

Transición de *Spin-Flop* inducida por un campo magnético pulsado en el compuesto MnGa_2Se_4

R. Cadenas^a, M. Quintero^b, R. Tovar^b, E. Quintero^b, M. Morocoima^b, J. González^b,
J.M. Broto^c, H. Rakoto^c, J.C. Woolley^d, and G. Lamarche^d

^aDepartamento de Física, Facultad de Ciencias,
La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

^bCentro de Estudio de Semiconductores, Departamento de Física, Facultad de Ciencias,
Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

^cUniversité Toulouse III, LNCMP 143,

Av. de Rangueil, 31432 Toulouse CEDEX, Francia.

^dOttawa-Carleton Institute of Physics, University of Ottawa, Canada, K1N 6N5

Recibido el 24 de noviembre de 2003; aceptado el 31 de mayo de 2004

Se efectuaron medidas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura (χ vs. T) y medidas de imantación en función del campo magnético (M vs. B) en una muestra policristalina de MnGa_2Se_4 . Los resultados indican que el MnGa_2Se_4 es un material antiferromagnético con temperatura de Néel $T_N=8,2$ K. Para $T < T_N$ y $B \approx 2$ Tesla se produce una transición de la fase antiferromagnética (AF) a la fase de *spin-flop* (SF) caracterizada por una disposición perpendicular de los espines respecto del campo aplicado.

Descriptors: Transiciones magnéticas; antiferromagnetos; semiconductores magnéticos.

Measurements of static magnetic susceptibility as a function of temperature (χ vs. T) and magnetization as a function of the magnetic field (M vs. B) have been made on a polycrystalline sample of MnGa_2Se_4 . The obtained results show that the MnGa_2Se_4 is an antiferromagnetic material (AFM) with Néel temperature $T_N=8.2$ K. For $T < T_N$ and $B \approx 2$ Tesla a transition occurs from the antiferromagnetic (AF) phase to the *spin-flop*(SF) phase where the spins are perpendicular to the field.

Keywords: Magnetic transitions; antiferromagnetics; magnetic semiconductors.

PACS: 75.30Kz; 75.50Ee; 75.50Pp

1. Introducción

El compuesto MnGa_2Se_4 es un material con estructura tetragonal calcopirita con grupo espacial $I4[1]$. En el presente trabajo se utilizó una muestra policristalina para determinar la variación de la susceptibilidad magnética con la temperatura (curvas χ vs. T) y el comportamiento magnético en altos campos magnéticos (curvas M vs. B) para varios valores de temperaturas. Los resultados obtenidos permiten establecer, por vez primera, los diferentes tipos de transiciones magnéticas en el compuesto MnGa_2Se_4 .

2. Materiales y métodos

Las muestras policristalinas fueron preparadas siguiendo la técnica de fundición y recocido [2]. Se tomaron fotografías de rayos X, para muestras en polvo, en modo de verificar las condiciones de las muestras. Las medidas de susceptibilidad magnética χ en función de la temperatura T, en el intervalo 2-300K, fueron efectuadas utilizando un magnetómetro SQUID de la Quantum Design (Mérida-Venezuela) con campos de 0.005 Tesla, 1 Tesla y 5 Tesla en modo ZFC-FC. Las medidas de imantación M en función del campo B fueron realizadas utilizando la técnica de campo magnético pulsado (Toulouse) para campos hasta 35 Tesla, en el rango de temperatura comprendida entre 2 K y 150 K.

3. Resultados y análisis

3.1. Medidas de susceptibilidad magnética: curvas χ vs. T

No se observó diferencia alguna entre los modos ZFC y FC en las curvas χ vs. T para $B=0,005$, 1 y 5 Tesla y el comportamiento mostrado es el correspondiente a un material antiferromagnético casi ideal. El compuesto MnGa_2Se_4 presenta una transición orden-desorden de la fase AF a la fase paramagnética (P) a $T_N=8,2$; 8,0 y 7,1 K, aproximadamente, cuando $B=0,005$; 1 y 5 Tesla, respectivamente.

3.2. Medidas con campos magnéticos pulsados: transición de *spin-flop*

Las medidas de imantación en función del campo fueron efectuadas utilizando el método de campo magnético pulsado para valores de temperatura comprendidas entre 2 K y 150 K y los resultados se muestran en la Fig. 1. Como puede observarse existen pequeños efectos de histéresis ligados a la naturaleza policristalina de la muestra: Un policristal está constituido por muchos cristalitas con sus ejes fáciles (EF) orientados en todas las direcciones y es posible que la pequeña histéresis observada se deba a que la orientación de los EF de algunos cristalitas cambia durante la medida.

