Université Chadli Benjedid El Tarf
Faculté des sciences et de la technologie
Département de physique

UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

3ème Année LMD

13 Mai 2025

Durée : 1 h 30

Examen de Physique des semi-conducteurs

Exercice 1 : (08 points)

Le germanium est caractérisé par : masse atomique M=72,6 g, la masse volumique $\rho = 5,32$ g/cm^3.

Energie de la bande interdite Eg = 0,67 eV.

Nombre d'Avogadro N_A= 6,023.10^{23}atome/mol, K= 8,62.10^{-5} eV/K.

Densité effective d'états énergétiques à 300 K, Nc = 1,04.10^{19} atomes/cm^3, Nv = 6.10^{18} atomes/cm^3.

1. Déterminer le nombre d'atomes par cm^3.
2. Calculer la constante du réseau ainsi le rayon atomique du germanium.
3. Déduire l'expression de la densité intrinsèque n_i et la position du niveau de Fermi intrinsèque.
4. Calculer la concentration intrinsèque et la position du niveau de Fermi à 300K.

Exercice 2 : (12 points)

Dans une jonction PN, la distribution de charge est donnée par la relation suivante :

$$\rho(x) = \begin{cases} 0, & si\ -\infty < x \leq -lp \\ -qN_A, & si\ -lp < x \leq 0 \\ +qN_D, & si\ 0 \leq x < +ln \\ 0, & si\ +ln \leq x < +\infty \end{cases}$$

Avec : N_A et N_D sont respectivement la densité d'accepteurs et la densité de donneurs.

1. Quel est le type de cette jonction ?
2. Exprimer, en fonction de x, le champ électrique E(x) à l'intérieur de la zone de déplétion [-lp, ln].
3. Déduire la relation entre N_A, N_D, l_p et l_n puis représenter le champ électrique E(x).
4. On considère une diode à jonction PN à base de Si avec comme dopage en accepteurs N_A= 10^{17} cm^{-3} et en donneurs N_D = 10^{15} cm^{-3}.

a) Calculer, à 300K, le potentiel de diffusion V_d et la largeur de zone de charge d'espace W.

b) Comparer entre la largeur de la région dopée N et celle de la région dopée P (l_p et l_n).

On donne : k = 8,62.10^{-5} eV/K = 1,38.10^{-23} J/K, ε_{sc} = 10^{-10} F/m, n_i = 1,5.10^{10}.

Bon courage

Dr.Benaissa

Solution de l'examen physique des semi-conducteurs

Exercice 1 : 08pts

1) 1°/ Détermination du nombre d'atomes par cm³ :

$$N_{Ge} = \frac{\rho_{Ge} \cdot N_A}{M_{Ge}} = \frac{5{,}32 \times 6{,}023 \times 10^{23}}{72{,}6} \quad 0{,}5$$

$$\boxed{N_{Ge} = 4{,}47 \cdot 10^{22} \text{ atomes}/\text{cm}^3} \quad 0{,}5$$

2) 2°/ Calcule de la constante du réseau "a"

$$N_{Ge} = \frac{8}{a^3} \Rightarrow a^3 = \frac{8}{N_{Ge}} \quad 0{,}5$$

A.N/ $a^3 = \frac{8}{4{,}47 \times 10^{22}}$

$$a = \sqrt[3]{\frac{8}{4{,}47 \times 10^{22}}} = 5{,}66 \times 10^{-8}\,\text{cm}$$

$$\Rightarrow \boxed{a = 5{,}66\,\text{Å}} \quad 0{,}5$$

- le rayon R atomique du germanium 1

2 $$a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \Rightarrow R = a\frac{\sqrt{3}}{4} \quad 0{,}5$$

A.N. $R = 5{,}66 \times \frac{\sqrt{3}}{4}$

$$\boxed{R = 2{,}45\,\text{Å}} \quad 0{,}5$$

4 3°/ les expressions de n_i et E_i

On a :

$$n = N_c\, e^{-\frac{(E_c - E_F)}{kT}} \quad 0{,}75$$

$$p = N_v\, e^{\frac{E_v - E_F}{kT}} \quad 0{,}75$$

$$n_i^2 = n \times p \quad 0{,}25$$

$$= N_c N_v\, e^{-\frac{(E_c - E_F)}{kT}}\, e^{\frac{E_v - E_F}{kT}}$$

$$= N_c N_v\, e^{-\frac{(E_c - E_v)}{kT}} \quad 1$$

$$\Rightarrow \boxed{n_i = \sqrt{N_c N_v}\, e^{-\frac{(E_c - E_v)}{2kT}}}$$

le niveau de Fermi intrinsèque :

$$\frac{n}{p} = 1 \quad 0{,}25$$

$$\Rightarrow \frac{N_c}{N_v}\, e^{-\frac{(E_c - E_F)}{kT}}\, e^{-(E_F - E_v)} = 1$$

$$\frac{N_v}{N_c} = e^{\frac{-E_c - E_v + 2E_F}{kT}} \quad 1$$

$$\Rightarrow \frac{-E_c - E_v + 2E_F}{kT} = \ln \frac{N_v}{N_c}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_F = \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}}$$

