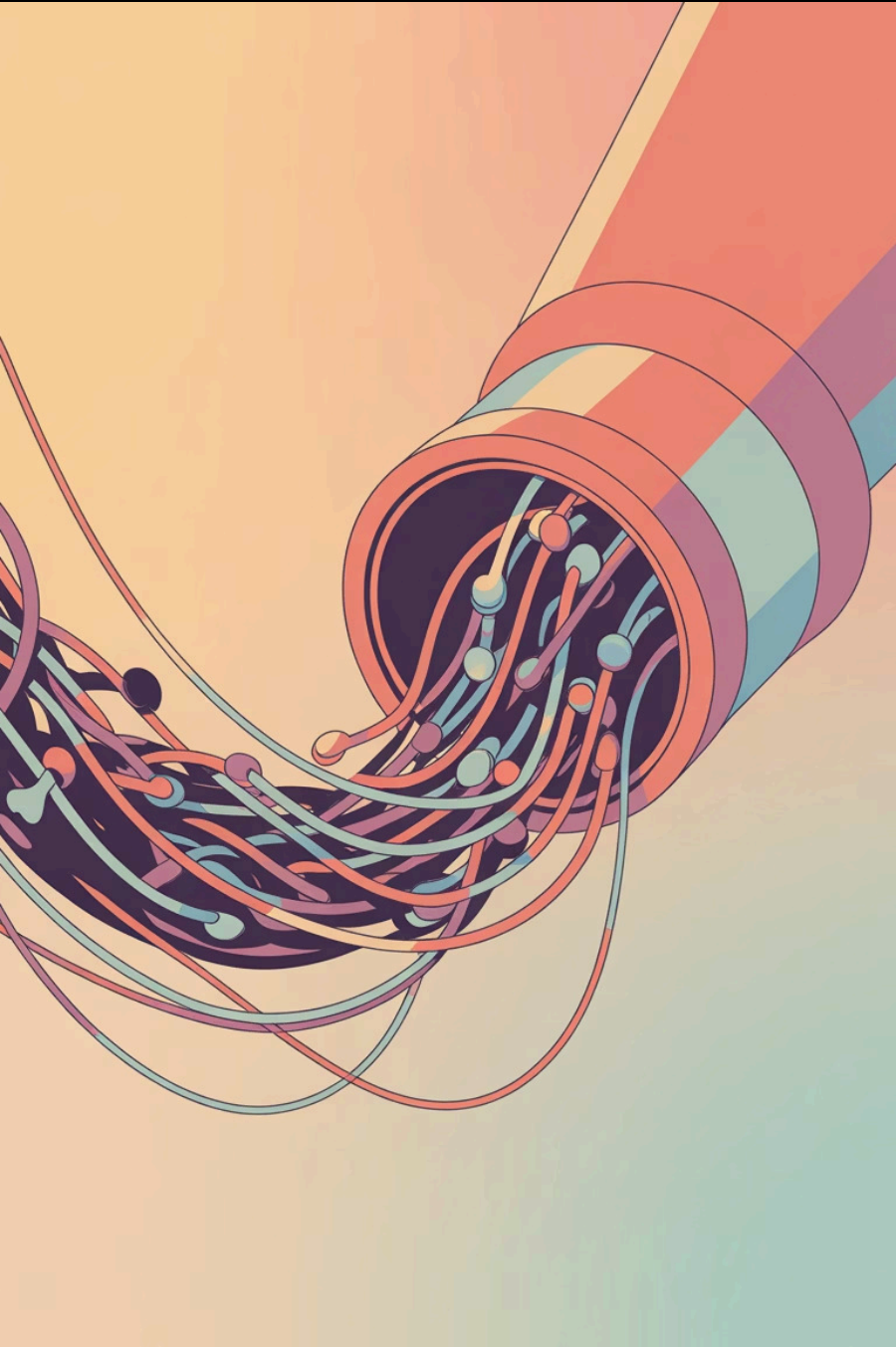




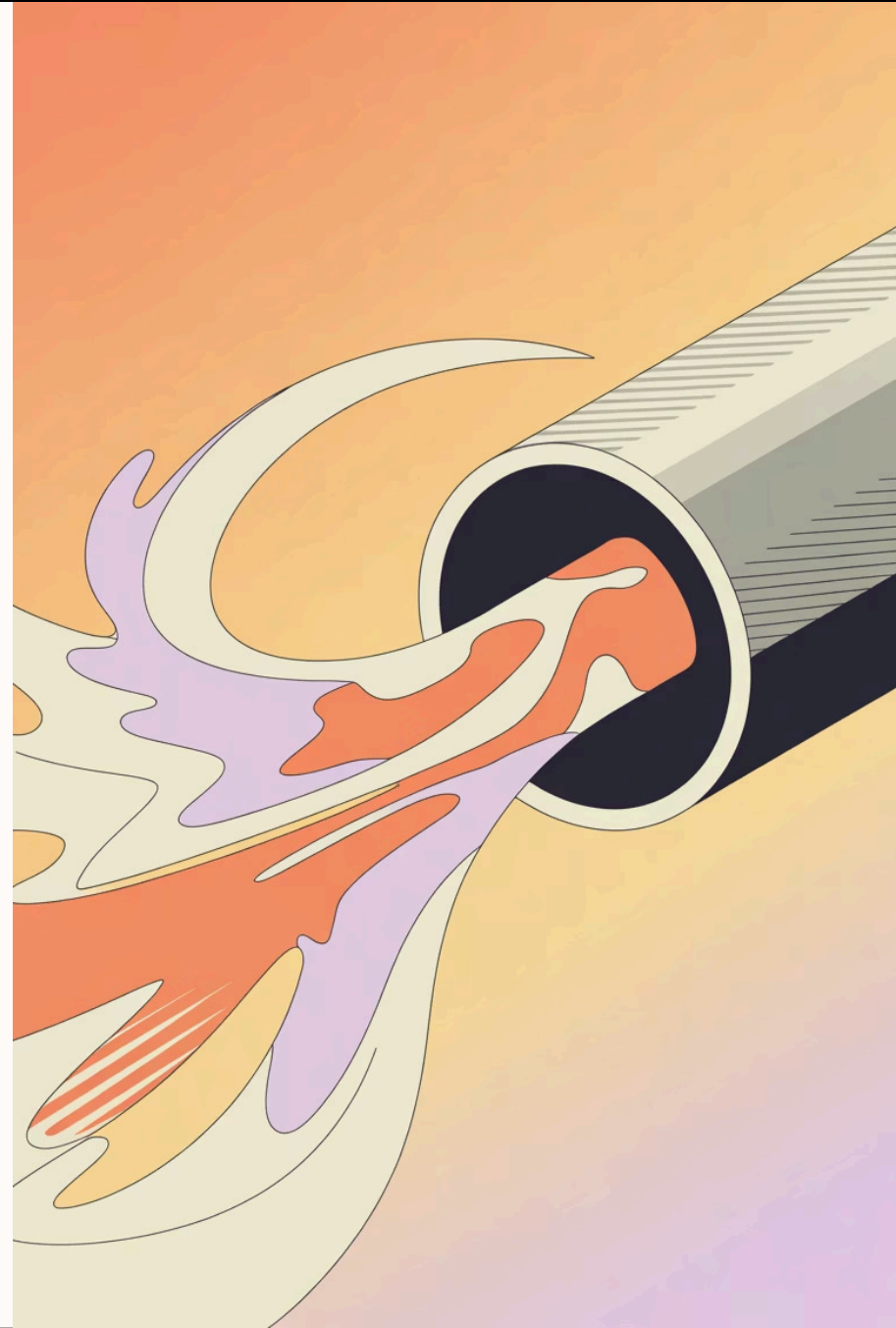
Електричний струм у металах та напівпровідниках

Фундаментальні принципи провідності та їхнє значення для сучасних технологій

Частина 1: Основи електричного струму в металах

Метали — унікальні матеріали з найвищою електропровідністю завдяки особливій структурі електронних оболонок атомів.

