

## PROPIEDADES MAGNÉTICAS Y ESTRUCTURALES DEL $\text{BiMnO}_3$ EN PELÍCULA DELGADA

M. Grizalez<sup>1,2</sup>, E. Delgado<sup>2</sup>, M. E. Gómez<sup>2</sup>, P. Prieto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Física y Matemáticas, Universidad de la Amazonia, Florencia, Caquetá, Colombia

<sup>2</sup> Grupo de Películas Delgadas, Centro de Excelencia en Nuevos Materiales, Universidad del Valle, A. A. 25360 Cali, Colombia.

(Recibido 23 de Oct. 2006; Aceptado. 02 de Agos. 2007; Publicado 31 de Agos. 2007)

### RESUMEN

Películas delgadas de  $\text{BiMnO}_3$  fueron depositadas sobre monocristales de  $\text{SrTiO}_3(001)$  por el método de rf magnetron sputtering. Se empleó la DRX para analizar la estructura cristalina de las películas delgadas que mostró que las películas eran monoclinicas con dos orientaciones preferenciales dominantes a lo largo del sustrato. La primera es  $(111) \text{BiMnO}_3 \parallel (001) \text{SrTiO}_3$ ; La segunda es  $(222) \text{BiMnO}_3 \parallel (002) \text{SrTiO}_3$ ; otros picos indicaron que las películas eran policristalinas y que no hubo crecimiento epitaxial. La rugosidad de las películas delgadas fue investigada por AFM y se observó un crecimiento homogéneo, un tamaño de grano de  $0.5 \mu\text{m}$  y una rugosidad de  $250 \text{Å}$ . La caracterización magnética fue llevada a cabo, mediante magnetización contra temperatura y curvas de histéresis. El momento magnético de saturación de  $2.8 \mu_B$  observado a  $5 \text{K}$  disminuyó con el incremento de  $T$ .

**Palabras claves:** Biferroico, películas delgadas.

### ABSTRACT

$\text{BiMnO}_3$  thin films were deposited on single-crystals of  $\text{SrTiO}_3(001)$  by rf-magnetron sputtering method. X-ray diffraction was used to analyze the crystal structure of thin films that indicated the films were monoclinic with two dominant orientation relationship along the substrate. The first is  $(111) \text{BiMnO}_3 \parallel (001) \text{SrTiO}_3$ ; the second is  $(222) \text{BiMnO}_3 \parallel (002) \text{SrTiO}_3$ ; other peaks showed that the films were polycrystalline. The roughness of thin films was investigated by AFM and it displayed a homogeneous growth, a grain size of  $0.5 \mu\text{m}$  and a roughness of  $250 \text{Å}$ . Magnetic characterization was carried out, both magnetization versus temperature and hysteresis loops. The saturation magnetic moment of  $2.8 \mu_B$  observed at  $5 \text{K}$  decreased with increasing  $T$ .

**Key Words:** Biferroic, thin films.

### 1. Introducción

Materiales que simultáneamente muestran características eléctricas y magnéticas están ganando más y más atención actualmente. Esto es en parte debido al hecho de que tales multiferroicos son materiales promisorios para el diseño de dispositivos multifuncionales, y también debido al gran interés físico encontrado en esta clase de materiales. En particular, aquellos materiales que presentan características ferroeléctricas y magnéticas son llamados ferroelectromagnetos [1]. Un acoplamiento intrínseco entre subredes magnéticas y ferroeléctricas puede entrar en juego, además de presentar magnetización y polarización espontánea. Como resultado de esto, surge

un efecto magnetoelectrico que para nada es trivial, esto es, inducción de polarización eléctrica por medio de campo magnético y/o viceversa, ofreciendo un grado adicional de libertad en el diseño de dispositivos. Además de enormes aplicaciones en dispositivos de almacenamiento de información basados en la inversión del vector de polarización magnética o polarización eléctrica, en donde el bit binario (0 y 1) puede ser escrito en la forma de cada vector de polarización y leer por campo electrico y/o magnético. La perovskita simple  $\text{BiMnO}_3$  con un único catión en el sitio B ha sido propuesta como un biferroico y recientes cálculos teóricos sugieren que este es ferromagnético así como también ferroeléctrico debido al enlace covalente entre el bismuto y los átomos de oxígeno [2]. Recientemente, el  $\text{BiMnO}_3$  (BMO) fue propuesto para formar parte de la escasa familia de los multiferroicos, en el cual se ha evidenciado magnetocapacitancia [3]. El objetivo de este artículo es corroborar la estructura cristalina y la naturaleza ferromagnética del compuesto  $\text{BiMnO}_3$ .

