Revista Colombiana de Física, Vol. 42, No. 3 de 2010.

Comportamiento Magnético Y Propiedades De Magneto-Transporte De Cintas Magnéticas Blandas Basadas En Cobalto

Magnetic Behavior And Magneto-Transport Properties Of Cobalt-Based Soft Magnetic Ribbons

A. Rosales-Rivera [*] [a], J. Jaither Melo [a], A. Velásquez [a]

[a] *Laboratorio de Magnetismo y Materiales Avanzados. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.*

Recibido 23.03.10; Aceptado 16.11.10; Publicado en línea 17.04.11.

Resumen

Los materiales magnéticos en forma de cintas basados en CoFeBSi han atraído considerablemente la atención desde 1980 debido a sus aplicaciones en dispositivos electrónicos. El interés por estos materiales también se ha fortalecido recientemente debido al fenómeno de magnetoimpedancia gigante, MIG, observado en ellos a principios de 1990. Este fenómeno consiste en un enorme cambio de la impedancia compleja, Z, de aleaciones ferromagnéticas blandas expuestas a un campo magnético estático, H. Se han estudiado diferentes aspectos de este fenómeno, como la dependencia del fenómeno MIG con la frecuencia y con el campo magnético aplicado, y la relación entre el fenómeno MIG y el comportamiento de la magnetización dc de los materiales que lo exhiben. Sin embargo, muy poca atención se ha dado a otras propiedades de los materiales que exhiben el fenómeno MIG, tales como la susceptibilidad ac y el efecto Hall. En este trabajo se presentan nuevos resultados de magnetoimpedancia, efecto Hall, magnetización dc y susceptibilidad ac, de materiales magnéticos blandos en forma de cintas del tipo CoFeBSi.

Palabras clave: Magnetoimpedancia; Efecto Hall.

Abstract

The magnetic materials in ribbon form based in CoFeBSi have brought considerably attention since 1980 due to its applications in electronic devices. The interest in these materials has also been strengthened recently due to the giant magnetoimpedance effect, GMI, observed in the begining of 90's. This phenomenon consists in an enormous change in the complex impedance, Z, in soft ferromagnetic alloys exposed to a static magnetic field, H. Different aspects of this phenomenon have been studied, such as the GMI dependence on both the frequency as well as the applied magnetic field. Besides, the relationship between the GMI and the dc magnetization has been stablished. However, very little attention has been given to other properties of the materials that exhibit the GMI, such as the ac susceptibility and the Hall Effect. In this paper, we present new magnetoimpedance, Hall Effect, dc magnetization and ac susceptibility results of soft magnetic materials like ribbons of CoFeBSi.

Keywords: Magnetoimpedance; Hall effect.

PACS: 73.50.Jt; 75.60.Ej.

© 2010 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

* arosalesr@unal.edu.co

1. Introducción

En este trabajo se presenta un estudio de las propiedades magnéticas y eléctricas de cintas basadas en CoFeBSi mediante las técnicas de magnetoimpedancia, efecto Hall, magnetización dc y de susceptibilidad ac. A continuación se dará una breve descripción de todos estos fenómenos.El efecto de magnetoimpedancia gigante (MIG) consiste en la fuerte dependencia de la impedancia eléctrica de un conductor ferromagnético con un campo magnético axial aplicado cuando una corriente eléctrica ac está fluyendo a lo largo de la muestra. El efecto MIG se encuentra asociado al efecto clásico de "skin" en un conductor magnético, el cual consiste en un cambio en la profundidad de penetración del campo magnético dc aplicado sobre el material para una corriente ac dada [1].

El efecto Hall predice el comportamiento de un material conductor cuando se encuentra en presencia de un campo magnético perpendicular a la dirección del flujo de la corriente eléctrica aplicada a dicho material, de tal manera que se genera en su interior un campo eléctrico a consecuencia de la desviación de las trayectorias de las partículas cargadas que produce la fuerza del campo magnético. Cuando la carga eléctrica acumulada en los bordes del conductor llega a un cierto valor, el campo eléctrico inducido, llamado voltaje de Hall, cancela el efecto del campo magnético y el flujo cesa. En los materiales ferromagnéticos el efecto Hall presenta dos tipos de contribuciones independientes, una debida al efecto Hall ordinario y la otra debida a la magnetización de la muestra [2,3].

