

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS I
EXAMEN DICIEMBRE 2005

EJERCICIO 1 (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)

A una barra de germanio de 2 cm^2 de sección y 10 cm de longitud, se le aplica una diferencia de potencial de 10 V entre sus extremos. Con estos datos y las propiedades del germanio, calcular:

Propiedades del germanio y del silicio		
Propiedades	Ge	Si
Número atómico	32	14
Peso atómico	72,6	28,1
Concentración atómica (at/m^3)	$4,42 \cdot 10^{28}$	$4,96 \cdot 10^{28}$
Concentración intrínseca a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ (cm^{-3})	$2,36 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{10}$
Ancho de la banda prohibida a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ (eV)	0,72	1,1
Movilidad electrones a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ ($\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	0,39	0,135
Movilidad huecos a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ ($\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	0,182	0,05
Permitividad eléctrica	15,7	12

(0,5) a) Resistencia de la barra a $300 \text{ }^\circ\text{K}$

$$R = \rho \frac{L}{S}; \quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{n \cdot q \cdot \mu_n + p \cdot q \cdot \mu_p}$$

En el germanio intrínseco se cumple que $n = p = n_i$. Por lo tanto:

$$\rho = \frac{1}{n_i \cdot q \cdot (\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{2,36 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot (0,39 + 0,182) \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}} = 0,46299 \Omega \cdot \text{m}$$

$$R = 0,46299 \Omega \cdot \text{m} \cdot \frac{0,1 \text{ m}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 231,49 \Omega$$

La resistencia de la barra de germanio a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ es:

$R = 231,49 \Omega$

(0,5) b) Velocidad de arrastre de electrones y huecos a $300 \text{ }^\circ\text{K}$.

La velocidad de arrastre depende de la velocidad y el campo eléctrico aplicado: $v = \mu \cdot E$

$$E = \frac{V}{L} = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ cm}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 100 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$v_n = \mu_n \cdot E = 0,39 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot 100 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_p = \mu_p \cdot E = 0,182 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \cdot 100 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 18,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Por lo tanto, la velocidad de arrastre de electrones y huecos a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ es:

$$\begin{aligned} V_n &= 39 \text{ m/s} \\ V_p &= 18,2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(0,5) c) Si se tiene ahora una barra de silicio puro y se dopa con arsénico (grupo VA de la tabla periódica) en una concentración de $5 \cdot 10^{20} \text{ at/m}^3$ a una temperatura de $300 \text{ }^\circ\text{K}$, calcular la concentración de electrones y huecos en el silicio en estas circunstancias.

El arsénico es un elemento del grupo VA de la tabla periódica (5 electrones de valencia) y por lo tanto es una impureza donadora. Esto implica que: $N_D = 5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$ y $N_A = 0$.

Como a $300 \text{ }^\circ\text{K}$ la concentración intrínseca del silicio es (ver tabla) $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$, se tiene que la concentración de impurezas donadoras es mucho mayor que la concentración intrínseca ($N_D \gg n_i$).

Por lo tanto, se pueden realizar las siguientes aproximaciones:

$$n \approx N_D = 5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

$$n \cdot p = n_i^2 \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} \approx \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1,5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3})^2}{5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}} = 0,45 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-3} = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$$

La concentración de electrones y huecos es:

$\begin{aligned} n &= 5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \\ p &= 4,5 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$

(0,5) d) Si la barra de silicio puro se dopa con indio (grupo IIIA de la tabla periódica) en una concentración de $2 \cdot 10^{20} \text{ at/m}^3$ a una temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{K}$, calcular la concentración de electrones y huecos en el silicio en estas circunstancias. La concentración intrínseca del silicio a $500 \text{ }^\circ\text{K}$ es $3,7 \cdot 10^{20} \text{ at/m}^3$.

El indio es un elemento del grupo IIIA de la tabla periódica (3 electrones de valencia) y por lo tanto es una impureza aceptora. Esto implica que: $N_A = 2 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$ y $N_D = 0$.

Como a $500 \text{ }^\circ\text{K}$ la concentración intrínseca del silicio es $n_i = 3,7 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$, se tiene que la concentración de impurezas aceptoras es menor que la concentración intrínseca ($N_A < n_i$). Por lo tanto no se pueden realizar las aproximaciones del apartado anterior.

En cualquier semiconductor se tienen que cumplir la ley de la neutralidad eléctrica y la ley de acción de masas:

$$\left. \begin{aligned} N_D + p &= N_A + n \\ n \cdot p &= n_i^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow n = \frac{n_i^2}{p} \Rightarrow p = N_A + \frac{n_i^2}{p}$$

$$p^2 = N_A \cdot p + n_i^2 \Rightarrow p^2 - N_A \cdot p - n_i^2 = 0 \Rightarrow p^2 - 2 \cdot 10^{20} \cdot p - (3,7 \cdot 10^{20})^2 = 0$$

Se resuelve la ecuación de 2º grado y se obtienen dos valores posibles para la concentración de huecos:

$$\begin{aligned} p &= 4,83275 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \\ p &= -2,83275 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

Claramente el segundo resultado al ser negativo no es un valor válido, por lo que la concentración de huecos es la que presenta el primer resultado. A continuación se obtiene el valor de la concentración de electrones a partir de la ecuación de la ley de acción de masas:

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(3,7 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3})^2}{4,83275 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}} = 2,8327 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

La concentración de electrones y huecos es:

$\begin{aligned} n &= 2,8327 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \\ p &= 4,83275 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$
