

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

SENA

CENTRO METALMECANICO



**CURSO VIRTUAL
ELECTRONICA BASICA**

MATERIAL DE APOYO

TEMA 1

LOS SEMICONDUCTORES

Material de Apoyo

Introducción

En este modulo estudiaremos los materiales Semiconductores. Estos, que no son ni conductores ni aislantes, tienen electrones libres, pero lo que les caracteriza especialmente son los huecos. Gracias a estos elementos la electrónica se pudo desarrollar a pasos agigantados y se logro la miniaturización de los dispositivos electrónicos, bienvenidos a este fascinante mundo.

Los objetivos de este tema son:

- Conocer las características de los semiconductores.
- Ser capaz de describir la estructura de un cristal de Silicio.
- Saber cuales son y como se comportan los dos tipos de portadores y sus impurezas.
- Ser capaz de explicar las condiciones que se dan en la unión **pn** sin polarizar, polarizada en directa y polarizada en inversa.

GENERALIDADES

En los últimos años las investigaciones realizadas por un gran número de científicos, sobre el comportamiento al paso de la corriente eléctrica en los materiales llamados semiconductores, han dado por resultado una serie de descubrimientos y adelantos de tal naturaleza que su desenlace es casi imposible prever.

Desde que apareció la primera aplicación en 1915 con el detector de galena, hasta 1939-40, se puede decir que fue un periodo de incertidumbre, luego en 1948, apareció el transistor de puntas; en 1950 el transistor de Shockley; en 1953 el diodo de túnel; en 1958 el tecnetrón, y en 1960 los circuitos integrados, etc. .

Quizá ninguna técnica ha hecho tan rápidos progresos como la de los semiconductores, los cuales son capaces de representar los mismos papeles que los tubos de vacío, pero con numerosas ventajas.

Los varios congresos científicos han contribuido a mejorar la colaboración internacional, dirigida al estudio teórico de los semiconductores, en que han participado 1.300 representantes de 22 países, habiéndose fijado las directrices de los esfuerzos comunes.

El más conocido de estos elementos es el transistor que, sin embargo, no es más que un brillante representante de un grupo vastísimo.

En gran parte, estos progresos han sido posibles por las pacientes investigaciones para encontrar nuevos métodos de purificación de los materiales, llegando a purzas jamás logradas, del orden de diez mil millones de átomos del cuerpo investigado, por un átomo solamente de impureza.

Por medio de los métodos químicos y físicos habituales es imposible descubrir estos residuos tan nimios de impurezas. Ha sido necesario idear nuevos procedimientos de análisis basados en los **fenómenos eléctrico-magnéticos, foto magneto-eléctricos, etc.**

Antes de 1940, los fenómenos que se desarrollaban en los semiconductores eran, desde muchos puntos de vista, bastante misteriosos. La conductibilidad eléctrica de estos cuerpos, siendo notablemente inferior a la de los metales, no era suficientemente alta para considerarlos como aislantes; además, en muchos casos aumentaba rápidamente la conductibilidad con la temperatura, lo que constituía un fenómeno desconocido en los metales.

Actualmente, en el vasto campo de los semiconductores se emplean mezclas de óxidos de metales: cobre, uranio, manganeso, níquel, cobalto, hierro, etc., según sea su aplicación y el fenómeno que se desee utilizar, pues en unos su resistencia eléctrica varía con el calor, en otros con el potencial eléctrico empleado, en otros aún con la luz o con la cantidad de flujo magnético a que estén sometidos. También son muy empleados el selenio, el silicio, el germanio, etc., y ahora empiezan a emplearse combinaciones como antimonio de indio, seleniuro de cadmio, sulfuro de plomo, etc. Igualmente se utilizan mezclas de óxidos tales como el óxido ferroso-férrico o magnetita y combinaciones oxigenadas de titanio, Magnesio, Cromo, Circonio, etc. El Titanato de cinc y el Aluminato de Magnesio, etc. , se emplean principalmente para la fabricación de los llamados *termistores*, cuyo nombre deriva de la contracción del término inglés thermal-resistor (resistencia térmica) o resistencias NTC (Negative Temperature Coefficient).

