўлланилмоқда. Эпитаксиал усул интеграл микросхемалар тайёрлашда кенг қўлланилмоқда.

Ион легирлаш билан p-n ўтишлар олиш. Кейинги йилларда ион легирлаш усулида p-n ўтишларни олиш самарали ўрганилмоқда ва амалиётда кенг қўлланилмоқда. Ион манбларда акцептор ёки донор заррачалар ион оптик тизимда оқимни ҳосил қилиб уни 40-800 кеВ энергиягача тезлаштириб яримўтказгич пластинка – нишонга туширилади.



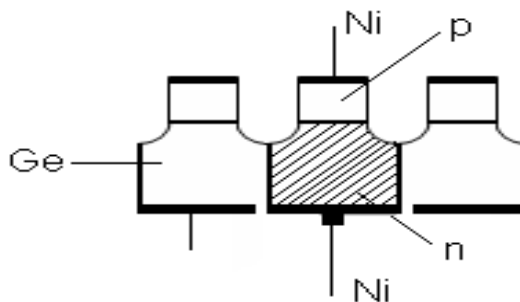
7-расм. Планар p-n ўтиш тузилмасининг умумий кўриниши.

Ионларнинг яримўтказгич пластинка чуқурлигига кириб бориши уларнинг энергиясига боғлиқ бўлиб, легирланиш даражаси ионлар оқими билан нишонни нурлантириш вақтига боғлиқ.



8-расм. Эпитаксиал p-n ўтиш.

Меза-ўтишлар. Бирлик технологик жараёнларда яримўтказгичли асбобларни катта гуруҳда тайёрлашда меза-ўтишлар олинади. Бунда n-турдаги кремнийда диффузион усулда p-қатлам олинади (9-расм). Маълум чуқурликда текис p-n ўтиш олингандан кейин ниқоб орқали ушбу ўтишга лак суркалади. Едириш амали билан ниқоб олинади. Шундан кейин пластинка p-n ўтишларга кесилади.



9-расм. Меза ўтишлар.

Алоҳида олинган элемент ёки кристаллча стулчага ўхшаб кетганлиги учун бундай тузилмаларни меза-ўтишлар (испанча *меса-столча*) дейилади ва бу технологияни мезатехнология дейилади. Меза-технология бўйича олинган бир гуруҳ ўтишларнинг параметрларида фарқ кам бўлади. Бу технология яхши ўрганилган ва юқори такрорийлик транзисторларни ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади.

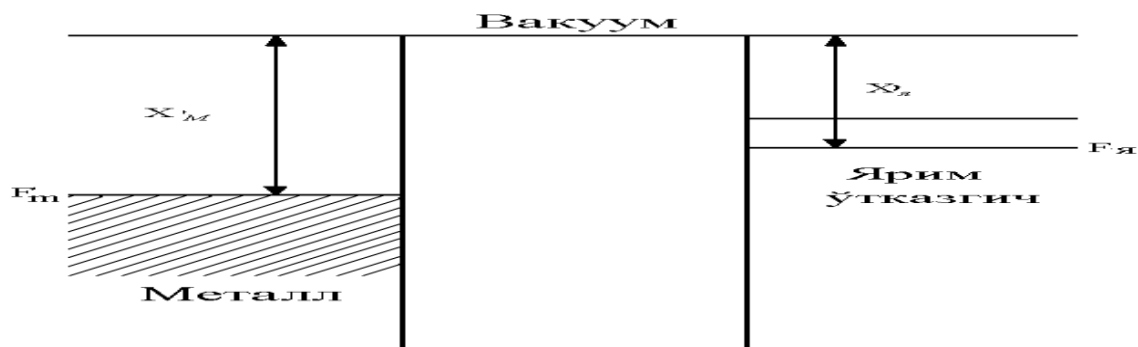
2-§. Металл-яримўтказгич контакти ва унинг хоссалари.

Яримўтказгич моддалардан фойдаланганда улар албатта бошқа моддалар билан туташган ҳолда (контактлашган ҳолда) бўлади. Бу бошқа модда металл ёки яримўтказгич бўлиши мумкин. Яримўтказгич диэлектрик билан туташган бўлиши ва айрим ҳолларда эса, эритма ёки электролит билан контактда бўлиши мумкин.

Яримўтказгичнинг металл билан туташган холи муҳим масалалардан биридир, чунки, бундай контактлар электрон асбоблар ишлаб чиқаришда катта ўрин тутadi. Контакт (туташиш) қатламида юз берадиган ажойиб ҳодисалар икки модда чегараси орқали заряд ташувчилар алмашинишига боғлиқдир.

Модда вакуум билан чегараланган бўлсин. Маълумки, моддадан электроннинг вакуумга чиқиб кетишига қаршилик кўрсатадиган потенциал (энергиявий) тўсиқ мавжуд. Бу тўсиқнинг баландилигини электроннинг сирт орқали ташқарига чиқиб кета олиши зарур бўлган энергия аниқлайди. Уни чиқиш иши дейилади.

Турли моддалардан электронларнинг чиқиш иши турлича қийматларга эга бўлади. Яримўтказгичлар хоссасини аниқлашда чиқиш ишлари ичида кўпроқ **термодинамик чиқиш ишини** билиш муҳим аҳамиятга эга. Термодинамик чиқиш иши ўтказгичнинг ферми сатҳидан вакуум сатҳигача бўлган энергиявий масофани билдиради. Бу ишни металл учун ўтказувчанлик соҳасидаги энг юқориги электрон сатҳлари – Ферми сатҳидан бошлаб ҳисобланса, яримўтказгичларда тақиқланган соҳада жойлашган Ферми сатҳидан бошлаб ҳисобланади(10-расм).



10-расм. Металл-яримўтказгич контакти.

Яримўтказгич сиртидан, энергиявий тўсиқни енгиб, вакуумга чиқаётган электронлар оқими термоэлектрон эмиссиянинг ушбу ифодаси билан аниқланади:

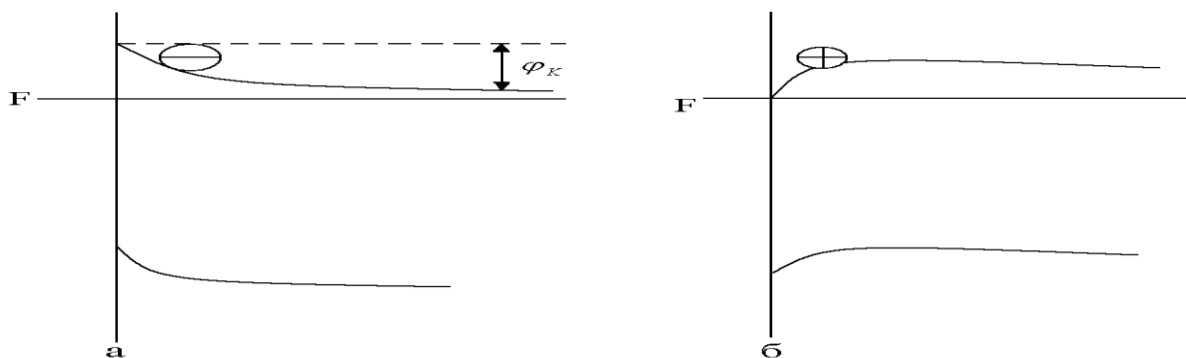
$$j_{\text{я}} = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^3} \exp\left(\frac{\chi_{\text{я}}}{kT}\right) \quad (1)$$

бунда $\chi_{\text{я}}$ -яримўтказгичнинг термодинамик чиқиш иши.

Металлдан вакуумга чиқаётган электронлар оқими учун ҳам шунга ўхшаш ифодани ёза оламиз:

$$j_{\text{м}} = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^2} \exp\left(\frac{\chi_{\text{м}}}{kT}\right) \quad (2)$$

бунда $\chi_{\text{м}}$ -металлнинг термодинамик чиқиш иши.



11-расм. Металл-яримўтказгич контактида беркитувчи ва беркитмовчи қатламларнинг ҳосил бўлиши.

