Relación de Problemas - Física Cuántica

viernes, 27 de octubre de 2023 11:54

1. Una radiación luminosa de 2000 Å e intensidad 3 mW/m^2 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^{-34}J·s; c= 3·10^8 m/s
SOL.: (a) 3,017·10^{15} fotones /sm^2; (b) 8,34·10^{-19} J

Datos

$\lambda = 2000\,Å \longrightarrow \lambda = 2\cdot10^{-7}\,m$

$I = 3\,mW/m^2 \quad W_0 = 1\,eV = 1{,}6\cdot10^{-19}\,J$

a) • $I = n\cdot h\cdot f$ • $c = \lambda\cdot f$

• $f = \dfrac{3\cdot10^8}{2\cdot10^{-7}}$; $f = 1{,}5\cdot10^{15}\,Hz$

• $n = \dfrac{3\cdot10^3\,W/m^3}{(6{,}62\cdot10^{-34}\,J)(1{,}5\cdot10^{15}\,Hz)}$;

$\boxed{n = 3{,}02\cdot10^{21}\ fotones/m^2\cdot s}$

b) • $Ef = E_c + W_0$

• $E_c = (6{,}62\cdot10^{-34})\cdot(1{,}5\cdot10^{13}) - (1{,}6\cdot10^{-19})$;

$\boxed{E_c = 8{,}33\cdot10^{-19}\,J}$

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^{-34}J·s; c= 3·10^8 m/s; m$_e$= 9´1·10^{-31} kg
SOL.: (a) Ec_{max}= 9,629·10^{-20}J; (b) v = 4,60·10^5 m/s

Datos

$\lambda = 500\cdot10^{-9}\,m \quad h = 6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s$

$\lambda_0 = 660\cdot10^{-9}\,m \quad m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}\,Kg$

a) • $Ef = E_c + W_0$ • $C = \lambda\cdot f$

• $(6{,}62\cdot10^{-34})\cdot\dfrac{3\cdot10^8}{500\cdot10^{-9}} = E_c + (6{,}62\cdot10^{-34})\cdot\dfrac{3\cdot10^8}{660\cdot10^{-9}}$; $\boxed{E_c = 9{,}629\cdot10^{-20}\,J}$

b) • $E_c = \frac{1}{2}m\cdot v^2$; $v = \sqrt{\dfrac{2E_c}{m}} \longrightarrow v = \dfrac{2\cdot(9{,}629\cdot10^{-20})}{9{,}1\cdot10^{-31}}$; $\boxed{v = 4{,}6\cdot10^{8}\,m/s}$

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/m^2; (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^{-8} m, ν = 6·10^{15} Hz; b) 7,6·10^{14} fotones/m^{2}s; c) W$_0$ = 4·10^{-19} J; d) ν$_0$ = 6·10^{14} Hz

Datos

$Ef = 24{,}86\,eV \quad I = 3\cdot10^{3}\,W/m^2$

$1\,eV = 1{,}6\cdot10^{-19}\,J \quad V_{frenado} = 22{,}4\,V$

a) • $Ef = h\cdot f$; $f = \dfrac{(24{,}86\,eV)\cdot(1{,}6\cdot10^{-19}\,J/eV)}{6{,}62\cdot10^{-34}}$; $\boxed{f = 6\cdot10^{15}\,Hz}$

• $C = \lambda\cdot f$; $\lambda = \dfrac{3\cdot10^8\,m/s}{6\cdot10^{15}\,Hz}$; $\boxed{\lambda = 5\cdot10^{-8}\,m}$

b) • $I = n\cdot h\cdot f$; $n = \dfrac{3\cdot10^3}{(6{,}62\cdot10^{-34})(6\cdot10^{15})}$; $\boxed{n = 7{,}55\cdot10^{20}\ fotones/m^2\cdot s}$

c) • $E_c = q\cdot V$; $E_c = (1{,}6\cdot10^{-19}\,J)\cdot(22{,}4\,V)$; $E_c = 3{,}58\cdot10^{-18}\,J$

