Propuesta tesis de maestría en física del Instituto Balseiro

Título: **Nanoestructuras magnéticas artificiales creadas con litografía**

Orientación**: Materia Condensada o Ciencia de Materiales** (según el perfil del candidato)

Director: **Alejandro Butera**

Lugar de trabajo: **Laboratorio de Resonancias Magnéticas**

Introducción

Uno de los desarrollos recientes más importantes en el área de magnetismo ha sido el uso de técnicas de nanofabricación para diseñar estructuras magnéticas en la escala del nanómetro. Los llamados "nanoimanes" tienen, en virtud de su tamaño extremadamente pequeño, propiedades magnéticas muy distintas que las de materiales magnéticos masivos. El interés en estas partículas ha estado ligado al éxito de la industria de microelectrónica en varios aspectos,[1] fundamentalmente en el área de grabación magnética en discos rígidos.

Desde el punto de vista de física básica el descubrimiento de nuevos fenómenos magnéticos asociados a la dimensionalidad reducida le dio un gran empuje a la investigación de nanoestructuras artificiales. Los más destacados fueron el acople de intercambio oscilatorio,[2] la magnetorresistencia gigante[3] y la anisotropía superficial perpendicular[4].

La propiedad más importante de un elemento o aleación magnética es su anisotropía. Esto se refiere a la presencia de una dirección preferencial para la magnetización y determina la forma en que se comporta el material magnético y por ende las posibles aplicaciones tecnológicas que pueda tener. En un material convencional la anisotropía surge de la forma y la simetría de la superficie de Fermi y por lo tanto es una propiedad intrínseca de cada elemento o aleación y no puede ser modificada fácilmente. En nanoimanes, por el contrario, la anisotropía no sólo depende de la estructura de bandas del material original, sino que la forma y la geometría juegan un rol fundamental. Por consiguiente una de las propiedades que hacen atractivos a los materiales magnéticos nanoestructurados es la posibilidad de hacer "ingeniería" de las propiedades magnéticas mediante la elección de la forma de los elementos constitutivos.

Existe una gran cantidad de trabajos que estudian las propiedades de nanoestructuras magnéticas en función del tipo de material magnético, de la forma, el tamaño y la simetría del arreglo.[1] Sin embargo, hay pocos estudios en los que se varía la geometría relativa de arreglos de nanoelementos.

Objetivos

Nuestros objetivos contemplan la fabricación, la caracterización magnética y morfológica de films con arreglos de nanoelementos y, fundamentalmente, la

interpretación física de los fenómenos magnéticos presentes. El proyecto estará centrado en los siguientes temas:

- Fabricación con técnicas de sputtering de films magnéticos.
- Uso de litografía óptica y de electrones para el grabado de arreglos periódicos de distinta forma y geometría sobre los films magnéticos.
- Caracterización de las propiedades magnéticas.
- Estudio comparativo de arreglos con diferentes parámetros.
- Modelado teórico del comportamiento observado que permita comprender que rol juegan las interacciones en la anisotropía magnética.

Plan de trabajo y metodología

Plan de Trabajo

Durante el primer cuatrimestre se tratará de capacitar al estudiante en las diversas técnicas de fabricación y caracterización de films. Parte del tiempo será ocupado en la explicación de los fenómenos magnéticos que tienen lugar en estos sistemas y en la enseñanza del manejo de equipos. Los films se fabricarán en el Centro Atómico Bariloche que cuenta con dos equipos de sputtering adecuados para la fabricación de las muestras que nos proponemos estudiar. La litografía por electrones también se realizará en el CAB. Es nuestra intención realizar muestras con distintos métodos de revelado de la nanoestructura, por ejemplo "lift-off" y "argon ion etching" para tratar de lograr muestras de la mejor calidad posible.

En el segundo y tercer cuatrimestres nos dedicaremos de lleno a la realización de experimentos y su interpretación. Nuestro objetivo es realizar un estudio comparativo entre muestras en las que se va cambiando gradualmente algún tamaño, geometría o simetría. Utilizaremos principalmente técnicas de microscopía de fuerza magnética y de resonancia ferromagnética en lo referido a la influencia de la simetría de los arreglos. La primera técnica permite ver la topografía tridimensional y el estado magnético de cada elemento del arreglo, con sensibilidades muy superiores a otros experimentos. La segunda técnica permite discernir los ejes de anisotropía fácil o difícil en muestras magnéticas con magnetizaciones de 10^{-9} emu, límite muy por debajo al de otras técnicas que miden las propiedades masivas. Estudios realizados han demostrado la versatilidad de la resonancia ferromagnética en la caracterización de nanoestructuras.[5] El hecho de cambiar los parámetros del arreglo hace que las interacciones entre los nanoelementos varíen. Dentro del plan de trabajo se contempla el modelado teórico de las propiedades magnéticas observadas.

Caracterización estructural y morfológica

Para la determinación de las propiedades estructurales y morfológicas disponemos de acceso a las siguientes técnicas: TEM, SEM-EDAX, Rayos-X, microscopio AFM.

Propiedades Magnéticas

Para la caracterización magnética se dispone de los siguientes equipos: Magnetización dc (balanza de Faraday, Efecto Kerr Magnetoóptico, Squid y VSM), Resonancia Paramagnética y Ferromagnética (Bandas L, X y Q), Microscopio MFM, Susceptibilidad ac, Magnetotransporte, Espectroscopía Mössbauer.

Plan tentativo de cursos (depende de la orientación elegida y de la formación previa del candidato)

Orientación Materia Condensada
Primer semestre:
Física del Sólido (1)
Fenomenología de la materia condensada I (1)
Estructura Cristalina y Defectos en Sólidos (1)

Segundo semestre:
Fenomenología de la materia condensada II (1)
Sistemas Mesoscópicos y Nanoestructurados módulo I (1/2)

Tercer semestre:
Magnetismo II (1/2)

Orientación Ciencia de Materiales
Primer semestre:
Estructura Cristalina y Defectos en Sólidos (1)
Introducción a la Física Moderna con Aplicaciones a la Teoría de los Materiales (1)

Segundo semestre:
Caracterización de Materiales (1)
Magnetismo I (1/2)
Sistemas Mesoscópicos y Nanoestructurados módulo I (1/2)

Tercer semestre:
Fenomenología de la materia condensada I (1)

Bariloche, 26 abril, 20166 Dr. Alejandro Butera

[1] R. P. Cowburn, Property variation with shape in magnetic nanoelements, J. Phys D: Appl. Phys. R1-R16, vol. 33 (2000). R. F. Wang et al. Artificial 'spin ice' in geometrically frustrated lattice of nanoscale ferromagentic islands. Nature, 303, vol 439 (2006).
[2] S. S. P. Parkin, N. More, and K. P. Roche, Phys. Rev. Lett. 2304 vol 64, (1990).
[3] M. N. Baibich et. al. Phys. Rev. Lett. 2472, vol 61 (1988).
[4] J. G. Gay and P. Richter Phys. Rev. Lett. 2728, vol 56 (1986).
[5] S. Jung et al., Phys. Rev. B 132401, vol 66 (2002).