Bloque II
Relaciones de ejercicios

1 una radiación luminosa de 200 Å e intensidad 3 mW/m² incide sobre un metal de cobre cuya función de trabajo es 1 eV. Calcula:

a) El número de fotones por unidad de tiempo y el área que llegan al metal.

b) La energía cinética de los fotoelectrones emitidos.

DATOS: $h = 6'62 \cdot 10^{-34}$ J·s $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s

datos del problema

2000 Å 1 Å $= 10^{-10}$ m $\rightarrow \lambda = 2000$ Å $= 2 \cdot 10^{-7}$ m

intensidad $= 3$ mW/m² $= 3 \cdot 10^{3}$ W/m²

función de trabajo $= W_0 = 1$ eV $= 1'6 \cdot 10^{-19}$ J

$m_e = 9'1 \cdot 10^{-31}$ kg

fórmulas

$I = n\, h \cdot f$ — n = fotones /m²·s $\rightarrow n = \dfrac{I}{h \cdot f}$; h = cte; f = frecuencia $\rightarrow c = \lambda \cdot f$

$Ec = h \cdot v - W_0$ — h = cte; v = frecuencia de radiación (Hz); W_0 = trabajo inicial

a) $n = \dfrac{I}{h \cdot f}$

1° calcular la frecuencia de la onda

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^{8}}{2 \cdot 10^{-7}} = 1'5 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

2° calcular el valor de n

$$n = \frac{3 \cdot 10^{3}}{6'62 \cdot 10^{-34} \cdot 1'15 \cdot 10^{15}} = 3'021 \cdot 10^{21} \text{ fotones / m}^2 \cdot s$$

S/ $n = 3'021 \cdot 10^{21}$ fotón / m²·s

b) $Ec = h \cdot v - W_0$

1° Sustituimos

$$Ec = 6'62 \cdot 10^{-34} \cdot 1'5 \cdot 10^{15} - 1'6 \cdot 10^{-19} = 8'33 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

S/ $Ec = 8'33 \cdot 10^{-19}$ 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 de 660 nm)

b) Usar la masa en reposo del electrón para calcular la velocidad del fotoelectrón del apartado a.

DATOS: $h = 6'62 \cdot 10^{-34}$ J·s $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s $m_e = 9'1 \cdot 10^{-31}$ kg

datos del problema

$\lambda = 500$ nm $\rightarrow \lambda = 500 \cdot 10^{-9}$ m

$\lambda_0 = 660$ nm $\rightarrow \lambda_0 = 660 \cdot 10^{-9}$ m

fórmulas

$Ec_{MAX} = h \cdot v - W_0$ — W_0 = trabajo de extracción; Ec = ?; h = cte; v = frecuencia

$W_0 = h \dfrac{c}{\lambda_0}$ — W_0 = trabajo de extracción; h = cte; c = velocidad de la luz; λ_0 = frecuencia umbral

$c = \lambda \cdot f$ — c = velocidad de la luz; f = frecuencia; λ = longitud de onda

a)

1° calculamos el trabajo de extracción

$$W_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} = 6'62 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^{8}}{660 \cdot 10^{-9}} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

2° calculamos la energía cinética

$$f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^{8}}{500 \cdot 10^{-9}} = 6 \cdot 10^{14}$$

$$Ec = 6'62 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{-19} = 9'72 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

S/ $Ec_{MAX} = 9'72 \cdot 10^{-20}$ J

b) Sabemos del apartado a que: $E_c = 9'72 \cdot 10^{-20}$ J

Conocida la expresión: $E_c = \frac{1}{2} m v^2$

Dada la masa del electrón: $m_e = 9'1 \cdot 10^{-31}$ kg

1º despejamos la velocidad

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_c}{m}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9'72 \cdot 10^{-20}}{9'1 \cdot 10^{-31}}} \rightarrow v = 4'62 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

S/ La velocidad del fotoelectrón es de $4'62 \cdot 10^{-5}$ m/s

3: La radiación emitida por electrones que caen de un estado energético de 30'4 eV a otro de 5'4 eV se utiliza para irradiar un metal y producir efecto fotoeléctrico. Determinar:

a) La longitud de onda y frecuencia de radiación utilizada

b) El número de fotones por unidad de tiempo y área que llegan al metal si esta radiación tiene una intensidad de 3 mW/m².

c) El trabajo de extracción del metal si el potencial de frenado medio es de 22'4 V.

d) La frecuencia umbral para la emisión fotoeléctrica del metal utilizado

Datos del problema

$E_{FOTÓN} = 30'4 - 5'54 = 24'86$ eV

$1 \text{ eV} = 1'6 \cdot 10^{-19}$ J $\rightarrow E_{FOTÓN} = 3'97 \cdot 10^{-18}$ J

$I = 3 \text{ mW/m}^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$

Fórmulas

$E_{FOTÓN} = h \cdot f$ — h = cte; f → frecuencia

$c = \lambda \cdot f$ — λ = longitud onda; f = frecuencia; v = velocidad de la luz

$I = n \cdot h \cdot f$ — n = nº fotones; h = cte; f = frecuencia; I = intensidad

$E_c = q\,\Delta V$ — q = carga; V = potencial frenado

$E_c = E_f - W_0$ — $E_{FOTÓN}$; W_0 = trabajo; E_c = energía cinética

$W_0 = h \cdot f_0$

a) 1º Despejamos la frecuencia de $E_{FOTÓN}$

$$E_F = h \cdot f \rightarrow f = \frac{E_F}{h} \rightarrow f = \frac{3'97 \cdot 10^{-18}}{6'62 \cdot 10^{-34}} = 6\ 10^{15} \text{ Hz}$$

2º Conocido f calculamos λ

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{15}} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

S/ $f = 6\ 10^{15}$ Hz ; $\lambda = 5 \cdot 10^{-8}$ m

b) 1º Calculamos n, para ello, despejamos y sustituimos

$$I = n \cdot h \cdot f \rightarrow n = \frac{I}{h \cdot f} \rightarrow n = \frac{3\ 10^{-3}}{6'62 \cdot 10^{-34}\ 6\ 10^{15}} = 7'55\ 10^{14} \text{ fotones/m}^2$$

S/ $n = 7'55 \cdot 10^{14}$ fotones/m²

c) 1º Calculamos el trabajo de extracción

$E_c = q \cdot V$ — V = potencial frenado = 22'4 V; q = carga electrón = $1'6 \cdot 10^{-19}$ C

$E_c = 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 22'4 = 3'584 \cdot 10^{-18}$ J

