Ejemplo

Se dispone de una unión p-n abrupta ideal a 300 °K, fabricada sobre una pastilla de Si. dopando a un lado con impurezas aceptoras ($N_A = 10^{15}$ cm^{-3}) y al otro con impurezas donadoras ($N_D = 10^{16}$ cm^{-3}). La concentración intrínseca (n_i) del Si, a la temperatura antes citada, es de $2 \cdot 10^{10}$ cm^{-3} (ver figura 2.6). Suponiendo que en la zona de transición no hay portadores de carga (ni electrones ni huecos), que la pastilla está en equilibrio y que la constante dieléctrica absoluta del Si vale $\in = 10^{-10}$ F/m (Faradios/metro), obtener y representar:

a) Funciones densidad de carga, campo eléctrico y potencial eléctrico.

b) Potencial de contacto y anchura de la zona de transición (tanto por la parte n como por la parte p).

Solución:

a) Antes de nada establezcamos un sistema de referencia que podría ser el propuesto en la figura F-2.6, donde se ha tomado el punto x=0 coincidiendo con la unión metalúrgica, la zona p para x negativas y la zona n para x positivas. También se han indicado sobre la citada. figura la zona de transición con la anchura correspondiente a cada una de las zonas (l_p y l_n), así como ambas zonas neutras con indicación de la concentración de portadores en ambas.

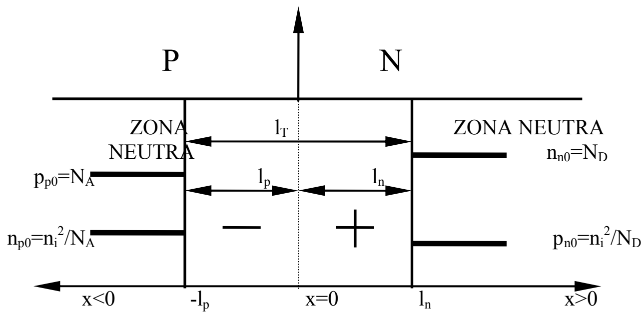

Figura F-2.6. - Sistema de referencia en el desarrollo del ejemplo.

Como puede comprobarse, según el enunciado, tanto N_D como N_A son bastante superiores a n_i (a 300 ºK). Luego aplicando las expresiones (2.1. a) y b)) obtendremos las
concentraciones de portadores mayoritarios y minoritarios en ambas zonas neutras de la pastilla, puestos en m^{-3}:

$$n_{n0} = N_D = 10^{22}\ m^{-3} \quad y \quad p_{n0} = n_i^2/N_D = 4\cdot 10^{32}/10^{22} = 4\cdot 10^{10}\ m^{-3}$$

$$p_{p0} = N_A = 10^{21}\ m^{-3} \quad y \quad n_{p0} = n_i^2/N_A = 4\cdot 10^{32}/10^{21} = 4\cdot 10^{11}\ m^{-3}$$

Con el supuesto de que en la zona de transición no hay portadores de carga podemos obtener la densidad de carga para la zona de transición (evidentemente dicha densidad de carga será nula en las zonas neutras). De (2.2.):

$$\rho(x) = -q\cdot N_A = -1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{21}\ C/m^3 \qquad \text{si } -l_p \leq x \leq 0$$

$$\rho(x) = q\cdot N_D = 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{22}\ C/m^3 \qquad \text{si } 0 \leq x \leq l_n$$

El campo eléctrico podemos obtenerlo de la expresión (2.4.), que a continuación repetimos:

$$E(x) = -(1/\in)\cdot q\cdot N_A\cdot(x + l_p) \quad \text{si} \quad -l_p \leq x \leq 0$$

$$E(x) = (1/\in)\cdot q\cdot N_D\cdot(x - l_n) \quad \text{si} \quad 0 \leq x \leq l_n$$

Esto es:

$$E(x) = -(1/10^{-10})\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{21}\cdot(x + l_p) \qquad \text{si } -l_p \leq x \leq 0$$

$$E(x) = (1/10^{-10})\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{22}\cdot(x - l_n) \qquad \text{si } 0 \leq x \leq l_n$$

Los parámetros l_p y l_n serán calculados posteriormente. Si los valores de los mismos, así como los de x, se sustituyen en metros, puede comprobarse que el campo vendrá dado en V/m.

