

SEMICONDUCTORES

1. Materiales sólidos
2. Sólidos Cristalinos
3. Semiconductores
4. Semiconductores intrínsecos

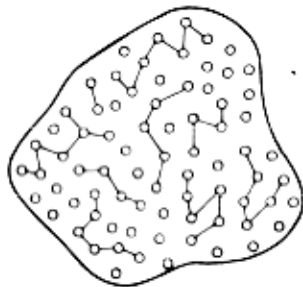
Materiales Sólidos

TIPO DE MATERIALES ATENDIENDO A LA DISPOSICIÓN ATÓMICA

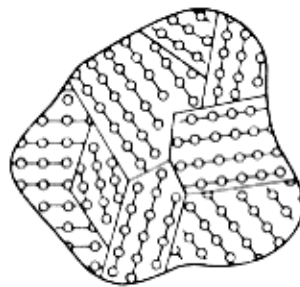
AMORFO

POLICRISTALINO

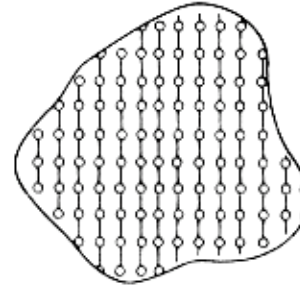
CRISTALINO



(a) Amorfo
No existe orden
a largo alcance



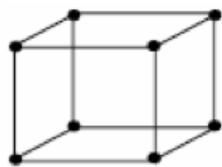
(b) Policristalino
Totalmente ordenado
en segmentos



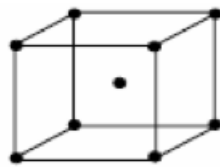
(c) Cristalino
Los átomos en el sólido forman
un conjunto totalmente ordenado

Sólidos Cristalinos

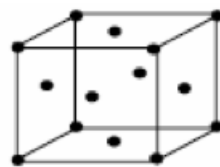
- ❑ Los sólidos cristalinos son agrupaciones periódicas de una estructura base, que por traslación reproduce todo el material cristalino.
- ❑ En particular nos va a interesar el **sistema cúbico**(centrado en las caras)



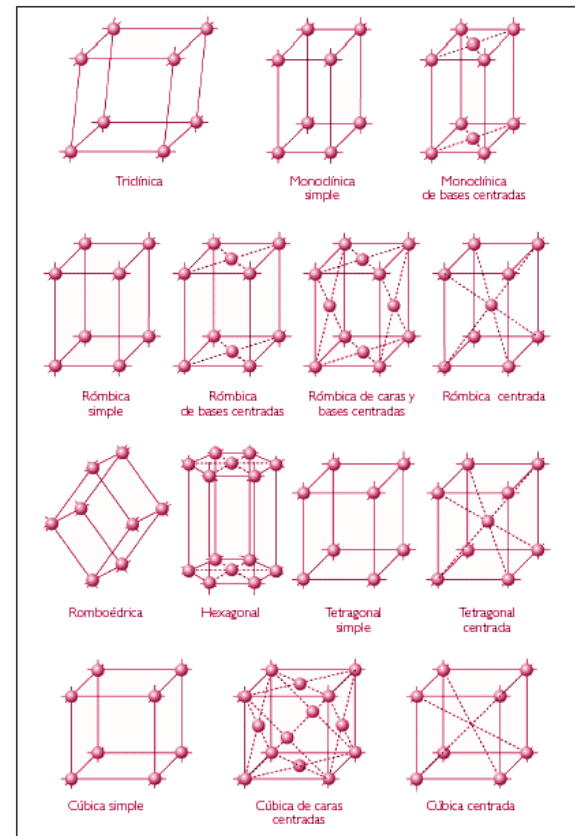
Red Cúbica simple



Red Cúbica centrada en cuerpo



Red Cúbica centrada en caras



Las catorce redes cristalinas de Bravais.

Sólidos Cristalinos

- Atendiendo a sus propiedades eléctricas pueden ser:

CONDUCTORES

- Son buenos conductores metálicos el Cu, Ag y Al. Su estructura cristalina (disposición atómica) es tal que los electrones exteriores (electrones de valencia) están compartidos por todos los átomos y pueden moverse libremente por todo el material
- Esta situación se mantiene en un amplio rango de temperaturas.
- En la mayoría de los metales cada átomo contribuye con un electrón por lo que el número de electrones libres suele ser $>10^{23} \text{ e-/cm}^3$.
- La conducción eléctrica tiene, entonces, lugar a consecuencia del movimiento neto de dichos e- libres al someterles a la acción de un campo eléctrico aplicado.
- Su resistividad $\rho \sim 10^{-5}, 10^{-6} \Omega \times \text{cm}$ a temperatura ambiente

Sólidos Cristalinos (2)

