

Dispositivos Electrónicos



AÑO: 2010

TEMA 3: CONCEPTOS BÁSICOS DE SECONDUCTORES



Rafael de Jesús Navas González
Fernando Vidal Verdú

TEMA 3: CONCEPTOS BÁSICOS DE SEMICONDUCTORES

3.1. Estructura de los sólidos

3.1.1 Sólidos Cristalinos: Estructura cristalina.

3.1.2 Conductividad en cristales. Electrones de valencia y electrónes libres. Bandas de Energía.

3.1.3 Conductores, Semiconductores y Aislantes: Caracterización en términos de la Teoría de bandas de Energía

3.2. Cristales Semiconductores

3.2.1 Modelo de enlace covalente.

3.2.2 Portadores de carga: electrones y hueco: Generación-Recombinación

3.2.3 Semiconductor intrínseco. Ley de acción de masas.

3.3. Movimiento de portadores en semiconductores.

3.3.1 Conducción por huecos.

3.3.2 Corrientes de arrastre y corrientes de difusión

3.4. Semiconductores intrínsecos y extrínsecos.

3.4.1 Semiconductor extrínseco. Semiconductores de tipos P y N.

3.4.2 Ecuación de neutralidad de carga. Concentración de portadores en semiconductores extrínsecos.

3.4.3 Variación con la Temperatura de la concentración de portadores

TEMA 3: CONCEPTOS BÁSICOS DE SEMICONDUCTORES

OBJETIVOS:

Al estudiar este tema el alumno debe ser capaz de:

- Explicar en base a la teoría de bandas y de forma cualitativa por qué existen materiales conductores, aislantes y semiconductores.
- Identificar los dos tipos de portadores de carga que se encuentran en los materiales semiconductores, cómo se generan y cómo contribuyen a la conducción en estos materiales.
- Explicar de forma cualitativa los diferentes mecanismos de conducción en semiconductores: corrientes de arrastre y corrientes de difusión.
- Explicar qué son los semiconductores intrínsecos y los semiconductores extrínsecos.
- Explicar qué son y cómo se obtienen los semiconductores extrínsecos de tipo N y de tipo P.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Navas González R. y Vidal Verdú F. "Curso de Dispositivos Electrónicos en Informática y Problemas de Examen Resueltos" Universidad de Málaga/ Manual 70, 2006. Tema 3: pag.105-125.
- Alados I., Liger E. y Peula J.M. "Curso de Fundamentos Físicos de la Informática" Universidad de Málaga/Manual 76, 2006. Unidad 4: pag. 151-183 y Unidad 5: pag. 197-235.
- Fernández Ramos, J. y otros, "Dispositivos Electrónicos para Estudiantes de Informática" Universidad de Málaga / Manuales 2002. Tema 3: pag. 43- 58.
- Pollán Santamaría, Tomás, "Electrónica Digital I. Sistemas Combinacionales", Prensas Universitarias de Zaragoza 2003. TEMA T1: pag. 235-241.
- Malik, N.R., "Circuitos Electrónicos. Análisis, Simulación y Diseño", Editorial Prentice-Hall 1996. Tema: 3: pag. 127-146.
- Boylestad R. and Nashelsky L. "Electronics Devices and Circuit Theory" Ed. Prentice-Hall. 1996. Tema 1: pag. 3-10.
- <http://jas.eng.buffalo.edu/education/index.html>

ESTRUCTURA DE LOS SÓLIDOS

● CRISTALES Y ESTRUCTURA CRISTALINA

DIAMANTE (C)



CRISTALES DE HIELO



PIRITA (FeS₂)



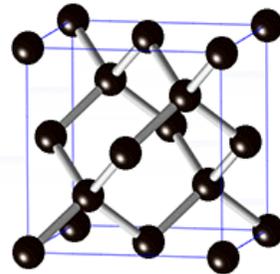
ORO (Au)



