

Imaging how magnetism goes surfing

- Using ALBA's synchrotron light, researchers have been able to visualise deformation (sound) waves in crystals and measured the effect on nanomagnetic elements.
- The study uses the accelerators' time structure to record time resolved images with a resolution of 80 picoseconds.
- The methodology offers a new approach for analysing dynamic strains in other research fields: nanoparticles, chemical reactions, crystallography, etc.

Cerdanyola del Vallès (Barcelona) – 1st September 2017. Controlling the magnetic properties of materials is fundamental for developing memory, computing and other communication devices at the nanoscale. As data storage and processing are evolving quickly, researchers are testing different new methods to modify magnetic properties of materials. One approach relies on elastic deformation (strain) of the magnetic material to tune its magnetic properties, which has been shown to work well at slow speeds. This scientific area has attracted much interest due to its potential to write small magnetic elements with an electric voltage rather than current and thus avoiding energy losses. However, studies so far have mainly been done at very slow time scales (seconds to milliseconds).

One way to produce rapid (i.e. subnanosecond scale) changes of strain and, thus, induce magnetization changes is by using surface acoustic waves (SAWs), which are deformation (strain) waves. Now, imagine an iron rod being hammered in one side. When the rod is hit, a sound wave propagates the deformation along it. Similarly, a surface acoustic wave propagates a deformation, but only in the surface layer, similarly to waves in the ocean. In certain materials (piezoelectrics), which expand or contract when applying a voltage, SAWs can be generated through oscillating electric fields.

A group of researchers from the ALBA Synchrotron, the Institute for Materials Science of Barcelona (ICMAB-CSIC) and the University of Barcelona (UB), in collaboration with the Paul Scherrer Institut (Switzerland), the Johannes Gutenberg University Mainz (Germany) and the Paul Drude Institut (Germany) have developed a new experimental technique to quantitatively image these SAW and used them to modify the magnetization in nanoscale magnetic elements (the “surfers”) on top of the crystal. In principle, similar methods could be

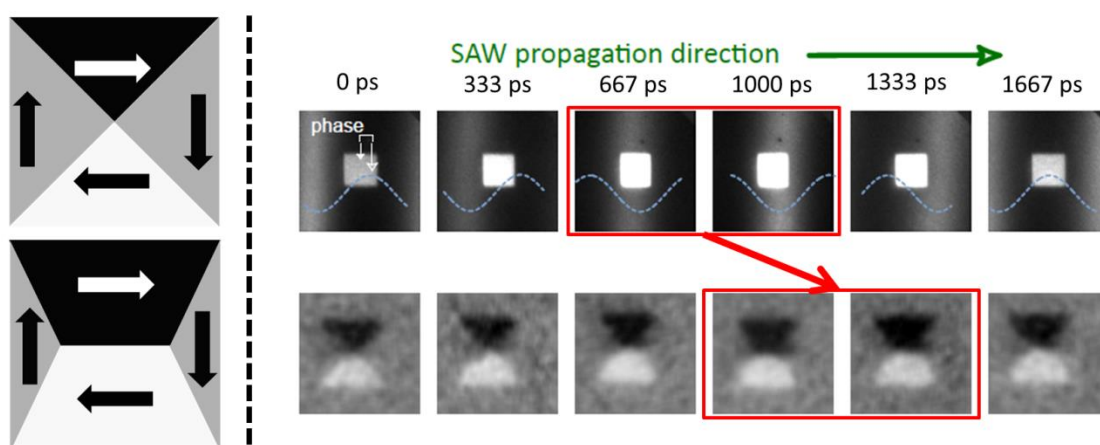
used to study how to manipulate nanoparticles and cells or to control chemical reactions by SAWs

Magnetic properties, frame by frame

The experiment was done at the CIRCE beamline of the ALBA Synchrotron, using the PhotoEmission Electron Microscope (PEEM), a cutting-edge tool for analysing thin films, surfaces, and interfaces as well as magnetic properties of nanomaterials.

