

Ўзбекистон Республикаси

Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги

Андижон давлат университети

Физика-математика факультети

Физика йўналиши, III -босқич Ф1 гуруҳи талабаси

Ў.Қорабоевнинг

КУРС ИШИ

МАВЗУ: ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ФЕРМИ- ДИРАК
ТАҚСИМОТИ

Илмий раҳбар:

катт.ўқит. А.Қурбонов

Андижон-2017 й.

Р Е Ж А

Кириш

1. Яримўтказгичлар хақида умумий маълумотлар

2. Ферми-Дирак тақсимооти.

**3. Яримўтказгичларда Ферми сатҳи ҳолатини
аниқлаш.**

4. p-n-тур яримўтказгич.

Хулоса

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

Кириш

Яримўтказгич моддалар жахон фани ва техникасида салмоқли ўринни эгаллаб келмоқда. Улар асосида ишлаб чиқарилаётган асбоб ва қурилмалар миқдори тез купайиб, уларнинг турли соҳаларга тадбиқи кенгайиб бормоқда. Бунинг асосий сабаблари ярим ўтказгич моддаларининг ажойиб хоссаларидир: яримўтказгичлар турли ташқи таъсирларга жуда сезгир, улар заминида ишлаб чиқарилаётган асбобларнинг ўлчамлари, хажми кичик, ишлаш муддати катта ва бажарадиган хизматлари доираси жуда кенг.

Ҳозирги яримўтказгичлар қўлланилмаётган инсоният фаолияти соҳаларининг хаммасини сабабчи кўрсатиш қийин—улар автоматикада, телемеханикада, радиоэлектроникада, электир ҳисоблаш машинасида ва бошқа қатор соҳаларда ишлатилияпти десак муболаға бўлмайди. Бинобарин, ярим ўтказгичлар моддалар ва асбобларни тадқиқ этиш, уларнинг имкониятларини кенгайтириш ҳамда янги хоссаларини кашф қилиш масалалари ҳозирги замон олимлари олдида жуда катта аҳамиятга эгадир. Яримўтказгич орқали ўтаётган электрик токининг зичлиги ва шу яримўтказгичга берилган кучланиш орасидаги боғланишни топиш учун берилган шароитдаги электронлар билан коваклар концентрациясини билиш зарур.

Электронлар ва коваклар концентрациясининг тегишли миқдорий ифодасини топиш учун исботсиз икки қонидани қабул қиламиз. Булардан биринчиси, статистик физикага оид Ферми-Дирак тақсимооти функцияси бўлиб, у ҳар қандай алоҳида энергиявий сатҳнинг электрон билан тўлиш эҳтимоллигини кўрсатади. Квант механикасидан олинган иккинчи қоида эса, маълум энергиявий ораликдаги квант ҳолатлар зичлигини аниқлайди.

Ўтказувчанлик зонасидаги ва киришмавий сатҳлардаги электронлар зичлиги, шунингдек, валент зонадаги коваклар зичлигини Ферми сатҳи орқали ифодаланувчи муносабатларни топамиз.

1. Яримўтказгичлар ҳақида умумий маълумотлар

Яримўтказгичлар-модданинг ажойиб тури бўлиб, улар ўзига хос хоссалари билан бошқалардан яққол ажралиб туради. Умуман олганда, электрик ўтказувчанлигига қараб моддалар учта катта синфга: ўтказгичларга (электрик ўтказувчанлиги 10^6 Сим/м дан катта), яримўтказгичларга (электрик ўтказувчанлиги $10^{-8} \div 10^6$ Сим/м оралиғида) ва диэлектрикларга (электрик ўтказувчанлиги 10^{-8} Сим/м дан кичик) бўлинади. Яримўтказгичларнинг электрик ўтказувчанлиги жуда кенг ораликда ётиши юқоридаги маълумотлардан кўриниб турибди.

