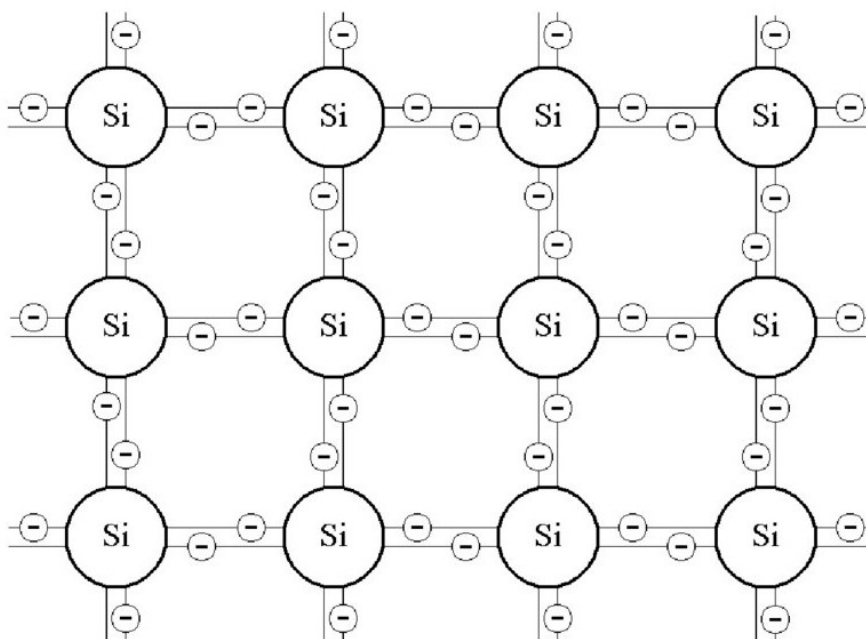


Лекция №5. Жартылай өткізгіштер

- 5.1 Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі. Қоспалық өткізгіштік. Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің температураға тәуелділігі.
- 5.2 Жартылай өткізгіштердің контактыларындағы құбылыстар. Жартылай өткізгіш диод және транзистор.

5.1 Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі. Қоспалық өткізгіштік. Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің температураға тәуелділігі. Периодтық таблицадағы IV топ элементтері германий (Ge), кремний (Si), қорғасын (Pb), қалайы (Sn) және олардың қоспалары электр өткізгіштігі бойынша металдар мен диэлектриктердің аралығында жататындықтан жартылай өткізгіштер деп аталады. Жартылай өткізгіштердің сыртқы (валенттік) электрондық қабықшаларында ядросымен нашар байланысатын электрондар саны төрт және әрбір атомына ең жақын көрші атомдардың саны да төртке тең (5.1-сурет).



