

LU3EE200

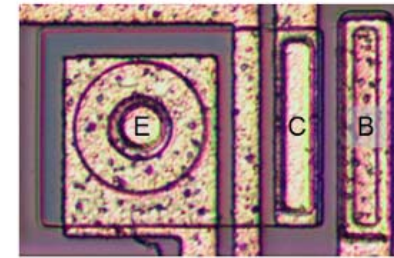
Techniques et dispositifs pour l'électronique analogique et l'électronique numérique

Chapitre n°8. Jonctions



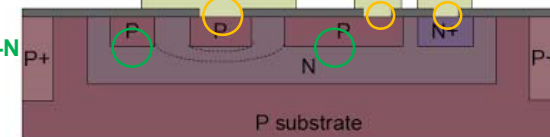
Russel OHL (1898-1987)
Inventeur de la jonction PN

AOP 741 : du circuit intégré au transistor



Contact métal / semi-conducteur

Contact SC-P / SC-N



Jonction métallurgique : interface entre deux matériaux ➡ Joue un rôle important dans les propriétés de transport électrique

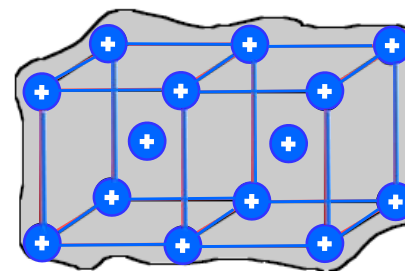
Jonction **idéale** : interface sans défauts

1. Jonction métal / semi-conducteur

Quand un métal est mis en contact avec un semi-conducteur, deux types de jonction peuvent se former selon les travaux de sortie du métal Φ_m et du semi-conducteur Φ_N :

- Si $\Phi_m > \Phi_N$, alors la jonction est de type **Schottky** ;
- Si $\Phi_m < \Phi_N$, alors la jonction est de type **ohmique**.

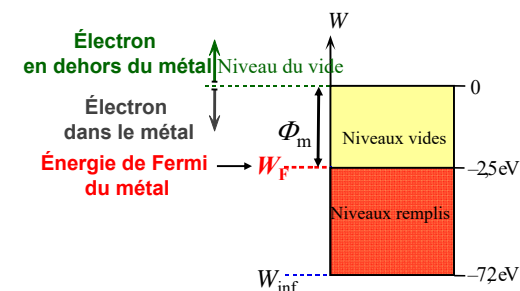
Rappel : modèle du métal



Cœur de l'ion positif
(noyau + électrons de cœur)

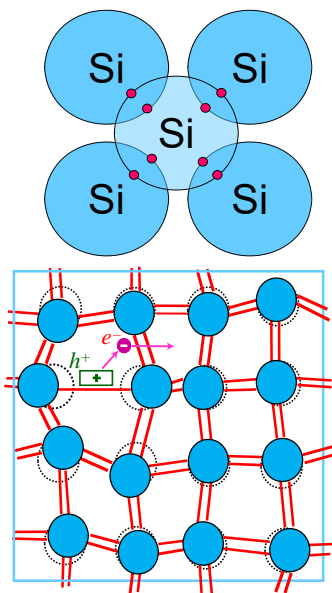


Gaz d'électrons de conduction
(les électrons de valence sont délocalisés au sein du cristal : ils sont dits libres)



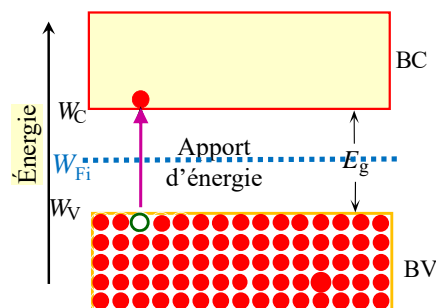
Φ_m = travail de sortie du métal :
énergie à fournir pour extraire
un électron libre du métal

Rappel : modèle du semi-conducteur intrinsèque



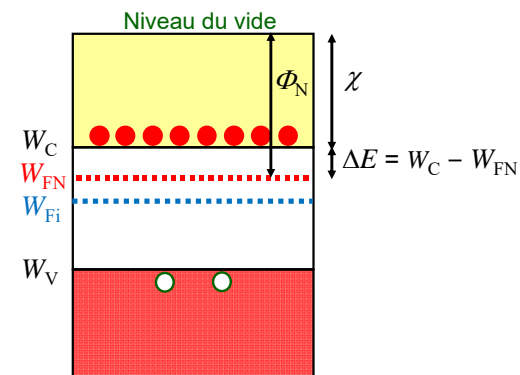
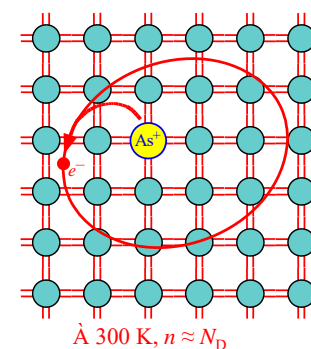
Les électrons de valence sont engagés dans les liaisons covalentes.

