Exercice 1 : Semi-conducteur intrinsèque

On considère un semi-conducteur intrinsèque dont les densités équivalentes d'états énergétiques dans la bande de conduction et dans la bande de valence sont notées respectivement N_C et N_V.

1. Rappelez les expressions de la densité d'électron $\boldsymbol{n}$ dans la bande de conduction et la densité de trous $\boldsymbol{p}$ dans la bande de valence.

2. En déduire l'expression de la densité intrinsèque $\boldsymbol{n_i}$ et la position du niveau de Fermi intrinsèque $\boldsymbol{E_{Fi}}$

3. Le semi-conducteur considéré est du silicium de largeur de bande interdite (ou gap) $\boldsymbol{Eg = 1{,}11eV}$ et pour lequel $N_C = 2{,}710^{19} cm^{-3}$ et $N_V = 1{,}110^{19} cm^{-3}$

En supposant que Eg, N_C et N_V ne varient pas avec la température ; calculez sa densité intrinsèque et la position du niveau de Fermi à 27°C, 127°C et 227°C puis conclure.

On donne k= 1.3810^{-23}J/K et $kT = 26\ meV$ à 300°K.

On prendra comme référence énergétique, le haut de la bande de valence ($E_V = 0eV$).

Correction :

1. Expressions des densités d'électron et de trou :

$$n = N_C exp\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) \quad \text{et} \quad p = N_V exp\left(-\frac{E_F - E_V}{KT}\right)$$

2.

- Densité intrinsèque $\boldsymbol{n_i}$:

Le semi-conducteur étant intrinsèque, on a donc : n = p= n_i

$$\Longrightarrow n_i = N_C exp\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) = N_V exp\left(-\frac{E_F - E_V}{KT}\right)$$

$n_i^2 = n.p$

d'où : $n_i = \sqrt{n.p} = \sqrt{N_C N_V}\ exp\left(-\frac{E_C - E_V}{2KT}\right)$

- Niveau de Fermi intrinsèque $\boldsymbol{E_{Fi}}$:

On a : n/p =1 $\Longrightarrow \frac{N_C}{N_V} exp\left[\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) + \left(\frac{E_F - E_V}{KT}\right)\right] = 1$

D'où : $\boldsymbol{E_{Fi} = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{KT}{2} ln \frac{N_V}{N_C}}$

3. A.N :

Il faut convertir la température en Kelvin :

27°C = 300K , 127°C = 400K et 227°C = 500K

T=300K : KT = 26 meV

T= 400K : $KT = \frac{1{,}3810^{-23} * 400}{1{,}610^{-19}} = 34{,}5meV$ et pour T=500K, KT=43,1meV

T(K)	KT (meV)	ni(cm^{-3})	E_{Fi}(eV)
300	26	9.244 10^{9}	0.543
400	34.5	1.777 10^{12}	0.539
500	43.1	4.405 10^{13}	0.535

c/c : plus la température augmente, plus il y a génération des paires électron-trou ; d'où l'augmentation de la densité intrinsèque du S.C. Le niveau de Fermi intrinsèque se rapproche légèrement de celui de la bande de valence.

Exercice 2 : Semi-conducteur extrinsèque

On considère un matériau semi-conducteur en silicium dopé avec du phosphore (groupe V du tableau périodique) de concentration $N_D = 10^{18} cm^{-3}$

1. Calculez à 27°C, la densité d'électrons du Si ainsi dopé. En déduire la densité de trous. Quel est le type du semi-conducteur ainsi obtenu ?
2. Calculez à 27°C la position du niveau de Fermi E_F puis donnez une représentation du diagramme de bandes d'énergies du silicium ainsi dopé.

On donne : $n_i = 1{,}12 \times 10^{10}$ cm^{-3}, $E_g = 1{,}11$ eV, KT = 26 meV pour T = 27°C

Correction :

1. Le phosphore, P, est une impureté de type donneur: $N_D=10^{18}cm^{-3}$.

ainsi la densité d'électrons est égale à la densité de donneurs :

$$n= N_D = 10^{18}cm^{-3}$$

Selon la loi d'action de masse la densité de trous est donnée par :

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{\left(1{,}12 \times 10^{10}\right)^2}{10^{18}} = 125\ cm^{-3}$$

c/c Le semi-conducteur obtenu est de type N

2. L'énergie de Fermi peut être déduite de la densité d'électrons comme suit :

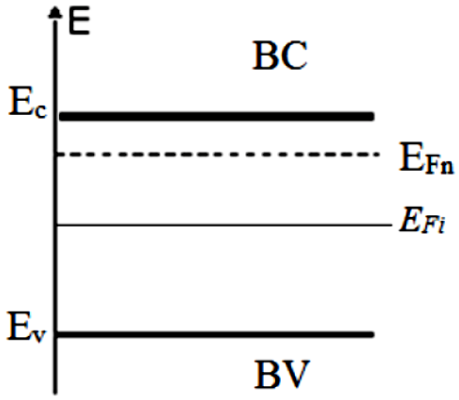
$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_n}}{kT}\right) \approx N_D \quad \Rightarrow N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_i} + E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right)$$

E_{Fn} est le niveau de Fermi pour un SC dopé N, E_{Fi} est le niveau de Fermi du SC intrinsèque.

$$\Leftrightarrow \quad N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_i}}{kT}\right) \exp\left(-\frac{E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right) = n_i \exp\left(-\frac{E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad -\frac{E_{F_i} - E_{F_n}}{kT} = \ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right) \quad \Rightarrow \quad E_{F_n} = E_{F_i} + kT\ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right)$$

A.N $\quad E_{Fn} = \frac{1.11}{2} + 0.026 ln \frac{10^{18}}{1.12\ 10^{10}} \approx 1{,}09\ eV$



c/c : pour un S.C type N, le niveau de Fermi est proche de la bande de conduction ; par contre pour un S.C type P, il est proche de la bande de valence.