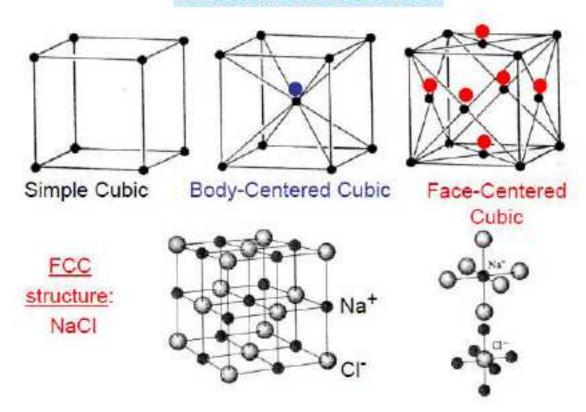
Introducción a la materia condensada



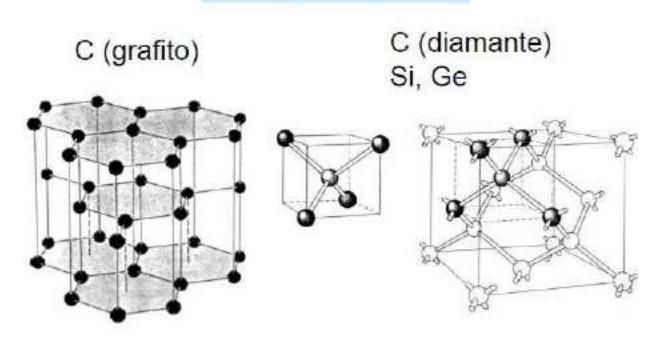
Lingotes de silicio y cortes en obleas

Física - Grado en Ingeniería Informática

Sólidos: redes cristalinas



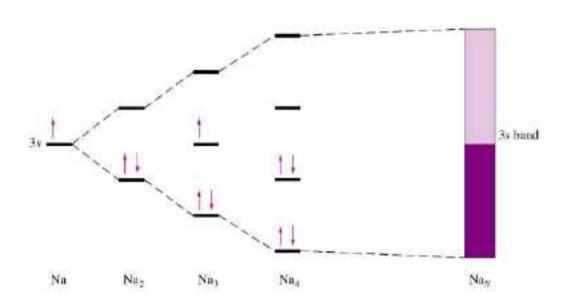
Sólidos: redes cristalinas



-La teoría de bandas está basada en la mecánica cuántica y procede de la teoría de los orbitales moleculares

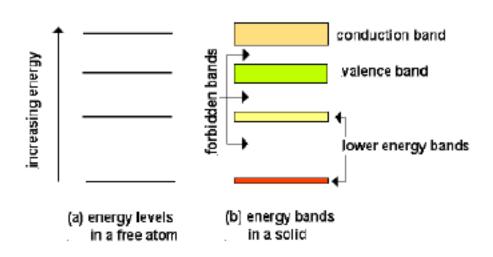
-En esta teoría, se considera el enlace metálico como un caso extremo del enlace covalente, en el que los electrones de valencia son compartidos de forma conjunta y simultánea por todos los cationes.

Diagrama de bandas

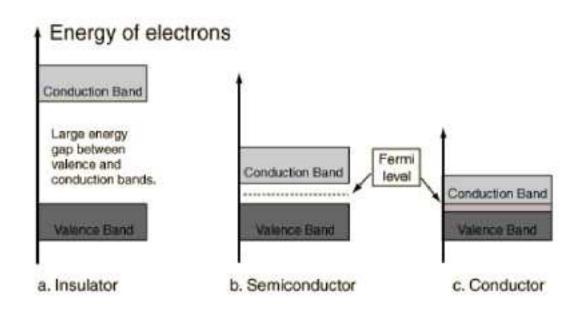


-Desaparecen los orbitales atómicos por combinaciónes entre ellos y se forman orbitales moleculares con energías muy parecidas, tan próximas entre ellas que todos en conjunto ocupan una franja denominada "banda de energía" (se obtienen tantos orbitales moleculares como orbitales atómicos se combinen).