Агар яримўтказгич билан металлни туташтирилса, (1)ифода билан аниқланадиган электрон оқими яримўтказгичдан металлга, (2) ифода билан аниқланадиган, электрон оқими эса металлдан яримўтказгичга ўтади. Агар $X_{\text{я}} < X_{\text{м}}$ деб фараз қилсак, бу ҳолда $J_{\text{я}} > J_{\text{м}}$ бўлади, яъни яримўтказгичдан металлга кўпроқ электронлар ўтади ва металл сирти манфий, яримўтказгич сирти эса мусбат зарядланиб қолади. Пайдо бўлган электр майдон $J_{\text{я}}$ ва $J_{\text{м}}$ оқимлар фарқига тенг тескари оқим ҳосил қилгунча ўсиб боради. Электронлар оқими мувозанатлашганда контактидаги потенциал энергияси (контакт потенциаллари айирмаси) чиқиш ишлари айирмасига тенг бўлиб қолади:

$$\varphi_k = X_{\text{м}} - X_{\text{я}}$$

Металл сиртида тўпланган электронлар, бинобарин, контактида ҳосил бўлган майдон ҳам унинг ичкарасига деярли кирмайди. Демак, мазкур майдон яримўтказгичнинг сиртига яқин қатламда жойлашган бўлади(6-расм,а).

Бу қатламнинг кенглиги контактда φ_k контакт потенциаллар айирмаси ҳосил қилиш учун мазкур яримўтказгичдан қанча электронни металл сиртига ўтказиш кераклигини аниқлайди. Чунки металлга ўтган электронлар яримўтказгичнинг сирт қатламидан кетган ва бу қатламда киришма ионлардан иборат ҳажмий заряд ва у билан боғлиқ электр майдон ҳосил бўлади. Бу қатламда электрон зичлиги камаяди ва энергия соҳаси юқорига эгриланади. Бинобарин, яримўтказгичнинг ҳажмидаги n_0 ва сиртидаги n электронлар зичлиги орасида

$$n = n_0 \exp(-\varphi_k / kT)$$

боғланиш бор.

Бундай қатламнинг солитштира қаршилиги катта ва уни **беркитувчи қатлам** дейилади.

Агар $X_m < X_y$ бўлса, яъни металлнинг чиқиш иши яримўтказгичникидан кичик бўлса, у ҳолда $J_y > J_m$ ва металл сирти мусбат зарядланган, яримўтказгич сирт қатлами манфий зарядланган бўлади. Бинобарин, яримўтказгич сирт қатламида (металлдан ўтган электронлар ҳисобига) электронлар зичлиги ортиб кетади, энергия соҳаси пастга эгриланади(6-расм,б). Бундай контакт қатламнинг солиштира қаршилиги кичик бўлади ва уни **антиберкитувчи (беркитмовчи) қатлам** дейилади.

Беркитувчи қатламли металл-яримўтказгич контактлари ўзгарувчан токни тўғрилагичлари бўлиб хизмат қила олади.

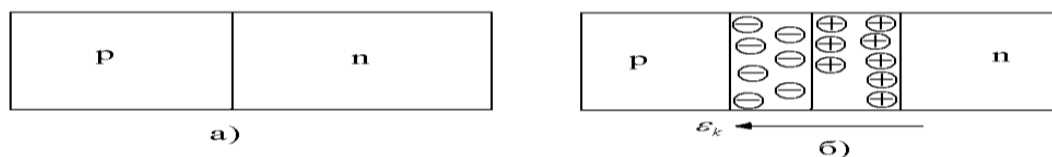
3-§. Яримўтказгичнинг яримўтказгич билан контакти ва унинг хоссалари

Битта модданинг турли ўтказувчанликка эга бўлган соҳаларнинг чегараси ҳам ажойиб хоссаларга эга бўлади.

Бу хоссалар яримўтказгичлар электроникасининг жуда тез ривожланиб кетишига сабаб бўлган асосий омилдир.

Фараз қилайлик, бир модда кристаллнинг р-тур ва n — тур ўтказувчанликка эга бўлган икки соҳаси бир-бирига туташган бўлсин(12-расм,а). Бу ҳолда эркин электронлари кўп n — тур соҳанинг чегарага яқин қатламидан электронлар р-тур соҳага, р-тур соҳадан n — тур соҳага коваклар диффузияланади. Бу диффузияланган ҳаракатчан заряд ташувчилар асло чегара яқинидаги соҳада тўхтаб қолмайди, балки р-тур ва n — тур соҳалар ичкарасида рекомбинацияланиб ғойиб бўлади. Иккала р-тур соҳа n — тур соҳадаги қатламларда, асосан мос равишда, ҳаракатсиз акцептор ва донор ионлари қолади. Бу р-тур соҳа билан n — тур соҳа чегарасидаги вужудга келган соҳа (қатламни) р- n — ўтиш ёки электрон-ковак ўтиш дейилади. Бу соҳа асосан манфий акцептор ва мусбат донор ионларидан иборат ҳажмий заряд соҳаси бўлиб, ундаги электр майдон кучланганлиги n — тур соҳадан р-тур соҳага томон йўналган бўлади(12-расм,б). Бу майдон

таъсирида вужудга келган зарядлар оқими диффузион оқимларга тенг бўлганда p - n -ўтиш электр майдони ўзининг мувозантий қийматига эришади.



12-расм. P - n -ўтиш ва унинг ички электр майдони

Қуйида p - n — ўтишнинг асосий хоссаларини санаб ўтамиз:

1. p - n — ўтиш p -тур ва n — тур ўтказгичларга эга бўлган икки соҳанинг чегарасида пайдо бўладиган соҳа (қатлам) дир. Бу соҳанинг бир қисми, умуман айтганда p -тур соҳада, бошқа қисми n — тур соҳада ётади.

2. p - n — ўтиш соҳадан ҳаракатчан электронлар ва коваклар кетиб қолганлиги (диффузия туфайли) сабабидан, унда қолган қўзғолмас акцептор (манфий) ва донор (мусбат) ионлар ҳажмий заряд ҳосил қилади.

3. p - n — соҳадаги ҳажмий заряд ҳисобига электр майдон вужудга келади. Бу электр майдон электронлар ва ковакларнинг диффузион оқимиға қарши уларнинг дрейф оқимларини ҳосил қилади. Мувозанат шароитида диффузион ва дрейф оқимлар тенг бўлади. ток кучи нолга тенг бўлади.

4. Токдаги қатнаша оладиган эркин зарядлар p - n — ўтишда жуда кам (p -тур ва n — тур соҳалар ҳажмидагина мингларча марта кам) бўлади. бинобарин, p - n — ўтишнинг солиштира қаршилиги жуда катта бўлади.

5. p - n — ўтишда электр майдон билан боғлиқ бўлган потенциал координата функцияси бўлади. Унинг p - n — ўтиш четлари орасидаги қийматлари айирмаси контакт потенциаллар айирмаси ёки потеницал тўсиқ баландлиги φ_{p-n} ни аниқлайди.

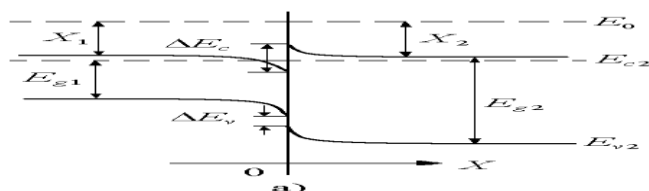
6. Электр майдон n — тур соҳадан p -тур соҳага томон йўналганлиги сабали p - n — ўтиш n — соҳа электронлари учун p -тур саҳага ўтишга, p -тур соҳа коваклари учун n — тур соҳага ўтишга тўсиқ бўлади.

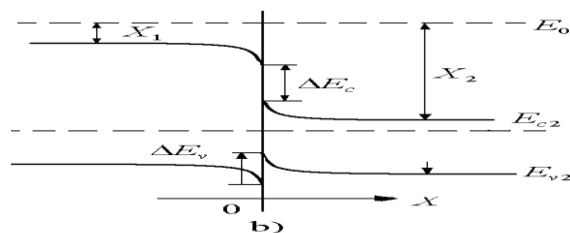
Энди $p-n$ — ўтишли тизимга ташқи манбадан кучланиш берилган бўлсин. Бунда $p-n$ — ўтишнинг қаршилиги p -тур ва n — тур соҳаларникидан анча катта бўлганлиги сабабли деярли бутун кучланиш $p-n$ — ўтиш соҳасига тўғри келади.