Antes de seguir conociendo la gran variedad de semiconductores, comenzaremos destacando:

En el año 1947 un grupo de científicos de los Laboratorios BELL, John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain, descubrieron uno de los primeros Semiconductores que podría reemplazar al tubo, y ese sería el diodo hecho de germanio (ubicado en la tabla periódica dentro del grupo de los Metaloides), que teniendo una cierta cantidad de impurezas podría trabajar como rectificador.

ESTRUCTURA ATOMICA DE LOS SEMICONDUCTORES

El elemento semiconductor más usado es el silicio, seguido del germanio. Aunque idéntico comportamiento presentan las combinaciones de elementos de los grupos II y III con los de los grupos VI y V respectivamente (Cadmio, Aluminio, Galio, Boro, Indio, Silicio, Germanio, Fósforo, Arsénico, Antimonio, Selenio, Teluro, y Azufre).

La característica común a todos ellos es que son tetravalentes, (tienen 4 electrones en su última capa de valencia). Los elementos químicos semiconductores de la tabla periódica se indican en la tabla siguiente.

| Elemento | Grupo | Electrones en la última capa |
|--|-------|------------------------------|
| Cd | II A | 2 e ⁻ |
| Al , Ga , B , In | III A | 3 e ⁻ |
| Si , Ge | IV A | 4 e ⁻ |
| P , As , Sb | V A | 5 e ⁻ |
| Se , Te , S | VI A | 6 e ⁻ |

Bandas de energía.

los electrones orbitan en una determinada capa, dependiendo de su energía. Esto da lugar a definir unos nuevos conceptos, que se llaman bandas de energía que son las zonas, en las que los electrones tienen una misma energía.

Banda saturada: Es la zona más próxima al núcleo que, como se sabe, contiene el número máximo de electrones admisibles.

Banda de valencia: Son las zonas en las que los electrones son semilibres (recuérdese que en el enlace covalente, los electrones orbitan alrededor de los dos átomos).

Banda de conducción: Pero, en general, no todos los electrones de la banda de valencia pueden moverse por el cuerpo, así que se define una nueva banda que se llama de conducción y es por la que circulan los electrones que tienen suficiente energía para ello.

Bandas prohibidas: Entre las diferentes bandas existen unas zonas en las cuales no hay ningún electrón (téngase en cuenta que los electrones se situaban en capas correspondientes a niveles cuánticos enteros de energía). A estas zonas se les llama bandas prohibidas.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CRISTAL

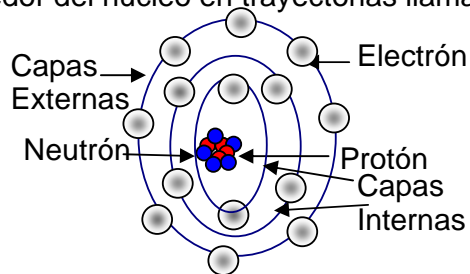
Para que la conducción de la electricidad sea posible es necesario que haya electrones en la capa de conducción, así podemos considerar tres situaciones.

Los metales, en los que ambas bandas de energía se superponen, son conductores.

Los aislantes, en los que la diferencia existente entre las bandas de energía, del orden de 6 eV impide, en condiciones normales el salto de los electrones.

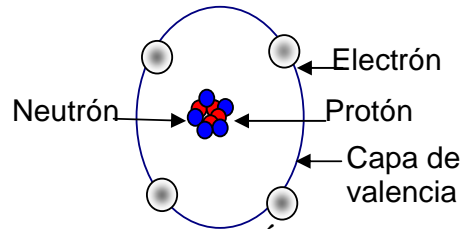
Los semiconductores, en los que el salto de energía es pequeño, del orden de 1 eV, por lo que suministrando energía pueden conducir la electricidad; pero además, su conductividad puede regularse, puesto que bastará disminuir la energía aportada para que sea menor el número de electrones que salte a la banda de conducción; cosa que no puede hacerse con los metales, cuya conductividad es constante, o más propiamente, poco variable con la temperatura.

La figura siguiente es una representación de un átomo de silicio. El silicio es un material semiconductor que se emplea en la fabricación de muchos dispositivos semiconductores electrónicos. El átomo de silicio tiene 14 protones, 14 neutrones, y 14 electrones. Los electrones circulan alrededor del núcleo en trayectorias llamadas anillos o capas



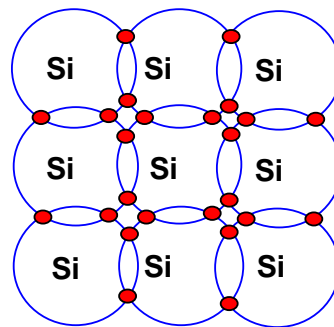
Átomo Neutro de Silicio

El anillo externo se llama anillo o capa de valencia; es la única capa que se toma en cuenta desde el punto de vista de la electrónica. El átomo de silicio tiene 4 electrones en su capa de valencia, como se indica en la figura posterior.



