

Основни свойства на материалите с електронна проводимост

Материалознание



Съдържание

- 1 Физическа природа на електронната проводимост
- 2 Влияние на температурата
- 3 Влияние на примесите и дефектите
- 4 Контактна потенциална разлика и термо – е. д. н.

1. Физическа природа на електронната проводимост

1.1. Общи сведения

Проводници са материали, които

нямат забранена зона $\Delta W \approx 0$ eV

имат малки стойности на специфичното съпротивление ρ (или големи стойности на специфичната проводимост σ)

Проводимостта на материалите може да бъде два вида:

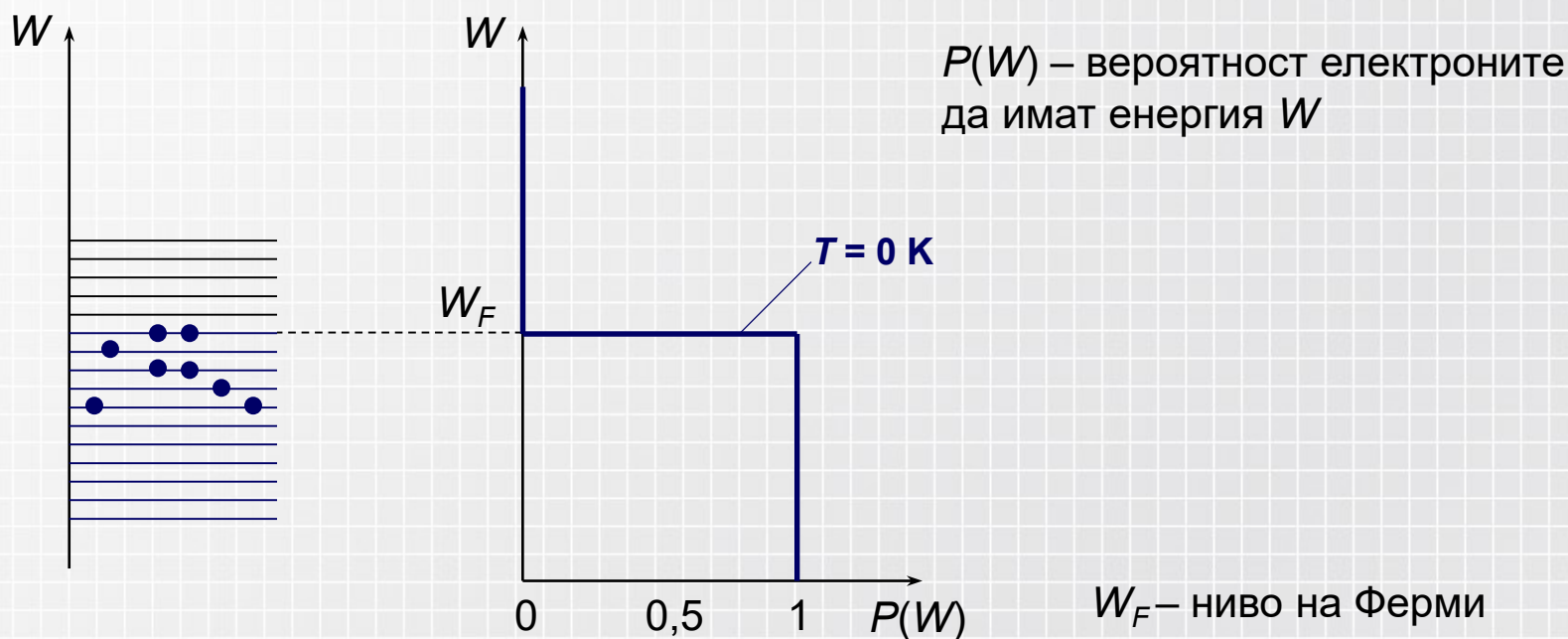
1. **Електронна** – метали и техните сплави или проводници от I род;
2. **Йонна** – електролити или проводници от II род.

Структура на метала – кристална решетка с колективни електрони, които при нормални условия стават свободни и могат да се движат в кристала.

