Devoir de Synthèse
Physique pour les communications

E.N.I.G

L'USAGE DE TOUT DOCUMENT OU NOTES DU COURS EST INTERDIT.

EXERCICE N°1

Nous allons étudier les caractéristiques du **germanium** (Ge) **intrinsèque**.

1°) Trouver le nombre d'atomes de Ge par unité de volume.

On donne : Masse volumique du Ge : $\rho = 5.36$ g/cm^3
Masse molaire du Ge : $M = 72{,}6$ g
Le nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02.10^{23}$

2°) Sachant que la densité effective des états de la bande de conduction est donnée par la formule :

$$N_C = \frac{2}{h^3}\left[2\pi m_n k T\right]^{3/2}$$

a)Calculer alors, à la température $T_o = 300$ K, la masse effective des électrons.

On donne : La constante de Planck $h = 6{,}625.10^{-34}$ J.s
La densité effective des états des électrons dans la BdC $N_C(T_o) = 1{,}05.10^{25}$ m^{-3}
La constante de Boltzman $k = 1{,}38.10^{-23}$ J.K^{-1}

b)Trouver, à la température $T_o = 300$ K, la masse effective des trous.

On donne :
La densité effective des états des trous dans la BdV $N_V(T_o) = 0.52.10^{25}$ m^{-3}

3°) a)Calculer la concentration des électrons libres et des trous à T_o.

On donne :
La hauteur du gap $E_g(T_o) = 0{,}67$ eV
La charge électronique $q = 1{,}6.10^{-19}$ C

b)Quelle est le nombre d'atomes de Ge par porteur libre ?

4°) Calculer la position du niveau de Fermi à T_o. Conclure.

5°) Calculer la résistivité du Ge intrinsèque à T_o.

On donne :
La mobilité des électrons : $\mu_n(T_o) = 3{,}8.10^3$ cm^{2}V^{-1}s^{-1}
La mobilité des trous : $\mu_p(T_o) = 1{,}5.10^3$ cm^{2}V^{-1}s^{-1}

6°) Sachant que la vitesse thermique des porteurs est donnée par :

$$v_{th} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

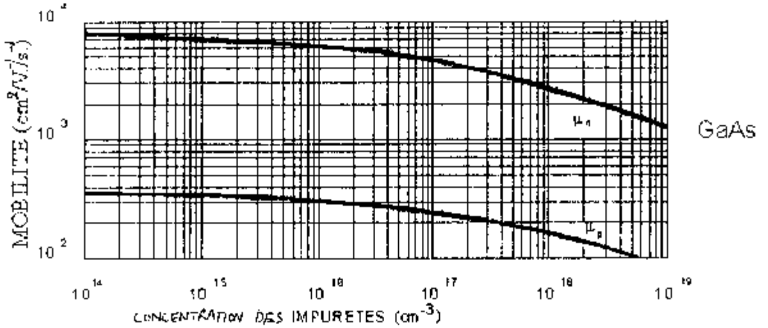
a) Rappeler la définition du libre parcours moyen l.
b) Calculer alors l_n et l_p à T_o.

EXERCICE N°2

On considère l'arséniure de gallium intrinsèque à la température ambiante $T_o = 300$K, pour lequel on donne :

La hauteur de la bande interdite : $E_g = 1.42$ eV
La densité effective d'états dans la BdC : $N_C = 4.7.10^{17}$ cm^{-3}
La densité effective d'états dans la BdV $N_V = 7{,}0.10^{18}$ cm^{-3}
La mobilité des électrons : $\mu_n = 8{,}0.10^3$ cm^{2}V^{-1}s^{-1}
La mobilité des trous : $\mu_p = 0.360.10^3$ cm^{2}V^{-1}s^{-1}

La mobilité en fonction de la concentration des impuretés à 300K (voir figure ci-dessous)



I)Calculer pour le GaAs intrinsèque à la température ambiante :

1°) La concentration des porteurs libres.
2°) La position du niveau de Fermi.
3°) La resistivité.

