

Una nova tecnica d'imatge de raigs X per a estudiar els canvis de fase dels materials quantics

Un equip internacional d'investigadors ha demostrat per primera vegada la utilitat d'un nou metode de raigs X ultrarapid per a obtenir imatges de les transicions de fase. Aquest nou metode, descrit en un article publicat a la revista Nature Physics, permet l'observacio directa de les dinamiques dels materials quantics a escala nanometrica.

December 22, 2022

L'us de la llum per a produir canvis de fase en els materials quantics s'esta convertint en una nova forma per desenvolupar noves propietats dels materials, com la superconductivitat o la generacio de defectes topologics a la nanoescala. Tot i aixo, visualitzar el creixement i desenvolupament d'una nova fase en un solid no es una tasca senzilla, degut a l'ampli ventall d'escales espacials i temporals que intervenen en el proces.

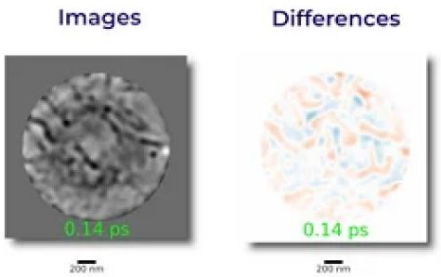
Tot i que en les dues ultimes decades els cientifics han explicat les transicions de fase

induides per la llum (fotoinduccio) invocant la dinamica que es produeix a la nanoescala, encara no s'havien obtingut imatges espacials reals i, per tant, ningu les havia pogut veure.
En un nou treball publicat a la revista Nature Physics, els investigadors de l'ICFO Allan S Johnson i Daniel Perez-Salinas, dirigits per l'antic professor de l'ICFO Simon Wall, e col·laboracio amb investigadors de la Universitat d'Aarhus, la Universitat de Sogang, a Universitat de Vanderbilt, l'Institut Max-Born, el Diamond Light Source, el Sincrotro ALBA, a Universitat d'Utrecht i el Laboratori de l'Accelerador de Pohang han descrit l desenvolupament d'un nou metode d'obtencio d'imatges que ha permes captar la transic o de fase induida per la llum (fotoinduccio) en l'oxid de vanadi (VO_2) amb una alta resolucio espacial i temporal.
La nova tecnica aplicada pels investigadors es basa en l'obtencio d'imatges hiperespectrals de raigs X coherents a partir d'un laser d'electrons lliures (XFEL per les seves sigles ne angles). D'aquesta manera, han pogut visualitzar i comprendre millor a escala nanometrica la transicio de la fase d'aillant a metal.lica en el VO2.
El cristall de VO2 s'ha utilitzat sovint per a estudiar els canvis de fase fotoinduits. De fet, va ser el primer material del qual es va analitzar la transicio a solid mitjancant difraccio de raigs X amb una bona resolucio temporal. De la mateixa manera, les propietats electroniques d'aquest material es van estudiar utilitzant per primera vegada tecniques d'absorcio ultrarapida de raigs X. A temperatura ambient, el VO2 es troba en la seva fase aillant. No obstant aixo, si s'aplica llum sobre el material, es possible trencar els dimers dels parells d'ions de vanadi i impulsar la transicio de fase, fent-lo pasar de la fase aillant a la metal·lica
Els autors de l'estudi van preparar per al seu experiment mostres molt primes de VO_2 emmarcades per una lamina d'or per definir-ne be el camp de visio. A continuacio, van traslladar-se al Laser d'Electrons Lliures de Raigs X del Laboratori de l'Accelerador de Pohang on van induir la transicio de fase aplicant un pols de laser optic sobre les mostres i? analitzant-les despres amb un pols de laser de raigs X ultrarapid. Una camara CCD a encarregar-se de captar els raigs X dispersats. Els patrons de dispersio registrats es v n convertir en imatges mitjancant dues tecniques diferents: a traves de l'holografia per a transformada de Fourier (FTH per les seves sigles en angles) i a traves de la imatge p r difraccio coherent (CDI per les seves sigles en angles). D'aquesta manera, es van gener r imatges a diferents intervals de temps i diferents longituds d'ona dels raigs X amb les qua s es va poder crear una "pel·licula" del proces amb una resolucio temporal de 50 femtosegons, una resolucio espacial de 50 nanometres i amb informacio hiperespect al comple

L'inesperat paper de la pressio

Gracies al nou metode, els investigadors van poder comprendre millor la dinamica de la transicio de fase del VO2 i van trobar que la pressio exerceix en les transicions de fase fotoinduides un paper molt mes important del que es pensava.
"Vam veure que les transicions de fase no son tan exotiques com es creia. En lloc d'una

veritable fase de no-equilibri, el que vam observar va ser que ens haviem confos pel fet que la transicio ultrarapida provoca grans pressions internes en la mostra, unes pressions milions de vegades superiors a l'atmosferica. Aquesta pressio canvia les propietats del material, que triga a i¿½relaxar-sei¿½, la qual cosa fa que sembli que existeix una fase transitoria", exp ica Allan Johnson, investigador postdoctoral del ICFO. "Utilitzant el nostre metode p r a l'obtencio d'imatges, vam veure que, com a minim en aquest cas, no hi havia cap rel cio entre la dinamica de picosegons que si que vam observar i qualsevol canvi a la nanoesca a o fase exotica. Aixi que creiem que s'hauran de revisar algunes de les conclusions prev es". Per a identificar el paper que exerceix la pressio en el proces, va ser crucial utilitzar la i atge hiperespectral. "En combinar la imatge i l'espectroscopia en una gran imatge, odem recuperar molta mes informacio que ens permet veure amb mes detall les caracteristiq es i determinanr-ne el seu origen", explica Johnson. "Per aixo va ser essencial observar cada part del cristall de la mostra i distingir si es tractava d'una fase normal o d'una fase exotica fora d'equilibri i amb aquesta informacio vam poder determinar que durant les transicions de fase totes les regions del nostre cristall eren iguals, excepte per la pres io". Un dels principals reptes als quals es van enfrontar els investigadors durant l'experime t va ser aconseguir que la mostra de VO2 tornes a la seva fase inicial despres de ser il·luminad pel laser. Per a garantir-ho, van realitzar diverses proves preliminars en diferents sincrotron en els quals van il·luminar diferents mostres de forma repetida amb el laser per a comprov r la seva capacitat de recuperaci . El segon repte residia en tenir acces a un laser d'electrons lliures de raigs X (XFEL), una gr n instal·lacio de recerca molt demandades i escasses, ja que hi ha pocs equipaments d'aqu st tipus al mon. "Vam haver de passar dues setmanes en quarantena a Corea del Sud a causa de les restriccions derivades de la COVID-19 abans d'aconseguir la nostra unica fines ra d'oportunitat de nomes cinc dies per a fer l'experiment. Per tant, van ser uns dies m lt intensos ", recorda Johns n. Encara que els investigadors descriuen el treball com una recerca de tipus basic, es aplicacions potencials d'aquesta tecnica poden ser diverses, ja que, per exemple, es podr en "observar els polarons que es mouen a l'interior dels materials catalitics, intentar obte ir imatges de la propia superconductivitat o fins i tot ajudar-nos a entendre les no es nanotecnologies mitjancant la visualitzacio i obtencio d'imatges a l'interior dels dispositiu ", conclou Johnson.



Enllac a video