

Напівпровідник – це речовина, яка займає проміжне місце між провідниками, що мають високу електропровідність (метали, електроліти) та діелектриками які майже не проводять електричний струм (фарфор, гума та інші).

До провідників відносять оксиди металів  $Al_2O_3$ ,  $Cu_2O$ ,  $ZnO$ ,  $TiO_2$ , сірчисті з'єднання – сульфідні ( $Cu_2S$ ,  $Ag_2S$ ,  $ZnS$ ,  $CdS$ ,  $HgS$ ) з'єднання з селеном – селеніди, з'єднання з теллуром – теллуриди, деякі сплави ( $MgSb_2$ ,  $ZnSb_2$ ,  $AlSb$ ,  $ClSb$ ), хімічні елементи – германій, кремній, теллур, бор, вуглець, сіра, фосфор, миш'як, а також складні з'єднання (гелен, карборунд та інші).

Напівпровідник – речовина з електропровідністю  $10^{-10} - 10^4$  (ом  $\times$  см)-1

Електричні властивості напівпровідників сильно відрізняються від провідників та ізоляторів.

Електропровідність сильно залежить від температури, освітленості, наявності та інтенсивності електричного поля, кількості домішок.

## Види провідності

У напівпровідників розрізняють два види провідності: електронну та діркову. Електронна провідність здійснюється вільними електронами, а діркова – переміщенням зв'язків, що залишились без електрона.

### Електронна провідність

Провідність, що зумовлена рухом електронів, називається електронною і позначається буквою  $n$  ( $n$ -провідність).

Вільні електрони рухаються всередині кристалічної решітки напівпровідника, подібно вільним електронам в металі. Провідність напівпровідника, обумовлену рухом електронів, називають електронною.

### Діркова провідність

Провідність, що зумовлена рухом дірок, називається дірковою і позначається буквою  $p$  ( $p$ -провідність).

Внаслідок руйнування ковалентних зв'язків, на місці кожного розірваного зв'язку відразу утворюється вакантне місце з нестачею електрона, його називають діркою. Оскільки дірка в кристалі переміщується як і вільний носій електричного заряду то їй приписують позитивний заряд. Якщо діє зовнішнє електричне поле, в напівпровіднику виникає впорядковане переміщення дірок і до електричного струму вільних електронів додається струм пов'язаний з переміщенням дірок.

## Власна провідність напівпровідників

Чистий напівпровідник має однакові степені електронної і діркової провідності (в розумінні рівної кількості носіїв одного та іншого типів).

Провідність чистих напівпровідників, що не мають ніяких домішок, називають – власною провідністю напівпровідників. Власна провідність напівпровідників невелика, оскільки малою є кількість вільних електронів.

В чистому кристалі германія і в кристалах інших напівпровідникових елементів при низьких температурах вільних електронів немає і такі кристали в таких умовах є хорошими діелектриками.

Провідність хімічно чистого напівпровідника стає можлива в випадках коли ковалентні зв'язки в кристалах розриваються. Наприклад, нагрівання до відносно невисоких температур призводить до розриву ковалентних зв'язків і появи вільних електронів і виникнення власної електронної провідності чистого напівпровідника (провідність n-типу.).

Енергія яка має бути затрачена для створення в кристалах чистих напівпровідників електропровідності називається енергією активації власної провідності.

З підвищенням температури збільшується число розривів ковалентних зв'язків і збільшується кількість вільних електронів в чистих напівпровідниках.

Це означає що питома електропровідність чистих напівпровідників з підвищенням температури збільшується, а питомий опір зменшується. Цим напівпровідники відносні відрізняються від металів, у яких питомий опір збільшується при нагріванні. Окрім нагрівання, розрив ковалентних зв'язків і виникнення власної провідності може бути викликане освітлення (фотопровідність) або дією сильних електричних полів. Коли кристалічний чистий напівпровідник отримує енергію яка необхідна для розриву ковалентних зв'язків і електрон уходить з свого місця, електрична нейтральність кристала в цьому місці порушується. В місці звідки пішов електрон виникає надлишковий позитивний заряд – з'являється позитивна дірка, яка поводить як заряд, що рівний по абсолютному значенню заряду електрона, но позитивний по знаку. На звільнене від електрона місце – дірку – може переміститись сусідній електрон, а це рівносильно тому, що перемістилась позитивна дірка: вона з'являється в новому місці, звідки пішов електрон. В зовнішньому електричному полі електрони переміщуються в сторону що протилежна напрямленню напруженості електричного поля. Позитивні дірки переміщуються в напрямку напруженості електричного поля, тобто в сторону куди рухався б позитивний заряд під дією електричного поля. Процес переміщення електронів і дірок в зовнішньому електричному полі відбувається по всьому кристалу напівпровідника. Електропровідність чистого напівпровідника зумовлена упорядкованим переміщенням дірок, називається власною дірковою провідністю (провідність p-типу).

