

Movilidad en semiconductores extrínsecos

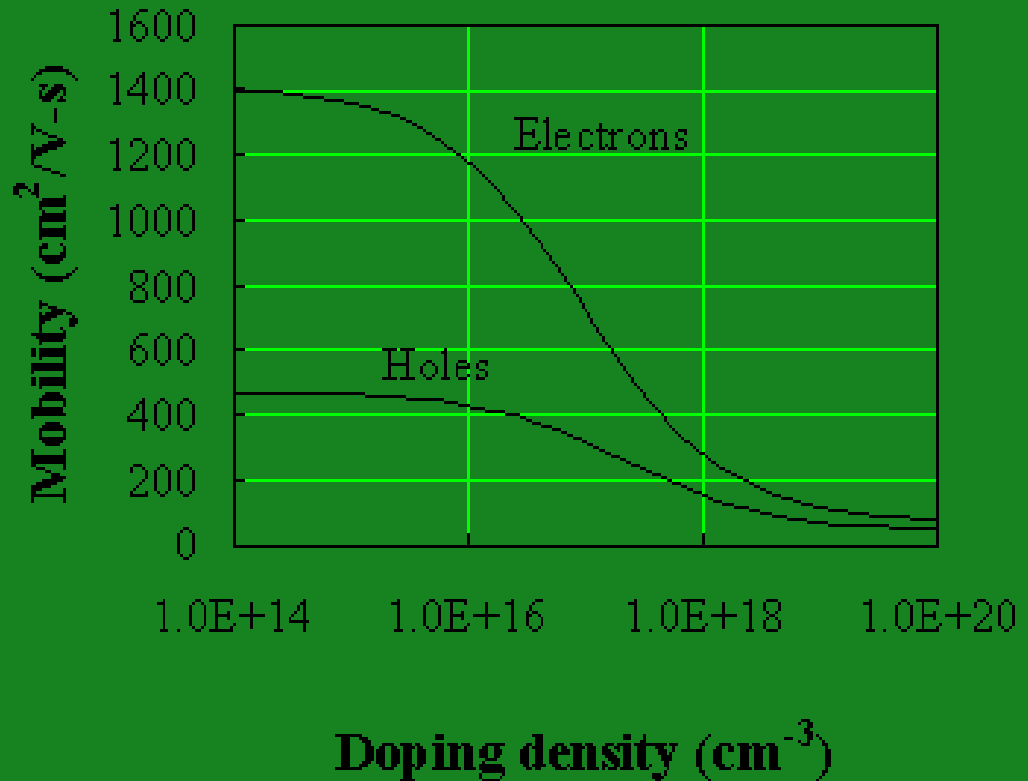
μ
(Movilidad)



f(Concentracion de Impurezas)

