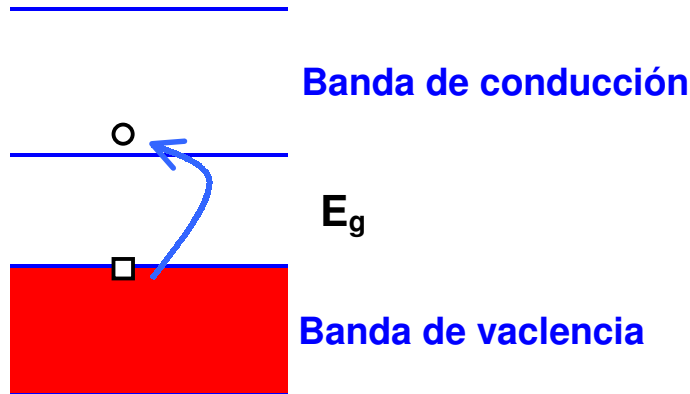


- **En general:**

$$\sigma = n_h q \mu_h + n_e q \mu_e$$



- La excitación térmica de e- a la banda de conducción produce huecos en la banda de valencia,

$$\therefore p \equiv n_h = n_e \equiv n$$

- Huecos: portadores de carga positiva.
- **Conductividad se debe a huecos y electrones:**

$$\sigma = n q (\mu_e + \mu_h)$$

- En semiconductores intrínsecos:

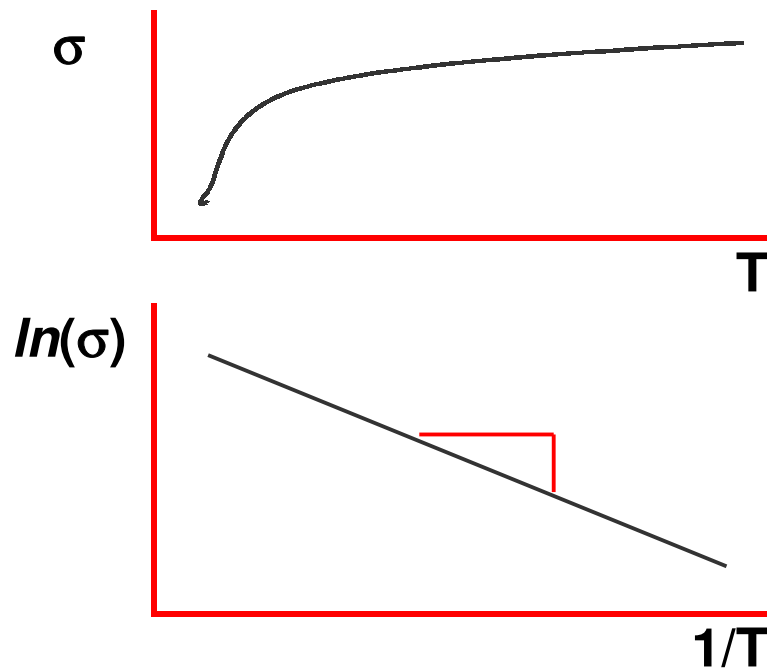
$$n \propto n_o T^{3/2} \exp (-E_g/2kT)$$

- Comportamiento tipo Arrhenius, salvo factor 2
- *i.e* cada promoción térmica genera 2 portadores de carga (electrón y hueco).

$$\sigma(T) = \sigma_o(T) \exp (-E_g/2kT)$$

$$\sigma_o(T) = n_o (\mu_e + \mu_h) T^{3/2}$$

- **Comportamiento dominado por término exponencial ($T^{3/2}$ varía lentamente).**



$$\ln \sigma = \ln \sigma_o - (E_g/2k)(1/T)$$

EJEMPLO: Si. Calcular n y p a temperatura ambiente.

