

EXPLORANDO NUEVAS BASES PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD Y EFICIENCIA DE LA GRABACIÓN MAGNÉTICA: ESTABILIZACIÓN DE SKYRMIONS EN NANODOMOS

En este artículo se presenta una forma de estabilizar una textura magnética; el skyrmion, la cual es la más prometedora para la siguiente generación de dispositivos de grabación de información magnética, como lo son los discos duros. El control de la estabilización de skyrmions magnéticos se realiza por medio del control de la geometría en dónde ellos se generan, en arreglos hexagonales de nanodomos autoensamblados. Este artículo divulga el trabajo de la publicación original "Stabilization of Magnetic Skyrmions on Arrays of Self-Assembled Hexagonal Nanodomes for Magnetic Recording Applications" de F. Tejo, D. Toneto, S. Oyarzún, J. Hermosilla, C. S. Danna, J. L. Palma, R. B. da Silva, L. S. Dorneles, and J. C. Denardin [1]

• Juan Luis Palma

Doctor en Ciencias con mención en física, Ingeniero físico

La historia de los dispositivos de grabación magnética tal como los conocemos hoy, comienza cuando la empresa IBM lanza su primer dispositivo el 14 de septiembre del año 1956, el RAMAC pasaría a la historia como el primer dispositivo de grabación magnética del tipo Hard Disk Drive.

Su nombre significa Sistema de Memoria de contabilidad de Acceso Aleatorio (Random Access Memory Accounting System). Compuesto por 50 discos de 24 pulgadas, el RAMAC tenía el volumen de una lavadora del día de hoy (quizás un poco más), y pesaba 250 kilogramos. Si querías obtener uno de estos dispositivos, debías desembolsar 160 mil dólares, y así contabas con una capacidad de 4 megabytes (recordemos que un byte son 8 bits, y un bit representa un cero o un uno en nuestra notación digital). Como todas las tecnologías, los Hard Disk Drive comenzaron a evolucionar, junto con los procesadores y nos llevaron a alcanzar capacidades increíbles en cuanto al poder de cálculo, lo que sofisticó y automatizó nuestras vidas. Y no solo eso, también nos entregó un mundo de entretenimiento, en lo personal, la aparición de los videojuegos fue uno de los grandes hitos del siglo pasado. Tanto así, que es uno de los reguladores de mercado y una de las empresas más fructíferas.

El avance de las tecnologías de los Hard drive, tuvo un salto gigante en el año 1980, cuando IBM logró sacar al mercado el primer dispositivo de almacenamiento con capacidad de más de 1 giga byte! (2,52 para ser exactos). Los avances se mantuvieron, la capacidad de almacenamiento seguía aumentando. Pero existía otra piedra de tope, el cabezal lector no era suficientemente rápido y preciso. En la década de los 80's se descubrió un fenómeno que se puso en práctica y que se hizo comercial en el año 1996, llamado: la magnetorresistencia gigante. Este efecto logró diseñar las tecnologías necesarias para los cabezales lectores y de escritura, y le valieron el Premio Nobel en el año 2007 a los científicos Peter Grumberg (R.I.P) y Albert Fert.

Esta carrera de las tecnologías de mayor almacenamiento, la comenzó IBM, y ha ido rotando el ganador año tras año en las últimas décadas. En 2011 apareció el primer dispositivo de 4 Terabytes. Hace unos años Samsung aparecía como la compañía que

lideraba, y hoy en día es FujiFilm de Japón. FujiFilm desarrolló una tecnología capaz de almacenar 580 Tera Bytes el año 2020, utilizando cintas magnéticas (como un cassette) de Strontium Ferrite (SrFe). Muchas son las ideas de cómo alcanzar mayores capacidades y sistemas más estables, como los dispositivos Race Track memory, Cintas, dispositivos de anisotropía perpendicular, entre otros. Uno de los sistemas que más llama la atención a los científicos hoy en día, son los skyrmions; estas estructuras parecen las más prometedoras para la siguiente generación de grabación, y debemos estudiarlas para comprenderlas y utilizarlas. Es por eso que en este trabajo, que intentaré relatar de forma muy sencilla, hemos estudiado cómo estabilizar los Skyrmions en un arreglo de medias esferas huecas de material magnético.

