

## Урок № 53-54

### 53

**Тема уроку:** Надпровідність. Електропровідність напівпровідників. Власна і домішкова провідність напівпровідників

#### Мета уроку:

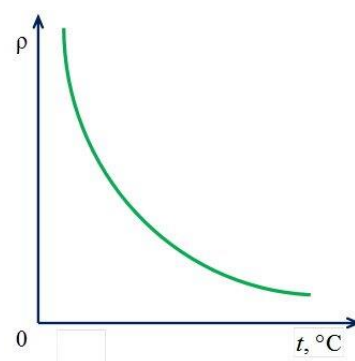
навчальна – вивчити особливості протікання струму в напівпровідниках;  
розвивальна – розвивати уяву, творчі здібності учнів, вдосконалювати вміння застосовувати набуті знання на практиці;

виховна – виховувати почуття відповідальності, взаємодопомоги, вміння виступати перед аудиторією.

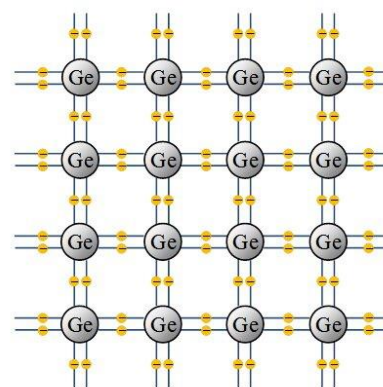
### Матеріал до уроку

#### Надпровідність

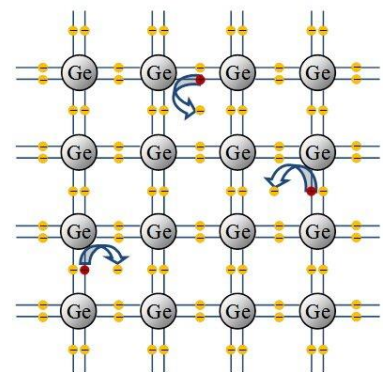
Питомий опір низки елементів (кремнію, германію, селену тощо) та деяких оксидів, сульфідів, телуридів з підвищенням температури не зростає, як у металів, а, навпаки, різко зменшується. Такі речовини назвали **напівпровідниками**. Як видно з графіка, при температурах, що наближаються до абсолютного нуля, питомий опір різко зростає, тобто при низьких температурах  $T$  напівпровідник веде себе як діелектрик. Зі зростанням температури питомий опір напівпровідників швидко зменшується.



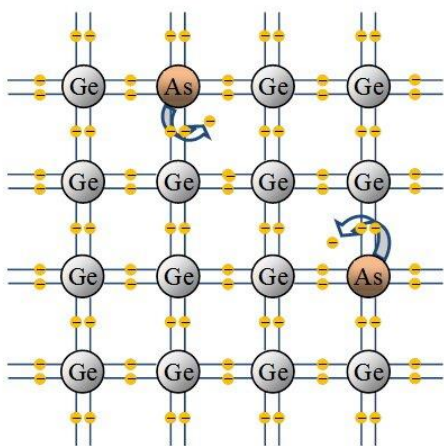
Пояснимо ці закономірності, розглянувши будову напівпровідників на прикладі чотиривалентного елемента германію (рис 2). Взаємодія пари сусідніх атомів здійснюється за допомогою ковалентного (парноелектронного) зв'язку. У темряві і при низьких температурах усі електрони зайняті в ковалентних зв'язках. Вільних носіїв у кристалі напівпровідника немає ( $n$ ), отже  $I = q_0 n S v = 0$ , тому кристал не проводить струму і його опір великий. За цих умов напівпровідник схожий на ізолятор.



З підвищенням температури кристала (або під час попадання на нього світла) деякі ковалентні зв'язки руйнуються. На місці кожного розірваного зв'язку відразу утворюється вакантне місце з нестачею електрона. Його називають **діркою**. Оскільки дірка переміщується в кристалі, як і вільний носій в електричного заряду, то їй приписують позитивний заряд. Якщо діє зовнішнє



електричне поле, в кристалі напівпровідника виникає впорядковане переміщення дірок і до електричного струму вільних електронів додається електричний струм, пов'язаний з переміщенням дірок (діркова провідність). Провідність чистих напівпровідників, що не мають ніяких домішок, називають **власною провідністю напівпровідників**.



