

Ўзбекистон Республикаси  
Олий ва Ўрта Махсус таълим вазирлиги

Мирзо Улугбек номидаги  
Ўзбекистон Миллий Университети

Каримов М.

## ҚАТТИҚ ЖИСМ РАДИАЦИОН ФИЗИКАСИ

Ташкент - 2006

22.37

«Қаттиқ жисм радиацион физикаси» бўйича ёзилган мазкур методик қўлланма магистрлар учун мўлжалланган бўлиб, унда мазкур бўлим асослари, унинг мақсади, вазифалари ва аҳамияти очиб берилган.

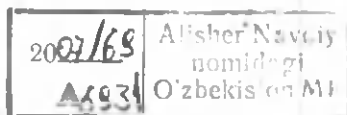
Ушбу методик қўлланма университет ва институтларнинг Физика факультетида «Қаттиқ жисм физикаси» йўналиши бўйича иш олиб бораётган аспирантлар учун ҳам фойдалидир.

Масъул муҳаррир  
доцент Рахматов А.С

методик қўлланма муаллифи  
физ – мат .фанлари доктори Каримов М.

Тақризчилар  
физ – мат .фанлари доктори Хакимов Э.М.  
физ – мат .фанлари номзоди Қаюмов М.А.

НД 33853  
2



Методик қўлланма М.Улугбек номи ЎзМУ ўқув – услубий кенгаши томонидан нашрга тавсия этилган.

## Кириш

Қаттиқ жисмлар ва улар асосида тайёрланаётган асбоблар ва қурилмалар халқ хўжалигида ва турмушда кенг қўлланилмоқда. Турли радиоактив элементларни олиш, атом энергиясидан тинчлик мақсадида фойдаланиш, космик фазони ўрганиш ва у ерда узоқ муддатли илмий тажрибалар олиб боришда қаттиқ жисмлар радиацион физикасини илмий асосда изчил ўрганиш вазифаси ҳозирги даврда ечилиши керак бўлган муҳим масалаларидан бири бўлиб қолмоқда. Бунга сабаб қаттиқ жисмлардан тайёрланган асбоблар, катта энергияли заррачалар (протон, электрон, гамма-квантлар ва ҳ.к.) таъсирида, ўзларининг электрофизик, механик ва шунга ўхшаш хусусиятларини ўзгартиришидир. Бу ўзгаришларнинг фундаментал физик асослари тўла тўқис ечилмаганлиги сабабли, қаттиқ жисмлардан тайёрланган асбобларнинг хусусиятларини нурланиш таъсирида ўзгаришини олдиндан башорат қилиб бериш муаммолигича қолмоқда.

Қаттиқ жисмларда радиацион физикавий жараёнларни ўрганишда қуйидагиларга эътибор берилади:

- қаттиқ жисмларнинг тузилишига уларнинг муҳим хоссаларига ва уларнинг турларига;
- қаттиқ жисмлардаги нуқсонларга;
- юқори энергияли заррачалар билан бомбардимон қилиниши натижасида қаттиқ жисмларда вужудга келадиган физикавий жараёнларга.

### 1. Қаттиқ жисмларнинг тузилиши ва улардаги нуқсонлар

Қаттиқ жисмларнинг атом тузилиши ҳақидаги тушунчалар: электролиз, газларда электр токининг ўтиши ва радиоактивлик ҳодисаларини ўрганиш жараёнида вужудга келди. Атом ядросидаги протонлар ва унинг атрофида маълум орбиталар бўйлаб айланаётган электронлар сони элементлар даврий системасидаги элементнинг тартиб номерига тенг.

Водород атомининг тузилиш схемаси (тартиб номери 1 га тенг) энг оддийдир. Унинг ядросида бир-бирлик элементар гусбат заряд бўлиб, бу ядро атрофида битта электрон айланади. Водород атомининг ядроси протон деб аталадиган

элементар заррачадан иборат бўлиб, унинг массаси 1,007276 м.а.б. га, заряди эса +1 га тенгдир.

1932 йилда Чедвик томонидан янги элементар заррача — нейтрон кашф этилди, унинг массаси 1,008665 м.а.б. гига тенг бўлиб, заряди бўлмаган электронейтрал заррача.

Физик олимлар томонидан олиб борилган тадқиқот на — гижалари атомларнинг ядролари космик нурлар таъсирида элементар заррачаларга ажралишини аниқладилар. Бундан ажралиб чиқадиган протонлар сони Д.И. Менделеев даврий системасидаги элемент тартиб номерига тенг бўлиб чиқди. Протон ва нейтронларни ядрога тутиб турувчи кучлар ядро кучлари дейилади. У ниҳоятда катта куч бўлиб, жуда қисқа масофалардагина ( $10^{-13}$  см га яқин) таъсир этади (бу куч — ларнинг табиатини ядро физикаси ўрганади).

Қаттиқ жисмларнинг тузилиши ва улардаги ҳосил бўладиган нуқсонларни чуқурроқ ўрганишга киришишдан олдин моддалар ҳолати ҳақида баъзи бир физик тушунчаларга тўхталамиз.

### 1.1. Қаттиқ жисим ҳолати ҳақида тушунча

Физика курсидан маълумки, температура ва босимни ўзгартириш натижасида исталган жисмни қаттиқ, суюқ ёки газсимон ҳолатда олиш мумкин.

Модданинг қаттиқ, суюқ ва газсимон ҳолатларида бў — лишлиги унинг агрегат ҳолатлари ёки мос равишда қаттиқ, суюқ ва газсимон фазалари деб аталади.

Ҳар бир модда босим ва ҳароратнинг (температуранинг) аниқ қийматларида бир вақтнинг ўзида қаттиқ, суюқ ва газсимон фазаларда (учланма нуқтада) бўлиши мумкин. Масалан, сувнинг учланма нуқтаси учун 4,58 мм. сим. уст. босими ва  $\sim 0,01$  °C температура мос келади.

Модда бир агрегат ҳолатидан иккинчи агрегат ҳолатига ўтаётганда унинг кимёвий таркиби ўзгармагани ҳолда, физик хоссалари тубдан ўзгаради.

Кўрилаётган қаттиқ, суюқ ва газсимон жисмлар тўплами — жисмлар системаси ёки соддагина қилиб айтганда система деб юритилади. Агар системада модданинг учта агрегат ҳолати мавжуд бўлса, бундай система уч фазага дейилади.

Бир фазадан иборат бўлган система бир жинсли (г а м о г е н) система, агар система икки (ёки уч) фазадан ибрат бўлса, бундай система бир жинсли бўлмаган (г е т е — р о г е н) система дейилади (бундай фикрлаш модда агрегат ҳолатидан келиб чиққан).

Агар  $CuZn$  қаттиқ жисмни кўрадиган бўлсак, бу намунада бир жинсли  $Cu$ ,  $Zn$  ва бир жинсли бўлмаган  $CuZn$  аралашмали соҳалар мавжуд. Бу соҳаларнинг ҳаммаси модданинг қаттиқ агрегат ҳолатига тегishли бўлиб, у турли кимёвий ва физикавий хусусиятларга эга. Бир жинсли бўлмаган системада, бир жинслилик соҳа, икки соҳани бўлувчи юза чегараси билан аниқланади.

Системанинг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга бирор оралик ҳолатлар кетма—кетлиги орқали ўтишига ж а р а ё н деб аталади.

Система  $A_{1-x}B_x$  моддалар эритмасидан ҳосил бўлган қотишма бўлса, бунда  $x$  кам миқдордаги  $B$  модда ва  $(1-x)$  қисми  $A$  модда бирикмаси (қотишмаси) дан иборат деб тушинилади.

Эритма — бу икки ёки ундан ортиқ компонентлардан (таркибий қисмлардан) иборат ва бу таркибий қисмлар ўртасида таъсир кучлари мавжуд бўлган бир жинсли суюқликдир.

Кимёвий бирикма — бу бир—бири билан муайян нисбатларда кимёвий боғланишга эга бўлган икки ёки ундан ортиқ компонентлардан иборат системадир.

Системанинг ҳолати ҳолат параметрлари орқали ҳаётланади. Одатда, ҳолат параметрлари сифатида учта физик катталик: моддани эгаллаган ҳажми, температураси ва босими олинади.

Агар система ҳолатини характерловчи параметрлар ташқи таъсир бўлмаганда исталганича ўзоқ вақт давомида ўзгармаса, у ҳолда ситеманинг ҳолати м у в о з а н а т л и ҳолат деб аталади. Бирорта ҳам реал жараён мувозанатли бўла олмайди, лекин жараён қанчалик секин ўтса, у мувозанатли жараёнга шунчалик яқин бўлади. Жараёни мувозанатли деб ҳисобланган тақдирдагина, уни узулуксиз чизик билан график равишда тасвирлаш мумкин.

Фаза ўзгаришларисиз элементнинг ташкил топган миқдорини ўзгариши к и м ё в и й р е а к ц и я дейилади.

Заррачалар билан жисм орасидаги кимёвий реакцияни содир бўлишлик шартларидан бири, уларнинг бир бирлари билан учрашу — видир. Тўқнашувлар қанчалик кўп бўлса, реакция шунчалик тез бо — ради. Реакцияга киришаётган моддаларнинг концентрациялари қанчалик юқори бўлса, тўқнашувлар сони ҳам шунчалик кўп бўлади.

Кимёвий реакция тезлиги деганда реакцияга киришаётган моддалардан бирининг концентрациясининг вақт бирлиги ичида ўзгариши тушунилади. Бунда реакцияга киришаётган моддалар — нинг қайси бири ҳақида гап бораётганлигининг аҳамияти йўқ; уларнинг ҳаммаси бир — бири билан реакция тенгламаси орқали боғланган, шу сабабли моддалардан бирининг концентрациясини ўзгаришига қараб, қолган барча моддалар концентрациясининг ўзгаришига тегишли бўлган маълумотлар ҳақида фикр юритиш мумкин.

Тажриба натижаларига кўра, кимёвий реакциянинг тез — лиги реакцияга киришаётган моддалар концентрациялари — нинг кўпайтмасига пропорционалдир ва у қуйидаги тенглама билан ифодаланади:  $A + B \rightarrow C$ .

Кимёвий реакцияларнинг тезлигини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$v = k [A][B], \quad (1.1)$$

бунда  $[A]$  ва  $[B]$  моддаларнинг моляр концентрациялари,  $k$  — эса пропорционаллик коэффициентлари бўлиб, реакциянинг тезлик константаси дейилади.  $k$  нинг — физик маъносини келтириб чиқариш учун, (1.1) ифодадаги моддаларнинг моляр концентрациясини характерловчи  $[A]$  ва  $[B]$  катталиклар — нинг қийматини 1 молга<sup>1</sup> тенг деб оламиз. Бунда  $k$  реакция тезлигига тенг бўлиб қолади, яъни  $v = k$ . Ўзгармас температурада турли кимёвий реакциялар ўзининг тезлик констан — таларига эга бўлади. Бу константаларни бир — бирига таққослаш орқали, турли моддалар орасидаги ўзаро кимёвий таъсирлашиш тезлигини аниқлаш мумкин бўлади. Реакция тезлигини реакцияга киришаётган моддаларнинг концен — трацияси билан боғловчи тенглама реакциянинг кинетик тенгламаси дейилди.

<sup>1</sup> Модда молекулаларининг углерод бирикмаларида ифодаланган массаси шу модданинг молекуляр массаси дейилади. Молекуляр масса сон жиҳатидан модда молекуласи таркибига кирувчи барча атомларнинг нисбий атом массаларининг йиғиндисига тенг.

Реакцияга киришаётган моддаларнинг концентрацияси ўзгарганда реакция тезлигининг ўзгариши қуйидаги кўри — нишда бўлади:

$mA + B \rightarrow C$  турли кимёвий реакциялар тезлиги  $v = k [A]^m [B]$ ;

$\alpha A + bB + \dots \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} dD + eE + \dots$  турли кимёвий реакцияни

тезлигини  $v_1 = k_1 [A]^\alpha [B]^b \dots$ ;  $v_2 = k_2 [D]^d [E]^e \dots$

бу ерда  $k_1$  ва  $k_2$  реакция тезликлари доимийси бўлиб, зар — рачалар таъсир қилаётган модданинг табиатига, температу — расига боғлиқ бўлиб, уларнинг нисбати қуйидагига тенг бў — лади:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[D]^d [E]^e}{[A]^\alpha [B]^b} = k_c$$

бу ерда  $k_c$  — тезликларининг кимёвий мувозанатланиш (тен — глашиш) доимийси, бошқача айтганда тўғри ва тескари ки — мёвий реакция тезликлар доимийси нисбатни аниқлайдиган тенглашиш доимийсидир.

Биз юқорида кимёвий реакция бўлиши учун заррача билан жисм орасида ўзаро тўқнашиш бўлиши керак деган эдик, бу етарли бўлмас экан, бундан ташқари тўқнашаётган заррача энергияси ўзаро кимёвий боғланган жисм атомла — рини<sup>2</sup> бир бирларидан ажратишга етадиган бўлиши керак. Акс ҳолда, тўқнашиш бўлиб, кимёвий реакция бўлмаслиги мумкин.

Табиатда битта элементнинг атом массаси турлича бў — лишлиги ва ядро атомнинг деярли барча массаси тўплан — ганлиги тажрибада исботланган. Масалан, хлор атомининг нисбий массаси 35, ва 37 га тенг. Бу атомларнинг ядроларида протонлар сони бир хил, аммо нейтронлар сони ҳар хил бў — лади.

Битта элементнинг ядро заряди бир хил, аммо нисбий массаси ҳар хил бўлган атомлар и з о т о п л а р дейила — ди.

Деярли барча элементларнинг изотоплари маълум (масалан, кислороднинг масса сони 16, 17, 18 бўлган изотоплари, яъни  $^{16}O$ ,  $^{17}O$ ,  $^{18}O$  бор). Бундан шу хулоса келиб

<sup>2</sup> Атом — кимёвий элементнинг оддий ва чураккаб моддалар молекуласи таркибига кирувчи энг кичик заррачасидир. Молекула — муайян модданинг кимёвий хоссаларини ўзида сақлаб қоладиган энг кичик заррачасидир.

чиқадики кимёвий элемент — ядросининг мусбат зарядлари бир хил бўлган элементлар туридир.

Изобаралар — масса сони бир хил, ammo ядро заряди — нинг катталиги ҳар хил бўлган изотоплардир (аргон  ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ , калий  ${}^{40}_{19}\text{K}$ ).

Атом ядроларининг элементар заррачалар ёки юқори зарядли ионлар ёрдамида бошқа ядроларга айлантирилиши ядро реакциялари дейилади. Бундай реакциялар — нинг тенгламаларини ёзишда масса сони ва заряднинг сақланиш қонунига риоя қилинади. Ядро реакцияси — нинг тенгламасини қуйидаги  $A + x = B + y$  (1.2) кўринишида ёзиш мумкин. Бу тенгламани қисқартирилган  $A(x,y)B$  кўринишида ҳам бериш мумкин. Тенгламадаги  $A$  — ядро нишони бўлиб, унга  $x$  — элементар заррачалар келиб урилади ва ядро реакцияси юз беради. Реакция натижасида ядродан  $y$  — заррача отилиб чиқади. Натижада  $B$  бошқа ядро ҳосил бўлади.  $B$  ва  $y$  ларни ядро реакциясининг маҳсули деб ҳам аташади. (1.2) тенгламанинг чап томонидаги  $A + x$  ядро реакциясининг кириш канали, ўнг томонидаги  $B + y$  эса, чиқиш канали дейилади. Ядро реакцияларнинг турлари ниҳоят даражада кўпдир. Жумладан  $A(p,n)B$ ;  $A(d,p)B$ ;  $A(\gamma, He, n)B$  ва бошқаларни кўрсатиш мумкин. Ядро реакцияларида энергия ва импульснинг сақланиш қонунлари тўлиқ бажарилади, яъни барион сони ва зарядларнинг йиғиндиси тенгламанинг ўнг ва чап томонларида бир — бирларига тенг бўлиши керак. Бу сақланиш қонунларни ядрогаги барча ўзгаришларга ( $\alpha$  — емирилиш,  $\beta^+$  — емирилиш ва бошқаларга) қўллаш мумкин. Масалан:  ${}^{30}_{14}\text{Si} + {}^1_0n = {}^{30}_{14}\text{Si}$ ;  ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} = {}^{30}_{15}\text{Si} + {}^1_0p$

Ядро реакциялари ёрдамида (1930 йилда циклотрон, атом реакторлари яратилгандан сўнг) радиоактивлик хусусиятига эга бўлган изотоплар олинди ва олинмоқда. Уларнинг ҳам — маси беқарор бўлиб, радиоактив емирилиш натижасида бошқа элементларнинг изотопларига айланади. Масалан,  ${}^{31}_{15}\text{Si} \rightarrow \beta^- + {}^{31}_{16}\text{P}$ . Радиоактив изотоплар кимёвий хоссалари жиҳатидан радиоактив бўлмаган (барқарор) изотоплардан фарқ қилмайди.

Кимёвий реакцияларда атом ядроси ўзгаришга учра — майди. Бунда атомларнинг электрон қобиклари ўзгаради,



кимёвий элементларнинг кўпчилик хоссалари шу электрон қобикларнинг тузилиши билан тушунтирилади.

Саволлар

- Модданинг қандай агрегат ҳолатларини биласиз?
- Мадда бир агрегат ҳолатдан иккинчи агрегат ҳолатга ўтганда унинг қандай хоссалари ўзгаради ?
- Жисмлар системаси деганда нимани тушунасиз ?
- Қандай системага гомоген система дейилади ?
- Эритма нима?
- Системанинг мувозанат ҳолатини изоҳлаб беринг.
- Кимёвий бирикма нима?
- Кимёвий элемент деганда нимани тушунасиз?
- Атом ва молекула деганда нимани тушунасиз?
- Модданинг молекуляр массаси нима?
- Изотоп ва изобарлар бир бирларидан қандай фарқланади – лар?
- Кимёвий реакция нима?
- Кимёвий реакция тезлиги деганда нимани тушунасиз?
- Реакциянинг кинетик тенгламаси нима?
- Кимёвий реакциянинг содир бўлиш шартлари нималардан иборат?
- Ядро реакцияларининг тенгламасини ёзишда қандай қонунларга иттифоқ қилиш керак ?

## 1.2. Атом электрон қобиклари тўғрисида тушунча

Тез ҳаракатланаётган электрон ядрони ўраб турган фа – зонинг исталган қисмида бўлиши мумкин ва унинг турли ҳолатлари муайян зичликдаги манфий зарядли электрон булуту сифатида қаралади. Электрон булутининг зичлиги бир меъёрда эмас. Масалан, водород атомида электроннинг максимал зичлиги ядродан 0,53 Å масофадаги қаватлардаги электронларга тўғри келади. Электрон қаватлар, бошқача қилиб айтганда электрон қобиклар ёки энергетик поғоналар ҳам дейилади.

Атомдаги электрон қаватлар (электрон қобиклар ёки энергетик поғоналар) сони элемент турган давр номерига

тенг: I давр элементларида — битта, II давр элементларида эса — иккита ва ҳоказо поғоналар бўлади. Энергетик поғонадаги электронлар сони кўпи билан поғона номери квадратининг иккига кўпайтмасига тенг, яъни:  $N = 2n^2$ , бунда  $N$  — электронлар сони,  $n$  — поғона номери (ядродан бошлаб ҳисобланганда) бошқача айтганда бош квант сони. Шунга мувофиқ ядрога яқин биринчи энергетик поғонада кўпи билан 2 та (битта поғоначада), иккинчи энергетик поғонада эса кўпи билан 8 та (тўртта поғоначада), учунчи поғонада 18 та (тўққизта поғоначада) ва тўрттинчи поғонада 32 та (ўнолтита поғоначада) электрон бўлади. Поғоналар со — ни тўрттадан кўп бўлмайди. Поғоналар ўз навбатида поғоначалардан, поғоначалар эса ўз навбатида орбиталардан тузилган бўлади.

Поғоначаларни латин ҳарифлари билан белгилаш қабул қилинган:

s — ҳар қайси энергетик поғонанинг ядрога яқин биринчи поғоначаси, у битта орбитадан таркиб топган;

p — иккинчи поғонача, учта орбитадан таркиб топган;

d — учинчи поғонача, бешта орбитадан таркиб топган;

f — тўрттинчи поғонача, унда еттита орбита бўлади.

Шундай қилиб,  $n$  нинг ҳар қайси қиймати учун  $n^2$  га тенг орбиталар бўлади (1 — жадвал).

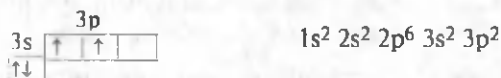
1 — жадвал. Бош квант сони орбиталарининг тури ва сони ҳамда поғонача ва поғоналардаги электронлар сони

| Энергетик поғона | Поғоначалар | Орбита               | Орбита — лар сони | Электронларнинг максимал сони |
|------------------|-------------|----------------------|-------------------|-------------------------------|
| K (n=1)          | 1           | 1s                   | 1                 | 2                             |
| L (n=2)          | 2           | 2s<br>2p             | 1<br>3            | 2<br>6                        |
| M (n=3)          | 3           | 3s<br>3p<br>3d       | 1<br>3<br>5       | 2<br>6<br>10                  |
| N (n=4)          | 4           | 4s<br>4p<br>4d<br>4f | 1<br>3<br>5<br>7  | 2<br>6<br>10<br>14            |

Электрон қобикларнинг структураси к в а н т ячейкалар ва электрон формулалар таризида тасвирланади.

Бундай ячейканинг ҳар бири катакча билан белгиланади: катакча — орбитал, стрелка — электрон, стрелканинг йўналиши — спиннинг йўналиши<sup>3</sup>, бўш катакча — бўш орбитал, уни қўзғатилган электрон эгаллаши мумкин. Паули принципига кўра, ячейкада битта ёки иккита электрон бўлиши мумкин, агар иккита электрон бўлса, улар жуфтлашган бўлади (1 — расм).

Мисол тариқасида Д.И.Менделеев элементлар даврий системасидаги 14 чи тартиб рақамида жойлашган (14 электрон бор) кремний (Si) атомида электронларнинг квант ячейкалар бўйича тақсимланиш схемасини ва поғаначалар бўйича тақсимланиш электрон формуласини келтирамыз:



1-расм

Атомларнинг хоссалари. Атомнинг ўлчамини ўзгармас катталик деб бўлмайди. Унинг ўлчами, атомнинг қандай бирикма таркибига киришига қараб ўзгариб туради. Рентген нурлари ёрдамида элемент атомлари орасидаги масофа аниқланади ва атомнинг радиуси ҳисоблаб топилади. Атом радиуси қанчалик катта бўлса, ташқи электронларни ядро шунчалик бўш тутиб туради ва аксинча, атом радиуси кичрайиши билан электронлар ядрога кучлироқ тортила бошлайди.

Даврларда атом радиуси чапдан ўнга томон кичрайиб боради. Бу ядро заряди катталашган сари электронларнинг тортишиш кучи ортиб бориши билан тушунтирилади. Группачаларда юқоридан пастга томон атом радиуси катталашиб боради. Бунда қўшимча қобик қўшилиши натижасида атомнинг ҳажми, бинобарин, унинг радиуси катталашади.

<sup>3</sup> Спин электроннинг ўз ўқи атрофида соат стрелкаси бўйлаб ва унга тескари йўналишда айланишини характерлайди, бу шартли равишда юқорига ↑ ва пастга ↓ йўналган стрелка билан тасвирланади.

Ионлашиш энергияси. Бу энергия атомда энг кам куч билан боғланган электронни атомдан узиб чиқиши учун зарур бўлган энергия. Бу ерда к а т и о н л а р ҳосил бўлади. Ионлашиш энергияси электрон вольтларда (эВ) ифодаланади. Битта даврдаги элементлар учун ионлашиш энергияси чапдан ўнга томон ортиб боради, чунки ядронинг заряди кўпаяди. Группачаларда бу энергия юқоридан пастга тушган сари камаяди, чунки электронлар ядродан узоқлашиб боради.

Атомлар электрон берибгина қолмай, уларни бириктириб олиши ҳам мумкин. Бунда а н и о н л а р ҳосил бўлади.

Электроманфийлик – молекулалардаги атомнинг ўзига электронларини тортиш хусусиятидир. Равшанки, инерт элементларда электроманфийлик бўлмайди, чунки уларнинг атомларида ташқи поғона тугалланган (умумий электрон жуфтлари ҳосил бўлган), шунинг учун уларнинг электрон конфигурацияси барқарор бўлади.

Одатда литийнинг электроманфийлиги (ЭМ) бир деб қабул қилинган ва бошқа элементларнинг ЭМ унга таққосланади. ЭМ даврларда элемент номери ортиши билан катталашади, группачада эса, аксинча камаяди. Бу катталиклар элементларнинг металлмаслик ўлчови бўлиб хизмат қилади.

Атомларнинг муҳим хоссаси – молекулалар ҳосил қилиш хусусиятидир. Бунга асосий сабаб, инерт газ атомларидан ташқари бошқа элемент атомларида тугалланмаган энергетик поғоналар бўлишлигидир (1 – расм). Кимёвий реакциялар натижасида бу поғоналар тўлишга интилади. Бунинг учун атом ё электрон беради ёки уни бириктириб олиб, умумий электрон жуфтлари ҳосил қилади.

Инерт газлардаги каби барқарор электрон конфигурацияси турли усуллар билан ҳосил қилиниши мумкин. Кимёвий боғланишларнинг асосий турлари ковалент, ион ва металл боғланишлардир. Бу боғланишларга тўхташдан олдин қаттиқ жисмлар классификацияси билан танишамиз.

Саволлар

- Моддадаги электрон қаватлар (электрон қобиқлар ёки

энергетик поғоналар) ва ундаги электронлар сони қандай аниқланади?

- Энергетик поғоналар ва поғоначаларда электронларнинг тақсимланишини қандай тасвирлаш мумкин ?
- Атомнинг қандай хоссаларини биласиз ?
- Ионлашини энергияси нима?
- Қандай ҳолда модда электрон конфигурацияси барқарор бўлади ?
- Нима сабабдан атомлар бирлашиб молекула ҳосил қилиш — га интилади?

### 1.3. Қаттиқ жисмлар классификацияси

Биз юқорида моддалар асосан учта агрегат ҳолатларда бўлишлигига тўхтадик: газ (буғ), суюқ, қаттиқ ва бундан ташқари тўртинчи плазма ҳолати мавжудлигини биламиз.

Бу агрегат ҳолатларнинг бир бирларидан фарқларига келсак:

- модда, плазма ҳолатида ўзининг кимёвий индивидуаллигини (ўзлигини) йўқотади;
- газ, ташқи таъсир остида ўз шакли ва ҳажмини осон ўз — гартиради<sup>4</sup>;
- суюқлик, газларга ўхшаб ўз шаклини осон, ҳажмини эса қўйинчилик билан ўзгартиради (мувозанатли, изотроп, тузилиши тартибланмаган система);

<sup>4</sup> Газнинг босими ҳажмининг камайиши ҳисобига ортганда газнинг зичлиги ортади. Натижада газ молекулалари орасидаги масофа камаяди. Масофанинг камайиши молекулалар орасидаги таъсир кўчини орттирига олиб келади. Бу кучларни эътиборга олиш керак бўлади. Бундай газлар идеал газлардан анча узоклашган бўлади. Буларни эътиборга олган ҳолда 1873 йилда голланд физиги Ван-дер-Ваальс томонидан 1 моль реал газ учун ҳолат тенгламаси яратилди:  $[(p + a/V_m)] [V_m - b] = RT$ , бу ерда  $a/V_m$  ва  $b$  — ўзгармас катталиклр бўлиб, уларнинг сон кийматлари турли газлар учун тажриба йўли билан аниқланади. Бу тенглама идеал газ ҳолат тенгламасидан иккита тузатма ҳисобининг киритилганлиги билан фарқ қилади. Биринчи ҳад  $a/V_m$  молекулалар орасидаги ўзаро тортиниш кучини ҳисобга олади ва уни ички босим дейн — лади. Иккинчи ҳад бу ўзгармас  $b$  катталик бўлиб итарилиш кучларини, яъни газ молекулаларининг зич қилиб жойлаштирилгандаги эгалаган ҳажмини кўрсатади.

— қаттиқ жисмнинг ҳажми ва шаклини ўзгартириш, газ ва суюқликларга нисбатан, қатта қийинчилик билан амалга ошириш мумкинлиги маълум, аммо қаттиқ жисмни фақатгина ҳажмини ўзгартириши, сиқилиши билан солиш — тириш етарли бўлмайди. Масалан, смола қаттиқ жисм, аммо у ўта совиган суюқлик ва структураси бўйича қаттиқ жисмга эмас, балки суюқликка яқин жисмдир. Чунки, қаттиқ жисмлар шаклининг ҳар қандай ўзгаришида, жисмларни дастлабки шаклига қайтаришга интилувчи эластик кучлари пайдо бўлади, яъни қаттиқ жисмлар шакл эластиклигига эга, қаттиқ жисмлар ўзининг бу хоссалари билан суюқлик ва газлардан фарқ қилади.

Қаттиқ жисмлар уларни ташкил қилган зарраларнинг жойлашиш тартибига асосланиб ҳар хил турларга бўлинади (қуйидаги 2 — жадвалга қаранг).

Барча қаттиқ жисмлар ўзларининг физик хоссаларига кўра кристалл ва аморф жисмларга бўлинадилар. Кристал — ларнинг асосий хусусияти, уларда зарра (атом, молекула ёки ион) лар мунтазам тартибда жойлашади. Кристаллнинг му — возанат ҳолати учун характерли бўлган уч ўлчов бўйича зарраларнинг даврий такрорланиб жойлашуви кристалл панжара дейилади (2 — расм).

Кристалларда атомларнинг жойлашиши фазовий дав — рийлик (ёки трансляцион симметрия) хоссасига эга бўлиб, кристалл панжарада атомларнинг марказлари жойлашган нуқталар — тугунлар, улар орасидаги соҳа — тугунлараро соҳа деб аталади.

Ҳар қандай кристалларда бир текисликда ётмаган учта асосий йўналиш (бош йўналишлар) бўлади: бу йўналишларда бир хил ўриндаги қўшни атомлар (ионлар, молекулалар) орасидаги масофалар  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  векторлар орқали белгила — нади. Кристалларда атомларнинг тартибли жойлашуви (узқ тартиб) икки атом марказлари орасидаги масофанинг ҳар қандай йўналиши учун ўзгармас бўлишига, аммо турли йўналишлар учун эса фарқ қилишига муқаррар равишда олиб келади (3 — расм). Бу расмдан яққол кўринадики, бунда А, В, С йўналишларда қўшни атом марказлари орасидаги  $a$ ,  $b$ ,  $c$  масофалар бутун тўғри чизиқ бўйлаб ўзгармас бўлиб, турли тўғри чизиқлар учун эса улар бир хил бўлмайди. Бошқа сўз билан айтганда, кристалларда атомлар турли йўналишлар бўйича турли дичликлар билан жойлашади.

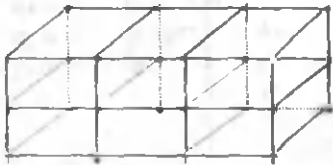
бўйича турли зичликлар билан жойлашади. Бунинг оқибатида кристалларнинг механик, иссиқлик, электр, магнит, оптик ва бошқа хоссалари турли йўналишлар бўйича бир хил эмаслиги, яъни физик хоссаларининг *анизотропия*— си келиб чиқади.

Аморф қаттиқ жисмларда кристаллар учун характерли бўлган атомларнинг барча йўналишлари бўйича аниқ тартибли жойлашиши бўлмайди, яъни уларда узоқ тартиб бўлмайди (юнонча amorphos сўзи шаклсиз деган маънони билдиради). Аморф жисмларда қўшни атомларни жойлашувида сувоқликлардаги каби яқин тартиб ўринли бўлади. Шунинг учун аморф жисмда турли йўналишлар бўйлаб атомлар ўртача бир хил зичлик билан жойлашади. Бу эса аморф жисмлар учун характерли бўлган и з о т р о п и я хоссаларини намайен қилади. Бундай хусусият шишасимон қаттиқ жисмларга ҳам тегишлидир (шишасимон билан аморф қаттиқ жисмлар структурасини бир-бирларидан фарқи, атомларни барча йўналишлар бўйича тартиблилик даражасини ҳар хиллиги билан фарқланишидир). Аморф жисмларга мисол қилиб, шиша, смола, турли пластмассалар ва бошқа шунга ўхшаш жисмларни кўрсатиш мумкин.