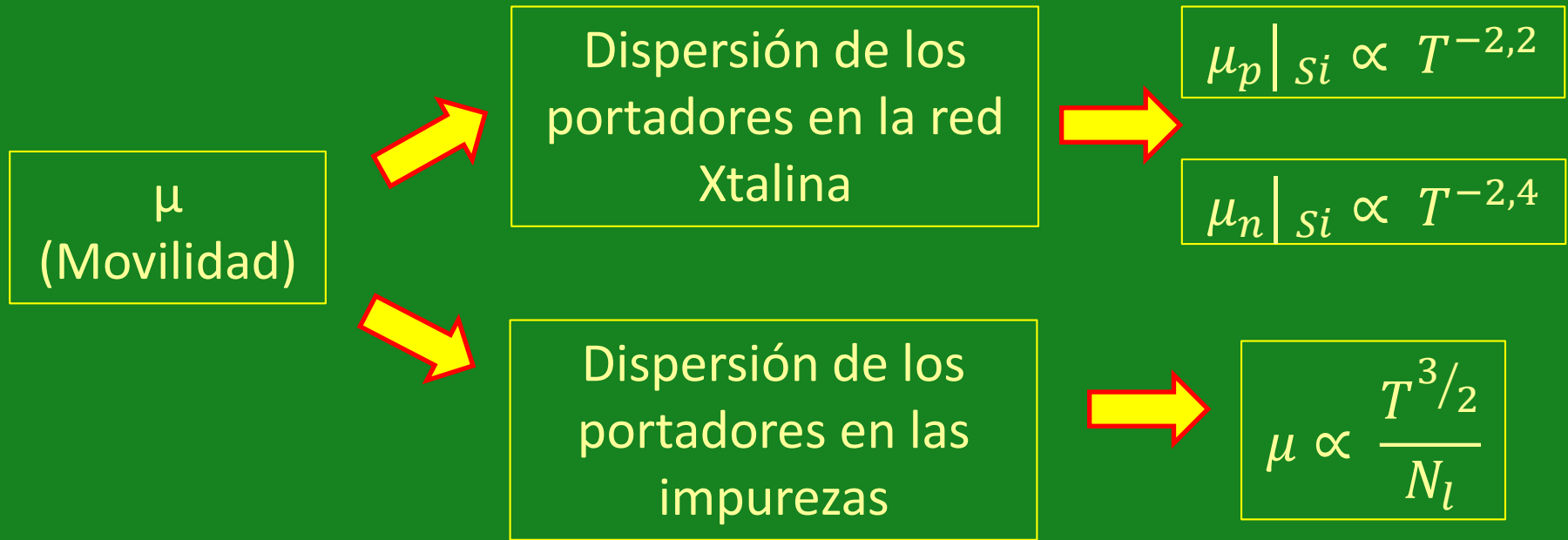
f(Tipo de Impurezas)

	Arsenic	Phosphorous	Boron
μ_{min} (cm ² /V-s)	52.2	68.5	44.9
μ_{max} (cm ² /V-s)	1417	1414	470.5
N_r (cm ⁻³)	9.68×10^{16}	9.20×10^{16}	2.23×10^{17}
α	0.68	0.711	0.719



$$\mu = \mu_{min} + \frac{\mu_{MAX} - \mu_{min}}{1 + \left(\frac{N}{N_r}\right)^\alpha}$$