AISLANTES

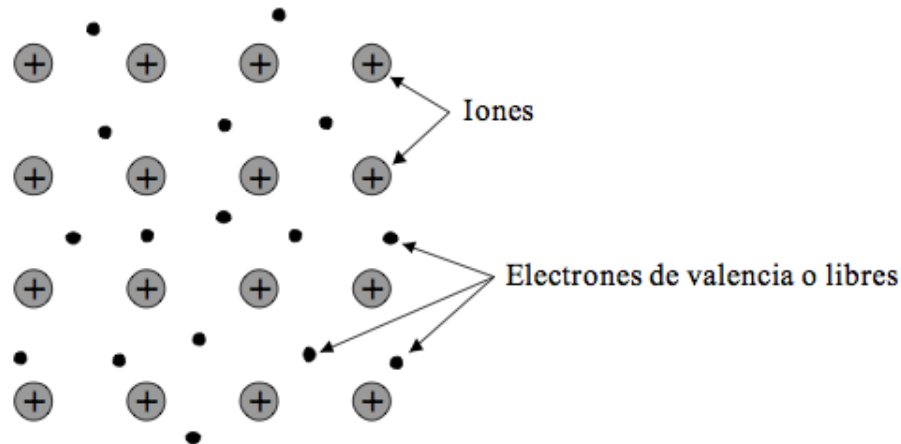
- Todos los e- permanecen ligados a los átomos constituyentes en un amplio rango de temperaturas. De ahí que al aplicar un campo eléctrico, aunque éste sea relativamente alto, no se obtenga, prácticamente, corriente eléctrica al no disponer de cargas libres que puedan moverse por el material
- Su $\rho \sim 10^{18} \Omega \times \text{cm}$ a temperatura ambiente

SEMICONDUCTORES

- Son materiales que a temperatura ambiente son a la vez malos conductores y malos aislantes.
- Su $10^{-3} \leq \rho \leq 10^5 \Omega \times \text{cm}$ a temperatura ambiente.
- A bajas temperaturas pueden ser muy buenos aislantes
- A muy altas temperaturas pueden llegar a ser buenos conductores.

Sólidos Cristalinos (3)

Atendiendo a las propiedades eléctricas, un sólido puede ser:



Conductor

$$\rho \sim 10^{-5} - 10^{-6} \, \Omega \cdot \text{cm}$$

Semiconductor

$$10^{-3} < \rho < 10^5 \, \Omega \cdot \text{cm}$$

Asislante

$$\rho \sim 10^{18} \, \Omega \cdot \text{cm}$$

Sólidos Cristalinos (4)

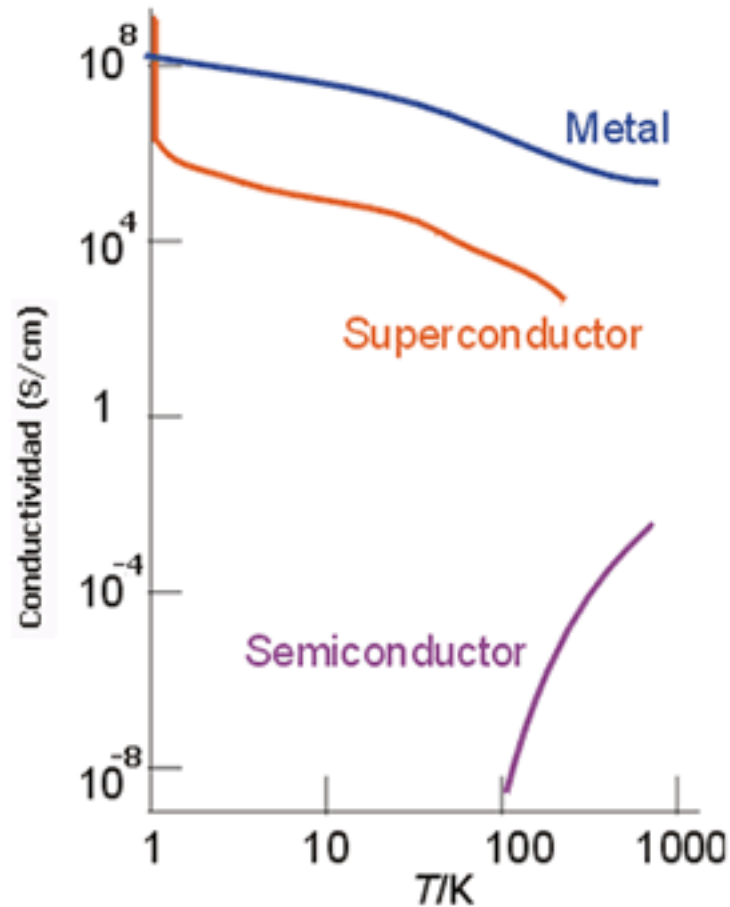


Figura 1. Variación de la conductividad con la temperatura.

Semiconductores

- Son materiales que poseen propiedades intermedias de conducción
- Los mas importantes son *Si*, *Ge*, *AsGa*

