

Resonancia paramagnética electrónica en el sistema $\text{MnIn}_2\text{-VI}_4^*$

*Pedro Silva^{1**} y Vicente Sagredo²*

¹Centro de Física, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela. ²Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

Recibido: 30-06-03 Aceptado: 30-07-03

Resumen

Se reportan medidas de Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) en el sistema Semiconductor Semimagnético Diluido (SMD) $\text{MnIn}_2\text{-VI}_4$ ($\text{VI} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$). Se estudia el comportamiento del ancho de línea H_{pp} en función de la temperatura, en el rango de temperaturas desde 1,6 K hasta la temperatura ambiente. Se relacionan los parámetros del ajuste con la temperatura crítica y con la temperatura de Curie y, se obtiene el parámetro j de la expresión de Silva et. al. modificada (5), el cual tiene que ver con el tipo de transición de fase presentada por el sistema.

Palabras clave: Mictomagnetismo; resonancia; semimagnéticos; vidrios de espin.

Electron paramagnetic resonance in the $\text{MnIn}_2\text{-VI}_4$ system

Abstract

We report Electron Paramagnetic Resonance (EPR) measurements in the $\text{MnIn}_2\text{-VI}_4$ Diluted Magnetic Semiconductor system (DMS), ($\text{VI} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$). The peak-to-peak linewidth H_{pp} is studied as a function of the temperature in the temperature range from 1.6 K to room temperature for all anions, and the results are analysed in accordance with Silva's et al. relation (5). The fitting parameters were related to critical temperature and the Curie temperature and the j parameter are obtained, whichever is related to the type of magnetic transition in the system.

Key words: Mictomagnetism; resonance; semimagnetics; spin glass.

1. Introducción

El Sistema $\text{MnIn}_2\text{-VI}_4$ es de los llamados semiconductores semimagnéticos diluidos (SMD). Estos sistemas son de gran interés ya que están formados por dos subsistemas: 1) El subsistema magnético, compuesto por iones magnéticos del tipo 3d y 2) El subsistema electrónico que consiste de electrones y

huecos p. Los fenómenos más interesantes en los SMD's provienen de la interacción sp-d entre los subsistemas electrónico y magnético. Esto conduce a una gran variedad de fenómenos magneto-ópticos y de magneto-transporte tales como rotaciones Faraday Gigantes, aparición de polarones magnéticos y magnetorresistencia gigante

* Trabajo presentado en el Segundo Congreso Venezolano de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Oriente, Cumaná, del 2000.

** Autor para la correspondencia. Fax: 582125041148. E-mail: silva@ivic.ve

(2). La Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) es una de las técnicas empleadas para el estudio de propiedades magnéticas en estos sistemas (1, 3-5), con ella se estudia el ancho de la línea de la señal de RPE en función de la temperatura.

Se han propuesto varias relaciones empíricas que intentan explicar el comportamiento del ancho de línea en función de la temperatura. Oseroff (3) fue el pionero en este tipo de estudio en SMD y usó, para el ancho de línea pico a pico, la relación,

$$H_{pp} = H \left(1 + \frac{\theta}{T} \right), \quad [1]$$

donde, el parámetro H tiene que ver con el ancho de línea que debería tener el sistema a temperatura infinitamente grande y el parámetro θ tiene que ver con la temperatura de Curie del sistema. En el rango paramagnético esta relación ajusta bien los valores experimentales; sin embargo, no puede explicar el comportamiento a bajas temperaturas. Woolley et. al. (4) proponen, tomando en consideración, las inhomogeneidades de estos sistemas, una relación capaz de explicar el comportamiento a bajas temperaturas,

$$H_{pp} = H \left(1 + \frac{\theta}{T} \right) \left(1 + e^{-\frac{T}{T_c}} \right) e^{-\frac{T}{T_c}} \quad [2]$$

donde, el primer término de la ecuación es la relación de Oseroff y el segundo término está relacionado con las inhomogeneidades del sistema, el parámetro Γ da cuenta de estas inhomogeneidades y T_c se asocia a la temperatura de congelamiento del sistema. Sin embargo, los resultados de algunos sistemas cuaternarios no pueden ser explicados satisfactoriamente con esta relación, por lo que Silva et al. (5) proponen una relación que toma en consideración la dependencia de los tiempos de relajación del sistema con respecto a la temperatura.

$$H_{pp} = H \left(1 + \frac{\theta}{T} \right) e^{-j \frac{T_c}{T}}, \quad [3]$$

donde, el primer término conserva la idea central de Oseroff, pero el término exponencial toma en consideración los cambios en los tiempos de relajación del sistema. En esta relación j es un parámetro que puede tomar el valor -1 , si el sistema tiene una transición hacia el antiferromagnetismo y, 1 , si la transición es hacia vidrio de espín o mictomagnetismo. El parámetro T_c tiene que ver con una temperatura de transición (Temperatura de Néel si el sistema se ordena antiferromagnéticamente, o temperatura de congelamiento si el sistema pasa a una fase de vidrio de espín o mictomagnética).

