

Жартылай өткізгіштер:кі өткізгішті бір - біріне түйістірген кезде жылулық қозғалыстың әсерінен электрондар бір өткізгіштен басқа өткізгішке өтеді. Егер түйісетін өткізгіштер әртүрлі материалды болып келсе немесе олардың әртүрлі нүктелеріндегі температуралары бірдей болмаса, онда электрондар диффузиясының екі жақты ағындары бірдей болмайды, осының нәтижесінде бір өткізгіш оң, ал екіншісі - теріс зарядталып қалады. Сондықтан өткізгіштің ішінде және өткізгіштер арасындағы сыртқы кеңістікте электр өрісі пайда болады. Тепе - теңдік күйінде өткізгіштің ішінде диффузия ағындарының айырмашылығын дәл компенсациялайтын өріс тұрақталады. Осы электр өрістерінің болуына өткізгіш - өткізгіш, өткізгіш-жартылай өткізгіш, жартылай өткізгіш - жартылай өткізгіш түйісулерінде пайда болатын бірқатар құбылыстар негізделінген. Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігін зоналық теория негізінде тек кванттық механика жан-жақты түсіндіріп бере алады. Орта мектепте ол кристалдардағы коваленттік байланыс моделінің, мысалы кремний немесе германий кристалдарындағы, көмегімен түсіндіріледі. Кристалдың әр атомы (мысалы, а-атомы) өзіне жақын орналасқан төрт атоммен сегіз электрон көмегімен байланысады: оның төртеуі - қарастырылып отырған атомның электрондары да, ал қалған төртеуі бір біреуден байланысқа түсіп отырған атомдардікі.Бұл байланысты түсіндіру жеткілікті түрде оқу және әдістемелік әдебиеттерде келтірілгендіктен, модель көмегімен талқылау керек болатын басты мәселелерге ғана тоқталамыз Егер жартылай өткізгіштің температурасы абсолют нөлге жақындаса, онда кристалдағы барлық байланыстар бұзылмайды, сондықтан жартылай өткізгіш диэлектрикке айналады.Температура жоғарылағанда немесе сыртқы әсердің себебінен кейбір байланыстар бұзылып, кристалл ішінде электр өрісінде қозғала алатын еркін электрондар пайда болады.Электронны кетіп, байланыстың үзілген орны кемтік деп аталады, оның заряды оң, сондықтан кемтіктер де электр өрісінде қозғала алады.Электр өрісіндегі электрондар мен кемтіктердің қозғалысын оқушылар шын мәнінде түсінуі тиіс. Ол үшін көрермендер залындағы бос орындар ұқсастығын пайдалануға болады. Көрермендер ауысып отырғанда бос орындар да жылжиды.Егер жартылай өткізгіштер ұштарына кернеу берілсе, онда электрондар да, кемтіктер де қозғалысқа түседі. Жалпы ток электрондар мен кемтіктер жасайтын токтардың қосындысына тең. Таза жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі меншікті өткізгіштік деп аталады, олардағы электрондар .

