

PRÁCTICA Nº 8 CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

1.- INTRODUCCIÓN

Muchos dispositivos electrónicos encuentran aplicación debido a las peculiaridades de sus características intensidad/tensión $I(V)$ o capacidad/tensión $C(V)$, de ahí que el conocimiento de dichas características y su variación con la temperatura tenga tanta importancia. Así, en el diodo PN (o en el diodo Schottky), su utilización como rectificadores depende de su característica $I(V)$ y su utilización como varicap (en circuitos de sintonización o en osciladores controlados por tensión), depende de su característica $C(V)$. Para ambas características, la influencia de la temperatura puede resultar crítica en circuitos que requieran una gran estabilidad.

En esta práctica se medirán las características $I(V)$ de diferentes dispositivos electrónicos y su variación con la temperatura. Recordemos la forma de algunas características y los parámetros que en ellas intervienen.

Diodo PN o unión PN

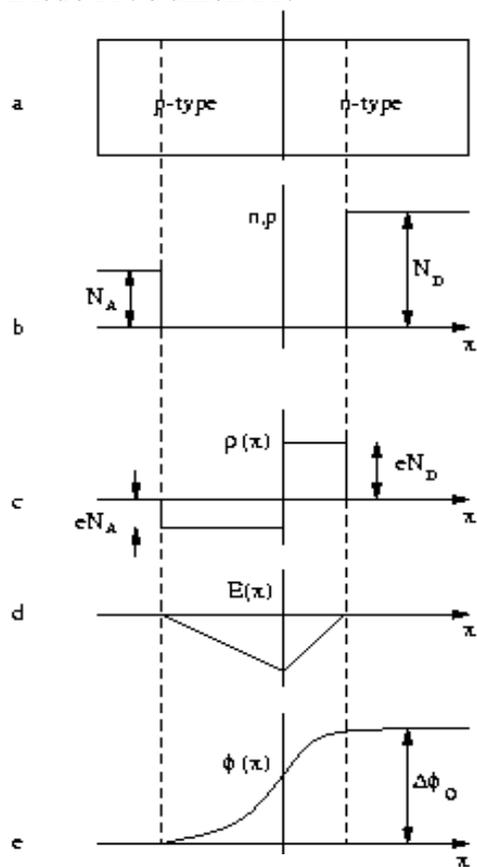


Figura 8.1

La unión PN está formada por un semiconductor en el que se ha introducido un dopado distinto por zonas (tipo p - impurezas aceptoras- o tipo n -impurezas dadoras). Desde su formación como unión pn, se produce un intercambio de portadores mayoritarios a ambos lados de la unión, lo que conlleva la aparición de una zona de carga de espacio y de un campo eléctrico interno que se opone al movimiento de los portadores mayoritarios. El equilibrio térmico se alcanza cuando la corriente de arrastre originada por el campo de la unión compensa la corriente de difusión. El resultado es la existencia de una zona de **agotamiento espacial**, sin portadores de carga libres, en la que el campo y el potencial son los que aparecen en la figura (para un dopado uniforme).

El diodo o unión PN se puede polarizar mediante la aplicación de una diferencia de potencial externa.

Si ésta es positiva (**polarización directa**, el borne positivo conectado al lado p), se disminuye la zona de agotamiento y la barrera de potencial y se favorece el paso a través de la unión de los portadores mayoritarios (huecos en la parte p y electrones en la n), por lo que aparece una corriente.

