

Semiconductores

Determinación de la anchura de la banda prohibida del Germanio

1. OBJETIVO

Determinar el salto energético entre la banda de conducción y la banda de valencia en el Germanio intrínseco.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La relación entre la conductividad de un material semiconductor intrínseco y su temperatura, puede verse en la figura. En ella, en vez utilizar directamente la variable T (en grados Kelvin) se utiliza $1000/T$, de tal forma que, por ejemplo, $T = 293$ K se convierte en 3.4. En general y sin que los números en la gráfica sean más que orientativos, pueden apreciarse tres regiones:

Región I. Dominada por la conducción debida a las impurezas del material.

Región II. En ella, todas las impurezas están ya ionizadas y no aportan más a la conductividad (se mantiene constante).

Región III. La conducción se produce por las cargas del propio semiconductor intrínseco, es decir, por la transición de electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, salvando la banda prohibida. Es la conductividad que nos interesa medir.

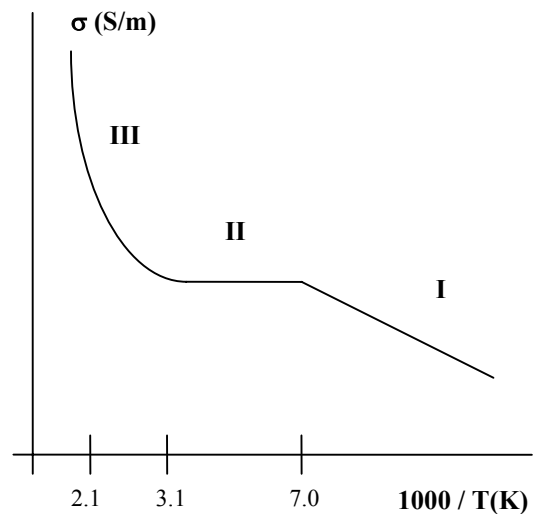
En el caso de la Región III, la conductividad depende de la temperatura en la forma:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E / (2kT)) \quad (1)$$

donde ΔE es el salto energético entre ambas bandas (el ancho de la banda prohibida), T la temperatura en grados Kelvin y k la constante de Boltzmann.

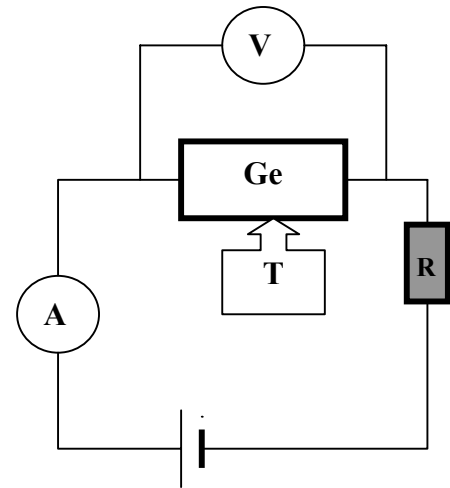
Cuando el material se calienta, existe más energía interna en el cristal y por tanto hay más electrones que saltan de la banda de valencia a la de conducción; como consecuencia, la conductividad aumenta y consecuentemente aumentará la intensidad de la corriente. La variación de temperatura en el material nos permite tener diferentes valores de σ .

De la expresión (1) se deduce que, si se realizan por lo menos 2 medidas simultáneas de σ y T , es posible determinar el valor de ΔE .



3. MATERIAL

- Módulo integrado:
 - Pieza de germanio de 20 x 10 x 1 mm
 - Resistencia integrada para calefacción
 - Termopar calibrado
- Fuente de alimentación en continua hasta 5 V
- Fuente de alimentación en alterna (hasta 6 V) para calefacción del material
- Resistencia de protección de unos 200 Ω
- 3 Polímetros.



4. METODO DE TRABAJO

Medida de la conductividad del Ge

La medida de la conductividad del material, σ , se realiza aplicando la ley de Ohm; se toma un trozo del material con una geometría bien conocida y se le somete a una diferencia de potencial entre sus extremos (ver el montaje). La aplicación de la ley de Ohm proporciona:

$$\sigma = 1/\rho = \frac{l}{A} \frac{I}{V} \quad (2)$$

siendo V el voltaje aplicado, I la intensidad de corriente que atraviesa el material, l la longitud de la pieza y A la sección recta del mismo.

La resistencia que aparece en el montaje es una resistencia de protección para el material semiconductor.

Medida de la temperatura

Para medir la temperatura del material se utilizará un termopar adosado a éste. Un termopar está constituido por un par de materiales conductores (por ejemplo de Cu - CuNi) entre los que se registra una diferencia de potencial causada por la diferencia de temperaturas (por efecto Seebeck) entre dos puntos. Un termopar ha de estar calibrado, de forma que la medida de voltaje se ha de transformar a diferencia de temperaturas mediante la constante de calibrado que se proporciona con el termopar.

En nuestro caso, el termopar se encuentra conectado entre la pieza de material y el punto de conexión de los cables, que suponemos a temperatura ambiente. Debemos, por tanto, conectar ambas salidas a un voltímetro en continua y en escala de mV, al que daremos el nombre de *termómetro*. En la figura, el elemento de medida de temperatura lo hemos representado mediante la caja marcada con T.

