ENIG GCR1

ANNEE UNIVERSITAIRE 2018/2019

LUNDI 14/03/2019 **Enseignant responsable : Mr BENZINA.H**

Durée : 1H30 ***Documents non autorisés.***

Devoir de Contrôle

PHYSIQUE pour les COMMUNICATIONS

L'usage de calculatrices standards est autorisé. Les téléphones mobiles sont interdits. Ne pas oublier les unités dans vos calculs

EXERCICES

I) Pour l'AsGa, à T=300K , Calculer, pour un électron, le nombre total des états d'énergie par unité de volume entre E_C et E_C+kT. (donner le résultat en cm^{-3})
On donne $m_n=0,61037.10^{-31}kg$; $h=6,625.10^{-34}J.s$; $k=1,38.10^{-23}$.

II) Si $E_F=E_C$, calculer la probabilité pour que l'état E_C+kT soit occupé par un électron.

III) Supposons que le niveau de Fermi E_F=7,01eV et qu'il soit de 0,35 eV au dessus de E_V et que T=400 K :Déterminer la probabilité pour qu'un trou occupe le niveau E_V-kT.

IV) Une densité de courant de dérive de 75A/cm2 est requise dans un dispositif utilisant du silicium de type p lorsqu'un champ électrique de 120V/cm est appliqué ; déterminez la concentration de dopage d'impuretés requise pour atteindre cette spécification. On donne :$\mu_n=1350\ cm^2V^{-1}s^{-1}$. $\mu_p=480\ cm^2V^{-1}s^{-1}$.

V) La concentration en trous du silicium varie linéairement de x= 0 à x=0,02cm. Le coefficient de diffusion des trou est $Dp=10cm^2/s$, la densité du courant de diffusion du trou est de $25A/cm^2$ et la concentration du trou à x=0 est $p= 1,51.0^{17}cm^{-3}$. Quelle est la valeur de la concentration du trou à x=0,02 cm?

VI) Soit l'AsGa intrinsèque :

a) Calculer sa concentration intrinsèque à T1=300K et T2=250K.

On donne :
$N_V(T1)=7,57.10^{18}cm^{-3}$. $N_C(T1)=4,35.10^{17}cm^{-3}$.
E_g=1,42 eV (valable pour les deux températures).

b) Calculer uniquement pour T1, la position du niveau de Fermi intrinsèque par rapport au milieu de la bande interdite (en eV). On donne :
$m_n=0,067\ m_o$; $m_p=0,45\ m_o$ avec m_o la masse de l'électron libre au repos et qui vaut $9,11.10^{-31}Kg$.

VII) On dope l'AsGa avec un seul type d'impureté, ce qui a pour effet d'élever E_F de telle sorte que : $E_C - E_F = 0,35$ eV.

Par ailleurs, on donne :
T=300 K ; $N_V(T=300\ K)=7,57.10^{18}cm^{-3}$;$N_C(T=300\ K)=4,35.10^{17}cm^{-3}$.
$\mu_n=8800\ cm^2V^{-1}s^{-1}$. $\mu_p=400\ cm^2V^{-1}s^{-1}$. E_g=1,42 eV

a) Déterminer, à l'équilibre, la concentration des électrons et des trous.
b) De quel type de semiconducteur s'agit-il ? Quelle est la concentration des impuretés ?
c) Déterminer la concentration intrinsèque n_i.
d) Calculer la résistivité de ce matériau.

VIII) Soit une jonction pn de silicium, non polarisée à T=300 K avec des concentrations de dopage de
$N_A= 1,1.10^{16}\ cm^{-3}$; $N_D=1,3.10^{15}cm^{-3}$;$n_i=1,5.10^{10}cm^{-3}$. ε_r(silicium)=11.7 ;$\varepsilon_0=8.85e^{-12}F/m$;
Calculez la largeur de la zone de charge d'espace, le champ électrique minimum et le potentiel de barrière. (choisir l'ordre de calcul des paramètres selon la convenance)

