Relacion-de-problemas-Bloque-II-...

Lucycs

Fundamentos Físicos de la Informática

1º Grado en Ingeniería Informática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Universidad de Málaga

Relación de problemas Bloque II resuelta

viernes, 24 de noviembre de 2023 17:04

1. Una radiación luminosa de 2000 Å e intensidad 3 mW/m² incide sobre un metal de cobre cuya función trabajo es 1 eV. Calcular (a) el número de fotones por unidad de tiempo y área que llegan al metal; (b) la energía cinética de los fotoelectrones emitidos. DATOS: h= 6´62·10⁻³⁴J·s; c= 3·10⁸ m/s
SOL.: (a) 3,017·10¹⁵ fotones /sm²; (b) 8,34·10⁻¹⁹ J

$\lambda = 2000\ \text{Å} = 2\cdot 10^{-7}\ m$; $I = 3\ mW/m^2 = 3\cdot 10^{-3}\ W/m^2$; $W = 1eV = 1'6\cdot 10^{-19}\ J$

a) $I = N_f \cdot h \cdot \upsilon \longrightarrow N_f = \dfrac{I}{h\cdot\upsilon} = \dfrac{3\cdot 10^{-3}}{6'62\cdot 10^{-34}\cdot 1'5\cdot 10^{15}} = \boxed{3'02\cdot 10^{15}\ \text{fotones}/sm^2}$

$c = \lambda\cdot\upsilon \longrightarrow \upsilon = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\cdot 10^8}{2\cdot 10^{-7}} = 1'5\cdot 10^{15}\ Hz$

b) Por el efecto fotoeléctrico:

$h\cdot\upsilon = E_c + W \longrightarrow E_c = h\cdot\upsilon - W = 6'62\cdot 10^{-34}\cdot 1'5\cdot 10^{15} - 1'6\cdot 10^{-19} = \boxed{8'33\cdot 10^{-19}\ J}$

2. El cesio metálico se usa mucho en fotocélulas y en cámaras de televisión ya que tiene la energía de ionización más pequeña de todos los elementos estables. (a) ¿Cuál es la energía cinética máxima de un fotoelectrón emitido por el cesio a causa de una luz de 500 nm? (Téngase en cuenta que no se emiten fotoelectrones si la longitud de onda de la luz utilizada para irradiar la superficie del cesio es mayor de 660 nm); (b) Usar la masa en reposo del electrón para calcular la velocidad del fotoelectrón del apartado (a). DATOS: h= 6´62·10⁻³⁴J·s; c= 3·10⁸ m/s; mₑ= 9´1·10⁻³¹ kg
SOL.: (a) Ec$_{max}$= 9,629·10⁻²⁰J; (b) v = 4,60·10⁵ m/s

a) $m_e = 9'1\cdot 10^{-31}\ kg$; $\lambda = 500\ nm = 5\cdot 10^{-7}\ m$; $\lambda_0 = 6'6\cdot 10^{-7}\ m$

$c = \lambda_0\cdot\upsilon_0 \longrightarrow \upsilon_0 = \dfrac{c}{\lambda_0} = \dfrac{3\cdot 10^8}{6'6\cdot 10^{-7}} = 4'54\cdot 10^{14}\ Hz$

$W_0 = h\cdot\upsilon_0 = 6'62\cdot 10^{-34}\cdot 4'54\cdot 10^{14} = 3\cdot 10^{-19}\ J$

Por el efecto fotoeléctrico:

$h\cdot\upsilon = E_{cmáx} + W_0 \longrightarrow E_{cmáx} = h\cdot\dfrac{c}{\lambda} - W_0 = 6'62\cdot 10^{-34}\cdot\dfrac{3\cdot 10^8}{5\cdot 10^{-7}} - 3\cdot 10^{-19} = \boxed{9'72\cdot 10^{-20}\ J}$

$c = \lambda\cdot\upsilon$

b) $E_{cmáx} = \dfrac{1}{2}\cdot m_e\cdot v_e^2 \longrightarrow v_e = \sqrt{\dfrac{2E_{cmáx}}{m_e}} = \sqrt{\dfrac{2\cdot 9'72\cdot 10^{-20}}{9'1\cdot 10^{-31}}} = \boxed{4'6\cdot 10^5\ m/s}$

3. La radiación emitida por electrones que caen de un estado energético de 30,4 eV a otro de 5,54 eV se utiliza para irradiar un metal y producir efecto fotoeléctrico. Determinar: (a) La longitud de onda y frecuencia de la radiación utilizada; (b) El número de fotones por unidad de tiempo y área que llegan al metal si está radiación tiene una intensidad de 3 mW/m²; (c) el trabajo de extracción del metal si el potencial de frenado medido es de 22,4 V; (d) la frecuencia umbral para la emisión fotoeléctrica del metal utilizado.
SOL.: a) λ = 5·10⁻⁸m, v = 6·10¹⁵ Hz; b) 7,6·10¹⁴ fotones/m²s; c) W₀ = 4·10⁻¹⁹ J; d) v₀ = 6·10¹⁴ Hz

a) $E_{c_0} = 30'4\cdot 1'6\cdot 10^{-19}\ J$; $E_{cf} = 5'54\cdot 1'6\cdot 10^{-19}\ J$