$E_c = E_F - W_0 \rightarrow W_0 = E_F - E_c \rightarrow W_0 = 3'97 \cdot 10^{-18} - 3'584 \cdot 10^{-18} = 3'86 \cdot 10^{-19}$ J

S/ $W_0 = 3'86 \cdot 10^{-19}$ J

d) Para calcular la frecuencia umbral (f_0) utilizamos el trabajo de extracción del apartado c.

$$W_0 = h \cdot f_0 \rightarrow f_0 = \frac{W_0}{h} \rightarrow f_0 = \frac{3'86 \cdot 10^{-19}}{6'62 \cdot 10^{-34}} = 5'83 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

S/ La frecuencia umbral del cesio será de $5'83 \cdot 10^{14}$ Hz

4: calcula la longitud de onda asociada a una partícula que se mueve con una velocidad de $2\cdot 10^6$ m/s si dicha partícula es:

a) un electrón

b) un protón

c) una bola de 0'2 kg de masa

DATOS: $m_e = 9'1\cdot 10^{-31}$ kg $m_p = 1'65\cdot 10^{-27}$ kg $h = 6'62\cdot 10^{-34}$ J·s

<u>datos del problema</u>

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

$m_e = 9'1\cdot 10^{-31}$ kg

$m_p = 1'65\cdot 10^{-27}$ kg

$m_1 = 0'2$ kg

<u>fórmulas</u>

$\lambda = \frac{h}{p}$ — h = cte; p = movimiento lineal

$p = m\cdot v$ — m = masa (kg); v = velocidad (m/s)

El proceso para resolver los tres apartados será el mismo:

1º calculamos λ dada la expresión $p = \frac{h}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h}{p}$ m

a) $\lambda_e = \frac{h}{m_e\cdot v} = \frac{6'62\cdot 10^{-34}}{9'1\cdot 10^{-31}\cdot 2\ 10^6} = 3'63\cdot 10^{-10}$ m

$\boxed{\lambda_e = 3'63\cdot 10^{-10}\text{ m}}$

b) $\lambda_p = \frac{h}{m_p\cdot v} = \frac{6'62\cdot 10^{-34}}{1'65\ 10^{-27}\cdot 2\cdot 10^6} = 2\cdot 10^{-13}$ m

$\boxed{\lambda_p = 2\cdot 10^{-13}\text{ m}}$

c) $\lambda_1 = \frac{h}{m_1\cdot v} = \frac{6'62\cdot 10^{-34}}{0'2\cdot 2\cdot 10^6} = 1'655\cdot 10^{-39}$ m

$\boxed{\lambda_1 = 1'665\cdot 10^{-39}\text{ m}}$

5: Escribe la configuración electrónica del estado fundamental del átomo de oxígeno (Z = 8) y el conjunto de números cuánticos n, l, m_l, m_s de cada electrón del oxígeno

b) ¿que elementos poseen las siguientes configuraciones electrónicas? 1) $1s^2\ 2s^2p_6\ 3s^2p^2$ 2) $1s^2\ 2s^2p^6\ 3s^2p^6\ 4s^2$

a) Dada el diagrama de moeller, la configuración electrónica del átomo de oxígeno:

$1s^2\ 2s^2p^4$

Los números cuánticos del oxígeno serán:

$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

$$1s^2 \begin{cases} n = 1 \\ l = \text{entre } 0 \text{ y } n-1 = (0, 1-1) = 0 \\ m_l = \text{entre } -l \text{ y } +l = (0,0) = 0 \\ m_s = \pm 1/2 \end{cases}$$

$$2s^2 \begin{cases} n = 2 \\ l = \text{entre } 0 \text{ y } 1 \rightarrow 0 \\ m_l = (0,0) = 0 \\ m_s = \pm 1/2 \end{cases}$$

$$2p^4 \begin{cases} n = 2 \\ l = 1 \\ m_l = -1, 0, 1 \begin{cases} m_l = -1 \rightarrow m_s = \pm 1/2 \\ m_l = 0 \rightarrow m_s = 1/2 \\ m_l = 1 \rightarrow m_s = 1/2 \end{cases} \end{cases}$$

b) 1) $1s^2\ 2s^2p^6\ 3s^2p^2 \rightarrow Z = 14 \rightarrow$ el átomo es el silicio

2) $1s^2\ 2s^2p^6\ 3s^2p^6\ 4s^2 \rightarrow Z = 20 \rightarrow$ el átomo es el calcio

6- Algunas moléculas de colorantes orgánicos posees 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.

datos del problema

n° átomos = n = 7

longitud = $L = 0'94\,nm = 0'94 \cdot 10^{-9}\,m$

$h = 6'62 \cdot 10^{-34}\,J \cdot s$

$m_e = 9'1 \cdot 10^{-31}\,kg$

Fórmulas

$E_n = \frac{n^2 \cdot h^2}{8 m L^2}$ → n = nivel energético; h = cte; m = masa electrón (kg); L = longitud (m)

$E_T = \sum_{i=0}^{i=n} E_i$ → principio de superposición

$\Delta E = h \cdot f$ → h = cte; f = frecuencia (Hz); ΔE = variación de energía (J)

$c = \lambda \cdot f$ → λ = longitud de onda (m); f = frecuencia (Hz); c = velocidad de la luz (m/s)

a) 1° Para calcular la energía total del conjunto de electrones vamos a dividirlos en parejas de modo que:

$E_{TOTAL} = 2 \cdot E_1 + 2 \cdot E_2 + 2 \cdot E_3 + 1 \cdot E_4$

2° Calculamos el valor de la energía para los cuatro niveles

$E_1 = \frac{1^2 (6'62 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9'1 \cdot 10^{-31} \cdot (0'94 \cdot 10^{-9})^2} = 6'81 \cdot 10^{-20}\,J$

$E_2 = E_1 \cdot 2^2 = 2'72 \cdot 10^{-19}\,J$

$E_3 = E_1 \cdot 3^2 = 6'13 \cdot 10^{-19}\,J$

$E_4 = E_1 \cdot 4^2 = 1'09 \cdot 10^{-18}\,J$

3° Calculamos la energía total de los siete electrones

$E_T = 2 \cdot E_1 + 2 \cdot E_2 + 2 \cdot E_3 + E_4 = 2 \cdot 6'81 \cdot 10^{-20} + 2 \cdot 2'72 \cdot 10^{-19} + 2 \cdot 6'13 \cdot 10^{-19} + 1'09 \cdot 10^{-18} = 2'99 \cdot 10^{-18}\,J$