Capa de Valencia de un Átomo de Silicio

A continuación se muestran las capas de valencia de un número de átomo de silicio que están unidos para formar un pedazo de material de silicio. El átomo en el centro del grupo ilustra lo que ocurre cuando se unen átomos de silicio. La capa de valencia de ese átomo tiene 8 electrones en vez de los 4 electrones que se encuentran en la capa de valencia de un solo átomo de silicio. Cuando se juntan átomos de silicio, cada átomo comparte sus electrones con otros átomos. Cada uno de los 8 electrones es compartido por dos átomos. Los átomos que comparten electrones de esta forma están unidos y la unión se llama unión covalente. En las uniones covalentes, cada átomo tiene 8 electrones en su capa de valencia.



Átomos De Silicio Unidos

La unión covalente mantiene a los átomos juntos. Algunos materiales sólidos, tales como el silicio, se forman por un gran número de átomos que están unidos por el comportamiento de electrones en sus capas de valencia.

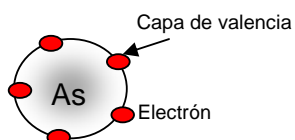
EL SILICIO EN LOS DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

Como se ha dicho, un átomo neutro de silicio, por si solo, tiene 4 electrones en su capa de valencia. Cuando se une un número de átomos de silicio, cada átomo tiene 8 electrones en su capa de valencia. Una unión que resulta en unos átomos con 8 electrones en sus capas de valencia se denomina unión perfecta. La unión perfecta es muy difícil de romper por que los electrones están fuertemente asegurados a sus órbitas.

Como los electrones en el material de silicio puro están muy adheridos a sus órbitas, es difícil que la corriente circule a través del material. El material de silicio puro no conduce la corriente muy bien, de manera que antes de emplearlo en dispositivos semiconductores, se tiene que mejorar su conductividad.

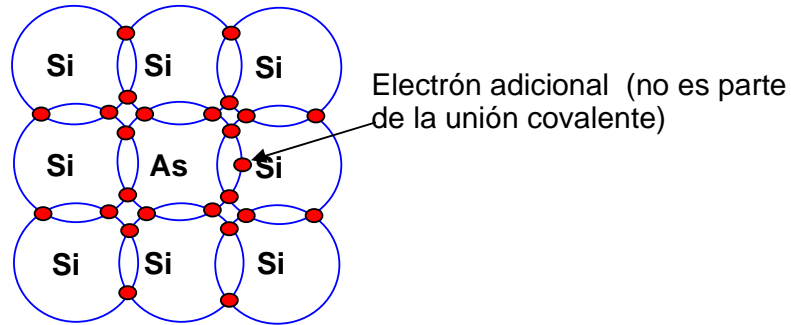
La conductividad del material de silicio puede mejorarse si se añaden átomos de otro material. Frecuentemente se añaden átomos de Arsénico o Fósforo al material de silicio para cambiar sus características y mejorar su conductividad.

La figura siguiente es una representación de la capa de valencia de un átomo de Arsénico.



Capa de valencia de un Átomo de Arsénico

El proceso de añadir átomos de otro material a un material de base se llama “dopado” o “Impurificación”. Cuando el material de base de silicio se adultera con átomos de arsénico, ocurre una unión covalente. Los cuatro átomos de silicio se tocan, el átomo de arsénico comparte sus electrones con el átomo de arsénico, y el átomo de arsénico comparte sus electrones con los átomos de silicio. Sin embargo, como el átomo de arsénico tiene 5 electrones en su capa de valencia, se queda con un electrón que no es parte de la unión covalente.

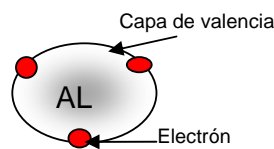


Silicio Adulterado con Arsénico

Como el electrón adicional del átomo de arsénico no es parte de la unión covalente, éste está muy ligeramente adherido al átomo de arsénico. Por lo tanto la corriente puede circular a través del material, porque ese electrón se separa con facilidad. En efecto, al añadir el átomo de arsénico se ha mejorado la conductividad del material de silicio.

