

Propiedades Magnéticas del Sistema de Aleaciones $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$ *

R. Tovar**, E. Quintero, M. Quintero y M. Morocoima

Dpto. de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Apartado N° 1,
Mérida 5101, Venezuela.

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

Resumen

Se prepararon muestras policristalinas del sistema de aleaciones $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$ mediante el método de fusión y recocido. Se realizaron medidas de susceptibilidad magnética en el rango de temperatura comprendido entre 2 y 300 K, que permitieron determinar la temperatura de Néel T_N . Así mismo, la dependencia con la temperatura de $1/\chi$ en el rango $T > 150$ K para $0,1 \leq z \leq 1,0$ es de tipo Curie-Weiss con χ negativa indicativa de un orden antiferromagnético. Los valores de la constante de Curie C y del momento magnético efectivo obtenidos de las curvas de $1/\chi$ versus T, indican el bloqueo del momento magnético angular en este sistema de aleaciones.

Palabras clave: Aleaciones; propiedades magnéticas; semiconductores.

Magnetic properties of alloys system $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$

Abstract

Polycrystalline samples of $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$ system were prepared by the melt and anneal technique. Magnetic susceptibility in the temperature range from 2 to 300 K measurements, were made on the prepared samples. Values of T_N , the Néel temperature were obtained from the χ versus T curves. The $1/\chi$ versus T curves indicated that for $0,1 \leq z \leq 1,0$ all alloys showed antiferromagnetic Curie-Weiss behavior at high temperature. The values of the Curie constant C and the effective number of Bohr magnetons P_{eff} , obtained from the $1/\chi$ versus T plot indicated that the magnetic angular moment is quenched for this alloy system.

Key words: Alloys; magnetic properties; semiconductors.

Introducción

El interés suscitado por las aleaciones semiconductoras magnéticas diluidas, también denominadas aleaciones semiconductoras semimagnéticas es relativamente reciente. Este interés se justifica, tanto desde un enfoque netamente académico como des-

de el punto de vista tecnológico, por los interesantes y novedosos efectos magnéticos que presentan y también por sus potenciales aplicaciones (1).

Estos materiales se obtienen a partir de semiconductores "ordinarios" o no magnéticos, reemplazando parcial o totalmen-

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

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

te iones no magnéticos por iones magnéticos tales como Mn, Fe, Cr, etc. Hasta ahora, la mayor parte de los trabajos relativos a estos materiales se han centrado principalmente en el estudio de aleaciones semimagnéticas derivadas de los semiconductores binarios $A^{II}B^{VI}$ con Mn como ión magnético ($A_{1-x}^{II}Mn_xB^{VI}$).

La estructura electrónica del Fe^{+2} [$3d^5$] con cinco electrones de valencia produce un campo magnético neto. La existencia de momentos localizados en el seno de un semiconductor, como en el caso de las aleaciones $A_{1-x}^{II}Mn_xB^{VI}$, conduce a la modificación de la estructura de bandas por la interacción de intercambio de los electrones $3d^5$ del Fe con los electrones de las bandas, lo que origina el desdoblamiento de los niveles electrónicos bajo la acción de un campo magnético externo. Es precisamente esta interacción de intercambio sp-d la responsable de fenómenos físicos en los que intervienen los electrones de las bandas de conducción y valencia, por ejemplo los fenómenos de magneto-transporte asociados a transiciones interbandas. También otros fenómenos en los que intervienen los niveles excitónicos, como la rotación de Faraday gigante. Así mismo fenómenos en los que intervienen los niveles de impureza, como por ejemplo el polarón magnético ligado (BMP) y la enorme magneto-resistencia negativa a campos relativamente pequeños, etc.

En este trabajo se presenta la caracterización magnética del sistema de aleaciones $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$.

Materiales y Métodos

La síntesis de las aleaciones del sistema $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$, se realizó por el método de fusión y recocido (2). La primera etapa consiste en pesar las cantidades apropiadas de los elementos constituyentes en relaciones estequiométricas e introducirlos en cápsulas de cuarzo evacuadas a 10^{-5} Torr, previamente sometidas a pirólisis para evitar así su dete-

rioro. Seguidamente, se introducen las cápsulas en un horno de fusión, donde se las somete a un programa preestablecido de calentamiento, recocido y enfriamiento. Inicialmente se incrementa progresivamente la temperatura a razón de $100^\circ\text{C}/\text{hora}$ hasta arribar a 1100°C ; luego, para lograr la homogenización del material se mantiene bajo este régimen por un lapso de 36 horas y en seguida, se procede a disminuir la temperatura muy lentamente a una rata de $10^\circ\text{C}/\text{hora}$ hasta la temperatura ambiente. Utilizando esta rutina, se obtuvieron muestras homogéneas y en buen equilibrio. Las medidas magnéticas en el rango entre 2 y 300K, se realizaron a bajo campo magnético externo (100 Gauss) mediante un magnetómetro SQUID (Quantum Design modelo MPMS5).

