

Distribución de dominios magnéticos en nano-estructuras de Co obtenidas por electrodeposición

Moina, C.⁽ⁱ⁾; de Oliveira-Versick, L.⁽ⁱ⁾; Vazdar, M.⁽ⁱⁱ⁾

⁽ⁱ⁾INTI-Procesos Superficiales

⁽ⁱ⁾Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, San Pablo, Brasil.

⁽ⁱⁱ⁾División de Química Orgánica y Bioquímica Instituto Rudjer Boskovic, Zagreb, Croacia

Introducción

Los avances en las tecnologías de nano-fabricación han permitido obtener estructuras magnéticas nanométricas con dimensiones del orden de las escalas de longitud fundamentales en magnetismo, como tamaño de dominios y longitud de interacción de intercambio. Esas nanoestructuras presentan un comportamiento distintivo, denominado magnetismo mesoscópico, intermedio entre las propiedades magnéticas a nivel molecular y a nivel macroscópico. En particular, por debajo de cierta dimensión crítica las nanoestructuras ferromagnéticas revelan una configuración de dominio único (SD) estable. Cuando se fabrican sobre sustratos semiconductores los SD permiten nuevas aplicaciones, por ejemplo en almacenamiento magnético y sensores integrados. En el presente trabajo se presenta la forma de obtener nanoestructuras ferromagnéticas (Co) sobre un semiconductor (Si) por electrodeposición (ED). Además se muestra la utilización de la microscopía de fuerza magnética (MFM) para la construcción de diagramas de fase magnéticos de nanoestructuras.

Descripción Experimental

Se prepararon electrodos de 1 cm² a partir de obleas de p-Si (111). Los electrodos se limpiaron siguiendo el método estándar RCA. Se utilizó un potencióstato PAR 273 A para controlar y medir el potencial E y la corriente i. Las medidas electroquímicas se efectuaron en una celda de tres compartimientos en condiciones estancas. Los potenciales se midieron respecto de un electrodo de referencia de calomel saturado. Los experimentos electroquímicos se realizaron bien en la oscuridad o iluminado los sustratos de Si con una lámpara de tungsteno. Las imágenes topográfica y magnética se obtuvieron con un microscopio de barrido de sonda (SPM) UltraObjective (Surface Imaging Systems) operando en forma de contraste de campo; utilizando el método de doble pasada^[1]. Se utilizaron puntas magnéticas con una frecuencia de resonancia de alrededor de 70 kHz. Las puntas estaban

magnetizadas perpendicularmente a la superficie barrida.

Resultados

La ED se efectuó a partir de una solución de CoSO₄ 0,5 M a pH 3,5. A este pH está favorecida la formación de la estructura hexagonal del Co. El potencial de circuito abierto (OCP) medido en la oscuridad fue -250±10 mV. En estas condiciones no se observó ED del metal al polarizarse catódicamente el electrodo. Bajo iluminación el OCP tomó el valor -100±20mV. Este corrimiento se debe a un "unbending" parcial de las bandas del Si. En estas condiciones, bajo polarización catódica se obtiene la ED del Co.

El inicio de la ED tiene lugar a -400±20 mV. La deposición masiva del metal ocurre a potenciales negativos respecto de -700 mV. Mediante la técnica de saltos potencióstáticos se depositaron núcleos ("dots") de Co sobre el Si.

Los núcleos fueron analizados por AFM y MFM (Figura 1).

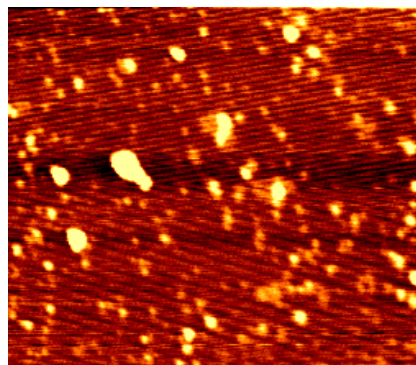


Figura 1a : Imagen topográfica

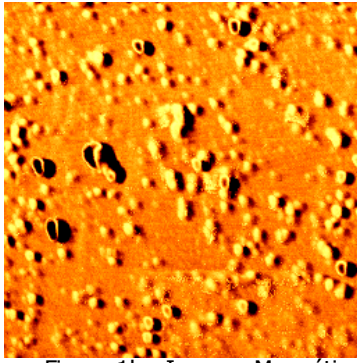


Figura 1b : Imagen Magnética

La imagen topográfica muestra una distribución en el tamaño de los núcleos, típica de la nucleación progresiva. Morfológicamente, los núcleos son esferoides planos, con altura máxima de 65 nm. La imagen magnética es compleja. Se identificaron tres tipos de estructuras magnéticas.

