



Автоматика және ақпараттық технологиялар институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Жартылай өткізгіш материалдар

*PhD докторы ЭТжҒТ кафедрасының
қауымдастырылған профессоры
Хабай Анар
Email: a.khabay@satbayev.university*

Алматы қаласы, 2025 ж.

Дәріс №11. Жартылай өткізгіш материалдар

Дәрістің мақсаты:

Жартылай өткізгіштердің физикалық негізін және электрлік қасиеттерін түсіндіру;

Кремний мен германийдің кристалдық құрылымын сипаттау;

Энергетикалық деңгейлердің аймақтық теориясын меңгерту;

n- және p-типті жартылай өткізгіштердің түзілуін және олардың ерекшеліктерін талдау;

Негізгі және азшылық заряд тасымалдаушылардың физикалық мәнін түсіндіру.

ӨТКІЗГІШТЕР, ОҚШАУЛАҒЫШТАР ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТЕР

Меншікті кедергі арқылы салыстыру:

- Өткізгіштер: Тізбекке аз кернеу берілгенде электр тогының өтуіне мүмкіндік береді. Олардың меншікті кедергісі өте төмен ($10^{-6} \div 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$).
- Оқшаулағыштар (Диэлектриктер): Кедергісі өте жоғары ($10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см}$).
- Жартылай өткізгіштер: Меншікті кедергісі бөлме температурасында $10^{-3} \div 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ аралығында болады.

Материалдардың құрылымы:

- Жартылай өткізгіш технологияда негізгі қолданылатын материалдар – германий және кремний.
- Олардың электр тогы тек электрондардан туындайтын электронды жартылай өткізгіштер класына жатады.
- Бұл элементтердің кристалдық торы тетраэдрлік немесе алмаз тәрізді дұрыс құрылымға ие.

КРИСТАЛДЫҚ ҚҰРЫЛЫМ ЖӘНЕ БАЙЛАНЫСТАР

Тетраэдрлік жүйе:

- Кремний атомдарының сыртқы қабатында 4 валенттік электрон бар (Германийде де 4).
- Тетраэдрлік жүйеде орталық атом төрт бұрыш атомдарынан бірдей қашықтықта орналасады.
- Атомдар арасындағы байланыс валенттік электрондардың жұптық қосылуы нәтижесінде пайда болады. Бұл ковалентті немесе жай валентті байланыс деп аталады.
- Орташа алғанда, әрбір атомның тұрақты сегіз электронды қабықшасы болады.

Жылулық Әсерлер:

- Кристалл тек абсолютті нөлдік температурада ғана толық біртекті құрылымға ие болады.
- Температураның жоғарылауы валенттік байланыстарды бұзады.
- Бұзылған байланыстар бос электрондар мен тесіктердің (электрондар ажырап кеткен бос кеңістіктердің) жұбының түзілуіне әкеледі.
- Меншікті жартылай өткізгіштерде температура жоғарылаған сайын, кедергі төмендейді (теріс температуралық коэффициент).

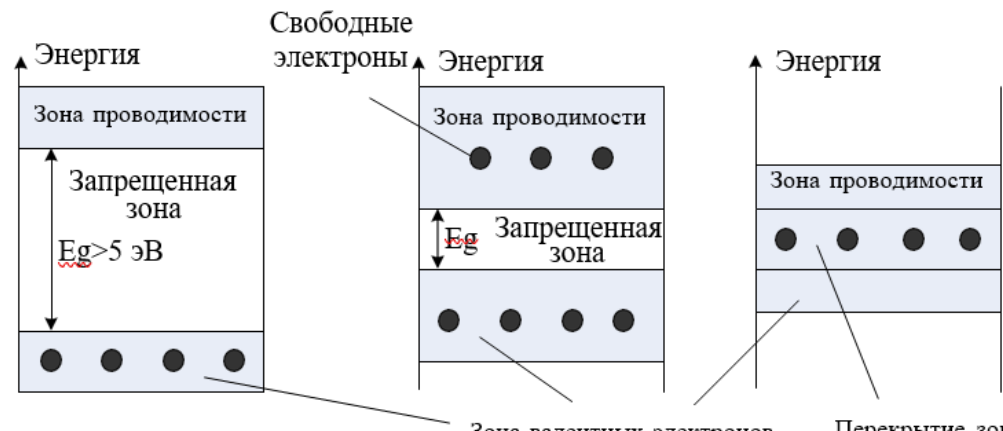
ЭНЕРГИЯ ЗОНАЛАРЫНЫҢ ТЕОРИЯСЫ

Энергетикалық деңгейлер:

- Атомдардағы электрондардың рұқсат етілген және тыйым салынған энергетикалық деңгейлері аймақтарға (зоналарға) топтастырылған.
- Валенттік аймақ: Электрондардың атомға байланысқан күйі.
- Өткізгіштік аймақ: Электрондар еркін қозғала алатын аймақ.
- Тыйым салынған аймақ (Жолақ аралық): Бұл екі аймақты бөліп тұратын энергия.

