

EL3004-Circuitos Electrónicos Analógicos

Clase No. 5: Semiconductores y junturas

Marcos Diaz

Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE)
Universidad de Chile

11 de agosto de 2009

1 Repaso Clase #4

2 Semiconductores

3 Diodos de Juntura

- Juntura pn en equilibrio sin voltaje aplicado
- Flujo de corriente en una juntura pn en polarización directa

4 Resumen Clase #5

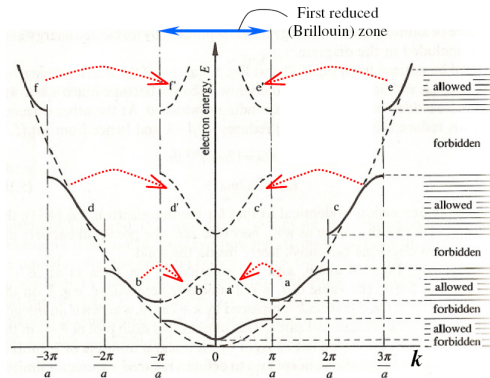
Repaso Clase #4

- Teorema de Bloch
- Modelo de Kronig-Penney
- Interpretación de bandas de energía

Modelo de Kronig-Penney

$$P \frac{\sin(\beta a)}{\beta a} + \cos(\beta a) = \cos(ka) \quad (100)$$

- Las energías permitidas dependen de k .
- Las soluciones tienen periodo de $\cos(ka)$.
- Una forma más clara de verlo:



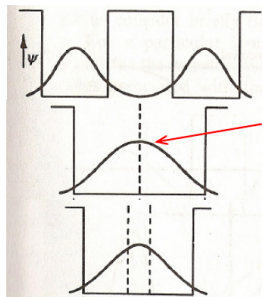
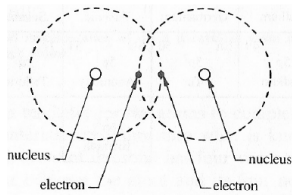
Enlaces entre átomos (Cristales)

- Cristales de gases inertes (Fuerzas de Van der Waals)
- Cristales Iónicos (interacción electrostática)
- **Cristales covalentes (comparten electron)**
- Metales (interacción del centro iónico del átomo con los e^- s de conducción)

Enlaces Covalente

Los electrones de valencia son compartidos

- Se da entre átomos que tienen capas no llenas
- Un ejemplo es la molecula de Hidrogeno
- El enlace es fuerte y extremadamente direccional
- Estos materiales son duros y quebradizos



Electron tends to be between the nuclei

Enlaces Covalente

Materiales semiconductores

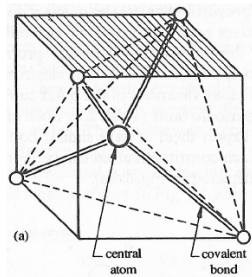
Single Elements:

Valency group	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
B 5 2p Boron	C 6 2p ² Carbon				
Al 13 3p Aluminium	Si 14 3p ² Silicon	P 15 3p ³ Phosphorus	S 16 3p ⁴ Sulphur		
Ga 31 4p Gallium	Ge 32 4p ² Germanium	As 33 4p ³ Arsenic	Se 34 4p ⁴ Selenium		
In 49 5p Indium	Sn 50 5p ² Tin	Sb 51 5p ³ Antimony	Te 52 5p ⁴ Tellurium	I 53 5p ⁵ Iodine	
		Bi 83 6p ³ Bismuth			

Intermetallic III-V compounds
(tetravalent):

GaAs

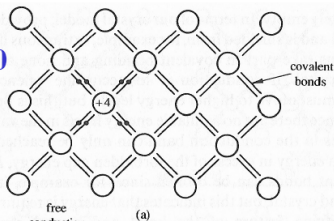
InSb



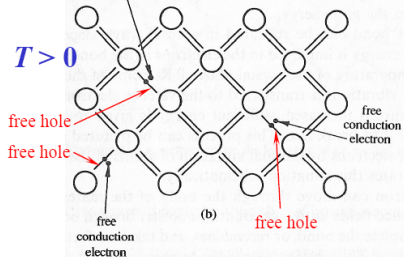
Enlaces Covalente

Movilidad de los Huecos

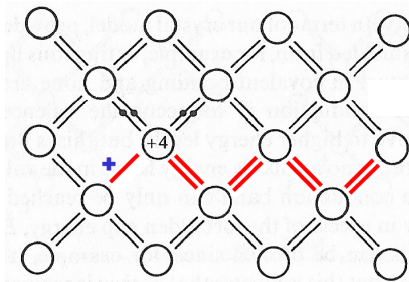
$T = 0$



$T > 0$



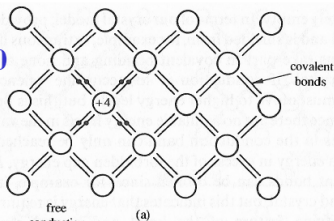
- Conducción por electrones
- Conducción por huecos