En este trabajo usamos la relación de Silva et. al. (5) para estudiar el comportamiento del ancho de línea de la señal de RPE en función de la temperatura en estos compuestos e inferir el tipo de transición de fase en función del anión.

2. Materiales y Métodos

Usando el método de fusión controlada, seguido de un período de recocido se obtienen muestras policristalinas de $MnIn_2S_4$, $MnIn_2Se_4$ y $MnIn_2Te_4$. El contenido de Mn se determinó usando la técnica de Absorción atómica. Los estudios estructurales se llevaron a cabo usando una cámara de Guinier. Los resultados revelan que estos compuestos señalados pertenecen respectivamente al sistema cúbico, romboedro y tetragonal. Las medidas de RPE fueron realizadas en un espectrómetro VARIAN línea E de banda X. La temperatura fue medida usando resistores calibrados de carbon-glass no magnéticos. El campo magnético fue medido usando un Nuclear Fluxmeter II, de apreciación de 1 Gauss.

3. Resultados Experimentales y Discusión

En la Figura 1.a se muestra que, para el rango de temperaturas estudiado, el factor

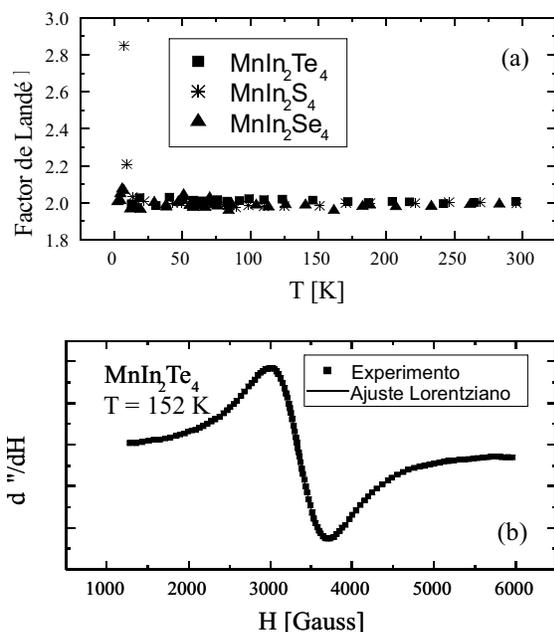


Figura 1. (a) Factor de Landé en función de la temperatura, para todos los sistemas. (b) Señal de Resonancia Paramagnética Electrónica para el MnIn_2Te_4 a $T=152\text{ K}$.

de Landé de todos los sistemas permanece alrededor $g=2,0$, excepto para el compuesto MnIn_2S_4 , el cual, se comporta antiferromagnéticamente por debajo de la temperatura crítica $T_c = 4,9\text{K}$ (6). La Figura 1b, muestra la señal de RPE para el MnIn_2Te_4 a $T=152\text{K}$, las líneas de resonancia son Lorentzianas en todo el rango de temperaturas y para todos los compuestos estudiados, como es de esperarse en estos sistemas, donde la alta concentración de iones Mn hace que la interacción de intercambio sea fuerte.

La Figura 2a muestra el cambio del ancho de línea en función de la temperatura para el compuesto MnIn_2Te_4 y una comparación entre los ajustes de Silva et al. (3) y Woolley et al. (2). Los ajustes son muy parecidos, dentro del error experimental, pero como se muestra en la tabla 1, del ajuste de Woolley et al. (4), se obtienen parámetros que no están en acuerdo con los resultados experimentales de susceptibilidad magnética (7). En la Fi-

