



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 32 JULIO DE 2010

## “DETERMINACIÓN DE LA BANDA PROHIBIDA DEL GERMANIO”

|   |
|---|
| AUTORÍA<br><b>MARÍA FRANCISCA OJEDA EGEA</b>    |
| TEMÁTICA<br><b>ELECTRÓNICA, SEMICONDUCTORES</b> |
| ETAPA<br><b>BACHILLERATO</b>                    |

### Resumen

El germanio es un elemento químico que pertenece a la familia de los semimetales. La más destacable de sus características es su carácter semiconductor. Esta cualidad es el fundamento de la electrónica. Una característica esencial es la banda prohibida, que representa la diferencia de energía de los electrones cuando están ligados a los átomos y la que tienen cuando están libres y pueden ya conducir la electricidad. Se determinará a partir del estudio de su conductividad con la temperatura.

### Palabras clave

Semiconductores, electrónica, banda prohibida.

### 1. INTRODUCCIÓN

El germanio es un elemento químico que, debido a sus características físico-químicas, pertenece a la familia de los semimetales. La más destacable de sus características físicas es ser semiconductor. Los metales son conductores de la electricidad, tienen electrones libres que se mueven al aplicar una diferencia de potencial. Los electrones de los semiconductores, en cambio, necesitan de un aporte de energía para poder estar libres y poder conducir la electricidad. Esta cualidad permite controlar los impulsos eléctricos y así controlar la conducción. Este es el fundamento de la electrónica, en el que el silicio y el germanio son los materiales empleados para construir transistores, etc.

La conductividad eléctrica de los metales aumenta al disminuir la temperatura, pues existen electrones libres a cualquier temperatura, y al disminuir la temperatura los iones de la red cristalina vibran menos, por lo que oponen menos resistencia al movimiento de los electrones.

Sin embargo, los semimetales no poseen electrones libres, y para poder tener electrones que puedan desplazarse y se conduzca la electricidad se necesita un aporte “extra de energía”. Este aporte puede proceder de un incremento de temperatura, pues la agitación térmica puede permitir que electrones escapen de los átomos. Así, en un semimetal la conductividad eléctrica aumenta con la temperatura.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 32 JULIO DE 2010

Se pretende estudiar la dependencia de la conductividad de un semiconductor con la temperatura, concretamente se estudiará una placa de germanio. A partir de este estudio se puede calcular la anchura de la banda prohibida, que es la distancia energética entre la banda de valencia (energía de los electrones ligados a los átomos) y la banda de conducción (energía de los electrones cuando han conseguido escapar de los átomos y estar libres).

## 2. FUNDAMENTO.

Cuando un semiconductor se encuentra a temperatura distinta del cero Kelvin algunos electrones excitados térmicamente pueden escaparse de los átomos a los que están ligados, pasando su energía de la que corresponde a estar ligado (banda de valencia) a la de estar libre para poder moverse bajo la acción de un campo eléctrico (banda de conducción), siempre que ganen al menos la diferencia de energía entre dichas bandas ó gap.

Esos electrones, una vez estén en la banda de conducción, son capaces de conducir corriente eléctrica, del mismo modo que pueden hacerlo los huecos que han dejado en los átomos de los que escaparon, dando lugar a otro tipo de conducción, denominada por huecos. La diferencia entre la banda de valencia y la banda de conducción, causará que el material tenga una conductividad mayor o menor debida a la excitación térmica de los electrones. Se dice que tenemos un semiconductor intrínseco cuando sus propiedades electrónicas están dominadas por electrones térmicamente excitados de la banda de valencia a la de conducción. La fracción de electrones que puede pasar a la banda de conducción para una temperatura absoluta "T" es del orden de  $\exp(-E_G/K_B T)$ , donde "E<sub>G</sub>" es la anchura de la banda prohibida y "K<sub>B</sub>" es la constante de Boltzmann.

Sin embargo, los semiconductores se alteran fácilmente con impurezas, que son átomos de grupos vecinos de la tabla periódica (del grupo IIIA como el aluminio ó del grupo VA como el arsénico). Si los electrones procedentes de las impurezas (o los electrones de la banda de valencia capturados por ellas) son los que determinan las propiedades electrónicas el semiconductor, éste se denomina extrínseco.

