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 aNature sobre un nou metode que aconsegueix 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 nomes poden prendre certs valors d'energia. Els rangs d'energia permesos es denominen i¿½bandesi¿½ i els espais entre ells, els rang no disponibles, es coneixen com a i¿½bandes prohibidesi¿½. Ambdues juntes const tueixen i¿½l'estructura de bandai¿½ del material, que es una caracteristica unica de c

da materia
especific. Quan els fisics tracen l'estructura de les bandes, normalment veuen que les corbe
resultants s'assemblen a muntanyes i valls. De fet, el terme tecnic per a un maxim o
minim local d'energia a les bandes s'anomena i¿½valli¿½, i el camp que estudia i explota c
m els electrons del material canvien d'una vall a una altra s'anomena i?
½valltronicai¿½. A l'electronica semiconductora estandard, la carrega electrica dels elect
ons es la propietat mes utilitzada per codificar i manipular informacio. Pero aquestes par
icules tenen altres propietats que tambe podrien utilitzar-se amb el mateix proposit, com pe
exemple la vall on es troben. En la darrera decada, el principal objectiu de la valltronica
ha estat assolir el control de la poblacio de les valls (tambe conegut com a polaritza
io de les valls) en materials. Un exit com aquest podria fer-se servir per crear portes i bits
lassics i quantics, cosa que realment podria impulsar el desenvolupament de la computac
o i el processament d'
nformacio quantica. Els intents anteriors presentaven diversos inconvenients. Per exemple, la
llum utilitzada per manipular i canviar la polaritzacio de les valls havia de ser ressonant, es a
dir, l'energia dels seus fotons (les particules que constitueixen la llum) havia de corre
pondre exactament a l'energia de la banda prohibida d'aquest material en particular. Qualse
ol petita desviacio reduia l'eficiencia del metode, per la qual cosa, ates que cada material
e les seves propies bandes prohibides, generalitzar el mecanisme proposat semblava un obj
ctiu inassolible. A mes, aquest proces nomes s'havia aconseguit per a estructures de mon
capa (materials 2D, de nomes un atom de gruix). Aquest requisit obstaculitzava la seva imp
ementacio practica, ja que sovint les monocapes tenen una mida i una qualitat limitad
s i son di
icils de dissenyar. Ara, els investigadors de l'ICFO **Igor Tyulnev**, **Julia Poborska** i el **Dr. Lenard Vamos**, dirigits pel **Prof. ICREA Jens Biegert**, en col·laboracio amb investigadors de l'Institut Max-Born l'Institut Max-Planck per a la Ciencia de la Llum i l'Institut de Ciencia de Materials de Madri han trobat un**nou metode universal per induir la polaritzacio de les valls en materials centrosimetrics amb gruix**. El descobriment, publicat a Nature, obre la possibilitat de controlar i manipular la poblacio de les valls sense restriccions respecte al material especific escollit. Alhora, el metode es pot utilitzar per obtenir una caracteritzacio mes detallada de cristalls i materials 2D.

La polaritzacio de les valls en materials voluminosos es possible

L'aventura va comencar amb el grup experimental liderat pel Prof. ICREA a l'ICFO Jens Biegert, que inicialment volia produir experimentalment polaritzacio de valls usant el seu particular metode en materials 2D, en linia amb el que s'havia estat demostrat teoricament en un article teoric anterior d'Alvaro Jimenez, Rui Silva i Misha Ivanov. Per a muntar l'experiment, van realitzar unes proves inicials amb MoS2 gruixut (un material gruixut esta fet de moltes monocapes apilades), amb el resultat sorprenent que van veure indicis de polaritzacio de les

valls. "Quan vam comencar a treballar en aquest projecte, els nostres col·laboradors teoric ens van dir que mostrar la polaritzacio de les valls en materials voluminosos era mes avia impossible", explica Julita Poborska

L'equip teoric tambe comenta que, al principi, el seu model nomes era adequat per a cape 2D individuals. i¿½A primera vista, semblava que afegir mes capes dificultaria la seleccio de valls especifiques a la mostra. Pero despres dels primers resultats experimentals, vam ajus ar la simulacio a materials gruixuts i aquesta va validar les observacions sorprenentment be. Ni tan sols vam intentar encaixar res. Simplement va sorgir aixii¿½, afegeix el professor isha Ivanov, el lider teoric. Al final, i¿½va resultar que si, polaritzar les valls de materials g uixuts que siguin simetrics centralment es possible, degut a les condicions de simetriai¿½ conclou

oborska. Com explica Igor Tyulnev, primer autor de l'article, i¿½el nostre experiment va onsistir a crear un pols de llum intens amb una polaritzacio que s'adaptava a aquesta estructura interna. El resultat va ser l'anomenat **camp i¿½trefoili¿½** (un camp en forma de trevol), la simetria del qual coincidia amb les subxarxes triangulars que constitueixen els materials hexagonals heteroatomicsi¿?