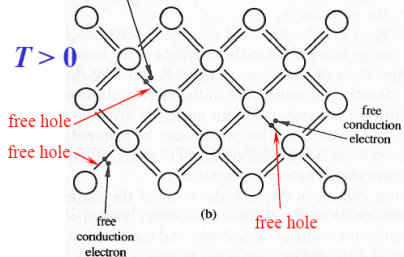
Enlaces Covalente

Movilidad de los Huecos

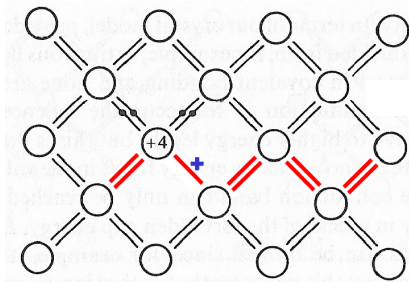
$T = 0$



$T > 0$



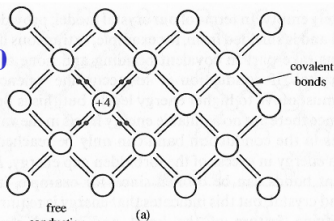
- Conducción por electrones
- Conducción por huecos



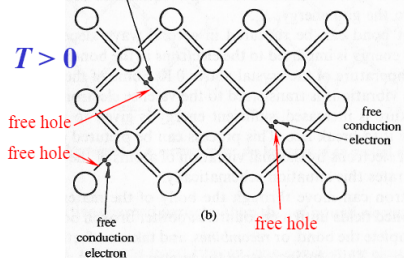
Enlaces Covalente

Movilidad de los Huecos

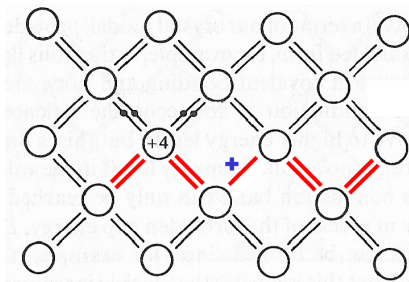
$T = 0$



$T > 0$



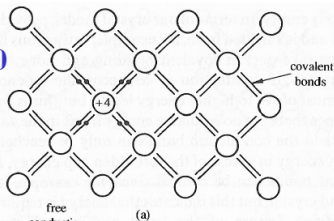
- Conducción por electrones
- Conducción por huecos



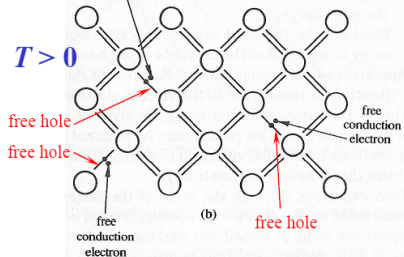
Enlaces Covalente

Movilidad de los Huecos

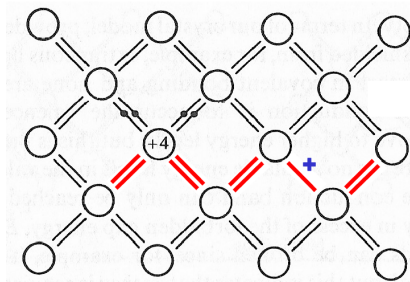
$T = 0$



$T > 0$



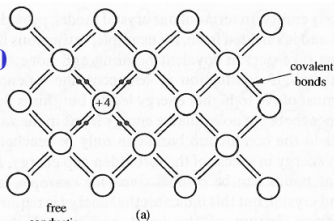
- Conducción por electrones
- Conducción por huecos



