

А. А. ХОЛИКОВ

ЭЛЕКТРОН
ҚУРІЛМАЛАРИ,
АНАЛОГЛИ
ВА РАҚАМЛИ
СХЕМОТЕХНИКА

А.А. ХОЛИҚОВ

**ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАРИ,
АНАЛОГЛИ ВА РАҚАМЛИ
СХЕМОТЕХНИКА**

Ўзбекистон Республикаси Олий
ва ўрта махсус таълим вазирлиги
томонидан тасдиқланган дарслик,
«Телкоммуникация» ва «Радиотехника»
йўналишида тахсил олаётган
талабаларга мўлжалланган

УДК 621.385

Холиқов А.А.

Электрон қурилмалари, аналогли ва рақамли схемотехника:
Олий ўқув юрғлари учун дарслик. "Темирўулчи" 2002 - 160 бет.

Дарсликда электрон асбобларни ишлаш принципи, характеристикалари келтирилган ва уларни функционал имкониятлари, оптимал иш ҳолатлари ҳамда электрон қурилмаларининг схемалари, аналогли ва рақамли схемотехникалари баён этилган.

Олий ўқув юрғларининг "Телекоммуникация" ва "Радиотехника" йўналишида ўқиётган талабаларга мўлжалланган.

Тақризчилар:

Тошкент Темир Йўл Муҳандислари Институтининг «Электр таъминоти» кафедрасининг мудирини т.ф.д. профессор Усмонхўжаев Н.М., Тошкент Электротехника Алоқа Институтининг профессори Х.Қ. Орипов ва Тошкент Давлат Техника Университетининг «Радиотехника ва Радиотизимлари» кафедрасининг доценти т.ф.н. Умаров Ф.Ф.

X $\frac{2302030000}{707 (10) - 02}$ 02

І. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

1.1. Ярим ўтказгичлар

Атрофимиздаги жисмларнинг кўпчилиги ярим ўтказгичлардир. Улар қаторига кўп минераллар, оксидлар, металлларнинг олтингугурт, селен ва теллур билан бирикмалари (сульфидлар, селенидлар ва теллуридлар), шунингдек, кўп органик бирикмалар киради. Ярим ўтказгичларга Д.И.Менделеев даврий системасидаги IV, V ва VI гуруҳларнинг кўпчилик элементлари ҳам киради. 1.1-расмда ярим ўтказгичлар хоссасига эга бўлган элементларнинг Д. И. Менделеев жадвалида тутган ўринлари кўрсатилган.

Гурӯҳ / Давр	II	III	IV	V	VI	VII	
II	Be	B	C	N	O	F	
III		Al	Si	P	S	Cl	
IV		Ca	Ge	As	Se	Br	
V		In	Sn	Sb	Te	J	
VI			Pb	Bi	Po	At	

1.1-расм. Ярим ўтказгич элементларнинг Менделеев даврий системасида тутган ўринлари.

Уларнинг чап ва пастки томонларида типик металллар, ўнг ва юқори томонларида эса типик диэлектриклар жойлашган.

Элементлар ичида асл ярим ўтказгичлар кремний билан германий бўлиб, улар ярим ўтказгичли асбобларда кенг қўлланилади. Кўпчилик ярим ўтказгичлар қаттиқ кристалл моддалардир; бироқ баъзи суюқ ва шишасимон моддаларнинг ҳам ярим ўтказгичлик хоссалари бор.

Ярим ўтказгичлардан ток ўтаётганда ҳеч қандай кимёвий ўзгариш юз бермайди; демак, ярим ўтказгичларда ток ташувчилар ионлар эмас, балки электронлар экан.

Электр ўтказувчанлиги (уй температурасида) жиҳатидан ярим ўтказгичлар металллар билан диэлектриклар ўртасида туради. Металлларнинг солиштирма қаршилиги 10^{-6} дан 10^{-4} ом-см гача, ярим ўтказгичларники 10^{-4} дан 10^{11} ом-см гача, диэлектрикларники эса 10^{11} дан 10^{18} ом-см гача бўлади.

Барча ярим ўтказгичларнинг характерли умумий хоссаси турли ташқи омиллар, масалан, температура, ёруғлик, босим, кучли электр майдони ва

ҳоказолар таъсирида электр ўтказувчанлигининг кескин ўзгаришидир. Ундан ташқари, ярим ўтказгичларга арзлмаган даражада аралашма қўшилганда уларнинг электр ўтказувчанлиги бир неча миллион марта ўзгариши мумкин.

