[1]EXERCICE 1 : RESISTIVITE DU GERMANIUM PUR

On considère un barreau de germanium pur dont les propriétés essentielles sont données dans le tableau suivant :

Masse molaire	Masse volumique	Hauteur de bande interdite E_g
72,6 g	5,36 g.cm^{-3}	0,67 eV

Dans ce matériau, la mobilité des porteurs en fonction de la température est donnée par les expressions suivantes où T_0 correspond à 300 °K :

- Mobilité des électrons : $\mu_n(T) = \mu_{n0}(\frac{T}{T_0})^{-1,66}$ avec $\mu_{n0} = 3.8\ 10^3$ cm^2 V^{-1} s^{-1}.
- Mobilité des trous : $\mu_p(T) = \mu_{p0}(\frac{T}{T_0})^{-2,33}$ avec $\mu_{p0} = 1.5\ 10^3$ cm^2 V^{-1} s^{-1}.

D'autre part on donne :

- Nombre d'Avogadro = $6.02\ 10^{23}$
- Constante de Boltzman : $k = 1.38\ 10^{-23}$ J K^{-1}
- Charge élémentaire : $q = 1.6\ 10^{-19}$ C
- 1 eV = $1.6\ 10^{-19}$ Joule

1) Calculer le nombre d'atomes de germanium par cm^{-3}.

2) *On donne l'expression de la concentration intrinsèque d'un semi-conducteur :* $n_i = AT^{\frac{3}{2}}\exp(-\frac{E_g}{2kT})$ où A est une constante dépendant du matériau. Pour le germanium : $A = 1.44\ 10^{15}$ (?)

a) Déterminer l'unité de la constante A.

b) Calculer la densité de population des paires électrons trous crées par agitation thermique à la température T_0.

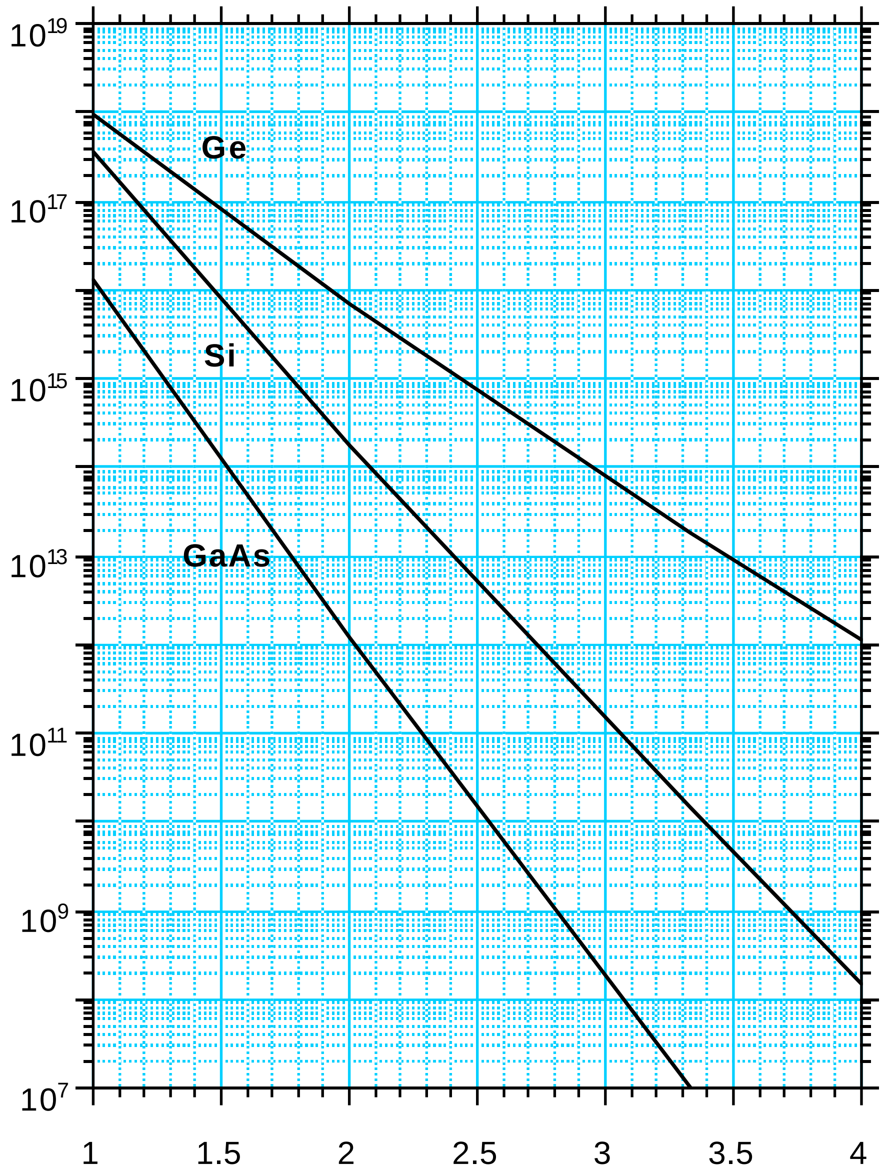
3) Quelle est alors, par unité de volume, la proportion d'atomes de germanium ionisés ? Comparer avec le cas d'un métal tel que : le cuivre (1 électron de valence) ou l'aluminium (3 électrons de valence).

4) Calculer la résistivité du germanium pur à la température T_0.

