

Mécanisme de conduction électrique dans les solides (47)

Octobre 2016
Soleilhavoup Perrine

Problématique : Qu'est ce qui est à l'origine de la conductivité ?

I- Généralité sur le courant électrique

Courant électrique = déplacement des porteurs de charges dans un matériau conducteur.

La conduction électrique résulte de l'action d'un champ électrique sur les charges : $\mathbf{E} = - \text{grad } V$.

1- Intensité du courant

Mouvement aléatoire et désordonné des porteur de charges.

$i = dq / dt$ où i = courant électrique entre 2 points
 dq = charge partielle
 dt = temps de déplacement

Si le courant est constant : $I = \Delta Q / \Delta t \Rightarrow Q = \int I \cdot dt$

2- Densité de courant

$\mathbf{j} = d\mathbf{I} / dt$

ou

$\mathbf{j} = \Sigma n \cdot q(\mathbf{r},t) \cdot \mathbf{v}(\mathbf{r},t)$ où n = densité de charge
 q = valeur de la charge
 v = vitesse de la charge

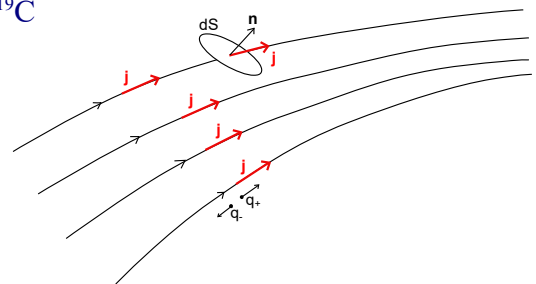
Exemple du cuivre :

$v = j / (nqS)$ si $S = 1 \text{ mm}^2$ et $A = 1 \text{ A}$
 $v \approx 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ $n = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ et $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

3- Conservation du courant

Le courant électrique est un flux conservatif :

$\int \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = 0 \Rightarrow \text{div } \mathbf{j} = 0$ où S = surface fermée



II- Transport de charges libres

1- Constitution des matériaux

Solide = ensemble rigide d'atome dont la stabilité est assurée par des liaisons chimiques.

Les électrons, constituant les plus légers des conducteurs, sont les premiers responsables de la conductivité électrique.

Rq : il existe aussi les porteurs de charges (ions) et les trous

2- Modèle de Drude

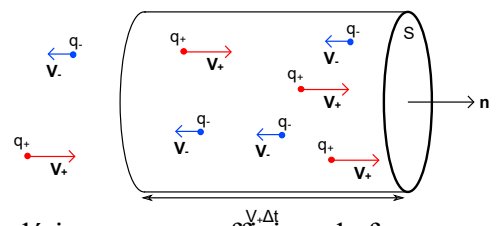
Modèle microscopique de 1900.

Etude du mouvement du flux de particules :

système : l'électron (qui se déplace et subit des collisions)

forces : force électrostatique : $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$

force de frottement fluide : $\mathbf{f} = - \alpha \cdot \mathbf{v}$ où v = vitesse de dérive et α = coefficient de frottement



PFD : $\Sigma \text{ forces} = ma \Rightarrow q \cdot \mathbf{E} - \alpha \cdot \mathbf{v} = ma = m \frac{dv}{dt}$

$\Rightarrow \frac{dv}{dt} + \frac{\alpha}{m} v = \frac{qE}{m}$ on pose $\tau = m / \alpha$

ESSM : $v(t) = K \cdot \exp(-t/\tau)$

EP : $v_p = K_p \cdot \exp(-t/\tau)$ où $K_p = \frac{q\tau E}{m} \cdot \exp(t/\tau)$

EG : $v(t) = \frac{q\tau E}{m} \cdot [1 - \exp(-t/\tau)]$

Si régime stationnaire : $v(t) = q \tau \frac{E}{m} = \mu E$ où μ = mobilité des électrons

τ = temps de corrélation

$\tau = \gamma m / nq^2 \approx 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ s}$

$\gamma(\text{Cu}) = 5,88 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ (à 300K) et $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

3- Définitions de quelques paramètres

Conductivité : $\gamma = Nq\mu$ [S/m] où N = densité volumique

Résistivité : $\rho = 1/\gamma$

Résistance : $R = U/I = \rho l/S$ dépend de la géométrie du matériau

Puissance : $P = U/I = RI^2 = \mathbf{j} \cdot \mathbf{E}$

4- Loi d'Ohm locale

Approximation linéaire définie à partir de l'expérience.

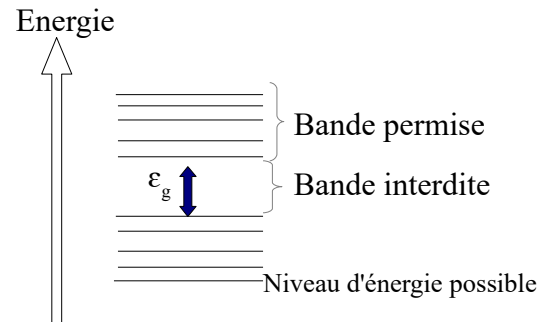
$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}$ où γ = conductivité du milieu

III- Conductivité dans les solides

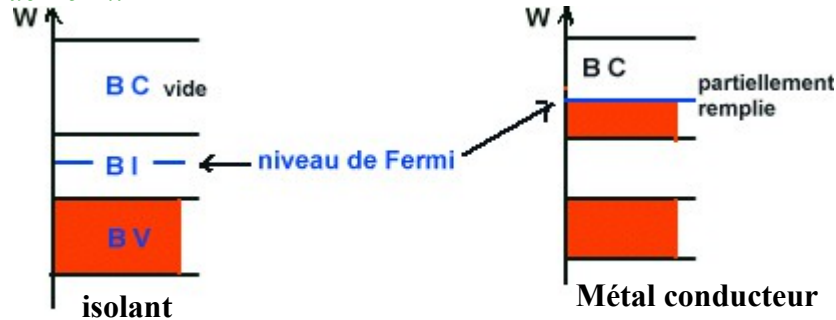
1- Structure de bande

Les électrons libres évoluent dans le réseau et sont responsables de la conduction électrique.

En physique quantique, l'énergie de ces électrons est quantifiée. Cela forme des bandes d'énergies permises alors que d'autres sont interdites.



2- Niveau de Fermi



BV = bande de valence

BI = bande interdite

BC = bande de conduction

3- Influence sur la conductivité

Nature cristalline (clivage) et impureté : $\mathbf{v} = \mu \mathbf{E} \Rightarrow \mu = \mathbf{v}/\mathbf{E}$ et $\gamma = Nq\mu$ $\gamma_{\text{tot}} = \sum \gamma_i$

Température : gaz d'électrons équivalent à un GP

$3/2 k_B T = 1/2 m v^2 \Rightarrow v = \text{racine} \{3k_B T/m\}$ où k_B = cste de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

vitesse thermique : $v_T \approx 1,16 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow v_T \gg v$

libre parcours moyen : $l = v_T \tau \approx 2,29 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ (plus grand que la distance interatomique)

Bibliographie:

- Electromagnétisme – vide et milieux matériels ; Dunod ; Perez, Masson
- Electromécanique – Fondements et applications ; Dunod ; Perez, Carles, Fleckilger
- Introduction à la physique des matériaux conducteurs et semi-conducteurs ; Dunod ; Teyssier, Brunet
- Electrostatique – conduction ; Dunod ; Poitevin