

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

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

УМУМИЙ ФИЗИКА КАФЕДРАСИ

**Шодмонқулов А нинг 5440100-“Физика” таълим
йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун
« $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ ГЕТЕРОСТРУКТУРАСИНИНГ ВОЛЬТ-
АМПЕР ХАРАКТЕРИСТИКАСИ »
мавзусидаги битирув малакавий иши**

Илмий раҳбар:

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

ГУЛИСТОН – 2014 й.

Мундарижа

Кириш.....	3
------------	---

I-БОБ. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР

1. §. Яримўтказгичларнинг тузилиши.....	6
2. §. Яримўтказгичларининг хоссалари.....	10
3. §. Яримўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги.	15
4. §. Яримўтказгичларнинг хусусий ва электр ўтказувчанлиги	19

Яримўтказгичларда аралашмали ўтказувчанлик

II-БОБ. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$

СТРУКТУРАСИНИНГ ОЛИНИШИ

1 §. Эпитаксиал ўстиришнинг асосий усуллари.....	25
2 §. Эпитаксиал усулда мураккаб тизимли яримўтказгичли қатламларни ўстириш.....	28
3 §. $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ қаттиқ қоришмасини суяқ фазали эпитаксия усулида ўстириш технологик қурилмаси.....	30
4 §. $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ эпитаксиал қатламларни ўстириш.....	34

III Боб. СУЮҚ ФАЗАДАН ЎСТИРИЛГАН $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$

ҚАТЛАМЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИКАВИЙ ТАБИАТИ

1 §. $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ структуранинг хона ҳароратидаги вольт-ампер характеристикасининг хоссаларини ўрганиш.	37
2 §. $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ структуранинг турли хил температураларда вольт-ампер характеристикаси	40

ХУЛОСА	45
--------------	----

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.....	46
---------------------------------------	----

КИРИШ.

Мавзунинг долзарблиги. 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 ўлчамлари, ҳажми кичик, ишлаш муддати катта ва ишончли, ташқи таъсирларга чидамли ва бажарадиган хизматлари доираси жуда кенг.

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

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

Ҳозирги вақтда оптоэлектроникада қўлланиладиган асбобларни яратишда зарур бўлган структураларни олиш, уларнинг таннархини пасайтириш мақсадида яримўтказгичлар материалшунослигида жадал илмий изланишлар олиб борилмоқда. A^2B^6 ва A^3B^5 бирикмалари ва уларнинг қаттиқ

қоришмалари яримўтказгичлар асбобшунослигида асосий материал ҳисобланади. Аммо A^2B^6 ва A^3B^5 нинг жуда кўп бирикмалари нархи баланд ашёлар ҳисобланганлиги боис, улардан массив элементлар тарзида кенг миқёсда фойдаланиш иқтисодий жihatдан чегераланган. Оптоэлектрон элементлар актив қисмининг ўлчами бир неча микрометрни ташкил этиши сабабли, мазкур бирикмаларни қулай ва арзон, хусусан, кремний (Si) монокристаллари асосидаги тагликларда ўстириш мақсадга мувофиқ. Лекин, кремний ва унда ўстирилувчи A^2B^6 ва A^3B^5 бирикмалари эпитаксиал қатламларининг панжара ва иссиқлик кенгайиш коэффициентлари ўлчамлари ўртасида фарқ борлиги сабабли бундай бирикмаларни кремний тагликларга тўғридан-тўғри стириниш мушкул [1]. Бу номуносивбликни кремний таглиги ва эпитаксиал қатлам орасига ўстирилган буфер қатлами ёрдамида йўқотиш мумкин. Буфер қатлам сифатида бир маромда ўзгарувчи ($0 \leq x \leq 1$) $(Si_2)_{1-x}(A^2B^6)_x$, $(Si_2)_{1-x}(A^3B^5)_x$ бирикмаларининг варизон қаттиқ қоришмаларидан фойдаланиш мумкин. Буфер қатлам панжаралар ўлчамини мослаштириб, таглик ва эпитаксиал қатлам орасидаги механик зўриқишнинг олдини олади.

$(C_2^4)_{1-x}(A^2B^6)_x$ ва $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ қаттиқ қоришмаларини принципиаль олиш мумкинлиги [3-5] ларда намоиш қилинган. Ҳозирги вақтгача $(Ge_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(ZnS)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnS)_x$, $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ қаттиқ қоришмалар экспериментал олинган. Аммо $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnTe)_x$, $(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ сингари қаттиқ қоришмалар бизгача олинмаган. Олинган қаттиқ қоришмалар ҳам чуқур ўрганилмаган ва янги тадқиқотларни талаб қилади.

Шу сабаб Si тагликларда $(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ ўрин алмашувчи қаттиқ қоришмаларини ўстириш, уларнинг электрофизик характеристикаларини ўрганиш яримўтказгич материалшунослигининг долзарб масаласи ҳисобланади.

БМИнинг мақсади. Ушбу БМИ да яримўтказгичлик хоссасига эга бўлган янги типдаги моддани ўстириш технологиясини ва унинг тузилиши, электрофизик хоссаларини ўрганиш **мақсад** қилиб қўйилган. Бундай модда кремний монокристаллидан иборат тагликда суюқ фазадан эпитаксия усули билан ўстирилган рух, селен, ва галлий, фосфор қатламларидан иборат $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ бирикмалар ҳисобланади.

Мавзунинг илмий янгилиги шундаки, $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ бирикмалар деярлик ўрганилмаган. Биринчи марта (111) ориентацияли Si тагликларга суюқ фазали эпитаксия усулида Sn қотишма-қоришмадан ўрин алмашинувчи $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ ($0 \leq x \leq 0.88$, $0 \leq y \leq 0.09$) қаттиқ қоришманинг n-типли монокристалл эпитаксиал қатламлари ўстирилди. Бундай ўрин алмашинувчи қаттиқ қоришмаларнинг ҳосил бўлиши қаттиқ қоришма компоненталарининг изовалентлиги ва молекуласи атомларининг ковалент радиусларининг яқинлиги билан боғлиқ. Шунингдек, ўстирилган қатламларнинг электрофизик хоссаларини ўрганиш бўйича ўтказилган тажрибалар натижалари таҳлил қилинди.

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

1-БОБ. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР

1. Яримўтказгичларнинг тузилиши

Ярим ўтказгичлар деганда физикада аввалам бор тўрт валентли Ge ва Si моддалари тушунилади, уларнинг физик хоссалари айниқса батафсил ўрганилган. Менделеев жадвалида шу гуруҳда турган олмос ҳам ярим ўтказгич ҳисобланади, лекин уни ҳосил қилиш қийроқ. Уч валентли элементларни беш валентли элементлар билан бирикмалари A_3B_5 ($GaAs$, $InSb$, GaP , InP ...) ярим ўтказгичли кристаллар ҳосил қилади. Шу каби A_2B_6 типдаги бирикмалар ($ZnTe$, $ZnSe$, $CdTe$, CdS) ва бошқа типдаги ярим ўтказгичлар маълум. Ярим ўтказгичлар борган сари кўпроқ қўлланилаётган шароитда, кремний Si табиатда кенг тарқалган модда сифатида борган сари кўпроқ қўлланилмоқда. Техникада қўлланиладиган Si ниҳоятда тоза бўлиши керак, ундаги аралашма атомларнинг сони кремний атомларини сонини 10^{-8} қисмидан ошмаслиги керак. Бундай тозаликни амалга оширадиган технологик жараёнларни ўзлаштирган фирмалар кўп эмас, техник кремний эса қимматбаҳо маҳсулот ҳисобланади. Ўзбекистонда Электроника Институти Корея Республикаси фирмалари билан биргаликда Республика кремний захираларидан техник кремний олиш бўйича амалий ишлар олиб бормоқда.

Абсолют диэлектрик хоссалар фақат паст ҳароратда, абсолют нол температурада кузатилиши мумкин. Температура ошиши билан диэлектрик кристалларда кузатиладиган жараёнларни ўрганайлик.

Кристалларда электронлар билан тўла зоналарни *валент* зона деб аталади. *Тақиқланган* зона валент зонани юқоридаги, *ўтказувчанлик* зонасидан ажратиб туради, унинг кенглиги E_g деб белгиланади. Нима учун диэлектрикдаги юқоридаги зона ўтказувчанлик зонаси деб аталишини тушунтирайлик. Диэлектрикда электронлар кўп, лекин улар энергетик жиҳатдан пастки, энергияси кичик бўлган зоналарда жойлашади. Электронларнинг айримлари фотонни ютиб, ёки температура ошганда кристаллдаги иссиқлик тебранишларини энергиясини ютиб, юқоридаги

электронлардан бўш зонага ўтиб қолиши мумкин. Температура ошиши билан бундай электронлар сони ошиб боради. Электр майдон бўлмаганда бу электронлар бетартиб ҳаракатланиб, улар ҳосил қилган ток нолга тенг бўлади. Электр майдон пайдо бўлса, майдон уларнинг ҳар бирига таъсир этиб, уларни ҳаракатини ўзгартиради, ҳаракатларига тартиб киритади ва электр токи вужудга келади: $\vec{j} = ne\vec{v}$. Валент зонасида бўлган тақққлар ўтказувчанлик зонасида бўлмайди, чунки турли $\vec{k}$ тўлқин векторли руҳсат берилган ҳолатлар жуда кўп, бу зонага ўтиб қолган электронлар сони эса – кам.

Токнинг $\vec{j} = ne\vec{v}$ формуласида n - электронлар концентрацияси, $\vec{v}$ - уларнинг электр майдондаги тартибли ҳаракат тезлиги. Бу тезлик майдон таъсирида вужудга келиб, майдон кучланганлигига мутаносиб бўлади: $\vec{v} = \mu \vec{E}$. Мутаносиблик коэффиценти μ зарядли зарраларнинг ҳаракатланиш шароити билан боғлиқ бўлиб, *ҳаракатланувчанлик* деб номланади. Микдор жиҳатдан ҳаракатланувчанлик зарраларнинг бирлик электр майдондаги тартибли *ҳаракат тезлигига* тенг. Шундай қилиб, ўтказувчанлик зонасида электр майдонда ток вужудга келар экан:

$$\vec{j} = ne\mu \vec{E}. \quad (1)$$

Манфий зарядли зарралар учун μ ҳам манфий бўлиб, $e\mu$ кўпайтма мусбат бўлади, ток электр майдон йўналишида бўлади. Шунинг учун уларни ишорасига эътибор бермаслик ҳам мумкин.

Валент зонаси электронлар билан тўла бўлганда токка ҳисса қўшмас эди. Лекин айрим электронлар ўтказувчанлик зонасига ўтиши билан, бўш руҳсат берилган ҳолатлар – *тирқишлар* пайдо бўлиши билан, электр майдонда электронлар ҳаракатини (тирқишлар ҳаракатини) ўзгариши учун шароит вужудга келади. Тирқишлар мусбат зарралар каби токка ҳисса қўшади. Тирқишлар майдон бўйлаб ҳаракатланади, электронлар майдонга нисбатан тескари ҳаракатланади, уларнинг иккиси ҳам токка мусбат ҳисса қўшади:

$$\vec{j} = (n_+ \mu_+ + n_- \mu_-) e \vec{E}. \quad (2)$$

Бу ифодада маълум шароитларда эркин электронлар ва тирқишлар концентрацияси фарқ қилиши мумкинлиги ҳисобга олинган. Эркин электронлар ва тирқишлар концентрацияси тенг бўлса:

$$\vec{j} = (\mu_+ + \mu_-) n e \vec{E}. \quad (3)$$

Токнинг қийматига таъсир этувчи энг кучли миқдор – зарядли зарралар концентрациясидир. Эркин электронлар ва тирқишлар температура ёки бошқа сабабга кўра вужудга келади, ҳаракатланади, бир – бири билан учрашганда нейтраллашади, илмий тилда - рекомбинациялашади. Уларнинг концентрацияси шундай динамик шароитда вужудга келади. Температура таъсирида электронларни валент зонасидан ўтказувчанлик зонасига ўтиши температура ошиши билан кескин ошади ва орадаги тақиқланган зона кенглигига (E_g) кучли боғлиқ бўлади. E_g кичик бўлса, электронларни ўтказувчанлик зонасига ўтиши енгиллашади ва уларни концентрацияси нисбатан катта бўлади. Фақат температура таъсирида вужудга келадиган концентрация Ричардсон – Дешман формуласи билан ифодаланади:

$$n = AT^2 \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right). \quad (4)$$

Бу ерда A - доимий коэффициент, k -Больцман доимийи.