Bon Travail

H.BENZINA GCR ENIG

FORMULAIRE DU MODULE PHYSIQUE POUR LES COMMUNICATIONS

Densité des états d'énergie :

$$\begin{cases} D(E) = 0 & dans\ laB.I \\ D_n(E) = 4\pi\left(\frac{2m_n}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}(E - E_C)^{\frac{1}{2}} & dans\ la\ BdC \\ D_p(E) = 4\pi\left(\frac{2m_p}{h^2}\right)^{3/2}(E_V - E)^{1/2} & dans\ la\ BdV \end{cases}$$

Fonction de distribution de Fermi-Dirac:

$$F_n(E) = \frac{1}{1+\exp\left[\frac{E-E_F}{kT}\right]}\ ;\ kT = 0{,}0259\,eV \text{ à } 300K$$

$$\int_0^\infty x^{1/2}e^{-x}dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}\ ;\ n = N_C\exp-\frac{(E_C - E_F)}{kT}$$

$$p = N_V\exp-\frac{(E_F - E_V)}{kT}\ ;\ N_C = \frac{2}{h^3}(2\pi m_n kT)^{3/2}$$

Semiconducteur intrinsèque :

$$E_F = \frac{E_C+E_V}{2} + \frac{kT}{2}\text{Log}(\frac{N_V}{N_C})\ ;$$

$$n_i = \sqrt{N_C N_V}\exp-\frac{E_g}{2kT}$$

Semiconducteur extrintrinsèque :

Cas usuel !

Type N : $n_n \approx N_D$; $p_n \approx {n_i}^2/N_D$

Type P : $p_p \approx N_A$; $n_p \approx {n_i}^2/N_A$

Loi d'action de masse : $np = {n_i}^2$

Conduction dans les semiconducteurs :

$$\langle E_{cn}\rangle = \frac{3}{2}kT\ ;\ l_n = \tau_n v^*_{thn}\ ;\ l_p = \tau_p v^*_{thp}$$

$$\vec{v}_{dn} = -\mu_n\vec{E}\ ;\ \mu_n = \frac{q\tau_n}{m_n}\ ;$$

$$\vec{v}_{dp} = \mu_p\vec{E}\ ;\ \mu_p = \frac{q\tau_p}{m_p}\ ;$$

Loi d'Ohm microscopique :

$$\vec{J}_c = q(n\mu_n + p\mu_p)\vec{E}\ ;$$

Courant de diffusion pour les électrons:

$$\vec{J}_n(x) = qD_n\,\vec{\text{grad}}(n)$$

Loi d'Einstein : $\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{q}$

Cas général pour les trous :

$$\vec{J}_p(x) = \mu_p\left(qp\vec{E} - kT\,\vec{\text{grad}}(p)\right)$$

Génération- recombinaison des porteurs :

Régime de faible injection

$\Rightarrow \Delta n = \Delta p << N_D$ pour un sc de type N

pour un sc de type N (cas de recombinaison directe), on a :

$$\frac{dp_n}{dt} = G - R = G_L + G_{th} - R = G_L - U;\ U = R - G_{th}$$

U : taux net de recombinaison

En régime stationnaire et de faible injection : $G_L = U = \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_p}$

Equation de continuité :

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = \mu_n\frac{\partial n_p}{\partial x}E + \mu_n n_p\frac{\partial E}{\partial x} + D_n\frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} + G_n - \frac{n_p - n_{p_0}}{\tau_n}$$

JONCTION PN

Equation de Poisson:

$$E = -\frac{d\psi}{dx}\ ;\ \ div\,\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

$$p = n_i\,\mathbf{exp}\left[(E_i - E_F)/kT\right]$$

$$n = n_i\,\mathbf{exp}\left[(E_F - E_i)/kT\right]\ ;$$

$$\frac{dE_F}{dx} = 0\ ;\ V_b = \frac{kT}{q}Ln\frac{N_A N_D}{n_i^2}\ ;$$

Hypothèses : Dans la RCE on a : n« et p« ; Dans les régions neutres, on a E=0 ;

Cas d'une jonction abrupte :

Neutralité électrique :

$x_nN_D = x_pN_A$

Champ électrique :

