

## SEMICONDUCTORES (parte 2)

### Estructura del Silicio y del Germanio

El átomo de Silicio (Si) contiene 14 electrones dispuestos de la siguiente forma: 2 electrones en la primer capa (capa completa), 8 electrones en la segunda capa (capa completa) y 4 electrones en la tercer capa o externa (capa incompleta).

El átomo de Germanio (Ge) contiene 32 electrones dispuestos de la siguiente forma: 2 electrones en la primer capa (capa completa), 8 electrones en la segunda capa (capa completa), 18 electrones en la tercer capa (capa completa), 4 electrones en la cuarta capa o externa (capa incompleta).

El Germanio y el Silicio tienen cuatro electrones en su capa exterior, por lo tanto un átomo de estos elementos puede combinarse con otros cuatro átomos iguales compartiendo un par de electrones con cada uno de ellos, completando así los 8 electrones de la capa exterior y adquiriendo así una configuración estable.

Los átomos de Silicio o de Germanio, ligados entre sí de esta forma, conforman una red de cubos denominados “**cristales elementales**” que comparten los cuatro electrones de los vértices comunes, dando lugar a la formación del cristal de Silicio o de Germanio.

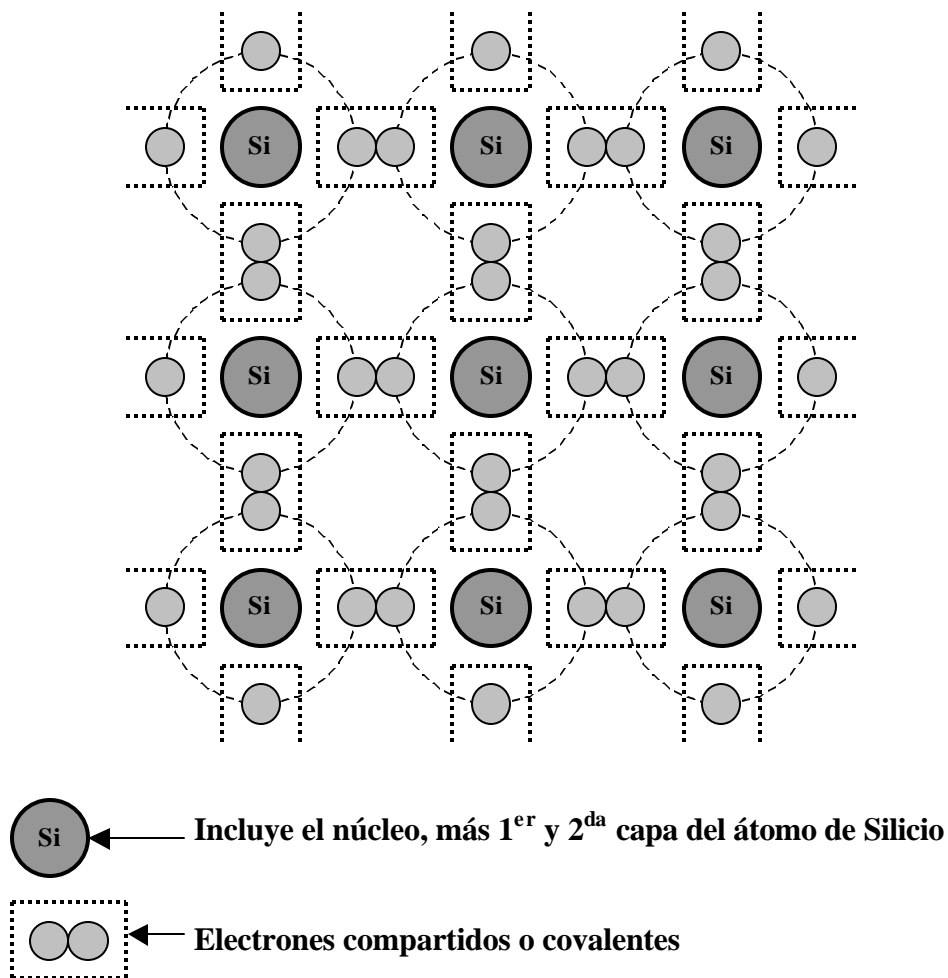


Fig. 6 – Estructura reticular cristalina de Silicio

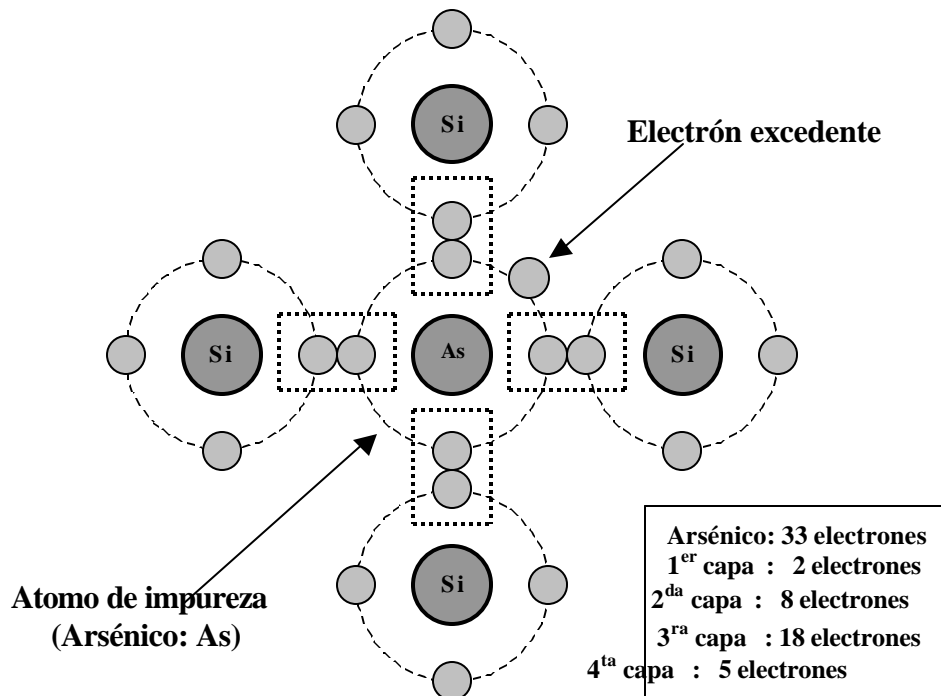
La estructura tal como se observa en **Fig. 6** no tiene electrones débilmente unidos al núcleo, por lo tanto el elemento conforma un mal conductor. Para poder separar las ligaduras covalentes y proveer así electrones libres para la conducción de corriente eléctrica, sería necesario aplicar altas temperaturas o campos eléctricos intensos al material.