Мисол учун $E_g = 2eV = 3.2 \cdot 10^{-19} J$, $T = 300K$ бўлсин. Унда: $n \approx 2.4 \cdot 10^{-29} (AK^2)$. Тақиқланган зона $E_g = 2.2eV$ бўлса, концентрация $\approx 10^3$ марта камаяди, $E_g = 1.8eV$ бўлса, концентрация $\approx 10^3$ ортади. Шундай қилиб тақиқланган зонани шундай кичик ўзгариши ҳам ўтказувчанлик электронларини концентрациясига ва ўтказувчанликка шундай кучли таъсир этади. Шунинг учун $E_g = 2eV$ шартли равишда диэлектриклар ва ярим ўтказгичлар орасида чегара деб олинган. $E_g > 2eV$ бўлган кристаллар диэлектриклар деб ҳисобланади, бундан кичик тақиқланган зонага эга бўлган кристаллар ярим ўтказгичлар деб аталади. Ёруғлик фотонларининг

энергияси $1.55 \div 3.1 \text{ eV}$ ораликда бўлиб, $E_g = 2 \text{ eV}$ ёруғлик нурлари соҳасига тўғри келади. Оптик тоза диэлектриклар $E_g > 3.1 \text{ eV}$ бўлганида ёруғлик нурларини ютмайди, шаффоф бўлади, лекин частотаси етарли бўлган ультрафиолет нурларни ютади. Жумладан оддий шиша кўзойнак ҳам кўзни ультрафиолет нурлардан асрайди.

Диэлектриклар ва ярим ўтказгичлар орасида сифат жиҳатдан фарқ йўқ, миқдорий фарқ бор. Диэлектриклар тақиқланган зонаси $E_g > 2 \text{ eV}$ катта бўлгани учун уларда одатдаги шароитда ўтказувчанлик электронларини концентрацияси шунчалик кичик бўладики, уларни ток ўтказмайди деб ҳисоблаш мумкин, улар учун $\rho = 10^8 \div 10^{10} \Omega \text{ m}$. Ярим ўтказгичлар тақиқланган зонаси кичикроқ бўлгани учун уларнинг ўтказувчанлиги нисбатан катта, солиштира қаршилиқ кичик бўлади. бўлади. Ярим ўтказгичларни тақиқланган зонаси кичик бўлган диэлектриклар деб аташ мумкин.

Ўтказувчанлик яна температурага кескин боғлиқдир. Масалан температурани 270 K гача камайиши, яъни 10% камайиши ўтказувчанликни $\approx 10^4$ марта камайтиради, 10% ортиши - 10^3 марта орттиради. Ярим ўтказгичлар ўтказувчанлигини температура билан ортиши шундай, ўтказувчанлик электронлари ва тирқишлар концентрацияси температура билан кескин ортиши билан тушунтирилади. Металларда эса температура ортиши билан ўтказувчанлик чизикли равишда камаяди [9].

2. Ярим ўтказгичларининг хоссалари

Яримўтказгичлар электроникаси саноатида энг кўп қўлланилаётган яримўтказгич моддалар билан танишиб чиқайлик.

Кремний (si)

Яримўтказгичли асбоблар ва тизимлар ишлаб чиқаришда энг кўп ишлатилаётган модда кремнийдир. У элементлар даврий тизимида 14-ўринда туради. Атом оғирлиги 28, унинг энг катта валентлиги 4, суюлиш температураси (нормал босимда) 1414°C, қаттиқ кремнийнинг зичлиги 2,33 г/см³, диэлектрик сингдирув чанлиги $\epsilon = 11,7$, диамагнетик.

Хона температурасида кремний кимёвий жихатдан барқарор, сувда эримади, кўп кислоталарга нисбатан бардошли. Аммо, у нитрат ва фторид кислоталар аралашмасида яхши эрийди:



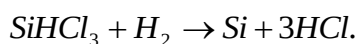
Кремний хавода 900°C гача қиздирилганда барқарор қолади. Аммо юқорироқ температураларда оксидланади. Водород билан кремний 2000°C чамасидаги температурада бевосита реакцияга киришади, $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ силанлар хосил бўлади.

Азот билан кремний 1100°C-1300°C да реакцияга киришиб, нитридлар хосил қилади. Суюлган кремний юқори кимёвий фаолликка эга бўлади. Кремний монокристалла рини ўстириш учун энг мақбул модда синтетик кварц — SiO_2 дир.

Электрик хоссалари. Яримўтказгичларнинг электрик ўтказувчанлиги $\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p)$ ифода билан тавсифланиши маълум.

n-тур яримўтказгичда ўтказувчанлик $\sigma = en\mu_n$, бунда (киришма тўла ионлашадиган температураларда) электронлар зичлиги n донор киришма зичлиги Nd га тенг, яъни Nd бўлиши керак эди. Бу тенглик киришмаларнинг муайян миқдоригача сакданади. Кремнийнинг (К) электрон (Э) турдаги монокристаллари фосфор (Ф) билан легирланади, ковак турдагиси бор (В) билан легирланади. Шунинг учун уларни КЭФ ёки КДБ тарзида белгиланади.

Трихлорсиланни водород билан тиклаб кремний олинади:



Германий (ge)

У элементлар даврий тизимида 32-ўринда туради, атом оғирлиги 72,5, энг катта валентлиги 4, суюлиш температураси 936° С, зичлиги 5,3 г/см³, диэлектрик сингдирувчанлиги 16, диамагнетик.

Хона температурасида германий кимёвий жихатдан барқарор. Сувда деярли эри-майди. 2-3 мол/л зичликдаги азот кислота эритмасида сезиларли эрийди, аммо кислота зичлиги катталашганда, сиртида GeO_2 оксид пардаси хосил бўлиб, эрувчанлик жуда камайиб кетади.

Хона температурасида германийни шох. ароғи (HF), водороднинг H_2O_2 оксиди ва оксидловчи едирувчилар фаол эритадилар.

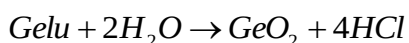
Хавода 700°С дан юқорида қиздирилса, германий оксидланади, шу температураларда уни углерод оксиди хам оксидлаб қўяди. GeO оксид қора кукун, уни 700°С дан юқорида осон хайдаш мумкин.

1100°С дан юқорида германий водород билан реакцияга киришиб, $\text{Ge}_n\text{H}_{2n+2}$ бирикмалар хосил қилади. Аммо у азот билан таъсирлашмайди.

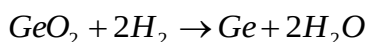
Суюқ германий 1500° С гача температураларда на углерод (C), на кремний оксиди (SiO_2) билан таъсирлашмайди. Бу хислат туфайли германийни графит (C) ва кварц (SiO_2) идишларида сакдаш мумкин.

Германийнинг электрик хоссалари кўп жихатдан кремнийникига ўхшаш, чункиулар IV гурух элементларидир.

Тозаланган тетрахлородни сувда гидролиз қилиш йўли билан даставвал германий IV оксид олинади:



GeO_2 IV оксидни тоза водород билан тиклаб, элементар германий олинади:



Галлий фосфиди (GaP)

Галлий фосфиди юқори кимёвий барқарорликка эга: у 700°C — 800°C гача ҳаводаги кислород билан таъсирлашмайди: кислотали ва ишқорли қўп эритмаларга нисбатан ҳам барқарор. Галлий фосфидининг эриш тезлиги азот кислотада (хона температурасида) $0,16 \text{ мг/см}^2 \text{ соат}$, қайнаётган туз кислотада (110°C) $0,01 \text{ мг/см}^2 \text{ соат}$, азот ва туз кислоталари қайнаётган (1:3) аралашмасида $7,8 \text{ мг/см}^2$. Кислоталар аралашмасига водород пероксид қўшилса, GaP нинг эрувчанлиги кес-кин ортиб кетади.

Галлий фосфиди кислоталарда эриганида кучли захарловчи фосфин PH_3 ажрала-ди. $\text{A}^{111}\text{B}^{\nu}$ бирикмаларнинг бошқалари ҳам кислоталар билан ана шундай таъсирлашади.

GaAs ва InAs-арсин AsH_3 ; InP-фосфин PH_3 ва INSb-стибин SbH_3 дан иборат захарли моддалар ажратади.

Суюқ GaP барча контейнер моддалари билан фаол таъсирлашади, чунки унинг суюлиш температураси $\sim 1500^{\circ}\text{C}$. Поликристалл GaP синтез қилиш учун топтоза графит. Монокристалл GaP ўстириш учун кварц контейнер вазифасини бажаради.

Яримутказгич $\text{A}^{111}\text{B}^{\nu}$ бирикмаларда (GaAs, GaP..) II гуруҳ. элементлари акцептор, VI гуруҳ. элементлари донор бўлади.

IV гуруҳ. элементлари атомлари галлий атомлари ўрнига жойлашган бўлса, улар донор, агар фосфор арсений ўрнига жойлашса, акцептор вазифасини ўтайди.

Галлий арсениди (GaAs)

Галлий арсениди сув билан таъсирлашмайди, кислоталар билан фаол таъсирлашиб, захарли AsH_3 арсин модда ажратади. Галлий арсениди эрувчанлиги кислоталар аралашмасида анча катта бўлади. Унинг эрувчанлиги туз кислота эритмасида $2 \cdot 10^{-5} \text{ мг/см}^2 \text{ соат}$, туз ва азот кислоталар сувли аралашмасида (1:1:1) — $60 \text{ мг/см}^2 \text{ соат}$, азот ва фторид кислоталар сувли эритмасида $1200 \text{ мг/см}^2 \text{ соатгача}$.

300°С гача қиздирилганда GaAs оксидланмайди, 600°С дан бошлаб у парчаланиб, арсенийни ажратади. Суюқ GaAs жуда фаол. GaAs технологиясида синтетиккварц(SiO_2) энг кўпқўлланилади.

GaAs нинг зичлиги $5,32 \text{ г/см}^3$, суюлиш температураси 1238°С .

Легирланмаган GaAs монокристаллари n-тур ўтказувчанликка эга, бунда $n < 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ва ҳаракатчанлик $\mu > 4200 \text{ см}^2/\text{Вс}(300\text{K})$ n-GaAs монокристалларини Te ёки Sn билан легирланади. p-GaAs монокристалларини Zn билан легирланади. Кўп ҳолларда GaAs (ярим-изоляцияловчи) монокристаллари- ни хром Сг билан легирланса, уларнинг солиштирма қаршилиги $1 \cdot 10^5$ дан $1 \cdot 10^7 \text{ Ом см}$ гача бўлади.

Индий фосфиди (InP)

InP сувда эрмайди. Унинг энг яхши эритувчиси туз кислотаси бўлиб, кислота зичлиги ортиши билан InP нинг эриш тезлиги ортиб кетади, аммо бунда захарли фосфин PH_3 ажралиб чиқади. Зичлиги $4,80 \text{ г/см}^3$, суюлиш температураси 1058°С .