La técnica de magnetometría de muestra vibrante [4] es una medida de la magnetización de un material en función del campo magnetico y temperatura y usa el hecho de que cuando un material magnético se expone a un campo magnético uniforme, se magnetiza alineando sus dominios magnéticos o sus espines magnéticos individuales con el campo, creándose un momento dipolar magnético proporcional al producto de la susceptibilidad del material por el campo magnético aplicado. Si la muestra se somete a movimiento senoidal, el cambio en el flujo magnético en las cercanías de la muestra inducirá una señal eléctrica en unas bobinas estacionarias. La señal inducida en las bobinas es proporcional a la magnetización de la muestra y por consiguiente brinda información sobre el comportamiento magnético de dicho material, esto permite la determinación de lazos de histéresis. Recientes trabajos de magnetización en materiales en forma de cintas utilizando esta tecnica se han reportado por A. Rosales-Rivera et al [5].

La susceptibilidad magnética ac es una medida de la magnetización de la muestra y se define como la derivada de la magnetización con respecto al campo magnético ac aplicado [6]. En la medida de susceptibilidad magnética ac se usa el concepto de inductancia mutua, en donde dos bobinas idénticas se sitúan simétricamente dentro de una bobina primaria (secundario del circuito de medida). Las dos bobinas se conectan en oposición para cancelar los voltajes inducidos por el campo ac o voltajes inducidos por fuentes externas (ruidos) y la muestra se ubica en una de esas bobinas; el voltaje inducido en las bobinas por la muestra magnética es proporcional a la derivada temporal de la magnetización de la muestra. La susceptibilidad magnética ac consta de dos medidas, una componente en fase (parte real χ') y una fuera de fase (parte imaginaria χ'') [7,8].

Aquellos materiales que muestren un adecuado comportamiento magnético se utilizan en la fabricación de sensores, sistemas de almacenamiento de información y en el desarrollo de nuevas tecnologías [9].

2. Detalles Experimentales

2.1. Medidas de Magnetoimpedancia Gigante (MIG)

Se realizaron medidas de magnetoimpedancia en cintas con composición $Co_{70}Fe_{10}B_{10}Si_{10}$ y $Co_{72}Fe_{8}B_{10}Si_{10}$, con dimensiones de 2 mm de ancho y 30 μm de espesor. Se estudió la respuesta de magnetoimpedancia para cintas con una longitud de 1.3 cm, para corrientes ac con frecuencias entre 0.5 y 9 MHz y amplitud constante de 1 mA (valor rms), en un rango de campo magnético entre -74 y 74 Oe, usando la técnica de cuatro puntas. Se aplicó el campo magnético dc paralelo a la dirección de la corriente ac a lo largo de la dirección longitudinal de las cintas. Los datos se colectaron para pasos consecutivos de campo de aproximadamente 1 Oe. Todas estas medidas fueron realizadas a temperatura ambiente.

2.2 Medidas de Magnetización dc

Se realizaron medidas de magnetización en función de campo magnético, para campos entre -10.000 y 10.000 Oe, a temperatura ambiente para las aleaciones amorfas magnéticamente blandas en forma de cintas de $Co_{71}Fe_{4}B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ con longitudes de 4 mm empleando la técnica de magnetometría de muestra vibrante (MMV). Los datos se tomaron aplicando un campo magnético de hasta 10.000 Oe, dividido en dos rangos: de 0 a +/- 300 y de +/- 300 hasta +/- 10.000 Oe con un incremento de 20 Oe/s.