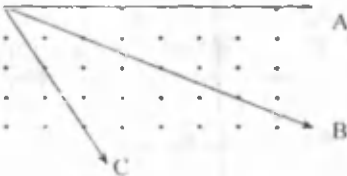
Берилган босим ва температурада жисмлар энергиясининг минимумга мос келган мувозанат ҳолатга эришиши, жисм атомлар орасида маълум масофалар қарор топиши, шунингдек уларнинг маълум конфигурацияда жойлашиши билан боғлиқ. Шунинг учун аморф жисмлар қандайдир мувозанатда бўлмаган (метастабил) ҳолатда бўлади ва вақт ўтиши билан кристалланиб қолиши керак. Аммо одатдаги шароитларда мувозанат ҳолатга ўтиш вақти жуда катта бўлиши мумкин ва у амалда чексиз узоқ вақт ўзини мувозанатдаги қаттиқ жисм каби тутади (аморф — ўта совиған қаттиқ жисм).

Подимер органик қаттиқ моддалар бўлиб, макромолекулалар деб ном олган, жуда катта чизиқли ёки тармоқланган молекулардан ташкил топган бўлади.

Базми органик бирикмаларда молекулар углерод атомлари кимёвий қўш боғланишлар билан ўзаро боғланган бўлади. Бундай қўш боғланишлар маълум шароитларда узиллиши мумкин ва айрим молекулар бир-бирлари билан



2-расм



3-расм



бирикиб, полимернинг макромолекуласини ҳосил қилади.

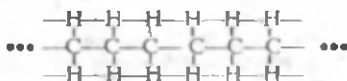
Полимерларда бир хил молекулалар ўзаро кетма-кет бирикиб, анча йирик молекулаларни ҳосил қилади. Бу жараён полимерланиш дейилади. Полимерланиш реакциясига киришадиган бошланғич модда эса мономер дейилади.

Макромолекулалар таркибига кирадиган мономер молекулалар сони полимерланиш даражаси дейилади. Полимерланиш даражаси ( $n$ ) га қараб, бир хил мономернинг ўзидан турли хоссаларга эга бўлган материаллар тайёрлаш мумкин ( $n = 20$  бўлган полиэтилен мойлаш хоссаларига эга бўлган суюқлик;  $n = 1500 - 2000$  бўлган полиэтелен қаттиқ, лекин эгиловчан пластик материал, ундан плёнкалар, бутилкалар ва эластик трубалар яшаш мумкин;  $n = 5000 - 6000$  бўлган полиэтелен қаттиқ модда бўлиб, ундан қуйма буюмлар ва қаттиқ трубалар тайёрлаш мумкин).

Полимерланишга тесқари жараён, яъни полимер макромолекулаларининг бузилиши деструкция деб аталади. Полимер деструкцияси уларнинг физик ва кимёвий хусусиятларининг ўзгаришига олиб келади.

Полимернинг молекуляр массаси жуда катта бўлади. Чунки унинг молекуласи бир хил тузилган ва такрорланувчи кўп сонли мономер молекулалардан иборат.

Полиэтелен макромолекуласи, бир-бири билан қўш боғланиш ҳисобига бириккан 5000 та айрим этилен  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$  мономер молекулаларининг занжиридан иборат бўлади. Унинг структура формуласи қуйидаги кўринишга эга:



Макромолекула, молекула каби, модданинг кимёвий хоссаларини ташиб юрувчи энг кичик зарра эмас (агар макромолекулалардан қисқа занжирлар тузилганда бундай хоссалар сақланади деса бўлади). Полимерларнинг механик хоссалари етарлича қайтар механик деформацияланишга эга. Хона температурасида ва ундан пастроқ температураларда

юқори эластиклик намоён қиладиган фазовий панжара структурали полимерлар, одатда р е з и н а л а р деб ата — лади.

Кристалланиш<sup>5</sup> температураси шишаланиш температура — турасидан юқори бўлган полимерлар кристалл ҳолатда бў — лаолади. Кристалланишда полимерларнинг жуда кўпчилиги поликристаллга айланади. Бу полимер занжир звенолари орасидаги боғланишнинг турли макромолекулаларга тегишли звеноларнинг тартибли жойлашувига тўсқинлик қилиши туфайли содир бўлади. Шунини қайд қилиш лозимки, *физикада фақат кристалл жисмларни қаттиқ жисмлар деб ҳисоблаш қабул қилинган*, бундай қаттиқ жисм поли — ва монокри — сталлардир (булар мувозанатли, анизотроп тузилиши қатъий тартибли системадир).

Поликристалл — қўшни атомлар (молекулалар) ораси — даги кучлар таъсирида бир — бирига ёпишган жуда кўп сон — даги майда монокристалл дончалардан ташкил топган бир бутун қаттиқ жисм бўлиб, бундаги кристаллчалар бир — бирларига нисбатан ҳар хил йўналишга эгадир ва улар ора — сида махсус чегаралар мавжуддир.

Монокристалл — яхлит бир кристалл тузилишига эга бўлган кристалл.

### Саволлар

- Қаттиқ жисмлар асосан қайси ҳусусият билан суюқ ва газдан фарқ қиладди?
- Физикада қаттиқ жисм деганда нимани тушинилади?

<sup>5</sup> Эриш процессига тескари бўлган модданинг суюқ фазадан қаттиқ фазага ўтиши кристалланиш дейилади. Суюқлик кристалланиши учун, унда кристалланиш марказларининг, яъни суюқликда қондайдир муаллақ қаттиқ зарраларнинг (кристаллчаларни) бўлиши талаб қилинади. Суюқлик бундай зарралардан тозаланганда уни кристалланиш температурасидан паст температурагача совитишга эришилади. Бундай ўта совиган суюқлик метастабил (аморф) ҳолатда бўлади. Суюқликнинг қаттиқ аморф ҳолатга ўтиши шишаланиш, бундай ҳолатдаги модданинг ўзи эса шишаланган модда ёки шиша дейилади. Аморф жисмларнинг суюқ ҳолатга ўтишининг аниқ температураси, шунингдек, уларнинг аниқ шишаланиш температураси бўлмайди. Буни суюқ ва аморф жисмлар молекулаларининг ҳаракатчанлик даражасини фарқ қилиши билан тушунтирилади.

- Кристалл қаттиқ жисмнинг асосий хусусиятини тушун – тиринг.
- Аморф қаттиқ жисм ва унинг асосий хусусиятлари нималардан иборат?
- Полимер нима ва у қандай материал ҳисобланади ?
- Полимерланиш нима?
- Полимерланиш даражаси деганда нимани тушунасиз?
- Резиналар қандай материаллар турига киради?
- Қай ҳолатларда полимерлар кристалл ҳолатда бўлиши мумкин?
- Шишаланиш температураси деганда нимани тушунасиз ?
- Поликристалл нима?
- Монокристалл деганда нимани тушунасиз?

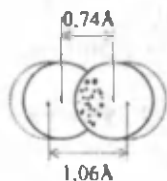
#### 1.4. Кимёвий боғланишлар

Атомларнинг муҳим хоссаси – молекулалар ҳосил қилиш хусусиятидир, чунки одатдаги шароитда молекуляр ҳолат атомар ҳолатга қараганда барқарор бўлади. Атомлар кимёвий боғланиш жараёнида электрон беради ёки уни бириктириб олади, бунда электрон жуфтлар, яъни инерт газлардаги каби барқарор электрон конфигурация ҳосил қилади (бу тўғрида § 1.2 тўхтаб ўтганмиз). Кимёвий боғланишнинг бир неча турлари мавжуд бўлиб, шулардан баъзи бирларига тўхтаб ўтамыз.

Ковалент боғланишли кристаллар. Ковалент боғла – нишнинг энг содда кўриниши, бу водород молекуласидир ( $H + H = H_2$ ). Электрон орбитасида биттадан электрони бўлган иккита бир хил водород атомлари яқинлаштирилганда уларнинг электрон булутлари бир – бирларини қоплайди. Натижада иккала ядронинг марказлари орасида максимал электрон зичликка эга бўлган икки электронли молекуляр булут вужудга келади. Манфий заряд зичлигининг кўпайиши эса ядролар билан молекуляр булут орасидаги тортишиш кучларининг кескин ортишига имкон беради (4 – расм). Агар бир – бирига яқинлашган водород атомларидаги ядролар орасидаги масофа 1,06 Å бўлса, у ҳолда электрон булутлар бир – бирини қоплагандан ( $H_2$  ҳосил

бўлганда) кейин бу масофа  $0,74 \text{ \AA}$  ни ташкил этади (4 – расм). Электронлар булуги бир бирини одатда, иккала атом ядро – сини бирлаштирувчи тўғри чизиқ бўйича энг кўп қоплайди ва ҳар бир атом инерт газ бўлган гелийнинг конфигурациясига интилади.

5 – расмда квант ячейкалари ёрдамида, иккита электроннинг битта молекуляр квант ячейка ҳосил қилиб бири – киши кўрсатилган.



4 – расм



5 – расм

Бу ҳолда иккала электрон маълум даражада иккала атомга умумий бўлиб қолади. Бу электронлар жуфти ту – файли ҳосил бўлган икки атомнинг ўзаро боғланиши атом ёки ковалент боғланиш деб аталадиган гомеокутубий боғланишни ҳосил қилади. Ҳар бир валент электрони фақат битта атом билан боғланишни таъминлаши мумкин. Шунинг учун берилган атом қатнашадиган боғланишлар сони атомнинг валентлигига тенг.

Атом боғланишни кремний кристалли мисолида қарасак, унда 4 та жуфтлашмаган электрон бўлиб, кимёвий боғланиш ҳар қайси атомнинг жуфтлашмаган электронлари ҳисобига ҳосил бўлади (6 – расм). Икки атом орасидаги боғланишни



6 – расм. Нормал (а) ва қўзғолган ҳолатда (б) кремний валент электронларни орбиталар бўйича тақсимланиши.

ҳосил қилишида ҳар бир атомдан биттадан, иккита атомдан эса иккита электрон қатнашади, бошқача айтганда ҳар бир кремний атоми  $sp^3$  – гибридланган боғланиш ҳосил қилиш

учун 4 та электрон керак бўлади. Ковалент боғланишнинг муҳим белгиларидан бири уларнинг тўйинган боғланиш эканлигидир. Шу билан бирга бу боғланишлар қўшни атомлар оралиғи бўйича йўналган бўлади.

Ион боғланишли кристалллар. Кристалл панжара тугунларида турли ишорали ионлар бир-бири билан бирин-кетин жойлашган бўлади. Улар орасидаги ўзаро таъсир кучлари асосан электростатик кучлардир. Кристаллда ионлар шундай жойлашадики, натижада қарама-қарши ишорали ионлар орасидаги тортишиш кучлари (турли ишорали ионлар орасидаги масофа бир хил ишорали ионлар орасидаги масофадан кичик бўлаганлиги учун) бир хил ишорали ионлар орасидаги итаришиш кучларидан кучлироқ бўлади. Турли ишорали ионлар орасидаги электростатик тортишиш кучлари таъсирида ҳосил бўлган бирикмалар ион боғланишли бирикмалар дейилади.

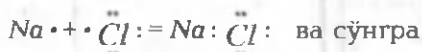
Бир ёки бир нечта валент электронлари бир атомдан бошқасига ўтганда ионли боғланиш ҳосил бўлади. Шунинг учун бир хил кимёвий элемент атомлари орасида ионли боғланиш ҳосил бўлмайди, чунки бир элемент атомлари электронларни фақат бериши ёки қабул қилиши мумкин. Бинобарин, ионли боғланиш ва ионли кристалллар ўзлари-нинг кимёвий табиатига кўра валент электронлар энергияси билан фарқ қилувчи турли атомларнинг бирикишидан ҳосил бўлади. Шунинг учун ионли боғланиш кўпинча *гетерополяр* боғланиш дейилади. Ионли боғланишни натрий хлор  $\text{NaCl}$  бирикмасининг ҳосил бўлиши мисолида кўриб чиқамиз. Ундаги атомларнинг электрон формулалари тегишлича  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  ва  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$  бўлади. Электрон формулалардан кўриниб турибдики, улар тугалланмаган энергетик поғонали атомлар ҳисобланади. Равшанки, уларнинг тугаланиши учун натрий атоми 7 та электронни бириктириб олишидан кўра, битта электронни бериши, хлор атоми эса 7 электронни беришдан кўра, битта электронни бириктириб олиши осон. Юқорида айтилганларни схема кўринишида қуйидагича ёзиш мумкин:



яъни Na атомининг электрон қобиғи инерт газ He нинг барқарор қобиғига  $-1s^2 2s^2 2p^6$  (бу  $\text{Na}^+$  ион), хлор атомининг

қобийғи эса инерт газ  $Ag$  нинг қобийғига —  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$  (бу  $Cl^-$  иони) айланади.  $Na^+$  ва  $Cl^-$  ионлари орасида электро-статик тортишиш кучлари вужудга келади, нағижада  $NaCl$  бирикма ҳосил бўлади. Бу ҳолда молекулалар бўлмайди. Масалан, натрий хлоридда ҳар қайси  $Na^+$  иони олтига  $Cl^-$  иони билан, ҳар қайси  $Cl^-$  иони эса, олтига  $Na^+$  иони билан ўралганлиги рентген текшириш усули билан топилган.

Ҳозирги зомон боғланишлар назарияси ион боғланишни ковалент боғланишдаги электрон жуфтликнинг энг кўп силжиши натижасида вужудга келган деб тушунти-ради, бунда умумий электронлар жуфти бирикаётган атомларнинг биттасига тегишли бўлиб қолади. Масалан,



Электрон жуфтнинг силжиши термини ўрнига молекула электрон булутининг ёки боғланиш электрон булутининг силжиши деган тушгунча ишлайтилади. Молекула электрон булутининг силжиши қутбланиш дейилади (юқоридаги келтирилган мисолга кўра, молекуляр электрон булут, яъни электронлар жуфти хлор атомига силжийди, бу электроннинг натрий атомидан хлор атомига ўтиши деган сўздир).

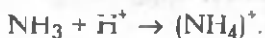
Ион боғланишнинг йўналмаганлиги (ковалент боғланишдан фарқи) унинг энг муҳим хоссаларидан биридир. Бошқача айтганда, ҳар қайси ион қарама-қарши ипорионларни ўзига истаган йўналишда торта олади.

Боғланишлар қутбли ва қутбсиз бўлиши мумкин. Қутбсиз ковалент боғланишда электронларнинг умумий жуфти ҳосил қилган электронлар булuti, иккала атом ядроларига нисбатан симметрик тақсимланади. Бунга битта элемент атомларидан таркиб топган икки атомли молекулалар:  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $F_2$  ва бошқалар мисол бўла олади. Уларда электронлар жуфти иккала атомга бир хил даражада талуқли бўлади. Бу моддаларнинг суюкланиш ва қайнаш температуралари паст бўлади ва сувда ионларга диссоциаланмайди.

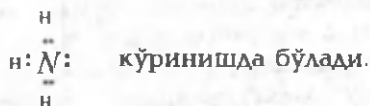
Қутубли ковалент боғланишда электрон булут нисбатан электроманфийлиги катта бўлган атом томонга силжиган бўлади. Бунга учувчан аорганик бирик-малар  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_2$  ва бошқалар мисол бўла олади.

Қутибли ковалент боғланишли моддалар физик хоссала-рига кўра, ион боғланишли моддалар билан қутибсиз кова-лент боғланишли моддалар ўртасида оралиқ ҳолатни эгал-лайди. Бу боғланишларда молекулалар электрон жуфтининг булути иккала атом ядроларига тааллуқли бўлгани сабабли, боғланишнинг бу икки тури тўғридан-тўғри ковалент боғланиш деб юритилади.

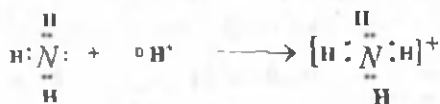
Ковалент боғланишнинг бошқа механизмлари ҳам мав-жуд бўлиб, буни аммоний иони  $(\text{NH}_4)^+$  нинг ҳосил бўлиши орқали тушунтиришга ҳаракат қилайлик:



Аммиак молекуласининг  $(\text{NH}_3)$  электрон формуласи



Водород ионида  $1s$  – қобикча бўш бўлганда уни  $\text{H}^+$  деб белгиласак, аммиак ва водородлар бир-бирларига яқинлашганида азотнинг икки электрон булути азот атоми учун ҳам, водород атоми учун ҳам умумий бўлиб қолади:



Икки электронли булутни (бўлинмаган жуфт) ҳосил қиладиган атом д о н о р, орбитаси бўш атом э с а а к ц е п т о р дейилади. Бир атомнинг икки электрон булути ва бошқа атомнинг (акцепторнинг) бўш орбитаси ҳисобига ковалент боғланиш ҳосил бўлиш механизми донор-акцепторли механизм дейилади. Шу йўл билан ҳосил бўлган ковалент боғланиш, кўпинча, донор-акцепторли ёки к о о р д и н а ц и о н боғланиш дейилади. Лекин бу боғланишнинг махсус тури эмас, балки ковалент боғланиш ҳосил бўлишнинг бошқача, донор-акцепторли механизмидир.

Металл боғланишли кристаллар. Суяқ ёки қаттиқ ҳолатларда металл атомлари бир – бирига жуда яқин келади ва электрон бу – лутлари киришиб кетади. Шунинг учун кўпчилик металл атомларининг ташқи энергетик поғанасида электронлар сони кам бўлиб, бўш қобіқчалар кўп бўлади. Бу ҳол қристаллнинг исталган қисмида электронларни мусбат ядроларга яқин келишига имкон беради. Ионлашиш энергияси кам бўлганлиги туфайли, металлда электронлар айрим атомлар билан боғланишини йўқотади, осонгина умумлашиб, электрон газ – “эркин” электронлар тўпламини ҳосил қилади. Булар локаллашмаган, қўзғалувчан электронлардир. Юқоридагиларга асосан металлни мусбат ионларнинг зич жойлаш – ган, бир – бири билан электрон газ воситасида боғланган мусбат ионлар структурасидан иборат, деб тасаввур қила оламиз. Бунда нисбатан оз сондаги умумлашган электронлар кўп сонли ионларни боғлайди. Бундай кимёвий боғланиш тури металл боғланиш дейилади.

Металл боғланиш ковалент боғланишга қисман ўхшайди, чунки улар валент электронларнинг умумлашувиға асослан – ган. Лекин ковалент боғланишда фақат икки қўшни атом – нинг валент электронлари умумлашган бўлади. Металл боғланишда эса, бу электронларни умумлашувида барча атомлар иштирок этади. Шу сабабли, ковалент боғланишли кристаллар мурт, металл боғланишли кристаллар эса пластик бўлади. Металл боғланишда ион ва атомлар боғланишини бузмасдан, бир бирига нисбатан силжиши мумкин. Бу ҳол металл боғланишнинг локаллашмаганлигидан (бир томонга йўналмаганлигидан) далолат беради.

Водород боғланишли кристаллар. Таркибига водород ва кучли электроманфий элемент кирадиган (фтор, кислород, азот, хлор, олтингугурт) молекулалар орасида вужудга кела – диган боғланишдир. Бунда иккита молекула (ионлар) ораси – даги боғланиш водород атоми ёрдамида ҳосил бўлиши мум – кин, яъни молекулада умумий электрон жуфт водороддан электроманфий элемент томонга силжиб бир томонлама қутубланиш ҳосил қилса унинг мусбат заряди (протон) бошқа иккинчи ионнинг бўлинмаган электрон жуфти билан ўзаро таъсирлашиб, иккинчи томонлама қутубланиш ҳосил қилади. Шундай қилиб, протон икки атом (молекула) орасида турганда у иккала молекулани ҳам қутублайди ва



уларни бир бирлари билан боғлайди. Водород орқали боғланиш сув молекулалари орасидаги ўзаро таъсирнинг муҳим шаклидир. Водород орқали боғланиш органик моддалар кристалларда кўп учрайди, чунки водород боғланишли бирикмалар полимерланишга интилиш хоссасига эга.

Боғланишларнинг пухталиги орбиталарнинг аралашуви (гибридланиши) га боғлиқ, чунки гибридланишда электрон булутлар бир-бирини кўпроқ қоплайди. Гибридланган орбита нок шаклида бўлиб, ядродан бир томонга қараб кучли тортилган бўлади. Масалан, Метан молекуласининг ҳосил бўлишида битта  $s$ - ва учта  $p$ - электрон орбиталари гибридланади ва тўртта бир хил гибридланган орбиталар ҳосил бўлади. Бундай гибридланиш  $sp^3$ -гибридланиш дейилади. Углерод атомининг гибридланган тўртта  $sp^3$ -орбиталари билан тўртта водород атомининг  $s$ -орбиталари бир-бирини қоплаши натижасида тўртта эквивалент боғланишли мустақкам метан молекуласи ҳосил бўлади.

Бирикаётган атомларнинг марказларни бирлаштирувчи чизиқ бўйлаб булутларнинг (орбиталарнинг) бир-бирини қоплаши натижасида ҳосил бўлган кивий боғланиш  $\sigma$  боғланиш дейилади (метан молекуласида тўртта  $\sigma$ -боғланиш бор).

$\pi$ -боғланиш доимо атом марказларини бирлаштирувчи чизиқнинг иккала томони бўйлаб орбиталарнинг бир-бирини қоплаши ҳисобига ҳосил бўлади. Бу боғланишда тўйинмаган бирикмаларнинг ( $p$ -нинг охириги орбитали гибридланмаган ва у гибридланган орбитал текисликка перпендикуляр жойлашган) хоссаларини тушунтириш учун киритилган.

**Молекуляр боғланишли кристаллар** — кристалл панжара тугунларида маълум йўналишда жойлашган молекулалар бўлади. Молекуляр кристаллдаги боғланиш кучлари, реал газларнинг идеал газлардан четлашишларини ҳосил қилувчи, газ молекулалари орасидаги тортишиш кучларига кўп жиҳатдан ўхшаб кетади. Шунинг учун бу боғланиш кучларини Ван-дер-Ваальс кучлари, кристалл молекулалари орасидаги боғланишни эса молекуляр боғланиш дейилади. Аргон, неон, криптон, қаттиқ водород, азот, кислород, ёғли кислота, метил спирти ва бошқа турдаги бир қатор органик бирикмаларнинг кристаллари молекуляр кристаллар қаторига киради. Молекуляр кристалларнинг паст эриш температураси, кучли

сиқилувчанлиги ва иссиқлик кенгайиш коэффициентини катта бўлишлиги, молекуляр боғланишнинг ( $0,08 \div 0,11$  эВ) жуда кучсизлигидан далолат беради.

Кристалларни боғланиш турларига қараб юқорида берилган классификацияси жуда ҳам шартли эканлигини такидлаб ўтмоқ керак. Бунга графит кристалли характерли мисол бўла олади. Бу кристалл углерод атомларининг ясси қатламларидан ташкил топган. Бу ясси қатламлар бир-бирлари билан молекуляр боғланиш билан боғланган. Ҳар бир қатлам чегарасида ҳар қандай углерод атомининг учта валент электрони қўшни углерод атомлари билан ковалент боғланиш ҳосил қилади, тўртинчи электрон эса металллардаги каби (умумлашади) эркин электрон бўлиб қолади. Металлардан фарқи равишда бу фақат бир қатлам чегарасида бўлади. Шундай қилиб, графит кристаллида бир вақтнинг ўзида уч хил: ковалент, бир қатлам чегарасида металл ва қатламлар орасида молекуляр боғланишлар мавжуд бўлади.

Қаттиқ жисмнинг кўпчилиги ҳар хил температура ва босимда икки ҳамда ундан ортиқ кристалл тузилишига эга бўлиши мумкин. Бу ҳодисани полиморфизм деб аталади. Масалан углерод атомлари олмос кўринишида ҳам, графит кўринишида ҳам бўлиши мумкин. Бу икки кристалл тузилиши ва физик хоссалари жиҳатидан бир-биридан кескин фарқ қилади.

Кристалл структурасини бир модификациядан бошқасига ўтиши — полиморф айланиш дейилади. Битта модданинг полиморф модификациялари кўпинча грек ҳарфлари билан белгиланади. Бунда  $\alpha$  хона температурасида ёки янада пастроқ температурада мувозанатда бўлган модификациясини,  $\beta$  — шу модданинг юқорироқ температурасида мувозанатда бўлган иккинчи модификациясининг кўринишини кўрсатади.

#### Саволлар

- Ковалент (гомеополяр) боғланишни тушунтиринг.
- Ион боғланишни ковалент боғланишдан фарқи нимада?
- Қутубланишни тушунтириб беринг.
- Қутубли ва қутубсиз ковалент боғланишларни изоҳлаб беринг.

- Донор ва акцепторли (ёки координацион) боғланиш тўғрисида нималарни биласиз?
- Металл боғланиш нима?
- Молекуляр боғланиш деганда нимани тушунасиз?
- Графит кристаллида қандай боғланишлар бўлиши мумкин.
- Полиморфизм деганда нимани тушунасиз?

### 1.5. Қаттиқ жисмнинг электрон структураси

Атом ядроси билан электронлар ўртасида тортиш кучи ва электронлар орасида эса бир – бирларини итарувчи кучлар мавжудлиги атом физикаси курсидан маълум.

Қаттиқ кристалл материалларда, унинг ташкил этган атом – лари бир – бирига жуда яқин жойлашганлиги учун қўшимча кучлар ҳосил бўлади. Атом ядроси билан шу атомга тегишли бўлмаган электронлар орасида ва қаттиқ жисмга тегишли бўлган, ҳамма атом ядролари орасида, ҳамда ҳамма электронлари орасида вужудга келадиган кучлардир.

Кристалл жисмларда қўшимча ўзаро таъсир кучларининг вужудга келиши электрон қобиқлар ичидаги қобиқчалар энергетик сатҳларини ўзгаришига олиб келади. Бошқача айтганда бу кучлар таъсирида қобиқчалар ичида жойлашган электронлар энергетик сатҳлари кўпроқ қўзғалар экан, бу ўз навбатида шу қобиқчадаги электрон сатҳларни бир – бир – ларидан ажралишига (кенгайишига) олиб келади. Кристалл жисмда атомларнинг бир бирига нисбатан яқинлашиши, электрон энергетик қобиқлари ўрнига алоҳида энергетик зоналар ҳосил қилиш билан бирга, баъзи бир кристалларда (агарда атомдаги электронлар сатҳи орасидаги масофа жуда катта бўлмаса) бир поғоначада жойлашган электрон сатҳи (электрон орбиталари) иккинчи поғоначадаги энергия сатҳ

лари устига тушиб қолиши ҳам мумкин экан. Бу ҳолатда кристаллда валент зона ( $E_v$ )<sup>6</sup> билан ўтказувчан зона ( $E_c$ )<sup>7</sup> қисман бир бирларининг устига тушиб, электрон учун

<sup>6</sup> Кристаллдаги валентли энергетик сатҳлардан ташкил топган зона – валент зона дейилади.

<sup>7</sup> Агар энергия зонаси чала тўлдирилган бўлса, уни ўтказувчанлик зонаси дейилади.

тақиқланган зонани ( $E_n$ ) йўқотиши мумкин. Бу ҳолда кристалл жисмда қўшимча энергия сарифланмасдан маълум бир атом электронлари ўзи айланаётган атом ядросидан чиқиб, бошқа қўшни атом ядросига ўтади (бу хусусият металл кристалларга хосдир).

Шуни қайд қилиш керакки, зонани катталашини қобиқча ичидаги алоҳида электрон сатҳларини зичлашини ҳисобига юз беради, зона ичидаги атомлар сонини орттишига эмас.

Валент зона билан ўтказувчан зона орасидаги тақиқланган зона кенглиги электрон билан ядро ўртасидаги боғланиш даражасига боғлиқ, боғланиш қанча кучли бўлса, шунча зона кенглиги тор бўлади.

Шунга кўра ҳар хил кристалл жисимларнинг хусусиятлари бир бирига ўхшамаслиги ва уларнинг энергия зоналарга боғлиқлигини кўрсатади.

Энди валент сатҳларида пайдо бўлган энергия зоналарини электронлар билан тўлдирилиши масалаларини металлларда эмас балки, металл эмас қаттиқ жисмларда кўриб чиқамиз.

Умуман олганда, энергия зонаси электронлар билан тўла тўлдирилган, чала тўлдирилган еки бутунлай тўлдирилмаган бўлиши мумкин.

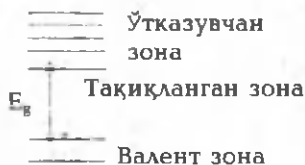
Энергия зонасини электронлар тўла тўлдирилган бўлса бу ҳолда ундаги электронлар электр токида қатнаша олмайди, чунки, бу зонанинг ҳар бир сатҳида бир хил тезликка эга бўлган икки электрон қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Бу электронларни ток ўтишда қатнаштириш учун бундай жуфтларни ажратиш — уларнинг бир қисмини юқорига бўш сатҳларга (ўтказувчанлик зонасига) кўтариш (энергиясини ошириш) ва электронларнинг тезлик йўналишини электр майдонга мос равишда буриш, яъни уларнинг йўналган ҳаракатини вужудга келтириш керак (электрон валент зонадан ўтказувчан зонага ўтиши учун тақиқланган зона энергиясига тенг бўлган энергия олиши керак). Бу икки зона ҳам чала тўлдирилган бўлиб қолади ва электр майдони ҳосил қилинганда бу зонадаги электронлар ток ўтишига ўз улушларини қўшадилар. Аммо, тўла тўлган (валент зона билан атом ядроси орасида жойлашган) ички зоналарда бўш

ўринларнинг йўқ бўлганлиги учун, электронлар иккитадан ўз сатҳларида қарама-қарши ҳаракат қилишда давом этадилар. Шунинг учун улар ток ўтишида қатнаша олмайдилар.

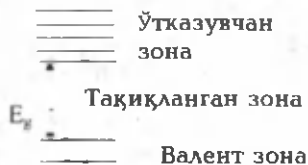
Юқоридаги масалани янада чуқурроқ тушуниш учун Кремний кристаллини олайлик. Кремний (Si) Менделеев жадвалида 14-ўринда туради. Бинобарин, унинг атомида 14 та электрон бўлиб ( $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ ), улардан 10 таси мус-таҳкам ички қобиқда 5 та сатҳни тўлдиради, қолган 4 таси эса, иккита валент сатҳни тўла тўлдирган бўлади (мутлоқ ноль температурада). Кремнийнинг валент зонаси  $3s^2 3p^2$  поғоначадаги орбиталардан ташкил топган. Бу поғоначалар юқорисида бўм-бўш (электрони бўлмаган) 3d поғонача (ўтказувчанлик зонаси) жойлашган (7-расм). Аммо валент зона билан ўтказувчан зона бир бирлари билан устма уст тушмаганлиги учун (металл кристалларга тескари) валент зонадаги электронлар электр токини ўтказишда қатнаша олмайди, яъни кремний ўзини диэлектрик каби тутати.

Биз бундан кейин валент зонаси остидаги тўлган (ич-кий) зоналарда содир бўладиган ҳодисалар кремнийнинг электрофизик хоссаларига таъсир қилмайди, деб фараз қиламиз, чунки бу зонадаги электронлар юқорида айтиб ўтганимиздек кристаллдан ўтаётган токда иштирок қилмайди.

Аммо, мутлоқ ноль температурадан юқори ҳар қандай температурада валент зона электронларидан бир қисми, ис-сиқлик ҳаракати энергияси ҳисобига, тақиқланган зона кенглиги деб аталувчи  $E_g$  энергияли тўсиқни енгиб, юқори зонага, яъни ўтказувчанлик зонасига ўтиб олган бўлади (8-расм).



7-расм



8-расм

Бу ҳодисани яққол тасаввур қилиш учун уни суюқлик молекулаларининг бугланишига ўхшатиш мумкин. Энди ва — валент зона ҳам, ўтказувчанлик зонаси ҳам чала тўлдирилган зоналар бўлади. Улардаги электронлар электр майдони таъсирида электрони бўлмаган (бўш ўринли) юқори сатҳларга ўтиши (энергиясини ва тезлик йўналишини ўзгартириши), яъни ток ўтишда қатнашиши мумкин. Юқорида айтганимиздек қисман тўлдирилган ўтказувчанлик зонасидаги электронларни эркин электронлар ёки ўтказувчанлик электронлари дейилади.

Валент зонадаги коваклар. Ўтказувчанлик зонасига ўтиб кетган электронлар валент зонанинг юқори чегараси яқинидаги сатҳларни бўш қолдиради. Албатта, электр майдони таъсирида валент зонадаги пастроқ сатҳлардаги электронлар бу бўш сатҳларга ўтиб олиши мумкин. Агар валент зонадаги электрон бўлмаган (бўш) ҳолатни  $+e$  зарядли квазизарра (ковак) деб қаралса, валент зонада электронлар ҳаракати ўрнига унга қарама — қарши йўналган коваклар ҳаракатини текшириш маъқул.