300°С гача қиздирилганда InP оксидланмайди, юқорирок температураларда парчаланиб, фосфорни ажратади. Суюқ InP кварц билан сусл таъсирлашади, шунинг учун InP ни ўстириш қурилмаларида синтетик кварц қўлланилади.

Легирланмаган InP кристалларида заряд ташувчилар зичлиги $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ дан ортиқмас, ҳаракатчанлик $3000 \text{ см}^2/\text{В С}$ дан кам эмас.

n-InP монокристалларини Te ва Sn билан легирланади. Уларда $n = (5 \div 500) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$;

$$\mu_n = (2500 \div 1000) \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{С}$$

Рух билан легирланган p-InP да. $P = (5 \div 8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$

Ярим изоляцияловчи InP монокристалларини темир (Fe) билан легирланади. Уларда $\rho > 1 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Индий арсениди (InAs)

InAs сувда эримаиди, туз кислотада $+75^{\circ}\text{C}$ да едирилиш тезлиги $300\text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{соат})$. Азот кислота қўшилса, бу тезлик ошиб кетади. InAs кислоталарда эриганда захарли AsH_3 арсин ажралади.

450°C дан юкорида InAs хавода оксидланади. Вакуумда 700°C яқинида ва ундан юкорида InAs парчаланиб, арсенийни ажратиб чиқаради. Зичлиги $5,67\text{ г}/\text{см}^3$, суюлиш температураси 942°C .

Легирланмаган индий арсениди монокристалларида асосий заряд ташувчилар зичлиги $(3 \div 5)10^{16}\text{ см}^{-3}$, ҳаракатчанлиги $(3 \div 4)10^4\text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$ (77Кда).

Te ва Sn билан легирланган InAs монокристаллари p-тур ўтказувчанликка эга, $n = (1 \cdot 10^{16} \div 8 \cdot 10^{19})\text{ см}^{-3}$ (77Кда). InAs кристаллари $[111]$ йўналишда ўстирилади.

Индий антимониди (InSb)

InSb сувда эримаиди, кислоталарда яхши едирилади: азот кислотада едирилиш тезлиги $360\text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{H}_2\text{O} = 1:1:1$ аралашмада- $480\text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ва х.к. InSb нинг кислоталарда эришида захарли SbH_3 стибин ажралади. InSb зичлиги $5,78\text{ г}/\text{см}^3$, суюлиш температураси 525°C . InSb нинг хавода оксидланиши 500°C дан юкорида бошланади.

Легирланмаган ёки Ge, Zn ёки Mn билан легирланган InSb монокристаллари p-тур ўтказувчанликка эга:

$$p = (1 \cdot 10^{12} \div 1 \cdot 10^{18})\text{ см}^{-3}, \rho \approx 500\text{ Ом} \cdot \text{см}, (3 \div 4)10^4\text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с} \\ \mu (3 \div 5)10^3\text{ см}^2 / \text{Вс} (77\text{К})$$

Теллур билан легирланган $\text{InSb} \langle \text{Te} \rangle$ монокристаллар n-тур ўтказувчанликка эга:

$$n = (8 \cdot 10^{13} \div 5 \cdot 10^{18})\text{ см}^{-3}$$

$$\rho \approx 50 \text{ Ом} \cdot \text{см}, \mu (7 \div 8) \cdot 10^{+5} \text{ см}^2 / \text{Вс} (77 \text{ К})$$

Индий антимиониди InSb монокристалларини (211) кристаллографик йўналишда ўстирилади [2].

3. Ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги.

Ярим ўтказгичларда электрон ўтказувчанлик ва тешикли ўтказувчанлик бўлади. Металлар электрон ўтказувчанликка эга эканини биз биламиз. Ҳар қандай металлда ҳам жисмнинг бутун хажми бўйлаб тартибсиз кўчиб юрувчи эркин электронлар бўлади. Электр майдони таъсирида эркин электронларни металлда тартибли ҳаракатга келтириш, яъни электр токи олиш мумкин.

Диэлектрикларда ҳаракатчан заряд ташувчилар деярли йўқ. Барча электронлар маълум бир атомлар билан боғланган ва уларни атомлардан ажратиб олиш учун анчагина энергия сарфлаш керак. Диэлектрик таркибига бирор аралашма қўшиш йўли билан унинг электр ўтказувчанлигини нолдан фарқли бўладиган қилиш мумкин. Ярим ўтказгичлар электр ўтказувчанлиги жихатидан ўтказгичлар билан диэлектриклар орасида туради. Уларда ҳам, диэлектриклардаги симғари, ҳаракатчан заряд ташувчилар йўқ. Бироқ, бундай заряд ташувчиларни ҳосил қилиш, яъни диэлектрикларда сарф қилинадиган энергиядан камроқ энергия сарфлаш йўли билан электронларни узиб олиш мумкин.

Агар металлнинг температураси кўтарилса, электронларнинг коцентрацияси ўзгармайди, бироқ, улар кристалл панжаранинг тугунлари билан кўпроқ тўқнашгани сабабли электронларнинг ҳаракатчанлиги сусаяди. Шунинг учун температура кўтарилиши билан металлларнинг электр ўтказувчанлиги камаяди.

Яримўтказгичларда манзара бошқача бўлади. Температура кўтарилганда айрим электронлар атомдан ажралиб чиқишга етарли энергия олиб, эркин электронлар бўлиб қолади. Ярим ўтказгичнинг температураси

қанча юкори бўлса, унда эркин электронлар шунча кўп бўлади. Бино-барин, ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги температура кўтарилиши билан ортади. Паст температураларда уларнинг электр ўтказувчанлиги 0 га тенг.

Электр майдони таъсирида яримўтказгичларда эркин электронларни тартибли харакага келтириш, яъни электр токи хосил қилиш мумкин.

Бундай ўтказувчанлик электрон ўтказувчанлик деб аталади.

Баъзи яримўтказгичларда эркин электронлар йўқ, бироқ модданинг кристалл панжаларида атомлар билан бирга мусбат ионлар ҳам бўлади. Кристалл панжаранинг тугунида турган хар бир мусбат ион атомдан ўзида битта электроннинг етишмаслиги билан фарқ қилади, шунинг учун бундай тугунлар тешиклар деб аталган.

Иссиқлик харакати натижасида электрон панжара атомидан кўшни тешикка сакраб ўтиши мумкин. Бунинг натижасида панжаранинг электрон кетиб қолган тугунида битта тешик хосил бўлади ва электрон келиб кўшилган тугундаги эски тешик йўқолади. Майдон бўлмаганда яримўтказгичда тешиклар тартибсиз холда кўчиб юради.

Агар электр майдони бўлса, майдон таъсирида электронлар асосан майдонга қарама-қарши йўналишда бир тугундан бошқасига сакраб ўтади, тешиклар эса майдон йўналишида силжийди.

Яримўтказгичнинг кристалл панжараси ичида тешикларнинг тартибли кўчиши тешикли ўтказувчанлик дейилади.

Яримўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги уларнинг тозалигига чамбарчарс боғлиқ бўлади. Яримўтказгичда бошқа элемент атомларининг жуда оз миқдорда бўлиши уларнинг электр ўтказувчанлигини анча ошириб юборади.

Агар соф германийга Менделеев жадвалнинг V группаси атомлари, масалан, фосфор атомлари кўшилса, фосфор атомининг ташқи қобиғидаги тўртта электрон германийнинг тўртта кўшни атоми билан умумий боғланиш хосил қилади, бу боғланиш кўш электронли боғланиш ёки ковалент

боғланиш деб аталади. Бунинг натижасида ташқи қобик саккизта электрони бўлган барқарор қобик бўлиб қолади. Фосфор атомининг бешинчи электрони эса гўё эркин бўлиб, ядрога бошқа электронлардан кўра заифроқ боғланган бўлиб қолади. Бу «ортиқча» электронни унга озгина энергия бериб атомдан ажратиш олиш мумкин. Иссиқлик ҳаракати таъсирида бу электрон панжаранинг кўшни асосий атомларидан бириинг орбитасига сакраб ўта олади.

Электр майдони таъсирида ярим ўтказгичнинг эркин электронларини тартибли ҳаракатга келтириш мумкин.

Шундай қилиб, кристалл панжарада ортиқча электрони бўлган аралашма атомининг бўлиши яримўтказгичнинг электрон ўтказувчанлигини вужудга келтиради.

Электрон ўтказувчанликка эга бўлган яримўтказгичлар n типдаги яримўтказгичлар деб аталади (negative—манфий деган сўздан олинган).

Электронларини осон берадиган аралашмалар донорлар дейилади. Соф германийга сурьма қўшилганда ҳам электрон ўтказувчанликка эга бўлган яримўтказгич оламиз. Бунинг сабаби куйидагича. Германий атомининг ташқи орбитасида 4 та электрон, сурьманинг ташқи орбитасида 5 та электрон бўлади. Сурьма атоми кристалл панжарада германий атомларидан бирининг ўрнини эгаллаб, панжарадаги электронлар сонини битта оширади. Сурьма атоми германийнинг фақат тўртта атоми билан боғланган бўлади вабунинг учун фақат 4 та валентлик электрони керак бўлади. Сурьманинг бешинчи валентлик электрони ортиқча бўлади. Иссиқлик ҳаракати натижасида бу электрон атомдан ажралади ва эркин бўлиб қолади, германий эса электрон ўтказувчанликка эга бўлган яримўтказгич бўлиб қолади.

Агар аралашма атомининг ташқи орбитасидаги электронлар сони асосий атомдаги электронлар сонидан битта кам бўлса, панжарада битта электрон кам бўлиб қолади. Иссиқлик ҳаракати натижасида асосий атомдан битта электрон аралашма атомига ўтиб кетади. Бунда тешик пайдо бўлади.

Тешик йуқолган электрониинг ўрнини бошқа атом нииг электрони хисобига тўлдиради ва хоказо.

Электр майдони мавжуд бўлса, тешиклар майдон таъсири йўналишида тартибли ҳаракатга келади. Шундай қилиб, кристалл панжарада электрони етишмайдиган аралашма атомининг бўлиши яримўтказгичнинг тешикли ўтказувчанлигини вужудга келтиради.

Тешикли ўтказувчанликка эга бўлган ярим ўтказгичлар p типигаги яримўтказгичлар деб аталади (positive—мусбат деган сўздан олинган).

Кристалл атомларидан электронлар оладиган ва уларни мустаҳкам ушлаб турадиган аралашмалар акцепторлар деб аталади. Масалан, соф германийга оз миқдорда алюминий аралаштирилса, тешикли ўтказувчанликка эга бўлган ярим ўтказгич ҳосил бўлади. Бунинг сабаби қуйидагича. Германий атомининг ташқи орбитасида 4 та электрон, алюминийнинг ташқи орбитасида эса 3 та электрон бўлади. Алюминий атоми кристалл панжарада германий атомларидан бирининг ўрнини эгаллаб, панжарадаги электронлар сонини битта камайтиради. Алюминий атомининг германий атомлари билан боғланиши учун 4 та валентлик электрон керак, лекин алюминий атомининг фақат 3 та валентлик электрони бор.

Етмаётган электронни алюминий атоми германийнинг қўшни атомидан олади, натижада тешик пайдо бўлади.

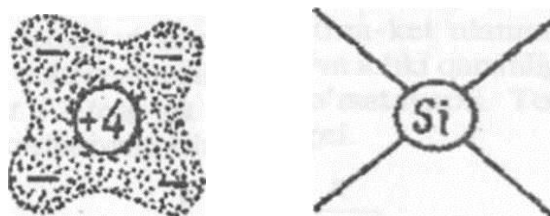
Тешик йўқолган электроннинг ўрнини германийнинг бошқа атомининг электрони хисобига тўлдиради ва хоказо. Натижада германий тешикли ўтказувчанликка эга бўлган яримўтказгич бўлиб қолади.

p- ва n- типигаги яримўтказгичларнинг ўтказувчанлиги аралашмали ўтказувчанлик деб, соф яримўтказгичларнинг ўтказувчанлиги эса хусусий ўтказувчанлик деб аталади [3].

