

## 4º Grado en Ingeniería de Materiales

# MATERIALES ELECTRÓNICOS

Curso: 2017/2018

Profesor: David Maestre Varea

[dmaestre@ucm.es](mailto:dmaestre@ucm.es)

despacho 106 (departamento de Física de Materiales)

# • PROGRAMA

CLASES TEÓRICAS	PROBLEMAS y TRABAJOS	LABORATORIO
3 créditos	2 créditos	1 crédito
70% (examen)	30 % (20 % laboratorio y 10 % otras actividades)	

Laboratorio: Laboratorio 8

**A1:** 14, 21, 23 y 30 nov (10:00 – 13:30)

**A2:** 28 nov, 5, 12 y 14 dic (10:00 – 13:30)

Calendario de exámenes: 23 de enero ; 14 de septiembre

## Objetivos:

- Conocer los procesos de obtención y fabricación de dispositivos electrónicos para aplicaciones específicas.
- Familiarizarse con las estructuras y dispositivos semiconductores básicos: diodos, transistores, diodos emisores de luz, láseres, fotodetectores y células solares.
- Conocer los métodos experimentales para determinar las prestaciones de los dispositivos electrónicos e identificar las causas de fallos en los dispositivos.
- Conocer los procesos que permiten mejorar las prestaciones de los dispositivos electrónicos y optoelectrónicos.

# • PROGRAMA

## **1. Introducción**

Materiales electrónicos, clasificación y principales aplicaciones.

## **2. Propiedades fundamentales de los semiconductores.**

Propiedades básicas de los semiconductores. El semiconductor en equilibrio. Fenómenos de transporte eléctrico. Exceso de portadores. Procesos de absorción y emisión de luz.

## **3. Materiales electrónicos y microestructuras semiconductoras**

Semiconductores elementales y compuestos. Otros materiales semiconductores. Polímeros y dieléctricos. Microestructuras semiconductoras.

## **4. Estructuras semiconductoras básicas.**

Unión p-n. Unión metal-semiconductor. Estructura metal-óxido-semiconductor. Heterouniones de semiconductor.

## **5. Técnicas de fabricación en microelectrónica**

Técnicas de crecimiento de semiconductores. Técnicas de dopado. Procesos de litografía y ataque selectivo. Técnicas de obtención de películas delgadas.

## **6. Aplicaciones en dispositivos electrónicos**

Diodos semiconductores. Transistores de efecto campo. Transistor bipolar. Otros transistores.

## **7. Aplicaciones en dispositivos optoelectrónicos**

Dispositivos emisores y detectores de luz. Células solares y termofotovoltaicas.

## **8. Avances en el desarrollo de materiales electrónicos.**

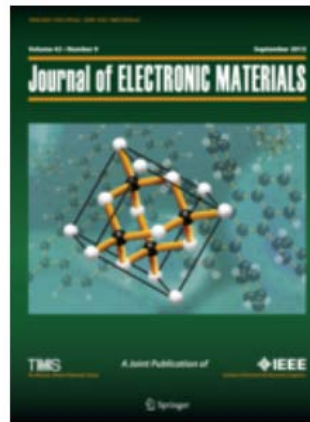
Nanomateriales electrónicos. Materiales electrónicos basados en carbono.

# • BIBLIOGRAFÍA

## Bibliografía:

- “The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication”. S.A. Campbell, Ed. Oxford Univ. Press, 1996
- “Principles of Electronic Materials and Devices”. S. Kasap, Ed. McGraw-Hill, 2006
- “Fundamentos de microelectrónica, nanoelectrónica y fotónica”. J.M. Albella, Ed. Pearson, 2005
- “Semiconductor Physics and Devices”. D.A. Neamen. Ed. Irwiil, 1992
- “Semiconductor Optoelectronic Devices”. P. Bhattacharya, Ed. Prentice-Hall, 1994

## Revistas científicas:



# TEMA 1: INTRODUCCIÓN

# • INTRODUCCIÓN

- **Ciencia de Materiales:** Estructura  $\leftrightarrow$  Propiedades
- **Ingeniería de Materiales:** Estudio de la estructura y propiedades de los materiales para optimizar sus aplicaciones y diseñar nuevos materiales que consigan un conjunto determinado de propiedades.