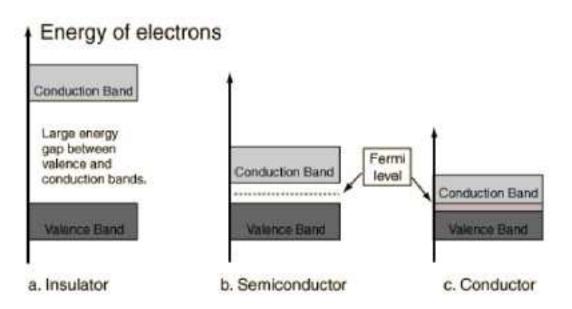
Diagrama de bandas



La banda ocupada por los orbitales moleculares con los electrones de valencia se llama banda de valencia, mientras que la banda formada por los orbitales moleculares vacíos se llama banda de conducción.

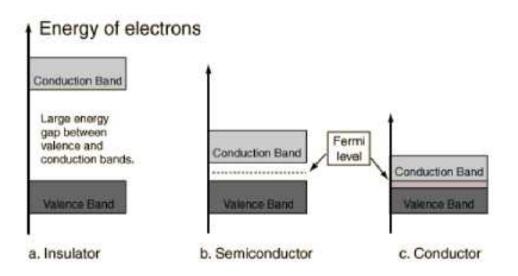


El nivel de Fermi representa el nivel de energía por debajo del cual todos los niveles están ocupados por electrones a una temperatura de 0 K. Este nivel determina las propiedades de conducción de un material



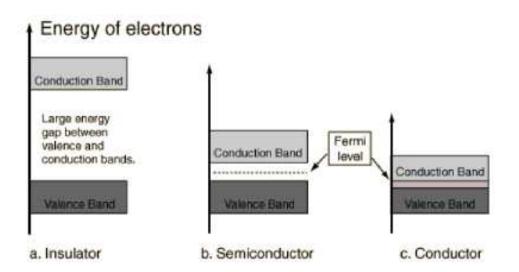
AISLANTES O DIELÉCTRICOS:

- A 0 K tienen la banda de valencia completamente llena mientras que la de conducción está vacía.
- La banda prohibida (gap) tiene un ancho del orden de 10 eV. El nivel de Fermi se encuentra en medio de la banda de la banda prohibida.



SEMICONDUCTORES:

- A 0 K todos los electrones que ocupan los niveles más altos de energía se encuentran en la banda de valencia: la banda de valencia esta llena y la de conducción vacía.
- -Como una banda llena no contribuye al mecanismo de conducción (y una vacía tampoco), los semiconductores se comportan como un aislante a 0 K existen pocos electrones excitados ocupando los niveles de la banda de conducción.
- La banda prohibida (gap) tiene un ancho del orden de 1 eV. El nivel de Fermi se encuentra en medio de la banda de la banda prohibida.

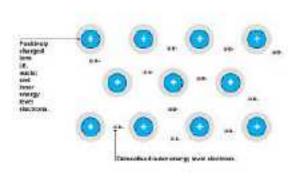


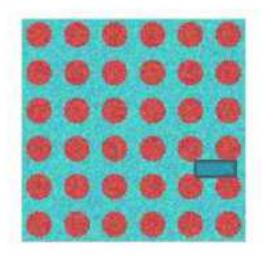
CONDUCTORES:

- No existe "gap" entra la banda de valencia y la de conducción.
- Por ello, los electrones necesitan poca energía para pasar de la banda de valencia a la de conducción.
- -Al aplicar un campo eléctrico o aumentar la temperatura del conductor los electrones adquieren la suficiente energía para pasar a la banda de conducción.
- Por ello, el nivel de Fermi se encuentra en la banda de conducción
- -En general, un buen conductor se caracteriza por tener una densidad alta de portadores de carga (electrones) y muchos niveles ocupados en la banda de conducción.

Propiedades de conducción eléctrica en metales

Enlace metálico





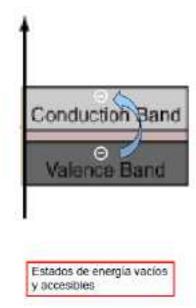
Movimiento de portadores de carga (electrones libres)

 $n\approx 10^{22}\; portadores/cm^3$

Un metal se caracteriza por tener una estructura cristalina en la que los cationes (iones positivos) están rodeados de electrones libre que se mueven por todo el metal.