• $W_0 = Ef - E_c$; $W_0 = (6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s)(6\cdot10^{15}\,Hz) - (3{,}58\cdot10^{-18}\,J)$; $\boxed{W_0 = 3{,}97\cdot10^{-19}\,J}$

d) • $W_0 = h\cdot f_0$; $f_0 = \dfrac{3{,}97\cdot10^{-19}\,J}{6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s}$; $\boxed{f_0 = 6\cdot10^{14}\,Hz}$

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

Datos

$m_e = 9'1\cdot10^{-31}\,Kg \quad h = 6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s$

$m_p = 1'65\cdot10^{-27}\,Kg \quad V = 2\cdot10^{6}\,m/s$

a) $\lambda = \dfrac{h}{p} = \dfrac{h}{m\cdot V} \longrightarrow \lambda = \dfrac{6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s}{(9{,}1\cdot10^{-31}\,Kg)(2\cdot10^{6}\,m/s)}$; $\boxed{\lambda_e = 3{,}637\cdot10^{-10}\,m}$

b) $\lambda = \dfrac{6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s}{(1{,}65\cdot10^{-27}\,Kg)(2\cdot10^{6}\,m/s)}$; $\boxed{\lambda_p = 2\cdot10^{-13}\,m}$

c) $\lambda = \dfrac{6{,}62\cdot10^{-34}\,J\cdot s}{(0{,}2\,Kg)(2\cdot10^{6}\,m/s)}$; $\boxed{\lambda_{bola} = 1{,}655\cdot10^{-39}\,m}$

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) 1s^{2}2s^{2}p^{6}3s^{2}p^2 (2) 1s^{2}2s^{2}p^{6}3s^{2}p^{6}4s^2

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) $1s^22s^2p^63s^2p^2$ (2) $1s^22s^2p^63s^2p^64s^2$

a) $O_8^{16} = 1s^2\,2s^2\,p^4$

$$\begin{cases} 1s^2:\ n=1 \longrightarrow l=0 \longrightarrow m=0 \longrightarrow S=\pm\frac{1}{2} \\ 2s^2:\ n=2 \longrightarrow l=0 \longrightarrow m=0 \longrightarrow S=\pm\frac{1}{2} \\ 2p^4:\ n=2 \longrightarrow l=1 \longrightarrow m=-1 \longrightarrow S=\pm\frac{1}{2} \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad m=0 \longrightarrow S=+\frac{1}{2} \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad m=1 \longrightarrow S=+\frac{1}{2} \end{cases}$$

b) 1) $1s^2\,2s^2p^6\,3s^2p^2 \longrightarrow Z=14 \longrightarrow Si_{14}^{28}$

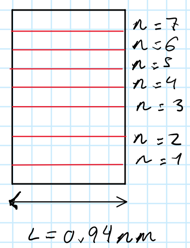
2) $1s^2\,2s^2p^6\,3s^2p^6 4s^2 \longrightarrow Z=20 \longrightarrow Ca_{20}^{40}$

---

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 = 2,97·10^{-18} J; (b) λ = 420 nm

Datos
$n = 7$ $\quad h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ J·s
$L = 0{,}94$ nm $\quad m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ Kg

a)



• $E_T(7e^-) = 2E_1 + 2E_2 + 2E_3 + E_4$ (Ponemos los electrones en pares)

• $E_1 = \dfrac{h^2}{8mL^2}$; $E_1 = \dfrac{(6{,}62\cdot10^{-34})^2}{8(9{,}1\cdot10^{-31})(9{,}4\cdot10^{-10})^2}$; $E_1 = 6{,}813\cdot10^{-20}$ J

• $E_T = 2(6{,}813\cdot10^{-20}) + 2(6{,}813\cdot10^{-20})\cdot2^2 + 2(6{,}813\cdot10^{-20})\cdot3^2 + (6{,}813\cdot10^{-20})\cdot4^2$;

$\boxed{E_T = 2{,}99\cdot10^{-18}\ J}$

b) $\left.\begin{array}{l} \Delta E = E_4 - E_3 = h\cdot f \\ c = \lambda\cdot f \end{array}\right\}$

• $\Delta E = (6{,}813\cdot10^{-20})\cdot4^2 - (6{,}813\cdot10^{-20})\cdot3^2$; $\Delta E = 4{,}77\cdot10^{-19}$ J

