

**DUT GE1 2019-2020**  
**TD SERIE 1 : Semi- Conducteurs**

**Compléments du cours**

\* En général, la conductivité d'un semi conducteur est donnée par l'expression  $\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$

où  $\left\{ \begin{array}{l} q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \text{ est la charge de l'électron} \\ n \text{ désigne la concentration des électrons (libres)} \\ \mu_n \text{ désigne la mobilité des électrons (libres)} \\ p \text{ désigne la concentration des trous} \\ \mu_p \text{ désigne la mobilité des trous.} \end{array} \right.$

0,0005  
0,0005

\* Pour un SC pur  $n = p = n_i$ , alors  $\sigma = q n_i (\mu_n + \mu_p)$

\* Après hypothèses et calculs, il ressort que la conductivité d'un SC de type N est  $\sigma \approx q N_D \mu_n$ .

- d'un SC de type P est  $\sigma \approx q N_A \mu_p$ .

\* Les mobilités se trouvent dans le tableau donnant les mobilités des trous et des électrons à  $T = 300 \text{ K}$ .

Exo1:

Un morceau de silicium pur a une longueur de 3 mm et une section transversale rectangulaire de  $50 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ . Calculer la résistance et la tension entre les extrémités du morceau à  $T = 300 \text{ K}$  si l'on mesure un courant de  $1 \mu\text{A}$ .

Exo2:

Un morceau de silicium de type N a les mêmes dimensions que le précédent. Calculer la conductivité, la résistance et la tension entre les extrémités du morceau si la concentration des donneurs à  $300 \text{ K}$  égale  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ .

KE TABAU

reçoit dans une unité de production de ce électronique une barre de silicium de type diamètre de 50 mm et d'une longueur de 20 cm. à température ambiante (300°K) on mesure  $R = 8,5 \Omega$ . ① Trouver les concentrations des électrons et des trous à cette température.

② Sachant qu'à 300°K  $V_T = 26 \text{ mV}$  calculer  $D_n$  et  $D_p$  constantes de diffusion des trous et des électrons.

③ si  $\tau_n = 0,25 \text{ ns}$  et  $\tau_p = 0,25 \mu\text{s}$ , calculer  $L_n$  et  $L_p$

NB: Complément de cours:

Dans un SC de type PN, le potentiel de contact  $V_0$  de  $N_A$ ,  $N_D$ , de la température.  $V_0 = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$

$V_T = \frac{kT}{q}$ , pour les calcul à 300°K,  $V_T = 26 \text{ mV}$ .

Pour le silicium,  $0,5 \leq V_0 \leq 0,7 \text{ V}$ .

$$\begin{aligned} E_V &= 12 \\ E_0 &= 2 \times 10^5 \end{aligned}$$

L'expression de la largeur  $d_0$  de la jonction PN est:

$$d_0 = \sqrt{\frac{2 \epsilon_s \epsilon_r V_0}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right)}, \quad 0,1 \mu\text{m} \leq d_0 \leq 50 \mu\text{m}$$

L'intensité  $E_0$  du champ électrique dans la jonction :

$$E_0 = \frac{V_0}{d_0} \quad E_0 \leq 10^5 \text{ V/cm}$$

Exo 4

résistivités des 2 côtés d'une jonction PN au silicium :  $0,1 \Omega \cdot \text{cm}$  (côté P) et  $50 \Omega \cdot \text{cm}$  (côté N)

calculer le potentiel de contact  $V_0$ , la largeur de la jonction  $d_0$  et l'intensité du champ électrique dans la jonction  $E_0$  à 300°K.

### **EXERCICE 5**

On donne le tableau suivant :

	$E_g$ [eV]	$N_c$ [atomes/cm <sup>3</sup> ]	$N_v$ [atomes/cm <sup>3</sup> ]
AsGa	1,43	$4,7 \cdot 10^{17}$	$7 \cdot 10^{18}$
Ge	0,66	$1,04 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{18}$
Si	1,12	$2,8 \cdot 10^{19}$	$1,04 \cdot 10^{19}$

1. Parmi ces trois semi-conducteurs, quel est celui qui présente la concentration intrinsèque la plus faible ?
2. Calculer  $n_i$  pour ce semi-conducteur à 300 K.

### **EXERCICE 6**

Le Germanium est caractérisé par : masse atomique  $M = 72,6$  g. masse volumique  $d = 5,32$  g/cm<sup>3</sup>

. énergie de la bande interdite  $E_g = 0,67$  eV.

Nombre d'Avogadro  $A = 6,023 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>,  $k = 8,62 \cdot 10^{-5}$  eV/K.