Шу билан бирга яримўтказгичларнинг ўзига хос муҳим хусусиятларидан бири электрик ўтказувчанлигининг улардаги киришмаларнинг тури ва концентрациясига ниҳоятда сезгирлигидир. Масалан, тоза яримўтказгичга $10^{-7} \div 10^{-10}$ % миқдорда киришма киритиш билан унинг электрик ўтказувчанлигини кескин ўзгартириш мумкин. Шу билан бирга яримўтказгичларнинг яна бир муҳим хусусияти - улар электрик ўтказувчанлигининг температурага ўта сезгирлигидир. Бундай боғланишни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\sigma = B \cdot \exp(-W_a / kT)$$

бу ерда, σ -берилган T -температурадаги электрик ўтказувчанлик, B -ўзгармас доимий, W_a -заряд ташувчиларнинг фаолланиш энергияси, k -Больцман доимийси, T -мутлақ температура.

Чунончи, яримўтказгичнинг температураси 1°C га ўзгарганда унинг электрик ўтказувчанлиги 5-6% га ўзгариши мумкин. Жуда кўплаб яримўтказгичларга ва улар асосида ясалган асбобларга ёруғлик, ионловчи нурлар ва шу кабиларнинг таъсирлари ҳам электрик ўтказувчанликнинг кескин ўзгаришига олиб келади. Бунга турли яримўтказгич детекторларни, ёруғлик диодларини, ёруғлик резисторларини ва қатор бошқа асбобларни ҳам

мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Шунинг эслатиб ўтиш жоизки, яримўтказувчанлик хоссаси фақат қаттиқ жисмларгагина хос бўлмай, суюқ ҳолатдаги органик бирикмалардан иборат шишасимон, аморф тузилишга эга бўлган яримўтказгичлар ҳам шундай хоссаларга эгадирлар.

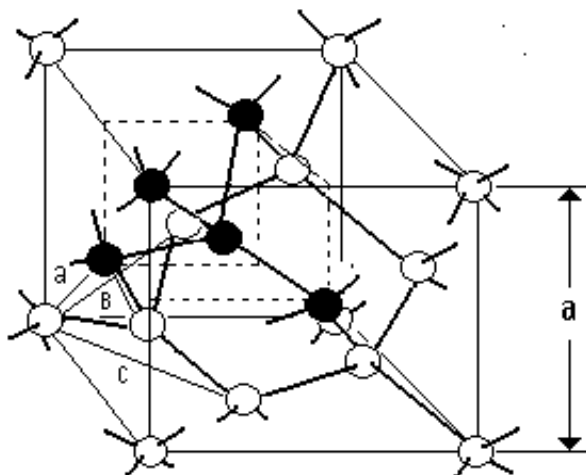
Улар ўзларининг бир қатор маълум камчиликлари туфайли ҳозирча техникада кенг татбиқ қилинганича йўқ. Қаттиқ жисмлардан яримўтказгич хоссасига эга бўлган моддалар қаторига жуда кўп турли моддалар, масалан, кремний, германий, бор, олмос, фосфор, олтингугурт, селен, теллур, кўпчилик табиий минераллар ва қатор бирикмалар: *GaAs*, *GaP*, *InSb*, *SiC*, *ZnS*, *CdTe*, *GaSb* ва ҳоказолар киради. Бу яримўтказгичлар ўзларининг хилма-хил хоссалари билан бир-бирларидан анча фарқ қиладилар. Шунинг учун ҳам турли мақсадлар учун турли яримўтказгичлар қўлланилади.

Бироқ, ҳозирги замон техникасида асосан бир неча хил яримўтказгичлар кенг ишлатилмоқда. Буларнинг ичида энг олдинги ўринларда кремний (*Si*), германий (*Ge*), галлий маргимуши (*GaAs*) туради. Айниқса кремний ҳозирги замон микроэлектроникасида ўзининг кўп хоссалари билан мураккаб технологик талабларга жавоб берганлиги сабабли асосий материал ўрнини эгаллаб турибди.

Электрон техникасида ишлатиладиган кўпчилик яримўтказгич материаллар кристалл тузилишга эга. Яримўтказгичнинг кристалл тузилиши нақадар мукамаллиги, унда турли нуқсонларнинг бор ёки йўқлиги ва уларнинг миқдори яримўтказгичнинг асосий хоссаларини белгилаб берувчи омилдир. Шу боисдан, қисқа бўлса ҳам асосий яримўтказгич моддалар - кремний ва германийнинг кристалл тузилиши ва унинг асосий хусусиятлари ҳақида тўхталиб ўтамиз.

