[1]CONDUCTANCE D'UN BARREAU DE SILICIUM P NON HOMOGENE

On considère à T = 300 K, un barreau de silicium de type P dopé au bore uniquement dont les dimensions sont données en figure 1. On se propose de déterminer la conductance G=1/R du dispositif entre les faces séparées par la distance L.

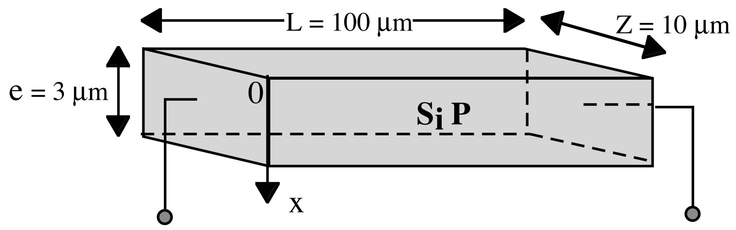


Figure 1 : barreau de silicium dopé au bore

Le silicium P possède une répartition d'atomes accepteurs N_a (x) non homogène (figure 2). En effet, suivant l'axe ox, la concentration N_a (x) des atomes de bore varie de 10^{18} atomes.cm^{-3} à la surface du dispositif (x = 0) à 10^{16} atomes.cm^{-3} pour x = e avec une loi telle que :

$$\boxed{N_a(x) = N_S \exp\left(-\frac{x^2}{L_p^2}\right)} \quad (1)$$

Où L_p représente la longueur de diffusion des atomes de bore dans le silicium et N_S la concentration en surface (x = 0) des atomes de bore soit 10^{18} atomes. cm^{-3}.

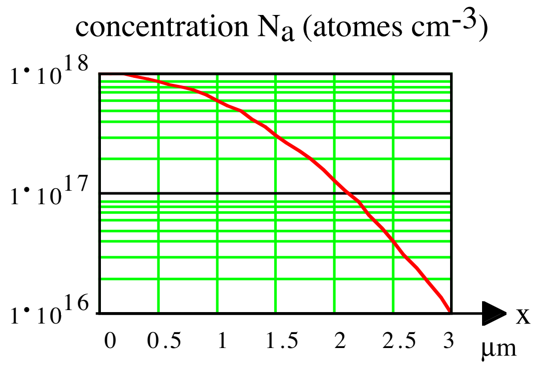
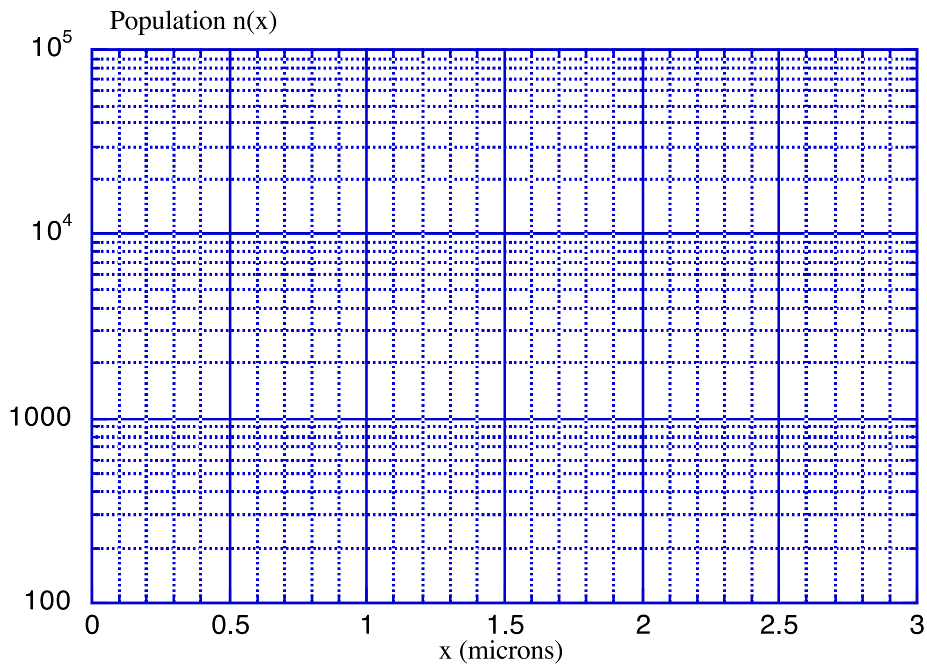


Figure 2 : Profil de concentration des atomes de bore selon l'axe ox

1. Déterminer, en utilisant le graphe de la figure 2, la valeur de la longueur de diffusion L_p (en micron) des atomes de bore dans le silicium.

2. Rechercher l'expression de l'évolution suivant l'axe ox de la population p (x) des trous libres et des électrons libres n (x) dans le barreau de silicium P. On donne : $n_i = 1.45.10^{10}$ cm^{-3}. Tracer le graphe de n (x). Que peut-on dire de la population des électrons vis-à-vis de la population des trous ?

