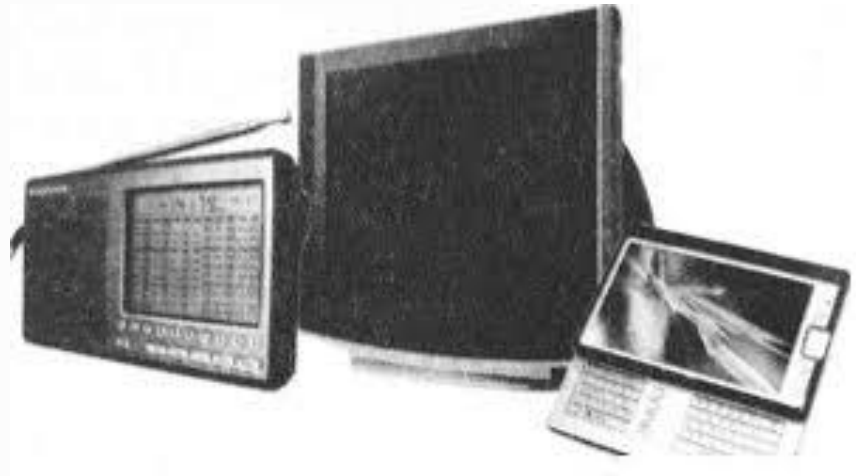


Ф

11

Електричний струм у напівпровідниках



Подумай !

14 лютого 1946 року в Америці був запуск першого у світі програмованого електронного комп'ютера ENIAC, який мав масу 30 тонн і складався з 18 тисяч електронних ламп.

Чим зумовлені такі величезні розміри тогочасного комп'ютера? І чому сучасні комп'ютери та інші електронні гаджети мають такі мініатюрні розміри?



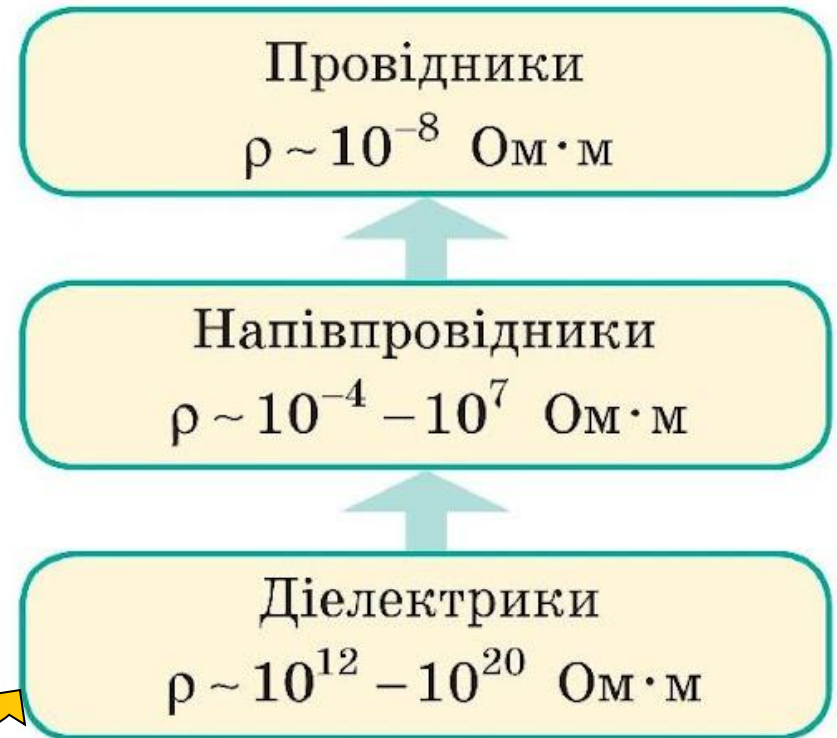


Особливості провідності напівпровідників

Напівпровідники посідають проміжне місце між провідниками і діелектриками.

Порядок питомого опору матеріалів.