En nuestra experiencia tendremos germanio puro, por lo que se trata de un semiconductor intrínseco. La conductividad intrínseca  $\sigma_i$  es debida a los dos tipos de portadores, huecos y electrones:

$$\sigma_i = \sigma_e + \sigma_h = e n_e \mu_e + e n_h \mu_h$$

donde "e" es la carga del electrón en valor absoluto, "μ" las respectivas movilidades y las "n" las concentraciones de portadores: huecos en la banda de valencia y electrones en la de conducción.

Para el germanio las movilidades tienen las siguientes dependencias con la temperatura:

$$\begin{aligned} \mu_e &= C_e T^{-1.66} = C_e T^{-5/3} && \text{(electrones)} \\ \mu_h &= C_h T^{-2.33} = C_h T^{-7/3} && \text{(huecos)} \end{aligned}$$

siendo las "C" constantes que se pueden determinar con los datos de la movilidad a 300K:

$$\begin{aligned} \mu_e(300K) &= 0.38 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1} \\ \mu_h(300K) &= 0.182 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1} \end{aligned}$$



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 32 JULIO DE 2010

con lo que obtenemos:

$$C_e = 4918.18512 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{5/3}$$

$$C_h = 107588.019 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{7/3}$$

Si un semiconductor es todo puro y perfecto cristalográficamente son iguales las dos concentraciones de portadores, pues los electrones de la banda de conducción sólo pueden proceder de la banda de valencia:

$$n_e = n_h = n_i$$

Consideraremos un gas de electrones en el que su densidad "n<sub>i</sub>" es pequeña comparada con las densidades de electrones y huecos:

$$N_e = 2 (2\pi m_e^* K_B T / h^2)^{3/2}$$

$$N_h = 2 (2\pi m_h^* K_B T / h^2)^{3/2}$$

$$n_i \ll N_e, N_h$$

donde m<sub>e</sub>\* y m<sub>h</sub>\* son las masas efectivas de electrones y huecos respectivamente. Son valores son:

$$m_e^* = 0.56 m_e; m_h^* = 0.37 m_e$$

donde m<sub>e</sub> es la masa del electrón. En estas condiciones:

$$n_i = (N_e N_h)^{1/2} \exp(-E_G(T)/2K_B T)$$

La energía del gap depende de la temperatura de manera no conocida, aunque a temperaturas no demasiado bajas la dependencia es aproximadamente lineal, lo que permite calcular extrapolando la energía del gap a 0K "E<sub>G</sub>(0)". Para ello supondremos:

$$E_G(T) = E_G(0) - \alpha T; \text{ con } \alpha = \text{cte}$$

entonces la concentración intrínseca de portadores queda:

$$n_i = [2(2\pi m_e^*{}^{1/2} m_h^*{}^{1/2} K_B / h^2)^{3/2} \exp(\alpha/2K_B T)] T^{3/2} \cdot \exp(-E_G(0)/2K_B T)$$

En nuestra experiencia mediremos la intensidad, la diferencia de potencial y la temperatura a la que se somete un semiconductor intrínseco, con lo que conoceremos la resistencia, mediante la ley de Ohm. La resistencia se relaciona con la conductividad:

$$\sigma = l / RS$$

siendo "R" la resistencia y "l" la longitud del semiconductor y "S" su sección. Usando esta ecuación con la anteriormente expuesta para la conductividad intrínseca llegamos a poder escribir:

$$\ln(1/R) = \ln(SAC_e/l) + \ln[T^{-0.16} + (C_h/C_e) T^{-0.83}] - E_G(0)/2K_B T$$

con lo que tenemos una expresión que permite calcular el gap a temperatura cero en función de la resistencia y la temperatura. "A" es una constante en esta ecuación.

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Tenemos una muestra de germanio de dimensiones 20x10x1 mm<sup>3</sup>. Se conecta una tensión continua a través de la resistencia acoplada que limita la intensidad de corriente a un máximo de 30mA. En esos



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 32 JULIO DE 2010

mismos extremos se mide la caída de tensión en el cristal. A través de unos bornes posteriores a la placa se alimenta con la corriente calefactora.

Para determinar la resistencia del cristal se mide la caída de tensión en los extremos de la muestra y se mide la corriente que circula.

