

Nanoagulles per incrementar la capacitat i robustesa de les memòries digitals

Aplicar pressió de manera localitzada millora el control dels materials metamagnètics a la nanoescala

Una nova tècnica desenvolupada per investigadors de la UAB, l'ICMAB i el Sincrotró ALBA, en col·laboració amb la UB i l'ICN2, basada en l'aplicació de pressió sobre la superfície d'un material metamagnètic mitjançant agulles nanomètriques, permet canviar les seves propietats de manera molt més senzilla i localitzada que els mètodes actuals. La recerca obre les portes a un control més acurat i precís dels materials magnètics i permet millorar l'arquitectura i la capacitat de les memòries digitals magnètiques.

Alguns dispositius de memòria on s'emmagatzema la informació dels telèfons i ordinadors estan basats en un control molt acurat de les propietats magnètiques, a escala nanoscòpica. Com més precís és aquest control, més capacitat d'emmagatzematge i velocitat poden tenir. En casos determinats s'utilitza la combinació del ferromagnetisme (on el magnetisme de tots els àtoms del material apunta en la mateixa direcció) i l'antiferromagnetisme (on el magnetisme dels àtoms del material apunta alternativament en direccions contràries) per emmagatzemar la informació. Un dels materials que pot mostrar aquests dos ordenaments és l'aliatge de ferro i rodi (FeRh), gràcies a que mostra una transició metamagnètica entre aquestes dues fases a una temperatura molt propera a la de l'ambient. En concret, pot canviar d'estat passant de ser antiferromagnètic a ferromagnètic quan s'escalfa. L'estat antiferromagnètic és molt més robust i segur que el ferromagnètic, ja que no es veu alterat fàcilment per la presència d'imants en la seva proximitat, és a dir, un camp magnètic extern no pot esborrar-ne fàcilment la informació.

Un equip d'investigació de la UAB, l'ICMAB, i el Sincrotró ALBA, juntament amb científics de la UB i de l'ICN2, ha utilitzat la pressió mecànica per modificar aquesta transició i estabilitzar l'estat antiferromagnètic. Els investigadors han observat que pressionar la superfície de l'aliatge de ferro i rodi amb una agulla de grandària nanomètrica provoca el canvi d'estat magnètic de manera senzilla i localitzada. Tot pressionant sobre diferents zones del material han aconseguit generar nanoilles antiferromagnètiques envoltades d'una matriu ferromagnètica, una fita molt difícil amb les tècniques actuals. Si el procés es repeteix per tota la superfície de l'aliatge, la nova tècnica permet induir aquest canvi en àrees grans del material i dibuixar patrons amb resolució nanoscòpica amb zones amb propietats magnètiques diferents, generant estructures tan petites com les que es poden aconseguir actualment mitjançant mètodes més complexos.

Millora per miniaturitzar els dispositius magnètics

Es tracta d'una millora important en la capacitat de miniaturitzar els patrons que es poden construir amb materials magnètics, una millora en la resolució de les eines que els enginyers utilitzen per dissenyar els dispositius magnètics de la tecnologia que utilitzem diàriament. “La idea és molt simple”, explica Ignasi Fina, investigador de l’Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC), “en les transicions de fase tot el que li facis al material té un gran impacte en les altres propietats. El nostre aliatge té una transició de fase magnètica. Amb una agulla de mida nanomètrica canviem l'ordenament magnètic només prement el material. En concret, canvia de ferromagnètic a antiferromagnètic. I com que l'agulla és nanomètrica, el canvi és a la nanoescala.”

“La nova tècnica basada en l’aplicació de pressió mitjançant nanoagulles pot permetre construir dispositius nanomètrics magnètics amb estructures molt més petites i molt més robustes i segures que les actuals, tot facilitant la fabricació de memòries magnètiques amb diferents arquitectures que millorin les seves capacitats”, destaca l’investigador ICREA del Departament de Física de la UAB, Jordi Sort.

Existeixen altres tècniques basades en l’aplicació de voltatges o de camps magnètics intensos per incrementar l’estabilitat de la fase antiferromagnètica de l’aliatge, però provoquen canvis a gran escala en tot el material que en limiten la capacitat de control i de miniaturització. El fet d’aplicar pressió de manera molt localitzada ofereix una precisió sense precedents, afectant només petites àrees locals a escala nanomètrica. En pressionar, s’incrementa la temperatura de transició de l’aliatge, la temperatura a la que es produeix el seu canvi d’estat, i la seva magnetització canvia.

