

## Tiempo de vida de los excesos en semiconductores

En un semiconductor con concentraciones de portadores en equilibrio  $n_0$  y  $p_0$  se genera un exceso por algún mecanismo externo. La generación del exceso consiste en la aparición de pares electrón-hueco tal que  $\delta n = \delta p$ . Simultáneamente con el proceso de generación del exceso, se produce un proceso de recombinación.

En estado de equilibrio, los procesos de generación y recombinación son tales que:

$$g_0 = r_0 \quad [1]$$

donde:

$g_0$  es la tasa de generación de pares :  $\frac{[\# \text{ n}^\circ \text{ de pares generados}]}{[\text{unidad de tiempo}][\text{unidad de volumen}]}$  ; representa la aparición de pares en equilibrio por generación térmica.

$r_0$  es la tasa de recombinación de pares:  $\frac{[\# \text{ n}^\circ \text{ de pares recombinados}]}{[\text{unidad de tiempo}][\text{unidad de volumen}]}$ .

La relación [1] permite que los valores de equilibrio  $n_0$  y  $p_0$  se mantengan constantes en un proceso dinámico de generación y recombinación.

La tasa de recombinación es proporcional a las concentraciones de electrones y huecos y la podemos escribir como:

$$r_0 = \gamma_r n_0 p_0 = \frac{n_0}{\tau_{n_0}} = \frac{p_0}{\tau_{p_0}} \quad [2]$$

Donde  $\gamma_r$  es una constante de proporcionalidad.

Si en el semiconductor se genera uniformemente un exceso, las concentraciones habrán cambiado de manera que:

$$n = n_0 + \delta n \quad \text{y} \quad p = p_0 + \delta p. \quad [3]$$

Ahora la tasa de recombinación será:

$$r = \gamma_r n p \quad [4]$$

Si a partir de un determinado instante, se suspende la generación del exceso, éste comenzará a disminuir según la siguiente relación:

$$\frac{dn}{dt} = -\gamma_r n p + g_0 \quad [5]$$

$$\frac{dn}{dt} = -\gamma_r (np - n_0 p_0) = -\gamma_r [(n_0 + \delta n)(p_0 + \delta p) - n_0 p_0] = -\gamma_r [n_0 \delta p + p_0 \delta n + \delta n \delta p] \quad [6]$$

Si suponemos *bajo nivel de inyección* o sea  $\delta n = \delta p \ll n_0 + p_0$ :

$$\frac{dn}{dt} = -\gamma_r \delta n (n_0 + p_0) \quad [7]$$

Si ahora llamamos:  $\tau = \frac{1}{\gamma_r (n_0 + p_0)} \Rightarrow \frac{dn}{dt} = -\frac{\delta n}{\tau}$  [8]

De [3] se puede escribir  $\frac{dn}{dt} = \frac{d(\delta n)}{dt} \Rightarrow \delta n = \delta n(0) e^{-\frac{t}{\tau}}$  [9]

$\tau$  es el tiempo medio de existencia de los portadores de carga en desequilibrio (del exceso).

• Caso de un semiconductor fuertemente extrínseco.

tipo-n:  $n_0 \gg p_0$

De [8]:  $\tau \cong \frac{1}{\gamma_r n_0}$  y de [2]  $\gamma_r n_0 p_0 = \frac{p_0}{\tau_{p_0}}$  luego  $\tau \cong \tau_{p_0}$

Entonces el tiempo de recombinación del exceso es el tiempo de vida de los portadores minoritarios.

Al mismo resultado se llega para el caso de un semiconductor tipo-p para el cual el tiempo de recombinación de los excesos será  $\tau \cong \tau_{n_0}$ .

Estimación cualitativa

A un resultado similar podría haberse arribado mediante una estimación cuantitativa:

Supóngase un semiconductor de Ge con una concentración intrínseca a temperatura ambiente (300°K)

$n_i \cong 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Si este semiconductor es dopado de tal manera que se convierte en un semiconductor **fuertemente extrínseco** tipo-n, por ejemplo con una concentración de impurezas donoras

$N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

Entonces las concentraciones de equilibrio serán:  $n_0 \cong 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  y  $p_0 = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

Ahora se introduce un exceso  $\delta n = \delta p = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ . Como se ve, este exceso es  $\ll n_0$  pero  $\cong p_0$ .

De [2], se ve que en equilibrio  $\tau_{p_0} = \frac{p_0}{n_0} \tau_{n_0} = 10^{-6} \tau_{n_0}$ , o sea que el tiempo de recombinación de los

minoritarios es mucho más corto que el de los mayoritarios. Tarda más en desaparecer (como portador libre) por recombinación un electrón (encuentra pocos huecos) que un hueco (encuentra muchos electrones). Con la introducción de este exceso, la concentración de mayoritarios prácticamente no se habrá alterado, en cambio la concentración de minoritarios se duplicó. La frecuencia con que un electrón encuentre a un hueco para recombinarse se habrá duplicado en cambio para un hueco esta frecuencia permanecerá aproximadamente igual que en el equilibrio. Luego el tiempo de recombinación de los excesos será igual al tiempo de recombinación de los portadores minoritarios en equilibrio.