

Resonancia paramagnética electrónica en películas delgadas de Cr/Nd/Fe/Si*

Cruz Díaz^{1, 2}, Pedro Silva^{2**} y José Fermín¹

¹Instituto Pedagógico "Luis Beltrán Prieto Figueroa", Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Barquisimeto, Venezuela. ²Laboratorio de Física de la Materia Condensada, Centro de Física, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas 1020A, Venezuela. ³Departamento de Física, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela

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

Resumen

Empleando la técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) se midieron las propiedades magnéticas de una multicapa de Cr/Nd/Fe/Si en función de la temperatura desde nitrógeno líquido hasta ambiente y en función del ángulo de rotación, obteniéndose la variación del ancho de línea y campo de resonancia en función de los parámetros antes mencionados, se muestran resultados preliminares de las medidas y se discuten éstos en función de la teoría propuesta por Fermín y colaboradores.

Palabras clave: Anisotropías magnéticas; resonancia; películas delgadas.

Electron paramagnetic resonance in Cr/Nd/Fe/Si thin films

Abstract

Electron Paramagnetic Resonance (EPR) measurements has been used to study the magnetic properties of multilayer Cr/Nd/Fe/Si. The peak to peak linewidth and the resonance field of the EPR signal is obtained as function of the temperature, in the temperature range $79 \text{ K} \leq T \leq 300 \text{ K}$ and as a function of the angle (azimutal and polar) between external magnetic field and the film. Preliminary results of the measurements are shown and we discuss this using the Fermín et al. theory.

Key words: Magnetic anisotropy; resonance; thin film.

1. Introducción

En los últimos años, las películas magnéticas de multicapas han sido objeto de mucha atención, debido a la posibilidad de obtener nuevas propiedades magnéticas, tales como magnetorresistencia gigante,

anisotropías de superficie e interacción de intercambio entre capas magnéticas, entre otras (2) Las películas de doble capa de tierras raras y metales de transición (TR/MT) representan uno de estos materiales, los cuales exhiben propiedades magnéticas in-

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

** Autor para la correspondencia. Email: silva@ivic.ve.

teresantes. Los momentos magnéticos de las tierras raras interactúan a través de un intercambio indirecto de acuerdo a la teoría de RKKY (3). Esta interacción es generalmente un orden de magnitud mas pequeña que la interacción de intercambio de TR/MT. Por otra parte, muchas de esas películas exhiben buena anisotropía fuera del plano y por esto, algunos de estos materiales son potenciales candidatos para grabaciones magnéticas con extrema alta densidad de grabado. Debido a la gran desigualdad cristalina y la interdifusión, las TR/MT forman una interfase difusa o amorfa en la cual los espines de las tierras raras (TR) son distribuidos aleatoriamente sobre el metal de transición (MT), induciendo anisotropías locales. En este trabajo se emplea la técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) para estudiar las anisotropías magnéticas debido a que los valores de campo de resonancia son muy sensibles a las propiedades magnéticas de las películas (4).

2. Materiales y Métodos

Las películas delgadas objeto de estudio fueron elaboradas por Fermín et al. empleando la técnica de deposición por evaporación catódica (sputtering). Estas películas dobles constituidas por Nd(10 Å)/Fe(100 Å) sobre un sustrato de Si(1 1 1) fueron construidas a temperatura de ambiente, a una presión aproximada de 3×10^{-9} Torr con una tasa de deposición de 1 Å/s. La distancia entre el sustrato y la fuente era de aproximadamente 50 cm. Las muestras fueron cubiertas con una capa protectora Cr(25 Å). Las mediciones se llevaron a cabo en el rango de temperaturas, desde nitrógeno líquido hasta ambiente, empleando un espectrómetro VARIAN línea E de banda X. Este sistema trabaja con una cavidad diseñada en el laboratorio que usa un sistema de antenas para la transmisión de la microonda. La temperatura fue medida usando resistores calibrados de carbon-glass no magnéticos. El campo magnético

fue medido con un Flujómetro de RMN cuya apreciación es de 1 Gauss. Se realizaron medidas de campo de resonancia y ancho de línea variando el ángulo polar con un campo aplicado en el plano y fuera del plano.