Енді температураның заттардың электр өткізгіштігіне әсерінің табиғатын қарастырайық. Температура артқанда металдарда еркін зарядты тасымалдаушылардың концентрациясы өзгермейді, ал олардың қозғалғыштығы төмендейді, өйткені тордың түйіндерінде тұрған иондардың жылулық тербелісінің амплитудасы артады, осының салдарынан, электр өрісінің әсерінен қозғалатын электрондар ағынының шашырауы артады. Сондықтан, температура көтерілгенде металдардың өткізгіштігі төмендейді, ал төмендегенде - артады, және температура 00 К-ге жақындағанда, яғни тордың түйіндерінде тұрған бөлшектердің жылулық тербелісі толық тоқталады, осы кезде кейбір металдардың электр өткізгіштігі секірмелі түрде кенет артады (төтенше өткізгіштік құбылысы). Температура артқанда диэлектриктердің электр өткізгіштігі нашар өседі. Алайда, диэлектрикте еркін зарядты тасымалдаушылар пайда болу үшін қажетті энергия өте жоғары, сондықтан диэлектрикті қыздырған кезде, онда елеулі еркін зарядты тасымалдаушылар мөлшері пайда болғанша, оның термиялық бүлінуі басталады. Жартылай өткізгіштің температурасы артқанда оның атомдарының сыртқы қабатының жеке электрондары, атомнан бөлінуге жеткілікті энергия қабылдап, онан бөлініп шығып, еркін электрондарға айналады. Жартылай өткізгіштің температурасы жоғарылаған сайын, ондағы еркін электрондардың саны артады және электр өткізгіштігі жоғарылайды. Жартылай өткізгіштердің температурасы төмендеген кезде еркін зарядты тасымалдаушылар саны күрт төмендеп, төменгі температураларда оның өткізгіштігі іс жүзінде нольге тең болады. Жартылай өткізгіштерде, төменгі температураларда өткізгіштіктің жоқ болуы - металл өткізгіштерден жартылай өткізгіштердің тағы да бір сипатты айырмашылығы болып саналады және ол өткізгіштерде еркін зарядты тасымалдаушылардың пайда болуының жылулық табиғаты бар екендігін көрсетеді. Жартылай өткізгіштердің өткізгіштігі температураға күшті байланысты. Бұл жартылай өткізгіште жасалған әртүрлі термо сезімтал құралдардың құрылысында пайдаланылады. Жартылай өткізгіштерде еркін зарядты тасымалдаушылар тек қана қыздыру арқылы пайда болмайды екен. Олар жартылай өткізгішке түскен сәуленің де әсерінен пайда болады. Сондықтан, жартылай өткізгіштердің өткізгіштігі және де жарықталынуға күшті тәуелді. Жартылай өткізгіштердің түрлері. Жартылай өткізгіштерде Менделеев кестесінің орта тұсындағы он екі химиялық элементтер жатады. Олар: бор (B), көміртегі (C), кремний (Si), германий (Ge), қалайы (Sn), фосфор (P), мышьяк (As), сурьма (Sb), күкірт (S), селен (Se), теллур (Te), йод (I). Мұнан басқа үшінші топтағы элементтердің, бесінші топтағы элементтермен қосындысы, көптеген металдардың оксидтері мен сульфидтері, бір қатар химиялық қоспалар, кейбір органикалық заттар.

Ғылым мен техникада ең көп қолданылатын жартылай өткізгіштерге германий Ge және кремний Si жатады. Жартылай өткізгіштер өзіндік (яғни қоспасыз) және қоспалы болып бөлінеді. Қоспалы жартылай өткізгіш өз ретінде донорлық және акцепторлық болып бөлінеді. Өзіндік жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі Өзіндік жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштік механизмін германийдің немесе кремнийдің монокристалының мысалында қарастыру қолайлы, оның құрылымының сұлбасы (бір жазықтықта) .Себебі өте кең қолданылатын жартылай өткізгіштер және Кремний монокристалының құрылымдық сұлбасы сыртқы электрондық қабатта төрт электроны болады, яғни олардың валенттілігі төртке тең. Мұндай элементтердің кристалдық торында (алмаз типті тор деп аталынатын) германийдің Ge немесе кремнийдің Si әрбір атомы, бірдей қашықтықта орналасқан, көрші төрт атоммен қоршалған.Атомның ең орнықты күйі, оның сыртқы электрондық қабатында сегіз электрон тұрған кезде екендігі белгілі. Сондықтан Ge және Si атомдары электрондық қабаттарды сегіз электронға дейін толтырып, көрші атомдармен жалпы электрондық жұп құрайды (коваленттік байланыс).Әрбір екі көрші атомдар екі ортақ электрондары (электрондық жұп) болады. Сонымен, әрбір атом сыртқы қабатында сегіз электроннан болады, олар бір мезгілде көрші атомдарға да жатады. Алмаз типті торды шартты түрде жазық етіп бейнелеуге болады, өйткені мұнда да әрбір атом көрші төрт атоммен қоршалған. Төменгі температурада жартылай өткізгіштің кристалында барлық электрондар атомдармен байланысқан және еркін электрондары жоқ, яғни кристалл диэлектрик болып саналады. Жартылай өткізгіштің температурасын көтерген кезде кейбір электрондар атомнан бөлініп, жылжымалы күйге түсіп, оған кернеу түсіргенде, кристалда ток жасайды. Бөлме температурасының өзінде жартылай өткізгіш кристалында жылжымалы электрондардың біраз сандары болады және температураның артуына байланысты олардың саны тез көбейеді. Германий Ge жағдайында, кремнийге Si қарағанда, атомнан электронды жұлып алу үшін энергия аз жұмсалады. Сондықтан таза германийдің Ge кедергісі, кремнийдікіне Si қарағанда едәуір аз ($\rho_{Ge} \approx 0,5 \text{ Ом.м}$, ал $\rho_{Si} \approx 2 \cdot 10^3 \text{ Ом.м}$).Атомнан электронды бөліп шығарған кезде атомның қабатшасында бос орын пайда болады, ол орынды кемтік деп атайды. Ортақ электрондары бар көрші атомдар, электрондармен үнемі алмасып тұрады.