- $\sigma(T=300 \text{ K}) = 4 \times 10^{-4} \Omega^{-1}m^{-1}$
- $\mu_e = 0,14 \text{ m}^2V^{-1}s^{-1}$
- $\mu_h = 0,048 \text{ m}^2V^{-1}s^{-1}$

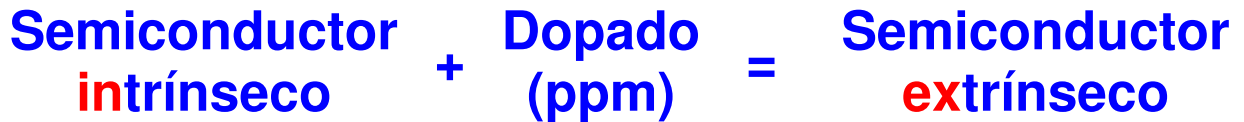
$$n = p = \frac{\sigma}{|e|(\mu_e + \mu_h)}$$

$$n = p = \frac{4 \times 10^{-4} [\Omega^{-1}m^{-1}]}{(1,6 \times 10^{-19} [C])(0,14 + 0,048 m^2V^{-1}s^{-1})}$$

$$\mathbf{n = p = 1,33 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}}$$

2.4.2 SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS

- Resultan de agregar “impurezas” a los semiconductores intrínsecos:



- De esta forma se puede aumentar en varios órdenes de magnitud la conductividad (por huecos o por electrones).
- ¿Cómo se hace? ¿Qué tipo de “impurezas”?
- Portadores de carga negativos: TIPO n
- Portadores de carga positivos: TIPO p

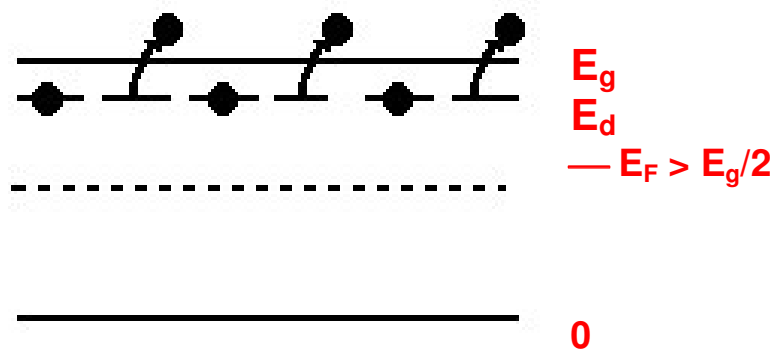
IIIA	IVA	VA
<div>13 Al 26.98153</div>	<div>14 Si 28.0855</div>	<div>15 P 30.97376</div>
Dopante tipo p 3 e- de valencia	SC intrínseco 4 e- de valencia	Dopante tipo n 5 e- de valencia
Deficiencia de e- puede producir hueco		e- adicional puede ser e- de conducción

- **Energía de Fermi:** determina el portador dominante
 - **Tipo n:** $E_F > E_g/2$
 - **Tipo p:** $E_F < E_g/2$

(A) SEMICONDUCTORES TIPO n

- **Electrones adicionales introducidos producen efecto donante (E_d) cerca de la banda de conducción**

\Rightarrow disminuye barrera para la conducción



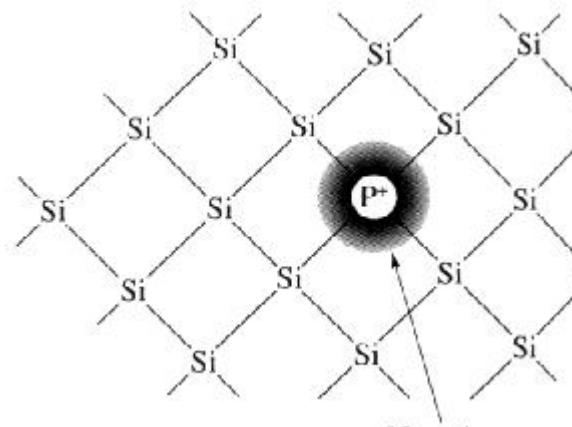
- **Barrera para crear e- de conducción es $\Delta = E_g - E_d$ y E_F crece**