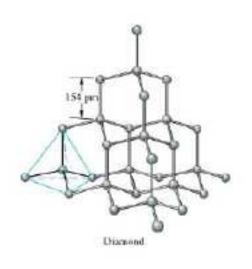
¿Por qué el Na en contacto con el agua produce reacciones "explosivas"?

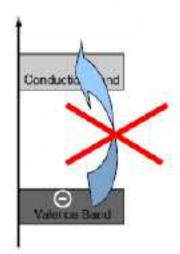
Propiedades de conducción eléctrica en metales



- -Al aplicar un campo eléctrico o aumentar la temperatura del conductor los electrones adquieren la suficiente energía para pasar a la banda de conducción.
- -Un aumento de la temperatura produce un incremento de la agitación térmica de los electrones y de los cationes de la red (iones positivos), aumentando los choques entre estos y aumentando la resistividad eléctrica del material.
- -En general, un buen conductor se caracteriza por tener una alta densidad de portadores de carga y muchos niveles ocupados en la banda de conducción.

Propiedades de conducción eléctrica en aislantes

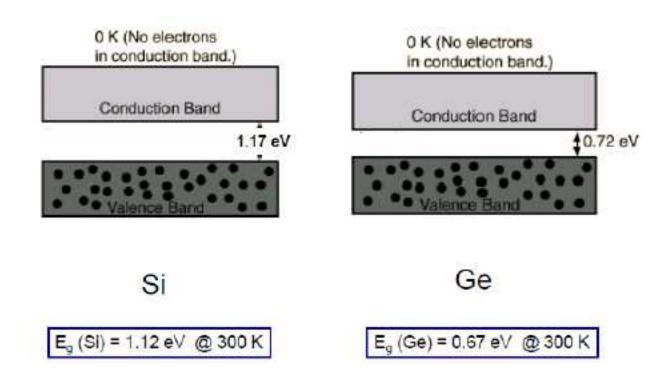




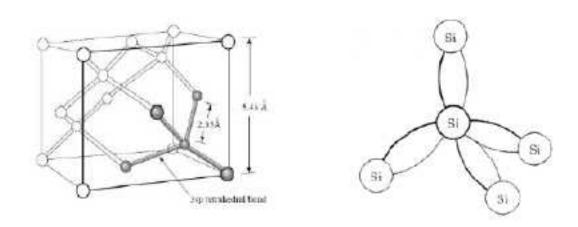
No hay portadores de carga libres

Un aislante se caracteriza por una densidad casi nula de portadores y una banda de conducción vacía.

Diagrama de bandas: gap en Si y Ge



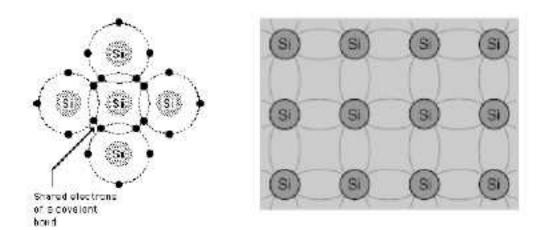
Semiconductores: silicio



Cada átomo de Si (silicio) está unido a otros tres más mediante enlace covalentes sencillos. Cada enlace covalente se debe a la compartición de un par de electrones para, así, alcanzar el octeto (ocho electrones de valencia)

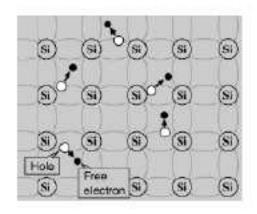
Semiconductores: silicio

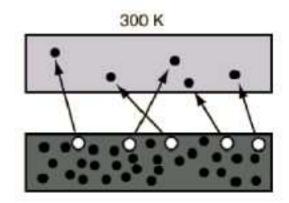
 $[_{14} Si]: 1s^2 2s^2p^6 3s^2p^2$



Cada átomo de Si (silicio) está unido a otros cuatro más mediante enlace covalentes sencillos. Cada enlace covalente se debe a la compartición de un par de electrones para, así, alcanzar el octeto (ocho electrones de valencia)