Буларнинг ҳаммасига ярим ўтказгичларда электронларнинг концентрацияси кам эканлиги (металлардагига нисбатан) ва унинг ташқи омилларга боғлиқлиги сабаб бўлади. Металларда эркин электронларнинг концентрацияси $n=10^{22}-10^{23}$ см⁻³ тартибда бўлгани ҳолда баъзи ярим ўтказгичларда уй температурасида $n=10^{10}$ см⁻³ га, 700°C да эса $n=10^{18}$ см⁻³ га тенгдир.

Ярим ўтказгичнинг металлдан асосий фарқи шундаки, металлда абсолют нолдаёқ электронларнинг концентрацияси шундайки, температура кўтарилиши билан бу концентрация деярли ўзгармайди, ярим ўтказгичларда эса электронларни эркин ҳолатга ўтказиш учун W энергия сарфлаш (қизитиш ёки ёритиш йўли билан) керак бўлади. W энергиянинг қиймати қанча катта бўлса, ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги температура ва бошқа ташқи таъсирларга шунча камроқ боғлиқ бўлади. Ўтказгич бўлмаганлар учун W энергиянинг қийматлари жуда катта бўлиши характерлидир. Масалан, соф германий учун $W=0,75$ эв, $NaCl$ учун эса $W=10$ эв.

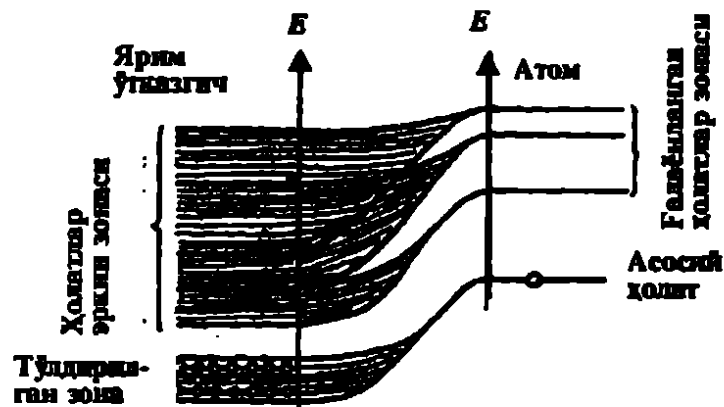
1.2. Электр ўтказувчанликнинг зоналар назарияси ҳақида тушунча

Қаттиқ жисмнинг электр ўтказувчанлигига сабабчи бўладиган электронлар ўтказувчанлик зонаси электронлари деб аталади, бунда «зона» деганда зич жойлашган энергетик сатҳлар тўплами тушунилади. Квант қонунларини баён этишда биз электронларнинг мумкин бўлган энергетик сатҳлар бўйлаб тақсимланишини белгиловчи жуда муҳим ва умумий бўлган Паули принципини тушунтириб ўтамиз. Ҳозирча фақат бу принципга биноан бир системага тегишли барча электронлар турли квант ҳолатида бўлишини қайд қилиб ўтамиз.

Мувоzanат ҳолатда системанинг энергияси энг кичик бўлади. Бироқ Паули принципи ишни мураккаблаштиради. Паули принципига мувофиқ, электронларнинг айний, бир-биридан фарқ қилмайдиган квант ҳолатларда бўлиши мумкин эмас. Шунинг учун электронлар сони етарли бўлганда квант қонунларига биноан минимал энергияли энергетик ҳолатлар (қуйи энергетик «сатҳлар») гуё тўлиб туради. Кичик энергияли бу ҳолатларни баъзи электронлар «эгаллаб» тургани учун, электронларнинг айний ҳолатларда туришини «таъқиқловчи» Паули принципига биноан, қолган электронларга каттароқ энергияли ҳали бўш сатҳларни эгаллашга тўғри келади.

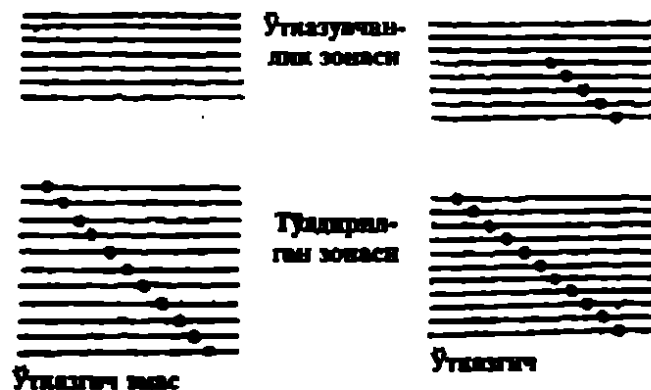
Агар N дона бир хил атом битта кристалл бўлиб бириккан бўлса, у ҳолда электронларнинг энергетик ҳолатига атомларнинг ўзаро таъсирлари таъсир кўрсата бошлайди. Бундай ўзаро таъсир натижасида электроннинг нсталган бир энергетик ҳолати N та ўзаро яқин ҳолатларга ажралади, бу ҳолатларнинг ҳар бирида фақат биттадан электрон тура олади. Шундай