Dos o más regiones separadas por líneas oscuras. Este tipo de imágenes se pueden asignar dominios magnéticos múltiples (MD) separados por una pared magnética.

Imágenes bipolares, consistentes en áreas claras y oscuras contiguas. Estas imágenes son distintivas de dominios magnéticos únicos (SD).

Imágenes bipolares que muestran un área oscura dentro de los lóbulos claros. Este tipo de pseudo-dominios únicos (PSD) corresponden probablemente a estructuras de transición.

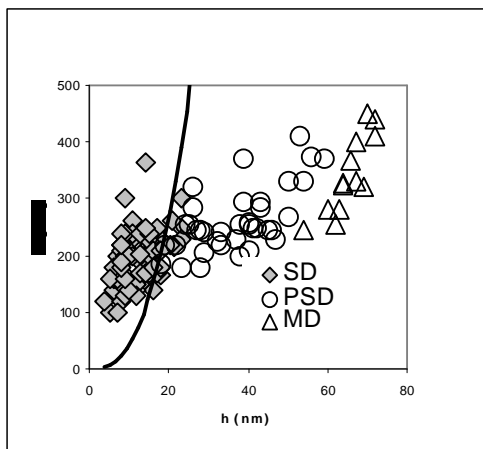


Figura 2 : Distribución de dominios magnéticos

En la figura 2 se presenta un diagrama de fases magnético, en el que los estados magnéticos de los núcleos se representan en función de la altura h y el diámetro D de los núcleos. Se distinguen diferentes regiones, dependiendo de la altura h . Para $h < 18$ nm solo se forman estados SD. En un estrecho rango

$18 < h < 23$ nm coexisten estados SD y PSD. Para $h > 23$ nm se observan exclusivamente configuraciones PSD-MD. La altura crítica h_0 para la cual los núcleos estarán siempre en una configuración SD puede calcularse teóricamente a partir de la ecuación^[2,3]

$$h_0 = (1,84/M_s) (A/N_R)^{1/2}$$

donde A es la constante de intercambio magnética, M_s es la magnetización de saturación del material y N_R es el factor de desmagnetización, que depende de D a través de la relación de aspecto $m=2h/D$. Dando valores puede calcularse el límite inferior teórico h_0 como función de D . El gráfico resultante se ha incluido en la figura 2. Puede verse que límite teórico debajo del cual de ocurrir un comportamiento SD puro se ajusta cuantitativamente a las observaciones experimentales de la transición SD/PSD-MD obtenidas por MFM

Conclusiones

Los resultados indican que la electrodeposición es una buena alternativa para la fabricación de nano-estructuras magnéticas. El diagrama de fases magnético obtenido por MFM muestra que para los núcleos electrodepositados, la altura h es la longitud crítica que determina las propiedades magnéticas. Para $h < 15$ nm, es en principio posible una variación de D de un orden de magnitud, siendo posible fabricar puntos ("dots") SD en un amplio rango de relaciones de aspecto.

Referencias

- [1] C.A. Moina, M. Vazdar; "Electrodeposition of nano-sized nuclei of magnetic Co-Ni alloys onto n -Si (100)" *Electrochemistry Communications* 3 (2001)159.
- [2] C.A. Moina, L. De Oliveira-Versik, M. Vazdar; "Magnetic domain states in nano-sized Co nuclei electrodeposited onto monocrystalline silicon" *Materials Letters* 58 (2004) 3518.
- [3] A. Aharoni; "Elongated single-domain ferromagnetic particles" *J. of Applied Physics* 39 (1988) 5879.