Revista Colombiana de Física, Vol. 43, No. 3 de 2011.

Definición De Criterios De Diseño De Un Magnetómetro Multifuncional Que Integra Diferentes Técnicas, Para Caracterización Magnética De Micro Y Nano Estructuras

Definition Of Instrumental Design Criteria For A Multifunctional Magnetometer That Integrates Different Techniques For Magnetic Characterization Of Micro And Nanostructures

J. Torres [a,b *], P. Angarita [a], B. Cruz [a]

[a] *Grupo de Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales, Departamento de Física, Universidad Tecnológica de Pereira, A. A. 097 La Julita Pereira, Colombia.*

[b] *Profesor asistente: Grupo de Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales, Departamento de Física, Universidad de Caldas, A.A 275, Cede central, Manizales, Colombia.*

Recibido 10.04.10; Aceptado 13.01.11; Publicado en línea 04.10.11.

Resumen

En este trabajo se presentan unos criterios instrumentales de diseño para la implementación de un magnetómetro que integra de forma económica en un único equipo las técnicas magnetoópticas Kerr, Faraday y la técnica del magnetómetro de muestra vibrante (VSM). Se proponen unos criterios para la elección de elementos que se pueden tener en cuenta al poner en funcionamiento el magnetómetro multifuncional. El método sugerido para el desarrollo del magnetómetro depende de los criterios con que se afrontó el análisis de las señales portadoras de la información: señal Kerr y Faraday para las técnicas magnetoópticas y la señal de Mallinson proveniente de las bobinas colectoras en el VSM. También se proponen métodos no lineales de procesamiento, para las señales generadas por los transductores ópticos y eléctricos. El resultado de aplicar los criterios planteados es un magnetómetro multifuncional que opera en un rango de 0 - 1.500 mT ± 0,08 % y que se usa para caracterizar materiales micro y nanoestructurados de manera rápida y eficiente en el país.

Palabras clave: Magnetómetro; Kerr; Faraday; VSM; Económico.

Abstract

In this paper, we present instrumental design criteria for implementing a magnetometer that integrates economically on a single equipment, magneto-optic techniques such as Kerr, Faraday and vibrating sample magnetometer (VSM). We propose some criteria for the selection of items to be taken into account when operating the multifunctional magnetometer. The suggested method for developing the magnetometer depends on the criteria which we bring to the analysis of information-carrying signals: Kerr and Faraday signals for magneto-optic techniques and Mallinson signal from the collector coils in the VSM. Nonlinear processing methods for the signals generated by optical and electrical transducers are also proposed. The result of applying the presented criteria is a multifunctional magnetometer operating in a range of 0 – 1.500 mT ± 0.08% and which is used to characterize micro-and nanostructured materials quickly and efficiently in the country.

Keywords: Magnetometer; Kerr; Faraday; VSM; Economic.

PACS: 07.55.Ge; 07.55.Jg.

© 2011 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

El desarrollo de equipo instrumental para laboratorios de materiales presenta importancia a nivel internacional, pues en países como Colombia la adquisición de estos es limitada por factores técnicos y económicos. En nuestra región se cuenta con equipos en funcionamiento, como el magnetómetro Kerr (MEK) en la Universidad Tecnológica

* javier.torres@ucaldas.edu.co

de Pereira [1] y el magnetómetro de muestra vibrante (VSM) en la Universidad Nacional de Manizales [2], pero en nuestro país no se reportan trabajos instrumentales relacionados con el efecto magneto-óptico Faraday. Sobre el VSM hay varios reportes acerca de la forma de implementación [3] y característica de funcionamiento [4].

Por otro lado, aunque hay variados estudios sobre al VSM, en la actualidad se encuentra poca documentación sobre las características de la señal generada por las bobinas captoras, señal que es portadora de la información del material estudiado, de los tipos de ruido implícitos en esta señal, y en términos generales, sobre la implementación del magnetómetro desde el punto de vista de instrumentación y control.

En el presente documento se describe genéricamente un magnetómetro de muestra vibrante (VSM), introducido por Simón Foner [4] [5] e independientemente por Van Osterhout [6] y H. Plotkin [7], [8].

Al realizar un análisis instrumental de estos equipos (MEK, VSM y Magnetómetro Faraday) se vislumbran características similares en su constitución, dado que los conjuntos constitutivos de estos dispositivos presentan elementos similares para el ingreso y salida de información, lo que plantea una alternativa que debe ser implementada, pues las técnicas mencionadas son complementarias [1].

