

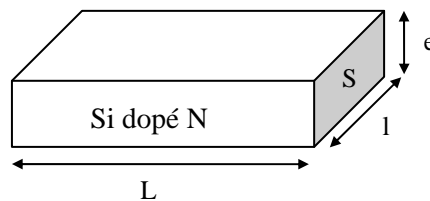
TEST de Physique - Semestre 4 (4 Avril 2014) - Groupe B4
 Documents autorisés (Cours et TDs UNIQUEMENT) - Durée : 1h45
 Les exercices sont indépendants

I- Influence du dopage sur la conductance d'un semi-conducteur (8 points : 1/1,5/1/1/2/1,5)

On considère à la température $T = 300\text{K}$, un **barreau de silicium dopé exclusivement N**, dont les propriétés sont les suivantes :

- Longueur $L = 100 \mu\text{m}$
- Largeur $l = 40 \mu\text{m}$
- Epaisseur $e = 10 \mu\text{m}$
- Concentration uniforme telle que $N_D = 10^{15} \text{ atomes.cm}^{-3}$

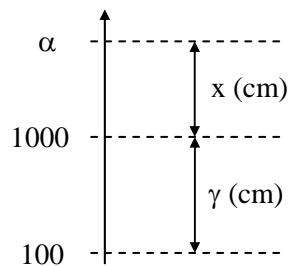
On donne : $n_i = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ et $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



1/ Calculer la concentration en porteurs libres dans le silicium dopé N.

2/ En vous appuyant sur la figure 1, déterminer graphiquement la mobilité de ces porteurs **en utilisant la méthode suivante** :

Mobilité (échelle log)



$$\alpha = 1000 \cdot 10^{\frac{x}{\gamma}}$$

3/ En déduire la valeur de la conductance G du barreau entre les extrémités séparées par la longueur L .
 On rappelle que $G = 1/R$.

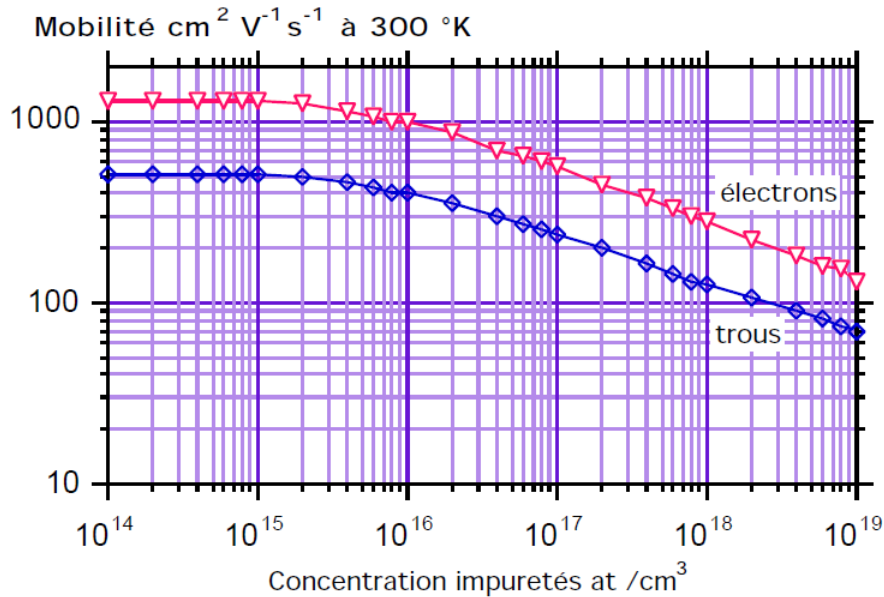
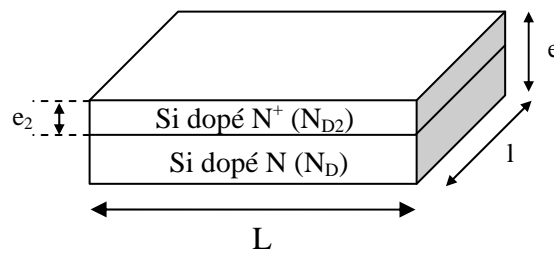


Figure 1 : Variations de la mobilité des porteurs libres en fonction du dopage dans le silicium à 300K

4/ La conductance G du barreau étant jugée trop faible, on diffuse uniformément du phosphore sur la face supérieure avec une concentration $N_{D2} = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. On se propose de déterminer l'épaisseur e_2 de cette couche de manière à obtenir une nouvelle conductance G' telle que : $G' = K \cdot G$ avec $K > 0$.



