

## MICROSCOPIA MAGNETO-ÓPTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE DOMINIOS MAGNÉTICOS Y LA DINÁMICA DE LAS PAREDES DE DOMINIOS EN PELÍCULAS DELGADAS.

Matias Grassi (1), Ivan Fernandez Aguirre (1), Lucas Albornoz (1,2), Alexandra Mougin (3), Vincent Jeudy (3, 4), Alejandro Kolton (1, 2), Sebastian Bustingorry (2), Javier Curiale (1, 2)

(1) Instituto Balseiro - Universidad Nacional de Cuyo & Comisión Nacional de Energía Atómica, S. C. Bariloche, Argentina. (2) Centro Atómico Bariloche - CONICET, Comisión Nacional de Energía Atómica, S. C. Bariloche, Argentina. (3) Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, CNRS, UMR8502, 91405 Orsay, Francia. (4) Université Cergy-Pontoise, 95000 Cergy-Pontoise, Francia. Email (L.A.): elalbo087@gmail.com

Los materiales ferromagnéticos se caracterizan por tener una transición desde la fase paramagnética de alta temperatura hacia una fase de baja temperatura llamada ferromagnética, donde existe un orden de largo alcance. En su versión más simple, la fase ferromagnética tiene dos estados posibles en los que los momentos magnéticos apuntan en una dirección o en la dirección opuesta; en este caso nos referimos a un material magnético con simetría tipo Ising. Sin embargo, en una aproximación más realista, necesariamente deben contemplarse otros ingredientes que contribuyen a la energía total del sistema, como por ejemplo la energía magnetostática y las simetrías magneto-cristalinas. Como resultado de la competencia entre los distintos actores involucrados en la energía libre, surge la posibilidad de coexistencia entre los distintos estados posibles de la fase ordenada. A cada una de las regiones espaciales caracterizada por una magnetización homogénea se la denomina dominio magnético. Cuando en un sistema se da la coexistencia de dominios, necesariamente se debe tener en cuenta la región en la cual la magnetización local cambia su orientación entre un dominio y otro. A estas regiones de magnetización inhomogénea se las denomina paredes de dominio (DW).

Desde un punto de vista tecnológico, son muchos los materiales ferromagnéticos en los cuales la presencia y control de dominios y paredes de dominio es de crucial importancia. En este tipo de sistemas existen distintos parámetros de control, asociados a campos magnéticos, corrientes polarizadas en espín, o deformaciones elásticas, que nos permiten interactuar con las paredes de dominio. En la actualidad está claro que el control de la formación (escritura y borrado) y estabilidad de dominios magnéticos es fundamental en el desarrollo de memorias y otros dispositivos magnéticos. En este sentido, y dada la necesidad de desarrollar nuevas memorias a escalas cada vez más pequeñas, es que el estudio del control y la dinámica de paredes de dominio en materiales ferromagnéticos se ha vuelto esencial.

En este trabajo mostraremos como haciendo uso de un microscopio magneto-óptico de efecto Kerr Polar (PMOKE) podemos observar la estructura y dinámica de dominios magnéticos en películas delgadas con anisotropía perpendicular. Pondremos en evidencia algunas de las razones por las cuales la microscopía Kerr se ha transformado en una de las herramientas más usadas para este tipo de estudios y discutiremos como a partir del análisis de las imágenes que obtenemos con el microscopio PMOKE podemos extraer información de las propiedades dinámicas del sistema magnético.

En particular, mostraremos resultados de patrones de dominios en películas delgadas de Pt(45Å)/Co(7Å)/Pt(35Å) por tratarse este de un caso arquetípico. En este sistema, partiendo de un estado saturado (en el cual la magnetización de toda la muestra se encuentra en una misma dirección y sentido), al aplicar pulsos de campo de intensidad controlada y sentido opuesto a la magnetización, se nuclea dominios magnéticos con la magnetización en sentido opuesto a la saturación previamente alcanzada. En la figura 1 se pueden observar imágenes de dominios magnéticos típicos en este tipo de sistemas. Una vez realizada la nucleación, la aplicación de campo magnético que favorezca a los dominios preexistentes hará que estos aumenten su tamaño. En esta situación, a partir de la adquisición y el análisis de las imágenes que obtenemos con el microscopio, podemos medir el valor medio del desplazamiento de las paredes de dominio cuando se aplican pulsos de campo magnético de amplitud (H) y duración ( $\Delta t$ ) determinadas.