Демак,  $T > 0$  К да кремний кристалли электр ўтказув — чанликка эга бўлади, уни ўтказувчанлик зонасидаги, (эркин) электронлар ва валент зонадаги (эркин) коваклар амалга оширади. Эркин заряд ташувчилар (электрон ва коваклар) нинг миқдори тақиқланган зонанинг  $E_g$  кенглигига ва тем — пературага боғлиқ бўлади. Ҳар хил кристалларда  $E_g$  нинг қиймати турлича бўлади. Ярим ўтказгичларда  $E_g < 2$  эВ, ди — электрикларда  $E_g > 2$  эВ бўлади деб чамаланади. Шунинг учун хона температурасида ( $T_0 = 300$  К) ярим ўтказгичларда валент зонадан ўтказувчанлик зонасига сезиларли миқдорда электронлар ўтиб олади. Температура кўтарила борган сари бу ўтишлар кўпаяди, заряд ташувчилар концентрацияси (зичлиги) жуда тез ошиб боради ва қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$n = p = n_i = A \exp(-E_g/2kT) \quad (1.3)$$

(1.3) — ифода хусусий ярим ўтказгичларда заряд ташувчи — ларни температурага боғлиқлик формуласи бўлиб, бунда  $A$  — ўзгармас катталиқ (кремний учун  $A = \sqrt{N_c N_v} = 1,7 \cdot 10^{19} (T/T_0)^{3/2}$  ва  $E_g = 1,12$  эВ),  $k = 8,62 \cdot 10^{-5}$  эВ/град — Больцман доимийси.

(1.3) – ифодадан кўриниб турибдики ярим ўтказгичнинг заряд ташувчилар концентрацияси температура ортиши билан ортиб борар экан, бу эса ўз навбатида ярим ўтказгич солиштирма қаршилиги  $\rho$  ни камайтиради ( $\rho = 1/qn$ ).

Диэлектрикларда тақиқланган зона катта бўлганлиги сабабли эркин электронлар ва коваклар деярли бўлмайди. Шу сабабли ток ўтказмайди.

Ярим ўтказгичларда эркин заряд ташувчилар концентрацияси одатда металллардагидан кўп даражада оз, уларнинг электрўтказувчанлиги ҳам шу даражада кам. Аммо, металлларнинг электр ўтказувчанлиги ( $\sigma = qn\mu$ ) температура ортиши билан камайди, чунки металлларда эркин электронлар зичлиги катта ва температурага боғлиқ эмас, лекин температура ошган сари уларнинг ҳаракатчанлиги ( $\mu$ ) камайиб боради.

Савол туғилади: нима сабабдан ярим ўтказгич материаллари металлларга нисбатан ташқи таъсирларга сезгир? Бунинг асосий сабаби, металлларда заряд ташувчи электронлар сони  $1 \text{ см}^{-3}$  да  $5 \cdot 10^{21} \div 5 \cdot 10^{22}$  бўлса, ярим ўтказгичларда  $10^{13} \div 10^{16}$  атрофида бўлади. Шу сабабга кўра ярим ўтказгич материаллига берилган ташқи (температура, ёруғлик, деформация, катта энергияли радиация нурлари) таъсир ундаги эркин заряд ташувчилар концентрациясини кўпайтиради, металлларда бунинг иложи йўқ, чунки металлларда электр ўтказувчанликда иштирок қилаётган электронлар сони  $1 \text{ см}^{-3}$  даги атомлар сонига тўғри келади.

Юқоридагиларга асосан, қаттиқ жисмларнинг квант физикаси электронлар энергетик зоналари назарияси замида металл, ярим ўтказгич ва диэлектрикларнинг электр (ва бошқа) хоссаларини равшан тушунтириб беради деган хулосага келиш мумкин.

#### Саволлар

- Нима сабабдан қаттиқ жисмларда электрон қобиқлар ўрнига электрон зоналар ҳосил бўлади?
- Нима сабабдан энергия зонаси ҳар қандай температурада электронлар билан тўла тўлдирилган материалда электронлар электр токи ўтишида иштирок қилмайди?
- Валент зона деб нимага айтилади?

- Валент зона чала тўлдирилган қайси материалларни била — сиз?
- Электрон билан тўла тўлдирилган энергия зонаси билан валент зонасини бир бирларидан фарқи нимада?
- Ярим ўтказгич кристалдан электр токи ўтиш жараёнида валент зонадаги ковалентларнинг тутган ўрнини тушунтиринг.
- Заряд ташувчилар концентрациясини температурага боғлиқлик формуласи қандай кўришда ёзилади ?
- Нима сабабдан диэлектрикларда ток ташувчи зарядлар со — ни металл ва ярим ўтказгичларга нисбатан жуда кам бўлади?
- Нима сабабдан металлларда температура ортиши билан электр ўтказувчанлик камайса ярим ўтказгичларда ортади?
- Нима сабабдан ярим ўтказгичли материаллар металлларга нисбатан ташқи таъсирларга сезгир?

#### 1.6. Қатиқ жисмлардаги нуқсонлар

Хақиқий кристалл идеал кристаллдан ўзидаги кўп сонли нуқсонлари бўлишлиги билан ажралиб туради. Нуқсонлар сабабчиси кристалл панжарадаги атомлар жойлашишида қатъий тартибнинг бузилиши ва бинобарин, электронлар энергетик спектрининг зона тузилишида ўзгаришларнинг пайдо бўлишигидир.

Агар кристаллда нуқсонлар миқдори кам бўлса, бу ҳолда улар бир — биридан анча узоқда жойлашган ва бир — бири билан ўзаро таъсирлашмайдилар деса бўлади. Бндай нуқсонлар маҳаллий (локалланган) нуқсонлар дейилади. Кристаллдаги ички майдон  $V = V_0 + V'$  кўринишда тасвирла — ниши мумкин, бундаги  $V_0$  — идеал кристалл потенциал функцияси,  $V$  эса фақат нуқсон яқинида нолдан фарқ қиладиган қўшилувчи. Шунинг учун фақат шу соҳадаги электронларнинг энергия ҳолатлари ўзгаради. Бу эса, идеал зоналар тузилишига қўшимча равишда маҳаллий энергия ҳолатлари пайдо бўлишига олиб келади. Бу умумий мулоҳа — залардан кейин қуйида келтирилган схемадаги (3 — жадвалдаги) нуқсонларнинг айрим турлари, уларнинг та — биати ва хоссалари билан танишамиз.



деб қараш мумкин бўлгани каби, кристалл панжарасининг нормал тебранишлари тўпламини ҳам энг кичик энергия ва унга мос квазиимпульсга эга бўлган квазизарралар — фон — нонлар (юнонча фонон — товуш зарраси демақдир) гази си — фатида қараш мумкин. Фононлар спинга эга бўлмаган ква — зизарралардир. Шунинг учун улар (фотонлар сингари) Бо — зе — Эйнштейн квант статистикасига бўйсунди. Ундан, тер — модинамик мувозанат шароитида, муайян такрорийликли фононларни ўртача сони қуйидаги Планк тақсимот функ — циясидан аниқланиши келиб чиқади:

$$n = 1 / [\exp(\hbar\omega/kT) - 1] \quad (1.5)$$

Шуни айтиш кераки, (1.5) — ифодага кўра нисбатан паст температураларда ( $\hbar\omega \gg kT$ ) фононлар сони бирдан кичик, яъни мазкур  $\omega$  ( $\omega$  — тебраниш такрорийлиги) тебраниш — ларнинг мавжуд бўлиш эҳтимоли кичик. Аммо нисбатан юқори температураларда ( $\hbar\omega \ll kT$ ) фононлар сони бирдан анча катта, яъни мазкур  $\omega$  тебранишларнинг бўлиш эҳтимолиги ва энергияси катта бўлади.



9 — расм. Баъзи бир нуқсонларнинг схематик кўриниши:

- а) Шоттки нуқсони;
- б) Тугунлар орасидаги аралашма;
- в) Киргизилган аралашма атоми;
- г) Френкел нуқсони;
- д) Ковакларнинг тўпланиши
- е) Винтсимон дислокация

Фотонлар ўзини пайдо қилган манбалардан ажралиб, улардан тапқарида мустақил равишда мавжуд бўла олади. Фотон электромагнит майдон заррачаси бўлиб, ёруғлик тез — лиги билан ҳаракатланади. У фақат ҳаракат ҳолатидагина мавжуд бўла олади, унинг тинчликдаги массаси йўқ. Фотон — нинг импульсга эга эканлиги ёруғлик босимининг мавжуд — лиги билан тасдиқланади. Фононларни эса квазизарра деб аталишининг муҳим боиси шуки, бу тушунча кристалл пан — жарасининг атрофга тарқалмайдиган тебранишларини тав — сифлаш учун киритилган, бинобарин, фононлар кристалл панжараси тапқарисида бўла олмайди, фононлар импуль — сининг квазиимпульс дейилиши, бу квазиимпульслар йигиндисининг нолга тенг бўлишлигидир (фононларнинг босим бера олмаслигидир). Фононлар тўғрисидаги тасаввур кристалл панжараси тебранишларини ўрганишда, уларнинг содда зарралар (масалан, кристалл ичида ҳаракатланаётган электронлар, фотонлар) билан ўзаро таъсирини ўрганишда физик ва математик жиҳатдан қулайлик беради, мураккаб ҳодисаларни яққол идрок қилиш ва тасвирлаш имконини беради. Шундай қилиб, кристалл панжарага электрон бирор энергияни бериши ёки ундан олиши мумкин. Бунда элек — трон бирор фононни чиқаради ёки ютади деб айтилади.

г) Кристаллардаги муҳим нуқсонлардан бири — бу дис — локациялардир.

Дислокация бу маълум бир кристалл текисликдаги атомлар жойлашиш тартибининг бузилишидан ҳосил бўлган структуравий нуқсондир.

Умуман айтганда, дислокацияни кристалл панжарасига ортиқча кириб қолган (ёки етишмай қолган), атомлар те — кислиги деб қараш мумкин. Улар кристалларни ўстириш ва уларга ишлов беришда пайдо бўлади. Дислокация ўлчам — лари икки йўналишда жуда кичик ва учинчи йўналишда ис — талганича ўзун бўлиши мумкин. Шунинг учун бундай нуқсонларни бир ўлчовли нуқсонлар группасига мансуб деса бўлади.

Содда куб панжарали атомлар текислигининг бир қисмини қараймиз. Унда панжара тугунларидан ўтган берк контур ясаймиз. 10 а — расмда контур нуқсонли ва 10 б — расм эса нуқсонсиз кристалл учун чизилган. Деформация



*Кўп тарқалган нуқсонлар турлари:*

а) Нуқтовий нуқсонлар геометрик ўлчамлари атом ўлчамлари тартибида бўлган кристалл панжарасининг нуқсонлари, жумладан, атомлар ташлаб кетган тугунлар — вакансиялар (бўш ўринлар) ва тугунлар орасига жойлашиб олган атомлар, алоҳида жойлашган ва икки ва ундан ортиқ

атомлардан ташкил топган бирикмалар, шу билан бирга аралашма атомлари ҳам мисол бўлади (9—расм). Атом ўз тугунидан кетиб тугунлар орасига жойлашиб олган ҳолда вакансия (V) тугунлараро атом (I) жуфти вужудга келади. Уни Френкель нуқсонни ёки Френкель жуфти дейилади (9 г—расм). Атомлар панжара тугунларини ташлаб кетгач, кристалл сиртига чиқиб янги қатлам ташкил қилиши мумкин. Панжаранинг бўш қолган тугунини ҳосил қилганнуқсон Шоттки нуқсонни дейилади (9 а—расм). Ионлардан ташкил топган кристалларда анион ва катион вакансиялари тенг миқдорда ҳосил бўлади. Уларни ҳам Шоттки нуқсонлари дейилади.

Агар бир вакансиянинг ҳосил қилиш энергияси  $E$  бўлса,  $N$  тугунлардан ҳосил бўлган  $n_v$  вакансиянинг термодинамик мувозанат шароитидаги сони қуйидагича аниқланади:

$$n_v = N \exp(-E/kT) \quad (1.4)$$

б) Бирлашган нуқтавий нуқсонлар.  $T > 0$  К температурада кристаллда коваклар (ваканслар) мавжуд бўлиб, улар доимо бетартиб кўчиб туради. Иккита вакансия бирлашиб бивакансия (W) дейиладиган нуқсонни ҳосил қилади. Учта ва ундан ортиқ вакансиялар уюшмалари кластерларни ҳосил қилиши мумкин (9 д—расм). Агар электрон ва ковак (протон) маълум бир масофада боғланган нейтрал бир марказ ҳосил қилиб турса — экситон нуқсон ҳосил бўлади.

Коваклар кристалл ичида кўчиб юриши (диффузияла — ниши) мумкин (ковакларнинг кўчиши, бу кристалл панжара тугунида ҳосил бўлган ковакларни бир тугундан қўшни тугунга ўтишидир). Бу кўчиш амалга ошиши учун бирор потенциал тўсиқни енгиш зарур, ана шу потенциал тўсиқ энергияси ковакнинг кўчиш энергияси дейилади. Одатда, тугунлар орасидаги атомларнинг концентрацияси кичик бўлади, бунга сабаб,  $I$  нинг кўчиш энергияси  $V$  дан кичиклигидир.

Тугунлар орасидаги атомлар ҳам барқарор жуфтлар ва йирикроқ уюмлар ҳосил қилиши мумкин. Тугунлар орасидаги атом ва вакансия экситон жуфттини ташкил қила олади.

в) **Фанонлар.** Ёруғликни фотонлар деб аталадиган,  $\hbar\omega$  энергияли ва  $\hbar\omega/c$  импульсга эга бўлган зарралар оқими

туфайли кристаллдаги атомлараро масофа (10 а – расм) деформацияланмаган кристаллдаги атомлараро масофага тенг эмас (10 б – расм). АВ кесма бўйича йўналган вектор Бюргерс вектори  $b_B$  дейилади ва унинг қиймати икки атом орасидаги масофага тенг бўлади. Бюргерс вектори  $b_B$  кристалл панжарасида атомларнинг силжиш катталигини ва йўналишини аниқлайди. Дислокация ёки дислокация чизиги деб кристаллнинг силжиган соҳасини силжимасан соҳадан ажратиб турувчи чизик кўзда тутилади. Агар  $b_B > 1$  дан катта бўлса икки ва ундан ортиқ бўлган дислокацияларга бўлинади (2–3 атомлараро масофа диаметрли соҳа дислокация ядроси дейилади).

Кристалларда дислокациянинг икки хил тури мавжуд: чегаравий дислокация (бунда Бюргерс вектори дислокация чизигига перпендикуляр йўналишда бўлади, 10 – расм) ва винтсимон дислокация (бунда Бюргерс вектори дислокация чизигига ўзаро параллел бўлади, 9 е – расм). Дислокациялар бир–бирлари билан ва бошқа нуқсонлар билан ўзаро таъсирлашиши мумкин. Тортишиш оқибатида дислокациялар аторфида аралашма атомларининг булути ҳосил бўлиши мумкин.

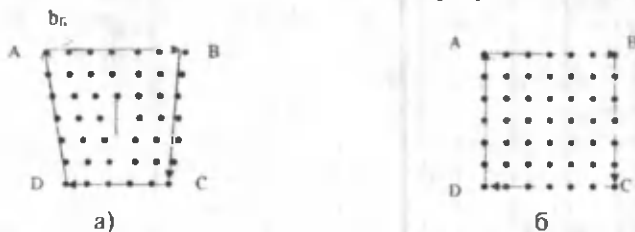
Аралашма (киришма) атомлари дислокация ядроларига тушиб қолганда кимёвий ўзаро таъсир кучлари намоён бўлади. Дислокациялар кристалл ичида кўчиши мумкин. Унинг тезлиги деформацияловчи кучланишга боғлиқ бўлади.

Нуқтавий нуқсонлар ва дислокациялар пластик деформация ҳодисаларини юзага келтиради. Уларнинг уюмлари эса, яхлитликни бузиш марказларига айланади, булар муайян шароитда ўсувчи дарзларга айланади ва кристалл намунаси – ни бўзишга олиб келади.

Ясси нуқсонлар. Бу нуқсонлар икки ўлчовли нуқсон бўлиб: поликристалл моддаларда кристаллчалар орасидаги чегаралар, кристаллнинг сирти киради. Кристаллнинг сиртидаги атом (ион)лар ҳам нуқсон ҳисобланади, чунки бу сиртдаги атомларнинг мунтазам жойлашиши бузилган бўлади. Шу сабабли кўп ҳолларда сиртга ёпишган, сўрилган ёт зарралар ва сиртнинг тузилиши номунтазам бўлганлиги оқибатида унда электронлар учун хилма – хил ҳолатлар вужудга келади (масалан, ярим ўтказгичлар сиртида электронлар учун Тамм сатҳлари деб аталадиган энергия

тронлар учун Тамм сатҳлари деб аталадиган энергия ҳолат — лари мавжуд бўлади).

Ҳажмий нуқсонлар. Бу нуқсонлар кристалл ҳажмида жойлашган ва геометрик ўлчамларга эга бўлган йирик нуқсонлар (уч фазовий йўналишда панжара даври  $a$  дан катта бўлган) — булар жумласига ёпиқ ва очиқ коваклар, дарзлар ва ёт фазалар ҳосил қилган соҳалар киради. Ёт фазалар деганда кристаллнинг асосий моддаси ҳосил қилган панжарадан бошқа модда суқилмалари тушунилади.



10-расм

Кристалл панжарасидаги ёт атомлар (аралашмалар) панжара нуқсонлари жумласига киради. Аралашма атомлар кристалл панжараси тугунларидаги асосий атомлар ўрнига ўтириб олади (бундай аралашмаларнинг барчасига *ўринбосар* қаттиқ эритма дейилади) ёки улар панжара тугунлари ора — сига жойлашиб олади (бундай аралашмалар турига *суқилиш* қаттиқ эритма дейилади). Бу икки ҳолни икки омил — геометрик ва электрокимёвий омиллар аниқлайди. Ўринбосар аралашмалар ҳосил бўлиши учун, аралашма атомининг радиуси асосий атомининг радиусидан фарқи 15 % дан ошмаслиги керак. Шу билан бирга, асосий ва аралашма атомлар электрокимёвий жиҳатдан ўхшаш бўлиши зарур, атомнинг сиртқи (валент) қобигидаги электронлар сони асосий атомнинг сиртқи қобигидаги электронлар сонига тенг ёки унга яқин ( $\pm 1$ ) бўлиши керак. Суқилиш аралашмалари ҳосил бўлиши учун, аралашма атоми радиусининг асосий атом радиусига нисбати 0,59 дан кичик бўлиши керак. Миқдорий шартлар тажриба йўли билан топилган шартлардир. Ҳар бир аралашма атоми ўзи турган жой атрофида панжара даврийлигини бузади ва электронлар (коваклар) учун маҳаллий сатҳлар ҳосил қилади. Бу сатҳлар аралашма концентрацияси унча катта бўлмаган тақиқланган зонада жойлашган бўлади.

## Саволлар

- Ҳақиқий кристалл идеал кристаллдан нимаси билан фарқланади?
- Маҳаллий нуқсон деганда нимани тушунасиз ?
- Нуқтавий нуқсонларга қандай нуқсонлар мисол бўла олади?
- Шоттки нуқсони Френкель нуқсонидан нимаси билан фарқланади ?
- Қандай боғланган нуқсонларни биласиз ?
- Қандай нуқсонлар гуруни биласиз?
- Фонон деганда нимани тушунасиз ?
- Дислокация тўғрисида нималарни биласиз?
- Дислокациянинг қандай турлари маълум.
- Ясси нуқсонлар қандай нуқсонлар группасига киради?
- Ҳажмий нуқсонлар деб нимага айтилади?
- Қандай нуқсонлар аралашма атомлари томонидан ҳосил бўлади?

## 2. Юқори энергияли заррачалар оқимининг қаттиқ жисм структурасига таъсири

Кристалларни етарлича катта энергияли зарралар билан бомбардимон қилинганда қуйидаги эффектлар: кристалл атомларининг кўзғолиши ва уларнинг ионлашиши, электрон-позитрон жуфти вужудга келиши, изотоплар ҳосил бўлиши, тугундаги кристалл атоми тугунлар орасига ўтиши мумкин. Тугундаги кристалл атоми тугунлар орасига ўтиши натижасида бўш ўринлар (вакансиялар) – барқарор Френкель нуқсонлари вужудга келади. Умумий ҳолда юқорида келтирилган эффектлар бир вақтни ўзида вужудга келади, ammo бомбардимон қилинаётган материал хусусиятига ва бомбардимон қилаётган заррачанинг энергиясига қараб ҳо-сил бўлаётган нуқсонлардан бири бошқасига нисбатан устун бўлиши мумкин.

Модда хусусиятларини ўзгаришини олдиндан айтиб бериш жуда қийин, у бомбардимон қилинаётган заррачанинг турига, унинг энергиясига ва унинг қувватига, шу билан

бирга ташқи паронитларга ва нурланаётган материалнинг хусусиятларига боғлиқдир.

## 2.1. Нуқтавий нуқсонларни ҳосил бўлиши

Қаттиқ жисмларда нуқтавий нуқсонларни ҳосил бўлишига тўхталашдан аввал, нейтрон, протон,  $\alpha$  – заррача, электрон ва  $\gamma$  – квантларни ҳосил бўлишига бир оз тўхталамиз.

Радиоактив нурланишда элемент атомининг ядросида  $\alpha$  – заррача (гелий атомининг ядроси  ${}^4_2\text{He}$ ) ва  $\beta$  (электрон  ${}^0_{-1}e$ ) учиб чиққанлиги учун ядро таркиби ўзгаради ва бошқа элемент ҳосил бўлади. Радиоактив моддаларнинг емирилиши бизга атом ядро физика курсидан маълум. Радиоактив емирилишда бир элемент атоми ядросининг бошқа элемент атом ядросига айланиши  $\alpha$  – ва  $\beta$  – силжиш қоидалари асосида осонгина аниқланади. Силжиш қоидалари заряд ва масса сонинг сақланиш қонунига асосланган.

$\alpha$  – силжиш қоидаси.  $\alpha$  емирилишда радиоактив элемент атомининг ядросидан, гелий атомининг ядроси учиб чиқади. Бунда ядронинг  $Z$  заряди 2 бирликка ва масса сони  $A$  эса 4 бирликка камайиб, янги ҳосил бўлган ядро элемент даврий системасининг иккита оддинги катагига силжийди. Бу емирилишни қуйидаги теглама ёрдамида кўрсатиш мумкин:



бунда  ${}_Z^AX$  – бошланғич ядронинг,  ${}_{Z-2}^{A-4}Y$  – эса  ${}^4_2\text{He}$  емирилишидан кейинги ҳосил бўлган ядронинг кимёвий символик белгиси,  ${}^4_2\text{He} = \alpha$  – заррача икки + зарядли  ${}^4_2\text{He}$  атомининг ядроси бўлиб радиоактив емирилиш натижасида ҳосил бўлади, унинг энергияси тахминан бир неча МэВ тенг бўлади.  $\beta$  – силжиш қоидаси.  $\beta$  емирилишда ядродан электрон учиб чиққанлиги сабабли, ядронинг заряди ( $Z$ ) 1 бирликка ортиб, масса сони ( $A$ ) ўзгармай қолади ва элемент даврий системанинг кейинги катагига силжийди.  $\beta$  – силжиш қоидасининг тегламасини қуйидагича ёзиш мумкин:





Бу емирилишда ҳосил бўлган электроннинг энергияси 10 МэВ гача бўлиши мумкин. Тенгламадаги  $x$  — бошланғич ядронинг,  $y$  — эса  $\beta$  емирилишидан кейинги ҳосил бўлган ядронинг кимёвий белгиси.

Элементар заррача — нейтроннинг кашф этилиши атом ядросини протон ва нейтронлардан иборат деган назарияни яратилишига олиб келди. Бу назарияга кўра атом ядроси  $Z$  протон ва  $(A - Z)$  нейтронлардан иборат, бу ерда  $Z$  — элементнинг тартиб номери,  $A$  — масса сони. Бундан протон  $Z$  ва нейтронлар  $n$  сонининг йиғиндиси элементнинг яхлитланган массаси  $A$  га тенг ( $Z + n = A$ ) деган тушунча келиб чиқади. Бу тушунча атом ядроларининг космик нурлар таъсирида элементар заррачаларга ажралиши билан ҳозирги кунда тасдиқланган. Ядро таркибига кирувчи протон ва нейтрон заррачаларига  $n$  у к л о н л а р деб аталади. Протон бу водород изотопи бўлиб  $u$  электрон зарядига тенг  $+$  зарядли заррача бўлиб, ҳамма атом ядроси составига киради ва унинг массаси 1,0076 углерод бирлигига ( $u$ ) тенг. Нейтрон эркин ҳолатда тургун бўлмасдан ўзидан электрон чиқариб емирилади ва протонга айланади. Нейтроннинг ярим емирилиши  $11,7 \pm 0,3$  мин.

Паст энергияли нейтронлар кинетик энергияси  $\sim 10^3$  эВ атрофида бўлиб, нурлантириладиган модда атом ядроси билан реакцияга киришади ва изотоплар ҳосил қилади. Ҳосил бўлган изотоплар кўпинча радиоактив бўлади. Улар ўзидан атомларни ионлаштирувчи заррачаларни чиқаради.

Юқори энергияли нейтронлар атом ядроси билан эластик тўқнашиб унга бир қисим энергиясини беради. Бу энергия бомбардимон қилинган кристаллдаги атомларини ўйғонган ҳолатга ўтишига ва атомларни ионлаштиришга сарифланади.

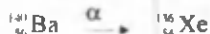
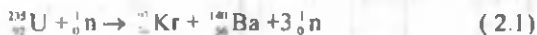
$\gamma$  — нурланишига келганда,  $u$  одатда ядрода  $\alpha$  — ва  $\beta$  — нурланиш бўлгандан кейин ҳосил бўлади. Атом ядроси  $\alpha$  — ва  $\beta$  — заррачалар чиқаргандан сўнг кўпинча ўйғонган ҳолатда бўлади, яъни ортиқча энергияга эга бўлади. Бундай ядролар нормал ҳолатга ўтганда ўзидан  $\gamma$  — квантларини чиқаради.

Радиоактив  $Co^{60}$  изотопининг емирилиши натижасида энергияси 1,173 ва 1,333 МэВ энергияли  $\gamma$  — квантлар чиқади;

$Cs^{137}$  изотоп 0,662 МэВ энергияли  $\gamma$ -квантларни чиқаради. Катта энергияли электронларни тормозланиши натижасида, узлуксиз энергияга эга бўлган  $\gamma$ -квантлар ҳосил бўлади.

Қуйида бир қатор ядро реакцияларининг турлари, тенг-ламалар орқали кўрсатилган:

$\alpha$  ва протон ( $p$ ):



бу ерда  $p$  – протон,  $n$  – нейтрон,  ${}^2_1 H$  – детерий,  $e$  – позитрон,  ${}^2_1 D$  – тритий,  $\beta = e$ ,  $\alpha = {}^4_2 He$ .

Энергияси 10 МэВ бўлган электронлар билан қаттиқ жисм (бомбардимон қилинганда) нурлантирилганда, тез ҳаракатланаётган заррача қаттиқ жисм атомлари билан эластик ва ноэластик тўқнашиши мумкин. Ноэластик тўқнашувда заррачаларнинг энергияси асосан бомбардимон қилинаётган материал атомларини қўзғолишига (ионизациясига) ва кристалл панжарасининг тебраниш энергиясига сарифланар экан. Ноэластик тўқнашувда тўқнашаётган заррачаларнинг массалари ўзгаради.

Эластик тўқнашишда ҳаракатланаётган заррача бир қисм энергиясини панжарадаги атомга беради, бу ҳолда икки заррачалар орасидаги умумий кинетик энергия ўзгармасдан қолади (тўқнашиш натижасида заррача энергия йўқотмасдан, фақат тезлик йўналишинигина ўзгартиради). Эластик тўқнашувда тўқнашаётган заррачаларнинг массаси ўзгармайди.

Каттиқ жисм атомининг бир жойдан иккинчи жойга силжиши, яъни Френкель жуфтлигининг вужудга келиши, асосан эластик тўқнашув натижасида содир бўлади. Бундай нуқсонни вужудга келиши учун одатда кристалл атомларга бериладиган энергия  $E_d$  — кристалл панжарадаги бир дона атомни тугунлар орасига ўтказишда сарфланадиган энергиядир.

$E_d$  нинг қиймати кристаллни электрон билан бомбарди — мон қилиш орқали топилади. Бунда атомни ўрнidan силжи — тиб Френкель жуфти ҳосил бўлиши учун керак бўладиган электронларнинг энг кичик энергияси ( $E_{min}$ ) топилади. Агар биз атомни ўрнidan силжитиш учун электрон релятивистик тезлик билан ҳаракатланади деб ҳисобласак, энергия ва ҳа — ракат миқдорининг сақланиш қонунига асосан  $E_d$  қуйидаги ифода билан топилади:

$$E_d = [2(E_{min} + 2m_0c^2)/Mc^2] E_{min} , \quad (2.2)$$

бу ерда  $E_{min}$  — электрон заррачасининг энергияси;  $m_0$  — электроннинг тинчликдаги массаси;  $M$  — бомбордимон қилинаётган атомнинг массаси;  $c$  — ёруғлик тезлиги.

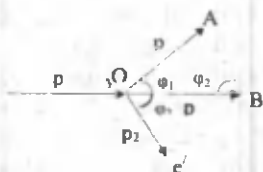
Жисм электрон заррачалари билан нурлатилганда, электрон заррачалари нурланаётган жисм электронлари билан энергия алмашиши туфайли унинг тезлиги тез секинла — шади. Бу электрон билан бомбордимон қилишнинг камчилиги деса бўлади.

Гамма — квантлар билан нурлантирилганда агар унинг энергияси  $E = 0,1 \div 10$  МэВ бўлса каттиқ жисмда бирламчи радиацион нуқсонлар: коваклар ( $V$ ) ва тугунлар орасидаги нурланаётган жисм атомлари ( $I$ ) ҳосил бўлар экан. Шуни қайд қилиш керакки, гамма — квантлари билан бомбарди — мон қилинаётган жисм атомларининг ўзаро тўқнашиши натижасида Френкель жуфтликлари ҳосил бўлиш эҳтимоли жуда кичик. Бирламчи гамма — радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиши асосан учта жараён: Комптон — эффект натижасида ҳосил бўладиган тез электронлар, фотоэффект ва юқори энергияли гамма — квантларда ҳосил бўладиган электрон — позитрон жуфтлари билан аниқланади.

Комптон — эффект. Тушаётган гамма — квантлар каттиқ жисм электронлари билан эластик урилиб, ўзининг бир қисм энергиясини электронга беради. 11 — расмда бу тўқнашув

тасвирланган. Тўқнашувни қуйидагича талқин қилиш мумкин:

$$\gamma + e \rightarrow \gamma' + e' \quad (2.3)$$



11-расм

$p$  импульсга эга бўлган  $\gamma$  – кванти электрон билан тўқнашиб,  $p_2$  импульсни унга бериб, ўзи  $p_1$  импульс билан ҳаракатини давом эттиради ( $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ ).

Нисбийлик назариясига кўра,  $E$  энергияга эга бўлган ҳар қандай заррача бу энергияга пропорционал бўлган  $m$  массага эга бўлади:  $E = mc^2 = h\nu$ . Энергия ва масса – бу ҳар қандай физик объектнинг иккита, бир – бирига боғлиқ бўлган хarakterистикаларидир. Бундан  $p = (v/c^2)E$  келиб чиқади, Агар  $v = c$  десак, бунда импульс  $p = E/c$  кўринишини олади. Гамма – квантнинг энергиясини  $E = h\nu$  ифода кўринишида берсак, у ҳолда заррачанинг импульсини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$p = h\nu/c = h/\lambda \quad (2.4)$$

бу ерда  $c/\nu = \lambda$  – квантнинг тўлқин узунлиги бўлиб, тебранишнинг битта даври ичидаги тарқаладиган масофадир.

$h\nu_0/c$  – гамма – квантнинг бошланғич импульси, у электрон билан тўқнашгандан сўнг  $h\nu/c$ , электрон эса  $m\vec{v}$  импульсга эга бўлади десак, энергия ва ҳаракат миқдорининг сақланиш қонунарига асосан, ( $v = c$ ) бошланғич фотоннинг энергияси ва импульси қуйидагига тенг бўлади:

$$h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + mc^2 \quad (2.5)$$

$$h\nu_0/c = h\nu/c + m\vec{v} \quad (2.6)$$

бу ерда,  $m_0c^2$  – электроннинг гамма – кванти билан тўқнашгунга қадар бўлган энергияси.