Los skyrmions son texturas que forman los espines magnéticos, y que están protegidos topológicamente, lo que quiere decir que resisten perturbaciones externas y son prometedores para almacenar información. A pesar de esto, uno de los mayores desafíos es estudiar cómo estos sistemas se pueden estabilizar en arreglos de skyrmions y a temperatura ambiente, sin la necesidad de un campo magnético externo aplicado. Es por esto por lo que en este trabajo, se utilizó una estructura de nanodomos que tienen una curvatura natural (como un iglú, ver figura 1) para estabilizar estas texturas magnéticas a temperatura ambiente y sin un campo externo aplicado. Es más, se demostró que se pueden generar estas estructuras de skyrmions en cada nanodomo si se acerca una punta magnetizada, lo que representa el principio de grabación magnética. Esta punta magnética, tiene una curvatura de unos pocos nanómetros (cerca de 20 nanómetros) y se acerca a una distancia de 60 nanómetros a nanodomos que son semiesferas de de 100 nanómetros de diámetro. El equipo que se utiliza para realizar esta técnica es un microscopio de barrido de fuerza atómica, pero en un modo que se le conoce como microscopía de fuerza magnética. La sonda que va barriendo la muestra, va generando un mapa de la superficie, lo que se conoce como la topografía de la muestra. Entonces si se hace un barrido de la geometría y luego un barrido de la magnetización se pueden correlacionar con las imágenes para encontrar dónde están alojadas las estructuras magnéticas.



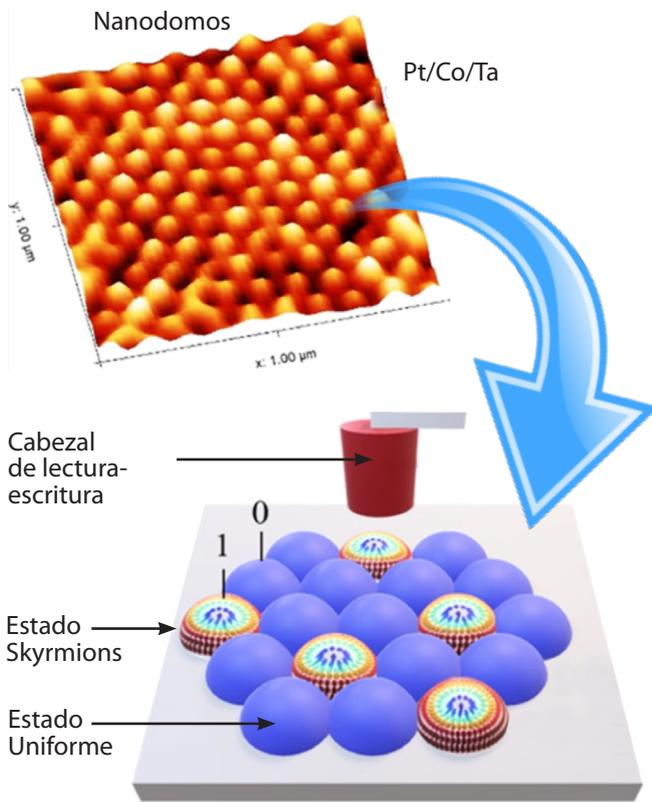


Figura 1
 Topografía de nanodomos, recubiertos por un material magnético, y explicación gráfica del proceso de grabación de skyrmions en nanodomos. Una textura de skyrmions representa un 1 en la notación de código binario, y el estado de magnetización uniforme representa un 0 en la notación de código binario.

Como se mencionó, un desafío importante en la realización de dispositivos basados en skyrmions es su estabilización en condiciones ambientales y sin un campo aplicado [2]. El confinamiento geométrico es importante para la nucleación y estabilización de un skyrmion, y se han probado algunas estrategias para obtener matrices de skyrmions mediante la fabricación de nanoestructuras modeladas por litografía [3] o por un haz de iones enfocado [4], que implican un proceso complicado y de alto costo. Un enfoque diferente para obtener películas con nano-patrones es utilizar membranas de alúmina nanoporosa (NAM) [5]. Informes recientes han demostrado que las películas depositadas sobre matrices de membranas nanoestructuradas ordenadas con nanoporos [6] o nanodomos [7] pueden retener anisotropía fuera del plano (es decir que la magnetización apunte hacia afuera del plano que contiene los domos) y así presentar interesantes propiedades magnéticas y de magnetotransporte [8], algunos de los cuales surgen de su geometría [9]. Recientemente se ha demostrado que la curvatura sirve para estabilizar skyrmions y, en consecuencia, la síntesis de nanodomos bien controlada surge como una alternativa para controlar estados magnéticos específicos mediante el ajuste de características geométricas. Los nanodomos magnéticos se pueden producir mediante la deposición de multicapas sobre la capa de barrera de los NAM, como muestra la figura 2.

