

Examen du module « Procédés d'élaboration des dispositifs semi-conducteurs »

Questions de cours (5 pts):

- Quel est le nom du composé utilisé pour doper négativement l'épi-couche ?
- Quels sont les agents responsables de l'oxydation du silicium ?
- Quelle est la définition d'hétéroépitaxie?
- Dessiner dans un système xyz le plan réticulaire (111).
- Quel est le paramètre qui détermine la distribution des impuretés dans l'implantation ionique ?
la masse des ions

Exercice 1 :(7 pts)

On effectue une pré-déposition de phosphore à 1150°C pendant 20 mn dans du silicium de type p ($N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$).

- Déterminer, en utilisant le tableau, la solubilité solide et le coefficient de diffusion du phosphore à cette température.
- Calculer la profondeur de la jonction après cette pré-déposition.
- Calculer la quantité totale d'impuretés introduites dans le silicium.
- Calculer la nouvelle profondeur de jonction après un drive-in à 1000 °C pendant 30 mn.

z	erf(z)	erfc(z)
3.0	0.99997791	0.0000221
3.1	0.99998835	0.0000117
3.2	0.99999397	0.0000060
3.3	0.99999694	0.0000031

	B/ P	Bore	Phosphore
T (°C)	D (cm ² /s)	C _s (cm ⁻³)	C _s (cm ⁻³)
1000	2.6×10^{-14}	4.1×10^{20}	1.0×10^{21}
1150	9.1×10^{-13}	4.8×10^{20}	1.5×10^{21}
1250	6.5×10^{-12}	5.2×10^{20}	1.4×10^{21}

Exercice 2 :(8 pts)

On oxyde une plaquette de silicium (111) à 1100 °C en oxydation sèche. Calculer l'épaisseur de l'oxyde : a) après 6 mn, b) après 48 mn.

On pratique, dans le cas de 48mn, sur la même plaquette une deuxième oxydation humide à 1200 °C pendant 25 mn. Calculer la nouvelle épaisseur d'oxyde.

T (°C)	B sec (μm ² /hr)	B humide (μm ² /hr)	A sec (μm)	A humide (μm)
1100	0.72833	0.02358	0.52986	0.08249
1200	0.04776	0.79634	0.05303	0.0919

Données :

$$x^2 + Ax = B(t + \tau) \implies x = \frac{A}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4B(t+\tau)}{A^2}} - 1 \right], \quad Q = 2 C_s \sqrt{\frac{Dt}{\pi}}$$

$$C(x, t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] = C_s \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad C(x, t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \exp \left(-\frac{x^2}{4Dt} \right)$$

$$d_0 (\mu\text{m}) = 0.02$$

Correction d'Examen du « Procédés d'élaboration des dispositifs semi-conducteurs »

Questions de cours (5 pts):

- Le nom du composé utilisé pour doper négativement l'épi-couche est la phosphine (PH₃).
- Les agents responsables de l'oxydation du silicium sont l'oxygène (O₂) et la vapeur d'eau (H₂O)
- Hétéroépitaxie : les matériaux sont différents



- Le plan réticulaire (111).
- Le paramètre qui détermine la distribution des impuretés dans l'implantation ionique est la masse des ions

Exercice 1 (7 pts):

On effectue une pré-déposition de phosphore à 1150°C pendant 20 mn dans du silicium de type p ($N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$).

a) En utilisant le tableau, la solubilité solide et le coefficient de diffusion du phosphore à cette température sont $1.5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ et $9.1 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{s}$ respectivement

b) On utilise l'équation $C(x, t) = C_s \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$. \Leftrightarrow

$$C(x, t)/C_s = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = 10^{16}/1.5 \times 10^{21} = 0,000006 \Leftrightarrow \frac{x}{2\sqrt{Dt}} = 3,2 \Leftrightarrow x = 2.11 \mu\text{m}$$

c) On utilise l'équation $Q = 2 C_s \sqrt{\frac{Dt}{\pi}}$ $\Leftrightarrow Q \cong 5,6 \times 10^{16} \text{ Atom}/\text{cm}^2$

d) On utilise l'équation $C(x, t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$ pour $T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ on a $D = 2.6 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$, $t = 30 \text{ mn} \Leftrightarrow x = 5.03 \times 10^{-5} \text{ cm}$

Exercice 2 :(8 pts)

- A 1100 °C en oxydation sèche $d_0 (\mu\text{m}) = 0.02$, $A = 0.52986 (\mu\text{m})$, $B = 0.72833 (\mu\text{m}^2/\text{hr})$
 $\tau = (d_0^2 + A d_0) \frac{1}{B} \Leftrightarrow \tau = 0.015 \text{ hr}$

- après 6 mn ($t = 0,1 \text{ h}$) $\Leftrightarrow x = \frac{A}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4B(t+\tau)}{A^2}} - 1 \right] \Leftrightarrow x = 0.127 \mu\text{m}$

- après 48 mn ($t = 0,8 \text{ h}$) $\Leftrightarrow x = \frac{A}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4B(t+\tau)}{A^2}} - 1 \right] \Leftrightarrow x = 0.549 \mu\text{m}$

- A 1200 °C en oxydation humide $d_0 (\mu\text{m}) = 0$, $A = 0.0919 (\mu\text{m})$, $B = 0.79634 (\mu\text{m}^2/\text{hr})$

- Pendant 25 mn ($t = 0,416 \text{ h}$) $\Leftrightarrow x = \frac{A}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4B(t)}{A^2}} - 1 \right] \Leftrightarrow x = 0.531 \mu\text{m}$

- La nouvelle épaisseur d'oxyde égale $x = 0.549 + 0.531 \mu\text{m} \Leftrightarrow x = 1.08 \mu\text{m}$