II) On dope ce GaAs avec $1{,}0.10^{16}$ atomes accepteurs/cm^3 et $5{,}0.10^{15}$ atomes donneurs/cm^3. Calculer à la température ambiante :

1°) La concentration des porteurs libres.
2°) La position du niveau de Fermi.
3°) La résistivité.

EXERCICE N°3

Soit une jonction PN graduelle en silicium. L'origine des abscisses est fixée dans le plan de la jonction métallurgique : la partie N ($N_D - N_A = 5.10^{20}$m^{-3}) est située du côté des x positifs. On suppose qu'au voisinage de la jonction, l'évolution de la concentration des atomes d'impuretés est linéaire et de pente $a = 5.10^{25}$m^{-4}.

1°)a)Dessiner le profil de la densité de charge en fonction de x.

CORRIGÉ DU DEVOIR DE SYNTHÈSE
PHYSIQUES POUR COMMUNICATIONS
GCR1 _ 2003/2004

25 pts

Exercice N°1

8,5 pts

1°) 1 mole de Ge a ~~une~~ masse 72,6 g. combien de moles dans 5,36 g

$$\left.\begin{array}{l} 72{,}6 \longrightarrow 1 \\ 5{,}36 \longrightarrow x \end{array}\right\} \Rightarrow x = \frac{5{,}36}{72{,}6} = 0{,}07383 \text{ moles.}$$

combien d'atomes de Ge dans $1\ cm^3$ de volume.

$$N = x \times N_A = 0{,}07383 \times 6{,}02 \times 10^{23}$$
$$= 4{,}445 \times 10^{22} \text{ atomes}/cm^3$$

1 résultat sans unités ⇒ 0,25 au lieu de 1

$$\boxed{N = 4{,}445 \times 10^{28} \text{ atomes}/m^3} \quad 1$$

2°) a)

$$\boxed{m_n = \left(\frac{h^3 N_c}{2}\right)^{2/3} \times \frac{1}{2\pi kT} = \frac{h^2}{2\pi kT}\left(\frac{N_c}{2}\right)^{2/3}} = \left(\frac{1{,}05 \cdot 10^{25}}{2}\right)^{2/3} \times \frac{(6{,}625 \times 10^{-34})^2}{2 \times \pi \times 1{,}38 \times 10^{-23} \times 300}$$

$$\boxed{m_n = 5{,}097 \times 10^{-31}\ kg} \quad 0{,}25$$

b)

$$N_V = \frac{2}{h^3}(2\pi m_p kT)^{3/2} \Rightarrow \boxed{m_p = \left(\frac{N_V}{2}\right)^{2/3} \frac{h^2}{2\pi kT}} \quad 0{,}5$$

$$\boxed{m_p = \left(\frac{0{,}52 \cdot 10^{25}}{2}\right)^{2/3} \frac{(6{,}625 \times 10^{-34})^2}{2 \times \pi \times 1{,}38 \times 10^{-23} \times 300} = 3{,}190 \times 10^{-31}\ kg} \quad 0{,}25$$

3°) a)

$$\boxed{n_i = \sqrt{N_c N_V}\, e^{-E_g/2kT}} \quad 0{,}25 \quad = \sqrt{0{,}52 \times 1{,}05 \times 10^{25}}\ e^{-0{,}67/(2 \times 0{,}0259)}$$

$$kT = 0{,}0259\ eV \Rightarrow \boxed{n_i = 1{,}78 \times 10^{19} \text{ porteur}/m^3} \quad 0{,}25$$

b) (c'est) le nombre d'atomes [illegible] par porteur libre est :

$$\frac{N}{n_0 + p_0} = \frac{N}{2n_i} = \frac{4{,}45 \cdot 10^{28}}{2 \times 1{,}78 \times 10^{19}} = 1{,}25 \times 10^{9} \text{ atome/porteur libre}$$

0,25 0,25

b)Quelle est la valeur de x qui correspond à une concentration égale à N_0 (limite entre la zone de concentration variable et celle de concentration constante) ; on notera cette longueur L/2. Indiquer son emplacement sur la figure dessinée en 1°)a).

c)Résoudre l'équation de Poisson et obtenir l'expression du champ $\mathcal{E}(x)$. Quelle est sa valeur extrémale ? Tracer l'allure de $\mathcal{E}(x)$.

d)Evaluer la tension de barrière V_b en fonction de la largeur de la RCE.

