

1 CONCEPTION D'UNE RESISTANCE « PINCEE » EN SILICIUM P

On considère à la température T de 300 K, une plaquette de silicium homogène de type N dopée uniquement au phosphore avec une concentration uniforme de 10^{15} at cm^{-3} .

A la surface de cette plaquette, on a effectué localement, la diffusion d'atomes de bore pour obtenir une couche de silicium non homogène de type P (figure 1). La diffusion latérale des impuretés ne sera pas prise en compte.

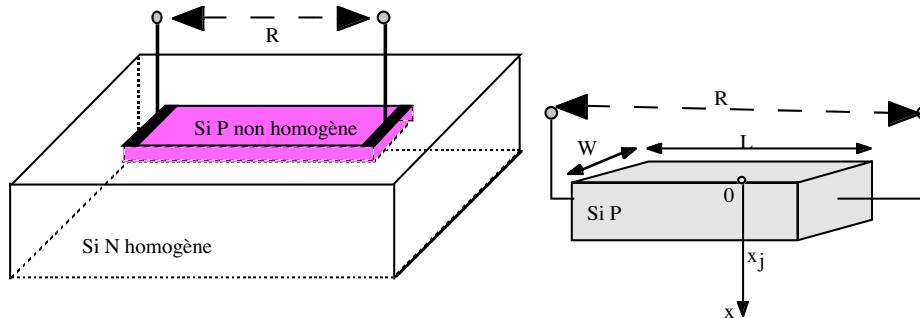


Figure 1 : Barreau de Si P non homogène construit sur substrat Si N homogène.

Le barreau P, possède les propriétés géométriques suivantes : longueur L de 120 μm , largeur W de 10 μm et épaisseur x_j de 3 μm . Le profil de concentration des atomes accepteurs, suivant l'axe Ox , au droit du barreau P, est donné en figure 2.

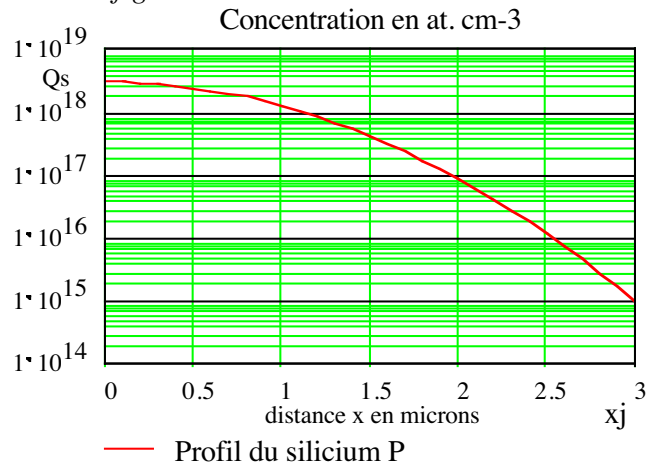


Figure 2

- La concentration Q_S en surface des atomes de bore est égale à $3 \cdot 10^{18}$ atomes cm^{-3}
- La conductivité moyenne du barreau : $\sigma_m = \frac{1}{x_j} \int_0^{x_j} \sigma(x) dx$ est de $15 (\Omega \text{cm})^{-1}$.

1. Déterminer la valeur de la résistance R du barreau de silicium P entre les extrémités séparées par la longueur L .
2. L'étape de redistribution des atomes de bore a été réalisée dans un four de diffusion réglé à la température $T_1 = 1150$ °C. Déterminer la durée t_1 en minutes du processus de redistribution des impuretés. A cet effet, on donne en figure 3 l'évolution de la constante de diffusion de diffusion D du bore en fonction de la température réduite : $1000 / T(\text{K})$.

