

DEFINICION DE SEMICONDUCTOR

Los semiconductores son materiales cuya conductividad varía con la temperatura, pudiendo comportarse como conductores o como aislantes. Resulta que se desean variaciones de la conductividad no con la temperatura sino controlables eléctricamente por el hombre.

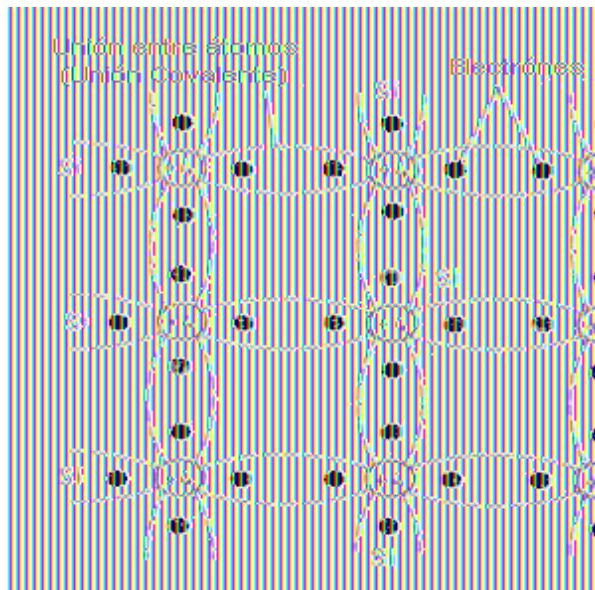
Para conseguir esto, se introducen átomos de otros elementos en el semiconductor. Estos átomos se llaman impurezas y tras su introducción, el material semiconductor presenta una conductividad controlable eléctricamente.

Existen dos tipos de impurezas, las P y las N, que cambian la conductividad del silicio y determinan el tipo de cristal a fabricar. Por tanto, como hay dos tipos de impurezas habrá dos tipos fundamentales de cristales, cristales de impurezas P y cristales de impurezas tipo N.

El material semiconductor más utilizado es el Silicio (Si), pero hay otros semiconductores como el Germanio (Ge) que también son usados en la fabricación de circuitos. El silicio está presente de manera natural en la arena por lo que se encuentra con abundancia en la naturaleza. Además, el Si presenta propiedades mecánicas y eléctricas buenas. Su purificación es relativamente sencilla (llegándose a Si puro del 99,99999%) y el Si se presta fácilmente a ser oxidado, formándose SiO_2 y constituyendo un aislante que se utiliza en todos los transistores de la tecnología CMOS.

CRISTAL DE SILICIO PURO

Se denomina semiconductor puro aquél en que los átomos que lo constituyen son todos del mismo tipo, es decir no tiene ninguna clase de impureza.

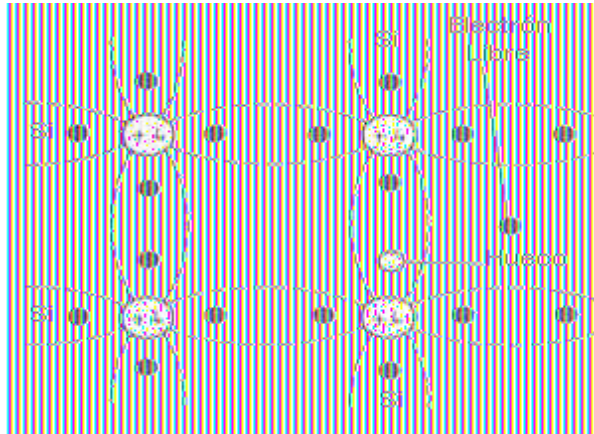


La disposición esquemática de los átomos para un semiconductor de silicio podemos observarla en la figura, Las regiones sombreadas representan la carga positiva neta de los núcleos y los puntos negros son los electrones, menos unidos a los mismos.

La fuerza que mantiene unidos a los átomos entre sí es el resultado del hecho de que los electrones de conducción de cada uno de ellos, son compartidos por los cuatro átomos vecinos.