Semiconductores Intrínsecos

- El átomo de hidrógeno aislado. Modelo

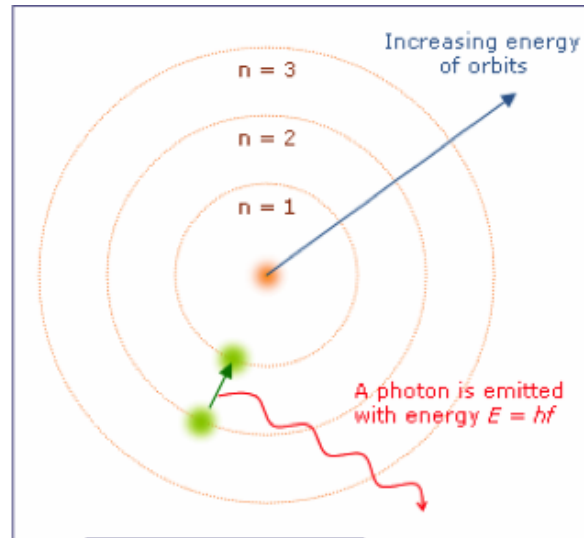
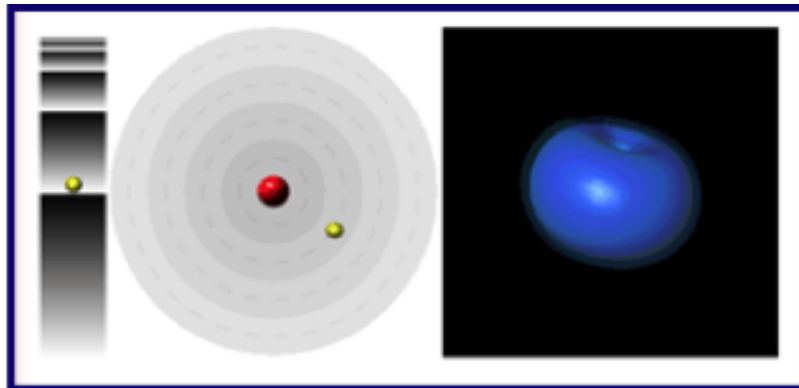
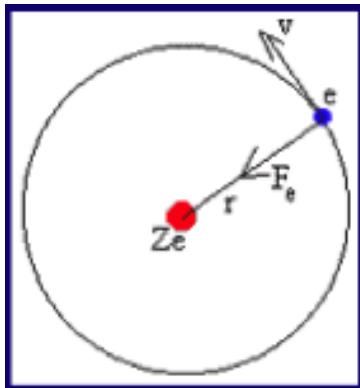


Tabla periódica de los elementos

Periodo	Grupo																	
	1	2											13	14	15	16	17	18
1	1 1.00797 H Hidrógeno	2 4.0026 He											5 10.811 B Boro	6 12.01115 C Carbono	7 14.00309 N Nitrógeno	8 15.9994 O Oxígeno	9 18.9984 F Fluor	10 20.179 Ne
2	3 6.941 Li Litio	4 9.0122 Be Berilio											13 26.981538 Al Aluminio	14 28.08558 Si Silicio	15 30.973762 P Fósforo	16 32.06 S Azufre	17 35.453 Cl Cloro	18 39.948 Ar
3	11 22.98977 Na Sodio	12 24.304 Mg Magnesio											13 26.981538 Al Aluminio	14 28.08558 Si Silicio	15 30.973762 P Fósforo	16 32.06 S Azufre	17 35.453 Cl Cloro	18 39.948 Ar
4	19 39.0983 K Potasio	20 79.046 Ca Calcio	21 44.955912 Sc Escandio	22 47.867 Ti Titanio	23 50.9415 V Vanadio	24 51.9961 Cr Cromo	25 54.938045 Mn Manganeso	26 55.93494 Fe Hierro	27 58.933195 Co Cobalto	28 58.933195 Ni Níquel	29 63.546 Cu Cobre	30 65.38 Zn Zinc	31 69.723 Ga Galio	32 72.64 Ge Germanio	33 74.9216 As Arsénico	34 78.96 Se Selenio	35 79.904 Br Bromo	36 83.80 Kr Cripton
5	37 85.4678 Rb Rubidio	38 87.62 Sr Estroncio	39 88.90584 Y Ytrio	40 91.224 Zr Zirconio	41 92.90638 Nb Níobio	42 95.94 Mo Molibdeno	43 97.905 Tc Tecnecio	44 101.07 Ru Rutenio	45 101.07 Rh Rodanio	46 106.3655 Pd Paladio	47 106.90558 Ag Plata	48 112.411 Cd Cadmio	49 114.818 In Indio	50 118.710 Sn Estano	51 127.759 Sb Antimonio	52 127.60 Te Teluro	53 126.905 I Yodo	54 131.29 Xe Xenón
6	55 132.905 Cs Cesio	56 137.327 Ba Bario	57 138.905 La Lantano	58 140.90765 Ce Cerio	59 140.90765 Pr Praseodimio	60 140.90765 Nd Neodimio	61 140.90765 Pm Promecio	62 150.36 Sm Samario	63 151.96 Eu Europio	64 157.25 Gd Gadolinio	65 158.92534 Tb Terbio	66 162.50 Dy Disprosio	67 164.93032 Ho Holmio	68 167.259 Er Erbio	69 168.93423 Tm Terbio	70 173.04 Yb Ytterbio	71 174.967 Lu Lutecio	72 175.037 Hf Hafnio
7	87 223.01973 Fr Francio	88 226.0254 Ra Radio	89 227.0277 Ac Actinio	90 232.0377 Th Torio	91 231.03689 Pa Protactinio	92 238.02891 U Uranio	93 237.04392 Np Neptunio	94 244.04187 Pu Plutonio	95 244.04187 Am Americio	96 247.07125 Cm Curio	97 247.07125 Bk Berkelio	98 251.07642 Cf Californio	99 252.0833 Es Einsteinio	100 257.10359 Fm Fermio	101 259.10359 Md Mendelevio	102 259.10359 No Nobelio	103 259.10359 Lr Lawrencio	104 262 Rf Rutherfordio

Número atómico → 1

Peso atómico → 1.00797

Valencia → 1

Símbolo → H

Estructura atómica → 1s¹

Nombre → Hidrógeno

Punto de ebullición °C → -252.7

Punto de Fusión °C → -259.2

Densidad (g/ml) → 0.071

Lantánidos

Actínidos

Notas:

Metales

Metaloides

No metales

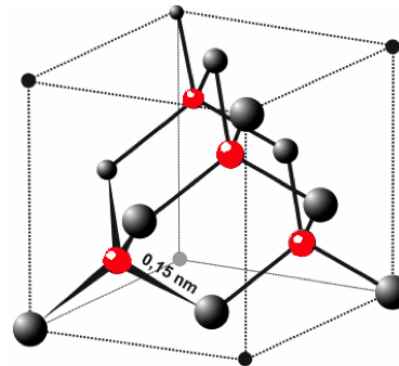
Gases nobles

(1) Base en peso atómico carbono de 12 (4) indica el más estable o el de isótopo más conocido.

