Distribución del Campo Eléctrico Interno

Pueden hallarse expresiones para la densidad de cargas, del campo eléctrico y del potencial a lo largo de la unión PN en condiciones de equilibrio térmico, fundamentadas en el uso de **la ecuación de Poisson**, que es valida también para los semiconductores y se escribe:

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = \frac{\rho}{\in} \qquad \qquad \rho = \mathrm{e}\left(p - n + N_D{}^{+} - N_A{}^{-}\right)$$

ρ: Densidad de carga.[1]

$\in$: Permitividad del material.

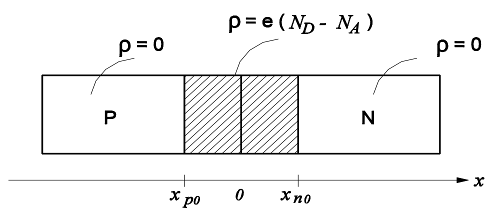

Figura 65. Densidad de carga para una unión P+N en equilibrio.[i]

Considerando que en la región de transición las cargas libres son muy pocas y suponiendo que las impurezas han sido ionizadas, queda en el lado P:

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = \frac{\mathrm{e}}{\in}\left(-N_A\right) \qquad -x_{p0} < x < 0 \qquad (2.12)$$

y en el lado N:

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = \frac{\mathrm{e}}{\in}\left(N_D\right) \qquad 0 < x < x_{n0} \qquad (2.13)$$

---

[1] El símbolo ρ indica densidad de carga y resistividad, desafortunadamente se utiliza el mismo símbolo para identificar dos magnitudes diferentes; sin embargo, esta dualidad se deduce del contexto.

Esto significa que el comportamiento del campo eléctrico dentro de la región de transición es lineal con pendiente negativa en el lado P y positiva en el lado N, y además, por definición conceptual de campo, éste debe ser continuo.

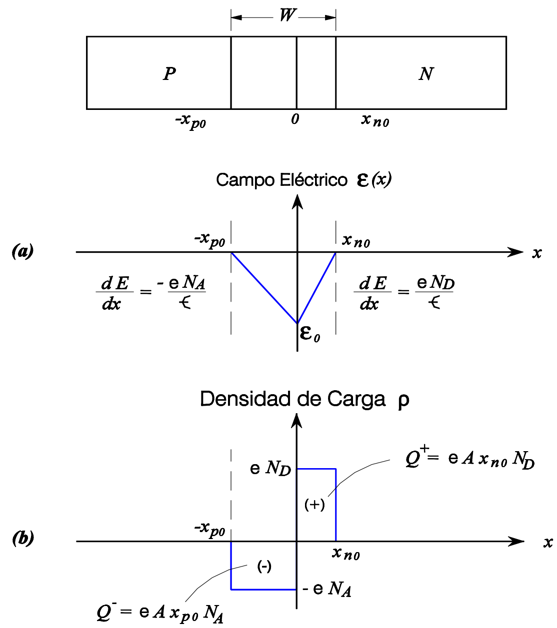

Figura 66. Campo eléctrico y densidad de carga para una unión PN⁺
bajo condiciones de equilibrio.[ii]

El campo máximo $\mathcal{E}_0$, se obtiene en $x = 0$. Para calcularlo, se integra:

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = \frac{e}{\in}(N_D) \Rightarrow \int_{\mathcal{E}_0}^{0} d\mathcal{E} = \int_{0}^{x_{n0}} \frac{eN_D}{\in} dx$$

Así, $\mathcal{E}_0 = -\frac{eN_D}{\in} x_{n0}$. Puede calcularse también desde la zona P; y de manera similar se obtiene: $\mathcal{E}_0 = -\frac{eN_A}{\in} x_{p0}$

Se tiene entonces que:

$$\mathcal{E}_0 = -\frac{eN_D}{\in} x_{n0} = -\frac{eN_A}{\in} x_{p0} \qquad (2.14)$$

La Tabla 10 presenta los valores de la permitividad para los materiales de Silicio, Germanio y Arseniuro de Galio

Tabla 10. Permitividad para el **Si**, **Ge** y **GaAs**

Permitividad (F/cm)	Si	Ge	GaAs
$\in = \in_r \in_0$ *	$11.8 \in_0$	$16 \in_0$	$13.1 \in_0$
$\in$	$1.05\text{x}10^{-12}$	$1.42\ \text{x}10^{-12}$	$1.16\ \text{x}10^{-12}$

$\in_r$: Constante dieléctrica relativa, $\in_0$: Permitividad en espacio libre (8.85×10^{-12}).