• $f = \dfrac{4{,}77\cdot10^{-19}\ J}{6{,}62\cdot10^{-34}\ J\cdot s}$; $f = 7{,}2\cdot10^{14}$ Hz

• $\lambda = \dfrac{3\cdot10^{8}\ m/s}{7{,}2\cdot10^{14}\ Hz}$; $\boxed{\lambda = 4{,}2\cdot10^{-7}\ m}$

---

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) (2, 2, 0) ⟶ No es correcto, l solo llega hasta $n-1$

b) (3, 2, 0) ⟶ correcto (3d)

c) (3, 0, 3) ⟶ No es correcto, m_l solo puede ser $\pm l$

d) (1, 1, 0) ⟶ No es correcto, l solo llega hasta $n-1$

e) (2, 1, 0) ⟶ correcto (2p)

$l = 0 \dots n-1$
$m_l = -l \dots 0 \dots +l$
$m_s = +1/2, -1/2$

Relación de Problemas - Estado Sólido

viernes, 10 de noviembre de 2023 8:55

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

Datos

$\rho = 1{,}675 \cdot 10^{-8}\ \Omega\, m$

$n = 8{,}48 \cdot 10^{28}\ m^{-3}$

$E = 10\ V/m$

$$\left.\begin{array}{l} \vec{J} = \sigma \cdot E \\ \sigma = e^- n \mu \\ Vd = \mu E \\ \rho = \dfrac{1}{\sigma} \end{array}\right\}$$

$J = \sigma \cdot E = e^- \cdot n \overbrace{\mu \cdot E}^{Vd} = e^- \cdot n \cdot Vd$;

$\dfrac{1}{\rho} \cdot E = e^- \cdot n \cdot Vd$; $Vd = \dfrac{\frac{1}{\rho} \cdot E}{e^- \cdot n}$;

$Vd = \dfrac{\frac{1}{1{,}675 \cdot 10^{-8}} \cdot 10}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 8{,}48 \cdot 10^{28}}$; $\boxed{Vd = 44{,}3 \cdot 10^{-3}\ m/s}$

---

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´38·10^{-23} J/K
SOL.: (a) p(E$_1$)= 97,95%; (b) p(E$_2$)= 2,05%; (c) p (E$_3$)= 7,84·10^{-14} %; (d) T= 527,67 K.

Datos

$E_{fermi} = 5{,}1\ eV \cdot \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J}{1\ eV}$

$T = 300\ K$ $K_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ J/K$

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E - Ef)/K_B \cdot T}}$$

a) $E = 5\ eV \cdot \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J}{1\ eV}$; $f(E) = \dfrac{1}{1 + e^{(8 \cdot 10^{-19} - 8{,}16 \cdot 10^{-19})/(1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)}}$; $\boxed{f(E) = 97{,}95\ \%}$

b) $E = 5{,}2\ eV \cdot \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J}{1\ eV}$; $f(E) = \dfrac{1}{1 + e^{(8{,}32 \cdot 10^{-19} - 8{,}16 \cdot 10^{-19})/(1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)}}$; $\boxed{f(E) = 2{,}05\ \%}$

c) $E = 6\ eV \cdot \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J}{1\ eV}$; $f(E) = \dfrac{1}{1 + e^{(9{,}6 \cdot 10^{-19} - 8{,}16 \cdot 10^{-19})/(1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)}}$; $\boxed{f(E) = 7{,}84 \cdot 10^{-14}\ \%}$

d) $0{,}1 = \dfrac{1}{1 + e^x}$; $1 + e^x = \dfrac{1}{0{,}1}$; $e^x = 9$; $x = \ln 9$;

$$\left.\begin{array}{l} x = \ln 9 \\ x = \dfrac{E - Ef}{K_B \cdot T} \end{array}\right\} \cdot \ \frac{E - Ef}{K_B \cdot T} = \ln 9 \ ; \quad T = \frac{8{,}32 \cdot 10^{-19} - 8{,}16 \cdot 10^{-19}}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 9} \ ; \quad \boxed{T = 527{,}67\ K}$$

---

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; ρ = 3.44 10^{-6}Ωcm; M$_a$ = 26.97 u; N$_A$= 6´023·10^{23} mol^{-1}
SOL: 10^{-3} m^2/Vs

