

PROCESOS DE IMANACIÓN EN LA NANOESCALA MEDIANTE MICROSCOPIA DE FUERZAS MAGNÉTICAS

Miriam Jaafar¹, Julio Gómez², Manuel Vázquez¹, Agustina Asenjo¹

¹Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC, 28049 Madrid

²Dpto. Física de la Materia Condensada, UAM, 28049 Madrid

mjaafar@icmm.csic.es

Resumen

El estudio de nanoestructuras magnéticas es un tema de gran interés ya que ofrece la posibilidad de explorar el magnetismo en un régimen intermedio entre el comportamiento atómico y el de volumen [1]. Además de contribuir al estudio de nuevos fenómenos asociados al reducido tamaño de los dispositivos, las nanoestructuras magnéticas ofrecen enormes posibilidades de ser aplicadas en almacenamiento magnético de alta densidad [2] o en la fabricación de sensores. La comunidad científica está realizando un importante esfuerzo para el desarrollo de nuevos métodos que permitan estudiar los procesos de imanación en la nanoescala ya que no pueden ser utilizadas para la caracterización de estas estructuras las técnicas de volumen habituales. En este sentido, el microscopio de fuerzas magnéticas con campo variable (VF- MFM) tiene un enorme potencial como herramienta para el estudio de la dinámica de spines así como el análisis cuantitativo de los procesos de imanación.

En este trabajo presentamos algunas aplicaciones del nuevo VF-MFM [3] que hemos desarrollado. Lo más destacable de este sistema es su capacidad para realizar imágenes con campos aplicados de forma constante con una alta estabilidad tanto mecánica como térmica. Podemos aplicar hasta 0.2 T aproximadamente en el plano de las muestras y 0.1 T en la dirección axial

Mediante esta técnica vamos a ser capaces de estudiar numerosos sistemas: podemos realizar ciclos de histéresis *in situ* tanto de las puntas magnéticas empleadas [4] (mediante los denominados modos 3D) como vemos en la Figura 1, como de las muestras a nivel local (Figura 2). A modo de ejemplo, estudiaremos los procesos de imanación en nanohilos magnéticos individuales [5] y, controlando de manera conjunta el campo creado por la punta y el aplicado por el sistema [6] somos capaces de realizar modificaciones selectivas a nivel local de la imanación de los hilos, lo que denominaremos litografía magnética (ver Figura 3). Podemos así mismo identificar los diferentes estados de imanación presentes en nanoestructuras magnéticas con geometría triangular [7] en función del sentido del núcleo del vórtice o de la quiralidad. Aplicando campo magnético *in situ* podemos diferenciar los distintos procesos (figura 4). Estos estudios son complementados con simulaciones micromagnéticas.

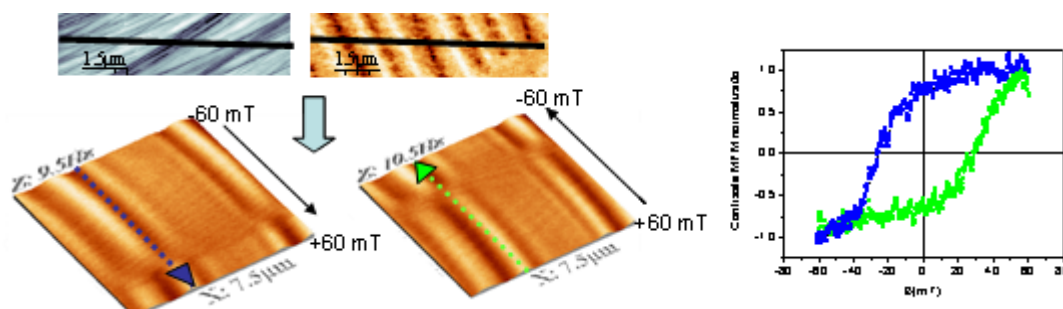


Figura 1. Ciclo de histéresis adquirido mediante los modos 3D. En una línea de barrido se varía el campo magnético en sentido creciente y decreciente. Trazando perfiles en estas imágenes obtenemos el ciclo local de la parte de material magnético de las puntas involucrada en el proceso de adquisición de imágenes

