TD1

Ex1

Supposons que le niveau d'énergie de Fermi est de 0,30 eV en dessous de l'énergie de la bande de conduction Ec et que T= 300 K. (a) Déterminez la probabilité qu'un état soit occupé par un électron à E=Ec+kT/4. (b) Répétez la partie (a) pour un état énergétique à E= Ec +kT.

Ex2

Supposons que le niveau d'énergie de Fermi pour un matériau particulier est de 6,25 eV et que les électrons de ce matériau suivent la fonction de distribution de Fermi-Dirac. Calculez la température à laquelle il y a une probabilité de 1 pour cent qu'un état à 0,30 eV en dessous du niveau d'énergie de Fermi ne contienne pas d'électron.

Ex3

Sachant que l'énergie de Fermi est de 0,25 eV en dessous de la bande de conduction, calculez la concentration d'électrons à l'équilibre thermique dans le silicium à T=300 K.

On donne La valeur de Nc pour le silicium à T=300 K est Nc =2,8 10^{19} cm^{-3}

Ex4

Sachant que l'énergie de Fermi est de 0,27 eV au-dessus de l'énergie de la bande de valence, calculer la concentration de trous d'équilibre thermique dans le silicium à T= 400 K.

On donne pour le silicium à T= 300 K , Nv =1,04 10^{19} cm^{-3}

Ex5

Sachant que l'énergie de la bande interdite du silicium soit de 1,12 eV et en supposant qu'elle ne varie pas sur cette plage de température, calculer la concentration intrinsèque des porteurs dans le silicium à T= 250 K et à T =400 K.

Les valeurs de Nc et Nv pour le silicium à T= 300 K sont respectivt de 2,8 10^{19} cm^{-3} et 1,04.$10^{19}$$cm^{-3}$.

Ex6

Sachant que les masses effectives de porteurs dans le silicium est m_n= 1,08m_0 et m_p=0,56m_0, calculer la position du niveau de Fermi intrinsèque par rapport au centre de la bande interdite dans le silicium à T= 300 K.

Ex7

Sachant que l'énergie de Fermi est de 0,25 eV en dessous de la bande de conduction et que l'énergie de la bande interdite du silicium est de 1,12 eV.

Calculez les concentrations d'équilibre thermique des électrons et des trous.

On donne pour le silicium à T= 300 K de sorte que Nc= 2,8 10^{19} cm^{-3} et Nv= 1,04 10^{19} cm^{-3}.

CamScanner

Table 5.1 | Typical mobility values at $T = 300$ K and low doping concentrations

	μ_n (cm²/V-s)	μ_p (cm²/V-s)
Silicon	1350	480
Gallium arsenide	8500	400
Germanium	3900	1900

Ex8

Considérons un échantillon d'arséniure de gallium à T =300 K avec la concentration en dopants de $N_D=10^{16}$ cm $^{-3}$. Supposons une ionisation complète et supposons les mobilités des électrons et des trous sont données dans le tableau ci dessus. Calculez la densité de courant de dérive si le champ électrique appliqué est E=10V/cm.

Ex9

Une densité de courant de dérive de J_c =75 A / cm^2 est requise dans un appareil utilisant du silicium de type p lorsqu'un champ électrique de E= 120 V / cm est appliqué. Déterminez la concentration de dopage d'impureté requise pour atteindre cette spécification. On supposera que les mobilités des électrons et des trous indiquées dans le tableau ci dessus s'appliquent

Ex10

Sachant que, dans un semi-conducteur en arséniure de gallium de type n à T=300 K, la concentration en électrons varie linéairement de 1.10^{18} à 7.10^{17} cm^{-3} sur une distance de 0,10 cm. Calculer la densité du courant de diffusion si le coefficient de diffusion électronique est Dn= 225 cm^2 / s.