Власна провідність напівпровідників невелика, оскільки малою є кількість вільних електронів. Особливість напівпровідників полягає в тому, що в них за наявності домішок поряд із власною провідністю виникає додаткова - **домішкова провідність**. Змінюючи концентрацію домішки, можна суттєво змінити кількість носіїв заряду того або того знака, а отже, створити напівпровідники з переважаючою концентрацією чи позитивно, чи негативно заряджених носіїв. Наприклад, внесемо в чотиривалентний германій *Ge* невелику кількість п'ятивалентного арсену (*As*) (рис. 3). Чотири електрони арсену (*As*) утворюють ковалентні зв'язки із сусідніми атомами германію (*Ge*), а п'ятий одразу стає вільним. Домішки, що легко віддають електрони, і, отже, збільшують кількість вільних носіїв, називають **донорними домішками**.

германій *Ge* невелику кількість п'ятивалентного арсену (*As*) (рис. 3). Чотири електрони арсену (*As*) утворюють ковалентні зв'язки із сусідніми атомами германію (*Ge*), а п'ятий одразу стає вільним. Домішки, що легко віддають електрони, і, отже, збільшують кількість вільних носіїв, називають **донорними домішками**.

### Перевірте себе:

1. У чому полягає явище надпровідності?
2. Що таке власна провідність?
3. Що таке домішкова провідність?

### Домашнє завдання:

Написати конспект. Опрацювати §12 с.66-69 підручника №2.

## Урок № 54

**Тема уроку:** Електронно-дірковий перехід: його властивості і застосування. Напівпровідникова елементна база сучасної мікроелектроніки.

### Мета уроку:

навчальна – з'ясувати механізм електропровідності напівпровідників при наявності домішок, ознайомити учнів з будовою та призначенням основних напівпровідникових приладів, систематизувати знання про застосування напівпровідників;

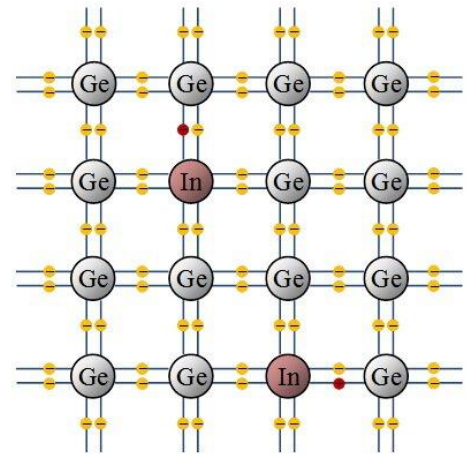
розвивальна – розвивати уяву, творчі здібності учнів, вдосконалювати вміння застосовувати набуті знання на практиці;

виховна – виховувати почуття відповідальності, взаємодопомоги, вміння виступати перед аудиторією.

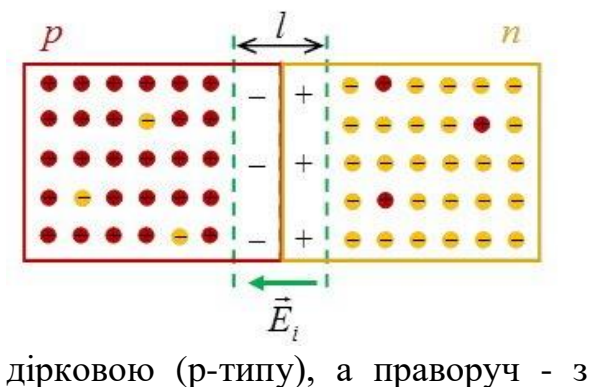
### Матеріал до уроку

Напівпровідники з донорною провідністю мають більшу кількість електронів порівняно з кількістю дірок. Їх називають **напівпровідниками *n*-типу**. У них електрони є **основними** носіями заряду, а дірки - **неосновними**.