2. Descripción de las Técnicas implementadas

2.1 Descripción del magnetómetro Kerr (MEK)

El efecto Kerr magneto-óptico (MOKE) cuando se aplica a películas delgadas, pasa a denominarse efecto Kerr magneto-óptico superficial (SMOKE). El equipo para realizar análisis de materiales magnéticos por medio de la técnica por *MOKE/SMOKE* es el magnetómetro Kerr (*MEK*). La función general del MEK es presentar una respuesta cualitativa de la magnetización (M) y cuantitativa del campo coercitivo (Hc), por medio de la curva de magnetización (M vs H). Este equipo consta de tres conjuntos: óptico, eléctrico y el conjunto de instrumentación y control. El conjunto óptico está conformado por: láser, polarizador, analizador (polarizador rotado 90º respecto al primer polarizador) y lentes focalizadores. El conjunto de instrumentación y control se constituye de: fotodetector, sensor de campo magnético, Lock-In, chopper, tarjeta de adquisición de datos (DAQ), tarjeta GPIB (General Purpose Interface Bus), el módulo de acondicionamiento de los sensores y adicionalmente de los posibles actuadores de control, en sistemas con fuente de corriente sin inversión de fase interna. Y por último, está el conjunto eléctrico que se encuentra formado por un electroimán y una fuente de corriente que lo alimenta.

2.2 Descripción del magnetómetro Faraday

El efecto Kerr magneto-óptico es un efecto por reflexión, en tanto el efecto Faraday se da por transmisión, lo que implica que los conjuntos óptico, de instrumentación y control sean los mismos, pero en el primero el fotodetector se debe posicionar al otro lado del electroimán para captar la señal Faraday (I_F) transmitida. Por último, los componentes del conjunto eléctrico funcionan de manera igual siendo el programa que integra las funciones el que presenta diferencias determinantes.

2.3. Descripción del magnetómetro de muestra vibrante (VSM)

La función general del VSM es presentar una respuesta cuantitativa de la magnetización (M) y del campo coercitivo (Hc), por medio de la curva de magnetización (M vs H).

Con esta técnica la medida del momento magnético depende de variables propias del magnetómetro y de la muestra; en esta última las variables de interés son: la geometría, tamaño, homogeneidad y posición respecto del sistema de bobinas captoras. En el VSM, son muy importantes la densidad de flujo magnético aplicado, el sistema de bobinas captoras [9] y los parámetros de vibración para la muestra: dirección, amplitud y frecuencia. Entre más fuerte y constante sea el campo magnético y más homogénea sea la muestra, más fácil es la adquisición de la señal de momento magnético del material, debido a que se tendrá una señal de mayor amplitud y de mejores prestaciones.

Este montaje, de manera similar a los magnetómetros magneto-ópticos mencionados consta de tres conjuntos: el de movimiento, eléctrico y el conjunto de instrumentación y control. El conjunto de movimiento está conformado por: el sistema de movimiento y una barra para portamuestra. El conjunto de instrumentación y control se constituye de: bobinas captoras, generador de onda, y de forma similar al MEK presenta: sensor de campo magnético, Lock-In, tarjeta de adquisición de datos (DAQ), tarjeta GPIB (General Purpose Interface Bus), el módulo de acondicionamiento de los sensores.

Las bobinas captoras juegan un papel decisivo en la adquisición de la señal por inducción de Faraday, debido a que es exclusivamente en ellas donde se adquiere la información magnética de la muestra a caracterizar. La configuración espacial o geométrica de las bobinas captoras para el diseño de un VSM ha sido estudiado por Mallinson. El campo magnético que interactúa con estas bobinas se conoce como campo de Mallinson y su fenómeno asociado, conocido como **principio de reciprocidad de Mallinson**, el que establece que *"el flujo mutuo que relaciona las bobinas captoras es independiente de la bobina que lleve la corriente"* [3].

3. Explicación y funcionamiento general del magnetómetro

Los procesos necesarios para la realización de la curva de magnetización, con cualquiera de las técnicas, se dan mediante la adquisición de las señales provenientes de los conjuntos óptico y eléctrico, en el MEK y el magnetómetro Faraday, y por la señal de Mallinson (I_M) y el conjunto eléctrico, en el VSM. Estas señales son acondicionadas por medio del conjunto de instrumentación y control implementado en el módulo instrumental, para luego enviarlas a un computador, donde son adquiridas y procesadas por una *DAQ*, que capta la señal de campo magnético (I_H) y una *GPIB* que se comunica con el Lock-In vía IEEE 488, para recibir la señal Kerr, Faraday o la señal I_M, procesadas cada una a su vez por el Lock-In, mediante la técnica por detección de fase.