Per obtenir aquesta informació sobre els canvis produïts en les propietats magnètiques del material a escala nanomètrica, en aquest estudi s’ha utilitzat la tècnica anomenada dicroïsmo circular magnètic de raigs X en combinació amb la microscòpia electrònica de fotoemissió, a la línia de llum CIRCE-PEEM del Sincrotró ALBA. “Aquestes tècniques amb llum de sincrotró permeten veure els canvis en una escala realment molt petita”, comenta Michael Foerster, científic d’ALBA.

Aplicacions en altres camps

Les possibles aplicacions van més enllà dels materials magnètics. El fet de modificar les propietats d’un material aplicant pressió, és a dir, modificant el volum de les cel·les de la seva estructura cristal·lina, pot ser extrapolat a altres tipus de materials. Els investigadors consideren que es tracta d’una tècnica que obre les portes a una nova via per nanoestructurar les propietats físiques i funcionals dels materials, i a implementar noves arquitectures en altres tipus de nanodispositius i microdispositius no magnètics.

La recerca ha estat destacada en portada en la darrera edició de la revista *Materials Horizons*. Liderada pels investigadors Ignasi Fina, de l’Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC), Jordi Sort, ICREA al Departament de Física de la

Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), i Michael Foerster, científic de la línia de llum CIRCE del Sincrotró ALBA, la investigació ha comptat també amb la participació d'Enric Menéndez, Alberto Quintana i Daniel Esqué de los Ojos (Departament de Física de la UAB); Carles Gómez-Olivella (Departament de Física Aplicada i Òptica de la Universitat de Barcelona); Oriol Vallcorba i Lucia Aballe (també del Sincrotró ALBA); Carlos Frontera (ICMAB-CSIC); Josep Nogués (ICREA a l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia, ICN2); i Emerson Coy (NanoBioMedical Centre, Adam Mickiewicz University).

Article de referència:

Michael Foerster, Enric Menéndez, Emerson Coy, Alberto Quintana, Carles Gómez-Olivella, Daniel Esqué de los Ojos, Oriol Vallcorba, Carlos Frontera, Lucia Aballe, Josep Nogués, Jordi Sort and Ignasi Fina. **Local manipulation of metamagnetism by strain nanopatterning**, *Materials Horizons* (2020)

<https://doi.org/10.1039/D0MH00601G>

Imatges:

<https://we.tl/t-rQ3HGArhkx>

Mostres del material metamagnètic FeRh, preparades per ser analitzades al Sincrotró ALBA.

Més informació:

Anna May Masnou, PhD
Communication & Outreach Officer
Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)
Centre d'Excel·lència Severo Ochoa
Campus de la UAB • 08193 Bellaterra (Barcelona)
✉ amay@icmab.cat
☎ +34 935 801 853 (ext 397)
🌐 icmab.es 🐦 [icmabcsic](https://twitter.com/icmabcsic)

Octavi López
Unitat de Comunicació
Universitat Autònoma de Barcelona
octavi.lopez@uab.cat
www.uab.cat

Laia Torres Aribau
Communications & Outreach - Management
ALBA SYNCHROTRON LIGHT SOURCE
Carrer de la Llum 2-26 | 08290 | Cerdanyola del Vallès | Barcelona
(+34) 93 592 4071
www.albasynchrotron.es | laia.torres@cells.es

Nanoagujas para incrementar la capacidad y robustez de las memorias digitales

Aplicar presión de manera localizada mejora el control de los materiales metamagnéticos en la nanoescala

Una nueva técnica desarrollada por investigadores de la UAB, el ICMAB y el Sincrotrón ALBA, en colaboración con la UB y el ICN2, basada en la aplicación de presión sobre la superficie de un material metamagnético mediante agujas nanométricas, permite cambiar sus propiedades de manera mucho más sencilla y localizada que los métodos actuales. La investigación abre las puertas a un control más minucioso y preciso de los materiales magnéticos y permite mejorar la arquitectura y la capacidad de las memorias digitales magnéticas.