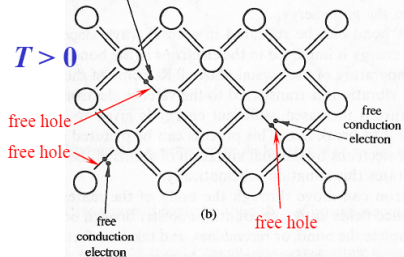
Enlaces Covalente

Movilidad de los Huecos

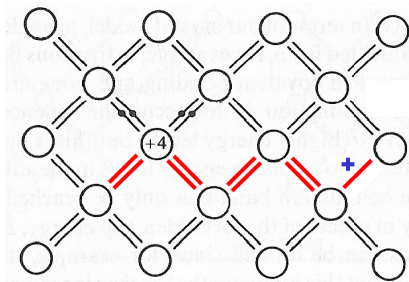
$T = 0$



$T > 0$

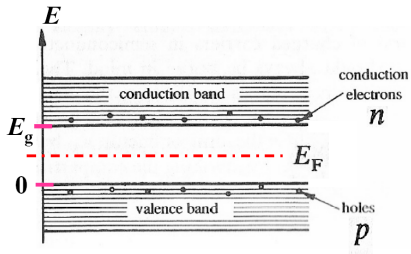


- Conducción por electrones
- Conducción por huecos



Nivel de Fermi

Semiconductores intrínsecos



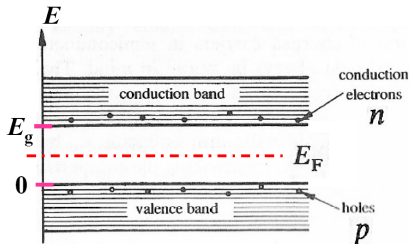
$n = p = n_i$ y usando

$$np = n_i^2 = N_c N_v e^{-\frac{E_g}{k_b T}}$$

$$n_i = 2 \left[\frac{2\pi k_b T}{h^2} \right]^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} e^{\frac{-E_g}{2k_b T}} \quad (101)$$

Nivel de Fermi

Semiconductores intrínsecos



$$n = p = n_i \text{ y usando}$$

$$np = n_i^2 = N_c N_v e^{-\frac{E_g}{k_b T}}$$

$$n_i = 2 \left[\frac{2\pi k_b T}{h^2} \right]^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} e^{-\frac{E_g}{2k_b T}} \quad (101)$$

$$(m_e^*)^{3/2} e^{-\frac{(E_g - E_F)}{k_b T}} = (m_h^*)^{3/2} e^{-\frac{E_F}{k_b T}}$$

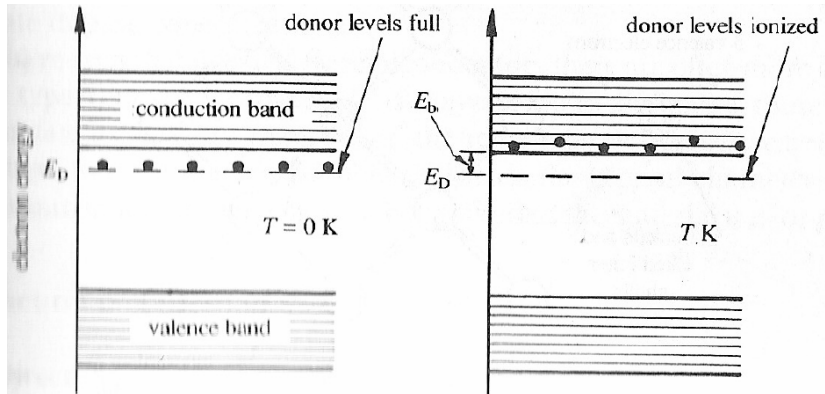
$$E_F = \frac{1}{2} E_g - \frac{3}{4} k_b T \ln \left(\frac{m_e^*}{m_h^*} \right) \quad (102)$$

Cuando $T = 0K$ o $m_e^* = m_h^*$ implica

$$E_F = \frac{E_g}{2} \quad (103)$$

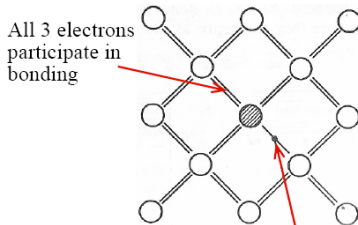
Semiconductores Extrínsecos

Tipo n (impurezas pentavalente)

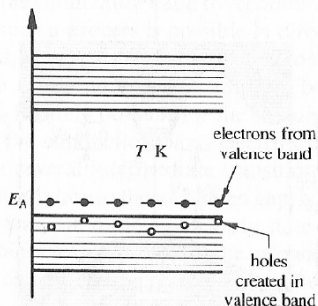
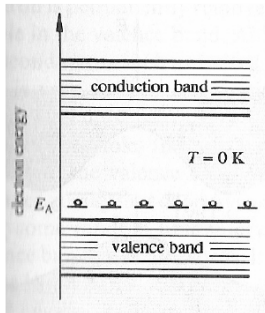