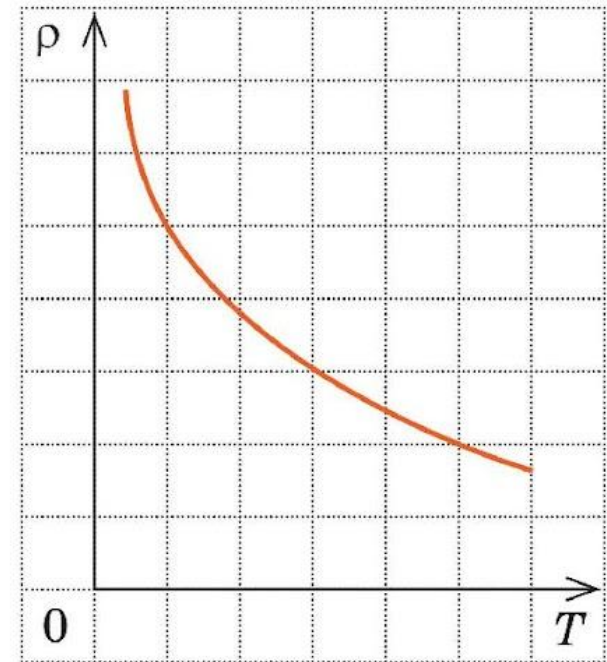
Стрілками показано напрямок збільшення концентрації вільних заряджених частинок (напрямок збільшення провідності)



Особливості провідності напівпровідників

Залежність провідності напівпровідників від зовнішніх чинників:

1. Питомий опір напівпровідників зазвичай зменшується з підвищенням температури.
2. Питомий опір більшості напівпровідників зменшується зі збільшенням освітлення.
3. Різко зменшити питомий опір напівпровідників може введення домішок.



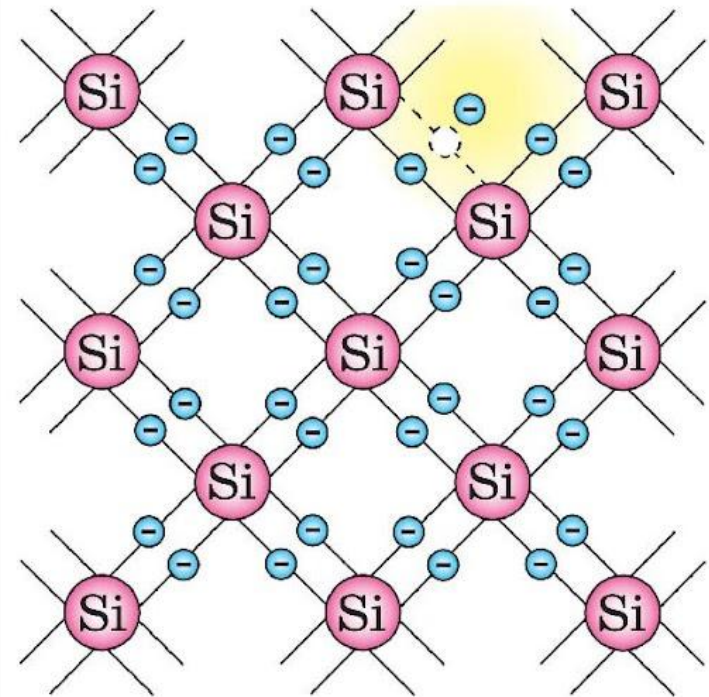
Графік залежності питомого опору напівпровідників від температури

Власна провідність напівпровідників

Будова чистого (без домішок) напівпровідника.

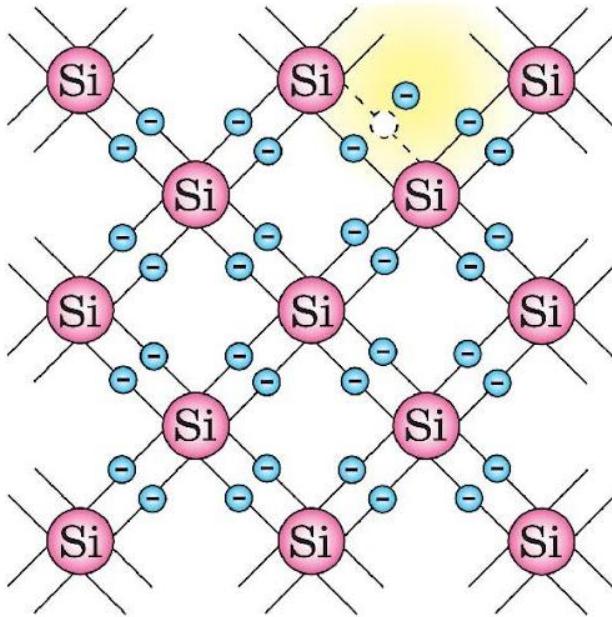
У кристалі кожен атом має валентні електрони для зв'язку з іншими електронами.

