Corrigé Type : (EXAMEN DE PHYSIQUE DES SEMI-CONDUCTEURS) 2022/2023

Exercice 1 6pts

1,5

1. $n = N_c e^{-\frac{(E_C-E_F)}{kT}}$, $p = N_v e^{\frac{(E_V-E_F)}{kT}}$

   Pour un SC intrinsèque $n = p = n_i$

   $$n.p = n_i^2 = N_c N_v e^{-\frac{(E_C-E_V)}{kT}} \Rightarrow n_i = (N_c N_v)^{1/2} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad / \quad A = \sqrt{N_c N_v}$$

0,75

2. Les façons d'amener un électron de la bande de valence à la bande de conduction :
   - En augmentant la température,
   - Avec la lumière,
   - Avec un gros champ
3. L'expression générale de la densité de courant total circulant dans un semi-conducteur :

1

$$\vec{J} = \vec{J_n} + \vec{J_p} = n\, e\mu_n \vec{E} + eD_n \overrightarrow{grad}n + p\, e\mu_p \vec{E} - eD_p \overrightarrow{grad}p$$

1,5

4. $\sigma = n_i e(\mu_n + \mu_p)$

   $R = \rho.\frac{L}{S}$, $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{1{,}6.10^{-19}.10^{10}.(1350+480)} = 3{,}41.10^5\ \Omega.cm$

   $R = 3{,}41.10^5.\frac{1}{10^{-2}} = 3{,}41.10^7\ \Omega$

1,25

5. Cette courbe représente l'évolution de la densité n d'électrons libres en fonction de la température dans un semi-conducteur dopé avec N_d atomes donneurs par unité de volume.

   Région (1) : Région des hautes températures, le régime est intrinsèque. $\boldsymbol{n = (N_c N_v)^{1/2} e^{-\frac{E_g}{2kT}}}$

   Région (2) : **Région des basses températures, régime d'épuisement des donneurs.** $\boldsymbol{n = N_d}$

   Région (3) : **Région des très basses températures,** $\boldsymbol{n = \left(\frac{1}{2} N_d N_c\right)^{1/2} e^{-\frac{(E_c-E_d)}{2kT}}}$ **régime de gel des électrons.**

Exercice 2 7pts

1

1. Le SC est de type N , Les électrons « porteurs de charge majoritaires », les trous « porteurs de charge minoritaires ». $n \gg p$

   A T ambiante $N_d = N_d^+$, la concentration des électrons est :

   $$n = N_d = 5.10^{16}\ électrons\ libres.cm^{-3}$$

   La concentration des trous : $n.p = n_i^2 \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n}$ 0,5

   0,5 $$n_i = (N_c N_v)^{1/2} e^{-\frac{E_g}{2kT}} = 2{,}13.10^{13}\ porteurs/\,cm^3$$ 0,5

   $$p = \frac{n_i^2}{n} = 9{,}07.10^9\ trous\ libres/cm^3$$ 0,5

2. Niveau de Fermi : $n = N_d$ 0,5 $= N_c e^{-\frac{(E_c-E_F)}{kT}}$, $\Rightarrow$ $E_c - E_F = kT\ ln\left(\frac{N_c}{N_d}\right)$ 0,5

   A.N : $E_c - E_F = 0{,}137\ eV$ 0,5

1 3. Lorsque E_F se confond avec E_c , $E_c - E_F = 0 \quad \Rightarrow N_d = N_c$

$$N_d = 1{,}02.10^{19} atomes.cm^{-3}$$

4. Si le nombre d'électrons de conduction provenant de la bande de valence est égal au nombre d'électrons provenant du niveau d'énergie E_d, soit $n_i = N_d$ 0,5

$$n_i = (N_c N_v)^{1/2} e^{-\frac{E_g}{2kT}} = N_d$$

$$\Rightarrow T = \frac{E_g}{2k \ln\left(\frac{\sqrt{N_c N_v}}{N_d}\right)} \simeq 765{,}2 \text{ K}$$ 0,5 0,5

Exercice 3 7pts

1.

$$n_n = N_c e^{-\left(\frac{E_{cn}-E_F}{kT}\right)} , \; n_p = N_c e^{-\left(\frac{E_{cp}-E_F}{kT}\right)} \Rightarrow E_{cp} - E_{cn} = kT \ln \frac{n_n}{n_p} = kT \ln \frac{N_d N_a}{n_i^2}$$

1 $$E_{cp} = -eV_p \quad , E_{cn} = -eV_n \quad \Rightarrow \quad V_d = \frac{E_{cp}-E_{cn}}{e}$$

$$\Rightarrow \quad \boldsymbol{V_d = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_d N_a}{n_i^2}}$$

2. le champ électrique $E(x)$ à l'intérieure de la zone de charge d'espace

0,5 $$\frac{dE(x)}{dx} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{dE(x)}{dx} = \dfrac{-eN_a}{\varepsilon} & -x_p < x < 0 \\ \dfrac{dE(x)}{dx} = \dfrac{eN_d}{\varepsilon} & 0 < x < x_n \end{cases}$$ 0,25 0,25

0,5 à $x = -x_p$, $x = x_n$: $E = 0 \quad \Rightarrow$

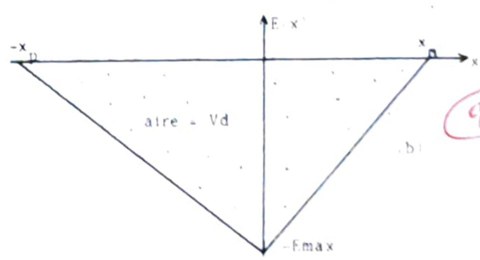
$$\begin{cases} E(x) = -\dfrac{eN_a}{\varepsilon}(x + x_p) & -x_p < x < 0 \\ E(x) = \dfrac{eN_d}{\varepsilon}(x - x_n) & 0 < x < x_n \end{cases}$$ 0,5 0,5

3. La relation entre N_a, N_d, x_p et x_n :

0,5 À $x = 0$, le champ est continu, donc on a :

$$-\frac{eN_a}{\varepsilon} x_p = -\frac{eN_d}{\varepsilon} x_n = -E_{Max} \Rightarrow N_a x_p = N_d x_n$$ 0,5

Représentation du champ électrique $E(x)$



0,5

4. Détermination du potentiel électrique $V(x)$ dans chaque région de la jonction.

Le potentiel électrostatique est lié à la répartition de charge par : $\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}$

0,5 L'intégration du champ électrique nous donne le potentiel électrique

$$V(x) = -\int E(x)\, dx$$

$x = -x_p$, $V = V_p$ 0,25 / $x = x_n$, $V = V_n$ 0,25

$$\begin{cases} V(x) = \dfrac{eN_a}{2\varepsilon}(x + x_p)^2 + V_p & -x_p < x < 0 \\ V(x) = V_n - \dfrac{eN_d}{2\varepsilon}(x - x_n)^2 & 0 < x < x_n \end{cases}$$ 0,5 0,5