**Propiedades:** Mecánicas, Eléctricas, Ópticas, Magnéticas, Térmicas, Químicas...

**Variación de propiedades:** Dopado, defectos, control de la morfología, tratamientos, procesado...

## **Necesidades de nuevos materiales:**

- Optimización de las propiedades de los materiales (más sofisticados y especializados).
- Desafío tecnológico.
- Energía, impacto medioambiental.
- Limitada disposición de recursos naturales.

Desarrollar nuevos materiales, y optimizar los actuales, con propiedades mejores o comparables a los ya existentes, más específicos y con menor impacto medioambiental.

# • INTRODUCCIÓN

- El progreso tecnológico va ligado a la disponibilidad de materiales adecuados.
- El avance en el estudio de los materiales conlleva progreso tecnológico.



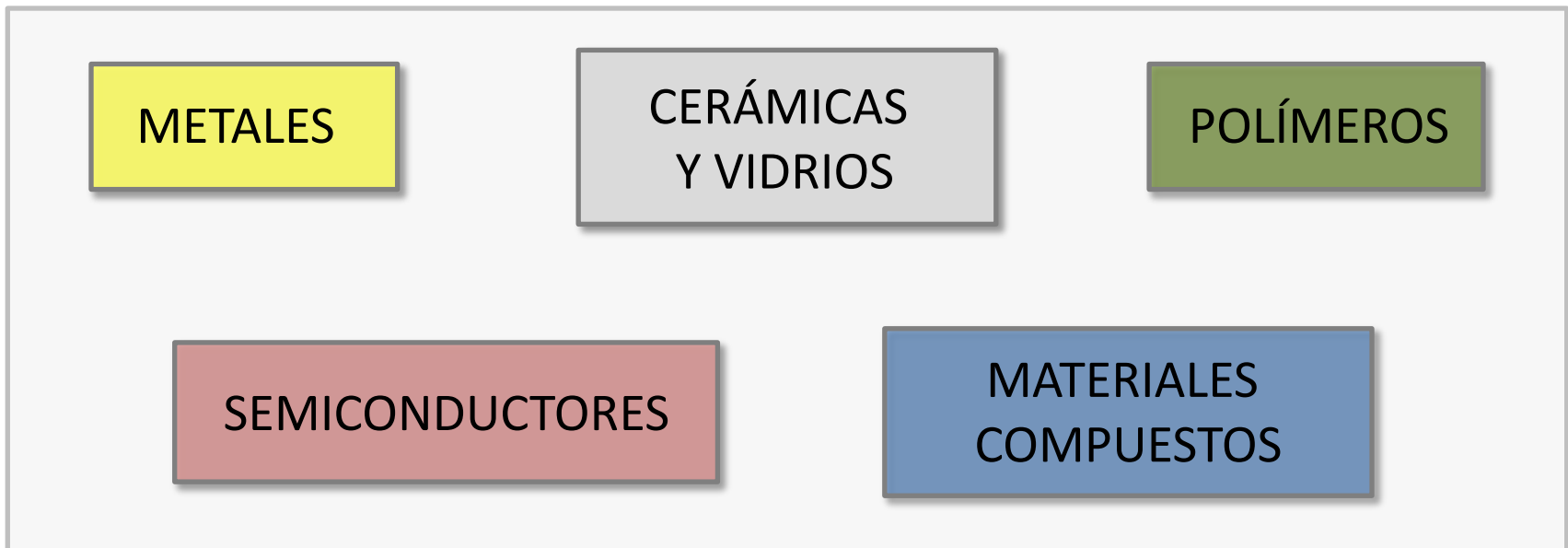
**Materiales Electrónicos:** Materiales empleados en la industria eléctrica y electrónica.

