

But de cette série : comprendre l'effet du dopage dans les semiconducteurs

1. Impuretés et dopage

- (a) Expliquer ce que l'on entend par dopage dans un semi-conducteur, et décrire les propriétés des différents types d'impuretés.
- (b) A l'aide de la portion de tableau périodique montré ci-contre, établir si les impuretés suivantes sont donneurs, accepteurs, ou de type neutre dans les semiconducteurs avec structure type diamant considérés :
 - (i) P qui remplace Si dans Si ;
 - (ii) Ge qui remplace Ga dans GaAs ;
 - (iii) Al qui remplace P dans GaP ;
 - (iv) Si qui remplace C dans SiC.

5 B Boron $1s^2 2s^2 2p^1$	6 C Carbon $1s^2 2s^2 2p^2$	7 N Nitrogen $1s^2 2s^2 2p^3$
13 Al Aluminum $[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$	14 Si Silicon $[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$	15 P Phosphorus $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$
31 Ga Gallium $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^1$	32 Ge Germanium $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^2$	33 As Arsenic $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^3$

2. Conductivité électrique intrinsèque et extrinsèque : impuretés résiduelles

On considère des cristaux des semiconducteurs suivants : Ge, Si, InAs, GaAs. On admet qu'il ne soit pas possible de réduire la concentration relative des atomes d'impuretés en dessous de 10^{-10} pour les cristaux composés d'un seul élément et de 10^{-8} pour les composés binaires.

En utilisant la loi d'action de masse, préciser la nature intrinsèque ou extrinsèque des porteurs de charge et donc de la conductivité électrique σ des semiconducteurs considérés à température ambiante. Calculer la valeur de la conductibilité σ pour les quatre systèmes.

Hypothèses, simplifications et indications :

utiliser les données du Tableau 7.1 pour les valeurs de E_g et du Tableau 7.5 pour les mobilités ;
la masse effective des électrons et des trous est prise égale à la masse des électrons libres ;
densités maximales de porteurs de charge : $N = P = 2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$;
densité atomique typique : $5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$;
toutes les impuretés résiduelles sont des donneurs et sont toutes ionisées.

3. Jonction $p - n$ - Modèle de Schottky

En partant des expressions vues en cours au paragraphe 7.6.2 (Eqs. 7.60, 7.63, 7.64)

- (a) montrer que $e\Delta\phi = E_g + k_B T \ln \frac{N_d N_a}{NP}$;
- (b) trouver les expressions pour d_n et d_p (Eq. 7.65 du polycopié).

4. GaAs intrinsèque et dopé : calcul de la position du potentiel chimique

Cet exercice permet de se convaincre, par des applications numériques, du comportement du potentiel chimique en fonction du dopage.

À 300 K, l'arséniure de gallium (GaAs) a un gap de 1.43 eV, une masse effective des électrons $m_c = 0.065 m$ et des trous $m_v = 0.45 m$, avec m la masse de l'électron libre.

- (a) Calculer la position du potentiel chimique et la densité de porteurs intrinsèques n_i .

Le rapport $\frac{\Delta n}{n_i} = \frac{n - p}{n_i}$, avec n_i la densité de porteurs intrinsèques, donne une mesure de l'importance des impuretés en tant que source de porteurs de charge. On peut exprimer $\frac{\Delta n}{n_i}$ comme (Eq. 7.25 du polycopié) :

$$\frac{\Delta n}{n_i} = 2 \sinh [\beta (\mu - \mu_i)].$$

A l'aide de cette expression, répondre aux questions suivantes.

- (b) Après avoir ajouté 2×10^{15} donneurs/cm³, qui sont tous ionisés, où se trouve le potentiel chimique ?

Indications :

$$\operatorname{arcsinh}(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$$

$$\operatorname{arcsinh}(-x) = -\operatorname{arcsinh}(x)$$

- (c) Si, en plus des 2×10^{15} donneurs/cm³, on ajoute 1×10^{16} accepteurs/cm³ aussi tous ionisés, où se trouve le potentiel chimique à la fin ?

5. Chapitre 7 - Questions de compréhension

- (a) On modélise les impuretés (donneurs et accepteurs) à l'aide du modèle de l'atome d'hydrogène. Quelles sont les corrections que l'on doit apporter aux expressions de l'énergie de liaison et du rayon ?
- (b) Esquisser la courbe caractéristique j vs V d'une jonction $p - n$. Préciser quels sont les porteurs de charge qui contribuent au courant dans les différents régimes.