ENIG

GCR1

ANNEE UNIVERSITAIRE 2022/2023

SAMEDI 29/10/2022

Durée : 1H30

Documents non autorisés.

Enseignant responsable : Mr BENZINA.H

Devoir de Contrôle

Dispositifs et Systèmes microondes 1

EXERCICES :

A t=300K, on a :

	$N_C(cm^{-3})$	$N_V(cm^{-3})$	$n_i(cm^{-3})$
Silicium	2.8×10^{19}	1.04×10^{19}	1.5×10^{10}
Arséniure de Gallium	4.7×10^{17}	7.0×10^{18}	1.8×10^{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 $m_p = 0.56 m_o$

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.

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..

IV) A l'équilibre thermique, la valeur de p dans le silicium à T=300K est $2 \times 10^{16} cm^{-3}$.
(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.

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

VI) 1°)(a) La conductivité requise d'un échantillon de silicium de type n à T = 300 K doit être $\sigma = 10 (\Omega.cm)^{-1}$. 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, $\mu_n \cong 1050 \, cm^2/V\text{-}s$; $\mu_p \cong 320 \, cm^2/V\text{-}s$

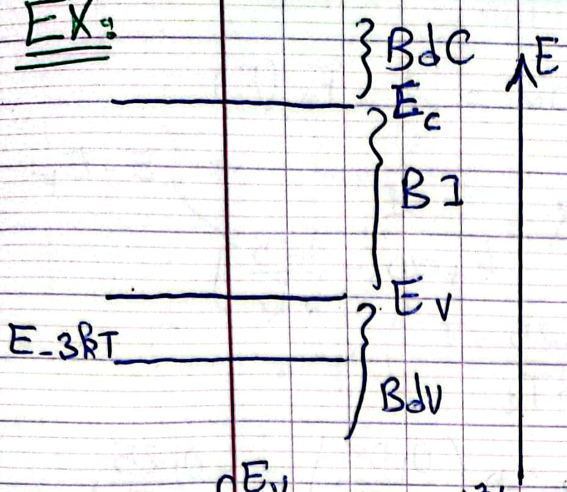
2°)La distribution électronique en régime permanent dans le silicium peut être approchée par une fonction linéaire de x. La concentration maximale d'électrons se produit à x = 0 et est n(0) = 2×10^{16} cm^{-3}. A x=0,012cm, la concentration d'électrons est de $5 \times 10^{15} cm^{-3}$. Si le coefficient de diffusion électronique est D_n=27 cm^2/s, déterminer la densité de courant de diffusion électronique.

VII) Dessiner le quadripôle équivalent d'une portion de ligne de transmission de longueur dz, expliquer chaque élement, et en utilisant les 2 lois du circuit, établir les équations d'évolution spatio-temporelles qui lient la tension U(z,t) et le courant I(z,t) dans cette ligne de transmission.

BONNE CHANCE

DC 2022-2023

EX:



$T = 400\,K$

$m_p = 0{,}56\, m_0$

$$N = \int_{E_v-3kT}^{E_v} D_p(E)\,dE$$

I) $$N = \int_{E_v-3kT}^{E_v} \frac{4\pi(2m_p)^{3/2}}{h^3}(E_v-E)^{1/2}\,dE = \underbrace{\frac{4\pi(2m_p)^{3/2}}{h^3}}_{K}\int_{E_v-3kT}^{E_v}(E_v-E)^{\frac{3}{2}}\,dE$$

$u = E_v - E \,;\, du = dE$

$$\left[\begin{array}{l} E = E_v \Rightarrow u = 0 \\ E = E_v - 3kT \Rightarrow u = 3kT \end{array}\right.$$

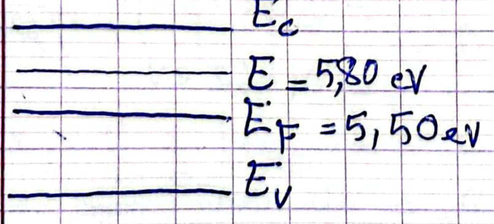
$$= K\int_{3kT}^{0} u^{1/2}(-)\,du = K\int_{0}^{3kT} u^{1/2}\,du$$

$$= K\left[\frac{u^{3/2}}{3/2}\right]_0^{3kT} = \frac{K2}{3}\left[(3kT)^{\frac{3}{2}} - 0\right]$$

$$= \frac{8\pi}{3(6{,}625.10^{-34})^3}\left(6 \times 0{,}56 \times 9{,}11.10^{-31} \times 1{,}38.10^{-23}.400\right)^{3/2}$$

$$= 6{,}34.10^{25}\,cm^{-1}$$

II) $T = 300\,K$



$E - E_F = (5{,}8 - 5{,}5) = 0{,}3\,eV$

$kT = 0{,}0259$

$$f_n(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

$$= \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{0{,}3}{0{,}0259}\right)}$$