Researchers prepared magnetic squares on top of a piezoelectric crystal. Using the time signal of ALBA accelerators as a reference, they were able to synchronize the SAW signal and the synchrotron light pulses. This system enables researchers to take images (frames or snapshots) of the sample when the strain wave passes through the sample, giving the possibility of studying the details of fast processes occurring at 500 MHz (repeating 500 hundred million times per second).

Results showed that the magnetic squares changed their properties under the effect of SAWs, growing or shrinking the magnetic domains depending on the phase of the SAW. Interestingly, the deformation did not occur instantaneously and there was a delay between the SAW and the magnetic changes (see Figure 1). Understanding how the magnetic properties can be modified on a fast time scale is key to design effective devices in the future.



Left, top: Scheme of magnetic domains in a magnetic square without applying strain (arrows indicate magnetic directions and grey colour contrast). Left, bottom: magnetic domain configuration with strains, favouring horizontal magnetization (black and white domains). Right, top: Series of direct images (frames) taken at different timings between the strain wave (bright gray vertical line) and the

imaging light. The waves pass through the magnetic square centre (white, 2 μm sides) between the third and fourth image (highlighted by red box) Right, bottom: Corresponding images with XMCD magnetic contrast showing the magnetic domains in the square. The maximum expansion of black and white domains is approximately between the fourth and fifth image, i.e. delayed with respect to the wave.

Reference: “Direct imaging of delayed magneto-dynamic modes induced by surface acoustic waves” M. Foerster, F. Macià, N. Statuto, S. Finizio, A. Hernández-Mínguez, S. Lendínez, P. Santos, J. Fontcuberta, J. M. Hernández, M. Kläui, L. Aballe **Nature Communications.**

Visualizando cómo surfea el magnetismo

- **Utilizando la luz de sincrotrón de ALBA, los investigadores han podido ver ondas de deformación acústica en cristales y medir su efecto en elementos nanomagnéticos.**
- **El estudio utiliza la estructura temporal del acelerador para registrar imágenes con resolución temporal de 80 picosegundos.**
- **La metodología ofrece un nuevo enfoque para el análisis de deformaciones dinámicas en otros campos de investigación: nanopartículas, reacciones químicas, cristalografía, etc.**

Cerdanyola del Vallès (Barcelona) – 1 de setiembre de 2017. Controlar las propiedades magnéticas de los materiales es fundamental para desarrollar nuevas memorias, equipos de computación y otros dispositivos de comunicación a nivel nanométrico. El almacenamiento y procesamiento de datos progresa de manera tan veloz que es necesario probar diferentes métodos para modificar las propiedades magnéticas de los materiales. Una manera se basa en la deformación elástica del material magnético para modificar sus propiedades magnéticas. Permite escribir pequeños elementos magnéticos con un voltaje eléctrico en lugar de corriente y, por lo tanto, evitar las pérdidas de energía. Sin embargo, los estudios realizados hasta la fecha se han hecho a escalas de tiempo muy lentas (segundos a milisegundos).

Otra forma de producir cambios rápidos de deformación (subnanosegundos) y, por lo tanto, inducir cambios de magnetización es utilizando ondas acústicas superficiales (SAWs), que son ondas de deformación. Imagínese una barra de hierro que es golpeada con un martillo en uno de sus extremos. Al hacerlo, una onda propaga la deformación a lo largo de la barra. Del mismo modo, una onda acústica superficial propaga una deformación pero solo en la capa superficial, de manera similar a lo que hacen las olas en el océano. En ciertos materiales (piezoeléctricos), que se expanden o contraen al aplicar un voltaje, pueden generarse estas ondas mediante campos eléctricos oscilantes.