**Otra manera de alterar la estructura cristalina y obtener así electrones libres, consiste en agregar pequeñas cantidades de otros elementos que tengan una estructura atómica diferente.**

**Mediante el agregado de cantidades muy pequeñas de otros elementos, llamados “Impurezas”, es posible modificar y controlar las propiedades eléctricas básicas de los materiales semiconductores. La relación entre “Impurezas” y material semiconductor es del orden de *una parte en diez millones*.**

Cuando se agrega al material semiconductor el elemento de “impureza”, lo átomos de este elemento se incorporan a la estructura reticular del semiconductor pasando a formar parte de la misma.

Si el átomo de impureza contiene un electrón más de valencia en su capa exterior (5 electrones) que el átomo del semiconductor (4 electrones), este electrón adicional no podrá formar una ligadura covalente debido a que no encontrará un electrón de valencia libre adyacente (**Fig. 7**). El electrón excedente es atraído débilmente por el núcleo del átomo y solo requiere una ligera excitación para separarse, en consecuencia la presencia de tales electrones excedentes hacen al material mejor conductor, es decir su resistencia a la circulación de corriente eléctrica disminuye.



**Fig. 7 – Material tipo N**

Los elementos de impureza más utilizados que se agregan a los cristales de silicio para proveer los electrones excedentes incluyen al **Fósforo (P)**, el **Arsénico (As)** y el **Antimonio (Sb)**.

Cuando se agregan al silicio estos elementos, el material resultante es denominado “Tipo N” debido a que los electrones libres excedentes tienen carga negativa. Debe hacerse notar, sin embargo, que la carga negativa de estos electrones se equilibra con una carga positiva equivalente situada en el núcleo de los átomos de impureza, por lo tanto el material sigue siendo neutro eléctricamente.