Кучланишнинг икки йўналиши бўлиши мумкин.

1) Агар ташқи кучланиш манбанинг мусбат қутби p -тур соҳага, манфи қутби n — тур соҳага уланган бўлса (тўғри кучланиш), у вақтда $p-n$ — ўтишда ҳосил бўлган электр майдон, яъни p -тур соҳадан n — тур соҳага йўналган майдон $p-n$ — ўтишнинг ўз майдонига тескари йўналган бўлади. Бинобарин, потенциал тўсиқ p -тур соҳадан n -тур соҳага ковакларнинг оқими вужудга келади. Бу эса p -тур соҳадан n -тур соҳага томон ток оқа бошлайди, демакдир. Бу ток тўғри ток дейилади(13-расм,а).

2) Агар ташқи кучланиш манбанинг мусбат қутби n -тур соҳага, манфий қутби p -тур соҳага уланса (тескари кучланиш), у вақтда $p-n$ — ўтишда ҳосил бўлган майдон n -тур соҳадан p -тур соҳага йўналган бўлиб, $p-n$ — ўтишнинг ўз майдони билан бир хил йўналган бўлади. Бинобарин, бу соҳада майдон катта бўлиб қолади ва потенциал тўсиқ ортади. Натижада n -тур соҳадан p -тур соҳага электронларнинг, p -тур соҳадан n -тур соҳага ковакларнинг оқими камаяди, тескари йўналишдаги оқимлар (улар кичик) доимийлигича қолгани учун n -тур соҳадан p -тур соҳага йўналган кичик ток оқиб туради. Уни тескари ток дейилади(13 – расм,б).





13-расм. Тўғри(а) ва тескари(б) кучланиш таъсиридаги р-п-ўтиш.

Унча каттга бўлмаган кучланишлар (токлар) соҳасида бажарилган ҳисоблашлар орқали р- n — ўтишнинг вольтампер характистикаси учун

$$j = e \left(\frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n p_p}{L_n} \right) (e^{\frac{eV}{kT}} - 1) = j_s (e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$$

формула келтириб чиқарилган. Бунда D_p, D_n коваклар ва электронларнинг диффузия коэффицентлари; L_p, L_n -уларга тегишли диффузия узунликлари р- n -ковакларнинг п-тур соҳадаги, p_p — электронларнинг р-тур соҳадаги мувозанатий зичликлари.

Юқоридаги ифодадан кўриниб турибдики, ташқи кучланиш кўйилганда р- n -дан ўтаётган ток кучланиш ортган сари экспоненциал тарзда(тез) ортиб боради ва аксинча, тескари кучланиш берилганда, ток жуда секин ўсади ва $\exp(eV/kT) \ll 1$ бўлиб қолганда ўзининг кичик тўйинган қийматига эришади.

Металл-яримўтказгич контактида беркитувчи қатлам вужудга келган ҳолдагидек, р- n — ўтиш мусбат пластинаси n — тур соҳа чегарасида, манфий пластинаси р-тур соҳа чегарасида жойлашган ясси конденсатор деб қараш мумкин. Кўриб ўтдикки, р- n — ўтишнинг қалинлиги ташқи майдон кучланишига боғлиқ. Демак, р- n — ўтишнинг электр сиғими ҳам ташқи кучланишга боғлиқ ва шу асосда бир қанча асбоблар ишлаб чиқилган.

Шундай қилиб, р- n — ўтишнинг ўзгарувчан токни тўғирлаш ва электр сиғим вазифасини ўташ хоссаларидан фойдаланиб, турли хил яримўтказгич доиралар ва бошқа асбоблар (тўғрилагичлар, термоэлементлар,

фотоэлементлар ва хакозо) ясалган. Иккита $p-n$ — ўтишли тизим транзистор бўлади. бир неча $p-n$ — ўтишли асбоблар ҳам бор.

Мураккаб электроника қурилмаларида масалан, ЭХМ ларда ишлатиладиган микросхемаларда $p-n$ — ўтишлар ва металл яримўтказгич контактлар асосий элементлар хизматини бажаради.

Юқорида айтилганларга кўра, $p-n$ — ўтиш соҳаси қуйидаги асосий хоссаларга эгадир:

1. Термодинамик мувозанат шароитида $p-n$ — ўтиш соҳаси ҳажмий заряд мавжуд бўлган қатламдир. Бу ҳажмий зарядни асосан донор ва акцептор ионлар ташкил қилади.

2. $p-n$ — ўтишнинг ҳажмий зарядига боғлиқ бўлган n — соҳадан p -соҳага томон йўналган электр майдон мавжуд, у эса бу соҳада потенциал ўзгаришини тақозо қилади, бинобарин, $p-n$ — ўтишнинг чегаралари орасида потенциаллар айирмаси вужудга келади.

3. $p-n$ — ўтишнинг электр майдони электронлар n — соҳадан p -соҳа томон ва ковакларнинг p -соҳадан n — соҳа томонга ўтишига тўсқинлик қилади.шунинг учун ҳозирги айтилган $p-n$ — ўтиш потенциал тўсиқ бўлиб, унинг баландлиги $p-n$ — соҳадаги потенциаллар айирмасига тенг.

4. Юқоридагина $p-n$ — ўтиш қатламидаги ички электр майдон электр юритувчи куч ҳосил қилмайди.

$p-n$ — соҳасида ҳаракатчан зарядлар-электронлар ва коваклар жуда кам миқдорда бўлади, бинобарин, бу соҳанинг солиштирма қаршилиги жуда ҳам катта (солиштирма ўтказувчанлик жуда кичикдир).

4-§. Гетероўтишларда $p-n$ — ўтишнинг ҳосил бўлиши.

Тақиқланган соҳалар кенглиги ҳар қил бўлган икки яримўтказгич чегарасида вужудга келадиган ўтиш қатлами гетероўтиш дейилади. Масалан, $Ge-GaAs$, $GaAs-GaP$, контактлари гетероўтишлар бўлади.

Гетероўтишларни олиш усуллари яхши ишлаб чиқилган. Гетероўтишлар кескин чегарали ёки силлиқ ўзгарувчан чегарали, симметрик ёки носимметрик бўлиши мумкин. Кескин чегарали гетероўтишлар ташкил этган моддалар чегарасида тақиқланган соҳа кенглиги сакраш билан (кескин) ўзгаради, силлиқ ўзгарувчан чегарали гетероўтишлар қандайдир қатлам давомида тақиланган соҳа кенглиги текис ўзгариб боради. (варизон гетероўтишлар). p - n — изотип гетероўтиш, p - n — анизотип гетероўтишларга бўлинади. Уларнинг иккаласи ҳам кескин ўтишлар турига мансуб бўлиб, ўтиш чегарасида ўтказувчанлик соҳаларини ΔE_c , валент соҳалари ΔE_v узилишларга эга.

Гетероўтишларнинг қўлланилиши, гомоўтишлардан фарқли равишда, турли амалий мақсадларда фойдаланиладиган бир қатор ҳодисаларнинг юз беришига олиб келади. Масалан, галлий, арсений ва алюминий элементлари бирикмаси асосида гетеролазерлар ишлаб чиқилган, бунда бир ҳил, аммо n — ва p -тур ўтказувчанлик икки кристалл орасидаги бошқа тор тақиқланган соҳали яримўтказгич қатлами ҳосил қилган. Ўртадаги қатламда заряд ташувчилар зичлигини катта қилиш осон бўлади ва бу ажойиб лазер хоссаси намоён бўлишига имкон беради.

