

## УРОК 11/22

**Тема.** Електричний струм у напівпровідниках

**Мета уроку:** сформувати уявлення про вільні носії електричного заряду в напівпровідниках і про природу електричного струму в напівпровідниках.

**Тип уроку:** урок вивчення нового матеріалу.

### ПЛАН УРОКУ

Контроль знань	5 хв	1. Механізм провідності газів. 2. Який розряд у газах називають несамостійним? самостійним? 3. Типи самостійного розряду
Демонстрації	5 хв	Фрагменти відеофільму «Струм у напівпровідниках»
Вивчення нового матеріалу	27 хв	1. Що таке напівпровідники? 2. Механізм власної провідності напівпровідників. 3. Вплив домішок на провідність напівпровідників. 4. Електронно-дірковий перехід
Закріплення вивченого матеріалу	8 хв	1. Якісні питання. 2. Навчаємося розв'язувати задачі

## ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

### 1. Що таке напівпровідники

Напівпровідники, як це випливає з їхньої назви, за своєю провідністю займають проміжне положення між провідниками й діелектриками. Якщо значення питомого електричного опору приблизно дорівнює  $10^{-8}$  Ом·м, діелектриків —  $10^{12}$ – $10^{20}$  Ом·м, то напівпровідників —  $10^{-8}$ – $10^7$  Ом·м.

Під час вивчення залежності провідності напівпровідників від зовнішніх факторів з'ясувалося, що ця залежність у напівпровідників значно відрізняється від тієї, що спостерігалася в металах.

По-перше, після підвищення температури питомий опір напівпровідників зменшується, а питомий опір металів, навпаки, збільшується.

По-друге, питомий опір деяких напівпровідників зменшується відповідно до збільшення освітленості.

По-третє, уведення домішок може різко зменшити питомий опір напівпровідників.

## 2. Механізм власної провідності напівпровідників

Зв'язок електронів зі своїми атомами в напівпровідниках не такий міцний, як у діелектриках. І в разі підвищення температури, а так само під час яскравого освітлення деякі електрони відриваються від своїх атомів і стають вільними зарядами, тобто можуть переміщатися в усьому зразку.

Завдяки цьому в напівпровідниках з'являються негативні носії заряду — вільні електрони.

Провідність напівпровідника, обумовлену рухом електронів, називають електронною провідністю, а вільні електрони — *електронами провідності*.

Коли електрон відривається від атома, позитивний заряд цього атома стає некомпенсованим, тобто в цьому місці з'являється зайвий позитивний заряд. Цей позитивний заряд називають «діркою». Атом, поблизу якого утворилася дірка, може відібрати зв'язаний електрон у сусіднього атома, при цьому дірка переміститься до сусіднього атома, а той атом, у свою чергу, може «передати» дірку далі. Таке «естафетне» переміщення зв'язаних електронів можна розглядати як переміщення дірок, тобто позитивних зарядів.

Провідність напівпровідника, обумовлену рухом дірок, називають *дірковою провідністю*.

Таким чином, відмінність діркової провідності від електронної полягає в тому, що електронна провідність обумовлена переміщенням у напівпровідниках вільних електронів, а діркова — переміщенням зв'язаних електронів.

У чистому напівпровіднику (без домішок) електричний струм створює однакову кількість вільних електронів і дірок. Таку провідність називають *власною провідністю напівпровідників*.

## 3. Вплив домішок на провідність напівпровідників

Якщо в чистий напівпровідник додати незначної кількості домішки, то механізм провідності різко зміниться. Цю зміну легко

спостерігати на прикладі кремнію (Si) із незначною кількістю домішки миш'яку (As). У новому кристалі частина атомів Силіцію буде заміщуватися атомами Арсену. Арсен, як відомо, п'ятивалентний елемент. Чотири валентні електрони атоми миш'яку утворюють парні електронні зв'язки із сусідніми атомами Силіцію. П'ятому ж валентному електрону пари не вистачає, і оскільки він слабко пов'язаний з атомами миш'яку, то легко стає вільним. У результаті значна кількість атомів домішки дає вільні електрони. Необхідно відзначити, що домішки типу миш'яку додають у кристал тільки електрони, а вакантні місця (дірки) при цьому не утворюються.

Домішки, атоми яких легко віддають електрони, називаються *донорними*.

Основними носіями зарядів у напівпровідників з донорними домішками є негативні частинки. Тому такі напівпровідники називають напівпровідниками *n*-типу.

Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є електрони, називають напівпровідниками *n*-типу.