Se produce un efecto diferente cuando en la estructura cristalina del silicio se introduce impurezas cuyos átomos tienen un electrón de valencia menos en su capa exterior (3 electrones) que el átomo de silicio (4 electrones).

Aunque todos los electrones de valencia del átomo de impureza forman ligaduras covalentes con los electrones de los átomos vecinos del semiconductor, una de las ligaduras de la estructura cristalina no puede completarse debido a que al átomo de impureza le falta un electrón de valencia en su capa externa con respecto a los que poseen los átomos del semiconductor. Como consecuencia de ello aparece en la estructura reticular del cristal un vacío denominado “Laguna” (Fig. 8).

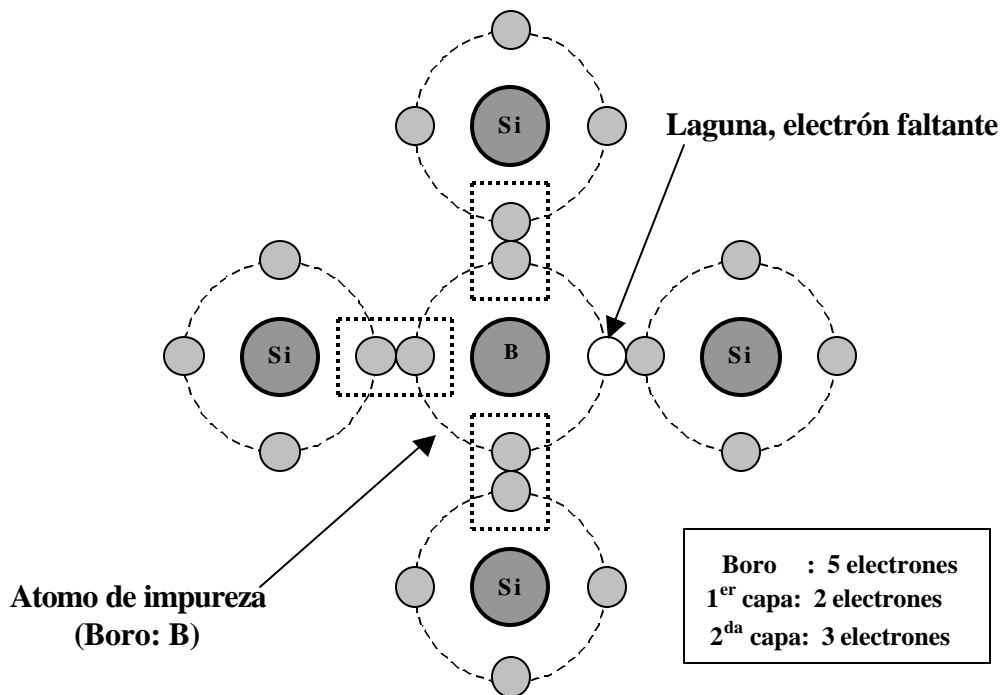


Fig. 8 – Material tipo P

Al quedar conformada así la estructura reticular del cristal, cualquier electrón de las ligaduras covalentes adyacentes puede entonces absorber suficiente energía como para romper su ligadura y moverse a través de la red para llenar la laguna.

Al igual que en el caso de los electrones excedentes, la presencia de lagunas dentro de la estructura, favorece la circulación de electrones en el material del semiconductor, en consecuencia la conductividad aumenta y la resistividad disminuye.

Se considera que el lugar vacío o laguna en la estructura cristalina tiene una carga eléctrica positiva, porque representa la falta de un electrón. Sin embargo en este caso también la carga neta del cristal permanece invariable o sea neutra.

El material semiconductor que contiene lagunas o cargas positivas es denominado material “Tipo P”.

Los materiales tipo P se forman agregando al silicio elementos como el Boro (B), Galio (Ga), Indio (In), Aluminio (Al).

“Aunque existe poca diferencia en la composición química de los materiales Tipo N y Tipo P, las diferencias en las características eléctricas de los dos tipos de elementos son sustanciales y resultan muy importantes en el funcionamiento de los dispositivos semiconductores”.