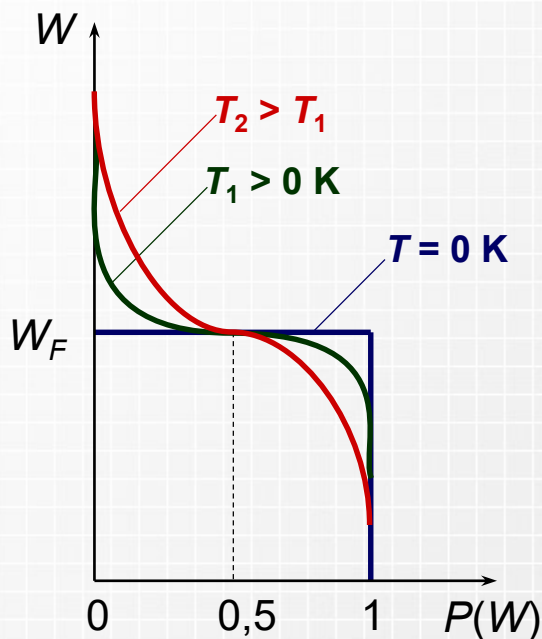
1. Физическа природа на електронната проводимост

1.2. Квантова статистика на електроните в метала

Ако няма външна енергия ($T = 0 \text{ K}$) електроните заемат най-ниските енергийни нива т. е. всички ниски нива са заети, а всички високи – свободни.



1. Физическа природа на електронната проводимост



С увеличаване на температурата вероятността за заемане на по-високите нива се увеличава според разпределението на Ферми:

$$P(W) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{W - W_F}{kT}\right)}$$

Нивото на Ферми се дефинира като:

1. При $T = 0 \text{ K}$ е най-високото заето ниво;
2. При $T > 0 \text{ K}$ е онова ниво, вероятността за заемането на което е: $P(W_F) = 0,5$.

Разпределението на Ферми е симетрично спрямо W_F т. е. заетите нива над W_F са точно толкова, колкото са свободните нива под него.

Активни токоносители в металните проводници са електроните, чиито енергийни нива са по-високи от нивото на Ферми.

1. Физическа природа на електронната проводимост

1.3. Специфична проводимост σ

Електрическата проводимост определя линейната зависимост между плътността на тока J , протичащ през метален проводник, и интензитета E на приложеното в двата му края поле:

$$J = \sigma \cdot E \text{ (Закон на Ом)}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \frac{S}{l}, \Omega \cdot \text{m}$$

където R е съпротивление, S – сечение и l - дължина на проводника.

1. Физическа природа на електронната проводимост

От друга страна, според дифузионния модел на твърдото тяло:

$$\sigma = n \cdot \mu \cdot q$$

където $q = e$ – заряд на електрона, n – концентрация и μ – подвижност на свободните електрони.

Различните метали имат почти еднакви и големи стойности на n , затова различната им проводимост се определя от μ .

$$\mu = \frac{e \lambda_{\text{ср}}}{2m v_T}$$

където $\lambda_{\text{ср}}$ е среден свободен пробег, v_T – скорост на топлинно движение и m – маса на електрона.

Следователно електронната проводимост се определя основно от стойността на $\lambda_{\text{ср}}$, поради което най-малко ρ имат металите с най-правилна кристална решетка, без примеси и дефекти в нея.

2. Влияние на температурата

2.1. Коефициент на топлопроводимост h_T

В твърдото тяло топлината се пренася по два механизма:

1. Чрез трептения на свързаните градивни частици (фонони);
2. Чрез движение на свободни носители на заряд (електрони).

В **диелектриците** няма свободни токоносители \Rightarrow топлината се предава бавно \Rightarrow имат малки h_T .

В **металните проводници** топлината се пренася значително по-бързо за сметка на движение на свободни електрони \Rightarrow имат големи h_T .

Също така при металите механизмите на топло- и електропроводимостта са еднакви.

2. Влияние на температурата

Закон на Видеман-Франц: $h_T = aT\sigma$

където a е константа на Видеман-Франц.

Примесите и механичната обработка силно влияят върху h_T .

Ограничения на закона:

1. Не отчита пренасянето на топлина чрез трептения на възлите на кристалната решетка;
2. Не е в сила при свръхпроводимост.

2. Влияние на температурата

2.2. Относителен температурен коефициент на специфичното съпротивление α_p

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{n\mu e}$$

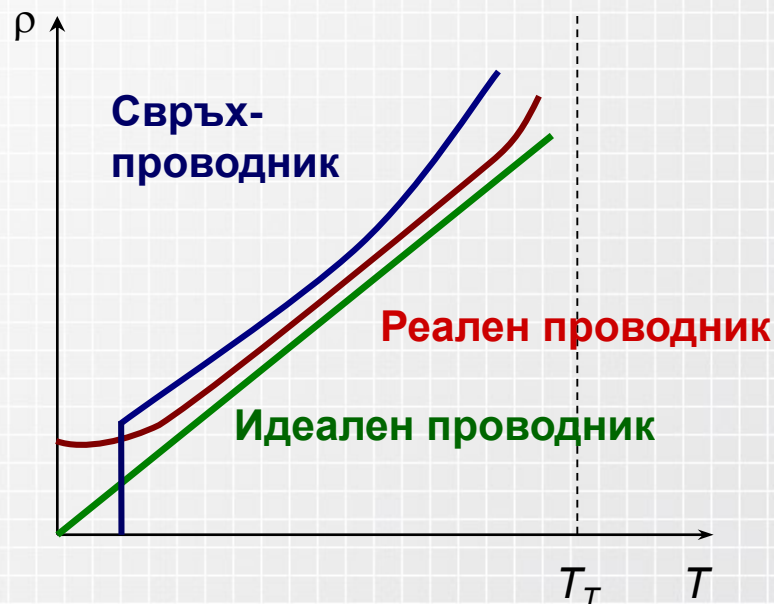
С увеличаване на температурата T се увеличава концентрацията на "активните" електрони n .

