

CAPITULO II. DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES.

Tema 4. SEMICONDUCTORES.

Las características físicas que permiten distinguir entre un aislante, un semiconductor y un metal, están determinadas por la estructura atómica, molecular y cristalina de las diferentes sustancias.

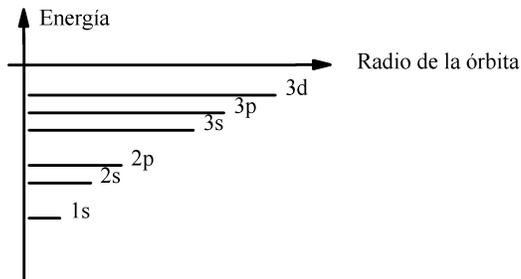


Fig. 4.1

Sabemos que, los electrones que constituyen la corteza de un átomo, solo pueden poseer determinadas energías discretas (primer postulado de Bohr), de acuerdo a las cuales se ubican en órbitas permitidas cuyo radio se modifica en el mismo sentido que lo hace la energía del electrón.

Cada nivel de energía, estado cuántico u órbita solo puede ser ocupado por un electrón (Principio de exclusión de Pauli), y estos ocupan siempre los estados más bajos o inferiores de energía. Los diferentes niveles posibles de energía se distribuyen de acuerdo a cuatro números cuánticos, en capas, subcapas, niveles y subniveles, perfectamente definidos en un átomo aislado y que los electrones van ocupando conforme se ha dicho.

Pero cuando los átomos están muy próximos, hay interacción de unos niveles con otros dando lugar a desdoblamientos por el principio de exclusión de Pauli, comenzando dicho desdoblamiento por las órbitas superiores.

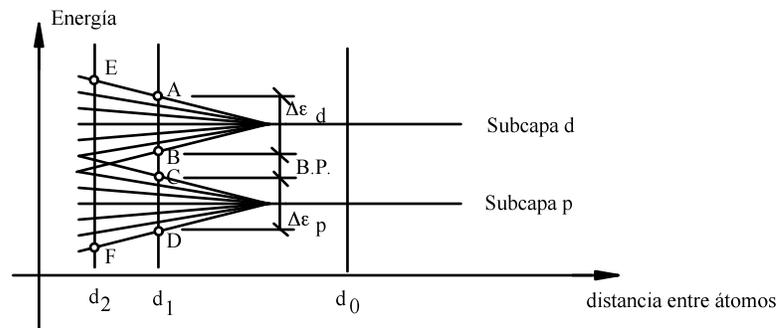


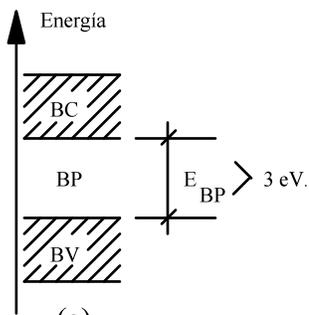
Fig. 4.2.

En la figura 4.2, se aprecia el desdoblamiento de niveles de las subcapas d y p, de acuerdo a la distancia entre los átomos:

- d_0 : Distancia a la cual los átomos no tienen influencia entre si y los niveles no se desdoblán.
- d_1 : Distancia entre átomos que produce desdoblamiento de niveles, pudiendo encontrarse los electrones en las bandas permitidas AB y CD, pero no en la banda prohibida BC.
- d_2 : Distancia a la cual la superposición de niveles da lugar a un a única banda permitida EF.

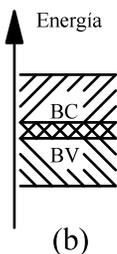
Cuando el número de átomos que se influncian por su proximidad es muy grande, se produce un elevado número de niveles que dan lugar a la formación de bandas de energía continua.

A una banda que tiene todos los subniveles ocupados por electrones se le llama "Banda de Valencia" (BV). En la BV no se produce conducción al no poder moverse los electrones por estar todos los subniveles ocupados.