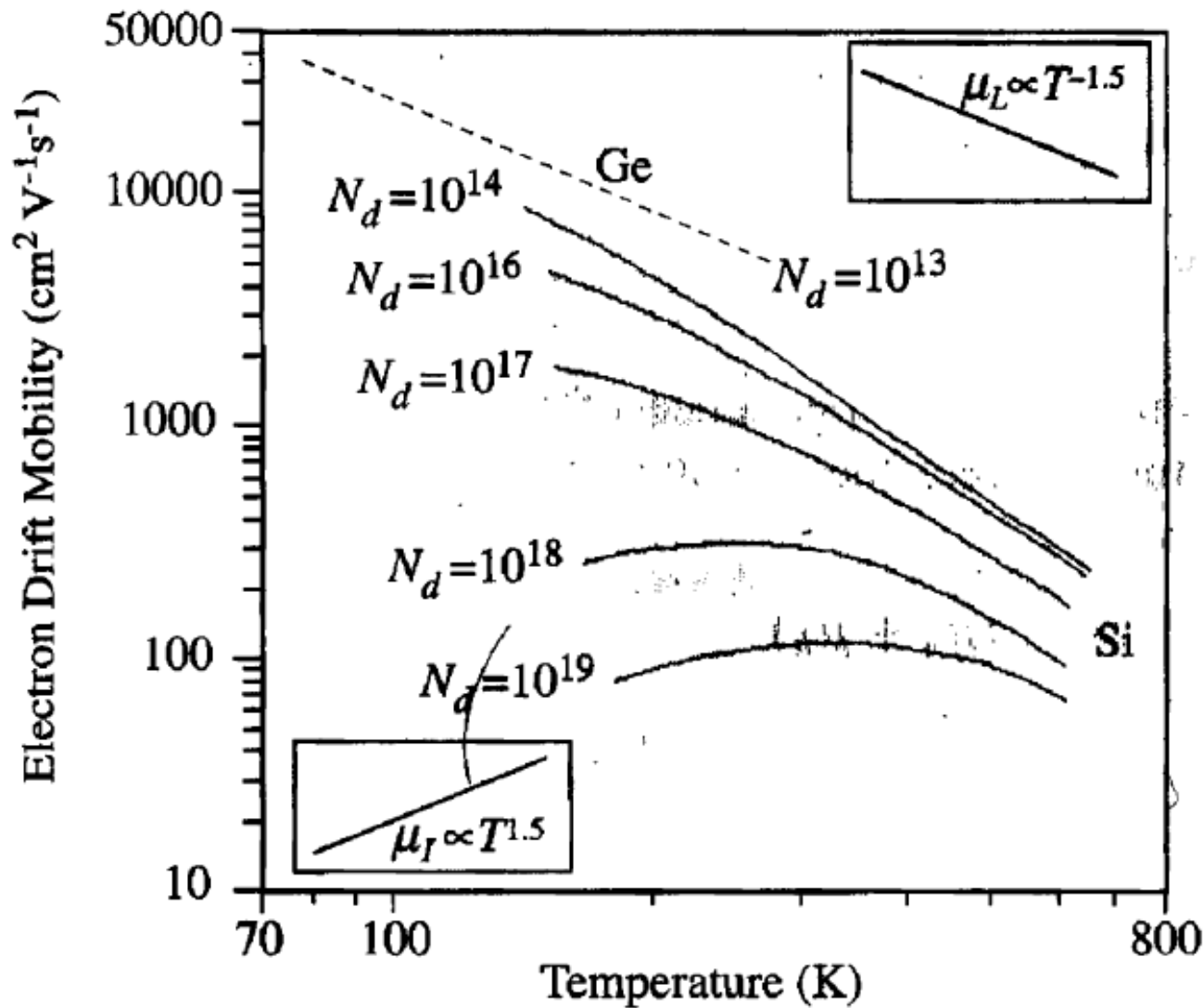




- Las impurezas son átomos extraños en el Xtal (imperfecciones)
- Mas impurezas menos movilidad
- Las impurezas tienen carga eléctrica cuando se ionizan (generan el portador) por ello la temperatura afecta mejorando la movilidad (tiempo de interacción disminuye)