Агар бирор модданинг атомлари унинг ҳажми бўйлаб ўзаро маълум даврийлик билан маълум ўзгармас масофаларда жойлашган бўлса, у ҳолда бундай модда кристалл тузилишга эга дейилади. Атомлар ана шундай тартиб билан жойлашиб кристалл панжарани ҳосил қилади. Мисол сифатида

кремний ва германийни олсак, уларнинг кристалл панжараси бир хил бўлиб, олмос кристалл (1-расм) панжарасининг ўзгинасидир.



1-расм. Олмос кристалл панжараси

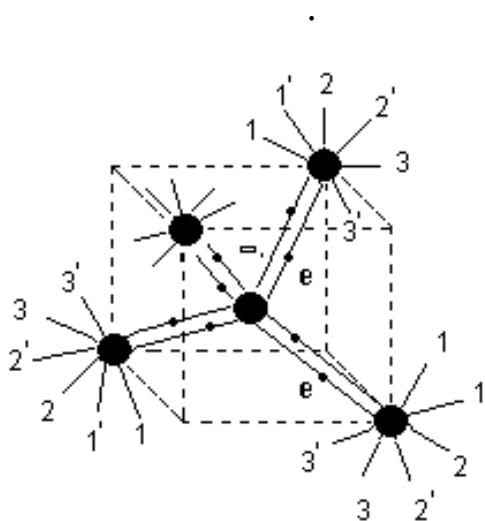
Ушбу кристалл панжарада ҳар бир атом тўғри тетраэдр учларида ўрнашган тўрттадан атом билан ўралган ҳолатда туради. Атомларнинг кристалл панжарада ана шундай тарзда мустаҳкам жойлашган нуқталари кристалл панжаранинг тугунлари дейилади. Бу атомларнинг ҳар бирини алоҳида қарасак, улар электрик жиҳатдан бетараф бўлади. Лекин шунга қарамасдан атомлар ўзаро етарлича боғланиш кучи билан тортишиб, ўз жойларида мустаҳкам туради. Ҳўш, бу қандай куч экан?

Бу куч кристалл панжарани ташкил қилувчи атомларнинг валент электронлари воситасида юзага келувчи кимёвий боғланиш кучидир. У одатда ковалент куч деб юритилади. Маълумки, биз таҳлил қилаётган кремний, германий ва углерод атомлари тўрт валентли бўлиб, тўрттадан валент электронларга эга. Демак, бундай атомлар бир вақтда тўртта атом билан ковалент боғланиш ҳосил қилиши мумкин.

Ковалент боғланишни юзага келтирадиган асосий сабаб бу ўзаро алмашилиш таъсиридир. Албатта, бу турдаги ўзаро таъсир квантмеханик табиатга эга. Икки атом орасида ушбу алмашилиш ўзаро таъсири юзага келиши учун уларнинг валент электронлари қобиклари қисман бўлса ҳам

устма-уст тушмоғи керак. Бошқача айтганда бу электронлар иккала атомга тегишли, яъни умумлашган бўлиб қолиши керак. Бунга энг муҳим омил олмос туридаги кристалл панжарада атомларнинг етарлича бир-бирига яқин ётганлигидир (бу масофа тахминан $2 \cdot 10^{-10}$ м га тенг).

Ундан ташқари ковалент боғланишнинг ўзига хос хусусияти шундаки, у маълум йўналиш бўйлаб, хусусан умумлашган электронларнинг энг кўп қисми мужассамлашган йўналиш бўйлаб юзага келади. Шундай қилиб, олмос панжарасига мансуб бўлган кристалларда (олмос, кремний, германий) ҳар бир атом ўзининг энг яқин атрофидаги тўртта атом билан ана шундай ковалент боғланган бўлади. Демак, кристаллнинг барча уячалардаги бу бешта атомни саккизта "умумлашган" электронлар ковалент боғланиш ҳосил қилиб кристалл панжаранинг тугунларида мустаҳкам ушлаб турар экан. Буни шартли равишда кремний учун (2-расм) қуйидагича акс эттириш мумкин.



2-расм. Кремнийда ковалент боғланиш

Шуни таъкидлаш лозимки, кристалл панжарада ковалент боғланишни ҳосил қилишда фақат валент электронлар қатнашади, холос. Яъни, атомнинг қолган барча ички электронлари ўз ядролари таъсирида қолиб, бундай боғланишда иштирок этмайди.

