

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos

- Aquel semiconductor sin defectos cristalinos pero con impurezas añadidas (semiconductor dopado)
- Tipos de impurezas:
 - **Dadoras:** Aquellas impurezas con 1 electrón de más en la última capa. Ejemplo: **Si** ($3s^2, 3p^2$) dopado con **As** ($4s^2, 4p^3$)
 - **Aceptoras:** Aquellas impurezas con 1 electrón de menos en la última capa. Ejemplo: **Si** ($3s^2, 3p^2$) dopado con **Ga** ($4s^2, 4p^1$)

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos

- Tipos de semiconductores extrínsecos:
 - Tipo n:
 - Están dopados con impurezas dadoras
 - Llamaremos a la concentración de impurezas N_d
 - Hay más electrones que huecos, luego $n \gg p$
 - Los electrones son los portadores mayoritarios y los huecos minoritarios
 - Tipo p:
 - Están dopados con impurezas aceptoras
 - Llamaremos a la concentración de impurezas N_a
 - Hay más huecos que electrones, luego $n \ll p$
 - Los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones minoritarios

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos

- Tipos de semiconductores extrínsecos:
 - Tipo compensado:
 - Están dopados con impurezas dadoras yceptoras
 - Si $N_d > N_a$ entonces $n > p$
 - Si $N_d < N_a$ entonces $n < p$

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

E_F ¡NO ESTA EN EL CENTRO DE E_g !

6.3 Semiconductores extrínsecos

■ Concentración de portadores:

$$n = N_C e^{-(E_C - E_F)/kT}$$

□ Mismas expresiones:

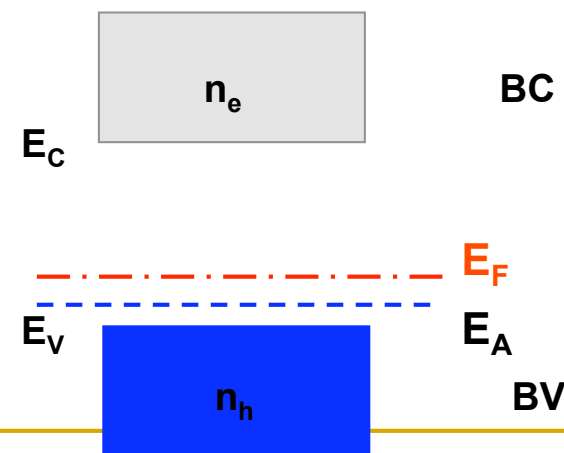
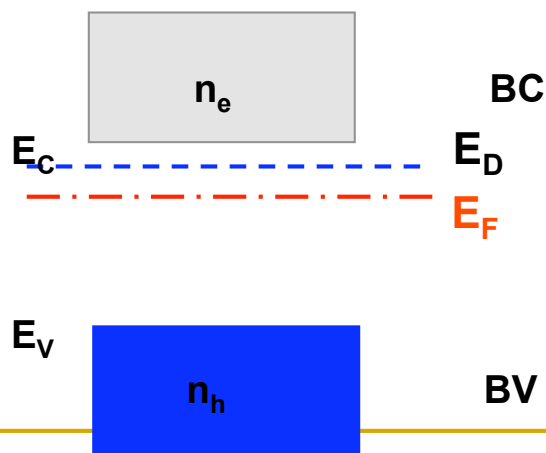
$$p = N_V e^{-(E_F - E_V)/kT}$$

■ Semic.tipo **N**:

- E_F cerca de la BC
- $(E_C - E_F) \ll (E_F - E_A)$

■ Semic.tipo **P**:

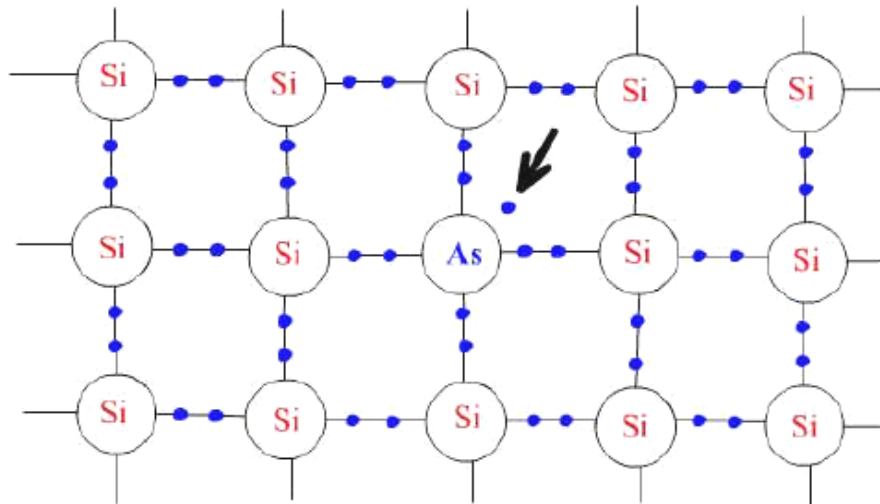
- E_F cerca de la BV
- $(E_C - E_F) \gg (E_F - E_A)$



TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos (cont)

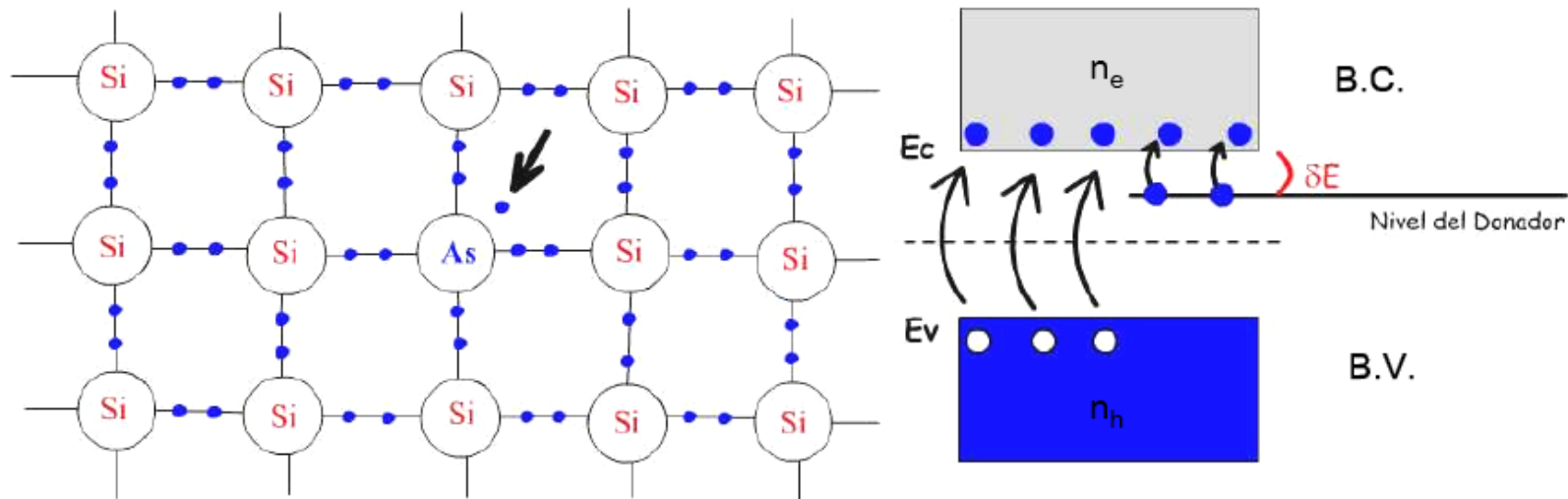
- Ejemplo de impureza **dadora**: As(4s², 4p³)
 - **CON POCA ENERGIA SE GENERAN e⁻ MOVILES**
 - Punto de vista **enlaces**: sin necesidad de romper enlace
 - Punto de vista **bandas**: nivel “extra” E_D cerca de la banda de conducción:



TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos (cont)