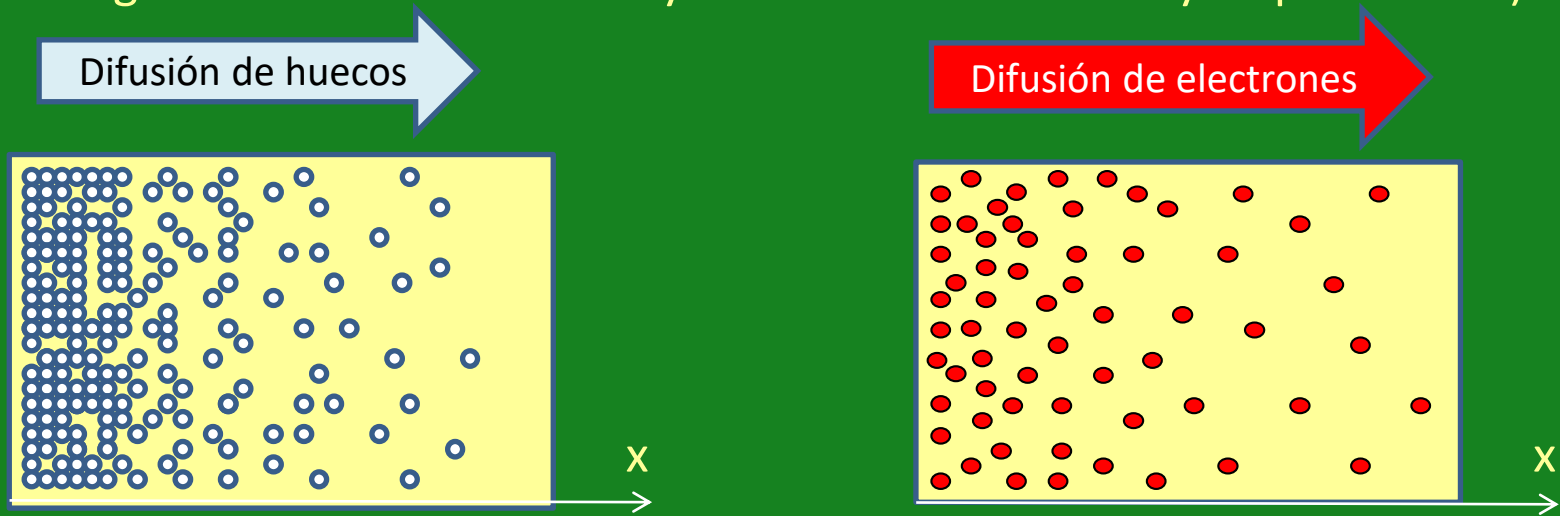


Movilidad en semiconductores extrínsecos



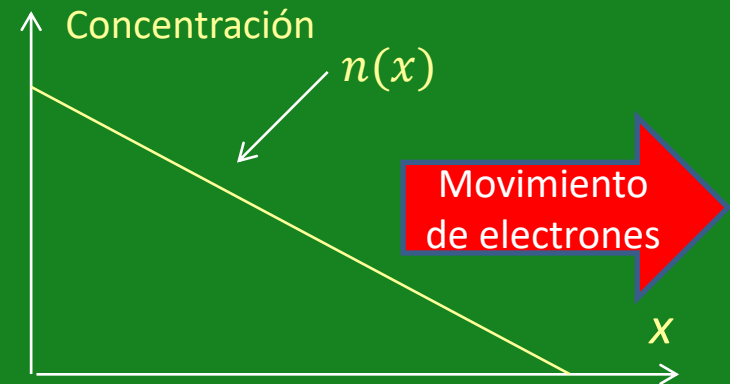
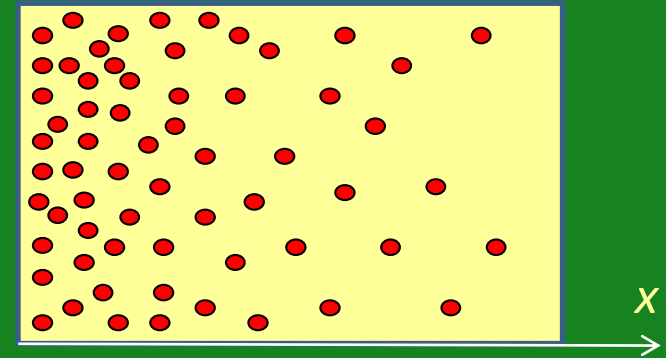
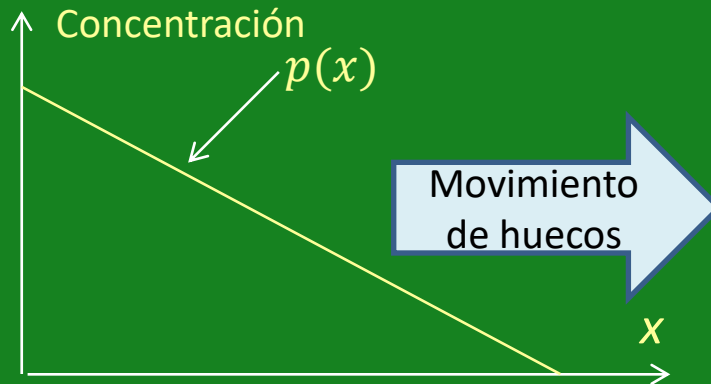
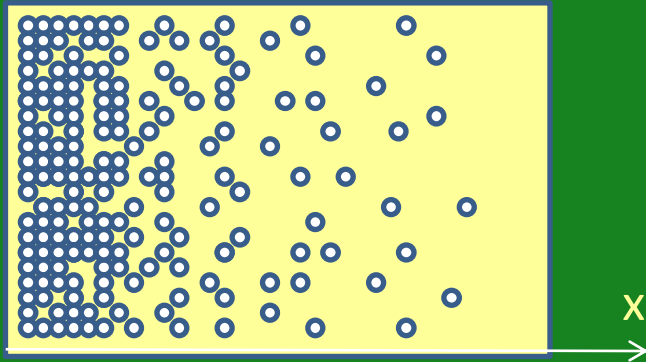
Corriente por Difusión