Серед валентних електронів є електрони, кінетична енергія яких є достатньою, щоб покинути зв'язки і стати вільними (*позначено жовтим кольором*).



Схематичне зображення ковалентного зв'язку силіцію

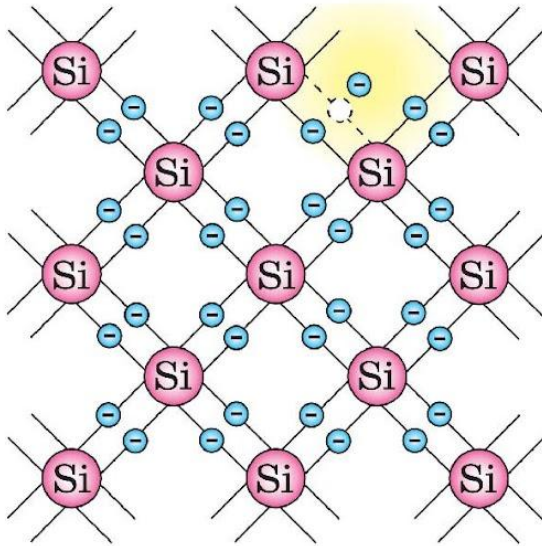
Електронна провідність напівпровідників



Якщо напівпровідниковий кристал помістити в електричне поле, то *вільні* електрони рухатимуться до позитивного полюса джерела струму і в напівпровіднику виникне електричний струм.

Провідність напівпровідників, зумовлену наявністю в них вільних електронів, називають ***електронною провідністю***.

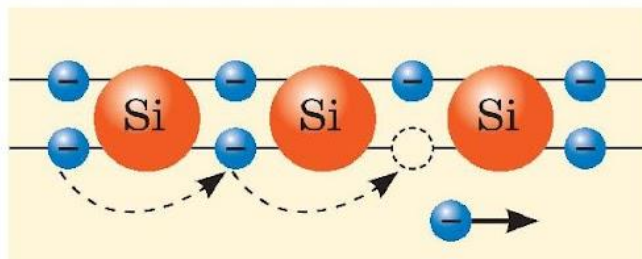
Діркова провідність напівпровідників



Коли електрон “залишає” валентний зв’язок, утворюється “порожнє” місце – **дірка**, якій приписують позитивний заряд.

Вільні електрони “перестрибують” в дірки і дірка (позитивний заряд) переміщується в кристалі.

Провідність напівпровідників, зумовлену переміщенням дірок, називають **дірковою провідністю**.



Механізм діркової провідності напівпровідників

Власна провідність напівпровідників

У чистому напівпровіднику електричний струм створює однакова кількість вільних електронів і дірок. Таку провідність називають ***власною провідністю напівпровідників.***

Провідність напівпровідників **збільшується** під час:

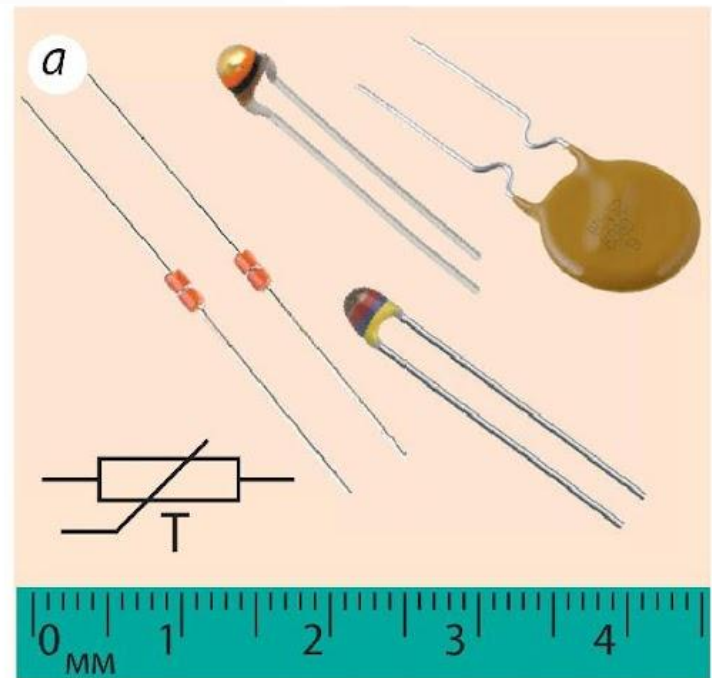
- ✓ Нагрівання;
- ✓ Опромінення світлом.