Si es negativa (**polarización inversa**, el borne positivo conectado al lado n), la zona de agotamiento y la barrera aumentan, y sólo los portadores minoritarios (electrones en la parte p y huecos en la n) generan una corriente, varios órdenes de magnitud inferior a la que se obtiene con la polarización directa. Este comportamiento de la corriente en función de la tensión se resume en la **característica $I(V)$ del diodo pn**:

$$I(V) = I_s \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad [8.1]$$

y que aparece representada en la gráfica 8.2

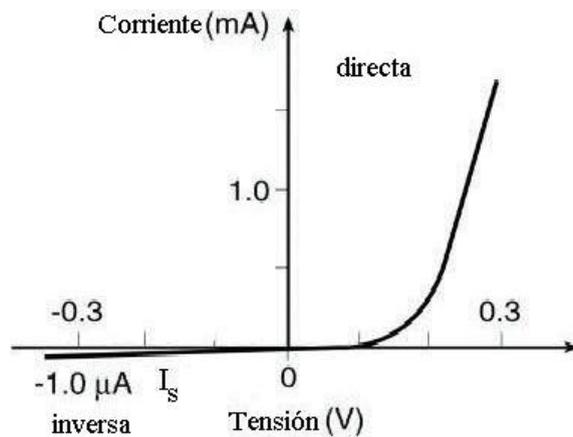


Figura 8.2

donde I_s es la **intensidad de saturación** y n es un **parámetro fenomenológico** que, al igual que I_s , depende del mecanismo que regula el transporte de carga en la zona de agotamiento. Si suponemos que no existen trampas en la zona de agotamiento y que, por tanto, no se generan ni se recombinan portadores minoritarios en dicha zona, entonces es la difusión la que determina I_s y tenemos $n=1$ y:

$$I_s = Aq \left(\frac{D_n}{L_n N_A} + \frac{D_p}{L_p N_D} \right) n_i^2 = Aq \left(\frac{D_n}{L_n N_A} + \frac{D_p}{L_p N_D} \right) N_C N_V e^{-\frac{E_g}{kT}} \quad [8.2]$$

donde A es el área de la unión PN, $D_{n,p}$ y $L_{n,p}$ la constante y longitud de difusión de los portadores minoritarios, N_A y N_D las concentraciones de impurezas en las zonas P y N, N_C y N_V las densidades de estados efectivas en las bandas y E_g la banda prohibida del semiconductor. Si existen trampas en la zona de agotamiento, entonces $n=2$ y la intensidad de saturación viene determinada por la generación-recombinación de los portadores minoritarios en ellas:

$$I_s = A \frac{qW}{2} \sigma v N_T \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{\Delta E_T}{kT}} \quad [8.3]$$

donde W es la anchura de la zona de agotamiento, σ es la sección eficaz de captura de la trampa, v es la velocidad térmica de los portadores, N_T es la concentración de trampas y ΔE_T la energía de ionización (hemos supuesto que los portadores minoritarios que determinan I_s son los electrones).

2.- MATERIAL DISPONIBLE

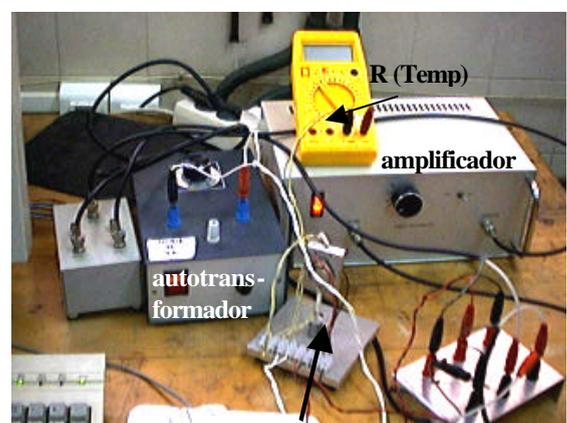
2.1 Dispositivos electrónicos:

- Diodo de unión PN de silicio
- Diodo de unión PN de germanio

2.2 Ambos están montados en un sistema de calentamiento (bloque de aluminio con resistencia de calentamiento, termistor de platino para medida de la temperatura y autotransformador para regulación de la potencia de calentamiento)

2.3 Ordenador con tarjeta de adquisición de datos

2.4 Amplificador para desplazar (introduciendo una componente negativa) la señal de salida de la tarjeta de adquisición de datos y aplicarla a los dispositivos.



