



**Devoir surveillé Physique des
semi-conducteurs
Documents non autorisés**

Durée : 1 h30

Exercice I:

1. Définir les semi-conducteurs et les isolants tout en expliquant la différence entre les deux.
2. Expliquer comment on crée des porteurs libres par:
 - le dopage type P
 - le dopage type N.
 - dans le cas où tous les atomes dopants sont ionisés, tracer les diagrammes des bandes d'énergie complets dans les deux cas.
3. Démontrer la loi d'action de masse.

Exercice II:

La probabilité d'occupation d'un niveau d'énergie E par un électron, à la température T est donnée par la fonction de Fermi:

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

1. Calculer $f(E_F)$. Que remarquez-vous?
2. Représenter $f(E)$ pour $T = 0$ tout en expliquant la courbe obtenue.
3. Quelle est la signification physique d' E_F .
4. En déduire La probabilité d'occupation d'un niveau d'énergie E par un trou $f_p(E)$ dans le semi-conducteur.
5. Que devient l'expression de $f(E)$ lorsque $(E - E_F)$ est de l'ordre de quelques kT .

Exercice III

Soit un semi-conducteur dopé par des atomes donneurs de concentration N_D . Ces atomes introduisent un niveau donneur d'énergie E_D dans la bande interdite du semi-conducteur.

Soient :

N_D la concentration totale d'atomes donneurs, N_D^+ la concentration des atomes ionisés, N_D^0 la concentration des atomes non ionisés, n la densité des électrons, p la densité des trous, E_F le niveau de Fermi.

On admet que la statistique d'occupation du niveau donneur est :

$$f_D(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E_D - E_F}{kT}\right)}$$

1. Donner l'expression de N_D^0 . En déduire celle de N_D^+ .
2. Ecrire l'équation de neutralité électrique.
3. Décrire qualitativement ce qui se passe dans le semi-conducteur en fonction de la température.
4. Pour des températures assez basses, les atomes dopants sont partiellement ionisés. Comparer la densité des trous p et des électrons n . Justifier.
5. Si on augmente la température,
 - a. Décrire son effet sur les concentrations des donneurs, des électrons et des trous.
 - b. Déterminer la condition (sur la température) pour laquelle on peut négliger la densité des trous.
6. On considère le semi-conducteur à température ambiante et à $T=0K$.
 - a. Représenter le diagramme des bandes énergétique du semi-conducteur dans les deux cas tout en mettant en valeur les différences.
 - b. Préciser quels sont les porteurs majoritaires et minoritaires dans les deux cas tout en précisant leur provenance.

Exercice IV :

On considère un semi-conducteur homogène, de type N, et de gap E_g . Les concentrations des électrons et des trous sont respectivement n et p .

1. Soit N_D la concentration des impuretés dans le semi-conducteur et E_D son niveau donneur. Décrire qualitativement comment évolue la concentration n des électrons lorsque la température augmente.
2. On introduit maintenant dans ce semi-conducteur des atomes « accepteurs » de concentration N_A et de niveau d'énergie accepteur E_A . Présenter le diagramme d'énergie complet du semi-conducteur en situant les différents niveaux d'énergie lorsque $N_A > N_D$.
3. A une certaine température T_0 assez basse, les deux impuretés se trouvent partiellement ionisées, la concentration des ions positifs et négatifs sont alors respectivement N_D^+ et N_A^- .
 - a. On considère toujours que $N_A > N_D$, déterminer à la température T_0 les concentrations n et p des électrons et des trous en fonction de N_D^+ , N_A^- et n_i .
 - b. Exprimer la résistivité de ce matériau.
 - c. Comparer la résistivité (question (b)) avec celle du semi-conducteur à $T=0K$.