



## Una nova tecnica universal basada en llum per controlar la polaritzacio de les valls en materials 3D

Un equip de l'ICFO, juntament amb col·laboradors internacionals informen a Nature sobre un nou metode que aconseguix per primera vegada la polaritzacio de valls en materials gruixuts centrosimetrics, sense dependre del material especific.

Aquesta tecnica universal pot tenir importants aplicacions vinculades al control i analisi de diferents propietats de materials 2D i 3D, la qual cosa pot permetre l'avenc de camps d'avantguarda com el processament d'informacio i la computacio quantica.

April 24, 2024

Els electrons dins de materials solids només poden prendre certs valors d'energia. Els rangs d'energia permesos es denominen *bandes* i els espais entre ells, els rangs no disponibles, es coneixen com a *bandes prohibides*. Ambdues juntes constitueixen l'estructura de banda del material, que és una característica única de cada

da materia

especific. Quan els físics tracen l'estructura de les bandes, normalment veuen que les corbes resultants s'assemblen a muntanyes i valls. De fet, el terme tècnic per a un màxim o mínim local d'energia a les bandes s'anomena *well*, i el camp que estudia i explora com els electrons del material canvien d'una vall a una altra s'anomena *welltronics*.

A l'electrònica semiconductora estàndard, la càrrega elèctrica dels electrons és la propietat més utilitzada per codificar i manipular informació. Però aquestes partícules tenen altres propietats que també podrien utilitzar-se amb el mateix propòsit, com per exemple la vall on es troben. En la darrera dècada, el principal objectiu de la *welltronics* ha estat assolir el control de la població de les valls (també conegut com a polarització de les valls) en materials. Un èxit com aquest podria fer-se servir per crear portes i bits clàssics i quàntics, cosa que realment podria impulsar el desenvolupament de la computació i el processament d'

informació quàntica. Els intents anteriors presentaven diversos inconvenients. Per exemple, la llum utilitzada per manipular i canviar la polarització de les valls havia de ser ressonant, és a dir, l'energia dels seus fotons (les partícules que constitueixen la llum) havia de correspondre exactament a l'energia de la banda prohibida d'aquest material en particular. Qualsevol petit desviament reduïa l'eficiència del mètode, per la qual cosa, atès que cada material té les seves pròpies bandes prohibides, generalitzar el mecanisme proposat semblava un objectiu inassolible. A més, aquest procés només s'havia aconseguit per a estructures de monocapa (materials 2D, de només un àtom de gruix). Aquest requisit obstaculitzava la seva implementació pràctica, ja que sovint les monocapes tenen una mida i una qualitat limitades i són difícils de dissenyar.

Ara, els investigadors de l'ICFO, **Dr. Tomasz Tyndal**, **Dr. Anna Poborska** i el **Dr. Lenard Vamos**, dirigits pel **Prof. ICREA Jens Biegert**, en col·laboració amb investigadors de l'Institut Max-Born i l'Institut Max-Planck per a la Ciència de la Llum i l'Institut de Ciència de Materials de Madrid han trobat **un nou mètode universal per induir la polarització de les valls en materials centrosimètrics amb gruix**. El descobriment, publicat a Nature, obre la possibilitat de controlar i manipular la població de les valls sense restriccions respecte al material específic escollit. Ara, el mètode es pot utilitzar per obtenir una caracterització més detallada de cristalls i materials 2D.

### **La polarització de les valls en materials voluminosos és possible**

L'aventura va començar amb el grup experimental liderat pel Prof. ICREA a l'ICFO Jens Biegert, que inicialment volia produir experimentalment polarització de valls usant el seu particular mètode en materials 2D, en línia amb el que s'havia estat demostrat teòricament en un article teòric anterior d'Alvaro Jimenez, Rui Silva i Misha Ivanov. Per a muntar l'experiment, van realitzar unes proves inicials amb MoS<sub>2</sub> gruixut (un material gruixut està fet de moltes monocapes apilades), amb el resultat sorprenent que van veure indicis de polarització de les

valls. "Quan vam començar a treballar en aquest projecte, els nostres col·laboradors teòrics van dir que mostrar la polarització de les valls en materials voluminosos era més aviat impossible", explica Julita Poborska

