

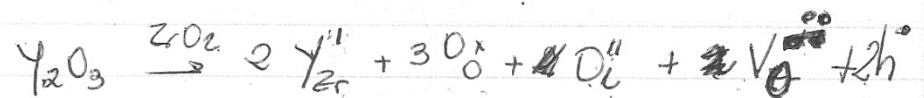
- 2) Escribir las reacciones químicas de incorporación de defectos correspondientes a:
- Solución sólida de CaO en  $ZrO_2$ , formación de  $V_O^{\bullet\bullet}$ .
  - Solución de en  $ZrO_2$  en  $Y_2O_3$ , formación de  $O_i^{\bullet\bullet}$

2) Incorporación de defectos.

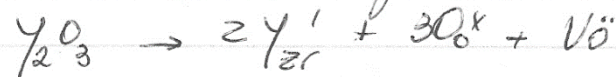
a)  $CaO$  en  $ZrO_2$  formación de  $V_O^{\bullet\bullet} \rightarrow DS$ .



b)  $ZrO_2$  en  $Y_2O_3$  formación de  $O_i^{\bullet\bullet}$  <sup>exceso en interst</sup>  $\rightarrow DF$



Normalmente este sistema genera  $V_O^{\bullet\bullet}$



- 3) Predecir la dependencia de la conductividad ( $\sigma$ ) con la presión parcial de oxígeno ( $pO_2$ ) para el  $Fe_{1-x}O$ . Considerar que la conductividad es proporcional al número de portadores huecos y los defectos son vacancias de Fe debido a que el Fe cambia su estado de oxidación de  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ .



# MATERIALES

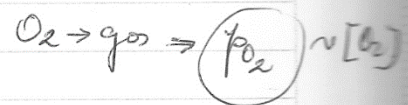
## NO ESTEQUIOMETRIA Y SEMICONDUCTORES



De la neutralidad de carga

$$[2\text{Fe}_{\text{Fe}}^{\bullet}] = [[\text{h}]]$$

$$k = \frac{[\text{O}_{\text{O}}^{\times}] \cdot [[\text{h}]]^2 \cdot [\text{V}_{\text{Fe}}^{\prime\prime}]}{[\text{Fe}_{\text{Fe}}]^2 \cdot p\text{O}_2^{1/2}}$$



Se sabe q, los huecos son los responsables de la conductividad iónica en un sólido (óxido)

$$[\text{h}] \propto \sigma$$

$$k = \frac{[\text{h}]^2 \cdot [\text{V}_{\text{Fe}}^{\prime\prime}]}{p\text{O}_2^{1/2}} = \frac{[\text{h}]^3}{p\text{O}_2^{1/2}} \Rightarrow$$

$$\sigma \sim [\text{h}] = \left( \frac{k p\text{O}_2^{1/2}}{[\text{V}_{\text{Fe}}^{\prime\prime}]} \right)^{1/3} \sim \sigma \sim [\text{h}] \sim p\text{O}_2^{1/6}$$



## MATERIALES NO ESTEQUIOMETRIA Y SEMICONDUCTORES



- 4) Un semiconductor extrínseco tipo n esta formado por silicio con un dopado de  $10^{17}$  átomos de antimonio/cm<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que la concentración intrínseca del silicio a 300 K es  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$  partículas/cm<sup>3</sup> ¿Cuál es la concentración de huecos y de electrones en dicho semiconductor a 300 K?. **Rta:  $p = 2,248 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ;  $n = 1,0008 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .**

④

$[Sb] = 10^{17} \text{ at/cm}^3 = N_D$

SC-tipo n  $\rightarrow$  Si

$[Si]_{i=300K} = n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ part/cm}^3$