EX11

La densité des trous dans le silicium est donnée par $p(x) = 10^{16} e^{-(x/Lp)}$ ($x \geq 0$) où Lp =2.10^{-4}cm. Sachant que le coefficient de diffusion des trous soit Dp= 8 cm^2/s. Déterminez la densité du courant de diffusion des trous à (a) x= 0, (b) x= 2.10^4 cm et (c) x=10^3 cm.

CamScanner

TD 1

Ex 1

Le niveau d'énergie de Fermi E_F est de 0,3 eV en dessous de l'énergie de la BC E_c

↳ $E_c - E_F = 0,3$ eV à $T = 300$ K $\Rightarrow kT = 0,0259$ eV

(a) la probabilité qu'un état soit occupé par un e^- à $E = E_c + \frac{kT}{4}$: $F_n(E)$

$E = E_c + \frac{kT}{4} \Rightarrow E - E_F = E_c - E_F + \frac{kT}{4} = 0,3 + \frac{0,0259}{4} = 0,3061$ eV

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

AN $$F_n(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{0,3061}{0,0259}\right)} = 7,26.10^{-6}$$

(b) pour $E = E_c + kT \Rightarrow E - E_F = E_c - E_F + kT = 0,3 + 0,0259 =$
$= 0,3259$ eV

AN $$F_n(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{0,3259}{0,0259}\right)} = 3,44.10^{-6}$$

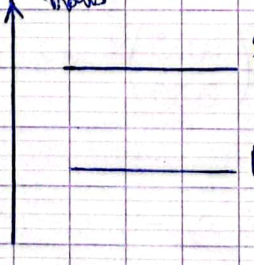
Ex 2 :

- le niveau de Fermi E_F est de 6,25 eV (non utile)
- une probabilité de 1 % (F_p) qu'un état à 0,3 eV en dessous du niveau d'énergie de Fermi (E_F) (ne contienne pas d'e^-) E (vous)

→ $0,01 = F_p = 1 - F_n$

↘ $E - E_F = -0,3$ eV

T ?



1 eV $= 1,6.10^{-19}$ J

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

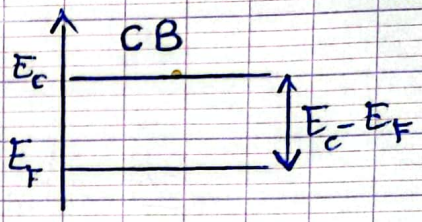
$F_n = 1 - F_p = 1 - 0,01 = 0,99$ et $F_n + F_n \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right) = 1$

$$\frac{1}{kT} = \ln\left(\frac{1 - F_n}{F_n}\right) \cdot \frac{1}{E - E_F} \Leftrightarrow T = \frac{1}{k \ln\left(\frac{1 - F_n}{F_n}\right) \cdot \frac{1}{E - E_F}}$$

AN $T = \dfrac{1}{\dfrac{1,38.10^{-23}}{J/K}\dfrac{1}{\dfrac{-0,3\times1,6\cdot10^{-19}}{J}}\ln\left(\dfrac{1}{0,99}-1\right)} = 755\,K \simeq 756\,K$

EX3 :

- l'énergie de Fermi est de 0,25ev en dessous de la bande de conduction $E_C - E_F = 0,25eV$
  À $T = 300K$, $N_c = 2,8.10^{19}\,cm^{-3}$
- la concentration d'e à l'eq. thermique : n



$$n = N_c \exp\left(\frac{E_c - E_F}{kT}\right)$$

AN $n = 2,8\,10^{19}\,(cm^{-3}) \exp\left(\dfrac{-0,25}{0,0259}\right) \simeq 18.10^{14}\,cm^{-3}$

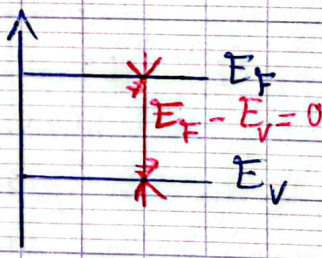
EX4 :

