

Análisis de un termistor

Agustín ARAGÓN CANALES *
Consuelo CAGIGAS DE LAFUENTE **

Introducción

Este trabajo ha sido realizado en colaboración con los alumnos de 3.º de BUP del I. B. mixto de Galdácano, en la asignatura de Electricidad (EATP).

Evidentemente se ha omitido la compleja teoría que explica los fenómenos de conducción en los semiconductores, aunque sí ha sido necesario explicar unos mínimos conceptos sobre conductividad, estructura de bandas, portadores de carga...

La colaboración de los alumnos ha sido útil sobre todo en el montaje de los distintos dispositivos y análisis de los resultados. Ellos mismos han ajustado la distribución de puntos a una recta mediante el método de mínimos cuadrados, método que han utilizado en anteriores prácticas.

Conducción en un semiconductor

Las propiedades semiconductoras son debidas a distintos factores: la agitación térmica, defectos de la red, impurezas...

En general, los semiconductores tienen una conductividad (σ) comprendida entre los buenos conductores y los aislantes; a temperatura ambiente la conductividad está comprendida entre 10^2 y $10^{-9} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$.

La conducción que nos interesa es la debida a la agitación térmica (denominada intrínseca); si la temperatura en el semiconductor se eleva, la agitación térmica crece, causando la ruptura de los enlaces de valencia y esto hace que

* Profesor agregado de física y química. Instituto de Galdácano (Vizcaya).

** Licenciada en Ciencias Químicas.

algún e⁻ de valencia quede libre. Debido a esto algún enlace queda no saturado y en ese lugar parece concentrarse una carga positiva, es decir, que la vacante que deja el e⁻ liberado por el átomo se comporta como si fuera una partícula libre, este enlace no saturado se denomina hueco (o laguna).

El enlace de valencia incompleto puede ser llenado por un e⁻ que pasa a éste desde el enlace saturado contiguo y, por tanto, el mismo se desplazará por el cristal a consecuencia del intercambio de e⁻ entre átomos.

El hueco se comporta como una partícula positiva (igual en magnitud a la del e⁻) que se mueve en la dirección del campo eléctrico \vec{E} que se aplique.

Según esto, cabe esperar que la conductividad en un semiconductor aumenta con la temperatura, la dependencia entre ambas variables viene regida por la siguiente ecuación:

$$\sigma \propto E^{-E_g / 2kT}$$

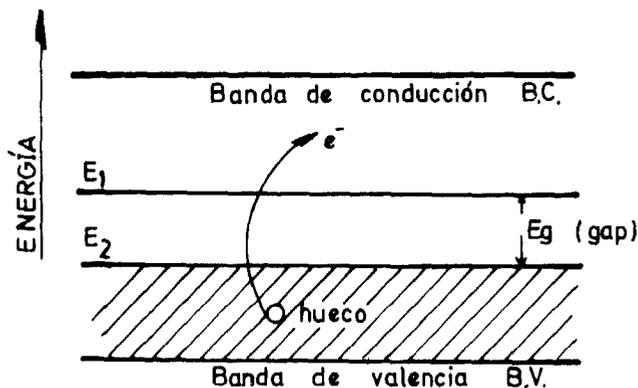
La deducción de esta expresión se puede encontrar en cualquier tratado de Física del Estado Sólido. Como la intensidad de la corriente es proporcional a la conductividad se deduce que:

$$I = C \cdot e^{-E_g / 2kT} \quad (1)$$

donde C depende de la temperatura, pero el factor exponencial es el dominante.

Según la teoría de bandas de energía (figura 1), E_g representa la anchura de la banda prohibida (esta banda contiene un conjunto de niveles energéticos que no puede ocupar el e⁻).

Si la temperatura es de 0° K la BV está totalmente llena y la BC vacía. E_1 representa la mínima energía que debe tener un e⁻ libre y E_2 la máxima energía que debe tener un e⁻ del enlace completo; la BV comprende el espectro de energías de todos los e⁻ de valencia ligados.



ESQUEMA DE BANDAS DE ENERGÍA

Figura 1

Tomando Ln en (1):

$$\text{Ln } I = \text{Ln } C - \frac{E_g}{2 K} \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

Representando Ln I frente a 1/T se obtiene una pendiente:

$$\text{tg } \theta = - \frac{E_g}{2 K} \quad (\text{figura 2}) \text{ para la recta.}$$

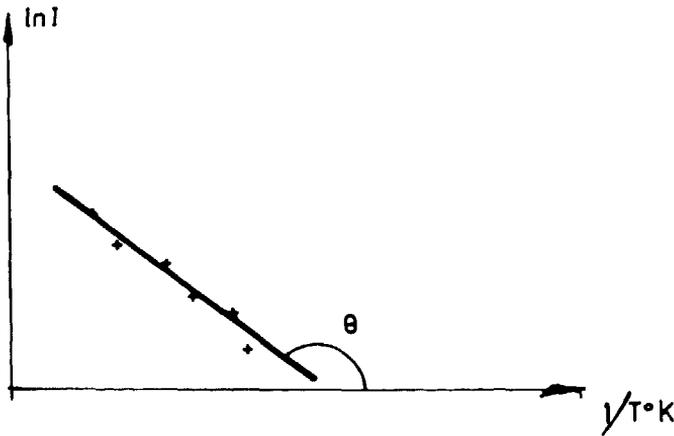


Figura 2

Práctica: Determinación de las características de un termistor

Cuando un semiconductor se utiliza teniendo en cuenta la propiedad de que su conductividad varía con la temperatura, se denomina termistor. Existen dos tipos:

PTC (Positive temperature coefficient).