$[p] =$   
 $n =$

Aplio hde. Acc. de masas

$n \cdot p = n_i^2$

$p \cdot N_D = n + N_A$

$p + 10^{17} \text{ at/cm}^3 = n \rightarrow \text{elect neut}$

$n \cdot p = n_i^2 = (1,5 \cdot 10^{10})^2$

Aquí pdo considerar  $N_D \gg n_i$  deberá esperar q'  $n$  y  $[n]$  y son las minoritarias sea mucho menor q' los átomos donantes ( $p \ll N_D$ )  $\rightarrow$

$p + N_D + n + N_A \rightarrow p + 10^{17} = n$

$\rightarrow p \approx 0 \Rightarrow n = 10^{17}$

$n \cdot p = n_i^2$

$p = \frac{n_i^2}{n} \rightarrow \frac{(1,5 \cdot 10^{10})^2}{10^{17}} = \boxed{2,25 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}}$

Tb puedo resolver el S.Ec. y sacar p y n.

- 5) Halla la concentración de electrones y huecos en el germanio en las siguientes circunstancias. Al final, que conclusión puede inferir?

a) Germanio puro a 300 K ( $n_i(300K) = 2,36 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ) **Rta:  $p=n = 2,36 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$**

⑤ n, p Ge

a) 300K  $\rightarrow n_i = 2,36 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$

Intrínseco  $\Rightarrow n = p = n_i = 2,36 \cdot 10^{19} \text{ par/m}^3$

$n \cdot p = n_i^2$

b) A 300 K dopado con antimonio en una concentración de  $4 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ . **Rta:  $p = 2,248 \cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$ ;  $n = 1,39 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$**



## MATERIALES NO ESTEQUIOMETRIA Y SEMICONDUCTORES



b) 300 K,  $n_{Sb} = 4 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

$n_i \rightarrow n_i \rightarrow$  no pdo descartar node  $\Rightarrow n \approx$  Cimpurezas.

$$n = 4 \cdot 10^{22} \text{ e}^-/\text{m}^3$$

$$n \cdot p = n_i^2$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(2,36 \cdot 10^{19})^2}{4 \cdot 10^{22}} = 1,39 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

c) A 300 K dopado con indio en una concentración de  $3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ . Rta:  $p = 3,0 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $n = 1,86 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$

c) 300 K, Indio  $\Rightarrow C_{\text{Indio}} = 3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

Indio  $\Rightarrow 3e^- \rightarrow$  aceptor  $N_A = 3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \Rightarrow p \approx N_A$

$$N_A = 3 \cdot 10^{22} \frac{\text{huecos}}{\text{m}^3}$$

$$n \cdot p = n_i^2$$

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(2,36 \cdot 10^{19})^2}{3 \cdot 10^{22}} = 1,86 \cdot 10^{16} \text{ e}^-/\text{m}^3$$

d) Germanio puro a 500 K ( $n_{i(500 \text{ K})} = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ).  $n=p=n_i = 2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

d) Ge puro a 500 K ( $n_{i(500)} = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ )

SC intrínseco  $n=p=n_i = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

e) A 500 K dopado con antimonio en una concentración de  $3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ . Rta:  $n = 4,80 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $p = 1,08 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$



# MATERIALES NO ESTEQUIOMETRIA Y SEMICONDUCTORES



d) Ge puro a 500K ( $n_i = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ )  
 SC intrínseco  $n = p = n_i = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

e) T = 500K, Sb  $3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \rightarrow N_D$

No puedo aproximar xq [Impurezas]  $\gg n_i$   
 $n_i = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

$$\Rightarrow \begin{cases} n \cdot p = n_i^2 & N_A = 0 \\ N_D + p = N_A + n & N_D = 3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \end{cases}$$

$$n \cdot p = (2,1 \cdot 10^{22})^2$$

$$N_D + p = N_A + n$$

$$N_D + p = \frac{n_i^2}{p}$$

$$N_D = \frac{n_i^2}{p} - p \rightarrow N_D = \frac{n_i^2 - p^2}{p}$$

$$n_i^2 - p^2 - N_D p = 0 \rightarrow -p^2 - N_D p + n_i^2 = 0$$

$$\begin{cases} p_1 \\ p_2 \end{cases} = \frac{-N_D \pm \sqrt{N_D^2 + 4 \cdot n_i^2}}{-2}$$

$$p = 4,08 \cdot 10^{22} \text{ e/m}^3 \rightarrow \frac{3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \pm \sqrt{(3 \cdot 10^{22})^2 + 4 \cdot (2,1 \cdot 10^{22})^2}}{-2}$$

$$n = N_D + p = 3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} + 4,08 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} =$$