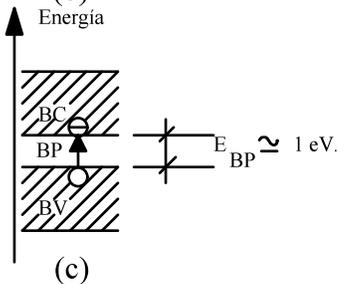


A las bandas que están vacías de electrones, o bien, no tienen todos los subniveles llenos se les denominan "Bandas de Conducción" (BC).

En las sustancias aislantes (Fig. 4.3.a), la BC está vacía, la BV está llena y la "Banda Prohibida" (BP) es grande. Por lo que, aunque se aplique un campo eléctrico exterior no pueden saltar electrones de la BV a la BC.



En el caso de los conductores (Fig. 4.3.b), las bandas de conducción y valencia se solapan pudiendo moverse libremente los electrones por la BC.



Los semiconductores (Fig. 4.3.c), son sustancias en los que la anchura de la BP es del orden de 1 eV.

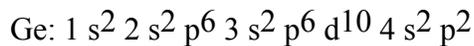
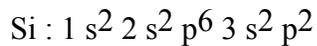
Al cero absoluto, todos los electrones están en la BV y la BC está vacía, por lo que no puede producirse conducción (aislante), al aumentar la temperatura ambiente, algunos electrones de la BV, adquieren la suficiente energía como para pasar de la BV a la BC, con lo que podría producirse conducción en el semiconductor.

Fig. 4.3

Cuando un electrón pasa de la BV a la BC, en la BV deja un hueco (nivel vacío), que podrá captar otro electrón de otro nivel de la BV y desplazarse dicho hueco como un electrón positivo contribuyendo a la conducción. Es decir, también se producirá conducción en la BV.

4.1. Semiconductor intrínseco.

Se denominan semiconductores intrínsecos, a aquellos materiales puros que presentan características semiconductoras. Los más importantes, utilizados en electrónica son, el Germanio y el Silicio, que presentan una estructura electrónica:



Ambos tienen cuatro electrones en la última capa. Y en su configuración cristalina, cada átomo se rodea de otros cuatro, con los que comparte mediante enlaces

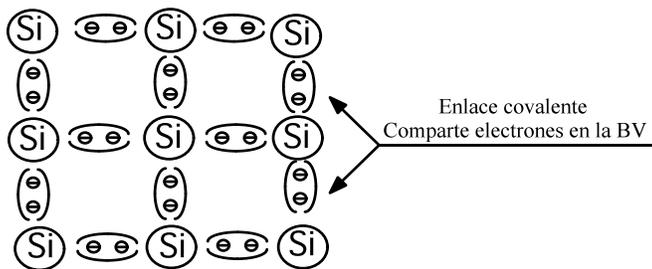


Fig. 4.4.

covalentes, los cuatro electrones de su última capa.

Los electrones libres, que no forman parte de algún enlace, se encontrarían en la BC.

En un semiconductor a 0° K, la BC está vacía y la de valencia llena.

La altura o anchura de la BP, que separa las bandas de conducción y valencia en el Ge es de 0,72 eV. y en el Si de 1,1 eV.

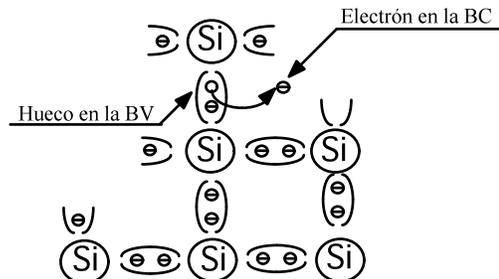


Fig. 4.5.

A temperatura ambiente, la agitación térmica hace que algunos electrones se liberen del enlace covalente y pasen a la BC quedando libres para vagar por el interior del cristal. Siendo el fenómeno importante, que cuando un electrón pasa de la BV a la BC, se crea un hueco (nivel libre) en la BV, que es tan efectivo en la conducción como el electrón.

