Ecole Nationale des Sciences Appliquées (Kénitra)

Université Ibn Tofaïl

Contrôle final de Physique 7 (propriétés de base des matériaux)
(Juin 2011)
Durée 2 heures

EXERCICE 1:

On considère un semi-conducteur tridimensionnel de type n dans lequel les atomes d'impuretés de type donneurs ont une concentration N_d et une énergie d'ionisation E_d.

1. Sachant que, pour les états d'impuretés d'énergie E la fonction de distribution est de la forme:

$$f(E) = \frac{1}{\frac{1}{2}e^{(E-E_F)/K_BT} + 1}$$

Calculer la densité n des électrons qui, issus des impuretés ionisées, peuplent la bande de conduction à la température T.

2. Rappeler l'expression de la densité d'états $D_c(E)$ des d'électrons de masse effective m_e^* dans la bande de conduction (on prendra l'origine des énergies au sommet de la bande de valence).

3. Etablir sous forme d'intégrale l'expression générale de la densité n des électrons dans la bande de conduction supposée semi-infinie (en fonction de E_F, E_g: largeur de la bande interdite et m_e^*: masse effective des électrons dans cette bande).

i) le niveau de FERMI est dans la bande interdite et la fonction de distribution de FERMI s'identifie sensiblement à la fonction de BOLTZMANN:

$$\int_0^{+\infty} \frac{\sqrt{x}.dx}{e^{x-\alpha}+1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2}e^{\alpha} \quad \text{si } -\infty < \alpha \le 0\text{; le semi-conducteur est non dégénéré.}$$

ii) le niveau de FERMI est situé à une énergie supérieure à $5k_BT$ au dessus du bas de la bande de conduction (E_C) et l'intégrale de FERMI donne:

$$\int_0^{+\infty} \frac{\sqrt{x}.dx}{e^{x-\alpha}+1} = \frac{2}{3}\alpha^{3/2} \quad \text{si } 5 \le \alpha < +\infty\text{; le semi-conducteur est dégénéré.}$$

a) L'expression ainsi établie est indépendante de la nature du semi-conducteur (dopé ou non) mais le résultat de l'intégration est fonction de la position du niveau de FERMI et on envisagera donc par la suite les deux cas suivants:

4. Montrer que dans le cas d'un semi-conducteur non-dégénéré, la densité des électrons de conduction peut se mettre sous la forme: $n = N_C\, e^{-\left(\frac{Eg-E_F}{k_BT}\right)}$; Expliciter N_C.

5- En négligeant les électrons provenant du processus intrinsèque, et identifiant cette dernière expression avec celle issue du **1**, déterminer l'expression de E_F dans les hypothèses où :

a) $8\frac{N_d}{NC}.e^{\frac{E_d}{k_BT}} << 1.$ dopage faible.

b) $8\frac{N_d}{NC}.e^{\frac{E_d}{k_BT}} >> 1.$ température basse

En déduire dans chaque cas l'expression correspondante de n ne faisant plus explicitement intervenir l'inconnu E_F.

6) Donner l'expression de la conductivité électrique σ d'un semi-conducteur dopé n de mobilité μ_n.

<u>Données numériques:</u> e=1,6x10^{-19}C, $\hbar$=1,055x10^{-34}J.s, m_0 = masse de l'électron = 9.1x10^{-31} Kg, k_B =1,38x10^{-23}J/K (Constante de BOLTZMANN).

EXERCICE II:

On dope un semi-conducteur intrinsèque avec un nombre N_d d'atomes donneurs par unité de volume. La densité des électrons de conduction à la température T est alors :

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

Où $n_{th}(T)$ représente la densité des électrons créés par l'agitation thermique à la température T.

A la température ambiante T_0 (300 K), $N_d >> n_{th}$, mais aux températures élevées, la densité d'électrons n_{th} devient non négligeable. Dans ces conditions, il existe une température T_i dite «température critique », pour laquelle : $n_{th}(T_i) = N_d$.

On se propose de déterminer cette température particulière pour le germanium Ge et le silicium Si en utilisant le graphe de la figure ci-dessous :

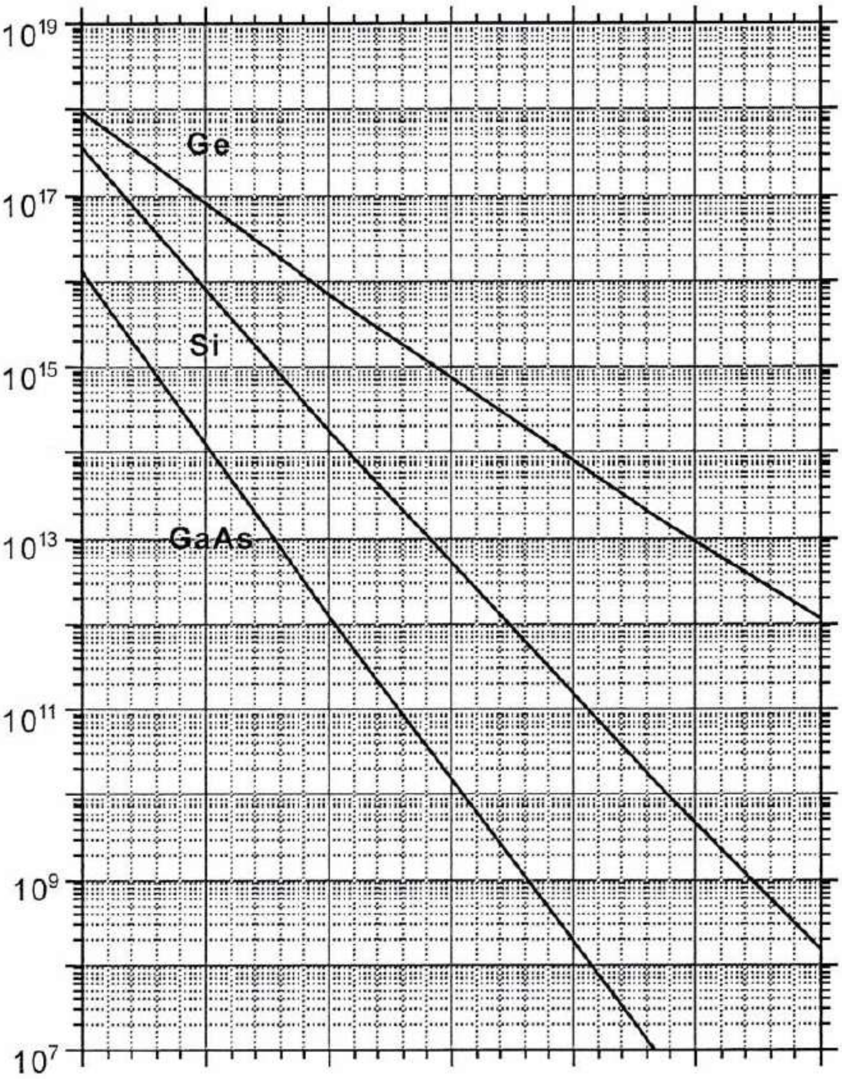
1- A l'aide de la relation $n(T).p(T) = n_i^2$ et la relation de neutralité électrique, exprimer n(T) en fonction de $n_i(T)$ et N_d.

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

3- Donner alors à la température intrinsèque des deux semi-conducteurs indiqués pour $N_d = 10^{15}/cm^3$. $n_i(T)$

Bonne chance.

Concentration intrinsèque cm^{-3}



1000/T(°K)

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