Un grupo de investigadores del Sincrotrón del ALBA, del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC) y de la Universidad de Barcelona (UB), en colaboración con el Instituto Paul Scherrer (Suiza), la Universidad Johannes Gutenberg Mainz y el Instituto Paul Drude (ambos en Alemania), han desarrollado una nueva técnica experimental para

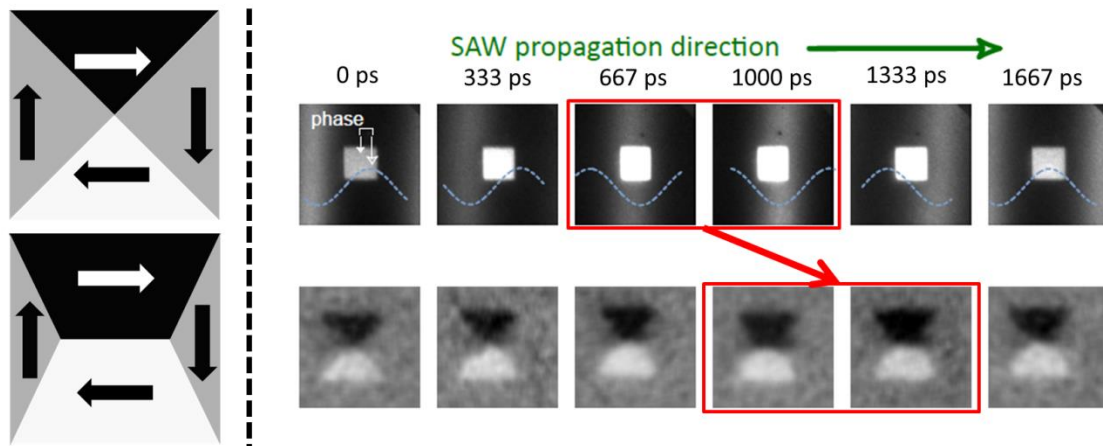
visualizar cuantitativamente estas ondas acústicas superficiales y utilizarlas para modificar la magnetización de nano-elementos magnéticos (los “surferos”) sobre la capa superficial del cristal. Este sistema podría emplearse para estudiar otras áreas como la manipulación de nanopartículas y células o controlar reacciones químicas.

Propiedades magnéticas, fotograma a fotograma

El experimento se realizó en la línea de luz CIRCE del Sincrotrón ALBA, utilizando el microscopio de fotoemisión (PEEM), una herramienta de vanguardia para el análisis de capas finas, superficies e interfaces, así como propiedades magnéticas de nanomateriales.

Los investigadores prepararon cuadrados magnéticos depositados encima de un cristal piezoeléctrico. Utilizando como referencia la señal de tiempo de los aceleradores de ALBA, pudieron sincronizar la señal de la onda y los pulsos de luz de sincrotrón. Este sistema permitió a los investigadores tomar imágenes (fotogramas) de la muestra cuando la onda pasaba a través de la muestra, dando la posibilidad de estudiar con detalle los procesos rápidos que ocurren a 500 MHz (500 millones de veces por segundo).

Los resultados mostraron que los cuadrados magnéticos cambiaron sus propiedades bajo el efecto de las ondas, ensanchando o encogiéndose los dominios magnéticos dependiendo de la fase de la onda. Curiosamente, la deformación no ocurrió instantáneamente y hubo un retraso entre la onda y los cambios magnéticos (ver la siguiente figura). Comprender cómo pueden modificarse las propiedades magnéticas en una escala de tiempo rápida es clave para diseñar dispositivos eficaces en el futuro.



Izquierda, imagen superior: Esquema de los dominios magnéticos en un cuadrado magnético donde no pasa ninguna onda (las flechas indican las direcciones magnéticas y el color gris contraste). Izquierda, imagen inferior: configuración de los dominios magnéticos al pasar la onda, y donde se aprecia que ensanchan horizontalmente (dominios en blanco y negro). Derecha, arriba: Serie de imágenes directas (fotogramas) tomadas en diferentes momentos en los que la onda (línea vertical gris brillante) atraviesa la muestra. La onda pasa a través del centro magnético cuadrado (en blanco, 2 μm) entre la tercera y cuarta imagen (resaltada por el rectángulo rojo). Derecha, abajo: Imágenes con contraste magnético mostrando los dominios magnéticos del cuadrado. La expansión máxima de los dominios en blanco y negro está aproximadamente entre el cuarto y quinto fotograma, es decir, ligeramente retrasada respecto al paso de la onda.