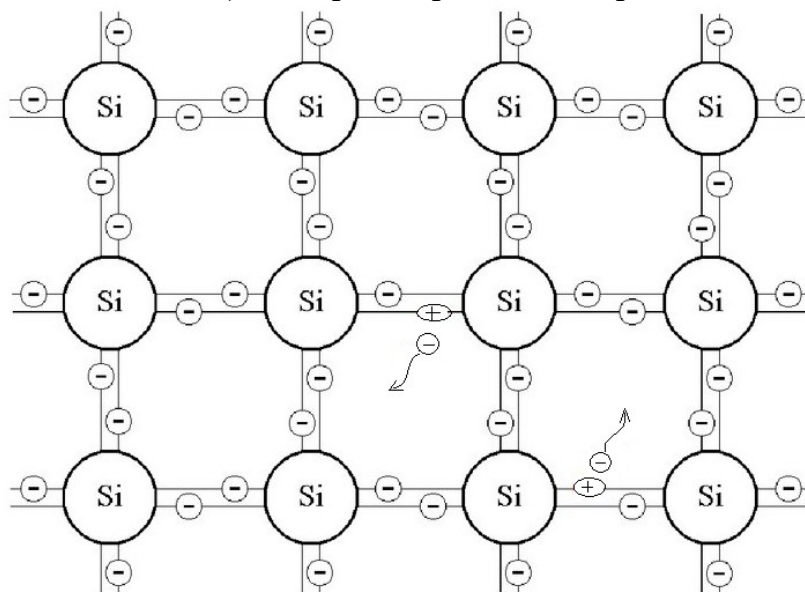
5.1-сурет

Суреттен көрініп тұрғандай (5.1-суретте кремнийдің кристалдық торы бейнеленген) әрбір атомы сыртқы электрондық қабықшасындағы бір электроны көршілес атомдардың бір электронымен жұптасып, өзара қос электрондық коваленттік байланыс құрайды. Сондықтан кремнийдің (жартылай өткізгіштің) қалыпты жағдайда электр өткізгіштігі төмен болады.

Кремнийді қыздырғанда валенттік электрондардың кинетикалық энергиясы артып, коваленттік байланыс бұзыла бастайтындықтан кейбір атомдардың валенттік электрондары ядродан босап шығады да кристалл ішінде қозғалысқа түсу мүмкіндігіне ие болады. Коваленттік байланыстың бұзылуы

салдарынан кремний кристалында электрондар тастап кеткен бос орындар пайда болады (5.2-сурет).

Жартылай өткізгіштің кристалындағы электрондар тастап кеткен (электрон жетіспейтін) бос орындар кемтіктер деп аталады.



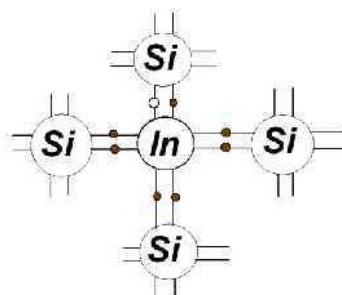
5.2-сурет

Электрон тастап кеткен бос орын болғандықтан кемтіктің заряды оң таңбалы болады, сондықтан ол атомдардың коваленттік байланысын қалпына келтіру үшін электрондардың біреуін өзіне тартып қосып алады, өз кезегінде электрон тастап кеткен орында жаңа кемтік пайда болады. Осылайша электрондар кристалл ішінде бір бағытта реттелген қозғалысқа түседі, ал оларға қарсы бағытта кемтіктердің реттелген қозғалысы байқалады.

Еркін электрондардың реттелген қозғалысынан пайда болатын электр өткізгіштік электрондық өткізгіштік, ал кемтіктердің реттелген қозғалысынан пайда болатын электр өткізгіштік кемтіктік өткізгіштік деп аталады. Таза қоспасыз жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі электрондық-кемтіктік болып табылады, оны жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі деп атайды.

Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігін арттыру мақсатында оларға түрлі қоспалар қосады. Қоспа қосу әсерінен жартылай өткізгіштерде пайда болатын өткізгіштік түрін қоспалық өткізгіштік деп атайды.

Егер IV топ элементі кремнийға (Si) III топ элементі индийді (In) қосса, кремний кристалында кемтіктердің бірлік көлеміндегі саны (шоғыры немесе концентрациясы) артады (5.3-сурет).



5.3-сурет

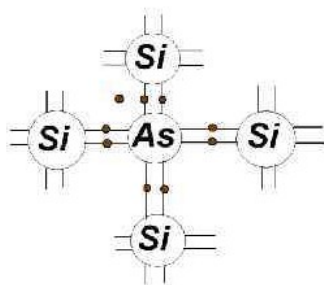
Кемтіктері басым қоспалы жартылай өткізгіштер акцепторлы қоспалы жартылай өткізгіштер немесе **p-типті** жартылай өткізгіш деп аталады.

p-типті жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі негізінен **кемтіктік** болады, себебі мұндай қоспалы жартылай өткізгіштердің кристалында электрондардың шоғыры азырақ болады.

Егер IV топ элементі кремнийға (Si) V топ элементі мышьяқты (As) қосса, кремний кристалында электрондардың шоғыры артады (5.4-сурет).