Термістори

На залежності провідності напівпровідників від температури ґрунтується дія *термінострів*.

Термістори застосовують:

- ✓ для контролю та вимірювання температури,
- ✓ в колах захисту електричних пристроїв від перегріву.

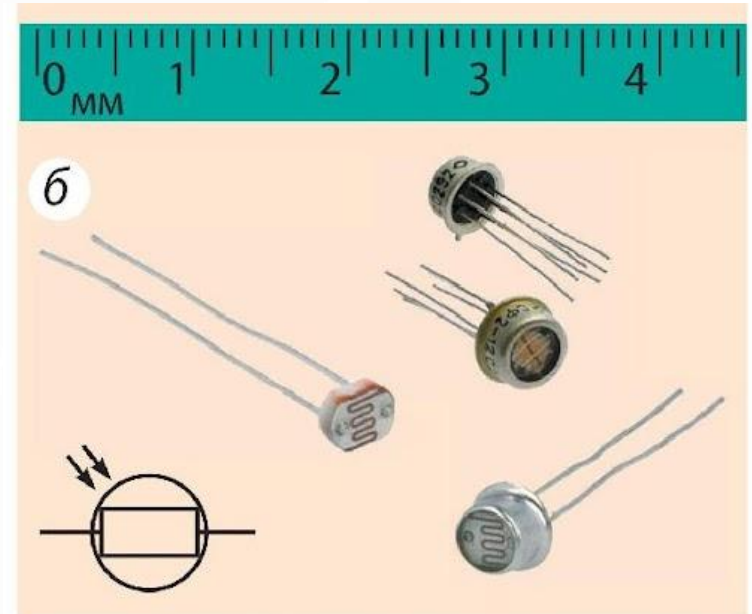


Фоторезистори

На залежності провідності напівпровідників від освітленості ґрунтується дія **фоторезисторів**.

Фоторезистори застосовують:

- ✓ для вимірювання освітленості,
- ✓ у системах сигналізації та автоматики,
- ✓ дистанційного керування виробничими процесами,
- ✓ для сортування виробів,
- ✓ для запобігання нещасним випадкам і аваріям, автоматично зупиняючи роботу обладнання в разі порушення процесу.

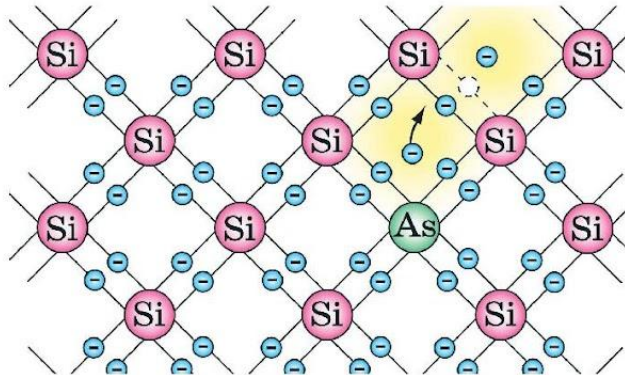


Домішкова провідність напівпровідників

При додаванні до чистого напівпровідника невеликої кількості певної домішки механізм його провідності змінюється.

Донорні домішки

Додамо у кристал силіцію домішку п'ятивалентного елемента, наприклад Арсену. Частина атомів Силіцію буде замінена атомами Арсену. Чотири валентні електрони атома Арсену утворять парні електронні зв'язки із сусідніми атомами Силіцію; п'ятому валентному електрону зв'язку не вистачить, тому він легко може стати вільним. У результаті майже кожний атом домішки дасть вільний електрон.



Домішки, атоми яких відносно легко віддають електрони, називають **донорними домішками** (від латин. *donare* — дарувати, жертвувати).