4. Яримўтказгичларнинг хусусий ва электр ўтказувчанлиги

Яримўтказгичларда ўтказувчан электронларнинг ҳосил бўлиш жараёни ҳақида батафсилроқ тўхталиб ўтамиз. Бунда мулохазаларимиз аниқроқ бўлиши учун типик яримўтказгич кремний тўғрисида гапирамиз.

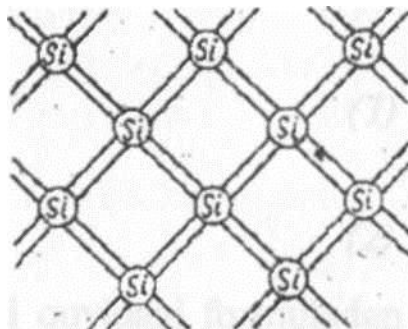
Кремний атомининг Менделеев даврий системасидаги тартиб рақами $Z=14$. Шунинг учун кремний атоми ядросининг заряди $14e$ га тенг ва унинг атом таркибига 14 та электрон киради. Бироқ бу электрондан фақат тўртасигина заиф боғланган. Худди шу заиф боғланган электронларгина кимёвий реакцияларда қатнашади ва кремнийнинг тўрт валентлигини ифодалайди, шунинг учун бу электронлар валент электронлар деб ном олган. Қолган ўн электрон ядро билан бирга атомнинг асосини ташкил қилади, атомнинг заряди $+14e-10e=+4e$. Атом тўрт валент электрон билан ўралган, бу электронлар асос атрофида айланади ва мусбат заряд булутини ҳосил қилади.(1-расм).



1-расм. Мусбат заряд булути

Кремний панжарасида атомлар шундай жойлашадики, ҳар бир атом ўзига яқин тўртта атом билан ўралган электронл. Кремний кристаллида атомлар жойлашишининг соддалаштирилган схемаси 2-расмда кўрсатилган икки қўшнилик бўлиб уни жуфт электрон боғланиш ёки валент боғланиш деб аталади.

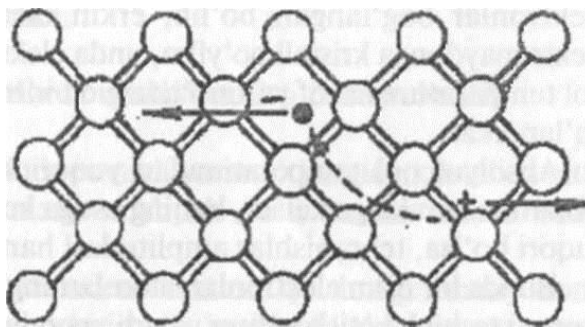
2-расмда тасвирланган манзара соф кремнийга ва жуда паст температурага тегишлидир. Бу холда барча валент ар атомлар орасидаги боғланишда қатнашади, улар структуравий элементлар бўлиб ҳисобланади ва электр ўтказувчанликда иштирок этмайди.



2-расм. Паст температурадаги кремнийни кристалл панжараси.

Кристалл температураси ортганида панжаранинг иссиқлик тебранишлари баъзи валент боғланишларнинг бузилишига олиб келади. Натижада аввал боғлаиншларнинг ҳосил бўлишида қатнашган электронларнинг бир қисми узиб олинади ва ўтказувчанлик электронига айланиди. Электр майдон мавжуд бўлганда улар майдонга қарама-қарши ҳаракатланади ва электр токини ҳосил қилади. Бироқ ўтказувчанлик электронлари ёрдамида заряд кўчириш жараёнидан ташқари, электр ўтказувчанликнинг бошқа механизми ҳам бор.

Бу шундай механизмки, ҳар бир валент боғлаиншнинг йўқолиши боғланиши бўлмаган вакант ўриннинг пайдо бўлишига олиб келади. Боғланиш электронлари бўлмаган бундай “бўш” ўринлар тешиклар деб ном олган (3-расм).



3-расм. Яримўтказгич кристаллидаги тешиклар.

Яримўтказгич кристаллида тешикларнинг юзага келиши заряд кўчириш учун қўшимча имкон яратишини кўриш қийин эмас. Ҳақиқатан ҳам, тешик мавжуд бўлганда боғланиш электронларидан бирортаси тешик ўрнига ўтиши мумкин.

Натижада бу жойда нормал боғланиш тикланади, бунинг ўрнига бошқа жойда тешик пайдо бўлади. Янги тешикка ўз навбатида боғланиш электронларидан бошқаси ўтиши мумкин ва х.к.

Бундай жараён кўплаб марта давом этади, бунинг натижасида токнинг ҳосил бўлишида фақат ўтказувчанлик электронлари эмас, боғланиш электронлари ҳам иштирок этади, бу электронлар ҳам ўтказувчанлик электронлари сингари аста-секин электр майдонга қарши кўчиб боради.

Тешикларнинг ўзи эса қарама-қарши электр майдон йўналишида ҳаракатланади, яъни худди мусбат зарядланган зарралар ҳаракатланганидек кўчади. Бу баён қилинган жараён тешик ўтказувчанлик деб ном олди. Бинобарин, яримўтказгичларда электр ўтказувчанликнинг икки турли жараёни мавжуд: ўтказувчанлик электронларининг ҳаракати билан амалга ошадиган электрон ўтказувчанлик ва тешиклар ҳаракати билан амалга ошадиган тешик ўтказувчанлик. Кимёвий аралашмалар ва бошқа панжара нуқсонларидан холи бўлган соф

яримўтказгичлардаги биз кўриб ўтган ўтказувчанлик жараёни хусусий ўтказувчанлик деб аталади. Абсолют ноль температурада яримўтказгичдаги барча валент электронлар боғланган бўлиб, эркин электронлар бўлмайдди. Агар электр майдонга кристалл қўйилса, унда электр токи бўлмайдди. Абсолют ноль температурада соф яримўтказгич идеал изолятор хоссаларига эга бўлади. Абсолют нол температурадан юқорида кристалл панжара атомлари тебранма ҳаракатга келади, бунинг устига кристалл температураси қанча юқори бўлса, тебранишлар амплитудаси ҳам шунча катта бўлади. Бунда бир қисм электронлар, атомларнинг иссиқлик тебранишлари туфайли атомни ташлаб кетиш учун етарли энергия олиши мумкин. Электрон атомни ташлаб кетганда электрон боғланиш узилади. Электрон боғланишларнинг узилиши яримўтказгичли кристалга ёруғлик, электр ва магнит майдонлар, рентген ва радиоактив нурланиш ва х.к. ларнинг таъсири туфайли рўй бериши мумкин. Атомни ташлаб кетган электронларни эркин электронлар ёки ўтказувчанлик электронлари деб аталади. Бўшаган электронларга таалуқли бўлган атом мусбат ионга айланади. Электрон боғланишларнинг узилиши фақатгина эркин электронлар ва мусбат ионларнинг ҳосил бўлишига олиб келмасдан, балки ковак (ёки тешик) деб ном олган электрон боғланишдаги бўш жой жой пайдо бўлишига ҳам олиб келади. Ковак қўшни боғланишдаги валент электрон билан тўлиши мумкин. Бунда бошқа жойда валент боғланиш узилган ҳолда бўлади. Бу ерда амалда боғланиш электронлари кўчсада, лекин ковак ҳаракатлангандек кўринади. Шу сабабли ковак ўзини элементар мусбат зарядли заррачадек тутади. Электр майдон бўлмаганда яримўтказгичдаги коваклар ва ўтказувчанлик электронлари хаотик ҳаракатда бўлади. Электрон ковак билан учрашганда ваканцияни тўлдиради, яъни рекомбинацияланади. Жуфт электрон боғланишларнинг узилиши ҳамда электронлар ва коваклар рекомбинацияси тўхтовсиз боради. Агар кристалл электр майдон ҳосил қилса, электрон ва коваклар иссиқлик хаотик ҳаракатда бўлиши билан бирга электр майдон таъсирида силжиб

(дрейф ҳаракатда) электр токини ҳосил қилади. Майдон таъсирида электронлар ва ковакларнинг ҳаракати қарама-қарши ишорадаги зарядга эга бўлганликларидан яримўтказгичдаги умумий ток коваклари токи I_p ва электронлар токи I_n нинг йиғиндисига тенг бўлади:

$$I = I_p + I_n$$

Биз кўриб ўтган соф яъни аралашмасиз яримўтказгич хусусий ўтказувчанликли яримўтказгич дейилади, чунки у кристаллнинг хусусиятлари билан белгаланadi.

5. Яримўтказгичларда аралашмали ўтказувчанлик

Айтайлик, германийли ёки кремнийли яримўтказгич кристалида битта атом беш валентли, масалан, мишяк ёки сурма билан аралаштирилган бўлсин. Бу ҳолда сурманинг тўртта валент электрони қўшни германий атоми билан жуфт электрони боғланишга киришади, бешинчи электрон эса сурма атоми атрофида айлана бошлайди. Бу электрон атом билан кучсиз боғланганлигидан панжаранинг иссиқлик тебранишлари туфайли осонгина эркин электронга айланади. Бунда сурма атоми мусбат ионга айланади. Лекин кристалл, умуман олганда, нейтрал ҳолда қолади, чунки ионнинг мусбат заряди эркин электроннинг заряди билан мувозанатлашади.

Агар германий кристалидаги битта атом эмас, балки бир нечтаси сурма атомлари билан аралаштирилса, панжаранинг иссиқлик тебранишлари таъсирида аралашма атомларининг ҳар бири биттадан электронини беради. Яримўтказгич кристалидаги бундай аралашманинг беш валентли чет атомлари донор деб аталади.

Бундай кристалл қиздирилганда (ёки ёритилганда) унда аралашма атомларидан эркин электронлар чиқади. Шу билан бирга бир қисм жуфт

электронлар чиқаради. Шу билан бирга бир қисм жуфт электрон боғланишларнинг узилиши натижасида эркин электронлар ва коваклар ҳосил бўлади.

Агар бундай кристаллда электр майдон ҳосил қилинса, ўтказувчанлик электронлари электр майдон таъсирида дрейф ҳаракатга келади. Лекин коваклар электронларга нисбатан кам бўлганлигидан дрейф ҳаракат натижасида электронлар билан учрашиб рекомбинациялашади. Шу сабабли яримўтказгичда ток асосан эркин электронлар ҳисобига бўлади.

Электронлар бу ҳолда асосий ток ташувчилар, коваклар эса ноасосий ток ташувчилар бўлади. Шунга мувофиқ яримўтказгичли кристаллнинг ўтказувчанлаги электрон ўтказувчанлик деб, яримўтказгичнинг ўзи электрон яримўтказгич деб аталади.

Агар аралашма сифатида уч валентли кимёвий элемент, масалан, индий (*In*) олинса, у кристалл панжара тугунида туриб ўз электронлари билан қўшни атомнинг фақат учта валент боғланишини тўлдира олади.

Уч валентли атомнинг кристалл панжара тугунидаги етишмаётган валент боғланиши ковак бўлиб қолади. Бу ерга қўшни атомдан валент электрон ўтиши мумкин. Бунда қўшни атомдан электрон олган уч валентли атом манфий ионга айланади, валент электронини йўқотган қўшни атомда ковак пайдо бўлади. Сўнгра бу ковак тугундан тугунга ўтиб, бутун кристалл бўйлаб хаотик равишда дайдиб юради.

Шундай қилиб, уч валентли аралашма электрон бермайди, балки ўзи германий атомидан электронни олиб кристаллда ковак ҳосил қилади. Кристаллнинг ўтказувчанлиги ковак табиатида бўлади. Атомлари уч валентли бўлган аралашма акцептор (қабул қилувчи) деб аталади. Бу ҳолда асосий ток ташувчилар коваклар, ноасосийлари-электронлар бўлади.