À 300 K, l'énergie thermique apportée permet de briser des liaisons et de créer ainsi des paires électron-trou : pour Si intrinsèque, $n_i \approx 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.



Rappel : modèle du semi-conducteur extrinsèque

Semi-conducteur (Si) dopé N



$$n = N_C \exp\left(-\frac{W_C - W_{FN}}{k_B T}\right) = N_C \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_B T}\right) \Rightarrow \Delta E = -k_B T \ln\left(\frac{N_D}{N_C}\right)$$

χ = affinité électronique : hauteur de la bande de conduction

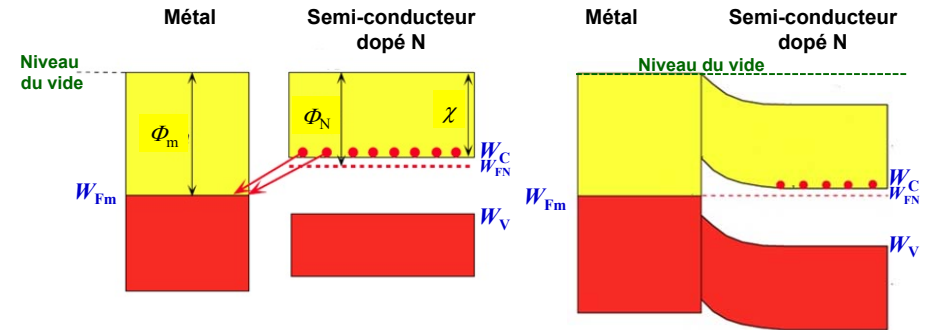
Φ_N = travail de sortie du semi-conducteur ici dopé N : énergie à fournir pour extraire un électron libre du semi-conducteur

Cas du contact Schottky à l'équilibre : que se passe-t-il lorsqu'on met en contact un métal avec un semi-conducteur dopé N ?

On n'applique pas ici de polarisation.

Avant contact

Après contact

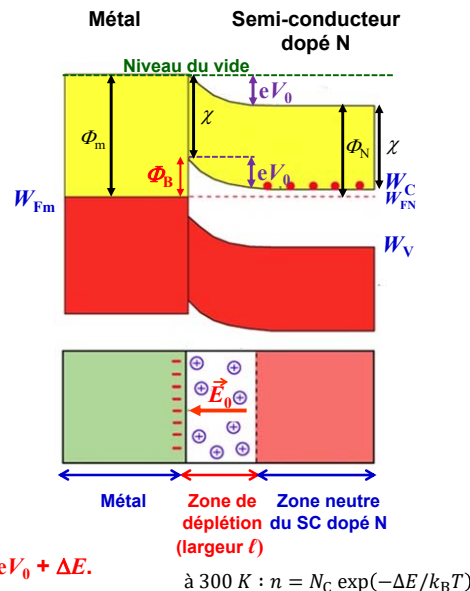


- ❖ Les niveaux de Fermi s'égalisent à l'équilibre thermodynamique.
- ❖ Le niveau du vide est continu.

1.1.b Contact (idéal) métal / SC à l'équilibre : $\Phi_m > \Phi_N$

Après contact

- ❖ Des électrons très énergétiques en provenance du SC s'accumulent à l'interface côté métal.
- ❖ Ils laissent dans le SC au voisinage de l'interface une zone dépourvue en porteurs libres (**zone de déplétion**).
- ❖ Cette zone de déplétion contient encore les **atomes donneurs ionisés positivement**.
- ❖ Apparition d'un **champ électrique interne** \vec{E}_0 dans la zone de déplétion.
- ❖ Apparition d'un **potentiel interne de jonction** V_0 , permettant d'atteindre un équilibre.
- ❖ Observation d'une **courbure des bandes** côté SC : $eV_0 = \Phi_m - \Phi_N$
- ❖ Les électrons côté métal « voient » une **barrière de potentiel (barrière de Schottky)**, de hauteur : $\Phi_B = \Phi_m - \chi = eV_0 + \Delta E$.