Материалдарды салыстыру:

- Оқшаулағыштарда тыйым салынған аймақ өте үлкен (5 эВ-тан жоғары). Өткізгіштік зонасында бос электрондар болмайды.
- Жартылай өткізгіштерде (Кремний: 1,1 эВ, Германий: 0,67 эВ) электрон тыйым салынған аймақтан өту үшін аз энергияны қажет етеді.
- Өткізгіштерде өткізгіштік ;



олдеқашан жеткілікті.

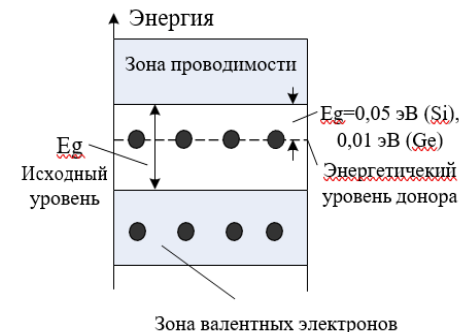
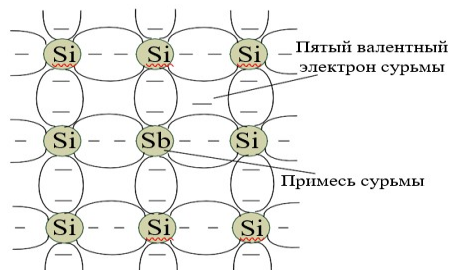
N-ТИПТІ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТЕР

Қоспалау (Легирлеу):

- Жартылай өткізгіштің электрлік қасиеттерін қоспа атомдарын қосу арқылы өзгертуге болады (Легирленген жартылай өткізгіш).
- n-типті материалдар бес валенттілік электрондары бар элементтерді (мысалы, сурьма, фосфор) кремнийге қосу арқылы жасалады.
- Бес валентті атомның төрт электроны көрші атомдармен тұрақты сегіз электронды қабықша түзеді, ал тоғызыншы электрон еркін болып шығады.
- Донорлар: Электронды беретін қоспалар донор (донорлық электрондар) деп аталады.

Өткізгіштік:

- Еркін электрондар кремнийдің өз бос электрондарына қосылады. Өткізгіштік электронды болады (n-типті).
- Бұл материалда бос электрондардың көп саны болғанымен, материал электрлік бейтарап болып қалады.
- Донорлық энергия деңгейі төмен энергиямен пайда болғандықтан, бос электрондар бөлме температурасында өткізгіштік зонасына оңайырақ өтеді.



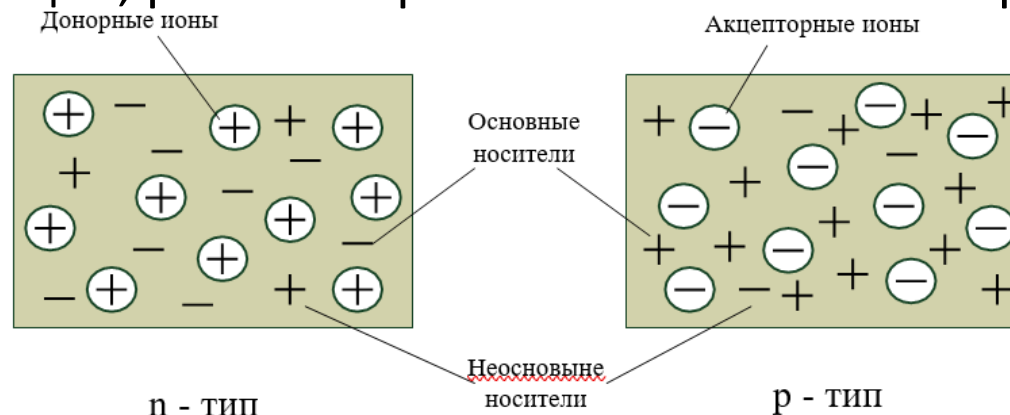
Р-ТИПТІ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТЕР

Р-типті материалдардың түзілуі:

- р-типті материалдар үш валентті индий, галий немесе бор сияқты элементтерді кремнийге қосу арқылы жасалады.
- Тұрақты сегіз валентті қабық жасау үшін қосымша электрон қажет болады. Бұл электрон негізгі тордан алынады.
- Электрон алынғаннан кейін, оның орнында бос тесік (кемтік) пайда болады.
- Акцепторлар: Электрондарды қабылдайтын қоспалар акцепторлық (электрондарды қабылдау) деп аталады.

Өткізгіштік:

- Өткізгіштік тесіктермен (саңылаулармен) басым болады (р-типті).
- Акцепторлық атомдар электронды қабылдаған кезде стационарлық теріс ионға айналады.
- n-типті материал сияқты, р-типті жартылай өткізгіш те электрлік бейтарап болып қалады.