4-a/ Donner l'expression des conductances G_1 (partie supérieure) et G_2 (partie inférieure) des deux couches en présence. On utilise les indices 1 et 2 pour distinguer les paramètres caractéristiques des deux couches de silicium.

4-b/ Donner l'expression de la conductance G' en fonction de G_1 et G_2 puis montrer que l'épaisseur e_2 peut se mettre sous la forme suivante :

$$e_2 = (K - 1) \cdot \frac{e \cdot \rho_2}{\rho_1 - \rho_2}$$

4-c/ Calculer la valeur de e_2 (en μm) si $K = 20$.

II- Détermination du gap d'un matériau (5 points : 2/2/1)

On considère 2 barreaux identiques de longueur $L = 1 \text{ mm}$ et de section $S = 1 \text{ mm}^2$ constitués d'un même matériau **semi-conducteur intrinsèque** à déterminer et pour lequel on donne :

$$n_i = 2.10^{13} \text{ cm}^{-3} \text{ à } T = 300\text{K}$$

$$\text{permittivité relative } \epsilon_r = 16$$

$$\text{masse atomique : } M = 72,6 \text{ g/mol}$$

$$\text{masse volumique : } d = 5,32 \text{ g/cm}^3$$

On rappelle que :

$$\epsilon_0 = 8,85.10^{-12} \text{ F/m}$$

$$k = 1,38.10^{-23} \text{ J/K} = 8,62.10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$\text{Nombre d'Avogadro } A_0 = 6,02.10^{23} \text{ atomes/mole}$$

1/ Déterminer les concentrations n et p en électrons libres et en trous libres dans chacun de ces barreaux.

2/ La concentration intrinsèque n_i d'un matériau dépend de la température selon la relation suivante :

$$n_i(T) = A.T^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

où $A = 1,6 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3} \cdot \text{K}^{-3/2}$ avec E_g : énergie de la bande interdite (gap)

2-a) Déterminer l'expression de E_g en fonction de A , T , k et $n_i(T)$.

2-b) A partir de l'application numérique et en vous aidant du tableau ci-dessous, quel est le matériau constituant les deux barreaux ?

Matériau	C (diamant)	Silicium	Germanium	Arseniure de Gallium
Eg (eV)	5,47	1,12	0,67	1,4

III- Etude d'une jonction PN comme capteur de température (7 points : 1/1/1/1,5/1,5)

Une diode PN est modélisée par la juxtaposition de deux barreaux de silicium différemment dopés comme représenté en figure 2 (jonction dite métallurgique).

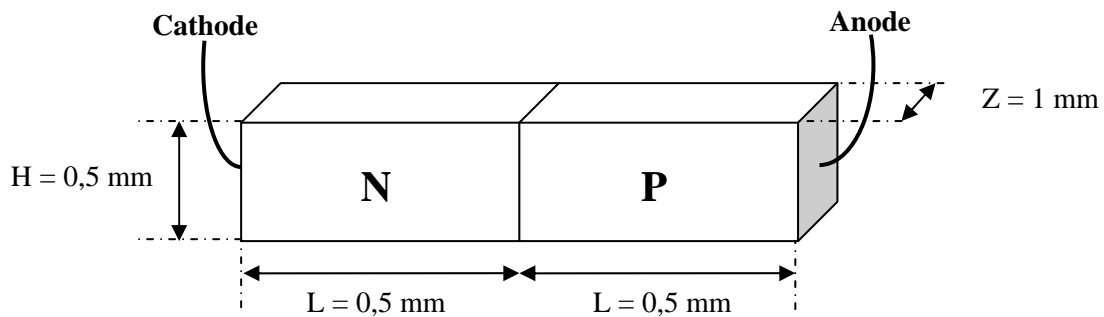


Figure 2 : Caractéristiques géométriques de la jonction métallurgique

La concentration N_D des atomes dopants dans le SC de type N est égale à $4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. La concentration intrinsèque n_i est égale à $1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ à 300K dans le silicium.