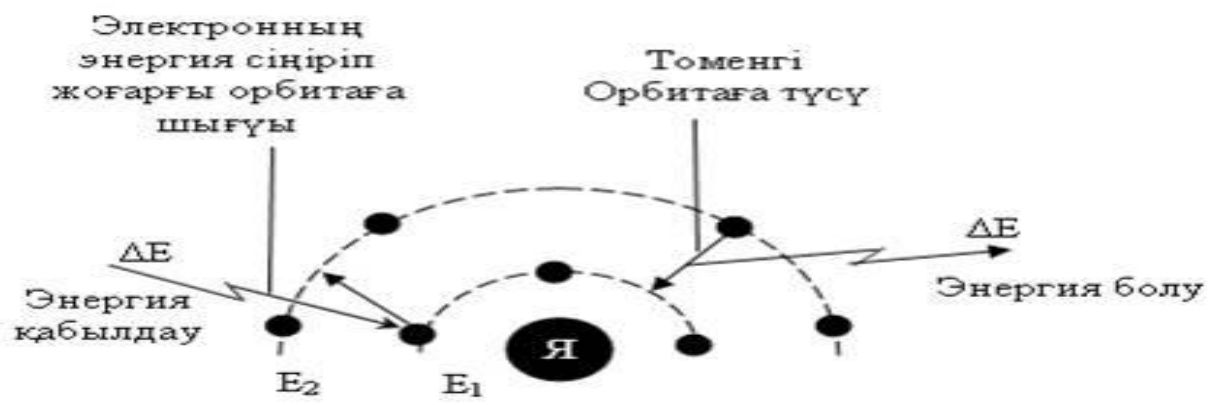
Жартылай өткізгіштер өткізгіштік жағынан диэлектриктер мен металдар арасында орналасқан. Олар өзара меншікті және қоспалы болып, ал соңғысы р- және n-текті болып екіге бөлінеді.

Жартылай өткізгіштерге негізінен Менделеев кестесінің IV тобының элементтері Si (кремний), Ge (германий) жатады. Олардың кристалл торының алмаз, графит торына (тетраэд) ұқсастығын ескере отырып, олардың өте қатты денелер қатарына жататынын білеміз.

Аталған элементтермен қатар жартылай өткізгіштерге меншікті кедергілері 10 – 10 Ом*см аралығында орналасқан әр түрлі тотықтар мен қосындылар да (мысалы, GaAs, InSb т.б) жатады.

Жартылай өткізгіштердің электр тоғын өткізу қасиетін зоналық теория тұрғысынан айқындап, дәлелдеген жөн. Бұл теория бойынша әрбір атомның құрылысында бірнеше электрондық қабаттар, яғни энергетикалық деңгейлер болады. Тұрған деңгейіне байланысты әрбір электронға өзіндік орбита сәйкес келеді. Электронның осы энергетикалық деңгейін сипаттау үшін физикада 4 кванттық сан еңгізілген: 1 - «бас» кванттық сан; 2 - «орбиталық» кванттық сан; 3 - «орбиталық магниттік» кванттық сан; 4 - магнит спині.

Осы қабылданған сандардың физикалық мәндерін түсіну үшін мынадай физикалық ұқсастыққа жүгінуге болады. Мәселен, өз алдына жеке дара алынатын атом жер шарына ұқсас дедік. Онда атом орбитасында айналып жүрген электрондардың, былайша айтқанда, жер серіктерінің күйін сипаттау үшін қандай анықтамалық көрсеткіштер енгізуіміз керек.



