

Travaux dirigés – Série 2

Problème n°1

On considère la fonction $f_{FD}(E)$ comme étant la fonction de distribution des électrons dans un semi conducteur ;

- 1- Rappeler l'expression de cette fonction de distribution ;
- 2- En déduire l'expression de la fonction de distribution des trous ;
- 3- Dans l'approximation de la statistique de Maxwell Boltzmann donner les fonctions équivalentes aux distributions des électrons et des trous ;
- 4- On considère le semi-conducteur non dégénéré ; établir les expressions des concentrations des porteurs de charge.

$$I(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha} \cdot e^{-x} \cdot dx = \alpha \sqrt{\pi}$$

Problème n°2

Soit un cristal semi-conducteur intrinsèque (Ge) à $T = 300K$;

- 1- Déterminer la position du niveau de Fermi intrinsèque d'un tel cristal ;
- 2- Calculer la concentration intrinsèque ;
- 3- Combien d'atomes de Ge donnent naissance à une paire électron/trou ?

On donne :

$$M_{Ge}=72,59g \quad \rho=5,33g/cm^3 \quad E_g=0,66eV \quad m_e=m_t=0,5m_0$$

Problème n°3

On considère un semi-conducteur intrinsèque dont les concentrations équivalentes d'états énergétiques dans les bandes de valence et de conduction sont notées n_v et n_c .

- 1- Rappeler les expressions des concentrations des porteurs de charges (n et p) ;
- 2- En déduire l'expression de la concentration intrinsèque n_i ainsi que la position du niveau de Fermi E_F ;
- 3- Le semi-conducteur en question est du silicium ; calculer la concentration intrinsèque et la position du niveau de Fermi aux différentes températures : $27^\circ C$, $127^\circ C$, $227^\circ C$.

$$E_g = 1,1 \text{ eV} \quad n_c = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \quad n_v = 1,1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \quad k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Problème n°4

On considère trois semi-conducteur dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous :

- 1- Parmi ces trois matériaux, quel est celui qui présente la concentration intrinsèque la plus faible ?
- 2- Parmi ces trois matériaux, quel est celui qui présente la concentration intrinsèque la plus faible ?
- 3- Calculer cette concentration intrinsèque pour le matériau choisi à $T = 300K$.

	E_g (eV)	n_c (at/cm³)	n_v (at/cm³)
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	$2,7 \cdot 10^{19}$	$1,10 \cdot 10^{19}$

Problème n°5

Dans un matériau semi-conducteur la concentration intrinsèque est donnée par la relation

$$n_i = A \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{2k_B T}\right)$$

- 1- Que représente la constante ΔE ?
- 2- Calculer la valeur de A pour les matériaux **Ge** et **Si** ;
- 3- En déduire les valeurs des concentrations intrinsèques correspondantes à $T=300K$;
- 4- Quelles sont les fractions d'atomes ionisés dans chaque cas.

On donne :

$$M_{Si}=28g \quad \rho=2,33g/cm^3$$

Problème n°6

On considère un barreau de silicium de longueur $L=5 \text{ mm}$ et de section $S=1 \text{ mm}^2$, fortement dopé par du phosphore dont la concentration est $N_d = 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$.

- 1- Quelle est la nature du dopage de ce semi conducteur ?
- 2- Calculer la concentration en trous et électrons ;
- 3- Calculer la résistivité. Comparer cette valeur à celle du métal cuivre ;
- 4- Calculer la valeur du courant qui circule dans ce barreau lorsque l'on applique une d.d.p de 5V à ses extrémités.

On donne :

$$\text{Silicium :} \quad \mu_n = 1,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/Vs \quad \mu_p = 5,3 \cdot 10^2 \text{ cm}^2/Vs \quad n_i = 1,1 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

$$\text{Cuivre :} \quad n = 11 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3} \quad \mu_e = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/Vs$$

Travaux dirigés – Série 3

Problème n°1

Un barreau de silicium de type N de longueur $L=2 \text{ mm}$ et de section $S=1 \text{ mm}^2$, sa résistance à $T=300\text{K}$ est de 100Ω .

1. Calculer la résistivité de ce barreau ;
2. En déduire la concentration des porteurs majoritaires et minoritaires ;
3. A quelle température, le nombre d'électrons provenant de la rupture des liaisons de valence est-il égale au nombre d'électrons provenant de l'ionisation des atomes donneurs.

Silicium : $\mu_n = 1,4 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $\mu_p = 0,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $E_g = 1,12 \text{ eV}$
 $n_c = n_v = 2,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Problème n°2

On se propose d'étudier la conductivité électrique d'un semi conducteur en fonction du dopage.

1. Donner l'expression de la conductivité en fonction des concentrations n et n_i ;
2. Calculer la conductivité minimale (σ_m) que l'on peut obtenir par dopage en fonction de :
 μ_n, μ_p, σ_i (conductivité intrinsèque) ;
3. En déduire les concentrations des porteurs de charges n et p ainsi que la concentration de dopants ($N_d - N_a$).

Germanium ($T=300\text{K}$) : $\mu_n = 3,6 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $\mu_p = 1,8 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $n_i = 2 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$

Problème n°3

On a introduit 10^{-6}g d'arsenic par gramme de silicium.

1. De quel type de dopage s'agit-il ; justifier votre réponse
2. Calculer la résistivité d'un cristal de silicium;

Silicium : $\mu_n = 1,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $\mu_p = 5,3 \cdot 10^2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $n_i = 1,1 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$

Problème n°4

On souhaite étudier l'effet du dopage sur la résistivité d'un cristal de Germanium. On dope ce cristal par des atomes de Phosphore puis par des atomes de Bore.

1. Déterminer la concentration atomique du Germanium ;
2. Sachant qu'à $T=300K$ tous les atomes de Phosphore et de Bore sont ionisés ; calculer la résistivité correspondante à chaque cas de dopage, lorsque l'on ajoute :
 - a- Un atome de Phosphore pour 10^5 atomes de Germanium ;
 - b- Un atome de Bore pour 10^5 atomes de Germanium ;
 - c- Interpréter ces résultats ;
3. Quelle doit être la concentration des atomes de Bore pour que les deux résistivités soient égales.

Germanium ($T=300K$) : $n_i = 2 \cdot 10^{19} m^{-3}$

Problème n°5

Soit un cristal de Silicium dopé par des atomes de Bore à raison de 10^{16} atomes/cm³.

Partie A

1. En supposant qu'à la température $T=50K$ tous les atomes de Silicium sont neutres, quelle est la concentration des atomes ionisés et celle des atomes neutres de Bore, si la concentration des porteurs majoritaires vaut 10^{15} trous/cm³ ;
2. En déduire la concentration des porteurs minoritaires ;

Partie B

On porte la température du cristal à $T=300K$, de sorte que tous les atomes additifs soient ionisés ;

1. Calculer la concentration :
 - a. intrinsèque ;
 - b. des trous libres ;
 - c. des électrons libres
- 2- Déterminer la position du niveau de Fermi par rapport au niveau intrinsèque ;
- 3- Trouver la température pour laquelle la concentration intrinsèque devient égale à la concentration des atomes accepteurs. On négligera les variations des concentrations n_c et n_v en fonction de la température ;

$$E_g = 1,12 \text{ eV}$$

$$m_e = 1,05m_0$$

$$m_t = 0,61m_0$$

=====

Silicium $M_{Si}=28g$ $\rho_{Si}=2,33g/cm^3$

Arsenic $M_{As}=74,9g$

Germanium $M_{Ge}=72,59g$ $\rho_{Ge}=5,33g/cm^3$