. Aquesta coincidencia entre el camp potent i la mostra trenca la simetria espacial i tempor l dins del material i, el que es mes important, la configuracio resultant depen de l'orientac o del camp trefoil respecte al material. Per tant, **simplement rotant el camp de llum incident, vam poder modular la polaritzacio de les valls**", conclou Tyulnev, un exit important en aquest camp i la confirmacio d'una nova tecnica universal que pot controlar i manipular les valls d'electrons en materials gruixuts.

El proces experimental

L'experiment es pot explicar en tres passos fonamentals: primer, la sintesi del camp trefoil; despres la seva caracteritzacio; i finalment, la produccio propiament dita de la polaritzacio de les valls.

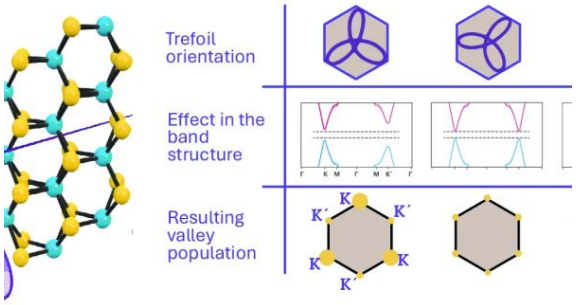
Els investigadors destaquen la precisio increiblement alta que va requerir el proces de caracteritzacio, ja que **el camp trefoil esta format no nomes per un, sino per dos camps optics combinats coherentment**. Un havia d'estar polaritzat circularment en una direccio i l'altre havia de ser el segon harmonic del primer feix, polaritzat en sentit contrari. Llavors van superposar aquests camps entre si, de manera que la polaritzacio total en el temps traces la forma de trevol desitjada.

Tres anys despres dels primers intents experimentals, l'Igor Tyulnev esta entusiasmat amb la recent publicacio a Nature. L'aparicio en una revista de tant renom reconeix el nou metode universal que, segons afirma, i¿½es pot utilitzar no nomes per controlar les propietats d'u a amplia varietat d'especies quimiques, sino tambe per caracteritzar cristalls i materials 2Di? ½. Com recalca el professor ICREA de l'ICFO Jens Biegert: i¿½El nostre metode pot propor ionar un ingredient important per dissenyar materials energeticament eficients que ting

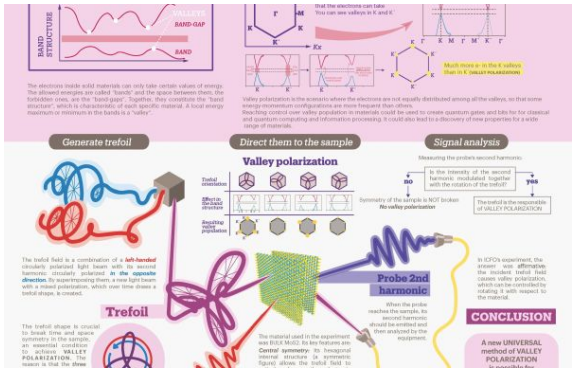
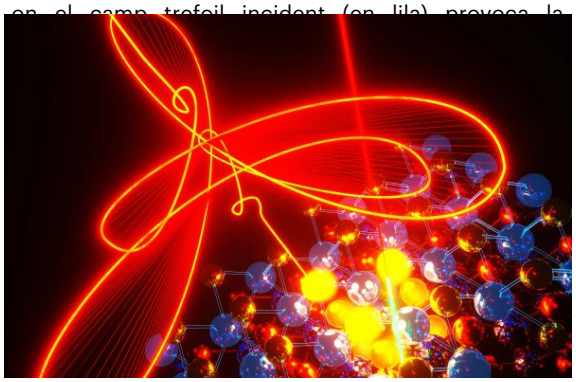
in un emmagatzematge eficac d'informacio i una commutacio rapida. Aixo aborda la nece
sitat urgent de dispositius de baix consum d'energia i mes velocitat computacional.
o puc prometre que aixo que hem proporcionat sigui LA solucio, pero probablement sig
i una solucio dins d'aquest gran rep

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 polaritzacio de les valls, en el camp trefoil incident (en lila) provoca la



Infografia de la polaritzacio dels valls