TABLA I. Valores de los campos críticos para las transiciones de fase magnéticas $AF \rightarrow SF$, B_{fu} , $SF \rightarrow AF$, B_{fd} , y $SF \rightarrow FF(P)$, B_s .

T(K)	2	4,2	6
B_{fu} (Tesla)	$2,29 \pm 0,25$	$2,54 \pm 0,60$	$2,54 \pm 0,56$
B_{fd} (Tesla)	$2,29 \pm 0,33$	$2,01 \pm 0,43$	$2,31 \pm 0,33$
B_s (Tesla)	$20,70 \pm 0,43$	$18,50 \pm 0,59$	$16,70 \pm 0,46$

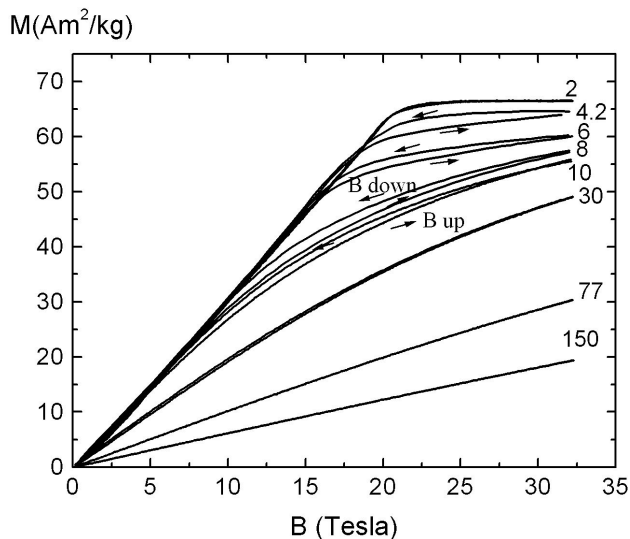


FIGURA 1. Curvas isotermas M vs. B obtenidas para el $MnGa_2Se_4$ con el método de campo magnético pulsado. Los valores mostrados indican las temperaturas de medición en K.

Como puede observarse en la Fig. 1, la histeresis es más evidente en las isotermas con temperaturas cercanas a la temperatura de Néel ($T_N \approx 8$ K). Este efecto parece ser el esperado cuando está por ocurrir la transición de *spin-flop*. Si la transición AF ocurre a 8,2 K es de esperar que la transición SF aparezca por debajo de esta temperatura. La transición de SF es una transición del primer orden [3-6], la cual tiene lugar cuando el campo magnético B , aplicado inicialmente en forma paralela al EF de imantación de las subredes magnéticas, alcanza un valor crítico $B=B_f$ para el cual se produce una transición a un estado en el que los espines están dispuestos perpendicularmente al campo. Esto es debido a la diferencia entre las susceptibilidades de un material antiferromagnético (MAF) cuando el campo se aplica paralelamente al eje fácil y cuando se aplica perpendicularmente al mismo. La energía total del MAF cuando los espines están perpendicularmente al campo es más baja que en el caso de la configuración paralela. Por lo tanto los espines siempre preferirán alinearse perpendicularmente al campo.

La Fig. 2 muestra la región de transición $AF \rightarrow SF$ para el $MnGa_2Se_4$ medida a 2 K con el campo en subida. Después de la transición, para campos $B > B_f$, los espines se encuentran dispuestos aproximadamente en forma perpendicular al campo. En la región SF la imantación varía aproximadamente en forma lineal con el campo según la relación $M = \chi_{\perp} B$,

en donde χ_{\perp} es la susceptibilidad magnética medida con el campo perpendicular al EF. Un aumento de B provoca que las imantaciones de las subredes apunten cada vez más en la dirección del campo hasta que este alcanza un valor suficientemente alto, $B=B_s$, para el cual se producirá una transición desde la fase SF hasta una fase ferro-forzado (FF) (ver Fig. 3). Esta transición constituye una transición del segundo orden [6-9] en la que el ángulo entre los vectores de imantación de las subredes magnéticas es cero. Dada la presencia de histeresis, el valor del campo crítico $B=B_{fu}$ para la transición $AF \rightarrow SF$ (campo en subida) es diferente del valor de $B=B_{fd}$ para la transición $SF \rightarrow AF$ (campo en bajada). En la Tabla I se muestran los valores estimados para B_f a partir de las curvas $M(B)$.