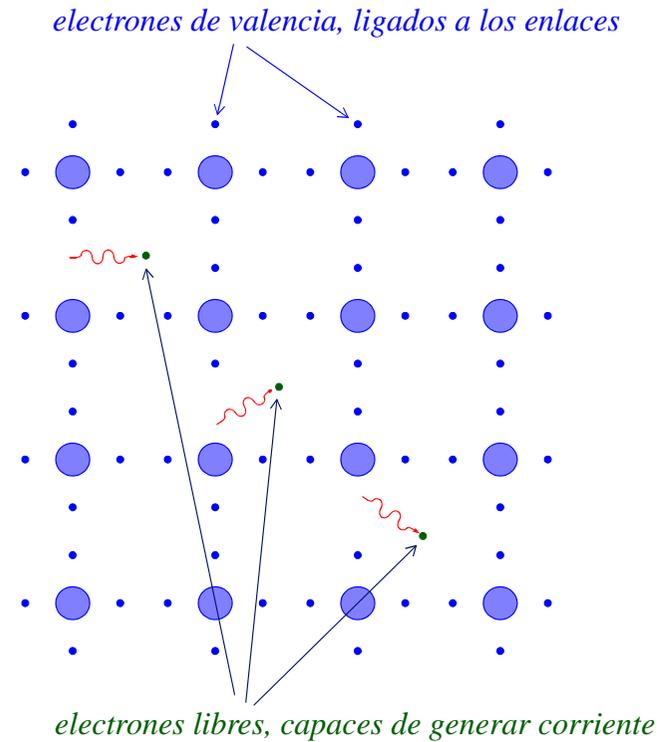
OBLEA DE SILICIO



SILICIO CRISTALINO

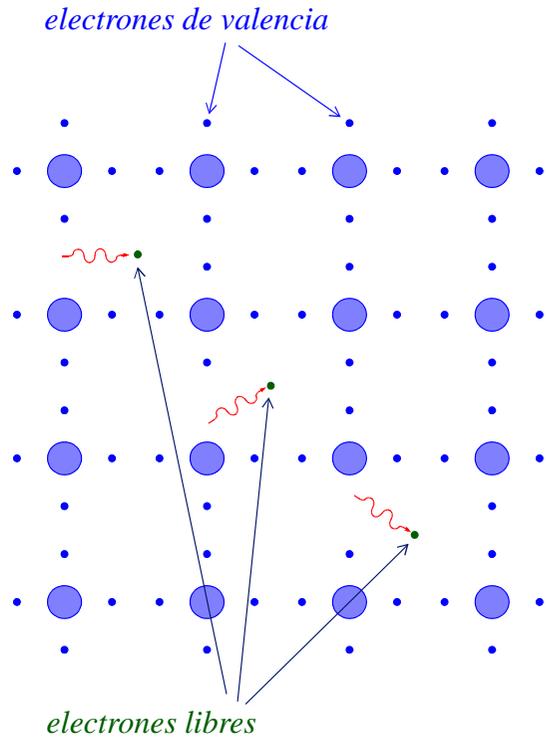


● ESTRUCTURA CRISTALINA

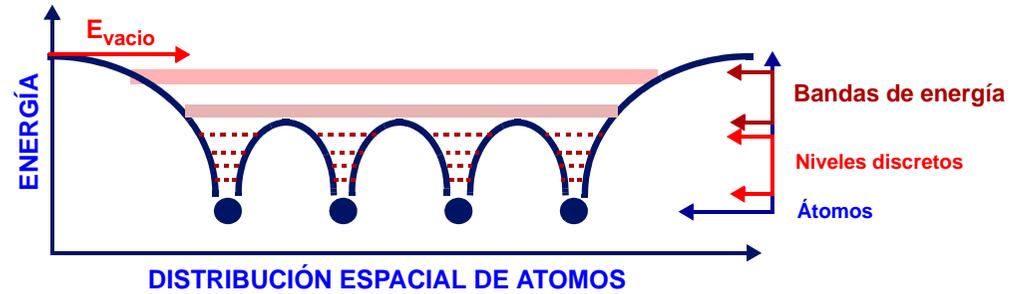


ESTRUCTURA DE LOS SÓLIDOS

● ESTRUCTURA CRISTALINA

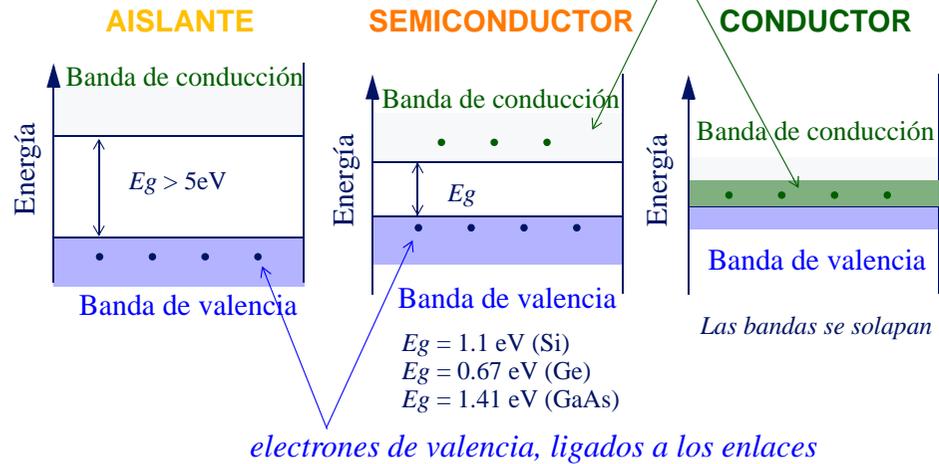


● BANDAS DE ENERGÍA



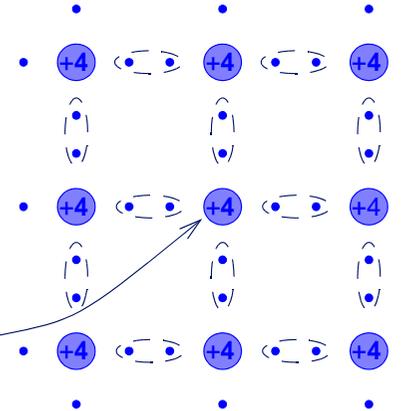
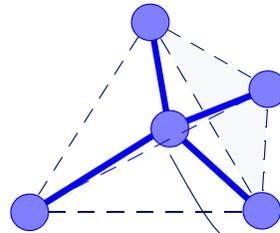
● CONDUCTORES, SEMICONDUCTORES Y AISLANTES