5) La température passe à T_1 = 200 °C. Calculer les nouvelles valeurs de toutes les grandeurs précédentes. On supposera que la hauteur de bande interdite est constante.

6) Retrouver la valeur de la concentration intrinsèque n_i pour les deux températures considérées en utilisant le graphe ci-dessous.

Concentration intrinsèque cm^{-3}



1000/T(°K)

Concentration intrinsèque en fonction de 1000/T(°K)

EXERCICE 2 : TEMPERATURE « INTRINSEQUE » D'UN SEMI-CONDUCTEUR

On dope un semi-conducteur intrinsèque avec un nombre N_D d'atomes donneurs par unité de volume. La densité des électrons de conduction est alors :

$$n(T) = N_D + n_{th}(T)$$

où n_{th} (T) représente la densité des électrons crées par l'agitation thermique à une température T.

A la température ambiante T_0 (300K), $N_D >> n_{th}(T_0)$, mais aux températures élevées la densité d'électrons : n_{th} (T) devient non négligeable. Dans ces conditions, il existe une température T_i, dite « température intrinsèque », pour laquelle :n_{th} $(T_i) = N_D$.
On se propose de déterminer cette température particulière pour les trois semi-conducteurs : G_e, S_i et G_aA_s en utilisant le graphe précédent.

1) A l'aide des deux lois fondamentales :

- Loi d'action de masse
- Equation de neutralité électrique

Exprimer n(T) en fonction de $n_i(T)$ et de N_D.

2) A la température intrinsèque T_i, on obtient : $n(T_i) = N_D + n_{th}$ (T_i) soit encore : $n(T_i) = 2\ N_D$.
A partir de cette relation et de la relation trouvée à la question précédente, exprimer $n_i(T_i)$ en fonction de N_D .

3) Donner alors la température intrinsèque des trois semi-conducteurs indiqués pour : $N_D = 10^{13}$ cm^{-3}
$N_D = 10^{15}$ cm^{-3}. Il est souhaitable de <u>dresser</u> <u>un</u> <u>tableau</u> des résultats.

CORRECTION EXERCICE 1

1. Nombre d'atomes de germanium par unité de volume : $4{,}426\ 10^{22}.cm^{-3}$.

2. .
    a. Unité de la constante A : porteurs / $cm^3/T^{3/2}$.

    b. Densité de population des paires électrons trous crées par agitation thermique à la température T_0 : $n_i\ (T_0) = 1{,}7910^{13}.cm^{-3}$.

3. Proportion d'atomes de germanium pur ionisés : dans 1 cm^3 on dénombre $4{,}426\ 10^{22}$ atomes de germanium pour $1{,}7910^{13}$ porteurs libres (électrons et trous). Il y a donc un seul atome ionisé pour $2{,}4610^9$ atomes.
Dans le cas du cuivre, chaque atome génère un électrons libre. Un atome d'aluminium génère trois électrons libres. C'est ce qui différencie le semi-conducteur du métal.

4. Résistivité du germanium pur à la température T_0 :

$$\boxed{\rho(T_0) = \frac{1}{qn_i(T_0)(\mu_n + \mu_p)} = 63\Omega.cm}.$$

Avec : $\mu_n\ (T_0) = 3800\ cm^2V^{-1}\ s^{-1}$ et $\mu_p\ (T_0) = 1500\ cm^2V^{-1}\ s^{-1}$.

5. La température passe à $T_1 = 473$ K.
Le nombre de paires électrons trous générés augment : $n_i\ (T_1) = 410^{15}\ cm^{-3}$, ce qui correspond à un atome ionisé pour 10^7 atomes de germanium.
Résistivité du germanium pur à la température T_1

$$\boxed{\rho(T_1) = \frac{1}{qn_i(T_1)(\mu_n + \mu_p)} = 0{,}126\Omega.cm}$$

Avec : $\mu_n\ (T_1) = 8091\ cm^2V^{-1}\ s^{-1}$ et $\mu_p\ (T_0) = 4333\ cm^2V^{-1}\ s^{-1}$.

6. On peut vérifier sur le graphe avec $1000/(T_0K) = 3{,}33$ et $1000/(T_1K) = 2{,}11$.

CORRECTION EXERCICE 2

1. Loi d'action de masse : $p(T)n(T) = n_i^2$

Neutralité électrique : $p(T)+N_D = n(T)$ (il n'y a pas ici d'atomes accepteurs)

$$p(T) = \frac{n_i^2}{n(T)} \qquad \frac{n_i^2}{n(T)} + N_D = n(T)$$

$$n^2(T) - N_D n(T) - n_i^2 = 0$$

Solution : $\boxed{n(T) = \frac{1}{2}(N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2(T)})}$

2. Sachant que n_i $(T_i) = 2$ N_D, il vient : $2N_D = \frac{1}{2}(N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2(T)})$

Solution :

$$\boxed{n_i(T_i) = N_D\sqrt{2}}$$

3. Tableau des résultats pour 1000/T(K)

Atomes donneurs	GaAs	Si	Ge
10^{13} cm^{-3}	1,75	2,35	3,4
10^{15} cm^{-3}	1,25	1,75	2,4

Températures intrinsèques :

Atomes donneurs	GaAs	Si	Ge
10^{13} cm^{-3}	571 K	425 K	294 K
10^{15} cm^{-3}	800 K	571 K	416 K