3. Resultados y Discusión

La Figura 1a muestra como cambia el campo de resonancia en función del ángulo polar de rotación. A temperatura de nitrógeno, se observa un eje de simetría y máximos valores de campo de resonancia para los ángulos polares de rotación de 23,7

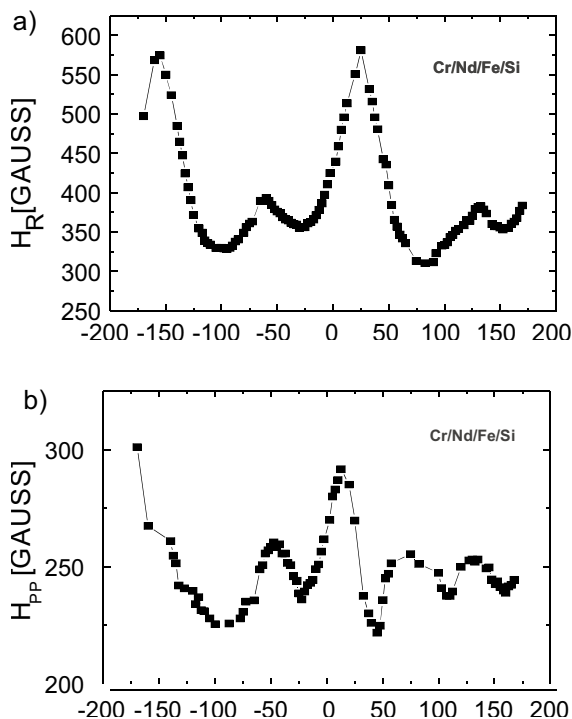


Figura 1. (a). Campo de Resonancia medido en el plano en función del ángulo de rotación de la película delgada Cr(25Å)/Nd(10 Å)/Fe(100 Å)/Si(111) a temperatura de nitrógeno líquido. (b). Ancho de Línea medido en el plano en función del ángulo de rotación de la película delgada Cr(25 Å)/Nd(10 Å)/Fe(100 Å)/Si(111) a temperatura de nitrógeno líquido.

y $-155,9$ grados. Estas medidas coinciden con las realizadas por Fermín et al. (4) a temperatura ambiente, quienes atribuyen la existencia de valores máximos y los valores mínimos de campo de resonancia a la existencia de ejes fáciles y ejes duros de magnetización respectivamente. La Figura 1b muestra medidas de ancho de línea como función del ángulo polar. Se observan valores máximos de ancho de línea para los ángulos polares de rotación de $12,4$ y $-169,9$ grados. Estas medidas coinciden con las realizadas por Fermín et al. (1) a temperatura ambiente, quienes atribuyen la existencia de valores máximos y los valores mínimos de ancho de línea, a la existencia de ejes fáciles y ejes duros de magnetización respectivamente.

La Figura 2a muestra como cambia el campo de resonancia fuera del plano con dependencia con el ángulo polar de rotación. Se aprecia la existencia de un único valor máximo, como es de esperarse puesto que la magnetización se encuentra fuera del plano. La Figura 2b muestra como cambia el ancho de línea fuera del plano con dependencia con el ángulo polar de rotación. Se aprecia la existencia de un único eje fácil de magnetización, como es de esperarse puesto que las anisotropías se encuentran fuera del plano.

La Figura 3a muestra medidas de campo de resonancia en función de la temperatura desde nitrógeno líquido hasta ambiente. Se aprecia que el campo de resonancia decrece con la temperatura. La Figura 3b muestra medidas de campo de resonancia en función de la temperatura desde nitrógeno líquido hasta ambiente. Se aprecia que el ancho de línea crece a medida que disminuye la temperatura, este ensanchamiento se atribuye al incremento del ensanchamiento por interacción de intercambio.