$E(x) = -\frac{qN_D}{\varepsilon}(x_n - x)$ pour $0 \le x \le x_n$

Relation entre V_b et E_{min} :

$V_b = (|E_{min}|.W)/2$

Largeur de la zone de déplétion :

$W = \left[\frac{2\varepsilon V_b}{q}\left(\frac{N_A+N_D}{N_A N_D}\right)\right]$

H.BENZINA GCP ENIG

DC Pcom 78–14

Ex 1

I) $\int_{E_c}^{E_c+kT} 4\pi \left(\frac{2m_n}{\hbar^2}\right)^{3/2} (E-E_c)^{1/2} dE = 4\pi \left(\frac{2m_n}{\hbar^2}\right)^{3/2} \int_0^{kT} u^{1/2} du = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{kT 2m_n}{\hbar^2}\right)^{3/2}$ (III) (II)

$= 3,273\,10^{23}\,m^{-3} = 3,273\,10^{17}\,cm^{-3}$ (II)

Ex 2

$f_n(E_c+kT) \overset{E_F=E_c}{=} \frac{1}{1+\exp\left[\frac{E_c+kT-E_c}{kT}\right]} = \frac{1}{1+e} = 0,268$ (II) (II)

Ex 3 $E_v - E_F = 0,35$; $f_p(E_v-kT) = 1 - f_n(E_v-kT) = \frac{1}{1+\exp\left(\frac{E_v-kT-E_F}{kT}\right)}$ (II)

$f_p = \frac{\exp\left(-\frac{0,35-kT}{kT}\right)}{1+\exp\left(-\frac{0,35-kT}{kT}\right)} = 1,4448\,10^{-5}$ (II) (II)

Ex 4 $J_{d_E} = q p \mu_p E \Rightarrow p = \frac{J_{d_E}}{q \mu_p E} = 8,138.10^{15}\,cm^{-3}$ (II) (II)

Ex 5 $J_{diff_p} = -q D_p \frac{dp}{dx} = -q D_p \frac{p(x_2)-p(0)}{x_2-0} \Rightarrow p(x_2) = \frac{J_{diff_p}}{q D_p} x_2 + p(0)$ (I) (II)

$D_p = 10\,cm^2/s$; $p(0)$ $10^{17}\,cm^{-3}$; $x_2 = 0,02\,cm$; $J_{diff_p} = 25\,A/cm$

$p(x_2) =$ $10^{17}\,cm^{-3}$ (II)

Ex 6 1°) $N_c = 4,35\,10^{17}\,cm^{-3}$; $N_v = 7,57\,10^{18}\,cm^{-3}$; $E_g = 1,42\,eV$; $T_1 = 300K$

$T_2 = 250K$; $n_i(T_1) = \sqrt{N_c N_v} \exp -\frac{E_g}{2kT_1} = 2,$ (II) $10^6\,cm^{-3}$; $N_c(T_2) = N_c(T_1)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{3/2}$ (II)

$N_v(T_2) = N_v(T_1)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{3/2} \Rightarrow n_i(T_2) =$ $10^5\,cm^{-3}$ (II)

2°) $E_F - E_i + E_v = \frac{3kT}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} =$ $0,0370\,eV$ (II) $10^{11}\,cm^{-3}$ (II)

Ex 7 a) $n = N_c \exp\left(-\frac{E_c-E_F}{kT}\right) = 4,35.10^{17} \exp\left(-\frac{0,35}{0,0259}\right) = 5,8$ (II)

$p = N_v \exp\left(-\frac{E_F-E_v}{kT}\right) = 7,57\,10^{18} \exp\left(-\frac{1,42-0,35}{0,0259}\right) = 8,$ cm^{-3} (II)

b) Il s'agit d'un SC de type N direct $N_D \simeq n = 5,8$ $10^{11}\,cm^{-3}$ (II)

c) $n_i = \sqrt{np} = 2,$ $10^6\,cm^{-3}$ (II)

d) $\rho = \frac{1}{\sigma} \simeq q n \mu_n \Rightarrow \rho = 1,2$ $10^3\,(\Omega cm)$ (II)