electrones libres, capaces de generar corriente

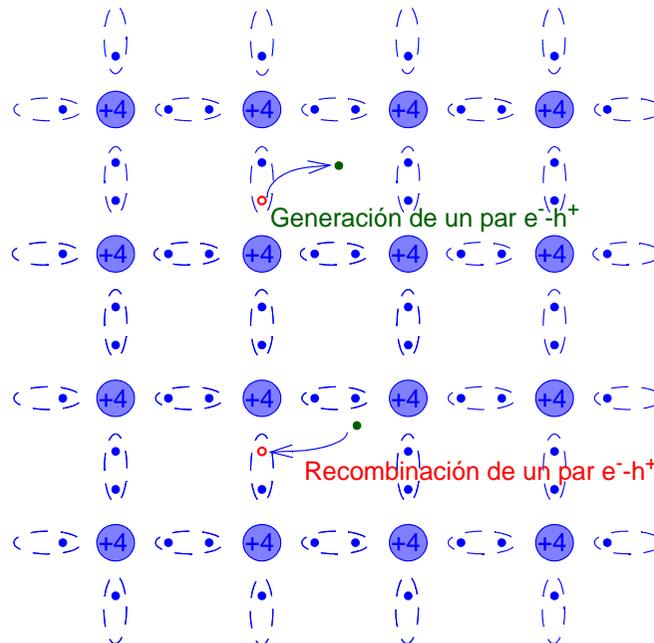


CRISTALES SEMICONDUCTORES

● MODELO DE ENLACE COVALENTE



● PORTADORES DE CARGA: ELECTRONES Y HUECOS



● SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

$$n \cong p \cong n_i(T)$$

Ej: SILICIO PURO

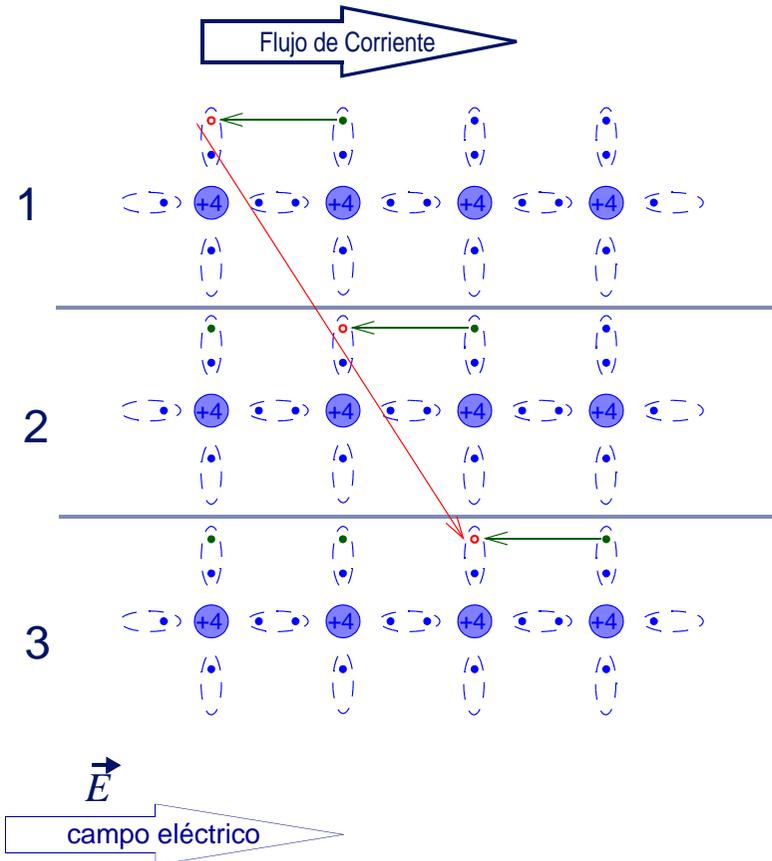
$$n_i \cong 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad T (25^\circ\text{C})$$

