

DIODOS ESPECIALES

Introducción

Este apunte es una introducción general a diversos diodos con propiedades eléctricas especiales. Para comprender en detalle el funcionamiento de estos dispositivos se requieren conocimientos de mecánica cuántica y teoría de bandas, por lo que aquí sólo se dará un tratamiento elemental, reservando su explicación completa para futuros cursos de física de los semiconductores. Los dispositivos que serán analizados son los siguientes:

- Diodos: Zener
 Schottky
 Varicap
 Túnel

Tipos de diodos

Existen distintos diodos en los cuáles su geometría, niveles de dopaje o materiales semiconductores se diseñan de modo de lograr un desempeño adecuado para ciertas funciones especiales. Los diodos especiales más habituales, junto con sus símbolos típicos, se ilustran en la Fig. 1.

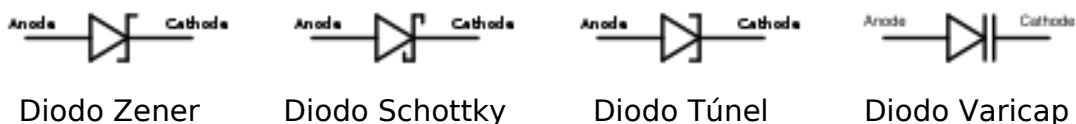


Fig. 1

Existen también otros dispositivos de juntura PN, como los LEDs, los diodos láser, los fotodetectores, los diodos PIN, los diodos de avalancha, los SCR, etc. que los hemos agrupado para su estudio dentro de otros apuntes (Dispositivos Opto-electrónicos o Dispositivos de Potencia). También existen otros diodos especiales que no se incluyen en este apunte, como por ejemplo el diodo Gunn, porque su uso es muy poco frecuente.

En la Fig. 2 se muestran posibles clasificaciones hechas por Fairchild para los diodos más habituales.

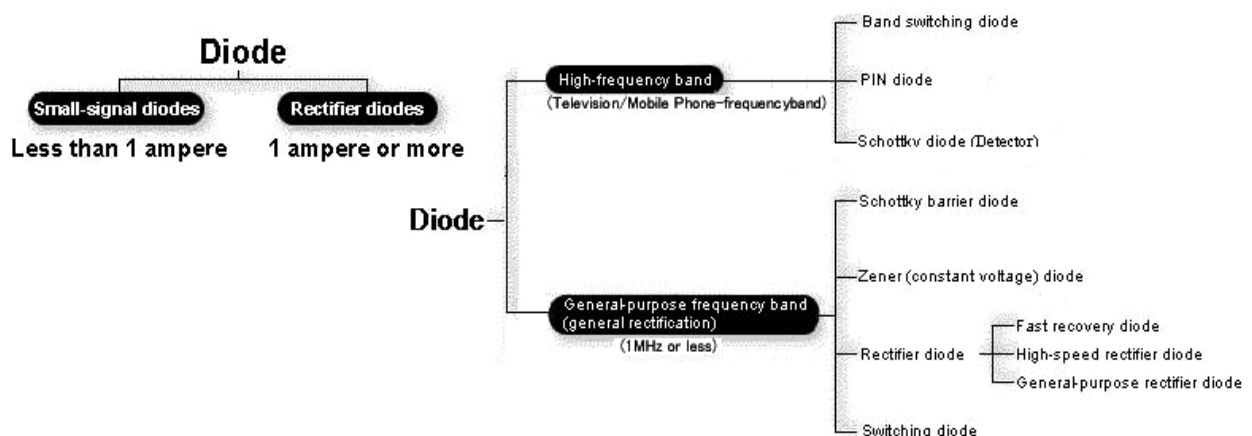
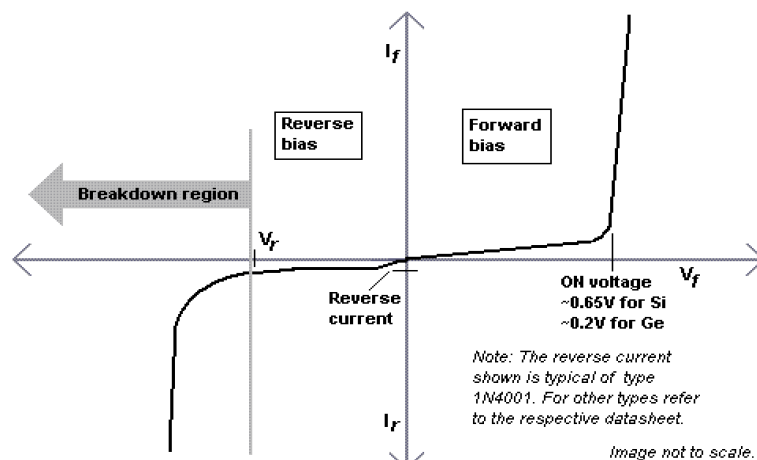