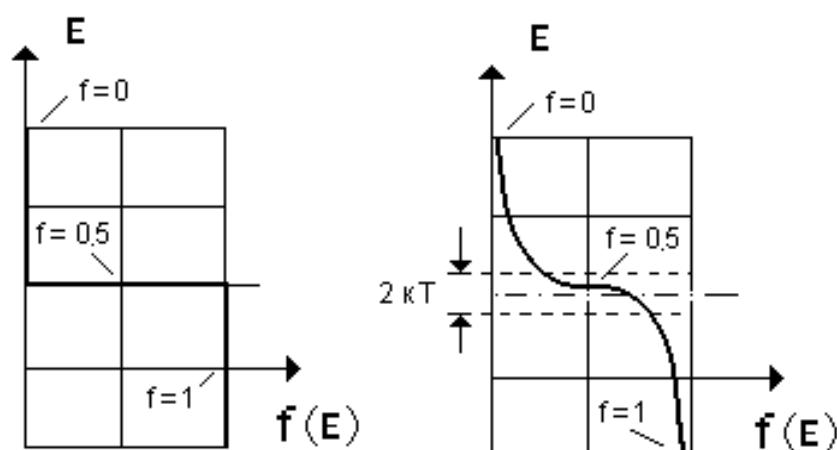
2. Ферми-Дирак тақсимоти

Мутлақ нол температурада кристаллдаги барча квант ҳолатлар маълум бир сатҳгача электронлар билан эгалланган ва бу сатҳдан юқоридаги барча ҳолатлар бўш (электронлар томонидан эгалланмаган) бўлади. Бирок юқорироқ температураларда баъзи бир электронлар юқори сатҳларга ўтиб уларни эгаллаши учун етарли энергияга эга бўлиб қолишлари мумкин.

Ферми-Дирак тақсимоат функцияси энергияси W бўлган сатҳнинг электрон билан эгалланган бўлиш эҳтимоллигини аниқлайди:

$$f(W) = \frac{1}{1 + e^{\frac{W - W_F}{kT}}} \quad (1.)$$

Бу ерда, k -Больцман доимийси, T -мутлақ температура.



3.-расм. Ферми-Дирак тақсимоат функцияси

W_F -энергиявий сатҳ Ферми сатҳи деб аталади. Бу шундай сатҳки, унинг электрон билан тўлиш эҳтимоллиги $1/2$ га тенг, чунки (1) ифодага кўра, агар $W = W_F$ бўлса, $f = 1/2$ га тенг. (1.) ифодага асосан $0 K$ да Ферми сатҳи электрон билан эгалланган ҳолатларни электрон билан эгалланмаган ҳолатлардан ажратувчи сатҳдир. Юқори температураларда Ферми сатҳи электрон билан кўпроқ эгалланган ҳолатларни камроқ эгалланган ҳолатлардан ажратиб туради. Тақсимоат функцияси Ферми сатҳига нисбатан симметрик эканлигига ишонч ҳосил қилиш қийин эмас.

Хусусий яримўтказгичда коваклар сони электронлар сонига тенг бўлганлиги ва тақсимот функциясининг симметриклиги сабабли Ферми сатҳи тақиқланган зонанинг деярли ўртасида ётади.

Киришмали яримўтказгичда акцептор ёки донор киришмадан қайси бири кўп бўлишига қараб, Ферми сатҳи ё валент зонага ёки ўтказувчанлик зонасига яқин ётади. Масалан, агар яримўтказгичда донор киришма кўп бўлса-Ферми сатҳи ўтказувчанлик зонасига яқинроқ; агар акцептор киришма кўп бўлса-валент зонасига яқинроқ ётади.

Ферми-Дирак тақсимои фақат маълум энергиявий сатҳнинг электрон билан эгалланганлиги эҳтимолини кўрсатишини эслатиб ўтамыз.

Динамик мувозанат ҳолатида электрон ва коваклар иссиқликдан уйғониш натижасида узлуксиз равишда ҳосил бўлиб туради. Шу билан бирга тескари жараён-эркин заряд ташувчиларнинг рекомбинацияланиб йўқолиши ҳам узлуксиз равишда содир бўлиб туради. Шу сабабдан тақсимот функцияси электронлар энергиясининг вақт бўйича ўртача тақсимотини кўрсатади.