- l'énergie de Fermi est de 0,27ev au-dessus de l'énergie de la Bande valence E_V
- Dt la concentration de trous d'équilibre dans le silicium à T=400K : p

à $T = 300K \Rightarrow N_V = 1,04.10^{19}\,cm^{-3}$

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

N_V ! → T



on cherche N_V pour $T = 400\,K$ ↘

$$N_V\big|_{T=400K} = \left(\frac{400}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \times 1,04.10^{19} \simeq 1,6.10^{19}\,cm^{-3}$$

$$p = 1,6.10^{19} \exp - \left(\frac{0,27\times1,6.10^{-19}\ J}{1,38\times10^{-23}\ J/K \quad 400\ K}\right)$$

$$\simeq 6,43.10^{15}\,cm^{-3}$$

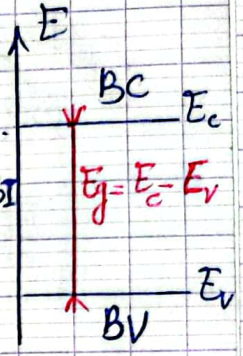
EX5 : SC-intrinsèque

E_g ou $E_c - E_v$

- L'énergie de la Bande interdite (BI) du Silicium de 1,12eV : $E_g = 1,12eV$
  - ↳ Elle ne pas varie pas sur cette plage de température

pour $T = 300K \Rightarrow N_c = 2,8.10^{19} cm^{-3}$

$N_v = 1,04.10^{19} cm^{-3}$



- Dl la concentration intrinsèque des porteurs dans le silicium : n_i

* À $T = 250K$:

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

$$N_c\Big|_{T=250K} = \left(\frac{250}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \times 2,8.10^{19} = 2,13.10^{19} cm^{-3}$$

$$N_v\Big|_{T=250K} = \left(\frac{250}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \times 1,04.10^{19} = 2,22.10^{19} cm^{-3}$$

AN $\Rightarrow n_i = \sqrt{2,22 \times 2,13 \times 10^{19} \times 10^{19}} \cdot \exp\left(-\frac{1,12.1,6.10^{-19}}{2 \times 1,38.10^{-23} \times 250}\right)$

J

J/K K

$\exp(-25,97)$

$$n_i = 1,15.10^{8} cm^{-3}$$

à $T = 250K$

$1,15.10^{7} cm^{-3}$

* À $T = 400K$:

$$N_c\Big|_{T=400K} = \left(\frac{400}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \times 2,8.10^{19} = 4,312.10^{19} cm^{-3}$$

$$N_v\Big|_{T=400K} = \left(\frac{400}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \times 1,04.10^{19} = 1,6016.10^{19} cm^{-3}$$

AN $\Rightarrow n_i = \sqrt{4,312 \cdot 1,6016.10^{19}} \exp\left(-\frac{1,12 \cdot 1,6.10^{-19}}{2 \times 1,38.10^{-23} \times 400}\right)$

$$n_i = 23,38.10^{12} cm^{-3}$$

EX6 :

- la masse effectives de Porteurs dans le silicium : $\begin{cases} m_n = 1,08 m_0 \\ m_p = 0,56 m_0 \end{cases}$

- Dt la position du niveau de Fermi intrinsèque / au centre de la bande interdite dans le silicium. (à 300K)

E_F — $\frac{E_c + E_v}{2}$

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

??

$$N_c = \frac{2}{h^3} (2\pi k T m_n)^{\frac{3}{2}}$$

$$N_v = \frac{2}{h^3} (2\pi k T m_p)^{\frac{3}{2}}$$

$$N_c = \frac{2}{(6,625.10^{-34})^3} \left(2\pi . \underbrace{1,38.10^{-23}}_{J/k} . 300 . 1,08 . 9,11.10^{-31}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$N_v = \frac{2}{(6,625.10^{-34})^3} \left(2\pi . 1,38.10^{-23} . 300 . 0,56 . 9,11.10^{-31}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{N_v}{N_c} = \left(\frac{0,56}{1,08}\right)^{\frac{3}{2}} \Rightarrow E_F - \frac{E_c + E_v}{2} = -12,8 \text{ meV}$$