2.3 Medidas de Susceptibilidad ac

Las medidas de susceptibilidad ac se hicieron sobre cintas de $Co_{71}Fe_{4}B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ a temperatura ambiente. Las medidas se realizaron entre -74 y 74 Oe manteniendo fija la frecuencia, repitiéndose este proceso para diferentes frecuencias, de 10 a 100 Hz con incrementos de 10 Hz, de 100 Hz a 1 KHz con incrementos de 100 Hz y de 1 a 10 KHz con incrementos de 1 KHz.

2.4 Medidas de Efecto Hall dc

Las medidas de efecto Hall se realizaron sobre cintas magnéticas de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ variando la corriente entre -10 y 10 mA, estas medidas se hacen en presencia de un campo magnético constante, con campos que van desde 200 a 1.200 Oe con incrementos de 200 Oe. A partir de los anteriores datos se construyeron las gráficas de voltaje Hall contra corriente, a campo constante. Utilizando estos valores de voltaje se determinó la densidad de portadores de carga en las cintas.

3. Resultados Experimentales

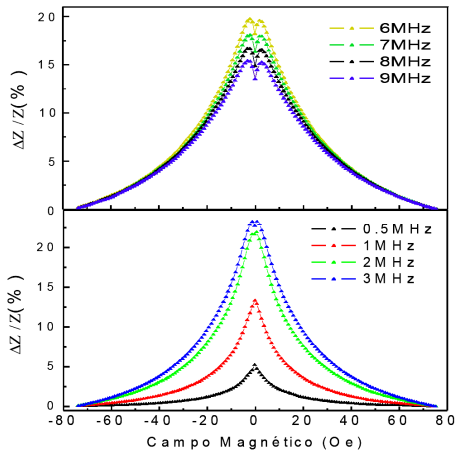

Fig. 1: Medidas de magnetoimpedancia de la cinta Co70Fe10B10Si10.

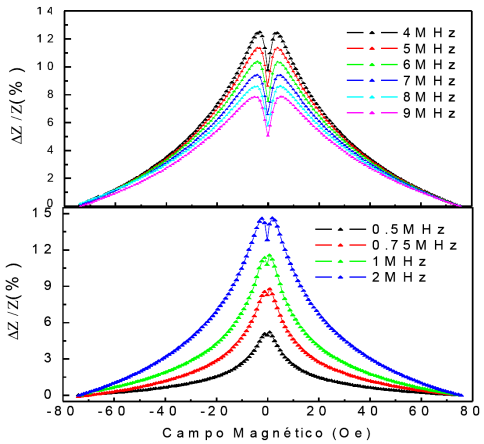

Fig. 2: Medidas de magnetoimpedancia de la cinta Co72Fe8B10Si10.

En las figuras 1 y 2 presentamos la dependencia con el campo de la impedancia total (Z) para las aleaciones de $Co_{70}Fe_{10}B_{10}Si_{10}$ y $Co_{72}Fe_8B_{10}Si_{10}$ respectivamente para frecuencias entre 0,5 y 9 MHz. Las respuestas de la Magnetoimpedancia de estas aleaciones presentan un solo pico cuando el campo tiende a cero para frecuencias hasta de 1 MHz para la cinta de $Co_{70}Fe_{10}B_{10}Si_{10}$, mientras que para frecuencias superiores a 1 MHz, se presentan dos picos. Para la cinta de $Co_{72}Fe_8B_{10}Si_{10}$ los resultados de MIG presentan de nuevo un comportamiento de dos picos, pero en este caso, se empieza a presentar débilmente desde frecuencias de 0,5 MHz y se define completamente para una frecuencia de 2 MHz.

En la figura 3 presentamos la curva de magnetización vs campo aplicado para aleaciones de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$, en la cual no se aprecia histéresis, rasgo característico de materiales magnéticamente blandos. Se encuentra que la magnetización de saturación para la cinta $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ es 93,8985 emu/g y para la cinta y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ es 121,2229 emu/g.