### Junturas P - N

Cuando se unen dos pastillas de materiales semiconductores, una **Tipo N** y otra **Tipo P**, tal como se muestra en la **Fig. 9**, se produce un fenómeno singular pero muy importante en la zona en la que se ponen en contacto los dos materiales, denominada “**Juntura P-N**”.

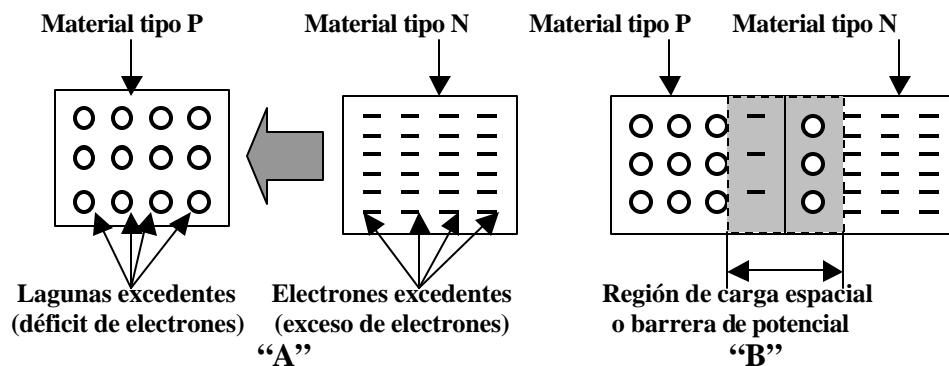


Fig. 9

Cuando se forma una juntura **P-N**, algunos de los electrones libres del material **Tipo N** se difunden a través de la juntura hacia el material **Tipo P**, combinándose con las lagunas de este material. Estos electrones al abandonar el material N dejan huecos o lagunas en él, de modo que si observamos la **Fig. 9 "B"** se podría interpretar que los electrones se mueven del material N al P y las lagunas del P al N. La energía térmica es la que produce esta llamada “**Corriente de Difusión**”.

Como resultado del proceso de difusión, se produce una **Diferencia de Potencial a través de la Región de Carga Espacial**. Esta diferencia de potencial puede representarse, tal como se muestra en la **Fig. 10**, como una batería imaginaria conectada a través de la juntura P-N.

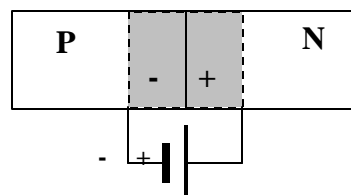


Fig. 10

El símbolo de batería se utiliza simplemente para ilustrar los efectos eléctricos internos de la juntura, el potencial que representa por supuesto no es mensurable directamente. Esta diferencia de potencial forma una barrera denominada “**Barrera de Energía**” la cual impide que se sigan difundiendo electrones a través de juntura. En efecto, los electrones del material **Tipo N** que tienden a seguir difundiendo a través de la juntura son repelidos por la carga negativa inducida en el material **Tipo P**, mientras que las lagunas del material **Tipo P** son repelidas por la carga positiva inducida en el material **Tipo N**. Esta diferencia de potencial o barrera de energía impide por lo tanto una interacción total entre los dos tipos de materiales, preservando así las diferencias en sus características.

### Circulación de corriente a través de una juntura P-N

Cuando se conecta una batería a una juntura P-N, la intensidad de corriente que circulará por la juntura será dependiente del nivel de tensión aplicada y de la polaridad con que se conecte la batería a la juntura.