Si representamos  $\ln(1/R)$  frente a  $1/T$  y consideramos la posibilidad de una relación lineal entre ambas magnitudes la ecuación anterior para  $\ln(1/R)$  se puede simplificar:

$$\ln(1/R) = \ln(SAC_e/l) - E_G(0)/2K_B T$$

Ajustando por mínimos cuadrados esos valores obtendremos una recta de pendiente  $-E_G(0)/2K_B$  con lo que se puede obtener  $E_G(0)$ . Si usamos a partir de este dato la ecuación deducida anteriormente:

$$E_G(T) = E_G(0) - \alpha T; \text{ con } \alpha = \text{cte}$$

podemos estimar la anchura del gap a 300K. Para ello necesitamos el valor de " $\alpha$ ", que podremos obtenerlo usando la expresión:

$$n_i = [2(2\pi m_e^{*1/2} m_h^{*1/2} K_B/h^2)^{3/2} \exp(\alpha/2K_B T)] T^{3/2} \cdot \exp(-E_G(0)/2K_B T)$$

para lo que tendremos que sustituir todos los valores de las constantes, como son la de Planck, la de Boltzmann y las masas efectivas de electrones y huecos. Lo único que no sabemos en la ecuación es el gap a cero grados, " $\alpha$ " y  $n_i$ .  $n_i$  lo relacionamos con la conductividad y ésta a su vez con la resistencia. Sustituimos el valor de la resistencia que obtendremos experimentalmente a un valor cualquiera de temperatura y el valor experimental del gap a cero grados y se puede despejar ya la incógnita " $\alpha$ ".

#### 4. MEDIDAS EXPERIMENTALES Y CÁLCULO DE ERRORES.

##### 4.1. Determinación del gap a cero grados:

Realizamos medidas de la tensión entre los bornes de la muestra de germanio y de la intensidad que circula por ella (con lo que podemos calcular la resistencia) para cada temperatura. Las temperaturas de la muestra que consideramos fueron de 298K a 368K en intervalos de 5 grados. Hicimos las medidas dos veces, una mientras se calentaba la muestra y otra mientras se enfriaba.

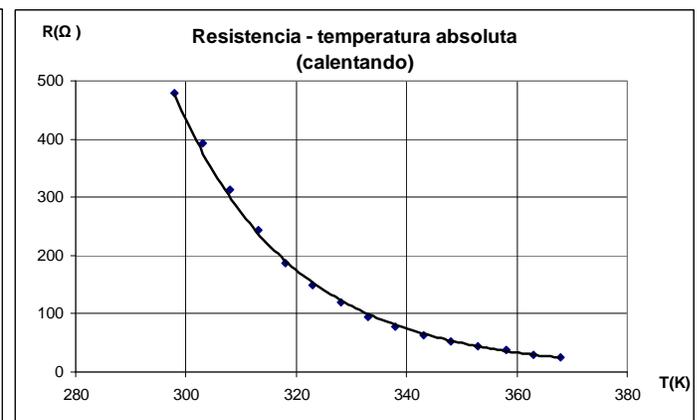
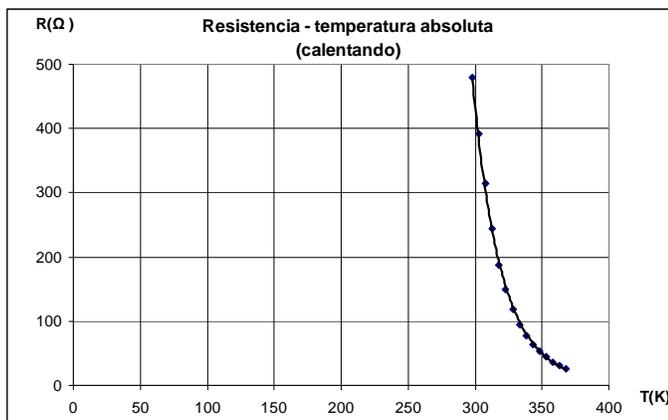
Si medimos tensión e intensidad podemos calcular la resistencia por la ley de Ohm:  $R=V/I$ , con lo que el error relativo de esta magnitud obtenida indirectamente es la suma de los errores relativos de la tensión y la intensidad.