Fig. 2

Curva característica del diodo convencional

La curva I-V del diodo PN rectificador elemental se ilustra en la Fig. 3.



El modelo matemático más empleado es el de Shockley que permite aproximar el comportamiento del diodo en la mayoría de las aplicaciones:

$$I = I_S \left(e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right)$$

Donde:

I es la intensidad de la corriente que atraviesa el diodo

V_D es la diferencia de tensión entre los extremos del diodo.

I_S es la corriente de saturación (del orden de 10^{-12} Amper)

q es la carga del electrón cuyo valor es $1.6 \cdot 10^{-19}$ Coul

T es la temperatura absoluta de la juntura

k es la constante de Boltzmann

n es el coeficiente de emisión, que depende del proceso de fabricación del diodo, y toma valores del orden de 1 (para el germanio) y del orden de 2 (silicio).

Tensión umbral (ON voltage). Valor cercano a la tensión de la zona de carga espacial del diodo no polarizado.

Corriente máxima (Imax). Es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo en directa sin fundirse por el efecto Joule. Depende sobre todo del diseño geométrico y la capacidad de disipar potencia.

Corriente saturación inversa (Is). Corriente formada por el arrastre de minoritarios cuando se polariza en inversa y una pequeña corriente que se establece por la formación de pares electrón-hueco debido a la energía térmica en la zona desierta.

Tensión de ruptura (Vr). A partir de un determinado valor de tensión se produce la ruptura inversa del diodo, lo que implica un fuerte incremento en la corriente inversa, como se analizará a continuación.

Tipos de ruptura inversa: Avalancha y Zener

A medida que aumenta la tensión de polarización inversa de un diodo PN crece la extensión de la zona desierta y la magnitud del campo eléctrico máximo de la juntura. Para cierto valor de tensión inversa (tensión de ruptura o de avalancha) puede ocurrir que los portadores alcancen energías tan altas que al chocar con la red generen nuevos portadores (Fig. 4). Este efecto multiplicador en la cantidad de portadores debe ser limitado mediante una resistencia serie externa para evitar la destrucción del diodo.

