

Фізика твердого тіла

Зміст лекції:

- Ферміони і бозони
- Принцип Паулі у загальному формулюванні
- Функція розподілу Фермі – Дірака
- Функція розподілу Бозе – Ейнштейна
- Типи твердих тіл
- Утворення енергетичних зон в кристалі
- Зонна теорія твердого тіла
- Власні напівпровідники
- Електропровідність металів
- Домішкова провідність напівпровідників

продовження на наступному слайді...

Для самостійного вивчення

- ➔ ПРИНЦИП НЕРОЗРІЗНЕНОСТІ
- ➔ ТОТОЖНИХ ЧАСТИНОК
- ➔ ФОНОННИЙ ГАЗ. ТЕПЛОЄМНІСТЬ КРИСТАЛІЧНОЇ РЕШІТКИ
- ➔ ЗАКОН ДЮЛОНГА І ПТІ
- ➔ ЕЛЕКТРОННИЙ ГАЗ В МЕТАЛАХ. ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ МЕТАЛІВ
- ➔ ЕНЕРГІЯ ФЕРМІ
- ➔ ЗОННЕ НАБЛИЖЕННЯ
- ➔ КОНТАКТНІ ЯВИЩА. P-N ПЕРЕХІД. ДІОДИ. ТРАНЗИСТОРИ

ФЕРМІОНИ І БОЗОНИ

У взаємодії мікрочастинок важлива роль належить спіну - власному моменту кількості руху мікрочастинки.

Ферміони – частинки з спінами, які дорівнюють непарному числу

$$\pm \frac{\hbar}{2}$$

Бозони – частинки, спіни яких дорівнюють нулю, або є цілим числом

$$\hbar$$

Електрони, протони, нейтрон, нейтрино та ін. частинки є ферміонами. Фотони і пі-мезони є бозонами.

Принцип Паулі в загальному формулюванні

описує особливості поведінки тотожних ферміонів:

В даній системі тотожних ферміонів будь-які два з них не можуть одночасно перебувати у тому самому стані

ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛУ ФЕРМІ – ДІРАКА

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{\left[\frac{(\varepsilon_i - \mu)}{kT} \right]} + 1}$$

$\langle n_i \rangle$ - середня кількість ферміонів з енергією ε_i

μ - хімічний потенціал, або рівень Фермі (він є функцією макроскопічний параметрів стану Фермі – газу, зокрема температури). При абсолютному нулю температури $\mu > 0$

Ідеальний Фермі - газ – це система, яка складається з ферміонів, які не взаємодіють, наприклад, електронів.

ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛУ БОЗЕ – ЕЙНШТЕЙНА

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{\left[\frac{(\varepsilon_i - \mu)}{kT} \right]} - 1}$$

Хімічний потенціал Бозе – газу $\mu < 0$

У випадку, коли кількість частинок бозе – газу не є сталим, хімічний потенціал їх дорівнює нулю, тобто