Datos

$\rho = 3{,}44 \cdot 10^{-8}\ \Omega\, m$ * $M_A = 26{,}97\ u$

$d = 2{,}7 \cdot 10^6\ g/m^3$ $N_A = 6{,}023 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$

$Z = 3\ e^-/atm$

* pasar las unidades a m

- $\vec{J} = \sigma \cdot E = e^- \cdot n \cdot \mu \cdot E$; $\mu = \dfrac{\frac{1}{\rho}}{e^- \cdot n}$
- $n\,(e^-/m^3) = N_A\,(atm/mol) \cdot \dfrac{d\,(g/m^3)}{M\,(g/mol)} \cdot Z\,(e^-/atm)$
- $n = 6{,}022 \cdot 10^{23} \cdot \dfrac{2{,}7 \cdot 10^6}{26{,}97\ u} \cdot 3$; $n = 1{,}8 \cdot 10^{29}\ e^-/m^3$
- $\mu = \dfrac{\frac{1}{3{,}44 \cdot 10^{-8}}}{(1{,}6 \cdot 10^{-19})(1{,}8 \cdot 10^{29})}$; $\boxed{\mu = 10^{-3}\ m^2/Vs}$

μ: Aquel material en el que se mueven las cargas a 1m/s cuando aplico 1V/m

---

Relación de problemas - Semiconductores

viernes, 17 de noviembre de 2023 17:59

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%.

Datos

$\Delta T = 10^{\circ} = 283\,K$ $\quad \sigma_2 = 1{,}5\,\sigma_1$

$T_1 = 293\,K$ $\quad T_2 = 303\,K$

$K_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,J/K$

a) $\boxed{\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_G}{2K_B \cdot T}}}$

- $\left.\begin{array}{l} \sigma_1 = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_G}{2K \cdot 293}} \\ \sigma_2 = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_G}{2K \cdot 303}} \end{array}\right\} \dfrac{\sigma_1}{\sigma_2} = \dfrac{1}{1{,}5} = e^{\left(-\frac{E_G}{2K \cdot 293} + \frac{E_G}{2K \cdot 303}\right)}$

- $\ln\left(\dfrac{1}{1{,}5}\right) = E_G\left(-\dfrac{1}{2(1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 293} + \dfrac{1}{2(1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 303}\right)$; $\boxed{\begin{array}{l} E_G = 9{,}935 \cdot 10^{-20}\,J \\ E_G = 0{,}62\,eV \end{array}}$

b) $1{,}1\,eV = 1{,}76 \cdot 10^{-19}\,J$

- $\dfrac{\sigma_1}{\sigma_2} = e^{\left(-\frac{1{,}76 \cdot 10^{-19}}{2(1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 293} + \frac{1{,}76 \cdot 10^{-19}}{2(1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 303}\right)} = 0{,}49$

- $\dfrac{1}{x} = 0{,}49$; $\sigma_2 = 2{,}05 \cdot \sigma_1 \longrightarrow$ 2 —— 100 %
  2,05 —— x %

Se produce un cambio del 102,5 %

---

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

Datos

$S = 2{,}5 \cdot 10^{-5}\,m^2$ $\quad T = 300\,K$

$L = 2 \cdot 10^{-3}\,m$ $\quad n = 5 \cdot 10^{19}\,m^{-3}$

$\mu = 0{,}15\,m^2/Vs$

- $\sigma_n = e^- n\,\mu_n$
- $R = \dfrac{1}{\sigma} \cdot \dfrac{L}{S}$
- $\sigma_n = (1{,}6 \cdot 10^{-19})(5 \cdot 10^{19})(0{,}15)$; $\sigma_n = 1{,}2$
- $R = \dfrac{2 \cdot 10^{-3}}{1{,}2 \cdot (2{,}5 \cdot 10^{-5})}$; $\boxed{R = 66{,}67\,\Omega}$

---

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 50m × 100m al ser atravesada por una corriente de 1μA.
DATOS: ni= $10^{16}\ m^{-3}$; $\mu_p = \mu_n$= 2000 $cm^2\ V^{-1}s^{-1}$; 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