- **¿Conductividad?**

- $\sigma = n_h q \mu_h + n_e q \mu_e$
- pero $n_e \gg n_h \Rightarrow \sigma = n_e q \mu_e$

$$\sigma(T) = \sigma_o(T) \exp(-(E_g - E_d)/kT)$$

- **Ojo: no hay factor 2 ! ¿Por qué?**

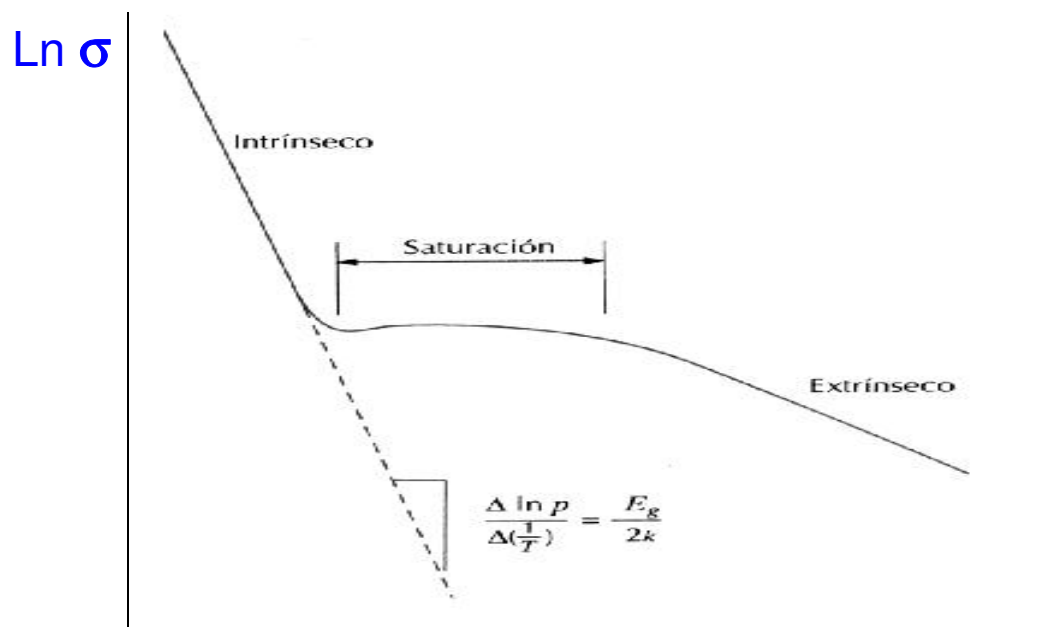


Nube de electrones

- El número de portadores de e- de conducción extrínsecos es menor o igual al número de átomos dopantes

⇒ conducción tiene límites !

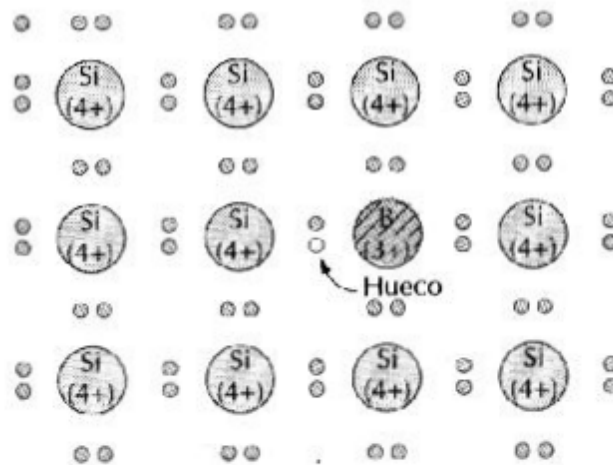
(no hay ilimitados portadores de carga)



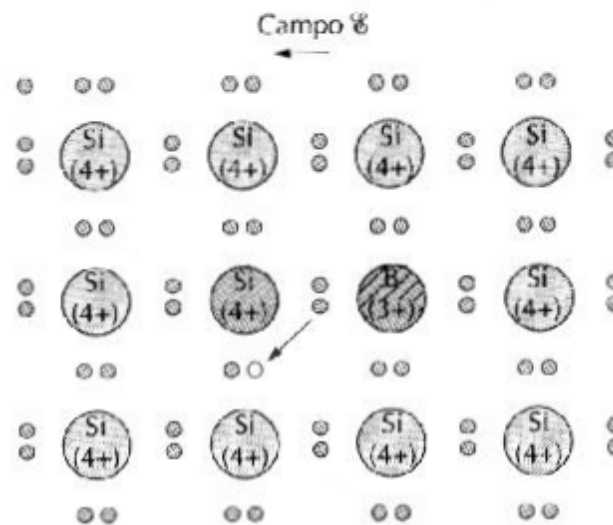
1/T

(B) SEMICONDUCTORES TIPO p

- Si se utiliza dopante que tiene menos electrones de valencia.
- Ejemplos:
 - Al en Si
 - B en Si