a) calentamiento: Mientras se calentaba la muestra obtuvimos los siguientes valores, para la tensión, intensidad (a partir de ahí la resistencia) y temperatura:

| T (K)       | V (V)            | I (mA)         | R ( $\Omega$ ) |
|-------------|------------------|----------------|----------------|
| 298 $\pm$ 5 | 10.33 $\pm$ 0.01 | 21.5 $\pm$ 0.1 | 480 $\pm$ 3    |

|         |             |            |              |
|---------|-------------|------------|--------------|
| 303 ± 5 | 9.72 ± 0.01 | 24.8 ± 0.1 | 391.9 ± 2.0  |
| 308 ± 5 | 9.00 ± 0.01 | 28.7 ± 0.1 | 313.6 ± 1.4  |
| 313 ± 5 | 8.14 ± 0.01 | 33.4 ± 0.1 | 243.7 ± 1.0  |
| 318 ± 5 | 7.20 ± 0.01 | 38.5 ± 0.1 | 187.0 ± 0.7  |
| 323 ± 5 | 6.41 ± 0.01 | 43.1 ± 0.1 | 148.7 ± 0.6  |
| 328 ± 5 | 5.62 ± 0.01 | 47.1 ± 0.1 | 119.3 ± 0.5  |
| 333 ± 5 | 4.89 ± 0.01 | 51.3 ± 0.1 | 95.3 ± 0.4   |
| 338 ± 5 | 4.28 ± 0.01 | 54.8 ± 0.1 | 78.1 ± 0.3   |
| 343 ± 5 | 3.68 ± 0.01 | 58.0 ± 0.1 | 63.4 ± 0.3   |
| 348 ± 5 | 3.21 ± 0.01 | 60.7 ± 0.1 | 52.9 ± 0.3   |
| 353 ± 5 | 2.77 ± 0.01 | 63.2 ± 0.1 | 43.83 ± 0.23 |
| 358 ± 5 | 2.40 ± 0.01 | 65.2 ± 0.1 | 36.81 ± 0.21 |
| 363 ± 5 | 2.03 ± 0.01 | 67.4 ± 0.1 | 30.12 ± 0.19 |
| 368 ± 5 | 1.79 ± 0.01 | 68.8 ± 0.1 | 26.02 ± 0.18 |

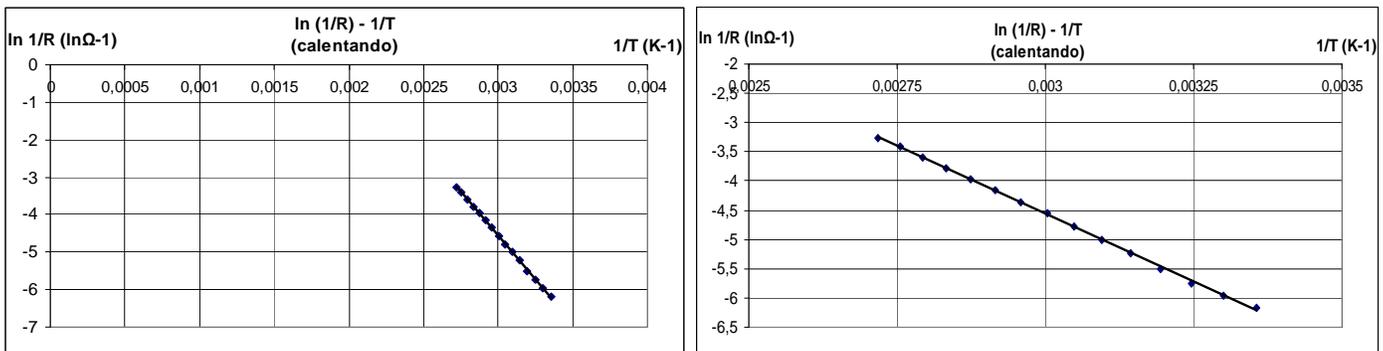
Podemos representar la resistencia frente a la temperatura con lo que vemos la evolución de la primera cuando varía la segunda en este rango de temperaturas.