El hueco dejado en el enlace covalente captará un electrón de un enlace vecino, y por tanto, será como si se hubiese desplazado.

Los desplazamientos del electrón en la BC y el hueco en BV, bajo la acción de un campo eléctrico, serán en sentidos contrarios, dando lugar a corrientes que se suman.

En un semiconductor intrínseco, esto es, si el Si ó Ge puros, el número de huecos es igual al número de electrones libres.

Llamando:

$n = n^\circ$ de electrones libres en BC / volumen = concentración de electrones

$p = n^\circ$ de huecos en BV / volumen = concentración de huecos

Se tiene:

$$n = p = n_i$$

Siendo n_i la concentración intrínseca, que como podemos suponer dependerá notablemente de la temperatura.

4.2. Semiconductor extrínseco. Tipo de impurezas.

Se les denomina extrínsecos a aquellos semiconductores, a los cuales se le han añadido impurezas, para aumentar su conductividad y rendimiento eléctrico. Estas impurezas, corresponden a elementos del grupo V (P, As, Sb) ó del grupo III (B, In, Ga).

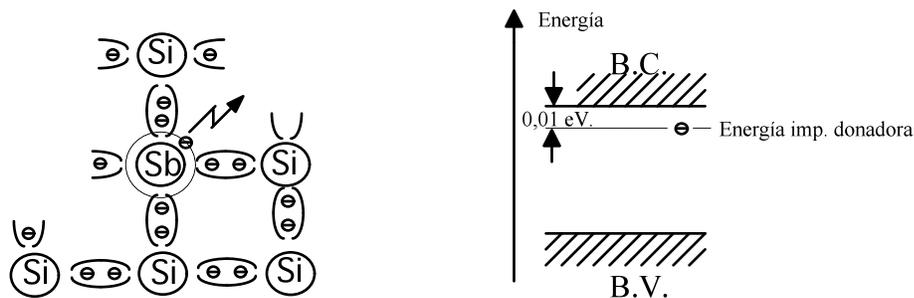


Fig. 4.6.

Los elementos del grupo V tienen 5 electrones en su última capa, y cuando son utilizados como impurezas o para dopar un material semiconductor, comparten cuatro electrones mediante enlace covalente con los correspondientes cuatro átomos que lo rodean en la estructura cristalina, y el electrón no compartido, se sitúa en una órbita

cuyo nivel de energía es muy próximo al de la BC, por lo que puede saltar fácilmente a ella y quedar libre para desplazarse por el cristal.

Como aportan electrones, se les denominan impurezas donadoras, y al semiconductor con estas impurezas extrínseco tipo n . En los semiconductores tipo n , la mayoría de los electrones provienen de átomos donadores, por lo que el número de huecos en BV es mucho menor que el número de electrones en la BC, esto es: $n \gg p$.

