ENIG

GCR1

ANNEE UNIVERSITAIRE
2022/2023

LUNDI 30/10/20[redacted]
Durée : 1H30 *Documents non autorisés.*
Enseignant responsable : Mr BENZINA.H

Devoir de Contrôle
PHYSIQUE pour les COMMUNICATIONS

EXERCICES :

A t=300K, on a :

	N_C(cm^{-3})	N_V(cm^{-3})	n_i(cm^{-3})
Silicium	$2.8\text{x}10^{19}$	$1.04\text{x}10^{19}$	$1.5\text{x}10^{10}$
Arséniure de Gallium	$4.7\text{x}10^{17}$	$7.0\text{x}10^{18}$	$1.8\text{x}10^{6}$

I)Déterminez le nombre total d'états d'énergie par unité de volume dans le silicium entre E_V et E_V-3kT à T=400K sachant que pour le silicium la masse effective des trous est $m_p = 0.56m_o$

Solution

(a) Silicium, $m_p^* = 0.56m_o$

$$D_p(E) = \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{h^3}\sqrt{E_\upsilon - E}$$

$$N = \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{h^3}\int_{E_\upsilon-3kT}^{E_\upsilon}\sqrt{E_\upsilon - E}\cdot dE$$

$$= \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{h^3}\left(\frac{-2}{3}\right)(E_\upsilon - E)^{3/2}\Big|_{E_\upsilon-3kT}^{E_\upsilon}$$

$$= \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{h^3}\left(\frac{-2}{3}\right)\left[-(3kT)^{3/2}\right]$$

$$= \frac{4\pi\left[2(0.56)(9.11\times10^{-31})\right]^{3/2}}{(6.625\times10^{-34})^3}\left(\frac{2}{3}\right)(3kT)^{3/2}$$

$$= (2.969\times10^{55})(3kT)^{3/2}$$

At $T = 400$K, $kT = 5.5253\times10^{-21}$ J

$$N = (2.969\times10^{55})[3(5.5253\times10^{-21})]^{3/2}$$

$$= 6.337\times10^{25}\ \text{m}^{-3}$$

ou $N = 6.34\times10^{19}\text{cm}^{-3}$

II) Le niveau d'énergie de Fermi pour un matériau particulier à T=300 K est de 5,50 eV. Les électrons de ce matériau suivent la fonction de distribution de Fermi-Dirac. (a) Trouvez la probabilité qu'un électron occupe une énergie à 5,80 eV. (b) Répétez la partie (a) si la température est augmentée à T= 700 K. (On supposera que E_F est constante.) (c) Déterminez la température à laquelle il y a une probabilité de 2 % qu'un état de 0,25 eV au-dessous du niveau de Fermi est non occupé par un électron.

Solution:

(a) c'est un ca sou E-E_F>>3kT donc on utilise

$$f_E \approx exp\left[\frac{-(E-E_F)}{kT}\right] = exp\left[\frac{-(5.80-5.50)}{0.0259}\right]$$

$$= 9.32\times10^{-6}$$

(b) $kT = (0.0259)\left(\frac{700}{300}\right) = 0.060433\,\text{eV}$

$$f_E = exp\left[\frac{-0.30}{0.060433}\right] = 6.98\times10^{-3}$$

(c) $1 - f_E \cong exp\left[\frac{-(E_F-E)}{kT}\right]$

$$0.02 = \exp\left[\frac{-0.25}{kT}\right]$$

ou $\exp\left[\frac{+0.25}{kT}\right] = \frac{1}{0.02} = 50$

$$\frac{0.25}{kT} = \ln(50)$$

ou

$$kT = \frac{0.25}{\ln(50)} = 0.063906 = (0.0259)\left(\frac{T}{300}\right)$$

Lequel donne $T = 740\,\text{K}$

III) (a) Les masses effectives des porteurs dans un semi-conducteur sont m_n=1,21 m_o et m_p=0,70 m_o.
Déterminez la position du niveau de Fermi intrinsèque par rapport au centre de la bande interdite à T=300K. (b) Répétez la partie (a) si m_n=0,080 m_o et m_p=0,75 m_o.