4. Conclusiones

Con las medidas de campo de resonancia ancho de línea se han obtenido los

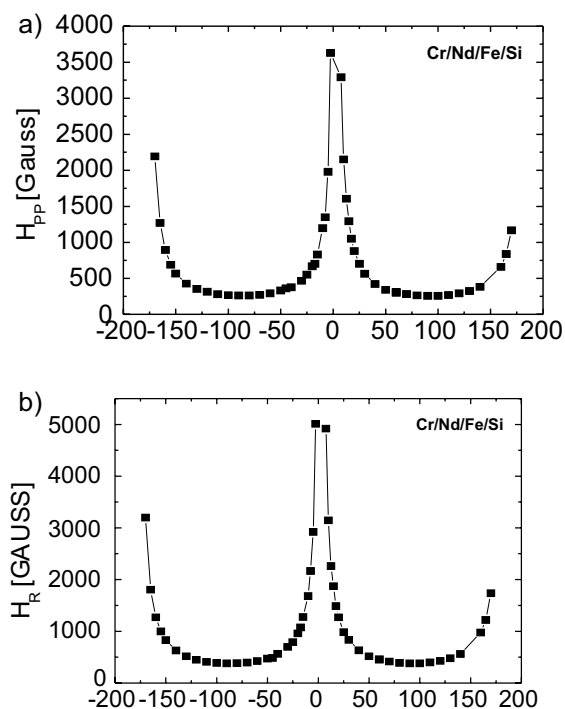


Figura 2. (a) Campo de Resonancia medido fuera del plano en función del ángulo de rotación de la película delgada Cr(25 Å)/Nd(10 Å)/Fe(100 Å)/Si(111) a temperatura de nitrógeno líquido. (b) Ancho de Línea medido fuera del plano en función del ángulo de rotación de la película delgada Cr(25 Å)/Nd(10 Å)/Fe(100 Å)/Si(111) a temperatura de nitrógeno líquido.

ejes fáciles y duros de magnetización. También se ha obtenido la dependencia de el ancho de línea y campo de resonancia en función de la temperatura, desde nitrógeno líquido hasta ambiente. La interacción de intercambio a nitrógeno líquido es mayor, como se evidencia el comportamiento del ancho de línea. Las propiedades magnéticas del sistema no cambian sustancialmente al bajar la temperatura hasta nitrógeno líquido.

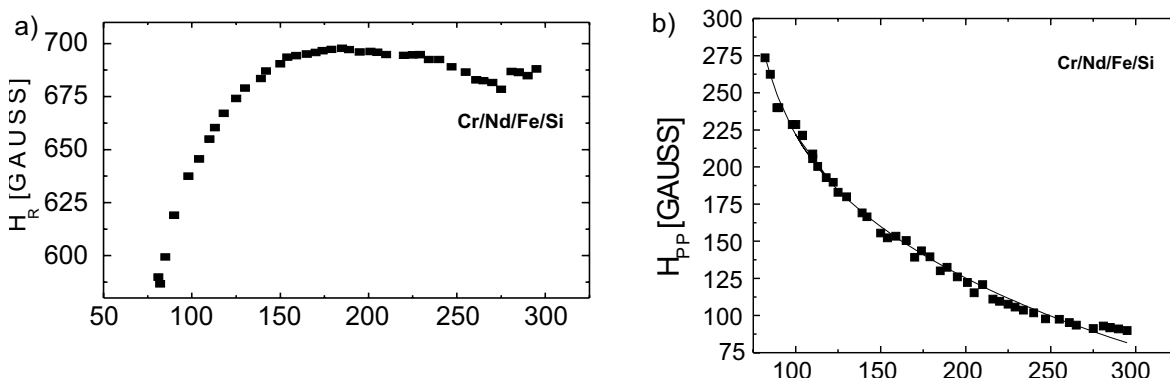


Figura 3 (a) Campo de Resonancia medido en el plano en función de la temperatura de la película delgada Cr(25Å)/Nd(10Å)/Fe(100Å)/Si(111). (b) Ancho de Línea medido en el plano en función de la temperatura de la película delgada Cr(25 Å)Nd(10 Å)/Fe(100 Å)/Si(111).

Referencias Bibliográficas

1. FERMÍN J.R., AZEVEDO A., REZENDE S *J Appl Phys* 83: 4869-4873, 1998.
2. FERMÍN J.R., AZEVEDO A., LI BIAO., DE AGUIAR F.M., REZENDE S. *J Appl Phys* 85: 4943-4945, 1999.
3. HEINRICH B., COCHRAN J. *Advances in Physics*, 42: 523-639, 1993.
4. FERMÍN J.R., AZEVEDO A., DE AGUIAR F.M., LI BIAO., REZENDE S. *J Appl Phys* 85: 7316-7320, 1999.