қилиб, атомдаги алоҳида энергетик сатҳлар ўрнига кристаллда кенг энергетик минтақалар (одатда булар зоналар деб аталади) ҳосил бўлади ва бу зоналардаги сатҳлар сони кристаллдаги атомлар сонига тенг бўлади (1.2-расм).



1.2-расм. Электронларнинг энергетик ҳолатлари.
Ўнгда – изоляцияланган атомда, чапда – ярим ўтказгичда

Исталган қаттиқ жисмда: диэлектрикда ҳам, ўтказгичда ҳам энг қуйи энергетик сатҳларда турадиган ва барча бу сатҳларни «тўлдириб» турувчи электронлар бор. Бундай электронлар тўлдирилган зона электронлари деб аталади. Улар электр ўтказувчанликда ҳам, иссиқлик ўтказувчанликда ҳам иштирок этмайди. Агар мумкин бўлган квант сатҳлар тўплами электронлар билан бутунлай тўлган (Паули принципи маъносида электронларга тўйинган) бўлса, у ҳолда электронларнинг бундай системаси гўё боғлаб қўйилгандек, электр токи ҳодисасида иштирок этиш қобилиятидан маҳрумдек бўлади. Электр майдони электронга таъсир этиб, ўнга қўшимча тезлик бериши ва шу билан уни яқин турган юқорирок сатҳга «кўтариши» зарур эди. Бироқ барча мумкин бўлган энергетик сатҳларнинг ҳаммаси «эгалланган» бўлса, у ҳолда юқорида айтилган ҳодиса юз бермайди.



1.3-расм. Ўтказгич бўлмаган ва ўтказгичнинг энергетик схемалари.

Электр токи ҳодисасида фақат юқориги энергетик сатҳлардаги, шу билан бирга электронлар билан тўлган сатҳлар устида электронлар билан тўлмаган сатҳлар ётган зонадаги электронларгина ишгирок этиши мумкин. Албатта, юқорида ётган ва ҳали электронлар билан тўлмаган энергетик сатҳлар доим топилади, "бирок улардаги энергия тўлган сатҳлар зонасидагидан кўп фарқ қилиши мумкин. Бундай ҳолда, яъни тўлмаган сатҳлар зонаси тўлган сатҳлар зонасидан катта энергия фарқи билан ажралган бўлса, у ҳолда электронга фақат кичкинагина қўшимча энергия беришга қодир бўлган электр майдони электронни ўзи турган сатҳдан бошқа бирор сатҳга ўткази олмайдиган ва демак, жисм электр ўтказувчанликка эга бўлмайди.

Айтилганлардан равшанки, ўтказгичлар ва ўтказгич бўлмаган моддалардаги электронларнинг ҳолатини 1.3-расмда тасвирланган кўпол схема билан тасвирлаш мумкин. Агар биз жуда кўп электронлар билан бирга жуда кўп энергетик сатҳларни тасаввур қилганимизда ҳақиқатта бир оз яқинлашган бўлар эдик. Бунда энергетик сатҳларнинг тақсимоли текис эмас ва турли табиатли жисмлар учун турлича эканлигини ҳисобга олиш керак. 1.3-расм электр ўтказувчилар билан электр ўтказмайдиган моддалар орасидаги асосий фарқини кўрсатади.

Тўлмаган зонада, яъни ўтказувчанлик зонасида электронлар мавжуд бўлса, жисм электр ўтказувчан бўлади. Металларда, ҳатто абсолют нол температурада ҳам бундай электронлар жуда кўп бўлади. Диэлектрикларда бундай электронлар йўқ. Ярим ўтказгичларда эса уларнинг сони чегараланган.

