

PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS

SERIE DE TD N° 01

**EXERCICE 01:**

1. Quelle est la structure cristalline du Silicium (Si) ? Définir cette structure (réseau et base). Représenter cette structure.
2. Quel est nombre de plus proche voisins dans cette structure ? Calculer la distance entre plus proches voisins. Le paramètre de maille du Si étant  $a = 5,43 \text{ \AA}$ .
3. En déduire le rayon de l'atome.
4. Calculer le nombre d'atomes au  $\text{cm}^3$  et la densité du Si. (Masse molaire  $28,09 \text{ g/mol}$ )

**EXERCICE 02:**

La fonction de Fermi donnant la probabilité de trouver un électron ayant une énergie  $E$  à une température  $T$ , est égale à :

$$f_n(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{E-E_F}{kT}}}$$

1. Tracer  $f_n(E)$  au zéro absolu
2. Etudier la fonction  $f_n(E)$  pour diverses valeurs de  $T$ .
3. Comment se transforme  $f_n(E)$  lorsque la température croît ?
4. Calculer la probabilité  $f_p(E)$  d'avoir un trou ayant l'énergie  $E$  à une température  $T$ .

**EXERCICE 03:**

On donne la densité d'états des électrons dans la bandes de conduction et des trous dans la bande de valence, par unité de volume d'un semiconducteur, par :

$$D_c(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_c}{\hbar^2} \right)^{3/2} (E - E_c)^{1/2} \quad \text{et} \quad D_v(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_v}{\hbar^2} \right)^{3/2} (E_v - E)^{1/2}$$

1. Montrer que les concentrations respectives des électrons dans la bande de conduction et des trous dans la bande de valence, pour un semiconducteur non dégénéré, sont donné par :

$$n = 2 \left( \frac{2\pi m_c kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}} \quad \text{et} \quad p = 2 \left( \frac{2\pi m_v kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_F - E_v}{kT}}$$

2. Quelle est la relation entre  $n$  et  $p$  dans le cas d'un semiconducteur intrinsèque ?
3. En déduire une expression entre  $n$  et  $p$  indépendante du niveau de Fermi  $E_F$ .
4. Calculer la position du niveau de Fermi  $E_F$  dans un semiconducteur intrinsèque.

5. Calculer (en eV) l'écart d'énergie  $E_F - \left( \frac{E_c + E_v}{2} \right)$  à 300 K puis à 1000 K pour le

Germanium et pour le Silicium.

On donne : Pour le Si :  $E_g = 1,12 \text{ eV}$  ;  $m_c = 1,06 m_0$  ;  $m_v = 0,59 m_0$ .

Pour le Ge :  $E_g = 0,67 \text{ eV}$  ;  $m_c = 0,55 m_0$  ;  $m_v = 0,36 m_0$ .

6. Que peut-on en conclure ?

On donne :  $\int_0^{+\infty} x^{1/2} \cdot e^{-x} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$

#### **EXERCICE 04 :**

Si la largeur de la bande interdite du Si est prise égale à  $E_g = 1,12$  eV à 300 K et  $n_i = 1,45 \cdot 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>, calculer la densité des états effective à la limites des bandes de conduction et de valence. On donne le rapport  $N_c/N_v = 2,7$ .

#### **EXERCICE 05:**

Dans le cas d'un semiconducteur intrinsèque, les masses effectives des densités d'états dans la bande de conduction  $m_c/m_0 = 0,915$  et dans la bande de valence  $m_v/m_0 = 0,976$  (par rapport à la masse de l'électron libre). Calculer :

1. Les concentrations intrinsèques  $n_i$  à  $T = 300$  K et  $T = 400$  K.
2. La position du niveau de Fermi  $E_{Fi}$  à  $T = 300$  K et  $T = 400$  K (en eV), en prenant  $E_v = 0$ .  
On donne :  $E_g = 1,6$  eV.

#### **EXERCICE 06:**

Dans le cas d'un semiconducteur intrinsèque on considère que le gap est fonction de la température :

$$E_g(T) = \alpha T + \beta \quad (T \text{ est exprimé en Kelvin et } E_g \text{ en eV}).$$

La mesure des concentrations intrinsèques à  $T = 350$  K et  $T = 400$  K a donné :

$$n_i(350 \text{ K}) = 2,235 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3} \quad \text{et} \quad n_i(400 \text{ K}) = 6,236 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}.$$

On donne :  $m_c/m_0 = 0,068$  ,  $m_v/m_0 = 0,64$ .

1. Calculer les constantes  $\alpha$  et  $\beta$  en précisant leur unité.
2. En déduire l'énergie du gap  $E_g(300 \text{ K})$  et la concentration intrinsèque  $n_i(300 \text{ K})$  à  $T = 300$  K.
3. Trouver l'expression du niveau de Fermi  $E_{Fi}$  en fonction de la température et calculer sa valeur à  $T = 300$  K (on prend comme origine des énergies le haut de la bande de valence  $E_v = 0$ ).

Dans la suite nous considérerons que  $E_g = 1,43$  eV.

Nous dopons le semiconducteur avec une concentration d'atomes donneurs  $N_d = 2,7 \cdot 10^7$  cm<sup>-3</sup> et une concentration d'atomes accepteur  $N_a = 3 \cdot 10^6$  cm<sup>-3</sup>.

Ces atomes induisent des niveaux donneur  $E_d = 1,38$  eV et accepteur  $E_a = 0,1$  eV dans la structure énergétique de bande du semiconducteur.

4. Calculer les concentrations des électrons  $n$  et des trous  $p$  à  $T = 300$  K.
5. Calculer le niveau de Fermi  $E_F$  à  $T = 300$  K.

On donne :  $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg ;  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s ;  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K.