Sachant que $V_b = 0{,}6$ eV et que la permittivité du Si est $\varepsilon = 1{,}0.10^{-10}$ F/m, calculer la largeur w de la RCE.

e)Que vaut le champ extremum ?

2°)a) Quelle tension faut-il appliquer à la jonction pour que la RCE s'étende jusqu'aux limites ($x = \pm L/2$)

b)Quelle est dans ces conditions l'amplitude du champ maximum dans la jonction ?Est-ce que ce champ permet le claquage par avalanche ?

($\mathcal{E}_{claquage} = 10^5$ V/cm)

BON TRAVAIL

Exercice N°2

⚠ si vos résultats sont différents de ceux notés à l'exel, ils ne seront pas comptés en exel. Erreur ...

1°) $n_i(T_0) = \sqrt{N_c(T_0)N_v(T_0)}\; exp(-E_g/2kT)$

A.N. $n_i = \sqrt{4{,}7.10^{17} \times 7.10^{18}}\; exp\left(-\frac{1{,}42}{2\times 0{,}0259}\right) = 2{,}255\times 10^{6}$ porteurs$/cm^3$ 0,5

2°) position du niveau de Fermi

$$E_{F_i} - E_V = \frac{E_g}{2} + \frac{kT_0}{2} Log \frac{N_V}{N_c}$$

$$= \frac{1{,}42}{2} + \frac{0{,}0259}{2} Log \frac{7.10^{18}}{4{,}7\,10^{17}} = \frac{E_g}{2} + 0{,}0350$$

$$= 0{,}745\, eV$$ 0,5

3°) La résistivité du GaAs intrinsèque

$$\sigma = q n_i (\mu_n + \mu_p)$$

$$= 1{,}6\,10^{-19} \times 2{,}255\times 10^{12} (8.10^{-1} + 0{,}36.10^{-1}) (\Omega.m)^{-1}$$

$$= 3{,}016\,10^{-7} (\Omega.m)^{-1}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 3{,}315\times 10^{6}\; \Omega.m$$ 0,5

II) on dope avec deux types d'impuretés :

1°) la neutralité électrique impose :

$$q(p - n + N_D - N_A) = 0 \quad (\Delta)$$ 0,5

la loi d'action de masse s'écrit :

$$pn = n_i^2 \quad (\Delta\Delta)$$ 0,5

(Δ) et $(\Delta\Delta) \Rightarrow \quad p - n_i^2/p - (N_A - N_D) = 0$ ($N_A > N_A$ dans l'exercice)

$$\Rightarrow p^2 - (N_A - N_D)p - n_i^2 = 0$$

$$\Delta = \sqrt{(N_A - N_D)^2 + 4 n_i^2}$$

4°) La position du niveau de Fermi à T_0 :

$$E_{F_i} = \frac{E_c + E_V}{2} + \frac{kT_0}{2} \log \frac{N_V}{N_c}$$

$$E_{F_i} - E_V = \frac{E_c - E_V}{2} + \frac{kT_0}{2} Log \frac{N_V}{N_c} = \frac{E_g}{2} + \frac{kT_0}{2} log \frac{N_V}{N_c}$$ 0,5

A.N $E_{F_i} - E_V = \frac{E_g}{2} + \frac{0{,}0259}{2} Log \frac{0{,}52\times 10^{25}}{1{,}05\times 10^{25}}$

ou bien $E_F - E_V = kT \log \frac{N_V}{p}$ ou bien $E_C - E_F = kT \log \frac{N_c}{n}$ | $p = n = n_i$

$$= \frac{E_g}{2} - 9{,}1\times 10^{-3}\, eV$$ 0,25

$\frac{E_g}{2} = 0{,}335\, eV \Rightarrow E_{F_i} - E_V = 0{,}3259\, eV$

Le niveau de Fermi se trouve très proche du milieu de la bande interdite et plus précisément un peu en dessous. 0,25