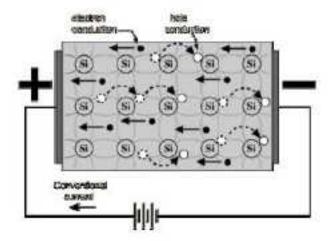
Generación de pares electrón-hueco





- -Los semiconductores intrínsecos son estructuras cristalinas sin átomos extraños.
- -En un semiconductor intrínseco a una temperatura mayor de 0 K, la excitación térmica produce electrones y huecos a pares, con el electrón en la banda de conducción y el hueco en la de valencia (se comporta como una carga positiva). Es decir, la conductividad eléctrica del semiconductor aumenta con la temperatura.

Conducción en un semiconductor intrinseco



Cada ion positivo de la red puede recombinarse con otro electrón de valencia de otro átomo neutro vecino. Este último se convertirá en otro ion positivo y resultado global es equivalente a un movimiento de una carga positiva (hueco) en un sentido.

El movimiento de huecos produce una corriente de cargas de signo positivo de la misma forma que el movimiento de los electrones libres produce una corriente de cargas negativas.

¿Cuáles se moverán más rápidos, los electrones o los huecos?

- -En equilibrio térmico, la densidad de electrones n_e es igual a la de huecos n_h e igual a la denominada concentración intrínseca n_i
- -Estas densidades se pueden obtener para cualquier temperatura T a partir de las densidades efectivas de estados de las bandas de valencia N_v y conducción N_c , de la energía del gap Eg y de la constante de Bolztman kb:



La expresión anterior se deduce a partir de una relación que se cumple en todo semiconductor a una temperatura dada:

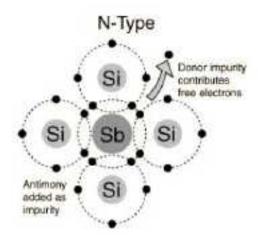
$$n_i^2 = n_e n_h$$

NO OLVIDES QUE:

« Cuanto mayor sea el ancho de la banda prohibida (gap), menores serán los valores de las densidades de huecos y electrones»

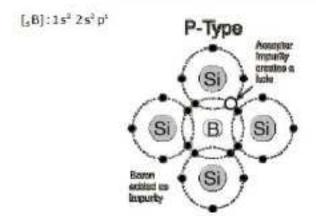
Semiconductor extrinseco: tipo N

 $[s_1Sb]:1s^2 2s^2p^6 3s^2p^6 d^{10} 4s^2p^6 d^{10} 5s^2p^3$



- -Un semiconductor extrínseco tipo n se obtiene a partir de un semiconductor intrínseco (por ejemplo, Si) que se ha dopado con impurezas (átomos de Sb, por ejemplo) que donan electrones.
- -Como resultado existe una densidad mayoritaria de electrones con energías en la banda de conducción
- -Las impurezas donadoras elevan el nivel de Fermi con respecto a su posición en el conductor intrínseco

Semiconductor extrinseco: tipo P



- ✓ Un semiconductor extrínseco tipo p se obtiene a partir de un semiconductor intrínseco (por ejemplo, Si) que se ha dopado con impurezas (átomos de B, por ejemplo) que donan huecos a la red.
- ✓ En este caso, un átomo de B (con 3 electrones de valencia) se une a cuatro de Si.
- ✓ Se deduce que el átomo de B aporta una deficiencia de un electrón o aporta un hueco a la red cristalina.
- ✓ Como resultado existe una densidad mayoritaria de huecos o portadores positivos en la banda de valencia.
- ✓ El cuarto electrón que necesita el B para completar los 4 enlaces aparecerá de un enlace vecino de Si, y que al pasar a completar la capa externa del B, deja un hueco con esa energía en la posición que ocupaba el electrón. Repitiendo ese proceso el hueco se mueve a través de la red.
- ✓ Las impurezas donadoras bajan el nivel de Fermi con respecto a su posición en el conductor intrínseco.

No debes olvidar que:

«La habilidad para mover el nivel de Fermi en un semiconductor intrínseco variando la concentración de impurezas, permite cambiar las propiedades eléctricas del semiconductor, cuestión fundamental para construir dispositivos semiconductores»