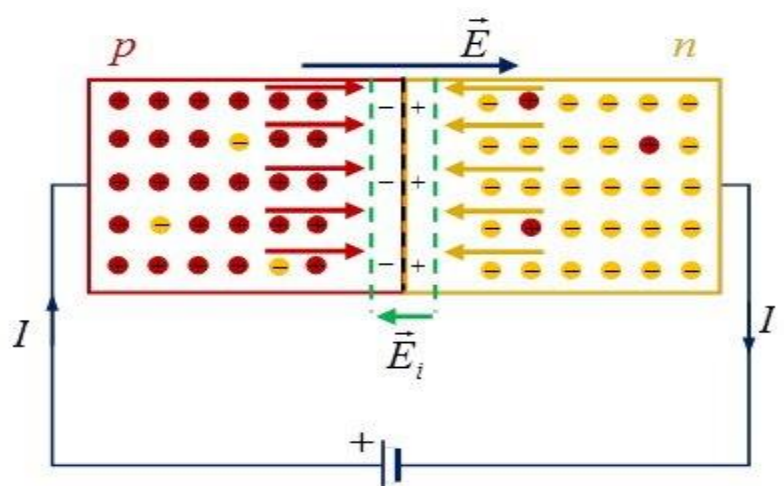
Коли як домішку використовують індій (*In*), атоми якого тривалентні, то характер провідності силіцію зміниться. Тепер для встановлення нормальних парно-електронних зв'язків із сусідами атома індію не вистачає електрона. Унаслідок цього утворюється дірка. Кількість дірок у кристалі дорівнюватиме кількості атомів домішки. Домішки цього типу називають **акцепторними** (приймальними). Напівпровідники з переважанням діркової провідності над електронною називають **напівпровідниками *p*-типу**. Основними носіями заряду таких напівпровідників є дірки, а неосновними - електрони.



Цікаві явища спостерігаються під час контакту напівпровідників *n*- і *p*-типів.



Припустимо, у нас є кристал, в якому зліва знаходиться область напівпровідника з



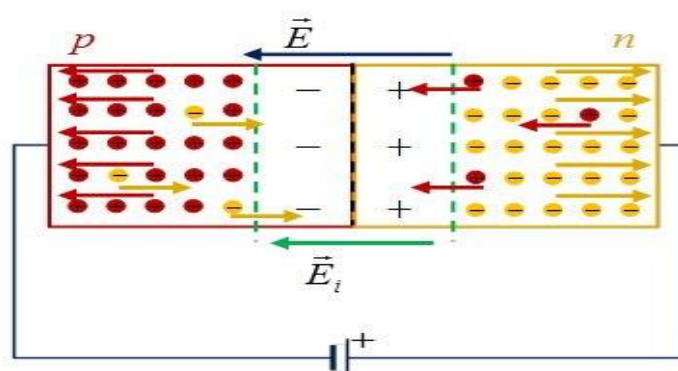
електронною (n-типу) провідністю. Завдяки тепловому руху при утворенні контакту електрони з напівпровідника n-типу будуть переходити в область р-типу. При цьому в області n-типу залишиться не скомпенсований позитивний іон донора. Перейшовши в область з дірковою провідністю, електрон дуже швидко рекомбінує з діркою, при цьому в області р-типу утворюється не скомпенсований іон акцептора.

Аналогічно електронам, дірки з області р-типу переходять в електронну область, залишаючи в дірковій області не скомпенсований негативно заряджений іон акцептора. Перейшовши в електронну область, дірка рекомбінує з електроном. У результаті цього в електронній області утворюється не скомпенсований позитивний іон донора. В результаті дифузії на границі між цими областями утворюється подвійний електричний шар різнойменно заряджених іонів, товщина якого не перевищує часток мікрметра.

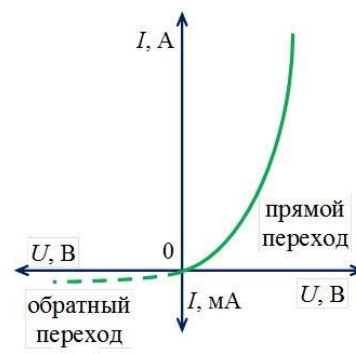
Між шарами іонів виникає електричне поле з напруженістю  $E_i$ . Електричне поле електронно-діркового переходу (р-n-перехід) перешкоджає подальшому переходу електронів і дірок через межу розділу двох напівпровідників. Замикаючий шар має підвищений опір в порівнянні з іншим об'ємом напівпровідників.