5°) $\boxed{\sigma(T) = q n_i(T) [\mu_n(T) + \mu_p(T)]}\; (\Omega.m)^{-1}$ 0,5

$$= 1{,}6\times 10^{-19} \times 1{,}78\times 10^{19} \times [3{,}8\times 10^{-1} + 1{,}5\times 10^{-1}]$$

$$\sigma = 1{,}51\; (\Omega m)^{-1}$$

$\Rightarrow \boxed{\rho = \frac{1}{\sigma}} = 0{,}662\; \Omega.m = 66{,}2\; \Omega.cm$ 0,5 0,5

6°) a) c'est la distance moyenne parcourue par un porteur entre deux interactions (ou chocs) 0,5

b) $\mu_n = \frac{q\tau_n}{m_n} = \frac{q\, l_n}{v_{th} m_n} = \frac{q\, l_n}{\sqrt{\frac{3kT}{m_n}} \times m_n} \Rightarrow$ 0,5 0,5

0,25 $\boxed{l_n = \frac{\mu_n}{q}\sqrt{3kTm_n}}$ A.N. $l_n = \frac{0{,}38}{1{,}6\times 10^{-19}} \sqrt{3\times 1{,}38\times 10^{-23} \times 300 \times 5{,}097.10^{-31}}$

$$\boxed{l_n = 1{,}89\times 10^{-7}\, m}$$ 0,25

de même

0,25 $\boxed{l_p = \frac{\mu_p}{q}\sqrt{3kTm_p}}$ $l_n \sqrt{\frac{m_p}{m_n}} \times \frac{\mu_p}{\mu_n} = 1{,}89\times 10^{-7} \times \frac{0{,}15}{0{,}38} \times \sqrt{\frac{3{,}19}{5{,}097}}$

$$\boxed{l_p = 5{,}90.10^{-8}\, m}$$ 0,25

d'où $p = \frac{(N_A - N_D) \pm \sqrt{(N_A-N_D)^2 + 4n_i^2}}{2}$ 0,5

le signe (-) est exclu d'où la solution avec le signe (+).

$N_A - N_D = 10^{22} - 0,5\,10^{22} = 5.10^{21}\ m^{-3} \gg 2n_i\ (= 4,5\,10^{12}\ m^{-3})$ 0,5

$\Rightarrow (N_A - N_D)^2 \gg 4n_i^2 \Rightarrow$ le semi conducteur est plutôt de type p

ainsi $\boxed{p_p \simeq (N_A - N_D)}$ 0,5 et $\boxed{n_p = \frac{n_i^2}{(N_A - N_D)}}$ 0,5

A.N $\boxed{p_p \simeq 5.10^{21}\ m^{-3}}$ 0,25 $\boxed{n_p \simeq 1,017.10^{3}\ m^{-3}}$ 0,25

2°) Position du Niveau de Fermi :

$p_p = N_V \exp -[(E_{F_p} - E_V)/kT] = (N_A - N_D)$ 0,5

$\Rightarrow \frac{E_{F_p} - E_V}{kT} = -\text{Log}\frac{N_A - N_D}{N_V} \Rightarrow \boxed{E_{F_p} - E_V = kT\,\text{Log}\frac{N_V}{N_A - N_D}}$ 0,25

A.N: $E_{F_p} - E_V = 0,0259\,\text{Log}\frac{7.10^{24}}{5.10^{21}}$

$= 0,188$ eV 0,25

3°) Calcul de la résistivité

Dans notre cas

$\boxed{\sigma_p = q\,p_p\,\mu_p^* = q(N_A - N_D)\mu_p^*}$ 0,5

μ_p^* est lu dans la figure jointe : $\mu_p^* = 3 \times 10^2\ cm^2 V^{-1} s^{-1}$ 0,5