Silicio: Si

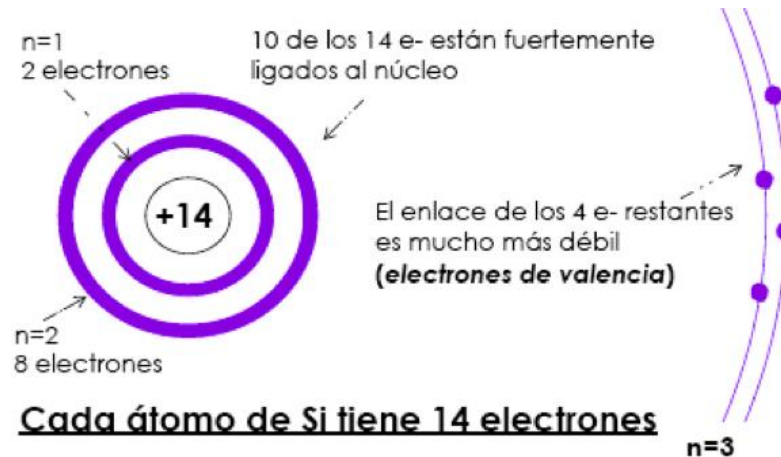
- En estado puro tiene propiedades físicas y químicas parecidas a las del diamante
- En la naturaleza se encuentra en forma de dióxido de silicio (sílice) SiO_2
- Su estructura cristalina le confiere propiedades semiconductoras. En estado puro y con pequeñas trazas de boro, fósforo y arsénico constituye el material básico para la construcción de los chips de los ordenadores

Estructura diamantina



Los semiconductores más habituales como el Si y el Ge poseen 4 electrones de valencia (en la última capa)

Átomo aislado de Si, $Z=14$

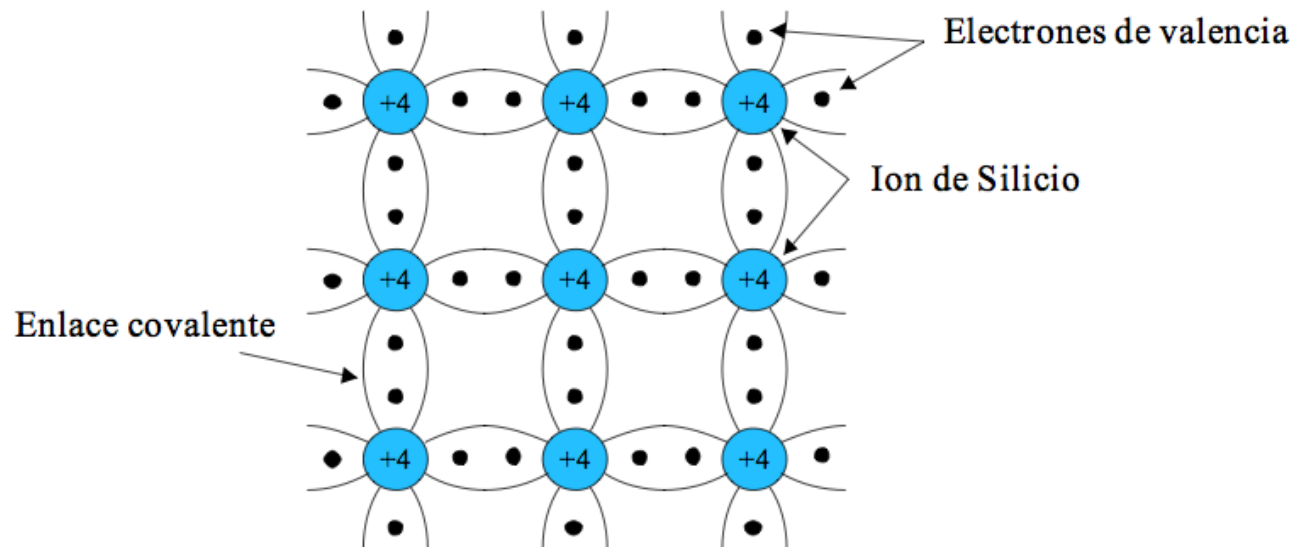


- Los dos primeros niveles acomodan 2 y 8 electrones. Estos electrones están fuertemente ligados al átomo.
- En el último nivel quedan 4 electrones, llamados electrones de valencia. Pueden ser fácilmente liberados de sus posiciones para formar enlaces.

Semiconductores Intrínsecos.