## 2. Detalles Experimentales

El compuesto  $\text{BiMnO}_3$  fue preparado por un método cerámico convencional basado en precursores óxidos para obtener un blanco. El análisis estructural fue llevado a cabo por difracción de rayos X (DRX) con un difractómetro Philips X'Pert SW. Fue usada radiación  $\text{Cu-K}\alpha$  con  $\lambda = 1.54056$  nm, y un tamaño de paso de 0.01. La figura 1 muestra el difractograma para BMO crecido sobre un sustrato de  $\text{SrTiO}_3(001)$  (STO).

La superficie de las películas delgadas fue analizada cualitativamente por Microscopía de Fuerza Atómica (AFM), como se aprecia en la figura 2, con un Autoprobe PC-Park Scientific Instruments, usando un cantilever  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de 95-100 nN de fuerza. Estas imágenes se estudiaron cuantitativamente mediante el programa SPIP TM [4].

Las películas delgadas de  $\text{BiMnO}_3$  fueron crecidas en alta presión de oxígeno mediante r-f magnetron sputtering [5]. Las condiciones de crecimiento son resumidas en la tabla 1.

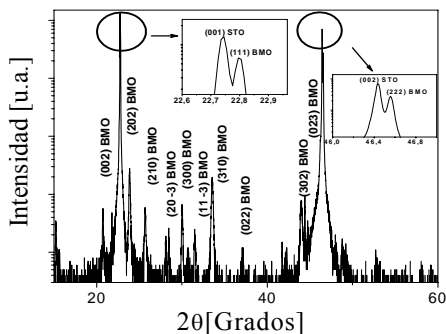
**Tabla 1.** Condiciones experimentales para el crecimiento de las películas delgadas de  $\text{BiMnO}_3/\text{SrTiO}_3(001)$ .

Parámetros	Condiciones
Blanco	$\text{BiMnO}_3$
Sustrato	$\text{SrTiO}_3$
Atmósfera cámara	Oxígeno
Presión de vacío	$3.4\text{E-}5$ bar
Presión de trabajo	$1.5\text{E-}4$ bar
Tiempo de deposición	30 min
Potencia RF	60 W
Temperatura sustrato	1123 K

Medidas magnéticas fueron llevadas a cabo con un magnetómetro Quantum Design MPMS SQUID (Superconducting Quantum Interference Device). Mediante este sistema fue posible obtener curvas de histéresis ferromagnética medidas a 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 K de temperatura y la curva de magnetización vs. temperatura.

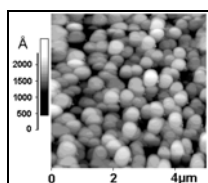
### 3. Resultados Y Discusión

En la figura 1 se muestra el difractograma correspondiente a las películas delgadas de  $\text{BiMnO}_3/\text{SrTiO}_3(001)$  obtenidas por el método magnetron sputtering r-f. Los picos dominantes son los del sustrato que corresponden al STO. También se observan fuertes reflexiones de la capa de BMO cercanas a los picos del sustrato, lo cual revela un crecimiento altamente texturizado.



**Fig. 1.** DRX para  $\text{BiMnO}_3$  obtenida por método cerámico convencional.

Las medidas de AFM han sido realizadas sobre un área de  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  con el fin de investigar la rugosidad de la superficie (ver figura 2), observando un crecimiento homogéneo de la película delgada de BMO. Se puede extraer información cuantitativa de la rugosidad mediante un tratamiento estadístico de las imágenes. Se obtuvo finalmente una rugosidad de  $250 \text{ \AA}$  y un tamaño de grano de  $0.5 \mu\text{m}$ .