Бошқа атомлар аралаштирилиши билан боғлиқ бўлган яримўтказгичли кристаллнинг ўтказувчанлиги аралашмали ўтказувчанлик дейилади.

Аралашмали ўтказувчанлик бўлганда эркин электронлар сони коваклар сонига тенг эмас. Яримўтказгичли кристаллга аралашма киритиб германий кристаллининг электр ўтказувчанлигини миллион баробар, кремний кристаллининг электр ўтказувчанлигини миллиард баробар ошириш мумкин. Яримўтказгичнинг бу хусусияти техникада кенг қўлланилади [4]

II-БОБ. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ СТРУКТУРАСИНING ОЛИНИШИ

1-§. Эпитаксиал ўстиришнинг асосий усуллари.

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

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

Автоэпитаксия (гомозэпитаксия)- таглик моддадан кимёвий фарқ қилмайдиган, тузилиши бўйича бир хил бўлган таглик сиртида йўналиши

кристалл қатлам ўстириш жараёнидир. Бу жараёнда гомоген электрон-ковак тузилма пайдо бўлиши имкони яратилади.

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

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

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

Энди қисқача бу учта усулнинг асосий хусусиятларини кўриб чиқамиз.

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

Молекулар-нур эпитаксиясининг бошқа тури –бу субримация усулидир. Бу усулда тагликдан бир неча юз микрометр нарида жойлашган яримўтказгични элеткр токида қиздириш билан буғлантириб эпитаксиал қатлам ҳосил қилинади. Бу ҳолда намуна-манба суюлмайди, фақат буғланиш

ва унинг тагликка кўчиши юз беради. Олинган қатлам ўта юқори солиштира қаршиликка эга бўлади, Чунки вакуумли камерада киришмалар кам бўлади. Бироқ, бу усулнинг унумдорлиги кичик бўлганлиги учун ишла чиқаришда қўлланилмайди.

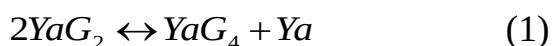
Газ фазада эпитаксия. Газ фазада яримўтказгич атомлари кимёвий бирикмалар таркибида кўчиб, кимёвий ўзаро таъсир ёрдамида ажралиб тагликка ўтиради.

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

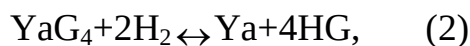
Газ фазада эпитаксиал ўсишнинг механизмларидан икkitасини кўриб ўтиш мумкин. Биринчи механизмга асосан, тагликда яримўтказгич таглик сиртида катализ диссоциация реакцияси натижасида ҳосил бўлади. Иккинчисига асосан, тагликдан юқорироқда яримўтказгич бирикмалари парчаланиши содир бўлади. Газ фазада диффузия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

Яримўтказгич атомларнинг ажралиб чиқиш кимёвий реакцияларни тўртта гуруҳга ажратиш мумкин:

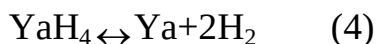
1. Галоид бирикмаларнинг диссоцияланиши



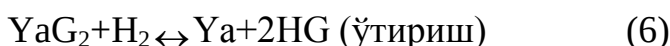
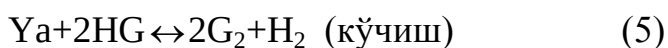
2. Галоид бирикмаларни водород билан тиклаш реакцияси



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



4. Иккита босқичда ўтувчи кимёвий кўчиш реакцияси



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

Суюқ фазада эпитаксия. Суюқ фазали эпитаксия усули тўйинган яримўтказгич материал эритмасидан яримўтказгич монокристалл қатламини ўстиришдан иборат. Эритмага чўктирилган яримўтказгич таглик сиртида уни совитиш натижасида кристалланиши юз беради. Кўпчилик ҳолларда суюқ фазадан кристалланишда эритувчи сифатида яримўтказгич суюқ ҳолатида эрувчанлиги юқори бўлган металл, масалан, Al-Si ёки Au-Si тизимдан фойдаланилади. Яримўтказгич бирикмаларининг суюқ фазада эпитаксиясини олиш учун эритувчилар сифатида осон эрувчи бирикма таркибловчилари, масалан, GaAs ва GaP учун Ga қўлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишига, таглик-эритма чегарасида температура градиенти камайишига олиб келади ва ўстирилган қатлам тозалигини оширади.

2 §. Эпитаксиал усулда мураккаб тизимли яримўтказгичли қатламларни ўстириш.

Кейинги йилларда арсенид, галлий ва унинг бирикмаларининг монокристалларини анъанавий усуллар бўйича ўстириш билан бирга эпитаксиал усуллар ҳам кенг қўлланилмоқда. GaAs нинг монокристаллик қатламларини ўстиришда айниқса газ ҳайдаш ва суюқликдан эпитаксиялаш усуллари кўп тарқалган. Газ ҳайдаш эпитаксиялаш усулининг ҳар ёқламалиги, ихчамлиги ва кристалл ўстириш жараёнини бажаришининг қулайлигига қарамасдан газ оқимини тозалаш ва бошқаришда турли қийинчиликлар билан боғлиқ. Шунингдек анча мураккаб асбоб ва ускуналардан фойдаланилади.

Монокристалл қатламларни эриган металллардаги эритмалардан ўстиришда (суюқликдан эпитаксиялаш) анча тез ва содда йўл билан тоза ва

назорат билан аралашмалар киритилган пардаларни ҳосил қилиш имконини беради.

Суюқ фазали эпитаксия усули тўйинган яримўтказгич материал эритмасидан яримўтказгич монокристалл қатламини ўстиришдан иборат. Эритмага чўктирилган яримўтказгич таглик сиртида уни совитиш натижасида кристалланиши юз беради. Кўпчилик ҳолларда суюқ фазадан кристалланишда эритувчи сифатида яримўтказгич суюқ ҳолатида эрувчанлиги юқори бўлган металл, масалан, Al-Si ёки Au-Si тизимдан фойдаланилади.

Яримўтказгич бирикмаларининг суюқ фазада эпитаксиясини олиш учун эритувчилар сифатида осон эрувчи бирикма таркибловчилари, масалан, GaAs ва GaP учун Ga қўлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишига, таглик-эритма чегарасида температура градиенти камайишига олиб келади ва ўстирилган қатлам тозалигини оширади.

Бу усулларга нисбатан анча истиқболли бўлган газ ва суюқ эпитаксиал усул ҳам бор. Яримўтказгич таглик сиртига эвтектив таркибли суюқ фазани ҳосил қилувчи юпқа металл қатлам суркалади. Бу паст температураларда эпитаксиал қатламларни олиш имконини беради.

Яримўтказгич атомлари суюқ қатлам билан таглик ҳосил қилган чегара орқали газ фаза орқали ўтиради ва уларнинг диффузияланиши натижасида кристалланиш юз беради. Бу ерда эритма қатлами 1 мкм дан ошмайди ва амалда эпитаксиал қатлам ўсиш тезлиги эритмада диффузияланиш вақтига боғлиқ бўлмайди.

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

Суюқ фазадан эпитаксиялаш йўли билан кристалл ўстириш усулини Вольф таклиф этган эди [5]. Унга кўра суюқ эпитаксиялаш усули системанинг очик ва ёпиқ ҳолатида ошиши мумкин. 1963-йилда эса Нельсон [6] очик системада қалай устига GaAs ни ўстириш имкониятига эга бўлди. Бу технологияда қаттиқ, суюқ ва буғ фазалар орасида фазовий мувозанат юзага келмаган бўлса, ҳам унинг оддийлиги уларнинг тез тарқалишига сабабчи бўлди. Ёпиқ эпитаксиялаш усулида очик усулнинг тез тарқалишига сабабчи бўлди. Ёпиқ эпитаксиялаш усулида очик усулнинг камчиликлари бўлмаган тақдирда ҳам, ёпиқ усулга хос қатор камчиликлар мавжудки, улар туфайли кўп ҳолларда бу усулдан кристалл ўстиришда фойдаланилмайди. Масалан, ўстириш жараёнида бутунлай тозаликга эришиб бўлмайди. Ёпиқ эпитаксиялаш усулида кристалл ўстириш кавшарланган кварц ампула ичида амалга ошади. Ампула маълум юқори ҳароратгача қиздирилиб, шу ҳароратда бироз муддат сақланади. Бу пайтда кварц шишадан суюқ эритмага турли газ атомлари сўрилиб ўтади. Бундан ташқари, кавшарланган ампула билан ишлаш анча машаққатлар туғдиради, чунки унинг ичида бир жинсли эритма юзага келиши учун у силкитиб турилиши керак, бунга эса ампуланинг тўла герметикланиши ҳалақит беради.

3§. $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ қаттиқ қоришмасини суюқ фазали эпитаксия усулида ўстириш технологик қурилмаси.

“ЭПОС” вертикал жойлашган реакторли қурилма асосида эпитаксиал қатламларнинг қаттиқ қоришма-қотишмасини устириш қурилмаси таёрланилди (расм. 4). Қурилма қуйидаги блоклардан ташкил топган: 1-иссиқлик блоки, 2-реактор, 3-бошқарув блоки, 4-газни тозалаш блоки, 5-центрифуга. Иссиқлик блоки, уч зонали печкадан таркиб топган бўлиб уларнинг ҳар бирини алоҳида бошқариш мумкин. Бошқарув блоки юқори температурали ВРТ (Р-111, И-102) дан иборат бўлиб у олдиндан бериладиган

дастур асосида температурани бошқаради. Водород “Палладий-2” қурилмаси асосида тозаланади. Тагликлар маҳкамланадиган графит кассетаси (расм. 5) қуйдагилардан таркиб топган: ички томонида тирқишлари бўлган цилиндирик корпус, тагликларни ажратиб турувчи колцолар, ва прокладкалар. Кассета тоза графитдан таёрланган. Кассета юқори штокга қистирилади, ҳамда ўзининг ўқи атрофида айлантририлиши мумкин. Аралашма-қоришма кварц тигель ичига жойлаштирилади, тигель эса реакторнинг пастки қисмига жойлаштирилади. Суюқ фазали эпитаксиянинг муҳим жиҳати кристалланиш жараёни ўз вақтида тугатиш ва тагликлар устида қолган аралашма-қоришмани чиқариб ташлашдан иборат. Шунинг учун устириш қурилмасига электродвигател ўрнатилган. Кристалланиш жараёни тугагандан кейин электродвигател ёрдамида қассета уз ўқи атрофида 2500айл/мин тезликда айлантририлади. Натижада марказдан қочма куч эвазига эпитаксиал қатлам сиртидаги аралашма-қориманинг қолдиқлари тозаланади.

Қаттиқ қоришма-қотишмани ўстириш жараёни қуйдаги этаплардан иборат.

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

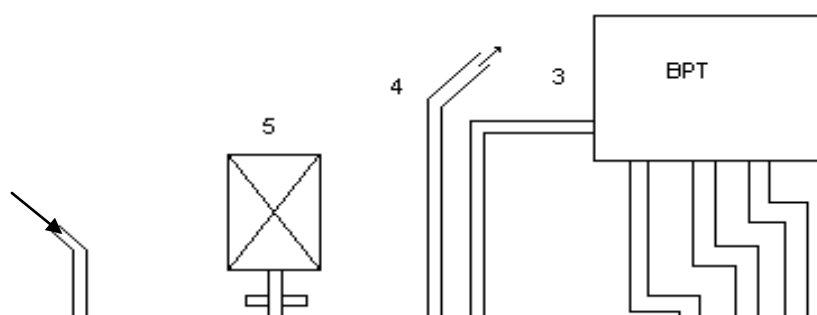
9. Қиздириш блокининг қушимча чўлғамларини ишлатиб, бир хил температуралаи зонанинг кенглигини ошириш ва кассетанинг бирча қисмини қамраб олиш.