Гетероўтишларгагина ҳос яна бир муҳим хусусиятни айтиб ўтиш зарур. Гетероўтишнинг икки модда чегарасида кристалл тузилиши ўзгаради, оқибатда узилган кимёвий боғланишлар пайдо бўлади, бу эса шу чегарада электронлар учун энергия ҳолатлари ҳосил қилади. Ушбу сиртий ҳолатларнинг гетероўтишларда юз берадиган жараёнларда тутган ўрни муҳимдир. Гетероўтиш соҳасидаги майдоннинг шаклланишида бинобарин, бу тизимнинг электр сиғимини аниқлашда сиртий ҳолатлардаги заряд миқдори сезиларли ҳисса қўшиш мумкин. Мазкур сатҳлар орқали рекомбинация жараёнлари амалга ошади. Баъзи ҳолларда уларнинг кўп бўлиши мақсадга мувофиқ эмас. Хуллас, гетероўтиш чегарасидаги сиртий

сатҳлар унинг хусусиятларини белгилайдиган муҳим омиллардан бири ҳисобланади.

Фан ва техникада қўлланиладиган яримўтказгич моддалар намуналари анча юпқа қатламлардан иборат бўлади. Бунда сиртнинг таъсири ва бошқа омиллар муҳим аҳамиятга эгадир. Намуна етарлича юпқа бўлганида амалда фойдаланиладиган ёки ўрганиладиган электронлар ва коваклар иштирокидаги жараёнлар бутунлай яримўтказгичнинг сиртки қатламида содир бўлиб, уларнинг ҳажмий ташкил этувчисини деярли назарга олмаса ҳам бўлади.

Ўрганиладиган яримўтказгич модда сиртига ўтказиладиган металл ёки диэлектрик қатламлари ҳам яримўтказгичнинг сиртий қатлами хоссаларини ўзгартириши мумкин.

Ҳозирги вақтда ишлаб чиқарилаётган асбоблар ва тузилмаларда калинлигидан бўйлама ўлчамлари анча катта юпқа қатламлар ва контактлар кенг миқёсда қўлланилмоқда.

Яримўтказгич қатламининг қалин ёки юпқа деб ҳисобланиши аниқлаб берадиган муайян махсус ўлчамлар (узунликлари) киритилади, улардан энг муҳимлари қуйидаги тўртта узунликдир:

- 1) номувозанатий заряд ташувчилар диффузия узунлиги L_0 ;
- 2) экранлашнинг эффектив узунлиги $L_{dэ}$;
- 3) электрон ёки ковакнинг эркин югуриш узунлиги L_{nlp} ;
- 4) кристаллда электрон ёки ковак тўлқини узунлиги λ_{nlp} ;

Масалан, хона температурасида германий ёки кремний каби яримўтказгичлар учун қуйидаги тенгсизликлар ўринлидир:

$$L_0 \gg L_{dэ} \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} l_{np} \gg \lambda_{nlp} ;$$

Агар яримўтказгич қатламининг кенглиги d диффузия узунлиги L_0 билан таққосланарли бўлса ($d \sim L_0$), у ҳолда қатламнинг ҳажмидаги

рекомбинация билан бир вақтда унинг сиртидаги рекомбинацияни эътиборга олиш зарур.

$d \ll L_0$ бўлган ҳолларда номувозанатий заряд ташувчиларнинг эффектив яшаш вақти $\tau_{эфф}$ ва эффектив диффузия узунлиги $L_{эфф}$ мана бундай бўлади:

$$\frac{1}{\tau_{эфф}} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{2s}{d},$$

$$\frac{1}{L_{эфф}} = \frac{1}{L_0^2} + \frac{2s}{Dd},$$

бундаги s — сиртий рекомбинация тезлиги, D — қўшқутубий диффузия коэффициенти.

Баҳолашлар кўрсатишича миллиметр чамасидаги қалинликни анча намуналар учун сантиметр қалинликли намуналарни қалин деб юзларча ёки ўнларча микрометр чамасидаги намуналарни юпқа деб ҳисобласа бўлади.

Агар $d \sim L_{dэ}$ бўлса, яъни қатлам қалинлиги экранлаш эффектив узунлиги тартибида бўлса, яримўтказгич пардасидаги (юпқа қатламдаги) заряд ташувчилар концентрацияси қалин қатламдаги мувозанатий концентрациядан фарқ қилади. Бу ҳолда хатто юпқа қатламдаги ўтказувчанлик типи қалин қатламдагиникига қарама-қарши бўлиши мумкин.

Қатламнинг қалинлиги заряд ташувчилар эркин югуриш узунлигига таққосланарли ($d \sim L_{nlp}$) бўлган ҳолда сиртда заряд ташувчилар сочилиши ҳажмидаги билан таққосланарли бўлиб қолади. Кремний ва германий учун хона температурасида, киришмалар унча кўп бўлмаганда $L_{nlp} \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ см. Қатламнинг бундай d қалинлигини пардада заряд ташувчилар сочилишига нисбатан чегаравий деб ҳисоблаш мумкин. Агар қатлам қалинлиги де-Бройл тўлқин узунлиги чамасида ($d \sim L_{nlp}$) бўлса, бу ҳолда квант ўлчамлик эффекти пайдо

бўлади. Кремний кристаллида $L_{nlp} \sim 100 - 200 \text{ А}^0$. Аммо бундай қалинликдаги етарлича мукаммал қатламлар ҳосил қилиш қийин масаладир.

Яримўтказгичлар юпқа қатламларни олишнинг бир неча усуллари мавжуд. Улар ичида энг кўп қўлланиладиган усуллар-газ оқими ёрдамида ёки суюқ фазадан қатламлар ўтказиш (эпитаксия) усуллари дир.

II-БОБ. Яримўтказгичли диодлар олиш технологияси.

Яримўтказгичли диодлар тайёрлаш ҳақида баъзи маълумотларни келтирамиз. Диодлар p-n ўтиш ёки металл-яримўтказгич контакти заминида тайёрланган ва турли-туман вазифаларни бажаради.

1-§. Паст частотали диодлар.

а) Тўғриловчи диодлар

Бундай диодлардан одатда диодлардан одатда саноат частотасидаги (50 ГГц) ўзгарувчан тоқларни тўғрилаш учун фойдаланилади. Улар бундан ҳам юқориқ частоталарда ишлай олади.

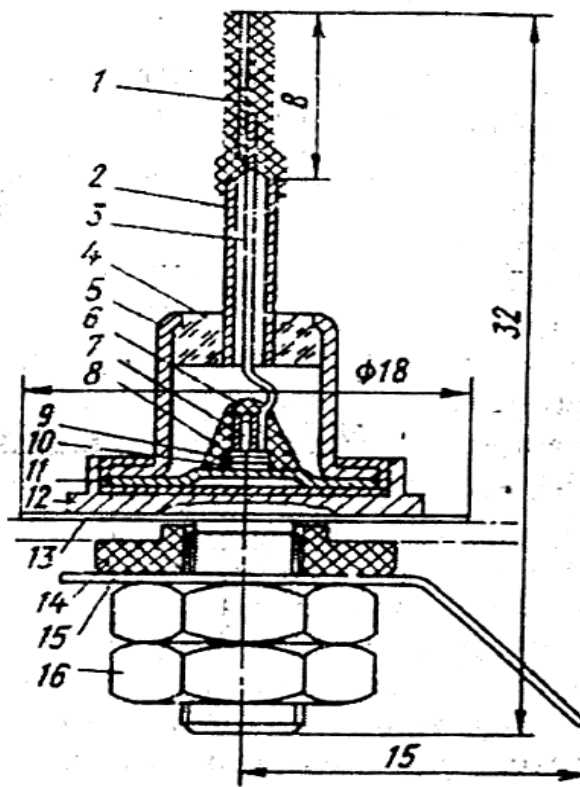
Йўл қўйиладиган энг катта тўғри ток катталигига қараб мазкур диодларни уч турга ажратилади: кичик қувватли диодлар (тўғри ток 0,3 А гача), ўрта қувватли диодлар (тўғри ток 0,3 А дан 10 А гача), катта қувватли диодлар (тўғри ток қуввати 10 А дан юқори). Ҳозирги вақтда тўғриловчи диодлар кремний асосида тайёрланади. Кейинги пайтда бундай диодлар галлий арсениди асосида ҳам тайёрланадиган бўлди.