Модда старли даражада қиздирилганда электронлар тўла зонадан ўтказувчанлик зонасига ўтади. Юқори сифатли ўтказгич бўлмаганларда тўла зонанинг энг юқори сатҳлари билан тўла эмас зонанинг энг қуйи сатҳлари орасидаги энергия фарқи жуда катта бўлади. Шунинг учун уларда жуда юқори температурадагина сезиларли электрон ўтказувчанлик юз беради. Ярим ўтказгичларда аксинча, мазкур зоналар яқин жойлашган (1.4-расм). Шунинг учун паст температураларда улар электр токини ҳеч ўтказмаса ҳам, температурани бир оз кўтарганда ярим ўтказгичдаги кўп электронлар тўла бўлмаган зонага сакраб ўтади ва ярим ўтказгич электр ўтказувчанликка эга бўлиб қолади.

Электр токи ҳодисасида тўла зона (бу зона ундан юқоридаги зонага баъзи электронлар сакраб ўтиб кетганини туфайли қисман, масалан 1.4-расмдагидек, бўшаб қолганида) электронлари ишгирок этиши туфайли намоён бўлувчи электр ўтказувчанликнинг алоҳида тури жуда ажойибдир. Баъзи сатҳларда ҳосил бўлган «бўш жойлар»ни пастроқ сатҳлардаги электронлар электр майдони таъсирида тўлдирлади. Янги ҳосил бўлган бўш жойларни ҳам камроқ энергияга эга бўлган ва электр майдонида қўшимча энергия олган электронлар тўлдирлади. Шундай қилиб, «бўш жой» (бошқача айтганда «тешик») электронлар кўчаётган йўналишга тесқари томонга қараб кўчади. Тешик худди мусбат заряддек кўчади. Бирок тешикнинг бундай ҳаракати аслида қатор электронларнинг майдон таъсирида кўчишининг намоён бўлишидан иборатдир.



1.4-расм. Яхши ўтказгич бўлмаган билан ярим ўтказгичнинг энергетик схемаларини таққослаш.

Шунга ўхшаган ҳодисани олдинги қаторлардаги жойлар бўш қолган маъруза хонасида кузатиш мумкин. Бўш жойлардан кейин ўтирган тингловчилар маърузачига яқинроқ жойга ўтадилар, уларнинг жойларига эса яна ҳам узокроқ ўтирган тингловчилар ўтади. Шу йўсинда бўш жойлар маърузачидан нарига қараб ҳаракатланади, бу эса тингловчиларнинг маърузачига томон яқинлашаётганлигини кўрсатади.

Ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги электроли ва тешикли ўтказувчанликлардан ташкил топади.



1.5-расм. Донорнинг ярим ўтказгичда электронлар сатҳларининг энергетик схемасига таъсири.

Ярим ўтказгичларнинг электр хоссалари ёт аралашмаларга кўп боғлиқдир. Ёт аралашма қўшилганда ярим ўтказгичнинг ўтказувчанлиги кўпроқ электронли ёки кўпроқ тешикли бўлиб қолиши мумкин. Ёт

аралашмалар қўшимча атом ва электронлар билан бир қаторда тўла зона билан ўтказувчанлик зонаси орасига оралик энергетик сатҳлар киритади. 1.5-расмда асосан электронли ўтказувчанлик хоссасини берадиган атомлар аралашмасига (бундай ёт аралашмалар донорлар деб аталади) эга бўлган ярим ўтказгичнинг энергетик схемаси тасвирланган. Бу ҳолда аралашмалар ҳосил қилган ва электронлар билан тўлган оралик сатҳлар ўтказувчанлик зонасига яқин жойлашган бўлади. Температура кўтарилганда электронлар ёт аралашмалар ҳосил қилган оралик сатҳлардан ўтказувчанлик зонасига тўла зонадаги электронларга қараганда осонроқ сакраб ўтиши мумкин. Электронли ўтказувчанлик ҳосил бўлишига қарамасдан асосий тўла зонада «бўш жойлар» бўлмаслиги ҳам мумкин; тешикли ўтказувчанлиги бўлмаслиги ҳам мумкин.

Бошқа атомларнинг аралашмалари ярим ўтказгичда кўпроқ тешикли ўтказувчанлик юзага келтириши мумкин (бундай аралашмалар акцепторлар деб аталади). Бундай атомлар ортиқча бўлса, электронлар эгалламаган ва тўла зонага яқин жойлашган оралик сатҳлар юзага келади (1.6-расм). Температура кўтарилганда электронлар тўла зонадан ўша оралик сатҳларга сакраб ўтади ва тўла зонада жуда кўп миқдорда тешиклар ҳосил бўлади, бу эса ўтказувчанлик зонасида электронлар йўқлигига қарамасдан электр ўтказувчанликнинг бўлишига олиб келади.