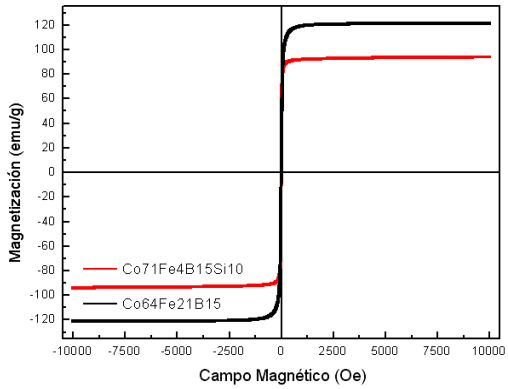

Fig. 3: Gráfica de magnetización vs campo para las cintas $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$.

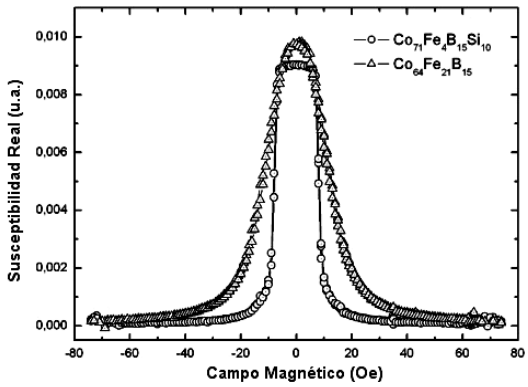

Fig. 4: Gráfica de susceptibilidad real vs campo para las cintas de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ y $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ para una frecuencia de 400 Hz.

En la figura 4 observamos que las cintas de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ presentan picos definidos de susceptibilidad real χ' en comparación con los comportamientos en forma de meseta de las cintas de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$. La meseta puede estar asociada a un endurecimiento magnético de la muestra. Es

decir, la muestra $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ presenta un comportamiento magnético más blando que la muestra de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$.

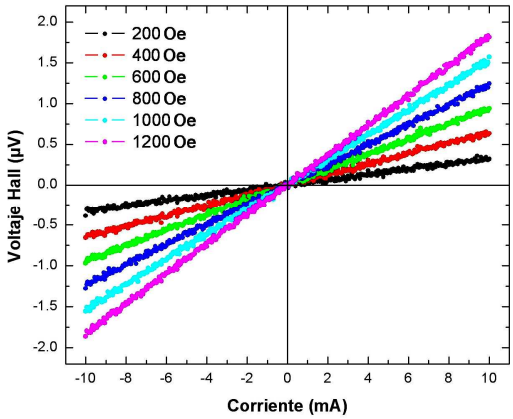

Fig. 5: Gráfica de voltaje Hall vs corriente para varios campos constantes de la cinta $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$.

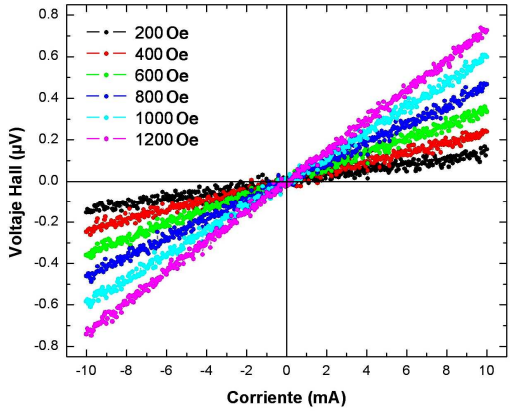

Fig. 6: Gráfica de voltaje Hall vs corriente para varios campos constantes de la cinta $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$.

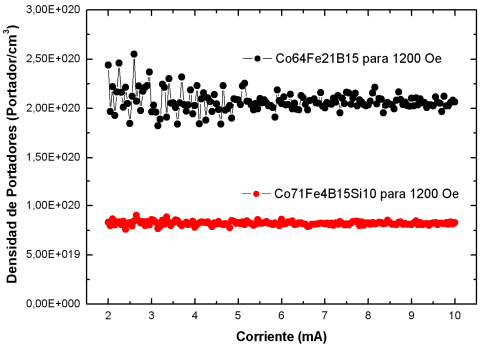

Fig. 7: Gráfica de densidad de portadores vs corriente para un campo constante de 1200 Oe de las cintas $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$.

