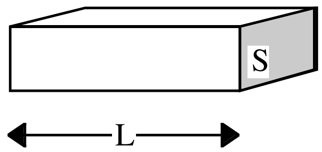
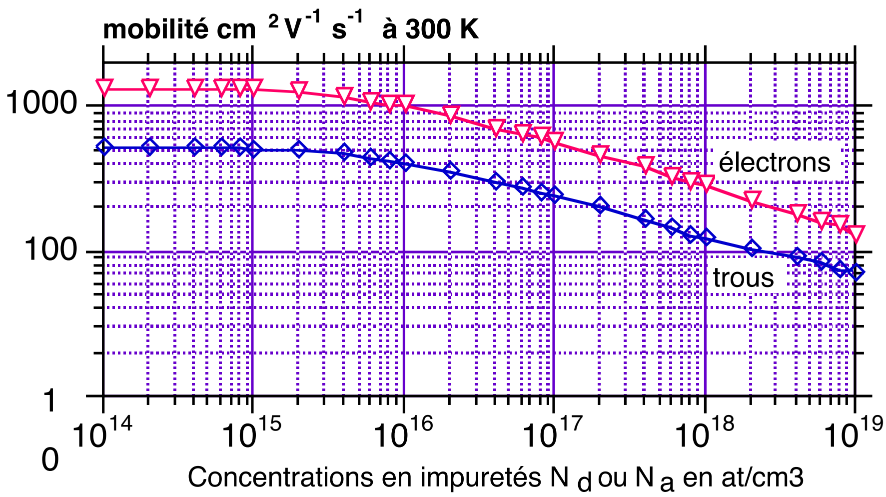
[1]DERIVE EN TEMPERATURE DE LA BARRIERE DE POTENTIEL D'UNE JONCTION P N

On considère à la température T = 300 K, deux barreaux de silicium de dimensions identiques (L = 100 mm, section S = 100 mm^2). L'un est uniquement dopé au bore ($N_a = 10^{16}$ atomes cm^{-3}) et l'autre uniquement au phosphore ($N_d = 10^{17}$ atomes cm^{-3}). On donne la concentration intrinsèque du silicium à 300 K : $n_i = 1.45\ 10^{10}$ cm^{-3} et le graphe indiquant l'évolution de la mobilité des porteurs en fonction du dopage.



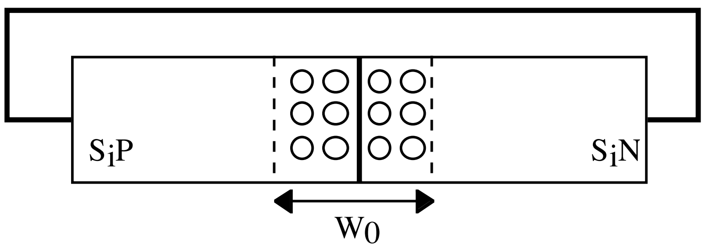


1) Déterminer à 300 K la densité de population des porteurs libres dans chaque barreau ainsi que la résistance correspondante entre les extrémités séparées par la longueur L (on justifiera les approximations utilisées).

   a) Barreau dopé P

   b) Barreau dopé N

2) On met en contact les deux barreaux de manière à former une jonction PN. Cette jonction est par ailleurs court-circuitée.



   a) Indiquer sur la figure où se trouvent l'anode et la cathode du dispositif.

   De part et d'autre de la zone de contact, il se crée une charge d'espace, d'épaisseur W_0, constituée par une répartition uniforme d'ions de bore et de phosphore.

   b) Commenter le phénomène qui est à l'origine de la présence de ces ions.
   c) Indiquer sur la figure le signe de la charge électrique des ions bore et phosphore.
   d) Sans faire de calcul, quel est l'ordre de grandeur de l'épaisseur W_0 de la Z.C.E.?

Les ions fixes de la Z.C.E. forment deux couches de charges qui créent une barrière de potentiel V_Φ jouant un rôle essentiel dans le fonctionnement de la jonction. On donne l'expression de V_Φ :

$$V_\Phi = \frac{kT}{q}\ln(\frac{N_a N_d}{n_i^2}) \quad (1)$$

k constante de Boltzman, q : charge élémentaire.