Электрондардың энергетикалық деңгейлерін ауыстыруы

Жоғарыда жеке дара алынған атомның энергетикалық деңгейлерін қарастырдық. Ал өмірде атом жеке күйде кездесе бермейді де, оны біз белгілі бір қасиеттері бар атомдар жиынтығы, яғни зат ретінде білеміз. Мұндай жағдайда, атомдардың бір - біріне өзара әсер етуіне байланысты, олардың энергетикалық деңгейлері тарамдала, кеңи келе, энергетикалық зоналарға айналады екен (Зоналық теория деп аталуы да осыдан). Сонда жоғарыда аталған үш энергетикалық деңгейге үш энергетикалық зона сәйкес келеді де, (2.2,а - сурет), олар былай аталады:

1 - өткізгіштік зона (электрондар осы зонаға өткен жағдайда өткізгіштік электр тоғы пайда болады);

2 - тыйым салынған зона (электрондар бұл зонада бола алмайды, өйткені, егер энергиясы ΔE -ден артық болса, 1- зонаға өтеді, ал кем болса, онда кері, валенттік 3- зонаға қайтады);

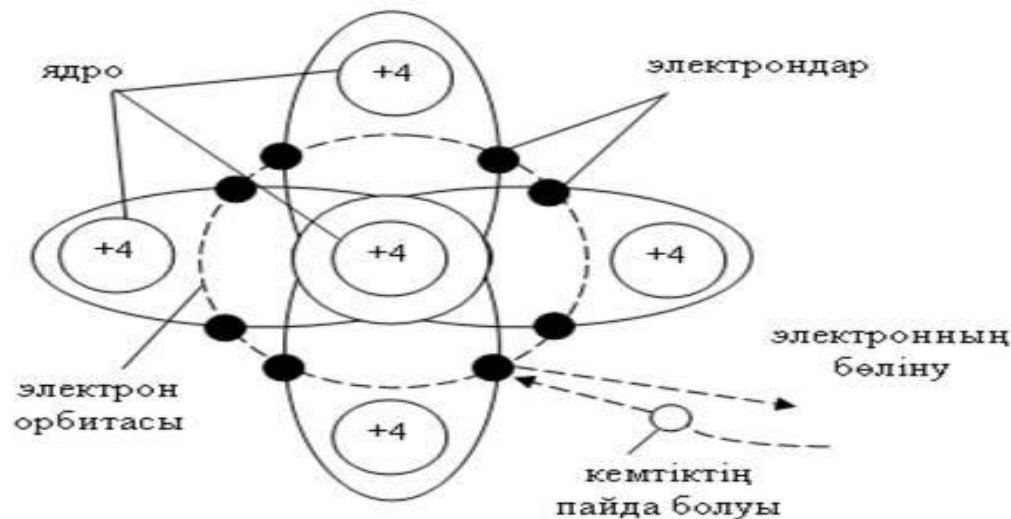
3 - валенттік электрондармен толтырылған зона.

Валенттік зонадан электрондар кете қалған жағдайда, онда бас орындар – кемтіктер пайда болады. Электрондар қозғалысының тоқтың пайда болатыны тәрізді, кемтіктер қозғалысынан да тоқ құралады. Мұндайда кемтіктер өткізгіштігі бар дейді. Бірақ екі өткізгіштіктің де пайда болу себебі – электрондар қозғалысы: тек біріншісінде электрон орнын бірден ауыстырып, тоқ өткізуге тікелей қатысады да (электронның 3 - зонадан 1 - зонаға ауысуы, 2.2,ә - сурет), ал екіншісінде электрон орнын сатылап ауыстырады. Мұнда бірінші кезекте пайда болған бос орын – кемтікті көрші атомның электроны толықтырады да, кемтік көрші атомға ауысады; ал келесі кезекте пайда болған бос орынды үшінші атомның электроны толықтырады т.с.с. (2.2,ә - суреттің 3 - зонасын қараңыз). Ал электрондар мен кемтіктер қозғалысының бағыты сыртқы қосылған кернеу бағытымен анықталады да (2.2,ә - суретте кернеудің бағыты +, - таңбаларымен көрсетілген), олар өзара қарама – қарсы болады. Мұнда оқырман байқап отырғандай, электрондардың кемтіктерге қарағанда орындарын бірден ауыстыратындығына байланысты электрондық өткізгіштік кемтіктік өткізгіштікке қарағанда әлде қайда жылдам болып шығады. Сондықтан да электрондық өткізгіштік негізінде жасалған электрондық аспаптар кемтіктік негізінде аспаптардан тездік жағынан болсын, жиілігі жағынан болсын басым келеді.