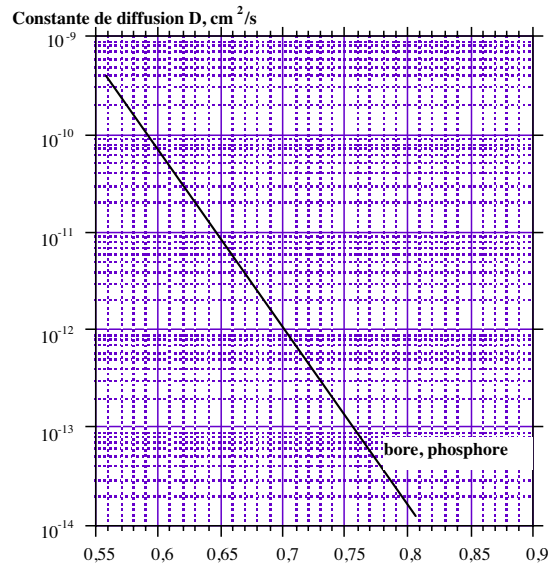


Figure 3 : Constante de diffusion du bore $D = f(1000/T(K))$.

3) En déduire la concentration surfacique $Q_{\text{préd}}$ d'atomes de bore déposée à la surface du silicium à la fin de l'étape de prédépôt.

On désire maintenant, augmenter la valeur de la résistance du barreau de silicium P sans modifier ses dimensions. On diffuse donc localement (figure 4) du phosphore sur le barreau de silicium P . Les propriétés géométriques de cette diffusion sont les suivantes :

- Longueur $L_1 < L$
- Largeur $W_1 > W$
- Epaisseur $x = 1,5 \mu\text{m}$ soit : $x_j/2$.

De cette manière, on diminue localement, l'épaisseur du barreau de silicium P qui est pris en sandwich entre deux diffusions de type N . On dit alors que la zone P est "pincée".

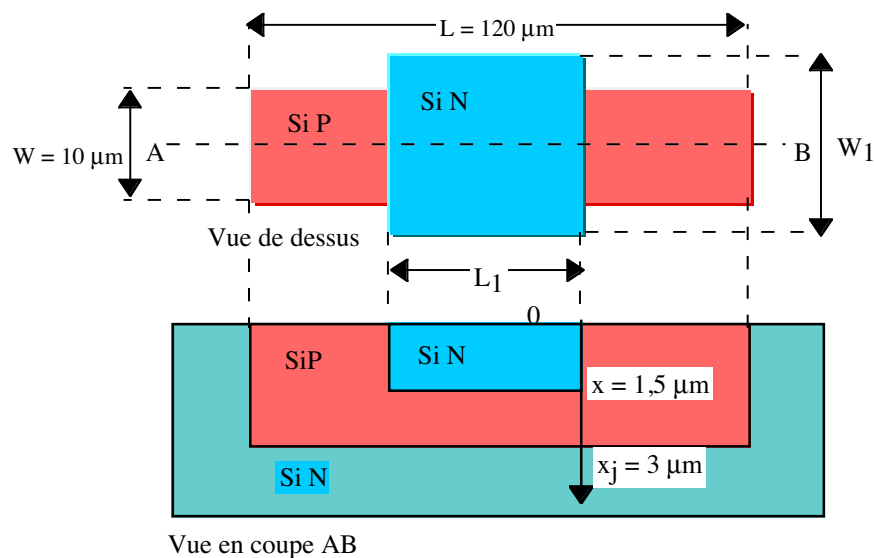


Figure 4 : Structure de la résistance SiP «pincée » par une zone SiN.

On se propose de déterminer la nouvelle conductivité moyenne σ_{mp} du barreau pincé par le silicium N .

Cette nouvelle conductivité moyenne pourrait être calculée selon : $\sigma_{mp} = \frac{1}{x_j - x} \int_x^{x_j} \sigma(x) dx$.

Cependant, cette conductivité peut-être évaluée simplement à l'aide de l'abaque d'Irvin donné en figure 5.