1/ Calculer les concentrations en électrons (n_N) et trous (p_N) en cm^{-3} dans le SC de type N à 300K.

2/ Calculer la résistance R_N du barreau de type N. On donne, en figure 3, les courbes de mobilité des porteurs à 300K en fonction des concentrations de dopants.

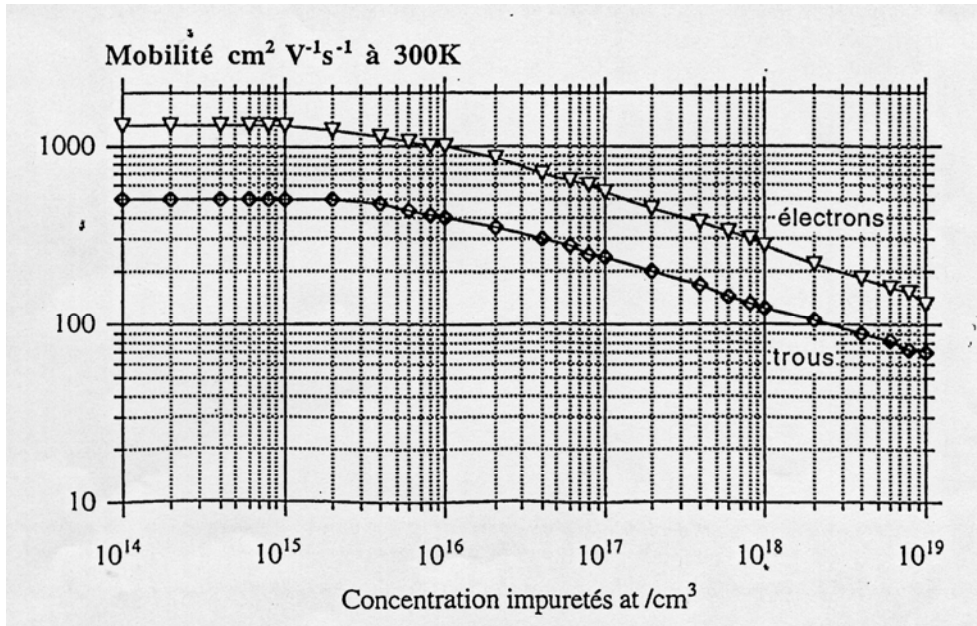


Figure 3 : Variations de la mobilité des porteurs en fonction de la concentration d'impuretés à 300K

3/ Technologiquement, le SC de type P est obtenu en faisant **diffuser des éléments de la III^{ème} colonne dans le SC de type N** comme représenté en figure 4.

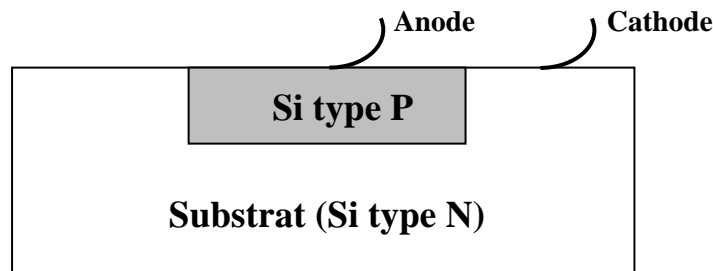


Figure 4 : Réalisation technologique de la jonction PN

Les concentrations de dopants sont les suivantes : $N_D = 4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ et $N_A = 4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Calculer les concentrations (en cm^{-3}) en électrons n_p et en trous p_p dans le SC de type P.

4/ Calculer la résistance du barreau de type P.

5/ La caractéristique I-V d'une diode se met sous la forme :

$$I = I_s \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right]$$

avec I_s : courant inverse de saturation dû principalement aux porteurs minoritaires des régions N et P.