[1] Ph.ROUX©2005



Sachant que la concentration N_a des atomes accepteurs, varie en fonction de la distance x, la mobilité des trous évolue selon le graphe donné en figure 3 pour $10^{16} < N_a < 10^{18}$ .cm-3.

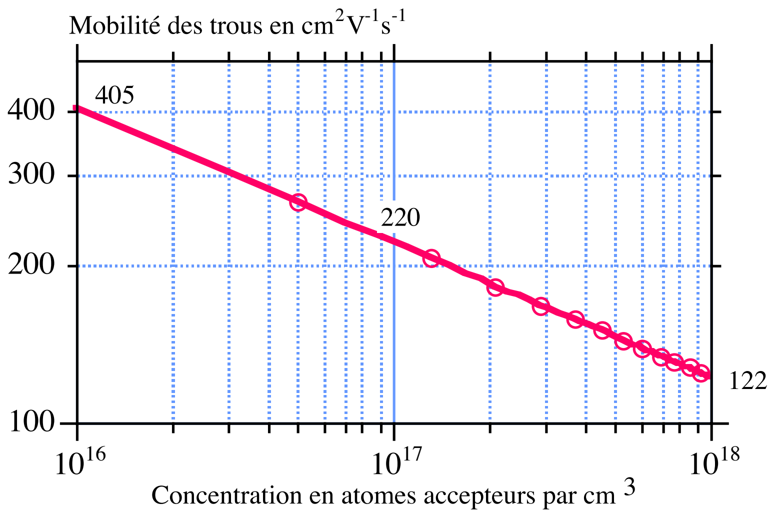


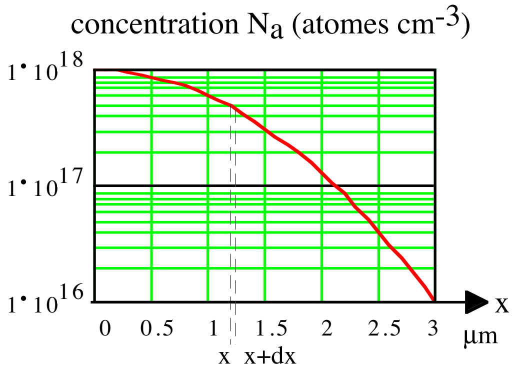
Figure 3

La mobilité des trous est telle que :

$$\boxed{\mu_P = a\ (N_a)^{-b}} \qquad (2)$$

3. En exploitant le graphe de la figure 3, déterminer la valeur des coefficients a et b de l'équation (2). Remarque : on peut écrire l'équation (2) selon : $\log(\mu_P) = -\ b\ \log(N_a) + \log a$

Pour calculer la conductance G du barreau, on va considérer en x (figure 4), un élément d'épaisseur dx suffisamment faible pour que l'on puisse considérer alors N_a comme constant dans l'intervalle dx.



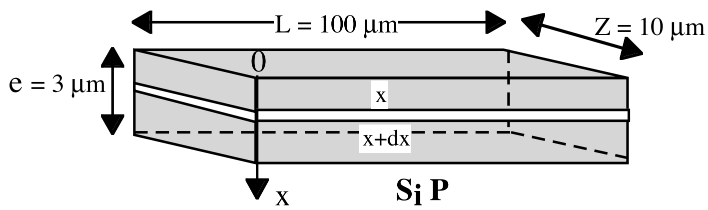


Figure 4

4. Ecrire en justifiant, l'expression de la conductance élémentaire dG pour une tranche dx du barreau, en fonction de : q la charge élémentaire, a, b, N_S, x, L_p, Z, L.

5. En déduire l'expression de l'intégrale exprimant la conductance G du barreau.
Cette intégrale n'a pas de solution littérale. On est donc contraint de faire son calcul numérique qui donne le résultat suivant : ***G = 2,79 10^{-4} S soit : R = 3,57 KΩ.***

6. Déduire du résultat précédent, la <u>résistivité moyenne</u> ρ_{moyen} du barreau de silicium en utilisant la formule habituelle.

Afin d'effectuer un calcul littéral simple de la conductance, on propose une méthode approchée qui consiste à diviser l'épaisseur e en trois parties égales d'épaisseur 1µm (figure5) :

- *Partie 1 : $0 \le x \le 1$ µm Na = 8 .10^{17} atomes. cm^{-3}*
- *Partie 2 : $1 \le x \le 2$ µm Na = 3 .10^{17} atomes. cm^{-3}*
- *Partie 3 : $2 \le x \le 3$ µm Na = 4 .10^{16} atomes. cm^{-3}*