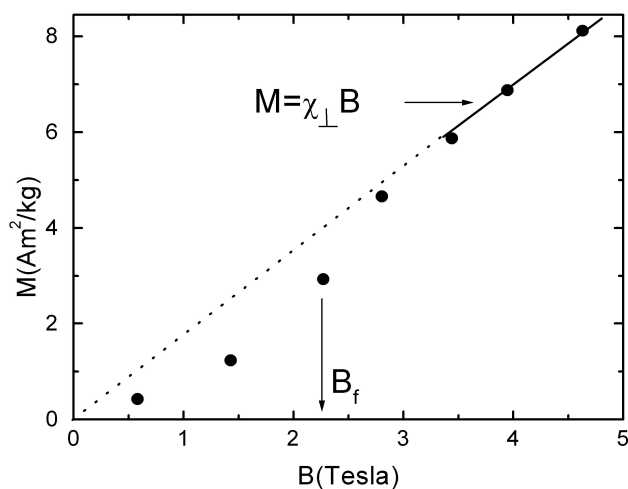


FIGURA 2. Región de transición de fase $AF \rightarrow SF$ para el $MnGa_2Se_4$ obtenida con el campo en subida a $T=2$ K. B_f representa el valor del campo B para el cual se produce la transición.

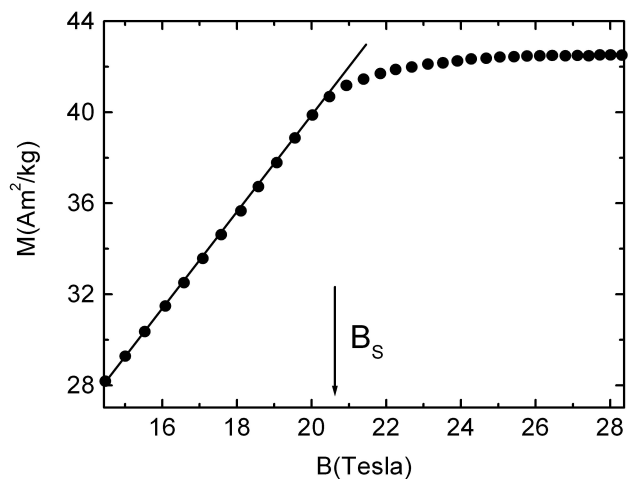


FIGURA 3. Región de transición $SF \rightarrow FF(P)$ obtenida a partir de medidas de campo magnético pulsado para el $MnGa_2Se_4$ a 2 K. B_s señala en forma aproximada el valor del campo crítico para la transición.

4. Conclusiones

Las medidas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura y de imantación en función del campo aplicado permitieron determinar las transiciones de fase magnéticas para el compuesto MnGa_2Se_4 . Para $T=T_N=8,2$ K se produce la transición de fase AF \rightarrow P para $B=5\times 10^{-3}$ Tesla. Este valor de T_N debe estar muy próximo al valor de la temperatura de Néel del material a campo cero ($B=0$). Para $T<T_N$ y $B\approx 2$ Tesla se produce la transición de fase AF \rightarrow SF. Finalmente para campos $B\gtrsim 20$ Tesla se produce la transición

de fase SF \rightarrow FF. Esta última fase (FF) debe pertenecer necesariamente a la región paramagnética del diagrama de fases magnético del compuesto MnGa_2Se_4 .

Agradecimientos

Los autores agradecen al FONACIT (Proyecto F-2005000214, Venezuela) y el CDCHT-ULA (Proyecto C-1255-04-05-AA) por el financiamiento parcial otorgado para este trabajo.

*. Autor para correspondencia: R. Cadenas, Depto. de Física, Facultad de Ciencias, La Universidad del Zulia, Aptdo. 526 Maracaibo, Venezuela. e-mail: rcadenas@luz.ve

1. M. Quintero, M. Morocoima, E. Guerrero y J. Ruíz, *Phys. Stat. Sol.(a)* **146** (1994) 587.
2. M. Quintero *et al.*, *Mat. Res. Bull.* **34** (1999) 2263.
3. F.H. Anderson y H.B. Callen, *Phys. Rev. A* **136** (1964) 1068.
4. J.K. Furdyna, N. Samarch, R.B. Frankel y J. Spalek, *Phys. Rev. B* **37** (1988) 3707.
5. V. Bindilatti, E. ter Haar, N.F. Oliveira, Y. Shapira y M.T. Liu, *Phys. Rev. Lett.* **80** (1998) 5425.
6. T. Fries *et al.*, *Phys. Rev. B* **56** (1997) 5424.
7. K.W. Blazey y H. Roher, *Phys. Rev.* **171** (1968) 574.
8. Y. Shapira y S. Foner, *Phys. Rev. B* **1** (1970) 3083.
9. N.F. Oliveira, S. Foner, Y. Shapira y T.B. Reed, *Phys. Rev. B* **5** (1972) 2634.