Como ya mencionamos pretendemos usar para determinar el gap a cero grados la ecuación:

$$\ln(1/R) = \ln(SAC_e/I) - E_G(0)/2K_B T$$

Por tanto a partir de los datos de la tabla temperatura y resistencia representamos  $\ln 1/R$  frente a  $1/T$ , de manera que aproximamos dichos datos a una recta por un ajuste de mínimos cuadrados. Los valores que dicho ajuste nos proporciona para el coeficiente de correlación lineal, el punto de corte en el eje Y y la pendiente son los siguientes:



$r = 0.999850976$

corte eje Y =  $9.388859 \pm 0.144309$ .....corte eje Y =  $9.39 \pm 0.14$

pendiente =  $-(4648.704262 \pm 47.750607)$  K ..pendiente =  $-(4650 \pm 50)$  K

El valor tan cercano a la unidad de "r" nos muestra lo bien aproximados que están nuestros resultados a una recta, lo que nos hace pensar que vamos a obtener unos buenos resultados. Como vimos es el valor de la pendiente el que nos interesa, ya que nos permite calcular el gap a cero Kelvin. La pendiente según la ecuación de la representación de  $\ln 1/R$  frente a  $1/T$  es:

$$\text{pendiente} = -E_G(0)/2K_B$$

Como todas las magnitudes las hemos usado en el sistema internacional la pendiente tiene unidades de temperatura. Despejamos el valor del gap:

$$E_G(0) = -2K_B \text{pendiente}$$

$K_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K =  $8.6 \cdot 10^{-5}$  eV/K es una constante

pendiente =  $-(4650 \pm 50)$ K

con lo que:

$$E_G(0) = 0.7998 \text{ eV}$$

el error relativo de este gap es el error relativo de la pendiente pues lo demás son constantes  $\Delta E_G(0) = 0.0086$  eV.

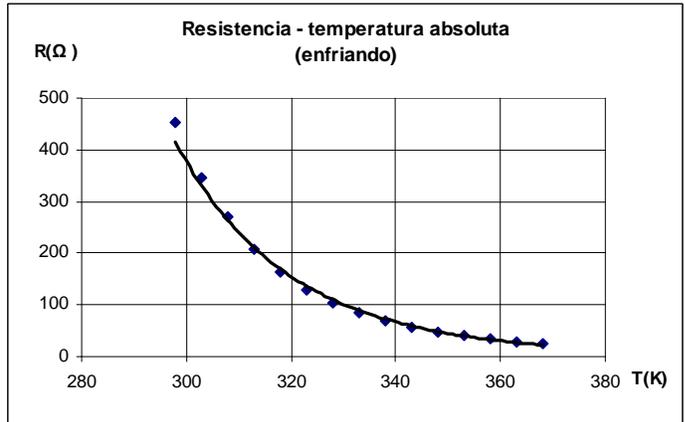
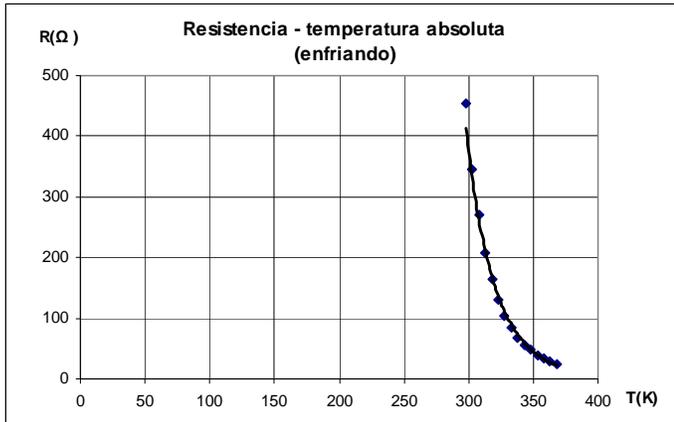
$$E_G(0) = (0.800 \pm 0.009) \text{ eV}$$