Resultados y Discusión

Se realizaron medidas de susceptibilidad magnética χ en función de la temperatura a bajo campo (100 Gauss) del sistema de aleaciones $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$ para el rango de composición $0,1 \leq z \leq 1,0$. La dependencia con la temperatura T de $1/\chi$, es bastante similar a la reportada previamente para este tipo de aleaciones (3-7). A manera de ejemplo, las Figuras 1 y 2 muestran las curvas características para $z = 0,5$. En este caso, del ajuste de los resultados de $1/\chi$ en función de la temperatura a la ecuación:

$$\chi = \frac{C}{T + \theta} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} \text{Obtuvimos } C &= 2,4648 \times 10^{-3} \text{ emuK/g,} \\ &= -13,3795 \text{ K y } T_N = 5 \text{ K.} \end{aligned}$$

La Figura 3, muestra la variación con la composición de la temperatura de Curie-Weiss q en todo el rango de composición. Para $z \geq 0,3$, se determinaron los valores de la temperatura de Néel T_N . En el rango $0,1 \leq z < 0,3$, por limitaciones experimentales no fue posible medir T_N . Estos resultados se muestran en la Figura 4.

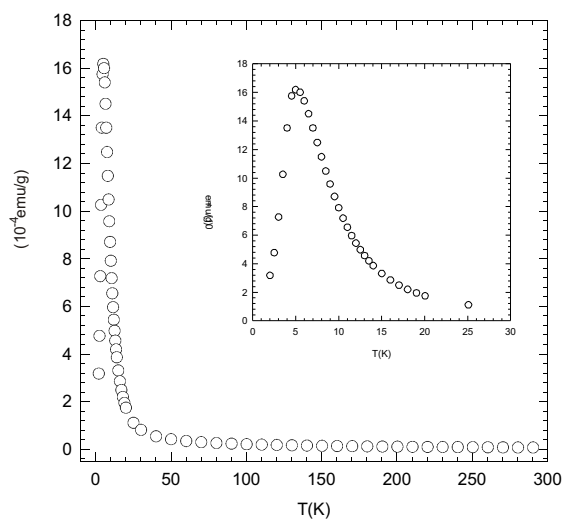


Figura 1. $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$. como función de la temperatura T para $z=0,5$.

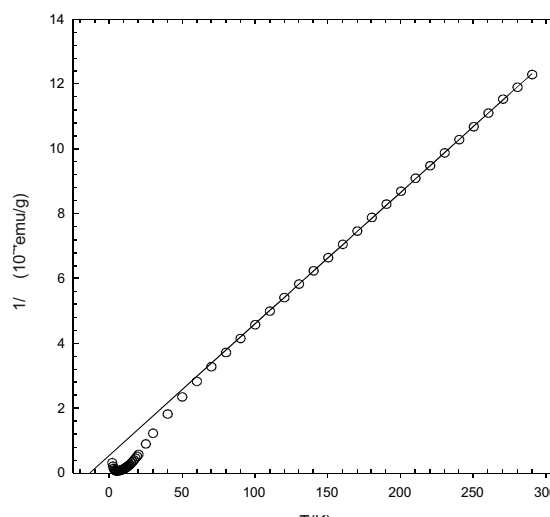


Figura 2. $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$. $1/$ como función de la temperatura T para $z=0,5$.

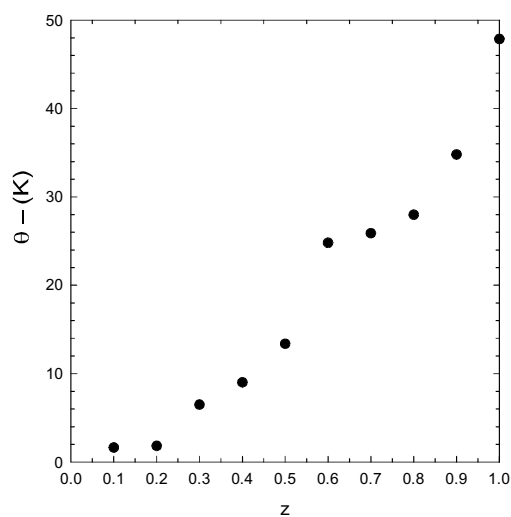


Figura 3. $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$. Temperatura de Curie-Weiss θ en función de la composición.

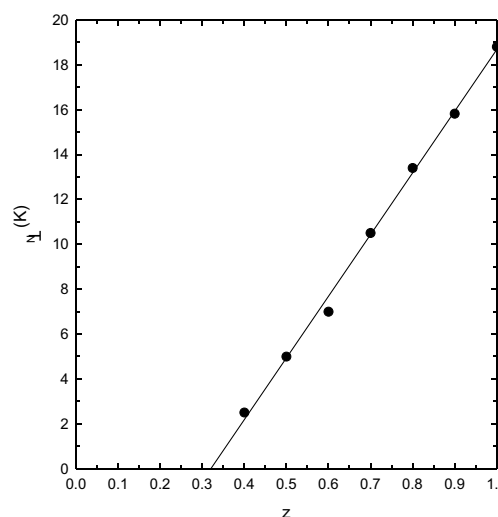


Figura 4. $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$. Temperatura de Néel T_N en función de la composición.