S/ La energía de los siete electrones es de $2'99 \cdot 10^{-18}\,J$

b) Para calcular la longitud de onda del color:

1° Calculamos la frecuencia sabiendo que ΔE será la diferencia entre el nivel 3 y el nivel 4:

$\Delta E = E_4 - E_3 = 1'09 \cdot 10^{-18} - 6'13 \cdot 10^{-19} = 4'77 \cdot 10^{-19}\,J$

2° Despejamos y calculamos la frecuencia del color:

$\Delta E = h \cdot f \rightarrow f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{4'77 \cdot 10^{-19}}{6'62 \cdot 10^{-34}} = 7'20 \cdot 10^{14}\,Hz$

3° Calculamos la longitud de onda conocida la frecuencia

$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{7'2 \cdot 10^{14}} = 4'16 \cdot 10^{-7}\,m$

S/ La longitud de onda del color será de $4'16 \cdot 10^{-7}\,m$

7- Para los siguientes conjuntos de números cuánticos n, l, m_l, indicar cuáles son correctos y qué orbital representan.

a) 2,2,0 → imposible; $n > l$ puesto que $l = n-1$

b) 3,2,0 → correcto → es el orbital 3d

c) 3,0,3 → imposible → $n > l$; $m_l \neq \pm l$ → no posible

d) 1,1,0 → imposible → $n > l$; $n = l$ entonces no existe

e) 2,1,0 → correcto → $n > l$ y $m_l = \pm l$ → es el orbital 2p

8: La resistividad del cobre es de $1'675 \cdot 10^{-8}\ \Omega m$ siendo la concentración de electrones en el mismo de $8'48 \cdot 10^{22}\ cm^{-3}$.

Determinar la velocidad de arrastre de los electrones de conducción al aplicar un campo eléctrico de 10 V/m

datos del problema

$\rho = 1'675 \cdot 10^{-8}\ \Omega m$ → Resistividad

$n = 8'48 \cdot 10^{22}\ cm^{-3}$ → concentración electrones

$E = 10\ V/m$ → campo eléctrico aplicado

Fórmulas

$\rho = 1/\sigma$ — ρ = resistividad ($\Omega \cdot m$); σ = conductividad (S/m)

$J = \sigma \cdot E$ — σ = conductividad (S/m); E = campo eléctrico (V/m); J = densidad de corriente (A/m^2)

$\sigma = e^- \cdot n \cdot \mu$ — e^- = carga electrón; n = densidad de portadores (m^{-3}); μ = movilidad de carga ($m^2/V \cdot s$)

$V_d = \mu \cdot E$ — V_d = velocidad de arrastre (m/s); μ = movilidad de carga ($m^2/V\cdot s$); E = campo eléctrico (V/m)

1° Calculamos la conductividad del cobre:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \sigma = \frac{1}{\rho} \rightarrow \sigma = \frac{1}{1'675 \cdot 10^{-8}} = 5'97\ 10^{7}\ S/m$$

2° Calculamos la movilidad del cobre:

$$\sigma = e^- \cdot n\ \mu \rightarrow \mu = \frac{\sigma}{e^- \cdot n} \rightarrow \mu = \frac{5'97 \cdot 10^{7}}{1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 8'48 \cdot 10^{22} \cdot 10^{6}} = 4'4 \cdot 10^{-3}\ m^2/V\cdot s$$

3° Calculamos la velocidad de arrastre

$$V_d = \mu\ E \rightarrow V_d = 4'4 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 4'4 \cdot 10^{-4}\ m/s$$

S/ La velocidad de arrastre de los electrones de conducción en el cobre es de $4'4 \cdot 10^{-4}$ m/s

9- La energía de Fermi de la plata es de 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%

DATOS: $k_B = 1'38 \cdot 10^{-23}\ J/K$

datos del problema

$$E_f = 5'1\ eV = 5'1\ eV \cdot \frac{1'6\ 10^{-19}\ J}{1\ eV} = 8'16 \cdot 10^{-19}\ J$$

$T = 300\ K$

fórmulas

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_f)/k_B T}}$$

T = temperatura (K); $f(E)$ = probabilidad; E = estado de energía (J); E_f = energía de Fermi (J); k_B = cte

a) Aplicamos la fórmula

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(5 \cdot 1'6\ 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19})/1'38 \cdot 10^{-23}\ 300}} \rightarrow f(E) = 0'979$$

S/ 97'9% de probabilidad

b) Aplicamos la fórmula

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(5'2 \cdot 1'6\ 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19})/1'38 \cdot 10^{-23}\ 300}} \rightarrow f(E) = 0'02$$

S/ 2% de probabilidad

c) Aplicamos la fórmula

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(6 \cdot 1'6\ 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19})/1'38 \cdot 10^{-23}\ 300}} \rightarrow f(E) = 7'83 \cdot 10^{-16}$$

S/ $7'83 \cdot 10^{-14}$ % de probabilidad

d) Aplicamos la fórmula y despejamos la temperatura.

$$10 = 1 + e^{(5'2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19})/k_B \cdot T} \rightarrow 9 = e^{(5'2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19})/k_B \cdot T} \rightarrow \ln 9 = \ln e^{(5'2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19})/k_B \cdot T} \rightarrow$$

$$\ln 9 = \frac{5'2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19}}{k_B \cdot T} \rightarrow T = \frac{5'2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} - 8'16 \cdot 10^{-19}}{1'38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 9} \rightarrow T = 527'67\ K$$

S/ La temperatura tiene que ser de 527'67 K

10- Calcular la movilidad de los electrones libres del aluminio sabiendo que existen tres de estos electrones por átomo.