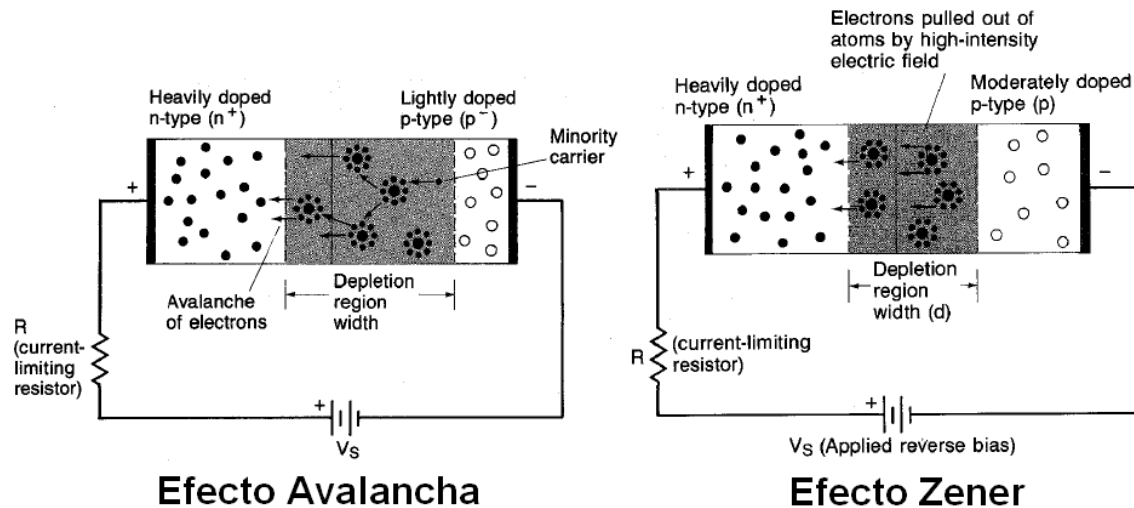


Fig. 4

En cambio, si el dopaje del diodo es mayor, la zona desierta será más reducida, y no habrá distancia suficiente para acelerar a los portadores como para generar el efecto avalancha. En este caso, si la tensión inversa es suficientemente grande, se producirá un desprendimiento de portadores de la zona de vaciamiento por un efecto cuántico llamado "efecto túnel".

En general, en los diodos están presentes tanto el efecto Zener como el efecto de Avalancha, pero el efecto predominante será aquel que se produzca a menor tensión inversa. En los diodos de silicio es posible lograr el efecto Zener para valores de aproximadamente 1 a 5.6 Volts, mientras que por sobre 5.6 Volts predomina el efecto de avalancha.

Generalmente, cuando se habla de un "diodo Zener" se hace referencia a diodos que se utilizan polarizados en la tensión de ruptura inversa, independientemente de si ésta ruptura se produce por efecto Zener o por efecto avalancha, y que se emplean para obtener tensiones de referencia o reguladas, como veremos a continuación.

Ejemplo de aplicación de diodo Zener

En la Fig. 5 se ilustra un ejemplo de la curva característica de un diodo Zener.

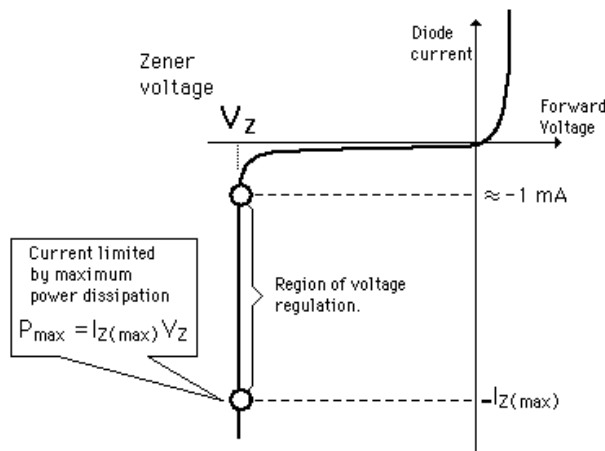


Fig. 5

Debido a que en polarización inversa el diodo Zener presenta una región de tensión casi constante para un rango amplio de corrientes (ver Fig. 5) se los utiliza para obtener una tensión regulada. El circuito elemental se muestra en la Fig. 6. Eligiendo la resistencia R y las características del diodo, se puede lograr que la tensión en la carga (R_L) permanezca prácticamente constante dentro de un rango de variación de la tensión de entrada V_{NR} .