En las figuras 5 y 6 presentamos las gráficas de voltaje Hall vs corriente para $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ y $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$. Estas gráficas muestran la relación lineal del voltaje Hall con la corriente aplicada, con voltajes medidos del orden de los microvoltios. En la gráfica de voltaje contra corriente se observa un aumento de la pendiente de la recta con el campo aplicado.

A partir de estos resultados de efecto Hall determinamos la densidad de portadores. El promedio de la densidad de portadores es de 2.05×10^{20} portador/cm^3 para la cinta de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$, y de 8.25×10^{19} portador/cm^3 para la cinta de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$ (ver fig. 7).

4. Conclusiones

Los resultados de magnetoimpedancia muestran un comportamiento de uno y dos picos para la cinta de $Co_{70}Fe_{10}B_{10}Si_{10}$, mientras que para la cinta de $Co_{72}Fe_8B_{10}Si_{10}$ el comportamiento siempre es de dos picos para las frecuencias trabajadas. Además, el máximo de magnetoimpedancia decrece al aumentar el contenido de cobalto, esto favorece a las cintas de $Co_{70}Fe_{10}B_{10}Si_{10}$ sobre las cintas de $Co_{72}Fe_8B_{10}Si_{10}$.

De las medidas de susceptibilidad y magnetización se concluye que las cintas de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ son magnéticamente más blandas que las de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$, ya que la cinta de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ presento una mayor magnetización de saturación y un pico de susceptibilidad mayor y más angosto.

El efecto Hall muestra que la cinta de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ tiene un menor voltaje Hall y una mayor densidad de portadores que la cinta de $Co_{71}Fe_4B_{15}Si_{10}$, siendo la cinta de $Co_{64}Fe_{21}B_{15}$ mejor conductora eléctrica.

Finalmente se puede concluir que las cintas estudiadas con menor contenido de cobalto, mayor cantidad de hierro, y sin contenido de silicio, tienen mejores propiedades magnéticas y eléctricas.

5. Agradecimientos

Agradecemos a la dirección de investigaciones de Manizales DIMA de la universidad Nacional de Colombia por su aporte financiero para la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Knobel, M. and Pirota, K.R. J. Magn. Magn. Mater. 242-245, Campinas, 2002, p. 33-40.

[2] Ashcroft, Neil W. and Mermin, N. David. Solid State Physics, New York, Holt-Saunders Int. Editions, 1976, p. 15.

[3] Goncalves, L.A.P. and Soares, J.M. and Machado, F.L.A. and Azevedo, W.M. J. Magn. Magn. Mater. B 384, Recife, 2006, p. 152-154.

[4] Foner, S., Rev. Sci. Instrum 27, 548 (1956).

[5] Rosales-Rivera, A., Restrepo, J.A., Sanin, M.A., y Patiño, O.E. Revista Colombiana de Física: Desarrollo de un magnetómetro de muestra vibrante. 38, Manizales, 2006, p. 77-80.

[6] Velásquez, Abilo A. Diseño y desarrollo de la técnica de susceptibilidad magnética ac: aplicación al estudio de cintas magnéticamente blandas. Manizales, 2009, 60 h. Tesis de grado (Magister en Física). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Física y Química.

[7] Martien, Dinesh. Introduction to AC Susceptibility, publicación en línea, http://www.lot-oriel.com/site/site_down/qd_acsusceptibility_deen02.pdf, citado el 1 de octubre de 2009.

[8] University of Florida. AC Susceptibility Measurements in High-Tc Superconductors, publicación en línea, http://www.phys.ufl.edu/courses/phy4803L/group_II/high_Tc/hightc.pdf, citado el 2 de octubre de 2009.

[9] Neagu, M. and Chiriac, H. and Lozovan, M. Sensors Actuat. A 106, Iasi, 2003, p. 73.