

Determinación del ancho de banda prohibido para un semiconductor de Silicio

Nicolás Di Fiori – Federico Foieri – Matías Rodríguez
 nicolasdf@fibertel.com.ar, fedefoieri@hotmail.com, srv@labs.df.uba.ar
 Laboratorio 5 – FCEyN – UBA, Octubre de 2001

En este trabajo se determinó el ancho de banda de energía prohibida o band-gap de una muestra de silicio observando la evolución de la resistividad en función de la temperatura utilizando la técnica de van der Pauw. El resultado obtenido fue $E_g = (1,00 \pm 0,02)\text{eV}$.

Introducción

Los sólidos pueden dividirse de acuerdo a su conductividad eléctrica en tres grandes grupos: los conductores, los aislantes y los semiconductores. Además, la dependencia de la conductividad eléctrica con la temperatura es muy distinta para los conductores que en el caso de los aislantes y semiconductores.

Para explicar el comportamiento de la conductividad eléctrica en los semiconductores y dieléctricos se desarrolló la teoría de bandas en los sólidos. Esta teoría, que tiene en cuenta el comportamiento mecánico-cuántico de los electrones en presencia de potenciales periódicos que representan a la red cristalina del material, propone la existencia de bandas o *gaps* de energía en la distribución de estados de los electrones de conducción. El estado fundamental –de menor energía–, en el que se encuentran los electrones se denomina banda de valencia. La siguiente banda de energía permitida se encuentra vacía en los aislantes y se denomina banda de conducción. Existen bandas de energía prohibidas en las cuales no existe solución para la ecuación de ondas de los electrones. Para que los electrones se ubiquen en banda de conducción es necesario que superen la diferencia de energía o *band gap*. Estas bandas cumplen un papel decisivo en la

determinación la conductividad de un sólido.

En el caso del semiconductor silicio (Si), se pueden generar electrones libres en la banda de conducción y huecos en la banda de valencia. Analizaremos la creación de estos huecos como función de la temperatura.

La conductividad de un material en función de la temperatura viene dada por:

$$\sigma = c \cdot \exp\left[\frac{-E_g}{2kT}\right] \quad (1)$$

donde E_g es la energía del band gap, c una constante que consideraremos independiente de la temperatura, k la constante de Boltzmann y T la temperatura en cuestión.

Esta fórmula es válida si el material es altamente puro, de manera que sea posible despreciar el aporte a la conductividad por las impurezas; además la temperatura debe ser superior a los 400°K para que la movilidad esté determinada principalmente por la dispersión de los portadores de carga debido al *scattering* por fonones acústicos.

Método Experimental

La experiencia consistió en medir la resistividad de la plancha de silicio para distintas temperaturas. El dispositivo utilizado se muestra en la Fig.1.

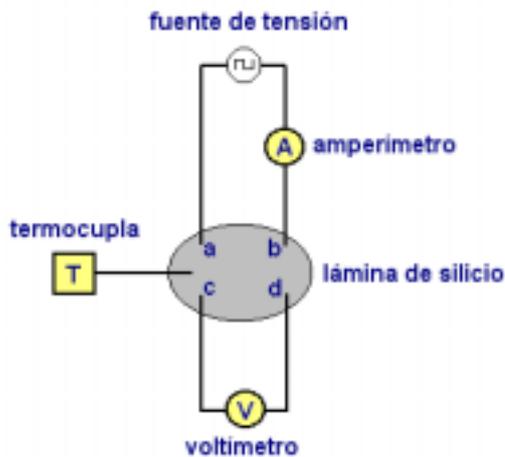


Figura 1 – Dispositivo experimental utilizado para la técnica de van der Pauw.

Se utilizó la técnica de van der Pauw, aplicable a muestras de geometría plano paralela, para medir la resistividad de la lámina delgada de espesor constante d . Se ubicaron cuatro contactos en los extremos del semiconductor como muestra la Fig.1. Por dos de ellos se envió corriente y se midió la caída de potencial en los dos restantes.

La corriente fue aplicada por un generador de ondas cuadradas, compensándose así los efectos indeseados como son los potenciales de contacto y termoeléctricos. Al calcularse el valor medio durante un período de la onda como $V_{\text{muestra}} = V_{\text{leído(I)}} - V_{\text{leído(-I)}} / 2$ nos deshicimos de estos potenciales indeseados.