Электрондары басым қоспалы жартылай өткізгіштер донорлы қоспалы жартылай өткізгіштер немесе **n-типті** жартылай өткізгіш деп аталады.

n-типті жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі негізінен **электрондық** болады, себебі мұндай қоспалы жартылай өткізгіштердің кристалында кемтіктердің шоғыры азырақ болады.



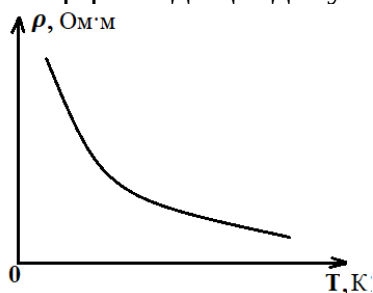
5.4-сурет

Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі төмен болады, сыртқы әсерден, мысалы қыздыру немесе сәулелендіру салдарынан олардың температурасы көтерілсе өткізгіштігі артады, яғни кедергісі кемиді.

Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің температураға тәуелділік заңы:
$$\gamma = \gamma_0 \cdot e^{\frac{-\Delta W}{2kT}} \quad (5.1)$$

мұндағы γ_0 – тұрақты шама, ал ΔW – заряд тасымалдаушылардың активация энергиясы.

Жартылай өткізгіштердің меншікті кедергісі температураға кері пропорционал, қыздырғанда оның меншікті кедергісі кемиді (5.5-сурет). Олардың осы қасиетіне негіздеп темисторлар жасалады, градуирлеу арқылы темисторларды термометр ретінде қолдануға болады.

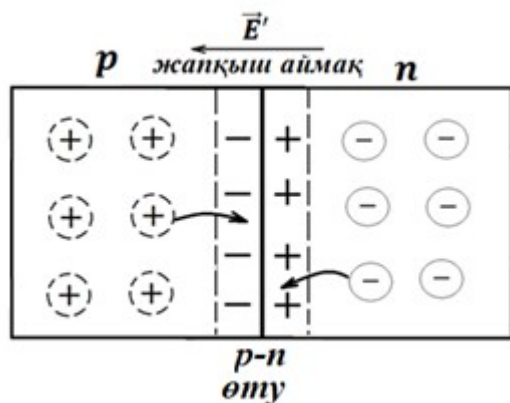


5.5-сурет

Жартылай өткізгіштердің температурасын біртіндеп төмендеткенде оның кедергісі артып, температура абсолют нөл маңына жеткенде жартылай өткізгіш іс жүзінде диэлектрикке айналады.

5.2 Жартылай өткізгіштердің контактілеріндегі құбылыстар. Жартылай өткізгіш диод және транзистор. Донорлы және акцепторлы

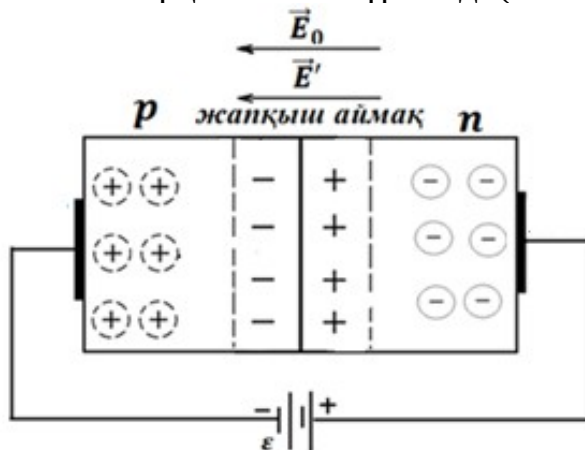
қоспалы екі жартылай өткізгіштер бір-біріне мықтап түйістірілгенде олардың жанасу шекарасында кемтіктер (оң зарядталған бөлшек) мен электрондарды (теріс зарядталған бөлшектер) бір-біріне тартатын электр өрісі пайда болады. Нәтижесінде *n-типті* жартылай өткізгіштен *p-типті* жартылай өткізгішке қарай электрондар орын ауыстырып, *p-типті* бөліктегі кемтіктердің кейбірін толтыра бастайды, яғни *p-типті* бөліктегі бөлшектердің концентрациясы артады. Соның салдарынан бөлшектер концентрациясы артық бөліктен (*p-типті* бөліктен), бөлшектер концентрациясы кем бөлікке (*n-типті* бөлікке) «артық» бөлшектерді кері қарай қайтаратын диффузия құбылысы орын алады, екі типті жартылай өткізгіштер түйіскен аймағында (*p-типті* жартылай өткізгіш жағында теріс зарядталған, ал *n-типті* жартылай өткізгіш жағында оң зарядталған) *жапқыш аймақ* пайда болады (5.6-сурет).