(a) $E_{Fi} - E_{milieu\_gap} = \frac{3}{4}kT\,ln\left(\frac{m_p^*}{m_n^*}\right)$

$$= \frac{3}{4}(0.0259)\ln\left(\frac{0.70}{1.21}\right)$$

$$\Rightarrow -10.63\,\text{meV}$$

(b) $E_{Fi} - E_{milieu\_gap} = \frac{3}{4}(0.0259)\,ln\left(\frac{0.75}{0.080}\right)$

$$\Rightarrow +43.47\,\text{meV}$$

IV) A l'équilibre thermique, la valeur de p dans le silicium à T=300K est 2×10^{16}cm^{-3}.
(a)Déterminer E_F-E_v.(b)Calculez la valeur de E_c - E_F. (c)Quelle est la valeur de n ?
(d)Déterminer E_{Fi} - E_F.

(a) $p = N_V\,exp - \frac{(E_F-E_V)}{kT} \longrightarrow E_F - E_V = kT\,ln\left(\frac{N_V}{p}\right)$

$$= (0.0259)\ln\left(\frac{1.04\times10^{19}}{2\times10^{16}}\right)$$

$$= 0.162\,\text{eV}$$

(b) $E_c - E_F = E_g - (E_F - E_V)$

$$= 1.12 - 0.162 = 0.958\,\text{eV}$$

(c) $n = N_C\, exp - \frac{(E_C - E_F)}{kT} \; - - > n \;\; = (2.8 \times 10^{19})\, exp\left(\frac{-0.958}{0.0259}\right)$

$= 2.41 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$

(d) $p = n_i\, exp[(E_i - E_F)/kT] \; - - > E_{Fi} - E_F = kT\, ln\left(\frac{p}{n_i}\right)$

$= (0.0259)\ln\left(\frac{2\times10^{16}}{1.5\times10^{10}}\right)$

$= 0.365 \text{ eV}$

V) Un matériau semi-conducteur particulier est dopé à N_D =2 x 10^{14} cm^{-3} et N_A=1,2x$10^{14}$$cm^{-3}$. La concentration d'électrons à l'équilibre thermique s'avère être n=1,1x10^{14} cm^{-3}. En supposant une ionisation complète, déterminer la concentration des porteurs intrinsèques et la concentration des trous à l'équilibre thermique.

Loi d'action de masse : np=n_i^2 (*)

Loi de neutralité électrique : -qn+qp-qN_A+qN_D=0 (**)

(*)→ p=n_i^2/n;   avec (**) → n^2-$(N_D - N_A)n - n_i^2$ =0

Dont la solution acceptable physiquement est :

$$n \;\; = \frac{N_D - N_A}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_D - N_A}{2}\right)^2 + n_i^2}$$

$$1.1\times10^{14} = \frac{2\times10^{14} - 1.2\times10^{14}}{2} + \sqrt{\left(\frac{2\times10^{14} - 1.2\times10^{14}}{2}\right)^2 + n_i^2}$$

$$\left(1.1\times10^{14} - 4\times10^{13}\right)^2 = \left(4\times10^{13}\right)^2 + n_i^2$$

$$4.9\times10^{27} = 1.6\times10^{27} + n_i^2$$

D'où: $n_i = 5.74\times10^{13} \text{ cm}^{-3}$

$$p \;\; = \frac{n_i^2}{n} = \frac{3.3\times10^{27}}{1.1\times10^{14}} = 3 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$$

VI) 1°)(a) La conductivité requise d'un échantillon de silicium de type n à T = 300 K doit être σ=10$(\Omega.cm)^{-1}$. Quelle est la concentration d'impuretés requise ? (b) Un matériau en silicium de type p doit avoir une résistivité ρ= 0,20 (Ω.cm). Quelle est la concentration d'impuretés requise? Pour ce matériau Si, les mobilités sont, $\mu_n \cong 1050 \text{ cm}^2$/V-s; $\mu_p \cong 320 \text{ cm}^2$/V-s

2°)La distribution électronique en régime permanent dans le silicium peut être approchée par une fonction linéaire de x. La concentration maximale d'électrons se produit à x = 0 et est n(0) = 2x10^{16} cm^{-3}.