$\Delta E = p\cdot c \longrightarrow p = \dfrac{(30'4\cdot 1'6\cdot 10^{-19} - 5'54\cdot 1'6\cdot 10^{-19})}{3\cdot 10^8} = 1'33\cdot 10^{-26}\ \dfrac{kg\cdot m}{s}$ $\qquad p = \dfrac{h}{\lambda} \longrightarrow \lambda = \dfrac{6'62\cdot 10^{-34}}{1'33\cdot 10^{-26}} = \boxed{5\cdot 10^{-8}\ m}$

$c = \lambda\cdot\upsilon \longrightarrow \upsilon = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\cdot 10^8}{5\cdot 10^{-8}} = \boxed{6\cdot 10^{15}\ Hz}$

b) $I = 3\cdot 10^{-3}\ W/m^2$

$I = N_f\cdot h\cdot\upsilon \longrightarrow N_f = \dfrac{I}{h\cdot\upsilon} = \dfrac{3\cdot 10^{-3}}{6'62\cdot 10^{-34}\cdot 6\cdot 10^{15}} = \boxed{7'55\cdot 10^{14}\ \text{Fotones}/sm^2}$

c) $V_{frenado} = 22'4\ V$

$E_{cmáx} = e\cdot V_{frenado} = 1'6\cdot 10^{-19}\cdot 22'4 = 3'584\cdot 10^{-18}\ J$

Según el efecto fotoeléctrico:

$h\cdot\upsilon = E_{cmáx} + W_0 \longrightarrow W_0 = h\cdot\upsilon - E_{cmáx} = 6'62\cdot 10^{-34}\cdot 6\cdot 10^{15} - 3'584\cdot 10^{-18} = \boxed{3'9\cdot 10^{-19}\ J}$

d) $W_0 = h\cdot\upsilon_0 \longrightarrow \upsilon_0 = \dfrac{W_0}{h} = \dfrac{3'9\cdot 10^{-19}}{6'62\cdot 10^{-34}} = \boxed{6\cdot 10^{14}\ Hz}$

4. Calcular la longitud de onda asociada a una partícula que se mueve con una velocidad de 2·10⁶ m/s si dicha partícula es: (a) un electrón; (b) un protón; (c) una bola de 0´2 kg de masa. DATOS: mₑ= 9´1·10⁻³¹ kg; m$_p$= 1´65·10⁻²⁷ kg; h= 6´62·10⁻³⁴J·s
SOL.: a) λₑ= 363,736 pm; b) λ$_p$= 0,2 pm; c) λ$_{bola}$= 1,655·10⁻³⁹pm

$v = 2\cdot 10^6\ m/s$

a) $p = \dfrac{h}{\lambda}$

$m_e\cdot v_e = \dfrac{h}{\lambda_e} \longrightarrow \lambda_e = \dfrac{h}{m_e\cdot v_e} = \dfrac{6'62\cdot 10^{-34}}{9'1\cdot 10^{-31}\cdot 2\cdot 10^6} = \boxed{3'637\cdot 10^{-10}\ m}$

b) $p = \dfrac{h}{\lambda}$

$m_p\cdot v_p = \dfrac{h}{\lambda_p} \longrightarrow \lambda_p = \dfrac{h}{m_p\cdot v_p} = \dfrac{6'62\cdot 10^{-34}}{1'65\cdot 10^{-27}\cdot 2\cdot 10^6} = \boxed{2\cdot 10^{-13}\ m}$

c) $p = \dfrac{h}{\lambda}$

$m_b\cdot v_b = \dfrac{h}{\lambda_b} \longrightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m_b\cdot v_b} = \dfrac{6'62\cdot 10^{-34}}{0'2\cdot 2\cdot 10^6} = \boxed{1'655\cdot 10^{-39}\ m}$

5. (a) Escriba la configuración electrónica del estado fundamental del átomo de oxigeno (Z = 8) y el conjunto de números cuánticos n, ℓ, m$_ℓ$ y m$_s$ de cada electrón del oxígeno. (b) ¿Qué elementos poseen las siguientes configuraciones electrónicas: (1) 1s²2s²p⁶3s²p² (2) 1s²2s²p⁶3s²p⁶4s²

a) $1s^2 2s^2 2p^4$

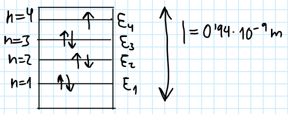
$n = 2$
- $l = 0 \longrightarrow m_l = 0$
  - $m_s = 1/2$ $(2,0,0,1/2)$
  - $m_s = -1/2$ $(2,0,0,-1/2)$
- $l = 1$
  - $m_l = -1$
    - $m_s = 1/2$ $(2,1,-1,1/2)$
    - $m_s = -1/2$ $(2,1,-1,-1/2)$
  - $m_l = 0$
    - $m_s = 1/2$ $(2,1,0,1/2)$
    - $m_s = -1/2$ $(2,1,0,-1/2)$
  - $m_l = 1$
    - $m_s = 1/2$ $(2,1,1,1/2)$
    - $m_s = -1/2$ $(2,1,1,-1/2)$

b) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 \longrightarrow \boxed{\text{Si (Silicio)}}$ $\quad 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 \longrightarrow \boxed{\text{Ca (Calcio)}}$