Эркин заряд ташувчиларнинг концентрациясини аниқлаш. Киришма киритиш туфайли вужудга келган қўшимча квант ҳолатларни, алоҳида дискрет энергиявий сатҳлар сифатида қараш мумкин. Бу сатҳлар ΔW_d ва ΔW_a лар билан белгиланган. ΔW_d энергиявий квант ҳолатларининг сони кристаллга киритилган донор атомлар сонига тенг ёки агар 1 см^3 ҳажмли кристаллда, ΔW_d сатҳдаги квант ҳолатларнинг зичлиги донор атомлари концентрацияси N_d , см^{-3} га тенг бўлади.

Донор киришма атомларининг баъзилари ионлашган бўлиши, яъни ΔW_d энергиявий сатҳдаги электронларнинг баъзилари иссиқликдан уйғониши туфайли ўтказувчанлик зонасига ўтган бўлиши мумкин. Агар n_d электронлар ΔW_d энергиявий сатҳдаги ўз квант ҳолатларини сақлаб қолсалар, яъни донор

атомларининг n_d/N_d қисми ионлашмаган ҳолда қолса, электронлар концентрацияси қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$n_d = \frac{N_d}{1 + e^{(\Delta W_d - W_F) / kT}} \quad (2)$$

(2) тенглама ΔW_d энергиявий сатҳдаги донор ҳолатларидаги электронлар концентрациясини Ферми сатҳи ва температура билан боғлайди.

Хона температурасида германий ва кремний кристалли учун Ферми сатҳи одатда ΔW_d энергиявий сатҳдан бир неча kT қадар пастда жойлашади ва шунинг учун $[(\Delta W_d - W_F) / kT] \gg 1$ бўлади. Шу сабабли маҳраждаги 1 сони ҳисобга олинмаса (2) ифода қуйидагича кўринишда ёзилиши мумкин:

$$n_d = N_d e^{-(\Delta W_d - W_F) / kT} \quad (3)$$

(3) тенглама донор сатҳдаги электрон билан эгалланган ҳолатлар концентрациясини донор киришманинг концентрацияси- N_d , Ферми сатҳи- W_F ва мутлақ температура- T билан боғлайди.

Худди шу тарзда иссиқликдан уйғониши туфайли валент зонадан ΔW_a сатҳдаги акцептор ҳолатга ўтган электронлар концентрацияси n_a Ферми сатҳи W_F ва мутлақ температура T орқали қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$n_a = \frac{N_a}{1 + e^{(\Delta W_a - W_F) / kT}} \quad (4)$$

бу ерда, N_a -акцептор атомларнинг концентрацияси.

Ўтказувчанлик зонасидаги электронлар концентрациясини топиш нисбатан мураккаброқ масаладир. ўтказувчанлик зонасидаги квант ҳолатлар бу зонанинг туби W_c дан тақиқланган зонанинг қоқ ўртаси- $W_{1/2}$ қадар энергиявий ораликда жойлашган бўлади ва берилган ҳолатнинг

эгалланганлик эҳтимоллиги бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтганда ўзгариб туради.

Бу масалани ечиш учун исботсиз қабул этилган қоидаларнинг иккинчисидан фойдаланамиз: ўтказувчанлик зонасидаги W энергиявий сатҳ атрофидаги dW энергиявий оралиқдаги квант ҳолатлар зичлиги $g(W)dW$ қуйидагича муносабат билан ифодаланади:

$$g(W)dW = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \quad (5)$$

бу ерда, m_n -электроннинг самаравий массаси, h -Планк доимийси.

(5) тенглама ўтказувчанлик зонасининг пастки қисми учун ўринлидир. Бироқ кўпчилик электронлар бу зонанинг тубига яқин жойлашгани учун ундан етарли даражада аниқлик билан фойдаланиш мумкин.

