

## TD3 : Semi conducteurs intrinsèques et extrinsèques

### 1. Conducteurs, isolants, semi conducteurs, gap

Le gap est la barrière à franchir par les électrons pour passer de la BV à la BC. Pour un conducteur le gap est nul et matériau est toujours conducteur quelque soit la température. Ce n'est pas les cas des isolants et des semi conducteurs. Le critère est que l'énergie de gap :  $E_g > 200 \text{ kT}_{\text{ambiante}}$  pour avoir un bon isolant.

#### 1.1 Isolants

Le diamant est un excellent isolant avec un gap de  $E_g = 5,47 \text{ eV}$ .

1.1.1 Calculer la température  $T_{\min}$  pour qu'un électron acquière l'énergie cinétique nécessaire pour franchir ce gap.

L'oxyde de silicium  $\text{SiO}_2$  est très utilisé comme isolant dans les composants électroniques comme les transistors MOS. Son gap est  $E_g = 9 \text{ eV}$ .

1.1.2 Même question que précédemment pour  $\text{SiO}_2$ .

#### 1.2 Semi conducteur intrinsèque

- Le Silicium :  $E_{g\text{Si}} = 1,12 \text{ eV}$  et le Germanium :  $E_{g\text{Ge}} = 0,66 \text{ eV}$ .

1.2.1 Même question que précédemment pour le Si et le Ge.

#### 1.3 Semi conducteur intrinsèque : les porteurs libres

Le modèle ci-dessus est un peu simpliste. Les concentrations de porteurs dans la BC ( $n$ ) et dans la BV ( $p$ ) sont données par :

$$n = N_c \exp\left(\frac{E_F - E_c}{kT}\right) \text{ et } p = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT}\right)$$

1.3.1 Faire le schéma énergétique représentant  $E_c$ ,  $E_f$ ,  $E_v$  et  $E_g$

1.3.2 Retrouver l'expression de la concentration intrinsèque de porteurs de charge en fonction de  $k$ ,  $T$ ,  $E_g$ , et d'une constante  $A$  que l'on définira.

#### 1.4 Le Silicium intrinsèque

Le silicium possède 14 électrons dont 4 électrons de valence. Considérons un échantillon de Si pur "à onze 9" c'est à dire pur à 99,999999999% (1 impureté tous les  $10^{11}$  atomes de Si !). Le niveau de Fermi  $E_F$  d'un semi conducteur intrinsèque est situé au milieu du gap.

1.4.1 Rappeler les expressions donnant la population (le nombre) des électrons libres dans la bande de conduction ( $n$ ) et de trous libres dans la bande de valence ( $p$ ), en fonction de la constante de Boltzmann  $k$ , de la température  $T$ , du nombre de niveaux d'énergies accessibles aux électrons libres à la limite inférieure de la BC ( $N_c$ ) ou aux trous libres à la limite supérieure de la BV ( $N_v$ ) et de l'écart d'énergie entre ces états et l'état d'équilibre (noté  $\Delta E_n$  et  $\Delta E_p$ ).

1.4.2 Calculer les populations  $n$  et  $p$  (densité volumique de porteurs).

Soit  $n_i$  la concentration intrinsèque de porteurs de charge. La loi « d'action de masse » stipule :  $n_i^2 = n \times p$ .

#### 1.4.3 Calculer $n_i$ .

Cette valeur de  $n_i$  est une constante du matériau et dépend fortement de la température.

#### 1.4.4 Calculer $n_i$ à 273 K, à 313 K et à 500 K. Conclusion ?

Soit  $n$  le nombre d'électrons par unité de volume dans la bande de conduction, et  $p$  le nombre de trous par unité de volume dans la bande de valence. Nous avons :

$$n = N_c \exp\left(\frac{E_F - E_c}{kT}\right) \quad (1) \quad \text{et} \quad p = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT}\right) \quad (2)$$

#### 1.4.5 Établir la relation liant $n_i$ à $E_{Fb}$ et $E_v$ ou $E_c$

### 1.5 Semi conducteur extrinsèque

Redémontrer que :

1.5.1 Le niveau de Fermi monte vers la BC pour le Si dopé  $n$ , et donner l'expression correspondante.

1.5.2 Le niveau de Fermi descend vers la BV pour le Si dopé  $p$ , et donner l'expression correspondante.

### 1.6 Silicium dopé N

Le Si est dopé N avec une densité d'atomes donneurs  $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

1.6.1 Calculer  $n$  et  $p$  à 298 K

1.6.2 Calculer l'énergie de son niveau de Fermi et faire un schéma pour le positionner.

### 1.7 Silicium dopé P

Le Si est dopé P avec une densité d'atomes accepteurs  $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

1.7.1 Calculer  $n$  et  $p$  à 298 K

1.7.2 Calculer l'énergie de son niveau de Fermi et faire un schéma pour le positionner.

## 1. Constantes physiques du Silicium

- Densité volumique :  $D_{Si} = 5.10^{22} \text{ cm}^{-3}$
- Masse volumique :  $M_{Si} = 2,33 \text{ g.cm}^{-3}$
- Densité des niveaux d'énergie disponibles à la limite inférieure de la BC :  $N_c = 2,82.10^{19} \text{ cm}^{-3}$
- Densité des niveaux d'énergie disponibles à la limite supérieure de la BV :  $N_v = 1,83.10^{19} \text{ cm}^{-3}$

## 2. Constantes physiques

- Charge élémentaire :  $q = 0,16 \text{ aC}$
- Constante de Boltzmann :  $k = 1,381.10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$