Algunos dispositivos de memoria donde se almacena la información de los teléfonos y ordenadores están basados en un control muy preciso de las propiedades magnéticas, a escala nanoscópica. Cuanto más preciso es este control, más capacidad de almacenamiento y velocidad pueden tener. En casos determinados se utiliza la combinación del ferromagnetismo (donde el magnetismo de todos los átomos del material apunta en la misma dirección) y el antiferromagnetismo (donde el magnetismo de los átomos del material apunta alternadamente en direcciones contrarias) para almacenar la información. Uno de los materiales que puede mostrar estos dos ordenamientos es la aleación de hierro y rodio (FeRh), gracias a que muestra una transición metamagnética entre estas dos fases a una temperatura muy cercana a la del ambiente. En concreto, puede cambiar de estado pasando de ser antiferromagnético a ferromagnético cuando se calienta. El estado antiferromagnético es más robusto y seguro que el ferromagnético, ya que no se ve alterado fácilmente por la presencia de imanes en su proximidad, es decir, un campo magnético externo no puede borrar fácilmente la información.

Un equipo de investigación de la UAB, el ICMAB, y el Sincrotrón ALBA, junto con científicos de la UB y del ICN2, ha utilizado la presión mecánica para modificar esta transición y estabilizar el estado antiferromagnético. Los investigadores han observado que presionar la superficie de la aleación de hierro y rodio con una aguja de tamaño nanométrico provoca el cambio de estado magnético de manera sencilla y localizada. Presionando sobre diferentes zonas del material, han conseguido generar nanoislas antiferromagnéticas rodeadas de una matriz ferromagnética, un hito muy difícil con las técnicas actuales. Si el proceso se repite por toda la superficie de la aleación, la nueva técnica permite inducir este cambio en áreas grandes del material y dibujar patrones con resolución nanoscópica con zonas con propiedades magnéticas diferentes, generando estructuras tan pequeñas como las que se pueden conseguir actualmente mediante métodos más complejos.

Mejora para miniaturizar los dispositivos magnéticos

Se trata de una mejora importante en la capacidad de miniaturizar los patrones que se pueden construir con materiales magnéticos, una mejora en la resolución de las herramientas que los ingenieros utilizan para diseñar los dispositivos magnéticos de la tecnología que utilizamos diariamente. "La idea es muy simple", explica Ignasi Fina, investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC), "en las transiciones de fase, todo lo que le hagas al material tiene un gran impacto en las otras propiedades. Nuestra aleación tiene una transición de fase magnética. Con una aguja de tamaño nanométrico cambiamos el ordenamiento magnético sólo pulsando el material. En concreto, cambia de ferromagnético a antiferromagnético. Y como la aguja es nanométrica, el cambio está en la nanoescala. "

"La nueva técnica basada en la aplicación de presión mediante nanoagujas puede permitir construir dispositivos nanométricos magnéticos con estructuras mucho más pequeñas y mucho más robustas y seguras que las actuales, facilitando la fabricación de memorias magnéticas con diferentes arquitecturas que mejoren sus capacidades" , destaca el investigador ICREA del Departamento de Física de la UAB, Jordi Sort.

Existen otras técnicas basadas en la aplicación de voltajes o de campos magnéticos intensos para incrementar la estabilidad de la fase antiferromagnética de la aleación, pero provocan cambios a gran escala en todo el material, que limitan su capacidad de control y de miniaturización. El hecho de aplicar presión de manera muy localizada ofrece una precisión sin precedentes, afectando sólo pequeñas áreas locales a escala nanométrica. Al presionar, se incrementa la temperatura de transición de la aleación, la temperatura a la que se produce su cambio de estado, y su magnetización cambia.

Para obtener esta información sobre los cambios producidos en las propiedades magnéticas del material a escala nanométrica, en este estudio se ha utilizado la técnica llamada difracción circular magnético de rayos X en combinación con la microscopía electrónica de fotoemisión, en la línea de luz CIRCE-PEEM del Sincrotrón ALBA. "Estas técnicas con luz de sincrotrón permiten ver los cambios en una escala realmente muy pequeña", comenta Michael Foerster, científico de ALBA.

Aplicaciones en otros campos

Las posibles aplicaciones van más allá de los materiales magnéticos. El hecho de modificar las propiedades de un material aplicando presión, es decir, modificando el volumen de las celdas de su estructura cristalina, puede ser extrapolado a otros tipos de materiales. Los investigadores consideran que se trata de una técnica que abre las puertas a una nueva vía para nanoestructurar las propiedades físicas y funcionales de los materiales, y en implementar nuevas arquitecturas en otros tipos de nanodispositivos y microdispositivos no magnéticos.