(1) ва (5) тенгламалардан фойдаланиб, ўтказувчанлик зонасидаги электронлар зичлигини аниқлаш мумкин:

$$n = \int_{W_c}^{W_2} f(W)g(W)dW = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \int_{W_c}^{W_2} \frac{(W - W_c)^{\frac{1}{2}} dW}{e^{(W - W_c)/kT} + 1} \quad (6)$$

Агар хона температурасида $W_c - W_F$ энергиявий оралиқ бир неча kT га тенглигини ва W нинг ўсиши билан интеграл тез суръат билан камайишини (чунки кўпчилик электронлар юқорида қайд этилганидек ўтказувчанлик зонасининг тубига яқин жойлашган бўлади) ҳисобга олсак, (6) ифодани соддалаштириш ва қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$n = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \int_{W_c}^{\infty} (W - W_c)^{\frac{1}{2}} e^{-(W - W_F)/kT} dW \quad (7)$$

Бу интегрални ечиш ўтказувчанлик зонасидаги электронлар концентрацияси учун қуйидаги ифодани беради:

$$n = N_c e^{-(W_c - W_F)/kT} \quad (7)$$

бу ерда,

$$N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

N_c - ўтказувчанлик зонасидаги ҳолатларнинг самаравий зичлиги деб аталади. У ҳар бир яримўтказгич учун аниқ қийматга эгадир.

(6) ифода ўтказувчанлик зонасидаги эркин электронлар концентрациясини $W_c - W_F$ энергиявий оралиқ ва мутлақ температура T билан боғлайди. Хона температурасида германий учун $W_c \cong 5 \cdot 10^{-19} \text{ см}^{-3}$, кремнийда эса $W_c \cong 2,82 \cdot 10^{-19} \text{ см}^{-3}$.

Юқоридагига ўхшаш усул билан валент зонадаги коваклар концентрацияси, Ферми сатҳи ва температура орасидаги боғланишни топиш мумкин:

$$p = N_g e^{-(W_F - W_a)/kT} \quad (8)$$

бу ерда, N_v - валент зона юқори чегараси(шипи)нинг энергияси.

$$N_g = 2 \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

m_p -валент зонадаги ковакларнинг самаравий массаси, W_v -валент зонадаги ҳолатларнинг самаравий зичлиги дейилади. Бу катталиқ ҳам ҳар бир яримўтказгич учун маълум қийматга эга. Масалан, хона температурасида германий учун $W_v \cong 6,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, кремний учун эса $W_v \cong 1,02 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Эркин заряд ташувчилар концентрацияси n ва p ларнинг кўпайтмаси Ферми сатҳининг ҳолатига, яъни киришмалар концентрациясига боғлиқ эмаслигига эътиборни жалб қилмоқчимиз:

$$np = N_c N_g e^{-(W_c - W_g)/kT} = \text{const} \quad (10)$$

У ёки бу киришма яримўтказгичдаги электронлар концентрациясини оширса, у мос равишда коваклар концентрациясини шунча марта камайтириши ва аксинча, коваклар концентрациясини оширса, электронлар концентрациясини шунча марта камайтириши ушбу ифодадан кўриниб турибди.

Яримўтказгичлар тўрт хил зарядли зарраларга эга: ҳаракатчан заряд ташувчилар-ўтказувчанлик электронлари ва коваклари; ҳаракатсиз зарядлар-донор ва акцептор киришмаларнинг ионлашган атомлари. Булардан коваклар ва донор ионлар миқдор жиҳатдан электрон зарядига тенг мусбат зарядга, электрон ва акцептор ионлар эса манфий зарядга эга. Заряд миқдорининг сақланиш қонунига кўра, яримўтказгич кристаллидаги йиғинди заряд нолга тенг. Бундан, яримўтказгичда коваклар ва донор киришмалар ионларининг умумий сони электронлар ва акцептор киришмалар ионларининг умумий сонига тенг, деган хулоса келиб чиқади:

$$p + N_d^+ = n + N_a^- \quad (11)$$

бу ерда, N_d^+ ва N_a^- -донор ва акцептор киришмалар ионлашган атомларнинг концентрацияси.

Киришмалар концентрацияси ҳажм бўйлаб бир текис тақсимланган бир жинсли яримўтказгичларда бу қоида бутун кристалл учунгина эмас, балки унинг ҳар бир кичик ҳажмий элементи учун ҳам ўринлидир.