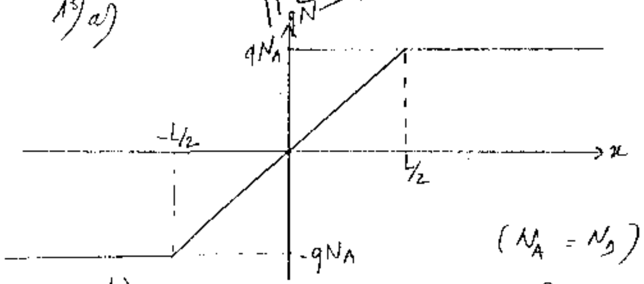
(à lire ce qui correspondait 1,5.10^16) $N_A + N_D$ 0,5

$\sigma_p = 1,6.10^{-19} \times 5 \times 10^{21} \times 3 \times 10^{-2} = 24\ (\Omega m)^{-1}$

$\Rightarrow \boxed{\rho_p = \frac{1}{\sigma_p} = 0,042\ \Omega.m} = 4,2\ \Omega.cm$ 0,25

Exercice N°3 8,5 pts

1°) a)



$(N_A = N_D)$ 0,25

b) $N_D = a\frac{L}{2} \Rightarrow \frac{L}{2} = \frac{N_D}{a} = \frac{5\times10^{20}}{5\times10^{25}} = 10^{-5}$ m

0,5 $L = 20\ \mu m$ 0,25

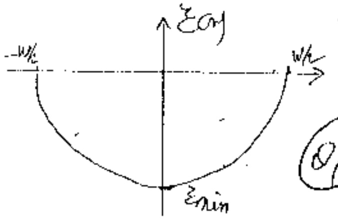
c) $\frac{d\mathcal{E}}{dx} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon} = \frac{qax}{\varepsilon}$ pour $-\frac{L}{2} \le x \le +\frac{L}{2}$ 0,5 0,25

$d\mathcal{E} = q\frac{ax}{\varepsilon}dx \Rightarrow \mathcal{E}(x) = q\frac{ax^2}{2\varepsilon} + cte$ 0,25

$\mathcal{E}(x) = 0$ pour $x = \pm\frac{W}{2}$ 0,5

$q\frac{aW^2}{8\varepsilon} + cte = 0 \Rightarrow cte = \frac{-a.W^2}{8\varepsilon}$

$\mathcal{E}(x) = \frac{qa}{2\varepsilon}\left(x^2 - \frac{W^2}{4}\right)$; $\mathcal{E}_{min} = -\frac{qaW^2}{8\varepsilon}$; $\mathcal{E}_{max} = |\mathcal{E}_{min}|$ 0,5 0,5



0,5

d) $\mathcal{E} = -\frac{d\psi}{dx} \Rightarrow d\psi = -\mathcal{E}dx \Rightarrow V_b = -\int_{-\frac{W}{2}}^{+W/2}\mathcal{E}(x)dx$

0,5 0,5

$$V_b = \frac{-qa}{2\varepsilon}\int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \left(x^2 - \frac{w^2}{4}\right)dx = -\frac{qa}{2\varepsilon}\left[\frac{x^3}{3} - \frac{w^2 x}{4}\right]_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \Rightarrow$$

$$V_b = -\frac{qa}{2\varepsilon}\left[\frac{w^3}{24} + \frac{w^3}{24} - \frac{w^3}{8} - \frac{w^3}{8}\right] = \frac{2qa}{24\varepsilon}w^3 = \frac{qaw^3}{12\varepsilon}$$ 0,75

$$w = \sqrt[3]{\frac{12\varepsilon V_b}{qa}}$$ 0,25

A.N $$w = \sqrt[3]{\frac{12.10^{-10} \times 0,6}{1,6\,10^{-19} \times 5\times10^{25}}} = 4,48.10^{-6}\,m$$ 0,25

on remarque que $w < L$

2°) a) $w \nearrow$ lorsque $V < 0$

$$\Rightarrow w' = \sqrt[3]{\frac{(V_b + V)\,\varepsilon \times 12}{qa}}$$ 0,25 ; $w' = L \Rightarrow \boxed{\frac{L^3 qa}{12\varepsilon} - V_b = V}$ 0,25

A.N $$V = \frac{(20\times10^{-6})^3 \times 1,6\,10^{-19} \times 5\times10^{25}}{12\times10^{-10}} - 0,6$$