DATOS: densidad = $2'7\ g/cm^3$ $\quad \rho = 3'44 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot cm$ $\quad m_a = 26'97\ u$ $\quad N_A = 6'023 \cdot 10^{23}$

<u>datos del problema</u>

$3\bar{e}$ por cada átomo $= z$

<u>fórmulas</u>

$\sigma = \bar{e} \cdot n \cdot \mu$
- $\bar{e}$ = carga electrón
- n = densidad portadores ($\bar{e}/m^3$)
- μ = movilidad ($m^2/V \cdot s$)

$\sigma = \frac{1}{\rho}$
- σ = conductividad (S/m)
- ρ = resistividad ($\Omega \cdot m$)

$n = N_A \cdot \frac{d}{m_a} \cdot z$
- n = densidad de portadores ($\bar{e}/m^3$)
- d = densidad (g/m^3)
- m_a = masa atómica (g/mol)
- N_A = nº Avogadro = cte
- z = relación $\bar{e}$/átomo

1º calculamos la densidad de portadores de carga (n)

$$n = N_A \cdot \frac{d}{m_a} \cdot z \rightarrow n = 6'023 \cdot 10^{23} \cdot \frac{2'7 \cdot 10^6}{26'97} \cdot 3 = 1'80 \cdot 10^{29}$$

$\boxed{n = 1'80 \cdot 10^{29}\ \bar{e}/m^3}$

2º calculamos la movilidad de electrones en el aluminio

$$\frac{1}{\rho} = \bar{e} \cdot n\ \mu \rightarrow \mu = \frac{1}{\bar{e} \cdot n \cdot \rho} \rightarrow \mu = \frac{1}{1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 1'8 \cdot 10^{29} \cdot 3'44 \cdot 10^{-6}\ 10^{-2}} = 1 \cdot 10^{-3}\ m^2/V \cdot s$$

S/ la movilidad de electrones libres en el aluminio es de $10^{-3}\ m^2/V \cdot s$

11- Cuando la temperatura de un cristal de Ge intrínseco pasa de 20 ºC a 30 ºC, 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?

<u>datos del problema</u>

$\Delta t = 30ºC - 20ºC = +10ºC \rightarrow \Delta t = 10 + 273 = 283\ K$

$\sigma_f = \sigma_1 \cdot 1'5 \rightarrow$ aumenta un 50%

$T_1 = 20 + 273 = 293\ K$ $\quad T_2 = 30 + 273 = 303\ K$

<u>fórmulas</u>

$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{(-E_G/2k_B \cdot T)}$
- σ = conductividad final (S/m)
- σ_0 = conductividad material (S/m)
- E_G = anchura banda prohibida (J)
- k_B = cte
- T = temperatura (K)

a) 1º para determinar la anchura de la banda prohibida comparamos la conductividad del material a ambas temperaturas porque no tenemos la conductividad inicial del material (σ_0) pero sí la relación entre ambas temperaturas:

$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot 1'5$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_0 \cdot e^{-E_G/2k_B \cdot T_1} \\ \sigma_2 &= \sigma_0\ e^{-E_G/2k_B \cdot T_2} \end{aligned}\right\} \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{1}{1'5} \rightarrow \frac{1}{1'5} = \frac{\cancel{\sigma_0} \cdot e^{-E_G/2k_B \cdot T_1}}{\cancel{\sigma_0}\ e^{-E_G/2k_B \cdot T_2}} \rightarrow \frac{1}{1'5} = e^{(-E_G/2k_B \cdot T_1) - (-E_G/2k_B \cdot T_2)} \rightarrow$$

$$\ln\left(\frac{1}{1'5}\right) = \frac{-E_G}{2k_B T_2} + \frac{E_G}{2k_B T_1} \rightarrow \ln\left(\frac{1}{1'5}\right) = E_G \cdot \left(\frac{-1}{2k_B T_2} + \frac{1}{2k_B T_2}\right) \rightarrow E_G = \frac{\ln\left(\frac{1}{1'5}\right)}{\left(\frac{-1}{2k_B T_2} + \frac{1}{2k_B T_2}\right)}$$

$$E_G = \frac{\ln\left(\frac{1}{1'5}\right)}{\left(\frac{-1}{2 \cdot 1'38 \cdot 10^{-23}\ 303} + \frac{1}{2 \cdot 1'38 \cdot 10^{-23}\ 293}\right)} = 9'935 \cdot 10^{-20}\ J \quad \rightarrow 9'935 \cdot 10^{-20}\ J \cdot \frac{1\ eV}{1'6 \cdot 10^{-19}\ J} = 0'62\ eV$$

S/ la anchura de la banda prohibida es de $9'935 \cdot 10^{-20}$ J o 0'62 eV

b) para saber la relación de proporcionalidad entre dos conductividades, repetimos el proceso anterior pero a la inversa.

$E_G = 1'1\ eV = 1'1 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19}\ J$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = E_G \cdot \left(\frac{-1}{2k_B T_2} + \frac{1}{2k_B T_2}\right) \rightarrow \ln\left(\frac{1}{x}\right) = 1'1 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \left(\frac{-1}{2\ 1'38 \cdot 10^{-23} \cdot 303} + \frac{1}{2\ 1'38 \cdot 10^{-23} \cdot 293}\right) \rightarrow$$

$$\ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right) = 0'718 \rightarrow \frac{1}{x} = e^{0'718} \rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 2'05$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{1}{x} = 2'05 \rightarrow x = \frac{1}{2'05} \rightarrow x = 0'49 \rightarrow \sigma_1 \cdot 0'49 = \sigma_2$$

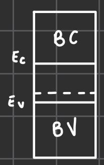
$\sigma_1\ 0'49 \longrightarrow 100\%$

$\sigma_2 \longrightarrow ?$

Al haberle introducido impurezas, el semiconductor se convierte en extrínseco. Ahora estudiamos si es extrínseco tipo n o tipo p.

- tipo p → se introducen más huecos (Aceptores) → ocurre cuando se añaden elementos con menos e^- en la cv
- tipo n → se introducen más portadores (Donadores) → ocurre cuando se añaden elementos con más e^- en la cv

↳ Deducimos por tanto dada la naturaleza del Boro que se trata de un conductor extrínseco tipo p



E_A → nivel aceptor de energía $\begin{cases} \text{la transición desde BV a este nivel es fácil} \\ E_A \text{ corresponde con los } e^- \text{ que pueden ser aceptos (por los aceptores)} \end{cases}$

b) Para calcular la concentración de impurezas y las concentraciones de huecos y electrones tenemos que tener en cuenta que:

$$\text{extrínsecos tipo p} \longrightarrow \begin{cases} N_D = 0 \\ p_p \approx N_A \rightarrow \text{concentración de portadores mayoritarios} \\ n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A} \rightarrow \text{concentración de portadores minoritarios} \end{cases}$$

1° calculamos la concentración de portadores (n)

densidad de portadores = n = atm / m^3

$$n = \frac{d_i}{m_a} \cdot N_A \quad \begin{aligned} &d_i = \text{densidad} \\ &m_a = \text{masa atómica} \\ &N_A = \text{cte (nº Avogadro)} \end{aligned}$$

$$n = \frac{2'33 \cdot 10^6}{28'09} \cdot 6'023 \cdot 10^{23} = 4'99 \cdot 10^{28} \text{ átomos} / m^3$$