**Fig.2** Microscopía de fuerza atómica de una película delgada de  $\text{BiMnO}_3$  de  $30 \text{ nm}$  de espesor sobre un sustrato de STO (00).

En la figura 3 se observa que la magnetización de saturación a  $5\text{K}$  tiene un valor de  $2,8 \mu_B$  lo cual dista del valor para el espín alineado a esta misma temperatura cuyo calculo es de  $4.0 \mu_B$  para  $\text{Mn}^{3+}(3d^4)$ .

En la figura 4 (a) se presente la medida de la magnetización en función de la temperatura para una película de  $\text{BiMnO}_3 / \text{SrTiO}_3(001)$ , desde  $150$  hasta  $5\text{K}$  en un campo de  $100 \text{ Oe}$ . Como se puede observar, hay una relativamente grande contribución diamagnética que proviene del sustrato, debido al poco espesor de la película, aproximadamente  $30 \text{ nm}$ . Por esta razón, no es posible apreciar la transición ferromagnética del material, razón por la cual se hizo necesario ajustar la curva de magnetización vs. Temperatura con la relación:

$$\frac{M}{M_0} = \alpha \left( \frac{T_c - T}{T_c} \right)^\beta$$

Donde  $M_0$  es la magnetización de saturación en  $T = 0$  y  $T_C$  es la temperatura de Curie. Con valores de  $\alpha$  muy cercanos a 1.09 y  $\beta = 0.33$  se reproduce la curva de la figura que puede ser una magnetización ideal y que presenta una transición ferromagnética muy clara en 100K.

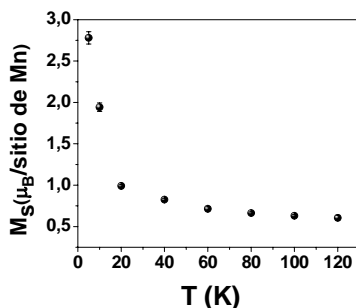


Fig.3. Magnetización de saturación en función de la temperatura.

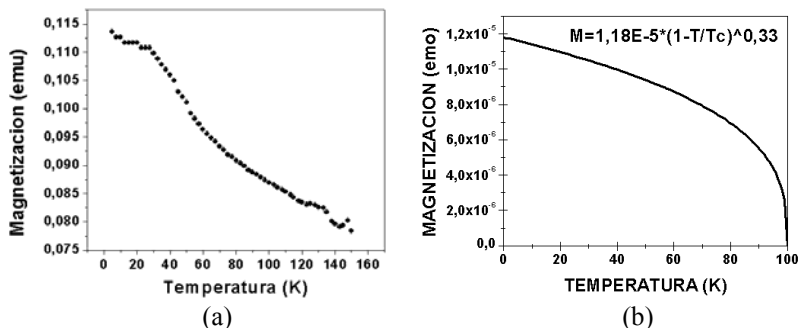


Figura 4. Magnetización en función de la temperatura, (a) con la contribución diamagnética del sustrato y (b) curva anterior ajustada.

#### 4. Conclusiones

El multiferroico BMO ha sido fabricado por un método cerámico convencional basado en óxidos precursores, logrando crecer satisfactoriamente películas delgadas de BMO por rf magnetron sputtering sobre un sustrato de STO. El ferromagnetismo del BMO ha sido verificado vía magnetización.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido soportado por el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales.

#### 5. Referencias

[1] G. A. Smolenskii and I. E. Chupis, Sov. Phys. Usp. **25**, 475 (1982).  
 [2] N. A. Hill, K. A. Rabe, Phys. Rev. **B 59**, 8759 (2000)  
 [3] T. Kimura et. al, Phys. Rev. B, **67**, 180401 (R) (2003).  
 [4] SPIP© Image Metrology Lyngby, Denmark, 2002.  
 [5] U. Poppe et. al, Solid State Communication **66**(6), 661-665 (1988).