En cuanto al potencial, si aplicamos la expresión (2.6.):

$$V(x) = (1/\in)\cdot q\cdot N_A\cdot(x^2/2 + l_p\cdot x) + K_3 \text{si} \quad -l_p \leq x \leq 0$$

$$V(x) = -(1/\in)\cdot q\cdot N_D\cdot(x^2/2 - l_n\cdot x) + K_4 \qquad \text{si} \quad 0 \leq x \leq l_n$$

Que al sustituir valores quedará:

$$V(x) = (1/10^{-10})\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{21}\cdot(x^2/2 + l_p\cdot x) \ \text{si } -l_p \leq x \leq 0$$

$$V(x) = -(1/10^{-10})\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{22}\cdot(x^2/2 - l_n\cdot x) \ \text{si } 0 \leq x \leq l_n$$

Igual que antes, tanto l_p y l_n como x, deben sustituirse en metros para obtener directamente el resultado en voltios. Dicho resultado será el potencial de cada punto referido al punto x=0.

b) El potencial de contacto podemos obtenerlo aplicando la expresión (2.8.), de forma que:

$$V_0 = \frac{K \bullet T}{q} \bullet \ln\frac{N_A \bullet N_D}{n_i^2} = 0{,}026 \bullet \ln\frac{10^{21} \bullet 10^{22}}{4 \bullet 10^{32}} = 0{,}62V$$

Con la relación (2.10.) podemos calcular la anchura total de la zona de transición, para posteriormente, teniendo en cuenta la expresión (2.5.) hallar l_p y l_n:

$$\ell_T = \left[\frac{2\bullet \in\left(N_A + N_D\right)}{q \bullet N_A \bullet N_D} \bullet Vo\right]^{1/2} = \left[\frac{2 \bullet 10^{-10} \bullet \left(10^{21} + 10^{22}\right)}{1{,}6 \bullet 10^{-19} \bullet 10^{21} \bullet 10^{22}} \bullet 0{,}62\right]^{1/2} = 0{,}73\mu\text{m}$$

Y, como además:

$$N_D \cdot l_n = N_A \cdot l_p \qquad \text{y} \qquad l_T = l_n + l_p$$

Podemos obtener:

$$l_n = \frac{N_A \bullet l_T}{N_D + N_A} = 0{,}07\mu\text{m}$$

y $l_p = l_T - l_n = 0{,}66\mu\text{m}$

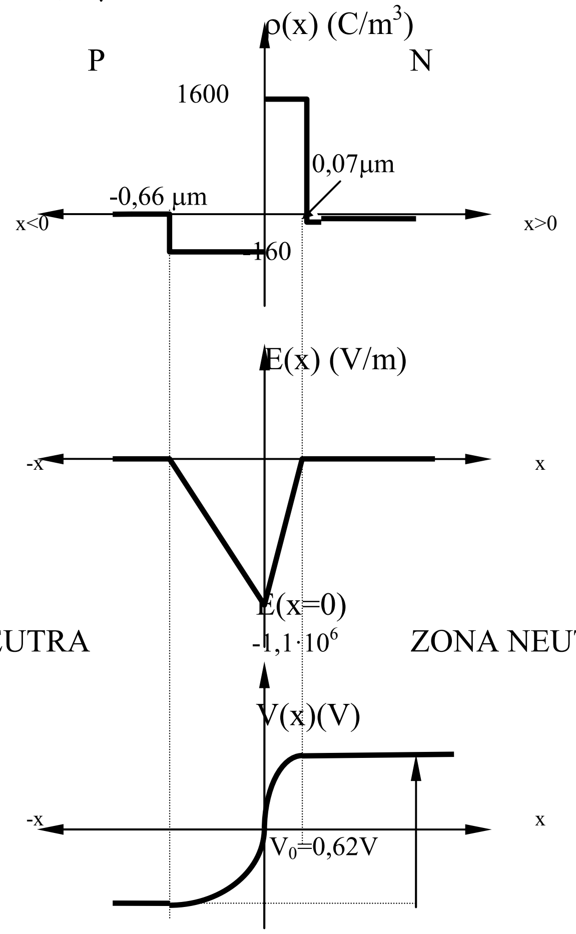

Figura F-2.7.- Representación de las distintas funciones obtenidas en el ejemplo.

Cuestiones:

1.- Explica brevemente los fenómenos relativos al movimiento de portadores que se producen en a la unión P-N en equilibrio, en polarización directa y en polarización inversa.

2.- ¿Cuál es el hecho fundamental que explica la gran diferencia entre el valor de la intensidad que circula por un diodo de unión P-N en polarización directa? ¿Y en polarización inversa?

3.- Cuál es la corriente predominante en una unión P-N polarizada en directo, justifica la respuesta.

4.- Cuál es la corriente predominante en una unión P-N polarizada en inversa, justifica la respuesta.