2° calculamos la concentración de impurezas

$$N_A = n \cdot \frac{2 \text{ átomos Boro} / m^3}{10^6 \text{ átomos} / m^3} = 4'99 \cdot 10^{28} \cdot \frac{2}{10^6} = 9'99 \cdot 10^{22} \text{ átomos} / m^3$$

S/ concentración impurezas = N_A = $9'99 \cdot 10^{22}$ átomos / m^3

3° calculamos la concentración de huecos

$p_p \approx N_A$ → semiconductor extrínseco (explicado en el apartado a)

S/ concentración de huecos = $p_p = 9'99 \cdot 10^{22} \ m^{-3}$

4° calculamos la concentración de portadores de carga

$n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A}$ → explicado apartado a)

↳ $n_p = \frac{(10^{16})^2}{9'99 \cdot 10^{22}} = 1 \cdot 10^9 \ m^{-3}$

S/ concentración de portadores es $10^9 \ m^{-3}$

c) Para calcular la diferencia de potencial aplicaremos la ley de ohm. Para ello:

1° calculamos la resistencia de la muestra

$$\sigma = e^- \cdot p_p \cdot \mu_p \rightarrow \sigma = 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 9'99 \cdot 10^{22} \cdot 2000 \cdot 10^{-4} = 3'196 \cdot 10^3$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{S} \rightarrow R = \frac{1}{3'196 \cdot 10^3} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{5000 \cdot 10^{-12}} = 187 \ \Omega$$

2° calculamos la diferencia de potencial (V)

$$V = I \cdot R \rightarrow V = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 187 = 1'87 \cdot 10^{-4} \ V$$

S/ la diferencia de potencial es de $1'87 \cdot 10^{-4}$ V

14- calcula la concentración de huecos y electrones en una muestra de Germanio tipo p a 300K sabiendo que la conductividad de la muestra a dicha temperatura es 100 $(\Omega cm)^{-1}$. calcular la concentración de huecos y electrones tipo n a 300K sabiendo que la conductividad de la muestra a dicha temperatura de 0'1 $(\Omega cm)^{-1}$

DATOS Ge: $e^- = -1'6 \cdot 10^{-19}$ C $n_i(300K) = 2'5 \cdot 10^{13}\ cm^{-3}$ $\mu p = 1800\ cm^2/V \cdot s$

DATOS Si = $e^- = -1'6 \cdot 10^{-19}$ C $n_i(300K) = 1'5 \cdot 10^{10}\ cm^{-3}$ $\mu n = 1300\ cm^2/V \cdot s$

datos del problema

carga electrón = $e^- = -1'6 \cdot 10^{-19}$ C

concentración intrínseca (Ge) = $n_i = 2'5 \cdot 10^{13}\ cm^{-3} = 2'5 \cdot 10^{13}\ 10^6\ m^{-3}$

concentración intrínseca (Si) = $n_i = 1'5 \cdot 10^{10}\ cm^{-3} = 1'5 \cdot 10^{10} \cdot 10^6\ m^{-3}$

movilidad huecos (Ge) = $\mu p = 1800\ cm^2/V \cdot s = 1800 \cdot 10^{-4}\ m^2/V\ m$

movilidad portadores (Si) = $\mu n = 1300\ cm^2/V \cdot s = 1300 \cdot 10^{-4}\ m^2/V \cdot m$

conductividad (Ge) = $\sigma = 100(\Omega cm)^{-1} = 100 \cdot 10^2\ (\Omega m)^{-1}$

conductividad (Si) = $\sigma = 0'1\ (\Omega cm)^{-1} = 0'1\ 10^2\ (\Omega m)^{-1}$

fórmulas

$\sigma_P = e^- \cdot P \cdot \mu P$

σ_P = conductividad (S/m)

e^- = carga electrón

P = concentración huecos (m^{-3})

μ_P = movilidad huecos (m/V·s)

$n_i^2 = n \cdot P$

n_i = concentración intrínseca (m^{-3})

n = concentración portadores (m^{-3})

P = concentración huecos (m^{-3})

a) Germanio

1° calculamos la concentración de huecos

$$\sigma = e^- \cdot P \cdot \mu P \rightarrow P = \frac{\sigma}{e^- \cdot \mu P} \rightarrow P = \frac{100 \cdot 10^2}{1'6 \cdot 10^{-19}\ 1800 \cdot 10^{-4}} = 3'47 \cdot 10^{23}\ m^{-3}$$

S/ concentración de huecos = $P = 3'47 \cdot 10^{23}\ m^{-3}$

2° calculamos la concentración de portadores

$$n_i^2 = n \cdot P \rightarrow n = \frac{n_i^2}{P} \rightarrow n = \frac{(2'5 \cdot 10^{19})^2}{3'47 \cdot 10^{23}} = 1'8 \cdot 10^{15}\ m^{-3}$$

S/ concentración de portadores = $n = 1'8 \cdot 10^{15}\ m^{-3}$

b) silicio

1° calculamos la concentración de portadores

$$\sigma = e^- \cdot n \cdot \mu n \rightarrow n = \frac{0'1 \cdot 10}{e^- \cdot \mu n} \rightarrow n = \frac{0'1 \cdot 10}{1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 1300\ 10^{-4}} = 4'85 \cdot 10^{20}\ m^{-3}$$

S/ concentración de portadores = $n = 4'85 \cdot 10^{20}\ m^{-3}$

2° calculamos la concentración de huecos

$$n_i^2 = n\ P \rightarrow P = \frac{n_i^2}{n} \rightarrow P = \frac{(1'5 \cdot 10^{16})^2}{4'85 \cdot 10^{20}} = 4'63 \cdot 10^{11}\ m^{-3}$$

S/ concentración de huecos = $P = 4'63 \cdot 10^{11}\ m^{-3}$

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 (27°C)

b) calcular la concentración intrínseca para T = 800K. Explicar razonadamente la diferencia obtenida entre ambos valores según la teoría de bandas de energía.

c) calcular la conductividad intríseca del AsGe a ambas temperaturas.

d) se dopa con Te el semiconductor AsGe a 300K. Indicar razonadamente el tipo de semiconductor extrínseco resultante En un diagrama de bandas de energía indicar la posición del nivel de Fermi.