Datos

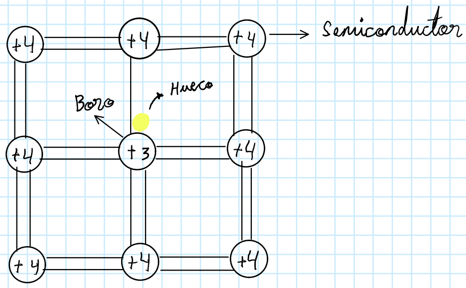
$d = 2{,}33 \cdot 10^6\,g/m^3$ $\quad n_i = 10^{16}\,m^{-3}$

$M_A = 28{,}09\,u$ $\quad$ 2 atm B / 10^6 atm X

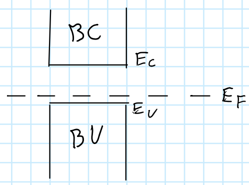
$l = 0{,}003\,m$ $\quad S = 5000 \cdot 10^{-12}\,m^2$

$I = 10^{-6}\,A$ $\quad \mu_p = \mu_n = 0{,}2\,m^2/Vs$

a)



- Se formará un semiconductor <u>extrínseco</u> tipo P



$\rightarrow P_p > n_p$

$\left.\begin{array}{l} P_p \approx N_A \\ n_p \approx \dfrac{n_i^2}{N_A} \end{array}\right\}$ se deduce

b) $\cdot\ n = 6{,}022 \cdot 10^{23}\,atm/mol \cdot \dfrac{2{,}33 \cdot 10^6\,g/m^3}{28{,}09\,g/mol} = 4{,}99 \cdot 10^{28}\,atm\ X/m^3$

- $N_A = 4{,}99 \cdot 10^{28}\,atm\ X/m^3 \cdot \dfrac{2\,atm\ B/m^3}{10^6\,atm\ X/m^3}$; $\boxed{N_A = 10^{23}\,atm/m^3}$
- $n_p \approx \dfrac{n_i^2}{N_A}$; $n_p \approx \dfrac{(10^{16}\,m^{-3})^2}{10^{23}\,m^{-3}}$; $\boxed{n_p \approx 1 \cdot 10^9\,m^{-3}}$
- $P_p \approx N_A$ (teoría) ; $\boxed{P_p \approx 1 \cdot 10^{23}\,m^{-3}}$

c) $\sigma \approx \sigma_p \approx P_p \cdot \mu_p \cdot e^-$] $\cdot\ V = I \cdot \dfrac{1}{P_p \cdot \mu_p \cdot e^-} \cdot \dfrac{l}{S}$; $V = 10^{-6} \cdot \dfrac{1}{(10^{23})(0{,}2)(1{,}6 \cdot 10^{-19})} \cdot \dfrac{0{,}003}{(5 \cdot 10^{-9})}$;

c) $\sigma \approx \sigma_p \simeq P_p \cdot \mu_p \cdot e^-$

$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{s}$

$V = I \cdot R$

$\cdot\ V = I \cdot \frac{1}{P_p \cdot \mu_p \cdot e^-} \cdot \frac{l}{s}$; $V = 10^{-6} \cdot \frac{1}{(10^{23})(0{,}2)(1{,}6 \cdot 10^{-19})} \cdot \frac{0{,}003}{(5 \cdot 10^{-9})}$;

$\boxed{V = 1{,}9 \cdot 10^{-4}\ V}$

---

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´6·10^{-19} C; n_i (300 K) = 2´5·10^{13} cm^{-3}; μ_p=1800 cm^2/Vs
DATOS para el Si: e- = -1´6·10^{-19} C; n_i (300 K) = 1´5·10^{10} cm^{-3}; μ_n=1300 cm^2/Vs
SOL: (Ge) p_p = 3,47·$10^{23}$$m^{-3}$; n_p = 1,80·$10^{15}$$m^{-3}$; (Si) p_n = 4,68·10^{11} m^{-3}; n_n = 4,81·10^{20} m^{-3}