A temperaturas bajas la estructura normal es la que se muestra en la figura en la cual no se observa ningún electrón ni hueco libre y por tanto el semiconductor se comporta como un aislante.

CONDUCCION DEL CRISTAL DE SILICIO PURO



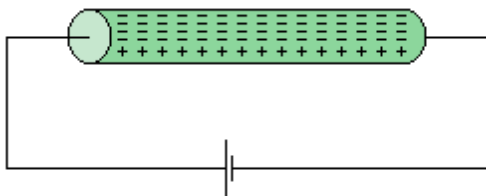
A la temperatura ambiente (20–25 grados C.) algunas de las fuertes uniones entre los átomos se rompen debido al calentamiento del semiconductor y como consecuencia de ello algunos de los electrones pasan a ser libres. En la figura siguiente se representa esta situación. La ausencia del electrón que pertenecía a la unión de dos átomos de silicio se representa por un círculo,

Cuando un electrón puede vencer la fuerza que le mantiene ligado al núcleo y por tanto abandona su posición, aparece un hueco, y le resulta relativamente fácil al electrón del átomo vecino dejar su lugar para llenar este hueco. Este electrón que deja su sitio para llenar un hueco, deja a su vez otro hueco en su posición inicial. De esta manera el hueco contribuye a la corriente lo mismo que el electrón, con una trayectoria de sentido opuesto a la de éste.

CRISTAL TIPO N. CONDUCCIÓN

Es el que está impurificado con impurezas "Donadoras", que son impurezas pentavalentes. Como los electrones superan a los huecos en un semiconductor tipo n, reciben el nombre de "portadores mayoritarios", mientras que a los huecos se les denomina "portadores minoritarios".

Al aplicar una tensión al semiconductor de la figura, los electrones libres dentro del semiconductor se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. Cuando un hueco llega al extremo derecho del cristal, uno de los electrones del circuito externo entra al semiconductor y se recombina con el hueco.



Los electrones libres de la figura circulan hacia el extremo izquierdo del cristal, donde entran al conductor y fluyen hacia el positivo de la batería. El número de electrones libres se llama n (electrones libres/m³).

$$N_D = \frac{\text{átomos de impurezas Donadoras}}{m^3}$$

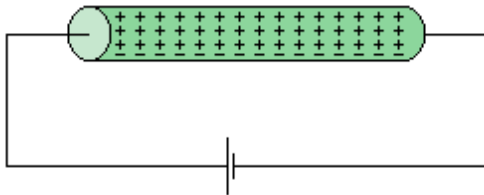
$$n = N_D + \text{electrones de generación térmica}$$

$$n \approx N_D$$

CRISTAL TIPO P. CONDUCCIÓN

Es el que está impurificado con impurezas "Aceptoras", que son impurezas trivalentes. Como el número de huecos supera el número de electrones libres, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones libres son los minoritarios.

Al aplicarse una tensión, los electrones libres se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. En la figura, los huecos que llegan al extremo derecho del cristal se recombinan con los electrones libres del circuito externo.



En el circuito hay también un flujo de portadores minoritarios. Los electrones libres dentro del semiconductor circulan de derecha a izquierda. Como hay muy pocos portadores minoritarios, su efecto es casi despreciable en este circuito. Hay tantos huecos como impurezas de valencia 3 y sigue habiendo huecos de generación térmica (muy pocos). El número de huecos se llama p (huecos/m³).

$$N_A = \frac{\text{átomos de impurezas Aceptoras}}{m^3}$$

$$p = N_A + \text{huecos de generación térmica}$$

$$p \approx N_A$$

UNIÓN PN. BARRERA DE POTENCIAL. DIODO

Supongamos que se dispone de un monocristal de silicio puro, dividido en dos zonas con una frontera nítida, definida por un plano. Una zona se dopa con impurezas de tipo P y la otra de tipo N. La zona P tiene un exceso de huecos, y se obtiene introduciendo átomos del grupo III en la red cristalina. La zona N dispone de electrones en exceso, procedentes de átomos del grupo V. En ambos casos se tienen también portadores de signo contrario, aunque en una concentración varios órdenes de magnitud inferior (portadores minoritarios).