Загальна питома провідність напівпровідника складається з провідності n- і p-типів.

## Домішкова провідність напівпровідників

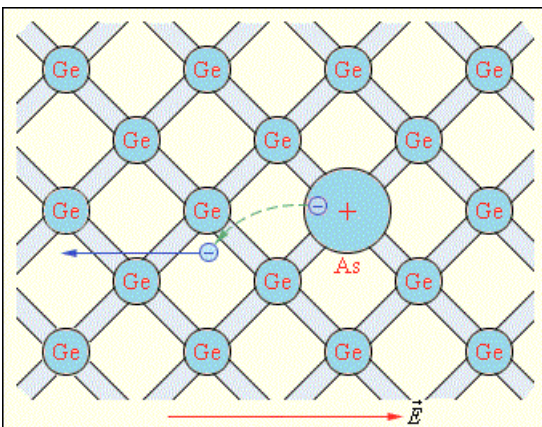
Якщо до чистого провідника додати малий відсоток домішки, то механізм провідності зміниться. Домішки додають для збільшення носіїв заряду. Зі збільшенням носіїв заряду збільшується електропровідність. За наявності домішок поряд із власною провідністю виникає додаткова – домішкова провідність. Змінюючи концентрацію домішки, можна змінити кількість носіїв заряду того або того знака, а отже, створити напівпровідники з переважаючою концентрацією чи позитивно, чи негативно заряджених носіїв.

### Донорна домішка (напівпровідник n-типу провідності)

n-тип провідності мають напівпровідники з донорними домішками.

Якщо в чотирьох валентний германій (Ge) додати п'яти валентний миш'як (As). Атоми домішки займуть місце у кристалічній ґратці місце атомів германію. П'ятий електрон виявиться зайвим і легко відривається від атому і стає вільним. Це призводить до зростання електропровідності. Якщо прикласти до напівпровідника зовнішнє електричне поле переміщення зарядів стає направленим. Домішка з атомів з валентністю, що перевищує валентність основних атомів називається донорською.

У кристалі германію з домішкою миш'яку є електрони і дірки, що створюють власну провідність кристала. Але основним типом носіїв вільного заряду є електрони, що відірвалися від атомів миш'яку. Така провідність називається електронною, а напівпровідник, що має електронну провідність, називається напівпровідником n-типа.

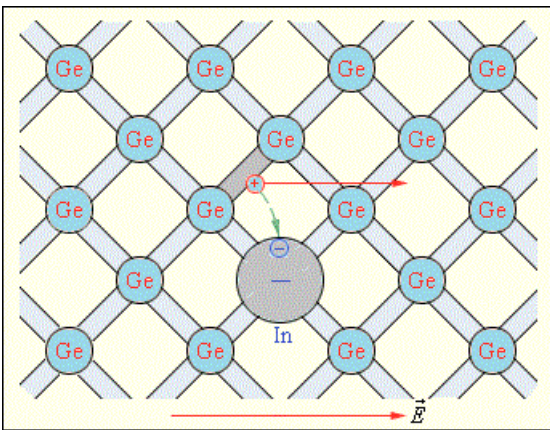


## Акцепторна домішка (напівпровідник р-типу провідності)

р-тип провідності мають напівпровідники з акцепторними домішками.

Якщо до чотирьох валентного германію додати не миш'як, а трьох валентний індій (In). То для створення ковалентного зв'язку йому не вистачає одного електрона, а на місці де не вистачає електрона маємо позитивно заряджену електронну ваканцію – “дірку”. При прикладенні зовнішнього електричного поля рух електронів стає напрямленим і електрони сусідніх атомів рухаються від однієї дірки до іншої.