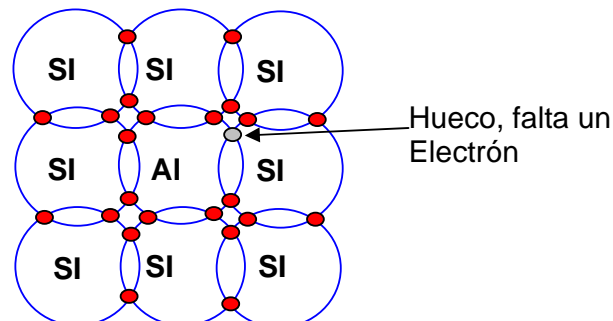
Un material que se ha adulterado para tener muchos electrones ligeramente unidos se llama un material “tipo N”. Este material tipo N tiene varios electrones libres, pero no tiene una carga negativa. En el ejemplo del silicio y arsénico, los átomos de silicio neutros y el átomo de arsénico es neutro, de manera que el material que se obtiene también es neutro. Los materiales tipo N son neutros aunque tienen varios electrones libres.

Otra manera de mejorar la conductividad del silicio consiste en adulterarlo con aluminio. A continuación vemos una representación de la capa de valencia de un átomo de aluminio, el cual tiene 3 electrones en su capa de valencia.



Capa De Valencia De Un Átomo De Aluminio

Cuando se adultera el material base de silicio con átomos de aluminio, se forma una unión covalente, en la cual los átomos de silicio y el átomo de aluminio comparten electrones.



Silicio Adulterado Con Aluminio

Sin embargo, en este caso el átomo de aluminio no tiene suficientes electrones Para compartir igualmente con los cuatros átomos de aluminio que no tiene un electrón. A esa área se le llama laguna o hueco. Al material que ha sido adulterado con átomos que le hacen tener un exceso de huecos se le llama material "tipo P." El material tipo P tiene falta de electrones pero no tiene una carga positiva. En el ejemplo del silicio y aluminio, los átomos de silicio son neutros y el átomo de aluminio es neutro. Los materiales tipos P son neutros, aunque tienen una falta de electrones.

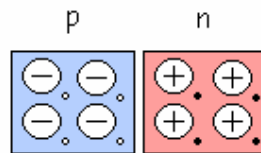
Para poder comprender como funcionan los dispositivos semiconductores, es necesario conocer el modo en que los niveles de energía controlan la acción de una unión PN.

Ahora se verá como se forma la barrera de potencial de 0.7 V en el diodo. Veremos 5 puntos:

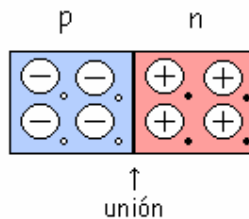
- Antes de la difusión
- Empieza la difusión y la recombinación
- Equilibrio
- Polarización Directa
- Polarización Inversa

Antes de la Difusión

Zona p y n antes de unirse:

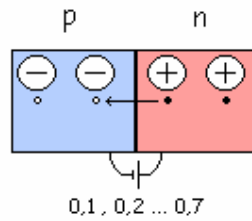


Instante inicial en que se juntan. Instante cero, todavía no ha habido difusión:



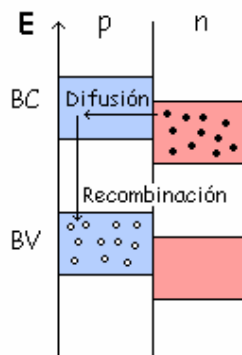
Empieza la Difusión y la Recombinación

Los electrones pasan de derecha a izquierda y se recombinan con los huecos.



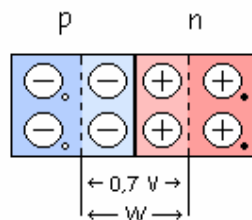
Cruzan y se recombinan los que están al lado de la unión. Se empieza a crear una diferencia de potencial entre una parte y otra, esta diferencia de potencial aumenta hasta que se establezca el equilibrio (Si a 0.7 V, Ge a 0.3 V).