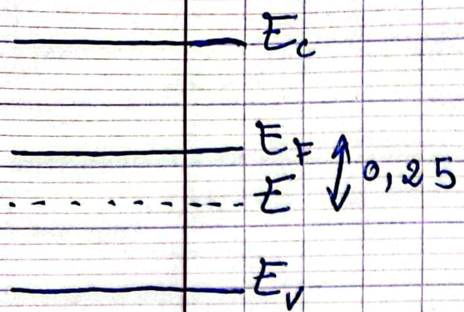
$$= 9{,}32.10^{-6}$$

b) $T_1 = 700\,K$

$T = 300\,K \longrightarrow kT = 0{,}0259\,eV$

$T_1 = 700\,K \longrightarrow kT_1 = \frac{700}{300} \times 0{,}0259 \Longrightarrow$

$$f_n(E) = 6{,}98.10^{-3}$$



$E - E_F >> 3kT$

$F_p(E) = 0,02 = 1 - F_n(E)$

$$F_n(E) = 0,98 = \frac{1}{1+\exp\left(-\frac{0,25}{kT_2}\right)}$$

$E - E_F$

$$\Rightarrow \frac{1}{0,98} - 1 = \exp - \frac{0,25}{kT_2}$$

$$\Rightarrow \frac{0,02}{0,98} = \exp\left(\frac{-0,25}{kT_2}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{0,02}{0,98}\right) = -\frac{0,25}{kT_2})$$

$$kT_2 = \frac{0,25}{\ln\left(\frac{0,98}{0,02}\right)} \quad ; \quad kT = 0,0259 \text{ ev} \longrightarrow T = 300K$$

$$kT_2 = x \longrightarrow T_2 = \frac{x\,300}{0,0259}$$

$\boxed{744,78\,K}$

III) voir TD

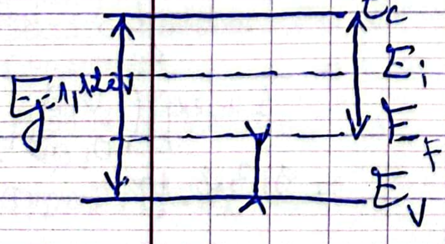
IV) $E_g = 1,12\,eV$; $P = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right)$

$$\frac{P}{N_V} = \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{P}{N_V}\right) = -\frac{E_F - E_V}{kT}$$

$$\Rightarrow E_F - E_V = kT \ln\left(\frac{N_V}{P}\right)$$

$$= 0,0259 \ln \frac{1,04 \cdot 10^{19}}{2 \cdot 10^{16}}$$

$$= 0,162\ \text{ev}$$



Si $n_i \simeq 10^{10}\ cm^{-3}$

intrinsèque $n = p = n_i$

hyp : $p \simeq 10^{16}$; $n \simeq 10^{3}$

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

$$E_c - E_F = \underbrace{E_c - E_V}_{E_g} + \underbrace{E_V - E_F}_{(2)} = 0,958\,eV$$

c) $n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right) = 2{,}8 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{0{,}958}{0{,}259}\right)$

$= 2{,}41 \cdot 10^{3}\ cm^{-3}$

$E_{F_i} - E_F$?

$$p = n_i \exp\left(\frac{E_{F_i} - E_F}{kT}\right) = 1{,}5 \cdot 10^{10}$$

$$P = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right) = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_{F_i} + E_{F_i} - E_V}{kT}\right)$$

$$= \underbrace{N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right)}_{P = n_i} \exp\left(-\frac{E_F - E_{F_i}}{kT}\right)$$

$\frac{P}{n_i} = \exp\left(-\frac{E_F - E_{F_i}}{kT}\right)$; $Ln\left(\frac{P}{n_i}\right) = \frac{E_F - E_{F_i}}{kT}$

$\Rightarrow E_F - E_{F_i} = kT\, Ln\left(\frac{n_i}{P}\right)$

$= 0{,}0259\, Ln\left(\frac{1{,}5 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 10^{16}}\right)$

$= -0{,}365\ eV$

- V - $N_D = 2 \times 10^{14}\ cm^{-3}$ | $n = 1{,}1 \times 10^{14}\ cm^{-3}$

$N_A = 1{,}2 \times 10^{14}\ cm^{-3}$

P? n?

$np = n_i^2 \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n}$

$-qn + qp + (-q)N_A + (+q)N_D = 0$

$-n + p + (N_D - N_A) = 0 \Rightarrow -n + \frac{n_i^2}{n} + (N_D - N_A) = 0$

$\Rightarrow -n^2 + n_i^2 + (N_D - N_A)\, n = 0 \Rightarrow \Delta = (N_D - N_A)^2 + 4n_i^2$

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

$\left[2n - (N_D - N_A)\right]^2 = (N_D - N_A)^2 + 4n_i^2$

$$n_i^2 = \frac{(2n - (N_D - N_A))^2 - (N_D - N_A)^2}{4}$$

$$\Rightarrow n_i = \frac{1}{2}\left(\sqrt{(2n - (N_D - N_A))^2 - (N_D - N_A)^2}\right)$$