A x=0,012cm, la concentration d'électrons est de 5x$10^{15}$$cm^{-3}$. Si le coefficient de diffusion électronique est D_n=27 cm^2/s, déterminer la densité de courant de diffusion électronique.

Solution

1°)$\sigma \approx q\mu_n N_D$

$$10 = (1.6 \times 10^{-19}).\,1050.\,N_D$$

$$N_D = \frac{10}{(1.6\times10^{-19}).(1050)}$$

=5.9524x10^{+16} cm^{-3}

(a) $\rho \approx \frac{1}{q\mu_p N_A}$

$N_A = \frac{1}{(1.6\times10^{-19})x320x0.20}$

$=9.7656x10^{+14}$ cm^{-3}.

2°)

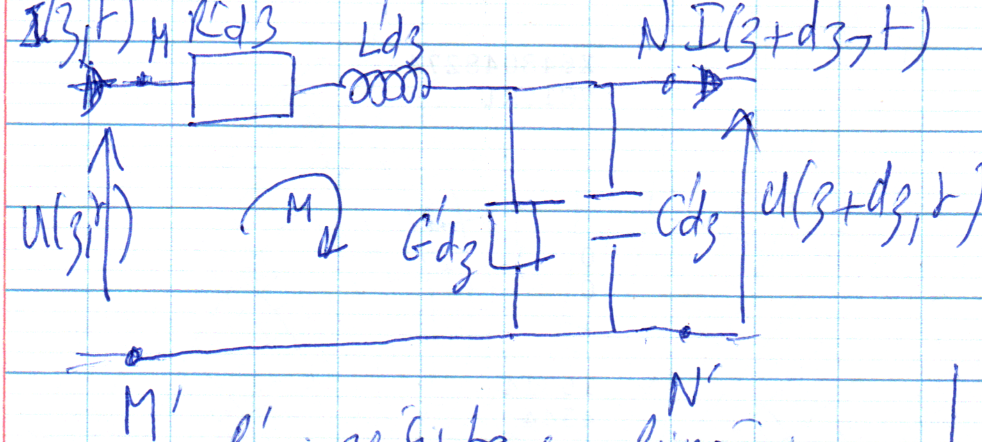
$$J_n = eD_n \frac{dn}{dx} = eD_n \frac{\Delta n}{\Delta x}$$

$$J_n = \left(1.6\times10^{-19}\right)\left(27\right)\left[\frac{2\times10^{16} - 5\times10^{15}}{0 - 0.012}\right]$$

$$J_n = -5.4 \text{ A/cm}^2$$

VII)Dessiner le quadripôle équivalent d'une portion de ligne de transmission de longueur dz, et en utilisant les 2 lois de circuits, établir les équations d'évolution spatio-temporelle qui régissent la tension et le courant dans cette ligne de transmission.

VII Quadripôle équivalent d'une portion de ligne de transmission de longueur dz :



R' : résistance linéique
L' : self inductance linéique
G' : conductance linéique
C' : capacité linéique.

Loi des mailles : maille M

$$\underline{U}(z+dz,t) - \underline{U}(z,t) = -R'dz\,\underline{I} - L'dz\frac{\partial \underline{I}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial \underline{U}}{\partial z}dz = \left(-R'\underline{I} - L'\frac{\partial \underline{I}}{\partial t}\right)dz$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial \underline{U}}{\partial z} = -R'\underline{I} - L'\frac{\partial \underline{I}}{\partial t}}$$

Loi des nœuds : nœud N

$$\underline{I}(z+dz,t) - \underline{I}(z,t) = -G'dz\,\underline{U} - C'dz\frac{\partial \underline{U}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial \underline{I}}{\partial z} = -G'\underline{U} - C'\frac{\partial \underline{U}}{\partial t}}$$