0,25 $= 52,7\,V$ donc la tension qu'il faut appliquer c'est $-52,7\,V$

b) Ainsi la polarisation inverse de valeur égale à $-52,7\,V$ permet d'étendre la zone depeuplée sur toute la région de dopage variable

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{qaw^2}{8\varepsilon} = \frac{qaL^2}{8\varepsilon} = \frac{1,6\times10^{-19} \times 5\times10^{25} \times (20\times10^{-6})^2}{8\times10^{-10}}$$

0,25 $= 4.10^6\,V/m$ 0,25 $= 4\,10^4\,V/cm < 10^5\,V/cm$

donc pas de claquage par avalanche

0,25

ENIG

GCR1

DEVOIR DE RATTRAPAGE DE PHYSIQUE DES COMMUNICATIONS

A.U 2003/2004

Les documents du cours sont permis

02 pages

EXERCICE 1

1°)La résistivité du Silicium intrinsèque est de 227 Ω.m à 300K. Les mobilités des électrons et des trous sont respectivement $0,145\ m^2V^{-1}s^{-1}$ et $45.10^{-3}\ m^2V^{-1}s^{-1}$. Calculer la densité des électrons et des trous. (densité = concentration)

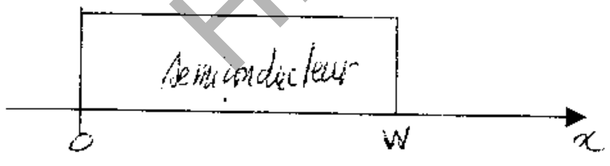
2°) Le Si est dopé avec des impuretés d'Arsenic de telle sorte qu'il y ait 1 atome d'impureté pour 10^6 atomes de Si. La densité des atomes de Si est de :

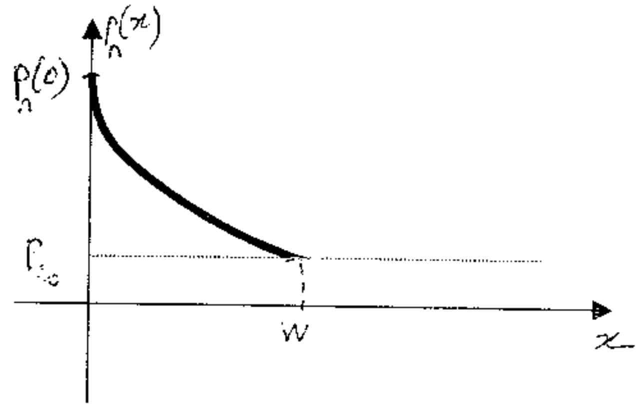
5.10^{22} atomes/cm^3.

a) Le matériau dopé est-il de type N ou de type P ?
b) Calculer la densité des trous et des électrons.
c) Quelle est la résistivité du matériau dopé ? (On suppose que tous les atomes de As sont ionisés)

EXERCICE 2

On considère un échantillon de semiconducteur dopé soumis à une injection superficielle de porteurs minoritaires positifs de densité $p_n(0)$ sur l'une de ses faces. Sur l'autre face située à une distance W, tous les porteurs minoritaires excédentaires sont extraits : $p_n(W) = p_{n0}$





1°) a)Simplifier l'équation de continuité en tenant compte des hypothèses :

- Régime stationnaire.
- Pas de champ polarisant.
- Pas de phénomène de génération en volume.

(poser $L_p^2 = D_p\tau_p$)

b)Donner la solution de l'équation différentielle ainsi obtenue.

c)Appliquer les conditions aux limites et donner une expression pour $p_n(x)-p_{n_0}$

2°) Que devient $p_n(x)-p_{n_0}$ dans le cas $W >> L_p$.

3°) a)Donner l'expression du courant de diffusion dans le cas général.

b) Donner l'expression du courant de diffusion dans le cas $W >> L_p$.