Densité effective d'états énergétiques à 300 K,  $N_c = 1,04 \cdot 10^{19}$  atomes/cm<sup>3</sup>,  $N_v = 6 \cdot 10^{18}$  atomes/cm<sup>3</sup>

1. déterminer le nombre d'atomes par cm<sup>3</sup>
2. calculer la concentration intrinsèque à 300 K.
3. quelle est la fraction d'atomes ionisés ?

### **EXERCICE 7**

Dans le cas du Silicium, à  $T = 300$  K, avec  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$  cm<sup>-3</sup>, nombre total d'atomes par cm<sup>3</sup> =  $5 \cdot 10^{22}$

1. Quel est le rapport du nombre d'atomes ionisés au nombre total d'atomes ?
2. Quelle est la largeur de la bande interdite en eV ?

$$N_c = 3 \cdot 10^{19} \left( \frac{T}{300} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3}, \quad N_v = 10^{19} \left( \frac{T}{300} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3}$$

3. Déterminer sans calculs le type de semi-conducteur (n ou p) puis les concentrations des porteurs à l'équilibre dans les cas suivants :

- a) Silicium dopé par  $10^{15}$  atomes de Ga par cm<sup>-3</sup>
- b) Silicium dopé par  $10^{12}$  atomes de Sb par cm<sup>-3</sup>
- c) Silicium dopé par  $3 \cdot 10^{10}$  atomes de In par cm<sup>-3</sup>

### **EXERCICE 8**

Dans un semi-conducteur intrinsèque, la concentration de porteurs libres est donnée par la relation suivante :

$$n = p = n_i = A \cdot e^{-\frac{W_c - W_v}{2kT}}$$

1. sachant qu'à 300 K la concentration intrinsèque du silicium vaut  $6,4 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$  et que la hauteur de la bande interdite vaut 1,12 eV, déterminer la valeur de A.
2. en supposant A indépendant de T, calculer la concentration intrinsèque du silicium à la température d'un four à diffusion (1200 K).

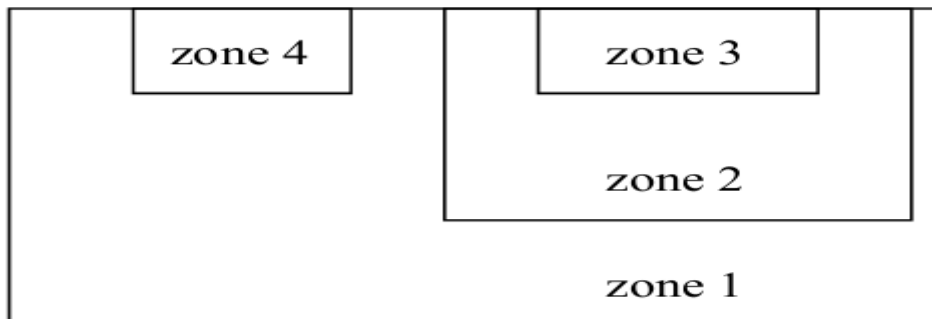
### **EXERCICE 10**

Un matériau intrinsèque est dopé par Nd atomes donneurs et Na atomes accepteurs.

1. Donner l'expression de la concentration  $n_0$  en fonction de  $n_i$  et de  $N = N_d - N_a$ .
2. Quel est le signe de N si le semi-conducteur est de type n ? de type p ?
3. On suppose  $N_d > N_a$ . Faire un développement limité de  $n_0$  en fonction de  $n_i/N$ .
4. En déduire la valeur minimale de  $N/n_i$  pour que l'erreur introduite en utilisant la formule approchée de  $n_0 = N$  soit inférieure à 5 %.

### **EXERCICE 11**

On considère l'élément de semi-conducteur suivant réalisé à partir d'une plaquette de silicium dopée avec une concentration d'atomes accepteurs  $N_a = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Par des diffusions successives d'impuretés dans la plaquette primitive, on a introduit  $N_d = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  atomes donneurs dans la zone 2 et  $N_a = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  atomes accepteurs dans les zones 3 et 4. On se place à la température de 300 K avec  $n_i = 8,3 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$



1. De quel type sont les différentes régions ?
2. Ecrire l'équation qui traduit l'équilibre des porteurs et celle qui traduit la neutralité.
3. Calculer les concentrations de trous et d'électrons dans chacune des zones.

### **EXERCICE 12**

La concentration intrinsèque d'un semi-conducteur varie en fonction de la température Suivant :

$$n_i^2 = A_0 T^3 \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right)$$

avec  $n_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  à 300 K,  $E_g = 0,67 \text{ eV}$  à 300 K pour le germanium et  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  à 300 K,

$E_g = 1,1 \text{ eV}$  à 300 K pour le silicium.

Quel est le pourcentage de variation de  $n_i$  (à 300 K) pour une élévation de température de un degré ?