# MATERIALES NO ESTEQUIOMETRIA Y SEMICONDUCTORES



$$n_i^2 - p^2 - N_D p = 0 \rightarrow -p^2 - N_D p + n_i^2 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \end{array} \right\} = \frac{+N_D \pm \sqrt{N_D^2 + 2 \cdot n_i^2}}{-2}$$

$$p \rightarrow \frac{3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \pm \sqrt{(3 \cdot 10^{22})^2 + 2 \cdot (2,1 \cdot 10^{22})^2}}{-2}$$

$$p = 4,08 \cdot 10^{22} \text{ e/m}^3$$

$$n = N_D + p = 3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} + 4,08 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} =$$

f) A 500 K dopado con indio en una concentración de  $4 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ . Rta:  $p = 4,90 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $n = 2,10 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

f) T=500 K Indio  $\rightarrow N_A = 4 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$   $n_i = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$   
 $N_D = 0$

$$\left. \begin{array}{l} n \cdot p = n_i^2 \\ p + N_D = N_A + n \\ p = N_A + n \end{array} \right\}$$

$$n = \frac{n_i^2}{p} \quad p = N_A + \frac{n_i^2}{p} \rightarrow N_A = p - \frac{n_i^2}{p}$$

$$p^2 - p N_A - n_i^2 = 0 \quad \leftarrow p N_A = p^2 - n_i^2$$

$$\frac{+N_A \pm \sqrt{N_A^2 + 2 \cdot n_i^2}}{2} = \frac{4 \cdot 10^{22} \pm \sqrt{(4 \cdot 10^{22})^2 + 2 \cdot (2,1 \cdot 10^{22})^2}}{2}$$

$$p_1, p_2 = \frac{4 \cdot 10^{22} \pm 4,98 \cdot 10^{22}}{2}$$

$$p = 4,49 \cdot 10^{22} \text{ hJecos/m}^3$$

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(2,1 \cdot 10^{22})^2}{4,49 \cdot 10^{22}} = 2,1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

- 6) Considérese una lámina u oblea homogénea de Silicio tipo n, con  $N_D = 2,25 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  a 300 K, iluminada uniformemente con luz monocromática en situación estacionaria. Antes de la iluminación la oblea se encuentra en equilibrio. Calcular las concentraciones: a) en equilibrio,  $n_{no}$  y  $p_{no}$ ; b) en desequilibrio  $n_n$  y  $p_n$ , [ i)  $n'_n = p'_n = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  y ii)  $n'_n = p'_n = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Datos  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ;  $n'_n = n_n - n_{no}$ ;  $p'_n = p_n - p_{no}$  ].



## MATERIALES NO ESTEQUIOMETRIA Y SEMICONDUCTORES



Oblea de Si Tipo n

$$N_D = 2,25 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

Iluminación  $\rightarrow$  E. Estacionario

$$n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

a) Concentración en equilibrio  $\rightarrow$  antes de iluminar.

$$n_i \ll N_D \rightarrow n_0 \approx N_D = 2,25 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3} \quad p_0 \approx \frac{n_i^2}{n_0} = 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

$\downarrow$  nion bor y aporta el donante

b) Inyecta exceso de portadores  $n' = p' = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

$$n_T = N_D + n' = p' + N_A = p_T$$

$$n_T = 2,25 \cdot 10^{15} + 10^{13} = 2,26 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$P = 10^5 \text{ cm}^{-3} + 10^{13} \text{ cm}^{-3} \approx 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$