3. Яримўтказгичларда Ферми сатҳи ҳолатини аниқлаш

(11) тенгламани яна қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$p + (N_d - n_d) = n + N_a^- \quad (12)$$

Агар (2), (3) ва (8) тенгламаларни (11)га қўйилса, Ферми сатҳи ҳамда температурадан бошқа барча қолган катталиклар-яримўтказгичнинг тури, киришмаларнинг хили ва концентрацияси билан аниқланишини кўриш мумкин. Демак, W_F катталик температуранинг функцияси сифатида ифодаланиши мумкин. Умуман олганда, (11) тенглама трансцендент бўлиб, у график усулда ечилади. Бироқ кўпчилик амалий ҳолларда маълум соддалаштиришларни амалга ошириш ва шу шароитларда W_F ни етарли даражада аниқлик билан топиш мумкин.

Тоза яримўтказгичда N_d , n_d ва N_a^- нолга тенг ва шунинг учун (12) га асосан:

$$p = n \quad (13)$$

Бошқа турдаги яримўтказгичларга тегишли катталиклардан фарқли қилиш учун киришмасиз яримўтказгичнинг барча катталиклари i индекси билан берилади. Шунинг учун киришмасиз яримўтказгич учун $p = p_i$, $n = n_i$, $W_F = W_{F_i}$.

У ҳолда (6) ва (8) ларни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$n_i = N_c e^{-(W_c - W_{F_i}) / kT} = p_i \quad (14)$$

$$p_i = N_g e^{-(W_{F_i} - W_g) / kT} = n_i \quad (15)$$

Демак, хусусий яримўтказгичларда Ферми сатҳи ушбу тенгламадан:

$$N_c e^{-(W_c - W_{F_i}) / kT} = N_g e^{-(W_{F_i} - W_g) / kT} \quad (16)$$

қуйидагича кўринишда топилади:

$$W_{F_i} = \frac{W_c - W_g}{2} + \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{N_g}{N_c} \right) \quad (17)$$

(7) ва (9) ифодалардан фойдалансак, W_{F_i} учун шундай муносабат оламиз:

$$W_{F_i} = \frac{W_c - W_g}{2} + \frac{3kT}{4} \ln \left(\frac{m_p}{m_n} \right) \quad (18)$$

Электронлар ва ковакларнинг самаравий массалари деярли тенг бўлгани учун (18) ифода киришмасиз яримўтказгичларда Ферми сатҳи тақиқланган зонанинг ўртасига жуда яқин ётишини кўрсатади. Шундай қилиб, $m_p=m_n$ деб қабул қилсак, қуйидагича ёзиш мумкин:

$$W_{F_i} = \frac{W_c + W_g}{2} \quad (19)$$

(13) ва (14) ифодалардан қуйидаги муносабатни олиш мумкин эканлигига эътиборни жалб қиламиз:

$$p_i \equiv n_i = (N_c \cdot N_g)^{1/2} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (20)$$

Германий учун тақиқланган зонанинг кенглиги $\Delta W = W_c - W_g = 0,67$ эВ ва $N_c = N_g \cong 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ эканлиги ҳисобга олсак, хона температураси шароитида хусусий ўтказувчанликли германийдаги эркин заряд ташувчилар концентрацияси учун $n_i = p_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ тахминий қийматни оламиз. Тақиқланган зонаси кенглиги 1,12 эВ га тенг бўлган кремнийда эса, $n_i = p_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

4. *p-n*-тур яримўтказгич

Агар донорлар концентрацияси N_d акцепторлар концентрациясидан анча кўп бўлса, (11) тенгламада n_a ни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Шунингдек, барча донорлар ионлашган деб фараз қилиш мумкин, чунки хона температурасида германий ва кремний учун бемалол шундай деб олса бўлади. Бунга қўшимча равишда валент зонадаги коваклар концентрацияси

ўтказувчанлик зонасидаги электрон(асосий заряд ташувчи)лар концентрациясидан анча кам деб қабул қилсак, (11) тенглама:

$$n_n \cong N_d \quad (20)$$

кўринишни олади, бу ерда, "n"-индекс ушбу катталик n -тур яримўтказгичга тегишли эканини кўрсатади.