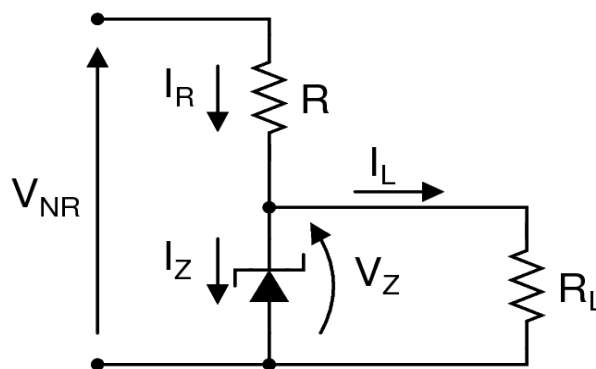


Fig. 6

Para elegir la resistencia limitadora R adecuada hay que calcular cuál puede ser su valor máximo y mínimo de acuerdo con la corriente I_L mínima y máxima, las corrientes de Zener mínimas y máximas, y las tensiones V_s mínimas y máximas:

$$R_{min} = \frac{V_{smax} - V_z}{I_{Lmin} + I_{zmax}} \quad R_{max} = \frac{V_{smin} - V_z}{I_{Lmax} + I_{zmin}}$$

Si se utiliza por ejemplo el diodo Zener de 2.4 V ilustrado en la Fig. 7, entonces dentro de cierto rango de I_L se asegurará una tensión de 2.4 V sobre la carga.



Fig. 7

Tolerancia de los diodos Zener y su variación con la temperatura

La tensión de Zener puede ser controlada en el proceso de fabricación mediante el ajuste del dopaje. En general la tolerancia típica de V_z es del 5% o 10%, aunque se logran tolerancias de hasta 0.05%.

Cuando la ruptura se produce por efecto Zener la tensión V_z presenta un coeficiente de variación negativo con la temperatura. En cambio, cuando predomina el efecto de avalancha V_z tiene un coeficiente positivo de variación con la temperatura. Los diodos Zener de silicio de 5.6 V son muy populares, ya que ambos efectos se producen en simultáneo, compensando la variación de temperatura.

Diodo Schottky

El diodo Schottky es un diodo que proporciona conmutaciones muy rápidas entre los estados de conducción directa e inversa (menos de 1ns en dispositivos pequeños) y que tiene muy bajas tensiones umbral (del orden de 0.2V).