2.2.3 Carga en la Región de Transición

Para que el campo eléctrico interno se forme y sea estable, la carga positiva en el lado N debe ser igual a la carga negativa en el lado P.

$$|Q^-| = |Q^+|$$

$$Q^- = -\text{e}\, N_A\, A\, x_{p0}$$

$$Q^+ = \text{e}\, N_D\, A\, x_{n0}$$

A : Area transversal de la unión PN

x_{p0} : Ancho de la región de transición en la zona P

x_{n0} : Ancho de la región de transición en la zona N

Por lo tanto: $\text{e}\, N_A\, A\, x_{p0} = \text{e}\, N_D\, A\, x_{n0}$

$$x_{p0} = \frac{N_D}{N_A} x_{n0} \tag{2.15}$$

Se puede entonces hablar también de la densidad de carga ρ. Esta es cero en las regiones por fuera de la región de transición; es decir, para $x > x_{n0}$ y $x < -x_{p0}$. Y en la región de transición:

$$\rho = -\text{e}N_A \qquad -x_{p0} < x < 0 \tag{2.16}$$

$$\rho = \text{e}N_D \qquad 0 < x < x_{n0} \tag{2.17}$$

2.2.4 Ancho de la Región de Transición

Es evidente que el ancho total de la región de vaciamiento W , es:

$$W = x_{p0} + x_{n0} \tag{2.18}$$

Puede escribirse que: $x_{p0} = W - x_{n0}$

Así al reemplazar en la ecuación (2.15), se tiene: $\frac{N_D}{N_A} x_{n0} = W - x_{n0}$

De donde:

$$x_{n0} = \frac{N_A\, W}{N_D + N_A} \tag{2.19}$$

Con un razonamiento similar, puede hallarse que:

$$x_{p0} = \frac{N_D\, W}{N_D + N_A} \tag{2.20}$$

Obsérvese que x_{n0} no tiene porque ser igual a x_{p0} , sino que se relacionan con W a través de las concentraciones de impurezas.

Puede buscarse una expresión para W así:

$$\mathcal{E}(x) = -\frac{dV(x)}{dx}\text{, entonces: } \int_0^{V_0} dV = -\int_{-x_{p0}}^{x_{n0}} \mathcal{E}(x)$$

$$V_0 = -\frac{1}{2} W \mathcal{E}_0 = \frac{W\, \mathrm{e}\, N_A\, x_{p0}}{2 \in} = \frac{W^2\ \mathrm{e}\, N_A\, N_D}{2 \in \left(N_A + N_D\right)}$$

con lo que:

$$W = \left[\frac{2 \in V_0}{e} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \right]^{1/2} = \left[\frac{2 \in V_0}{e} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right) \right]^{1/2} \qquad (2.21)$$

$$x_{p0} = \left[\frac{2 \in V_0}{e} \left(\frac{N_D}{N_A \left(N_A + N_D \right)} \right) \right]^{1/2} \qquad (2.22)$$

$$x_{n0} = \left[\frac{2 \in V_0}{e} \left(\frac{N_A}{N_D \left(N_A + N_D \right)} \right) \right]^{1/2} \qquad (2.23)$$

CITAS PARA FIGURAS Y EJEMPLOS

[i] PIERRET, Robert F. Semiconductor device fundamentals. Estados Unidos : Addison Wesley, 1996. p.207.

[ii] STREETMAN, Ben G. Solid state electronics devices. 3 ed. Nueva Jersey : Prentice Hall, 1990. p.145.