Заттардың өткізгіштік жағынан өзара жіктелуіне зоналық теория тұрғысынан да баға беруге болады. Мысалы, тыйым салынған зонаның ені шамамен 0,5 - 3 эВ аралығында болса, онда ондай заттар жартылай қатарына жатады, ал егер одан кем болса, өткізгіштерге, ал артық болса, онда диэлектриктерге жатады.

Электрон – кемтік жұбының пайда болуын кристалл торынан да көруге болады. Мысал ретінде Ge торын алайық. Әрбір атомның жоғарғы қабатында төрт электрон (4 валентті болғандықтан) бар. Көрші атомдар өзара бір-бір электрондарымен алмаса отырып, коваленттік байланыс құрады да, алынған кристалл торы тетраэд болып шығады. Күрделі кеңістік құрылым болғанына қарамастан, осы кристалл торын қарапайым жазықтық кейіпте де көрсетуге болады.

Суретте әрбір Ge атомы +4 (ядро заряды) белгісімен өрнектеліп, ал электрон жұптары орбита деңгейлерінде көрсетілген (суретте электрондардың толық саны тек орталық атомда ғана берілген). Көріп отырғанымыздай, осы орталық атомның сыртқы қабатында (орбитасында) 8 электрон бар (4 өз электроны, 4 көрші атомдардан алмастырылған). Бұл, әрине бір сипатты атомдар құрылысынан тұратын Ge торының өте берік құрылым екендігін дәлелдейді.



Кристалл торында электрон-кемтік жұбының пайда болуы

Суретте әрбір Ge атомы +4 (ядро заряды) белгісімен өрнектеліп, ал электрон жұптары орбита деңгейлерінде көрсетілген (суретте электрондардың толық саны тек орталық атомда ғана берілген). Көріп отырғанымыздай, осы орталық атомның сыртқы қабатында (орбитасында) 8 электрон бар (4 өз электроны, 4 көрші атомдардан алмастырылған). Бұл, әрине бір сипатты атомдар құрылысынан тұратын Ge торының өте берік құрылым екендігін дәлелдейді.

Енді берілген сурет бойынша өткізгіштік қасиеттің пайда болу жолын талдап көрелік. Белгілі бір себеппен (жылу, сәуле т.б) кристалл торынан бір электрон босап шықты делік. Босаған электрон электр тоғын өткізуге бірден кірісе алады да, бұдан пайда болған өткізгіштік электрондық немесе n-текті (negativ сөзінің бас әрпінен) өткізгіштік деп аталады. Ал электронның босаған орны кемтік болады да, оған байланысты өткізгіштік кемтіктік немесе p - текті (positive – оң текті) деп аталады. 2.3 - суретте электрон боялған қара дөңгелекпен, ал кемтік боялмаған дөңгелекпен кескінделіп, олардың пайда болу бағыттары үзiктi және үзiктi-нүктелi сызықтармен көрсетiлген.

Көрсетілген электрон - кемтік жұбының пайда болуына байланысты туған өткізгіштік жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі болып табылады. Меншікті өткізгіштің шамасы өте аз. Мысалы, бір электрон - кемтік жұбының пайда болу мүмкіндігі шамамен $2 \cdot 10^9$ атомға сәйкес келеді екен. Сондықтан да электрондық аспаптар жасауда жартылай өткізгіштердің тікелей таза түрі пайдаланылмай, олардың белгілі бір қоспалы түрлері қолданылады. Қоспа ретінде Менделеев кестесінің III (In, B, Al) және V топтарының (As, Sb) элементтері пайдаланылады. Мәселен ретінде 5 валентті қоспаның әсерінен зерттеп көрелік. Нақтылық үшін негізгі жартылай өткізгіш ретінде кремнийді (Si), ал қоспа ретінде сурьманы (Sb) алайық. Алып отырған қоспамыз 5 валентті болғандықтан оның жоғарғы орбитасында 5 электрон болуы керек. Оның төртеуі көрші Si атомдарымен коваленттік байланысқа түседі де, ал бесіншісі бұл байланыстан тыс, оқшау қалады. Сонымен, өрістің әсерінен кемтіктер де оң зарядты алып жүре отырып реттелген қозғалысқа түседі. Шын мәнінде, бір жаққа тек бос электрондар мен байланысқан (валенттілік) электрондар орын ауыстыратындықтан, бос электрондарды бір жаққа қарай, ал оң зарядты тасымалдаушы кемтіктерді екінші жаққа қарай қозғалады деп санауға болады. Бос электрон кемтікпен кездескенде олар рекомбинацияланады, сөйтіп олардың қозғалысы тоқталады. Бос электрон мен кемтіктің рекомбинацияға дейінгі орташа еркін жол жүру ұзындығы өте аз (0,1 мм-ден артық емес). Тынымсыз жылулық генерация жаңадан электрон-кемтік жұбының пайда болуына алып келеді, олар қайтадан зарядты тасымалдай бастайды.