Ex 8 $V_b = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} = 0,6436\,V$; $W = \left[\frac{2\varepsilon V_b}{q}\left(\frac{N_A+N_D}{N_A N_D}\right)\right]^{1/2} = 1,055.10^{-4}\,cm$ (II) (II)

$E_{max} = \frac{2V_b}{W} = 1,22.10^4\,V/cm$ (II) (II)

HBENZINAGCRENIG

GCR1

BENZINA.H

A.U 2020/2021

Date:Mercredi 26/05/2021

Durée : 01h30

DEVOIR de CONTROLE
de
PHYSIQUE pour les COMMUNICATIONS

Les documents ne sont pas permis ;

L'usage de calculatrices standard est autorisé. L'usage de smartphone et GSM est interdit.

H BENZINA GCR ENIG

I)1) Déterminer, pour un trou dans la bande de valence, le nombre total d'états d'énergie par unité de volume compris entre E_V-kT/2 et E_V. Appliquer pour le silicium à T=300 K avec $N_V=1,83.10^{19}cm^{-3}$.

2)Supposons que le niveau de Fermi E_F soit de 0,37 eV au dessous de E_C et que T=350K :Déterminer la probabilité pour qu'un électron occupe le niveau E_C.

3)Même question que I)2) mais avec Ec-Ev=0.17eV

II)Nous nous proposons d'étudier les caractéristiques du germanium (Ge) intrinsèque ;On donne :

La hauteur du Gap :	$Eg(T_0)=0,67$ eV.
La charge électronique :	$q=1,6.10^{-19}C$
La mobilité des électrons :	$\mu_n(T_0)=3,8.10^3cm^2V^{-1}s^{-1}$
La mobilité des trous:	$\mu_p(T_0)=1,5.10^3cm^2V^{-1}s^{-1}$
Masse volumique du Ge :	$\rho=5,36\ g/cm^3$.
Masse molaire du Ge :	M=72,6 g.
Le nombre d'Avogadro :	$N_A=6,02.10^{23}$
La constante de Boltzman	$k=1,38.10^{-23}J.K^{-1}$
La constante de Planck	$h=6,625.10^{-34}$ J.s
Les densités effectives des états :	$N_C(T_0)=1,05.10^{25}m^{-3}$
	$N_V(T_0)=0,52.10^{25}m^{-3}$

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

2)a)Calculer , à la température T_0=300K, la masse effective des électrons.

b)Calculer , à la température T_0=300K, la masse effective des trous.

3)a)Calculer la concentration des électrons libres et des trous à T_0.

N.B:Tout oubli de l'unité dans le résultat numérique équivaut à la perte de la moitié de la note.

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

4)Calculer la position du niveau de Fermi à T_0 par rapport au milieu de la BI. Conclure.

5)Calculer la résistivité du Ge intrinsèque à T_0.

6)Calculer le libre parcours moyen des électrons à T_0.

III) On dope l'AsGa avec un seul type d'impureté, ce qui a pour effet d'élever E_F de telle sorte que : $E_C - E_F = 0{,}25$ eV.

Par ailleurs, on donne :

T=300 K; $N_V(T=300\ K)=7{,}57.10^{18} cm^{-3}$; $N_C(T=300\ K)=4{,}35.10^{17} cm^{-3}$; $\mu_n=8800\ cm^2V^{-1}s^{-1}$; $\mu_p=400\ cm^2V^{-1}s^{-1}$;Eg=1.42eV.

1)Déterminer, à l'équilibre, la concentration des électrons.

2) Déterminer la concentration intrinsèque n_i.

3)De quel type de semiconducteur s'agit-il ? Quelle est la concentration des impuretés ?

4)Calculer la résistivité de ce matériau.

Bonne chance

H BENZINA GCR ENIG

N.B:Tout oubli de l'unité dans le résultat numérique équivaut à la perte de la moitié de la note.