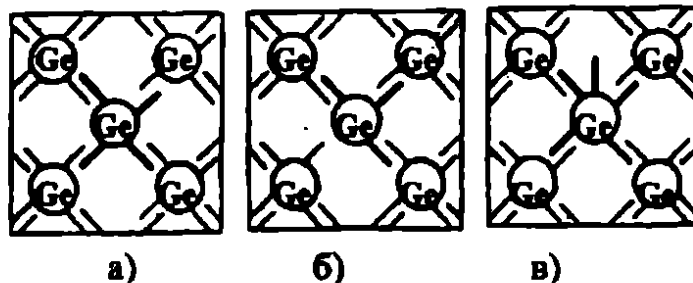
1.6-расм. Акцепторнинг ярим ўтказгичдаги электрошлар сатҳларининг энергетик схемасига таъсири.

Ёт аралашма юзага келтирадиган ўтказувчанликнинг табиатини яхшироқ тушуниб олиш учун типик ярим ўтказгич—германийнинг кристалл панжарасида аралашма атоми қандай таъсир кўрсатишини муфассалроқ таҳлил қилайлик. Германий Менделеев даврий системасидаги тўртинчи гуруҳнинг тўрт валентли элементидир. Германийнинг кристалл панжарасида ҳар бир атом энг яқин тўртта қўшни атом билан бир-бирига таъсир қилади; бу ўзаро таъсирда саккизта электрон қатнашади: тўртта электрон шу атомнинг ташқи қобилиники бўлса, қолган тўрттаси қўшни атомларнинг ташқи қобилиники бўлади (1.7-расм).

Германий атомларидан бирортасининг ўрнига валентлиги бошқача бўлган ёт атом кириб қолсин, деб фараз қилайлик. У ҳолда ёт аралашма атомининг яқинида валентлик боғланишлар системаси бузилади. Бунда икки ҳолдан бири юз бериши мумкин:

1) агар ёт атом бешинчи гуруҳнинг вакили, яъни беш валентли (масалан, P ёки As атоми) бўлса, у ҳолда ёт атомнинг бешинчи валентлик электрони ортиқча бўлиб қолиб, ундан енгилгина ажралиб кетади ва кристаллда кезиб юради; ташқаридан электр майдони қўйилган бўлса, бу электрон ўтказувчанлик электронига айланади, яъни бундай ёт аралашма донор бўлиб хизмат қилади (1.5-расм);

2) агар германий панжарасидаги аралашма атоми учинчи гуруҳнинг вакили (бор, алюминий ёки индий), яъни уч валентли бўлса, у ҳолда бундай атом қўшни германий атомидан битта электронни ўзига бириктириб олиш қобилиятига эга бўлади; бунинг бўлиши учун иссиқлик ҳаракати ёки фотон воситаси билан электронга бирор энергия бериш керак. Бунда германий панжарасида вакант электрон ўрни («тешик») ҳосил бўлади. Бу вакант ўрн бирор тугунда доимий қолиб кетмайди, балки бу жойга электронлар ўтиб турганлиги туфайли кристалл бўйлаб хаотик кезиб юради. Электр майдонида тешик маълум йўналишда ҳаракат қилади: электронлар ўтиш вақтида асосан майдонга тесқари йўналишда кўчади, тешикнинг ўзи эса худди мусбат зарядли заррача каби майдон бўйлаб ҳаракатланади (электронларнинг эстафетаси тешикнинг ҳаракатидан иборат бўлиб қолади).



1.7-расм. Кристалл панжаралардаги электрон боғланишлар.

а - соф германий; б - германийда бор аралашмаси бўлганда; в - германийда фосфор аралашмаси бўлганда

Электронли ўтказувчанлик хусусияти кучли бўлган ярим ўтказгичлар n (*negative*—манфий) типдаги ярим ўтказгичлар деб, тешикли ўтказувчанлик хусусияти кучли бўлган ярим ўтказгичлар эса p (*positive*—мусбат) типдаги ярим ўтказгичлар деб юритилади.

1.3. Ташқи майдон бўлмаган ҳолатдаги электрон-тешикли ўтказувчанлик

Диффузия жараёнида динамик тенг ҳолат ва электрон-тешикли ўтишдаги дрейф. Кўрилатган p - n структурада тешик концентрацияси тешик



Bu tanishuv parchasidir. Asarning to'liq versiyasi <https://kitobxon.com/uz/asar/3225> saytida.

Бу танишув парчасидир. Асарнинг тўлиқ версияси <https://kitobxon.com/uz/asar/3225> сайтида.

Это был ознакомительный отрывок. Полную версию можно найти на сайте <https://kitobxon.com/ru/asar/3225>