En cada zona la carga total es neutra: por cada electrón hay un ion positivo, y por cada hueco un ion negativo, es decir, no existen distribuciones de carga neta, ni campos eléctricos internos.

El efecto es que los electrones y los huecos cercanos a la unión de las dos zonas la cruzan y se instalan en la zona contraria, es decir:

- Electrones de la zona N pasan a la zona P.
- Huecos de la zona P pasan a la zona N.

Este movimiento de portadores de carga tiene un doble efecto. Centrémonos en la región de la zona P cercana a la unión:

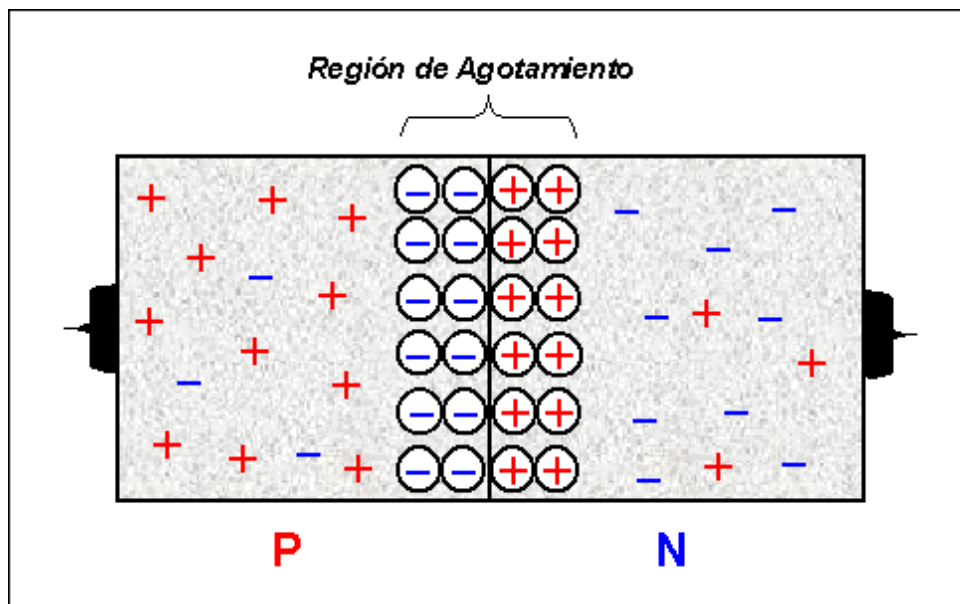
- El electrón que pasa la unión se recombina con un hueco. Aparece una carga negativa, ya que antes de que llegara el electrón la carga total era nula.
- Al pasar el hueco de la zona P a la zona N, provoca un defecto de carga positiva en la zona P, con lo que también aparece una carga negativa.

El mismo razonamiento, aunque con signos opuestos puede realizarse para la zona N. En consecuencia, a ambos lados de la unión se va creando una zona de carga, que es positiva en la zona N y negativa en la zona P