La investigación ha sido destacada en portada en la última edición de la revista *Materials Horizons*. Liderada por los investigadores Ignasi Fina, del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC), Jordi Sort, ICREA en el

Departamento de Física de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), y Michael Foerster, científico de la línea de luz CIRCE del Sincrotrón ALBA, la investigación ha contado también con la participación de Enrique Menéndez, Alberto Quintana y Daniel Esqué de los Ojos (Departamento de Física de la UAB); Carlos Gómez-Olivella (Departamento de Física Aplicada y Óptica de la Universidad de Barcelona); Oriol Vallcorba y Lucia Aballe (también del Sincrotrón ALBA); Carlos Frontera (ICMAB-CSIC); Josep Nogués (ICREA en el Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología, ICN2); y Emerson Coy (NanoBioMedical Centro, Adam Mickiewicz University).

Artículo de referencia:

Michael Foerster, Enric Menéndez, Emerson Coy, Alberto Quintana, Carles Gómez-Olivella, Daniel Esqué de los Ojos, Oriol Vallcorba, Carlos Frontera, Lucia Aballe, Josep Nogués, Jordi Sort and Ignasi Fina. **Local manipulation of metamagnetism by strain nanopatterning**, *Materials Horizons* (2020)

<https://doi.org/10.1039/D0MH00601G>

Imágenes:

<https://we.tl/t-rQ3HGArhkx>

Muestras del material metamagnético FeRh, preparadas para ser analizadas en el Sincrotrón ALBA

Más información:

Anna May Masnou, PhD
Communication & Outreach Officer
Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)
Centre d'Excel·lència Severo Ochoa
Campus de la UAB • 08193 Bellaterra (Barcelona)
✉ amay@icmab.cat
☎ +34 935 801 853 (ext 397)
🌐 icmab.es 🐦 [icmabcsic](https://twitter.com/icmabcsic)

Octavi López
Unitat de Comunicació
Universitat Autònoma de Barcelona
octavi.lopez@uab.cat
www.uab.cat

Laia Torres Aribau
Communications & Outreach - Management
ALBA SYNCHROTRON LIGHT SOURCE
Carrer de la Llum 2-26 | 08290 | Cerdanyola del Vallès | Barcelona
(+34) 93 592 4071
www.albasynchrotron.es | laia.torres@cells.es

Nanoneedles to increase the capacity and robustness of digital memories

Applying a localized pressure improves the control of metamagnetic materials at the nanoscale

Researchers at the UAB, ICMAB and the ALBA Synchrotron, in collaboration with the UB and ICN2, have developed a new technique to locally modify the properties of a metamagnetic material. The method consists in applying local pressure to the surface of the material using nanometric needles and allows a much more easy and local modification than current methods. The research opens the door to a more accurate and precise control of magnetic materials and allows to improve the architecture and capacity of magnetic digital memories.

Some memory devices where information from smartphones and computers is stored are based on a very precise control of the magnetic properties, at nanoscopic scale. The more precise this control is, the more storage capacity and speed they can have. In certain cases, the combination of ferromagnetism (where the magnetism of all the atoms in the material points in the same direction) and antiferromagnetism (where the magnetism of the atoms in the material points alternately in opposite directions) is used to store the information. One of the materials that can show these two arrangements is the alloy of iron and rhodium (FeRh), because it shows a metamagnetic transition between these two phases at a temperature very close to room temperature. In particular, it can change state from antiferromagnetic to ferromagnetic simply when heated. The antiferromagnetic state is more robust and secure than the ferromagnetic one, since it is not easily altered by the presence of magnets in its proximity, i.e. an external magnetic field cannot erase the information easily.

A team of researchers from the UAB, the ICMAB, and the ALBA Synchrotron, along with scientists from the UB and the ICN2, have used mechanical pressure to modify this transition and stabilize the antiferromagnetic state. The researchers have observed that pressing the surface of the iron-rhodium alloy with a nanometer-sized needle causes the magnetic state to change in a simple and localized way. By pressing on different areas of the material, the researchers have managed to generate antiferromagnetic nano-islands embedded in a ferromagnetic matrix, a very difficult task with the current techniques available. If the process is repeated over the entire surface of the alloy, the new technique can induce this change across large areas of the material drawing patterns with nanoscopic resolution with areas with different magnetic properties, generating structures as small as those that can currently be achieved using more complex methods.