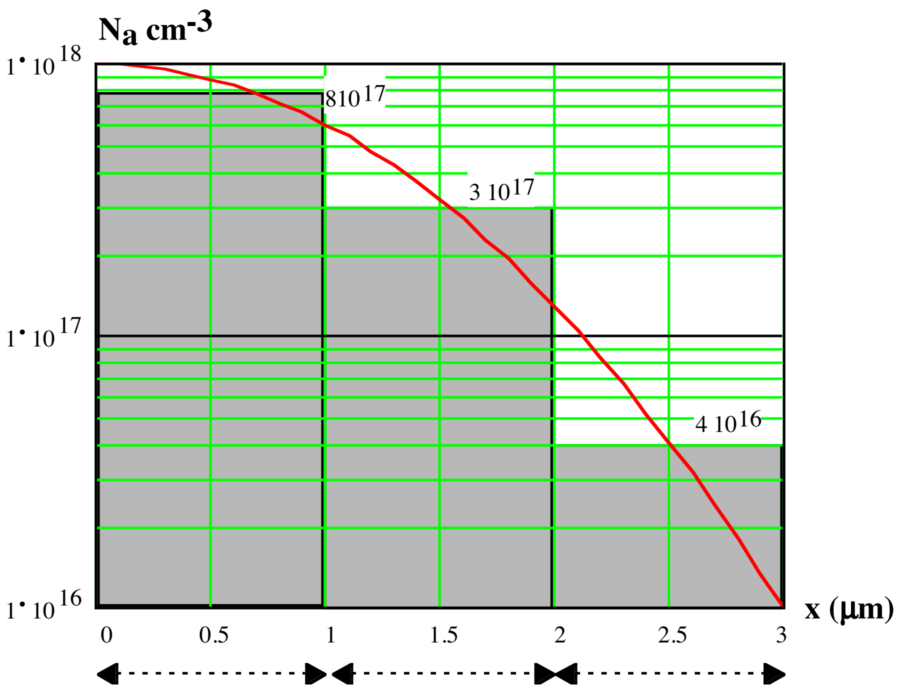


Figure 5

7. Calculer la conductance des trois bandes de silicium. A cet effet, on a intérêt à calculer la valeur de la mobilité des trous en utilisant l'équation (2) ou la mesurer sur le graphe de la figure 3 pour ceux qui n'ont pas pu déterminer la valeur des coefficients a et b. On dressera le tableau suivant :

8. Déduire du tableau précédent, la valeur de la conductance G du barreau puis sa résistance R. Calculer l'erreur relative avec laquelle on a déterminé la résistance R du barreau compte tenu du résultat de la question 5.

CORRECTION

1. La relation (1) donne : $N_a(e) = N_S \exp\left(-\frac{e^2}{L_p^2}\right)$ soit : $\boxed{L_p = \frac{e}{\sqrt{\ln\left(\frac{N_s}{N_a(e)}\right)}}}$

   Avec : e = 3 µm et N_a (e) = 10^{16} atomes.cm^{-3} : L_p = 1,4 µm.

2. La population des trous p (x) est identique à celle des atomes accepteurs : $p(x) = N_S \exp\left(-\frac{x^2}{L_p^2}\right)$.

   La population des électrons libres est donnée par la loi d'action de masse :

$$n(x) = \frac{n_i^2}{p(x)} = \frac{n_i^2}{N_S \exp\left(-\frac{x^2}{L_p^2}\right)}$$

x (µm)	0	1	1,5	2	2,5	3
N (x) cm^{-3}	210	350	662	1618	5100	20.10^3

   Les électrons sont minoritaires, leur population est négligeable devant celle des trous.

3. Pour déterminer les coefficients a et b, on prend deux points du graphe de la figure 3.

$$\log(405) = -b\log(10^{16}) + \log a$$
$$\log(122) = -b\log(10^{18}) + \log a$$

   Solution : b = 0,26 et a = 5,95 10^6.

4. Considérons une tranche de longueur L et de section dS = Z.dx. La conductance dG associée est telle que :

   $dG = \sigma \frac{dS}{L}$ avec la conductivité essentiellement due aux trous : $\sigma \approx q.p(x).\mu_p(x)$

   $p(x) = N_a(x)$ et $\mu_P = a\ (N_a)^{-b}$

$$dG = q\frac{aZ}{L}\left[N_S \exp\left(-\frac{x^2}{L_p^2}\right)\right]^{1-b} dx$$

5. Conductance G du barreau : $G = q\frac{aZ}{L} N_S^{1-b} \int_0^e \left[\exp\left(-\frac{x^2}{L_p^2}\right)\right]^{1-b} dx$

6. Conductivité moyenne : $\rho_{moy} = \frac{RS}{L} = 0{,}107\Omega.cm$

7. Conductance de chaque bande considérée.

N_a (atomes cm^{-3})	8.10^{17}	3.10^{17}	4.10^{16}
μ_P ($cm^2\,V^{-1}\,s^{-1}$)	129	167	282
G (S)	$165\ 10^{-6}$	$80{,}2\ 10^{-6}$	$18\ 10^{-6}$

8. Les bandes sont en parallèle : $G_{total} = G_1 + G_2 + G_3 = 263{,}3\ 10^{-6}$ S.
Soit une résistance R = 3,8 kΩ.
$\frac{\Delta R}{R} = 6{,}4\%$.