



- 1 Una unión p-n de silicio consta de un semiconductor tipo n moderadamente dopado con una concentración de impurezas de $0,5 \cdot 10^{16}$ átomos/m³ y otro semiconductor tipo p fuertemente dopado con una concentración de $4 \cdot 10^{19}$ átomos/m³.
Calcula la concentración de portadores en ambos semiconductores si la concentración intrínseca en el silicio a 300 K es $1,5 \cdot 10^{16}$ m⁻³.
2,5 puntos

Vamos a utilizar la ley de la neutralidad eléctrica y ley de acción de masas:

Tipo n. Las impurezas son donadoras con N_D del mismo orden de magnitud que n_i .

$$\begin{aligned}N_A + n &= N_D + p & 0,5 \cdot 10^{16} + p &= n \\pn &= n_i^2 & pn &= 2,25 \cdot 10^{32} \\n^2 - 0,5 \cdot 10^{16} n - 2,25 \cdot 10^{32} &= 0 \\n &= \frac{0,5 \cdot 10^{16} \pm \sqrt{0,25 \cdot 10^{32} + 9 \cdot 10^{32}}}{2} = \frac{0,5 \pm \sqrt{9,25}}{2} 10^{16} = 1,77 \cdot 10^{16} \text{ e/m}^3 \\p &= \frac{2,25 \cdot 10^{32}}{n} = \frac{2,25 \cdot 10^{32}}{1,77 \cdot 10^{16}} = 1,27 \cdot 10^{16} \text{ h/m}^3\end{aligned}$$

Se observa una concentración de electrones superior a la de huecos en una relación $n/p = 1,4$.

Tipo p. En este semiconductor el dopado es elevado, siendo la concentración de impurezas aceptoras considerablemente superior a la intrínseca. Entonces la ley de acción de masas y la de neutralidad eléctrica se simplifican:

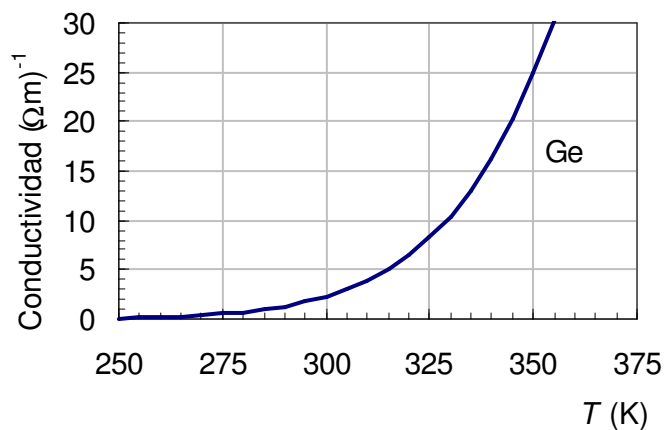
$$\begin{aligned}N_A + n &= N_D + p & p &\approx N_A = 4 \cdot 10^{19} \text{ h/m}^3 \\pn &= n_i^2 & pn &= 2,25 \cdot 10^{32}\end{aligned} \quad \text{por ser } n \text{ despreciable como sumando.}$$

$$n = \frac{2,25 \cdot 10^{32}}{4 \cdot 10^{19}} = 5,62 \cdot 10^{12} \text{ e/m}^3$$

Se observa que la concentración de huecos es muy superior ($p/n \approx 10^6$) a la de electrones, lo que justifica la aproximación realizada.

- 2 Explica la influencia de la temperatura en la conductividad de los semiconductores, diferenciando el comportamiento de los extrínsecos respecto de los intrínsecos. Muestra y justifica en un gráfico la variación de la conductividad de ambos respecto de la temperatura.
2,5 puntos

Al aumentar la temperatura de un semiconductor, la concentración intrínseca aumenta, por lo que tendremos una mayor concentración de pares electrón–hueco. De este modo, es de esperar un aumento en la conductividad. El efecto está representado en el siguiente gráfico para el germanio puro.