От друга страна нараства амплитудата на трептене на възлите на кристалната решетка, поради което намалява средната дължина на свободния пробег на електроните λ_{cp} и оттам намалява и подвижността им μ .

В чистите метали стойността на n е достатъчно голяма, поради което промяната на специфично им съпротивление ρ се определя основно от μ (или λ_{cp}).

Следователно при увеличаване на T , ρ на чистите метали нараства.

2. Влияние на температурата



Свръхпроводимост – явление, наблюдавано при определени метали и сплави, при които се наблюдава пълно отсъствие на електрическо съпротивление при много ниски температури (за чисти метали около 9 K, а за сплави – около 125 K).

2. Влияние на температурата

$$\alpha_{\rho} = \frac{d\rho}{\rho dT}, \quad ^\circ\text{C}^{-1}$$

За чисти метали $\alpha_{\rho} > 0$.

Тъй като в работния температурен интервал зависимостта $\rho = f(T)$ е линейна, то $\alpha_{\rho} = \text{const}$ и тогава може да се използва формулата

$$\alpha_{\rho} = \frac{\rho_T - \rho_A}{\rho_A (T - T_A)} \quad \text{или} \quad \rho_T = \rho_A [1 + \alpha_{\rho} (T - T_A)]$$

където ρ_A е специфично съпротивление при стайна температура T_A , а ρ_T – при произволна температура T .

3. Влияние на примесите и дефектите

3.1. Влияние на примесите

Примесните атоми създават изкривяване в кристалната решетка на метала и по този начин намаляват средния свободен пробег на електроните.

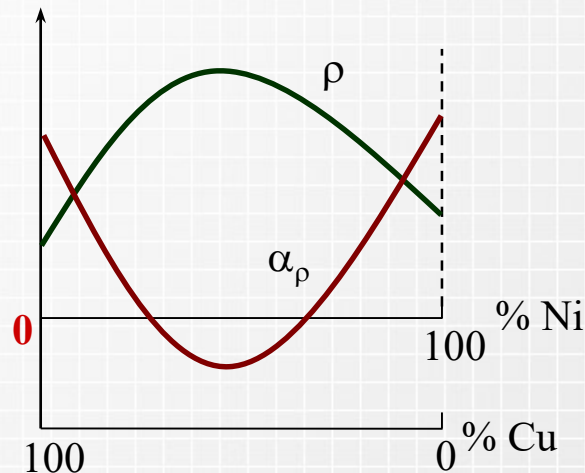
Следователно при увеличаване на концентрацията на примесите в металите специфичното им съпротивление ρ се увеличава.

$$\rho_{\text{пр}} = C \cdot x \cdot (1 - x)$$

където x е частта на примесите, а C – примесен коефициент.

3. Влияние на примесите и дефектите

Сплав между метали, които образуват твърд разтвор – единият метал запазва кристалната си решетка, а атомите на другият се разполагат в нея.



Въпреки, че всички метали имат положителен α_ρ , то за сплав е възможно $\alpha_\rho < 0$.

При тях температурната зависимост на ρ се определя основно от нарастване на концентрацията на свободните електрони, а не от намаляването на дължината на средния им свободен пробег.

При подходящо съотношение между двата метала може да се получи сплав с $\alpha_\rho \approx 0$.

3. Влияние на примесите и дефектите

3.2. Влияние на механичните деформации

Механичните деформации в металите намаляват средния свободен пробег на електроните, поради което предизвикват увеличаване на специфичното им съпротивление ρ .