Improvement to miniaturize magnetic devices

This is a major improvement to miniaturize the patterns that can be built with magnetic materials, an improvement in the resolution of the tools that engineers use to design the magnetic devices of the technology we use daily. "The idea is very simple," explains Ignasi Fina, researcher at the Institute of Materials Science of Barcelona (ICMAB-CSIC), "in phase transitions, everything you do to the material has a great impact on the other properties. Our alloy has a magnetic phase transition. With a nanometer-sized needle we change the magnetic order just by pressing the material. Specifically, it changes from ferromagnetic to antiferromagnetic. And since the needle is nanometric, the change is at the nanoscale. "

"The new technique based on the application of pressure using nanoneedles can allow the construction of magnetic nanometric devices with much smaller structures and much more robust and safe than the current ones, facilitating the manufacture of magnetic memories with different architectures that improve their capacities", says ICREA researcher from the Department of Physics at the UAB, Jordi Sort.

There are other techniques based on the application of voltage or intense magnetic fields to increase the stability of the antiferromagnetic phase of the alloy, but they cause large-scale changes in the entire material, which limit its control and miniaturization capacity. Applying pressure in a very localised manner offers unprecedented accuracy, affecting only small local areas at the nanometric scale. When pressing, the transition temperature of the alloy increases, the temperature at which its state changes, which involves the change in its magnetization.

In order to resolve the magnetic changes around an individual indentation on the nanoscale, the work used the Photoemission Electron Microscopy combined with X-ray magnetic circular dichroism at the CIRCE-PEEM beamline of the ALBA Synchrotron. "Our synchrotron light-based techniques make possible to resolve the changes on a really small scale", explains Michael Foerster, beamline scientist at ALBA.

Applications in other fields

The possible applications go beyond magnetic materials. The fact of modifying the properties of a material by applying pressure, i.e., by modifying the cell volume of its crystalline structure, can be extrapolated to other types of materials. Researchers believe that this technique opens the door to a new way of nanostructuring the physical and functional properties of materials, and of implementing new architectures in other types of non-magnetic nanodevices and microdevices.

The research has been highlighted on the cover of the latest edition of the journal *Materials Horizons*. Led by researchers Ignasi Fina, from the Institute of Materials Science of Barcelona (ICMAB-CSIC), Jordi Sort, ICREA in the Department of Physics at the Autonomous University of Barcelona (UAB), and Michael Foerster, beamline scientist at CIRCE-PEEM from the ALBA Synchrotron, the research has also involved Enrique Menéndez, Alberto Quintana and Daniel Esqué de los Ojos (Department of

Physics at the UAB); Carlos Gómez-Olivella (Department of Applied Physics and Optics, University of Barcelona); Oriol Vallcorba and Lucia Aballe (ALBA Synchrotron); Carlos Frontera (ICMAB-CSIC); Josep Nogués (ICREA at the Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology, ICN2); and Emerson Coy (NanoBioMedical Center, Adam Mickiewicz University).

Reference article:

Michael Foerster, Enric Menéndez, Emerson Coy, Alberto Quintana, Carles Gómez-Olivella, Daniel Esqué de los Ojos, Oriol Vallcorba, Carlos Frontera, Lucia Aballe, Josep Nogués, Jordi Sort and Ignasi Fina. **Local manipulation of metamagnetism by strain nanopatterning**, *Materials Horizons* (2020)

<https://doi.org/10.1039/D0MH00601G>

Images:

<https://we.tl/t-rQ3HGArhkx>

Some samples of FeRh metamagnetic material, ready to be analysed at the ALBA Synchrotron

For more information:

Anna May Masnou, PhD
Communication & Outreach Officer
Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)
Centre d'Excel·lència Severo Ochoa
Campus de la UAB • 08193 Bellaterra (Barcelona)
✉ amay@icmab.cat
☎ +34 935 801 853 (ext 397)
🌐 icmab.es 🐦 [icmabcsic](https://twitter.com/icmabcsic)

Octavi López
Unitat de Comunicació
Universitat Autònoma de Barcelona
octavi.lopez@uab.cat
www.uab.cat

Laia Torres Aribau
Communications & Outreach - Management
ALBA SYNCHROTRON LIGHT SOURCE
Carrer de la Llum 2-26 | 08290 | Cerdanyola del Vallès | Barcelona
(+34) 93 592 4071
www.albasynchrotron.es | laia.torres@cells.es