

FORMA GEOMÉTRICA: UN FACTOR DETERMINANTE PARA CONTROLAR NANOESTRUCTURAS MAGNÉTICAS

• *Juan Luis Palma*

Doctor en Ciencias con mención en Física

Para alcanzar las tecnologías que queremos, es necesario entender y controlar los efectos que aparecen en la naturaleza, por ejemplo: un imán a escala nanométrica, entre otras cosas, depende de la forma para poder determinar cuál va a ser su dirección de magnetización.

Cuando nos encontramos con un imán en alguna aplicación, vemos que este tiene una forma particular, diseñada y pensada, para el dispositivo que se está utilizando. Por lo general, se utilizan para inducir un campo magnético o para sujetar algún otro elemento. Sin embargo a escala nanométrica, los Imanes no solo realizan el efecto de inducción, y no se usan de sujeción de algún otro elemento: sino que

estos “nanoimanes” representan el bit de información que estamos leyendo. Esto funciona así en varios dispositivos de grabación magnética, tal como en discos compactos, memorias de acceso aleatorio (MRAM), discos duros, tarjetas bancarias, entre otros. Grafiquemos un poco estas aplicaciones, pensemos entonces en una cinta, tal como la de la tarjeta bancaria o una como la de los cassettes que utilizábamos en la década de los 80's; esta cinta está compuesta por varias regiones de magnetización constante. Estas regiones son las que se les conoce como: dominios magnéticos, y se definen como una región en el material donde la magnetización es uniforme. Cada una de estas regiones en la cinta, está compuesta por pequeños granos: “piedras magnéticas”, estos granos son los que llamamos nanopartículas.

La carrera por alcanzar mayor capacidad de información siempre está activa, pero: que se puede hacer para poder ganarla?

El problema:

Una de las posibilidades es miniaturizar los sistemas, claro: si hacemos todo más chico, más información nos cabrá en un espacio más reducido. Pero, hay un inconveniente llamado: límite super-

paramagnético. Que palabrota!, pero no es tan complicado. Este límite explica como los sistemas pierden su magnetización debido a la energía térmica y el tiempo. La energía intrínseca de una partícula depende del volumen que esta tenga, es decir, a mayor volumen su energía intena podrá mantener su magnetización fija. Para partículas que contienen solo un dominio magnético (monodominios), que por lo general son menores a 100 nanómetros, debido a que para tamaños mayores se forman muchos dominios magnéticos. Esta energía interna, que se le llama anisotropía, es la que mantiene la magnetización fija en la partícula, y hay otra energía que trata

de que la magnetización oscile en todas las direcciones: la energía térmica. Resumiendo, si las partículas de un sistema tienen su magnetización estable: puedo grabar información. Pero si por el contrario, tienen su magnetización oscilando aleatoriamente, no puedo grabar información. La energía térmica, que trata de desordenar la magnetización del sistema, siempre está compitiendo con la energía de anisotropía, que está relacionada con el volumen de la nanopartícula. **Ya puedes ver el problema?**, si quieres grabar más información, y disminuyes el tamaño de la partícula, entonces la energía térmica será mayor y desordenará a todo el sistema; provocando la pérdida de la información.

Una de las soluciones:

Controlar la anisotropía parece ser una solución. Una anisotropía se define como una dirección preferencial para algún efecto físico. Entonces, parece ser que la solución va por intentar poner una dirección preferencial a la magnetización de esta nanopartícula, de tal manera que podamos disminuir el volumen, pero a su vez la magnetización siga estando fija en el material, sin que esta pudiese oscilar por el efecto de la temperatura. Bueno, hoy en día se trabaja atacando por muchos flancos este tipo de sistemas.