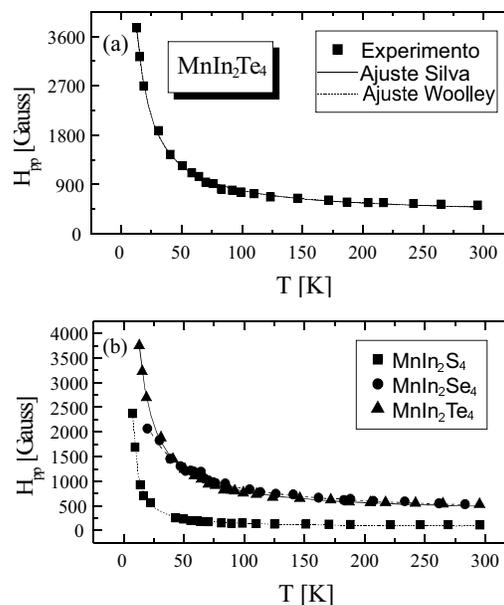


Figura 2. (a) Ancho de línea en función de la temperatura para MnIn_2Te_4 , mostrando los ajustes de Silva et al. y de Woolley et al.. (b) Ancho de línea en función de la temperatura y del catión.

gura 2b se comparan el cambio en el ancho de línea para cada una de las muestras, observándose que por encima de $T=50\text{K}$ el comportamiento es similar para los compuestos MnIn_2Te_4 y MnIn_2Se_4 , mientras que para el MnIn_2S_4 se mantiene paramagnético hasta temperaturas mucho más bajas y el ancho de línea, en el rango paramagnético, es más bajo. Al hacer una evaluación de los parámetros de ajuste, encontramos que el parámetro j es positivo para los compuestos MnIn_2Te_4 y MnIn_2Se_4 , mientras que es negativo para el compuesto MnIn_2S_4 , indicándonos que los dos primeros compuestos muestran una transición de fase hacia vidrio de espín y el último una transición de fase hacia antiferromagnetismo, con las temperaturas críticas que se muestran en la Tabla 1.

4. Conclusiones

La expresión modificada de Silva et al. (5) es ideal para estudiar el comportamiento

Tabla 1. Comparación de los resultados de los ajustes de Silva et al. (5) y de Wooley et al. (4).

	Ajuste Silva et al. (5)				Ajuste Wooley et al. (4)				Exp.
	K	T_c K	j	H_{pp} G	K	T_c K	Γ	H_{pp} G	
$MnIn_2S_4$	-147 ± 35	$5,00 \pm 0,45$	-1	56 ± 10	-134 ± 29	$4,18 \pm 0,29$	7503 ± 530	63 ± 9	4,9
$MnIn_2Se_4$	-185 ± 22	$9,45 \pm 0,99$	1	326 ± 24	-112 ± 9	$5,48 \pm 1,65$	-17855 ± 21009	391 ± 18	No se tienen resultados
$MnIn_2Te_4$	-183 ± 20	$4,82 \pm 0,61$	1	327 ± 20	-100 ± 15	$17,79 \pm 2,07$	2998 ± 327	417 ± 26	3,5

del ancho de línea de la señal de RPE en función de la temperatura en semiconductores semimagnéticos pseudo ternarios.

De los parámetros obtenidos de la expresión modificada de Silva et al. (5) se infiere que el $MnIn_2S_4$ tiene una transición de fase de paramagnetismo hacia antiferromagnetismo en $T = 5K$ y que los compuestos $MnIn_2Te_4$ y $MnIn_2Se_4$ tienen transiciones de fase de paramagnetismo hacia mictomagnetismo en $T = 4,82K$ y $T = 9,45K$, respectivamente.

Dedicatoria

Uno de los autores, Pedro Silva, quiere dedicar el presente trabajo a la memoria de Edgar González, quien en vida fuera, además de un gran trabajador de la Protección Radiológica, un gran padre, mi padre.

Referencias Bibliográficas

1. SILVA P., FERMÍN J., CHOURIO M., BETANCOURT L., SAGREDO V. *Cryst Res Technol* 31: S 569-572, 1996.
2. FURDYNA J.K. *J Appl Phys* 64: R29-R64, 1988.
3. OSEROFF S.B. *Phys Rev B* 25: 6584-6594, 1982.
4. WOOLLEY J.C., CHEHAB S.F., DONOFRIO T., MANHAS S., MANOOGIAN A., LAMARCHE G. *J Magn Mag Mat* 66: 23-30, 1987.
5. SILVA P., SAGREDO V. *J Magn Mag Mat* 226-230: 1987-1989, 2001.
6. WAKAKI M., OGAWA T., ARAI T. *II Nuovo Cimento, D2*: 1809, 1983.
7. DOLL G., A. ÁNGEL, BAUMANN J., BUCHER E., RAMÍREZ A., RANGE K. *Phys Stat Sol* (a), 126:237-244, 1991.