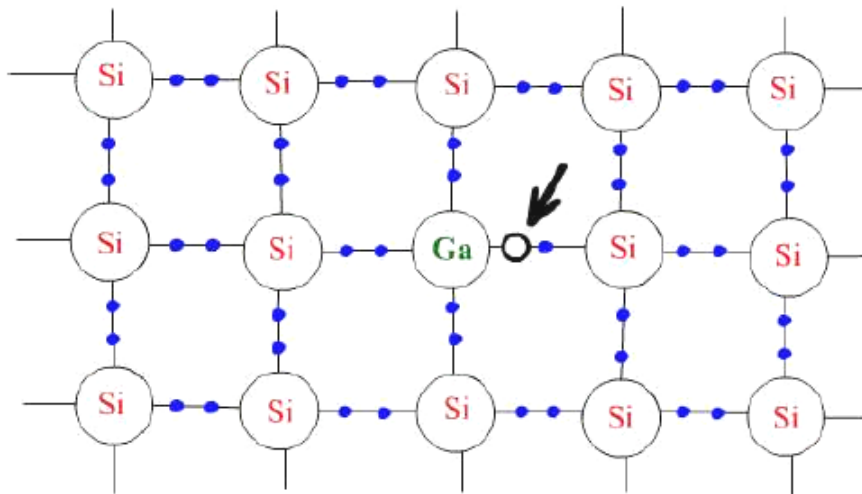
- Ejemplo de impureza **dadora**: As(4s², 4p³)
 - **CON POCA ENERGIA SE GENERAN e⁻ MOVILES**
 - Punto de vista **enlaces**: sin necesidad de romper enlace
 - Punto de vista **bandas**: nivel “extra” E_D cerca de la banda de conducción:
 - La **energía necesaria** para conducir es $E_C - E_D \ll E_g$



TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos (cont)

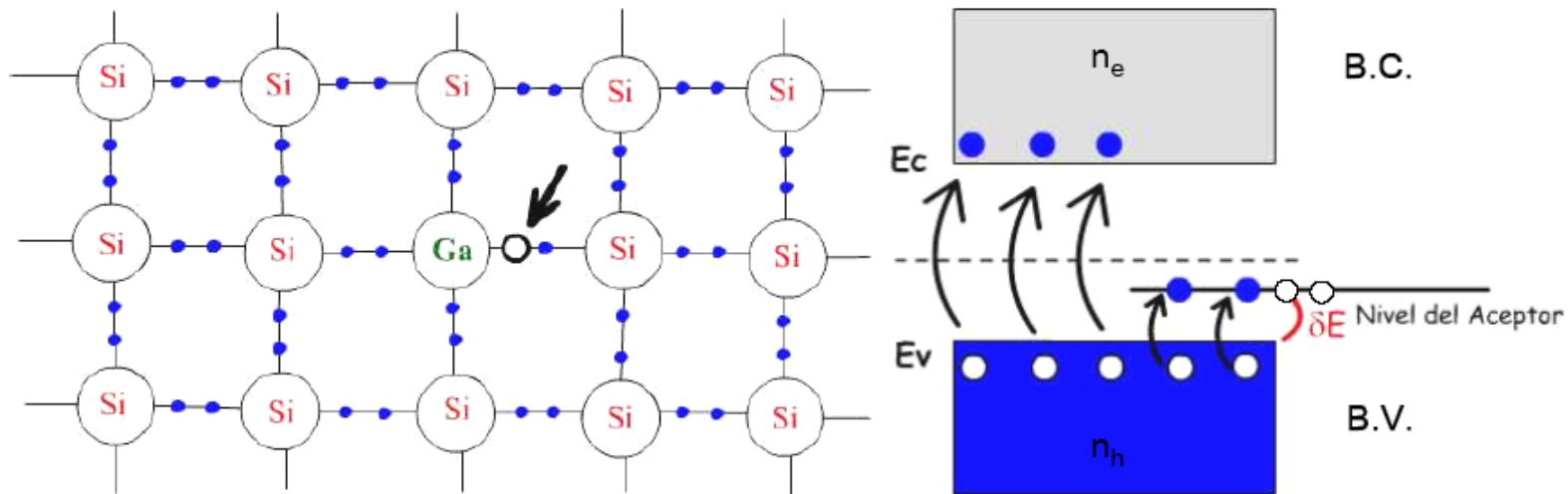
- Ejemplo de impureza **aceptora**: Ga ($4s^2, 4p^1$)
 - **Enlaces**: enlace libre (hueco) sin necesidad de generar e^-
 - **Bandas**: nivel “extra” E_A cerca de la banda de valencia:



TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.3 Semiconductores extrínsecos (cont)