Para depositar material magnético sobre estas estructuras se utiliza un vaporizador de metales en alto vacío, conocido como sputtering. Es una cámara metálica que soporta altas presiones, y nos permite depositar 15 láminas de tantalio, platino y cobalto con las siguientes medidas y en el siguiente orden: Ta (4.7 nm)/[Pt (4 nm)/Co (1.3 nm)/Ta (1.9 nm)] \times 15. Llegar a estas recetas requiere de mucho tiempo en el laboratorio. Una vez que obtenemos estos arreglos se mide la forma en que la muestra responde ante

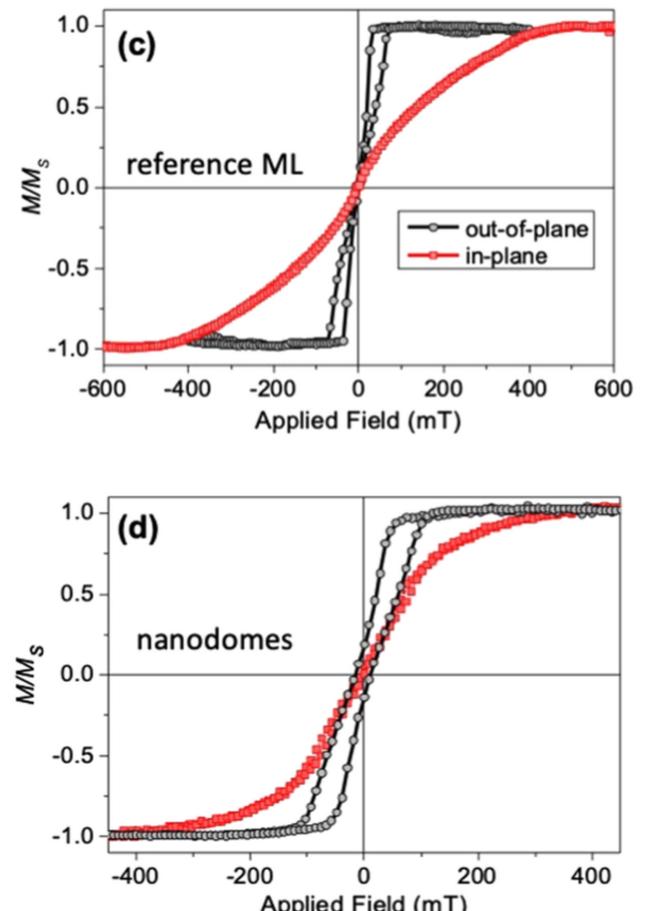
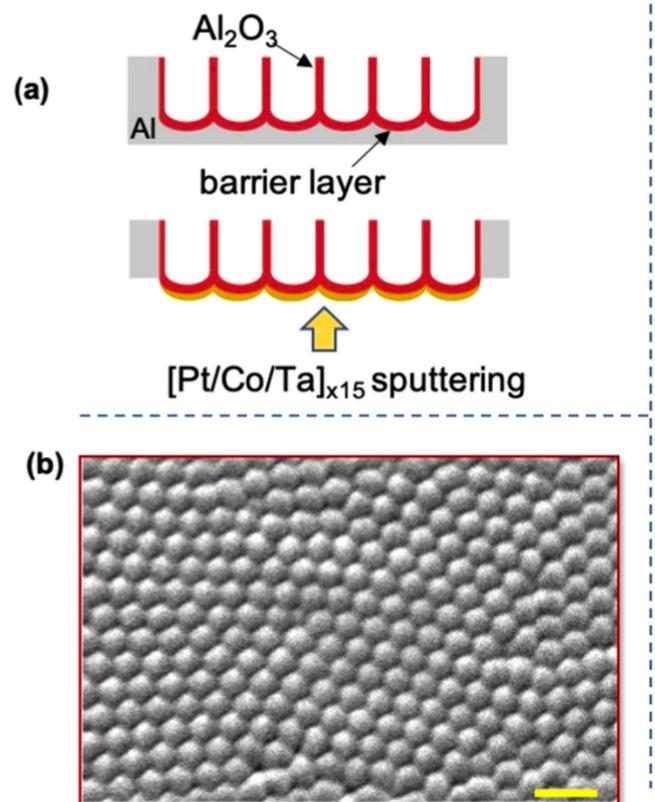