5.6-сурет

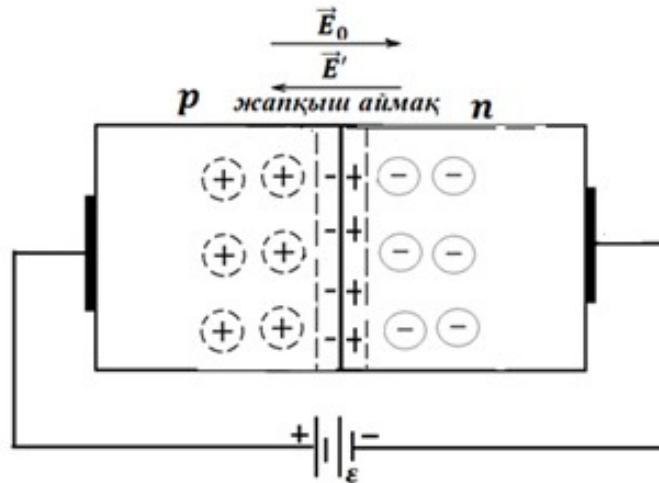
Жапқыш аймақта пайда болған электр өрісі *n-типті* жартылай өткізгіштен *p-типті* жартылай өткізгішке қарай электрондардың өтуіне кедергі жасайды.

Егер осы жағдайда *n-типті* жартылай өткізгішті тұрақты ток көзінің оң полюсіне, ал *p-типті* жартылай өткізгішті тұрақты ток көзінің теріс полюсіне жалғаса, сыртқы электр өрісі кернеулігінің (\vec{E}_0) бағыты жапқыш қабатта пайда болған электр өрісі кернеулігінің (\vec{E}') бағытымен сәйкес келеді де (бұл жапқыш режим немесе кері бағыт деп аталады), жапқыш қабаттың кедергісі (жапқыш қабат ені) артып, электрондар мен кемтіктердің реттелген қозғалысы тоқтайды, яғни жартылай өткізгіш арқылы ток жүрмейді (5.7-сурет).



5.7-сурет

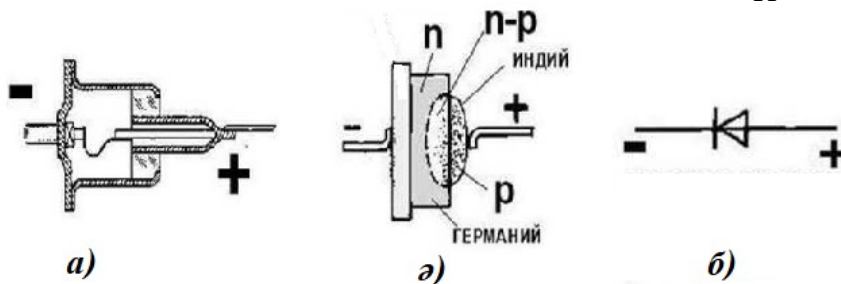
Егер *n-типті* жартылай өткізгішті тұрақты ток көзінің теріс полюсіне, ал *p-типті* жартылай өткізгішті тұрақты ток көзінің оң полюсіне жалғаса, сыртқы электр өрісі кернеулігінің (\vec{E}_0) бағыты жапқыш қабатта пайда болған электр өрісі кернеулігінің (\vec{E}') бағытына қарама-қарсы болады да (бұл өткізу режимі немесе тура бағыт деп аталады), жапқыш қабаттың кедергісі (жапқыш қабат ені) кемиді, жартылай өткізгіш арқылы ток жүреді. (5.8-сурет).