(2.5) ва (2.6) тенгламалардан биринчиси скаляр, иккинчиси эса вектор тенгламадир.

Нисбийлик назариясига кўра,  $v$  тезлик билан ҳаракатланаётган заррачанинг массаси қуйидагига тенг бўлади:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2} \quad (2.7)$$

бу ерда  $\beta = v/c$ .

Гамма — квант с тезлик билан ҳаракатланганлиги учун  $\beta=1$  га тенг бўлади ва (2.7) — ифоданинг махражи нолга айланади. Агар фотоннинг тинчликдаги массаси нолдан фарқли бўлса, у ҳолда  $m = m_0/0 = \infty$  га тенг бўлади. Бундан тинчлик — даги квант массаси албатта нолга тенг бўлиши керак деган хулосага келамиз. Бу билан квант, чекли тинчлик массали (нолдан фарқ қиладиган), масалан электрон каби заррачадан бутунлай фарқ қилади.

11 — расмдаги ОАВ учбурчак (2.6) вектор тенгламани ифодалайди. Элементар тригонометриядаги косинуслар формуласига асосан учбурчақдан каггалик жиҳатидан  $(mv)^2$  га тенг бўлган АВ томонни аниқлаймиз:

$$(mv)^2 = (hv_0/c)^2 + (hv/c)^2 - (2h^2 v v_0/c^2) \cos \varphi_1$$

$$\text{ёки} \quad m^2 v^2 c^2 = h^2 v_0^2 + h^2 v^2 - 2 h^2 v v_0 \cos \varphi_1 \quad (2.8)$$

(2.5) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$mc^2 = h (v_0 - v) + m_0 c^2$$

ва квадратга кўтарамиз:

$$m^2 c^4 = h^2 v_0^2 + h^2 v^2 - 2 h v_0 v + m_0^2 c^4 + 2 h m_0 c^2 (v_0 - v) \quad (2.9)$$

(2.9) дан (2.8) ни айриб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$m^2 c^4 (1 - v^2/c^2) = m_0^2 c^4 - 2 h^2 v_0 v (1 - \cos \varphi_1) + 2 m_0 c^2 h (v_0 - v) \quad (2.10)$$

Бунда (2.7) ни назарга олиб (2.10) да оддий алмаштиришлар қилиб қуйидагини топамиз:

$$c(v_0 - v) / v_0 v = h (1 - \cos \varphi_1) / m_0 c$$

$$\text{бундан} \quad c/v_0 - c/v = (h/m_0 c) (1 - \cos \varphi_1) \quad (2.11)$$

(2.11) — ифодадан  $v$  ни ҳисоблаб топамиз:

$$1/v - 1/v_0 = (h/m_0 c^2) (1 - \cos \varphi_1)$$

$$v = v_0 / (1 + (h v_0 / m_0 c^2) (1 - \cos \varphi_1)) = v_0 / (1 + 2 (h v_0 / m_0 c^2) \sin^2 \varphi_1 / 2) \quad (2.12)$$

(2.12) ўзгарган частота учун формуладир  $(\sin \varphi_1 / 2 = \pm \sqrt{(1 - \cos \varphi) / 2})$  буни икки томонини квадратга кўтарсак

$(1 - \cos\varphi) = 2 \sin^2\varphi_1/2$  тенг бўлади). Сочилган нурланиш таркибида бошланғич  $\nu_0$  частотадан ташқари  $\nu$  частотали тўлқинлар ҳам бўлар экан ( $\nu_0 > \nu$ ).

Агар  $\gamma$  – квантнинг энергияси электронни атомдан бўшатиш учун зарур бўлган энергиядан кичик бўлса, бу ҳолда у бутун атом билан таъсирлашади. Атом массаси квант массасидан анча катталиги сабабли, бу ўзаро таъсир газ молекулаларининг идиш девори билан ўзаро таъсирини эслатади:  $\gamma$  – кванти атомдан қайтади, унинг частотаси, демак тўлқин узунлиги ҳам, ўзгаришсиз қолади.

Ўзгарган тўлқин узунлиги учун  $c/\nu = \lambda$  ва  $c/\nu_0 = \lambda_0$  эканлигини эътиборга олиб (2.11) формуладан қуйидагини топамиз:

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda = (h/m_0c)(1 - \cos\varphi_1) = (2h/m_0c) \sin^2 \varphi_1/2 \quad (2.13)$$

Узулик ўлчамига эга бўлган  $h/m_0c$  катталик комптон тўлқин узунлиги дейилади

$$\begin{aligned} \Lambda = h/m_0c &= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Ж.с} / 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = \\ &= 0,0242 \cdot 10^{-11} \text{ м} = 0,0242 \end{aligned} \quad (2.14)$$

(2.14) ифодани ҳисобга олганда (2.13) – ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Delta\lambda = (2\Lambda \sin^2 \varphi_1/2 = 0,048 \sin^2 \varphi_1/2 \quad (2.15)$$

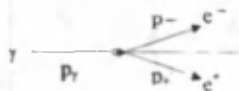
Тўлқин узунликларининг фарқи  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$  тушаётган  $\gamma$  – квантнинг тўқин узунлигига ва сочувчи модда табиатига боғлиқ эмас, балки фақат  $\varphi_1$  сочилиш бурчагининг қиймати билан аниқланади.

Шундай қилиб, тушаётган гамма – квантлар қаттиқ жисм электронлари билан эластик урилиб, унга энергия ва импульс беради. Натижада квант энергияси иккиламчи квант ва электрон орасида қайта тақсимланади ва модда ҳажмида юқори энергияли текис тақсимланган комптон электронлари ҳосил бўлади. Бу электронлар модда атомини ўз ўрнидан силжитиб ҳажм бўйича текис тақсимланган бирламчи радиацион нуқсонларни вужудга келтиради.

Электрон – позитрон жуфтлиги. Позитрон – массаси электрон массасига тенг бўлган мусбат зарядли заррачадир



Электрон–позитрон жуфтлигининг ҳосил бўлиши ҳисобига  $\gamma$ – нури оқиминининг тезлиги моддадан ўтишида секинла – шади.



12-расм

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан қуйидаги ифо – дани ёзиш мумкин

$$E_\gamma = cp_\gamma = \sqrt{(cp_-)^2 + (m_0c^2)^2} + \sqrt{(cp_+)^2 + (m_0c^2)^2} \quad (2.16)$$

бу ерда  $p_- = p_+ = 0$  бўлганлиги учун (2.16) ифода қуйи – дагига тенг бўлади:

$$\begin{aligned} E_\gamma &= 2m_0c^2 = 2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 = \\ &= 1,64 \cdot 10^{-13} \text{Ж} = 1,02 \text{ МэВ} \end{aligned} \quad (2.17)$$

(2.17) ифодадан кўриниб турибдики, позитрон ва электрон жуфтларини ҳосил бўлиши учун  $\gamma$ –квантнинг энергияси тинчликдаги заррачалар энергиясига тенг бўлиши лозим, бундан кам энергияларда ҳосил бўлмаслиги келиб чиқади.

Позитрон билан электрон заррачаларининг тўқнашиши аннигиляция номини олди ва натижада ҳар иккала зарра иккита фотонга айланади. Позитроннинг кашф этилиши физика тарихида гоят муҳим воқеа бўлди – бу биринчи антизаррача эди. Гап шундаки, бундан протоннинг ҳам манфий зарядли қиёфадоши – антипротон бўлиши кераклиги келиб чиқар эди. Антипротонни тажрибада топаш учун узоқ вақт қатъият билан иш олиб борилди. Ниҳоят, 1955 йили амеркалик физиклар Э.Сегре ва О.Чемберленлар уни топшига муваффақ бўлишди. Айни вақтда унинг протон билан аннигиляцияси ҳам кузатилди. Антипротон кашф этилгандан кўп ўтмай антинейтрон ҳам кашф этилди.

**Фотозффект.** Бу жараёнда квант ўзининг энергиясини тўла электронга бериб, ўзи йўқолади. Бу тажрибада элек – тронни ўз атомига боғланган деб қаралади. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан қуйидагини ёзиш мумкин

$$E_\gamma + m_0c^2 = \sqrt{(cp)^2 + (m_0c^2)^2}$$

бу ҳолда электронни ҳаракатга келтиргандан ортиб қолган квант импульси, электрон яқинидаги атом ядросига узатилади.



13 – расм

Юқорида кўриб ўтилган учта жараёнлар  $\gamma$  – квантни модда билан ўзаро таъсирлашиши натижасида вужудга келади. Бу жараёнларнинг ҳосил бўлиш кўндаланг кесим юзасини топиш осон вазифа эмас, аммо шундай бўлишига қарамай бу вазифани ечишга ҳаракат қилинган. Гамма – квантнинг энергияси 0,1 МэВ дан кичик бўлган ҳолда, у модда атомидаги К-, L-, M- электрон қобиклардаги электронлар билан таъсирлашиб асосан фотоэлектронлар ҳосил қилади.

## 2.2. Мураккаб нуқсонларни ҳосил бўлиши

Эластик сочилиш натижасида бирламчи атомга бўсаға энергиясидан  $E_d$  анча катта бўлган энергия берадиган тез нейтронлар (альфа – заррачалар, протонлар ва бошқа оғир заррачалар) билан модда бомбардимон қилинганда, ўрнидан қўзғолган бирламчи атом ўз навбатида иккиламчи атомни, иккиламчи атом эса учламчи атомни ва ҳ.к.з. атомларни ўрнидан қўзғотиб, кичик бир ҳажмда, бутун бир махсус ҳусу – сиятта эга бўлган каскад атомлар силжишини вужудга келтиради. Бу нуқсонларга “тарғиби бузилган соҳалар” (ТБС)<sup>В</sup> номи берилган.

<sup>В</sup> ТБС ядроси биваканслар билан тўлган, унинг атрофи эса ҳар хил аралашма (кригма) ва коваклардан иборат бўлган квазимаскулали қобикдан иборат деган модель таклиф қилинган. Аралашма – нуқсонли қобикни (АНҚ) ҳосил бўлиши қуйидагича изоҳланади: модда бомбардимон қилинганда модда атоми ва шу моддадаги аралашма атомларни тутунлар орасига (ТБС ядросидан эса унинг атрофига) сиқиб чиқаради. Тутунлар орасидаги атомларнинг диффузицияланиш коэффициенти катта бўлганлиги учун улар ТБС ҳосил бўлган томонга қараб ҳаракатланадилар. Тутунлар орасидаги аралашма атомлар ҳаракатланиши вақтида коваклар билан учрашиб уни эгалаши ёки [V+П] типдаги комплекслар ва ҳар хил квазимолекулалар ҳосил қилиши мумкин. Шунини қайд қилиш керакки ТБС заряд белгиси, кўп ҳолларда асосий ток ташувчи заряд белгисига қарши бўлади, бошқача қилиб айтганда таъсирлашиш кучлари тортишиш потенциали билан ҳарактерланади.



Тўла силжиган атомлар концентрацияси қуйидаги ифода билан топилади:  $N_{\text{полн}} = \bar{\nu} \sigma_d N_0 J t$ , (2.18)

бу ерда  $\bar{\nu}$  — ҳар бир бирламчи атомнинг ўртача энергиясига мос келган, каскаддаги силжиган атомлар сони;  $\sigma_d$  — бирламчи атомнинг ўз урнидан қўзғотиб чиқаришга тўғри келадиган урилиш кесими;  $N_0$  —  $1 \text{ см}^3$  бўлган моддадаги атомлар сони;  $J$  — моддага келиб тушаётган заррачалар оқимининг зичлиги;  $t$  — моддани нурлантириш учун сарфланган вақт.

Агарда юқори энергияли силжиган атомнинг эркин силжиши модда атомлари орасидаги масофадан унча катта бўлмаса, бу ҳолда бирламчи заррача энергияси модда атомига узатилади ва натижада кичик ҳажм соҳада, қисқа вақт оралигида ( $10^{-12}$  с) тез қизиш вужудга келади (температура  $\sim 4000$  °С гача кўтарилиши мумкин). Бу ҳолда қаттиқ жисм суюқ (ёки газ) ҳолатида бўлади. Бу соҳалар атрофида (эриган соҳадаги суюқ фаза солишгирма ҳажми унинг атрофидаги қаттиқ фаза солишгирма ҳажмидан катта бўлганлиги учун) моддада локаланган пластик деформациялар вужудга келади. Бу жараён бомбардимон қилаётганда бирламчи модда атомидан олган энергия  $E_a \gg E_d$  бўлганда ўринлидир. Агар  $E_a \ll E_d$  бўлганда ўз ўзидан маълумки модда атоми ўз ўрнидан қўзғолмайди. Бундай атом "қизиган" бўлади. Моддани қизиган ҳажмига "иссиқлик чуққиси" деб ном берилган.

Маълум бир нурланиш ҳажмидаги нурланишнинг вақт бўйича тарқалиш физик катталиклар характеристикасига тўхталамиз.

Радиоактив емирилиш учта катталик: емирилиш доимийси, ярим емирилиш даври ва элемент ядросининг ўртача яшаш вақти билан характерланади.

$\lambda$  — радиоактив емирилиш доимийси бўлиб, бу 1 с ичида емирилган атом сонига тўғри келади ва радиоактив емирилиш қонуниятидан топилади, яъни

$$\lambda = -\Delta N / N \Delta t, \quad (2.19)$$

бу ерда  $dN$  — бошланғич  $N$  сонли радиоактив атомлардан  $\Delta t$  вақтда ичида емирилган атомлар сони.

Ярим емирилиш даври  $T$  — шундай вақтки, бу вақт ичида изотопдаги радиоактив атомларнинг ярми емирилади ва секундлар (с) билан ўлчанади.

Модданинг радиоактивлиги — бу емириляётган атомлар сонини ( $\Delta N$ ) шу емирилиш учун кетган вақтта ( $\Delta t$ ) нисбати билан характерланадиган катталики:

$a = \Delta N/\Delta t = -\lambda N$ , бошқача айтганда  $t$  вақтга тўғри келадиган модда радиоактив атомининг сонига (концентрациясига) тўғри пропорционал экан, унинг ўлчов бирлиги распад/с = Беккерел. Радиоактивлик баъзи ҳолларда Кюрида ҳам берилади. 1 Кюри — шундай катталики бунда 1 секундда  $3,7 \cdot 10^{10}$  радиоактив атомнинг емирилиши содир бўлади, 1 Кюри =  $3,7 \cdot 10^{10}$  рас/с.

Заррача оқими деб бир бирлик юзадан ўтаётган заррачалар сонига айтилади, унинг ўлчов бирлиги — заррача/см<sup>2</sup> ёки квант/см<sup>2</sup>.

Нурланиш дозаси деб, нурлантириляётган моддада ютилган энергияни ( $Q$ ), шу модда массасига ( $m$ ) бўлган нисбатига айтилади. Нурланиш дозаси  $D = Q/m$  ифода ёрдамида аниқланади. Унинг ўлчов бирлиги Ж/кг = 100 Рад. Гамма ва рентген нурлари таъсирида ҳосил бўладиган экспозицион доза — квант таъсирида ҳавода ҳосил бўлган бир хил ионлардан ташкил топган ҳамма электр зарядларни ҳаво массасига нисбати билан характерланадиган катталики:  $D = q/m$ , бу ерда  $q$  —  $m$  массали ҳавода ҳосил бўлган ҳамма ионлар электр заряди йиғиндиси, унинг бирлиги К/кг =  $3,85 \cdot 10^3$  Р.

Гамма ва рентген нурлари таъсирида ҳосил бўладиган экспозицион доза қуввати — экспозицион дозани шу дозани олиш учун кетган вақтга нисбати билан характерланадиган катталики:  $R = D/t$ , унинг бирлиги (К/кг)/с =  $3,85 \cdot 10^3$  Р/с.

Рентген шундай доза миқдорики, массаси  $1,29 \cdot 10^{-6}$  кг бўлган ҳаводан квант нурларининг ўтиши натижасида ҳосил бўлган мусбат ёки манфий ионлар йиғиндиси  $(1/3) \cdot 10^{-9}$  Кл га тенг бўлади.  $Co^{60}$  изотопи учун  $R = 1,6 \cdot 10^9$  квант/см<sup>2</sup>.

Саволлар

- $\alpha$  — емирилиш деганда нимани тушунасиш ?

- Қандай қонуният бўйича  $\beta$  – емирилиш амалга ошишини тушунтриб беринг.
- Нуклонлар деб нимага айтилади ?
- Паст энергияли нейтрон билан юқори энергияли ней – трон – нинг бир бирларидан қандай фарқи бор?
- Гамма – нури қай ҳолларда вужудга келади?
- Занжирли ядро реакцияси натижасида атом реакторида асосан қандай заррачалар бўлиш аҳтимоли катта?
- Заррачаларни эластик ва ноэластик тўқнашини изоҳлаб беринг.
- Бўсағавий энергия ҳақида сўзлаб беринг.
- Қаттиқ жисм гамма – квантлар билан нурлангирилганда қандай жараёнлар юз бериши ҳисобига нуқсонлар ҳосил бўлиши мумкин?
- Комптон эффементи нима ва у қай ҳолда юз беради ?
- Электрон – позитрон жуфтлиги деганда нимани тушунасиэ, уларнинг ҳосил бўлиш энергияси нимага тенг?
- Фотозэффемент қай ҳолда юз беради?
- Тартиби бузилган соҳалар қандай ҳосил бўлади?
- Моддалар нима сабабдан юқори энергияли заррача билан нурлангирилганда маълум бир кичик ҳажмларда темпе – рапература бирнеча минг градусларгача кўтарилиши мумкин ?
- Емирилиш доимийси нима?
- Ярим емирилиш даври нима?
- Заррачалар (квантлар) оқими деганда нимани тушунасиэ ?
- Нурланиш дозаси ва унинг бирлиги нима ?
- Нурланиш доза қуввати ва унинг бирлиги ?

### 2.3. Металларда ҳосил бўладиган радиацион нуқсонлар ва уларнинг металл хусусиятига таъсири

Биз юқорида металлларнинг валент сатҳларда чала тўл – дирилган зоналар бўлишлиги, бу зонада электронларнинг тартибли ҳаракати кучсиз электр майдонида ҳам вужудга кела олиши тўғрисида тўхталган эдик. Физика курсининг электр қисмидан бизга маълумки, температура кўтарилиши

билан металл атомларининг тебраниши кучаяди, бу эса электронларнинг тўғри чизиқли ҳаракатини қийинлаштиради. Паст температураларда эса аксинча, атомларнинг тебранма ҳаракати секинлашади ва электр ўт — казувчанлик кескин ортади. Абсолют нолга яқин температурада металлларда қаршилик деярли қолмайди.

Металлар ҳақидаги ҳозирги замон таълимоти Д.И.Менделеевнинг даврий қонуни ва элементлар даврий системасига асосланади. Ундаги элементларнинг 80 дан ортиғи металллардир. Шунинг учун ҳам биз металлларни ҳар хил шароитларда халқ хўжалигининг, саноатнинг, фан ва техниканинг турли тармоқларида ишлатилаётганлигини гувоҳимиз.

Айниқса, атом реакторларининг актив зонасини ярати — лишида конструктив материал сифатида металл ишлатилиши ва бу ишлатиладиган металлларга, узоқ вақт давомида турли энергияли нейтронлар таъсир этганда, улар ўзларининг механик хусусиятини ўзгартирмасдан туриш талаби қўйилди. Бу масалани ҳал қилиш, маълум металлларни нейтрон майдонида тажриба ўтказиш орқали танлаб олиш кераклигидан далолат беради.

Нейтрон оқимининг металл молага таъсири. Металл юқори энергияли заррачалар билан бомбардимон қилинганда:

а) эластик сочилиш натижасида нейтрон энергиясини металл атом ядросига беради ва уни ўрнидан қўзғатади;

б) нозластик сочилиш бўлганда нейтрон металл атоми ядросида ютилади ва ядро ютилган нейтрон энергиясидан камроқ бўлган нейтронларни чиқаради.

Бундан ташқари бир вақтнинг ўзида юқорида келтирилган сочилишлар натижасида эркин ҳаракатланаётган электронлар ҳам қўзғолган ҳолатга келади.

Тушаётган ва сочилаётган нейтрон заррачалари энергияларининг айирмаси ядрони уйғонган энергиясига тенг бўлади. Ядро ўз ҳолатига қайтганда бир ёки ундан ортиқ  $\gamma$ -квантларини чиқаради (агар уйғонган металл атом ядроси изогоп ҳосил қилиши учун нейтрон ушлаган бўлса, бу ҳолда  $\gamma$ -квант чиқармайди).

Шуни қайд қилиш керакки, атом ўзидаги ортиқча энергияни кристаллдаги ионларнинг тебраниш амплитудасини

катталаштириши (модда температурасини кўтарилиши) орқали ўз ҳолатига қайтади. Бундан ташқари, биринчидан, агар металл зичлиги юқори бўлган заррачалар оқими билан бомбардимон қилинса, заррачанинг ҳажм бўйича тарқалишга улгурмаслиги ҳисобига металл юзаси қизийди (агар бу жараён ўзоқ давом этса, намуна ҳажми бўйича қизийди), иккинчидан, модда атомларининг эластик тўқнашиш ҳисобига бир жойдан иккинчи жойга силжиши натижасида "иссиқ" соҳаларининг вужудга келиши ҳисобига, металлларда мувозанатлашган комплекслар (бирлашган) ва структуравий нуқсонларни вужудга келтиради<sup>9</sup>. Юқоридагиларга асосан шуни айтишимиз мумкинки, металлларда температуранинг ҳажим бўйича тақсимланиши бир текисда бўлмайди. Буни ҳисобга олиш учун кристаллда эффектив локал температура соҳалари тушунчаси киритилган.

Ион ва электронлар энергиясининг ортиши билан локал температура соҳаларининг вужудга келиши, нуқтавий нуқсонларнинг ҳаракатланишига ва уларни бирлашиб му – раккаб нуқсонлар ҳосил бўлишига олиб келди. Бу нурлатил – ган металл структурасига хос бўлган хусусиятдир.

Оддий бирлашган нуқсонларга мисол тариқасида ўз ўр – нидан силжитган (тугунлар орасида жойлашган) атомлар жуфтлигини ва икки қавак жуфтлиги – бивакансни (W) кўрсатишимиз мумкин. Бивакансининг боғланиш энергияси  $0,23 \div 0,6$  эВ бўлса, унинг ҳосил бўлиш энергияси  $0,15 \div 0,35$  эВ га тенг.

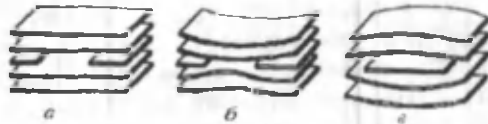
Ковакларнинг бир бирлари билан жуфтлашишлари на – тижасида кўп қиррали бўшлиқ – сферик дислокация ҳосил бўлади (9 д – расм). Ковакларнинг бирлашишлари ҳисобига бўшлиқнинг ҳажми ортса, бўшлиқнинг устки ва пастки те – кисликларидаги атомларнинг бир бирлари билан тортилиши натижасида эгилиб, бир бирларига яқинлашадилар (14 б – расмга қаранг).

Шуни қайд қилиш керакки, бундай дислокацияларда тугунлар орасида мавжуд бўлган аралашма ва газ атомлари

<sup>9</sup> Радиация нагжасида материал температурасининг кўтарилиши, биринчидан, радиацион нуқсонларни ҳосил қилган компонентларни ажралишига – йўқолишига олиб келса, иккинчидан, материални суюлтиришга олиб келади. Совутилиш жараёнида суюқ соҳани қаттиқ ҳолатга ўтиши, шу соҳани структурасини ўзгаришига олиб келади.

тўпланиши ҳам мумкин, бунда дислокация сферасининг геометрияси ўзгаради (14 в – расмга қаранг) ва дислокация барқарор бўлади.

Радиация натижасида Френкель жуфтликларининг ҳосил бўлиши металлларда ҳосил бўладиган нуқсонларнинг асосий сабабчиси бўлиб, улар металлларнинг электр ўтказувчанлигини камайишига ва структуравий нуқсонларни вужудга келишига олиб келади.



14 – расм. Сферик (ҳалқа) дислокация модели

Биз биламизки, нуқтавий нуқсонларнинг металл ҳажмида ҳосил бўлиши шу металл панжарасидаги атомларни тартибли жойлашишини ўзгартиради. Металл атомларининг тартибли жойлашишидан четга чиқиши электронларни сочилишига (электрон ҳаракатчанлиги –  $\mu$  ни ўзгартиради), бу эса ўз навбатида металлларда электр ўтказувчанликни ( $\sigma = 1/\rho$ ) ўзгартишига олиб келади. Бу ўзгаришни қўйидаги ифода ёрдамида кўрсатиш мўмкин:

$$\sigma = qnp, \quad (2.20)$$

бу ерда  $q$  – заряд миқдори,  $n$  – электронлар концентрацияси,  $\rho$  – материалнинг солиштирма электрқаршилиги. Электр қаршилигини ўзгартирадиган нуқсоннинг ҳосил бўлиш тезлигини  $dp/dt$  еки  $dp/dJ$  билан берамиз, бу ерда  $t$  – нурлантириш вақти,  $J$  – маълум  $t$  вақт давомида йиғилган умумий заррача оқими (флюенс). Шунини қайд қилиш керакки нуқсон ҳосил бўлиш тезлиги, биринчидан, дифференциал катталиқ бўлиб,  $u$  нурланиш вақтининг ортиб бориши билан ўзгаради, иккинчидан,  $u$  ўртача катталиқ бўлиб, нурланаётган заррача билан қаттиқ жисм орасидаги ўзаро таъсир жараёнининг умумий кўринишини ифодалайди.

Металлнинг солиштирма электрқаршилигига<sup>10</sup> нурлан – тирилган материалда ҳосил бўлган коваклар (V) ва тугунлар орасидаги материал атомларининг (I) кўрсатган таъсирлари назарий ва амалий ўрганиб, амалий олинган натижа унча катта бўлмаслиги аниқланган. Бизга маълумки, металлларда эркин электронлар концентрацияси ҳажм бирлигидаги атомлар сонига тенг бўлганлиги учун, бирламчи (V ва I) ва иккиламчи радиацион ([V+П], W ва бошқа электроактив) нуқсон марказларнинг таъсирини электрофизик усулар билан сезиш жуда қийин, чунки уларнинг концентрацияси эркин электронлар концентрациясидан бир неча минг марта кичик. Шу сабабли металлларда электрофизик ўзгаришларни фақатгина электронлар ҳаракатчанлиги  $\mu$  нинг ўзгаришига қараб аниқлаш мумкин (2.20 ифодага қаранг). Заряд ташув – чиларнинг ҳаракатчанлигини ўзгариши нуқсавий ва струк – туравий ўзгаришга боғлиқ бўлганлиги учун,  $\mu$  нинг ўзгари – шини катта дозалардагина сезиш мумкин. Мисол учун, W, Mo, Zr ва Pt элементлари нейтрон оқми билан бомбардимон қилинганда, нейтрон оқимининг ўртача қиймати  $\sim 10^{19}$  см<sup>-2</sup> бўлганда, нисбий солиштирма қаршилиқнинг ўзгариши вольфрам учун 25 % ни, Mo учун эса 15 % га тенг бўлганлиги кузатишган.

Тозалиги 99,9999 % бўлган алюминийда солиштирма қаршилигининг ўзгаришини 2 МэВ энергияли электрон оқимига боғлиқлиги 65±67,5 К ўрганилганда, нуқсон ҳосил бўлиш тезлиги  $dp/dI$  ни нурлантириш вақтини ортиб бориши билан камайиши кузатишган (бу эффектни нурлантирилганда ҳосил бўладиган температура натижасида радиацион нуқсонни емирилиши ва  $\mu$  ўз ҳолатига қайтаётганлиги билан тушунтирилади). Агар алюминийга цинк атомининг 0,3% киргизилган бўлса, нуқсоннинг ҳосил бўлиш тезлиги заррача оқимини ортиши билан ўзгармаганлиги кузатишган, бу электрон ҳаракатчанлигини радиация таъсирига боғлиқ эмаслигини кўрсатади. Бунга сабаб цинк атомининг кирги –

<sup>10</sup> Солиштирма электрқаршилиқ бу электронларнинг сочилиш ўлчови ёки ташқи электр майдани таъсирида тартибли ҳаракат қилаётган электронларнинг ўт йўналишидан четга оғишидир. Бу усул узининг оддийлиги билан бошқа усуллардан ажралиб туради.

зилиши  $\mu$  ни олдиндан ўзгартиради, радиация эса бу қийматни ўзгартира олмайганлигидан далолат беради.

Шунинг учун металлларда радиацион нуқсонларнинг ўр — ганишда электр ўтазувчанликни ўрганишни ўзи кифоя қилмайди. Шунини қайд қилиш керакки, жуда паст температураларда ( $T = 0 \text{ K}$ ) қолдиқ электр қаршиликни билган ҳолда, нуқсонлар концентрациясини аниқлаш мумкин, чунки металлда нуқсон бўлмаса унинг электрқаршилиги нолга тенг бўлади (қолдиқ қаршилик бўлмайди). Бу хусусият фақатгина металлларга тегишлидир.

Радиация таъсирида металлларда ҳосил бўлган нуқсонларни, металл солиштирма электр қаршилигини ўр — ганиш билан бирга, кўп ҳолларда: рентген ва нейтрон нур — ларининг кристалл панжарасидаги дифракцияси, позитрон аннигиляцияси, тўғридан — тўғри микроскопда кузатиш ва механик хусусиятларини ўрганиш орқали амалга оширилади.

**Металлларнинг узайиши.** Металл юқори энергияли нейтрон заррачаси билан бомбардимон қилинганда металл ҳажмининг маълум бир жойида бўшлиқ — сиқилиш ва маълум бир жойда эса ўсишни — шишишни кўпчилик олимлар томонидан кузатишган. Бундан ташқари металларнинг бошқа бир қисмида, кристалл тугундан радиация натижасида ажралиб чиққан (бўшлиқ ҳосил қилган) атомлар ҳосил қилган қўшимча қатламни ҳосил бўлиши ҳам аниқланган.

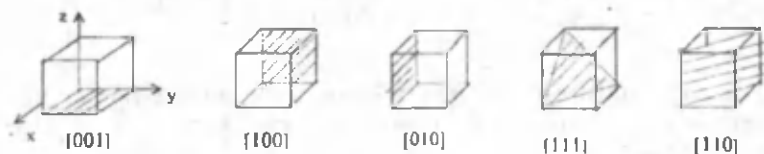
Юқорида келтирилган радиацион нуқсонларнинг метал — ларда эффе́ктив ҳосил бўлиши кўп факторларга: металл атомларининг ҳажм бўйича қанчалик тартибли жойлашган бўлишлигига (яъни биваканс концентрациясини иложи бо — рича кам бўлишига), нурланиш температурасига, бомбарди — мон қилаётган заррача энергиясига, унинг зичлиги ва турига боғлиқ бўлади. Мисал учун нейтрон ва протон билан нур — лантирилганда поли — и монокристалл ураннинг (бошқа ме — талларнинг ҳам) узайиши протон билан бомбардимон қилинганда нейтронга нисбатан камроқ узайиши аниқланган. Шунга кўра металлларда радиацион узайишнинг асосий сабабчиси ядро реакциясида ҳосил бўладиган (оғир ва енгил атомлар) б ў л и н и ш п а р ч а л а р и тормоз — ланиши натижасида вужудга келадиган структуравий нуқсонлардир, албатда бунда нейтрон таъсирида ҳосил бўл — ган нуқтавий нуқсонларнинг ўрнини инкор қилиб бўлмайди.



Тасаввур қилайлик, қизиган соҳа атрофида металл панжара деформацияланди, бу ўз навбатида атрофдаги атомларга бо — сим беради, яъни пластик деформацияни вужудга келтиради. Бундай деформациялар металл атомларининг нисбатан куч — сиз боғланган маълум бир текислигида вужудга келади. Таърибаларнинг кўрсатишича кристалл панжаранинг узай — иши  $[010]$ , сиқилиш эса  $[100]$  кристалл текислигига тегишли ўқга тўғри келар экан,  $[001]$  текислик ўқи бўйича кристалл кенлиги ва узунлиги ўзгармай қолар экан.