Наявність акцепторної домішки різко знижує питомий опір напівпровідника за рахунок появи великого числа вільних дірок. Концентрація дірок в напівпровіднику з акцепторною домішкою значно перевищує концентрацію електронів, які виникли через власну електропровідність напівпровідника. Провідність такого типу називається дірковою провідністю. Домішковий напівпровідник з дірковою провідністю називається напівпровідником р-типу.



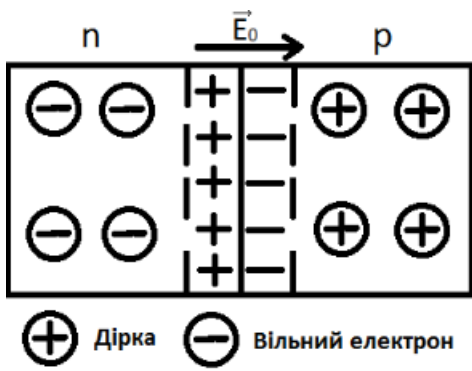
## р—п – перехід

Контакт двох напівпровідників з різним типом провідності називають р—п-переходом.

Перехід не можна створити простим дотиком пластин п– і р–типу, оскільки при цьому неминучий проміжний шар повітря, окисів або поверхневих забруднень. Ці переходи отримують сплавленням або дифузією відповідних домішок в пластинки монокристалу напівпровідника, а також шляхом вирощування р–п переходу із розплаву напівпровідника з регульованою кількістю домішок.

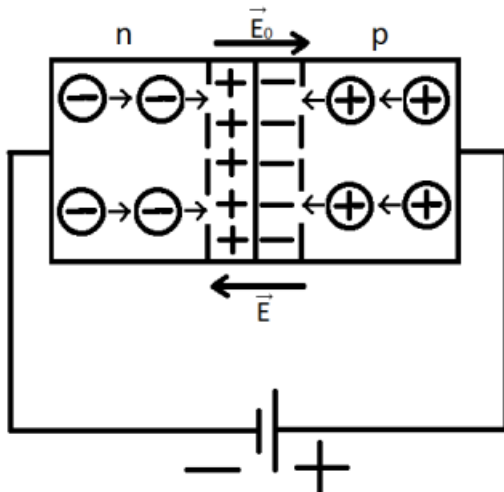
Якщо на кристал кремнію, обробленого миш'яком, наплавити шматок індію, то частина атомів індію внаслідок дифузії проникне в товщу кристалу і в ньому утворяться області з різним типом провідності.

У контакті напівпровідників р- і п-типу відбувається взаємна дифузія електронів і дірок та їх нейтралізація, унаслідок чого виникає запірний шар, який має великий опір. У запірному шарі створюється електричне поле  $E_0$  напрямлене від п до р, і контактна різниця потенціалів (потенціальний бар'єр) який обмежує подальшу дифузію носіїв заряду.



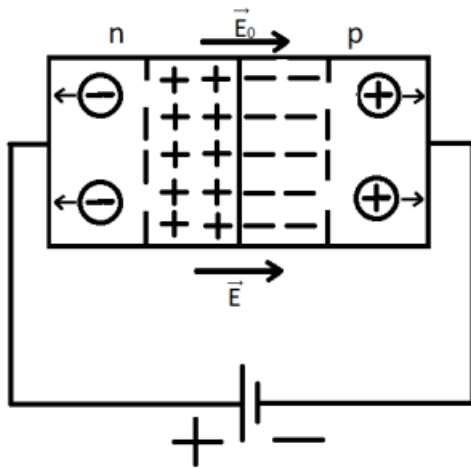
### Пряме підключення р—п – переходу.

Якщо створити поле  $E$ , напрямлене від р- до n-типу напівпровідника, опір запірного шару зменшиться і через р—п перехід починає протікати прямий струм. Опір переходу при такому підключенні знижується, а ширина запірного шару зменшується. При такому підключенні р—п перехід відкритий.