● LEY DE ACCIÓN DE MASAS

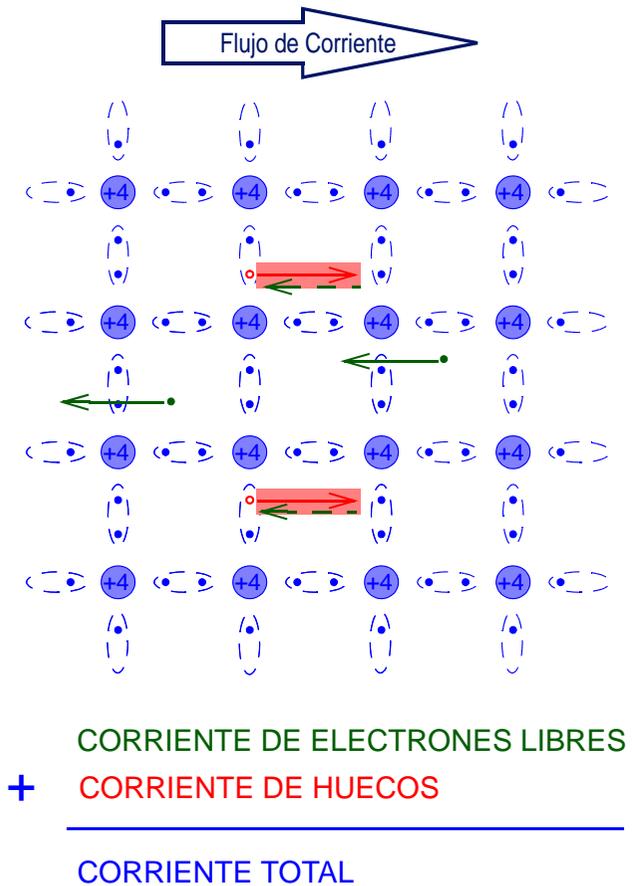
$$n \cdot p = n_i^2(T)$$

MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES

● CORRIENTE DE HUECOS

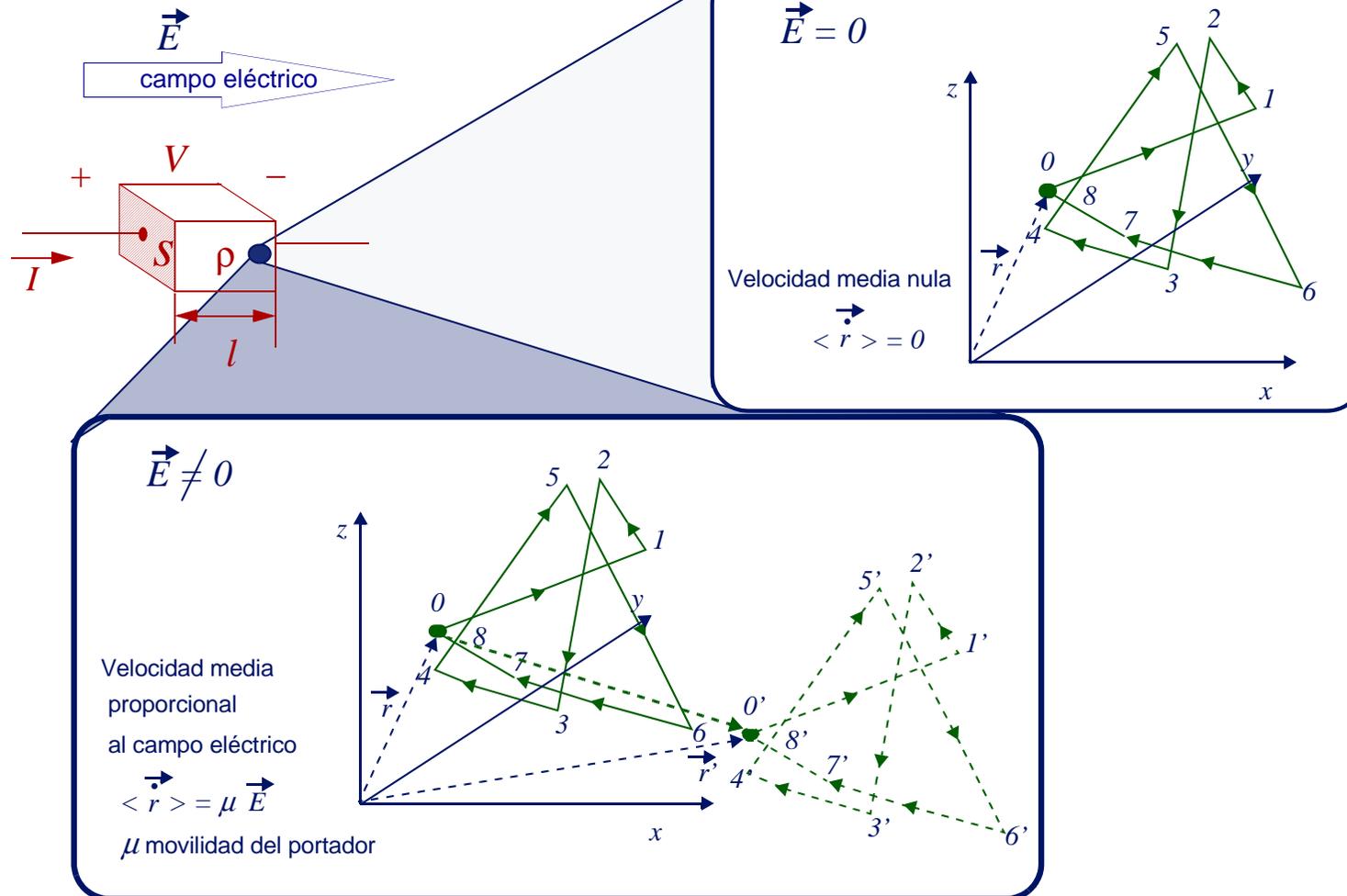


● CORRIENTE TOTAL



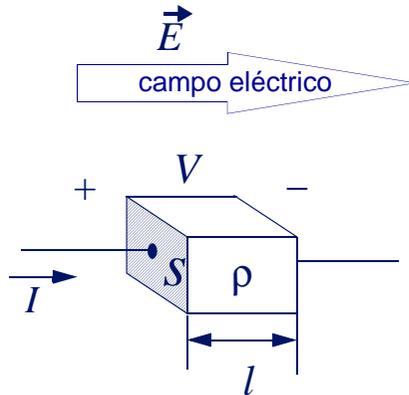
MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES

• CORRIENTE DE ARRASTRE



MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES

• DENSIDAD DE CORRIENTE DE ARRASTRE



- Velocidad media proporcional al campo eléctrico μ (T) movilidad del portador de carga

$$\langle \vec{v} \rangle = \mu \cdot \vec{E}$$

$$|\langle \vec{v} \rangle| = \mu \cdot \frac{V}{l}$$

- Módulo campo eléctrico

$$|\vec{E}| = \frac{V}{l}$$

- Carga contenida en el elemento de volumen

$$\Delta Q = q\rho Sl$$

- Módulo de la velocidad

$$|\langle \vec{v} \rangle| = \frac{l}{\Delta t}$$

- Intensidad de corriente proporcional a la diferencia de potencial

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{q\rho Sl}{\frac{l}{\mu \cdot \frac{V}{l}}} = q\rho\mu \frac{S}{l} V$$

$$I = \sigma \frac{S}{l} V$$

- Conductividad del material

$$\sigma = q\rho\mu$$

- Resistencia del material

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$$

$$V = RI$$

Ley de Ohm

- Intensidad de corriente por unidad de área es la densidad de corriente J

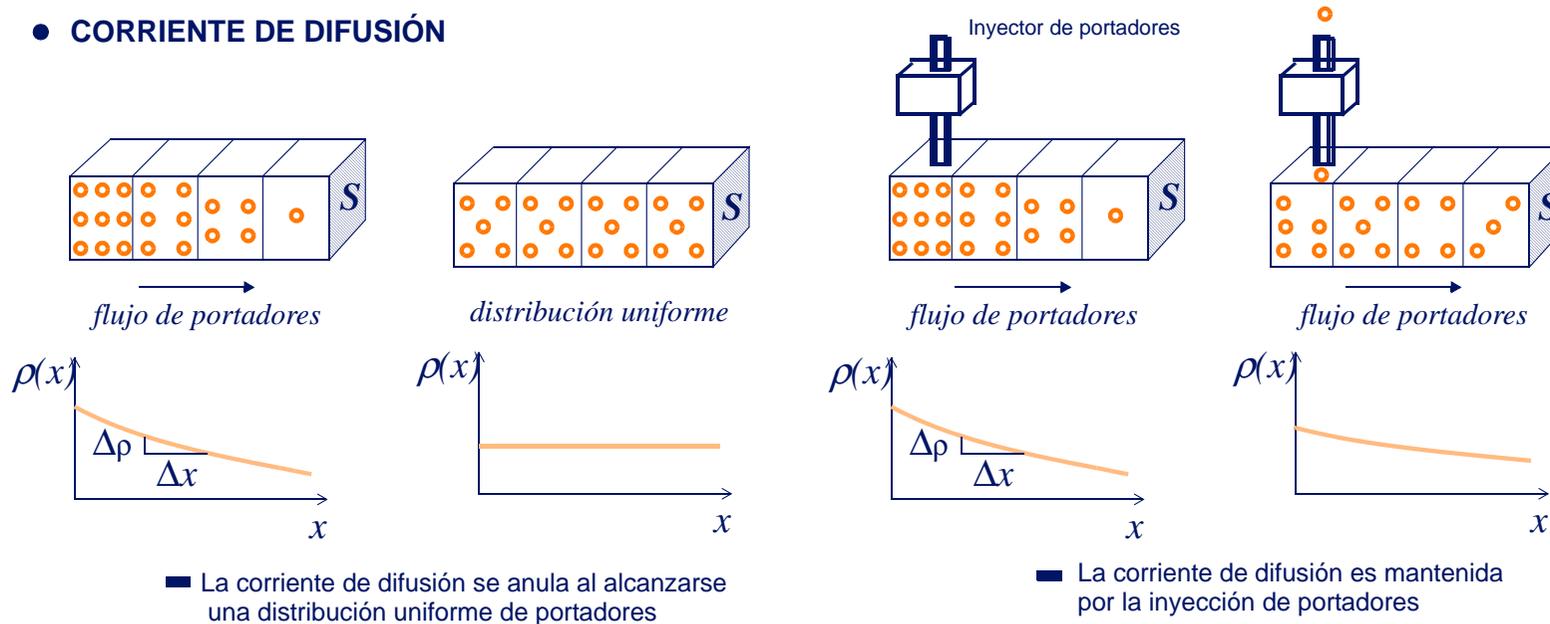
$$I = \sigma \frac{S}{l} V \longrightarrow \frac{I}{S} = \frac{\sigma \frac{S}{l} V}{S} = \sigma \frac{V}{l} = J$$