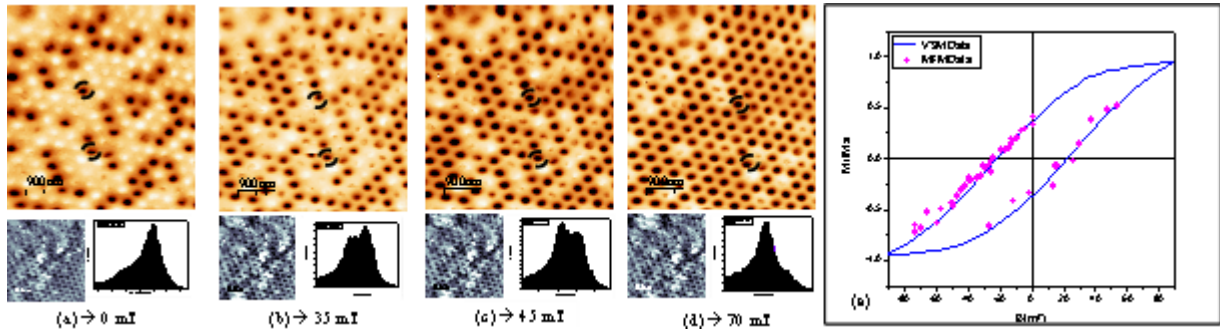


Figura 2.(a)-(d) Imágenes de MFM de un conjunto de nanohilos de Ni embutidos en una membrana de alúmina porosa a diferentes campos magnéticos aplicados en la dirección de los hilos de manera constante. (e) Ciclo de histéresis de la muestra adquirido por MFM y VSM (Vibrating Sample Magnetometer).

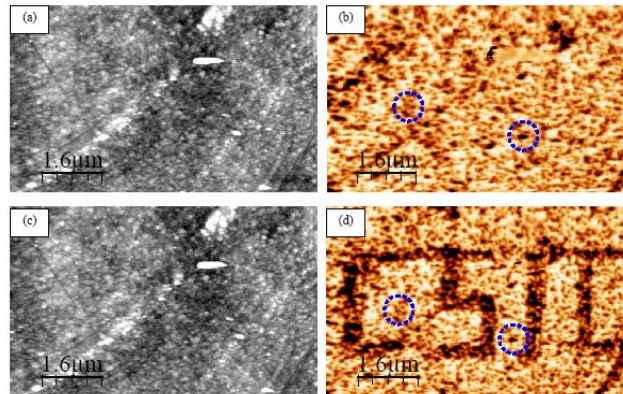


Figura 3- (a) - (c) Topografía y (b) - (d) señal magnética de un conjunto de nanohilos de Ni de 65 nm de diámetro. Se ha modificado de manera selectiva la imanación de algunos hilos escribiendo la palabra “CSIC”

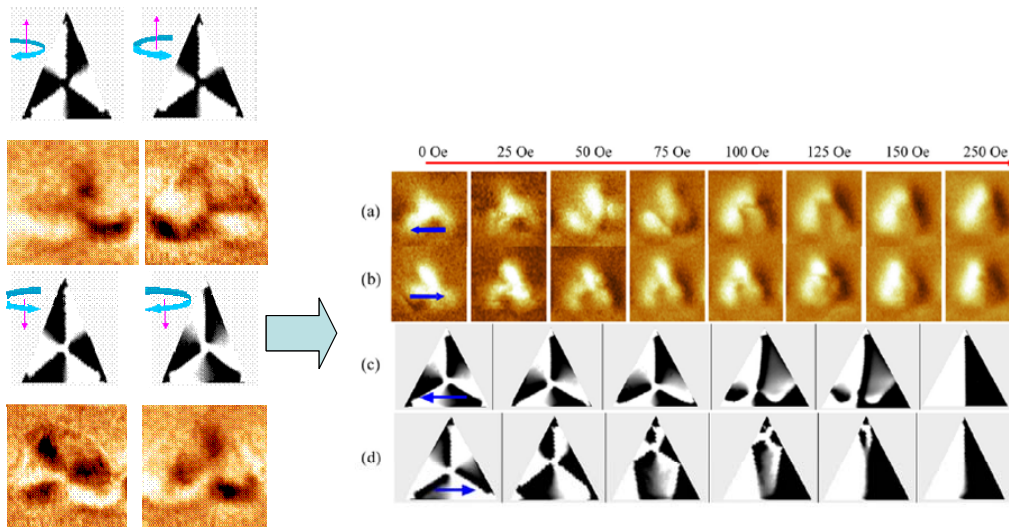


Figura 4. Observación por MFM y simulaciones micromagnéticas de los cuatro estados posibles en nanoestructuras triangulares. Aplicando campo *in situ* en el plano de las muestras, vemos como los procesos de imanación dependen del estado de partida. (Tamaño de las estructuras 500 nm de lado y 50 nm de espesor)

Referencias:

[1] J.S.S. Gider, K. Babcock and D.D. Awschalom, *Science* 271, 937 (1993)
 [2] S.P. Parkin, M. Hayashi, L. Thomas, *Science* 320 (2008) 190-194
 [3] M. Jaafar, J Gómez-Herrero, A Gil, P Ares, M Vázquez, A Asenjo enviado
 [4] M. Jaafar, A. Asenjo, M.Vázquez *IEEE Nano* 7 (3) (2008) 245-250
 [5] J. Escrig, D.Altbir, M. Jaafar, D.Navas, A. Asenjo M.Vázquez *Phys. Rev. B* 75, (2007)184429
 [6] A. Asenjo, M. Jaafar, D.Navas, M.Vázquez *J. Appl. Phys.* 100 (2006) 023909
 [7] M. Jaafar , R. Yanes, A. Asenjo, O. Chubykalo-Fesenko, M. Vázquez, E.M. González and J.L. Vicent, *Nanotechnology*, in press