**Avances:** Circuito integrados, transistor, procesadores, almacenamiento óptico-magnético, procesamiento de datos, telecomunicaciones, robótica, automática,...

# • INTRODUCCIÓN

Clasificación de los materiales en función de:

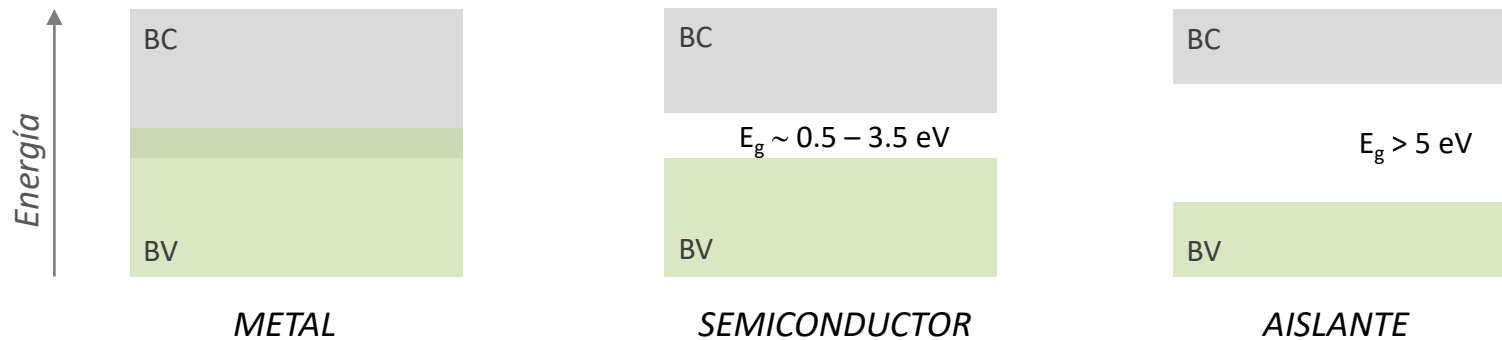
- **Origen:** mineral, vegetal, animal
- **Naturaleza:** natural, artificial
- **Estructura y propiedades:** metales, cerámicas, polímeros...
- **Funcionalidad:** Materiales electrónicos, magnéticos,...



Estudio: **CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**



# • INTRODUCCIÓN



Comportamiento diferente en función de la temperatura:

$$\uparrow T \Rightarrow \uparrow \sigma_{\text{semiconductor}}$$

$$\uparrow T \Rightarrow \downarrow \sigma_{\text{metal}}$$

$$\sigma_{\text{aislantes}} = 10^{-10} - 10^{-20} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{semic.}} = 10^{-8} - 10^{-12} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{metales}} = 10^4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$$

Ventajas de los semiconductores:

- Fabricación (perfección cristalina, pureza)
- Modificación de propiedades mediante dopado controlado.

# • INTRODUCCIÓN

## Clasificación:

- Semiconductores elementales:
  - Si, Ge (IV)
- Semiconductores compuestos:
  - III-V: GaN, GaAs, InP, InAs,...
  - II-VI: ZnSe, ZnS, CdTe, CdSe,...
  - IV-IV: SiGe
  - Ternarios y Cuaternarios:  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $\text{CdZnTe}$ ,  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$

	13	IIIA	14	IVA	15	VA	16	VIA	
5	10.811		6	12.011	7	14.007	8	15.999	
	<b>B</b>		<b>C</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		
	BORO		CARBONO		NITRÓGENO		OXÍGENO		
13	26.982		14	28.086	15	30.974	16	32.065	
	<b>Al</b>		<b>Si</b>		<b>P</b>		<b>S</b>		
	ALUMINIO		SILICIO		FÓSFORO		AZUFRE		
30	65.38	31	69.723	32	72.64	33	74.922	34	78.96
	<b>Zn</b>		<b>Ga</b>		<b>Ge</b>		<b>As</b>		<b>Se</b>
	CINCO		GALIO		GERMANIO		ARSENICO		SELENIO
48	112.41	49	114.82	50	118.71	51	121.76	52	127.60
	<b>Cd</b>		<b>In</b>		<b>Sn</b>		<b>Sb</b>		<b>Te</b>
	CADMIO		INDIO		ESTAÑO		ANTIMONIO		TELURO
80	200.59	81	204.38	82	207.2	83	208.98	84	(209)
	<b>Hg</b>		<b>Tl</b>		<b>Pb</b>		<b>Bi</b>		<b>Po</b>
	MERCURIO		TALIO		PLOMO		BISMUTO		POLONIO