Якщо в кремній додати незначну кількість тривалентного індію, то характер провідності напівпровідника зміниться. Оскільки Індій має три валентних електрони, то він може встановити ковалентний зв'язок тільки із трьома сусідніми атомами. Для встановлення зв'язку із четвертим атомом електрона не вистачить. Індій «позичить» електрон у сусідніх атомів, у результаті чого кожний атом Індію утворить одне вакантне місце — дірку.

Домішки, які «захоплюють» електрони атомів кристалічної решітки напівпровідників, називаються *акцепторними*.

У випадку акцепторної домішки основними носіями заряду під час проходження електричного струму через напівпровідник є дірки.

Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є дірки, називають напівпровідниками *p*-типу.

Практично всі напівпровідники містять донорні й акцепторні домішки. Тип провідності напівпровідника визначає домішка з вищою концентрацією носіїв заряду — електронів і дірок.

#### 4. Електронно-дірковий перехід

Серед фізичних властивостей, властивих напівпровідникам, найбільшого застосування одержали властивості контактів (*p-n*-переходу) між напівпровідниками з різними типами провідності.

У напівпровіднику  $n$ -типу електрони беруть участь у тепловому русі й дифундують через границю в напівпровідника  $p$ -типу, де їхня концентрація значно менше. Точно так само дірки дифундуватимуть з напівпровідника  $p$ -типу в напівпровідника  $n$ -типу. Це відбувається подібно до того, як атоми розчиненої речовини дифундують із міцного розчину в слабкий у разі їх зіткнення.

У результаті дифузії у приконтактній ділянці основних носіїв заряду меншає: у напівпровіднику  $n$ -типу зменшується концентрація електронів, а в напівпровіднику  $p$ -типу — концентрація дірок. Тому опір приконтактної ділянки виявляється дуже значним.

Якщо тепер напівпровідник приєднати до джерела струму так, щоб його електронна область з'єднувалася з негативним полюсом джерела, а діркова — з позитивним, то електричне поле, створене джерелом струму, буде спрямовано так, що воно переміщуватиме основні носії струму в кожній області напівпровідника до  $p$ - $n$ -переходу. Приконтактна ділянка буде збагачуватися основними носіями струму, і її опір зменшиться. Через контакт проходитиме помітний струм. Напрямок струму в цьому випадку називають пропусним, або прямим.

Якщо ж приєднати напівпровідник  $n$ -типу до позитивного, а  $p$ -типу до негативного полюса джерела, то приконтактна зона розширюється. Опір ділянки значно збільшується. Струм через перехідний шар буде дуже незначний. Це напрямок струму називають замикаючим, або зворотним.

Електронно-дірковий перехід має практично однобічну провідність: він пропускає помітний струм від  $p$ - до  $n$ -області й дуже маленький струм у зворотному напрямку.

Отже, через межу розділу напівпровідників  $n$ -типу й  $p$ -типу електричний струм іде тільки в одному напрямку — від напівпровідника  $p$ -типу до напівпровідника  $n$ -типу.

## **ПИТАННЯ ДО УЧНІВ У ХОДІ ВИКЛАДУ НОВОГО МАТЕРІАЛУ**

### *Перший рівень*

1. Які речовини можна віднести до напівпровідникових?
2. Рухом яких заряджених частинок створюється струм у напівпровідниках?
3. Чому опір напівпровідників дуже сильно залежить від наявності домішок?

4. Чому вільні носії зарядів не можуть утримуватися в області  $p$ - $n$  -переходу?

### *Другий рівень*

1. Вимірюючи електричний опір за дуже низької температури складно відрізнити напівпровідник від діелектрика. Чому ж властивості цих матеріалів відрізняються за кімнатної температури?
2. Який зв'язок називають ковалентним?
3. Чи можна одержати  $p$ - $n$  -перехід, вплавляючи олово в германій або в кремній?
4. Як можна змінювати тип носіїв у напівпровіднику?

## **ЗАКРІПЛЕННЯ ВИВЧЕНОГО МАТЕРІАЛУ**

### **1. Якісні питання**

1. Чому вимоги до чистоти напівпровідникових матеріалів дуже високі (у ряді випадків не допускається наявність навіть одного атома домішки на мільйон атомів)?
2. Після введення в германій домішки миш'яку концентрація електронів провідності збільшилася. Як змінилася при цьому концентрація дірок?
3. Яку провідність (електронну або діркову) має кремній з домішкою галію? індію? фосфору? сурми?