Las señales I_K, I_F e I_M portan la información inherente a la respuesta del material al estímulo generado por el incremento del campo magnético externo. La amplitud de estas señales es directamente proporcional a la magnetización de la muestra. El proceso de control se constituye en lazo abierto; por medio de este se determina la cantidad de incrementos en que se alcanza el campo magnético máximo (H_{max}), el valor de la intensidad del campo entre cada incremento (ΔH) y el tiempo entre incrementos (Δt); esto para generar el campo magnético escalonado, con el que se estimula el material a analizar. En el MEK los elementos ópticos y de instrumentación necesarios para implementarlo dependen del tipo de montaje que se desarrollará.

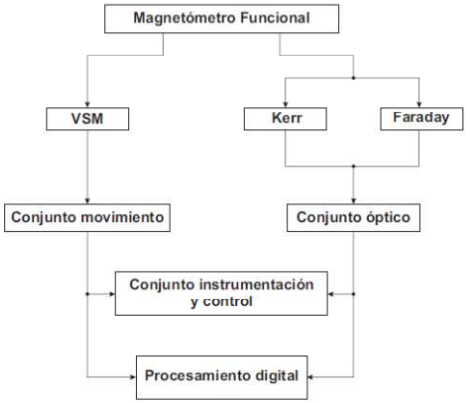


Fig. 1: Esquema de interacción de los diferentes conjuntos de cada técnica.

Ahora, la descripción instrumental presentada en el aparte anterior conduce a determinar que los diferentes conjuntos de las tres técnicas pueden ser implementados de forma que cumplan con tareas de cada una de ellas a la vez, mediante el accionamiento de un selector. Esta forma de apreciar los diferentes conjuntos se presenta en la figura 1. En todo el proceso la caracterización del electroimán es un factor muy importante en el desarrollo del magnetómetro, ya que por medio de este procedimiento se determina el comportamiento y se define la zona lineal de trabajo.

Por otro lado, la forma en que interactúan los elementos, constitutivos de los conjuntos, para las conexiones de estos elementos se presenta en las figuras 2 y 3. Se puede ver que los elementos para la generación del campo y control de la fuente en de corriente son iguales, de manera similar sucede los componentes del conjunto instrumental: el Lock-In que es el dispositivo encargado de procesar las señales portadoras de la información del material analizado, también se comparten las tarjetas DAQ y GPIB.

Pero hay otras formas de procesar las señales portadoras de información, cuando estas presentan ruido de tipo blanco gaussiano, usando la transformada wavelets, caso que se presenta en la señal generada por fotodetectores [10], o como la señal de Mallinson, o también usando filtros adaptativos.

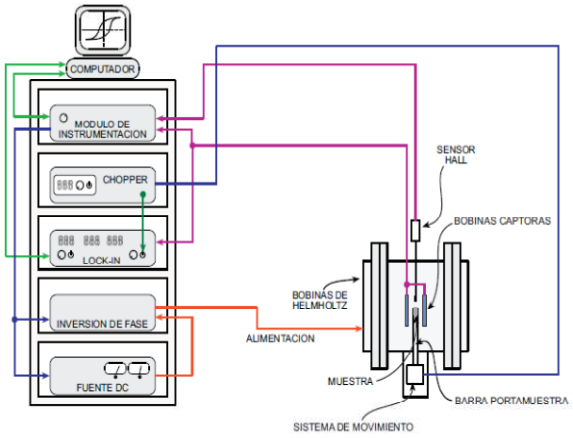


Fig. 2: Esquema general del magnetómetro de muestra vibrante (VSM).

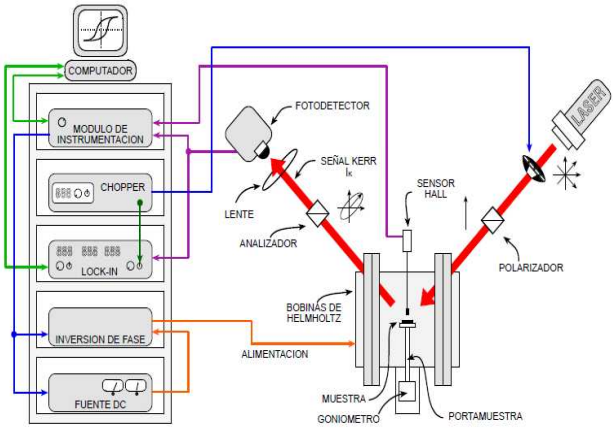


Fig. 3: Esquema general del magnetómetro Kerr (MEK).