- Los portadores libres dentro del semiconductor se mueven al azar con una velocidad v_{th} (velocidad térmica) que depende de la temperatura
- Cuando hay un *gradiente espacial* de concentración de portadores (en un lugar del semiconductor hay una concentración mayor que en otra)



- Como consecuencia de esta diferencia de concentración y del movimiento al azar, los portadores de la zona de mayor concentración tienen tendencia a pasar a la zona de menor concentración





- Este movimiento de cargas producto de la diferencia de concentración genera una corriente eléctrica
- La magnitud de la corriente es proporcional al gradiente de concentración

$$J_p(x) \propto \frac{dp(x)}{dx}$$

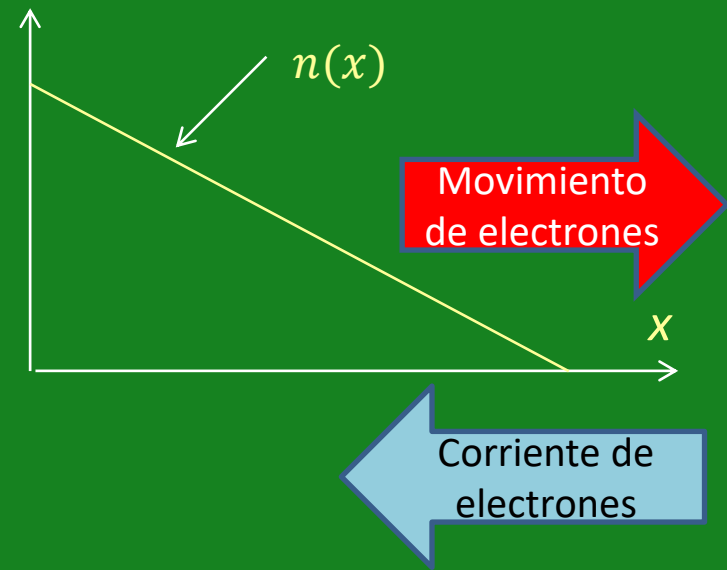
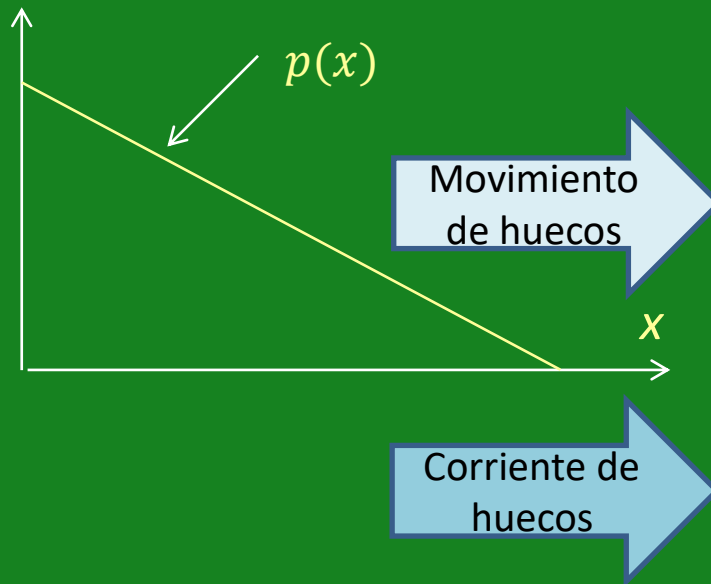
$$J_n(x) \propto \frac{dn(x)}{dx}$$