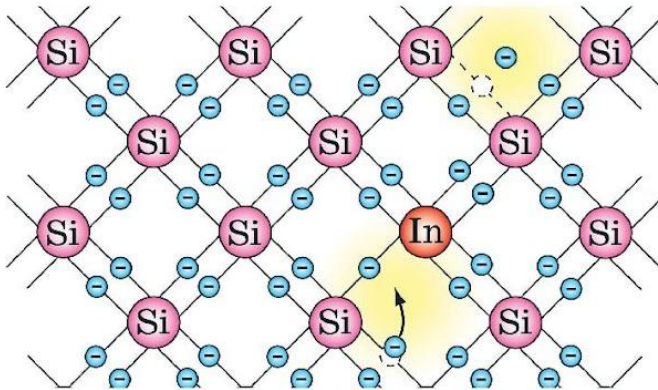
Бачимо, що донорні домішки додають до кристала тільки електрони, а додаткові дірки не утворюються, тому *в напівпровідниках із донорними домішками концентрація вільних електронів є значно вищою, ніж концентрація дірок.*

Напівпровідники з переважно електронною провідністю називають **напівпровідниками n-типу** (від латин. *negativus* — негативний).

Домішкова провідність напівпровідників

Акцепторні домішки

Додамо у кристал силіцію домішку тривалентного елемента, наприклад Індію. Атом Індію має три валентні електрони, тому він може «встановити зв'язки» тільки з трьома атомами Силіцію. Щоб утримати структуру кристалічної ґратки, відсутній електрон (четвертий) Індій «запозичує» в атомів Силіцію. У результаті кожний атом Індію спричиняє утворення дірки.



Домішки, атоми яких «запозичують» електрони, називають **акцепторними домішками** (від латин. *acceptor* — той, що приймає).

Бачимо, що акцепторні домішки додають до кристала тільки дірки, а додаткові вільні електрони не утворюються. У напівпровідниках із акцепторними домішками основні носії струму — дірки.

Напівпровідники з переважно дірковою провідністю називають **напівпровідниками p-типу** (від латин. *positivus* — позитивний).

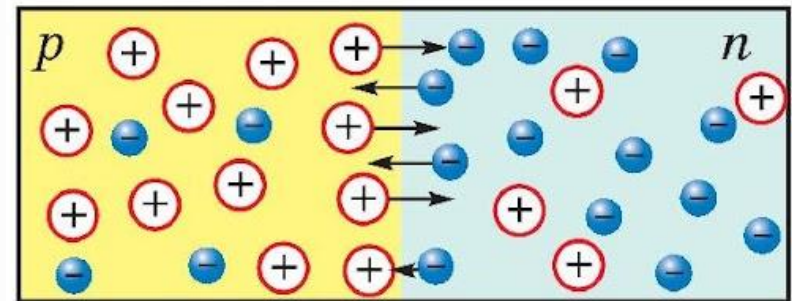
Домішкова провідність напівпровідників

Оскільки за наявності домішок кількість носіїв струму збільшується (кожний атом домішки дає вільний електрон або дірку), *провідність* напівпровідників із домішками є набагато **кращою**, ніж провідність чистих напівпровідників.

p – n - перехід

Електронно-дірковий перехід (p – n - перехід) – це ділянка контакту двох напівпровідників із різними типами провідності – дірковою (напівпровідники *p-типу*) та електронною (напівпровідники *n-типу*).

У місці контакту двох напівпровідників різного типу провідності відбувається процес дифузії електронів і дірок.



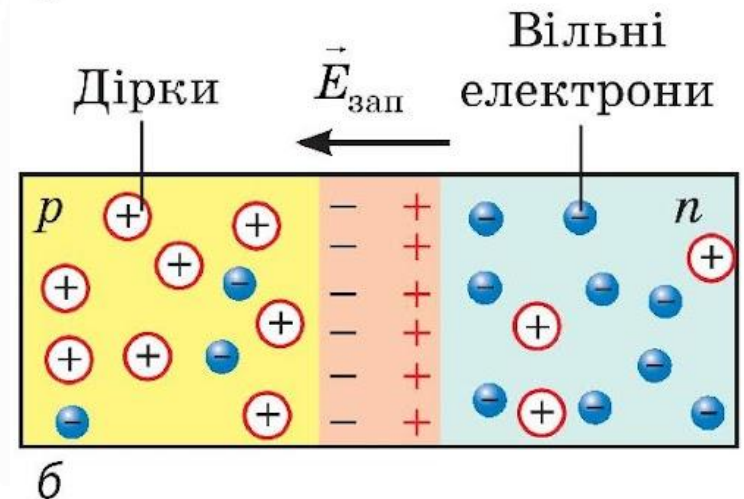
Під час дифузії деякі дірки рекомбінують з вільними електронами – відбуваються **процеси відновлення зв'язків**.