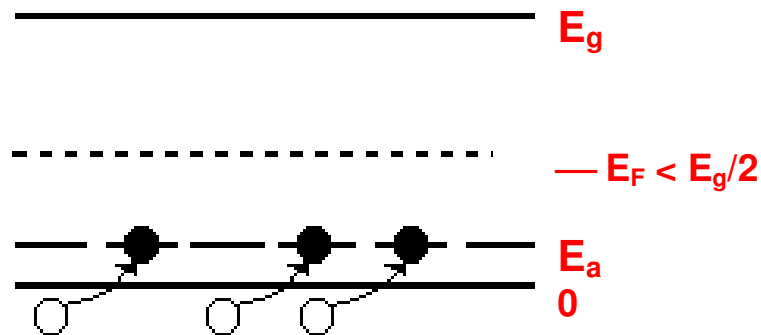


(a)



(b)

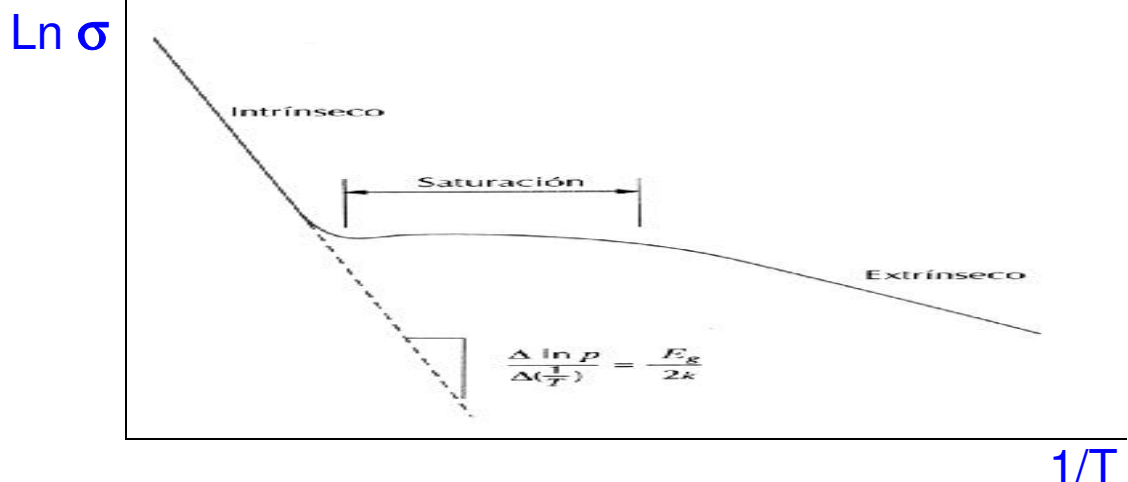
- Se introducen niveles de aceptores (E_a) cerca de la banda de valencia
- ⇒ disminuye barrera para la conducción