b) enfriamiento

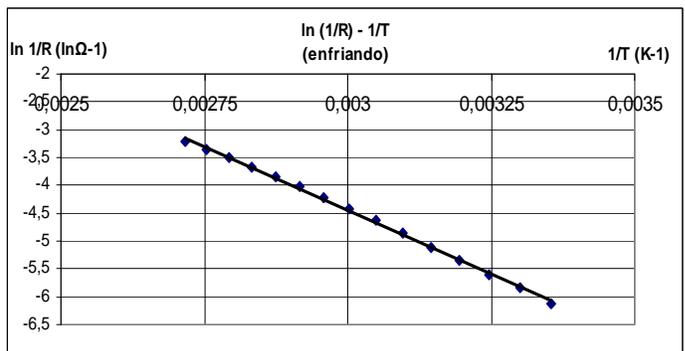
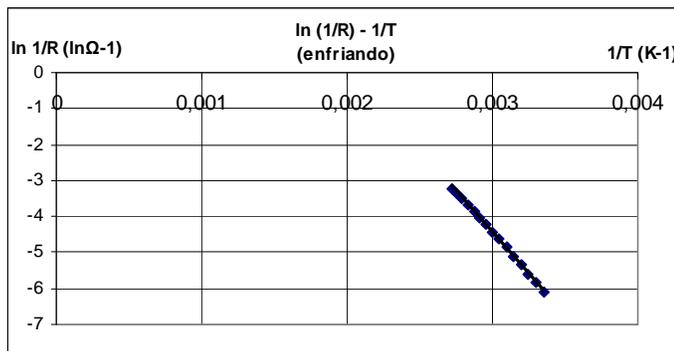
Repetimos la experiencia pero dejando enfriar la muestra después de haberla calentado. El proceso para obtener el gap es por tanto el mismo. Las medidas para cada temperatura de la tensión, intensidad y por tanto resistencia fueron las siguientes:

| T (K)       | V (V)            | I (mA)         | R ( $\Omega$ )   |
|-------------|------------------|----------------|------------------|
| 298 $\pm$ 5 | 10.16 $\pm$ 0.01 | 22.4 $\pm$ 0.1 | 454 $\pm$ 3      |
| 303 $\pm$ 5 | 9.32 $\pm$ 0.01  | 27.0 $\pm$ 0.1 | 345.2 $\pm$ 1.6  |
| 308 $\pm$ 5 | 8.50 $\pm$ 0.01  | 31.5 $\pm$ 0.1 | 269.8 $\pm$ 1.2  |
| 313 $\pm$ 5 | 7.60 $\pm$ 0.01  | 36.5 $\pm$ 0.1 | 208.2 $\pm$ 0.8  |
| 318 $\pm$ 5 | 6.77 $\pm$ 0.01  | 41.1 $\pm$ 0.1 | 164.7 $\pm$ 0.6  |
| 323 $\pm$ 5 | 5.94 $\pm$ 0.01  | 45.7 $\pm$ 0.1 | 130.0 $\pm$ 0.5  |
| 328 $\pm$ 5 | 5.16 $\pm$ 0.01  | 49.9 $\pm$ 0.1 | 103.4 $\pm$ 0.4  |
| 333 $\pm$ 5 | 4.50 $\pm$ 0.01  | 53.6 $\pm$ 0.1 | 84.0 $\pm$ 0.3   |
| 338 $\pm$ 5 | 3.91 $\pm$ 0.01  | 57.0 $\pm$ 0.1 | 68.6 $\pm$ 0.3   |
| 343 $\pm$ 5 | 3.38 $\pm$ 0.01  | 59.9 $\pm$ 0.1 | 56.4 $\pm$ 0.3   |
| 348 $\pm$ 5 | 2.94 $\pm$ 0.01  | 62.4 $\pm$ 0.1 | 47.12 $\pm$ 0.24 |
| 353 $\pm$ 5 | 2.55 $\pm$ 0.01  | 64.5 $\pm$ 0.1 | 39.53 $\pm$ 0.22 |
| 358 $\pm$ 5 | 2.22 $\pm$ 0.01  | 66.5 $\pm$ 0.1 | 33.38 $\pm$ 0.20 |
| 363 $\pm$ 5 | 1.96 $\pm$ 0.01  | 67.7 $\pm$ 0.1 | 28.95 $\pm$ 0.19 |
| 368 $\pm$ 5 | 1.73 $\pm$ 0.01  | 69.1 $\pm$ 0.1 | 25.04 $\pm$ 0.18 |

Del mismo modo que en el calentamiento podemos representar la resistencia frente a la temperatura. Observamos una ligera separación entre las curvas, que es mayor cuando la temperatura es más baja.