Zona P: Semiconductora, con una resistencia R_p

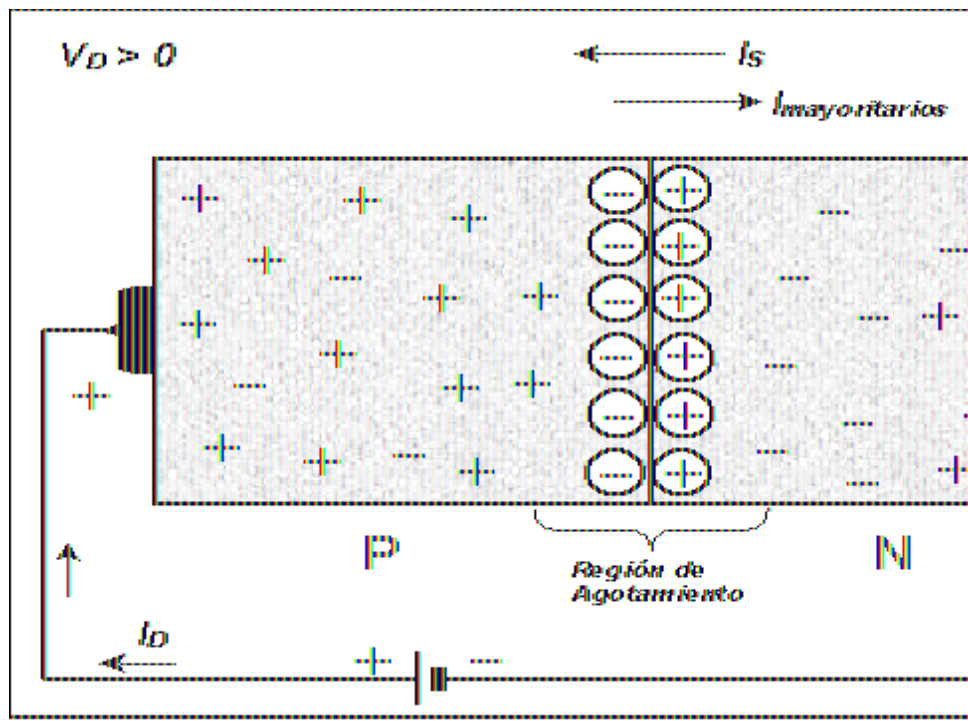
Zona N: Semiconductora, con una resistencia R_n

Zona de agotamiento: No es conductora, puesto que no posee portadores de carga libres. En ella actúa un campo eléctrico, o bien entre los extremos actúa una barrera de potencial.



Diferentes símbolos de los diodos

POLARIZACIÓN DIRECTA UNIÓN PN



El bloque PN en principio no permite el establecimiento de una corriente eléctrica entre sus terminales puesto que la zona de agotamiento no es conductora.

Sin embargo, si se aplica una tensión positiva en el ánodo, se generará un campo eléctrico que "empujará" los huecos hacia la unión, provocando un estrechamiento de la zona de agotamiento. Sin embargo, mientras ésta exista no será posible la conducción.

Si la tensión aplicada supera a la de barrera, desaparece la zona de agotamiento y el dispositivo conduce. De forma simplificada e ideal, lo que sucede es lo siguiente

- Electrones y huecos se dirigen a la unión.
- En la unión se recombinan.

En resumen, polarizar un diodo PN en *directa* es aplicar tensión positiva a la zona P y negativa a la zona N. Un diodo PN conduce en directa porque se inunda de cargas móviles la zona de agotamiento.

La tensión aplicada se emplea en:

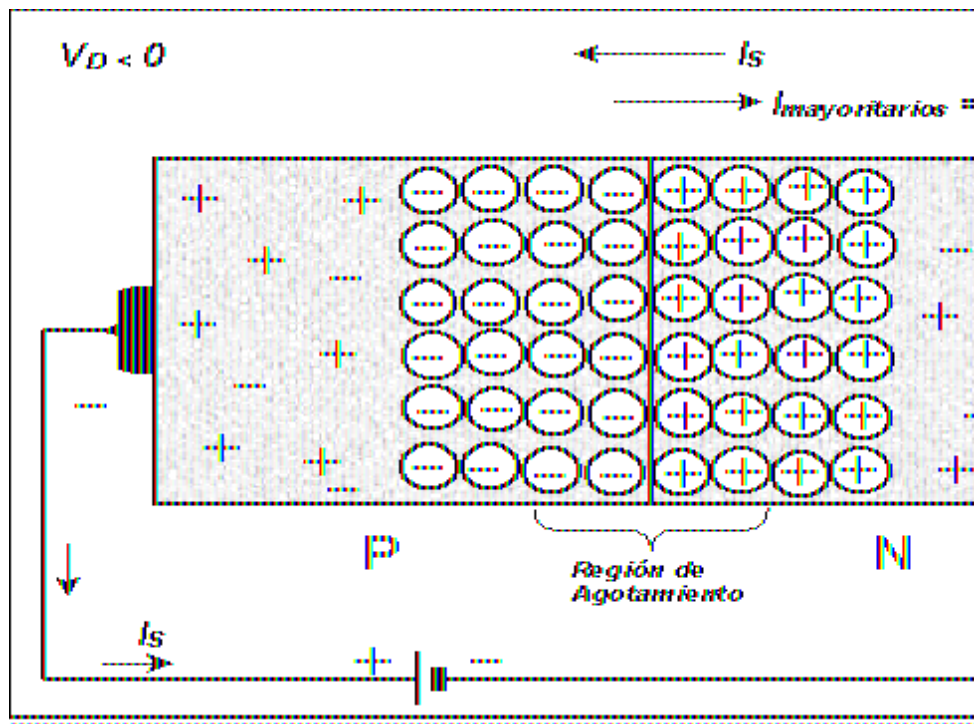
- Vencer la barrera de potencial.
- Mover los portadores de carga