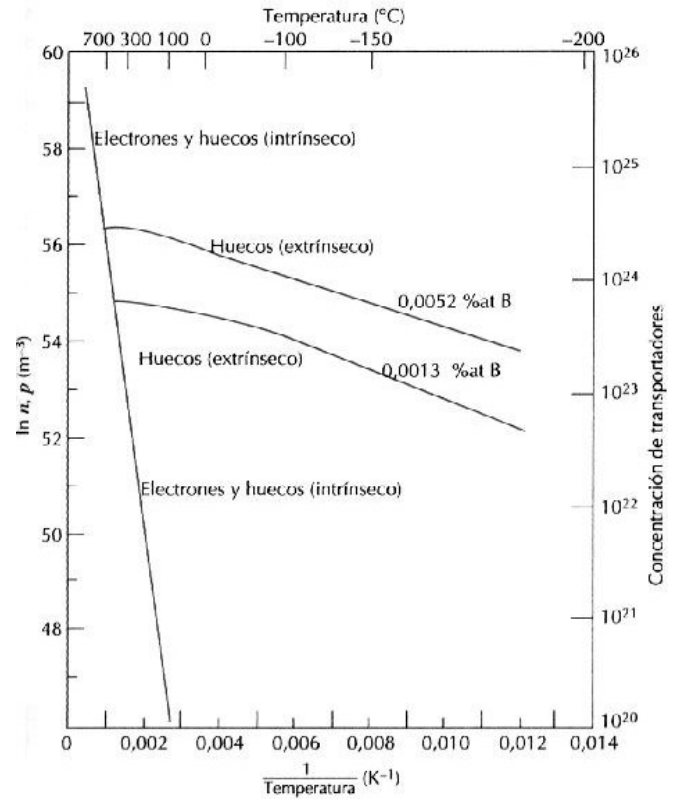
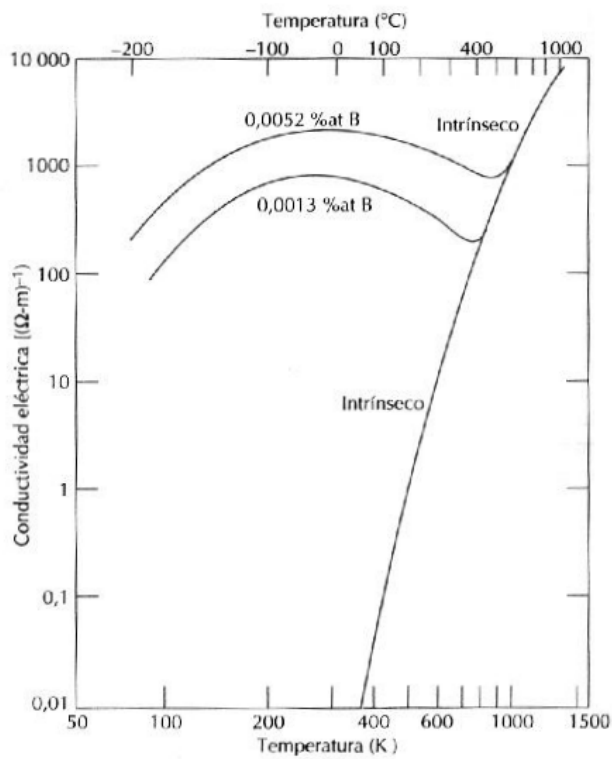


- Barrera para crear e- de conducción es $\Delta = E_a$ y E_F disminuye.
- ¿Conductividad en este caso?
 - $\sigma = n_h q \mu_h + n_e q \mu_e$
 - pero $n_h \gg n_e \Rightarrow \sigma = n_h q \mu_h$

$$\sigma_p(T) = \sigma_o(T) \exp (-E_a/kT)$$

- Nuevamente no hay factor 2 ! ¿Por qué?



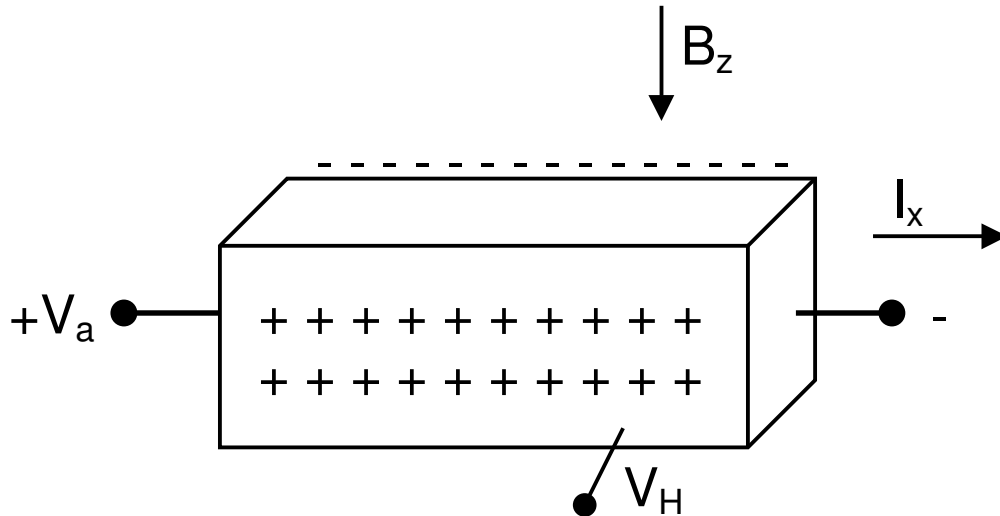


- Nota: Comparación con metales**

Efecto sobre resistividad, ρ	Metales	Semiconductores
1. Adición de impurezas	↑	↓
2. Efecto de la temperatura	↑	↓