6. Algunas moléculas de colorantes orgánicos poseen una cadena lineal de átomos de carbono en línea recta. Los 7 electrones que hacen de enlace entre esos átomos se comportan de forma parecida a como lo hacen las partículas cuánticas en una caja de energía potencial. Para estas moléculas se utiliza un modelo sencillo que supone a los electrones como partículas cuánticas confinadas en una caja de energía unidimensional de longitud 0.94 nm. (a) Calcular la energía total del conjunto de los 7 electrones. (b) El color del colorante se debe a la transición entre los estados n =3 y n = 4. Calcular la longitud de onda de ese color.
SOL: (a) $E_T = 2{,}97\cdot10^{-18}$ J; (b) $\lambda = 420$ nm

$l = 0'94\,nm = 0'94\cdot10^{-9}\,m$

a)



$$E_1 = \frac{h^2}{8m_e l^2} = \frac{(6'62\cdot10^{-34})^2}{8\cdot9'1\cdot10^{-31}\cdot(0'94\cdot10^{-9})^2} = 6'81\cdot10^{-20}\,J$$

$$E_2 = E_1\cdot n^2 = 6'81\cdot10^{-20}\cdot4 = 2'724\cdot10^{-19}\,J\ ;\ E_3 = E_1\cdot n^2 = 6'81\cdot10^{-20}\cdot9 = 6'129\cdot10^{-19}\,J\ ;\ E_4 = 6'81\cdot10^{-20}\cdot16 = 1'1\cdot10^{-18}\,J$$

$$E_T = 2E_1 + 2E_2 + 2E_3 + E_4 = \boxed{3\cdot10^{-18}\,J}$$

b) $\Delta E = h\cdot\upsilon \longrightarrow \upsilon = \frac{\Delta E}{h} = \frac{(1'1\cdot10^{-18} - 6'129\cdot10^{-19})}{6'62\cdot10^{-34}} = 7'36\cdot10^{14}\,Hz$ $\quad c = \lambda\cdot\upsilon \longrightarrow \lambda = \frac{c}{\upsilon} = \frac{3\cdot10^8}{7'36\cdot10^{14}} = \boxed{4'1\cdot10^{-7}\,m}$

7. Para los siguientes conjuntos de números cuánticos **n**, **l**, **m$_l$**, indicar cuáles son correctos y qué orbital representan. (a) 2, 2, 0 (b) 3, 2, 0 (c) 3, 0, 3 (d) 1, 1, 0 (e) 2, 1, 0.

a) No es correcto, pues el número cuántico l sólo puede tomar valores desde 0 hasta n−1, luego n no puede ser igual que l.
b) Es correcto, y representa el orbital 3d.
c) No es correcto, ya que el número cuántico m_l toma valores desde −l hasta +l, luego no puede ser mayor a l.
d) No es correcto, por la misma justificación que en el a.
e) Es correcto, y representa el orbital 2p.

8. La resistividad del cobre es de $1{,}675.10^{-8}$ Ωm siendo la concentración de electrones en el mismo $8{,}48\cdot10^{22}$ cm^{-3}. Determinar la velocidad de arrastre de los electrones de conducción al aplicar un campo eléctrico de 10 V/m.
SOL.: $v = 44{,}3\cdot10^{-3}$ ms^{-1}

$\rho = 1'675\cdot10^{-8}\,\Omega\cdot m\ ;\ n = 8'48\cdot10^{22}\,cm^{-3}\ ;\ E = 10\,V/m$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$n\cdot e\cdot\mu\cdot\cancel{E} = \sigma\cdot\cancel{E}$$

$$\mu = \frac{\sigma}{n\cdot e} = \frac{1}{\rho\cdot n\cdot e} = \frac{1}{1'675\cdot10^{-8}\cdot8'48\cdot10^{28}\cdot1'6\cdot10^{-19}} = 4'4\cdot10^{-3}\,m^2/Vs$$

$$V_d = \mu\cdot E = 4'4\cdot10^{-3}\cdot10 = \boxed{4'4\cdot10^{-2}\,m/s}$$

9. La energía de Fermi de la plata es 5,1 eV. Calcular a 300 K, la probabilidad de que esté ocupado un estado cuya energía es: (a) 5 eV; (b) 5,2 eV; (c) 6 eV; (d) Calcular la temperatura a la que la probabilidad de ocupación de un estado de 5,2 eV de energía es del 10%. DATO: $k_B = 1'38\cdot10^{-23}$ J/K
SOL.: (a) $p(E_1) = 97{,}95\%$; (b) $p(E_2) = 2{,}05\%$; (c) $p(E_3) = 7{,}84\cdot10^{-14}\%$; (d) T= 527,67 K.

$E_F = 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19}\,J\ ;\ T = 300K.$

a) Utilizando la función de distribución de Fermi-Dirac: $\quad E_1 = 5\cdot1'6\cdot10^{-19}\,J$

$$f(E_1) = \frac{1}{1+e^{(E_1-E_F)/KT}} = \frac{1}{1+e^{(5\cdot1'6\cdot10^{-19} - 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19})/1'38\cdot10^{-23}\cdot300}} = 0'98 \longrightarrow p = 0'98\cdot100 = \boxed{98\%}$$

b) $E_2 = 5'2\cdot1'6\cdot10^{-19}\,J$

$$f(E_2) = \frac{1}{1+e^{(E_2-E_F)/KT}} = \frac{1}{1+e^{(5'2\cdot1'6\cdot10^{-19} - 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19})/1'38\cdot10^{-23}\cdot300}} = 0'0205 \longrightarrow p = 0'02\cdot100 = \boxed{2'05\%}$$