4. Resultados

Al aplicar los criterios definidos en el numeral anterior, se implementó un magnetómetro multifuncional que integra tres técnicas complementarias para caracterización magnética, que opera bajo condiciones ambientales normales en un rango de 0,0 a 1.500 mT ± 0,8 % y un error de 0,2 %. El VSM opera a 10^{-3} Emus. El esquema general de este sistema se presenta en las figuras 2 y 3.

El software estructurado fue desarrollado usando lenguaje LabVIEW versión 7.1, que responde a la metodología secuencial y cíclica [11].

Para desarrollar este equipo de forma fiable se realizó la caracterización del electroimán Phylatex, según [12] y el cálculo de incertidumbre en la medida del campo magnético [13]. Este equipo entrega curvas como la presentada en la figura 4.

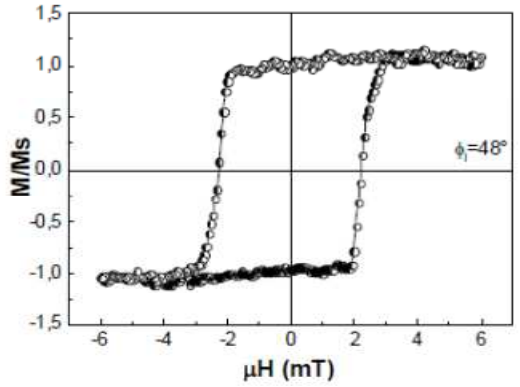


Fig. 4: Ciclo de magnetización, con geometría longitudinal, ángulo de incidencia de 48º; tomado a una película delgada deFe96C4, con espesor de 60 nm y HC = 2,2mT ± 0,8%.

5. Conclusiones

El principal criterio de diseño en la implementación de un montaje magneto-óptico (Kerr o Faraday) es el método para el tratamiento del ruido implícito en la señal óptica, en primera instancia en el conjunto óptico y de manera crucial en la etapa de instrumentación.

Además, la selección de los elementos ópticos y electrónicos con que se implemente un magnetómetro magneto-óptico o vibrante, depende de la forma en que se tratará el ruido presente, siendo más importante la calidad de los elementos electrónicos que de los ópticos.

El conocimiento de la naturaleza de las señales portadoras de información, concerniente al material analizado, le permite al experimentador maximizar el uso de los equipos para procesamiento del ruido generado, y por ende la implementación de equipos más robustos y económicos.

Referencias

[1] J. Torres, Definición de criterios para la instrumentación y control de una magnetómetro Kerr, Disertación de Tesis M Sc. Universidad Tecnológica de Pereira. 2008.

[2] Rosales, A, *et al*. Desarollo De Un Magnetómetro De Muestra Vibrante. Laboratorio de Magnetismo y Materiales Avanzados Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Abril 2006.

[3] Ian J. Daniel and Damian P. Harmonic calculations and measurements of the irreversibility field using a vibrating sample magnetometer. Hampshire Department of Physics, Superconductivity Group, University of Durham, South Road, Durham DH1 3LE, England. 1999.

[4] Foner, S. Jr. Very Low Frequency Integrating Vibrating Sample Magnetometer (VLFVSM) with High Differential Sensitivity in High dc Fields. Review of Scientific Instruments, Vol. 39, No. 2. 1968, pp. 171-179.

[5] Foner, S. Vibrating sample magnetometer. *Rev. Sci. mere.* 21:548. 1956.

[6] Van Oosterhout, G.W. Appl. Sci. es., B6, 101-104. 1956.

[7] Ploktin, H.. Quart. Progr. Rept. M.I.T Research Lab. Elctronic, 15, 1951.

[8] Paz Do Santos, F. E. Propiedades magnéticas de fluidos magnéticos de dupla camada eléctrica a base de ferrita de cobalto. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Física – CCEN. Programa de posgraduacao en física.

[9] J. Newman. Magnetic measurements for digital magnetic recording. Memorex Corp., Santa Clara, CA. IEEE transactions on magnetics, vol. Mag-14, no. *4* , july 1978.

[10] J. Torres y B. Cruz, Revista Colombiana de Física **40-2**, (2008).

[11] A. Orozco, C. Guarnizo y M. Holguín. Automatismos Industriales. p 227, Universidad Tecnológica de Pereira, ISBN 978-958-8272-99-3 (2008).

[12] J. Torres, B. Cruz y W. Marín, Scienthia et Technica Año XIII 33, 437 (2007).

[13] J. Torres y B. Cruz y C, Villegas, Scienthia et Technica Año XIII 33, (2007).