POLARIZACIÓN INVERSA UNIÓN PN. CORRIENTE DE FUGA

Condición de Polarización Inversa ($V_d < 0$ V).

Bajo esta condición el número de iones positivos descubiertos en la región de agotamiento del material tipo N aumentará debido al mayor número de electrones libres arrastrados hacia el potencial positivo del voltaje aplicado. El número de iones negativos descubiertos en el material tipo P también aumentará debido a los electrones inyectados por la terminal negativa, las cuales ocuparán los huecos. El fenómeno explicado anteriormente, en ambos tipos de material N y P, provocará que la región de agotamiento se ensanche o crezca hasta establecer una barrera tan grande que los portadores mayoritarios no podrán superar, esto significa que

la corriente I_D del diodo será cero. Sin embargo, el número de portadores minoritarios que estarán entrando a la región de agotamiento no cambiará, ya que para ellos la unión esta polarizada en directo, creando por lo tanto la corriente I_S denominada corriente de saturación inversa o corriente de fuga.



El máximo potencial de polarización inversa que puede aplicarse antes de entrar en la región Zener se denomina Voltaje Pico Inverso.

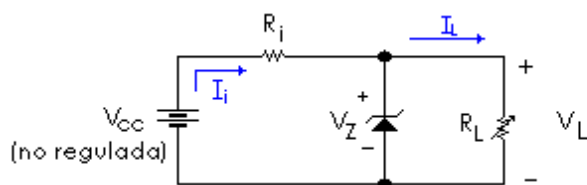
EFECTO ZENER. DIODO ZENER

Los diodos zener o diodos de avalancha, se diferencian de los demás diodos semiconductores por el comportamiento de la característica inversa, que presenta una región en la cuál la tensión es casi independiente de la corriente por el diodo. Esto lo hace muy útil en las aplicaciones en que se requiere una referencia de voltaje.

La tensión zener de cualquier diodo está controlada por la cantidad de dopado aplicada en el proceso de fabricación. Los normales varían entre 2 y 200 V con capacidades de disipación de potencia de hasta 100 W.

En la mayoría de las aplicaciones el diodo trabaja en la región inversa. Una aplicación típica es en la regulación de voltaje.

Funcionamiento:



Referencia: No. 4, p. 46.

Si la tensión de entrada aumenta, el diodo tiende a mantener una tensión constante entre los terminales de la carga, de modo que la caída de tensión en r_i aumenta. El incremento resultante de I_i circula a través del diodo, mientras que la corriente a través de la carga se mantiene constante.

Ahora supongamos que la tensión de entrada permanece constante, pero que la resistencia de carga disminuye. Esto requiere un incremento de la corriente por la carga. Esta corriente no puede proceder de la fuente ya que la caída en r_i y la corriente suministrada, no cambiarán mientras el diodo trabaje dentro de su zona de regulación. La corriente de carga adicional será debida a la disminución de la corriente a través del zener.

En la zona directa lo podemos considerar como un generador de tensión continua (tensión de codo). En la *zona de ruptura*, entre la tensión de codo y la tensión zener ($V_z \text{ nom}$) lo podemos considerar un circuito abierto. Cuando trabaja en la *zona de ruptura* se puede considerar como un generador de tensión de valor $V_f = -V_z$.

El zener se usa principalmente en la estabilidad de tensión trabajando en la *zona de ruptura*.