DATOS: $N_C(300K) = 4'7 \cdot 10^{17}\ cm^{-3}$ $N_V(300K) = 7\ 10^{18}\ cm^{-3}$ $\mu n = 8500\ cm^2/V \cdot S$ $\mu P = 400\ cm^2/V \cdot S$ $E_G = 1'43$ eV

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

datos del problema

$N_C(300K) = 4'7 \cdot 10^{17}\ cm^{-3} = 4'7 \cdot 10^{17} \cdot 10^6\ m^{-3}$

$N_V(300K) = 7\ 10^{18}\ cm^{-3} = 7 \cdot 10^{18} \cdot 10^6\ m^{-3}$

$\mu n = 8500\ cm^2/V \cdot S = 8500 \cdot 10^{-4}\ m^2/V \cdot S$

$\mu P = 400\ cm^2/V \cdot S = 400 \cdot 10^{-4}\ m^2/V \cdot S$

$E_G = 1'43\ eV = 1'43 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19}$ J

fórmulas

$$n_i = \sqrt{N_C \cdot N_V}\ e^{-E_G/2K_B \cdot T}$$

n_i = concentración intrínseca (cm^{-3})

N_C = densidad efectiva BC (cm^{-3})

N_V = densidad efectiva BV (cm^{-3})

E_G = anchura banda prohibida (J)

K_B = cte

T = temperatura (K)

$$n = N_C \cdot e^{-(E_C - E_F)/K_B T}$$

n = densidad portadores (cm^{-3})

N_C = densidad efectiva BC (cm^{-3})

E_C = Energía conducción (J)

E_F = Energía Fermi (J)

K_B = cte

T = temperatura (K)

fórmulas

$N_V = 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_p\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2}$
- N_V = densidad efectiva BV (m^{-3})
- m_p = masa efectiva huecos (kg) → cte
- k_B = cte
- T = temperatura (K)
- h = cte

$N_C = 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_n\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2}$
- N_V = densidad efectiva BC (m^{-3})
- m_n = masa efectiva portadores (kg) → cte
- k_B = cte
- T = temperatura (K)
- h = cte

$\sigma = \sigma_n + \sigma_p$
- σ = conductividad ($m^2/V\cdot s$)
- σ_n = conductividad portadores ($m^2/V\cdot s$)
- σ_p = conductividad huecos ($m^2/V\cdot s$)

$\sigma_n = e^- \cdot n\; \mu_n$
- σ_n = conductividad portadores (m^{-3})
- e^- = carga electrón
- n = concentración portadores (m^{-3})

$\sigma_p = e^- \cdot p\; \mu_p$
- σ_p = conductividad huecos (m^{-3})
- e^- = carga electrón
- p = concentración huecos (m^{-3})

$\sigma = e^- \cdot n_i (\mu_p + \mu_n)$
- σ = conductividad (m^{-3})
- e^- = carga electrón
- μ_p = movilidad huecos (m^{-3})
- μ_n = movilidad portadores (m^{-3})

a) para calcular la densidad intrínseca a temperatura ambiente de AsGa aplicamos la fórmula:

$$n_i = \sqrt{N_C\, N_V}\cdot e^{-E_G/2k_BT} \rightarrow n_i = \sqrt{4'7\cdot10^{23}\cdot 7\cdot10^{18}\cdot10^{6}}\; e^{-1'43\cdot1'6\cdot10^{-19}/2\cdot1'38\cdot10^{-23}\cdot300} = 1'76\cdot10^{12}\, m^{-3}$$

S/ la concentración intrínseca a temperatura ambiente es $n_i = 1'76\cdot10^{12}\, m^{-3}$

b) para calcular la concentración intrínseca a 800 K:

1º calculamos N_V y N_C

$$\left.\begin{aligned} N_V &= 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_p\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2} \\ N_C &= 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_n\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2}\end{aligned}\right\}$$ desconocemos los valores de m_p y m_n → como son cte, los calculamos con los datos del apartado a)

↳ para T = 300

$$N_V = 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_p\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2} \rightarrow m_p = \left(\frac{N_V}{2}\right)^{2/3}\frac{h^2}{2\pi k_B T} \rightarrow m_p = \left(\frac{7\cdot10^{24}}{2}\right)^{2/3}\cdot\frac{(6'62\cdot10^{-34})^2}{2\pi\cdot1'38\,10^{-23}\,300} = 3'9\cdot10^{-31}\, m^{-3}$$

$$N_C = 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_n\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2} \rightarrow m_n = \left(\frac{N_C}{2}\right)^{2/3}\frac{h^2}{2\pi k_B T} \rightarrow m_p = \left(\frac{4'7\cdot10^{23}}{2}\right)^{2/3}\cdot\frac{(6'62\cdot10^{-34})^2}{2\pi\cdot1'38\,10^{-23}\,300} = 6'41\,10^{-32}\, m^{-3}$$

$$N_V = 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_p\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2} \rightarrow N_V = 2\left(\frac{2\pi\cdot3'9\cdot10^{-31}\;1'38\cdot10^{-23}\;800}{(6'62\cdot10^{-34})^2}\right)^{3/2} \rightarrow N_V = 3'067\cdot10^{25}\, m^{-3}$$

$$N_C = 2\cdot\left(\frac{2\pi\, m_n\, k_B T}{h^2}\right)^{3/2} \rightarrow N_C = 2\left(\frac{2\pi\cdot6'41\cdot10^{-32}\;1'38\cdot10^{-23}\;800}{(6'62\cdot10^{-34})^2}\right)^{3/2} \rightarrow N_C = 2'04\,10^{24}\, m^{-3}$$

2º calculamos n_i

$$n_i = \sqrt{N_C\cdot N_V}\; e^{-E_G/2k_BT} \rightarrow n_i = \sqrt{2'04\cdot10^{24}\cdot3'067\cdot10^{25}}\cdot e^{-1'43\cdot1'6\cdot10^{-19}/2\;1'38\cdot10^{-23}\cdot800} = 2'49\cdot10^{20}\, m^{-3}$$

S/ la concentración intrínseca a 800K es $2'49\cdot10^{20}\, m^{-3}$

La explicación para este fenómeno se basa en la relación que establecen la concentración intrínseca (n_i) con la temperatura, donde n_i es proporcional a $e^{-E_G/2k_BT}$, donde E_G = anchura banda prohibida. Al aumentar la temperatura, el término exponencial disminuye, y por tanto n_i aumenta. Por tanto, podemos afirmar que un aumento de temperatura trae consigo un aumento en la concentración intrínseca del material.