Розглянемо механізми, що роблять їх ідеальними провідниками електрики. **(ЗГАДУЄМО ЗОННУ ТЕОРІЮ)**



Метали — «моря» вільних електронів

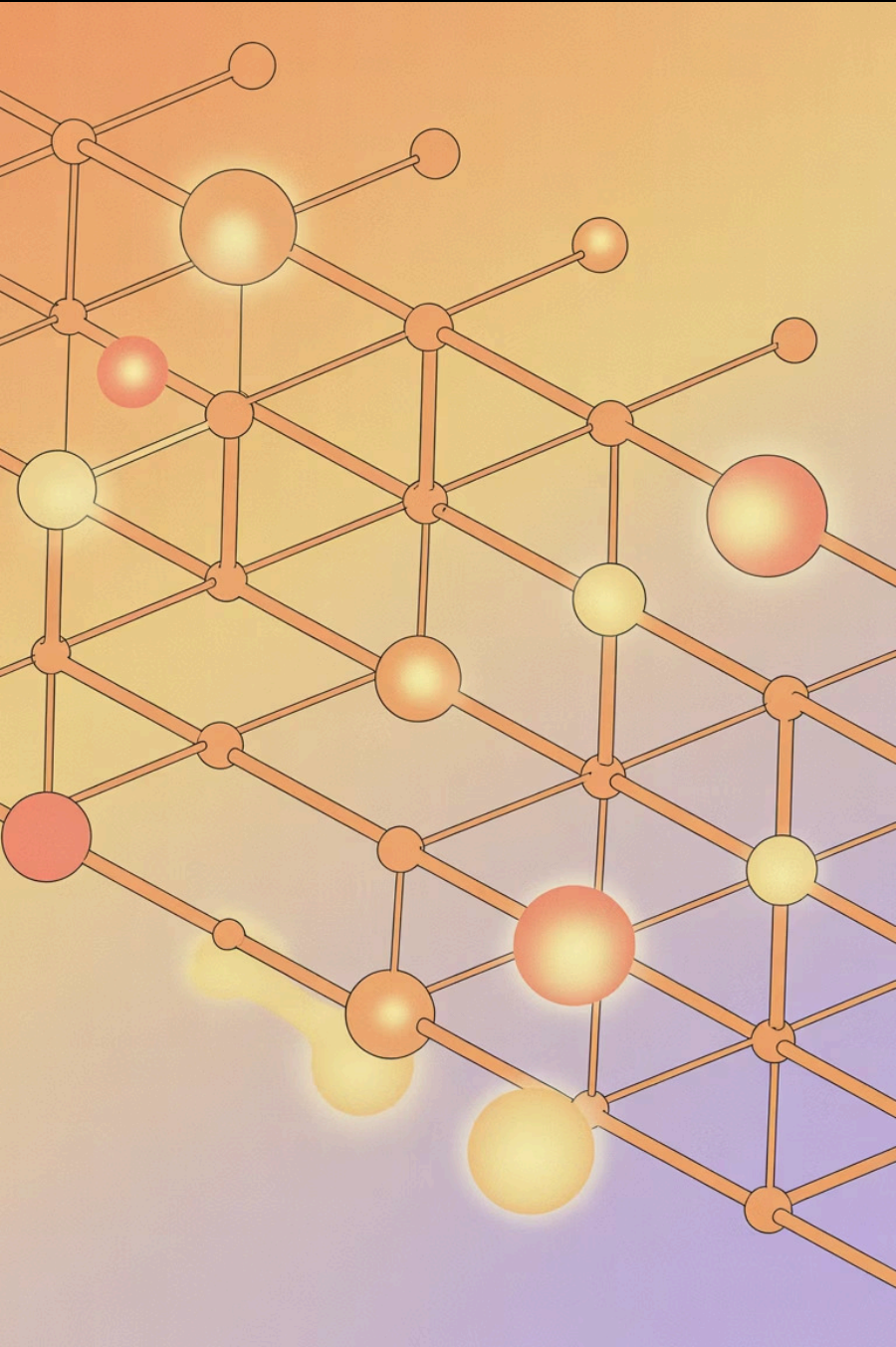
Природа електронної провідності

Валентні електрони металів не прив'язані до окремих атомів, а утворюють «електронний газ», що вільно рухається між іонними ядрами в кристалічній решітці.

Цей унікальний стан забезпечує високу електропровідність металів, особливо срібла, міді та алюмінію, які широко використовуються в електротехніці.

Чому це важливо?