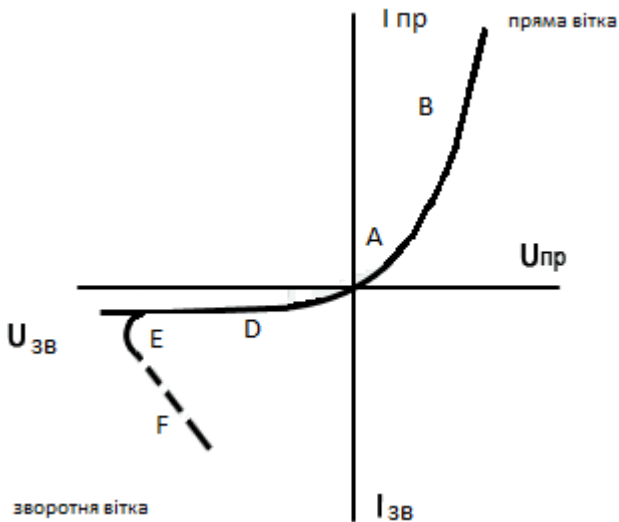
### Зворотне підключення р—п – переходу.

Якщо створити поле  $E$ , напрямлене від n- до р-типу напівпровідника, то напрям електричного поля співпадає з внутрішнім електричним полем. Опір збільшується, запірний шар збільшується.



Здатність пропускати струм тільки в одному напрямку називають вентельним ефектом.

### Вольт-Амперна характеристика р—n – переходу.



Пряма вітка (пряме підключення)

- А – Пряме електричне поле менше за запираюче та струм що проходить через р—n – перехід незначний.
- В – З ростом прямої напруги р—n – перехід відкривається.

Зворотня вітка (зворотнє підключення)

- D – При зворотньому підключенні потенційний бар'єр для носіїв заряду зростає. Результуючий струм збільшиться але далі буде незмінним, тому що кількість неосновних зарядів обмежена, всі приймають участь в механізмі переносу струму наступає – “насичення”.
- E – При подальшому збільшенні зворотньої напруги призводить до зростання швидкості руху носіїв заряду їх кінетична енергія досягає до величини ударної іонізації атомів р—n переходу при цьому лавиноподібно збільшується кількість електронів і дірок у р—n переході, це обумовлює зростанням струму при незмінній напрузі – лавиноподібний пробій р—n переходу. Має зворотній характер.

Подальше зростання струму веде до розігрівання кристалу, що викликає генерацію додаткових зарядів і наступає тепловий пробій р—n переходу.

- F – в наслідок пробою р—n перехід руйнується.

## **Застосування напівпровідників**

У сучасній техніці напівпровідники знайшли найширше застосування, вони зробили дуже сильний вплив на технічний прогрес. Завдяки їм вдається значно зменшити вагу і габарити електронних пристроїв. Розвиток усіх напрямків електроніки призводить до створення і вдосконалення великої кількості різноманітної апаратури на напівпровідникових приладах.

Однак деякі напівпровідникові матеріали мають малу температурну межу (наприклад, германій), але не дуже складна температурна компенсація або заміна основного матеріалу приладу іншим (наприклад, кремнієм, карбідом кремнію) в значній, ступеня усуває і цей недолік.

Напівпровідники використовуються при виготовленні напівпровідникових діодів. Подвійні переходи (р-п-р або п-р-п) – транзисторів і тиристорів. Ці прилади в основному застосовуються для випрямлення, генерації і посилення електричних сигналів. На основі фотоелектричних властивостей напівпровідників створюють фотоспротивлення, фотодіоди і фототранзистори. Напівпровідник служить активною частиною генераторів (підсилювачів) коливань напівпровідникових лазерів. При пропущенні електричного струму через р-п перехід в прямому напрямку, носії заряду – електрони і дірки – рекомбінують з випромінюванням фотонів, що використовується при створенні світлодіодів, з яких роблять освітлювальні прилади наприклад світлодіодні світильники та прожектори.

Напівпровідникові прилади набули широкого поширення в світовій практиці, революційно перетворюючи електроніку, вони служать основою при розробці та виробництві: вимірювальної техніки, комп'ютерів, апаратури для всіх видів зв'язку і транспорту, для автоматизації процесів в промисловості, пристроїв для наукових досліджень, ракетної техніки, медичної апаратури інших електронних пристроїв і приладів. Застосування напівпровідникових приладів дозволяє створювати нову апаратуру і вдосконалювати стару, призводить до значить, зменшення її габаритів, ваги, споживаних потужностей, а отже, зменшення виділення тепла в схемі, до збільшення міцності, до негайної готовності до дії, дозволяє збільшити термін служби і надійність електронних пристроїв.