Энди Ферми сатҳи учун (6) ва (21) тенгламалардан қуйидаги ифодани оламиз:

$$W_{F_n} = W_c - kT \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \quad (22)$$

n -тур яримўтказгичдаги ноасосий заряд ташувчилар-коваклар концентрациясини топиш учун (1.41) дан олинган катталикни (1.28) ифодага кўямиз. Натижада қуйидаги муносабат келиб чиқади:

$$p_n = \frac{N_c N_g}{N_d} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (23)$$

Агар акцепторлар концентрацияси донорлар концентрациясидан катта бўлса, тенгламада N_d ва n_d катталикларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Шунингдек, барча акцепторлар валент зонадан электрон олган, яъни $n_a = N_a$ деб қабул қилсак бўлади. Хона температурасида шундай ҳолат тўлиқ равишда ўринли бўлади. Бунга қўшимча равишда, валент зонадаги коваклар концентрацияси ўтказувчанлик зонасидаги электронлар концентрациясидан анча катта деб фараз қилсак, (11) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$p_p \cong N_a \quad (24)$$

бу ерда, "р"-индекс ушбу катталик p -тур яримўтказгичга тегишли эканлигини кўрсатади.

Энди (8) ва (24) ифодалар ёрдамида Ферми сатҳини аниқлаш мумкин:

$$W_{F_p} = W_g + kT \ln \left(\frac{N_g}{N_a} \right) \quad (25)$$

(25) тенгламадан топилган W_F нинг қийматини (6) ифодага қўйсак, p -тур яримўтказгичдаги ноасосий заряд ташувчилар электронлар учун қуйидаги муносабатни оламиз:

$$n_p = \frac{N_c N_g}{N_a} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (26)$$

(25) ифодадан кўринишича, Ферми сатҳи n -тур яримўтказгичда валент зонанинг шипига яқин жойлашар экан.

Хулоса

Ҳозирги яримўтказгичлар қўлланилмаётган инсоният фаолияти соҳаларининг хаммасини сабабчи кўрсатиш қийин—улар автоматикада, телемеханикада, радиоэлектроникада, электр хисоблаш машинасида ва бошқа қатор соҳаларда ишлатилияпти десак муболаға бўлмайди. Бинобарин, ярим ўтказгичлар моддалар ва асбобларни тадқиқ этиш, уларнинг имкониятларини кенгайтириш ҳамда янги хоссаларини кашф қилиш масалалари ҳозирги замон олимлари олдида жуда катта аҳамиятга эгадир.

Электрон техникасида ишлатиладиган кўпчилик яримўтказгич материаллар кристалл тузилишга эга. Яримўтказгичнинг кристалл тузилиши нақадар мукамаллиги, унда турли нуқсонларнинг бор ёки йўқлиги ва уларнинг миқдори яримўтказгичнинг асосий хоссаларини белгилаб берувчи омилдир.

Ферми-Дирак тақсимот функцияси энергияси W бўлган сатҳнинг электрон билан эгалланган бўлиш эҳтимоллигини аниқлайди. W_F -энергиявий сатҳ Ферми сатҳи деб аталади. Бу шундай сатҳки, унинг электрон билан тўлиш эҳтимоллиги $1/2$ га тенг, чунки (1) ифодага кўра, агар $W=W_F$ бўлса, $f=1/2$ га тенг. (1.) ифодага асосан 0 K да Ферми сатҳи электрон билан эгалланган ҳолатларни электрон билан эгалланмаган ҳолатлардан ажратувчи сатҳдир. Юқори температураларда Ферми сатҳи электрон билан кўпроқ эгалланган ҳолатларни камроқ эгалланган ҳолатлардан ажратиб туради. Тақсимот функцияси Ферми сатҳига нисбатан симметрик эканлигига ишонч ҳосил қилиш қийин эмас. Биз юқорида Ферми-Дирак тақсимои фақат маълум энергиявий сатҳнинг электрон билан эгалланганлиги эҳтимолини кўрсатишини эслатиб ўтдик.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. С.З.Зайнобидинов, А.Тешабоев. Яримўтказгичлар физикаси. Т. “Ўқитувчи” 1999.
2. А.Тешабоев. Яримўтказгичлар физикасига кириш (Кристаллар. Электрон ҳолатлари спекти. Заряд ташувчилар статистикаси). Т.,1985, ТошДУ наширёти.
3. А. Тешабоев, Р. Алиев «Қайта тикланаётган энергетика» «Андижон» 2006 йил
4. Х. Акромов, С.Зайнобиддинов, А. Тешабоев «Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар» «Ўзбекистон» 1994 йил.