L'equip teòric també comenta que, al principi, el seu model només era adequat per a capes 2D individuals. A primera vista, semblava que afegir més capes dificultaria la selecció de valls específiques a la mostra. Però després dels primers resultats experimentals, vam ajustar la simulació a materials gruixuts i aquesta va validar les observacions sorprenentment bé. Ni tan sols vam intentar encaixar res. Simplement va sorgir així, afegeix el professor Isha Ivanov, el líder teòric. Al final, va resultar que sí, polaritzar les valls de materials gruixuts que siguin simètrics centralment és possible, degut a les condicions de simetria i conclou

Poborska. Com explica Igor Tyulnev, primer autor de l'article, el nostre experiment va consistir a crear un pols de llum intens amb una polarització que s'adaptava a aquesta estructura interna. El resultat va ser ~~l'camp en forma de trevol~~ **el camp en forma de trevol** (un camp en forma de trevol), la simetria del qual coincidia amb les subxarxes triangulars que constitueixen els materials hexagonals heteroatòmics?

. Aquesta coincidència entre el camp potent i la mostra trenca la simetria espacial i temporal dins del material i, el que és més important, la configuració resultant depèn de l'orientació del camp trefoil respecte al material. Per tant, **simplement rotant el camp de llum incident, vam poder modular la polarització de les valls**", conclou Tyulnev, un èxit important en aquest camp i la confirmació d'una nova tècnica universal que pot controlar i manipular les valls d'electrons en materials gruixuts.

### El procés experimental

L'experiment es pot explicar en tres passos fonamentals: primer, la síntesi del camp trefoil; després la seva caracterització; i finalment, la producció pròpiament dita de la polarització de les valls.

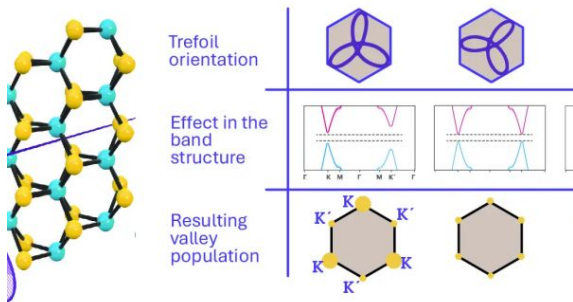
Els investigadors destaquen la precisió increïblement alta que va requerir el procés de caracterització, ja que **el camp trefoil està format no només per un, sinó per dos camps òptics combinats coherentment**. Un havia d'estar polaritzat circularment en una direcció i l'altre havia de ser el segon harmònic del primer feix, polaritzat en sentit contrari. Llavors van superposar aquests camps entre si, de manera que la polarització total en el temps traca la forma de trevol desitjada.

Tres anys després dels primers intents experimentals, l'Igor Tyulnev està entusiasmat amb la recent publicació a Nature. L'aparició en una revista de tant renom reconeix el nou mètode universal que, segons afirma, **es pot utilitzar no només per controlar les propietats d'una ampla varietat d'espècies químiques, sinó també per caracteritzar cristalls i materials 2D i 1D**. Com recalca el professor ICREA de l'ICFO Jens Biegert: **El nostre mètode pot proporcionar un ingredient important per dissenyar materials energèticament eficients que ting**

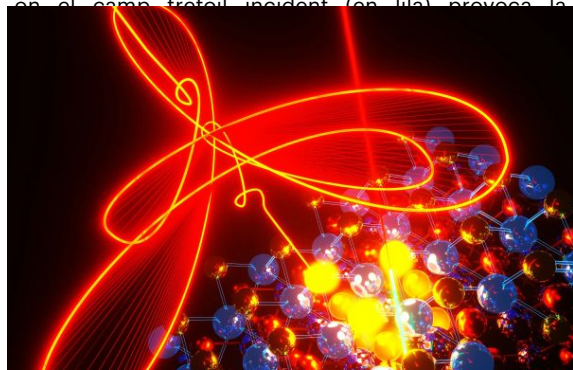
in un emmagatzematge eficaç d'informació i una commutació ràpida. Això aborda la necessitat urgent de dispositius de baix consum d'energia i més velocitat computacional. o puc prometre que això que hem proporcionat sigui LA solució, però probablementment sigui una solució dins d'aquest gran rep

**Referencia bibliografica**

Valleytronics in bulk MoS2 with a topologic optical field, Igor Tyulnev, Alvaro Jimenez-Galan, Julita Poborska, Lenard Vamos, Rui F. Silva, Philip St. J. Russell, Francesco Tani, Olga Smirnova, Misha Ivanov, Jens Biegert, 2024, NATURE, <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07156-y>



Esquema de l'efecte de la polarització de les valls, on el camp trefoil incident (en lil·la) provoca la



Infografia de la polarització dels valls