Cuando aumenta la temperatura hay más electrones y huecos disponibles para facilitar la conducción intrínseca del material.

c) para T = 300

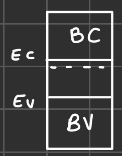
1º Aplicamos la fórmula → $\sigma = e^-\; n_i(\mu_p + \mu_n) = 1'6\,10^{-19}\;1'76\cdot10^{12}\;(8500\cdot10^{-4} + 400\cdot10^{-4}) = 2'5\cdot10^{-7}\,(\Omega m)^{-1}$

para T = 800K

1º Aplicamos la fórmula → $\sigma = e^-\cdot n_i(\mu_p + \mu_n) = 1'6\cdot10^{-19}\cdot2'49\cdot10^{20}\cdot(8500\cdot10^{-4} + 400\cdot10^{-4}) = 35'6\,(\Omega m)^{-1}$

S/ $\sigma(300K) = 2'5\cdot10^{-7}\,(\Omega m)^{-1}$ $\quad\sigma(800K) = 35'6\,(\Omega m)^{-1}$

d) Al añadir Te → que tiene 1 electrón más que el Arsénico y dos que el Germanio, añadimos portadores de carga y por tanto se cambierte en un semiconductor extrínseco tipo n.



E_F → nivel aceptor energía → facil transición a la BC

16- una banda de Germanio tipo n tiene una sección de 5 mm² y una longitud de 0'5 cm si la barra se encuentra a la temperatura ambiente (T = 300 K) y la concentración de impurezas donadoras es $N_D = 10^{15}\,cm^{-3}$ calcular:

a) la resistividad 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: $\mu_n = 3800\ cm^2/V\cdot s$ $n_i = 2'5\cdot 10^{13}\ cm^{-3}$ $e = -1'6\ 10^{-19}\ C$

<u>datos del problema</u>

sección = S = 5 mm² = $5\cdot 10^{-6}\ m^2$

longitud = L = 0'5 cm = $0'5\cdot 10^{-2}$ m

concentración impurezas donadoras = $N_D = 10^{15} cm^{-3} = 10^{15}\ 10^{6}\ m^{-3}$

temperatura = T = 300 K

concentración intrínseca = $n_i = 2'5\cdot 10^{13} cm^{-3} = 2'5\ 10^{13}\ 10^{6}\ m^{-3}$

movilidad portadores = $\mu_n = 3800\ cm^2/V\cdot s = 3800\cdot 10^{-4}\ m^2/V\cdot s$

diferencia potencial = ΔV = 0'5 V

<u>fórmulas</u>

$R = \frac{1}{\sigma}\cdot\frac{L}{S}$ — R = resistencia (Ω); σ = conductividad (S/m); L = longitud (m); S = superficie (m²)

para $N_A = 0$ — $n \approx N_D$ (n = concentración portadores (m⁻³); N_D = concentración átomos donadores (atomos/m³)); n >> p → μ_p es despreciable

$\Delta V = E\cdot L$ — ΔV = variación potencial (V); E = campo eléctrico (V/m); L = longitud (m)

$V_d = \mu_n\cdot E$ — V_d = velocidad arrastre (m/s); μ_n = movilidad portadores (m²/V·s); E = campo eléctrico (V/m)

a) Resistividad

1° calculamos la conductividad del material teniendo en cuenta que al ser tipo n → n>>p → μ_p despreciable → $n \approx N_D$

$\sigma = e^-\cdot n\cdot \mu_n \rightarrow \sigma = 1'6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{15}\cdot 10^{6}\cdot 3800\cdot 10^{-4} = 60'8\ (S/m)$

2° calculamos la resistividad

$R = \frac{1}{\sigma}\cdot\frac{L}{S} \rightarrow R = \frac{1}{60'8}\cdot\frac{0'5\cdot 10^{-2}}{5\cdot 10^{-6}} = 16'45\ \Omega$

S/ Resistividad = R = 16'45 Ω

b) Calculamos la velocidad de desplazamiento o arrastre

$\left.\begin{array}{l}\Delta V = E\cdot L\\ V_d = E\cdot\mu_n\end{array}\right\}\ V_d = \frac{\Delta V}{L}\ \mu_n \rightarrow V_d = \frac{0'5}{0'5\cdot 10^{-2}}\cdot 3800\cdot 10^{-4} = 38\ m/s$

S/ La velocidad de desplazamiento es de 38 m/s

17- El número de electrones libres en el silicio puro es de $10^{10}\ e^-/cm^3$ 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 $\mu_n = 1400\ cm^2/V\cdot s$, determinar la conductividad del silicio impuro.

DATOS: $d_{Si} = 2'33\ g/cm^3$ m = 28'1 g/mol

<u>datos del problema</u>

$N_A = 10^{10}\ e^-/cm^3 = 10^{10}\cdot 10^{6}\ e^-/m^3$

movilidad portadores = $\mu_n = 1400\ cm^2/V\cdot s = 1400\cdot 10^{-4}\ m^2/V\cdot s$

Relación proporción = 10^6 atomos Si → 1 átomo As

densidad intrínseca = $d_{Si} = 2'33\ g/cm^3 = 2'33\ 10^{6}\ g/m^3$

masa = m_{Si} = 28'1 g/mol

<u>fórmulas</u>

tipo n — n >> p (n = concentración portadores (m⁻³); p = concentración huecos (m⁻³)); $n \approx N_A$ (n = concentración portadores (m⁻³); N_A = concentración átomos aceptores (atomos/m⁻³))

$\sigma = e^-\cdot n\cdot\mu_n$ — σ = conductividad (S/m); e^- = carga electrón; n = concentración portadores (m⁻³); μ_n = movilidad portadores (m²/V·s)

a) Para calcular el nº de electrones libres que existirán por cm^3 tendremos que analizar primero la naturaleza del semiconductor.

El silicio se encuentra en el grupo 15, por lo que tiene en su capa de valencia 4 electrones.

El Arsénico se encuentra en el grupo 16, por lo que tiene en su capa de valencia 5 electrones, uno más que el silicio.

