



Una nueva tecnica de imagen de rayos X para estudiar las transiciones de fase de los materiales cuanticos

Un equipo internacional de investigadores ha demostrado por primera vez la utilidad de un nuevo metodo de rayos X ultrarrapido para obtener imagenes de las transiciones de fase. Este nuevo metodo, descrito en un articulo publicado en *Nature Physics*, permite la observacion directa de las dinamicas de los materiales cuanticos a escala nanometrica.

December 22, 2022

El uso de la luz para producir fases transitorias en los materiales cuanticos se esta convirtiendo en una forma novedosa de desarrollar nuevas propiedades, como la generacion de la superconductividad o de defectos topologicos en la nanoescala. Sin embargo, visualizar el crecimiento y desarrollo de una nueva fase en un solido no es una tarea facil, debido en parte al amplio rango de escalas espaciales y temporales que intervienen en el proceso.

Aunque en las dos últimas décadas los científicos han explicado las transiciones de fase inducidas por la luz invocando la dinámica a nanoescala, aun no se habían producido imágenes espaciales reales y, por tanto, nadie las había podido ver.

En un nuevo estudio publicado en Nature Physics, los investigadores del ICFO Allan S. Johnson y Daniel Perez-Salinas, dirigidos por el antiguo profesor del ICFO Simon Wall, en colaboración con investigadores de la Universidad de Aarhus, la Universidad de Sogang, la Universidad de Vanderbilt, el Instituto Max Born, el Diamond Light Source, el Sincrotron ALBA, la Universidad de Utrecht y el Laboratorio del Acelerador de Pohang, han desarrollado un nuevo método de obtención de imágenes que ha permitido captar la transición de fase inducida por la luz en el óxido de vanadio (VO₂) con una alta resolución espacial y temporal.?

La nueva técnica aplicada por los investigadores se basa en la obtención de imágenes hiperespectrales de rayos X coherentes a partir de un láser de electrones libres. Gracias a ello, han podido visualizar y comprender mejor, a escala nanométrica, la transición de fase aislante a metálica en el VO₂.

El cristal VO₂ se ha utilizado en numerosas ocasiones para estudiar las transiciones de fase inducidas por luz (fotoinducción). De hecho, fue el primer material cuya transición de fase sólida a sólida se analizó mediante difracción de rayos X con una resolución temporal suficiente. Además, sus propiedades electrónicas se estudiaron utilizando por primera vez técnicas de absorción ultrarrápida de rayos X. A temperatura ambiente, el VO₂ se encuentra en fase aislante. Sin embargo, aplicando luz al material es posible romper los dímeros de los pares de iones de vanadio e provocar así la transición de fase pasando de la aislante a la metálica.

Los autores del presente estudio prepararon para su experimento muestras muy delgadas de VO₂ enmarcadas por una lámina de oro para definir bien el campo de visión. A continuación, las muestras se llevaron al Láser de Electrones Libres de Rayos X (XFEL) del Laboratorio del Acelerador de Pohang, donde mediante un pulso de láser óptico se provocó la transición de fase para, posteriormente, ser analizadas por un pulso de láser de rayos X ultrarrápido. Una cámara CCD se encargó de captar los rayos X dispersados. Los patrones de dispersión registrados se convirtieron a continuación en imágenes mediante dos técnicas diferentes: la holografía por la transformada de Fourier (FTH por sus siglas en inglés) y la imagen por difracción coherente (CDI por sus siglas en inglés). Se generaron imágenes a diferentes intervalos de tiempo y longitudes de onda de los rayos X a partir de las cuales se pudo crear una "película" del proceso con una resolución temporal de 150 femtosegundos, una resolución espacial de 50 nanómetros y con información hiperespectral completa.

El sorprendente papel de la presión

La nueva metodología permitió a los investigadores comprender mejor la dinámica de la transición de fase del VO₂. Encontraron que la presión desempeña en las transiciones de fase inducidas por luz un papel mucho más importante de lo que suponía anteriormente.

"Vimos que las transiciones de fase no son tan exóticas como se creía. En lugar de una

verdadera fase de no-equilibrio, lo que vimos fue que nos habíamos confundido por el hecho de que la transición ultrarrápida provoca grandes presiones internas en la muestra, millones de veces superiores a la atmosférica. Esta presión cambia las propiedades del material que tarda en relajarse, lo que hace que parezca que existe una fase transitoria", afirma Allan Johnson, investigador postdoctoral del ICFO. "Utilizando nuestro método para la obtención de imágenes, vimos que, al menos en este caso, no había ninguna relación entre la dinámica de picosegundos observada y cualquier cambio a nanoescala o fase exótica. Así que parece que habrá que revisar algunas de esas conclusiones anteriores".

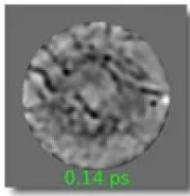
Para identificar el papel que desempeña la presión en el proceso, fue crucial utilizar la imagen hiperespectral. "Al combinar la imagen y la espectroscopia en una gran imagen, podemos recuperar mucha más información que nos permite ver realmente las características con detalle y descifrar exactamente su origen", explica Johnson. "Fue un elemento clave para observar cada parte de la muestra y discernir si se trataba de una fase normal o de una fase exótica fuera de equilibrio. Con esta información pudimos determinar que durante las transiciones de fase todas las regiones del cristal eran iguales, excepto por la presión".

Uno de los principales retos a los que se enfrentaron los investigadores durante el experimento realizado fue garantizar que la muestra de cristal de VO₂ volviera a su fase inicial original cada vez tras ser iluminada por el pulso de láser. Para asegurarse de que esto ocurriera, realizaron diferentes pruebas preliminares en sincrotrones en los que iluminaron varias muestras de forma repetida con el láser para comprobar su capacidad de recuperar su estado original.

El segundo reto residía en tener acceso a un láser de electrones libres de rayos X (XFEL), una gran instalación científica con una gran demanda para poder realizar experimentos ya que hay pocos equipamientos de este tipo en el mundo. "Estuvimos dos semanas en cuarentena en Corea del Sur debido a las restricciones derivadas de la COVID-19 antes de conseguir nuestra única ventana de oportunidad de solo cinco días para hacer el experimento. Por lo tanto, fueron unos días muy intensos, ¿½ recuerda Allan Johnson

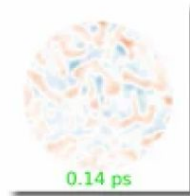
. Aunque los investigadores describen este trabajo como una investigación de carácter básico, las aplicaciones potenciales de esta técnica podrían ser diversas, ya que se podrían "observar los polarones que se mueven en el interior de los materiales catalíticos, intentar obtener imágenes de la propia superconductividad o incluso ayudarnos a entender las nuevas nanotecnologías mediante la visualización y obtención de imágenes en el interior de los dispositivos en la nanoescala", concluye Johnson.

Images



200 nm

Differences



200 nm

[Enlace a video](#)