On montre que la variation en température du courant I_s , autour d'une température donnée T_1 , peut se mettre sous la forme suivante :

$$\left. \frac{\Delta I_s}{\Delta T} \right|_{T_1} = I_s(T_1) \cdot B(T_1) \quad [E-1]$$

avec $B(T_1)$ représentant une constante (en K^{-1})

On veut déterminer la température T_2 telle que : $I_s(T_2) = 2 \cdot I_s(T_1 = 300\text{K})$. On suppose que T_2 est suffisamment proche de T_1 pour que la courbe $I_s(T)$ soit assimilée à une droite (figure 5).

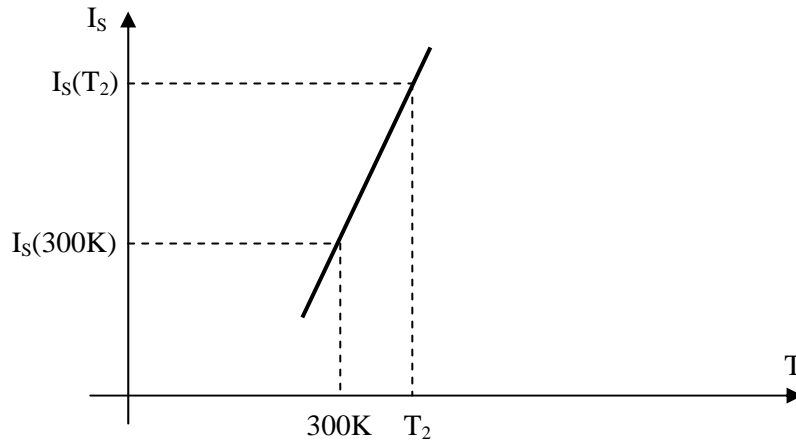


Figure 5 : Variation du courant I_s en fonction de la température

5-a/ Exprimer $\Delta I_s / \Delta T$ (pente de la droite) en fonction de $I_s(T_1)$, $I_s(T_2)$, T_1 , T_2 .

5-b/ En égalant l'expression trouvée à la question précédente à l'équation [E-1], calculer T_2 . On donne $B(T_1) = 0,154 \text{ K}^{-1}$.

6/ La diode est utilisée comme capteur de température. On l'insère dans le montage de la figure 6. On donne : $I_s(300\text{K}) = 2,5\text{pA}$. Calculer la valeur de la tension V_R à T_1 et à T_2 .

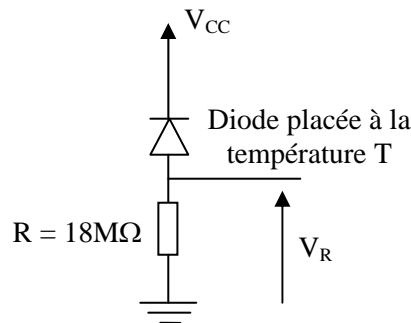


Figure 6 : Diode utilisée comme capteur de température

IV- Technologie et caractérisation d'une jonction intégrée (4 points : 2/2)

Une **jonction P⁺⁺N intégrée** est réalisée dans **du Germanium** de type N dopé à l'indium (substrat d'épaisseur $500\mu\text{m}$) avec une concentration $N_D = 5.10^{14} \text{ at/cm}^3$. Ensuite, la région P est diffusée directement dans le substrat N et fortement dopée avec une concentration en impuretés de $N_A = 3.10^{18} \text{ at/cm}^3$ sur une épaisseur de $10 \mu\text{m}$. La section de la diode est égale à $S = 2400\mu\text{m}^2$.

Caractéristiques du Germanium :

Mobilité des électrons : $\mu_n = 3900 \text{ cm}^2/\text{V.s}$

Mobilité des trous : $\mu_p = 1900 \text{ cm}^2/\text{V.s}$

Permittivité relative : $\epsilon_r = 16,3$

Concentration intrinsèque : $n_i = 2,5.10^{13} \text{ at/cm}^3$

On rappelle : $\epsilon_0 = 8,85.10^{-14} \text{ F.cm}^{-1}$ et $q = 1,6.10^{-19} \text{ C}$

1/ Quelle est la nature et l'origine des charges présentes dans la Zone de Charge d'Espace (ZCE) ?

2/ Calculer :

- La valeur du potentiel de diffusion V_ϕ .

- L'épaisseur W_0 (en micron) de la ZCE en l'absence de polarisation.