- Densidad de corriente proporcional al campo eléctrico

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES

● CORRIENTE DE DIFUSIÓN



La corriente de difusión es proporcional al gradiente de portadores

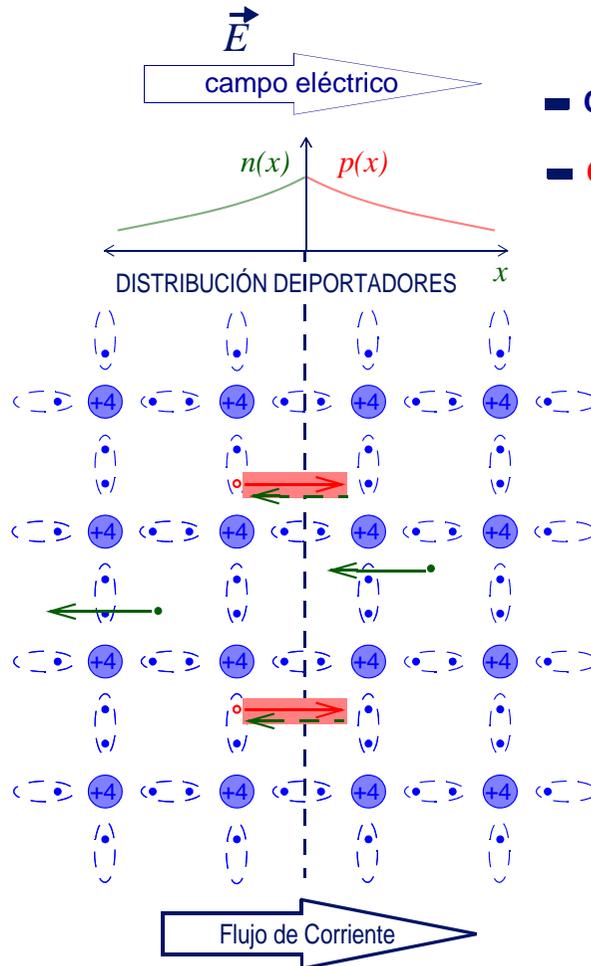
$$I_D = qSD \frac{\partial \rho}{\partial x}$$

Constante de difusión: depende del material y la temperatura

$\rho(x)$ es la concentración de portadores por unidad de volumen

MOVIMIENTO DE PORTADORES EN SEMICONDUCTORES

● COMPONENTES DE LA CORRIENTE TOTAL EN UN SEMICONDUCTOR



■ CORRIENTE DE ARRASTRE + CORRIENTE DE DIFUSIÓN

■ CORRIENTE DE HUECOS + CORRIENTE DE ELECTRONES LIBRES

CORRIENTE DE ARRASTRE DE HUECOS $\vec{J}_p = \sigma_p \vec{E}$

CORRIENTE DE ARRASTRE DE ELECTRONES $\vec{J}_n = \sigma_n \vec{E}$

CORRIENTE DE DIFUSIÓN DE HUECOS $\vec{J}_p = -qD_p \frac{\partial p}{\partial x}$

CORRIENTE DE DIFUSIÓN DE ELECTRONES $\vec{J}_n = qD_n \frac{\partial n}{\partial x}$ +

CORRIENTE TOTAL $\vec{J} = \sigma_p \vec{E} + \sigma_n \vec{E} - qD_p \frac{\partial p}{\partial x} + qD_n \frac{\partial n}{\partial x}$

$$\vec{J} = \vec{J}_p + \vec{J}_n$$

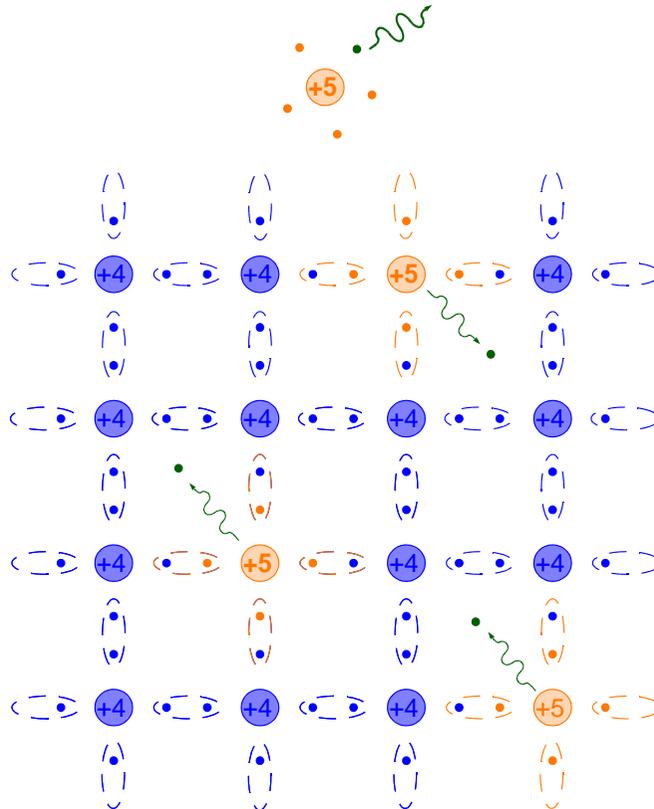
$$\vec{J}_n = \sigma_n \vec{E} + qD_n \frac{\partial n}{\partial x}$$