**Кристалл текислигини аниқлаш.** Атомларнинг кристалл панжарадаги вазиятини аниқлаш учун кристаллографик координатлар тизимидан фойда — ланилади. Координаталар боши сифатида панжаранинг бир тугуни, коорди — натаалар ўқлари сифатида эса тегишли Браве параллелепеди (энг кичик ка — так — кристалл) қирраларининг йўналишлари олинади. Браве параллелепи — педининг қирралари координата ўқлари йўналишида узунлик бирликлари деб қабул қилинади. Ҳар хил координата ўқлари йўналишларида узунлик бирликлари турлича (17 — расм). Кристалл атомларининг марказларидан ўтган текислик кристалл текислиги дейилади. Тугуналардаги атомлар марказлари — дан ўтган чизик тугуналар чизиги дейилади.

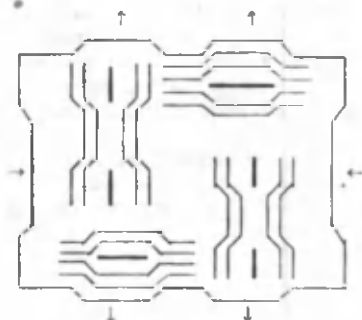
Кристаллдаги текисликнинг вазиятини Миллер индекслари  $\{hkl\}$  деб аталадиган учта рақам белгилайди (бунда  $h, k, l$  — бутун сонлар).  $h$  — қиймати  $x$  ўқи бўйича,  $k$  нинг  $y$  ўқи бўйича,  $l$  нинг  $z$  ўқи бўйича кесилган кесмаларига тўғри келади (15 — расм).



15 — расм. Баъзи бир текисликлар учун Миллер индекслари келтирилган.

16 — расмда нейтрон таъсирида атомларнинг силжиб қўшимча қатлам ҳосил бўлиши ва бу бўшлиққа бошқа модда атомларининг тўпланиши ҳисобига уран металлнинг узайиши ва бу узайишга перпендикуляр йўналишда торайи — ши кўзатишган. Иссиқлик чўққиси натижасида уран металлда  $[010]$  текислик йўналишида тугуналараро соҳада атомлар қатлами ҳосил бўлса, атомлар етишмаган қатлам  $[100]$  текислик йўналишида ҳосил бўлар экан.

Нуқсоннинг геометрик катталиги маълум бир температура оралигида ортиши кузатилган. Агар бўлиниш парчалари ((2.1) ядро реакцисига қаранг) тормозланиши натижасида металлни зришига олиб келадиган даражада температура кўтарилса, бу ҳолатда юқоридаги мулохазаларимиз бўлиниш тўғри келмайди (бу ҳолатда алоҳида нуқсонларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг тўпланиши тўғрисида гап бўлиши мумкин эмас). Бундай ҳолда структуравий нуқсонлар совиши жараёнида қайтадан кристалланиш вақтида вужудга келади дейиш мумкин (аммо қатламдаги атомлар сони ҳар хил текислик йўналишларида бир бирларига мос келмаслиги мумкин).



16 – расм. Уран металлда нуқсонларнинг конденсацияланиши ҳисобига ўсиши кўрсатилган.

Тажриба натижалари кўп бўлишига қарамай радиацион шишишни олдиндан айтиб бериш муаммоси узил кесил ҳал қилинган эмас.

Кўпчилик илмий мақолаларда металллардаги аралашма атомларининг коваклар билан бирлашиб нуқсонлар ҳосил қилиши натижасида радиацион бўшлиқнинг ҳосил бўлишини камайганлигини аниқлаганлар. Масалан:  $1200^{\circ}\text{C}$  сувда тобланган  $\text{Ni} - 0,3\% \text{C}$  қотишма атом реакторида  $\sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  нейтрон оқими билан нурлантирилгандан сўнг (комната температурасида нурлантирилган, бунда нейтрон оқимнинг интенсивлиги  $\sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  тенг бўлган) қаттиқ аралашма емирилиб углерод ажралганлиги кузатилган, яъни бу ҳолда нурланиш энергияси янги фаза ҳосил бўлишга сарифланди дейилса, агар бу қотишма  $\sim 500^{\circ}\text{C}$  температурада нейтрон оқими  $\sim 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$  билан нурлантирилганда радиацион

бўшлиқни камайиши, тугунлар орасидаги углерод атомларининг ковакларга ўтиши билан тушунтирилди. Радиацион бўшлиқ концентрацияси ва унинг диаметри таҳлили шуни кўрсатдики, агар бўшлиқ ҳосил қиладиган марказлар йўқотилса радиацион бўшлиқ ҳосил бўлиш эҳтимоллиги камаяр экан (агар никел углерод қотишмасида углерод миқдори  $\sim 6 \cdot 10^{-2} \%$  бўлса радиацион бўшлиқ ҳосил бўлиши тўла йўқотилганлиги кузатилган).

Нурланаётган металлда микро бўшлиқ ҳосил бўлиш тезлиги коваклар ва тугунлар орасидаги атомлар концентрация динамикасига, шу билан бирга микро бўшлиқ атрофида электронлар концентрациясига боғлиқ экан (қанча электрон кўп бўлса, шунча микро бўшлиқ ҳосил бўлиш тезлиги катта бўлар экан). Агар ковак электрон нуқтаи назардан манфий зарядга эга бўлса, мусбат зарядланган киришма (аралашма) атомлари бўшлиқ ҳосил бўлишига хизмат қилади, агар манфий бўлса тўсқинлик қилади.

Ҳозирги вақтда, баъзи металллардаги радиацион шишишни камайтириш мақсадида, аралашма билан бойитиш ёки термик ишлов бериш ва бошқа нуқтавий нуқсонларни тезроқ камайтирадиган ичкий марказлар концентрациясини (дислокация зичлигини) ошириш билан амалга оширилмоқда.

Шуни ёддан чиқармаслик керакки, нурлатилган намуналардан илмий натижаларни олиш ва улардан тегишли хулосаларни чиқариш учун нурлантирилмаган — "эталон" намуналарда ҳам илмий текшириш ишларини биргаликда олиб бориш керак.

#### Саволлар

- Металларда радиацион нуқсонларни ўрганиш нима учун керак?
- Металл атомлари қайси вақтларда ўрнидан силжиб тугунлар орасига ўтади?
- Металларда нуқсонни ҳосил бўлишининг асосий сабабчилари нималар?
- Электр ўтказувчанлик қандай физик катталикларга боғлиқ?
- Нима сабабдан зичлиги катта ёки оғир заррачалар билан бомбардимон қилинганда металл қизийди?

- Қизиган металлларда нуқтавий нуқсонларнинг кам бўлишига сабаб нима ?
- Радиацион шишиш деганда нимани тушунасиз?
- Металларда ҳосил бўладиган электроактив радиацион нуқсонлар қандай физикавий жараён ҳисобига ҳосил бўлади?
- $^{235}\text{U}$  изотопининг занжирсимон парчаланиш реакциясида қайси элементлар ҳосил бўлади ва бўлиниш парчаларининг металлда радиацион нуқсон ҳосил бўлишидаги таъсири нимадан иборат ?
- Кристалл текислигини қандай аниқлаш мумкин ?

#### 2.4. Диэлектриклардаги электрофизик жараёнлар

Диэлектрикларга электр кучланишнинг берилиши уларда ҳар хил электр жараёнларни: қутубланиш, электўтказувчанлик ва бошқа ҳодисаларни вужудга келтиради.

Диэлектриклар бир бирларидан кимёвий таркиби, структураси, электрофизик, механик ва бошқа хусусиятлари билан фарқ қиладилар радио ва электротехникада кенг ишлатилади.

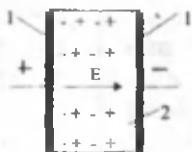
Диэлектриклар суюқ, қаттиқ ва газ ҳолатида бўлади, шу билан бирга улар қутубланиши жиҳатидан: қутубланган ва қутубланмаган диэлектрикларга бўлинади. Кимёвий таркиби бўйича эса органик ва органик бўлмаган диэлектрикларга бўлинади. Органик диэлектриклар углеродларни ҳар хил кўринишдаги боғланишларидан ҳосил бўлган материал бўлса, органик бўлмаган материалларнинг таркибида углерод бўлмайди. Уларнинг кўпчилиги қаттиқ кристалл ёки аморф тузилишга эга.

Диэлектрик қутубланиш<sup>11</sup> турлари.

а) Электрон қутубланиш. Диэлектрик бир жинсли электр майдони (Е) ичига киритилса, бу Е майдон таъсири остида диэлектрик атомларидаги электронлар ўз ядроларига нисбатан, мусбат зарядланган электрод томонга сурилади (17 –

<sup>11</sup> Диэлектрикни қутубланиши – электр кучланиши натижасида боғланган зарядларнинг тартибли ҳолга келиш жараёни.

расм). Бундай эластик электронларнинг силжиши дизлек-  
трикнинг ҳамма атомларида юз беради. Силжиган электрон  
мусбат зарядланган атом ядроси билан боғланган жуфтликни



17—расм. Дизлектрикии электрон  
кутубланиши: 1—металл электро-  
длар; 2—дизлектрик

ҳосил қилади ва уни эластик дипол<sup>12</sup> деб ҳам юритилади.

Дизлектрикларда эластик дипол  $10^{-15}$ – $10^{-16}$  с орасида  
ҳосил бўлади. Дизлектрикларда эластик дипол ҳосил бўлиш  
жараёнига дизлектрикнинг электрон кутубланиши дейилади,  
бу ўз навбатида дизлектрикларда электр токини ҳосил  
қилади.

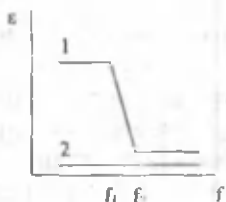
б) Дипол кутубланиш. Баъзи бир дизлектриклар олдиндан  
кутубланган бўлади, яъни уларга электр кучланиш  
қўйилмасдан олдин мавжуд бўлади. Бундай дизлектрик—  
лардаги кутубланган молекулалар электр майдони таъсирида  
буриладилар ва маълум тартибда жойлашиб қоладилар.

Температуранинг кўтарилиши билан кутубланган ди-  
электрикларда нисбий дизлектрик синдирувчанлик  $\epsilon$  нинг  
(маълум бир температурагача) ортиши кузатилади ва у ди-  
пол кутубланиш тезлиги миқдорининг ошиши билан тушун-  
тирилади (температуранинг ошиши малекулалар орасидаги  
таъсир кучларини камайтиради ва кутубланган молекулала-  
рини буралишини осонлаштиради). Температуранинг янада  
оширилиши кутубланган молекулаларнинг тартибсиз ҳарак-  
тини кучайтиради ва электр майдони таъсирида тартибли  
жойлашган диполларни тартибсиз ҳолатга олиб келади. На-  
тижада  $\epsilon$  ни янада ортишига йўл қўймайди.

<sup>12</sup> Кутубланган молекулалар диполларида — мусбат ва манфий кутублар  
бўлади.

Қутубланмаган материалларда температурани ортиши билан нисбий диэлектрик синдирувчанликни<sup>13</sup> камайиши кузатишган ва буни молекулалар концентрациясининг камайиши билан тушунтирилади.

18-расмда диэлектрик синдирувчанлик катталигини қўйилган кучланиш частотасига боғлиқлиги келтирилган ва у қуйидагича тушунтирилади.  $f_1$  тебраниш частотасига қадар қутубланган ҳамма молекулалар ўзгарувчан электр майдон таъсирида айланиб, ҳолатини тўғрилашга эришадилар.  $f_1$  ва  $f_2$  частота орасида қутубланган молекулалар айланиб ўз ҳолатларини майдон йўналишига тўғрилашга эришиб улгурмайдилар, яъни диэлектрикда қутубланиш жараёнининг тезлиги секинлашади, натижада  $\epsilon$  камаяди.  $f_2$  дан юқориси эса диэлектрикда дивол қутубланиши кузатилмаслиги, фақатгина электр қутубланиши содир бўлишлиги билан  $\epsilon$  ўзгармай гуришлиги тушунтирилади.



18-расм. Диэлектрик синдирувчанликни қўйилган кучланиш частотасига боғлиқлиги: 1-қутубланган; 2-қутубланмаган диэлектрик

<sup>13</sup> Турли муҳитда жойлаштирилган нуқтавий зарядларнинг ўзаро таъсирини ўрганишдаги текширишлар ва кузатишлар нуқтавий зарядларнинг ўзаро таъсир кучи шу зарядларни қуршаб олган муҳитнинг диэлектрик хоссасига боғлиқ эканлигини кўрсатди, яъни муҳитнинг диэлектрик хусусиятининг мавжудлиги зарядларнинг ўзаро таъсир кучини камайтирар экан. Шунинг учун зарядлар орасидаги таъсир кучларини тўғри баҳолаш учун муҳитнинг таъсирини ҳисобга олувчи, муҳитнинг нисбий диэлектрик синдирувчанлиги деб атайдиган коэффициент киритилган ва буни  $\epsilon$  ҳарифи билан белгиланди.  $\epsilon = F_0/F$  (бу ерда  $F_0$ ,  $F$  - вакуумда ва маълум бир муҳитда бир-бирдан  $q$  масофада турган  $q_1$  ва  $q_2$  зарядларнинг ўзаро таъсир кучлари). Диэлектрик материалларда  $\epsilon$  қутубланиш тезлиги жараёнига боғлиқ бўлиб, содда ҳол учун қуйидагича ифодаланади  $\epsilon = 1 + 4\pi n$ , бу ерда  $n$  - диэлектрикдаги молекулалар концентрацияси,  $\alpha$  - молекула ёки атом структурасига боғлиқ бўлган электронларнинг қутубланиш миқдори.

Бундай хусусиятга эга бўлган диэлектриклар юқори часто — таларда ишлайдиган қуришмаларни яратишда кенг ишлатилади. Бунга асосий сабаб бу диэлектрикларда эластик электрон қутубланиши жуда қисқа вақтда содир бўлади ва қўйилган кучланиш частотасига боғлиқ бўлмайди.

в) Ион қутубланиш. Ҳар қандай ионли кристаллар кристалл тугунларида жойлашган мусбат ва манфий ионлардан ташкил топган бўлади. Бу кристаллга электр кучланишининг қўйилиши ионларни, бошланғич ҳолатига нисбатан, эластик силжитувчи электр кучини вужудга келтиради. Бунда мусбат ион бир томонга, манфий ион эса иккинчи томонга силжийди. Натижада ҳар бир ион эластик дипол ҳосил қилади, шунин билан бирга ионли кристаллда электрон қутубланиш ҳам содир бўлади. Умумий қутубланиш жараёни тезлиги ионли кристалл диэлектрикларда (радиокерамик материалларда, слюдада) юқори бўлганлиги учун (бу материал  $\epsilon = 7-12$  ва ундан юқори бўлади) қутубланиш жараёни жуда қисқа вақтда содир бўлади. Шунинг учун материалнинг нисбий синдирув кўрсаткичи  $\epsilon$  қўйилган кучланиш частотасига боғлиқ бўлмайди ва улар асосан радиотехникада кенг қўлланилади.

Диэлектрикларда электрўтказувчанлик. Маълумки ҳар қандай материал (ўтказгич, диэлектрик ва ярим ўтказгич) электр майдони таъсирида электр токини ўтказади. Аммо диэлектрик материалларга катта кучланиш (500 В) берилганда ҳам улардан жуда кичик электр токи ўтиши бизларга маълум.

Газ ҳолатидаги диэлектрикларда электр токининг ўтиши эркин электрон ва ионларнинг кучиши билан боғлиқ бўлса, каттик диэлектрикларда фақатгина (мусбат ва манфий) ионларнинг тартибли кўчиши ҳисобига юз беради. Каттик диэлектриклардаги ионлар бу ўзида электронини йўқотган (мусбат зарядланган) ёки ўзига электрон қабул қилиб олган (манфий зарядланган) атомлардир.

Каттик диэлектрикларда эркин ионлар манбаи мавжуд бўлиб, яъни ҳар хил аралашмалар (сув, органик кислоталар, оксидлар ва бошқалар), улардаги молекулалар электр майдони таъсирида ионларга парчланади.

Унча юқори бўлмаган температураларда диэлектрикда электр ўтказувчанликни пайдо бўлиши аралашма ионлари —

нинг ўйғониши билан, юқори температураларда эса (ди-электрикда электр токининг ҳосил бўлиши) эркин ионларнинг ҳосил бўлишмиги билан тушунтирилади.

Диэлектрикда энергияни йўқолиш бурчак тангенси ( $\text{tg}\delta$ ). Диэлектрик ўзгарувчан электр майдонда ишлатилаётган бўлса, унда актив энергиянинг сочилиши ҳисобига, қувватини йўқотади. Бу йўқотилган энергияни бурчак тангениси орқали бериш мумкин. Агар диэлектрикни дастлаб ўзгармас токка, сўнгра ўзгарувчан электр кучланишга уланса, ўзгарувчан кучланишга уланган ҳолларда йўқотилган қувват ўзгармас кучланишга уланганига нисбатан катгароқ бўлади ( $|I_a U| < |I_a U|$ ). Бундай тенг бўлмаган актив қувватнинг йўқотилиши фақатгина диэлектрикларда кузатилади, шу сабабли ўзгарувчан электр майдонида ишлатилган диэлектрикда актив қувватнинг йўқолиши – диэлектрикда энергиянинг йўқолиши деб номланган. Электротехникадан, диэлектрикдаги актив токни ( $I_a$ ), реактив токка ( $I_{\text{реак}}$ ) нисбати  $\text{tg}\delta$  га тенглиги маълум, бу ерда  $\delta$  – актив ток вектори билан реактив ток векторлари орасидаги бурчак бўлиб, буни диэлектрикда энергияни йўқотилиш бурчаги деб юритилади ( $\text{tg}\delta = I_a / I_{\text{реак}} = (\omega L - 1/\omega C) / R$ ; агар  $\omega L \gg 1/\omega C$  ёки  $\omega L \ll 1/\omega C$  бўлган ҳоллар учун  $\text{tg}\delta \approx \omega RC$  га тенг бўлади).

$$I_a = I_{\text{реак}} \text{tg}\delta = U \omega C \text{tg}\delta = U 2\pi f C \text{tg}\delta,$$

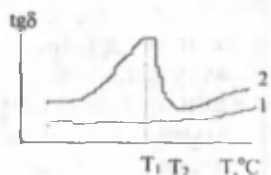
$$P_a = U I_a = U^2 2\pi f C \text{tg}\delta, \quad (2.21)$$

бу ерда  $U$  – ўзгарувчан кучланишнинг қиймати,  $\omega$  – бурчак частотаси,  $C$  – конденсаторнинг сизми,  $L$  – индуктивлик ( $L = R^2 C$ ),  $R$  – актив қаршилик,  $f$  – ўзгарувчан ток частотаси.

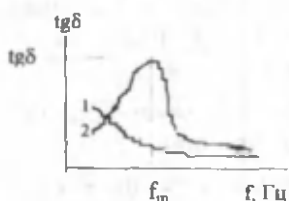
Температура ва қўйилган кучланиш частотасига қараб  $\text{tg}\delta$  нинг ўзгариши 19 ва 20 – расмларда келтирилган. Қутубланмаган диэлектрикда температуранинг ортиши билан  $\text{tg}\delta$  қийматининг ўсиши диэлектриклар ўтказувчанлигини ортишига олиб келишмиги актив электр қувватнинг йўқтилиши билан изоҳланади. Қутубланган диэлектрикларда  $\text{tg}\delta$  нинг  $T_1$  гача ўсиши, энергияни қутубланган молекула-ларнинг тартибли сонини ортишига сарифланиши билан тушунтирилади.  $T_1$  ва  $T_2$  орасида эса  $\text{tg}\delta$  нинг камайиши



қутубланган молекулаларнинг кўпчилик қисми тартибсиз иссиқлик ҳаракат қилишга ўтиши натижасида электр қувватини кам сарифланиши билан тушунтирилади.



19 – расм. Энергияни диэлектрикда йўқолиш бурчак тангенсини диэлектрик температурасига боғлиқлиги: қутубсиз (1) ва қутибли (2) диэлектриклар



20 – расм. Энергияни диэлектрикда йўқолиш бурчак тангенсини диэлектрикка қўйилган кучланиш частотасига боғлиқлиги: қутубсиз (1) ва қутибли (2) диэлектриклар

Қутубланмаган диэлектрикка қўйилган кучланиш частотасининг ортиши  $\text{tg}\delta$  нинг қийматини камайишига олиб келади. Бу диэлектрикдан ўтаётган актив электр токининг камайиши билан, яъни частотанинг ортиши билан бир теб – раниш даври ичида ионлар силжиб улгуришининг камайиб бориши билан тушунтирилади.

Қутубланган диэлектрикларда қўйилган кучланиш частотасининг ортиши билан, унда  $\text{tg}\delta$  нинг ортиши диэлектрикдаги диполларни мажбуран маълум йўналиш бўйича жойлашиши учун энергия кўпроқ сарифланиши билан боғлиқ бўлиб, бу маълум бир  $f_m$  частота қийматигача давом этади. Бу қийматга  $\text{tg}\delta_m$  нинг қиймати мос келади.  $f_m$  дан юқори частоталарда (шу частоталарнинг битта ярим даври ичидаги вақтда) қутубланган молекулаларни маълум бир тартибли ҳолга келиб улгурсмаслиги, ўз навбатида  $\text{tg}\delta$  ни камайишига олиб келар экан. Бу боғланишларни ўрганиш диэлектрик материалларни қандай шароитларда ишлатиш кераклиги масаласини ечишга ёрдам беради.

**Диэлектрикни тешилиши.** Агар диэлектрикка қўйилган электр майдон кучланганлиги шу диэлектрик учун белги –

ланган нормадан юқори бўлса, диэлектрикда тешилиш юз беради, яъни тешилиш натижасида диэлектрик ўзининг электрдан ҳимоя қилиш хусусиятини йўқотади. Электр майдони натижасида тешилган жойда катта миқдорда электр ток ўтиши учун канал ҳосил бўлади. Электр майдони таъсирида диэлектрикни тешилиши икки хил йўл билан юз бериши мумкин: биринчиси, эркин электронларни диэлектрикнинг маълум бир жойида кўлайиши – электрик тешилиш; иккинчиси, маълум бир электрқаршилиги камроқ бўлган кўндаланг кесим юзасидан электр токининг кўпроқ ўтиши шу жой температурасини кўтаради, бу эса ўз навбатида шу жой электрқаршилигини янада камайтиради. Қаршилиқнинг камайиши температурани яна ортишига олиб келади. Бу иссиқлик тешилиш дейилади

#### 2.4.1 Органик бўлмаган материалларнинг электрофизик хусусиятига радиациянинг таъсири

Органик бўлмаган материаллар (шиша, керамика, ситал, слюда) электрон техникада кенг кўламда ишлатилади. Бу материаллар турли ташқий (температура, намлик, механик босим, катта энергияли нурланиш) таъсирлар остида ўзининг электрофизик ва механик хусусиятларини ўзгартиради.

Охирги йилларда олиб борилган илмий тадқиқот ишлар натижаси шуни кўрсатдики органик бўлмаган материалларнинг хусусиятларига температура ва юқори энергияли нурланиш кўпроқ таъсир қилишлиги аниқланди. Бунинг асосий сабаблари кристалл панжарасидаги атомларнинг ўз ўрнидан қўзғолиши, атомларнинг ионлашиши ва уларнинг релаксациясидир.

Шуни қайд қилиш керакки, органик бўлмаган материаллар мураккаб таркибдан иборат (4 – жадвал) шунга кўра уларнинг электрофизик параметрлари (диэлектрик критувчанлик ( $\epsilon$ ), солиштирма қаршилиқ ( $\rho$ ), диэлектрикда қувват йўқотиш бурчак тангенси ( $\text{tg}\delta$ ), магнит критувчанлик, ёруғликни ютиш коэффициентлари ва бошқалар) температура ва радиация таъсирида ўзгаради. Бу таъсирлар натижасида ҳосил бўладиган нуқсонлар билан қай ҳолатда ўзаро боғлиқлигини аниқлашни қийинлаштиради. Шундай бўлишига қарамасдан органик бўлмаган изоляция материаллар учун умумий маълум бир қонуниятлар топилган (5

учун умумий маълум бир қонуниятлар топилган (5 ва 6 – жадвалга қаранг):

– Материалда ютилаётган нурланиш дозасининг ортиши билан солиштирма электрқаршилиқни ва  $t_{\delta}$  ни ортиши қузатилган, бу эффектлар структуравий нуқсонларнинг ортиши билан тушунтирилади;

– Нурланиш интенсивлигининг ортиши билан материалларда (нур таъсирида) электрўтказувчанлигининг ортиши қузатилган ва бу эффектни материалдаги ёпишқоқлик ва рекомбинацион энергетик сатҳлардаги электронларни қайтадан тақсимланиши билан тушунтирилади. Нурланишнинг маълум бир миқдорида электрон – ковак жуфтлиги ҳосил бўлади ва электрўтказувчанликда асосан битта заряд ташувчи (электрон ёки ковак) иштроқ этади.

– Нурлантирилаётган материал температураси оширилганда радиацион электрўтказувчанликни ортиши қузатилган. У қуйидаги ифода билан топилади:

$$\sigma_p = \sigma_0 \exp(-E/kT) P^{\Delta} \quad (2.22)$$

бу ерда  $\sigma_0$  – нурлантиришдан олдинги материалнинг электрўтказувчанлиги,  $E$  – заряд ташувчининг активацион энергияси,  $T$  – нурланиш температураси,  $P$  – материални

бомбардимон қилаётган заррачанинг қуввати,  $\Delta$  – нурланиш таъсирида ҳосил бўлган заряд ташувчиларни рекомбинация тезлигини характерлайдиган ўзгармас катталиқ. (2.22) ифодага асосан нурлантирилаётган температурани олиши қўзғотилган энергетик сатҳлар орқали юз бераётган рекомбинация жараёнларини камайишини кўрсатади, яъни рекомбинацион марказлар ёпишқоқлик марказларга айланади. Бу Рауз назарияси ҳисобланади.

– Барча изоляция сифатида ишлатиладиган органик бўлмаган материалларда  $\sigma_p$  нинг қиймати шу материалга берилган электр кучланишга (0 дан 600 В оралиғида) боғлиқлиги тажрибада аниқланган; аммо нурланиш қувватининг дозаси  $10^4$  P/c дан юқори бўлганда намунанинг солиштирма қаршилиғи унга қўйилган электр кучланишга боғлиқ бўлмас экан.

Органик бўлмаган материалларни электрон техникада ишлатиш мумкинлигини кўрсатадиган ягона катталиқ бу диэлектрикда қувватни йўқотиш бурчак тангенсис ҳисобла –

4 – жадвал. Органик бўлмаган материалларнинг ососий техик характеристикаси

| Материал номи ва группаси                            | Кимёвий таркиби, оғирлиги, %  | Ис – ликка чи – дам – лили – ги, °С | Чизиқли иссиқлик кенгайиш коэффи – циенти $10^{-6}$ , град $^{-1}$ | Ҳажмий солиш гирма қаршилиқ, Ом.см |                      | Дизлек – трик йўқотиш бурчак тангенси $10^4 \cdot 10^4$ |        | Нис – бий дизлек – трик синди – рувчан – лик $\epsilon$ |
|--|---|-------------------------------------|--|------------------------------------|----------------------|---|--------|---|
|  |   |                                     |  | Температура °С                     |                      | Частота, Гц   |        |   |
|  |   |                                     |  | 20                                 | 100                  | $10^5$  | $10^7$ |   |
| 1  | 2   | 3                                   | 4  | 5                                  | 6                    | 7   | 8      | 9   |
| Платина группали силикат шиша (1)                    | SiO <sub>2</sub> (55,3)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,7)<br>Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3,8)<br>PbO (30,0)<br>K <sub>2</sub> O (9,2)   | 100                                 | 8,7  | 10 <sup>15</sup>                   | 10 <sup>13</sup>     | 12  | 10     | 5,0   |
| Молиб – ден группали алюмо – силикат шиша (2)        | SiO <sub>2</sub> (54,0)<br>ZnO (6,0)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (18,5)<br>BaO (8,0)<br>CaO (13,5)  | 150                                 | 4,8  | 10 <sup>17</sup>                   | 10 <sup>16</sup>     | 13  | 11     | 6,95  |
| Молиб – ден группали боро – силикат шиша (3)         | SiO <sub>2</sub> (68,2)<br>CaO (0,5)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3,5)<br>Ba <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (19)<br>Na <sub>2</sub> O (4,8)<br>K <sub>2</sub> O (4,5)<br>Fe <sub>2</sub> O (0,2) | 180                                 | 4,9  | 10 <sup>15</sup>                   | 10 <sup>12</sup>     | 30  | 23     | 5,8   |
| Воль – фрам группали боро – силикат шиша (4)         | SiO <sub>2</sub> (68,8)<br>B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (26,5)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,6)<br>Na <sub>2</sub> O (2,5)<br>K <sub>2</sub> O (0,6)  | 240                                 | 3,8  | 10 <sup>16</sup>                   | 10 <sup>14</sup>     | 12  | 8      | 5,1   |
| Воль – фрам группали алюмо – боро – силикат шиша (5) | SiO <sub>2</sub> (74,8)<br>B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (8,0)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,4)<br>Na <sub>2</sub> O (4,2)<br>K <sub>2</sub> O (1,6)   | 260                                 | 4,0  | 10 <sup>14</sup>                   | 7 · 10 <sup>12</sup> | 22  | 16     | 5,1   |

4 – жаadwalнинг давоми

| 1                                 | 2   | 3    | 4   | 5                | 6                | 7    | 8   | 9    |
|-----------------------------------|---|------|-----|------------------|------------------|------|-----|------|
| Кварц<br>шиша (6)                 | SiO <sub>2</sub> (99,5)<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 500  | 0,5 | 10 <sup>14</sup> | 10 <sup>12</sup> | 1,1  | 1,0 | 3,81 |
| Сигаллар<br>группа 1              | SiO <sub>2</sub> (58,5)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (13,6)<br>CaO (10,73)<br>MgO (8,1)                      | 240  | 5,0 | 10 <sup>16</sup> | 10 <sup>13</sup> | 16   | 13  | 8,5  |
| группа 2                          | SiO <sub>2</sub> (58,38)<br>MgO (10,8)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (22,18)<br>Na <sub>2</sub> O (0,26)      | 280  | 5,0 | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>13</sup> | 197  | 150 | 6,4  |
| Люмо-<br>оксидли<br>кера-<br>мика | SiO <sub>2</sub> (1,0)<br>B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,0)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (97)<br>CaO (1,0) | 1120 | 6,5 | 10 <sup>17</sup> | 10 <sup>15</sup> | 0,95 | 2,1 | 10,2 |

Радиотехникада ишлатиладиган керамикалар

|   |   |             |      |  |                              |     |     |     |
|---|---|-------------|------|--|------------------------------|-----|-----|-----|
| Титанат<br>стронций                               | -   | 85          | 12,0 | 5.10 <sup>12</sup>                           | 10 <sup>11</sup>             | 8,0 | 3,0 | -   |
| Титанат<br>кальций<br>ва алю-<br>минат-<br>лантан | -   | 300         | 12,0 | 10 <sup>14</sup>                             | 10 <sup>11</sup>             | 4,0 | 2,0 | 65  |
| Тетрати-<br>тант ба-<br>рий                       | -   | 125         | 12,0 | -  | 10 <sup>11</sup>             | 8,0 | 3,0 | 28  |
| Ниобат<br>күрғошин<br>стронций<br>ва каль-<br>ций | -   | 125         | 12,0 | -  | 10 <sup>10</sup><br>(155 °C) | 700 | 350 | 250 |
| Слюда<br>Мусковит                                 | SiO <sub>2</sub> (42,21)<br>MgO (0,06)<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (38,1)<br>Na <sub>2</sub> O (0,73)<br>K <sub>2</sub> O (8,98)<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,97) | 500-<br>600 | -    | 10 <sup>18</sup> +<br>+ 3.5.10 <sup>16</sup> |                              | 2,0 | 1,0 | -   |