- Висока концентрація вільних носіїв заряду
- Швидкий відгук на електричне поле
- Стабільна провідність за широкого діапазону умов



Візуалізація провідності: Іони металу утворюють впорядковану решітку, між якою рухаються вільні електрони — носії електричного струму

-  Носіями заряду в металах є **вільні електрони**, які можуть **вільно переміщуватися по всьому об'єму зразка**, а не йони.

Механізм провідності в металах

01

Хаотичний рух

За відсутності зовнішнього поля електрони рухаються випадково у всіх напрямках з високими швидкостями ($\sim 10^6$ м/с)

03

Розсіювання

Колізії електронів з коливаннями іонів решітки гальмують рух, але поле постійно прискорює їх знову

02

Дрейфова швидкість

Електричне поле надає напрямленість руху — електрони отримують дрейфову швидкість ($\sim 10^{-4}$ м/с), створюючи струм

04

Температурний ефект

Підвищення температури посилює коливання решітки, збільшує частоту зіткнень і знижує провідність металу

Визначальні фактори провідності металів

Чистота металу

Домішки створюють дефекти в кристалічній решітці, розсіюючи електрони та знижуючи провідність. Високочиста мідь (99,99%) має провідність на 5-10% вищу за технічну.

Температурний режим

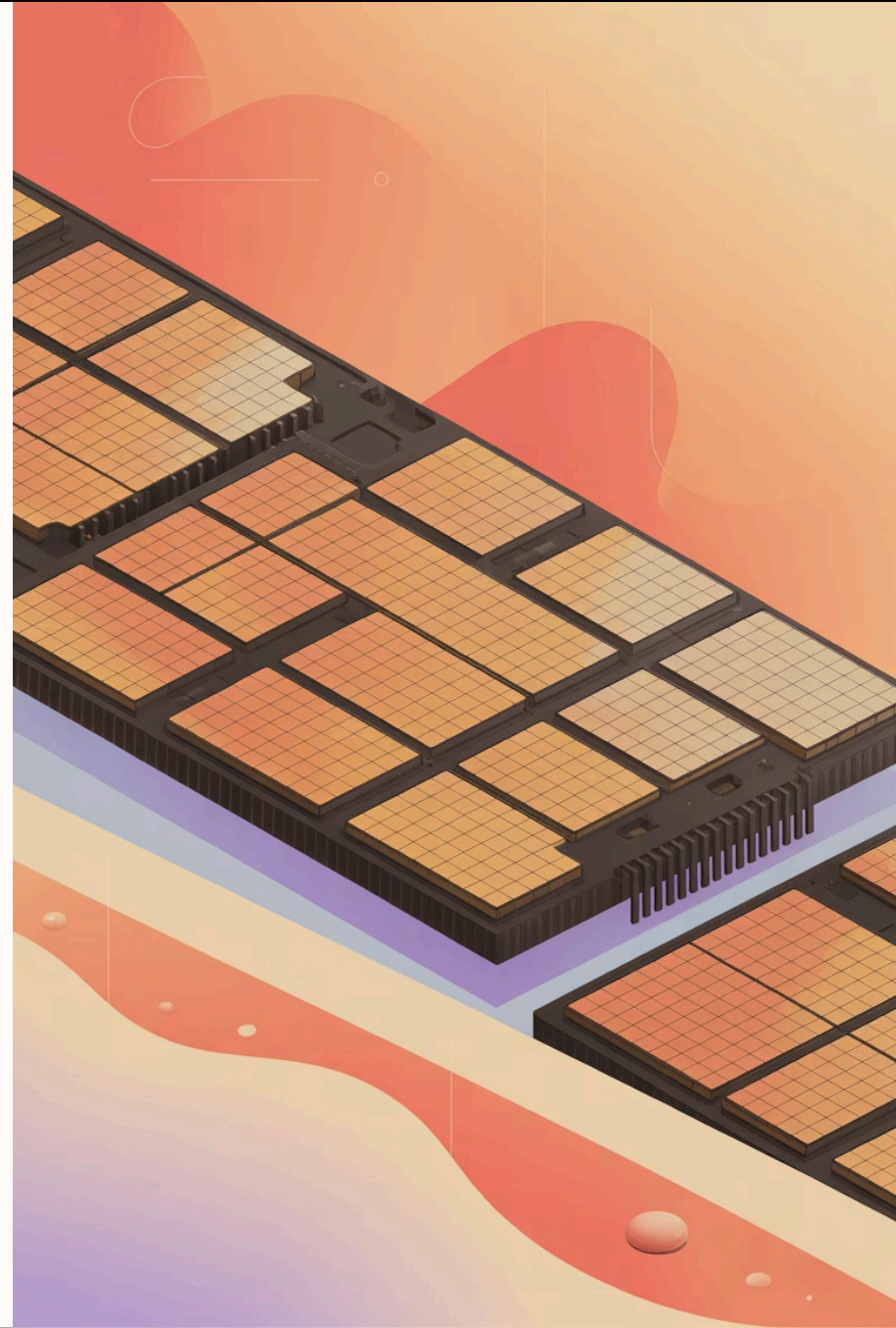
При охолодженні провідність зростає через зменшення теплових коливань решітки. Близько абсолютного нуля деякі метали (свинець, ртуть, ніобій) переходять у стан надпровідності — нульового опору.