Зовнішнє електричне поле з напруженістю  $E$  впливає на опір замикаючого електричного поля. Якщо n-напівпровідник підключений до негативного полюса джерела, а плюс джерела з'єднаний з р-напівпровідником, то під дією електричного поля електрони в n-напівпровіднику і дірки в р-напівпровіднику будуть рухатися назустріч один одному до межі розділу напівпровідників. Електрони, переходячи кордон, «заповнюють» дірки. При такому прямому напрямку зовнішнього електричного поля товщина замикаючого шару і його опір безперервно зменшуються. В цьому напрямку електричний струм проходить через р-n-перехід, провідність усього зразка велика, а опір малий. Такий перехід називають **прямим**.

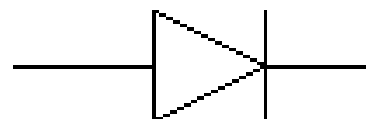
Якщо n-напівпровідник з'єднаний з позитивним полюсом джерела, а р-напівпровідник - з негативним, то електрони в n-напівпровіднику і дірки в р-напівпровіднику під дією електричного поля будуть переміщатися від межі розділу в протилежні боки. Це призводить до потовщення замикаючого шару і збільшення його опору. Напрямок зовнішнього електричного поля, що розширює замикаючий шар, називається замикаючим (зворотнім). При такому напрямку зовнішнього поля електричний струм основних носіїв заряду через контакт двох n-і р-напівпровідників не проходить. Цей перехід називають **зворотним**.



На вольт-амперній характеристиці залежність сили прямого струму від напруги зображено лінією зростаючою в додатному напрямі осі напруги  $U$ . Після перемикання полюсів батареї, коли потенціал напівпровідника  $p$ -типу буде від'ємним, а потенціал напівпровідника  $n$ -типу - додатним, опір переходу зростає, а струм стає незначним. Напрямок руху дірок протилежний рухові електронів. Тому напівпровідники мають електронну і діркову провідності.



Сила зворотного струму майже не змінюється у разі зміни напруги. Створюючи в одному кристалі (наприклад, германію)  $p$ - $n$  перехід вплавленням в одну з його поверхонь домішки індію, можна виготовити **напівпровідниковий діод**. Щоб позбавитися шкідливих впливів повітря і світла, кристал германію вміщують у герметичний металевий корпус.



**Діоди використовують** для випрямлення струму в радіосхемах. Напівпровідниковий діод має переваги перед електронними двоелектродними лампами: економія енергії для одержання носіїв струму, мініатюрність, висока надійність і тривалий термін дії.

Діод має односторонню провідність - сила прямого струму у разі навіть невеликих напруг значно більша від зворотного струму за такої самої напруги. Недоліками цих діодів є погіршення їх роботи з підвищенням температури і вологості.

### Перевірте себе

1. Який тип провідності мають напівпровідники?
  - а) діркова;
  - б) вакуумна;
  - в) електронна;
  - г) дисоціативна.
  
2. Що таке дірка?
  - а) місце з надлишковим електроном;
  - б) місце з нестачею одного електрона;
  - в) місце з надлишковим протоном;
  - г) місце з нестачею одного протона.
  
3. Власна провідність напівпровідників – це:
  - а) провідність чистих напівпровідників, яка зумовлена рухом основних носіїв заряду в чистих напівпровідниках – електронів і дірок;

- б) провідність чистих напівпровідників, яка зумовлена рухом основних носіїв заряду в чистих напівпровідниках – йонів;
- в) провідність чистих напівпровідників, яка зумовлена рухом основних носіїв заряду в чистих напівпровідниках – електронів;
- г) провідність домішкових напівпровідників, яка зумовлена рухом основних носіїв заряду в чистих напівпровідниках – електронів і дірок.

4. Напівпровідники з дірковою провідністю – це:

- а) напівпровідники  $n - p$  – типу;
- б) напівпровідники  $n$  – типу;
- в) напівпровідники  $v - p$  – типу;
- г) напівпровідники  $p$  – типу.

### Домашнє завдання

Написати конспект. Опрацювати §12 с.69-72 підручника №2.

### Зворотній зв'язок

- Viber 0662728430
- E-mail [partitskiy.dmitro@kmrf.kiev.ua](mailto:partitskiy.dmitro@kmrf.kiev.ua)

**!!!! у повідомленні з д/з не забуваємо вказувати прізвище, групу і дату уроку**