Estructura Cristalina

Representación en dos dimensiones



Semiconductor puro a muy baja temperatura (próximo a 0 K)

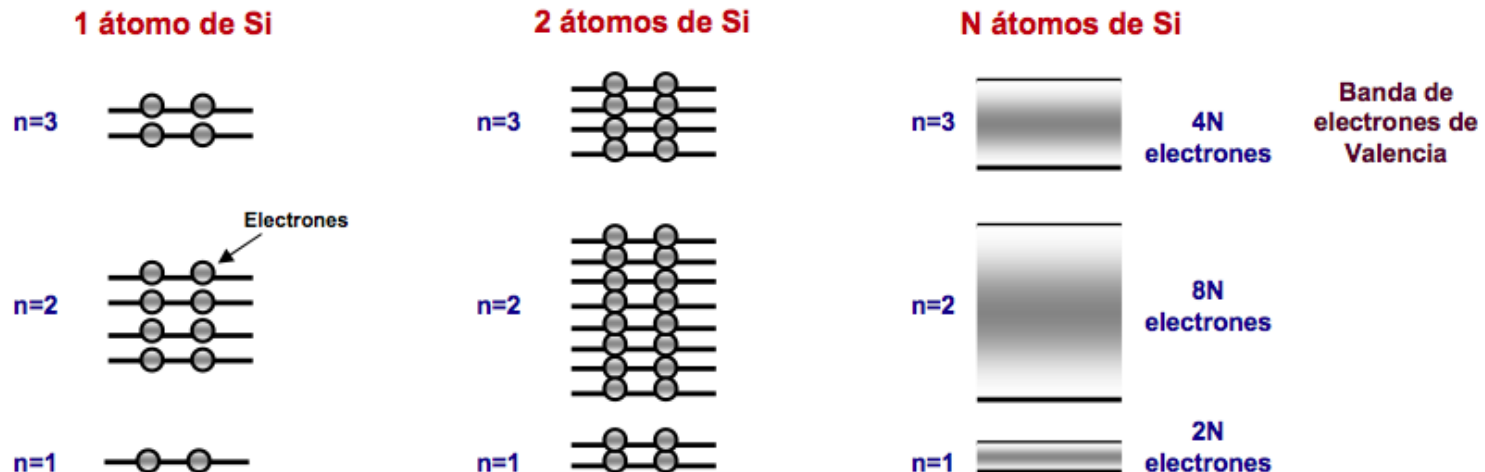
No hay electrones libres → **Se comporta como un aislante**

Modelo de Bandas de Energía

Cristales Semiconductores.

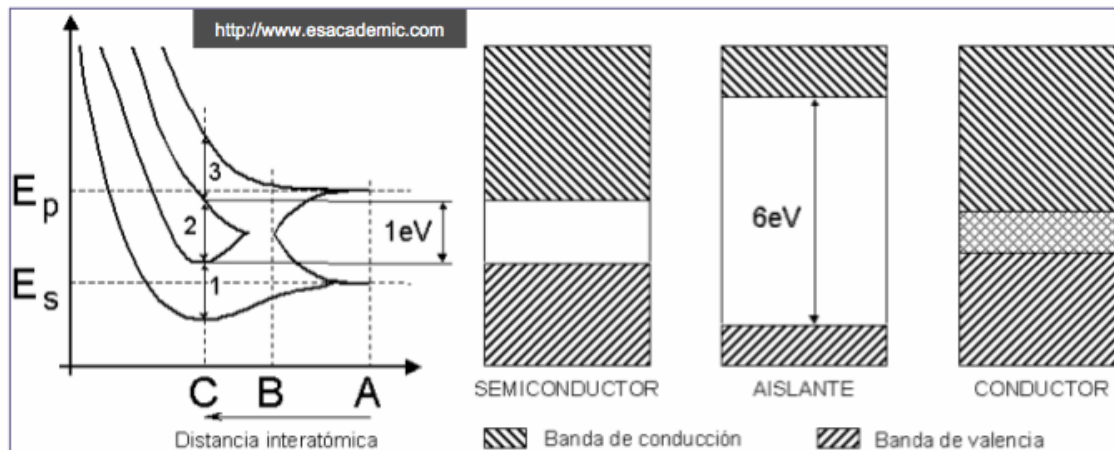
Niveles electrónicos de un sólido que es la unión de N átomos (N del orden de 20^{23})

- Aparecen superpuestos los niveles de energía atómicos de los N átomos
- Cada nivel se ensancha y forma una banda de valores discretos de energía (aunque muy juntos) para contener los $4N$ electrones.



Modelo de Bandas de Energía. Clasificación

- La energía que tienen los electrones en el cristal son semejantes a las que tienen en los átomos libres, pero los electrones deben de obedecer al principio de exclusión de Pauli. No puede haber dos electrones en el mismo estado cuántico.
- La interacción entre los átomos que forman el cristal produce un desdoblamiento de estados, es decir un desdoblamiento de energías.
- Cada nivel en el átomo forma una banda. Para la distancia interatómica de equilibrio las bandas pueden estar:
 - Solapadas (CONDUTOR)
 - Separadas (0,5-4 eV (SEMICONDUCTOR)-----Aparece un Gap de energías prohibidas E_g)
 - Muy separadas (>4 eV) (AISLANTE)