р – n - перехід

Наслідки утворення р-n-переходу:

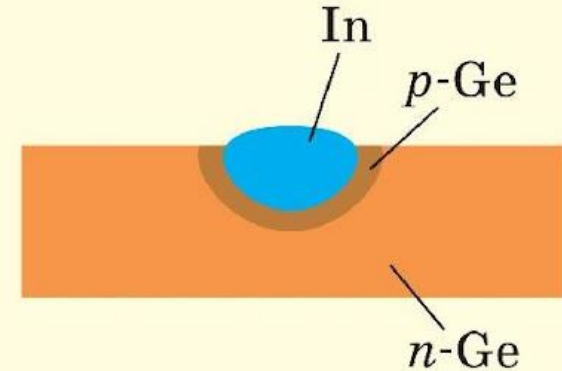
1. У прилеглих до місця контакту ділянках напівпровідників зменшується концентрація вільних носіїв заряду, тому опір ділянки біля місця контакту істотно збільшується.
2. Прилегла до місця контакту n-ділянка набуває позитивного заряду; прилегла до місця контакту р-ділянка набуває негативного заряду.

Навколо місця контакту формується **подвійний запірний шар** (р-n-перехід), електричне поле якого перешкоджає подальшій дифузії електронів і дірок.

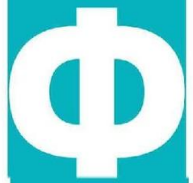


Отримання кристалів з $p - n$ - перехід

Щоб отримати $p-n$ -перехід, у напівпровідниковому кристалі слід утворити дві контактуючі ділянки з різними типами провідності. **Сплавний метод.** На пластинку монокристала з донорною домішкою, наприклад на германій ($n-Ge$), кладуть шматочок індію і нагрівають до $500\text{ }^\circ\text{C}$. Сплавлюючись, германій та індій утворюють тонкий шар напівпровіднику p -типу ($p-Ge$).



Дифузний метод. Кристал з акцепторною домішкою, наприклад силіцій ($p-Si$), нагрівають до температури близько $700\text{ }^\circ\text{C}$ і спрямовують на його поверхню пари арсену. Атоми Арсену, дифундуючи в поверхневий шар кристалу, утворюють напівпровідник n -типу ($n-Si$).



Напівпровідниковий діод

Напівпровідниковий пристрій, у внутрішній будові якого сформований один р-п-перехід, називають ***напівпровідниковим діодом***.

Напівпровідниковим діод складається з двох контактуючих напівпровідникових ділянок із ними типами провідності (електронною та дірковою).

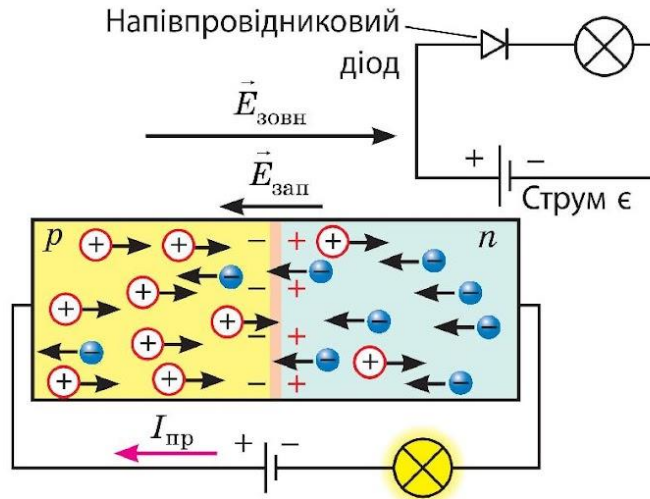
Основна властивість напівпровідникового діода – пропускати електричний струм переважено в одному напрямку.