EXERCICE 3 ⚠ Ici certaines données sont inutiles

Soit une jonction abrupte en Silicium fonctionnant à la température T_1=-20 °C

(T_0 = 300 K; k_BT_0 = 0.025 eV)

On donne pour le Silicium à la température ambiante (T_0) :

- Hauteur de la bande interdite = 1.12 eV (indépendante de la température).
- Permittivité diélectrique = 1.0 10^{-12} F./cm (indépendante de la température).
- Mobilité des électrons à la température T = 1.0 10^3 $(T/T_0)^{-1.5}$ $cm^2.V^{-1}.s^{-1}$.
- Mobilité des trous à la température T= 2.0 10^2 $(T/T_0)^{-1.5}$ $cm^2.V^{-1}.s^{-1}$.
- Durée de vie des porteurs minoritaires (positifs ou négatifs) = 1.0 µs (indépendante de la température).
- Densité équivalente d'états d'énergie de la bande de valence à la température T = densité équivalente d'états d'énergie de la bande de conduction à la température T

$N_c(T)=N_v(T)$ =2.5 10^{25} $(T/T_0)^{3/2}$ m^{-3}.

Pour la jonction :le dopage de la partie "P" est = 1.0 10^{20} m^{-3} et celui de la partie "N" = 1.0 10^{23} m^{-3} . On négligera les phénomènes de génération et recombinaison dans la zone désertée et on supposera que l'épaisseur de la zone "P" est beaucoup plus grande que la longueur de diffusion des électrons de même que l'épaisseur de la zone "N" est beaucoup plus grande que la longueur de diffusion des trous.

1°) Calculer la valeur de n_i^2 (en cm^{-6}), à la température T_1.
2°) Calculer à la température T_1 la tension de barrière de la jonction (en Volt).
3°) Calculer à la température T_1 l'épaisseur de la zone désertée (en µm).
4°) Calculer à la température T_1 l'amplitude maximum du champ électrique dans la jonction (en kV/cm).

Bon Travail

CORRIGE DU DEVOIR DE RATTRAPAGE
DE PHYSIQUES DES COMMUNICATIONS

2003/2004 GCR1

Ex 1

7 points

1°) $\sigma = \frac{1}{\rho} = q n_i (\mu_n + \mu_p)$

$$n_i = \frac{1}{\rho q (\mu_n + \mu_p)}$$ 0,75

A.N $n_i = \frac{1}{227 \times 1{,}6.10^{-19}(0{,}145 + 0{,}045)}$

$n_i = 1{,}45 \cdot 10^{17}$ porteurs/m^3 1

2°) a) le materiau est de type N car l'As est pentavalent. 1

b) $n_n \simeq N_D = 5 \times 10^{22} \times 10^{-6} = 5 \cdot 10^{16}\, e^-/cm^3 = 5.10^{22}\, e^-/m^3$ 0,75 1

$$p_n = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1{,}45 \cdot 10^{17})^2}{5 \cdot 10^{22}} = 4{,}21 \cdot 10^{11}\, m^{-3}$$ 0,75 0,5

c) $\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p) \Rightarrow \rho = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)} \simeq \frac{1}{qN_D\mu_n}$ 0,75

$$\rho = \frac{1}{1{,}6.10^{-19} \times 5.10^{22} \times 0{,}145} = 8{,}62.10^{-4}\, \Omega.m$$ 0,5

Ex 2

1°) a) Vu les hypothèses on a :

régime stationnaire $\Rightarrow \frac{\partial p_n}{\partial t} = 0$ 1/3

pas de champ électrique $\Rightarrow \mathcal{E} = 0$ et $\frac{d\mathcal{E}}{dx} = 0$ 1/3 1/3

pas de génération $\Rightarrow G_n = 0$ 1/3

d'où : $$D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_p} = 0$$

b) $\frac{d^2 p_n}{dx^2} - \frac{p_n - p_{n0}}{L_p^2} = 0$ (1/3) on pose $p_n - p_{n0} = \bar{p}_n$

d'où $\frac{d^2 \bar{p}_n}{dx^2} - \frac{\bar{p}_n}{L_p^2} = 0 \Rightarrow \bar{p}_n = A e^{x/L_p} + B e^{-x/L_p}$ (1/3)

c) Conditions aux limites :