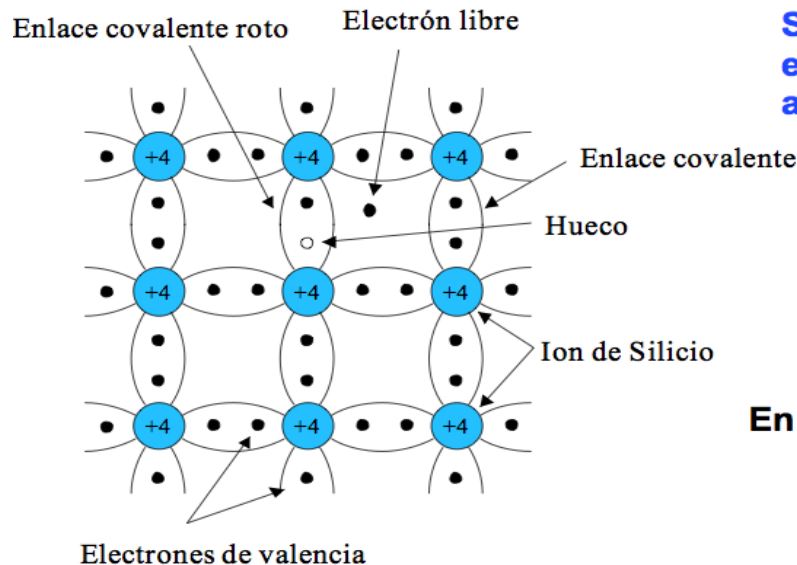


Semiconductores Intrínsecos

Modelo de Bandas de Energía.

- A $T=0\text{ }^{\circ}\text{K}$, el semiconductor es un aislante pues todos los e^- están formando enlace y no se pueden mover.
- Si se aumenta la temperatura, es posible romper algún enlace covalente. Un electrón queda libre y se puede mover en la estructura cristalina.

Si aumentamos $T^a \rightarrow$ Estamos suministrando energía



Si la Energía suministrada es superior a E_G aparecen dos tipos de cargas libres

- electrones (negativas)
- huecos (positivos)

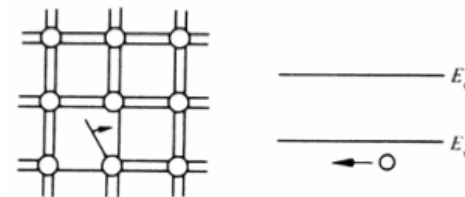
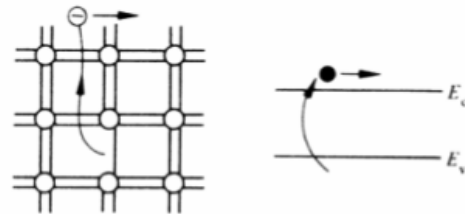
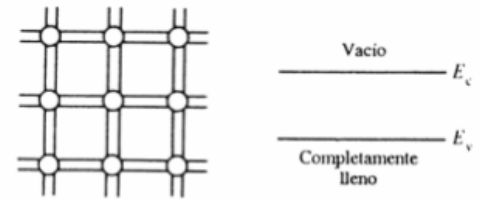
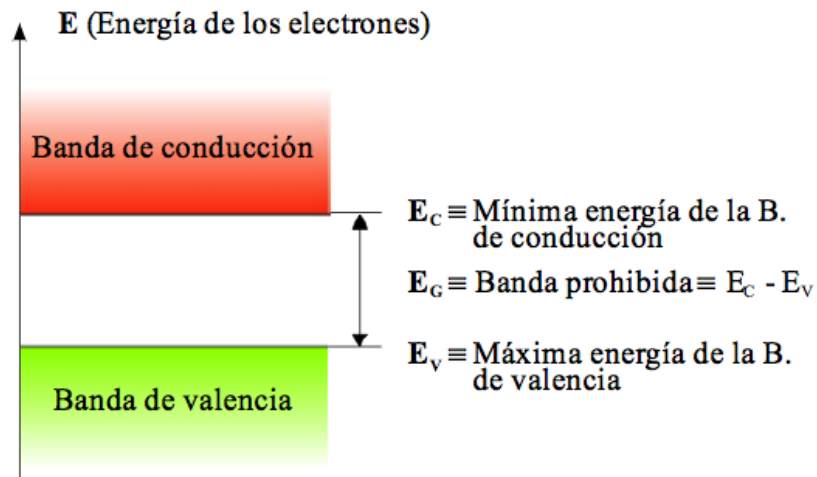
En un semiconductor intrínseco:

$$n = p = n_i$$

n_i = concentración intrínseca $f(T^a)$

Semiconductores Intrínsecos

Modelo de Bandas de Energía. Conducción.



Semiconductores **Extrínsecos**

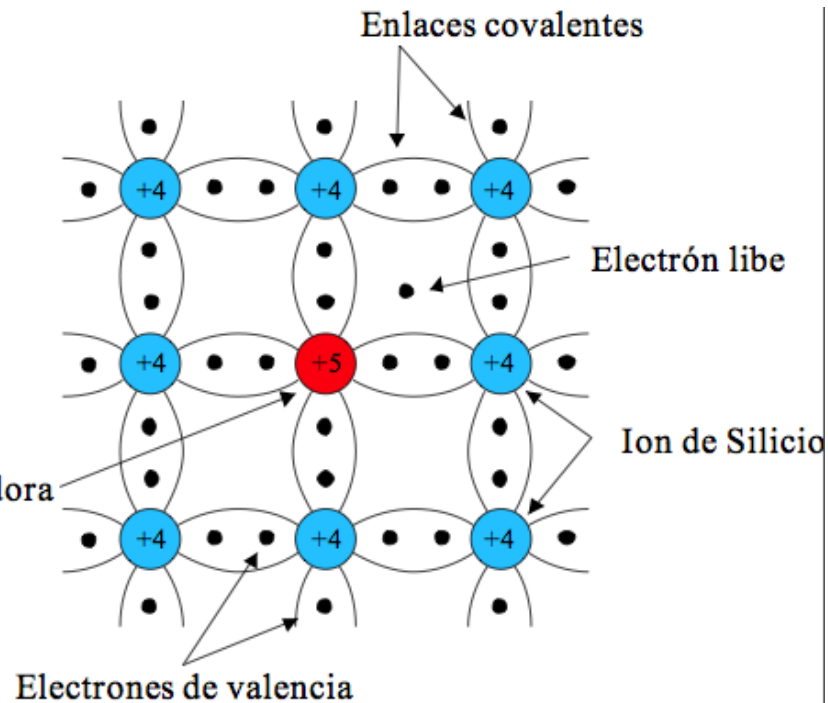
Semiconductores *tipo n*. Impurezas donadoras.