Напівпровідниковий діод

Увімкнення напівпровідникового діода в електричне коло

Пряме увімкнення

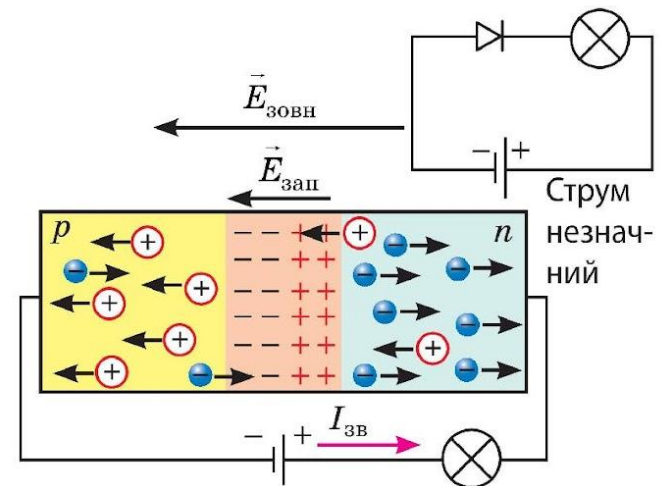
Підключимо кристал із сформованим у ньому p - n -переходом до джерела струму так, щоб p -ділянка була з'єднана з позитивним полюсом джерела, а n -ділянка — з негативним.



Електрони почнуть рух до позитивного полюсу джерела струму, а дірки — до негативного. Запірний шар поповниться вільними електронами і дірками, тому його опір зменшиться. Оскільки через місце контакту рухаються основні носії струму (електрони з n -ділянки, дірки з p -ділянки), яких багато, то в колі існує помітний електричний струм.

Зворотне увімкнення

Підключимо кристал із сформованим у ньому p - n -переходом до джерела струму так, щоб p -ділянка була з'єднана з негативним полюсом джерела, а n -ділянка — з позитивним.



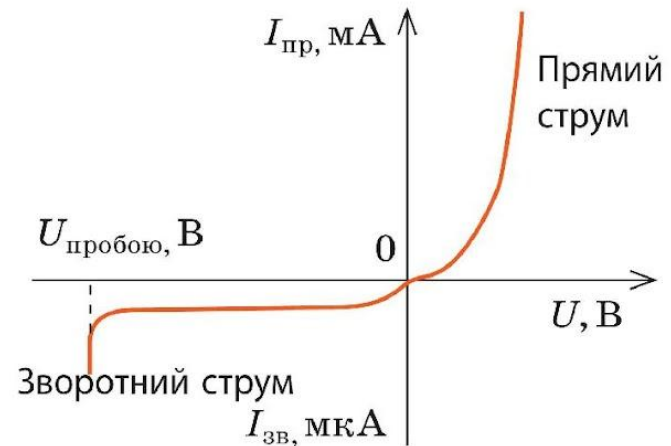
Електрони почнуть рух до позитивного полюсу джерела струму, дірки — до негативного. Запірний шар розшириться, і його опір збільшиться. Через місце контакту рухаються тільки неосновні носії струму (вільні електрони з n -ділянки, дірки з p -ділянки), яких дуже мало, тому сила зворотного струму незрівнянно менша від прямого.

ВАХ напівпровідникового діода

Зверніть увагу!

1. Напруга запірного шару становить 0,3–0,7 В (залежно від складу напівпровідників), тому в разі прямого ввімкнення, якщо напруга на діоді менша від даного значення, рух основних носіїв струму через *p-n*-перехід не відбуватиметься.

2. Якщо при зворотному ввімкненні напруга на діоді перевищить певне максимальне значення, діод вийде з ладу (відбудеться пробій запірного шару), а його відновлення є неможливим.



Вольт-амперна характеристика (ВАХ) напівпровідникового діода

Напівпровідникові діоди використовують в радіоелектроніці, для випрямлення змінного струму.

Вони мініатюрні, для їх роботи не витрачається енергія на нагрівання.

Домашнє завдання

1. Опрацювати 9.
2. Виконати вправу 9 пункт 3.

3. Творче завдання.

Проаналізувати інформацію в мережі Інтернет про сучасне використання напівпровідникових діодів та зробити коротку доповідь (форма подання за вибором учня).

Ф

11

Дякую за увагу!!!