Proceso

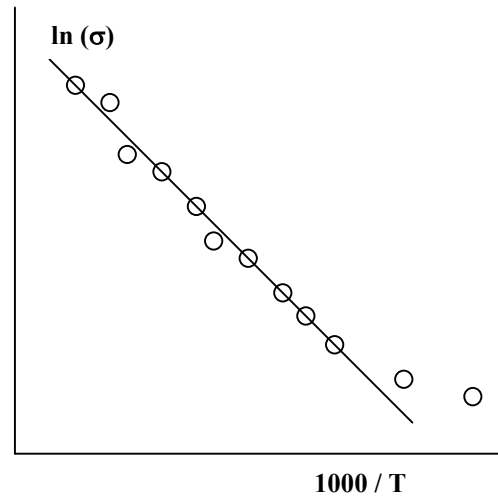
Si tomamos logaritmos neperianos en la expresión (1), resulta:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{\Delta E}{2kT} \quad (3)$$

donde se puede determinar al valor de ΔE mediante un ajuste lineal por mínimos cuadrados ($y = a + bx$, siendo $y = \ln \sigma$ y $x = 1000/T$), siempre que nos encontremos en la región III.

La gráfica muestra cómo sería la representación de los datos medidos, en el caso de un material hipotético, utilizando las variables: $y = \ln \sigma$ y $x = 1000/T$. Se observa que en esta gráfica, salvo los dos últimos puntos, que parece que pertenecerían a la región II, se puede escribir una relación lineal para los datos de la región III. Dejando fuera ese par de datos, se realiza dicho ajuste.

El valor de la ordenada en el origen, a , no nos importa directamente para el objetivo del presente trabajo, pero sí el de la pendiente, porque ésta resulta ser:



$$b = - \Delta E / (2000 k) \quad (4)$$

de donde se despeja el valor de ΔE , que es el ancho de banda buscado.

5. TOMA DE DATOS.

Se montará el dispositivo experimental que hemos visto previamente, utilizando la placa en la que viene integrado el elemento de Germanio junto con el sistema de calentamiento y el termopar de medida. Previo a su montaje, identificar todos y cada uno de estos elementos de la placa. No olvidar colocar la resistencia de protección (de unos 200 Ω); esto se hace para evitar que se produzcan intensidades que podrían dañar el material. La pieza de Germanio se alimentará con una fuente de corriente continua.

El elemento calefactor integrado (una resistencia en forma de serpentín que no aparece en la figura), tiene sus conectores en la parte trasera de la placa y se alimenta con la fuente de corriente alterna.

Situar los indicadores de los polímetros en las escalas adecuadas; todos ellos en posición de medidas en corriente continua. El asignado al termopar (recordar que le denominamos *termómetro*), en la escala de 20 mV, el voltímetro en 20 V y el amperímetro en una escala que permita medir hasta 25 mA, que es la intensidad máxima que se espera.

- Conectar la fuente de continua y anotar los valores iniciales que indican el voltímetro y el amperímetro. No olvidar que es necesario disponer del dato de la temperatura ambiente, que puede ser obtenido de un termómetro convencional.
- Conectar la alimentación de calentamiento (en corriente alterna) y observar la subida de temperatura en la placa, puesta de manifiesto por la subida de valores en el *termómetro*. Se puede ver también que la intensidad que atraviesa el material va aumentando y la diferencia de potencial entre sus extremos, disminuyendo, lo cual indica que la conductividad está aumentando. **No tocar la placa porque se encontrará muy caliente.**

- La constante de calibrado del termopar es de $40 \mu\text{V/K}$. Dado que la temperatura que se espera alcanzar en la placa es del orden de unos 150°C , el *termómetro* no debería marcar por encima de unos 4 mV . Por lo tanto, una vez que se alcance en el *termómetro* un valor entre 3.7 y 3.9 mV , interrumpir la alimentación en corriente alterna.
- A partir de entonces el material comienza a enfriarse y, por tanto, podremos observar la variación de los parámetros mientras disminuye la temperatura. Anotar en una tabla, cada 30 segundos, los valores del termómetro, V e I . El valor del tiempo no es significativo.

6. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los valores registrados por el *termómetro* deben ser transformados a valores de la temperatura de la placa, mediante el siguiente cambio:

$$T_{placa} = \frac{V}{c} + T_{amb}$$

siendo

$c = 40 \cdot 10^{-6} \text{ V/K}$ la constante de calibrado del termopar,

V el valor (en voltios) que marca el *termómetro* y

T_{amb} la temperatura ambiente en grados Kelvin.

Recordar la conversión de grados centígrados a grados Kelvin: $T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$.

A partir de los datos de la geometría de la pieza ($20 \times 10 \times 1 \text{ mm}$), determinar su sección y su longitud.

Utilizando la expresión (2) y con los valores de l , de A , de I y V , determinar los valores de la conductividad del germanio para cada temperatura.

Representar los datos obtenidos en una gráfica, en la que los valores del eje abscisas serán $1000/T$ y los de ordenadas, $\ln(\sigma)$. Observar que se disponen según una línea recta por lo menos en una parte amplia de su recorrido y descartar para el ajuste lineal aquellos valores que parezcan corresponder a la región II (de saturación de impurezas).

Realizar el ajuste por mínimos cuadrados de los puntos que se estime que pertenecen a la región III y determinar el valor de la pendiente junto con su error. El valor de la pendiente que se obtenga, b , se utilizará para deducir el valor del ancho de banda prohibida del material, a partir de la expresión (4). Por coherencia de unidades, se utilizará como valor de la constante de Boltzmann, $k = 8.625 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$.

Comparar el resultado obtenido para la anchura prohibida con el que proporciona la literatura para la temperatura ambiente, que es de 0.67 eV .

Comentar los resultados y las posibles discrepancias con el valor de la bibliografía.