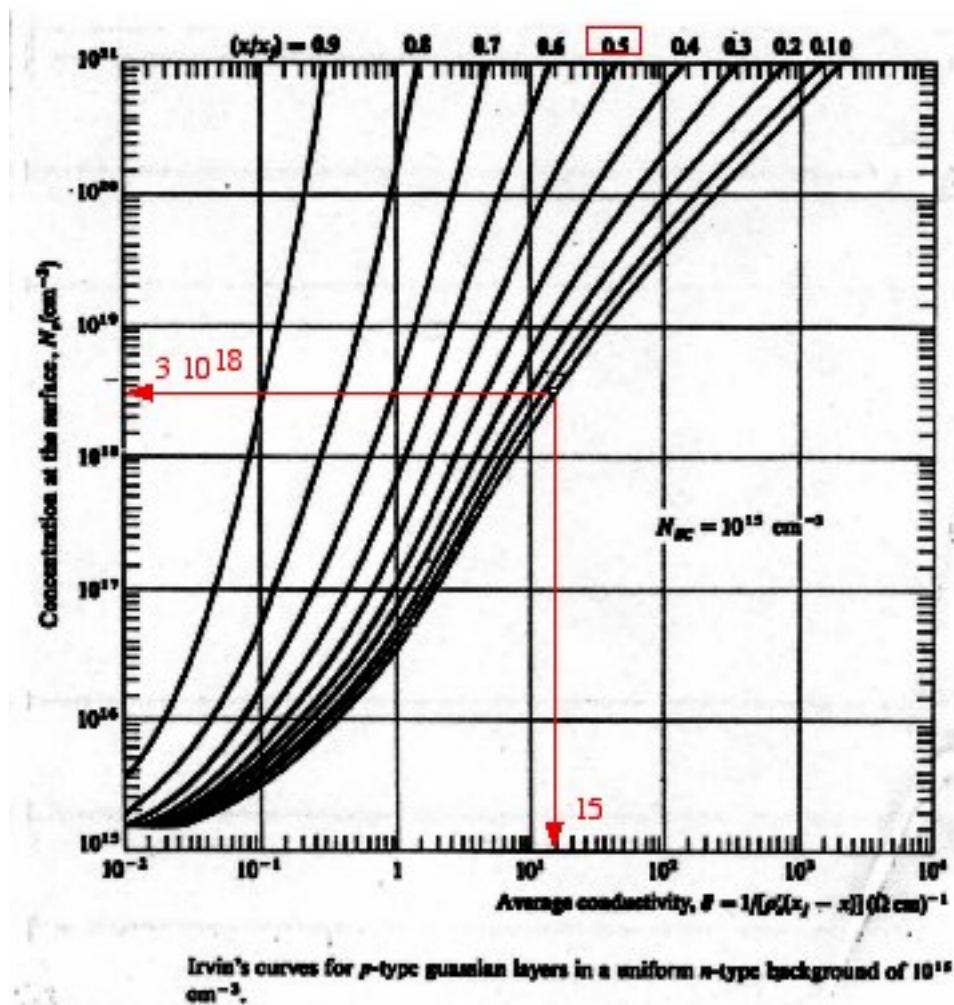


Figure 5 Abaque d'IRVIN

Cet abaque indique, pour une concentration en surface donnée Q_S (nommée N_S sur le graphe), l'évolution de la conductivité moyenne paramétrée en x/x_j , sachant que (x_j-x) représente la nouvelle épaisseur de la zone P. Par exemple, avec $Q_S = 3 \cdot 10^{18} \text{ at.cm}^{-3}$ et $x = 0$ (pas de pincement), soit $x/x_j = 0$, on retrouve bien en se déplaçant horizontalement $\sigma_m = 15 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ (voir le début du problème).

4) En exploitant l'abaque d'Irvin, déterminer la conductivité moyenne σ_{mp} de la zone pincée. Commenter votre méthode de mesure.

5) Calculer en micron, la valeur de la longueur L_1 (voir figure 4) pour obtenir une résistance totale de $10 \text{ K}\Omega$.