Introduciendo estos datos en el programa de ordenador conveniente los transformamos de manera que representamos como antes  $\ln(1/R)$  frente  $1/T$ . El mismo programa nos ajusta los datos mediante mínimos cuadrados a una recta, obteniendo los siguientes resultados:



$r=0.999465557$

corte eje Y=  $9.271675 \pm 0.268959$ ...corte eje Y=  $9.3 \pm 0.3$

pendiente=  $-(4573.74860 \pm 88.99628)$ ...pendiente=  $-(4570 \pm 90)$  K

Los resultados que hemos obtenido para la resistencia son diferentes si comparamos con lo que tuvimos para el calentamiento. En cualquier caso los nuevos datos se siguen ajustando fantásticamente a una recta, dada la proximidad de "r" a 1. La pendiente es diferente y con error mayor. Tenemos ya el dato que necesitábamos para calcular el gap:

$$E_G(0) = -2K_B \text{pendiente}$$

$K_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K=  $8.6 \cdot 10^{-5}$  eV/K es una constante

pendiente=  $-(4570 \pm 90)$ K

con lo que:

$$E_G(0) = 0.78604 \text{ eV}$$



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 32 JULIO DE 2010

el error relativo de este gap es el error relativo de la pendiente pues lo demás son constantes  $\Delta E_G(0) = 0.01548$  eV.

$$E_G(0) = (0.786 \pm 0.015) \text{ eV}$$

Tenemos dos resultados finales para el gap a cero grados, con un error relativo respectivamente del 1.125% para el calentamiento y del 1.9% para el enfriamiento. Ambos son realmente pequeños por lo que nuestros resultados son satisfactorios. En principio no tenemos ningún motivo para pensar que son mejores los resultados del enfriamiento o del calentamiento. Por tanto parece lógico tomar como resultado definitivo para el gap a cero grados el valor medio de los dos obtenidos. Lo mismo para el error, por lo que:

$$E_G(0) = (0.793 \pm 0.012) \text{ eV}$$

#### 4.2. Determinación del gap a 300 K:

En segundo lugar queremos obtener el valor del gap a 300K, usando las ecuaciones que hemos visto. Vamos a utilizar la dependencia lineal del gap con la temperatura que nos muestra la ecuación:

$$E_G(T) = E_G(0) - \alpha T; \text{ con } \alpha = \text{cte}$$

Conocemos ya el  $E_G(0)$ . Si queremos averiguar  $E_G(300)$  sustituimos T por 300. Sólo nos falta conocer la constante " $\alpha$ ". Para ello empleamos la siguiente expresión para la conductividad:

$$\sigma = l/RS = en_i (\mu_n + \mu_p)$$

donde  $n_i$  viene dada por la siguiente ecuación, que depende de varias constantes y de  $\alpha$ :

$$n_i = [2(2\pi m_e^*{}^{1/2} m_h^*{}^{1/2} K_B/h^2)^{3/2} \exp(\alpha/2K_B T)] T^{3/2} \cdot \exp(-E_G(0)/2K_B T)$$

Podemos tomando la segunda igualdad de la anterior ecuación de la conductividad y despejar " $\alpha$ ". Para ello tenemos que conocer todas las demás variables: " $l$ " es la longitud de la muestra de germanio que según el guión es de 2cm.; " $S$ " es la sección de la muestra normal a la entrada de corriente que se nos dice que viene dada por el producto 10x1 mm<sup>2</sup>; " $h$ " es la constante de Planck, conocida; " $K_B$ " es la constante de Boltzmann también conocida, las masas efectivas de huecos y electrones son factores numéricos de la masa del electrón que también es conocida; " $E_G(0)$ " es el valor experimental que hemos obtenido anteriormente. Lo único que hay que hacer es tomar un valor de la temperatura para el que tengamos un valor de la resistencia, fácilmente obtenible según las tablas anteriores. Con ello se puede despejar " $\alpha$ ". Lo valores numéricos de estas variables y constantes en el sistema internacional son los siguientes:

$$l = 2 \text{ cm}$$

$$S = 10 \text{ mm}^2$$

$$K_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = 8.6 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$m_e^* = 0.56 m_e$$



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 32 JULIO DE 2010

$$m_h^* = 0.37 m_e$$

$$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$\mu_n(300\text{K}) = \mu_n(298\text{K}) = 0.38 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$$

$$\mu_p(300\text{K}) = \mu_p(298\text{K}) = 0.182 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$E_G(0) = (0.793 \pm 0.012) \text{ eV}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$R_{\text{calentamiento}} = (480 \pm 3) \Omega$$

$$R_{\text{enfriamiento}} = (450 \pm 3) \Omega$$

Los datos para las resistencias son diferentes según se enfríe o se caliente. Calculamos para cada valor de "R" un "α":

$$\alpha (\text{calent}) = 4.960886465 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$$

$$\alpha (\text{enfria}) = 5.071892701 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$$