Semiconductores Extrínsecos

Tipo n (impurezas tetravalente)

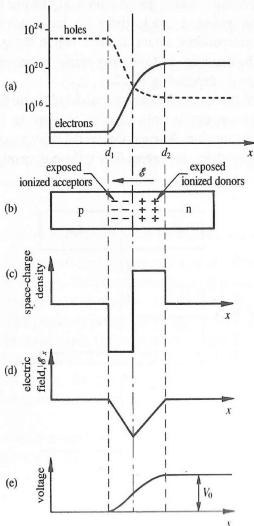


The incomplete bond can, at $T > 0$, be filled creating a hole in the valence band.



Junturas pn

Región de Empobrecimiento



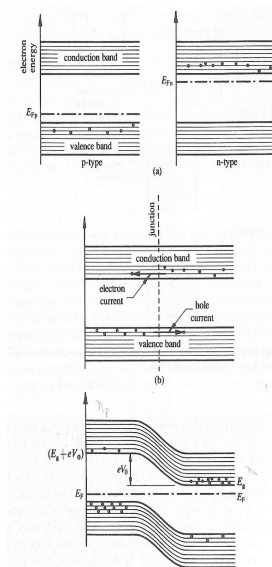
$$eV_{d_1-d_2} = eV_0 = -k_b T \ln \left(\frac{p_n}{p_p} \right) \quad (104)$$

$$p_p = p_n e^{\frac{eV_0}{k_b T}} \quad (105)$$

$$n_n = n_p e^{\frac{eV_0}{k_b T}} \quad (106)$$

Junturas pn

Región de Empobrecimiento



Junturas pn

Potencial en la Juntura

$$n_n = N_e e^{-\frac{E_g - E_F}{k_b T}} \quad (107)$$

$$n_p = N_c e^{-\frac{(E_g + eV_0) - E_F}{k_b T}} \quad (108)$$

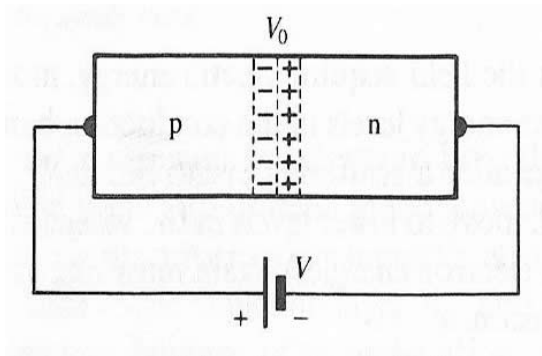
$$\frac{n_n}{n_p} = e^{-\frac{eV_0}{kT}} \quad (109)$$

$$V_0 = \frac{k_T}{e} \ln \left(\frac{n_n}{n_p} \right) = \frac{k_T}{e} \ln \left(\frac{n_n p_p}{n_i^2} \right) \quad (110)$$

$$V_0 \simeq \frac{k_T}{e} \ln \left(\frac{n_n p_p}{n_i^2} \right) \quad (111)$$

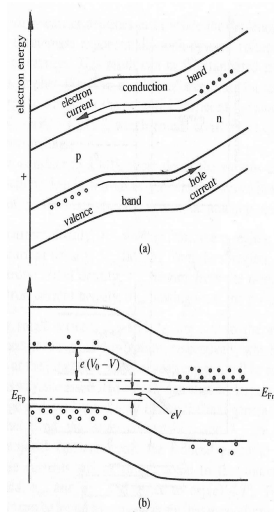
Junturas pn

Polarización directa



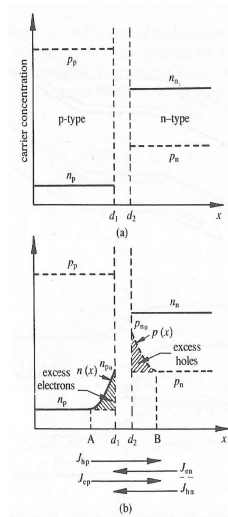
Junturas pn

Polarización directa (banda de energía)



Junturas pn

Corrientes por la juntura



Resumen Clase #5

- Bandas de energía
- Propiedades y tipos de semiconductores
- Introducción a las junturas pn