

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 ultimas decadas los cientificos han explicado las transiciones de fase inducidas por la luz invocando la dinamica a nanoescala, aun no se habian producido imagenes espaciales reales y, por tanto, nadie las habia 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 colaboracion 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 metodo de obtencion de imagenes que ha permitido captar la transicion de fase inducida por la luz en el oxido de vanadio (VO2) con una alta resolucion espacial y temporal.?

La nueva tecnica aplicada por los investigadores se basa en la obtencion de imagene hiperespectrales de rayos X coherentes a partir de un laser de electrones libres. Gracias ello, han podido visualizar y comprender mejor, a escala nanometrica, la transicion de fas aislante a metalica en el VO2.

El cristal VO2 se ha utilizado en numerosas ocasiones para estudiar las transiciones de fase inducidas por luz (fotoinduccion). De hecho, fue el primer material cuya transicion de fase solida a solida se analizo mediante difraccion de rayos X con una resolucion temporal suficiente. Ademas, sus propiedades electronicas se estudiaron utilizando por primera vez tecnicas de absorcion ultrarrapida de rayos X. A temperatura ambiente, el VO2 se encuentra en fase aislante. Sin embargo, aplicando luz al material es posible romper los dimeros de los pares de iones de vanadio e provocar asi la transicion de fase pasando de la aislante a la metalica.

Los autores del presente estudio prepararon para su experimento muestras muy delgadas de VO2 enmarcadas por una lamina de oro para definir bien el campo de vision. A continuacion, las muestras se llevaron al Laser de Electrones Libres de Rayos X (XFEL) del Laboratorio del Acelerador de Pohang, donde mediante un pulso de laser optico se provoco la transicion de fase para, posteriormente, ser analizadas por un pulso de laser de rayos X ultrarrapido. Una camara CCD se encargo de captar los rayos X dispersados. Los patrones de dispersion registrados se convirtieron a continuacion en imagenes mediante dos tecnicas diferentes: l holografia por la transformada de Fourier (FTH por sus siglas en ingles) y la imagen po difraccion coherente (CDI por sus siglas en ingles). Se generaron imagenes a diferente intervalos de tiempo y longitudes de onda de los rayos X a partir de las cuales se pudo crea una "pelicula" del proceso con una resolucion temporal de 150 femtosegundos, un resolucion espacial de 50 nanometros y con informacion hiperespectral completa

El sorprendente papel de la presion

La nueva metodologia permitio a los investigadores comprender mejor la dinamica de la transicion de fase del VO2. Encontraron que la presion desempena en las transiciones de fase inducidas por luz un papel mucho mas importante de lo que suponia anteriormente.

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

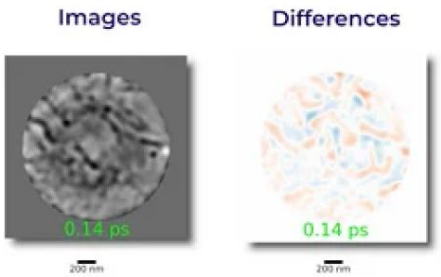
verdadera fase de no-equilibrio, lo que vimos fue que nos habiamos confundido por el hecho de que la transicion ultrarrapida provoca grandes presiones internas en la muestra, millones de veces superiores a la atmosferica. Esta presion cambia las propiedades del material que tarda en relajarse, lo que hace que parezca que existe una fase transitoria", afirma Allan Johnson, investigador postdoctoral del ICFO. "Utilizando nuestro metodo para la obtencion de imagenes, vimos que, al menos en este caso, no habia ninguna relacion entre la dinamica de picosegundos observada y cualquier cambio a nanoescala o fase exotica. Asi que parece que habra que revisar algunas de esas conclusiones anteriores".

Para identificar el papel que desempena la presion en el proceso, fue crucial utilizar la imagen hiperespectral. "Al combinar la imagen y la espectroscopia en una gran imagen, podemos recuperar mucha mas informacion que nos permite ver realmente las caracteristicas 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 exotica fuera de equilibrio. Con esta informacion pudimos determinar que durante las transiciones de fase todas las regiones del cristal eran iguales, excepto por la presion".

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 laser. Para asegurarse de que esto ocurriera, realizaron diferentes pruebas preliminares en sincrotrones en los que iluminaron varias muestras de forma repetida con el laser para comprobar su capacidad de recuperar su estado original.

El segundo reto residia en tener acceso a un laser de electrones libres de rayos X (XFEL), una gran instalacion cientifica 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 unica ventana de oportunidad de solo cinco dias para hacer el experimento. Por lo tanto, fueron unos dias muy intensos,i¿½ recuerda Allan Johnso

. Aunque los investigadores describen este trabajo como una investigacion de caracter basic , las aplicaciones potenciales de esta tecnica podrian ser diversas, ya que se podrian "observ r los polarones que se mueven en el interior de los materiales cataliticos, intentar obten r imagenes de la propia superconductividad o incluso ayudarnos a entender las nuev s nanotecnologias mediante la visualizacion y obtencion de imagenes en el interior de l s dispositivos en la nanoescala", concluye Johnson.



Enlace a video