10. Кассеталарни аралашма-қоришма тубига чўктириш умумий ҳажм бўйлаб горизонтал йуналишда падложкаларни жойлаштириш. Махсус графит падборкалар ёрдамида тагликлар оралигини 0.25-2.5 мм интервалиди ўзгартириш мумкин. Маълумки [19], чегараланган ҳажмда ўстиришда аралашма-қоришманинг эриган қисмларининг ортиқчаси тўлиғича тагликлар устига кристалланади. Бу бизга ўстирилаётган қатламнинг қалинлигини бошқариш имконини беради.

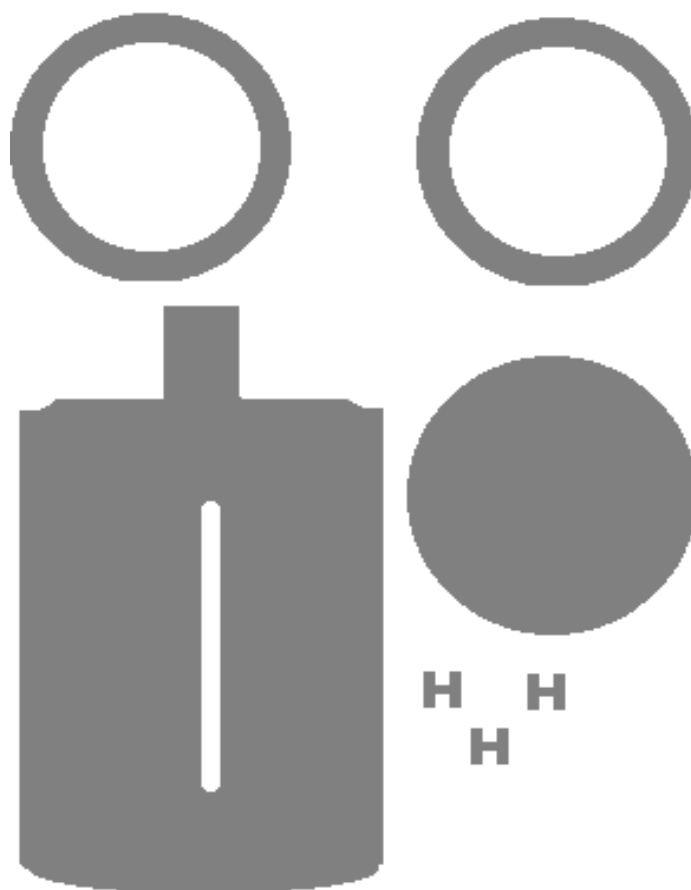
11. Кассетани аралашма-қоришмадан чиқариб ундан маълум масофада жойлаштириб маҳкамлаб қўйиш.

12. Олдиндан берилган дастур асосида аралашма-қоришмани мажбурий совитиш системасини ишга тушириш. Бунда горизонтал жойлашган пастки ва устки тагликларда қаттиқ қоришманинг кристалланиш жараёни юз беради.

13. Температура маълум қийматига келганида центрифуга ишга туширилади ва марказдан қочма куч ҳисобига тагликлар оралигидаги қотишма-қоришма чиқариб ташланади ва шунинг билан кристалланиш жараёни тўхтатилади.



Расм 4. ПОС туридаги суюқ фазали эпитаксия қурилмаси. 1 - иссиқлик блоки, 2 - реактор, 3 – бошқарум блоки, 4 – газни тозалаш блоки, 5 - центрифуга.



Расм 5. Графитли кассета, графитли ва кварцли прокладкалар (айлана).

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

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 егаллашга ҳаракат қиладилар. Лекин атомларнинг бундай жойлашишига кристалл тузилиш имкониятлари тўсқинлик қилади. Юқори ҳароратларда эса бу тўсқинликда атомларнинг иссиқлик ҳарорати ҳам кўшилади. Шунга қарамай, маълум иссиқлик шароитларида энтропиянинг ўзгариши ҳисобига тизимнинг термодинамик потенциалнинг намоёниши кузатилади. Бу эса энергетик жиҳатдан тузилиш тўсиқлари мавжуд бўлган ҳолда ҳам турли таркибловчи элементлар(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 $\lambda - 1 \text{ мкм}$ тўлқин узунлигидаги нур учун максимумга эга. Тўлқин узунлиги $\lambda - 1 \text{ мкм}$ дан катта нурлар учун кремний кристалли деярлик шаффоф, яъни жуда кам ютилади. Тўлқин узунлиги $\lambda - 1 \text{ мкм}$ дан кичик нурлар эса асосан кристаллнинг сирт қатламларида ютилиб қолади ёки қайтиб сочилади. Бундай турлар яримўтказгич ҳажмида эркин ток ташувчи зарядларни (электрон ва ковакларни) жуда кам ҳосил қилади.

Германий кристалли учун максимум ютилиш соҳаси тўлқин узунлиги $\lambda - 1,72 \text{ мкм}$, галлий арсениди учун $\lambda - 0,87 \text{ мкм}$ бўлган нурларга тўғри келади. Яъни бу асосий яримўтказгич моддаларнинг фотосезгирлиги узок инфрақизил нурлар соҳасига тўғри келади.

Ҳозирги замон оптоэлектроникаси учун эса инфрақизил ($\lambda \ll 1 \text{ мкм}$) ва кўринувчи нурлар ($\lambda - 0,76 \div 0,36 \text{ мкм}$) соҳасида ишловчи сезгир асбоблар

керак. Фотосезгирлиги бу диапазонга тўғри келган яримўтказгич асбобларни яратиш муҳим долзарб масалалардан ҳисобланади.

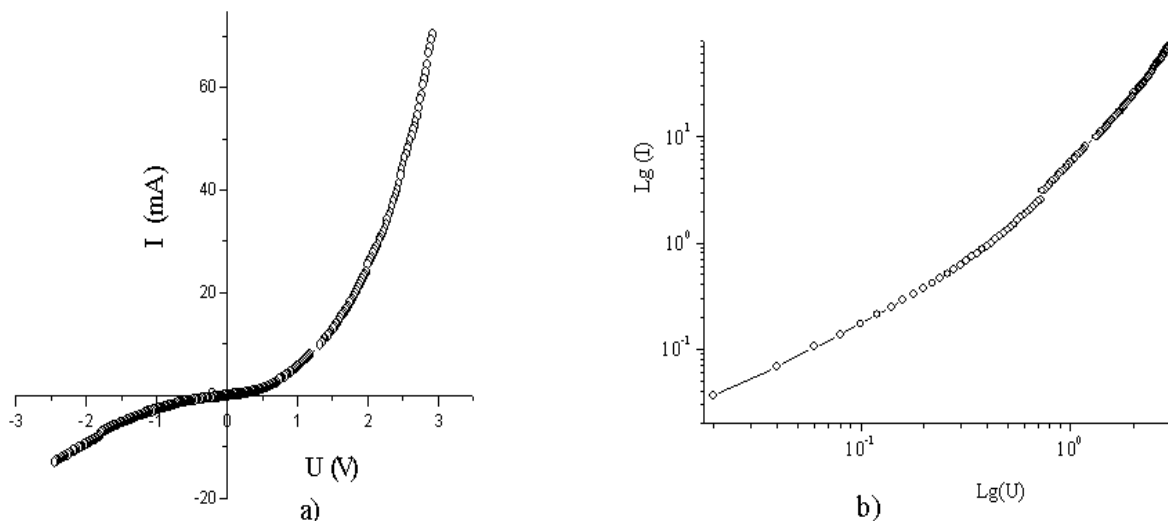
Яримўтказгич моддаларнинг ҳоссаларини ўрганиш бўйича олиб борилган илмий тадқиқот ишлари эпитаксиялаш усуллари билан турли яримўтказгич моддаларнинг турли тартибдаги қатламларини ҳосил қилиш имкониятларини кўрсатади. Эпитаксиал ўстириш усули билан ҳоссалари яхши ўрганилган моддалардан юқори фотоэлектрик параметрларга эга бўлган янги типдаги қаттиқ қотишмали яримўтказгич модданинг мукаммал монокристалларини ўстириш мумкин. Шундай моддалар қаторига $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ таркибли тузилмаларни ҳам киритиш мумкин. Бу модда таркибидаги ZnSe, Si, ва GaP мукаммал ўрганилган моддалар сирасига киради. Шу сабабдан улар асосидаги мураккаб бирикмани ўстириш ҳам илмий, ҳам амалий жиҳатдан катта эътиборга эга. Келтирилган ишда р-турдаги монокристал кремний тагликга $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ n-турдаги эпитаксиал қаттиқ қоришмаларни чегараланган суюқ фазадан чегараланган ҳажмдаги суюқ қалайдан суюқ фазали эпитаксия усули билан ўстирилган эди бу ерда суюқ аралашманинг таркиби қуйдагилардан иборат Sn–Si–ZnSe–GaP. Ўстирилган эпитаксиал қатламлар монокристал структурага эга юза бўйича ва кўндаланг кесим бўйича ўтказилган рентгеноструктур микроанализ натижалари шуни курсатдики таглик ва плёнка орасида юпқа ўтивчи қатлам (буфер қатлам) ҳосил бўлиб бу ерда кремнийнинг моляр концентрацияси 99% -ни ташкил қилади. Эпитаксиал қатламдаги ZnSe, Si₂ ва GaP ларнинг чуқурлик бўйича тақсимланиши деярли бир хил қатлам юзасилда галлийнинг моляр таркиби 3,7 ат.%, фосфор фосфора –5,3 ат.%, селена –42,2 ат.%, цинка –45,8 ат.% ҳамда кремния 3,0 ат.% ва натижада қуйдаги таркибда қаттиқ қотишма ҳосил бўлган $(\text{ZnSe})_{0,88}(\text{Si}_2)_{0,03}(\text{GaP})_{0,09}$.

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

1 §. $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ структуранинг хона ҳароратидаги вольт-ампер характеристикасининг хоссаларини ўрганиш.

Ўстириш ва қидирув кен қамровли материаллар пасив изотопли токли арашма тақиқланган худуд базавий ярим ўтказгич тубида ётувчи ток меёри билан актив бўлади шундай ярим ўтказгичли аралашмани олишнинг қулай бир усули суюқ фазали аралашма қоришма эпитаксия усулида олишдадир [7]. Бу ишда вольт-амперли характеристика тажрибаси яхши натижа хисобланади. Структураси $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ компанентанинг асосий сифатли бўлиши учун кенг қамровли ярим ўтказгич ZnSe, аралашманинг изовалент молекулалари сифати билан GaP ва Si_2 олинган. ZnSe, Si_2 ва GaP атом молекуласи радиусининг ковалентли йиғиндиси яқин маного эга, масалан $r_{\text{ZnSe}} = 2.45\text{\AA}$, $r_{\text{Si}_2} = 2.34\text{\AA}$ ва $r_{\text{GaP}} = 2.36\text{\AA}$, ва уларнинг ўзаро алмаштириши кристалл панжараларини қаттиқ емирмайди ва қаттиқ арашама узлуксиз кузатилади. Қаттиқ бирикмалар $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ чегараланган хажмдаги суюқ фазали аралашма қоришма қалайдаги арашган, иш жараёнида келтирилган [8]. Диаметри 20мм бўлган р-типдаги кремний монокристал пластинкаси ишлатилди. Аралашма қоришманин бирикмаси Sn, Si, ZnSe ва GaP, компаненталардан таркиб топган, изланиш натижасида Sn-Si-ZnSe-GaP суюқ фазали система келиб чиққан ва қуйдаги адабитда келтирилган [9-12]. Аралашма техналогик жараёнига кўра қуйдаги босқичлардан ташкил топган: кристалана бошлидиган ҳарорат $-T_k$, совитиш тезлиги $-\nu$, падложкалар орасидаги қалинлик $-h$. Нормал тартиби, $T_k = 880^\circ\text{C}$ бўлса, $\nu = 1\div 1,5$ град/мин ва $h = 1$ мм, юзаси текис юпка ойнадек силлиқ таркиб топган аралашмали эпитаксиал қатлам. 6 а) расмда ток ВАХ нинг тўғри ва орқага йўналишининг структураси топилиши курсатилган, ҳаво ҳароратида тасвирланган. 6-а) расмда куриниб турибти, қоронғи токда тўғриланиш хосасини намоён қилди. Кам қувватли силжишининг тўғрилаш коэффисенти (0 дан 0,8 В гача) 1,04-1,8 нормаси қабул қилинган, каттароғи

учун (1 дан 3 В гача) -2,1-3,9. Туғри ва орқага йуналишли структура орқали кам қувватли ток билан яқин муносибатда, бу кўринишича, р-п ўтказмасида ток ўтиши кузатилади. Катта қувватлида (1 дан 3 В гача) тўғрилаш эараёни яхшиланади.