$$\vec{J}_p = \sigma_p \vec{E} - qD_p \frac{\partial p}{\partial x}$$

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

● MATERIAL DE TIPO n

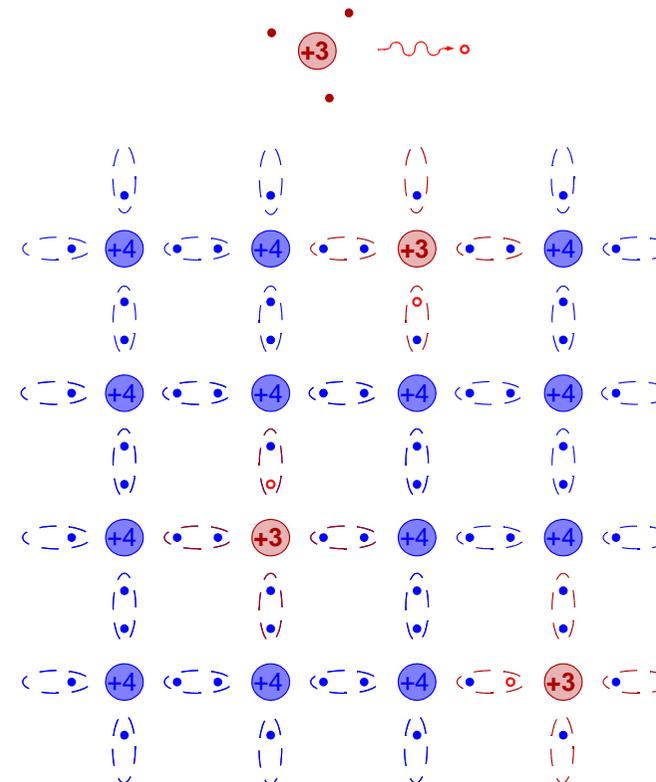
► *Se introducen impurezas donadoras*



► *Se aumenta la concentración de electrones libres*

● MATERIAL DE TIPO p

► *Se introducen impurezas aceptoras*



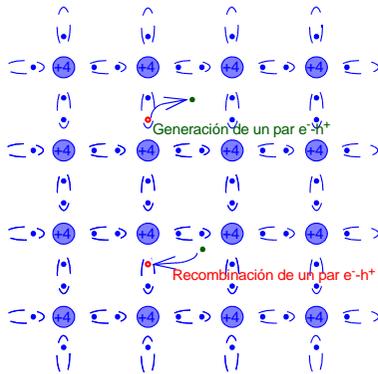
► *Se aumenta la concentración de huecos*

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

- Ecuación de Neutralidad de la carga $n + N_A = p + N_D$
- ▶ Ley de Acción de Masas $n \cdot p = n_i^2(T)$

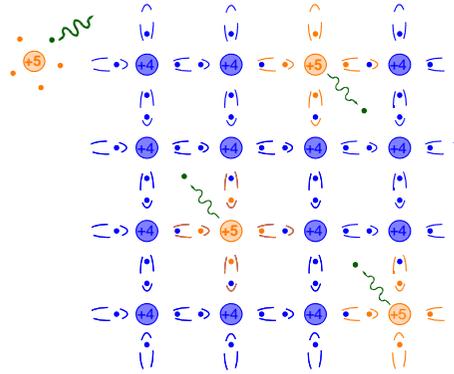
● Semiconductor Intrínseco

$$n \cong p \cong n_i(T) \quad N_A \cong N_D$$



● Semiconductor Extrínseco tipo n

$$N_A \ll N_D \quad n_i \ll N_D$$



$$\left. \begin{aligned} n &= p + N_D \\ n \cdot p &= n_i^2 \end{aligned} \right\} n - N_D n - n_i^2 = 0$$

$$n = \frac{N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2}}{2} \cong N_D$$

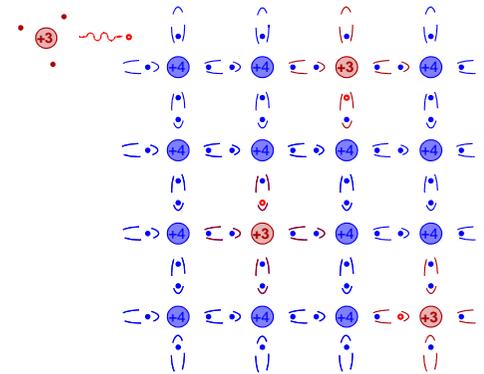
Ej: Típicamente

$$\begin{aligned} n_i &\cong 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad T (25^\circ\text{C}) \\ N_D &\cong 10^{14} \text{ cm}^{-3} \quad T (25^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &\cong N_D \\ n_i &\ll N_D \\ p &\cong \frac{n_i^2}{N_D} \end{aligned}$$

