TD 2

Le S.C intrinsèque, n_i ; le S.C extrinsèque dopé n, p. Relation de concentrations.

**exercice 2.1

On donne le tableau suivant :

	Eg [eV]	Nc [atomes/cm^3]	Nv [atomes/cm^3]
AsGa	1,43	$4{,}7.10^{17}$	7.10^{18}
Ge	0,66	$1{,}04.10^{19}$	6.10^{18}
Si	1,12	$2{,}8.10^{19}$	$1{,}04.10^{19}$

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 2.2

Le Germanium est caractérisé par :

masse atomique M = 72,6 g. masse volumique d = 5,32 g/cm^3.

énergie de la bande interdite Eg = 0,67 eV.

Nombre d'Avogadro A = $6{,}023.10^{23}$ mol^{-1}, k = $8{,}62.10^{-5}$ eV/K.

Densité effective d'états énergétiques à 300 K, Nc = $1{,}04.10^{19}$ atomes/cm^3, Nv = 6.10^{18} atomes/cm^3.

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

exercice 2.3

Dans le cas du Silicium, à T = 300 K, avec ni = $1,5.10^{10}$ cm^{-3}, nombre total d'atomes par cm^3 = 5.10^{22}.

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

$$Nc = 3.10^{19}\left(\frac{T}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3},\ Nv = 10^{19}\left(\frac{T}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3}$$

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^{-3}.
   b) Silicium dopé par 10^{12} atomes de Sb par cm^{-3}.
   c) Silicium dopé par 3.10^{10} atomes de In par cm^{-3}.

exercice 2.4

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

$$n = p = n_i = A.e^{-\frac{Wc-Wv}{2kT}}$$

1. sachant qu'à 300 K la concentration intrinsèque du silicium vaut $6,4.10^{9}$ 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 2.5

Un matériau intrinsèque est dopé par N_d atomes donneurs et N_a 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 $\frac{n_i}{N}$.

4. En déduire la valeur minimale de $\frac{N}{n_i}$ pour que l'erreur introduite en utilisant la formule approchée de $n_0 = N$ soit inférieure à 5 %.

exercice 2.6

On considère un barreau de silicium intrinsèque. On donne :

e = $1{,}6.10^{-19}$ C, k = $1{,}38.10^{-23}$ J/K, nombre d'Avogadro = $6{,}02.10^{23}$, h = $6{,}6.10^{-34}$ J.s.

Masse atomique = 28,08 g.

Masse volumique = $2{,}33.10^{3}$ kg.m^{-3}.

Largeur de la bande interdite Eg = 1,1 eV (supposée indépendante de la température).

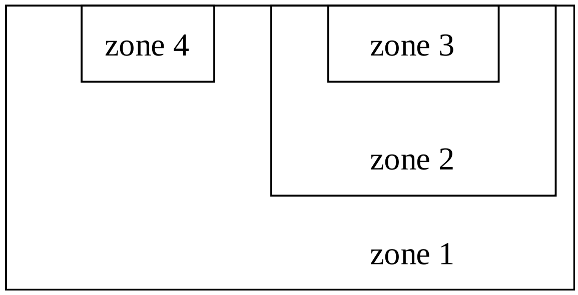
Concentration effective des porteurs dans la bande de conduction,

$$Nc = 3.10^{19}\left(\frac{T}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3},\ Nv = 10^{19}\left(\frac{T}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3}$$

1. Calculer la concentration n_i des porteurs à 300 K.
2. Le barreau est maintenant dopé à raison d'un atome d'antimoine (Sb) pour 5.10^{12} atomes de silicium. Déterminer la concentrations des impuretés introduites. Quel type de semi-conducteur obtient-on ? (dans quelle colonne de la classification périodique se situe cet atome?)
3. Après avoir rappelé comment on établit les expressions générales donnant les concentrations des porteurs n et p en fonction de n_i et des concentration des impuretés acceptrices et donatrices, déterminer ces concentrations à 300 K.
4. On admet que le barreau de silicium redevient pratiquement intrinsèque lorsque n_i dépasse de 10 fois la valeur de la concentration des impuretés introduites. A quelle température minimum doit-on chauffer le barreau pour se trouver dans un tel cas ?

exercice 2.7

On considère l'élément de semi-conducteur suivant réalisé à partir d'une plaquette de silicium dopée avec une concentration d'atomes accepteurs Na = 10^{13} cm^{-3}. Par des diffusions successives d'impuretés dans la plaquette primitive, on a introduit Nd = 10^{15} cm^{-3} atomes donneurs dans la zone 2 et Na = 10^{17} cm^{-3} atomes accepteurs dans les zones 3 et 4. On se place à la température de 300 K avec $n_i = 8{,}3.10^{9}$ 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 2.8

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

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

avec $n_i = 2{,}5.10^{13}$ cm^{-3} à 300 K, Eg = 0,67 eV à 300 K pour le germanium et $n_i = 1{,}5.10^{10}$ cm^{-3} à 300 K, Eg = 1,1 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 ?

Réponses 2.1

1. L'AsGa.
2. $n_i = 1{,}8.10^6$ cm^{-3}.

Réponses 2.2

1. $4{,}41.10^{22}$ atomes par cm^3.
2. $n_i = 1{,}87.10^{13}$ cm^{-3}.
3. $4{,}2.10^{-10}$.

Réponses 2.3

1. 3.10^{-13}.
2. 1,08 eV.
3. a : type p, $p_0 = 10^{15}$ cm^{-3}, $n_0 = 2{,}25.10^{10}$ cm^{-3}. b : type n, $p_0 = 2{,}28.10^8$ cm^{-3}, $n_0 = 10^{12}$ cm^{-3}.
   c : type p, $p_0 = 3{,}62.10^{10}$ cm^{-3}, $n_0 = 6{,}2.10^9$ cm^{-3}.

Réponses 2.4

1. $A = 1{,}63.10^{19}$ cm^{-3}.
2. $n_i = 7{,}26.10^{16}$ cm^{-3}.

Réponses 2.5

1. $n_0 = \frac{N}{2}\left(1+\sqrt{1+\frac{4.n^2{}_i}{N^2}}\right)$.
2. type n, N > 0 ; type p, N < 0.
3. $n_0 = N\left(1+\frac{n^2{}_i}{N^2}\right)$.
4. $\frac{N}{n_i} = 4{,}47$.

Réponses 2.6

1. $n_i = 1{,}016.10^{10}$ cm^{-3}.
2. 10^{10} cm^{-3}, type n.
3. $p_0 = 6{,}25.10^9$ cm^{-3}, $n_0 = 1{,}6.10^{10}$ cm^{-3}.
4. 336 K.

Réponses 2.7

1. 1 : type p, 2 : type n, 3 et 4 : type p.
2. équilibre : $n_0.p_0 = n_i^2$, neutralité : $n_0 + N_A = p_0 + N_D$.
3. 1 : $n_0 = 6{,}9.10^6$ cm^{-3} $p_0 = 10^{13}$ cm^{-3}, 2 : $n_0 = 10^{15}$ cm^{-3} $p_0 = 6{,}9.10^4$ cm^{-3}, 3 et 4 : $n_0 = 6{,}9.10^2$ cm^{-3} $p_0 = 10^{17}$ cm^{-3}.

Réponses 2.8

Ge : $\frac{\Delta n_i}{n_i} = 4{,}8$ %, Si : $\frac{\Delta n_i}{n_i} = 7{,}6$ %.