6. расм. Уй ҳароратидаги $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ ($0 \leq x \leq 0.03$, $0 \leq y \leq 0.09$) вольтамперли характеристика: а) –орқага ва тўғри чизикли масштабда; б)- тўғри чизик икки ёқлама логарифимли масштабда.

ВАХ $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ структурани $I \sim U^m$ типи буйича кучли ишлов бериш мумкин. 6-б) расмдан кўриниб турибтики ВАХ турли ҳудудида m -даражаси бўйича кўрсатилган турли маънони билдиради. 0,02 дан 0,18 В гача бўлган бошланғич ҳудудида ток қувватли Ом қонунига асосан – $I \sim U$ тўғриланади, яъни $m = 1$. Бу ходисада Омик релаксация n -базада кучли заряд тезлиги дрейф ташувчиси булиб донорли аралашмали зарядни назорат қилувчи ҳисобланади - $v \sim N_d$. 0,2 - 0,7 В оралиғида, Ом ҳудуди $I \approx I_0 + U^{3/2}$ с $m = 3/2$, шунга асосан ўтади, бу ерда $I_0 = 1.35$ мА. Бу ҳудудда, кўриниб турибтики дрейф тезлиги етарли ташувчилар концентрациясига боғлиқ бўлиб қопламада юқори кучланишда (0.76–1.63 В да), эркин электронлар ва тешикларнинг дрейф кўчиши устунлик қилган ҳолатда кучланиш ошганда токнинг кучланишдан квадратик боғлиқлиги кузатилади $I \approx I_0 + U^2$ с $m = 2$, бунда $I_0 = 1.72$ мА. Қўзғатиш даражасининг ўсишига боғлиқ ҳолатда 2.2 – 2.7

В ва 2.7 – 2.9 В кучланиш оралиғида кўрсаткич даражаси мос равишда $m = 2.8$ ва $m = 3.2$, қийматларни қабул қилади. Бундай оралиқнинг пайдо бўлишини n – базадаги чуқур сатхли дефектлар ва дефект – киритма комплекларнинг мувозанатлашмаган ток ташувчиларнинг рекомбинация жараёнига таъсири билан тушунтириш мумкин. Бу ҳолатда рекомбинация тезлиги, дефект – киритма комплекси орқали рекомбинацияни ҳисобга олган ҳолатда ва эркин ток ташувчиларнинг комплекслараро алмашивуни ҳисобга олган ҳолда қуйдаги формула билан ифодаланади [9].

$$u_r = N_R \frac{c_n c_p (pn - n^2)}{c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1) + \alpha \tau_i pn} \quad (1)$$

бу ерда $\alpha \tau_i pn$ - комплекслараро алмашивуни ифодалайди, τ_i – комплекслараро алмашивуни вақти. Базаси етарлича узун бўлган p - n ўтиш орқали ток ўтиш механизми қуйдаги дифференциал тенглама орқали ифодаланади

$$D_a \frac{d^2 p}{dx^2} + v_a \frac{dp}{dx} - u_r = 0 \quad (2)$$

бу ерда D_a - электрон ва ковакларнинг ўзаро диффузиясини ҳисобга олувчи амбиполяр диффузия коэффиценти, $v_a = \mu_a E_J$ - амбиполяр дрейф тезлиги. Дефект киритма комплекси орқали рекомбинация тезлиги катта бўлган пайтда яъни - $\alpha \tau_i pn > c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1)$, бўлганда у ҳолда (1) чи тенгламанинг ечими қуйидаги ҳолатда бўлади:

$$U = A + B\sqrt{I} - D/\sqrt{I} \quad (3)$$

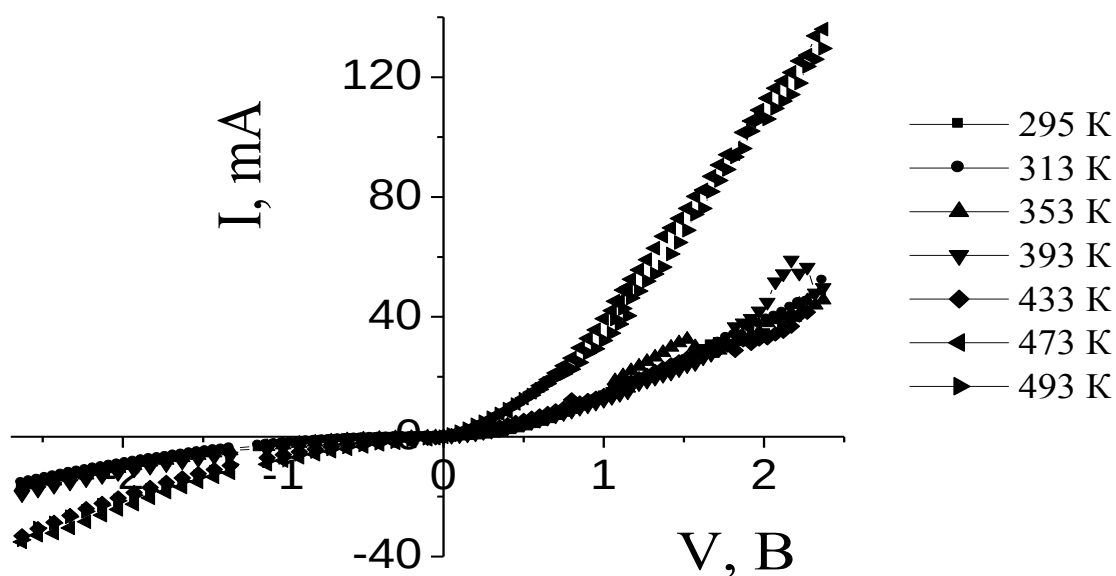
бу ерда А, В ва D база материалнинг хусусиятларига боғлиқ бўлган катталиклар (3) тенглама токнинг кучланиш берилиши билан тезроқ ошишини ифодалайди.

Хулоса қилиб шуни айтишимиз мумкинки $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ структура орқали ток ўтиш механизми анча мураккаб характерга эга бўлиб у уйғотилиш даражасига боғлиқ бўлиб уйғотилиш даражаси ўз навбатида чуқур сатхли дефектлар ва дефект – киритма комплексларнинг эркин ток ташувчилар рекомбинациясига таъсири билан ифодаланади.

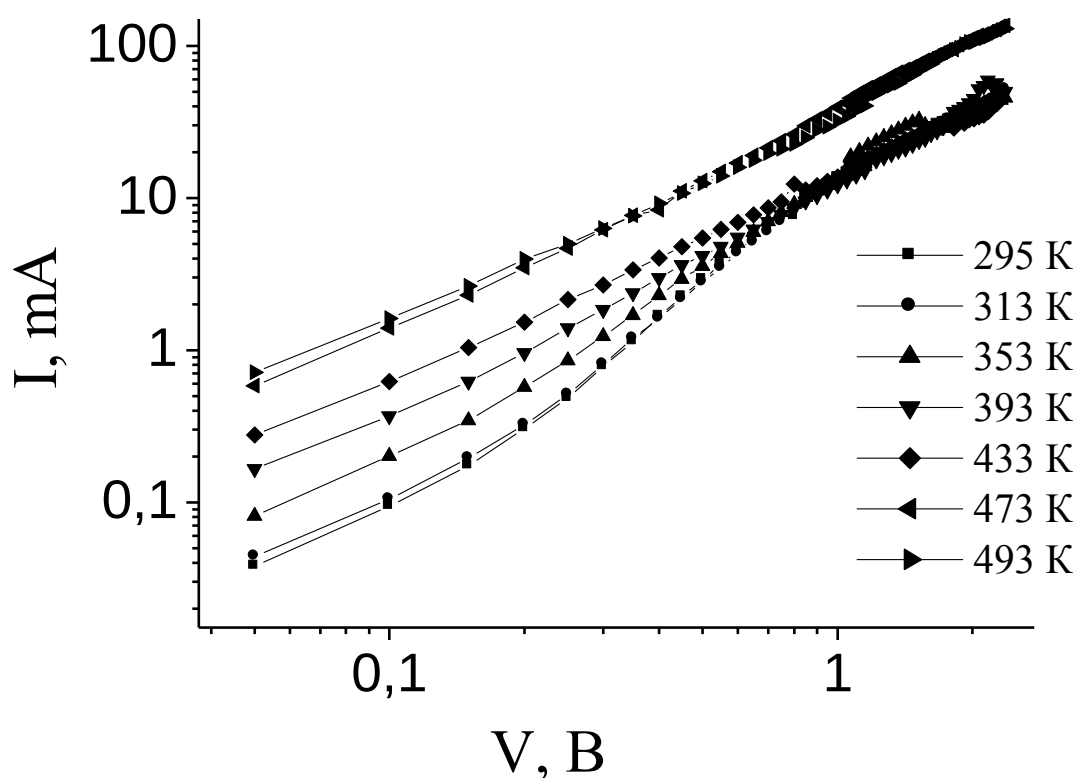
2 §. $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ структуранинг турли хил теператураларда вольт-ампер характеристикаси.

Самарадор фото-термо ва тепловолтаик элементларни яратиш фото ва теплоэнергетиканинг долизарб масаласи ҳисобланади бундай элементларнинг самарадорлигини оширишнинг йўларидан бири бу киритмали волтаик эффектдан фойдаланиш ҳисобланади. Киритмали волтаик эффектнинг [13] мазмуни шундан иборатки асосий ярим ўтказгич таркибига киритилган изовалентли киритма асосий ярим ўтказгич тақиқланган соҳасида энергетик сатхлар ҳосил қилиб ёруғлик фотонларининг E_g дан кичкина қисми томонидан ҳам ёки иссиқлик таъсирида эркин электрон ва ковакларнинг ҳосил бўлишига ёрдам беради бу ерда изовалент киритмаларнинг концентрацияси тўлдирилиш даражаси ва ман қилинган соҳада ҳосил қилаётган энергетик сатҳининг жойлашиши муҳим аҳамиятга эга киритмали волтаикни амалга ошириш учун электрон ва ковакларнинг ҳосил бўлиш тезлиги бир бирига яқин бўлиши керак. [14, 15] адабиётда биз поликиристаллик кремний ва $(Si_2)_{1-x}(ZnS)_x$ қаттиқ қоришмаси асосида тайёрланган p-n ўтишларда тепловолтаик эффектнинг юзага келишини кўрсатган эдик ушбу структуралар p- турдаги монокристал кремний тагликга $(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ n-турдаги эпитаксиал қаттиқ қоришмаларни

чегараланган суяқ фазадан чегараланган ҳажмдаги суяқ қалайдан суяқ фазали эпитаксия усули билан ўстирилган эди бу ерда суяқ аралашманинг таркиби қуйдагилардан иборат Sn–Si–ZnSe–GaP. Ўстирилган эпитаксиал қатламлар монокристал структурага эга юза бўйича ва кўндаланг кесим бўйича ўтказилган рентгеноструктур микроанализ натижалари шуни кўрсатдики таглик ва плёнка орасида юпқа ўтивчи қатлам (буфер қатлам) ҳосил бўлиб бу ерда кремнийнинг моляр концентрацияси 99% -ни ташкил қилади. Эпитаксиал қатламдаги ZnSe, Si₂ ва GaP ларнинг чуқурлик бўйича тақсимланиши деярли бир хил қатлам юзасилда галлийнинг моляр таркиби 3,7 ат.%, фосфор фосфора –5,3 ат.%, селена –42,2 ат.%, цинка –45,8 ат.% ҳамда кремния 3,0 ат.% ва натижада қуйдаги таркибда қаттиқ қотишма ҳосил бўлган (ZnSe)_{0,88}(Si₂)_{0,03}(GaP)_{0,09}. Структурани ўргани учун вакуумли чанглантериш усули билан кумушдан омик контактлар олинди 7- расмда ушбу структураларнинг тўғри ва тескари йўналишдаги қоронғуликдаги вольт – ампер характеристикаси келтирилган.