c) $E_3 = 6\cdot1'6\cdot10^{-19}\,J$

$$f(E_3) = \frac{1}{1+e^{(E_3-E_F)/KT}} = \frac{1}{1+e^{(6\cdot1'6\cdot10^{-19} - 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19})/1'38\cdot10^{-23}\cdot300}} = 7'836 \longrightarrow p = 7'836\cdot100 = \boxed{7'836\cdot10^{-14}\%}$$

d) $E = 5'2\cdot1'6\cdot10^{-19}\,J$

$$p = x\cdot100 = 10\% \longrightarrow x = 0'1$$

$$f(E_1) = \frac{1}{1+e^{(E_1-E_F)/KT}} = \frac{1}{1+e^{(5'2\cdot1'6\cdot10^{-19} - 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19})/1'38\cdot10^{-23}\cdot T}} = 0'1$$

$$\frac{1}{0'1} - 1 = e^{(\ )}$$

$$\ln\left(\frac{1}{0'1}-1\right) = \frac{(5'2\cdot1'6\cdot10^{-19} - 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19})}{1'38\cdot10^{-23}\cdot T} \longrightarrow T = \frac{(5'2\cdot1'6\cdot10^{-19} - 5'1\cdot1'6\cdot10^{-19})}{1'38\cdot10^{-23}\cdot\ln\left(\frac{1}{0'1}-1\right)} = \boxed{527'67\,K}$$

10. Calcular la movilidad de los electrones libres del aluminio sabiendo que existen tres de estos electrones por átomo. Datos: densidad = 2.7 g/cm^3; $\rho = 3.44\ 10^{-6}$ Ωcm; $M_a = 26.97$ u; $N_A = 6'023\cdot10^{23}$ mol^{-1}
SOL: 10^{-3} m^2/Vs

$3e^-/atm \rightarrow 3p^+/atm \longrightarrow Z = 3\ ;\ d_m = 2'7\,g/cm^3\ ;\ \rho = 3'44\cdot10^{-6}\,\Omega\cdot cm = 3'44\cdot10^{-8}\,\Omega\cdot m\ ;\ M_a = 26'97\,u\ ;\ N_A$

$$n = z\cdot N_A\cdot\frac{d_m}{M} = 3\cdot6'023\cdot10^{23}\cdot\frac{2'7}{26'97} = 1'8\cdot10^{23}\,cm^{-3}$$

$$n\cdot e\cdot\mu\cdot\cancel{E} = \sigma\cdot\cancel{E} \rightarrow \mu = \frac{1}{\rho\cdot n\cdot e} = \frac{1}{3'44\cdot10^{-6}\cdot1'8\cdot10^{23}\cdot1'6\cdot10^{-19}} = 10\,cm^2/Vs = \boxed{10^{-3}\,m^2/Vs}$$

11. Cuando la temperatura de un cristal de Ge intrínseco pasa de 20ºC a 30ºC, su conductividad se incrementa un 50 %. (a) Determinar la anchura de su banda prohibida, E_G. (b) En el caso del Silicio, E_G = 1,1 eV, ¿cuál es el porcentaje de cambio de su conductividad para el mismo cambio de temperatura?
SOL: (a) E_G = 0.64 eV; (b) 105%.

$T_0 = 20°C = 293K\ ;\ T_F = 30° = 303K\ ;\ \sigma = 1'5$

a) $1'5 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\cancel{\sigma_0}\cdot e^{-E_G/2KT_F}}{\cancel{\sigma_0}\cdot e^{-E_G/2KT_0}} = e^{\left(-\frac{E_G}{2KT_F} + \frac{E_G}{2KT_0}\right)}$

$$\ln(1'5) = -\frac{E_G}{2KT_F} + \frac{E_G}{2KT_0} = E_G\left(-\frac{1}{2KT_F} + \frac{1}{2KT_0}\right) \longrightarrow E_G = \frac{\ln(1'5)}{\left(-\frac{1}{2\cdot1'38\cdot10^{-23}\cdot303} + \frac{1}{2\cdot1'38\cdot10^{-23}\cdot293}\right)} = \boxed{9'935\cdot10^{-20}\,J = 0'62\,eV}$$

$$\ln(1'5) = -\frac{E_G}{2KT_F} + \frac{E_G}{2KT_0} = E_G\left(-\frac{1}{2KT_F} + \frac{1}{2KT_0}\right) \longrightarrow E_G = \frac{\ln(1'5)}{\left(-\frac{1}{2\cdot 1'38\cdot 10^{-23}\cdot 303} + \frac{1}{2\cdot 1'38\cdot 10^{-23}\cdot 293}\right)} = \boxed{9'935\cdot 10^{-20}\,J = 0'62\,eV}$$

b) $E_G = 1'1\,eV$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\cancel{\sigma_0}\cdot e^{-E_G/2KT}}{\cancel{\sigma_0}\cdot e^{-E_G/2KT}} = 2'05 \qquad p = (2'05-1)\cdot 100 = \boxed{105\%}$$

12. Se utiliza como resistencia de una zona de un circuito integrado una barra de silicio tipo-n de 2 mm de longitud y de $2.5\cdot 10^{-5}m^2$ de sección. Sabiendo que la concentración de átomos donadores es $5\cdot 10^{13}cm^{-3}$ y que la movilidad de electrones es 1500 cm^2/Vs, determinar su resistencia a 300 K demostrando que la contribución de huecos es despreciable a la conductividad. Datos: μ_p = 475 cm^2/Vs; $n_i = 1.45\cdot 10^{16}$ m^{-3}.
SOL.: R = 66,67 Ω