Para variar la temperatura usamos la resistencia de una plancha alimentada

por un variac, sobre la cual se montó la muestra, ubicada en el interior de un horno de ladrillo. Con el objeto de determinar la temperatura del cristal se utilizó una termocupla tipo K conectada a una placa de adquisición.

Se realizó esta medición con dos configuraciones distintas, primero medimos la caída de tensión entre C y D al circular corriente entre A y B; y luego intercambiamos los contactos A y D, midiendo de esta forma la caída de tensión entre A y C al circular corriente entre B y D. Así, calculamos las dos resistencias:

$$R_{AB,CD} = \frac{V_{CD}}{I_{AB}} \quad R_{BD,CA} = \frac{V_{AC}}{I_{BD}} \quad (2)$$

con las que es posible obtener la siguiente relación:

$$\exp\left[\frac{-R_{AB,CD} \cdot d\pi}{\rho}\right] + \exp\left[\frac{-R_{BD,CA} \cdot d\pi}{\rho}\right] = 1 \quad (3)$$

donde ρ es la resistividad y d el espesor de la muestra.

Realizándose mediciones para distintas temperaturas se pudo determinar la resistividad en cada caso, resolviendo numéricamente la Ec.3. Luego, dado que la resistividad es la inversa multiplicativa de la conductividad, obtenemos, a partir de la Ec.1:

$$\rho = \rho_o \exp\left[\frac{E_g}{2kT}\right] \quad (4)$$

Resultados y Discusiones

Para determinar el ancho de la banda prohibida se realizó un gráfico de $\ln \rho$ en función de $1/2kT$ (Fig.2). Realizando una regresión lineal para la zona de altas temperaturas se logró determinar el ancho de banda prohibida. También se puede notar en la figura que la zona de validez de la Ec.1 es a partir de los 418°K.

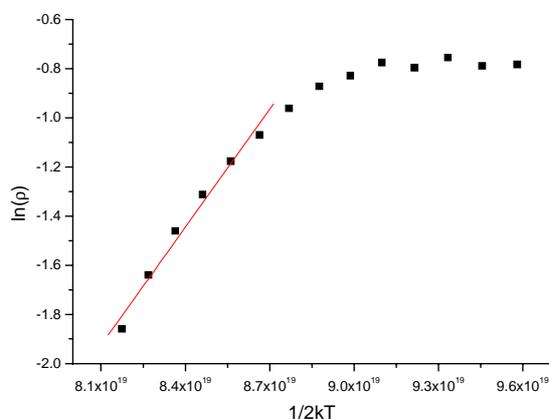


Figura 2 – Logaritmo de la resistividad en función de $1/2kT$. El ajuste lineal se hizo para la zona de altas temperaturas (418-450°K).

El valor del band gap obtenido fue de $E_g = (1,00 \pm 0,02)eV$, mientras que el valor tabulado es de 1,12eV.

Conclusiones

Los valores obtenidos para la resistividad del silicio poseen una dependencia con la temperatura que se ajusta en forma correcta a la teoría para temperaturas superiores a los 400°K.

El hecho de haber utilizado la técnica de van der Pauw, para independizarse de la geometría de la

muestra, trae consigo una mayor incerteza al tener que relacionar datos correspondientes a diferentes configuraciones. También se pudo corroborar mediante la Fig.2 la hipótesis de que el aporte de las impurezas a la conductividad disminuye para altas temperaturas.

Sin embargo con la intención de conseguir mediciones correspondientes a equilibrio térmico de la muestra fueron seleccionados solo algunos datos, como posible mejora en la adquisición de datos podría utilizarse un termostato para mantener la temperatura fija.

Bibliografía

- N.W.Ashcroft and D. Mermin, "Solid State Physics", Saunders College Publishing, 1976, Págs. 562-587
- Charles Kittel, "Introducción a la Física del Estado Sólido, Ed. Reverté, 1998, Barcelona, Págs. 190-196.
- D.K. De Vries and A.D.Wieck, "Potential distribution in the van der Pauw technique".Am. J. Physics 63 (12), December 1995.
- L. J. Van der Paw, Phillips Research Report, material proporcionado por docentes de Laboratorio 5.