Ясси (планар) кремний тўғриловчи диодларни p-n ўтиши n-тур электрик ўтказувчанликли кремний пластинкасига алюминий ёки борни киритиш, p-тур кремний кристалли пластинкасига фосфорни диффузиялаш усулида шаклланади(14-расм). p-n ўтишнинг юзини йўл қўйиладиган (рухсатланадиган) тўғри ток қийматига қараб аниқланади: кремний p-n

ўтишлари учун рухсатланадиган тўғри ток зичлиги 200 А/см^2 , кремний кристаллининг дастлабки қалинлиги 0,2-0,4 мм.

Кремний тўғриловчи диодларнинг ишлаш температуралар оралиғида $60^\circ\text{С} + 125^\circ\text{С}$ гача.

Германий, галлий арсениди, селен асосидаги тўғрилагичлар ҳам мавжуд.



14-расм. Кремний ясси диоднинг тузилиши чизмаси: 1-ташқи чиқиш; 2-найча; 3-ички чиқиш; 4-изолатор; 5-корпус; 6-ҳимояловчи қатлам; 7-яримўтказгич кристалли устидаги ташқи электрод; 8-р-п ўтишли кремний кристалли; 9-диод тузилманинг асосий соҳаси; 10-кавшар қатлам; 11-кристалл тутгич; 12-корпус оёқчаси; 13-изоляцияловчи шайба; 14-изоляцияловчи втулка; 15-ток кетадиган япроқча; маҳкамловчи гайкалар.

б). Импульсда ишлайдиган диодлар

Импульсда ишлайдиган дидод ўтма жараёнлар давомийлиги кичик бўлган ва импульси режимда ишлай оладиган яримўтказгичлар диоддир. Дастлаб нуқтавий импульс диодлари ишлаб чиқилган эди. Кейинчалик беқиёс сифатли импульс диодларини планлар технология бўйича тайёрланадиган бўлди. Асосий модда-кремний, баъзан галлий арсениди ҳам қўлланилади. Олдин айтганимиздек, бу диодларда тескари қаршилиқни тезроқ тиклаш учун кремнийга олтин киритилади.

Планлар имплусдиодларини тайёрлашда киришмалар диффузияси кремний оксиди SiO_2 қатламидаги дарчалар орқали амалга оширилади. Бундай диодларнинг р-п ўтиши юзи йетарли кичик қилиниши мумкин, бинобарин р-п ўтишнинг электр сиғими кичик бўлади.

Планар технология нисбатан содда равишда бир кристаллда диодлар шакллантириш имконини беради. Шу йўсинда имплус диодлари тўпламини ҳосил қилинади, бунда бир тузилмага йиғилган, лекин электрик уланмаган ёки бир исимли электродлар билан уланган имплус диодлар тўплами ҳосил бўлади. Улардан ҳисоблаш техникасида фойдаланиш қулай бўлади.

в). Шотки диодлари

Бу диодларнинг асосини тўғирловчи металл-яримўтказгич контакти ташкил қилади.

Металл-яримўтказгич тўғирловчи контакти асосида тўғирловчи, импулсда ўрта юқори частоталарда ишлайдиган яримўтказгичли диодлар тайёрланади. Улар р-п ўтишли диодлардан ўзининг юқорироқ частоталарда ишлай олиши билан фарқ қилади.

Тўғирловчи Шотки диодлар. Металл-яримўтказгич контакти C_k сиғимининг қайта зарядланиши вақти Шотки диодлари частотавий хоссаларига асосий таъсир кўрсатади. Қайта зарядланиш вақти τ база қаршилигига ҳам боғлиқ. $\tau = r_b C_k$. Шунинг учун Шотки контактини р-тур ўтказувчанликка эга бўлган яримўтказгич кристаллида ҳосил қилиш мақсадга мувофиқ, чунки бу кристаллда электронлар ҳаракатчанлиги ковакларникидан

катта. Шу сабабдан яримўтказгич кристаллида киришмалар концентрацияси каттароқ бўлиши керак. Аммо, Шотки потенциал тўсиғи (контакт) кенглиги етарли катта бўлиши керак. Бу икки қарама қарши талаб оптимал равишда ҳал қилинади.

Импульс Шотки диодлари. Бу диодлар учун галлий арсенеди афзалроқ материал ҳисобланади, чунки унда ноасосий заряд ташувчилар вақти 10^{-9} с дан ҳам кичик бўлиши мумкин. Саноат ишлаб чиқарадиган бундай диодлар пико- ва наносекунд ораликда ишлашга мўлжалланган.

Тўғриловчи диодлар фарқли равишда импульс диодлар контакти юзи анча кичик бўлади. Бу диодларнинг сифими 10 пф дан ошмайди.

2-§. Ўта юқори частотага мўлжалланган диодлар

Бундай диодлар ёрдамида ўта юқори частотали (ЎЮЧ) сигнал ўзгартирилади ва ишланади. Улар 300 МГц дан юқори частоталарда турли радиоэлектрон асбобларда ва ўлчаш техникасида ишлатилади. ЎЮЧ соҳадаги электромагнит тебранишларни вужудга келтириш (генерациялаш) ва кучайтириш, частотани кўпайтириш, сигналларни модуллаш, бошқариш, чеклаш ва ҳ.к. вазифаларни бажариш имконини беради. ЎЮЧ диодлар хиллари: туннел ва қайтарма диодлар варикаплар , кўчки-учма диодлар, Ганн генераторлари, импульс диодлар, аралаштиргич диодлар, детекторлар, қайта улагич диодлар ва бошқалар. ЎЮЧ диодлар тузилиши 18-расмда кўрсатилган.

3-§. Стабилитрон ва стабисторлар

Яримўтказгичли стабилитрон кучланишни барқарорлаш учун ҳизмат қиладиган диод бўлиб, унда тескари йўналишда электрик тешилиш соҳасида кучланиш токка жуда суст боғланган, яъни ток ўзгарадию аммо кучланиш деярли ўзгармай қолаверади. Электрик тешилиш кўчкисимон ёки тунелланиш тешилиш бўлади.

Стабилитроннинг энг асосий параметри стабиллаш (барқарорлаш) кучланиш и U_{st} бўлиб, у р-п ўтишнинг кенглиги ёки диод базасининг солиштирма қаршилигига боғлиқ. Шунинг учун стабилитронлар турли U_{st} (Здан то 400 В гача) эга бўлади.

Стабибитронларни тайёрлашда р-п ўтишларни қотиштириш ва дифузион усуллар қўлланилади. Бунда бир вақтда киришмани кремний кристалининг икки тарафида киритилса, бу тарафлар орасида кучланиш берилганда бир бирига қарши уланган иккита р-п ўтиш ҳосил бўлади. Бундай стабилитронларнинг икки анодли стабилитронлар дейилади. Улар турли кутбли кучланишларни стабиллаш учун қўлланилади.

Яримўтказгичли стабисиор кучланишни барқарорлигига мўлжалланган диод бўлиб, унда муайян ораликда тўғри кучланиш токка жуда суст боғлиқ бўлади. Уларда $U_{sm} \sim 0,7V$. Бир неча стабистор кетма-кет уланса, анча катта U_{sm} олиш мумкин. Стабисторларнинг асосий қисми р-п ўтиши паст омли кремнийда ҳосил қилинган кремний диодларидир.

Кремний стабисторларидан бошқа, саноат яна селен поликристаллари асосидаги стабисторлар ишлаб чиқаради. Уларни тайёрлаш содда, нархи паст. Бироқ, селен стабисторларнинг ишлаш муддати камроқ (1000 соат) ва ишлаш температуралари оралиғи торроқ ($-25 \div +60^{\circ}C$).