Осы артық қалған электронның ядроға тартылыс күші өте әлсіз болады да, оған аздап энергия бергеннің өзінде де, ол кристалл торынан босап шығып, тоқ өткізуге қатыса алады.

Ал егер осы электрон атом құрылымын тастап кете қойған жағдайда Sb атомы қандай күйде болар еді? Осы қалған оң зарядталған (электрон кеткендіктен) қоспа атомын электр тоғын түзе алатын кемтікпен салыстыруға бола ма? Болмайды екен! өйткені Sb атомы оң зарядталғанымен кремнийдің кристалл торымен мықты байланыста қалып, бір атомға ғана тән, өткізгіштік тоққа үлесін қоса алмайтын, қозғалмайтын ион құрады. Ал, кемтік дегеніміз – екі атомға бірдей тән, кез келген электронмен толықтырылып, орнықты атом құрылысын бере алатын бос орын.

Жоғарыда аталған Sb қоспамыз жартылай өткізгішке электрондық немесе n-текті өткізгіштік береді де, донор деп аталады (артық электронын беріп отыр). Зоналық теория бойынша донордың энергетикалық деңгейі тыйым салынған зонада (басқа элемент болмағандықтан) өткізгіштік зонаның түбіне жақын орналасып, электрондардың өткізгіштік зонаға өтуін көп жеңілдетеді (2.4,ә - сурет). Суретте көрсетілгендей, донордың энергетикалық деңгейі (E) электрондарға бай да, оның үстіне олардың өткізгіштік зонаға өтуіне бар болғаны ΔE энергиясы (2.4,ә - сурет) қажет. Бұрыңғы таза жартылай өткізгіштің тыйым салынған зонасының еніне (ΔE -ге) карағанда, бұл әлдеқайда аз: $\Delta E \ll \Delta E$.

Жартылай өткізгішінде электрондар негізгі заряд тасушылар деп аталады. Өте аз болғанымен мұнда кемтіктер де бар (меншікті өткізгіштің арқасында). Олар – негізгі емес заряд тасушылар.

Егер де біз, қоспа ретінде үш валентті элемент алатын болсақ, онда оның маңайында бір электронның жетіспейтіндігі байқалар еді (8 болу үшін). Осы жетіспеушілікке байланысты кез келген көрші атомның электроны осы орынға ауыса алады. Онда қоспаның атомы теріс зарядталып, қозғалмайтын теріс ион құрады да, ал кеткен электронның бос орны кемтік болып шығады. Мұндай жартылай өткізгіш кемтіктік немесе p-текті жартылай өткізгіш болып, ал қоспа акцептор деп аталады.

p - текті жартылай өткізгіште негізгі заряд тасушылар кемтіктер де, негізгі емес i – электрондар болып табылады. Жоғарыда донорға байланысты ескертілгендей, кемтікті бөліп алған жағдайда, акцептор атомы қозғалмайтын теріс ионға айналады. Зоналық теория тұрғысынан акцептордың энергетикалық деңгейі тыйым салынған зонада валенттік зонаның төбесіне жақын орналасып, кемтіктердің осы деңгейден валенттік зонаға ауысуын жеңілдетеді.

Мұнда оқырман байқап отырғандай, электрондардың кемтіктерге карағанда орындарын бірден ауыстыратындығына байланысты электрондық өткізгіштік кемтіктік өткізгіштікке карағанда әлде қайда жылдам болып шығады. Сондықтан да электрондық өткізгіштік негізінде жасалған электрондық аспаптар кемтіктік негізінде аспаптардан тездік жағынан бол

Пайдаланылған әдебиеттер: lib.kstu.kz:8300/tb/books/2013/APP/ELEKTRONIKA%20kaz/teory/2.1.
[hhttps://stud.kz/referat/show/20641](https://stud.kz/referat/show/20641)