NTC (Negative temperature coefficient).

En nuestro trabajo hemos utilizado un NTC (en forma de disco con dos terminales).

Material

Fuente de alimentación c.c., Shunt (30 mA), Resistencia de voltímetro (6 V), Resistencia óhmica (470 Ω), 2 polímetros (equipo electricidad ENOSA), cables de conexión, vaso de precipitados (1.000 c.c.), rejilla de

amianto, termómetro (0,2° C), mechero Bunsen y soporte, nueces dobles, varillas (equipo de mecánica de ENOSA).

El termistor fue montado (figuras 3 y 4) sobre el soporte de una regleta, y quedó sumergido en el agua.

Ésta se calienta lentamente, y antes de tomar la medida se retira el mechero agitando el agua para conseguir una temperatura homogénea y a la vez estacionaria; los intervalos de temperatura entre dos medidas consecutivas oscilan entre 4 y 10° C.

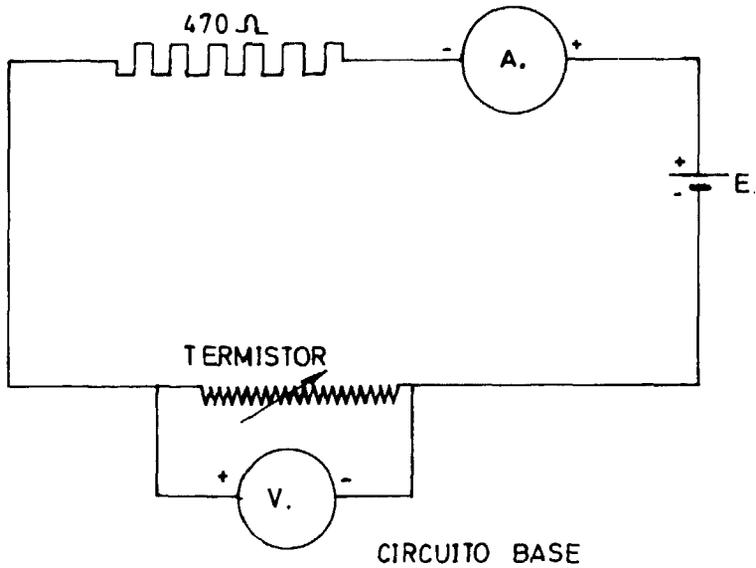


Figura 3

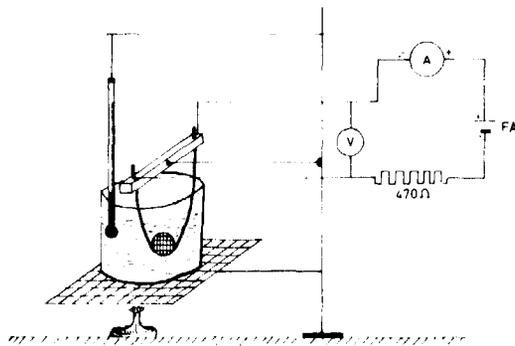


Figura 4

Análisis de un termistor

Los valores obtenidos en este caso por uno de los grupos de alumnos quedan reflejados en la tabla siguiente:

t °C	V (voltios)	I (mA)	V/I = R (Ω)	1/T ^{OK} ⁻¹	Ln I	(1/T) ²	1/T · Ln I
13,5	5	8	625	3,49 · 10 ⁻³	2,08		—
21,5	4,5	10	450	3,39 · 10 ⁻³	2,30		—
25,5	4,3	11,5	374	3,35 · 10 ⁻³	2,44		—
35	4	14	286	3,24 · 10 ⁻³	2,64		—
44	3,5	16	219	3,15 · 10 ⁻³	2,77		—
52	3	18	166	3,07 · 10 ⁻³	2,89		—
59	2,6	19,5	133	3,01 · 10 ⁻³	2,97	9,06 · 10 ⁻⁶	8,94 · 10 ⁻³
65	2,3	21	109	2,95 · 10 ⁻³	3,04	8,70 · 10 ⁻⁶	8,97 · 10 ⁻³
70	2	22	91	2,91 · 10 ⁻³	3,09	8,46 · 10 ⁻⁶	8,99 · 10 ⁻³
75	1,8	23	78	2,87 · 10 ⁻³	3,13	8,23 · 10 ⁻⁶	8,98 · 10 ⁻³
85	1,4	24	58	2,79 · 10 ⁻³	3,17	7,78 · 10 ⁻⁶	8,84 · 10 ⁻³
92	1,2	25	48	2,74 · 10 ⁻³	3,21	7,50 · 10 ⁻⁶	8,79 · 10 ⁻³
100	1	26	38	2,68 · 10 ⁻³	3,25	7,18 · 10 ⁻⁶	8,71 · 10 ⁻³