EX7 :

E_F — $E_F - E_c$ — E_c

l'énergie de Fermi est de 0,25 ev en dessous de la bande de conduction $E_F - E_c = 0,25$ ev et que l'énergie de la bande de interdite du silicium est 1,12ev ($E_g = 1,12$ ev)

$E_g = E_c - E_v$

$$E_g = E_c - E_v = (E_c - E_F) + (E_F - E_v) \Rightarrow E_F - E_v = E_g - (E_c - E_F)$$

$$= 1,12 - 0,25 = 1,37 \text{ eV}$$

n? $\quad n = N_c \exp -\left(\frac{E_c - E_F}{kT}\right) = 2,8.10^{19} \exp\left(\frac{0,25 \times 1,6}{0,0259}\right) = 1,3.10^{15} \text{ cm}^{-3}$

p? $\quad p = N_v \exp -\left(\frac{E_F - E_v}{kT}\right) = 1,04.10^{19} \exp\left(\frac{-1,37}{0,0259}\right) = 2,68.10^{4} \text{ cm}^{-3}$

$= 3,61.10^{4}$ cm^{-3}

$\mu_p = 400 \text{ cm}^2/\text{V.s}$

EX10 : $T = 300K$ type n

$n = 1,10^{18} \longrightarrow 7.10^{17} \text{ cm}^{-3}$

distance d (N) $= 0,10$ cm

$D_n = 225 \text{ cm}^2/\text{s}$

$\vec{J_n}(x) = q D_n \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(n)$ $\quad \frac{\partial n}{\partial x} \rightarrow \frac{\Delta n}{\Delta x}$

$J_n(x) = q D_n \left(\frac{7.10^{17} - 10^{18}}{0,10} \right) = 108 \text{ A/cm}^2$

EX11 $p(x) = 10^{16} e^{-\left(\frac{x}{L_p}\right)} \quad (x \geq 0) \quad L_p = 2.10^{-4} \text{ cm}$

$D_p = 8 \text{ cm}^2/\text{s}$

(a) à $x = 0$ cm (b) à $x = 2.10^{-4}$ cm (c) $x = 10^{-3}$ cm

1a) $\vec{J_p} = \mu_p \left(q p \vec{E} - kT \overrightarrow{\text{grad}}(p) \right)$

$J_{p\,diff} = q D_p \left. \frac{dp}{dx} \right|_{x=0} \qquad \frac{dp}{dx} = \frac{-10^{16}}{L_p} \cdot e^{-\frac{x}{L_p}}$

$J_{p\,diff} = 1,6.10^{-19} \times 8 \times \frac{-10^{16}}{2.10^{-4}} = 64 \text{ A/cm}^2$ (2)

$N_D = 10^{16}, \; T = 300K \quad | \quad \mu_n = 85000$

$E = 10 \text{ V/cm} \quad | \quad q = 1,6.10^{-19}$

EX8 :

$J_n = \sigma E = q(n\mu_n + p\mu_p) E$ semi C. de type n

$\simeq q n \mu_n E$

$= q N_D \mu_n E$

$= 136 \text{ A/cm}^2$

EX9 : $J_c = 75 \text{ A/cm}^2$ type p

$E = 120 \text{ V/cm}$

$J_c = q(n\mu_n + p\mu_p) E$ type p

$N_A = \frac{J_c}{q \mu_p E} = \frac{75}{1,6.10^{-19} \times 400 \times 120}$

$= 8,14 . 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ (1)

$J_u = 23,5W \ A/cm^2$

$J_u = 0,1431 \ A/mm^2$