En la Tabla 1 se resumen los principales parámetros magnéticos correspondientes a este sistema de aleaciones. Se observa, que todas las aleaciones estudiadas presentan el momento magnético orbital bloqueado $\vec{L} = \vec{0}$, por lo que la contribución a la susceptibilidad magnética proviene solo del

momento magnético de espín \vec{S} . En cuanto al momento magnético efectivo P_{eff} , observamos que en general (excepto para $z = 0,9$) es ligeramente inferior al valor teórico asociado al ión Fe^{+2} ($4,90 \mu_B$). Por otra parte, tenemos que tanto la temperatura de Curie-Weiss como la temperatura de Néel T_N aumentan con la concentración de Fe. Se evidencia que

Tabla 1
Parámetros magnéticos correspondientes al sistema $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$

| z | $C_{\text{exp}} (\times 10^{-3})$ (emu K/g) | $C_{\text{teor}} (\times 10^{-3})$ emu K/g) $J = 2$ | $C_{\text{teor}} (\times 10^{-3})$ emu K/g) $J = 4$ | (K) | T_N (K) | P_{eff} (μ_B) |
|-----|--|--|--|-------|-----------|---------------------------------|
| 1,0 | 5,123 | 5,253 | 9,849 | 47,86 | 15,80 | 4,84 |
| 0,9 | 4,779 | 4,681 | 8,777 | 34,79 | 13,40 | 4,95 |
| 0,8 | 3,758 | 4,121 | 7,726 | 27,97 | 10,50 | 4,68 |
| 0,7 | 3,240 | 3,571 | 6,695 | 25,88 | 7,00 | 4,67 |
| 0,6 | 2,976 | 3,032 | 5,684 | 24,80 | 5,00 | 4,85 |
| 0,5 | 2,465 | 2,502 | 4,692 | 13,37 | 2,50 | 4,86 |
| 0,4 | 1,907 | 1,983 | 3,719 | 9,01 | – | 4,80 |
| 0,3 | 1,463 | 1,474 | 2,763 | 6,49 | – | 4,88 |
| 0,2 | 0,934 | 0,973 | 1,825 | 1,83 | – | 4,79 |
| 0,1 | 0,397 | 0,482 | 0,904 | 1,65 | – | 4,44 |

varía con z de manera cuadrática, mientras que T_N lo hace de manera lineal:

$$(z) = -11,858z - 36,616z^2 \quad r^2 = 0,971 \quad [2]$$

$$T_N(z) = -8,8139 + 27,4893z \quad r^2 = 0,999 \quad [3]$$

Conclusiones

Los análisis de los resultados de susceptibilidad magnéticas, revelan que todas las aleaciones del sistema $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Fe}_z\text{GeSe}_4$ presentan el momento magnético orbital bloqueado $\bar{L} = \bar{0}$. Así mismo, se observa que el momento magnético efectivo P_{eff} registra valores ligeramente inferiores a los calculados teóricamente y además que tanto la temperatura de Curie como la temperatura de Néel T_N aumentan con la concentración de Fe.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el CDCHT de la Universidad de los Andes, a través de los proyectos: C-1013-05-00-A, C-1014-00-05-ED y C-1257-04-05-C.

Referencias Bibliográficas

1. FURDYNA J.K., KOSSUT J. *Diluted Magnetic Semiconductors, Semiconductors and Semimetals* (Edited by Willardson R.K. and Beer A.C.), 25, Academic Press, New York. pp. 73-119, 1988.
2. GUEN L., GLAUNSINGER W.S. *J Solid State Chem* (35)10: 10-21, 1980.
3. WOOLLEY J.C., BASS S., LAMARCHE A.M., LAMARCHE G., QUINTERO M., MOROCOIMA M., BOCARANDA P. *J Magn Magn Mater* 150: 353-362, 1995.
4. QUINTERO M., MOROCOIMA M., RIVERO A., BOCARANDA P., WOOLLEY J.C. *J Phys Chem Solids* (58)3: 491-496, 1997.
5. WOOLLEY J.C., BASS S., LAMARCHE A.M., LAMARCHE G. *J Magn Magn Mater* 131: 199-209, 1995.
6. WOOLLEY J.C., BRUN DEL RE R., QUINTERO M. *Phys Stat Sol* (a) 159: 361-373, 1997.
7. TOVAR R., QUINTERO M., QUINTERO E., BOCARANDA P., RUIZ J., MORA A.E., HÖEGER L., BRICEÑO J.M. *Phys Stat Sol* (b) 220: 435-439, 2000.