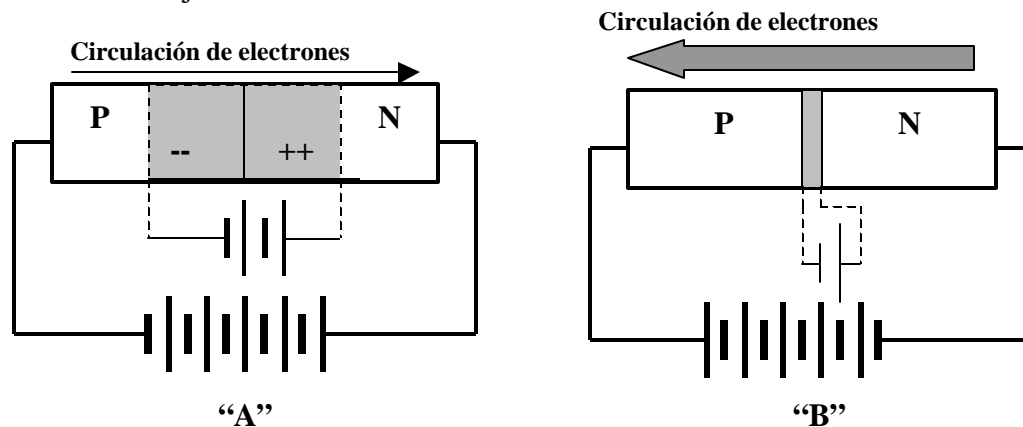


Fig. 11

En el circuito eléctrico representado en la **Fig. 11 “A”** el **Terminal Positivo** de la batería externa ha sido conectado al **Semiconductor N** y el **Terminal Negativo** al **Semiconductor P**. Con esta disposición de polarización de la **Juntura P-N**, los electrones libres del material semiconductor **Tipo N** son atraídos por el **Electrodo Positivo** de la batería, alejándose de la juntura. Al mismo tiempo, las lagunas del material semiconductor **Tipo P** son atraídas por el **Electrodo Negativo** de la batería, alejándose también de la juntura.

Como resultado de las condiciones descritas en el párrafo anterior, la **región de carga espacial en la juntura** se ensancha y la **diferencia de potencial que representa llega casi al nivel de la tensión de la batería externa**.

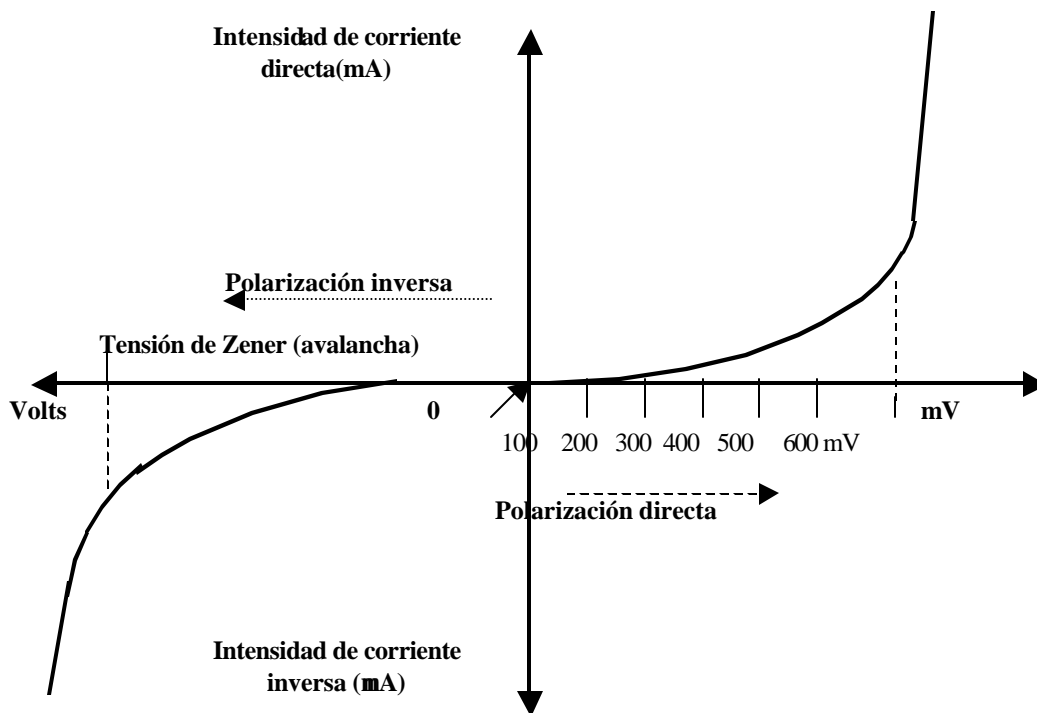
La circulación de corriente a través de la juntura es extremadamente pequeña, si se produce.