Impurezas pentavalentes

P, As, Sb

Al dopar un SC intrínseco con impurezas donadoras, aumenta la concentración de electrones y disminuye la de huecos

Ion de impureza donadora



Ley de Acción de Masas

$$n \cdot p = n_i^2$$

$$\left. \begin{array}{l} N_D - N_A \approx N_D \gg n_i \\ n \gg p \end{array} \right\} n \approx N_D$$

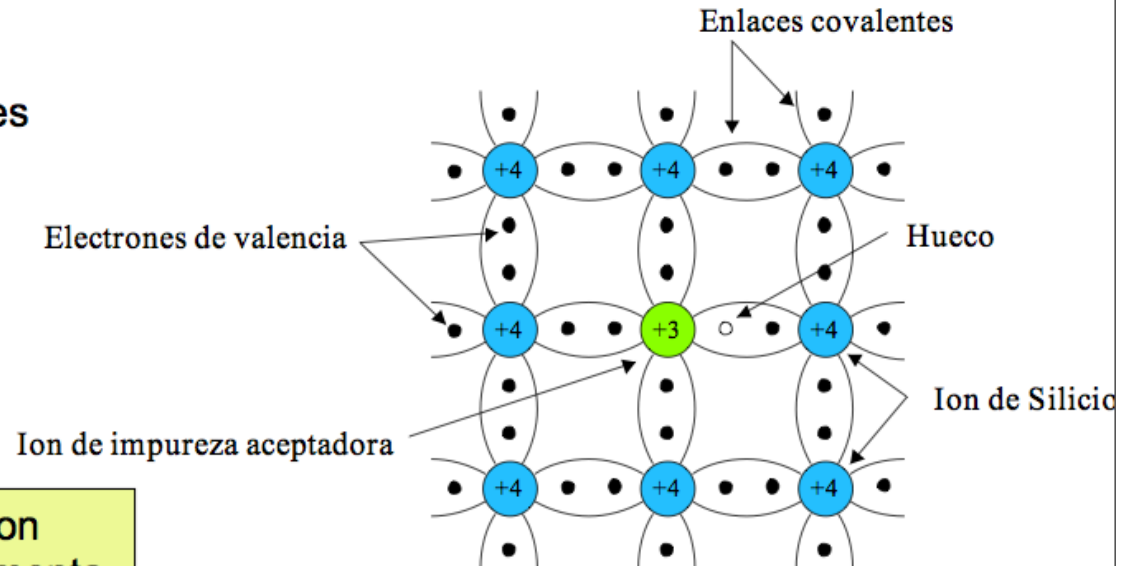
$$\text{Como } n \cdot p = n_i^2 \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{N_D}$$

Semiconductores **Extrínsecos.**

Semiconductores *tipo p*. Impurezas aceptadoras

Impurezas trivalentes

B, Al, Ga



Al dopar un SC intrínseco con impurezas aceptadoras, aumenta la concentración de huecos y disminuye la de electrones

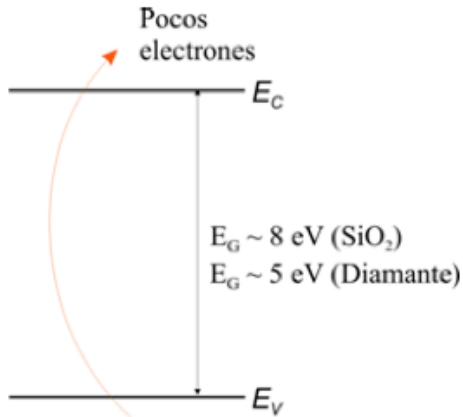
$$\left. \begin{array}{l} N_A - N_D \approx N_A \gg n_i \\ p \gg n \end{array} \right\} p \approx N_A$$