La barrière de potentiel V_Φ dépend de la température par l'intermédiaire de la variable T d'une part et de la concentration intrinsèque du silicium n_i d'autre part.
Sachant qu'on s'intéresse à la variation dV_Φ de la barrière de potentiel avec la température, on doit écrire une différentielle totale :

$$dV_\Phi = \left[\frac{\partial V_\Phi}{\partial T}\right]_{n_i \ constant} dT + \left[\frac{\partial V_\Phi}{\partial n_i}\right]_{T \ constant} dn_i$$

3) Déterminer dans ces conditions l'expression de la variation dV_Φ .

4) On donne l'expression de la concentration intrinsèque n_i du silicium :

$$n_i = A \ T^{3/2} \exp(-\frac{E_G}{2kT}) \ (2)$$

où A est une constante et E_G représente la hauteur de bande interdite du silicium. En effectuant une différentielle logarithmique déterminer l'expression $\frac{dn_i}{n_i}$ sachant que la température est variable.

5) En déduire en utilisant le résultat de la question 3, l'expression de la dérive en température de la barrière de potentiel V_Φ c'est-à-dire : $\frac{dV_\Phi}{dT}$.

6) Faire l'application numérique à T = 300 K sans oublier l'unité de $\frac{dV_\Phi}{dT}$.
On donne E_G = 1,12 . 1.6 10^{-19} J , k = 1.38 10^{-23} J.K^{-1} et q = 1.6 10^{-19} C.

CORRECTION

1) On exploite les relations suivantes :
   - Loi d'action de masse : $p.n = n_i^2$
   - Conductivité: $\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$
   - Résistance : $R = \frac{1}{\sigma}\frac{L}{S}$

Barreau dopé P :

Densité population trous	Densité population électrons	Mobilité des trous	Résistivité	Résistance
$p = N_a = 10^{16}\,cm^{-3}$	$2{,}1\ 10^{14}\ cm^{-3}$	$\mu_p = 400\ cm^{-2}V^{-1}\ s^{-1}$	1,563 Ω.cm	15,63 kΩ

Barreau dopé N :

Densité population trous	Densité population électrons	Mobilité des électrons	Résistivité	Résistance
$p = 2{,}1\ 10^3\,cm^{-3}$	$n = N_d = 10^{17}\ cm^{-3}$	$\mu_n = 550\ cm^{-2}V^{-1}\ s^{-1}$	$113\ 10^{-3}$ Ω.cm	1,13 kΩ

2) Voir le cours : théorie générale des semi-conducteurs.

3) Calcul des dérivées partielles de la relation (1) :
   - $$\left(\frac{\partial V_\Phi}{\partial T}\right)_{ni\ ct} = \frac{k}{q}\ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right)$$
   - $$\left(\frac{\partial V_\Phi}{\partial n_i}\right)_{T\ ct} = \frac{kT}{q}\left(-\frac{2}{n_i}\right)$$

$$\boxed{dV_\Phi = \frac{k}{q}\ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right)dT - \frac{2kT}{q}\frac{dn_i}{n_i}}$$ ou encore : $dV_\Phi = \frac{V_\Phi}{T}dT - \frac{2kT}{q}\frac{dn_i}{n_i}$

4) Dérivée par rapport à n_i de la relation (2) : $n_i = A\ T^{3/2}\exp(-\frac{E_G}{2kT})$

$$\ln(n_i) = \ln(A) + \frac{3}{2}\ln(T) - \frac{E_g}{2kT}$$

$$\boxed{\frac{dn_i}{n_i} = \frac{3}{2}\frac{dT}{T} + \frac{E_g}{2k}\frac{dT}{T^2}}$$

5) Expression de la dérive en température de la barrière de potentiel V_Φ.

$$dV_\Phi = \frac{V_\Phi}{T}dT - \frac{2kT}{q}\left(\frac{3}{2}\frac{dT}{T} + \frac{E_g}{2k}\frac{dT}{T^2}\right)$$

$$\boxed{\frac{dV_\Phi}{dT} = \frac{V_\Phi}{T} - \frac{3k}{q} - \frac{E_g}{qT}}$$

6) Application numérique : $V_\Phi = \frac{k}{q}\ln\left[\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right] = 755{,}4\,mV$ $\qquad$ $\frac{dV_\Phi}{dT} = -1{,}47\,mV\,K^{-1}$