Datos

Ge: $N_i = 2{,}5 \cdot 10^{19}\ m^{-3}$ $\quad \mu_p = 0{,}18\ m^2/Vs$

Si: $N_i = 1{,}5 \cdot 10^{16}\ m^{-3}$ $\quad \mu_n = 0{,}13\ m^2/Vs$

$T = 300\ K$ $\quad e^- = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$

$\sigma_{Ge} = 10000\ \Omega m$ $\quad \sigma_{Si} = 10\ \Omega m$

Germanio tipo - P

• $\sigma_{Ge} = \sigma_p = \mu_p \cdot p \cdot e^-$; $p = \frac{\sigma_{Ge}}{\mu_p \cdot e^-}$;

$p = \frac{10000\ \Omega m}{0{,}18\ m^2/Vs \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C}$; $\boxed{P_p = 3{,}47 \cdot 10^{23}\ m^{-3}}$

• $n_i^2 = n \cdot p$; $n = \frac{(2{,}5 \cdot 10^{19}\ m^{-3})^2}{3{,}47 \cdot 10^{23}\ m^{-3}}$; $\boxed{n_p = 1{,}8 \cdot 10^{15}\ m^{-3}}$

Silicio tipo - N

• $\sigma_{Si} = \sigma_n = \mu_n \cdot n \cdot e^-$; $n = \frac{\sigma_{Si}}{\mu_n \cdot e^-}$;

$p = \frac{10\ \Omega m}{0{,}13\ m^2/Vs \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C}$; $\boxed{n_n = 4{,}81 \cdot 10^{20}\ m^{-3}}$

• $n_i^2 = n \cdot p$; $p = \frac{(2{,}5 \cdot 10^{19}\ m^{-3})^2}{4{,}81 \cdot 10^{20}\ m^{-3}}$; $\boxed{P_n = 4{,}68 \cdot 10^{11}\ m^{-3}}$

---

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) = 4,7·10^{17} cm^{-3}; N_V (300K) = 7·10^{18} cm^{-3} ; μ_n = 8500 cm^2/(V·s) ; μ_p = 400 cm^2/(V·s) ; E_G= 1,43 eV ; K_B =1,38·10^{-23} J/K ; e- = -1,6·10^{-19} C
SOL.: (a) n_i= 1,8105·10^{12} m^{-3}; (b) n_i = 2,4962·10^{20} m^{-3}; (c) σ(300K) = 2,58·$10^{-7}$$(\Omega \cdot m)^{-1}$; σ(800K)=35,55 $(\Omega \cdot m)^{-1}$

Datos

$N_C = 4{,}7 \cdot 10^{23}\ m^{-3}$ $\quad \mu_n = 0{,}85\ m^2/Vs$

$N_V = 7 \cdot 10^{24}\ m^{-3}$ $\quad \mu_p = 0{,}04\ m^2/Vs$

$E_G = 2{,}288 \cdot 10^{-19}\ J$ $\quad T = 300\ K$

$K_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ J/K$ $\quad e^- = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$

a) • $n_i = \sqrt{N_C N_V} \cdot e^{-E_G/2K_B \cdot T}$; $n_i = \sqrt{(4{,}7 \cdot 10^{23})(7 \cdot 10^{24})} \cdot e^{-2{,}288 \cdot 10^{-19}/2 \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 300}$;

$\boxed{n_i = 1{,}8 \cdot 10^{12}\ m^2}$

b) $T = 800\ K$

• $n = N_c \cdot e^{-(E_c - E_F)/KT}$

$N_c = 2\left(\frac{2\pi m_n KT}{h^2}\right)^{3/2}$

$m_n = \left(\frac{N_c}{2}\right)^{2/3} \cdot \frac{h^2}{2\pi K T}$

• m_n (masa de las cargas) es constante, así que la calculamos con $T = 300K$:

$m_n = \left(\frac{4{,}7 \cdot 10^{23}}{2}\right)^{2/3} \cdot \frac{(6{,}63 \cdot 10^{-34})^2}{2\pi \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23})(300)}$; $m_n = 6{,}43 \cdot 10^{-32}\ m^{-3}$

• $N_c = 2\left(\frac{2\pi \cdot (6{,}43 \cdot 10^{-32}) \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23})(800)}{(6{,}63 \cdot 10^{-34})^2}\right)^{3/2}$; $N_c = 2 \cdot 10^{24}\ m^{-3}$