Ці фактори критично важливі для проектування електронних схем і високоточних вимірювальних приладів.

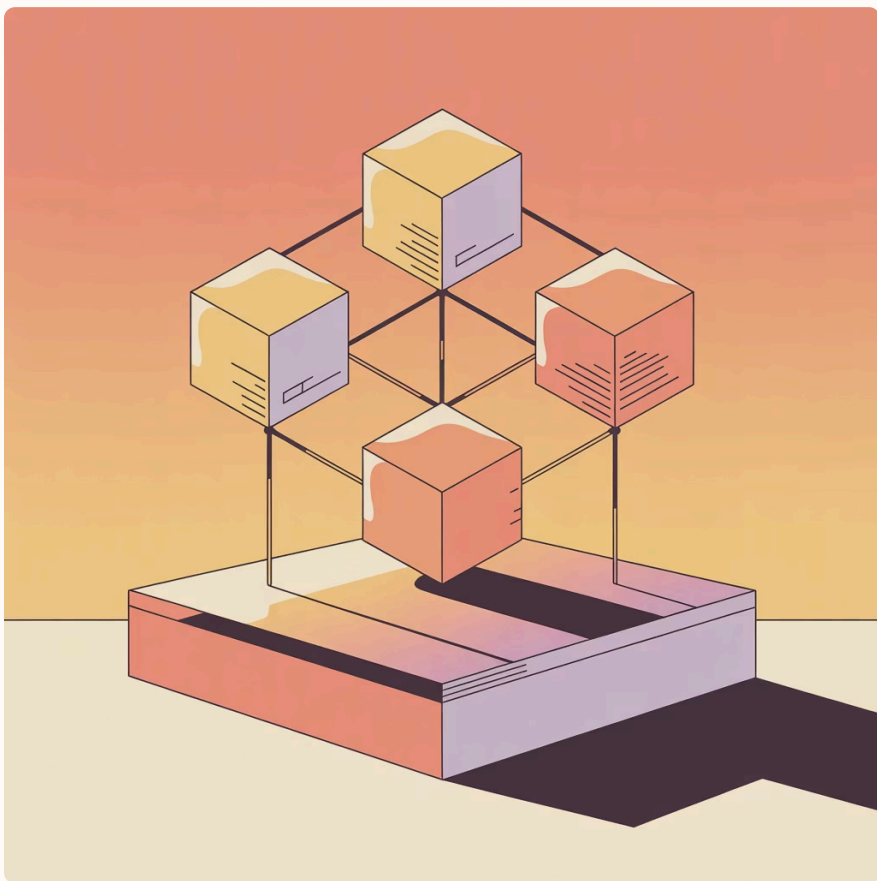


Частина 2: Електричний струм у напівпровідниках

Напівпровідники — матеріали з унікальними властивостями, що змінюються залежно від температури, освітлення та домішок. Вони стали основою цифрової революції.