Del mismo modo que hicimos para el gap parece coherente tomar para α el valor medio de estos dos:

$$\alpha = 5.016388686 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$$

Conociendo "α" que, por la complejidad que presenta para calcular su error, lo consideraremos como una constante, y conociendo  $E_G(0)$  estamos ya en disposición de calcular  $E_G(300)$  según la expresión:

$$E_G(T) = E_G(0) - \alpha T$$

$$E_G(0) = (0.793 \pm 0.012) \text{ eV}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$\alpha = 5.016388686 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$$

El error relativo de  $E_G(300)$  es el error relativo de  $E_G(0)$ . Sustituyendo valores obtenemos definitivamente:

$$E_G(300) = (0.643512 \pm 0.009738) \text{ eV}$$

$$\boxed{E_G(300) = (0.644 \pm 0.010) \text{ eV}}$$

## 5. CONCLUSIONES.

Los datos bibliográficos para las magnitudes que hemos determinado a cero y trescientos Kelvin son:

$$E_G(0) = 0.75 \text{ eV} \quad E_G(300) = 0.67 \text{ eV}$$

mientras que nosotros hemos obtenido:



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 32 JULIO DE 2010

$$E_G(0) = (0.793 \pm 0.012) \text{ eV} \quad E_G(300) = (0.644 \pm 0.010) \text{ eV}$$

Por tanto nuestros resultados se parecen bastante a los medidos por otras personas. Son bastante aceptables.

Podemos reseñar que el valor del gap a cero grados obtenido en el enfriamiento se parece más al dado en la bibliografía que el que conseguimos calentando. Puede ser que sea más fiable el enfriamiento, pero en principio no tenemos motivos para pensarlo.

El dato que hemos obtenido para 300K se obtiene indirectamente a partir del resultado para 0K y para " $\alpha$ ", que depende de "R" y de  $E_G(0)$ . Para ser una resultado indirecto no está mal, pues se aproxima bastante al bibliográfico. Con un mejor valor de  $E_G(0)$  y mejor valor de la resistencia hubiéramos obtenido un mejor " $\alpha$ ", con lo que el resultado para  $E_G(300)$  sería aún mejor.

Considerando como el valor exacto el bibliográfico, los errores relativos de los resultados que hemos obtenido son:

$$\% \text{ error } E_G(0) = 5.73\% \quad \% \text{ error } E_G(300) = 3.88\%$$

En consecuencia, dados los errores más pequeños obtenemos buenos resultados, algo más cercano al real para el gap a 300K.

Posibles factores que han podido influir en la pequeña discrepancia son el instrumental: voltímetro y amperímetro, pues para una misma temperatura hemos obtenido diferentes valores de la resistencia según calentáramos o enfriáramos. Desde luego eso no debería haber ocurrido.

Otro factor es que hemos supuesto en nuestro planteamiento que la muestra de semiconductor era pura, con lo que su comportamiento era intrínseco. En realidad existirán en la muestra impurezas con lo que no será completamente intrínseco, aunque por la bondad de los resultados obtenidos cabe pensar que éstas se presentarán en una proporción muy pequeña.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Shalimova, K.V. (1975). *"Física de los semiconductores"*. Madrid: Mir.
- Tipler, P. (1998). *"Física"*. Barcelona: Reverte.
- Kittel, C. (1997). *"Introducción a la Física del Estado Sólido"*. Barcelona: Reverté.
- Albella, J.M., Martínez-Duart, J.M. (1996). *"Fundamentos de electrónica física y microelectrónica"*. Buenos Aires: Addison Wesley Iberoamericana.
- Mac Kelvey, J. P. (1976). *"Física del estado sólido y de semiconductores"*. México, D.F.: Limusa.
- Sze, S.M. (1969). *"Physics of semiconductor devices"*. New York: John Wiley and Sons.



ISSN 1988-6047    DEP. LEGAL: GR 2922/2007    Nº 32 JULIO DE 2010

Autoría

---

- Nombre y Apellidos: María Francisca Ojeda Egea.
- Centro, localidad, provincia: IES Ángel Ganivet, Granada (Granada).
- E-mail: francisojedaegea@gmail.com