El análisis de los datos obtenidos, para estudiar la dependencia de la intensidad de corriente con la temperatura, lo realizamos para el intervalo correspondiente a las temperaturas más altas (correspondiente al intervalo de temperatura donde domina la conducción intrínseca). Los puntos correspondientes a este intervalo de temperaturas son los que se han ajustado (figura 5); la pendiente de la recta de ajuste es:

$$\operatorname{tg} \theta \approx -1.000 \text{ } ^\circ\text{K}$$

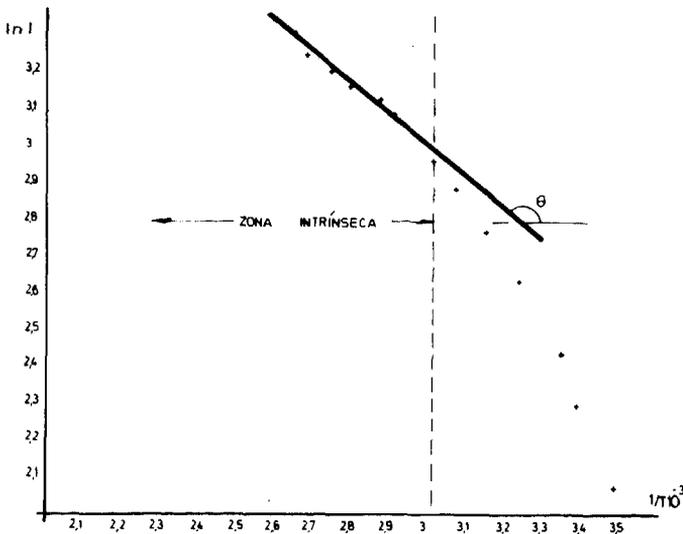


Gráfico del logaritmo de la intensidad en función de la inversa de la temperatura (°K)

Figura 5

Sustituyendo en la expresión $\text{tg } \theta = -E_g/2K$, donde: $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{°K}^{-1}$ es la constante de Boltzmann, obtenemos para $E_g = 0,17 \text{ eV}$.

Respecto a la resistencia del termistor, vemos que el comportamiento de la misma respecto a la temperatura es diferente a la de un metal puro (figura 6). En este último la resistencia es función lineal de la temperatura (para un intervalo amplio de la misma):

$$R = R_0 (1 + \delta t)$$

Para un termistor la dependencia es de la forma: $R = R_0 e^{\beta/T}$ (no lineal); el cálculo de los parámetros R_0 y β se hizo ajustando los puntos de la gráfica a la ecuación anterior. Los valores obtenidos son:

$$R_0 \approx 3,3 \cdot 10^{-3} \Omega, \quad \beta \approx 3.500 \text{ °K}$$

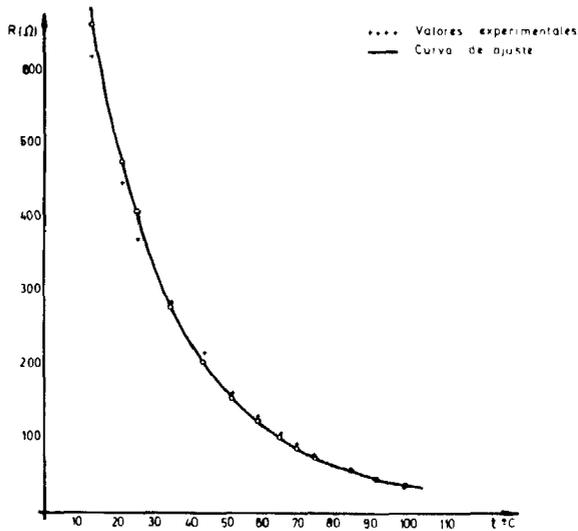


Figura 6

Gráfica $R = f(t)$ para el termistor (NTC) Comportamiento no lineal

Complemento

Aplicaciones

La aplicación más común del termistor es la de detector en instrumentos de medición de temperaturas. También se utiliza en instrumentos eléctricos y electrónicos como potencia en microondas, detección de nivel de líquidos, etc.

Bibliografía

- KITEL, CHARLES: *Introducción a la física del estado sólido*. Editorial Reverté, 1975.
 MILLMAN, JACOB; HALKIAS, CHRISTOS C.: *Dispositivos y circuitos electrónicos*. Anaya, 1972.
 SHALIMOVA, K. V.: *Física de los semiconductores* (MIR, Moscú).