Podemos distinguir:

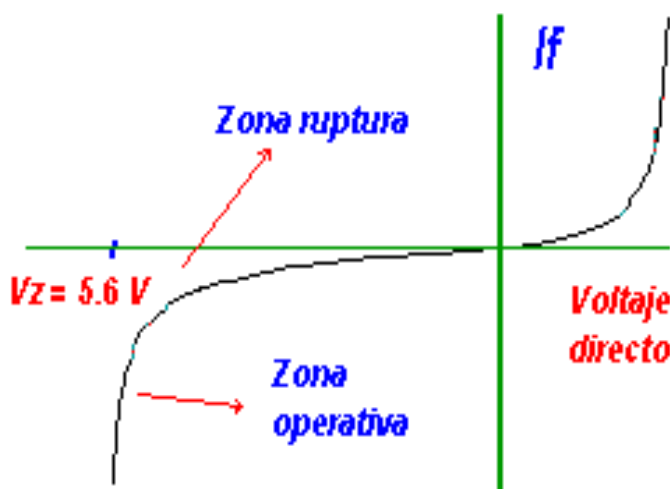
1. $V_z \text{ nom}$, V_z : Tensión nominal del zener (tensión en cuyo entorno trabaja adecuadamente el zener).
2. $I_z \text{ min}$: Mínima corriente inversa que tiene que atravesar al diodo a partir de la cual se garantiza el adecuado funcionamiento en la *zona de ruptura* ($V_z \text{ min}$).
3. $I_z \text{ max}$: Máxima corriente inversa que puede atravesar el diodo a partir de la cual el dispositivo se destruye ($V_z \text{ max}$).
4. P_z : Potencia nominal que no debe sobrepasar el componente. Aproximadamente se corresponde con el producto de $V_z \text{ nom}$ y $I_z \text{ max}$.

Cuando usamos un diodo zener en un circuito se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (a partir de las hojas de características suministradas por el fabricante):

Para un correcto funcionamiento, por el zener debe circular una corriente inversa mayor o igual a $I_z \text{ min}$. La corriente máxima en sentido inverso ha de ser siempre menor que

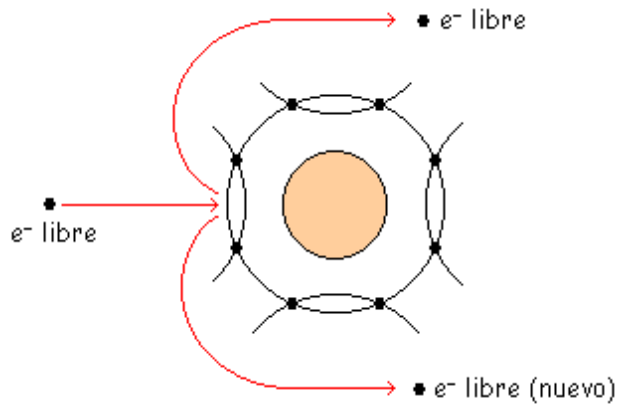
$I_z \text{ max}$.

La potencia nominal P_z que puede disipar el zener ha de ser mayor (del orden del doble) que la máxima que este va a soportar en el circuito.



Curva característica de un diodo zener con $V_z = 5.6 \text{ V}$

EFEECTO AVALANCHA



Justo en el límite antes de llegar a Ruptura, la pila va acelerando a los electrones. Y estos electrones pueden chocar con la red cristalina, con los enlaces covalentes. Choca el electrón y rebota, pero a $V_{Ruptura}$ la velocidad es muy grande y por ello la E_c es tan grande que al chocar cede energía al electrón ligado y lo convierte en libre. El electrón incidente sale con menos velocidad que antes del choque. O sea, de un electrón libre obtenemos dos electrones libres.

Estos 2 electrones se aceleran otra vez, pueden chocar contra otro electrón de un enlace covalente, ceden su energía... y se repite el proceso y se crea una Multiplicación por Avalancha.

Y ahora I_R ha aumentado muchísimo, tenemos una corriente negativa y muy grande (-100 mA). Con esta intensidad el diodo se estropea porque no está preparado para trabajar a esa I_R .