Tipo n; $l = 2mm = 2\cdot 10^{-3}m$; $S = 2'5\cdot 10^{-5}m^2$; $N_D = 5\cdot 10^{13}cm^{-3} = 5\cdot 10\cdot 10^{17}\frac{1}{cm^3}\cdot\frac{1000000}{1m^3} = 5\cdot 10^{19}m^{-3}$; $\mu_n = 1500\,cm^2/Vs$; $T = 300K$; $\mu_p = 475\,cm^2/Vs$; $n_i = 1'45\cdot 10^{16}\,m^{-3}$

Como $N_D \gg n_i$, es de comportamiento extrínseco y de tipo n, luego:
$n_n \approx N_D$, $n \gg p \longrightarrow \sigma_n \gg \sigma_p \rightarrow \sigma \simeq \sigma_n$

$$\sigma \approx \sigma_n \approx n_n\cdot\mu_n\cdot e = N_D\cdot\mu_n\cdot e = 5\cdot 10^{19}\cdot 1'5\cdot 10^{-1}\cdot 1'6\cdot 10^{-19} = 1'2\ \Omega^{-1}m^{-1}$$

$$R = \frac{1}{\sigma}\cdot\frac{l}{S} = \frac{1}{1'2}\cdot\frac{2\cdot 10^{-3}}{2'5\cdot 10^{-5}} = \boxed{66'66\ \Omega}$$

Demostración de que la contribución de huecos es despreciable a la conductividad:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = 1'2 + e\cdot p_n\mu_p = 1'2 + 1'6\cdot 10^{-19}\cdot 4'205\cdot 10^{12}\cdot 1'5\cdot 10^{-1} = 1'200000101\ \Omega^{-1}m^{-1} \longrightarrow$$

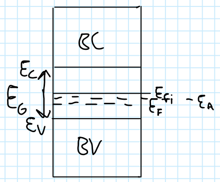
$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1'45\cdot 10^{16})^2}{5\cdot 10^{19}} = 4'205\cdot 10^{12}\,m^{-3}$$

Como se puede ver, la diferencia entre $1'2\,\Omega^{-1}m^{-1}$ y $1'200000101\,\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$ es despreciable, luego la contribución de huecos es despreciable a la conductividad.

13. Se sabe que cierto semiconductor tiene una densidad de 2.33 gcm^{-3} y una masa atómica de 28,09. El semiconductor se impurifica en una proporción de 2 átomos de boro por cada 10^6 átomos de dicho semiconductor. (a) Sabiendo que el semiconductor puro contiene un solo tipo de átomos del grupo IV de la tabla periódica, explicar qué tipo de semiconductor se genera con el dopado y dibujar un esquema a nivel atómico y un diagrama de bandas; (b) Calcular razonadamente la concentración de impurezas así como las concentraciones de electrones y huecos; (c) Calcular la diferencia de potencial entre los extremos de una muestra de dicho material de 3 mm de longitud y sección rectangular de 50?m × 100?m al ser atravesada por una corriente de 1μA.
DATOS: $n_i = 10^{16}$ m^{-3}; $\mu_p = \mu_e = 2000$ $cm^2V^{-1}s^{-1}$; se supone ionización total de impurezas.
SOL.:(a) semiconductor extrínseco tipo-p; (b) $1\cdot 10^{23}$ m^{-3}; $n_p = 1\cdot 10^9$ m^{-3}; $p_p = 1\cdot 10^{23}$ m^{-3}; (c) V_A-V_B= $1{,}875\cdot 10^{-4}$ V

$d_m = 2'33\,g/cm^3$; $M = 28'09u$ $\quad$ 2 atm B / 10^6 atm semiconductor $\longrightarrow N_A$

a) Al doparse el semiconductor intrínseco con átomos de Boro, se convierte en un semiconductor extrínseco tipo p, pues el Boro pertenece al grupo XIII de la tabla periódica, siendo su valencia 3, por lo que se generarán huecos.



b) $N_S \frac{\cancel{atm S}}{m^3}\cdot\frac{2\,atm\,B}{10^6\,\cancel{atm S}} \longrightarrow N_A$

$$N_S = N_A\cdot\frac{d_m}{M} = 6'023\cdot 10^{23}\cdot\frac{2'33}{28'09} = 5\cdot 10^{22}\ m^{-3}$$

$N_A \gg n_i$, luego $p \gg n$, $p_p \approx N_A$,
$p_p \approx 5\cdot 10^{22}m^{-3}$

→ debería poner también "de comportamiento extrínseco"

14. Calcular la concentración de huecos y electrones en una muestra de Germanio tipo-p a 300 K sabiendo que la conductividad de la muestra a dicha temperatura es 100 $(\Omega cm)^{-1}$. Calcular la concentración de huecos y electrones en una muestra de Silicio tipo-n a 300 K sabiendo que la conductividad de la muestra a dicha temperatura es 0´1 $(\Omega cm)^{-1}$.
DATOS para el Ge: $e^- = -1´6\cdot 10^{-19}$ C; n_i(300 K) = $2´5\cdot 10^{13}$ cm^{-3}; μ_p=1800 cm^2/Vs
DATOS para el Si: $e^- = -1´6\cdot 10^{-19}$ C; n_i(300 K) = $1´5\cdot 10^{10}$ cm^{-3}; μ_n=1300 cm^2/Vs
SOL: (Ge) $p_p = 3{,}47\cdot 10^{23}m^{-3}$; $n_p = 1{,}80\cdot 10^{15}m^{-3}$; (Si) $p_n = 4{,}68\cdot 10^{11}$ m^{-3}; $n_n = 4{,}81\cdot 10^{20}$ m^{-3}

