

Nanomagnetismo en ciencia y tecnología: estatus y perspectivas

El nanomagnetismo lleva años siendo objeto de intensas labores científicas, pero también ocupa un lugar importante en el panorama tecnológico general. Al menos desde la introducción del primer sensor de lectura por magnetorresistencia gigante (GMR) en las unidades de disco duro (HDD) en 1997, la tecnología nanomagnética es un artículo de uso doméstico. Este paso fundamental de introducción de la tecnología nanomagnética ha impulsado un avance sin precedentes que ha dado lugar a la tecnología actual, en la que ninguna dimensión crucial está por encima de los 100 nm y los tamaños bit se han reducido a $(35 \text{ nm})^2$ en las unidades de última generación.

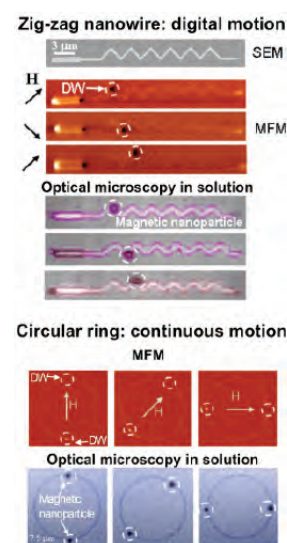
Aunque este tipo de tecnología nanomagnética ha superado limitaciones que hace una década se consideraban importantes, en los próximos años habrá que aplicar cambios radicales en la nanotecnología utilizada, como los substratos de disco preestructurados a nanoescala o la integración de la nanoóptica en la grabación asistida térmicamente. Estos avances colocarán a la tecnología nanomagnética en un nuevo régimen de temperaturas, velocidades y tamaños *nano* que aún se comprende poco y apenas se ha explorado. Así, las trayectorias que previsiblemente tomará la tecnología brindarán muchas nuevas oportunidades para el estudio científico del nanomagnetismo.

Otra área que ya está ejerciendo su impacto tecnológico es el campo de la memoria de estado sólido basada en el magnetismo, como la memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM). Aunque esta tecnología específica lleva investigándose durante al menos dos décadas, los progresos han sido bastante lentos y sólo ha tenido su impacto en circuitos especializados. El motivo del escaso éxito ha sido su poca escalabilidad debido al uso de campos magnéticos inducidos por corriente, lo que provoca un importante acoplamiento entre elementos de almacenamiento individuales. En los últimos años se ha recuperado el interés por este campo tras el descubrimiento y utilización del par torsor de transferencia de espín, que es un mecanismo de escritura de corriente continua que podría permitir unos tamaños de células de almacenamiento muy pequeños, si

realmente pudiera ser controlado a escala industrial. Además, el efecto del par torsor de espín puede permitir la aparición de nuevos dispositivos como el concepto de almacenamiento tridimensional basado en el nanomagnetismo y que IBM ha bautizado como memoria *racetrack*. Aquí, los bits se almacenan en forma de secuencia de paredes de dominio que entran y salen de forma sincronizada de un chip mediante el efecto de par torsor de espín inducido por corriente.

Además de estas aplicaciones más convencionales, en los últimos años están surgiendo nuevas áreas de utilización, siendo los campos de las aplicaciones biotecnológicas y médicas especialmente prometedores. Por ejemplo, las soluciones que contienen nanopartículas magnéticas están siendo sometidas actualmente a ensayos clínicos para inducir la hipertermia en tejidos tumorales mediante pérdidas de histéresis inducida por el campo magnético, lo cual constituiría la base de futuros tratamientos contra el cáncer eficientes y poco invasivos. Otro aspecto que convierte a las nanopartículas magnéticas en elementos interesantes para aplicaciones médicas y farmacéuticas es la capacidad para poder colocarlas y detectarlas a distancia, lo que puede servir para fines terapéuticos o de detección si se combina con la biofuncionalidad apropiada. En la imagen adjunta, se muestra un ejemplo en el que las partículas magnéticas se mueven y colocan con precisión nanométrica mediante un campo magnético de baja

intensidad y a distancia que genera movimientos de pared de dominio (DW) predefinidos con precisión en una estructura de conducto de DW. Aunque este campo del nanomagnetismo aún está dando sus primeros pasos, está ya demostrando su enorme potencial como ejemplo de sinergia de la nanofísica, la nanoquímica y la nanobiotecnología.



→ Arriba: Imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) de una estructura de cable en zigzag empleada para implementar un motor de pared de dominio (DW) magnético controlable paso a paso. La secuencia de imágenes de microscopía de fuerza magnética (MFM) muestra la inyección y propagación de una DW bajo la acción de un campo magnético externo H , mientras que la secuencia de imágenes de microscopía óptica muestra el movimiento de una nanopartícula tras el desplazamiento de la DW.

Panel inferior: Imágenes de MFM y microscopía óptica de un anillo magnético circular. Aquí, el movimiento continuo de dos DW y las nanopartículas adheridas puede lograrse bajo la acción de un campo rotatorio H .