$x = 0 \quad p_n(x) = p_n(0) \Rightarrow \bar{p}_n = p_n(0) - p_{n0} \quad (1)$

$x = W \quad p_n(x) = p_{n0} \Rightarrow \bar{p}_n = p_{n0} - p_{n0} = 0 \quad (2)$

$(2) \Rightarrow 0 = A e^{W/L_p} + B e^{-W/L_p} \Rightarrow A = -B e^{-2W/L_p}$

$1) \Rightarrow p_n(0) - p_{n0} = A + B \Rightarrow A = p_n(0) - p_{n0} - B$

$\bar{p}_n = -B e^{-2W/L_p} e^{x/L_p} + B e^{-x/L_p}$

$\bar{p}_n = B\left(e^{-x/L_p} - e^{(x-2W)/L_p}\right)$ (1/3)

$= B e^{-W/L_p}\left(e^{-(x-W)/L_p} - e^{(x-W)/L_p}\right)$

$\bar{p}_n = -B e^{-W/L_p} \, sh(x-W)/L_p$

$p_n - p_{n0} = -B e^{-W/L_p} \, sh(x-W)/L_p$ (1/3)

en $(x=0)$ $p_n = p_n(0)$

$p_n(0) - p_{n0} = B e^{-W/L_p} \, sh\, W/L_p \Rightarrow B = \frac{p_n(0) - p_{n0}}{sh(W/L_p)} e^{W/L_p}$

finalement :

$$p_n(x) - p_{n0} = -\frac{p_n(0) - p_{n0}}{sh(W/L_p)} \, sh(x-W)/L_p \quad (1/3)$$

2°) a) cas $W \gg L_p$

$$\frac{sh(x-W)/L_p}{sh(W/L_p)} \rightarrow -\frac{e^{-(x-W)/L_p}}{e^{W/L_p}} = -e^{-x/L_p}$$

$p_n(x) - p_{n0} = +(p_n(0) - p_{n0})\, e^{-x/L_p}$ (2/3)

3°) a) $J_{diff} = -q D_p \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) =$ (1/2)

$$\boxed{J_{diff} = +\frac{q D_p}{L_p} \cdot \frac{p_n(0) - p_{n0}}{sh(W/L_p)}\, ch(x - W)/L_p}$$ (0,75)

b) lorsque $W \gg L_p$ $\quad J_{diff} \to +\frac{q D_p}{L_p}(p_n(0) - p_{n0}) \frac{e^{-(x-W)/L_p}}{e^{W/L_p}}$

$$\boxed{J_{diff} = q\frac{D_p}{L_p}(p_n(0) - p_{n0})\, e^{-x/L_p}}$$ (0,75)

Exercice N°3 (6,5 pts)

1°) $T_1 = 273 - 20 = 253$ (0,5)

$n_i^2 = N_C N_V \exp(-E_g/kT_1)$ (0,75)

$= \left(2,5\ 10^{25}\left(\frac{253}{300}\right)^{3/2}\right)^2 \exp\left(-\frac{1,12}{\frac{0,025}{300} \times 253}\right)$

$n_i^2 = 2,579 \cdot 10^{27}\ m^{-6}$ (1) $= 2,579\ 10^{21}\ cm^{-6}$

2°) tension de barrière :

$V_b = \frac{kT}{q} \log \frac{N_A N_D}{n_i^2} = 0,752$ Volts (1)

(0,75)

3°) épaisseur de la zone désertée

$W(T) = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_b}{q}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)} \simeq \sqrt{\frac{2\varepsilon V_b}{q}\frac{1}{N_A}}$ (0,75)

$$W(T_1) = \sqrt{\frac{2\times10^{-10}\times0{,}772}{1{,}6.10^{-19}}\times\frac{1}{10^{20}}} = 3{,}066.10^{-6} = 3{,}07\,\mu m$$

0,5

4°) Amplitude maximum du champ électrique :

$$E_M = \frac{2V_b}{W} = \frac{2\times0{,}772}{3{,}07.10^{-6}} = 490\,kV/m$$

$$= 4{,}9\,kV/cm$$

$= \frac{qN_A W}{\varepsilon}$

0,5

0,5