5 – жадвал. Баъзи бир органик бўлмаган материалларнинг  $\rho$  ва  $\text{tg}\delta$  катта – лиқларининг интеграл нейтрон оқими таъсирида температура ва частотага боғлиқ ҳолда ўзгариши

| Материал номи ва группаси         | Интеграл нейтрон оқими, $\text{см}^{-2}$ | Ҳажмий солиштирма қаршилиқ ( $\rho$ ), Ом·см |                     | Диэлектрик йўқотиш бурчак тангенси $\text{tg}\delta \cdot 10^4$ |        |
|-----------------------------------|--|--|---------------------|---|--------|
|                                   |  | Температура, °C                              |                     | Частота, Гц   |        |
|                                   |  | 20   | 100                 | $10^5$  | $10^7$ |
| Платина группали силикат шиша (1) | $10^{13}$                                | $10^{16}$                                    | $10^{14}$           | 12  | 10     |
|                                   | $10^{15}$                                | $10^{16}$                                    | $10^{14}$           | 12  | 10     |
|                                   | $10^{18}$                                | $10^{16}$                                    | $10^{14}$           | 30  | 20     |
| Кварц шиша (6)                    | $10^{13}$                                | $10^{17}$                                    | $10^{15}$           | 1.1   | 1      |
|                                   | $10^{15}$                                | $10^{17}$                                    | $10^{15}$           | 1.1   | 1      |
|                                   | $10^{18}$                                | $10^{20}$                                    | $10^{17}$           | 18  | 3      |
| Ситал 1 – группа                  | $10^{13}$                                | $10^{16}$                                    | $2 \cdot 10^{14}$   | 16  | 3      |
|                                   | $10^{15}$                                | $10^{16}$                                    | $2 \cdot 10^{14}$   | 16  | 13     |
|                                   | $10^{18}$                                | $10^{16}$                                    | $2 \cdot 10^{14}$   | 140   | 13     |
| 2 – группа                        | $10^{13}$                                | $10^{14}$                                    | $10^{12}$           | 197   | 150    |
|                                   | $10^{15}$                                | $10^{14}$                                    | $10^{12}$           | 197   | 150    |
|                                   | $10^{18}$                                | $10^{14}$                                    | $10^{12}$           | 570   | 461    |
| Алюмооксидли керамика             | $10^{15}$                                | $10^{17}$                                    | $10^{15}$           | 1.9   | 4.2    |
|                                   | $10^{16}$                                | $10^{17}$                                    | $10^{15}$           | 2.3   | 5.0    |
|                                   | $10^{18}$                                | $10^{15}$                                    | $10^{13}$           | 3.5   | 7.5    |
| Слюда "Мусковит"                  | $10^{15}$                                | $10^{18}$                                    | $3.5 \cdot 10^{16}$ | 2   | 1      |
|                                   | $10^{16}$                                | $10^{18}$                                    | $3.5 \cdot 10^{16}$ | 3   | 2      |
|                                   | $10^{18}$                                | $10^{18}$                                    | $3.5 \cdot 10^{16}$ | 5   | 2      |

6 – жадвал. Баъзи бир органик бўлмаган моддаларнинг солиштирма қаршилиқви ( $\rho$ ) импульсли нурланиш қуввати таъсирида ўзгариши

| Материал номи ва группаси         | Гамма – нурланиш қувват дозаси |           | Ҳажмий $\rho$ , Ом·см |                   |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------------------|-------------------|
|                                   | А/кг                           | Р/с       | Температура, °C       |                   |
|                                   |                                |           | 20                    | 100               |
| 1                                 | 2                              | 3         | 4                     | 5                 |
| Платина группали силикат шиша (1) | 2,58                           | $10^4$    | $5 \cdot 10^{12}$     | $2 \cdot 10^{12}$ |
|                                   | $2,58 \cdot 10^2$              | $10^6$    | $10^{10}$             | $10^{10}$         |
|                                   | $2,58 \cdot 10^4$              | $10^8$    | $10^9$                | $10^9$            |
| Кварц шиша (6)                    | $2,58 \cdot 10^6$              | $10^{10}$ | $10^8$                | $10^8$            |
|                                   | 2,58                           | $10^4$    | $10^{14}$             | $5 \cdot 10^{13}$ |
|                                   | $2,58 \cdot 10^2$              | $10^6$    | $10^{12}$             | $8 \cdot 10^{11}$ |
| Ситал                             | $2,58 \cdot 10^4$              | $10^8$    | $10^{11}$             | $10^{11}$         |
|                                   | $2,58 \cdot 10^6$              | $10^{10}$ | $10^9$                | $10^9$            |
|                                   | 2,58                           | $10^4$    | $5 \cdot 10^{12}$     | $2 \cdot 10^{12}$ |
| 1 – группа                        | $2,58 \cdot 10^2$              | $10^6$    | $10^{11}$             | $10^{10}$         |
|                                   | $2,58 \cdot 10^4$              | $10^8$    | $10^9$                | $10^9$            |
|                                   | $2,58 \cdot 10^6$              | $10^{10}$ | $10^8$                | $10^8$            |

| 1                     | 2                 | 3         | 4                              | 5                              |
|-----------------------|-------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 2- группа             | 2,58              | $10^4$    | $10^{13}$                      | $10^{10}$                      |
|                       | $2,58 \cdot 10^2$ | $10^6$    | $10^{12}$                      | $10^8$                         |
|                       | $2,58 \cdot 10^2$ | $10^8$    | $10^{10}$                      | $10^7$                         |
|                       | $2,58 \cdot 10^2$ | $10^{10}$ | $10^9$                         | $10^6$                         |
| Алюмооксидли керамика | 2,58              | $10^4$    | $10^{13}$                      | $8 \cdot 10^{12}$              |
|                       | $2,58 \cdot 10^2$ | $10^6$    | $10^{12}$                      | $10^{12}$                      |
|                       | $2,58 \cdot 10^4$ | $10^8$    | $3 \cdot 10^{11}$              | $2 \cdot 10^{11}$              |
|                       | $2,58 \cdot 10^6$ | $10^{10}$ | $10^9$                         | $10^9$                         |
| Слюда "Мусковит"      | 2,58              | $10^4$    |                                |                                |
|                       | $2,58 \cdot 10^2$ | $10^6$    | $5 \cdot 10^{14}$              | $3,5 \cdot 10^{14}$            |
|                       | $2,58 \cdot 10^4$ | $10^8$    | $5 \cdot 10^{13}$              | $3,5 \cdot 10^{12}$            |
|                       | $2,58 \cdot 10^6$ | $10^{10}$ | $5 \cdot 10^{11}$<br>$10^{10}$ | $5 \cdot 10^{11}$<br>$10^{10}$ |

нади. Катта электр кучланишларда ва юқори частоталарда диэлектрикда актив қувватнинг камайиши, материал темпе- ратурасини кўтарилишига олиб келади. Шунинг учун  $\text{tg}\delta$  қанча кичик бўлса, бу материаллар иш жарёнида шунча барқарор ишлаши таъминланади.

Жадвалда келтирилган натижаларга асосан қуйдаги ху- лосаларни келтириб чиқарамиз:

— нурланишга қадар (нормал шароитда) ҳажмий солиштир- ма электрқаршилиги  $\rho = 10^{10} + 10^{15}$  Ом.см ва йўқотиш бурчак тангенс  $\text{tg}\delta = 10^{-3} + 10^{-4}$  оралиғида бўлган ди- электрик шиша, ўзининг диэлектрик хусусиятни  $10^4 + 10^8$  Гц частота ва 200-470 К температура оралиғида ўзгартирмайди;

— температурани ортиши билан  $\rho$  ва  $\text{tg}\delta$  қийматларини экс- поненциал равишда ўсиши, ўтказувчан зонада эркин ток ташувчилар (электронлар, ионлар) сонини ортиши билан тушунтирилади,

— нурланиш дозасини ортиши билан органик бўлмаган ди- электрикларда электр ўтказувчанликни ва  $\text{tg}\delta$  ларни экспо- ненциал ортишини рекомбинацион марказлар ва ўтказувчан зонадаги эркин ток ташувчилар сонини ортиши билан ту- шунтирилади,

— кўлчилик органик материаллар  $10^{18}$  см<sup>-2</sup> гача бўлган нейтронлар интеграл оқими билан нурлатилса ва ютилган нурланишдаги доза миқдори  $10^9$  Рад гача бўлса, улар ўзининг электрофизик ва оптик характеристикаларини ўзгартирмайди. Аммо нейтрон-гамма-нурланиш таъсири остида, бу материаллар нурлантирилганда ( $10^7 \div 10^9$  Р/с), ўз характеристикаларини 30 дан 80 % гача тезда ўзгартиради.

— юқори энергияли нейтрон, протон ва электронлар таъсирида ( $10^9$  Рад олгандан сўнг) тgб нинг ортишини материалда тартибли бўлмаган соҳаларни ортиши билан тушунтирилади.

#### 2.4.2. Органик диэлектрик материалларнинг элек- трофизик хусусиятига радиациянинг таъсири

Органик (полимер) материаллар органик бўлмаган материаллар сингари электрон техникада кенг қўламда ишлатилади (полимер модалар тўғрисида "Қаттиқ жисмлар классификацияси" мавзусини ўтганда бир оз тўхталганмиз). Баъзи бир полимер материалнинг асосий электрофизик ва механик хусусиятлари 7-жадвалда келтирилган, бундан ташқари органик модаларга клейлар, лаклар ва эмаллар киради. Полимерлар нурланиш таъсирига жуда сезгир бўлиб, биринчи этапда, уларда эркин электронлар, мусбат зарядланган ионлар ва қўзғолган молекулалар ҳосил бўлади (органик модаларга ионлаштирувчи нурларнинг таъсир қилиш схемасига қаранг (8-жадвал)). Иккинчи этапда, ионлаштирувчи нурлар таъсирида ковалент боғланиш осонгина парчаланиб эркин радикаллар<sup>14</sup> вужудга келади. Шуларга кўра улар металл ва органик бўлмаган материаллардан ажралиб туради. Ҳосил бўлган радикаллар кимёвий реакцияни: полимер бош занжиридаги молекулаларни ажралишини ва узилган молекулаларни бирлаштиришни тезлаштиради. Полимер занжирнинг бузилиши ва уларни

7-жадвал. Баъзи бир органик материалнинг асосий электрофизик ва

<sup>14</sup> Эркин радикал — жуфланмаган электронли молекулалар, бундай молекулаларни кимёвий нуқтаний назардан қараганда эркин атомлар деса бўлади.



бирлашиши бир вақитнинг ўзида юз беради; бу жараён нурлантираётган манба турига боғлиқ бўлмасдан, у биринчи навбатда полимер структурали молекула тузилишига ва иккинчидан шу молекулаларни бузишга сарфланаётган энергияга боғлиқ бўлади. Иккисидан бири устун бўлади. Мисол учун, полиэтиленда C—H боғланиши узиш учун 87 ккал/моль энергия керак бўлса, H—H боғланишда эса 100 ккал/моль энергия ажралиб чиқади, бу ҳолат учун молекулаларни бириктириш энергетик жиҳатдан қулай. Тефлонда C-F боғланиши узиш учун 107 ккал/моль энергия керак бўлса, F—F боғланишда 39 ккал/моль энергия ажралиб чиқади. Бу ҳолат учун молекулаларни бириктириш энергетик қулай эмас (полиэтиленда узилган молекулалар тикланиш кимёвий жараёни устун бўлса, тефлонда полимер структураларини ажратиш жараёни устун бўлар экан).

Полимер структурасидаги бириктириш жараёнлари материал эрувчанлиги ва оқувчанлигини камайтиради, молекулалар бошида тармоқланадилар ва уларни молекуляр оғирликлари ортади. Сўнг молекула тармоқланишининг кенгайиши маҳкам бирлашган тўрлар ҳосил қилади, материал эримайдиган ҳолатга келади. Шу ҳолга келтирган доза миқдорини гел — нуқта (гел — доза) деб айтилади.

Полимер молекуласи структурасининг ажралиши (деструкция) материал хусусиятини (материал эрувчанлиги ва оқувчанлигини ортиши), унинг мустахкамлигини камайтиришини кескин ўзгаришига олиб келади, натижада полимер материал ёпишқоқ суюқ ҳолатга келади. Унинг молекуляр массаси камаяди ва бу камайтириш куйидаги ифода орқали ёзиш мумкин:

$$(\bar{V} M_D) - (\bar{V} M_0) = kD, \quad (2.23)$$

бу ерда  $M_D$  и  $M_0$  — нурланишдан кейинги ва олдинги модда молекуляр массалари,  $D$  — ютилган доза миқдори,  $k$  — пропорционаллик коэффициентини бўлиб, у модданинг молекуляр занжир структурасига боғлиқ. Нурлантирилганда полимер молекула структурасини бузилиши ҳар бир полимер структурасини тузилишига боғлиқ бўлиб, бу масала кўпчилик полимерлар учун тўла ҳал қилинмаган. Нурлантирилганда молекуляр массанинг камайтириши билан бирга, газ ажралиб чиқиши ҳам юз беради.

Шуни ҳам айтиш керакки, полимер материалларнинг механик хусусиятлари унча юқори бўлмаган дозаларда ҳам ўзгариши мумкин, бунга сабаб 100000 боғланишдан иборат бўлган баъзи — бир полимер занжирини иккига бўлиниши унинг механик хусусиятига катта таъсир кўрсатади, аммо кимёвий хусусиятини жуда катта ўзгартирмайди. Шу сабабга кўра полимер диэлектрикларни нурланишга турғунлиги механик хусусияти бўйича аниқланади. Кўпчилик полимер материалларнинг синувчанлиги ва қўйилган механик кучла — нишга бўлган чидамсизлиги камаяди.

Баъзи бир полимер моддаларнинг механик хусусияти — ни нурланиш таъсирида ўзгариши 9 — жадвалда келтирилган.

9 — жадвал

| Материал                 | Материал механик хусусиятини 25% ўзгартирадиган нурланиш дозаси, Рад |
|--------------------------|--|
| Полистрол                | $4 \cdot 10^9$   |
| Поливинилхлорид          | $6 \cdot 10^8$   |
| Полипропилен             | $1,5 \cdot 10^7$   |
| Полиэтиленовая пленка    | $2 \cdot 10^9$   |
| Поликарбонат             | $3 \cdot 10^7$   |
| Этилцеллюлоза            | $10^7$   |
| Политрихлорэтилен        | $4 \cdot 10^5$   |
| Политетрафторэтилен      | $3 \cdot 10^8$   |
| Эпоксидли смола          | $2,5 \cdot 10^8$   |
| Полиуретли каучук        | $10^7$   |
| Кремнийорганик эластомер | $6 \cdot 10^6$   |

Органик полимер материалларнинг электрофизик параметрлари ( $t_{gd}$ ,  $\rho$ ) ҳам органик бўлмаган материаллар сингари нурлантириш дозасининг ортиши билан ўзгариши кузатилган.

Саволлар

1. Диэлектрикларнинг турлари ва уларнинг турмушда тутган ўрни.
2. Органик ва органик бўлмаган диэлектрикларнинг бир бирларидан фарқи.
3. Диэлектрикни қутубланиши ва уларнинг турлари.
4. Нисбий диэлектрик синдирувчанлик деганда нимани тушунасиз?

механик хусусиятлари

| Материал номи                            | Ҳажм — со — лиш — тирма қар — шилик Ом.см | tgδ                  | ε   | Тешиб ўтувчи электр кучланиш кВ / мм | Чўзил — гандаги ўзилиш механик кучланиш, 10 <sup>5</sup> Па | Ўзилиш — даги нисбий чўзилиш L, % |
|--|---|----------------------|-----|--------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1  | 2   | 3                    | 4   | 5                                    | 6   | 7                                 |
| Термопластлар:                           |   |                      |     |                                      |   |                                   |
| Полистрол                                | 2.10 <sup>16</sup>                        | 2,5.10 <sup>-4</sup> | 2,5 | 62                                   | 392   | —                                 |
| Паст босмли полиэтилен                   | 6.10 <sup>16</sup>                        | 1,8.10 <sup>-4</sup> | 2,2 | 82                                   | 353   | 45                                |
| Фтороласт                                | 6.10 <sup>16</sup>                        | 2,1.10 <sup>-4</sup> | 2   | 40                                   | 260   | —                                 |
| Лавсан                                   | 2,3.10 <sup>16</sup>                      | 5,6.10 <sup>-3</sup> | 3   | 59                                   | —   | 56                                |
| Органик шиша                             | 2.10 <sup>14</sup>                        | 2,5.10 <sup>-2</sup> | 3,5 | 30                                   | 628   | —                                 |
| Полиамид                                 | 5.10 <sup>14</sup>                        | 3,0.10 <sup>-2</sup> | 4,8 | 22                                   | 569   | 330                               |
| поливинилхло — рид                       | 1,0.10 <sup>15</sup>                      | 1,5.10 <sup>-2</sup> | 3   | —                                    | —   | —                                 |
| Пленкали диэлектриклар:                  |   |                      |     |                                      |   |                                   |
| Полистрол                                | 3.10 <sup>16</sup>                        | 10 <sup>-4</sup>     | 2,4 | 130                                  | 588   | 2,5                               |
| Паст босмли полиэтилен                   | 10 <sup>16</sup>                          | 2,5.10 <sup>-4</sup> | 2,6 | 120                                  | 755   | 510                               |
| Фтороласт                                | 6.10 <sup>16</sup>                        | 2,5.10 <sup>-4</sup> | 2,2 | 200                                  | 490   | 45                                |
| Лавсан                                   | 4.10 <sup>16</sup>                        | 3,1.10 <sup>-3</sup> | 3   | 200                                  | 1245  | 175                               |
| Ювқа қозғалди конденсатор                | 4.10 <sup>13</sup>                        | 2,0.10 <sup>-2</sup> | 2,4 | —                                    | 1147  | —                                 |
| Эгилувчан ди — электрик фольга (ФД1 — 1) | 10 <sup>17</sup>                          | 6,0.10 <sup>-3</sup> | 2,7 | 150                                  | —   | —                                 |
| Текстолит шишалар:                       |   |                      |     |                                      |   |                                   |
| СТК — 41                                 | 4.10 <sup>13</sup>                        | 4,0.10 <sup>-4</sup> | 4,9 | 49                                   | 2280  | 41                                |
| СКМ — 1                                  | 2,1.10 <sup>13</sup>                      | 9,4.10 <sup>-3</sup> | 5,0 | 39                                   | —   | —                                 |
| КАСТ — В                                 | 10 <sup>15</sup>                          | 4,2.10 <sup>-3</sup> | 5,3 | —                                    | 3040  | —                                 |
| СТЭФ                                     | 6.10 <sup>17</sup>                        | 4,2.10 <sup>-3</sup> | 5,5 | —                                    | 3011  | —                                 |
| Ипакли докати — кан (АШС)                | 4.10 <sup>12</sup>                        | —                    | —   | 52                                   | —   | —                                 |
| Тахтақач (пресс) — материаллар:          |   |                      |     |                                      |   |                                   |
| АГ — 4                                   | 1,7.10 <sup>12</sup>                      | 7.10 <sup>-2</sup>   | 6,5 | 45                                   | —   | —                                 |
| ДАИФ — С                                 | 2.10 <sup>15</sup>                        | 7.10 <sup>-3</sup>   | 5,2 | 26                                   | 255   | —                                 |
| К — 123 — 47                             | 10 <sup>14</sup>                          | 2,8.10 <sup>-2</sup> | 5   | —                                    | —   | —                                 |

7 — жадавалнинг давоми.

| 1            | 2                   | 3                   | 4   | 5  | 6    | 7   |
|--------------|---------------------|---------------------|-----|----|------|-----|
| K214-2       | $2 \cdot 10^{14}$   | $2 \cdot 10^{-2}$   | 6,5 | —  | 490  | —   |
| K-214-52     | $5 \cdot 10^{15}$   | $10^{-2}$           | 5   | 14 | —    | —   |
| Компаундлар: |                     |                     |     |    |      |     |
| ЭК-16Б       | $5,3 \cdot 10^{14}$ | $1,4 \cdot 10^{-2}$ | 4,2 | —  | 294  | —   |
| ЭКМ          | $3 \cdot 10^{14}$   | $10^{-2}$           | 4,9 | 27 | 402  | —   |
| ЭФП-61       | $2 \cdot 10^{14}$   | $1,5 \cdot 10^{-2}$ | 5,2 | 38 | 588  | —   |
| ЭКАМ-60      | $10^{16}$           | $6,8 \cdot 10^{-2}$ | 4,2 | 36 | —    | —   |
| КП-18        | $1,5 \cdot 10^{13}$ | —                   | —   | 25 | 114  | 4   |
| КП-34        | $8 \cdot 10^{15}$   | $10^{-3}$           | —   | 26 | —    | —   |
| ЭЗК-9        | $3 \cdot 10^{15}$   | $2,8 \cdot 10^{-2}$ | —   | —  | 226  | 120 |
| ЭЗК-67       | $10^{15}$           | $2 \cdot 10^{-2}$   | 5,2 | 26 | 118  | —   |
| ЭЗК-105      | $3 \cdot 10^{16}$   | $2,4 \cdot 10^{-2}$ | 5   | 30 | 343  | —   |
| КТ-103       | $4 \cdot 10^4$      | —                   | —   | —  | —    | —   |
| ЭКВТ         | $10^{15}$           | $6 \cdot 10^{-3}$   | 4,6 | 35 | 667  | —   |
| Резина:      |                     |                     |     |    |      |     |
| 14Н-2        | $1,2 \cdot 10^{14}$ | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | 6,3 | —  | 40,6 | 273 |
| НО-68-1      | —                   | —                   | —   | —  | 110  | 255 |
| ИРП-1267     | $1,7 \cdot 10^{15}$ | $10^{-1}$           | 5,7 | 15 | 31,4 | 200 |

Органик моддаларга ионлаштирувчи нурларнинг таъсир схемаси

8 — жадвал



5. Энергияни диэлектрикда йўқолиш бурчак тангенсига деганда нимани тушунасиз?
6. Қутубланган ва қутубланмаган диэлектрикларнинг бир бирларидан фарқи нимада?
7. Қаттиқ диэлектрикларда электр токи ўтишини тушунтириб беринг.
8. Диэлектрикнинг электр тешилиши деганда нимани тушунасиз?
9. Нима сабабдан диэлектрик материалларнинг электрофилик ва механик хусусиятлари температура ва радиация таъсирида ўрганилади?
10. Нима сабабдан диэлектрик материаллар радиация таъсирида ўзининг солиштира қаршилигини камайтиради?
11. Органик ва органик бўлмаган диэлектрикларда содир бўладиган радиацион жараёнларнинг фарқи нимада?

#### 2.5. Ярим ўтказгичларда юз берадиган электрон – ковалент жараёнлар

Ярим ўтказгичли материаллардан тайёрланган асбоблар тузилиши жиҳатидан оддий, юқори фойдали иш коэффициентиغا эга бўлиб, улар автоматлаштириш жараёнларида, Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришда, ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришда, ўсимлик ва тупроқнинг температурасини, ҳавонинг намлиги, хонани ёритилганлигини аниқлашда муҳим роль ўйнайди. Шунинг алоҳида такидлаш керакки, ҳозирги вақтда ярим ўтказгичлар техниканинг ҳамма соҳасида қўлланилмоқда.

Гарчи, ярим ўтказгичлар техниканинг барча соҳаларида кенг ишлатилганлигига кўп вақт бўлмаган бўлсада, ярим ўтказгичлар назарияси ва техникаси бўйича бир қанча илмий – тадқиқот ишлари бажарилди.

Республикамизда ярим ўтказгичларни назарий томондан ўрганиш ва олинган натижаларни бевосита ишлаб чиқаришга қўлаш соҳасида Ўзбекистон Фанлар академиясининг академиклари М.С.Саидов, М.С.Юнусов, Р.А.Муминов, А.Т.Мамадолимов, профессорлар М.К.Баходирхонов, Қ.П.Абдурахмонов, С.Зайнобиддинов, А.Тешабоев ва бошқалар жуда катта илмий тадқиқот ишларини олиб бормоқдалар.

### 2.5.1. Ярим ўтказгич турлари ва уларнинг электрофизик хусусиятлари

**Ярим ўтказгичли моддаларнинг турлари.** Ярим ўтказгич — ли моддаларни шу ярим ўтказгичларни ташкил этган атом — ларнинг кимёвий боғланиши ва кристалл тузилиши жиҳатидан қуйидаги асосий турларга ажратиш мумкин.

1. Кристалл панжараси атом боғланиши ярим ўтказгичларга гермний (Ge), кремний (Si), кўнғир қалай, олмос, селен, олтингугурт ва теллурлар киради. Улар бир элемент атомларидан тузилгани учун элементар (сода) ярим ўтказгичлар дейилади.

2. Бинар бирикмалардан иборат ярим ўтказгичлар. Бу груҳларга жуда кўп моддалар киради:

I ва VII груҳ элементларидан ташкил топган бирикмалар: (NaCl), KCl, AgCl (бу ион боғланиши кристаллардир).

III ва V груҳ элементларидан ташкил топган бирикма — лар: InSb, InP, InAs, GaSb, GaP, GaAs, AlSb, AlP, AlAs (бу кристалларда ковалент боғланиш асосий бўлиб қолмай, бал — ки қисман ионли боғланиш ҳам бўлади).

II ва VI груҳ элементларидан ташкил топган бирикмалар: ZnS, CdS, HgSe, ZnSe, ZnTe, ZnO, MgO (бу кристалларда ион боғланиш кучли бўлади)

IV ва VI груҳ элементларидан ташкил топган бирикма — лар: PbS, PbSe, PbTe.

3. Суюқ ярим ўтказгичларга натрий ва калийнинг ам — миакдаги зритмалари, кремнийли суюқ полимерлар (поли — силосанлар) киради.

Ҳозирги вақтда юқорида келтирилган ярим ўтказгич материаллардан ташқари учта ва тўртта элемент атомларидан таркиб топган ярим ўтказгич бирикмалари мавжуд. Буларга HgPS<sub>2</sub>, CdP<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, ZnSnP<sub>2</sub>, TlInS<sub>2</sub>, TlGaSe<sub>2</sub>, CdGaAs<sub>2</sub>, CdGeSbAs, SiTiGeAs, TlGaSSe, CuInGaS<sub>2</sub>, TlInGaTe .

Юқоридаги ярим ўтказгичларнинг асосий турлари ора — сида амалий аҳамиятга эга бўлган ярим ўтказгичлар асосан кристалл ҳолда учрайди ва бундай ярим ўтказгичлар қоторига ҳозирги вақтда кремний, германий ва селен эле — ментларини кўрсатиш мумкин.

Биз энди сизлар билан кремний элементида олиб бо — рилган илмий ишлардан олинган натижаларга тўхталамиз, бунга сабаб фан ва техникада ишлатилаётган асбобларни

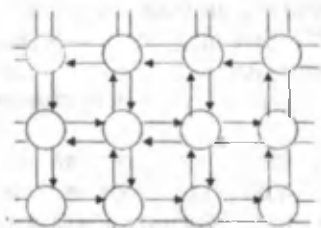
кўпчилик қисми кремний ярим ўтказгич материалдан тай – ёрланган.

Ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги. Бизга маълумки металллардан ярим ўтказгичларнинг принципал фарқи, ярим ўтказгичларда ўтказувчанлик электронларни ҳосил қилиш учун ташқаридан қўшимча энергия сарф эти – лишининг зарурлигидир.

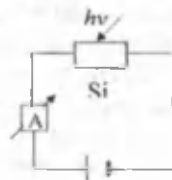
Ярим ўтказгичлар электр ўтказувчанлигига қараб ҳусу – сий ва аралашмали турларга бўлинади.

Ҳусусий ўтказувчанликни тушуниш учун кимёвий жи – ҳатдан тоза ярим ўтказгич кристалли, масалан, кремний кристаллини олиш мумкин. У жуда паст температурада тек – ширилган. Кремний элементининг атоми тўртта валент электронига эга бўлиб, ҳар бир атом ўзидан бир хил узоқликда жойлашган қўшни тўртта атом билан валент электронлари орқали боғланган (21 – расм).

Агар кремний ярим ўтказгичини электр занжирига уласак (22 – расм), бу занжирдан паст температурада ток ўтмаганлигини кўрамыз. Бунга сабаб, барча валент электронлари атомлараро ўзаро боғланишда бандлигидир. Ўтказувчанлик электронларини ҳосил қилиш учун валент боғланишларни айрим жойларини бузиш керак. Бунинг учун қўшимча энегия зарур. Электрон бундай энергияни кри – сталлни қиздирганда ёки ёруғлик билан ёритилганда олади.



21 - расм



22- расм

21 – расм. Бир текисликда схематик равишда келтирилган кремний элементи панжарасидаги валент боғланиш.

22 – расм. Кремний кристалли қатнашган электр занжир.

Ҳақийқатдан ҳам кристаллни қиздира бошласак ёки ёруғлик тушира бошласак, занжирдан электр токи ўта бош — лаганини кўрамыз. Бунинг сабаби, ташқаридан олинган қўшимча иссиқлик энергияси ҳисобига боғланишларнинг бузилиши натижасида ажралаётган эркин электронларнинг кўпайишидир. Боғланишлардан чиқиб кетувчи бундай электронлар ҳисобига электронлар чиққан жойларда атомлар орасида тўлиқ бўлмаган боғланишлар вужудга келади. Электронларнинг валент боғланишидан чиқиб кетиши натижасида ҳосил бўлган ва мусбат заряди ортиб қолган бундай тўлиқмас боғланишдаги бўш ўринларни “кавак”лар деб юритилишини юқорида айтиб ўтган эдик. Зарядларнинг тортилиш кучлари таъсирида исталган бўш ўринга қўшни боғланишдан электрон ўтиши мумкин. Натижада бу ўринда тўлиқ боғланиш тикланиб, ковак қўшни боғланишга кўчади. Бошқача айтганда, электр токи ўтишида ўтказувчанлик электронлари — эркин электронлардан ташқари, ковакларни кетма — кет тўлдириб борувчи боғлиқ электронлар ҳам қатнашади.

Кристалл кимёвий тоза ва ҳеч қандай нуқсонга эга бўл — маса, ажралувчи электронлар ва коваклар сони ўзаро бир бирига тенг бўлади. Бундай ўтказувчанликни ярим ўтказ — гичларнинг хусусий ўтказувчанлиги деб юритилади ва у юқори температуралардагина кузатилади.

Хусусий ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги фақатгина назарий характерга эга бўлиб, амалда ишлатила — диган ярим ўтказгичли асбобларнинг ҳаммаси озми — кўпми аралашмага (кришмага) асосланиб ишлайди.

Шунинг учун биз аралашмаларни ярим ўтказгичларнинг ўтказувчанлигини қараб чиқайлик.

Аралашмалар ўтказувчанлиги. Аралашмалар ёрдамида ярим ўтказгичларнинг қаршилигини мингларча (ҳаттоки милли — онларча) марта камайтириш мумкин. Масалан, кремний элементи ичига ундаги атомлар сонига нисбатан 0,001 про — цент микродоридаги фосфор атомларининг киритилиши билан, хона температурасида унинг қаршилигини жуда тоза крем — нийга нисбатан бирнеча минг мартача камайтиради. Ара — лашмалар ток ташувчиларнинг ишорасини белгилайди, ярим



ўтказгичларнинг амалда кузатиладиган электр ўтказувчанлигини вужудга келтиради.

Аралашма дейилганда биз тубандагиларни кўзда тутамиз:

- 1) асосий модда таркибий қисмларидан бирининг ортиқ ёки камлиги;
- 2) кристаллнинг бирор тугунидаги атом ёки ионнинг ўрнини бошқа элемент атоми томонидан эгалланиши;
- 3) кристалл панжара тугунларининг оралиғига киритилган бошқа элемент атомлари.

Ярим ўтказгичларда аралашманинг қанчалик муҳим аҳамиятга эга эканлигини тушуниш учун кремний кристалли панжарасидаги ихтиёрий бирор тугунни, 5 валентли бўлган Фосфор (P) ёки 3 валентли бўлган Бор (B) элемент атоми эгаллаган ҳолларини чуқурроқ ўрганишга ҳаракат қилайлик.

Si<P>. Бу вақтда фосфорнинг тўртга валент электрони кремнийнинг тўртга валент электрони билан мустаҳкам валент боғланиш ҳосил қилади. Валент боғланишда фосфорнинг бешинчи валент электрони қатнашмайди, у фақат ўз ядроси билан кучсиз боғланишда бўлади холос. Шунинг учун ҳам, бу бешинчи валент электрон ташқаридан берилган озгина қўшимча энергия (иссиқлик ёки ёруғлик энергияси) ҳисобига ўз атомидан ажралади. Бу валент электроннинг ажралиши ковалентнинг ҳосил бўлишига олиб келмаслигини билиш қийин эмас. Агар температура паст бўлса, кремнийнинг хусусий ўтказувчанлиги ҳал қилувчи аҳамият ўйнамаганлигидан, ўтказувчанликда асосан аралашма атомларидан ажралган электронларгина қатнашади. Ярим ўтказгичнинг бундай ўтказувчанлигини электрон (n – типли) ўтказувчанлик деб аталади. Кристалл панжарага ўз электронларини беришга интилувчи аралашма атомлари эса донорлар деб юритилади.