En las Bandas de Energía ocurre lo siguiente: Un electrón va de n a p y luego en p baja de BC a BV. (BC = Banda de Conducción BV = Banda de Valencia)



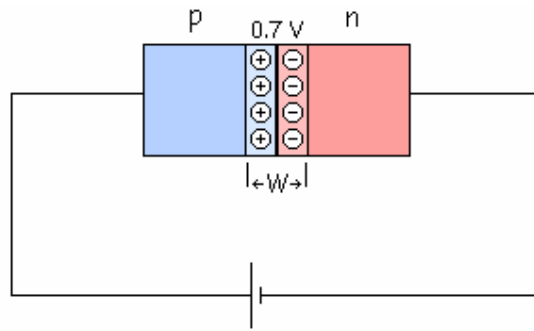
Al recombinarse, la energía que hay desde el nivel que tenía al que está el hueco al que ha saltado la tiene que saltar y la suelta en forma de calor (un diodo se suele calentar) o también en forma de radiación que puede ser visible (Led) o no.

Esto continúa hasta que se llega a 0.7 V y se llega al equilibrio.



Polarización Directa

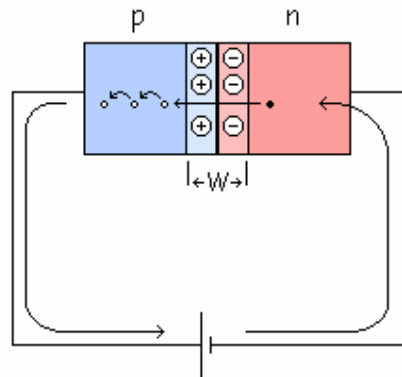
Ahora romperemos el equilibrio poniendo una pila.



La pila es una "Energía Externa" que hace subir los niveles de la zona n. Esta pila en directa elevará el nivel de energía de la zona n.

Suben las bandas de energía de la zona n y coinciden algunas con la de la zona p, y ya puede haber difusión y recombinación.

Entonces pasan los electrones, se recombinan, Ahora la pila obliga a los electrones a cruzar la zona W y va pegando saltos de hueco en hueco formando una malla cerrada.



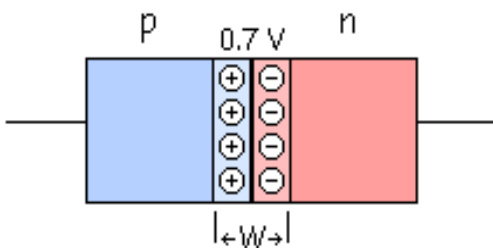
Algunos electrones puede que antes de cruzar bajen y se recombinen con el hueco, pero hay muchos más que se comportan de la otra manera.

Polarización Inversa

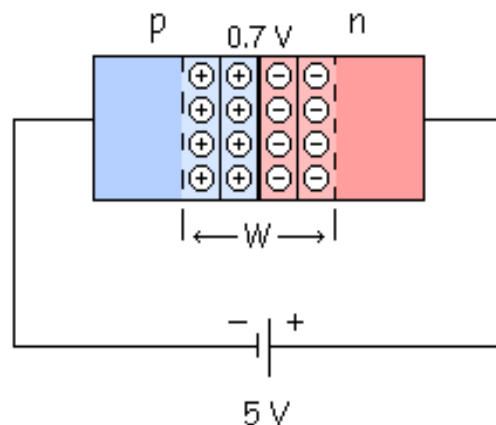
Otra forma de romper el equilibrio es con la Polarización Inversa, que se da poniendo la pila al revés que en el caso anterior.

Al poner la pila de esa forma aumenta el W porque la pila atrae a los huecos y los electrones. y se ensancha la W hasta igualarse la barrera de potencial al valor de la pila

En Equilibrio



En Polarización Inversa



externa. En este ejemplo se llegará al nuevo equilibrio al llegar esa barrera de potencial al valor de 5 V.

Bibliografía:

Material preparado por Ing. Martín E. Duran Instructor de electrónica y telecomunicaciones centro Metalmecánico SENA Regional Antioquía

Tomado del Curso de electrónica Básica por Internet Por: Autor: Andrés Aranzabal Olea

Director de proyecto: Carmelo Alonso González

e-mail de contacto: jtpalgoc@sb.ehu.es

Tomado del curso electrónica básica II por training systems M² LTD. (documento disponible en el sena)