- Dopado:**
- Semiconductores intrínsecos
  - Semiconductores extrínsecos: tipo p, tipo n

Diversidad de aplicaciones en función del semiconductor compuesto y el tipo de dopado.

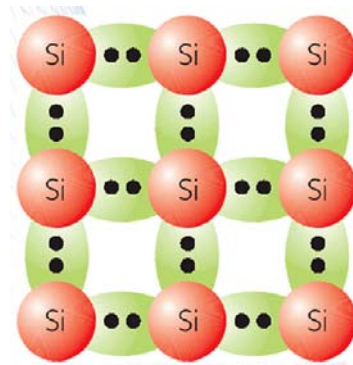
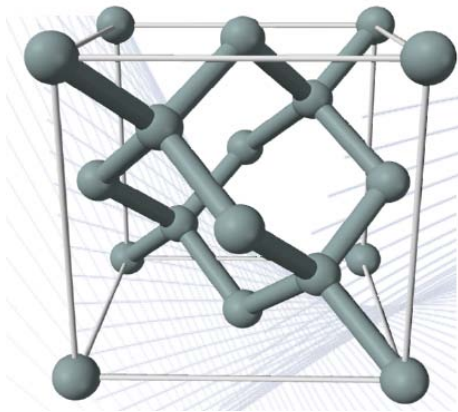
# • SILICIO

Estructura FCC (diamante): 2 redes FCC interpenetradas. Base (0,0,0), ( $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{4}$ )

Estructura electrónica:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

4 electrones de valencia

Enlace covalente



Átomos:  $5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$

$E_g$  (300K) = 1.12 eV

$n_i = 1.45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

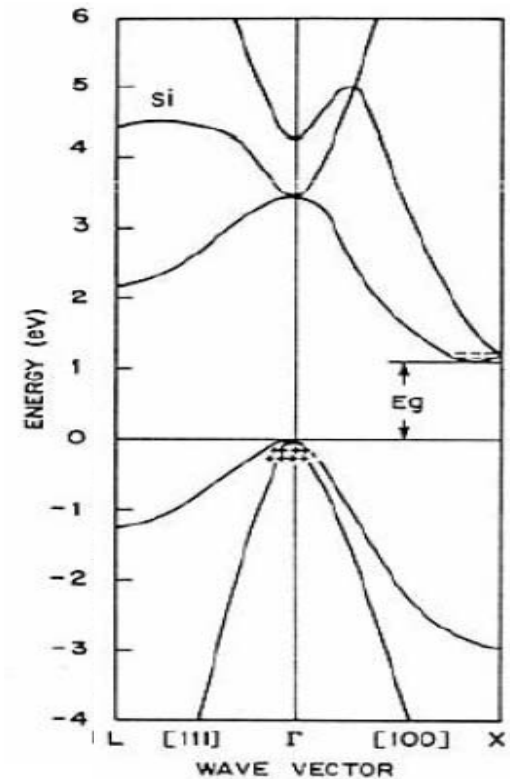
$\mu_e = 1.5 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  ;  $\mu_h = 600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