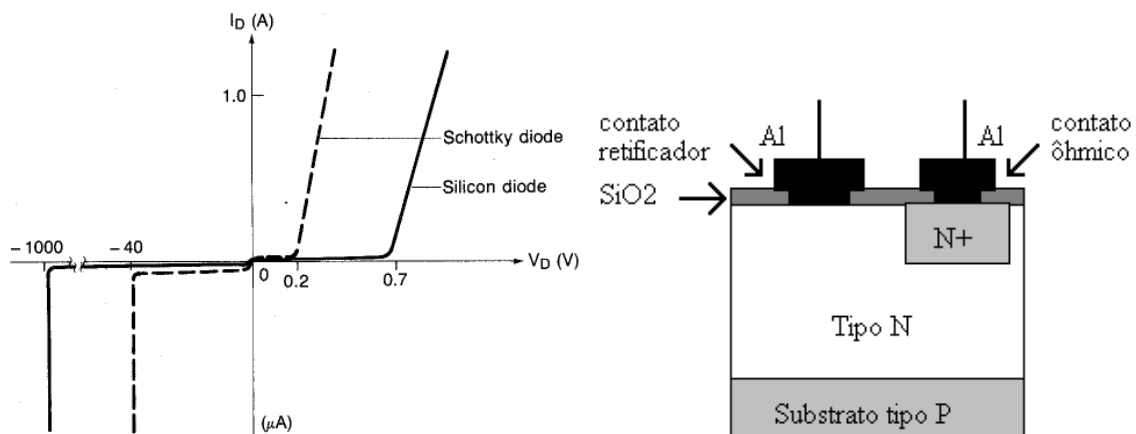


Fig. 8

El diodo Schottky está constituido por una juntura metal-semiconductor, en lugar de una juntura PN. En la Fig. 8 se muestra un diodo Schottky de aluminio. Debido a efectos cuánticos, la juntura N-Al tiene las propiedades rectificativas similares a la de una juntura PN, mientras que la juntura N^+ -Al se comporta como una juntura óhmica metal-metal. De este modo, si el cuerpo semiconductor está dopado con impurezas tipo N, solamente los portadores tipo N (electrones móviles) desempeñarán un papel significativo en la operación del diodo N-Al y no se realizará la recombinación aleatoria y lenta de portadores tipo N y P que tiene lugar en los diodos rectificadores normales, con lo que la operación del dispositivo será mucho más rápida.

La alta velocidad de conmutación del diodo Schottky permite rectificar señales de muy altas frecuencias y encuentra una gran variedad de aplicaciones en circuitos de alta velocidad para comunicaciones y computadoras.

Diodo Varicap

El Diodo de capacidad variable o Varactor (Varicap) es un tipo de diodo que basa su funcionamiento en la variación de extensión de la zona desierta de la unión PN en función de la tensión inversa aplicada entre sus extremos. Al aumentar dicha tensión, aumenta la anchura de esa barrera, disminuyendo así la capacidad del diodo. De este modo se obtiene un condensador variable controlado por tensión. Los valores de capacidad obtenidos van desde 1 a 500 pF. La tensión inversa mínima tiene que ser de 1 V.

La aplicación de estos diodos se encuentra, sobre todo, en sintonizadores de TV (Fig. 9), modulación de frecuencia en transmisiones de FM y radio y en los osciladores controlados por voltaje (VCO).

TOSHIBA

1SV262

TOSHIBA Variable Capacitance Diode Silicon Epitaxial Planar Type

1SV262

CATV Tuning

- High capacitance ratio: $C_2 V/C_{25} V = 12.5$ (typ.)
- Low series resistance: $r_s = 0.6 \Omega$ (typ.)
- Excellent C-V characteristics, and small tracking error.
- Small package

Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Reverse voltage	V_R	34	V
Peak reverse voltage	V_{RM}	36 ($R_L = 10 \text{ k}\Omega$)	V
Junction temperature	T_j	125	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	T_{stg}	-55~125	$^\circ\text{C}$

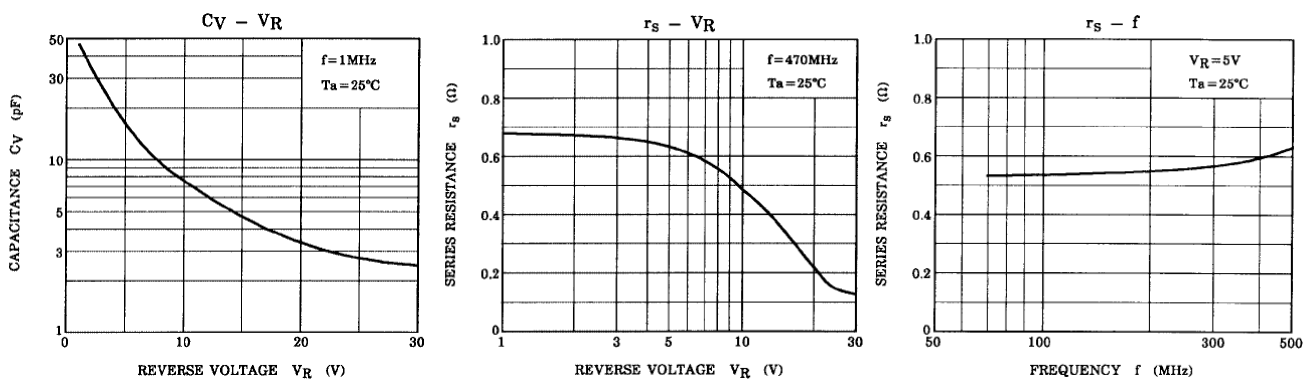
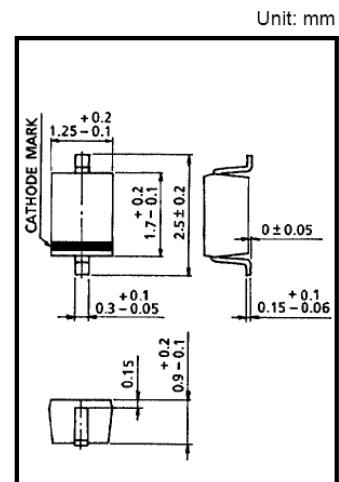