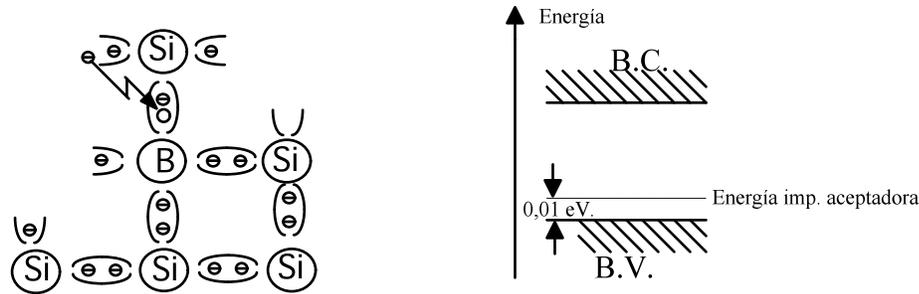


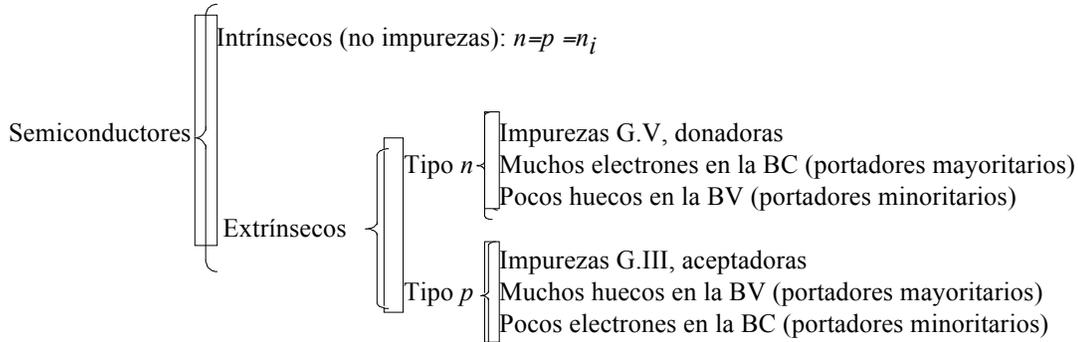
Fig. 4.7.

Los elementos del grupo III poseen tres electrones en su última capa, y cuando se utilizan para dopar un material semiconductor, los comparten mediante enlace covalente con tres de los cuatro átomos que los rodean en la estructura cristalina, y con el cuarto se forma un enlace covalente incompleto creándose un nivel de energía *huevo* muy cerca de la BV, por lo que puede captar fácilmente electrones de enlaces covalentes próximos, generando un huevo (nivel libre) dentro de la BV que puede desplazarse en su interior.

A estas impurezas, se las denominan aceptadoras, por que originan niveles aceptadores o captadores de electrones, y al semiconductor dopado con estas impurezas extrínseco tipo p .

En los semiconductores tipo p , habrá muy pocos electrones en la BC, porque la mayoría serán captados por el nivel aceptador, por lo que: $p \gg n$.

Resumen:



Ley de acción de masas: Al añadir impurezas a un semiconductor intrínseco varían los niveles de n y p (concentraciones de electrones libres y huecos). Se demuestra mediante densidades de corriente J_n y J_p , que:

$$n \times p = n_i^2 \quad (\text{ley de acción de masas})$$

Densidad de carga: Sea N_D la concentración de átomos donadores, suponiendo todos ionizados tendríamos una densidad de cargas positivas total de $N_D + p$. Del mismo modo, si N_A es la densidad de átomos aceptadores, la densidad de cargas negativas total, es: $N_A + n$.

Dado que el semiconductor es neutro: $N_D + p = N_A + n$

Si suponemos un material tipo n con $N_A = 0$, como $n \gg p \Rightarrow n \approx N_D$, o sea, en un semiconductor extrínseco la concentración de electrones libres es aproximadamente igual a la de impurezas donadoras. Entonces:

$$p = \frac{n_i^2}{N_D}$$

En un material de tipo p : $p \gg n \Rightarrow p \approx N_A$, de donde:

$$n = \frac{n_i^2}{N_A}$$

4.3. Corrientes en un semiconductor.

La corriente en un semiconductor, es debida al desplazamiento de electrones a través de la banda de conducción y al de los huecos por la banda de valencia.

De los diferentes fenómenos que dan lugar a corriente en un semiconductor, los más importantes son, los de *arrastre* y *difusión*.

Corriente de arrastre: El efecto de arrastre es análogo al que se produce en los metales, está motivado por el campo eléctrico aplicado, debido al cual los electrones libres de la BC y los huecos en la BV se mueven en sentidos opuestos, dando lugar a una corriente en el mismo sentido suma de ambos.

En ausencia de campo eléctrico aplicado, no existe corriente de arrastre.

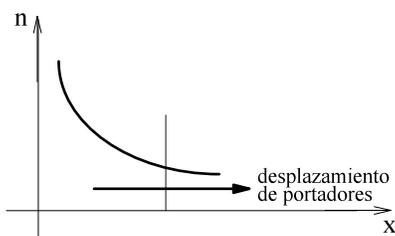


Fig. 4.8.