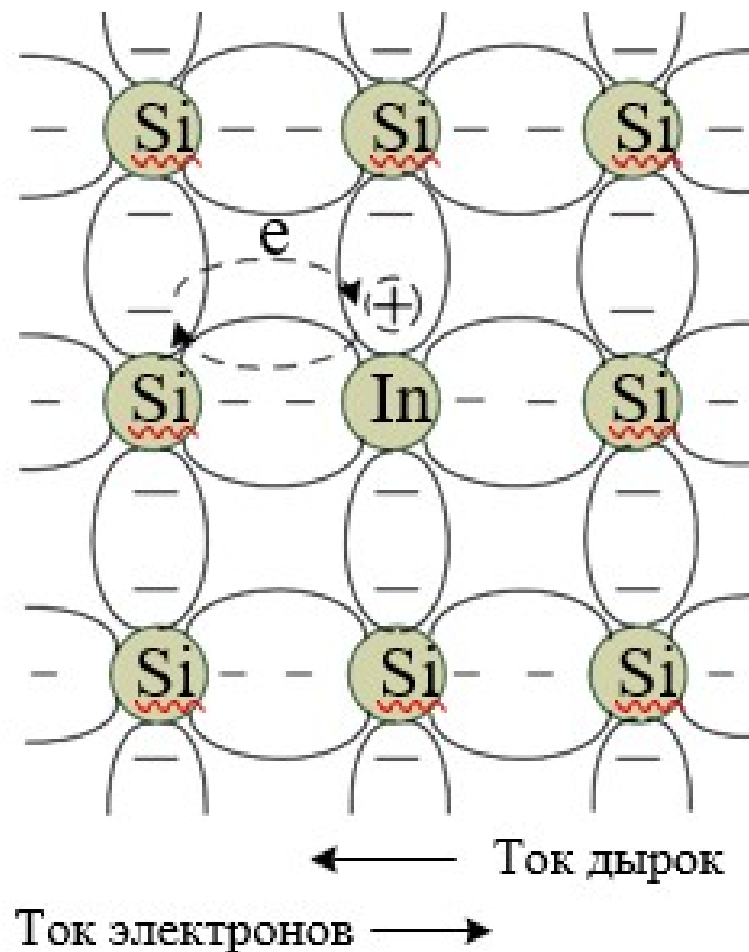
ЗАРЯД ТАСЫМАЛДАУШЫЛАР ЖӘНЕ ТОК

Ток бағыты:

- Валенттік электрон коваленттік байланысты үзіп, бос орынды толтырғанда, жаңа тесік пайда болады.
- Тесіктердің қозғалысы – оң зарядтардың бағытымен (саңылаулармен) байланыстырылады.
- Электрондардың қозғалысы оңға қарай, ал саңылаулардың қозғалысы солға қарай байқалады.

Негізгі және Азшылық Тасымалдаушылар:

- n-типті: Электрондар – көп заряд тасымалдаушылар, ал саңылаулар – азшылық тасымалдаушылар.
- p-типті: Саңылаулар – көпшілік тасымалдаушылар, ал электрондар – азшылық тасымалдаушылар.
- n- және p-типті материалдарды қосу нәтижесінде жартылай өткізгіш диод пайда болады.



Қорытынды

- ✓ Жартылай өткізгіш материалдар, әсіресе кремний мен германий, электрлік қасиеттері бойынша өткізгіштер мен оқшаулағыштар арасында ерекше орын алады. Олардың тетраэдрлік кристалдық құрылымы және коваленттік байланыстары термодинамикалық жағдайға байланысты электрлік мінез-құлықты көрсетеді. Жылулық әсерлердің нәтижесінде электронды-тесік жұптары түзіледі, бұл тасымалдаушылардың негізі болып табылады.
- ✓ Ең маңызды қадам — бұл легирлеу (қоспалау) процесі. Бес валентті донорлық қоспаны енгізу арқылы n-типті (электронды өткізгіштік басым) материалдар алынады, ал үш валентті акцепторлық қоспаны енгізу арқылы p-типті (саңылаулық өткізгіштік басым) материалдар жасалады. Бұл материалдар, сәйкесінше, электрондарды көпшілік және азшылық тасымалдаушылар ретінде пайдаланады. Осы екі типті жартылай өткізгіштерді біріктіру электроникадағы барлық дерлік құрылғылардың, соның ішінде жартылай өткізгіш диодтың негізі болып табылады.

Қайталау сұрақтары

1. Жартылай өткізгіштердің меншікті кедергісі қандай диапазонда орналасады және олардың өткізгіштерден айырмашылығы неде?
2. Кремний мен германийдің кристалдық торының құрылымы қалай аталады?
3. Коваленттік байланыс қалай түзіледі және абсолютті нөлден жоғары температурада не болады?
4. Энергия зоналары теориясындағы тыйым салынған аймақ (жолақ аралық) дегеніміз не?
5. n-типті жартылай өткізгішті алу үшін қандай валенттіліктегі қоспалар қолданылады? Олар қалай аталады?
6. Р-типті материалдарда көпшілік тасымалдаушылар не болып табылады?
7. Донорлық атом электронын бергеннен кейін қандай зарядқа ие болады?
8. Электрондық және саңылаулық ток бағыттарын түсіндіріңіз.
9. N- және р-типті материалдарды қосу нәтижесінде қандай электрондық элемент пайда болады?

Назарларыңызға рақмет!