- Ejemplo de impureza **aceptora**: Ga ($4s^2, 4p^1$)
 - **Enlaces**: enlace libre (hueco) sin necesidad de generar e^-
 - **Bandas**: nivel “extra” E_A cerca de la banda de valencia:
 - La energía necesaria para conducir es $E_A - E_D \ll E_g$



TEMA 6: SEMICONDUCTORES

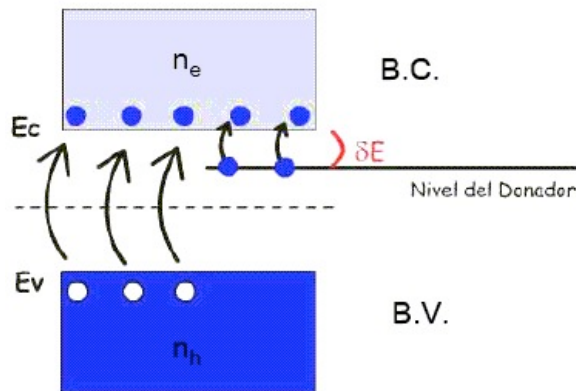
6.4 Ionización de impurezas

- Agitación térmica: → rompe enlaces (= semic. intrínsecos)
→ ioniza impurezas (¡NUEVO, extrínsecos!)

■ Semic.tipo **N**:

- los electrones “extra” se liberan con facilidad
- energía necesaria pequeña

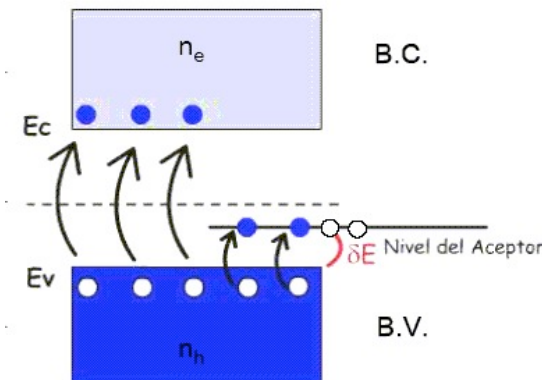
$$\delta E = E_C - E_D$$



■ Semic.tipo **P**:

- los enlaces “extra” se ocupan con facilidad
- energía necesaria pequeña

$$\delta E = E_A - E_V$$



TEMA 6: SEMICONDUCTORES

depende fuertemente de T

6.4 Ionización de impurezas

Aproximación a $T \approx 300$ K:

■ Semiconductores tipo N:

- casi todas las impurezas se han ionizado (electrón “extra”)
 - muy pocos enlaces se han roto (pocas parejas e^- / h^+)
- **los electrones provienen casi todos de las impurezas**

■ Semiconductores tipo P:

- casi todas las impurezas se han ionizado (hueco “extra”)
 - muy pocos enlaces se han roto (pocas parejas e^- / h^+)
- **los huecos provienen casi todos de las impurezas**

$$n \cong N_d \quad p = \frac{n_i^2}{n} \quad n \gg p$$
$$p \cong N_a \quad n = \frac{n_i^2}{p} \quad p \gg n$$

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.4 Ionización de impurezas

Aproximación a $T \gg 300$ K:

■ Semiconductores tipo N:

- todas las impurezas se han ionizado
- muchos enlaces se han roto (muchas parejas e^- / h^+)

→ *los electrones provienen: de las impurezas de los enlaces rotos*

$$n > N_d$$

$$p = \frac{n_i^2}{n}$$

■ Semiconductores tipo P:

- todas las impurezas se han ionizado
- muchos enlaces se han roto (muchas parejas e^- / h^+)

→ *los huecos provienen: de las impurezas de los enlaces rotos*

$$p > N_a$$

$$n = \frac{n_i^2}{p}$$

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

6.4 Ionización de impurezas

- Silicio dopado con fósforo:

$$p = n_i^2/n$$

T (K)	N_d	n_i^2	n	p
300	$5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$	$2 \times 10^{30} \text{ m}^{-3}$	$5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$	$3 \times 10^8 \text{ m}^{-3}$
1000	$5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$	$5 \times 10^{45} \text{ m}^{-3}$	$7 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$	$7 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$

e- de impurezas + e- enlaces
ionizadas

TEMA 6: SEMICONDUCTORES

APPLETS DE SEMICONDUCTORES

<http://cpi.ing.uc.edu.ve/Electronica/capitulo1/default.htm>