Ge → Semiconductor extrínseco tipo p; $T = 300K$; $\sigma = 100\,\Omega^{-1}cm^{-1} = 10^4\,\Omega^{-1}m^{-1}$; $n_i(300K) = 2'5\cdot 10^{13}\,cm^{-3}$; $\mu_p = 1800\,cm^2/Vs$
Al ser un semiconductor extrínseco tipo p de comportamiento extrínseco, $\sigma_p \approx p_p\cdot\mu_p\cdot e \longrightarrow p_p \approx \frac{\sigma_p}{\mu_p\cdot e} = \frac{10^4}{0'18\cdot 1'6\cdot 10^{-19}} = \boxed{3'47\cdot 10^{23}\,m^{-3}}$
Debido a su comportamiento extrínseco tipo p también podemos asumir que $p_p \approx N_A$ y que $n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A}$. Luego:

$N_A \approx 3'47\cdot 10^{23}\,m^{-3}$

$$n_p \approx \frac{(2'5\cdot 10\ )^2}{3'47\cdot 10^{23}} = \boxed{1'8\cdot 10^{15}\ m^{-3}}$$

Si → Semiconductor extrínseco tipo n de comportamiento extrínseco; $T = 300K$; $\sigma = 0'1\,\Omega^{-1}cm^{-1} = 10\,\Omega^{-1}m^{-1}$; $n_i(300K) = 1'5\cdot 10^{10}\,cm^{-3} = 1'5\cdot 10^{16}\,m^{-3}$; $\mu_n = 1300\ cm^2/Vs = 0'13\ m^2/Vs$
Al tener comportamiento extrínseco, $\sigma_n \approx n_n\cdot\mu_n\cdot e$, $n_n \approx N_D$ y $p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D}$

$$\sigma_n \approx n_n\cdot\mu_n\cdot e \longrightarrow n_n \approx \frac{\sigma_n}{\mu_n\cdot e} = \frac{10}{0'13\cdot 1'6\cdot 10^{-19}} = \boxed{4'8\cdot 10^{20}\,m^{-3}}$$

$n_n \approx N_D$
$N_D \approx 4'8\cdot 10^{20}$

$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1'5\cdot 10^{16})^2}{4'8\cdot 10^{20}} = \boxed{4'69\cdot 10^{11}\,m^{-3}}$$

15. Admitiendo que el valor del ancho de banda prohibida, las masas efectivas de electrones y huecos y las movilidades no varían con la temperatura, para una muestra de arseniuro de galio (AsGa):
    a) Calcular la concentración intrínseca a temperatura ambiente (27ºC).
    b) Calcular la concentración intrínseca para T= 800 K. Explicar razonadamente la diferencia obtenida entre ambos valores según la teoría de bandas de energía.
    c) Calcular la conductividad eléctrica del AsGa intrínseco para ambas temperaturas.
    d) Se dopa con Te el semiconductor AsGa a 300 K. Indicar razonadamente el tipo de semiconductor extrínseco resultante. En un diagrama de bandas de energía indicar la posición del nivel de Fermi.

DATOS: N_C (300K) = $4{,}7\cdot10^{17}$ cm^{-3}; N_V (300K) = $7\cdot10^{18}$ cm^{-3} ; μ_n = 8500 cm^2/(V·s) ; μ_p = 400 cm^2/(V·s) ; E_G= 1,43 eV ; K_B =$1{,}38\cdot10^{-23}$ J/K ; e- = $-1{,}6\cdot10^{-19}$ C
SOL.: (a) n_i= $1{,}8105\cdot10^{12}$ m^{-3}; (b) n_i = $2{,}4962\cdot10^{20}$ m^{-3}; (c) σ(300K) = $2{,}58\cdot10^{-7}$(Ω·m)$^{-1}$; σ(800K)=35,55 (Ω·m)$^{-1}$

AsGa

a) $T=300K;\ N_V(300K)=7\cdot10^{18}cm^{-3}=7\cdot10^{24}m^{-3};\ N_C(300K)=4'7\cdot10^{17}cm^{-3}=4'7\cdot10^{23}m^{-3};\ \mu_n=8500\,cm^2/Vs=0'85\,m^2/Vs;\ \mu_p=400\,cm^2/Vs=0'04\,m^2/Vs;\ E_G=1'43\cdot1'6\cdot10^{-19}J$

$$n=p=n_i=\sqrt{N_CN_V}\cdot e^{-E_G/2KT}=\sqrt{4'7\cdot10^{23}\cdot7\cdot10^{24}}\cdot e^{-1'43\cdot1'6\cdot10^{-19}/2\cdot1'38\cdot10^{-23}\cdot300}=\boxed{1'8105\cdot10^{12}\,m^{-3}}$$