- La constante de proporcionalidad entre la densidad de corriente por difusión y el gradiente de concentración se llama “ **Constante de Difusión [D]**”

$$J_p(x) = -q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$J_n(x) = q D_n \frac{dn(x)}{dx}$$



- El signo de la ecuación de la densidad de corriente de huecos es negativo porque la corriente tiene dirección contraria a la pendiente del gradiente de concentración



- Tanto la movilidad (μ) como la difusión (D) son fenómenos estadísticos termodinámicos (dependen de la temperatura y del movimiento aleatorio de los portadores), por tanto se encuentran relacionados

RELACION DE EINSTEIN



$$\frac{D}{\mu} = \frac{k T}{q}$$

$$\frac{k T}{q} = V_T [Volts]$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \left[\text{Joule} / ^\circ K \right] \quad k = 8,62 \times 10^{-5} \left[eV / ^\circ K \right]$$

- V_T es el “potencial equivalente de temperatura”

- Se calcula como
$$U_T = \frac{T [^\circ K]}{11600} [Volts]$$



SEMICONDUCTORES - CORRIENTES

- Corriente por campo, desplazamiento, óhmica



$$J = \sigma \times E$$

$$\sigma = q n \mu_n + q p \mu_p$$

Corriente en los
semiconductores



- Corriente por Difusión



$$J_p(x) = -q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$J_n(x) = q D_n \frac{dn(x)}{dx}$$

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T$$



Densidad total de corriente de huecos

Densidad de corriente por difusión

Densidad de corriente por campo eléctrico

$$J_p = J_{Dp} + J_{\mu p}$$

$$J_p = -qD_p \frac{dp(x)}{dx} + q p \mu_p E$$

Densidad total de corriente de electrones

Densidad de corriente por difusión

Densidad de corriente por campo eléctrico

$$J_n = J_{Dn} + J_{\mu n}$$

$$J_n = qD_n \frac{dn(x)}{dx} + q n \mu_n E$$





	Metal	Semiconductor Intrínseco	Semiconductor Extrínseco
Tipo de portadores	Electrones	Electrones y Huecos	Electrones o Huecos
Cantidad de portadores	Fija $\approx 10^{22}$	Variable con T	Variable con impurezas
Movilidad	Disminuye con T	Disminuye con T	- Aumenta con T para T bajas - Disminuye con T para T normal
Corriente	Campo	Campo o Difusión	Campo o Difusión



ECUACION DE CONTINUIDAD

- Como la conductividad depende de la concentración de portadores
- Para un semiconductor necesitamos calcular la variación de concentración de portadores de cargas (huecos o electrones)

- La variación puede ser
 - Temporal  $n(t)$ o $p(t)$
 - Espacial  $n(x)$ o $p(x)$

- Fenómenos que afectan la concentración
 - Generación
 - Recombinación
 - Corriente