$$\text{Como } n \cdot p = n_i^2 \Rightarrow n = \frac{n_i^2}{N_A}$$

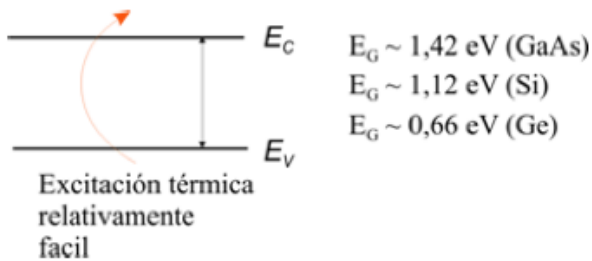
Semiconductores Extrínsecos

Modelo de Bandas de Energía

Aislante



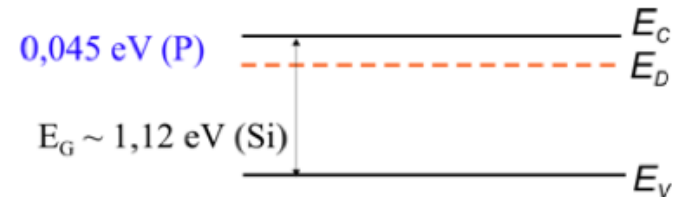
Semiconductor



Conductor



Impurezas donadoras



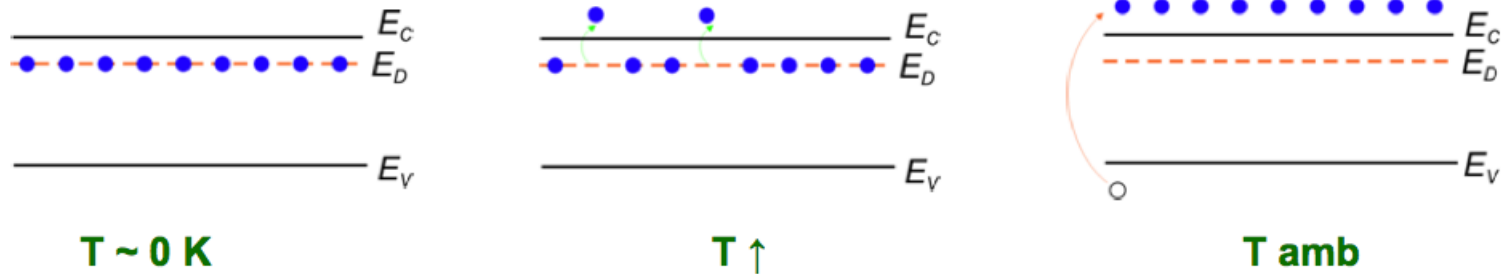
Impurezas aceptadoras



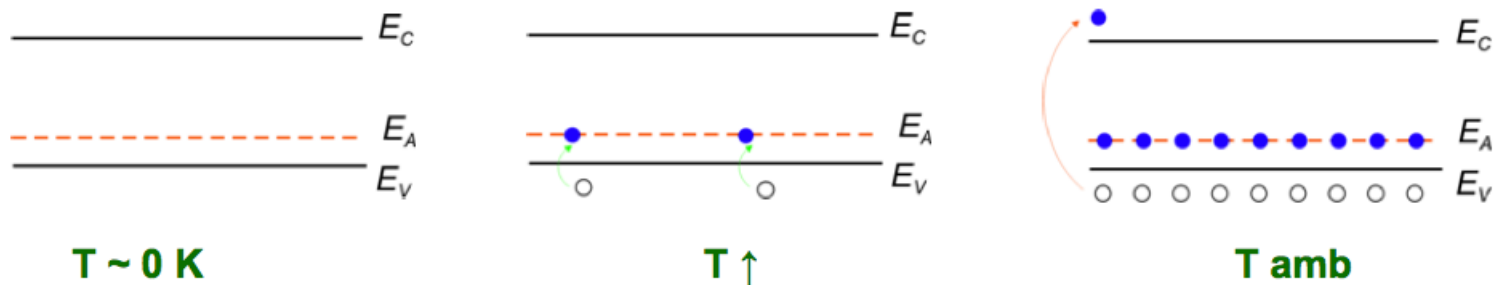
Semiconductores **Extrínsecos**

Modelo de Bandas de Energía (cont)

Semiconductor tipo n, impurezas donadoras

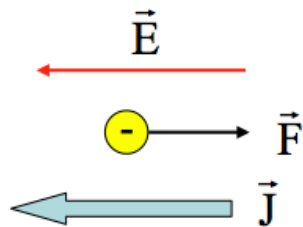


Semiconductor tipo p, impurezas aceptadoras



Conducción en Metales

corriente de arrastre



$$\vec{F} = -q \cdot \vec{E}$$

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

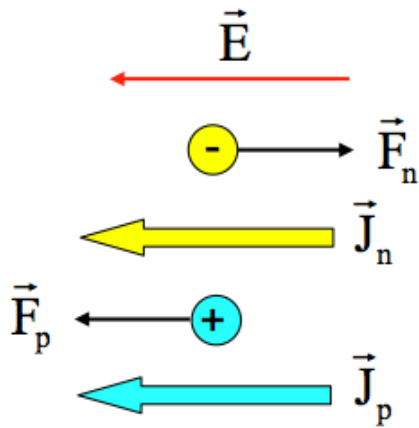
$$\sigma = f(n, \mu, q)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\begin{cases} \sigma = \text{conductividad} \\ \rho = \text{resistividad} \end{cases}$$

- En los conductores (metales) sólo existe corriente cuando se aplica un campo eléctrico
- Esta corriente se debe al **arrastre** de los electrones libres
- En los metales σ es alta (ρ baja)
- Si aumenta la T^a σ disminuye (ρ aumenta) → **en los metales la resistencia aumenta con la temperatura**

Conducción en Semiconductores



- La corriente eléctrica en un SC puede tener cuatro términos
 - Corriente de arrastre de electrones
 - Corriente de arrastre de huecos
 - Corriente de difusión de electrones
 - Corriente de difusión de huecos
- Si aumenta la T^a σ aumenta (ρ disminuye) → **en los semiconductores la resistencia disminuye con la temperatura**