Figura 2
 Figura 2: (a) esquema de las membranas de alúmina porosa, donde se depositaron multicapas de cobalto platino y tantalio. (b) Micrografía electrónica que muestra la estructura de domos obtenida. (c-d) Comportamiento magnético de películas lisas y de nanodomos, con el campo externo aplicado en el plano y perpendicular al plano.

un campo magnético externo, para esto es necesario utilizar un magnetómetro que mide las propiedades magnéticas de toda la muestra en su conjunto. De estas curvas, que se muestran en la figura 2 (c-d) se puede extraer una información temprana de las características magnéticas de la muestra. Para conocer más a fondo y microscópicamente cómo se comporta la magnetización, se utiliza un microscopio de barrido de sonda, tal como habíamos mencionado anteriormente. Profundicemos un poco en esto; un microscopio de barrido de sonda, o más conocido como microscopio de fuerza atómica. Este microscopio funciona con una punta del orden de los nanómetros, y va tocando la muestra: como si fuésemos palpando con nuestro dedo índice una superficie para

conocer su forma. Otra forma de conocer la muestra es utilizar esta misma punta, pero fabricada con un imán, que interactúa magnéticamente con la muestra. Y así podemos observar la configuración magnética de la muestra, tal como se muestra en la figura 3. En esta figura se muestra que a diferentes campos magnéticos externos aplicados existen diferentes configuraciones de la magnetización, y aparecen puntos que son los skyrmions que se han creado en cada nanodomo de la muestra. Los colores que se pueden apreciar en la figura 3, corresponden a la dirección de la magnetización. Popularmente asignamos a esta dirección, un sentido positivo y negativo, o un polo norte y un polo sur. En particular, en física hablamos de la dirección de la magnetización. Y