### **2. Навчаємося розв'язувати задачі**

1. Як зміниться опір зразка кремнію з домішкою фосфору, якщо ввести в нього домішку галію? Концентрація атомів Фосфору й Галію однакова.
2. Мізерно малі кількості домішок, доданих до напівпровідника, можуть різко змінити його електропровідність. Чому навіть у багато разів більші кількості домішок не роблять помітного впливу на електропровідність металів.
3. Що треба зробити, щоб електропровідність германія й кремнію стала такою самою, як електропровідність металу (діелектрика)? Чи збережуться при цьому їхні напівпровідникові властивості?

## ЩО МИ ДІЗНАЛИСЯ НА УРОЦІ

- Напівпровідники мають набагато менший електричний опір, ніж діелектрики, але набагато більший, ніж провідники.
- Провідність напівпровідника, обумовлену рухом електронів, називають електронною провідністю, а вільні електрони — електронами провідності.
- Провідність напівпровідника, обумовлену рухом дірок, називають дірковою.
- Домішки, атоми яких легко віддають електрони, називаються донорними.
- Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є електрони, називають напівпровідниками  $n$ -типу.
- Домішки, які «захоплюють» електрони атомів кристалічної решітки напівпровідників, називаються акцепторними.
- Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є дірки, називають напівпровідниками  $p$ -типу.
- Електронно-дірковий перехід має практично однобічну провідність: він пропускає помітний струм від  $p$ - до  $n$ -області й дуже маленький струм у зворотному напрямку.

### Домашнє завдання

1. Підр-1: § 16 (п. 1, 2, 3, 4); підр-2: § 8 (п. 1, 2, 3).
2. Зб.:

**Рів1** № 6.1; 6.2; 6.3; 6.7.

**Рів2** № 6.24; 6.25; 6.26, 6.27.

## УРОК 12/23

**Тема.** Напівпровідникові прилади

**Мета уроку:** роз'яснити учням принцип роботи напівпровідникових приладів.

**Тип уроку:** урок вивчення нового матеріалу.

### ПЛАН УРОКУ

Контроль знань	5 хв	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чим обумовлена електронна провідність напівпровідника?</li> <li>2. Чим обумовлена діркова провідність напівпровідника?</li> <li>3. Які домішки називають донорними? акцепторними?</li> <li>4. Яку домішку треба ввести, щоб одержати напівпровідника <i>n</i>-типу? <i>p</i>-типу?</li> </ol>
Демонстрації	5 хв	Фрагменти відеофільму «Електричний струм у напівпровідниках»
Вивчення нового матеріалу	25 хв	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Напівпровідниковий діод.</li> <li>2. Як працює транзистор?</li> <li>3. Застосування напівпровідників.</li> <li>4. Інтегральні мікросхеми</li> </ol>
Закріплення вивченого матеріалу	10 хв	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Якісні питання.</li> <li>2. Навчаємося розв'язувати задачі</li> </ol>

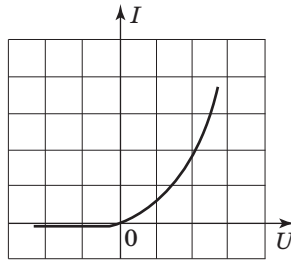
## ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

### 1. Напівпровідниковий діод

Напівпровідниковий діод використовує однобічну провідність *p-n*-переходу. Такий діод має два контакти для приєднання до кола.

Часто говорять, що у діода незначний опір у прямому напрямку й дуже великий опір — у зворотному. Однак це не зовсім точне твердження: по суті, для напівпровідників взагалі й особливо для електронно-діркових переходів не виконується закон Ома. Тому будь-якого постійного опору в таких провідників немає.

Вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода має вигляд:



Напівпровідникові діоди використовують для випрямлення струму змінного напрямку (такий струм називають *змінним*), а також для виготовлення світлодіодів. Напівпровідникові випрямлячі є високонадійними і мають значний термін використання.

Широко застосовують напівпровідникові діоди в радіотехнічних пристроях: радіоприймачах, відеомагнітофонах, телевізорах, комп'ютерах.

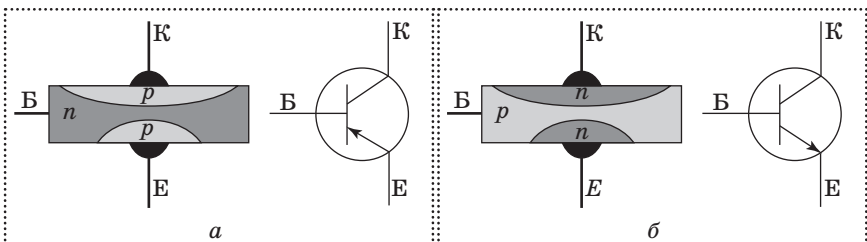
## 2. Як працює транзистор

Надзвичайно важливими є напівпровідники у транзисторах.