**“Una juntura P-N, alimentada por una fuente de Corriente Continua de esta manera, se dice que está Polarizada Inversamente”.**

En el circuito eléctrico representado en la **Fig. 11 “B”**, se han invertido las conexiones de la batería externa, estando ahora su **Electrodo Positivo** conectado al semiconductor **Tipo P** y su **Electrodo Negativo** al semiconductor **Tipo N**. Con esta disposición de polarización de la juntura **P-N**, los electrones del material **Tipo P** cercanos al **Electrodo Positivo** de la batería rompen sus ligaduras covalentes y entran a la batería, creando en el material nuevas lagunas. Al mismo tiempo los electrones libres del material **Tipo N** son repelidos por el **Electrodo Negativo** de la batería moviéndose hacia la juntura, al desplazarse van creando nuevos espacios o lagunas que son ocupados por nuevos electrones que ingresan al material desde el **Electrodo Negativo** de la batería.

Toda esta acción da como resultado un estrechamiento de la carga espacial de modo que los electrones comienzan a difundirse rápidamente a través de la juntura dirigiéndose hacia el electrodo positivo de la batería, al combinarse con las lagunas del material **P**. Esta circulación electrónica continuará mientras se mantenga conectada la fuente de alimentación externa.

“Una juntura **P-N** alimentada por una batería externa tal como se muestra en la **Fig. 11 “B”**, se dice que está **Polarizada Directamente**”.



**Fig. 12 - Curva característica Tensión de Polarización vs. Corriente de una juntura P-N**

En la **Fig. 12** se ha representado una curva generalizada para una **Juntura P-N** de la **tensión de polarización de la juntura Vs. la intensidad de corriente circulante por la misma**, observe que se han contemplado los casos de **polarización directa e inversa**.

En la **región de polarización directa** (cuadrante superior derecho), se puede ver que la intensidad de corriente circulante por la juntura, aumenta inicialmente lentamente a medida que aumenta la tensión aplicada a la juntura, es decir, partiendo desde tensión cero y prácticamente hasta llegar a los 500 mV a 600 mV, cada variación de 100 mV producen un aumento en la intensidad de corriente de unos pocos mA, cruzando el umbral de la **Barrera de Energía o de Potencial que impone la juntura (alrededor de 600mV)**, la intensidad de corriente aumenta rápidamente de modo que para variaciones de la tensión de polarización de unos pocos mV la intensidad de corriente aumenta en forma importante.

En la **región de polarización inversa** (cuadrante inferior izquierdo), observe que para variaciones de varios volts de la tensión aplicada la intensidad de corriente sufre escasas variaciones y está dentro del orden de los microAmpar ( $\mu A$ ). El nivel de dicha tensión podrá ser siendo aumentada (dependiendo del diodo utilizado) hasta un cierto nivel, después del cual se producirá un efecto de avalancha en la juntura que producirá un brusco aumento de la intensidad de corriente inversa que si no es limitada producirá la destrucción instantánea de la juntura. **Dicho nivel de tensión es denominado Tensión de Zener.**

## **Diodos**

El dispositivo de estado sólido más simple es el **Diodo**, el cual se representa por el símbolo mostrado en la **Fig. 13**.

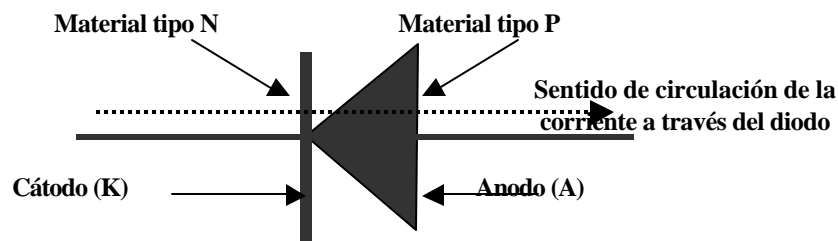


Fig. 13 - Diodo

La estructura básica del Diodo es una juntura P-N, similar a la descrita anteriormente.

- El material tipo N es denominado Cátodo del Diodo y es simbolizado por la letra K.
- El material tipo P es denominado Ánodo del Diodo y es simbolizado por la letra P.

El sentido de la flecha utilizada para simbolizar el ánodo del diodo, representa el sentido de circulación de **Corriente Convencional** a través del diodo.

El sentido de circulación de corriente electrónica a través del diodo (sentido de circulación real de la corriente eléctrica) es contrario a la flecha, es decir, de “Cátodo” a “Ánodo” (negativo a positivo).