

## Estudio de la magnetoresistencia en el compuesto ternario $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$

Manuel Villarreal y Braulio Fernández\*

Laboratorio de Temperaturas Bajas, Centro de Estudio de Semiconductores.  
Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes.  
Apartado de Correos N° 1, La Hechicera-Mérida, 5251, Venezuela

Recibido: 30-11-05 Aceptado: 10-04-06

### Resumen

En este trabajo presentamos el estudio de la magnetoresistencia  $\Delta\rho / \rho_0$  del compuesto ternario  $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$  tipo-p en función de campo magnético, de 2 a 16 kG, y en un rango de temperaturas de 80 a 300 K. Del ajuste de la magnetoresistencia se obtienen los valores de la movilidad de arrastre de los portadores, observándose una clara dependencia con la movilidad de Hall, donde el factor de Hall es cercano a la unidad.

**Palabras clave:** Nuevos materiales; magnetoresistencia; semiconductores.

## Study of the magnetoresistance in the ternary compound $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$

### Abstract

In this work we present the study of the magnetoresistance  $\Delta\rho / \rho_0$  of the ternary compound  $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$  type-p depending on magnetic field, from 2 to 16 kg, and in a range of temperatures from 80 to 300 K. Of the adjustment of the magnetoresistance there are obtained the values of the mobility of dragging of the carriers, a clear dependence being observed by Hall's mobility, where Hall's factor is near to the unit.

**Key words:** New materials; magnetoresistance; semiconductors.

### 1. Introducción

Los compuestos ternarios pertenecientes a la familia  $\text{Cu}_2\text{-Ge-VI}_3$  (VI = S, Se, Te) presentan potenciales aplicaciones como dispositivos foto-voltaicos y acusto-ópticos en el infrarrojo cercano (1-5). Estos materiales poseen bajos puntos de fusión, los cuales disminuyen a medida que el número atómico, el peso atómico y el radio del anión aumentan. En un estudio reciente (6) en-

contramos que el  $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$  cristaliza en el sistema ortorrómbico con grupo espacial  $\text{Imm}2$  y parámetros de celda unidad:  $a = 11.8616(3) \text{ \AA}$ ,  $b = 3.9525(1) \text{ \AA}$ ,  $c = 5.4879(1) \text{ \AA}$ ,  $V = 257.29(1) \text{ \AA}^3$  y funde a  $765^\circ\text{C}$ .

La magnetoresistencia es uno de los efectos galvanomagnéticos mejor conocidos en los semiconductores. La magnetoresistencia negativa aumenta generalmente con la disminución de la

\* Trabajo presentado en el V Congreso de la Sociedad Venezolana de Física la Universidad del Zulia. Nucleo Punto Fijo - Edo. Falcón, Venezuela, Noviembre 2005.

\* Autor para la correspondencia. E-mail: braulio@ula.ve

temperatura pero, en algunos casos, muestra saturación (7-10), mientras que, es máxima (11). La magnetoresistencia positiva no posee, en algunos casos, muy baja o ninguna dependencia con la temperatura (7-10) pero puede presentarse que su razón de cambio con el campo  $\Delta\rho/\rho_0 = f$  aumente cuando la temperatura disminuye ( $T \rightarrow 0$ ) (11).

Con el propósito de establecer alguna relación en la dependencia de la magnetoresistencia con el campo y la temperatura en el compuesto ternario Cu<sub>2</sub>GeSe<sub>3</sub>, en este trabajo se presenta el estudio de la magnetoresistencia en función de campo y temperatura.

## 2. Detalles Experimentales

El compuesto fue sintetizado por fusión directa de sus elementos constituyentes, pesados en sus relaciones estequiométricas y colocados en una capsula de cuarzo sellada al vacío (6). La composición y la estequiometría fue verificada por análisis químico EDX. La homogeneidad fue corroborada midiendo diversas porciones a lo largo del lingote. La composición promedio obtenida viene dada por los valores siguientes: Cu: 1.81 ( $\pm 0.9\%$ ), Ge: 1.05 ( $\pm 0.9\%$ ), Se: 3.14 ( $\pm 1.0\%$ ), con una estequiometría cercana a la relación ideal 2:1:3.

La magnetoresistencia fue medida desde 2 a 16 kG en un rango de temperaturas de 80 a 300 K, empleando la técnica de Van der Pauw (12). Los contactos de la muestra fueron soldados con indio y de la curva característica I-V se deduce que son completamente ohmicos en un rango de 1 a 20 mA, a 80 K y temperatura ambiente.

## 3. Resultados Experimentales y Discusión

En la Figura 1 se muestran las curvas obtenidas para la magnetoresistencia en función del campo magnético a diferentes temperaturas para el compuesto Cu<sub>2</sub>GeSe<sub>3</sub>.

La magnetoresistencia presenta una pequeña variación, siendo positiva en casi todo el rango de temperatura, salvo las temperaturas T

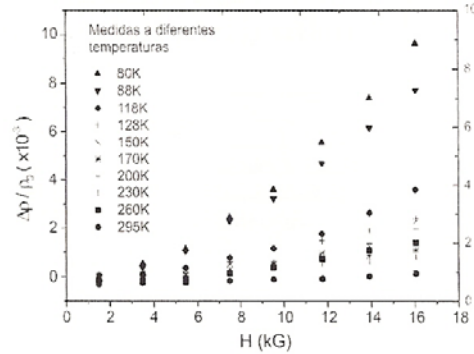


Figura 1. Magnetoresistencia en función de campo para el Cu<sub>2</sub>GeSe<sub>3</sub>.