Напівпровідники — проміжна категорія



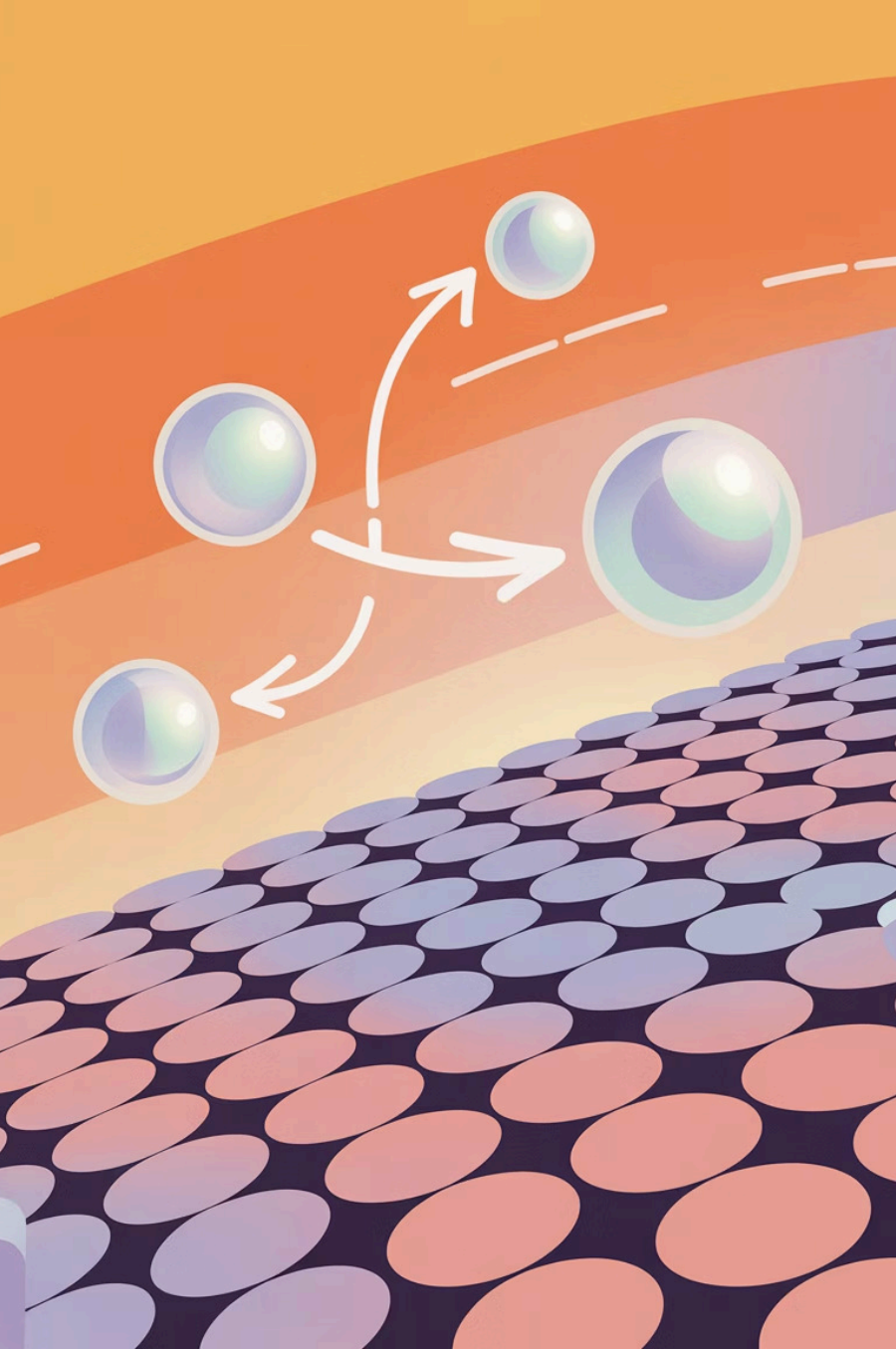
Особливості зонної структури

Кремній та германій мають невеликий енергетичний зазор (заборонену зону) між валентною зоною та зоною провідності — приблизно 1-3 електронвольти.

При низьких температурах поведуться як ізолятори — всі електрони зв'язані.

При нагріванні або підсвічуванні — електрони отримують достатньо енергії для переходу у зону провідності, матеріал стає провідником.

i Носіями заряду в напівпровідниках є **електрони та дірки**.



Електрони та дірки — носії струму



Електрони провідності

Негативно заряджені частинки, які можуть вільно рухатися в кристалічній ґратці.