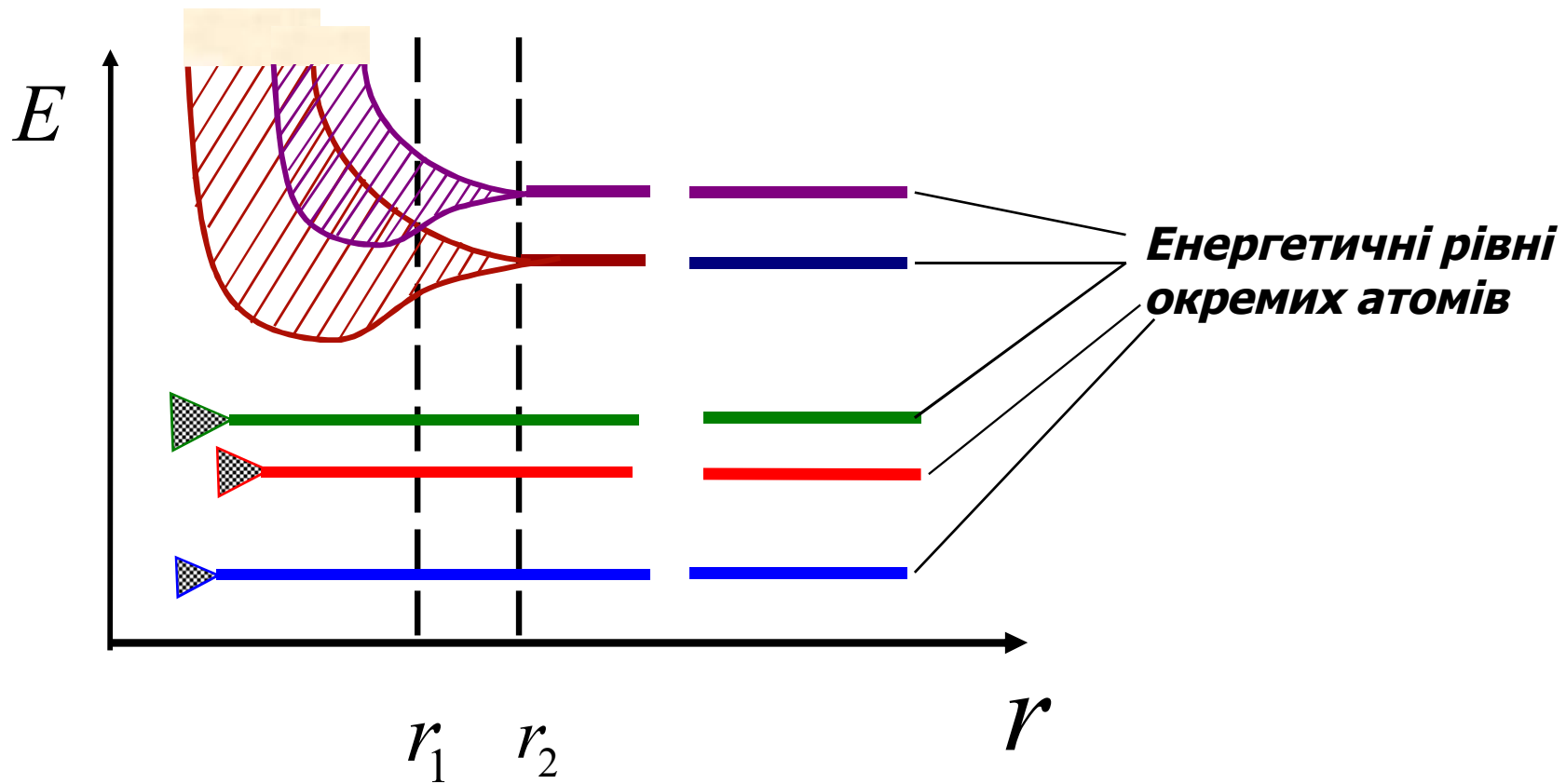
$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{\varepsilon_i/kT} - 1}$$

Ідеальним Бозе – газом називають систему, яка складається з бозонів, що не взаємодіють

Типи твердих тіл

- Тверді тіла поділяють на **метали, діелектрики** та **напівпровідники** за величиною питомого опору.
- Для типових **металів** ця величина складає $10^{-8} \dots 10^{-6}$ (Ом•м).
- Питомий опір **діелектриків** дуже великий: $>10^8$ (Ом•м). Для гарних діелектриків питомий опір досягає величини 10^{11} (Ом•м).
- Тверді тіла із проміжним значенням опору відносять до **напівпровідників**. Виявляється, що різні властивості твердих тіл пов'язані зі структурою та ступенем заповнення електронами енергетичних зон у цих тілах.

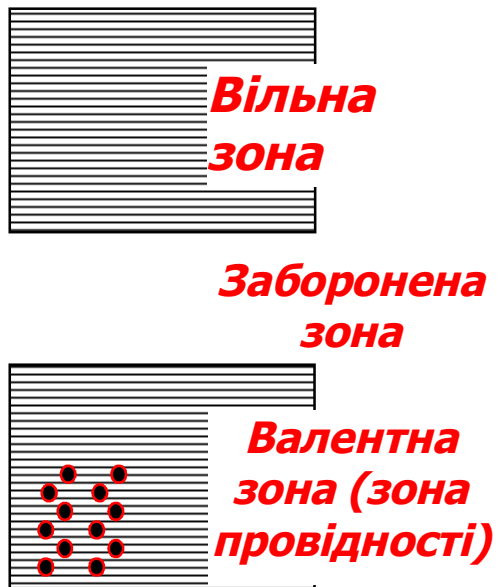
УТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗОН В КРИСТАЛІ