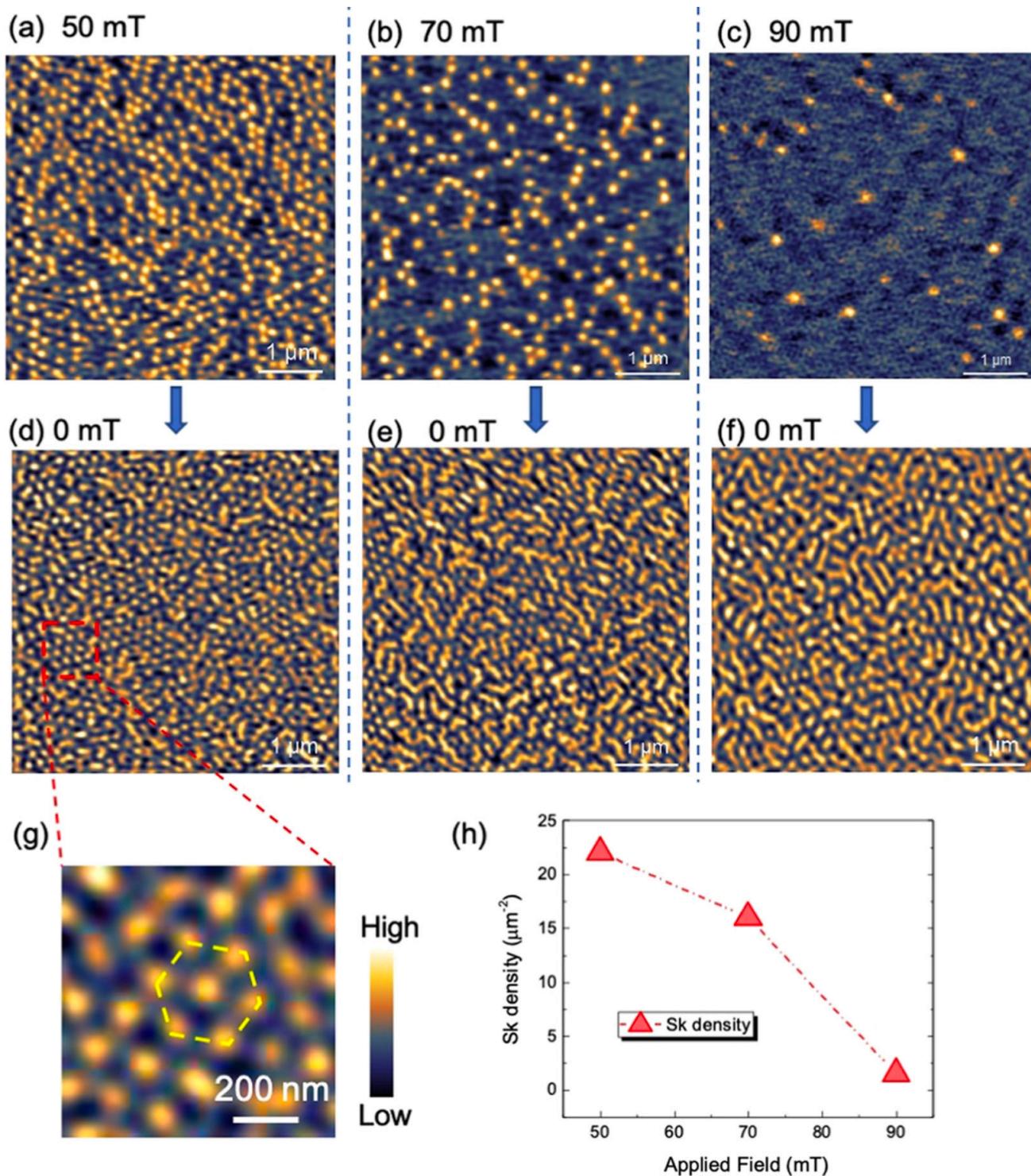


Figura 3

skyrmions estabilizados a (a) 50, (b) 70 y (c) 90 mili Teslas, y su estado remanente, es decir; sin campos magnéticos aplicados en (d), (e) y (f) respectivamente. En (g) se puede ver un zoom a la estructura para observar el ordenamiento hexagonal de los skyrmions que está correlacionado con el ordenamiento hexagonal de la geometría de la estructura. En (h) se observa cómo decrece la densidad de skyrmions por micrómetros cuadrados a diferentes estados de magnetización.

