

# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad

### ■ Recombinación de portadores:

- Energía térmica: rompe enlaces  $e^- / h^+$
- Cuando  $e^-$  y  $h^+$  se recombinan, se crean enlaces
- En el equilibrio: se crean tantos enlaces como se rompen

- Velocidad de recombinación: número de portadores por unidad de volumen que se recombinan en la unidad de tiempo

$$R = \frac{c}{t}$$

- R es proporcional a la concentración de portadores

$$R_e = K_e \cdot n = \frac{1}{\tau_{re}} \cdot n$$

$$R_h = K_h \cdot p = \frac{1}{\tau_{rh}} \cdot p$$

tiempo de recombinación

# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad: difusión

- Semiconductor con acumulación de portadores en  $x = 0$

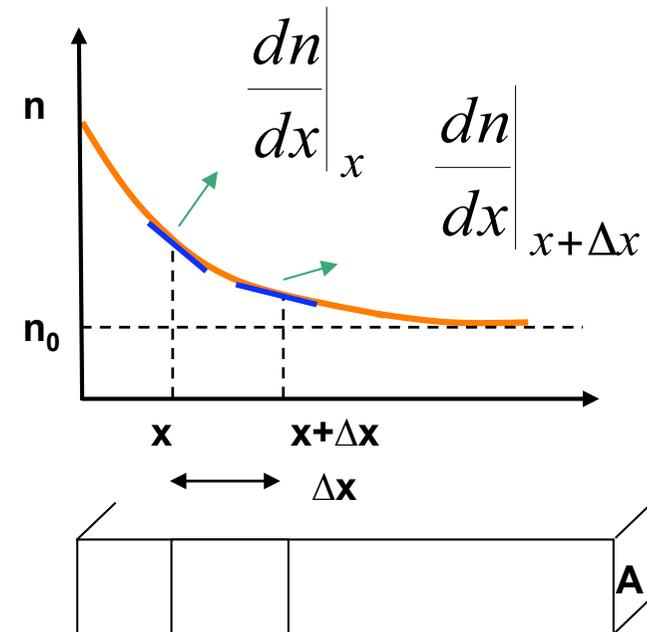
- En un trozo  $x, x+\Delta x$ , la corriente de difusión para los electrones:

$$J_{dn}(x) = -(-e)D_e \left. \frac{dn}{dx} \right|_x$$

$$J_{dn}(x + \Delta x) = -(-e)D_e \left. \frac{dn}{dx} \right|_{x+\Delta x}$$

- Se puede demostrar que:

$$J_{dn}(x) - J_{dn}(x + \Delta x) = (-e)D_e \frac{d^2 n}{dx^2} \Delta x$$



# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad: **difusión** (cont)

■ Si  $n(x) = n_0 + \Delta n(x) = n_0 + \Delta n_0 e^{-x/L_e} \implies \frac{d^2 n}{dx^2} = \frac{\Delta n}{L_e^2}$

$\implies J_{dn}(x) - J_{dn}(x + \Delta x) = (-e) D_e \frac{\Delta n}{L_e^2} \Delta x$

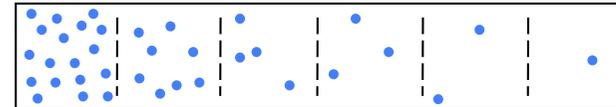
■ Si  $p(x) = p_0 + \Delta p(x) = p_0 + \Delta p_0 e^{-x/L_h} \implies \frac{d^2 p}{dx^2} = \frac{\Delta p}{L_h^2}$

$\implies J_{dp}(x) - J_{dp}(x + \Delta x) = (+e) D_h \frac{\Delta p}{L_h^2} \Delta x$

# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad: **recombinación**

- Si la corriente  $J_d$  disminuye de forma continuada  
→ hay recombinación



x (m)	1	2	3	4	5	6
c (part/m <sup>3</sup> )	18	8	4	3	2	1.5

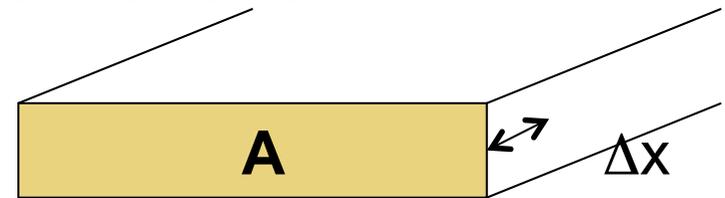
x (m)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
$\Delta c$ (part/m <sup>3</sup> )	-10	-4	-1	-1	-0.5
$\Delta x$ (m)	1	1	1	1	1
j (part/m <sup>2</sup> s)	10	4	1	1	0.5

# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad: **recombinación** (cont)

- Si la corriente  $J_d$  disminuye  $\rightarrow$  hay recombinación

- Relación:



$$J = \frac{I}{A} = \frac{Q}{\tau_r A} = \frac{qN}{\tau_r A} = \frac{qcV}{\tau_r A} = \frac{qcA\Delta x}{\tau_r A} = \frac{c}{\tau_r} q \Delta x = R q \Delta x$$

The equation shows the derivation of the recombination rate R from current density J. Blue circles highlight the terms qN, qcV, and qcAΔx. Blue arrows indicate the flow of terms from left to right. A cyan arrow points from the final term RqΔx to a box below.

Q total que se recombina

- Para electrones y huecos:
 
$$\left\{ \begin{array}{l} J_{dn}(x) - J_{dn}(x + \Delta x) = R_n (-e) \Delta x \\ J_{dp}(x) - J_{dp}(x + \Delta x) = R_p e \Delta x \end{array} \right.$$

# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad: **difusión** y **recombinación**

- Finalmente para electrones:

$$\left. \begin{aligned} J_{dn}(x) - J_{dn}(x + \Delta x) &= (-e) D_e \frac{\Delta n}{L_e^2} \Delta x \\ J_{dn}(x) - J_{dn}(x + \Delta x) &= \frac{\Delta n}{\tau_{re}} (-e) \Delta x \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} (-e) D_e \Delta x \frac{\Delta n}{L_e^2} &= \frac{\Delta n}{\tau_{re}} (-e) \Delta x \\ L_e^2 &= D_e \tau_{re} \end{aligned}$$

- Finalmente para huecos:

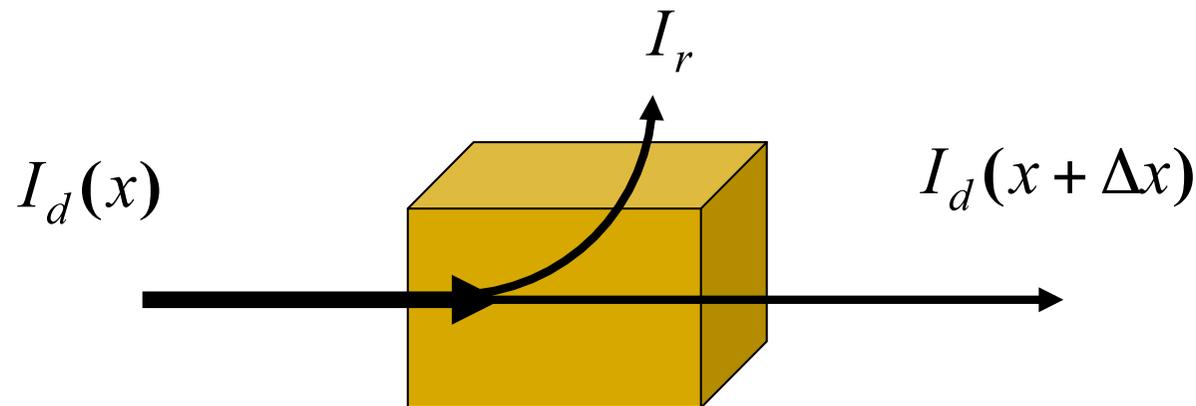
$$\left. \begin{aligned} J_{dp}(x) - J_{dp}(x + \Delta x) &= (+e) D_h \frac{\Delta p}{L_h^2} \Delta x \\ J_{dp}(x) - J_{dp}(x + \Delta x) &= \frac{\Delta p}{\tau_{rh}} (+e) \Delta x \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} (+e) D_h \Delta x \frac{\Delta p}{L_h^2} &= \frac{\Delta p}{\tau_{rh}} (+e) \Delta x \\ L_h^2 &= D_h \tau_{rh} \end{aligned}$$

# TEMA 6: SEMICONDUCTORES

## 6.6 Ecuación de continuidad: **difusión** y **recombinación**

- Finalmente para electrones:



$$L_e^2 = D_e \tau_{re}$$

$$L_h^2 = D_h \tau_{rh}$$