5.8-сурет

Электротехника мен электроникада *p-n* контактілі жартылай өткізгіштердің бір бағытта электр тогын өткізетін, ал кері бағытта электр тогын өткізбейтін қасиетіне негізделген бір *p-n* контактіден тұратын *жартылай өткізгіштік диод* деп аталатын құрал кеңінен қолданылады.

Жартылай өткізгіштік диод - *p-типті* өткізгіштікті германий мен *n-типті* өткізгіштікті индийден жасалған пластинадан тұратын құрал (5.9-сурет).



5.9-сурет

5.9-суреттің а)-суретінде жартылай өткізгіштік диодтың вертикаль қимасы келтірілген, ал б)-суретінде жартылай өткізгіштік диодтың ішкі құрылымы бейнеленген, в)-суретінде жартылай өткізгіштік диодтың сұлбада бейнеленуі берілген.

Жартылай өткізгіш диодтық құралдардың қолданылу мақсатына байланысты бірнеше түрі кездеседі:

1. **Түзеткіш диод** – айнамалы токты тұрақты токқа айналдыру мақсатында, яғни түзеткіш ретінде қолданылатын жартылай өткізгіш диод. Бұл құралдың жұмыс істеу принципі диодтың өткізу режимі бойынша тура қосылғанда токты жақсы өткізу, ал жапқыш режимі бойынша кері қосылғанда токты өткізбеу қасиетіне, яғни жартылай өткізгіштің біржақты өткізгіштігіне негізделген.

2. **Жартылай өткізгіштік стабилитрон** – электр кернеуін орнықтандырғыш ретінде қолданылатын жартылай өткізгіш диод. Бұл құралдың жұмыс істеу принципі электрлік тесілу маңайында кернеудің ток күшіне тәуелділігі төмендейтіндігіне негізделген.

3. **Туннельдік диод** – меншікті кедергісі өте төмен, қоспасының концентрациясы өте жоғары германийден немесе галлий арсенидінен жасалатын электромагниттік тербелістерді өндіру мен күшейті мақсатында қолданылатын жартылай өткізгіш диод.

4. **Варикап** – параметрлік күшейткіштерде жиілікті автоматты түрде реттегіш ретінде және электр сыйымдылығы басқарылатын элемент дайындау мақсатында әртүрлі сұлбаларда кеңінен қолданылатын кремнийден жасалған жартылай өткізгіш диод. Бұл құралдың жұмыс істеу принципі электр сыйымдылығының кері кернеу шамасына тәуелділігіне негізделген.

5. **Жарық шығарушы диод** – кремний карбидінен, арсенидтен немесе галлий фосфидінен жасалатын сәулеленуші **p-n өтуге** негізделген қуаты төмен жартылай өткізгіш жарық көзі. Жарық шығарушы диодтың жұмыс істеу принципі тура кернеу берілгенде жартылай өткізгіштің **n-типті** бөлігіндегі электрондардың **p-типті** бөлігіне өтіп, кемтіктермен рекомбинациялану нәтижесінде пайда болатын артық энергияның жарық түрінде сәулелену процесіне негізделген.

6. **Фотодиод** – жарықтылықты сезгіш датчик ретінде қолданылатын, жұмыс істеу принципі ішкі фотоэффект құбылысына негізделген жартылай өткізгіш құрал.

Электротехника мен электроникада жартылай өткізгіштік диодпен қатар жартылай өткізгіштік транзистор деген құрал кеңінен қолданыс тапқан.