Referencia: “Direct imaging of delayed magneto dynamic modes induced by surface acoustic waves” M. Foerster, F. Macià, N. Statuto, S. Finizio, A. Hernández-Mínguez, S. Lendínez, P. Santos, J. Fontcuberta, J. M. Hernández, M. Kläui, L. Aballe **Nature Communications**

Visualitzant com el magnetisme fa surf

- Utilitzant la llum de sincrotró de l'ALBA, els investigadors han pogut veure ones de deformació acústica en cristalls i mesurar el seu efecte en elements nanomagnètics.
- L'estudi utilitza l'estructura temporal de l'accelerador per registrar imatges amb resolució temporal de 80 picosegons.
- La metodologia ofereix un nou enfocament per a l'anàlisi de deformacions dinàmiques en altres camps d'investigació: nanopartícules, reaccions químiques, cristal·lografia, etc.

Cerdanyola del Vallès (Barcelona) – 1 de setembre de 2017. Controlar les propietats magnètiques dels materials és fonamental per a desenvolupar noves memòries, equips de computació i altres dispositius de comunicació a nivell nanomètric. L'emmagatzematge i processament de dades progressa de manera tan ràpida que és necessari provar diferents mètodes per modificar les propietats magnètiques dels materials. Una manera es basa en la deformació elàstica del material magnètic per modificar les seves propietats magnètiques. Permet escriure petits elements magnètics amb un voltatge elèctric en lloc de corrent i, per tant, evitar les pèrdues d'energia. Tot i això, els estudis realitzats fins avui s'han fet a escales de temps molt lentes (de segons a mil·lisegons).

Una altra forma de produir canvis ràpids de deformació (a l'escala dels subnanosegons) i, per tant, induir canvis de magnetització és utilitzar ones acústiques superficials (SAW), que són ones de deformació. Imagineu una barra de ferro que és colpejada amb un martell en un dels seus extrems. Al fer-ho, una ona propaga la deformació al llarg de la barra. D'igual manera, una ona acústica superficial propaga una deformació però només en la capa superficial, tal i com fan les ones a l'oceà. En certs materials (piezoelèctrics), que s'expandeixen o contrauen a l'aplicar un voltatge, es poden generar aquestes ones amb camps elèctrics oscil·lants.

Un grup d'investigadors del Sincrotró de l'ALBA, de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC) i de la Universitat de Barcelona (UB), en col·laboració amb l'Institut Paul Scherrer (Suïssa), la Universitat Johannes Gutenberg Mainz i el L'Institut Paul Drude (tots dos a Alemanya), han desenvolupat una nova tècnica experimental per visualitzar quantitativament aquestes ones acústiques superficials i utilitzar-les per

modificar la magnetització de nano-elements magnètics sobre la capa superficial del cristall. Aquest sistema podria utilitzar-se per estudiar altres àrees com la manipulació de nanopartícules i cèl·lules o controlar reaccions químiques.