Corriente de difusión: El efecto de difusión se produce cuando la concentración de portadores no es uniforme a lo largo del semiconductor, o lo que es lo mismo, existe un gradiente de concentración de portadores con la distancia, produciéndose un desplazamiento de portadores que trata de establecer el equilibrio (igualar la concentración en la totalidad del volumen). Este desplazamiento de portadores daría lugar a un transporte neto de carga a través de una superficie y por tanto a una corriente de difusión.

La corriente total en un semiconductor es el resultado de ambos efectos: desplazamiento por campo eléctrico o diferencia de potencial y difusión por gradiente de concentración.

En un semiconductor en circuito abierto con gradiente de concentración, se producirá un corriente de difusión que daría lugar a iones, concentración de carga y consecuentemente un campo eléctrico que daría lugar a una corriente de arrastre, que en el equilibrio anularía la de difusión, dando lugar a una corriente total nula, esto es, en el equilibrio la tendencia a la difusión se compensa con la tendencia al arrastre.

4.4. Unión *p-n* en circuito abierto.

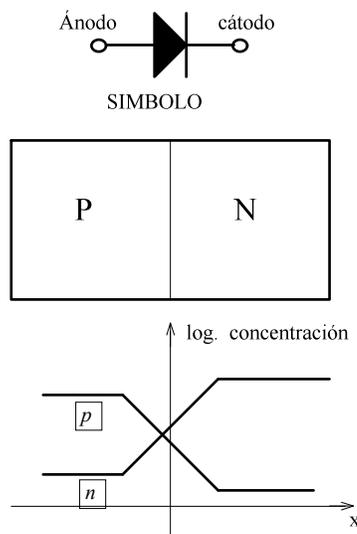


Fig. 4.9

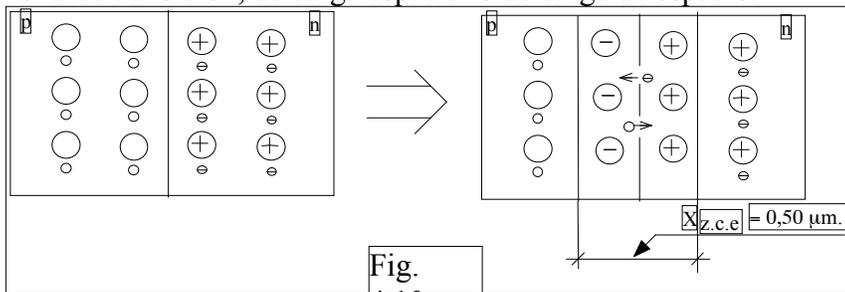
Se forma una unión *p-n*, cuando en un mismo cristal semiconductor, se difunden impurezas donadoras por un extremo y aceptadoras por el otro.

En las cercanías de la unión, se produce un fuerte gradiente de concentración, debido a que los portadores que a un lado de unión son mayoritarios, pasan a ser minoritarios en la otra y viceversa.

Debido al gradiente de concentración, los electrones mayoritarios de la región *n* se difundirán sobre la región *p* y los huecos mayoritarios de la región *p* a la inversa, lo que dará lugar a la aparición de iones sin neutralizar por cargas móviles a ambos lados de la unión (Fig. 4.10). Estas cargas fijas sin neutralizar, forman un

campo eléctrico que va aumentando según van pasando portadores de un lado al otro de la unión. El campo eléctrico así originado se opone al paso de cargas móviles, llegándose al **equilibrio cuando la tendencia a la difusión se contrarresta por el efecto de arrastre** a que da lugar dicho campo.

A la zona en que no hay portadores móviles, pero si iones fijos, se le denomina zona de transición, de carga espacial o de carga de espacio.



Asociado al campo eléctrico de la zona de transición, aparece el potencial de contacto o barrera de potencial: $V_o = -\int \vec{E} \times d\vec{x}$.

Fuera de la zona de transición el campo eléctrico es nulo.