Затова след всяка механична операция, металът се подлага на специална термична обработка за рекристализация и намаляване на дефектите и деформациите.

$$\rho = \rho_T + \rho_{\text{пр}} + \rho_{\text{деф}}$$

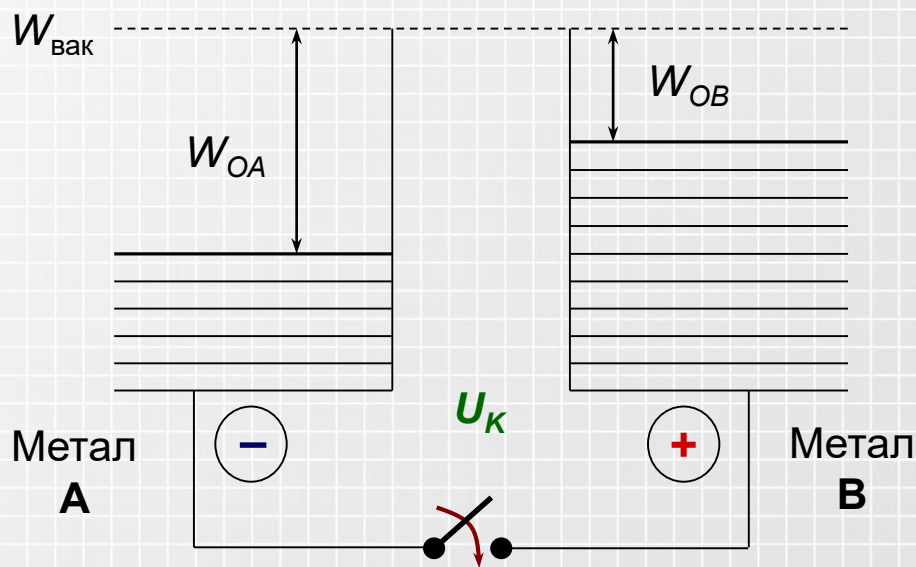
$\rho_{\text{деф}}$ – специфично съпротивление, породено от механичните деформации.

4. Контактна потенциална разлика и термо – е. д. н.

Отделителна работа W_O се нарича външната енергия необходима на електрона в метала, за да напусне структурата на метала.

На практика това е разликата между нивото на Ферми W_F и енергийното ниво на вакуума $W_{\text{вак}}$ т. е. $W_O = W_{\text{вак}} - W_F$.

Различните метали имат различни W_F , следователно различни W_O .



4. Контактна потенциална разлика и термо – е. д. н.

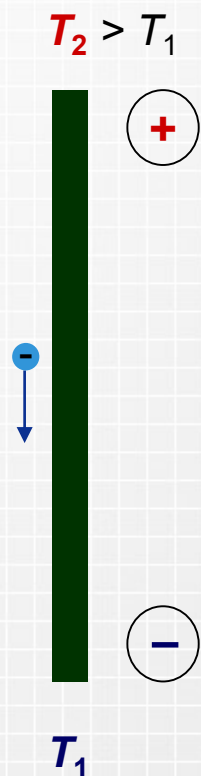
При контакт между два метала с различно ниво на Ферми започва преминаването на електрони от метала с по-високо ниво към този с по-ниско.

По този начин металът с по-високо W_F обеднява на електрони и се зарежда положително, докато този с по-ниско се обогатява на електрони и се зарежда отрицателно.

Възникналата между тях потенциална разлика се нарича контактна:

$$U_K \sim W_{OA} - W_{OB}$$

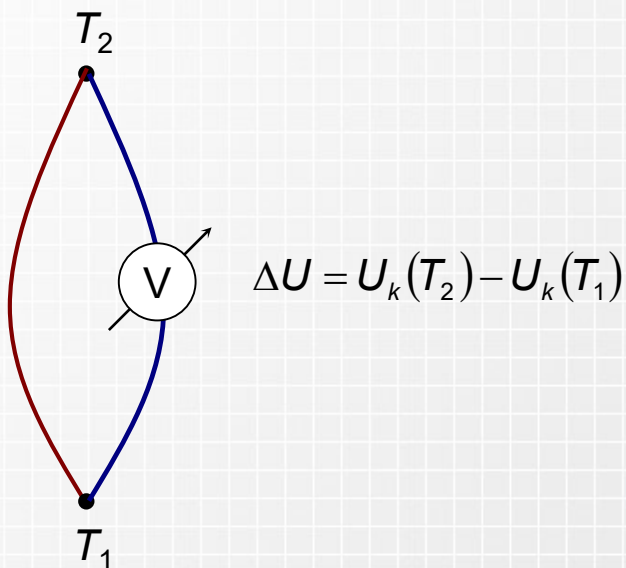
4. Контактна потенциална разлика и термо – е. д. н.



Ако единият край на метален проводник е с по-висока температура от другия, то в него ще има повече електрони, които ще се предвижат към студения.

Така топлият край обеднява на електрони и се зарежда положително, като получената потенциална разлика се нарича термо-е.д.н.

4. Контактна потенциална разлика и термо – е. д. н.



Ако за измерване на термо-е. д. н. се включи волтметър чрез проводници от различни метали, то в мястото на контактуване се получава контактна потенциална разлика, пропорционална на температурата.

Термодвойката е система от два метала с различно ниво на Ферми, която се използва за измерване на температура чрез преобразуването ѝ в напрежение.