DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS I
EXAMEN DICIEMBRE 2006

EJERCICIO 1 (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)
A una barra de Germanio de 10 cm de longitud y 2 cm^2 de sección se le aplica una diferencia de potencial de 10 V entre sus extremos. Conociendo como datos que la concentración intrínseca de portadores a 300 ºK es $2{,}36 \cdot 10^{19}$ m^{-3}, que la movilidad de los electrones es 0,39 $m^2/(V \cdot s)$ y que la movilidad de los huecos es 0,182 $m^2/(V \cdot s)$, determinar:

DATOS: Constante de Boltzman: $k = 8{,}620 \cdot 10^{-5} \dfrac{eV}{{}^{o}K}$

(0,5) **a)** Resistencia de la barra a 300 ºK

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

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

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

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

La resistencia de la barra de germanio a 300 ºK es:

$$\boxed{R = 231{,}49\ \Omega}$$

(0,5) **b)** Velocidad de arrastre de electrones y huecos a 300 ºK.

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

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

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

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

Por lo tanto, la velocidad de arrastre de electrones y huecos a 300 ºK es:

$$\boxed{\begin{array}{l} v_n = 39\ m/s \\ v_p = 18{,}2\ m/s \end{array}}$$

(0,5) **c)** Si la barra de germanio se dopa con indio (grupo IIIA de la tabla periódica) en una concentración de $2 \cdot 10^{18}$ at/m^3 a una temperatura de 300 ºK, calcular la concentración de electrones y huecos en el silicio en estas circunstancias.

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: $N_A = 2 \cdot 10^{18}$ m^{-3} y $N_D = 0$.

Como a 300 ºK la concentración intrínseca del germanio es $n_i = 2{,}36 \cdot 10^{19}$ 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:

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

$$p^2 = N_A \cdot p + n_i^2 \Rightarrow p^2 - N_A \cdot p - n_i^2 = 0 \Rightarrow p^2 - 2 \cdot 10^{18} \cdot p - \left(2{,}36 \cdot 10^{19}\right)^2 = 0$$

Se resuelve la ecuación de 2º grado y se obtienen dos valores posibles para la concentración de huecos:
$p = 2{,}4621 \cdot 10^{19}$ m^{-3}
$p = -2{,}2621 \cdot 10^{19}$ m^{-3}

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:

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(2{,}36 \cdot 10^{19} m^{-3})^2}{2{,}4621 \cdot 10^{19} m^{-3}} = 2{,}2621 \cdot 10^{19} m^{-3}$$

Las concentraciones de electrones y huecos son:

$$\boxed{\begin{array}{l} n = 2{,}2621 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3} \\ p = 2{,}4621 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3} \end{array}}$$

(0,5) **d)** Si la conductividad de un determinado semiconductor puro se incrementa en un 50% cuando la temperatura pasa de 300 ºK a 310 ºK, ¿cuál sería la anchura de la banda prohibida a 0 ºK de dicho semiconductor? (considerar las movilidades de los portadores constantes con la temperatura)

$$\frac{\sigma(310^o K)}{\sigma(300^o K)} = 1{,}5$$

En el germanio puro se cumple que $n = p = n_i$. Por lo tanto: $\sigma = n \cdot q \cdot \mu_n + p \cdot q \cdot \mu_p = n_i \cdot q \cdot \left(\mu_n + \mu_p\right)$

$$n_i^2 = A_0 \cdot T^3 \cdot e^{-\frac{E_{G0}}{k.T}}$$

$$\sigma(310^o K) = \sqrt{A_0} . \sqrt{310^3} \cdot e^{-\frac{E_{G0}}{2 \cdot k \cdot 310}}; \qquad \sigma(300^o K) = \sqrt{A_0} . \sqrt{300^3} \cdot e^{-\frac{E_{G0}}{2 \cdot k \cdot 300}}$$

$$\frac{\sigma(310^o K)}{\sigma(300^o K)} = \frac{\sqrt{A_0} . \sqrt{310^3} \cdot e^{-\frac{E_{G0}}{2 \cdot k \cdot 310}}}{\sqrt{A_0} . \sqrt{300^3} \cdot e^{-\frac{E_{G0}}{2 \cdot k \cdot 300}}} = \sqrt{\frac{310^3}{300^3}} \cdot e^{\frac{E_{G0}}{2 \cdot k}\left(\frac{1}{300} - \frac{1}{310}\right)} = 1{,}5 \Rightarrow e^{\frac{E_{G0}}{2 \cdot k}\left(\frac{1}{300} - \frac{1}{310}\right)} = 1{,}5 \cdot \sqrt{\frac{300^3}{310^3}} = 1{,}428$$

$$\frac{E_{G_0}}{2 \cdot k}\left(\frac{1}{300} - \frac{1}{310}\right) = \ln 1{,}428 \Rightarrow E_{G_0} = \frac{2 \cdot k \cdot \ln 1{,}428}{\left(\frac{1}{300} - \frac{1}{310}\right)} = \frac{2 \cdot 8{,}62 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}35627}{0{,}0001075} eV = 0{,}57135 eV$$

$$\boxed{E_{G_0} = 0{,}57135 eV}$$