Si<B>. Бу ҳолда кремний панжарасидаги атомлардан бирининг ўрнини уч валентли Бор атоми эгаллаган бўлади. Аммо кремнийнинг тўртинчи валент электрони жуфт боғланиш ҳосил қилиши учун Борда битта электрон етишмайди. Бор атоми бу ҳолда кремний атоми билан тўлиқ боғланиш ҳосил қилишга интилиб, қўшни боғланишдан битта электронни тортиб олади ва ўз навбатида манфий ионга айланиб қолади. Электрон кетган боғланишда эса бўш ўрин –

ковак ҳосил бўлади ва ташқи электр майдони қўйилганда кетма — кет ҳосил бўлувчи коваклар ҳаракати ҳосил бўлади. Бундай ўтказувчанликда асосий ролни ковакларнинг кўчиши ўйнаганлигидан ковак ўтказувчанлик ёки p-типли ўтка — зувчанлик деб юритилади. Асосий элементларнинг кристалл панжарасидан электронларни олиш учун интилувчи ара — лашма атомлари — акцепторлар деб юритилади.

Текширишлар шунни кўрсатдики, кремнийнинг хусусий ўтказувчанлигида электронни ажратиш учун камида 1,1 эВ энергия керак бўлса, аралашма атомларидан электронларни ажратиш учун эса ~ 0,04 эВ энергиягина кифоя қилади.

Аралашма атомлардан электронлар ажралиши осонла — шининг физик сабаби, аралашма атомлари киритилган муҳитнинг қутбланишидир. Моддий муҳитнинг бу хусусияти диэлектрик доимийлиги билан характерланади.

Муҳитнинг қутбланиши кристаллнинг умумий энергиясини камайтириб, аралашма атомида эса — электрон билан ядро орасидаги боғланишни кучсизлантиради. Натижада аралашма атоми электронларининг ҳаракатланиш орбиталари катталашади. Орбитанинг катталаниши эса ўз навбатида электронни атомдан ажратиш ишини, яъни ионлаштириш ишини камайтиради.

Шуни қайд қилиш керакки, кристалл панжарага кириб олган аралашма атомлари, идеал кристалл панжарасининг қаттиқ даврилигини бузади ва улар электронлар учун ўзига хос энергетик ҳолатларни ҳосил қилади. Бу ҳолатлар, ара — лашма зичлиги жуда катта бўлмаган ҳолда, маҳаллий ҳолат — лар бўлади, яъни улар аралашма атом (ион) лар яқинидаги маҳаллий жойларда жойлашган бўлади (электронлар энер — гиялари зоналар таъсвирида), маҳаллий ҳолат сатҳлари тақиқ — ланган зона ичида жойлашади. Агар киришма ҳосил қилган маҳаллий сатҳ ўтказувчанлик ёки валент зонасига яқин жойлашган бўлса, бундай сатҳ саёз сатҳ дейилади.

Саёз сатҳлар ҳосил қиладиган аралашмалар эркин заряд ташувчилар (эркин электронлар ва эркин коваклар) миқдорини (концентрациясини) ошириш имконини яратиб, ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлигини бевосита ўз — гартириши мумкин (буни фосфор ва бор мисолида кўрдик). Чуқур сатҳлар пайдо қиладиган аралашмалар эса ярим ўт —

казгичнинг бирмунча бошқа хусусиятларига бевосита ёки билвосита таъсир кўрсатади.

Ярим ўтказгичга ҳам донор аралашма, ҳам акцептор аралашма киритилган бўлса, донор сатҳдаги электронлар акцептор сатҳларига ўтади. Агар донор концентрацияси ( $N_D$ ) акцептор концентрацияси ( $N_A$ ) га тенг бўлса ( $N_D=N_A$ ) бундай ярим ўтказгич тўла компенсирланган ярим ўтказгичлар дейилади.

Юқорида айtilган мулоҳазалар аралашма атомларининг концентрацияси унча катта бўлмаган ва бунда қўшни аралашма атомлари бир бирларидан етарлича узоқда бўлган ҳолларга тегишлидир. Аммо, аралашма атомларининг концентрацияси етарлича катта бўлса, юқоридаги шартлар бажарилмаслиги мумкин. Бунда қўшни аралашма атом электронлар қобиклари бир-бирига тушиши ва улар ўртасида ўзаро таъсирлашиш кучлари ҳосил бўлиши мумкин, бунинг натижасида аралашма ҳосил қилган алоҳида энергетик сатҳлар парчаланиб, электронлар учун аралашма ҳосил қилган энергетик зоналарни вужудга келтиради. Ярим ўтказгичларда аралашмалар ҳосил қиладиган зонани пайдо бўлиши бошланадиган аралашма атом концентрацияси қуйидаги ифода билан ҳисобланади:  $N_k = 2,2 \cdot 10^{24} (m^*/m_0)^3$  бу ерда  $m^*$  - эффеkтив масса (мисол учун, кремнийда электрон учун  $m_e^* = 0,33 m_0$ , ковак учун  $m_h^* = 0,55 m_0$  [15]). Кремний  $p$ -тип учун  $N_k \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

Аралашма концентрацияси етарлича катта бўлганда аралашма ҳосил қилган зона кенгайиб, ўтказувчанлик ёки валент зоналари билан туташиб кетади. Бундай ярим ўтказгич кучли легирланган ярим ўтказгич дейилади. У ё  $p$ -турдаги, ёки  $p$ -турдаги электрўтказувчанликка эга бўлади. Чўқур энергетик сатҳлар ҳосил қиладиган аралашма ярим ўтказгичга киритилганда, тақиқланган зонанинг ўрта қисмида, ўтказувчанлик зонаси ва валент зонадан ўзоқда жойлашган, электронлар учун энергия сатҳлари ҳосил қилади (хона температурасида, ташқи таъсир бўлмаганда ўтказувчан ва валент зоналарга ўзидан электрон бермайди - ган ва бу зоналардан электрон қабул қилмайдиган энергетик

<sup>15</sup> Р.Смит. Полупроводники. М. ИА, 1962. 467 с

сатҳларни чуқур энергетик сатҳлар деса бўлади). Чуқур сатҳлар ё донорлик, ёки акцепторлик хоссаларига эга бўлади. Баъзи аралашмалар бир нечта сатҳлар ҳосил қилиши мумкин, уларнинг баъзилар донор бўлса, бошқалари акцептор бўлиши мумкин. Бундай аралашмалар амфотер аралашмалар дейилади. Бу аралашмаларнинг атомлари на фақат тутунларда, балки тутунлар орасида ҳам жойлашади (9-расм). Уларнинг муайян бир қисми электр жиҳатдан фаол (актив) бўлса, бошқа қисми эса электр жиҳатдан нафаол бўлади.

Агар тақиқланган зонада аралашма бир нечта энергия сатҳлари пайдо қилса, бундай аралашмалар кўп зарядли аралашмалар деб юритилади.

Кўп зарядли аралашма иккита  $E_1 = E_c - 0,2$  эВ ва  $E_2 = E_c - 0,4$  эВ донор табиатли энергетик сатҳга эга бўлсин. Агар иккала энергетик сатҳ электрон билан тўлган бўлса, бу донор нейтрал ҳолатда (бу ҳолда  $F$  – Ферми сатҳи  $E_1$  энергия сатҳи билан ўтказувчан зона орасида бўлади), донор бир карра ионлашган бўлиши учун  $F$  унинг  $E_1$  ва  $E_2$  сатҳлари орасида, икки карра ионлашган бўлиши учун эса  $E_2$  дан пастида (чуқурроқда) бўлиши зарур. Температура, саёз ва чуқур сатҳ берадиган аралашма концентрациясини ўзгартириш билан Ферми сатҳини кенг ораликда ўзгартириш мумкин. Ферми сатҳи<sup>16</sup> қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$F = E_c - kT \cdot \ln(N_c/n), \quad F = E_v + kT \cdot \ln(N_v/p), \quad (2.24)$$

бу ерда  $n$  –  $p$  – ўтказувчан зоналардаги эркин электронлар ва валент зоналардаги эркин коваклар концентрацияси,  $k$  – Больцман доимийси,  $N_c$  – ўтказувчан ва  $N_v$  – валент зонанинг ҳолат концентрацияси бўлиб, улар қуйидаги ифода билан аниқланади:  $N_c = 2,7 \cdot 10^{19} (T/300)^{3/2}$ ,  $N_v = 1,05 \cdot 10^{19} (T/300)^{3/2}$ ,  $T$  – кўрилатган температура.

<sup>16</sup> Ферми сатҳи ( $F$ ) – айнамаган ярим ўтказгичларда электронларнинг энергетик спектрига, электронлар сопига ва температурага боғлиқ бўлган катталик. Электронлар ёки ковакларнинг концентрацияси етарлича катта бўлган ярим ўтказгич айниган ярим ўтказгич дейилади. Асосий заряд таъшувчиси электронлар бўлган ( $n$ -тур) айнамаган ярим ўтказгичда Ферми сатҳи ўтказувчанлик зонасида, агар  $p$ -тур бўлса валент зонада бўлади. Айнамаган ярим ўтказгичларда  $F$  тақиқланган зона ичида бўлади.

Ярим ўтказгичлардаги чуқур сатҳлар қандай вазифалар — ни бажаради деган ўринли савол пайдо бўлиши мумкин. Улар заряд ташувчилар учун рекомбинация ва ёпишиш марказлари бўлиб хизмат қилиши мумкин. Бу марказлар фотоўтказувчанлик (ёруғлик ўтказувчанлик) ҳодисасида асосий ўрин тутади, ҳамда ярим ўтказгич асбобларнинг иш — лаши мумкин бўлган соҳаларни аниқлашда ҳал қилувчи омил бўлади.

### 2.5.2. Ярим ўтказгичларнинг электр-физик хусусиятларига радиация таъсири

Ярим ўтказгичдан тайёрланган асбобларни электрофизик хусусиятини қуйидаги ярим ўтказгич материаларининг асо — сий параметрлари: заряд ташувчилар концентрацияси ( $n$  ёки  $p$ ), уларнинг ҳаракатчанлиги ( $\mu_n$  ёки  $\mu_p$ ), заряд ташув — чиларнинг яшаш вақтлари ( $\tau_n$  ёки  $\tau_p$ ) ва уларни диффу — зияланиш узунлиги ( $L_n$  ёки  $L_p$ ) белгилайди ва бу пара — метлар радиация таъсирида сезиларли даражада ўзгара — ди. Ярим ўтказгичлар параметрларининг ўзгариши нурлан — тирилайётган материал хусусиятларига ва унинг структура — сига, бомбардимон қилаётган заррача энергиясига, доза миқдорига ва унинг табиатига боғиқ (10 — жадвалга қаранг).

Заряд ташувчиларнинг яшаш вақтига радиациянинг таъсири. Ярим ўтказгич материаларнинг тақиқланган зона — сида радиация таъсирида чуқур энергетик сатҳларни ҳосил бўлиши ҳажмий рекомбинация тезлигини оширишга, бошқача қилиб айтганда, ярим ўтказгичдаги заряд ташувчи — ларнинг яшаш вақтини камайишига олиб келади.

Ярим ўтказгичда рекомбинация жараёнига таъсир қиладиган энергетик сатҳлар асосан иккига бўлинади:

а) "Ёпишиш" марказлари. Бу ҳолда ёпишган заряд та — шувчилар қайтадан иссиқлик натижасида ўтказувчан зонага ўтиш эҳтимоллиги (ўзига тескари бўлган заряд ташувчилар билан рекомбинацияланишига нисбатан) катта бўлади;

б) Рекомбинация марказлари. Бу ҳолда тутилган заряд ташувчилар ўзининг зарядига тескари бўлган зарядлар билан рекомбинацияланиш эҳтимоллигига эга. Чуқур энергетик сатҳларда рекомбинация эффективлиги шу энергетик сатҳ —

лар томонидан электрон ёки ковакларни қанчалик тутиб олиш эҳтимоллигига боғлиқ.

Заряд ташувчиларни ёпишиш марказларида тутилиши, уларни яшаш вақтини катталашишига олиб келса, рекомбинация марказлардаги тутилиши заряд ташувчиларнинг яшаш вақтини камайишига олиб келади.

Кремний материалда ҳосил бўлаётган радиацион нуқсонларга бироз тўхталамиз. Чунки электрон техникада ишлатиладиган ярим ўткечидан тайёрланган асбобларни қўлдан келтиришда шу материал асосида тайёрланган

11 – жадвалда келтирилган радиацион нуқсонлар радиация нури билан нурлантирилган кремнийда олиб борилган илмий ишлар натижасида аниқланган энергетик сатҳлардир. Бу энергетик сатҳлардан бир нечаси бир вақтни ўзида радиация натижасида ҳосил бўлиб, булардан бир нечаси материалда юз берадиган рекомбинация жараёнларига таъсир қилиши мумкин.

Агар рекомбинацион марказ концентрацияси асосий ток ташувчи зарядлар (мувозанатдаги) концентрациясига нисбатан етарли даражада кичик бўлса ( $N_T < n_0, p_0$ ), бу ҳолда заряд ташувчиларнинг яшаш вақти қуйидаги ифода орқали топилади:

$$\tau = [(1/\sigma_p v_p)(n_0 + n) + (1/\sigma_n v_n)(p_0 + p)] / N_T (n_0 + p_0) \quad (2.25)$$

бу ерда  $\sigma_p, \sigma_n$  – энергетик сатҳнинг ўзига электрон ва ковакларни тутиб олиш кесими;  $v_n, v_p$  – электрон ва ковакларнинг иссиқлик тезлиги<sup>17)</sup>,  $n_0, p_0$  – мувозанатдаги электрон ва коваклар концентрацияси,  $N_T$  – рекомбинацион марказ концентрацияси;  $n, p$  – Ферми сатҳи рекомбинацион марказга мос келган ҳол учун мувозанатдаги электрон ва коваклар концентрацияси.

2.25 – ифодадан кўриниб турибдики, агар бир нечта рекомбинацион марказлардан биттаси заряд ташувчиларнинг яшаш вақти  $\tau$  га таъсир кўрсатаётган бўлса, бу ҳолда  $1/\tau$  ре-

<sup>17)</sup>  $v_T = \sqrt{3(kT/m^*)} = \sqrt{(3 \cdot 0.026 \cdot 1.6 \cdot 10^{-12}) / (9.1 \cdot 10^{-31})} \cdot \sqrt{T/T_0}$

Кремний учун ( $T = T_0 = 300 \text{ K}$ )  $v_n = 2 \cdot 10^7 \text{ см/с}$  ва  $v_p = 1.6 \cdot 10^7 \text{ см/с}$

10 – жадвал. Ярим ўтказгич кристаллда тез ҳаракат қилаётган заррачаларнинг йўқолиши

| Заррача  | Заррача энергияси, E   | Заррача энергиясининг йўқолиш механизми  |
|--|--|--|
| Электронлар  | $< 10$ МэВ   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Атомларни ионлашга</li> <li>• Атомларни тебратишга</li> <li>• Эластик сочилишга, ковак (V) ва тугунлар орасида атомларни (I) вужудга келтиришга</li> <li>• Тормизланишдан ҳосил бўладиган нурланишга</li> </ul>   |
| Электронлар  | $\geq 10$ МэВ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Атомларни ионлашга</li> <li>• Эластик сочилишга, ковак (V) ва тугунлар орасида атомларни (I) вужудга келтиришга</li> <li>• Тормизланишдан ҳосил бўладиган нурланишга</li> <li>• Тартибсиз соҳаларни ҳосил бўлишига</li> <li>• Ядро реакциялари натижасида изотоплар ҳосил бўлишига</li> </ul> |
| Гамма – квантлар   | $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ – манбаи, атом реактори канали ичидаги $\gamma$ – нурланиш, E ~ 1+10 МэВ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Фотозффецтига</li> <li>• Комптон эффецтига</li> <li>• Электрон – позитрон жуфтини ҳосил бўлишига</li> </ul>   |
| Заррачалар тормизланиши натижасида ҳосил бўладиган $\gamma$ – квантлар | $\geq 15+28$ МэВ   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Фотозффецтига</li> <li>• Комптон эффецтига</li> <li>• Электрон – позитрон жуфтини ҳосил бўлишига</li> <li>• Фотоядровий реакцияларга, тартибсиз соҳаларни ҳосил қилишга</li> </ul>  |
| Иссиқ нейтронлар   | ~ 0,025 эВ   | Ядролар билан эластик бўлмаган тўқнашишга, изотоп ҳосил қиладиган ядро реакцияларига   |
| Тез нейтронлар   | $> 100$ кэВ  | Атом ядроларида эластик сочилишга  |
| Юқори энергияли нейтронлар   | $> 5$ МэВ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Атом ядроларида эластик сочилишига</li> <li>• Ядро реакцияларга</li> </ul>  |
| Протонлар ва бошқа енгил ионлар <sup>1)</sup>                          | $\leq 5+10$ кэВ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Атомларни ионлашишига</li> <li>• Элементар (V ва I) нуқсонлар ҳосил қилишга</li> </ul>  |
| Протонлар ва бошқа енгил ионлар <sup>1)</sup>                          | $\leq 5+10$ кэВ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Атомларни ионлашишига</li> <li>• Элементар (V ва I) нуқсонлар ҳосил қилишга</li> </ul>  |

<sup>1)</sup> Ионларнинг массаси ярим ўтказгич атомлари массасидан кичик

11 – жадвал. Кремний ярим ўтказгичида ҳосил бўладиган айрим радиацион нуқсонларнинг параметрлари

| Нуқсон                      | Бел – гиси | Заряд ҳолати                                       | Энергетик сатҳ, эВ  | Сатҳ тури        | Тутиб олиш кесими ( $\sigma_n, \sigma_p$ ), см <sup>2</sup>                                     | Емирилиш (отжик) температураси, К | Емирилиш энергия активациyasi, эВ |
|-----------------------------|------------|--|---|------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Ковак                       | V          | V <sup>-</sup><br>V <sup>o</sup><br>V <sup>+</sup> | E <sub>c</sub> - 0,09<br>E <sub>c</sub> - 0,11<br>E <sub>v</sub> + 0,2<br>E <sub>v</sub> + 0,05 | A<br>D<br>A<br>D | $\sigma_p = 5 \cdot 10^{-17}$   | 60 – 90<br>150 – 180              |                                   |
| Бивакансия                  | W          | W <sup>-</sup><br>W <sup>o</sup><br>W <sup>+</sup> | E <sub>c</sub> - 0,23<br>E <sub>c</sub> - 0,4<br>E <sub>c</sub> - 0,54<br>E <sub>v</sub> - 0,21 | A<br>A<br>D<br>D | $\sigma_n = 5 \cdot 10^{-16}$<br>$\sigma_n = 4 \cdot 10^{-15}$<br>$\sigma_p = 2 \cdot 10^{-16}$ | 550                               | < 1,5                             |
| Ковак – кислород (А-марказ) | V-O        | (V-O) <sup>-</sup><br>(V-O) <sup>o</sup>           | E <sub>c</sub> - 0,18   | A                | $\sigma_n = 210^{-16}$<br>$\sigma_p = 2 \cdot 10^{-14}$   | 600 – 620                         | 1,3                               |
| Ковак – фосфор (Е-марказ)   | V-P        | (V-P) <sup>-</sup><br>(V-P) <sup>o</sup>           | E <sub>c</sub> - 0,4  | A                | $\sigma_n \gg 10^{-16}$<br>$\sigma_p \sim 10^{-13}$   | 400 – 420                         | 0,9 – 1,3                         |
| Ковак – бор                 | V-B        | (V-B) <sup>o</sup><br>(V-B) <sup>-</sup>           | E <sub>v</sub> + 0,45   | D                |   | 300                               | 0,42                              |

комбинацион марказ концентрациясига тўғри пропорционал бўлар экан.

Ўзгармас температурада  $1/\tau$  нинг ўзгариши радиация таъсирида ҳосил бўлаётган рекомбинацион марказлар концентрациясининг ўзгаришини характерлайди ва уни қуйидаги ифода орқали бериш мумкин:

$$\Delta(1/\tau) = 1/\tau + 1/\tau_0 = K_1 \Phi, \quad (2.26)$$

бу ерда  $\tau_0$ ,  $\tau$  – нурланишдан олдинги ва кейинги заряд ташувчиларнинг яшаш вақти,  $\Phi$  – интеграл нурланиш оқими,  $K_1$  – асосий заряд ташувчиларнинг концентрациясига, радиацион марказларнинг кириш тезлигига, уларни электрон ва ковакларни тутиб олиш кесими (рекомбинация қилиш ҳусусиятига) ва Ферми сатҳини рекомбинацион энергетик сатҳларга нисбатан жойлашган ўрнига боғлиқ бўлади. Бу нурланиш таъсирида заряд ташувчиларнинг яшаш вақтини ўзгаришини ифодаловчи коэффициент орқали бериледи.



Баъзи бир ҳолларда, нурланишда заряд ташувчилар — нинг диффузияланиш ўзгаришини кўрсатувчи коэффициент  $K_L$  ишлатилади ( $\tau$  ни  $L$  билан боғлиқлиги қуйидагича ифо —

даланади:  $L = \sqrt{D\tau}$ , бу ерда  $D$  — асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузия коэффициенти), Юқорида айтиб ўтганларга кўра 2.25 — ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$1/L^2 = 1/L_0^2 + K_L \Phi, \quad (2.27)$$

бу ерда  $L_0$  — нурланишдан олдинги ярим ўтказгичдаги заряд ташувчини диффузияланиш узунлиги.

Ярим ўтказгичнинг солиштирма қаршилигига радиация — нинг таъсири. Кўпчилик ярим ўтказгич материаллари учун  $\rho$  ни, нурланиш оқими  $\Phi$  га қараб ўзгариши ҳозирги вақтда етарли даражада ўрганилмаган, аммо нурланиш оқимнинг маълум бир оралиғида кремний ярим ўтказгичи учун боғланиш қуйидагича берилган:

$$\rho = \rho_0 \exp(K_p \Phi), \quad (2.28)$$

$K_p \Phi < 1$  бўлганда (2.28) — ифода  $\rho = \rho_0 \cdot \exp(1 - K_p \Phi)$  кўри — нишни олади.  $K_p = (1/n_0)(\Delta n/\Phi)$  — коэффициенти ҳам,  $K_p$  ко — эффициенти сингари, асосий заряд ташувчилар концентра — циясига, унда мавжуд бўлган нуқсонларга, бомбардимон қилаётган заррачалар турига, уларнинг энергиясига ва асо — сий заряд ташувчиларнинг камайиш тезлигига ( $\Delta n/\Phi$ ) боғлиқ.

Агар ярим ўтказгич  $p$  — турли бўлса, ундаги асосий заряд ташувчиларнинг камайиш тезлиги  $\Delta n/\Phi = \alpha n^p$  ифода орқали аниқланган деб қабул қилсак, бунда, нурланиш таъсирида материалнинг солиштирма қаршилиги  $\rho$  ни ўзгаришини ҳисоблаб топиш мумкин.

Кристалларни етарлича катта энергияли электронлар, протонлар, нейтронлар ва бошқа зарралар билан бомбарди — мон қилинганда бу зарралар тугунлардаги атомларни уриб чиқаради ва уларни ҳосил бўлган коваклардан анча узоқлаштириб (бир неча атомлараро масофага) юбориши мумкин. Натижада барқарор Френкель нуқсонлари вужудга келиши билан бирга тартиби бузилган соҳа (ТБС) вужудга келиши тўғрисида тўхталган эдик. Шунга кўра бошланғич

нурланиш дозаларида  $\rho(\Phi)$  боғланиш асосан асосий заряд ташувчилар концентрация ( $n$  ёки  $p$ ) нинг ўзгаришини характерлайди. Уларнинг ҳаракатчанлиги ( $\mu_n$  ёки  $\mu_p$ ) хона температурасида унчалик ўзгармайди. Аммо каттароқ нурланиш дозаларида  $n$  (ёки  $p$ ) билан бирга  $\mu_n$  (ёки  $\mu_p$ ) ўзгариши сезиларли бўлади бунга сабаб эркин ҳаракат қилаётган заряд ташувчилар ТБС да сочилишга дуч келишидир. Нурланиш дозасини ортириб бориш билан бирга заряд ташувчилар ҳаракатчанлигини температурага боғлиқлигини ўрганиш орқали ( $\mu \sim 1/T$ ), ярим ўтказгични ўтказувчанлик бўйича бир жинслик бўлмаганлик даражасини дозामीқдорига қараб ўзгаришини аниқлаймиз.

Бомбардимон қилаётган заррача материалнинг бир жинсли бўлмаганлик даражасини катталаштирса, маълум бир шароитда эса камайтириши ҳам мумкин экан. Бунга мисол,  $p$ -тур кремнийни иссиқ нейтрон ёрдамида, унинг дозасини орттириб компенсирланган (бир жинсли бўлмаган) ва ҳажм бўйича текис тақсимланган фосфор атоми билан легирланган кремний  $n$ -турини қуйидаги реакция ёрдамида:



олиш мумкин экан.

Ўтказувчанлик бўйича бир жинслиги юқори бўлган  $n$ -Si<P> нейтрон ёрдамида олинишига сабаб, кремний ярим ўтказгич материали ҳажмида  $^{30}\text{Si}$  изотопини текис тақсимланганлигидир.

#### Саволлар

1. Металллардан ярим ўтказгичларнинг фарқи нимада?
2. Қандай ярим ўтказгичли материалларини биласиз?
3. Ярим ўтказгичнинг хусусий ўтказувчанлиги деганда нимани тушунасиз?
4. Ярим ўтказгичда донор аралашма билан акцептор аралашманинг бир бирларидан фарқи нимада?
5. Ярим ўтказгичлардаги саёз ва чуқур энергетик сатҳлар деганда нимани тушунасиз?
6. Ярим ўтказгичларда акцептор ва донор энергетик сатҳ концентрациялари бир бирларига тенг бўлса, бу ярим ўтказгич қандай номланади?
7. Кучли легирланган ярим ўтказгич деганда нимани тушу —

насиз ?

8. Қандай аралашма амфотер аралашма дейилади?
9. Ярим ўтказгичнинг асосий параметрлари нималардан иборат?
10. Нима сабабдан ярим ўтказгич юқори энергияли зарра чалар билан нурлантирилганда унинг параметрлари ўзгаради ?
11. Ток ташувчи зарядлар сонининг ўзгариши нурланиш дозасига қараб қандай ўзгаради?
12. Ток ташувчи зарядларнинг камайиш тезлиги намаларга боғлиқ ?
13. Нейтрон билан кремний материалыни легирлаш деганда нимани тушунасиз?

## 2.6. Ярим ўтказгичли асбобларга радиациянинг таъсири

Ярим ўтазгичли асбоблар р-п -ўтишсиз ва р-п -ўтишли бўлади. Биринчи гурпуага термистрлар, фоторезисторлар, тензорезисторлар, магнит майдонини ўлчашда ишлатиладиган Холл датчиги каби асбоблар киради. Иккинчи гурпуага турли мақсадларда ишлатиладиган диодлар, транзисторлар ва бошқалар киради. Қуйида биз баъзи асбобларнинг ишлаш принципи билан танишамиз.

### Электрон – ковак (р – п) ўтишсиз асбоблар.

**Термистор.** Бу асбобнинг ишлаши ярим ўтказгичлар қаршилигининг температура ўзгаришига жуда сезгир бўлишлигига асосланган. Температурага бўлган сезгирлик хусусий ярим ўтказгичларда ва аралашма атомлари ҳали тўла ионлашиб (электронларини бериб) бўлмаган аралашмали ярим ўтказгичларда жуда юқори бўлади.

Термистор электр қаршилигини ( $R$ ) температурага ( $T$ ) боғлиқлиги қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$R = R_0 \exp(B/T), \quad (2.30)$$

бу ерда  $R_0$  – термистор тайёрланган материалнинг солиш – тирма электрқаршилигига, узунлигига, эни ва унинг қалинлигига боғлиқ бўлган коэффициент,  $B$  – температурага бўлган сезгирлик коэффициенти.  $B$  нинг соң қийматини топиш учун,  $B \sim I(1/T)$  катталиклар орасидаги боғланиш графигининг тўғри чизиқ қисмидаги иккита температурадаги

электр қаршиликларини билган ҳолда қуйидаги ифода орқали топилади:

$$B = [2,3(\lg R_{T_2} - \lg R_{T_1})] / [(T_2)^{-1} - (T_1)^{-1}] \quad (2.31)$$

Термистор электрқаршилигининг температура коэффи-  
циенти (ҚТК) қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$ҚТК = \alpha = (R_2 - R_1) / R_1(T_2 - T_1) \quad (2.32)$$

Термисторнинг электрқаршилиги температура ортиши билан камайса, бундай термисторнинг электрқаршилик ко-  
эффиценти "манфий", агар тескариси бўлса "мусбат" деб қабул қилинган. Бу асбобдан, температурани ва унинг энергиясини аниқ ўлчашда, нурланиш энергиясини ўлчай-  
диган балометрларда ва бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин. Кўп термистлар учун  $\alpha$  нинг қиймати  $(0,8-6,0) \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$  оралигида бўлади.

**Фоторезистор.** Бу асбобнинг ишлаши ярим ўтказгич-  
ларнинг ёруғликка жуда сезгир бўлишлиги хоссасига асос-  
ланган. Агар ярим ўтказгич намунасига ёруғлик тушса, у ярим ўтказгич ичида ютилиб (электрон-ковак жуфтлиги ҳосил бўлади), ўз энергияси ҳисобига электронларни валент зонадан ўтказувчанлик зонасига ўтказиши, шу тарзда ток ўтказишда иштирок қиладиган электронлар ва коваклар со-  
нини кўпайтириши мумкин. Оқибатда ярим ўтказгичнинг электрқаршилиги камаяди, ўтказувчанлиги ортади, яъни бу ўзгаришларни қуйидаги ифода орқали бериш мумкин:

$$\Delta\sigma = q(\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p), \quad (2.33)$$

бу ерда  $\Delta n$ -,  $\Delta p$ -ёруғлик таъсирида ортган электрон ва коваклар концентрацияси (турғун бўлмаган заряд ташувчи-  
лар концентрацияси), улар қуйидагича ифодаланеди:

$$\Delta n = k\beta\Phi\tau_n, \quad \Delta p = k\beta\Phi\tau_p, \quad (2.34)$$

бу ерда  $\Phi$ -ёруғлик интенсивлиги,  $k$  - ёруғликни ютилиш коэффиценти,  $\beta$ -квант чиқиши ( битта квантга тўғри ке-  
ладиган электрон-ковак жуфтликлар сони),  $\tau_n$ ,  $\tau_p$ - элек-  
трон ва ковакларни эффе́ктив яшаш вақти.

(2.34) ифодага кўра (2.33) - ифодани қуйидагаи кўри-  
нишда ёзиш мумкин:

$$\Delta\sigma = qk\beta\Phi(\mu_n\tau_n + \mu_p\tau_p) \quad (2.35)$$

Асосан икки хил фотоўтказувчанлик мавжуд бўлиб: улар хусусий (I ҳол) ва аралашмали (II ҳол).

I ҳолда ютилган квант энергияси  $h\nu \geq E_g$  (тақиқланган зона кенглигига тенг ва ундан катта), бунда электрон валент зонадан ўтказувчанлик зонасига кўтарилади ва ҳаракатдаги эркин электронлар ва коваклар ҳосил қилади.

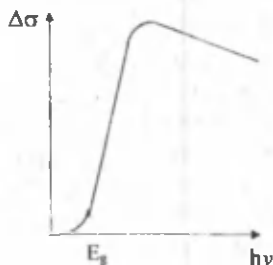
II ҳолда ютилган квант энергияси  $h\nu > E_i$  (аралашма энергия ионизацияси) дан катта бўлиши донор (ёки акцептор) марказларини ионлаштиради, бу ўз навбатида ҳаракатдаги эркин электронларни (ёки ковакларни) ҳосил қилади.  $h\nu \geq E_g$  бўлганда, квант чиқиши  $\beta$  ни қиймати "1" га,  $h\nu \leq E_g$  бўлганда эса тахминан "нолга" тенг бўлади, чунки битта квант битта эркин электрондан (ёки ковақдан) ортиқ "электрон - ковак" жуфтлигини ҳосил қила олмайди.

Аралашма марказларида ёруғликни ютилиш коэффициенти, хусусий ютилишга нисбатан кам бўлганлиги учун аралашма билан бойитилган ярим ўтказгичда аралашма марказларига тегишли фотоўтказувчанликни сезиш учун намуна қалин бўлиши керак.