● Semiconductor Extrínseco tipo p

$$N_D \ll N_A \quad n_i \ll N_A$$



$$\left. \begin{aligned} p &= n + N_A \\ n \cdot p &= n_i^2 \end{aligned} \right\} p - N_D p - n_i^2 = 0$$

$$p = \frac{N_A + \sqrt{N_A^2 + 4n_i^2}}{2} \cong N_A$$

Ej: Típicamente

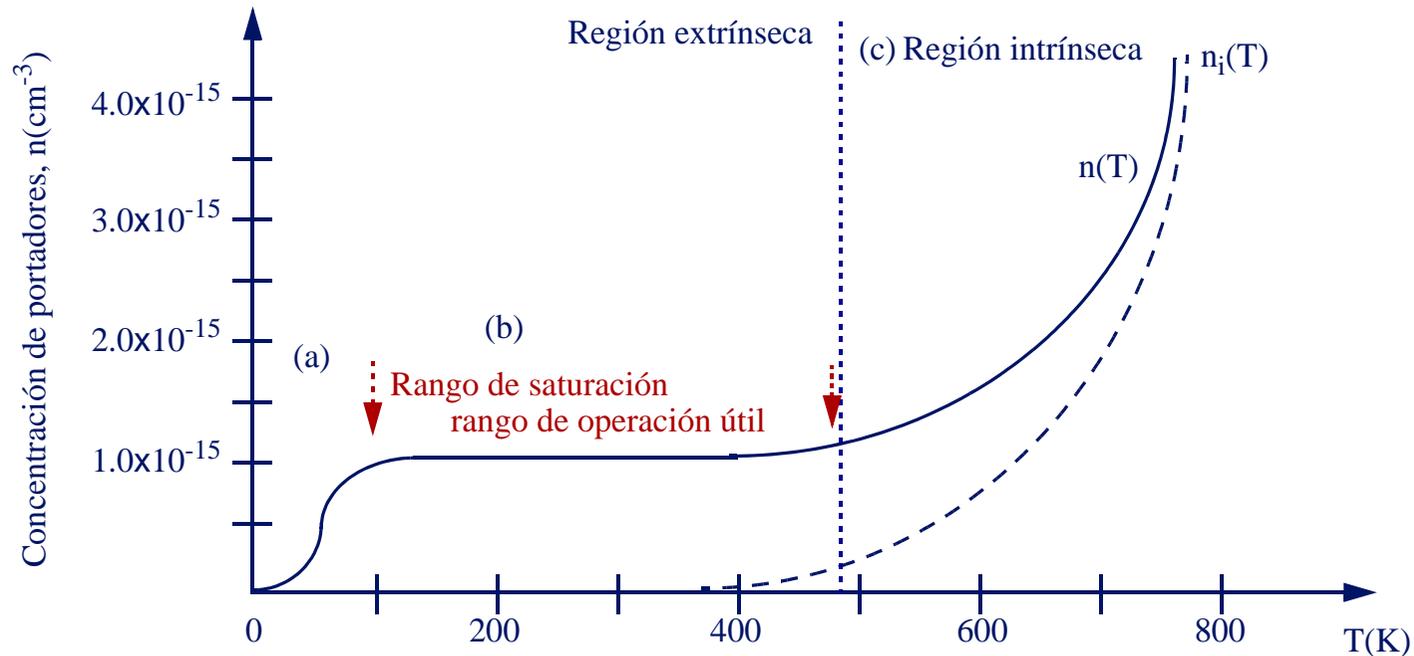
$$\begin{aligned} n_i &\cong 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad T (25^\circ\text{C}) \\ N_A &\cong 10^{14} \text{ cm}^{-3} \quad T (25^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &\cong N_A \\ n_i &\ll N_A \\ n &\cong \frac{n_i^2}{N_A} \end{aligned}$$

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

● VARIACIÓN CON LA TEMPERATURA DE LA CONCENTRACIÓN DE PORTADORES

- ▶ Consideremos material de tipo *n* dopado con una concentración de impurezas $N_d = 1.0 \times 10^{15}$ (atm/cm³)



- ▶ (a) Poca ionización de impurezas *Baja concentración de portadores n* } Región extrínseca
- ▶ (b) Todas las impurezas ionizadas *Concentración de portadores $n = N_d$* }
- ▶ (c) Ionización de los átomos de Si *Concentración de portadores $n \rightarrow n_i$* } Región intrínseca

Reconocimientos

- La foto "Rough diamond", en pag. 4 es una imagen de dominio público. Fuente: **Wikimedia Commons**
- La foto "Ice crystals on glass", en pag. 4 es obra de James, bajo licencia **Creative Commons Attribution 2.0 Generic**. Fuente: **Wikimedia Commons**
- La foto "Pyrite-117964", en pag. 4 es obra de Rob Lavinsky, iRocks.com, bajo licencia **Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported**. Fuente: **Wikimedia Commons**
- La foto "GoldNuggetUSGOV" en pag. 4 es una imagen de dominio público. Fuente: **Wikimedia Commons**
- La foto "Oblea chips" en pag. 4 es obra de Paulmasters, bajo licencia **Creative Commons Attribution 3.0 Unported**. Fuente: **Wikimedia Commons**
- La foto "Single-crystal silicon boule" en pag. 4 es una imagen de dominio público. Fuente: **Wikimedia Commons**
- La imagen "Diamond Cubic-F lattice animation" en pag. 4 es una imagen de dominio público. El dueño de los derechos autoriza su utilización sin restricciones. Fuente: **Wikimedia Commons**