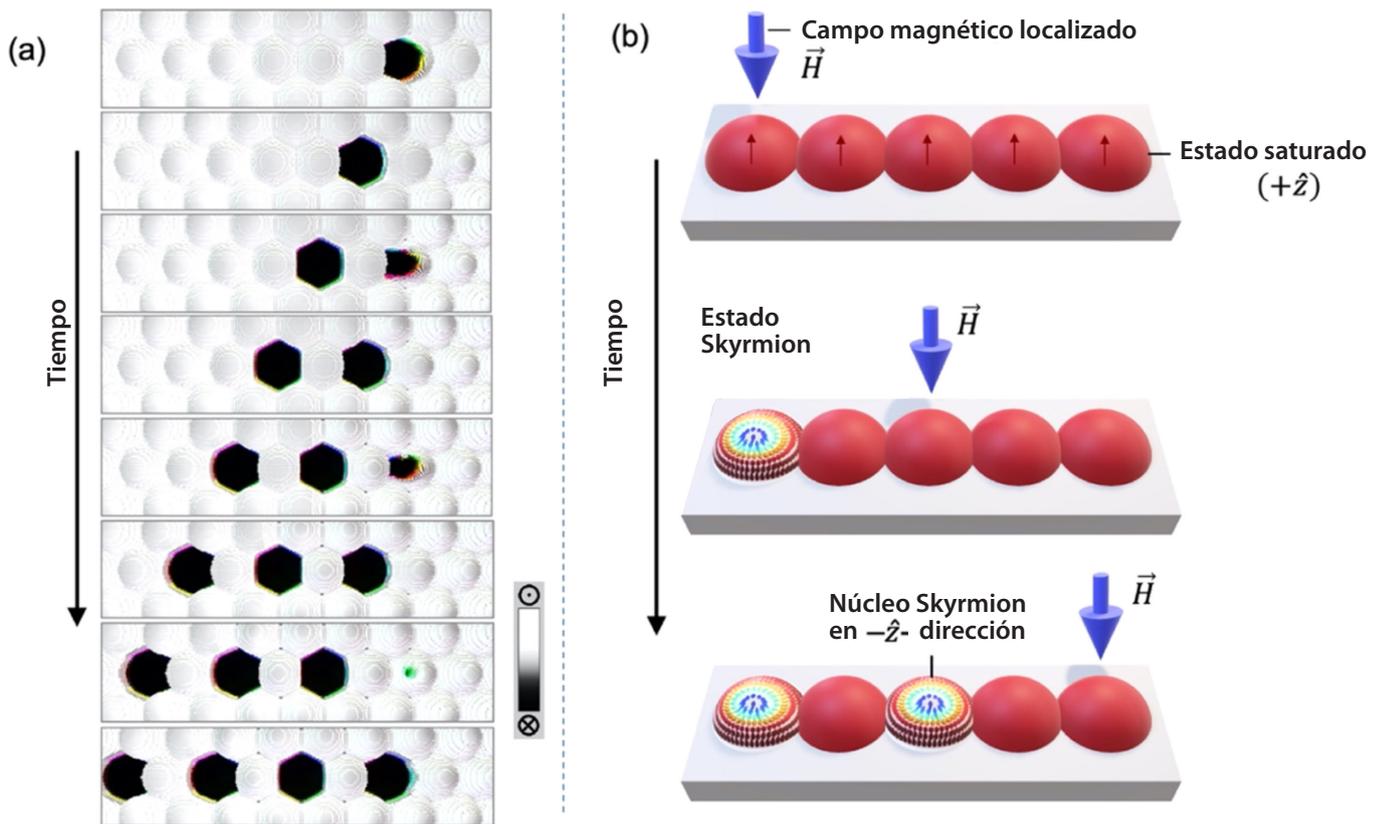


Figura 4

(a) simulaciones micromagnéticas que muestran la nucleación de skyrmions con un campo de nucleación. (b) Esquema del proceso de nucleación y de grabación de skyrmions en muestras de nanodomos.

así en la figura 3 podemos distinguir regiones amarillas y regiones azules que asignamos a dirección de la magnetización apuntando perpendicular a la muestra y en el plano de la muestra, respectivamente.

Para conocer a fondo las estructuras y entender el comportamiento magnético, se realizan cálculos por medio de simulaciones micromagnéticas, utilizando la aproximación al continuo. Por medio de un software, en este caso Mumax3[®], se pudieron observar las estructuras de skyrmions que se nuclean a distintos campos. Como las que se muestran en la figura 4. Las regiones blancas de la figura 4 (a), representan zonas de magnetización uniforme, y las regiones negras muestran la nucleación de skyrmions que se realizan cuando se acerca la punta del microscopio de barrido. Un esquema se muestra en la figura 4 (b), en donde al acercar la punta del microscopio de sonda de barrido, funciona como una cabeza grabadora de información, que puede alojar un skyrmion a la estructura que se acerque.

Como conclusión, hemos propuesto un método simple para nuclear y aniquilar texturas de skyrmions, abriendo la posibilidad para una grabación magnética ultradensa basada en la alta estabilidad y en el bajo consumo energético de las texturas magnéticas de skyrmions.

Referencias

- [1] Tejo, F. et.al., Applied materials and interfaces, 12, 47 (2020) 53454-53461.
- [2] Qin, Z. et.al., ACS Appl. Mater. Interfaces 2018, 10, 36556.
- [3] Ho, P. et.al., Phys. Rev. Appl. 2019, 11, No. 024064.
- [4] Matsumoto, T. et.al., Nano Lett. 2018, 18, 754–762.
- [5] Masuda, H.; Fukuda, K., Science 1995, 268, 1466–1468.
- [6] Bran, C J. et.al., Phys. D: Appl. Phys. 2017, 50, No. 065003.
- [7] Piraux, L. et.al., Appl. Phys. Lett. 2012, 101, No. 013110.
- [8] Michea, S. et.al., AIP Adv. 2017, 7, No. 056310.
- [9] Streubel, R. et.al., J. Phys. D: Appl. Phys. 2016, 49, No. 363001.