Fig. 9

Diodo Túnel

Los diodos túnel están fuertemente dopados, de modo que la zona de vaciamiento tiene sólo unos pocos nanómetros, por lo cual se manifiestan fuertemente el efecto túnel (Fig. 10), que es un fenómeno solamente explicable a partir de la mecánica cuántica. Este diodo fue inventado en 1958 por el japonés Leo Esaki, por lo cual recibió un premio Nobel en 1973.

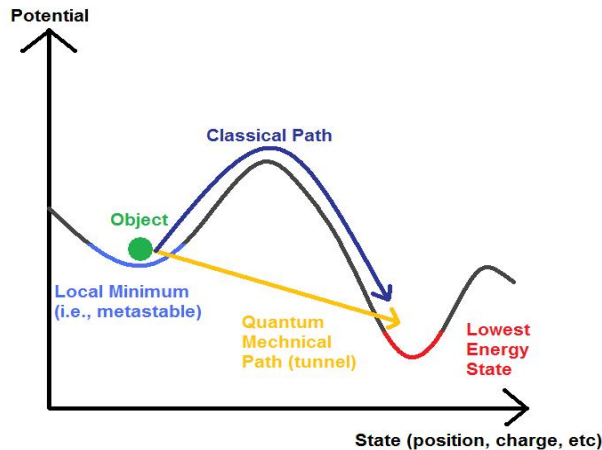


Fig. 10

Los diodos Túnel son generalmente fabricados en Germanio, pero también en silicio y arseniuro de galio. Son diodos muy rápidos que presentan una respuesta una zona con "resistencia negativa" (Fig. 11), que permite su utilización como elemento activo en osciladores y amplificadores. En la práctica los diodos túnel operan con unos pocos miliampers y potencias muy bajas.

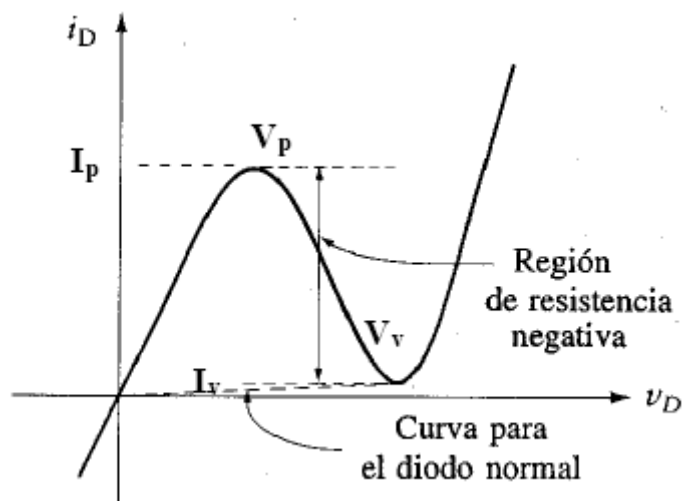


Fig. 11

Bibliografía

S. M. Sze - Physics of Semiconductor Devices
Muller Kamins - Device Electronics For Integrated Circuits
www.wikipedia.org