2.4.3 EFEECTO HALL

- Método más común para determinar el tipo de portador de carga mayoritario en metales y semiconductores.
- También: sirve para determinar movilidades, μ



- Características:
 - Barra rectangular sólida
 - Campo eléctrico (\mathbf{E} , V_a) en dirección de la barra: corriente I
 - Campo magnético aplicado perpendicular a \mathbf{E} : ejerce fuerza sobre partículas cargadas en dirección \perp a \mathbf{E} y \mathbf{B} .

$$\vec{F} = -q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- Efectos:
 - Desviación de huecos (+) hacia una cara
 - Desviación de electrones (-) hacia la otra \Rightarrow Se genera \mathbf{E}_H entre ambas caras (!):

$$|F| = qE_H = qV_H/d \text{ (} V_H \text{: voltaje Hall)}$$

- **En estado estacionario:**

- $I = \Delta Q / \Delta t = (nq A \Delta x) / \Delta t = nqA v$

- $V_H / d = vB = B \times I / (nqA)$

$$\Rightarrow V_H = (1/nq) I B (d/A)$$

$$V_H = R_H I B / t$$

$R_H = 1/nq$: constante de Hall

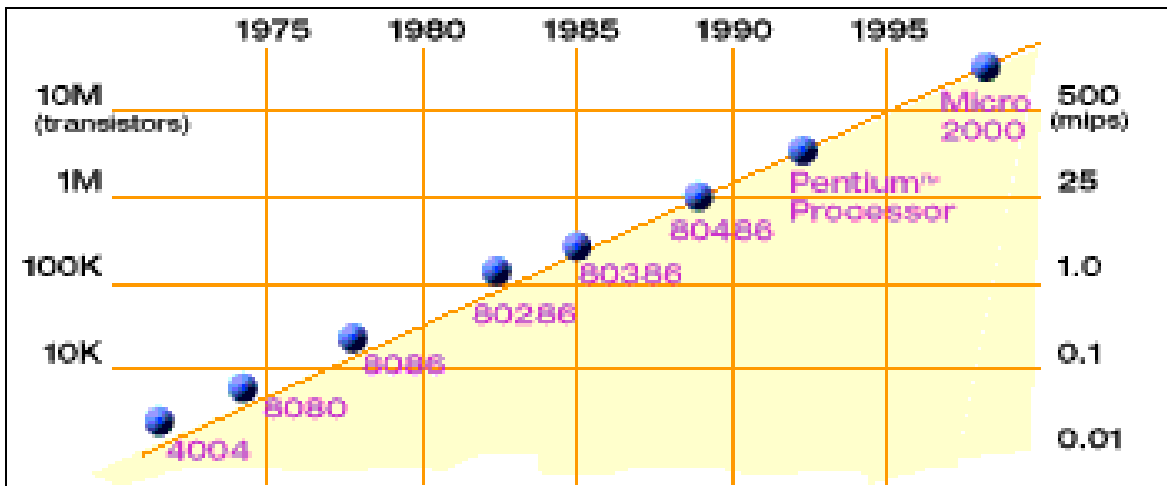
$$\mu_H = |R_H| \sigma$$

- **Consecuencias:**

- $V_H < 0 \Leftrightarrow$ presencia mayoritaria de e-
 - $V_H > 0 \Leftrightarrow$ presencia mayoritaria de huecos

2.4.4 DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

- Comportamiento eléctrico se basa en estructura electrónica inherente al material puro.
- $\sigma \approx 10^{-6} - 10^4 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$
- $E_g < 2 \text{ eV}$



John Bardeen



Walter Brattain



William Shockley

Aplicaciones de los semiconductores

2.5 AISLADORES