$m_e/m_0 = 0.26$ ,  $m_h/m_0 = 0.38$

$a = 5.44 \text{ \AA}$

$\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$

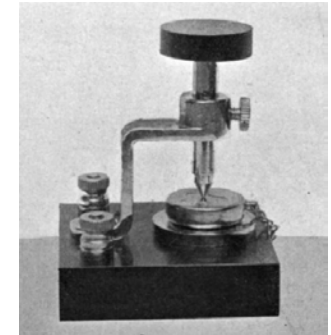
$\epsilon = 11.7$



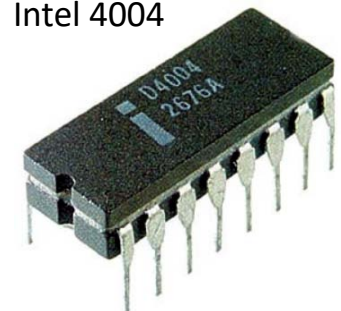
# • INTRODUCCIÓN

## Evolución Histórica

- 1874** – Contacto Metal-Semiconductor (F. Braun).
- 1897** – Descubrimiento del electrón (J.J. Thomson)
- 1906** – Rectificador de contacto puntual de Si (G.W. Pickard)
- 1935** – Rectificadores de Si y Ge (diodos de contacto puntual).
- 1938-39** – Física de semiconductores (W.H. Schottky, N. Mott)
- 1942** – Teoría de emisión termoiónica (H.A. Bethe)
- 1947** – Transistor (J. Bardeen, W.H. Bratain, W.B. Shockley –*Lab. Bell*)
- 1949** – Monocristal de Si, Ge, difusión de impurezas.
- 1958-59** – Circuito integrado (L. Kilby – *Texas Instr.*, R. Noyce – *Fairchild Semic.*)
- 1965** – Tecnología planar del transistor MOS
- 1971** – Microprocesador (A. Grove, R. Noyce, G. Moore -*Intel*)
- 1980** – Desarrollo de tecnología MBE
- 2000** – Heteroestructuras semiconductoras (Kilbi, Alferov, Kroemer)
- 2003** – Nanotecnología
- 2010** - Grafeno (A. Geim, K. Novoselov)



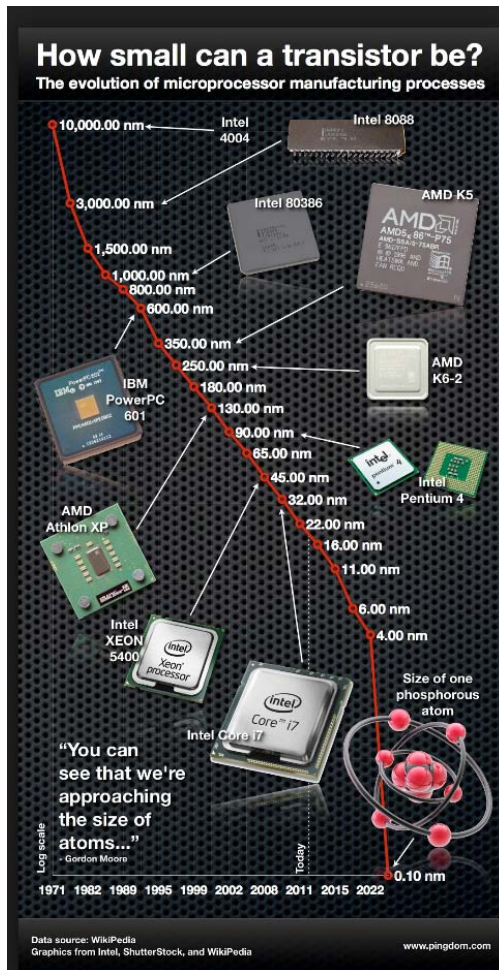
Intel 4004



## **Perspectivas de avances:**

- Control de pureza y dopado
- Optimización y aumento de la funcionalidad
- Estudio de nuevos materiales
- Técnicas de fabricación (nanomateriales)
- Fabricación a escala industrial
- Reducción de costes de fabricación
- Reducción de daño medioambiental
- Aumento de la vida útil
- Aumento de la velocidad de procesado y reducción de tamaño
- Reducción de disipación térmica
- Nanoelectrónica

# PROGRAMA



## Ley de Moore



El número de transistores en un chip se duplica cada 18 meses