La Figura 1 c) corresponde a la diferencia pixel a pixel de dos imágenes sucesivas entre las cuales se aplicó un único pulso de campo magnético. A partir de estos resultados podemos computar el valor medio del

## 4° Congreso de la Asociación Argentina de Microscopía (SAMIC 2016)

desplazamiento ( $\langle \Delta x \rangle$ ) realizando un análisis estadístico. Teniendo en cuenta que las paredes de dominio se desplazan solamente cuando el campo magnético está aplicado, se puede calcular el valor medio de la velocidad a la cual se desplazan las paredes de dominio para el valor de campo magnético utilizado ( $v(H)$ ).

Siguiendo este protocolo pero variando la magnitud del campo magnético aplicado, construimos curvas de velocidad versus campo magnético. Esto nos permite comprender la evolución del sistema en un contexto mucho más general como lo es el de las interfaces elásticas que se desplazan en medios desordenados. En este contexto podemos identificar distintos regímenes dinámicos con leyes bien diferenciadas y exponentes críticos universales que están directamente asociados a parámetros como el tipo de desorden y la dimensión del sistema y la interface.

En particular, en Pt(45Å)/Co(7Å)/Pt(35Å) pudimos optimizar el microscopio PMOKE y trabajar en un rango de campo magnético entre 20 Oe y 350 Oe en el cual la velocidad de las paredes de dominio varía más de ocho órdenes de magnitud. Pudimos identificar claramente que el régimen dinámico en este rango de campos magnéticos corresponde al régimen de reptación "creep", el cual es térmicamente activado y controlado por el anclaje.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la ANPCyT y la Universidad Nacional de Cuyo UNCuyo por el financiamiento parcial del trabajo a través de los proyectos PICT2012-2995 y UNCuyo 06/C427.

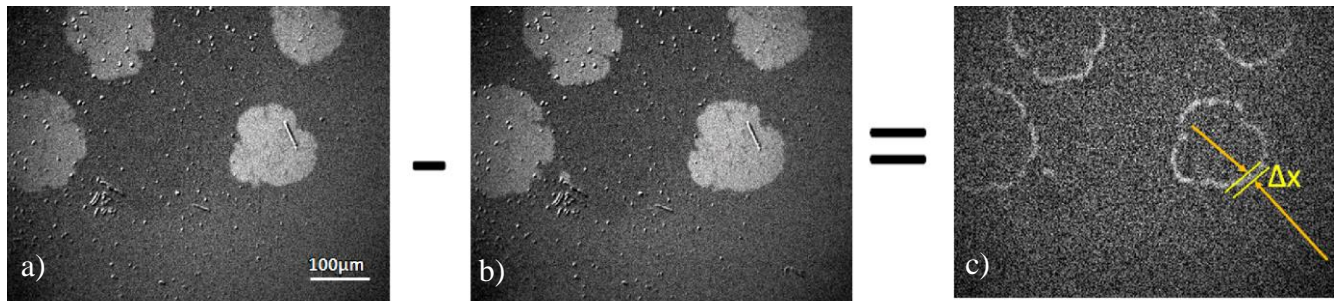


Figura 1: Las figuras a) y b) corresponden a imágenes de dominios magnéticos en Pt(45Å)/Co(7Å)/Pt(35Å) donde el contraste, puramente magnético, indica el sentido de la magnetización (saliente o entrante del plano de la imagen) a nivel local. La figura b) corresponde a los mismos dominios nucleados en a) luego de haber aplicado un pulso de campo de duración  $\Delta t$ . La figura c) corresponde a la diferencia entre la imagen b) y a). Aquí se refleja directamente el crecimiento de los dominios magnéticos a partir de la aplicación del pulso de campo.