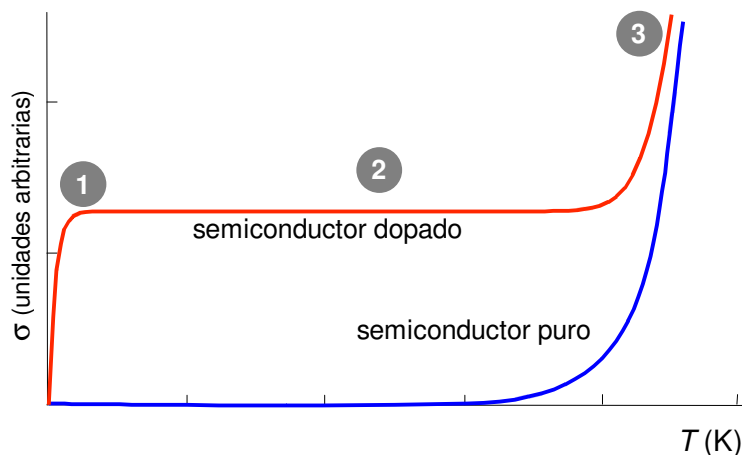
Influencia de la temperatura en la conductividad

Si en lugar de tratarse de un semiconductor puro, éste se encuentra dopado, la situación es distinta por la presencia de impurezas. El comportamiento está descrito en la figura en el que es posible apreciar tres zonas:

1. En el cero absoluto de temperatura (0 K), todos los electrones están ligados a sus átomos, y por tanto no hay portadores de carga libres, y la conductividad es nula. En los semiconductores dopados, al aumentar la temperatura ligeramente por encima de 0 K, los átomos de impurezas ya se ionizan por tener una energía de ionización muy pequeña; por lo tanto, tendremos una concentración de portadores significativa que posibilita la conducción, incluso a temperaturas próximas al cero absoluto (0 K). De este modo, la curva sube muy rápidamente.

En el semiconductor puro no se ha alcanzado todavía la temperatura en la cual se produce la ionización de los átomos del semiconductor, y por tanto la conductividad es prácticamente nula.

2. Al aumentar la temperatura, la conductividad no aumenta de modo sensible, pues ya se han ionizado todas las impurezas en los semiconductores dopados, y el único proceso que aporta nuevos portadores de carga libres es la generación térmica de pares electrón–hueco. Los pares electrón–hueco generados térmicamente son cuantitativamente insignificantes a temperaturas menores o próximas a la temperatura ambiente (300 K), tanto para semiconductores dopados como puros.



Influencia de la temperatura en la conductividad de los semiconductores extrínsecos

3. Si la temperatura alcanza valores más altos, los pares electrón–hueco generados térmicamente empiezan a ser lo suficientemente significativos como para que su número sea comparable o mayor a los que teníamos procedentes de las impurezas. De este modo, la conductividad, que se había mantenido estable, aumenta ahora como consecuencia de los pares electrón–hueco generados térmicamente. Por lo tanto, a temperaturas muy altas el comportamiento del semiconductor dopado y el puro tiende a confundirse.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el aumento de pares electrón–hueco trae consigo un aumento significativo de la proporción de portadores minoritarios, pues el aumento en cantidades iguales de ambos tipos de portadores, hace que la proporción de minoritarios aumente.

3 Un circuito tiene una resistencia de $40\ \Omega$, una bobina de 100 mH y un condensador de $25\ \mu\text{F}$ conectados en serie. Si la tensión total en los extremos del dipolo RLC es $2 \cos(800t + 10^\circ)\text{ V}$, halla la expresión instantánea de la intensidad y la caída de tensión instantánea en cada elemento.
2,5 puntos

Comenzamos hallando las reactancias:

$$X_L = L\omega = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 800 = 80\ \Omega \quad X_C = 1/C\omega = 10^6/(25 \cdot 800) = 50\ \Omega$$

La impedancia del circuito es: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50\ \Omega$

Y el desfase entre tensión e intensidad: $\varphi = \varphi_U - \varphi_I = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} = \arctan \left(\frac{30}{40} \right) = 36,87^\circ$

La intensidad máxima que circula por los tres elementos es:

$i_m = U_m/Z = 2/50 = 0,04\text{ A}$, cuya fase es $\varphi_I = \varphi_U - \varphi = 10 - 36,87^\circ = -26,87^\circ$:

$$i = 0,04 \cos(800t - 26,87^\circ)\text{ A}$$

La tensión máxima en la resistencia es $U_{Rm} = i_m \cdot R = 0,04 \cdot 40 = 1,6\text{ V}$, por lo que su expresión instantánea es:

$$U_R = 1,6 \cos(800t - 26,87^\circ)\text{ V}$$

La tensión máxima en la bobina es $U_{Lm} = i_m \cdot X_L = 0,04 \cdot 80 = 3,2\text{ V}$, por lo que su expresión instantánea es:

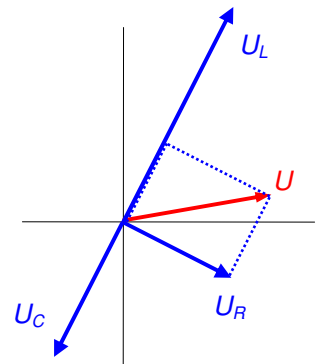
$$U_L = 3,2 \cos(800t + 63,13^\circ)\text{ V}$$

ya que la tensión en la bobina está 90° adelantada respecto de la intensidad.

La tensión máxima en condensador es $U_{Cm} = i_m \cdot X_C = 0,04 \cdot 50 = 2\text{ V}$, por lo que su expresión instantánea es:

$$U_C = 2 \cos(800t - 116,87^\circ)\text{ V}$$

ya que la tensión en el condensador está 90° retrasada respecto de la intensidad.



4 Una espira rectangular de lados a y b y resistencia R se encuentra situada en el plano XY con uno de sus lados alineado con el eje OY y en una región del espacio

con un campo magnético no uniforme dado por la expresión $\vec{B} = B_0 \frac{x}{a} \vec{k}$ siendo x

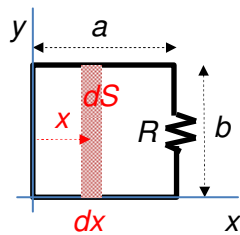
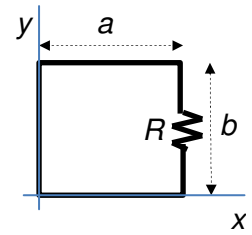
la distancia al eje OY . Calcula:

a) Flujo magnético a través de la espira.

b) Si el campo magnético B_0 aumenta linealmente con el tiempo del modo $B_0 = kt$, siendo k una constante positiva, calcula la fuerza electromotriz inducida en la espira.

c) Corriente inducida en la espira indicando su sentido

2,5 puntos



a) Tomando superficies elementales dS de altura b y base dx , el flujo elemental se calculará como:

$$d\Phi = B dS = B_0 \frac{b}{a} x dx$$

Y el flujo magnético a través de toda la espira:

$$\Phi = \int_0^a B_0 \frac{x}{a} b dx = B_0 \frac{b}{a} \int_0^a x dx = B_0 \frac{b}{a} \frac{a^2}{2} = B_0 \frac{ab}{2}$$

b) Usando la ley de Faraday, aparece la variación con el tiempo de B_0 :

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{ab}{2} \frac{dB_0}{dt} = \frac{abk}{2}$$

c) Con la ecuación del circuito llegamos a:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{abk}{2R}$$

Como el campo magnético en la región es saliente respecto del plano del papel y creciente, se inducirá una corriente en sentido horario.

FORMULARIO	$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$	$d\vec{F} = I d\vec{\ell} \times \vec{B}$	$\vec{m} = I\vec{S}$	$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$	
	$C = \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$			
	$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$	$\Phi_{21} = M \cdot I_1$	$\Phi = LI$	$W_L = \frac{1}{2} LI^2$	
	$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$				
	$\tan \varphi = \frac{L\omega - 1/C\omega}{R}$		$Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2}$		$D_n = \mu_n V_r$
	$n \cdot p = n_i^2$	$N_A + n = N_D + p$	$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$	$J_{Dn} = qD_n \nabla n$	$J_{Dp} = -qD_p \nabla p$