4-§. Туннел диодлар ва вариаклар олиш технологияси

а). Туннел диодлар олиш

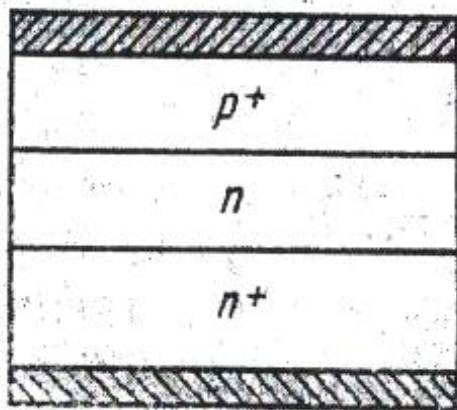
Бу диодлар легирловчи киришмалар зичлиги етарлича катта бўлган (айниган) яримўтказгичда шаклланган р-п ўтиш асосида тайёрланади. Электрон ва ковак соҳалар ўтказувчанлиги катта бўлганлиги сабабли р-п ўтиш кенглиги кичик ($10 \sim 2$ мкм чамасида) бўлади, яъни бошқа диодлардагидан икки тартиб (~ 100 марта) юпқа бўлади. Бундай юпқа қатлам потенциал тўсиғидан заряд ташувчилар туннелланиб (сирқиб ўта олади).

Тескари кучланишлар соҳасида ҳам туннел диодда туннелланиш содир бўлади. Саноат галлий арсениди ва германий асосида туннел диодлар ишлаб чиқариб келган.

б). Варикаплар тайёрлаш

Вари (вари - ўзгариш), кап (*capacitanse*-сиғим маъносини англатади). Варикар- ўзгарувчан сиғимли диоддир. p-n ўтиш (ёки металл- яримўтказгич контакти) электр сиғими қўйиладиган ташқи кучланишга боғлиқ эканлиги маълум. Варикап диодлар ана шу хоссага асосланиб ва муайян мақсадларга мўлжалланиб тайёрланади. Унинг бир тури тузилиши 15-расмда кўрсатилган. Унинг асосий параметрлари: варикап сиғими C_v , сиғим бўйича устма-уст тушиш коэффиценти K_c , варикап асслиги K_v .

Паст частоталарда ишлатиладиган варикапларда p-n ўтишнинг дифференциал қаршилиги ва сиғими кўпайтмаси $p_{p-n}C_v$ катта бўлиши керак. Шунинг учун кенг тақиқланган соҳали яримўтказгич моддалардан (кремний, галлий арсениди ва бошқалар) фойдаланиш мақсадга мувофиқ.



15-расм. Базаси қаршилиги кичик бўлган варикап тузилиши.

Варикаплар асосан юқори ва ўта юқори частоталарда қўлланилади. Бундай варикапларда базанинг p_6 дифференциал қаршилиги кичик бўлиши керак (19-расм). Бунинг учун эса дастлабки яримўтказгич модада заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги катта бўлиши зарур (галлий арсениди, $n\text{-Ge}$ ва бошқалар).

III -БОБ. p - n –ўтишнинг параметрлари ва характеристикалари.

1-§. p - n –ўтишнинг вольтампер характеристикалари.

Юқоридаги бобларда кўрсатиб ўтилганидек, яримўтказгичнинг металл билан ёки яримўтказгичнинг бошқа хил ўтказувчанликдаги яримўтказгич билан контакти соҳасида катта қаршиликга эга бўлган қатлам юзага келади.

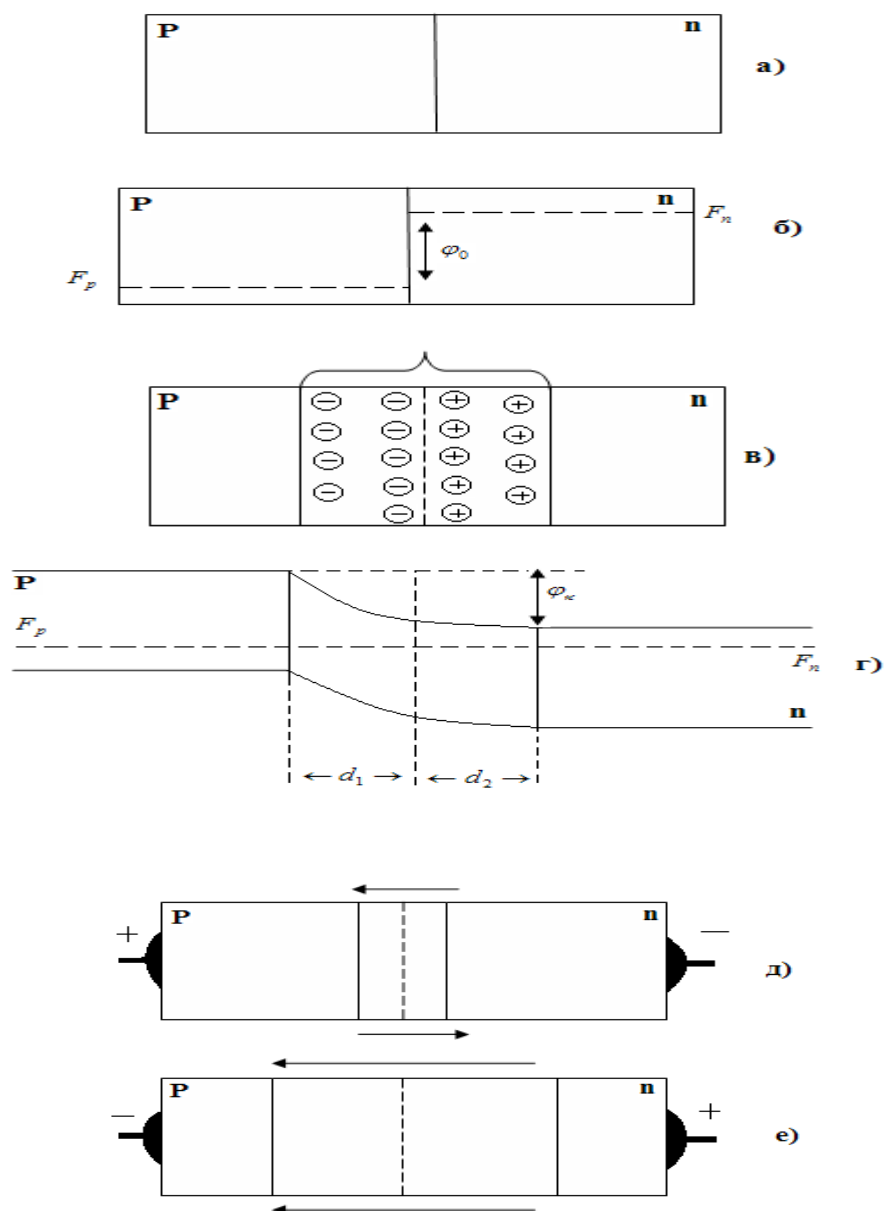
Беркитувчи қатламнинг кенглиги p -ва n -яримўтказгичлардаги заряд ташувчилар концентрациясига, ҳароратга, ташқи кучланишга ва токнинг йўналишига боғлиқ бўлади. Масалан, $T=300^0\text{ K}$ ва $n=10^{16}\text{см}^{-3}$ бўлганда беркитувчи қатлам қалинлиги кремний учун 0,32 мкм ва германий учун 0,24 мкмга тенг.

Беркитувчи қатламнинг қаршилиги(кенглиги) ташқи электр майдон таъсирига кучли боғлиқ. Бу боғлиқлик 16-расмда тасвирланган. Ташқи майдоннинг бирон йўналишида қаршилиги кескин камайиб, электр токини яхши ўтказса, қарама-қарши йўналишда эса электр токини деярлик ўтказмайди. P - n -ўтишнинг электр токини бир томонлама ўтказиш хоссасидан фойдаланиб яримўтказгичли диодлар ясалади. Ишлаш хоссаларига кўра яримўтказгичли диодлар нуқтавий, текис, импульсли каби турларга бўлинади.

P - n -ўтиш ҳосил қилишнинг шунингдек нуқтавий, қотишмали, планар, эпитаксиал, ион билан легирлаш, меза ўтишли каби усуллари мавжудлиги юқорида кўрсатиб ўтилди.