*Транзистори* — напівпровідникові прилади із двома *p-n*-переходами.

Головним елементом для транзистора є напівпровідниковий кристал, наприклад германій, із уведеними в нього донорними й акцепторними домішками. Домішки розподілені так, що між напівпровідниками з однаковою домішкою (їх називають емітер і колектор) залишається тонкий шар германію з домішкою іншого типу — цей шар називають базою.

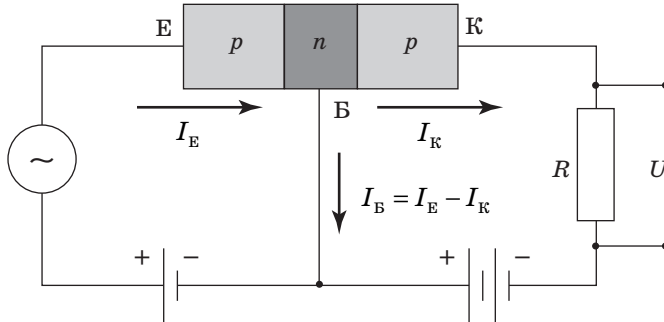
Транзистори бувають двох типів: *p-n-p*-транзистори (рис. а) і *n-p-n*-транзистори (рис. б).





У транзисторі *p-n-p*-типу в емітері й колекторі дірок істотно більше, ніж електронів, а в базі більше електронів; у транзисторі *n-p-n*-типу в емітері й колекторі електронів більше, ніж дірок, а в базі більше електронів.

Розглянь роботу транзистора *p-n-p*-типу. Три виводи транзистора з ділянок з різними типами провідності вмикають у коло так, як показано на рисунку.



Якщо потенціал бази *p-n-p*-транзистора вище за потенціал емітера, то струм не протікає через транзистор. Отже, транзистор може працювати як електронний ключ. Якщо ж потенціал бази нижче за потенціал емітера, то навіть незначні зміни напруги між емітером і базою призводять до значних змін сили струму в колі колектора й, відповідно, до зміни напруги на резисторі значного опору.

Розглянувши роботу транзистора, робимо висновок, що за допомогою транзистора можна підсилювати електричні сигнали.

Тому транзистор став основним елементом дуже багатьох напівпровідникових приладів.

### 3. Застосування напівпровідників

Залежність електропровідності напівпровідників від температури дає можливість застосовувати їх у термісторах.

*Термістор* — напівпровідниковий терморезистор, електричний опір якого істотно змінюється за підвищення температури.

Термістори застосовують як термометри для вимірювання температури.

У багатьох напівпровідниках зв'язок між електронами й атомами настільки незначний, що достатньо опромінити кристали світлом, щоб у них виникла додаткова кількість вільних носіїв зарядів.

Напівпровідниковий пристрій, у якому використовують властивість провідника змінювати свій опір під час освітлення, називають фоторезистором.

Фоторезистори застосовують у системах сигналізації й автоматичі, дистанційного керування виробничими процесами, сортування виробів і т. ін.

#### 4. Інтегральні мікросхеми

Напівпровідникові діоди й транзистори є «цеглинками» дуже складних пристроїв, що називаються *інтегральними мікросхемами*.

Мікросхеми «працюють» сьогодні в комп'ютерах і телевізорах, у мобільних телефонах і штучних супутниках, в автомобілях, літаках і навіть у пральних машинах.

Інтегральну схему виготовляють на пластинці кремнію. Розмір пластинки — від міліметра до сантиметра, причому на одній такій пластинці може розміщуватися до мільйона компонентів — малюсінських діодів, транзисторів, резисторів і т. ін.

Важливими перевагами інтегральних схем є висока швидкість й надійність, а також низька вартість. Саме завдяки цьому на основі інтегральних схем і вдалося створити складні, але доступні багатьом прилади, комп'ютери й предмети сучасної побутової техніки.

### ПИТАННЯ ДО УЧНІВ У ХОДІ ВИКЛАДУ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

#### *Перший рівень*

1. За допомогою якого досліду можна перекоонатися в одnobічній провідності напівпровідникового діода?
2. Чому база транзистора повинна бути дуже малою?
3. Яку провідність може мати база транзистора?

#### *Другий рівень*

1. Чому струм у колекторі приблизно дорівнює току в емітері?
2. У закритому ящику розміщено напівпровідниковий діод і реостат. Кінці приладів виведені назовні й приєднані до клем. Як визначити, які клеми належать діоду?