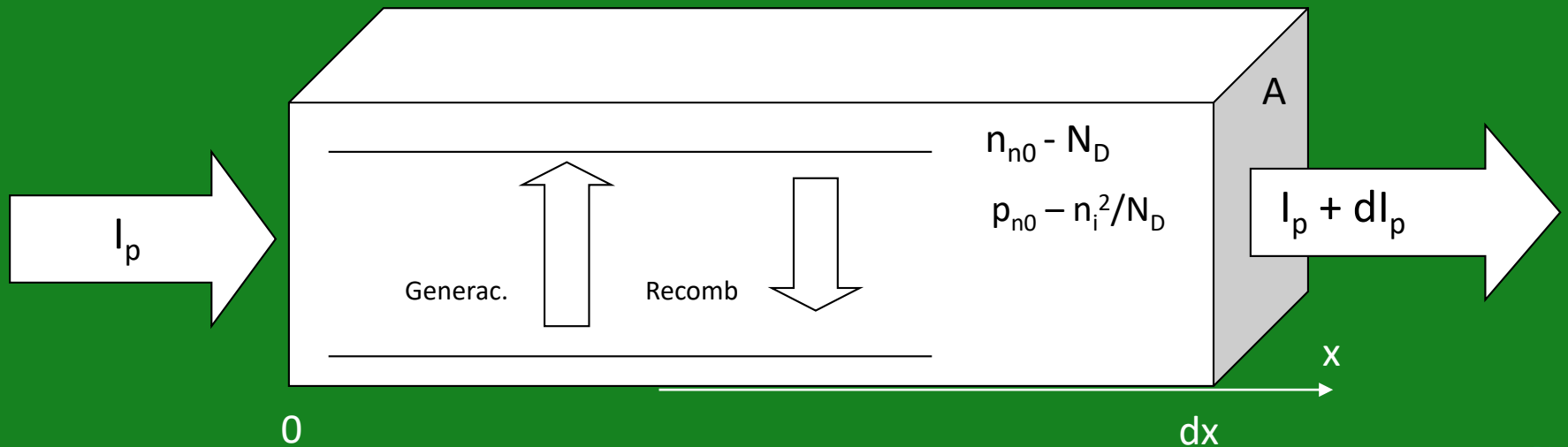
Variación de concentración de minoritarios p_n

$$\frac{dp_n}{dt} = \text{Generación} - \text{Recombinación} + \text{Corriente entrante} - \text{Corriente saliente}$$

En $x = 0$ entra I_p y en $x = dx$ sale $I_p + dI_p$

$$\frac{dI_p}{q} = \text{Huecos por segundo que salen del semiconductor}$$

$$\frac{dI_p}{q A dx} = \text{Densidad de huecos por segundo que salen del semiconductor}$$



Semiconductor tipo N con N_D impurezas donadoras



$$\frac{dI_p}{q A dx} = \frac{1}{q} \frac{dJ_p}{dx}$$

Densidad de huecos por segundo
que salen del semiconductor

$$\frac{dp_n(x, t)}{dt} = g - R - \frac{1}{q} \frac{dJ_p(x)}{dx}$$

$$g = \frac{p_{n0}}{\tau_p} \quad R = \frac{p_n(x, t)}{\tau_p} \quad J_p = q p_n \mu_p E - q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$\frac{dp_n(x, t)}{dt} = \frac{p_{n0} - p_n(x, t)}{\tau_p} - \mu_p \frac{d[p_n(x, t) E(x, t)]}{dx} + D_p \frac{d^2 p_n(x, t)}{dx^2}$$

Variación de la concentración de huecos en un semiconductor tipo N por efecto de Generación, Recombinación y Corriente



$$\frac{dn_p(x, t)}{dt} = \frac{n_{p0} - n_p(x, t)}{\tau_n} - \mu_n \frac{d[n_p(x, t) E(x, t)]}{dx} - D_n \frac{d^2 n_p(x, t)}{dx^2}$$

Variación de la concentración de electrones en un semiconductor tipo P por efecto de Generación, Recombinación y Corriente

APLICACIÓN DE LA ECUACION

Supongo un semiconductor tipo N con:

- Densidad espacial de portadores constante $\frac{dp_n(x)}{dx} = 0$
- Sin campo eléctrico aplicado $E = 0$
- Se aplica un transitorio temporal de energía



$$\frac{dp_n(x, t)}{dt} = \frac{p_{n0} - p_n(x, t)}{\tau_p} - \mu_p \frac{d[p_n(x, t) E(x, t)]}{dx} + D_p \frac{d^2 p_n(x, t)}{dx^2}$$

$$\frac{dp_n(x, t)}{dt} = \frac{p_{n0} - p_n(x, t)}{\tau_p}$$

SOLUCION

$$p_n(t) = [p_n(0) - p_{n0}]e^{-t/\tau_p} + p_{n0}$$