Al 2011, la empresa Hitachi había alcanzado una densidad de información de 110 Gb por pulgada cuadrada con un dispositivo muy similar al descrito, una cinta compuesta por nanopartículas de 8 nanómetros. Este último año la empresa Samsung sobrepasó los 200Gb por pulgada cuadrada. Para poder ver cuánto hemos avanzado, remontémonos a la década de los 50's donde la empresa IBM, creaba el primer dispositivo de grabación magnética: el RAMAC (Random Access Memory Accounting and Control system), este dispositivo se componía de 50 discos de 24 pulgadas cada uno, más grandes que un disco de vinilo!. Era extremadamente pesado, y tenía una capacidad de almacenamiento de 4 Mb, es decir, no almacenaba ni una fotografía tomada con un celular actual. El precio era de 180 mil dólares americanos. Los avances en esta área han sido formidables, basta con ver hoy como es posible comprar una memoria de 64 Gb tan pequeña como una llave, por precio de decenas de dólares.

La anisotropía puede deberse a una característica intrínseca del material (desde su ordenamiento atómico, hasta la mezcla de efectos a escala atómica), pero también queda determinada por la forma que posea la nanopartícula.

Esto viene de las competencias energéticas que se generan dentro de una partícula, o en general dentro de un material. Fue un científico llamado Gibbs, quien postuló una energía libre de los materiales, y como estos intentan naturalmente alcanzar un estado de mínima energía. La energía que tenga un material puede venir dada por las fuerzas elásticas, la entropía y temperatura y otras contribuciones internas, o campos externos. En la mayoría de los casos, si una de estas contribuciones energéticas disminuye, hace crecer a otra contribución, lo importante para el postulado de Gibbs, es que en la cuenta global de energía se alcance un mínimo. Por lo que las energías tratarán de competir entre ellas tratando de minimizarse, siempre respetando que se debe alcanzar un mínimo energético para el sistema completo. Esto ocurre con la energía interna de un ferromagneto, donde las dos contribuciones principales vienen dadas por la contribución de la energía de intercambio y la contribución de la energía dipolar. La energía de intercambio trata de satisfacer la dirección en la que apunta la dirección de la magnetización de dos átomos adyacentes, o mejor dicho de algunos átomos adyacentes. Esta interacción se conoce como "interacción de corto alcance" porque solo aplica a átomos que están cercanos, por lo general esta interacción en materiales magnéticos bordea los 5 nanómetros de extensión.

Por otra parte la contribución dipolar, es una interacción que intenta reducir el campo magnético que emite un imán, para lograrlo lo que hace es ordenar los momentos magnéticos de los átomos de tal manera que estas direcciones de la magnetización logren una camino cerrado dentro del material. Esta última razón es muy importante para entender porque la forma importa tanto en la escala nanométrica. La interacción dipolar, al intentar cerrar los

circuitos de la magnetización dentro del material, hace que estos circuitos tomen la forma del material. Es decir, la magnetización se ordenará adoptando la forma geométrica de la nanopartícula. Es por esto que al controlar la forma de la nanopartícula se puede inducir una energía, también llamada una anisotropía de forma para la magnetización. Si esta anisotropía aumenta, entonces la energía térmica tiene menos posibilidades de desordenar nuestro sistema, por lo que la información que grabemos en nuestro sistema será estable.

En el laboratorio de www.nanosintesis.cl, nos dedicamos a controlar la geometría de los nano-imanes que generamos por lo que así podemos diseñar sus propiedades magnéticas, sólo algunas de las formas que podemos lograr son las que se pueden ver en la figura 1.



www.nanosintesis.cl



Referencias

- [1] Nanotechnology 19 (2008) 075713 (6pp) doi:10.1088/0957-4484/19/7/075713
- [2] Materials Letters 94 (2013) 121–123 <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2012.12.044>
- [3] Journal of Magnetism and Magnetic Materials 344 (2013) 8–13 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2013.05.021>
- [4] J. Phys. D: Appl. Phys. 49 (2016) 175004 (7pp) doi:10.1088/0022-3727/49/17/175004
- [5] Journal of Magnetism and Magnetic Materials 426 (2017) 767–770 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.10.121>
- [6] Nanomaterials 2018, 8, 128; doi:10.3390/nano8020128
- [7] Journal of Magnetism and Magnetic Materials 490 (2019) 165522 <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165522>
- [8] Journal of Solid State Chemistry 290 (2020) 121539 <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121539>