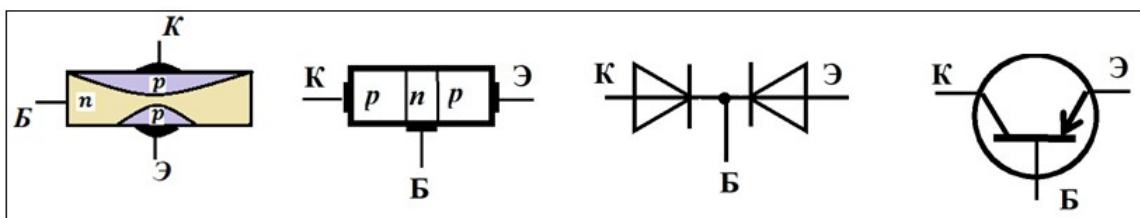
Транзистор (ағылшын тіліндегі *transfer* – «тасымалдау» және *resistor* – «кедергі» деген екі сөздің тіркесінен құралған) – электр тербелісін тудыру, оларды түрлендіру және күшейту мақсатында қолданылатын, германийден немесе кремнийден кристалл түрінде жасалған жартылай өткізгіш құрал.

Барлық транзисторлар биполярлы және униполярлы (өрісті) транзисторлар болып екіге бөлінеді.

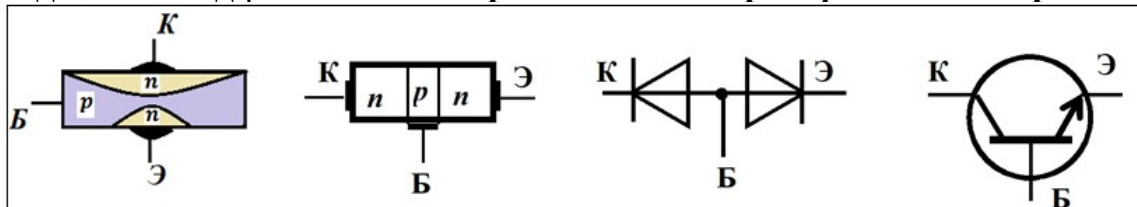
Биполярлы транзистор деп әсерлесуші екі **p-n өтуден** тұратын жартылай өткізгіштік құрал.

Құрылымына байланысты биполярлы транзистор **p-n-p** және **n-p-n** типті болып екі түрге бөлінеді. Биполярлы транзисторды екі диодтың біріктірілуі деп те қарастыруға болады.

Биполярлы транзистордың германийден жасалған пластикансын база (*Б*), ал оған ендірілген аймақтардың біреуін коллектор (*К*), ал екіншісін эмиттер (*Э*) деп атайды (5.10-сурет (а және ә)). Коллектордың көлемі эмиттердің көлемінен үлкендеу болады, эмиттердегі тілше токтың бағытын көрсетеді.

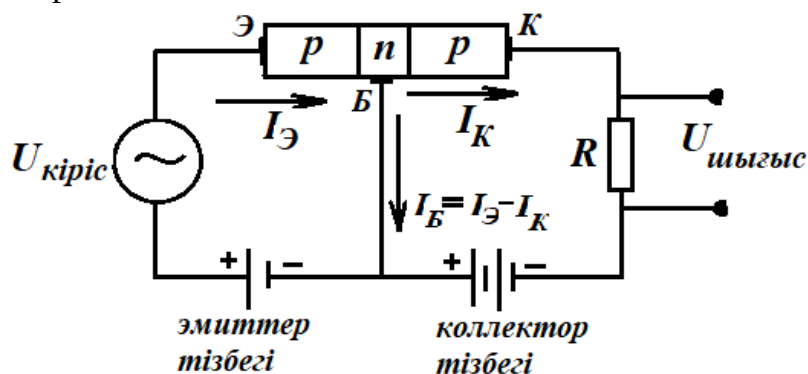


5.10. а)-суретте **p-n-p** типті биполярлы транзисторда донорлық қоспалы германийден жасалған өткізгіштігі **n-типті** шағын пластинка **база** болып табылады, оған ендірілген **эмиттер** мен **коллектордың** өткізгіштігі **p-типті**.



5.10. ә)-суретте **n-p-n** типті биполярлы транзисторда акцепторлық қоспалы германийден жасалған өткізгіштігі **p -типті** шағын пластинка **база** болып табылады, оған ендірілген **эмиттер** мен **коллектордың** өткізгіштігі **n-типті**.