diodos en bloque de aluminio

3 TÉCNICAS DE MEDIDA

Características I(V):

Los diodos están predispuestos en un montaje como el de la figura 8.3. La tensión V_1 es una tensión variable que aplica la tarjeta del ordenador al circuito, mientras que V_2 es la tensión de medida, proporcional a la corriente. Dada la diferencia de corriente en los dos diodos, para obtener tensiones de medida V_2 en ambos que no superen los límites del programa de adquisición, se usará una resistencia $R=1000 \Omega$ para el dispositivo de silicio y una $R=100 \Omega$ para el dispositivo de germanio.

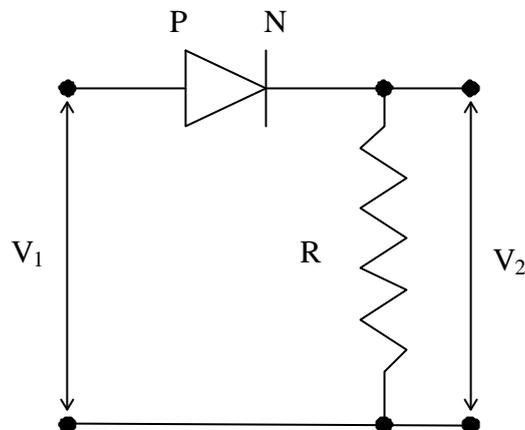


Figura 8.3

El programa de trazado de características I(V) genera una tensión en la salida analógica de la tarjeta, variable entre dos valores que se fijan mediante el programa de adquisición. El amplificador desplaza dicha señal (le suma una tensión negativa), para poder medir las características en polarización positiva y negativa con un solo barrido. La tensión de salida del amplificador es aplicada al circuito de la figura (V_1). El programa mide las tensiones V_1 y V_2 , calculando $I=V_2/R$ y $V = V_1 - V_2$. Al ir variando la tensión aplicada al dispositivo en la salida analógica, va trazando la característica I(V), representándola al final del proceso de medida en la pantalla. La opción Salvar, guarda el resultado como fichero ASCII de dos columnas (V en voltios, I en miliamperios). Para iniciar la adquisición elegid el tipo de medida (I(V)) en el programa y escribid los valores de la tensión y corriente que aparecen en la ventana. Por ejemplo:

$$V_{\min}(V) = -2$$

$$V_{\max}(V) = 2.5 \text{ (No superar)}$$

$$V(V/\text{div}) = 0.2 \text{ mínimo (valor de cada división horizontal)}$$

$$V(V/\text{div}) = 0.2 \text{ (valor de cada división vertical)}$$

ES IMPORTANTE que se escriba en el programa, antes de realizar la adquisición, el valor de la resistencia que se está usando en cada caso.

4. MEDIDAS A REALIZAR E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- 4.1 Traza las características I(V) de ambos diodos PN para diferentes temperaturas entre el ambiente y unos $100 \text{ }^\circ\text{C}$, guardando los ficheros con nombres distintivos de cada diodo y en un directorio específico del grupo que realiza la práctica.
- 4.2 Representa $\ln(I)$ frente a V para valores de la tensión suficientemente grandes como para que $\exp(qV/nkT) \gg 1$. Dicho gráfico debe ser una recta de cuya pendiente se obtiene n y de cuya ordenada en el origen se obtiene I_s . Discute la evolución de dichos valores con la temperatura, relacionándola con el mecanismo que domina la zona de agotamiento.
- 4.3 Representa el diagrama de Arrhenius de I_s [$\ln(I_s)$ frente a $1/T$]. La pendiente de la recta obtenida proporciona la energía de activación. Obtén, a partir de esos datos, el mecanismo que determina I_s y el significado físico de la energía de activación. Discute si el mecanismo encontrado es coherente con el deducido en el apartado anterior en base a los valores de n .