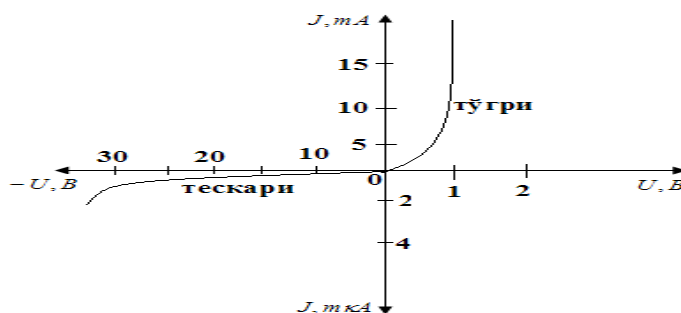
Агар p - n - ўтиш тузилмасининг четки қисмларига 16-расм д ва е да кўрсатилгандек металл контактлар ўрнатилиб, дастлаб, p -хил яримўтказгич –

эмиттер электр манбининг мусбат қутбига, п-хил яримўтказгич – база электр манбаининг манфий қутбига уланган бўлсин (16-расм д). Ташқи майдон кучланганлиги E_T р-п-ўтиш майдони ички майдоннинг E_i кучланганлигига қарама қарши бўлиб, уни заифлаштиради, яъни унинг қалинлиги, бинобарин



16-расм. Р-п-ўтишда беркитувчи қатлам ҳосил бўлиш механизми ва унинг ташқи майдон таъсирида ўзгариш схемаси.

қаршилиги камаяди ва р-п- ўтишда аввал ўрнатилган динамик мувозанат бузилади. Натижада ташқи майдон таъсирида коваклар р-соҳадан п-соҳага, электронлар эса п-соҳадан р-соҳага ўтишига имкон туғилади. Ташқи майдоннинг бу йўналиши “**тўғри**” йўналиш деб аталади. Тўғри кучланишнинг маълум қийматидан бошлаб диоддан ўтаётган ток кескин ошиб кетади (17-расм).



3-расм. р-п-ўтишнинг вольтампер характеристикаси

Бу кучланишнинг катталиги ярим ўтказгич материалынинг турига, аниқроғи унинг тақиқланган соҳасининг кенглигига боғлиқ. Агар кучланишнинг қутблари алмаштирилса (16-расм,е), ташқи майдон кучланганлиги йўналиши р-п-ўтиш майдон кучланганлиги йўналиши билан мос тушади. Натижа р-п-ўтишнинг ички потенциаллар майдони ошади ва электрон ва ковакларнинг қарама-қарши томонга ўтиш қийинлашади. Демак “**тескари**” йўналишда электрон ва коваклар учун потенциал тўсиқ янада ортиб кетади. Ток ташувчиларнинг инжекцияси тўхтайди ва р-п-ўтишдан деярли ток ўтмайди. “Тескари” йўналишда озгина тескари токнинг бўлиши (17 - расм) р-п-ўтишдан асосий бўлмаган ток ташувчиларнинг ўтиши туфайли вужудга келади. Яъни п- соҳа учун асосий бўлмаган коваклар ва р-соҳа учун асосий бўлмаган электронлар р-п-ўтиш майдонидан бемалол ўта олади. Бу токнинг катталиги р-п – ўтишга қўйилган кучланишга боғлиқ эмас.

Шундай қилиб, р-п- ўтиш “**тўғри**” йўналишда токни яхши ўтказди, “тескари” йўналишда эса ўтказмайди. Яримўтказгичли диоддан ўтаётган токнинг унга қўйилган кучланишга боғланиши диоднинг асосий

характеристикаларидан бири унинг вольт-ампер характеристикасидир(3-расм). Яримўтказгичли диоддан ўтаётган ток кучининг кучланишга бу тарздаги боғланиши яримўтказгичли диод вольтампер характеристикаси носимметрик эгри чизиқли кўринишга эга бўлишини кўрсатади.. Унинг бу хоссаси асосида ўзгарувчан токни тўғрилагич диодлар тайёрлашда фойдаланилади. Яримўтказгичли диодлар юқори частотали тоқларни детекторлавчи, ўзгарувчан сигимли конденсаторлар(варикаплар) сифатида ҳам кўп ишлатилади.

2-§. р-п –ўтишнинг параметрлари.

Яримўтказгичли диодларнинг қуйидаги параметрлари мавжуд:

- 1) Статик қаршилиги;
- 2) Динамик (дифференциал) қаршилиги;
- 3) Тескари йўналиш қаршилиги;
- 4) Диоднинг характеристикаси қиёлиги;
- 5) Диоднинг тўғрилаш коэффиценти;
- 6) Диоднинг ўтиш сигими;
- 7) Тескари максимал кучланиш;
- 8) Диоднинг тешилиш кучланиши;
- 9) Диодда сочиладиган максимал қувват

Яримўтказгичли диоднинг бу характеристикалари параметрларининг айримларини изоҳлаб ўтаимиз. Яримўтказгичли диоднинг “тўғри “ йўналишдаги тўла ва дифференциал қаршилиги унинг асосий параметрлардан ҳисобланади. Тўла (ўзгармас ток бўйича) қаршилик вольт-ампер характеристиканинг бирор нуқтаси учун кучланишнинг токка нисбати сифатида аниқланади:

$$R = \frac{U_0}{I_0}$$

Дифференциал (ўзгарувчан ток бўйича) қаршилиқни ҳисоблаш учун эсаволь-ампер характеристиканинг бирор нуқтаси атрофидаги кучланиш ва токнинг ўзгариш қийматлари нисбати олинади:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Тўғри йўналишдаги характеристика эгри чизиғидан диоднинг характеристикаси қиёлигини аниқлаш мумкин.

Диоднинг тўғрилаш коэффициенти. Бу коэффициент диоднинг тўғрилаш хоссаларини боҳалаш учун ишлатилади ва тўғри ва тескари тоқларнинг 1 вольт кучланиш оралиғидаги қийматлари нисбати билан аниқланади.

Диоднинг тешилиш кучланиши. Тескари кучланиш ошиб борганда унинг бирон қийматидан бошлаб тескари ток бирдан ошиб кетади, яъни диод тешилади. $U_{\text{теш}}$ —тешилиш кучланиши иссиқлик ва электрик ташкил этувчилардан иборат бўлиб, диоднинг турига қараб бирнеча вольтдан минглаб вольтгача боради.

Электрик тешилиш қайтар хоссага эга, яъни тескари кучланиш тешилиш кучланишидан пасайиши билан диод ўз хоссаларини тиклайди.

Иссиқлик тешилиш қайтмас жараён бўлиб, бунда р-п-ўтишда қайтмас бузилиш содир бўлади. Бу жараён ўта қизиқ кетган диодларда кузатилади.

Тескари максимал кучланиш.. Бу кучланиш диоднинг узоқ муддат бузилмасдан ишлаши учун зарур бўлган тескари кучланишнинг энг катта қийматини белгилайди. Ҳар бир диод учун унинг миқдори тешилиш кучланишидан аниқланади:

$$U_{\text{тес.макс.}} = 0,8 U_{\text{теш.}}, \text{ В.}$$

Диодда сочиладиган максимал қувват. Диоддан ток ўтганда у қизийди. Бир маромда ишлаб туриши учун диоднинг иш жараёнида қизиш

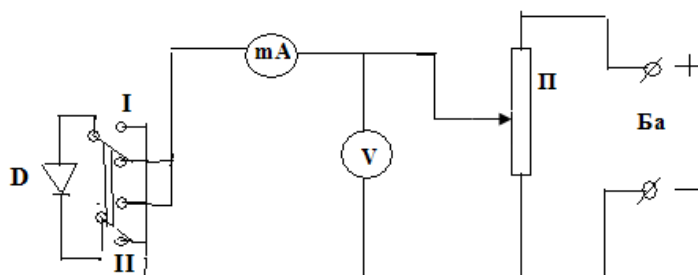
температураси ҳар бир диод учун белгиланган қийматдан ошиб кетмаслиги керак.

IV-БОБ. Яримўтказгичли диод хоссаларини амалий ўрганиш.

1-§. Диод хоссаларини амалий ўрганиш қурилмалари схемаси.

Ишни бажариш тартиби

Доно хоссаларини ўрганиш учун 18-расмда кўрсатилган схемадан фойдаланилади. Калитни “ 1 ” ҳолатига қўйинг, яъни диодга “тўғри” кучланиш берилади. П потенциометр ёрдамида кучланишнинг ҳар хил қийматларини (8-10та нуқта) олиб, вольтампер ва миллиамперметрларнинг кўрсатиши жадвалга ёзиб борилади..