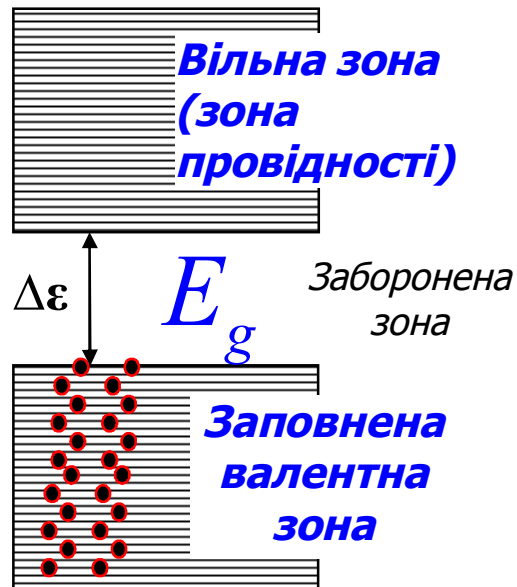
утворення енергетичних зон при наближенні атомів

ЗОННА ТЕОРІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА

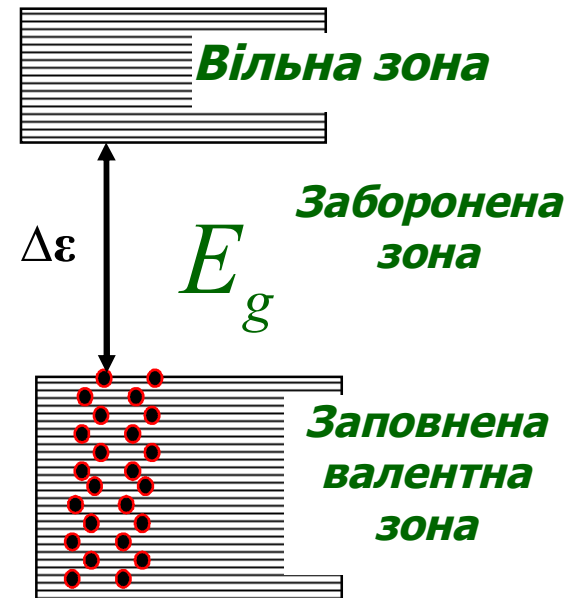
Метал



Напівпровідник



Діелектрик



ВЛАСНІ НАПІВПРОВІДНИКИ

- це хімічно чисті напівпровідники.
- При абсолютному нулі власні напівпровідники є діелектриками
- Кількість “дірок” дорівнює кількості електронів.
- Опір напівпровідників

$$R = R_0 e^{\frac{E_g}{kT}}$$

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ МЕТАЛІВ

- **З підвищенням температури** в чистих металах відбувається збільшення відстані між енергетичними рівнями в зоні провідності. Тому опір металів із збільшенням температури збільшується. В невеликому інтервалі температур ця залежність має вигляд:

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

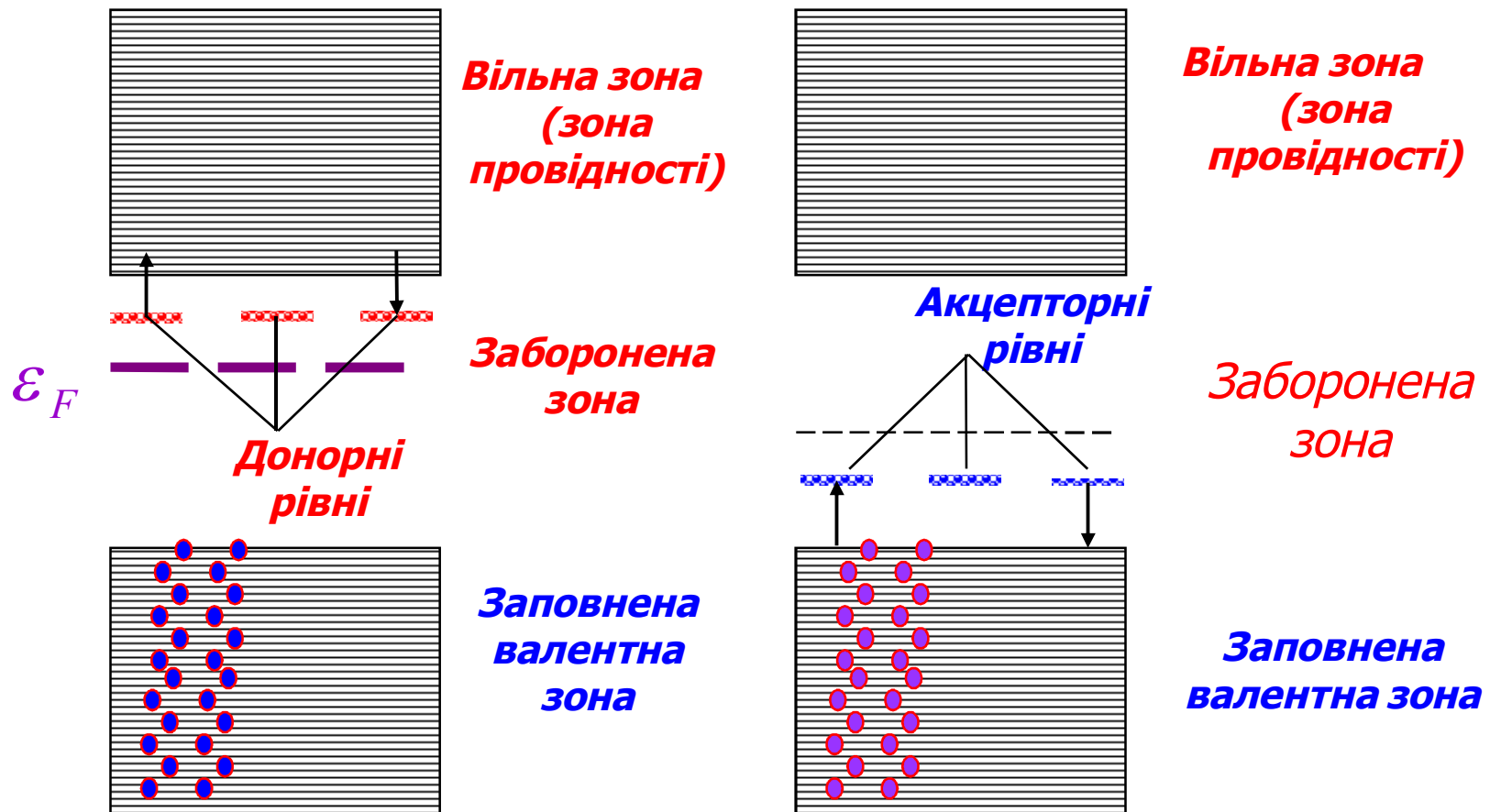
ДОМІШКОВА ПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Домішкова провідність виникає, коли деякі атоми даного напівпровідника в вузлах кристалічної решітки замінити атомами, валентність яких відрізняється на одиницю від валентності основних атомів.