b) $T=800K$

$$N_C(300K)=2\cdot\left(\frac{2\pi m_n k_BT}{h^2}\right)^{3/2}=4'7\cdot10^{23}$$

$$\frac{4'7\cdot10^{23}}{2}=\left(\sqrt{\frac{2\pi m_n\cdot1'38\cdot10^{-23}\cdot300}{h^2}}\right)^3=1'45\cdot10^{70}\cdot\sqrt{m_n^3}\qquad\left(\sqrt{m_n^3}\right)^2=\left(1'625\cdot10^{-47}\right)^2\qquad m_n=6'4\cdot10^{-32}\,Kg$$

$$N_C(800K)=2\cdot10^{24}\,m^{-3}$$

$$m_p=3'88\cdot10^{-31}\,Kg$$

$$N_V(800K)=3\cdot10^{25}\,m^{-3}\qquad n_i=\sqrt{N_CN_V}\cdot e^{-E_G/2KT}=\boxed{2'45\cdot10^{20}\,m^{-3}}$$

c) $\sigma(300K)=n_i\cdot e\cdot(\mu_n+\mu_p)=1'8105\cdot10^{12}\cdot1'6\cdot10^{-19}\cdot(0'85+0'04)=\boxed{2'58\cdot10^{-7}(\Omega\cdot m)^{-1}}$

$\sigma(800K)=n_i\cdot e\,(\mu_n+\mu_p)=2'45\cdot10^{20}\cdot1'6\cdot10^{-19}\cdot(0'85+0'04)=\boxed{35\,(\Omega\cdot m)^{-1}}$

d) Te ⟶ Impurezas donadoras. T = 300K
Como se dopa con impurezas donadoras, es un semiconductor extrínseco tipo n.

16. Una barra de Germanio tipo-n tiene una sección de 5 mm^2 y una longitud de 0,5 cm. Si la barra se encuentra a la temperatura ambiente (T=300K) y la concentración de impurezas donadoras es N_D= 10^{15} cm^{-3}, calcular: (a) La resistencia de la barra; (b) La velocidad de desplazamiento de los electrones cuando se establece una diferencia de potencial de 0,5 V entre los extremos de la barra. DATOS: μ_n= 3800 cm^2/Vs; n_i= $2{,}5\cdot10^{13}$ cm^{-3}; e = $-1{,}6\cdot10^{-19}$ C
SOL: (a) R = 16,45 Ω; (b) v_d = 37,5 ms^{-1}

Ge, semiconductor extrínseco tipo n; $S=5mm^2=5\cdot10^{-6}m^2;\ L=0'5\,cm=0'005\,m;\ T=300K;\ N_D=10^{15}cm^{-3}=10^{21}m^{-3};\ \mu_n=3800\,cm^2/Vs=0'38\,m^2/Vs$

a) $n_i=2'5\cdot10^{13}cm^{-3}=2'5\cdot10^{19}m^{-3}$ N_D no es mucho mayor que n_i, luego no podemos aproximar.

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

Como es tipo n, $N_A=0$

$n=N_D+p$ $\frac{n_i}{p}=N_D+p$

$n=\frac{n_i}{p}$ $n_i=p\,(N_D+1)$ $p=\frac{n_i}{(N_D+1)}=\frac{2'5\cdot10^{19}}{(10^{21}+1)}=0'025\,m^{-3}$

$n=\frac{2'5\cdot10^{19}}{0'025}=10^{21}m^{-3}\gg p,$
luego $\sigma_n\gg\sigma_p$, por lo que $\sigma\simeq\sigma_n$

$$\sigma\simeq\sigma_n\simeq n\cdot\mu_n\cdot e=10^{21}\cdot0'38\cdot1'6\cdot10^{-19}=60'8\,\Omega^{-1}m^{-1}$$

$$R=\frac{1}{\sigma}\cdot\frac{L}{S}=\frac{1}{60'8}\cdot\frac{0'005}{5\cdot10^{-6}}=\boxed{16'45\,\Omega}$$

b) $\Delta V=0'5V$ $V_d=\mu_n\cdot E=0'38\cdot100=\boxed{38\,m/s}$

$$\Delta V=\int_A^B\vec{E}\cdot d\vec{l}=E\cdot1\longrightarrow E=100\,N/C$$

17. El numero electrones libres en el Silicio puro es de unos 10^{10} e$^-$/cm^3 a temperatura ordinaria. Si por cada millón de átomos reemplazamos un átomo de silicio por otro de arsénico, (a) ¿cuántos electrones libres existirán por centímetro cúbico? (b) Sabiendo que μ_n = 1400 cm^2/V·s, determinar la conductividad del silicio impuro. DATOS: d_{Si} = 2,33 g/cm^3; M = 28,1 g/mol
SOL.: a) n = $5\cdot10^{16}$ cm^{-3}; b) σ = 11.2 Ω^{-1}cm^{-1}

$n=10^{10}cm^{-3}=10^{16}m^{-3};$ 1 atm As/10^6 atm Si   As ⟶ Grupo 15, luego son impurezas donadoras ⟶ Semiconductor extrínseco tipo n

a) $d_{Si}=2'33\,g/cm^3;\ M=28'1\,g/mol$

$$N_{Si}=N_A\cdot\frac{d_{Si}}{M_{Si}}=5\cdot10^{22}\,cm^{-3}\qquad N_{Si}\cdot\frac{1\text{ atm As}}{10^6\text{ atm Si}}\longrightarrow N_D=5\cdot10^{16}\,cm^{-3}$$