7- расм. pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y (0≤x≤0.03, 0≤y≤0.09) структуранинг турли хил температурада тўғри ва тескари йўналишдаги қоронғуликдаги вольт – ампер характеристикаси.



8- расм. $p\text{Si-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ ($0 \leq x \leq 0.03$, $0 \leq y \leq 0.09$) турли хил температурада структуранинг қоронғуликдаги тўғри йуналиши логарифмик масштабда.

Бу ерда 8- расмда логарифмик масштабда келтирилган вольт – ампер характеристикасини ўргани шуни кўрсатадики $-2,4$ ҳамда $+2,4$ В кучланишлар оралиғи ва хона ҳароратидан 433 К гача бўлган ҳароратда токнинг ҳароратга кучсиз боғланганлигини ва 473 - 493 К ҳароратларда тўғри ва тескари йўналишларда токнинг кескин ошиши кузатилади 8- расмдан кўриниб турибтики 295 К дан 433 К гача ва 0,9 В дан 2,4 В гача бўлган оралиғларда вольт – ампер характеристиканинг ҳароратга боғлиқмаслиги кўриниб турибти аввалги ушбу материаларнинг фотолюминисценцияларини ўрганиш [16] шуни кўрсатдики ушбу материаларнинг тақиқланган соҳасида молекуляр киремний ва галлий фосфорнинг энергетик сатҳлари ҳосил бўлади. Ҳароратнинг 295 К - 433 К ва шу оралиғдаги 0,9 В -2,4 В

кучланишнинг ҳароратга боғлиқ бўлмаган вольт – ампер характеристика қисмининг юзага келиши тақиқланган соҳада юзага келган киритманинг энергетик сатҳи оддий бўлмасдан балки бир қанча энергетик сатҳларнинг бирлашиб маълум бир оралиқни эганлаганлигини кўрсатади. Етарлича узун базага эга бўлган p – n ўтиш орқали ток ўтиши (1) тенглама билан ифодаланади [17].

$$D_a \frac{d^2 p}{dx^2} - v_a \frac{dp}{dx} - u_r = 0 \quad (1)$$

Бу ерда p – барқарор бўлмаган ташувчиларнинг концентрацияси, D_a – амбиполяр диффузия коэффиценти, $v_a = \mu \cdot E_J$ - амбиполяр дрейф тезлиги, E_J – структурадан ўтувчи токнинг майдон кучланиши, u_r – рекомбинация тезлиги. Киритма сатҳи кенгайиш ҳолатда амбиполяр дрейф тезлиги қуйдаги кўринишда бўлади [18]:

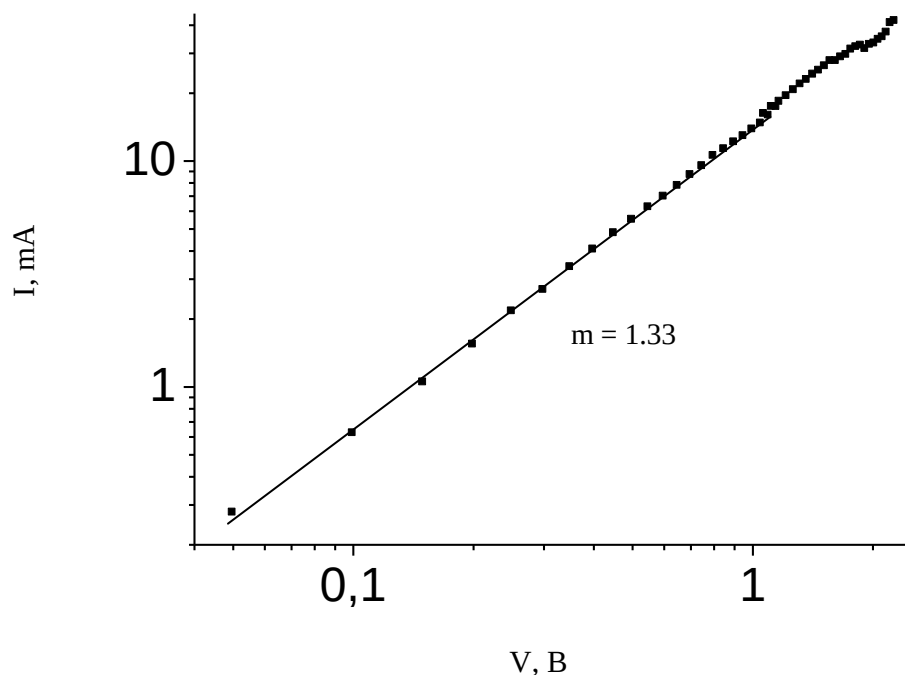
$$v_a = \frac{J p^{-\alpha k T}}{q b \gamma} \quad (2)$$

Бу ерда J – ток зичлиги, $1/\alpha$ – киритма урвнларининг сатҳи кенгайишининг ярим кенглигини ифодаловчи характеристик энергия, $b = \mu_n / \mu_p$ – электрон ва ковакларнинг ҳаракатчанлигининг нисбати, (2) формуладан келиб чиқадики бу ҳолатда амбиполяр дрейф тезлиги нафақат ток зичлигига балки мувозанатда бўлмаган ташувчиларнинг концентрациясига ҳам боғлиқ бўлади (1) формуланинг (2) ҳисобга олган ҳолдаги ечими ҳароратга боғлиқ бўлмаган вольт – ампер характеристиканинг кўринишини беради [19,20]:

$$J = J_0 e^{A q V_T} \quad (3)$$

бу ерда $A = 2$.

Вольт – ампер характеристиканинг бази бир қисмларида бази бир ҳароратларда токнинг кучланишга - $I = I_0 \cdot V^m$ тарзида боғланиши киритма сатҳининг маълум даражада кенгайганлигини билдиради. Мисол тариқасида 9 – расмда ўрганилган структуранинг тўғри йўналишдаги 433 К икиламчи логарифим масштабидаги вольт – ампер характеристики келтирилган 3 расмда кўриниб турибтики 0,1 В дан 2 В оралиғида вольт – ампер характеристика - $I = I_0 \cdot V^{1,33}$, тенглама асосида тушунтирилади [19,20] ва бу назарий жиҳатдан иккиёқламали инжексия ва икита ноидел контактли диффузия режимига тўғри келади.



9 – расм. pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y (0≤x≤0.03, 0≤y≤0.09) структуранинг тўғри йўналишдаги 433 К икиламчи логарифим масштабидаги вольт – ампер характеристики.

Ҳароратга боғлиқ бўлмаган оралиқлардан кейин 473 К ва 493 К ларда токнинг кескин ошиши энергетик сатҳнинг кенгайишини ҳисобга олувчи назария асосида тушунтирилиши мумкин бу ҳароратларда ва 0,9 В - 2,4 В

кучланишлар оралиғида вольт – ампер характеристика қуйдаги кўринишга эга бўлиб бу назария бўйича температурага боғлиқ бўлмаган ораликда кейин мавжуд бўладиган ҳажмий заряднинг омик релаксациясига тўғри келадиган дрейф ҳолатига тўғри келади.

ХУЛОСА

Хулоса қилиб шуни айтишимиз мумкинки $\text{pSi-n}(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$ структура орқали ток ўтиш механизими анча мураккаб характерга эга бўлиб у уйғотилиш даражасига боғлиқ бўлиб уйғотилиш даражаси ўз навбатида чуқур сатхли дефектлар ва дефект – киритма комплексларнинг эркин ток ташувчилар рекомбинациясига таъсири билан ифодаланади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ:

1. Saidov A.S., Razakov A.Sh. Liquid-phase epitaxy of solid solutions $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ // Materials Chemistry and physics. – Elsevier, 2001.-Vol. 68. – P. 1-6.
2. Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. – М.: Сов. Радио, 1975. – С.328.
3. Хасен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. – Москва, Металлургиздат, 1962.- том 1, 608с., том 2, 874 с.
4. Саидов А.С., Саидов М.С., Кошчанов Э.А. Жидкостная эпитаксия компенсированных слоев арсенида галлия и твердых растворов на его основе. – Ташкент, «Фан», 1962. – с. 127.
5. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл – полупроводник. – М.: Изд. Мир, 1975. – С. 309.
6. Саидов А.С. Жидкофазная эпитаксия твердых растворов $(\text{IV}_2)_{1-x}(\text{AZB}^5)_x$ // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 1993. - № 4. – С.48-51.
7. Э.И. Адирович, П.М. Карагергий-Алкалаев, А.Ю. Лейдерман. Токи двойной инжекции в полупроводниках. (М. Сов. радио, 1978).
8. Лейдерман А.Ю., Минбаева М.К., ФТП, т.30, №10, С.1729-1738, 1996.
9. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 392 с.
10. Саидов М.С. Твердые растворы кремния и возможность их использования для каскадных солнечных элементов // Гелиотехника.- Ташкент, 1997-№5-6.- с 57-67.
11. Саидов М.С. Электроактивность изовалентных примесей и фотовольтаический эффект // Гелиотехника.-Ташкент, 2005.-№3.-С. 67-72.

12. Saidov M.S. Valence band impurity photovoltaic effect // Гелиотехника.–Ташкент, 2001.– №1.– С. 3-6.
13. Стафеев В.И. Влияния сопротивления толщи полупроводника на вид вольтамперной характеристики диода // ЖТФ.–Ленинград, 1958.– т.28, в.8.– С.1631-1641.
14. Лейдерман А.Ю. Карагеоргий-Алкалаев П.М. К теории полупроводниковых приборов при высоких уровнях инжекции./ «Изв. АН РУз ССР. Сер.физ.мат.».–Ташкент,1965.–№5.–С.80-82.
15. Саидов М.С. // Гелиотехника. 2008, №2. С.3-10.
16. Саидов М.С., Саидов А.С., Усмонов Ш.Н. // Гелиотехника. 2007, №4. С.102-104.
17. Саидов М.С., Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Амонов К.А. // Гелиотехника. 2009, № 4. С.
18. Саидов А.С., Саидов М.С., Шамирзаев Т.С. Получение и фотолюминесценция твердого раствора $(\text{ZnSe})_{1-x-y}(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_y$. Гелиотехника, 2005, № 3, С.72-75.
19. Leiderman A.Yu. Phys. St. Sol. (a), 1979, 55, 661.
20. Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю. Фоточувствительность полупроводниковых структур с глубокими примесями. 1981, Ташкент, изд. «Фан», 200 ст.
21. интернет адрес ; journals.ioffe.ru , fizika-i-tehnika.spb24.net