23-расмдан кўриниб турибдики  $h\nu > E_g$  бўлганда квант энергиясининг ортиши билан фотоўтказувчанликни

(ФЎ) кескин ортганлиги,  $h\nu < E_g$  бўлганда эса, ФЎ нинг ўсиши жуда кичик. Унча катта бўлмаган ФЎ нинг ортишини кристалл панжараларни иссиқлик тебраниши натижасида электронлар флукутацияси энергиясининг ортиши билан тушунтирилади. ФЎ нинг қийматини  $h\nu$  нинг ортиши билан ўсишини ва унинг камайиши эффе́ктивлиги заряд ташувчилар яшаш вақтнинг ҳажм ва юзада ўзгариши билан белгиланади. Умумий ҳолда асосий бўлмаган заряд ташувчилар рекомбинацияси, материал юзасида ҳажмдагига нисбатан кўпроқ бўлади. Шу сабабли  $h\nu$  ўсиши билан  $k$  ни ортиши ютилаётган энергиянинг кўпроқ қисми юзада ютилишга сабаб бўлади ва юза яқинида заряд ташувчиларни кўпроқ ҳосил бўлишига олиб келади. Бу эса ўз навбатида ҳажмга тўғри келадиган рекомбинация миқдорини камайтиради, лекин юзага тўғри келадиган қисми ортади. Натижада  $\tau_n$  (ёки  $\tau_p$ ) камаяди, бу эса ФЎ нинг камайишига олиб келади. Фоторезисторлар ёрдамида ёруғликнинг интенсивлигини ўлчаш ва ёруғлик бўйича ишлайдиган

сивлигини ўлчаш ва ёруғлик бўйича ишлайдиган қурилмаларда фойдаланиш мумкин.



23-расм. Фотоўтка – зувчанликни ёруғлик энергиясига боғлиқлиги

**Тензометр.** Ярим ўтказгичли материаллар деформацияга учраганда (масалан, эгилганда, қисилганда, чўзилганда) ўзининг электр ўтказувчанлигини ўзгартиради. Бу ўзгариш – нинг катталиги деформацияловчи босим катталигига боғлиқ. Деформацияловчи куч таъсирида ярим ўтказгич электр – қаршилигининг ( $R = \rho \cdot (\ell/S)$ , бу ерда  $\rho$  – материалнинг со – лиштирма электрқаршилиги,  $\ell$  –  $S$  – тензометр узунлиги ва унинг кўндаланг кесим юзаси) ўзгариши металларниқидан юзмарталаб катта бўлади. Бу эффектни ярим ўтказгичдаги заряд ташувчиларнинг концентрациясини ва уларни ҳара – катчанлигини ўзгартириш орқали бошқариш мумкинлиги аниқланган.

**Холл дачиги.** Агар токли ярим ўтказгични ток йўнали – шига тик йўналган магнит майдонига киритилса, бу майдон ток ташишда иштирок қилаётган зарядларни ўз йўналиши – дан оғдиради, натижада ҳам зарядлар, ҳам магнит майдон йўналишига тик бўлган йўналишдаги  $V_x$  кучланиш пайдо бўлади. Бу кучланишни ўлчаб, масалан, магнит майдон куч – ланганлиги ( $H$ ) маълум бўлса, электронлар (ёки коваклар) концентрациясини қуйидаги ифодадан аниқлаш мумкин:

$$n(p) = (6,25 \cdot 10^{10} I H) / V_x d, \quad (2.36)$$

бу ерда  $I$  – намунадан ўтаётган электр токининг кучи,  $A$ ;  $H$  – ташқи магнит майдони кучланганлиги, Эрстед;  $d$  – намуна қалинлиги, см;  $V_x$  – ярим ўтказгичдан ўтаётган токнинг электромагнит майдони билан ташқи магнит майдони нати – жасида ҳосил бўлган кучланиш (потенциаллар айрмаси),  $B$ .

**Термоэлектр асбоблар.** Агар ярим ўтказгичнинг икки учи ҳар хил температурада тутиб турилса, унда термоэлектр ток деб аталувчи ток ҳосил қилиш мумкин. Бундан ташқари, ярим ўтказгичдан ток ўтказиб уни қиздириш ёки совутиш мумкин.

Термоэлементнинг эффективлигини қуйидаги ифода орқали топиш мумкин:

$$Z = (\alpha^2 \sigma) / \chi, \quad (2.37)$$

бу ерда  $\alpha$  – материалда иссиқлик натижасида ҳосил бўладиган электр юритувчи куч коэффициентини,  $\sigma$  – материалнинг электр ўтказувчанлиги ва  $\chi$  – иссиқлик ўтказувчанлиги. Бу параметрлар бир бирларига боғлиқ бўлмаган ҳолда, эркин электронлар (ёки коваклар) концентрациясига қараб ўзгаради. Бошқача қилиб айтганда  $\alpha$ ,  $\sigma$  ва  $\chi$  катталарнинг маълум катта қийматларига тўғри келадиган электрон ёки коваклар концентрациясини танлаш билан термоэлемент эффективлигини ошириш мумкин. Ярим ўтказгичларда  $Z$  нинг максимал қиймати ток ташувчи электронларнинг  $\sim 10^{19}$  см<sup>-3</sup> концентрациясига тўғри келади.

**Электрон – ковак (p – n) ўтишли асбоблар.** p – n – ўтиш ярим ўтказгич материални электрўтказувчанлик туруни ўзгартириш орқали ҳосил қилинади (мисол учун p – тур материалда p – тур соҳани ҳосил қилиш билан). Акцептор ва донор атомлари ҳосил қилган марказларни ионлаштириш энергияси ўртача электрон ва коваклар иссиқлик энергиясидан кичик бўлганлиги учун, улар тўла ионлашган бўлади. Бу ҳолда p – соҳадаги акцептор атомлари ( $N_A$ ) ҳосил қилган марказлар ҳаракатсиз манфий ( $n_p$ ) ҳаракатдаги ковакларни ( $p_p$ ), яъни  $p_p = n_p + N_A$ , n – соҳада эса,  $n_n = p_n + N_D$  ҳаракатсиз мусбат заряд ( $p_n$ ) ва ҳаракатдаги электронларни ҳосил қилади.

Ярим ўтказгичлар физикасидан маълумки, термодинамик мувозанат қарор топган шароитда қуйидаги ифода ўринли бўлади:

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right), \quad p = N_c \exp\left(-\frac{E_v - E_f}{kT}\right), \quad (2.38)$$

бу ерда  $N_c$  —  $N_v$  — ўтказувчан ва валент зоналарга мос келувчи эффектив зарядлар концентрацияси,  $T$  — ўлчанаётган температура.

Агар ярим ўтказгич хусусий бўлса, бу ҳоҳда ифода қуйидаги кўринишни олади:

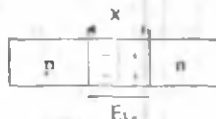
$$p_p n_p = p_n n_n = n_i^2 = N_c N_v \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right). \quad (2.39)$$

бу ерда  $n_i$  — хусусий ярим ўтказгичдаги заряд ташувчилар концентрацияси,  $E_g$  — тақиқланган зона кенглиги,  $k$  — Больцман доимийси.

Кичик энергетик сатҳларни ҳосил қиладиган аралашма билан бойитилган материалларда, асосий заряд ташувчилар концентрацияси хусусий ярим ўтказгичдаги заряд ташувчиларнинг концентрациясига нисбатан анча юқори бўлади, яъни  $N_A \gg p_i$ ,  $N_D \gg n_i$ . Агар  $p_p \approx N_A$  га деб ҳисобласак  $n_p = n_i^2 / N_A$  бўлади. Агар  $n_n = N_D$  га деб олсак  $p_n = n_i^2 / N_D$  бўлади. Шунга асосан  $p$  — турли ярим ўтказгич материалда  $n_n \gg p_n$ ,  $p$  — тур материалда  $p_n \gg n_n$  бўлади. Агар  $p$  — ва  $n$  — тур ярим ўтказгичлар бирлаштирилса (улар орасида контакт ҳосил қилинса),  $p$  —  $n$  — ўтиш чегарасида электрон ва коваклар бир соҳадан иккинчи соҳага диффузияланиши юз беради.

Қуйида  $p$  —  $n$  — ўтишнинг асосий хоссаларини санаб ўтамыз:

1.  $p$  —  $n$  — ўтиш  $p$  — ва  $n$  — тур ўтказувчанликларга эга бўлган икки соҳанинг чегарасида пайдо бўладиган соҳадир. Бу соҳанинг бир қисми,  $p$  — тур соҳада, бошқа қисми  $n$  — тур соҳада ётади;  $p$  —  $n$  — ўтиш кенглиги деб, ўтиш соҳаси кенглиги  $x$  тушунилади (24 — расм).



24-расм

2.  $p$  —  $n$  — ўтиш соҳасидан ҳаракатчан электронлар ва ковакларнинг кетиб қолганлиги (диффузия туфайли) сабабли, унда



қолган қўзғалмас акцептор (манфий) ва донор (мусбат) ионлар ҳажмий зарядни ҳосил қилади.

3.  $p-n$  ўтиш соҳасида ҳажмий заряд ҳисобига электр майдон вужудга келади.

4. Электр токида қатнаша оладиган эркин зарядлар  $p-n$  ўтишда жуда кам бўлади. Бинобарин,  $p-n$  ўтишнинг солиштирма қаршилиги жуда катта бўлади.

5.  $p-n$  ўтиш чегаралари орасидаги қийматлар айримаси контакт потенциаллар айримаси ёки потенциал тўсиқ баланглиги дейилади<sup>18</sup> ва қуйидагича ифодаланеди:

$$\varphi_i = \frac{kT}{q} \ln \frac{p_0 n_0}{n_i^2} \quad (2.40)$$

6. Электр майдони  $n$ -тур соҳадан  $p$ -тур соҳа гомон йўналганлиги сабабли (24-расм)  $p-n$  ўтишда  $n$ -тур соҳа электронларини  $p$ -тур соҳага ўтишига,  $p$ -тур соҳа кавакларини  $n$ -тур соҳага ўтишига тўсиқ бўлади.

Агар ташқи кучланиш манбаининг мусбат қутби  $p$ -тур соҳага, манфий қутби эса  $n$ -тур соҳага уланган бўлса (тўғри уланиш), у вақтда  $p-n$  ўтишда ҳосил бўлган электр майдон ( $p$ -тур соҳадан  $n$ -тур соҳага йўналган бўлади)  $p-n$  ўтиш ўз майдонига тескари йўналган бўлади. Потенциал тўсиқ ва шу билан бирга  $d$  камаяди,  $n$ -тур соҳадан  $p$ -тур соҳага электронларнинг,  $p$ -тур соҳадан  $n$ -тур соҳага ковакларнинг оқими вужудга келади. Бу ток тўғри ток дейилади.

Агар ташқи кучланиш манбаининг мусбат қутби  $n$ -тур соҳага, манфий қутби эса  $p$ -тур соҳага уланса (тескари уланиш), бу вақтда  $p-n$  ўтишда ҳосил бўлган майдон  $n$ -тур соҳадан  $p$ -тур соҳага йўналган бўлиб,  $p-n$  ўтиш ўз майдони билан бир хил йўналган бўлади. Бинобарин, бу соҳада майдон катта бўлиб қолади ва потенциал тўсиқ ва шу билан бирга  $d$  ҳам ортади. Натижада  $n$ -тур соҳадан  $p$ -тур соҳага электронларнинг,  $p$ -тур соҳадан  $n$ -тур соҳага ко-

<sup>18</sup> Бир хил турли ўтказувчанликка эга бўлган ярим ўтказгичлар бир бирлари билан бирланганларида ҳосил бўладиган потенциаллар айримаси қуйдаги ифода билан аниқланади:

$$\varphi_i = \frac{kT}{q} \ln \frac{n^+}{n} \quad (2.41)$$

бу ерда " $n^+$ " заряд ташувчилар концентрациясининг куплигини билдиради.

вакларнинг оқими камаяди. Бу ҳолда ўтаётган ток тескари ток дейилади.

Унча катта бўлмаган кучланишлар соҳасида бажарилган ҳисоблашлар орқали  $p-n$  ўтишининг вольт-ампер харак-теристикаси (ВАХ) учун қуйидаги ифода келтириб чиқарилган:

$$j = q \left( \frac{D_p p_s}{L_p} + \frac{D_n n_s}{L_n} \right) [\exp(qVF_kT) - 1] = j_s [\exp(qV/kT) - 1], \quad (2.42)$$

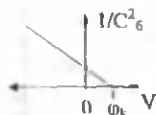
бу ерда  $D_p$ ,  $D_n$  — коваклар ва электронларнинг диффузия коэффициентлари;  $L_p$ ,  $L_n$  — уларга тегишли диффузия узун-ликлари;  $p_n$  — ковакларнинг  $p$ -тур соҳадаги,  $n_p$  — электронларнинг  $p$ -тур соҳадаги мувозанат концентрация — лари.

Мазкур (2.42) ифодадан кўриниб турибдики, тўғри куч-ланиш ( $V > 0$ ) қўйилганда  $p-n$  ўтишда ўтаётган  $j$  ток  $V$  кучланиш ортган сари экспоненциал (тез) ортиб боради ва аксинча, тескари кучланиш ( $V < 0$ ) берилганда, ток жуда се-кин ўсади ва  $\exp(qV/kT) \ll 1$  бўлиб қолганда ўзининг кичик тўйинган қийматига эришади. Юқоридагилардан шу нарса келиб чиқадики,  $p-n$  ўтиш тўғрилаш хоссасини намаён қилади. Ўзгарувчан токка мос келган ўзгарувчан кучланиш —нинг биринчи ярим даврида  $p-n$  ўтиш токни яхши ўтка-зади, иккинчи ярим даврида эса, токни ёмон ўтказади, оқибатда пульсацияланган (тўғрланган) ток ҳосил бўлади.

$p-n$  ўтишининг мусбат пластинаси  $p$ -тур соҳа чегарасида, манфий пластинаси  $p$ -тур соҳа чегарасида жойлашган ясси конденсатор деб қараш мумкин ва унинг барьер (тўсиқ) сифими  $C_6$  қуйидаги ифода билан топилади:

$$C_6 = S[(\epsilon\epsilon_0/2) \cdot (qN_d)/(\phi_k - V)]^{1/2} \quad (2.43)$$

(2.43) ифодага кўра ионлаштириш энергияси кичик бўл-ган аралашмали ярим ўтказгичлар концентрациясининг ор-тиши билан электр сизим катталашар экан. Тажриба орқали  $1/C^2 = f(V)$  боғланишни ўлчаб (25-расм), боғланиш тўғри чизик бурчак чизмасидан асосий ток ташувчи зарядлар концентрацияси ( $N_d$ ) ни, шу билан бирга расмнинг  $1/C^2 = 0$  бўлган қисмидан  $\phi_k$  ни қийматини топиш имконини беради.

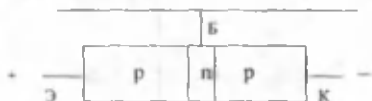


25-расм

Шундай қилиб,  $p-n$  — ўтишнинг ўзгарувчан токни тўғрилаш ва электр сигим вазифаларини бажариш хоссаларидан фойдаланиб, турли хил ярим ўтказгичли диодлар (ўзга — рувчан токни пульсацияланувчи токка айлантиришда ишла — тилади), варикап ( $p-n$  — ўтиш электр сигими кучланишга боғлиқ ҳолда ўзгаради), стабилитрон (берилган маълум бир кучланишни ўзгармас (барқарор) тутиб тура оладиган диод)<sup>19</sup> ва фотодиодлар ясалган.

Иккита  $p-n$  — ўтишли тизим *транзистор* бўлади. Бу ас — боблар электр сигналларини кучайтириш учун мўлжаллан — ган. Уларнинг бир неча турлари мавжуд бўлиб, уларнинг бири билан танишамиз.

Транзистор  $n-p-n$  — тур ярим ўтказгич асосида (уни база дейилади) тайёрлаб, унинг икки четки соҳасига  $p$  — тур ўт — казувчанлик берадиган акцептор аралашма киритилган, шу йўл билан иккита  $p-n$  ва  $n-p-n$  — ўтиш ҳосил қилинган, на — тижада  $p-n-p$  — турдаги транзистор олинган (26 — расм). Одатда чапдаги  $p-n-p$  — ўтишга тўғри (мусбат) доимий кучланиш берилади, уни эмиттер ўтиш, тегишли  $p$  — соҳа эса



26 - расм

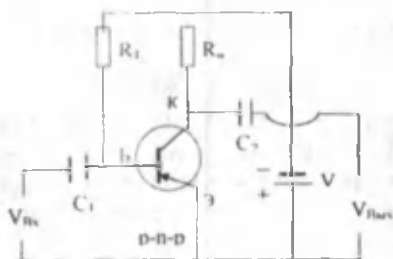
эмиттер соҳа дейилади. Ўнгдаги иккинчи  $n-p-n$  — ўтишга тескари (манфий) доимий кучланиш берилади, уни кол — лектор ўтиш ва унга тегишли  $p$  — соҳа коллектор соҳа дейи — лади. Базаси умумий бўлган  $p-n-p$  — транзисторнинг иш

<sup>19</sup> Стабилитронга кагга тескари кучланиш берилганда  $p-n$  — ўтишдаги электр майдон кучаяди. Бу майдон таъсирида электронлар валент зона — дан ўтказувчанлик зонасига ўтади. Валент зонада эса коваклар пайдо бў — лади, ярим ўтказгичнинг ўтказувчанлиги ошади, тескари ток кескин орғиб кетади, бу эса диоддаги кучланишнинг яна ошишига йўл кўймайди. Шу сабабли эришилган кучланиш қийматини барқарор сақлаб қолади.

режимда эмиттерга берилган тўғри кучланиш ундаги потенциал тўсинини пасайтиради, шу сабабли у орқали базага (n-соҳага) коваклар ўта бошлайди. Бу коваклар (диффузияланиб) ҳаракат қилиб, коллектор ўтишига етиб бориши билан, бу ўтишдаги электр майдон (n-дан p-га томон йуналган) ковакларни коллектор соҳасига ўтказиб туради. Шунини айтиш керакки, эмиттердан ўтган ковакларнинг қандайдир қисми (одатда у кичик) базада рекомбинацияланиб, йўқ бўлиб кетади. Шу сабабга кўра, эмиттер соҳада коваклар концентрацияси катта, n-базада эса электронлар концентрацияси нисбатан кичик қилиб олинади. Эмиттердан коллекторга боришда коваклар камайиб кетмаслиги учун база қалинлиги (d) мумкин қадар юпқа қилинади.

27-расмда эмиттери умумий бўлган p-n-p-транзистор схемаси келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики кириш ва чиқиш сигналлари учун эмиттер умумийдир. Бу ерда  $R_1$  қаршилик  $I_B$  токни чегаралайди.  $R_H$  қаршиликни бўлиши, транзистор кириш кучланишининг  $V_{Bx}$  ўзгариши натижасида ундан ўтаётган  $I_k$  токни ва ундаги чиқиш кучланишини ўзгаришига олиб келади (агар  $R_H$  бўлмаса кириш кучланиши қанчалик ўзгармасин  $I_k$  нинг қиймати  $V$  га тенг бўлади), яъни  $V_H = I_k R_H = I_B R_H$ .

Транзистор умумий эмиттер бўйича уланганда, ток ўзатиш коэффициенти  $V_{k,э} = \text{const}$  бўлади ва у  $\beta = \Delta I_k / \Delta I_B$



27-расм

ифода орқали топилади. Базадан ўтаётган  $I_B$  ток кучини ҳамда ундаги ток кучи ўзгаришини билган ҳолда, яъни:

$$I_B = I_s - I_k \text{ ва } \Delta I_B = \Delta I_s - \Delta I_k \quad (2.44)$$

$\beta = [\Delta I_k / (\Delta I_s - \Delta I_k)] = \alpha / (1 - \alpha)$  ни топамиз ( $\alpha = \Delta I_k / \Delta I_s$ ).

Ҳозирги зомон транзисторларида  $\beta = 1 \dots 200$  оралигида бўлади. Транзисторли электр схемаларни ҳисоблашда ва уларни анализ қилишда кўпинча транзисторларнинг  $h$  - параметридан фойдаланилади. Масалан, умумий эмиттер схемаси бўйича уланган транзисторнинг  $h$  - параметрини кўриб чиқайлик:

$$\begin{aligned} V_k = \text{const}, (\Delta V_k = 0) \text{ бўлганда } h_{11} &= |\Delta V_6 / \Delta I_6| \\ I_6 = \text{const}, (\Delta I_6 = 0) \text{ бўлганда } h_{(245)} &= |\Delta V_6 / \Delta V_k| \\ V_k = \text{const}, (\Delta V_k = 0) \text{ бўлганда } h_{21} &= |\Delta I_k / \Delta I_6| \\ I_6 = \text{const}, (\Delta I_6 = 0) \text{ бўлганда } h_{22} &= |\Delta I_k / \Delta V_k| \end{aligned} \quad (2.45)$$

бу ерда  $h_{11}$  - қаршилик ўлчамлигига эга бўлиб, коллектор - нинг ўзгармас кучланишда умумий эмиттер схемаси бўйича уланган транзисторнинг кириш қаршилигини ифодалайди;  $h_{12}$  - узилган киришнинг тескари боғланиш коэффициенти;  $h_{21}$  - умумий эмиттер схемаси учун ток бўйича кучайтириш коэффициентини характерлайди;  $h_{22}$  - ўтказувчанлик ўлча - мига эга бўлиб, узилган киришдаги транзисторнинг чиқиш ўтказувчанлигини характерлайди ( $h$  - параметрининг қиймати адабиётларда берилган).

Радиацион нуқсонлар кўпчилик ҳолларда ярим ўтказгич материалдаги заряд ташувчилар концентрацияси, ҳаракат - чанлиги ва уларнинг яшаш вақтига таъсир қилишини ол - динги ўтилган маърузалардан эсласак,  $p$ - $n$  - ўтишли ас - бобларни радиация таъсирида ўзгаришини тушуниш унчалик қийин эмас. Бошқача қилиб айтганда асосий заряд ташув - чиларни радиация натижасида камайиши  $p$ - $n$  - ўтишни диффузион ( $C_D = (q / kT) \tau_D$  - тўғри кучланиш берилганда  $p$ - $n$  - ўтишда ҳосил бўладиган сизим, бу ерда  $l$  - тўғри йўналиш бўйича ўтаётган токнинг қиймати,  $\tau_D = d^2 / 2D_p$  - асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг яшаш вақти) ва тў - сиқ ( $C_B = S \{ \epsilon \epsilon_0 / 2 \} [qN_D / (\phi_k - U)] \}^{1/2}$  - тескари кучланиш берилганда  $p$ - $n$  ўтишда ҳосил бўладиган сизим) сизимини, шу билан бирга заряд ташувчиларнинг яшаш вақтини ка - майишига олиб келади. Узун базали диодларда  $L_{p,n} \sim \mu\tau$  ва қисқа базали диодларда база кенглиги  $d$  ни камайиши тўйиниш токи ( $J_s = q(D_p P_n) / L_p$ ,  $J_s^x = q(D_p P_n) / L_p$ ) ни орти - шига олиб келади.

Радиация таъсирида  $p-n$  — ўтишдаги кучланишни тўғри тушиши ( $V_{\text{тўғри}}$ ) ундан ўтаётган тўғри ток миқдорига боғлиқ. У  $p-n$  — ўтишдаги ( $V_0$ ) ва базада ( $V_6$ ) тушаётган кучланишлар йиғиндисидан иборат:  $V_{\text{тўғри}} = V_0 + V_6$ , бу ерда  $V_0 = kT/\ln(J/J_s)$ ,  $V_6 = J_6$ . Солиштирма қаршилиқ ва тўғри — ниш токининг ортиши  $V_0$ ,  $V_6$  ўзгаришига олиб келади.

Фотоприёмникларда заряд тапшувчиларни яшаш вақти  $\tau$  ни ўзгариши (2.35) ифодага кўра фотоўтказувчанликни ўзгаришига олиб келади, яъни радиация таъсирида  $\tau$  камайса фотоприёмникни сезгирлиги камаяди. Айниқса космосда ишлаётган фотоэлементларга катта энергияли нурларнинг таъсири натижасида заряд тапшувчиларнинг диффузияланиш узунлигининг ( $L$ ) камайиши фотоэлемент электр юритувчи кучини (ЭЮК) камайишига олиб келади. Шунга ўхшаш транзисторларнинг кучайтириш коэффициентини  $h_{213}$  ҳам  $L$  нинг ўзгаришига жуда боғлиқ (умумий эмиттер бўйича ула — нишда  $h_{213} = |\Delta I_e/\Delta I_b| = 2D_p\tau_p/d^2 \sim 2L_{pB}^2/d^2$ ), яъни  $L$  нинг ка — майиши  $h_{213}$  ни камайишига олиб келади.

Шуни қайд қилиш керакки, юқори энергияли нурла — нишлар ҳар доимо ярим ўтказгичли асбобларнинг пара — метрларини ёмонлаштирамайди, балки маълум бир дозаларда уларни яхшилаш ҳам мумкин. Буни қуйидагича тушунти — риш мумкин. Ярим ўтказгич асбобларини тайёрлашдаги технологик жараёнларнинг такомиллаш — маганлиги  $L$  ни камайитиришга олиб келадиган турли нуқсонларни ҳосил қилади. Бу нуқсонлар кичик нурланиш дозаларида парчала — ниб, тартибланган структуралар сонини кўпайишига ва  $L$  ни катталаштиришига олиб келишилиги аниқланган.

Юқоридаги айтилганлардан хулоса чиқарсак, ярим ўт — казгичлар радиацион физикаси олдида турган муаммолардан бири яримўтказгич қурилмаларининг ишлаш вақтини ўзай — тириш ва бунга олиб келадиган физикавий жараёнларни ҳал қилишдан иборат.

Саволлар

1. Қандай электрон — ковак ўтишга эга бўлмаган ва бўлган ярим ўтказгичли асбобларни биласиз ?
2. Термистор билан фоторезисторнинг бир бирларидан фарқи нимада?
3. Фотоқаршилиқ билан фототранзисторларнинг бир бирла —

ридан фарқи нимада ?

4. Аралашмали ва хусусий фотоўтказувчанликлар бир – бирларидан қандай фарқ қилади?
5. Ярим ўтказгичдан тайёрланган тензометр қандай ишлай – ди?
6. Ярим ўтказгичларда заряд ташувчиларнинг концентра – цияси қандай эффе́ктуга асосан аниқланади ?
7. Термоэлектрик асбоблар қаерларда ишлатилади ва унинг унимдорлиги (эффе́ктивлиги) ярим ўтказгич материалнинг қандай параметрларига боғлиқ?
8. Нима сабабдан  $p-n$  – ўтишда электр майдони вужудга келади?
9. Потенциал тўсиқ баланглиги деганда нимани тушунасиз?
10.  $p-n$  – ўтишдаги ток кучи нималарга боғлиқ?
11. Қандай йўл билан потенциал тўсиқнинг баланглигини ( $\Phi_k$ ) топиш мумкин?
12. Транзисторни қандай қилиб кириш сигналинини кучайти – ришини тушунтиринг?
13. Ярим ўтказгичдан тайёрланган асбоблар параметрларини нурланиш таъсирида ўзгариши асосан нималарга боғлиқ?

## Хулоса

Қаттиқ жисмларни юқори энергияли заррачалар билан нурлантириш орқали унда ҳосил бўладиган нуқсонларни ўрганиш материаллар хусусиятини бошқариш, шу билан бирга янги турдаги хусусияти яхшиланган материалларни олиш имконини беради. Бу материалларни кенг кўламда ишлатиш учун қаттиқ жисмлар физикаси олдида ечилиши керак бўлган қуйидаги фундаментал муаммолар мавжуд:

– Қаттиқ жисмга юқори энергияли нурланиш таъсир қилганда, унда вужудга келадиган жарёнларни тушуниш ва шу асосда қаттиқ жисмда вужудга келадиган нуқсонлар на – зариясини яратиш;

– Чуқур энергетик сатқлар ярим ўтказгичларда элек – трон – ковак ўтишлар билан боғлиқ бўлган жуда кўп ва хилма – хил жараёнларда муҳим ўрин тутади. Шу сабабли улар ярим ўтказгичлардан тайёрланган асбобларнинг ишла – тиш имкониятини аниқлайди. Чуқур ва саёз сатқлар ҳосил қиладиган аралашмаларнинг ўзаро муносабати масалалари, аралашмаларнинг структуравий ва радиацион нуқсонлар билан ўзаро таъсири муаммолари фан ҳамда техникада энг долзарб муаммолар ҳисобланади;

– Ҳар хил дизлектрик материаллар ярим ўтказгичли ма – териаллардан тайёрланган асбобларда биргаликда ишлатил – ганлиги сабабли, бу материалларда юз берадиган радиацион жараёнлар ва уларда ҳосил бўладиган нуқсонларни, айниқса, материалнинг оптик хусусиятига таъсири етарлича ўрга – нилмаганлиги учун уларнинг нурланишга чидамлилигини олдиндан башорат қилиш муаммоси ҳам назарий, ҳам ама – лий жиҳатдан чуқурроқ ўрганишни талаб қилади. Юқоридаги масалаларни изчилик билан ўрганиш ишлари Республикамиз ва дунё олимлари томонидан олиб борил – моқда.



## АДАБИЁТ

1. Шебакин О.Д. Молекуляр физика. Ташкент: Ўқитувчи, 1984. 176 б.
2. Глинка Н.Л. Общая химия. Л.:Химия, 1972 г. 712 с.
3. Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела. М.:Металлургия, 1995. Том 1. 480 с.
4. Хомченко Г.П. Олий ўқув юртларига кирувчилар учун химядан қўлланма. Ташкент: Ўқитувчи, 1985. 352 б.
5. Зайнобиддинов С.З., Тешабаев А. Эрматов Ш. Қаттиқ жисм физикаси. Ташкент: Молия, 2001. 324 б.
6. Угай Я.А. Введение в химию полупроводников. М.: Высшая школа, 1975. 302 с.
7. Винецкий В.Л., Холадарь Г.А. Радиационная физика полупроводников. Киев: Наукова думка, 1979. 336 с.
8. Кристи Р., Питт А. Строение вещества: введение в современную физику. М., 1969. 596 с.
9. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. М.:Атомиздат, 1967. 401 с.
10. Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. М.:Мир, 1971. 367с.
11. Шалаев А.М., Адаменко А.А. Радиационно – стимулированное изменение электронной структуры. М.:Атомиздат, 1977. 176 с.
12. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники /Под ред.Ладыгин Е.А. М., 1980, 224 с.
13. Костюков Н.С., Маслов В.В., Муминов М.И. Радиационная стойкость диэлектриков.Ташкент:Фан,1981.216 с.
14. Никулин Н.В., Назаров А.С. Радиоматериалы и радиокомпоненты. М.:Высшая школа, 1978. 221 с.
15. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М.:Радио и связь, 1990. 264 с.

## М У Н Д А Р И Ж А

|   |     |
|---|-----|
| Кириш.....  | 3   |
| 1 Қаттиқ жисмларнинг тузилиши ва улардаги<br>нуқсонлар .....  | 3   |
| 1.1. Қаттиқ жисм ҳолати ҳақида тушунчалар .....   | 4   |
| 1.2. Атом электрон қобиқлари тўғрисида тушунча .....  | 9   |
| 1.3. Қаттиқ жисмлар классификацияси .....   | 13  |
| 1.4. Кимёвий боғланишлар .....  | 19  |
| 1.5. Қаттиқ жисмнинг электрон структураси .....   | 27  |
| 1.6. Қаттиқ жисмлардаги нуқсонлар .....   | 32  |
| 2. Юқори энергияли зарчалар оқимининг қаттиқ<br>жисм структурасига таъсири .....                    | 39  |
| 2.1. Нуқтовий нуқсонларни ҳосил бўлиши .....  | 40  |
| 2.2. Мураккаб нуқсонларни ҳосил бўлиши .....  | 48  |
| 2.3. Металларда ҳосил бўладиган радиацион нуқсонлар<br>ва уларнинг металл хусусиятига таъсири ..... | 51  |
| 2.4. Диэлектриклардаги электрофизик жараёнлар .....   | 60  |
| 2.4.1. Органик бўлмаган материалларнинг электрофизик<br>хусусиятига радиациянинг таъсири .....      | 66  |
| 2.4.2. Органик диэлектрик материалнинг электрофизик<br>хусусиятига радиациянинг таъсири .....       | 72  |
| 2.5. Ярим ўтказгичларда юз берадиган электрон – ковак<br>жараёнлар .....                            | 77  |
| 2.5.1. Ярим ўтказгич турлари ва уларнинг<br>электрофизик хусусиятлари .....                         | 78  |
| 2.5.2. Ярим ўтказгичларнинг электрофизик<br>хусусиятларига радиациянинг таъсири .....               | 85  |
| 2.6. Ярим ўтказгичли асбобларга радиациянинг<br>таъсири .....                                       | 91  |
| Хулоса .....  | 104 |
| Адабиёт .....   | 105 |



Босишга рухсат этилди 26.06.2006. Ҳажми 6,75 босма табок.  
Бичими 60/84 1/16. Адади 100 нусха. Буюртма 225.  
М.Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети  
босмахонасида чоп этилди.