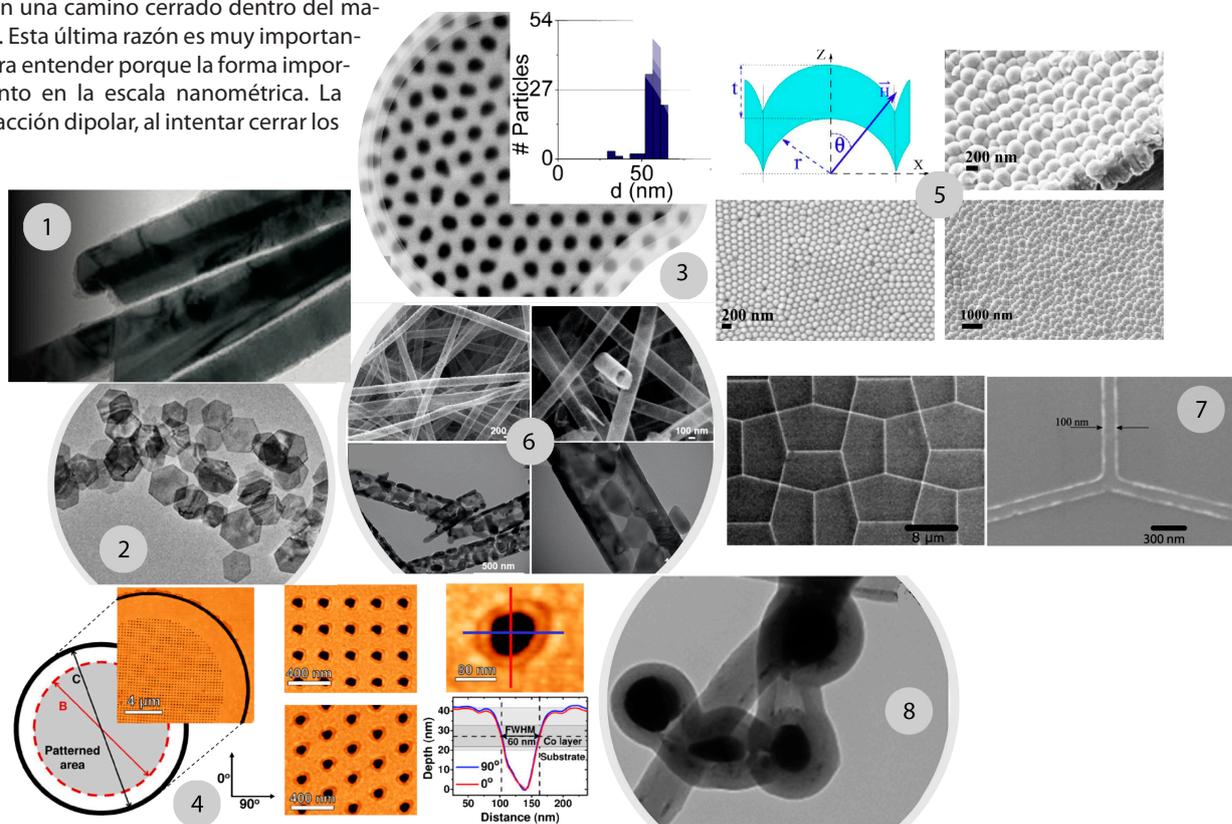


Figura 1

(1) Nanoalambres de Níquel [1], (2) Placas hexagonales de Cobalto [2], (3) placas con agujeros (antidots) sobre membranas de Alúmina [3], (4) placas con agujeros (antidots) completamente ordenados [4], (5) nanodomos [5], (6) nanotubos de Titanio [6], (7) litografía electrónica para teselado de Cairo [7] y (8) partículas de níquel medidas dentro de un nanotubo de grafeno [8].