Como es tipo n: $N_A=0$

Ley de neutralidad eléctrica

$n=p=n_i$, luego $n_i=10^{16}m^{-3}=10^{10}cm^{-3}$

$5\cdot10^{16}\gg10^{10}$, luego $N_D\gg n_i$, lo que significa que el semiconductor tiene comportamiento extrínseco, es decir, podemos decir que $n\simeq N_D$

$$\boxed{n\simeq5\cdot10^{16}cm^{-3}}$$

b) $\mu_n=0'14\,m^2/Vs$ Como el semiconductor tiene comportamiento extrínseco, pues $n\gg p$ (n es n_n en el siguiente apartado), podemos decir que $\sigma_n\gg\sigma_p$, luego $\sigma\simeq\sigma_n$.

$$\sigma_n\simeq n_n\cdot\mu_n\cdot e=5\cdot10^{16}\cdot10^6\cdot0'14\cdot1'6\cdot10^{-19}=\boxed{1120\,\Omega^{-1}m^{-1}}$$

18. Calcular la resistividad del silicio en las circunstancias siguientes: (a) Silicio puro a 300 K; (b) a 300 K dopado con indio en una concentración de $5\cdot10^{20}$ m-3; (c) Silicio intrínseco a 500 K; (d) a 500 K dopado con la misma concentración de átomos de indio del apartado b. DATOS: ni (300 K) = $1.5\cdot10^{16}$ m^{-3}; ni (500 K) = $3.7\cdot10^{20}$ m^{-3}; μ_n = 0.135 m^{2}V^{-1}s^{-1}; μ_p = 0.05 m^{2}V^{-1}s-1.
SOL: (a) ρ = 2252 Ωm; (b) ρ = 0.25 Ωm; (c) ρ = 0.091 Ωm; (d) ρ = 0.102 Ωm

a) Si puro $\longrightarrow$ Semiconductor intrínseco ; $T = 300K$; $n_i(300K) = 1'5 \cdot 10^{16} m^{-3}$

$\sigma = n_i \cdot e \cdot (\mu_n + \mu_p) = 1'5 \cdot 10^{16} \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot (0'135 + 0'05) = 4'44 \cdot 10^{-4}\ \Omega^{-1} m^{-1}$ $\quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{4'4 \cdot 10^{-4}} = \boxed{2252\ \Omega \cdot m}$

b) Dopado con In (impurezas aceptoras) $\longrightarrow$ Semiconductor extrínseco tipo p ; $N_A = 5 \cdot 10^{20} m^{-3}$; $N_D = 0$

$5 \cdot 10^{20} \gg 1'5 \cdot 10^{16}$, luego $N_A \gg n_i$. Por lo tanto el semiconductor tiene comportamiento extrínseco, con lo cual $p \gg n$, $\sigma_p \gg \sigma_n$ y $\sigma_p \approx \sigma$.

$\sigma \approx \sigma_p \approx p_p \cdot \mu_p \cdot e = 5 \cdot 10^{20} \cdot 0'05 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} = 4\ \Omega^{-1} m^{-1} \longrightarrow \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{4} = \boxed{0'25\ \Omega \cdot m}$

$p_p \approx N_A$ (por comportamiento extrínseco)

c) Si puro $\rightarrow$ Semiconductor intrínseco; $T = 500K$; $n_i(500K) = 3'7 \cdot 10^{20} m^{-3}$

$\sigma = n_i \cdot e \cdot (\mu_n + \mu_p) = 3'7 \cdot 10^{20} \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot (0'135 + 0'05) = 10'952\ \Omega^{-1} m^{-1}$ $\quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{10'952} = \boxed{0'091\ \Omega \cdot m}$

d) Dopado con In (impurezas aceptoras, porque el Indio es del grupo III) $\longrightarrow$ Semiconductor extrínseco tipo p ; $N_A = 5 \cdot 10^{20} m^{-3}$; $N_D = 0$; $n_i(500K) = 3'7 \cdot 10^{20} m^{-3}$

Como N_A no es mucho mayor que n_i, no podemos aproximar.

$$\left.\begin{array}{l} n_i^2 = n_p p_p \\ N_A + n_p = p_p \end{array}\right\} \quad n_i^2 = n_p \cdot (N_A + n_p) = N_A \cdot n_p + n_p^2 \qquad n_p^2 + N_A n_p - n_i^2 = 0$$

$$n_p = \frac{-5 \cdot 10^{20} \pm \sqrt{(5 \cdot 10^{20})^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-(3'7 \cdot 10^{20})^2)}}{2} = \begin{cases} 1'965 \cdot 10^{20} m^{-3} \\ -6'965 \cdot 10^{20} m^{-3} \end{cases}$$

$-6'965 \cdot 10^{20} m^{-3} \longrightarrow$ Descartamos esta solución porque no tiene sentido que n_p sea negativa.

$$p_p = 1'965 \cdot 10^{20} + 5 \cdot 10^{20} = 6'965 \cdot 10^{20} m^{-3}$$

$\sigma = \sigma_{n_p} + \sigma_{p_p} = e \cdot n_p \cdot \mu_{n_p} + e \cdot p_p \cdot \mu_{p_p} = 1'6 \cdot 10^{-19} (1'965 \cdot 10^{20} \cdot 0'135 + 6'965 \cdot 10^{20} \cdot 0'05)$

$\sigma = 9'8164\ \Omega^{-1} m^{-1}$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{9'8164} = \boxed{0'102\ \Omega \cdot m}$$