$$\text{à } 300 \text{ K : } n = N_C \exp(-\Delta E/k_B T)$$

1.1.c Contact (idéal) métal / SC à l'équilibre : $\Phi_m > \Phi_N$

Après contact

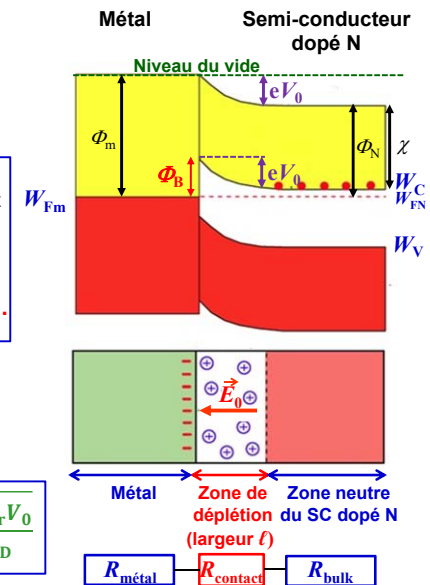
$$eV_0 = \Phi_m - \Phi_N$$

$$\Phi_B = \Phi_m - \chi = eV_0 + \Delta E.$$

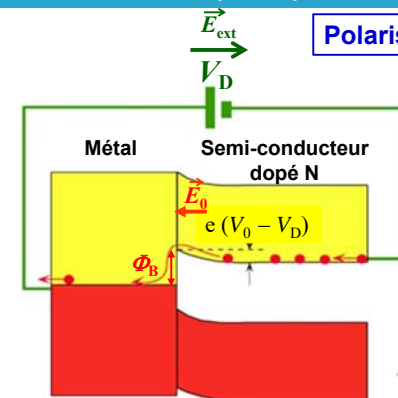
- ❖ À l'équilibre, la densité de courant SC → métal est égale à la densité de courant métal → SC.
- ❖ Soit : $J_{SC \rightarrow \text{métal}} = J_{\text{métal} \rightarrow SC} \Rightarrow J_2 \exp(-eV_0/k_B T) = J_1 \exp(-\Phi_B/k_B T).$

Pour les calculs (simples) d'électrostatique dans la jonction, se reporter aux notes en ligne.

$$l = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_r V_0}{e N_D}}$$



Que se passe-t-il lorsque le contact Schottky est sous polarisation ?

1.2.a Contact (idéal) métal / SC hors équilibre : $\Phi_m > \Phi_N$ 

Polarisation directe

$$J_{SC \rightarrow \text{métal}} = J_2 \exp[-e(V_0 - V_D)/k_B T]$$

$$J_{\text{métal} \rightarrow SC} = J_1 \exp(-\Phi_B/k_B T)$$

$$J = J_{SC \rightarrow \text{métal}} - J_{\text{métal} \rightarrow SC}$$

Φ_B est inchangée par rapport au cas à l'équilibre ; donc

$$J_1 \exp(-\Phi_B/k_B T) = J_2 \exp(-eV_0/k_B T).$$

$$\begin{aligned} \text{Ainsi : } J &= J_2 \exp[-e(V_0 - V_D)/k_B T] - J_2 \exp(-eV_0/k_B T) \\ &= J_2 \exp(-eV_0/k_B T) [\exp(eV_D/k_B T) - 1] \end{aligned}$$

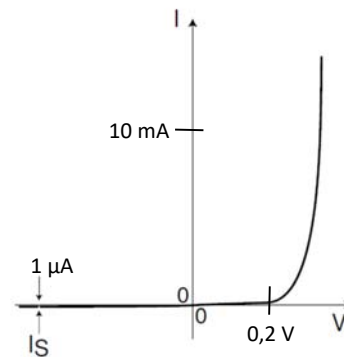
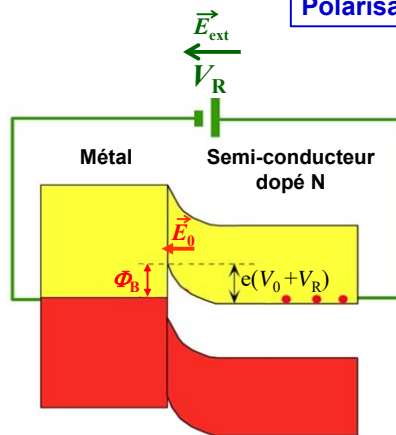
$$J = J_S [\exp(eV_D/k_B T) - 1]$$

avec $J_S = B_e T^2 \exp(-\Phi_B/k_B T)$: densité de courant inverse de saturation

et où $B_e = 1,2 \times 10^6 \text{ A} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$: constante effective de Richardson-Dushman

1.2.b Contact (idéal) métal / SC hors équilibre : $\Phi_m > \Phi_N$

Polarisation inverse



Le contact métal / semi-conducteur dopé N avec $\Phi_m > \Phi_N$ est un contact Schottky, i.e. présentant un comportement redresseur.

Que se passe-t-il pour
un contact métal / semi-conducteur
lorsque $\Phi_m < \Phi_N$?