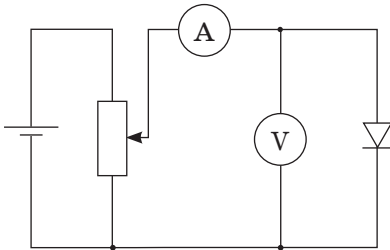
## ЗАКРІПЛЕННЯ ВИВЧЕНОГО МАТЕРІАЛУ

### 1. Якісні питання

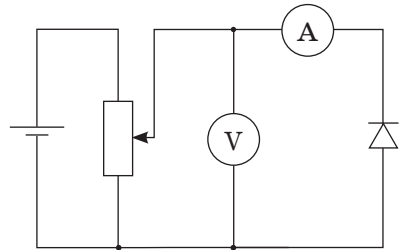
1. Як вплине на роботу транзистора збільшення товщини його бази?
2. Відомо, що в кожному транзисторі є два  $p-n$ -переходи, які увімкнені назустріч один одному. Чи можна замінити один транзистор двома увімкненими точно так само діодами?

### 2. Навчаємося розв'язувати задачі

1. Накресліть схему увімкнення транзистора  $p-n-p$  для посилення напруги.
2. Накресліть схему увімкнення транзистора  $n-p-n$  для посилення напруги.
3. Чому для одержання вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода використовують дві різні схеми з'єднання приладів (див. рис. а, б)?



а



б

*Розв'язання.* У цьому випадку не можна вважати опір амперметра нескінченно малим, а опір вольтметра — нескінченно великим. Схему *а* не можна використовувати для вимірювання зворотного струму через діод (практично весь струм піде через вольтметр). Схему *б* не можна використати для вимірювання напруги за прямого струму (напруга на амперметрі набагато перевищує напругу на діоді).

## ЩО МИ ДІЗНАЛИСЯ НА УРОЦІ

- Транзистор — електронний прилад з напівпровідникового матеріалу зазвичай із трьома виводами, що дозволяє керувати за

допомогою слабкого вхідного сигналу електричним струмом в електричному колі.

- За допомогою транзистора можна підсилювати електричні сигнали.
- Термістор — напівпровідниковий терморезистор, електричний опір якого істотно змінюється у разі підвищення температури.
- Напівпровідниковий пристрій, у якому використовують властивість провідника змінювати свій опір під час освітлення, називають фоторезистором.

### **Домашнє завдання**

1. Підр-1: § 16 (п. 5, 6, 7, 8); підр-2: § 8.
2. Зб.:

**Рів1** № 6.6; 6.9; 6.15.

**Рів2** № 6.16; 6.17; 6.18.

**Рів3** №6.28; 6.2; 6.30.

## УРОК 13/24

**Тема.** Лабораторна робота № 2 «Дослідження електричного кола з напівпровідниковим діодом»

**Мета уроку:** досліджувати залежність електричного опору кола з напівпровідниковим діодом від напрямку електричного струму.

**Тип уроку:** урок контролю й оцінювання знань.

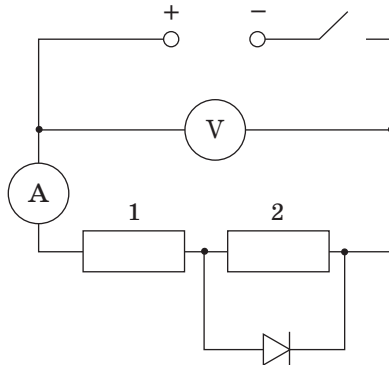
**Обладнання:** джерело постійного струму, ключ, амперметр, вольтметр, два резистори, сполучні проводи.

### ХІД РОБОТИ

1. Накресліть схеми електричних кіл, у яких резистор, амперметр і діод з'єднані послідовно й приєднані через ключ до джерела струму. Урахуйте дві можливості полярності підключення діода.
2. Зберіть електричні кола за схемами.
3. Запишіть показання амперметра для кожного випадку (тобто під час протікання струму в прямому й зворотному напрямках):

$$I_{\text{пр}} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad I_{\text{зв}} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

4. Зробіть висновок. Поясніть, чи справді нульові показання амперметра свідчать про відсутність електричного струму в колі.
5. Зберіть електричне коло за наведеною на рисунку схемою.



Замкнувши ключ, запишіть показання приладів:

$$U_1 = \text{_____}, I_1 = \text{_____}.$$

Повторіть виміри, змінивши полярність приєднання джерела струму:

$$U_2 = \text{_____}, I_2 = \text{_____}.$$

6. Поясніть відмінність між отриманими результатами вимірів. Скориставшись цими результатами, визначте електричні опори резисторів  $R_1$  і  $R_2$ .
7. Визначте похибку вимірів.
8. Запишіть у зошиті для лабораторних робіт висновок: що ви вимірювали і який отримали результат.