↳ Por tanto, el arsénico introduce más portadores convirtiéndose en un semiconductor tipo n

Los semiconductores tipo n cumplen que:

$n >> p \rightarrow n \approx N_A$

↳ conociendo esta relación:

1º calculamos los átomos de silicio por m^3

$$N_{Si} = \frac{d_{Si}}{m_{Si}} \cdot N_{Avogadro} \rightarrow N_{Si} = \frac{2'33 \cdot 10^6}{28'1} \cdot 6'022 \cdot 10^{23} = 4'99 \cdot 10^{28} \text{ atomos Si}/m^3$$

2º calculamos el nº de aceptores teniendo en cuenta las impurezas del Arsénico:

$$N_A = N_{Si} \cdot \frac{1 \text{ átomo As}}{10^6 \text{ átomos Si}} \rightarrow N_A = 4'99 \cdot 10^{28} \cdot \frac{1}{10^6} = 4'99 \cdot 10^{22} \text{ atomos}/m^3$$

3º como $N_A \approx n \rightarrow n = $ nº electrones por m^3 $\rightarrow n = 4'99 \cdot 10^{22}\ \bar{e}/m^3 = 4'99 \cdot 10^{22} \cdot 10^{-6}\ \bar{e}/cm^3 = 4'99 \cdot 10^{16}\ \bar{e}/cm^3$

S/ El número de electrones por centímetro cúbico será $n = 4'99 \cdot 10^{16}\ \bar{e}/cm^3$

b) calculamos la conductividad del material usando los datos del apartado a)

1º Aplicamos fórmula:

como $N_D \approx 0 \rightarrow \sigma = \sigma_n$

$\sigma = \bar{e} \cdot n \cdot \mu_n \rightarrow \sigma = 1'6\ 10^{-19} \cdot 4'99 \cdot 10^{22} \cdot 1400 \cdot 10^{-4} = 1'11 \cdot 10^3\ (S/m) = 11'1\ (\Omega cm)^{-1}$

S/ La conductividad del silicio impuro es $11'1\ (\Omega cm)^{-1}$

18- Calcular la resistividad del silicio en las circunstancias siguientes:

a) silicio puro a 300K

b) a 300K dopado con indio en una concentración $5\ 10^{20}\ m^{-3}$

c) Silicio intrínseco a 500K

b) a 500K dopado con la misma concentración del apartado b)

DATOS: $n_i(300K) = 1'5 \cdot 10^{16}\ m^{-3}$ $n_i(500K) = 3'7 \cdot 10^{20}\ m^{-3}$ $\mu_n = 0'135\ m^2/V\cdot s$ $\mu_p = 0'05\ m^2/V \cdot s$

datos del problema

$n_i(300K) = 1'5 \cdot 10^{16}\ m^{-3}$

$n_i(500K) = 3'7 \cdot 10^{20}\ m^{-3}$

movilidad portadores = $\mu_n = 0'135\ m^2/V\cdot s$

movilidad huecos = $\mu_p = 0'05\ m^2/V\ s$

fórmulas

$\rho = \frac{1}{\sigma}$
- ρ = resistividad (Ωm)
- σ = conductividad (S/m)

$\sigma = \bar{e} \cdot n_i (\mu_p + \mu_n)$
- σ = conductividad (S/m)
- n_i = concentración intrínseca (m^{-3})
- μ_p = movilidad huecos (m^{-3})
- μ_n = movilidad portadores (m^{-3})

$n_i^2 = n \cdot p$
- n_i = concentración intrínseca (m^{-3})
- n = concentración portadores (m^{-3})
- p = concentración huecos (m^{-3})

$\sigma = \sigma_n + \sigma_p$
- σ = conductividad (S/m)
- σ_n = conductividad portadores (S/m)
- σ_p = conductividad huecos (S/m)

a) 1º calculamos la conductividad

$\sigma = \bar{e} \cdot n_i(\mu_p + \mu_n) \rightarrow \sigma = 1'6 \cdot 10^{-19}\ 1'5 \cdot 10^{16}\ (0'05 + 0'135) = 4'44 \cdot 10^{-4}\ S/m$

2º calculamos la resistividad

$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \rho = \frac{1}{4'44 \cdot 10^{-4}} = 2252'25\ \Omega m$

S/ Resistividad a 300K = 2252 Ωm

b) se trata de un semiconductor tipo n ya que el indio tiene un átomo más en la capa de valencia que el silicio.

↳ tipo n $\rightarrow N_A \approx P \rightarrow P = 5\cdot10^{20}\ m^{-3}$

1° calculamos conductividad

$\sigma \approx \sigma_P \rightarrow \sigma = \bar{e}\cdot P\cdot \mu_P \rightarrow \sigma = 1'6\cdot10^{-19}\cdot 5\cdot10^{20}\cdot 0'05 = 4\ S/m$

2° calculamos la resistividad

$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \rho = \frac{1}{4} = 0'25\ \Omega m$

Si la resistividad a 300K del silicio impuro es de 0'25 Ωm

c) igual que el apartado a)

$\sigma = \bar{e}\cdot n_i\,(\mu_P+\mu_n) \rightarrow \sigma = 1'6\ 10^{-19}\cdot 3'7\cdot10^{20}\,(0'135+0'05) = 10'952\ S/m$

$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \rho = \frac{1}{10'952} = 0'091\ \Omega m$

Si Resistividad silicio puro a 500K es 0'091 Ωm

d) para calcular la resistividad de un material dopado conociendo su concentración intrínseca tendremos que resolver el sistema de ecuaciones:

1° calculamos los valores de n y P

$n_i^2 = n\,P$

$n_i \approx N_A \rightarrow P = N_A + n$

$\left.\right\} P = 5\cdot10^{20} + n$

$(3'7\cdot10^{20})^2 = n\cdot(5\cdot10^{20}+n) \rightarrow n^2 + 5\cdot10^{20}n = (3'7\cdot10^{20})^2 \rightarrow$ Resolvemos

$$n = \frac{-5\cdot10^{20} \pm \sqrt{(5\cdot10^{20})^2 - 4\cdot1\cdot(-3'7\cdot10^{20})^2}}{2\cdot1} \rightarrow n = 1'96\cdot10^{20}\ m^{-3}$$

$P = 5\cdot10^{20} + 1'96\cdot10^{20} \rightarrow P = 6'96\cdot10^{20}\ m^{-3}$

2° calculamos la conductividad del material

$\sigma = \sigma_n + \sigma_P$

$\sigma_n = \bar{e}\cdot n\cdot\mu_n \rightarrow \sigma_n = 1'6\cdot10^{-19}\ 1'96\cdot10^{20}\cdot 0'135 = 4'23\ S/m$

$\sigma_P = \bar{e}\cdot P\cdot\mu_P \rightarrow \sigma_P = 1'6\cdot10^{-19}\cdot 6'96\cdot10^{20}\cdot 0'05 = 5'568\ S/m$

$\sigma = 5'568 + 4'25 = 9'798\ S/m$

3° calculamos la resistividad del material

$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow \rho = \frac{1}{9'798} = 0'1\ \Omega m$

Si la resistividad del material es de 0'1 Ωm