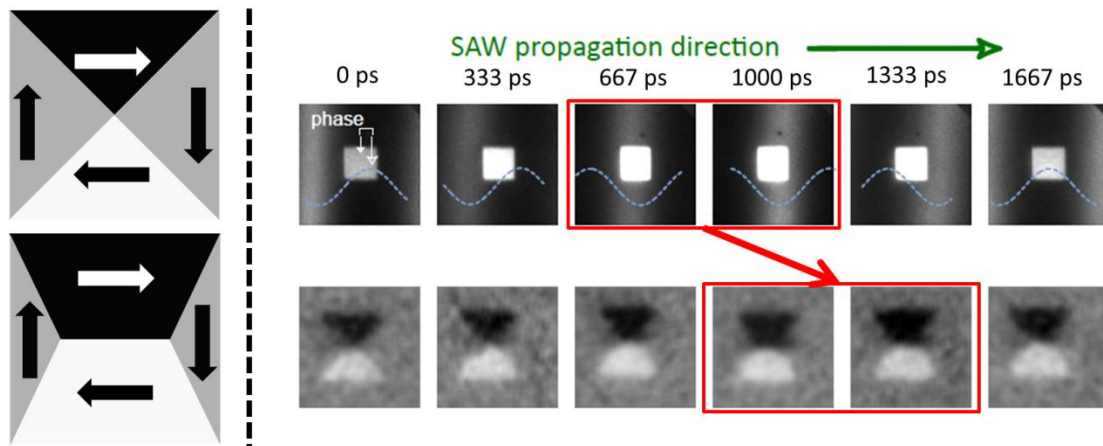
Un grup d'investigadors del Sincrotró ALBA, de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC) i de la Universitat de Barcelona (UB), en col·laboració amb l'Institut Paul Scherrer (Suïssa), la Universitat Johannes Gutenberg Mainz i l'Institut Paul Drude (tots dos a Alemanya), han desenvolupat una nova tècnica experimental per visualitzar quantitativament aquestes ones acústiques superficials i utilitzar-les per modificar la magnetització de nanoelements magnètics (els "surfistes") sobre la capa superficial del cristall. Aquest sistema també podria utilitzar-se per estudiar altres àrees com la manipulació de nanopartícules i cèl·lules o controlar reaccions químiques.

Propietats magnètiques, fotograma a fotograma

L'experiment es va dur a terme a la línia de llum CIRCE del Sincrotró ALBA, utilitzant el microscopi de fotoemissió (PEEM), una eina d'avantguarda per a l'anàlisi de capes fines, superfícies i interfícies, així com propietats magnètiques de nanomaterials.

Els investigadors van preparar quadrats magnètics depositats sobre un cristall piezoelèctric. Utilitzant com a referència el senyal de temps dels acceleradors del Sincrotró ALBA, es van sincronitzar el senyal de l'ona i els polsos de llum de sincrotró. Aquest sistema va permetre que els investigadors enregistrassin imatges (fotogrames) de la mostra quan l'ona passava a través d'ella, donant la possibilitat d'estudiar amb detall els processos ràpids que ocorren a 500 MHz (500 milions de vegades per segon).

Els resultats van mostrar que els quadrats magnètics van canviar les seves propietats sota l'efecte de les ones, ampliant o encongint els dominis magnètics en funció de la fase de l'ona. Curiosament, la deformació no té efecte instantàniament, sinó que hi ha un retard entre l'ona i els canvis magnètics (vegeu la figura següent). Comprendre com es poden modificar les propietats magnètiques en una escala de temps ràpid és clau per dissenyar dispositius eficients en el futur.



Esquerra, imatge superior: Esquema dels dominis magnètics en un quadrat magnètic on no passa cap ona (les fletxes indiquen les direccions magnètiques i el color gris el contrast). Esquerra, imatge inferior: configuració dels dominis magnètics al passar una ona, i on s'aprecia que s'amplien horitzontalment (dominis en blanc i negre). Dreta, amunt: Sèrie d'imatges directes (fotogrames) preses en diferents moments en què l'ona (línia vertical gris brillant) travessa la mostra. L'ona passa a través del centre magnètic quadrat (en blanc, $2 \mu\text{m}$) entre la tercera i la quarta imatge (ressaltada pel rectangle vermell). Dreta, inferior: Imatges amb contrast magnètic que mostren els dominis magnètics del quadrat. L'expansió màxima dels dominis en blanc i negre està aproximadament entre el quart i cinquè fotograma, és a dir, lleugerament retardat respecte al pas de l'ona.

Referència: "Direct imaging of delayed magneto dynamic modes induced by surface acoustic waves" M. Foerster, F. Macià, N. Statuto, S. Finizio, A. Hernández-Mínguez, S. Lendínez, P. Santos, J. Fontcuberta, J. M. Hernández, M. Kläui, L. Aballe **Nature Communications**