4°/ A.N/

$$n_i = \sqrt{1{,}04 \times 10^{19} \times 6 \times 10^{18}}\; e^{-\frac{0{,}67}{2 \times 8{,}62 \times 10^{-5} \times 300}}$$

0,026

$$n_i = 1{,}86 \times 10^{13}\,\text{cm}^{-3} \quad 0{,}5$$

$$E_F = \frac{8{,}62 \times 10^{-5} \times 300}{2} \ln \frac{6 \times 10^{18}}{1{,}04 \times 10^{19}} + \frac{0{,}67}{2}$$

$$E_F = 1{,}19 \times 10^{3}\,\text{eV} \quad 0{,}5$$

Exercice2 : 10 pts

1 1°/ La jonction PN est abrupte 1

4 2°/ $\frac{dE(x)}{dx} = \frac{\rho}{\varepsilon_{sc}}$ 0,5

* $dE_p(x) = \frac{\rho_p}{\varepsilon_{ss}}\, dx = -\frac{qN_A}{\varepsilon_{sc}}\, dx$

$E_p(x) = -\int \frac{qN_A}{\varepsilon_{sc}}\, dx = -\frac{qN_A}{\varepsilon_{sc}}\, x + cte$ 0,5

$E_p(x=-L_p) = 0 \Rightarrow cte = -\frac{qN_A}{\varepsilon_{sc}} L_p$ 0,5

$\Rightarrow E_p(x) = -\frac{qN_A}{\varepsilon_{sc}}(x + L_p)$ 0,5

* $dE_n(x) = \frac{\rho_n}{\varepsilon_{sc}}\, dx = +\frac{qN_D}{\varepsilon_{sc}}\, dx$ 0,5

$E_n(x) = \int \frac{qN_D}{\varepsilon_{sc}}\, dx = \frac{qN_D}{\varepsilon_{sc}}\, x + cte$ 0,5

$E_n(x = L_n) = 0 \Rightarrow cte = -\frac{qN_D}{\varepsilon_{sc}} L_n$ 0,5

$\Rightarrow E_n(x) = \frac{qN_D}{\varepsilon_{sc}}(x - L_n)$ 0,5

3°/ La relation entre N_A, N_D, L_p et L_n :

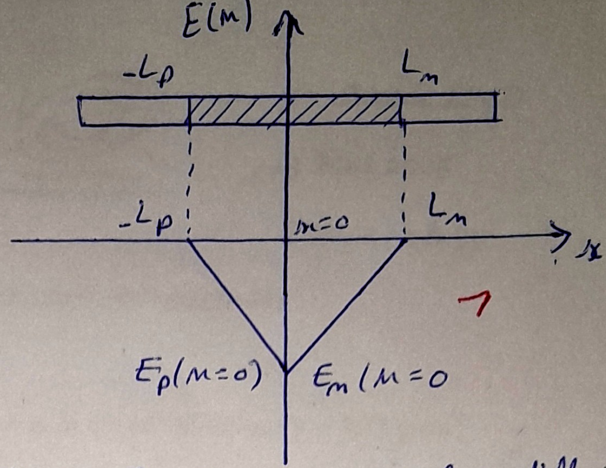
On a :

$E_p(x=0) = E_n(x=0)$ 0,5

$\cancel{-}\frac{\cancel{q}N_A}{\cancel{\varepsilon_{sc}}} L_p = \cancel{-}\frac{\cancel{q}N_D}{\cancel{\varepsilon_{sc}}} L_n$

$\Rightarrow N_A L_p = N_D L_n$ 0,5

- Représentation du champ électrique E(x)



1

5 4/ a) Calcule du potentiel de diffusion :

$V_d = \frac{KT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$ 0,5

A.N/ $V_d = \frac{8{,}62 \cdot 10^{-5} \cdot 300}{e} \ln \frac{10^{17} \cdot 10^{15}}{(1{,}5 \times 10^{10})^2}$

$V_d = 0{,}70V$ 1

Calcule de largeur de zone d'éplétion :

$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_{sc} V_d}{q}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$ 0,5

A.N/ $N_A = 10^{17}\, cm^{-3} = 10^{23}\, m^{-3}$

$N_D = 10^{15}\, cm^{-3} = 10^{21}\, m^{-3}$

$W = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-10} \times 0{,}70}{1{,}6 \times 10^{-19}}\left(\frac{1}{10^{23}} + \frac{1}{10^{21}}\right)}$

$W = 0{,}94 \times 10^{-6}\, m$

1

$W = 0{,}95\, \mu m$

b) $\frac{L_p}{L_n} = \frac{N_D}{N_A} = \frac{10^{15}}{10^{17}} = 0{,}01$

Lorsque $N_A >> N_D$ donc $L_n >> L_p$ 1

parce que la zone de déplétion 1

s'étend du côté le moins dopé.