> 260K, donde se observa una magnetoresistencia negativa a campos bajos,  $B < 4$  kG.

La naturaleza de la magnetoresistencia puede analizarse como la suma de las componentes positiva y negativa, Para la componente positiva se utilizó la siguiente función<sup>13</sup> válida a campos bajos:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = (\mu_d B)^2 \left\{ \frac{\Gamma(3p+5/2)}{\Gamma^3(p+5/2)} \Gamma^2(5/2) - \left[ \frac{\Gamma(2\pi+5/2)}{\Gamma^2(p+5/2)} \Gamma(5/2) \right]^2 \right\} \quad [1]$$

donde:  $\mu_d$ , es la movilidad de arrastre de los portadores de carga, B, el campo magnético y  $p = -1/2$  considerando el caso para fonones acústicos.

Para fines de cálculo, la ecuación anterior se reduce a:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = \frac{9}{4} \pi (1 - \pi/4) * 10^{-6} (\mu_d H)^2 \quad [2]$$

Para la componente negativa se utilizó la función (14):

$$-\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = \frac{\Delta\rho_{sat}}{\rho_0} \tanh^2 \left( \frac{\mu_d H}{K_B T} \right) \quad [3]$$

Tabla 1  
Resultados del ajuste de la magnetorresistencia en función de campo.

T(K)	$\mu_B$ (cm <sup>2</sup> / V.s)	$\mu_d$ (cm <sup>2</sup> / V.s)	$A = \mu_B / \mu_d$	$\frac{\Delta\rho_{sat}}{\rho_0}$	$\mu^*$
80	4.5	5.0	0.9	-	-
88	5.2	4.6	1.1	-	-
118	5.0	4.0	1.25	-	-
130	4.7	3.5	1.3	-	-
150	4.3	3.3	1.3	-	-
170	4.0	2.8	1.4	-	-
200	3.2	2.6	1.2	-	-
230	2.5	1.8	1.4	-	-
260	2.2	2.1	1.0	0.0022	0.26
295	1.5	1.5	1.0	0.0024	0.43

donde:  $\mu^* = g^* \mu_B$ , siendo  $\mu_B$  el magnetón de Bohr y  $g^*$  un factor de Landé o factor de corrimiento espectroscópico, y  $\frac{\Delta\rho_{sat}}{\rho_0}$  que es proporcional a la concentración de estados magnéticos.

Por tanto:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = \frac{9}{4}\pi(1 - \pi/4) \cdot 10^{-6} (\mu_d H)^2 - \frac{\Delta\rho_{sat}}{\rho_0} \tanh^2\left(\frac{\mu^* H}{K_B T}\right) \quad [4]$$

donde:  $H$  está dado en kG y  $K_B = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV / K}$ .

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos para la movilidad de arrastre del ajuste de la magnetorresistencia junto a las movilidades de Hall. Se aprecia de la tabla, como la movilidad de arrastre disminuye a medida que la temperatura aumenta, observándose una clara dependencia con la movilidad de Hall, donde el factor de Hall es cercano a la unidad. También se presentan los valores de la magnetorresistencia de saturación  $\frac{\Delta\rho_{sat}}{\rho_0}$

y  $\mu^*$  sólo en las últimas temperaturas, 260 y 295K, donde existe una dependencia apreciable de la componente negativa en dichas curvas de ajuste.

#### 4. Conclusiones

La magnetorresistencia del compuesto ternario  $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$  presenta una pequeña variación, observándose una clara dependencia entre la movilidad de arrastre y la movilidad de Hall de los portadores, donde el factor de Hall es cercano a la unidad.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el CDCHT-ULA a través del Proyecto NURR-C-301-01-C.

#### Referencias Bibliográficas

1. PARTE E., GARÍN J. *Monastsh Chem* 102: 1197, 1972.
2. ROGARROCHA E.P., MELIKHOVA A.N., PANASENCO N.M. *Neorg Mater* 11: 839, 1975.
3. ZHUKOV E.G. *Zh Neorg Khim* 29: 1897, 1984.
4. FERNÁNDEZ B.J., HENAO J.A., DELGADO J.M. *Cryst Res Technol* 31: 65, 1996.
5. OLEKSEYUK I. D. *J Alloys Compounds* 298: 203, 2000.

6. VILLARREAL M.A., FERNÁNDEZ B.J., PIRELA M., VELÁSQUEZ-VELÁSQUEZ A., MORA A., DELGADO G. *Revista Mexicana Física* 49: 198, 2003.
7. KATAYAMA Y., TANAKA S. *Phys Rev* 153: 873, 1967.
8. SASAKI W. *J Phys Soc Jap* 20: 825, 1965.
9. MIRZABAEV M. *Sov Phys-Solid State* 5: 1179, 1963.
10. KHOSLA R.P., SLADEK R.J. *Phys Rev Lett* 15: 521, 1965.
11. HALBO L., SLADEK R.J. *Phys Rev* 173: 794, 1968.
12. VAN DER PAUW L.J. *Philips Research Reports* 13: 1, 1958.
13. FERNÁNDEZ B.J. *Notas del Curso de Semiconductores (Postgrado)*. Capítulo 3. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, 1998.
14. YAFETY., KEYES R.W., ADAMS E.N. *J Phys Chem Solids* 1: 137, 1956.