18-расм. Яримўтказгичли диоднинг ВАХ сини олиш занжири схемаси.

Калитни “ 2 ” ҳолатга қўйиб, диодга тескари кучланиш берилади. Потенциометр ёрдамида кучланишнинг қийматини нолдан 10-15 В гача ўзгартириб бориб, вольтампер ва амперметрлар кўрсатишини ёзиб борилади.

Ўлчаш натижалари асосида диоднинг вольтампер характеристикаси графигини чизиш мумкин.

2-§. Диод хоссаларини амалий ўрганиш натаижалари

ХУЛОСА

Битирув малакавий ишида келтирилган маълумотлар асосида қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин.

1.Яримўтказгичларнинг фанда ўрганила бошланганига ҳали кўп бўлгани йўқ. Лекин ҳозирги кунда яримўтказгичли асбоб ёки қурилмалар қўлланилмайдиган бирор соҳани топиш қийин.

2. Ярим ўтказгичлар ўзларининг солиштирама электр қаршиликлари бўйича ўтказгичлар билан изоляторлар ўртасидаги оралик ҳолатни эгаллайди.Яримўтказгичларнинг ток ўтказувчанлиги ташқи таъсирларга (масалан, ҳароратга ,ёритилганликка) кучли боғлиқ.

3.Ярим ўтказгичли асбобларнинг деярли кўпчилиги $p-n$ - ўтиш хосасаларига асослангандир. $p-n$ - ўтиш яримўтказгич ўтказувчанлигининг бир турдан иккинчи турга алмашадиган қисми бўлиб, унинг бир томони n -турдаги кристалл бўлиб, унда ўтказувчанлик асосан электронлар ҳисобига бўлса, иккинчи томони p -турдаги кристалл бўлиб, унда ўтказувчанлик асосан коваклар ҳисобига бўлади. Демак, $p-n$ ўтишнинг бир (n -тур) томонида электронлар асосий, коваклар эса асосий бўлмаган ток ташувчилар бўлиб ҳисобланса, иккинчи (p -тур) томонда эса бунинг акси бўлади.

4. $P-n$ -ўтишни олишнинг бир неча усуллари бор. $P-n$ -ўтиш турли усуллар билан ҳосил қилиниши мумкин. Лекин уларнинг тузилиши 2-расмда кўрсатилгандек бўлади. Икки хил ўтказувчанликдаги яримўтказгичларнинг ўзаро контакти туфайли юзага келган бундай тизим яримўтказгичли диод деб аталади. Контактга келтирилгандан сўнг яримўтказгичларнинг иккала қисми орасида зарядлар алмашуви юзага келади. Зарядлар алмашуви мувозанат ҳолатга эришгандан сўнг, ҳар иккала яримўтказгичнинг $p-n$ -ўтиш соҳасида электронлар ва коваклар учун **потенциал тўсиқ** вужудга келади.Бу потенциал тўсиқ контакт потенциаллар айирмаси деб аталади.

5. $P-n$ -ўтиш соҳасининг электр қаршилиги яримўтказгичнинг бошқа қисмлари қаршилигига нисбатан жуда катта. Шу хоссасига кўра бу қатлам

беркитувчи қатлам деб аталади. Беркитувчи қатламнинг кенглиги p -ва n -яримўтказгичлардаги заряд ташувчилар концентрациясига, ҳароратга, ташқи кучланишга ва токнинг йўналишига боғлиқ бўлади. Беркитувчи қатламнинг қаршилиги(кенглиги) ташқи электр майдон таъсирига кучли боғлиқ. Ташқи майдоннинг бирон йўналишида қаршилиги кескин камайиб, электр токини яхши ўтказса, қарама-қарши йўналишда эса электр токини деярлик ўтказмайди. P - n -ўтишнинг электр токини бир томонлама ўтказиш хоссасидан фойдаланиб яримўтказгичли диодлар ясалади. Ишлаш хоссаларига кўра яримўтказгичли диодлар нуқтавий, текис, импульсли каби турларга бўлинади.

6. Ҳозирги даврга келиб яримўтказгич асбоблар ва улар асосида тайёрланган қурилмалар ҳаётимизда кенг қўламда ишлатилмоқда. Бунинг асосий сабаби яримўтказгичларнинг ажойиб хоссаларидир. Уларнинг бу хоссалари яримўтказгич кристалли ҳажмида ток ташувчи зарядлар концентрацияси ва ҳаракатини белгиланган тарзда бошқариш имконияти мавжудлигидан келиб чиқади. Бошқариш жараёнининг турига қараб хилма-хил хоссага эга бўлган яримўтказгичли электрон асбоблар яратилди ва яратилмоқда. Ушбу битирув малакавий ишида яримўтказгичлар асосида электрон асбобларнинг бири – яримўтказгичли диодни яратиш технологиялари, яратиш жараёнида физикавий қонуниятларнинг қўлланилиши ва электрон асбоблар яратиш усулларининг хусусиятларини ўрганиб чиқиш мақсад қилиб қўйилган.

7. Маълумки, 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. Худди шундай муаммолар бошқа яримўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлашда ҳам учрайди. Эпитаксия

усули яратилиши бундай муаммоларни ечишда анчагина имконият берди ва БМИда бу усулнинг имкониятларини очиб беришга ҳаракат қилинади.

8. Эпитаксиал қатламлар тузилиш жиҳатдан ҳажмий монокристаллдан анча такомиллашганлиги, уларда киришмаларни ҳақиқий тақсимотига эга бўлиши билан бирга, назорат қилиб бўлмайдиган ифлосликлар камлиги билан фарқ қилади.

9. Юқорида баён этилган маълумотлар яримўтказгич хоссасига эга бўлган моддаларни ўстириш усуллари сони чекланмаганлигини ва улар асосида хоссалари жуда хилма-хил бўлган кўп асбоблар, мураккаб қурилмалар тайёрланади, улар фан ва техниканинг, саноатнинг турли соҳаларида ва инсонларнинг кундалик турмушида кўплаб муаоммаларни ҳал қилиб беришда ишлатилади, деб ишонч билан айтиш мумкин.

10. Яримўтказгичлар асосида келажакда яна ҳам ажойиб хоссаларга эга бўлган асбоблар яратилишига ҳеч бир шубҳа йўқ. Бунинг учун ҳозир таълим даргоҳларида билим олаётган ёшларимизни яримўтказгичлар ва уларнинг ажойиб хоссаларга ҳақидаги билимлар билан мукамал таништириб боришни зарур деб ҳисоблайман.

Ушбу ишни бажаришда “Умумий физика” кафедрасининг имкониятларидан унумли фойдаландим. Шу сабабли бу борада менга ўз ёрдамларини аямаган устозларимга чуқур миннатдорчилигимни билдираман.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. Азизов М. Яримўтказгичлар физикаси. Т. 1974 йил.
2. Акрамов Ҳ ва б. Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар. Т. 1994 йил.
3. Шалимова К.В., Физика полупроводников . М. 1985 год.
4. А. Тешабоев ва б. Яримўтказгичлар ва яримўтказгичли асбоблар технологияси. Т. 2006 йил.
5. Зайнобиддинов С, Тешабоев А. Яримўтказгичлар физикаси. Т. 1999 йил.
6. А.Турдиев “Радиоэлектроника асослари”. Т. 1994 й.
7. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов. М. 20004 г., т. 1и 2.
8. И.Нигматов “Радиоэлектроника асослари”. Т. 1998 й.
9. Таркуша. Ж.М. Основы физики полупроводников. М. 1982 год.
10. Ўзбекистон энциклопедияси.Т. 4, 6 б, Т10, 407 – 408, 186, 399 бб.
11. Физический энциклопедический словарь. М. 1995 г. 450 -455 стр.
- 12.[http: // www. Dissertant.uz/](http://www.Dissertant.uz/) - Ёш олимлар портали
- 13.[http: // www. Allbest.ru/](http://www.Allbest.ru/)-Электрон кутубхоналар библиотекази
- 14.[http: www. Edu.ru/](http://www.Edu.ru/)- Россия федерацияси таълим портали