CORRECTION

1. Résistance R du barreau de silicium P entre les extrémités séparées par la longueur L.

$$R = \frac{1}{\sigma_m} \frac{L}{W x_j} = 2667 \Omega$$

2. Détermination de la constante de diffusion D du bore dans le silicium.

A la température T_1 de redistribution des atomes de bore (1150 °C) correspond la température

réduite : $\frac{1000}{T_1(K)} = 0,703$.

Le graphe de la figure 3 donne alors la constante de diffusion : $D = 10^{-12} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

La fonction qui gère la redistribution des atomes dopants est telle que :

$$N(x, t) = Q_s \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$

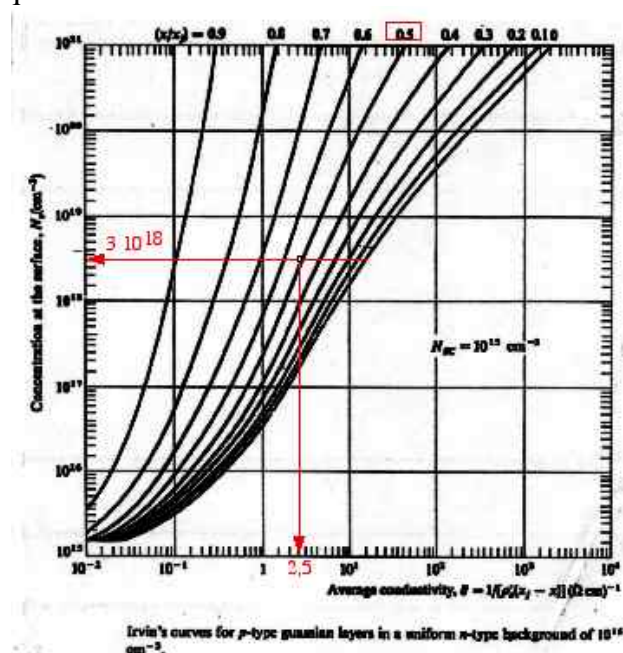
Où Q_s représente la concentration surfacique des atomes de bore, soit $3 \cdot 10^{18}$.

A bout du temps t_1 , la jonction PN est formée. La zone P possède une épaisseur $x_j = 3 \mu\text{m}$ de telle manière que : $N(x_j, t_1) = 10^{15}$ atomes/cm³ concentration du substrat homogène de type N.

$$N(x_j, t_1) = Q_s \exp\left(-\frac{x_j^2}{4Dt_1}\right) \rightarrow t_1 = \frac{x_j^2}{4D \ln\left[\frac{Q_s}{N(x_j, t_1)}\right]} = 2810 \text{ s} \quad \text{soit } 46,8 \text{ minutes.}$$

3. On exploite la relation suivante : $Q_s = \frac{Q_{\text{préd}}}{\sqrt{\pi \cdot D \cdot t_1}}$ $Q_{\text{préd}} = 2,82 \cdot 10^{14}$ atomes cm⁻².

4. Utilisation de l'abaque d'Irvin.



Nous avons $x/x_j = 0,5$. On obtient donc : $\sigma_{\text{mp}} = 2,5 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

5. On désire obtenir une résistance totale R_{tot} de $10 \text{ k}\Omega$.

R_{tot} est constituée par deux résistances en séries de caractéristiques suivantes :

	Longueur	Epaisseur	Conductivité
Zone « pincée »	L_1	$x_j - x = 1,5 \mu\text{m}$	$\sigma_{mp} = 2,5 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$
Zone non pincée	$L - L_1$	$x_j = 3 \mu\text{m}$	$\sigma_m = 15 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$

$$R_{tot} = \frac{1}{\sigma_{mp}} \frac{L_1}{W(x_j - x)} + \frac{1}{\sigma_m} \frac{L - L_1}{W(x_j)}$$

$$\text{Solution : } L_1 = \frac{W R_{tot} - \frac{L}{\sigma_m x_j}}{\frac{1}{\sigma_{mp}(x_j - x)} - \frac{1}{\sigma_m x_j}} = 30 \mu\text{m}$$