DC 4 Com 2020-2021 ④

I) 1) $N = 2\int_{E_V-\frac{kT}{2}}^{E_V} D_p\, dE = 4\pi\left(\frac{2m_p}{h^2}\right)^{3/2}\int_{E_V-\frac{kT}{2}}^{E_V}(E_V-E)^{1/2}dE$

$= C\int_{E_V-\frac{kT}{2}}^{E_V}(E_V-E)^{1/2}(-)\,d(E_V-E) = C\int_0^{\frac{kT}{2}} x^{1/2}dx = C\left[\frac{x^{3/2}}{3/2}\right]_0^{\frac{kT}{2}}$

$= \frac{2C}{3}\left(\frac{kT}{2}\right)^{3/2} = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{2m_p}{h^2}\frac{kT}{2}\right)^{3/2} = \frac{4\pi}{3\sqrt{8}\pi^{3/2}}N_V = \frac{4N_V}{3\sqrt{8\pi}}$

$= 4,867\,10^{18}\ cm^{-3}$

2) $F(E) = \frac{1}{1+\exp\left(\frac{E-E_F}{kT}\right)} = \frac{1}{1+\exp\left(0,\frac{37}{kT}\right)}$

$\left.\begin{array}{l} \rightarrow kT = 0,0259\ eV \text{ pour } 300k \\ kT = x\ eV \text{ pour } 350k \end{array}\right\} \Rightarrow x = \frac{0,0259\times 350}{300}$

$\Rightarrow F(E) = 4,809\,10^{-6}$

3) $E_C - E_F = 0,17eV \Rightarrow \delta_n = 3,5893\,10^{-3}$

II) 1) $\rho = \frac{m}{V} = \frac{N\times M}{V}$; $\frac{N}{V} = \frac{\rho}{M} \Rightarrow n = \frac{N\times N_A}{V} = \frac{\rho}{M}\times N_A = 2,248\,10^{22}\ cm^{-3}$

2) a) $N_C = \frac{2}{h^3}(2\pi m_n kT)^{3/2} \Rightarrow m_n = \frac{1}{2\pi kT}\left(\frac{h^3}{2}N_C\right)^{2/3} \Rightarrow m_n = 5,0968\,10^{-31}\ kg$

b) $N_V = \frac{2}{h^3}(2\pi m_p kT)^{3/2} \Rightarrow m_p = \frac{1}{2\pi kT}\left(\frac{h^3}{2}N_V\right)^{2/3} \Rightarrow m_p = 3,1904\,10^{-31}\ kg$

3) a) $n_i = \sqrt{N_C N_V}\exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) = 1,7835\,10^{+15}\ m^{-3} = 1,7835\,10^{13}\ cm^{-3}$

b) rapport $= \frac{n}{n_i} = 1,2606\,10^{3}$

4) $E_F - \frac{E_C+E_V}{2} = \frac{kT}{2}\ln\left(\frac{N_V}{N_C}\right) = -0,00911eV$ / Conclusion: très proche du milieu de la BI

5) $\rho = \frac{1}{\sigma}$; $\sigma = q n_i(\mu_n+\mu_p)$; $\rho = 66,12\ \Omega cm$

6) $\tau_n = \frac{\mu_n m_n}{q}$; $\frac{1}{2}m_n v_{th_n}^2 = \frac{3}{2}kT \Rightarrow v_{th_n} = \sqrt{\frac{3kT}{m_n}}$; $l_n = \tau_n v_{th_n} = \frac{\mu_n}{q}\sqrt{3kTm_n}$

$l_n = 18,896\ \mu m$

III) a) $n = N_C\exp\left(-(E_C-E_F)/kT\right)$; AN : $n = 2,7955\,10^{13}\ cm^{-3}$

b) $n_i = \sqrt{N_C N_V}\exp\left(-E_g/2kT\right)$; AN $n_i = 2,2564\,10^{-6}\ cm^{-3}$

c) $\sigma \neq q\mu_p p$ type N $\Rightarrow N_D = n = 2,796\,10^{13}\ cm^{-3}$

d) $\sigma \approx q\mu_n n \Rightarrow \rho = \frac{1}{\sigma} = 25,41\ \Omega^{-1}cm^{-1}$

HBENZINA CCR ENIC