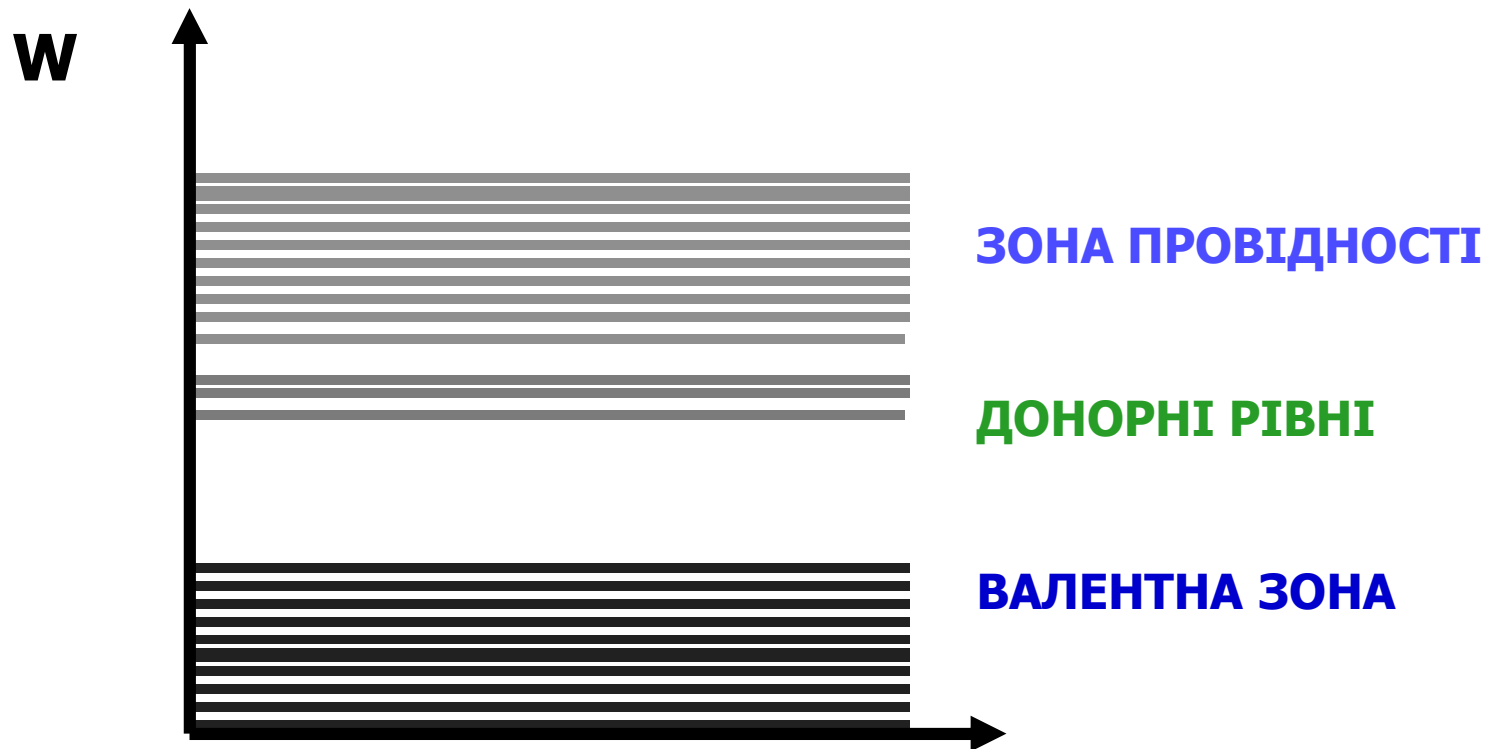
Напівпровідники n-типу - донорні домішки - валентність +1. Основні носії зарядів - електрони.

Напівпровідники p-типу - акцепторні домішки валентність -1. Основні носії зарядів - дірки

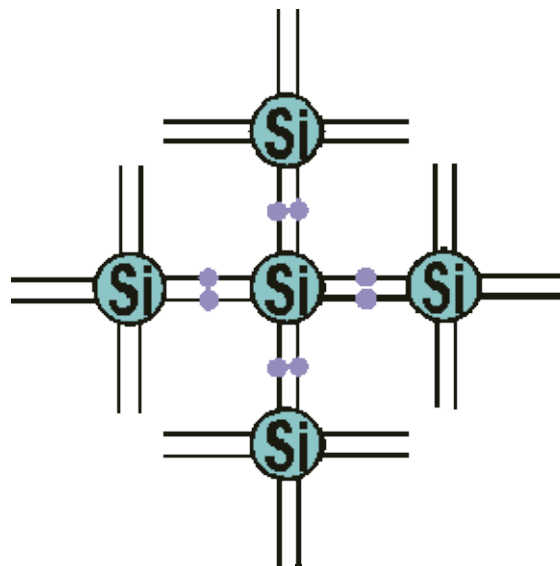
Зонна структура домішкового напівпровідника