• $P = N_V \cdot e^{-(E_F - E_c)/KT}$

$N_V = 2\left(\frac{2\pi m_p KT}{h^2}\right)^{3/2}$

$m_p = \left(\frac{N_V}{2}\right)^{2/3} \cdot \frac{h^2}{2\pi K T}$

• m_p (masa de los huecos) es constante, así que la calculamos con $T = 300K$:

$m_p = \left(\frac{7 \cdot 10^{24}}{2}\right)^{2/3} \cdot \frac{(6{,}63 \cdot 10^{-34})^2}{2\pi \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23})(300)}$; $m_p = 3{,}9 \cdot 10^{-31}\ m^{-3}$

• $N_V = 2\left(\frac{2\pi \cdot (3{,}9 \cdot 10^{-31}) \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23})(800)}{(6{,}63 \cdot 10^{-34})^2}\right)^{3/2}$; $N_V = 3{,}1 \cdot 10^{25}\ m^{-3}$

• $n_i = \sqrt{N_C N_V} \cdot e^{-E_G/2K_B \cdot T}$; $n_i = \sqrt{(2 \cdot 10^{16})(3{,}1 \cdot 10^{25})} \cdot e^{-2{,}288 \cdot 10^{-19}/2(1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 800}$; $\boxed{n_i = 2{,}5 \cdot 10^{20}\ m^{-3}}$

c) $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e\, n\, \mu_n + e\, p\, \mu_p = e^- \cdot n_i (\mu_p + \mu_n)$;

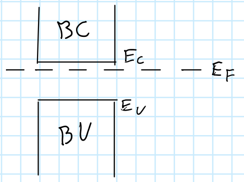
$\sigma(800K) = (1{,}6 \cdot 10^{-19})(2{,}5 \cdot 10^{20})(0{,}85 + 0{,}04)$; $\boxed{\sigma(800\ K) = 35{,}6\ (\Omega\ m)^{-1}}$

c) $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e\, n\, \mu_n + e\, p\, \mu_p = e^- \cdot n_i (\mu_p + \mu_n)$;

$\sigma(800K) = (1{,}6 \cdot 10^{-19})(2{,}5 \cdot 10^{20})(0{,}85 + 0{,}09)$; $\boxed{\sigma(800\,K) = 35{,}6\,(\Omega\, m)^{-1}}$

$\sigma(300K) = (1{,}6 \cdot 10^{-19})(1{,}8 \cdot 10^{12})(0{,}85 + 0{,}09)$; $\boxed{\sigma(300\,K) = 2{,}6 \cdot 10^{-7}\,(\Omega\, m)^{-1}}$

d) • Se formará un semiconductor <u>extrínseco</u> 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= 2,5·10^{13} cm^{-3}; e= -1,6·10^{-19} C
SOL: (a) R = 16,45 Ω; (b) v_d = 37,5 ms^{-1}

Datos

$S = 5 \cdot 10^{-6}\, m^2$ $\quad T = 300\,K \quad \mu_n = 0{,}38\, m^2/V\cdot s$

$l = 5 \cdot 10^{-3}\, m \quad N_D = 10^{21}\, m^{-3} \quad n_i = 2{,}5 \cdot 10^{19}\, m^{-3}$

a) $\left.\begin{array}{l} R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S} \\ \sigma = \sigma_n = e^- \cdot n \cdot \mu_n \end{array}\right\}$ • Semiconductor tipo-n : $n >> p \longrightarrow \mu_p$ es despreciable, así que no la usamos.

$\hookrightarrow n \simeq N_D$

• $R = \frac{1}{e^- \cdot n \cdot \mu_n} \cdot \frac{l}{S}$; $R = \frac{1}{(1{,}6 \cdot 10^{-19})(1 \cdot 10^{21})(0{,}38)} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}}$;

$\boxed{R = 16{,}45\, \Omega}$

b) $\left.\begin{array}{l} \Delta V = 0{,}5\, V \\ \Delta V = E \cdot l \\ V_d = \mu_n \cdot E \end{array}\right\}$ • $E = \frac{V_d}{\mu_n}$; $\Delta V = \frac{V_d}{\mu_n} \cdot l$; $V_d = \frac{\Delta V \cdot \mu_n}{l}$