Дірки

Позитивно заряджені "вакансії", що утворюються, коли електрон покидає своє місце в ковалентному зв'язку. Дірка переміщується, коли сусідній електрон займає її місце, залишаючи дірку позаду.

Ключова відмінність від металів: провідність напівпровідників *зростає* з температурою, оскільки більше електронів отримує енергію для переходу у зону провідності. У металах — навпаки.

Вплив домішок (донори та акцептори)



Чистий напівпровідник

Власна провідність — мало носіїв заряду



Введення домішок

Атоми з іншою валентністю створюють надлишок електронів або дірок



Керована провідність

Точне налаштування електричних властивостей

n-тип (донорні домішки)

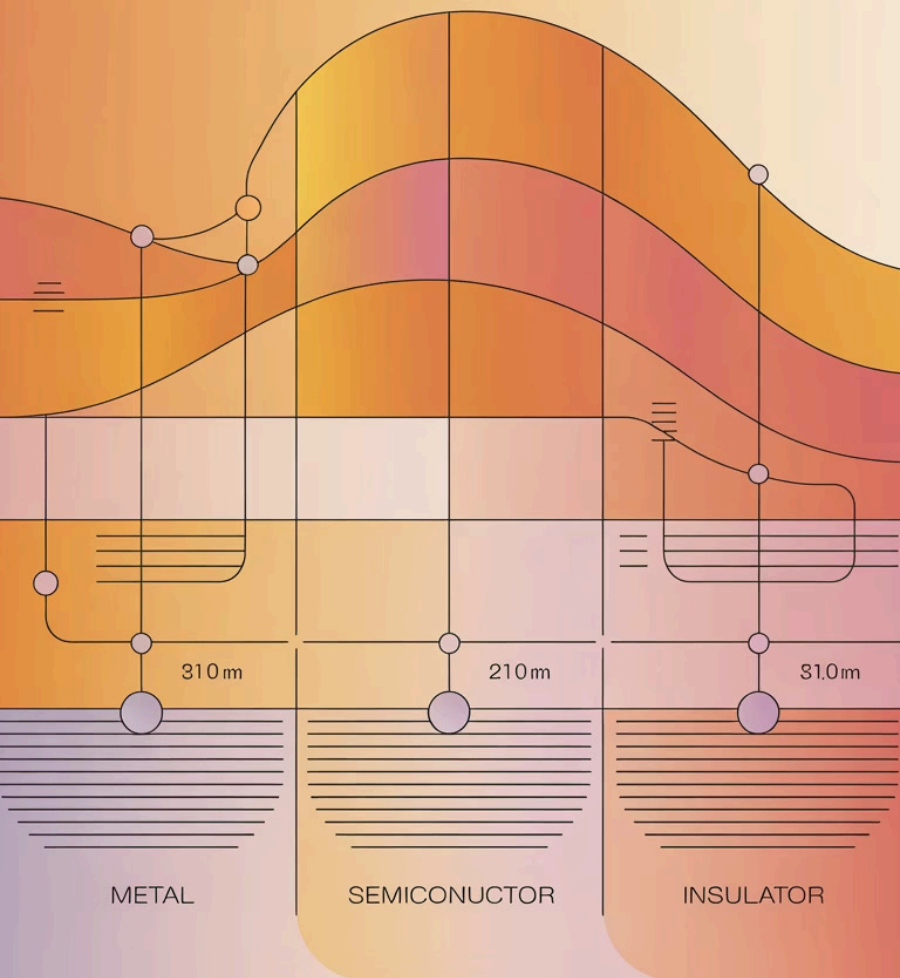
Додавання елементів V групи (фосфор, миш'як) до кремнію створює надлишок електронів — основні носії заряду

p-тип (акцепторні домішки)

Додавання елементів III групи (бор, галій) створює надлишок дірок — основні носії заряду

Комбінація p- та n-областей дозволяє створювати діоди, транзистори та інтегральні схеми — основу всієї сучасної електроніки.