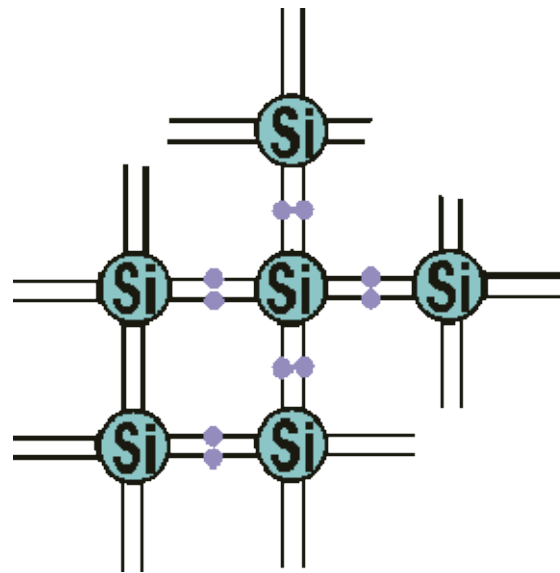
Зонна структура напівпровідника n- типу



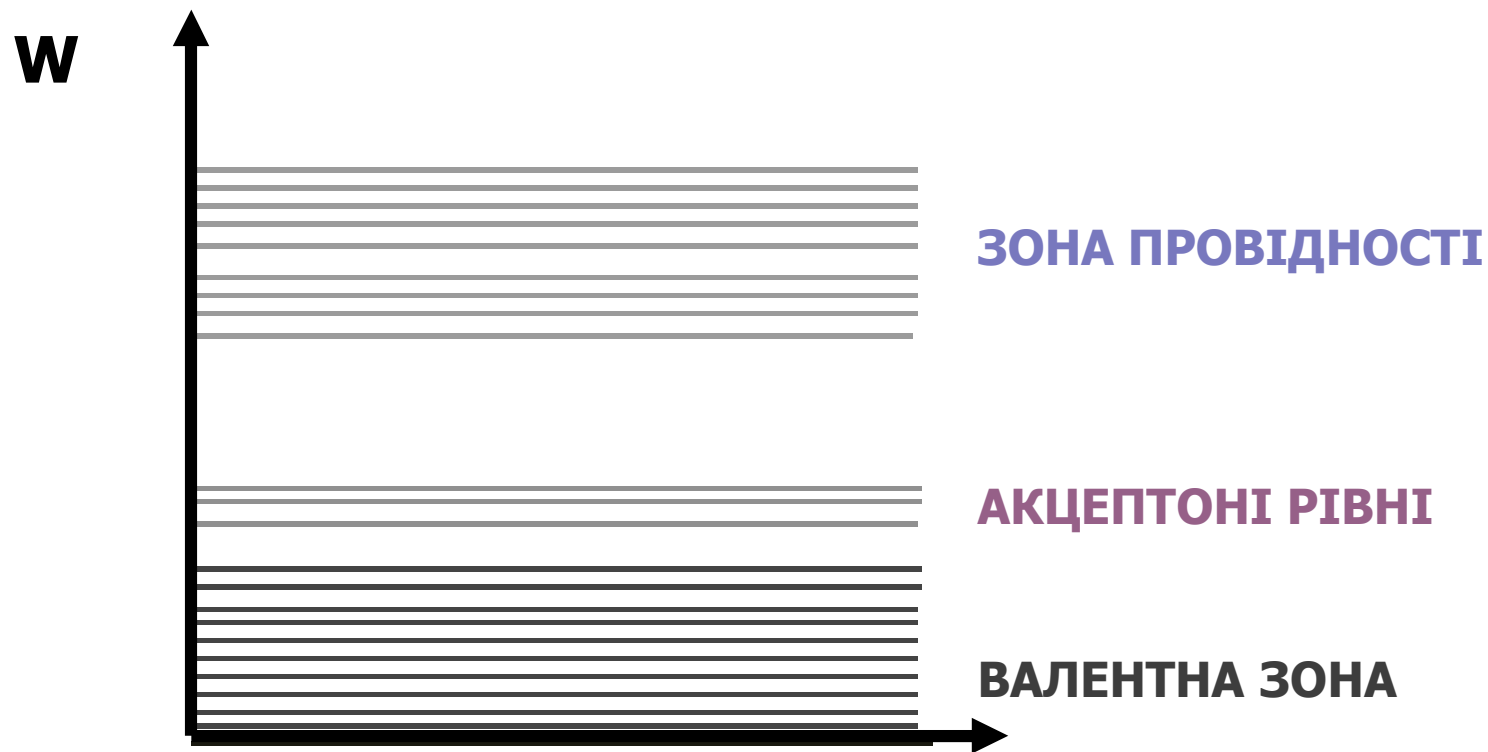
Виникнення електронної домішкової електропровідності



Виникнення діркової домішкової електропровідності



Зонна структура напівпровідника р - типу



Струм у напівпровідниках з електронною та дірковою провідністю