$V_d = \frac{(0{,}5) \cdot (0{,}38)}{(5 \cdot 10^{-3})}$; $\boxed{V_d = 38\, m/s}$

---

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 = 5·10^{16} cm^{-3}; b) σ = 11.2 Ω^{-1}cm^{-1}

Datos

$N_n = 10^{16}\, e^-/m^3 \quad \mu_n = 0{,}14\, m^2/Vs \quad M_{Si} = 28{,}1\, u$

10^6 atm Si $\longrightarrow$ 1 atm As $\quad d_{Si} = 2{,}33 \cdot 10^6\, g/m^3$

a) • Semiconductor tipo-n : $n >> p \longrightarrow n \approx N_{As} \longrightarrow$ Porque cada As aporta un electrón.

• $N_{Si} = 6{,}022 \cdot 10^{23}\, atm/\cancel{mol} \cdot \frac{2{,}33 \cdot 10^6\, \cancel{g}/m^3}{28{,}1\, \cancel{g}/\cancel{mol}}$; $N_{Si} = 4{,}99 \cdot 10^{26}$ atm Si / m^3

• $4{,}99 \cdot 10^{26}\, \cancel{atm\, Si}/m^3 \cdot \frac{1\, atm\, As}{10^6\, \cancel{atm\, Si}}$; $N_{As} = 4{,}99 \cdot 10^{22}\, atm/m^3$

• $\boxed{N_{As} \approx n = 4{,}99 \cdot 10^{16}\, e^-/cm^3}$

b) • $\sigma \simeq \sigma_n = n \cdot \mu_n \cdot e^-$; $\sigma = (4{,}99 \cdot 10^{22})(0{,}14)(1{,}6 \cdot 10^{-19})$; $\boxed{\sigma = 1120\, (\Omega\, m)^{-1}}$

---

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 5·10^{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) = 1.5·10^{16} m^{-3}; ni (500 K) = 3.7·10^{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

Datos

$n_i(300K) = 1{,}5 \cdot 10^{16}\, m^{-3} \quad \mu_n = 0{,}135\, m^2/Vs$

$n_i(500K) = 3{,}7 \cdot 10^{20}\, m^{-3} \quad \mu_p = 0{,}05\, m^2/Vs$

a) • $\sigma = e^- \cdot n_i \cdot (\mu_p + \mu_n)$; $\rho = \frac{1}{\sigma}$

• $\rho = ((1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (1{,}5 \cdot 10^{16}) \cdot (0{,}135 + 0{,}05))^{-1}$; $\boxed{\rho = 2252\, \Omega\, m}$

b) • Semiconductor tipo - P :

$N_{In} \simeq P \longrightarrow P = 5 \cdot 10^{20}\, h^+/m^{-3}$

• $\sigma \simeq \sigma_p = (e^- \cdot p \cdot \mu_p)$; $\sigma = ((1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (5 \cdot 10^{20}) \cdot (0{,}05))^{-1}$; $\boxed{\rho = 0{,}25\, \Omega\, m}$

c) • $\sigma = e^- \cdot n_i \cdot (\mu_p + \mu_n)$; $\rho = \frac{1}{\sigma}$

• $\rho = ((1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (3{,}7 \cdot 10^{20}) \cdot (0{,}135 + 0{,}05))^{-1}$; $\boxed{\rho = 0{,}091\ \Omega\, m}$

d) • $n_i \simeq N_{in}$ $\longrightarrow$ Hacemos un sistema de ecuaciones para sacar P y n:

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

• $n \cdot (5 \cdot 10^{20} + n) = (3{,}7 \cdot 10^{20})^2$; $n^2 + 5 \cdot 10^{20} n - 1{,}369 \cdot 10^{41} = 0$

• $n = 1{,}97 \cdot 10^{20}\ m^{-3}$

$P = 6{,}95 \cdot 10^{20}\ m^{-3}$

• $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = (e^- \cdot n \cdot \mu_n) + (e^- \cdot p \cdot \mu_p)$;

$\rho = ((1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (1{,}97 \cdot 10^{20}) \cdot (0{,}135) + (1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (6{,}95 \cdot 10^{20}) \cdot (0{,}05))^{-1}$; $\boxed{\rho = 0{,}1\ \Omega\, m}$