Зонна теорія провідності



1

Метал

Зони перекриваються або валентна зона частково заповнена — електрони вільно рухаються

2

Напівпровідник

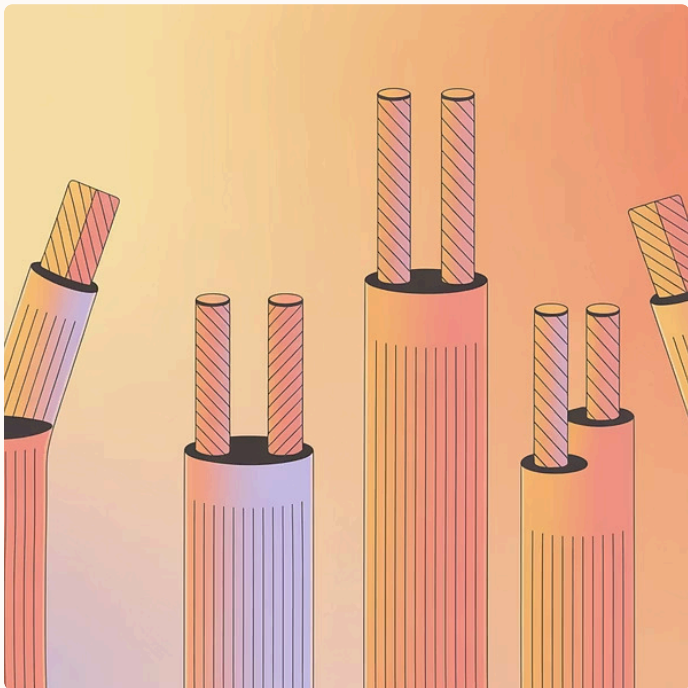
Невеликий зазор (1-3 eV) — електрони можуть подолати його при нагріванні або збудженні

3

Ізолятор

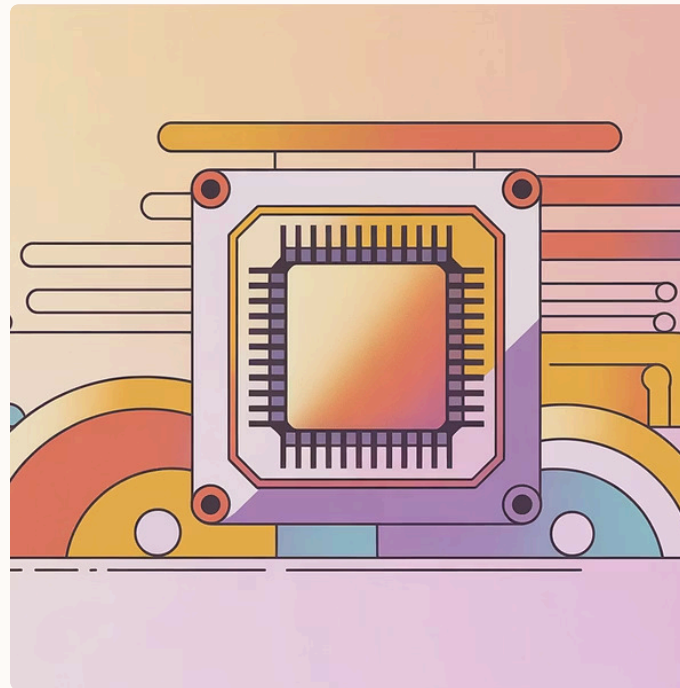
Великий зазор (>5 eV) — електрони практично не можуть перейти у зону провідності

Практичне значення



Метали в техніці

Провідники електроенергії, контакти, з'єднувачі, обмотки двигунів, трансформатори — скрізь, де потрібна надійна передача струму



Напівпровідники

Мікросхеми, процесори, пам'ять, сенсори, світлодіоди, сонячні батареї — серце всієї цифрової та фотоелектронної техніки

📌 **Інноваційний потенціал:** розуміння механізмів провідності відкриває шлях до створення нових матеріалів з заданими властивостями — від гнучкої електроніки до квантових комп'ютерів

Помірку і поясни

- 1. Поясніть, чому лампа розжарювання перегоряє в момент вмикання.
(Бо холодна спіраль має менший опір → струм більший → миттєвий перегрів.)*
- 2. У чому полягає відмінність власної та домішкової провідності?*
- 3. Побудуйте графік залежності опору від температури для металу та напівпровідника.*
- 4. Порівняйте рух електронів у металі та в напівпровіднику.*