5.11-суретте **p-n-p** типті биполярлы транзистордың электр тізбегіне жалғануы келтірілген.



5.11-сурет

Суреттен көрініп тұрғандай транзистордың **p-n** өтуінің екеуі де екі ток көзіне, атап айтқанда «эмиттер–база» өтуі (эмиттер тізбегі) тура бағытта (өткізу режимінде), ал «коллектор–база» өтуі (коллектор тізбегі) кері бағытта (жапқыш режимде) жалғанады.

Эмиттер тізбегі ток көзінен ажыратылып тұрған кезде коллектордағы токтың шамасы өте аз болады, өйткені бұл жағдайда **n-типті** жартылай өткізгішті коллектор тізбегіндегі ток көзінің оң полюсіне, ал **p-типті** жартылай өткізгішті ток көзінің теріс полюсіне жалғанғандықтан жапқыш қабаттың кедергісі (жапқыш қабат ені) артып, электрондар мен кемтіктердің реттелген қозғалысы тежеледі (5.7-сурет).

Эмиттер тізбегін ток көзімен тұйықтаған сәтте **p-типті** жартылай өткізгіштегі негізгі заряд тасымалдаушы кемтіктер базаға қарай өтуді бастайды да тізбекте $I_э$ эмиттер тогы пайда болады. Эмиттерден базаға қарай өтіп жатқан кемтіктер үшін коллектор тізбегіндегі **p-n** өтуі де ашылады да, кемтіктер коллекторға өтіп $I_к$ тогын тудырады. Эмиттер мен коллектордағы ток күштерінің шамасы тең болуы үшін транзистордың базасын өте жұқа қабат

түрінде жасайды. Коллектор тізбегіндегі ток күші эмиттер тізбегіндегі ток күшіне тәуелді өзгереді.

Егер эмиттер тізбегі айнымалы кернеу көзіне жалғанса, коллектор тізбегіне жалғанған резисторда амплитудасы кіріс сигналының амплитудасынан көп үлкен болатын айнымалы кернеу пайда болады. Демек, транзистор айнымалы кернеуді күшейтетін күшейткіш рөлін атқарады.

Униполярлы (өрісті) транзистор - жұмыстық токтың өзгеруі кіріс сигналы тудыратын, оған перпендикуляр бағытталған электр өрісі әрекетінен болатын транзистор. Өрістік транзисторларда кристалл арқылы өтетін токты тек бір таңбалы заряд тасушы – электрон немесе кемтік тудырады. Заряд тасушыларды басқаруға негізделетін физикалық эффектілерге қарай өрістік транзисторлар шартты түрде 2-ге бөлінеді:

1) басқаратын **p-n** электрон-кемтіктік өтуі бар немесе металл-шалаөткізгіш түйіспелі оқшауланған жапқылы металл-диэлектрик-шалаөткізгіш (МДШ) транзисторлар деп бөлінеді. Униполярлы (өрісті) транзисторлар әдетте кремний немесе галий арсениді негізінде жасалады.

Транзистор микроэлектроника құрылғыларының негізгі элементі болып табылады, интегралдық сұлбаларда кеңінен қолданылады. 1956 жылы Уильям Шокли, Джон Бардин және Уолтер Браттейн биполярлы транзисторды ойлап шығарғандары үшін физикадан Нобель сыйлығын алған болатын.

Бақылау сұрақтары

1. Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігінің ерекшеліктеріне талдау жаса.
2. Қоспалы өткізгіштік түрлері және олардың ерекшеліктері туралы баянда.
3. Жартылай өткізгіштердің өткізгіштігінің температураға тәуелділігін түсіндір.
4. Жартылай өткізгіштердегі контактілі құбылыстардың жүру механизміне талдау жаса.
5. Жартылай өткізгіштік диод және оның қолданылуы туралы баянда
6. Жартылай өткізгіштік транзистордың ерекшеліктерін түсіндір.