

Una novedosa tecnica universal basada en luz para controlar la polarizacion de los valles en materiales 3D

Un equipo del ICFO, junto con colaboradores internacionales, informan en Nature sobre un nuevo metodo que logra por primera vez la polarizacion de valles en materiales gruesos centrosimetricos, sin depender del material especifico. Esta tecnica universal puede tener importantes aplicaciones vinculadas al control y analisis de diferentes propiedades de materiales 2D y 3D, lo que a su vez puede permitir el avance de campos de vanguardia como el procesamiento de informacion y la computacion cuantica.

April 24, 2024

Los electrones dentro de materiales solidos solo pueden tomar ciertos valores de energia. Los rangos de energia permitidos se denominan i¿½bandasi¿½ y los espacios entre ellos,

los rangos no disponibles, se conocen como i¿½bandas prohibidasi¿½. Ambas juntas con
tituyen la i¿½estructura de bandai¿½ del material, que es una caracteristica unica de c
da material
especifico. Cuando los fisicos trazan la estructura de las bandas, normalmente ven qu
las curvas resultantes se parecen a montanas y valles. De hecho, el termino tecnico para
un maximo o minimo de energia local en las bandas se llama i¿½vallei¿½, y el campo que e
tudia y explota como los electrones en el material cambian de un valle a
tro se denomina i¿
?valletronicai¿½. En la electronica semiconductora estandar, la carga electrica de
os electrones es la propiedad mas utilizada para codificar y manipular informacion. Pero est
s particulas tienen otras propiedades que tambien podrian usarse con el mismo proposito,
como por ejemplo el valle en el que se encuentran. En la ultima decada, el principal objetivo d
la valletronica ha sido alcanzar el control de la poblacion de los valles (tambien conocido
omo polarizacion de los valles) en materiales. Un logro como este podria usarse para crear pue
tas y bits clasicos y cuanticos, algo que realmente podria impulsar el desarrollo de
la computacion y el procesamiento de i
formacion cuantica. Los intentos anteriores presentaban varios inconvenientes. Por ejemplo, l
luz utilizada para manipular y cambiar la polarizacion de los valles tenia que ser resonante,
s decir, la energia de sus fotones (las particulas que constituyen la luz) tenia que corres
onder exactamente a la energia de la banda prohibida de ese material en particular. Cualquie
pequena desviacion reducia la eficiencia del metodo, por lo que, dado que cada material tien
sus propias bandas prohibidas, generalizar el mecanismo propuesto parecia algo inalca
zable. Ademas, este proceso solo se habia logrado para estructuras de monocapa (mater
ales 2D, de solo un atomo de espesor). Este requisito obstaculizaba su implementacio
practica, ya que a menudo las monocapas tienen un tamano y una calidad limitados y son d
ficiles de disenar. Ahora, los investigadores del ICFO **Igor Tyulnev**, **Dra. Poborska** y el **Dr. Lenard Vamos**,
dirigidos por el **Prof. ICREA Jens Biegert**, en colaboracion con investigadores del Instituto
Max-Born, el Instituto Max-Planck para la Ciencia de la Luz y el Instituto de Ciencia de
Materiales de Madrid han encontrado un **nuevo metodo universal para inducir la polarizacion
de los valles en materiales centrosimetricos con grosor**. El descubrimiento, publicado en
Nature, abre la posibilidad de controlar y manipular la poblacion de los valles sin
restricciones respecto al material especifico elegido. Al mismo tiempo, el metodo se puede
utilizar para obtener una caracterizacion mas detallada de cristales y materiales 2D.

La polarizacion de los valles en materiales voluminosos es posible

La aventura comenzo con el grupo experimental liderado por el Prof. ICREA en ICFO Jens
Biegert, quien inicialmente queria producir experimentalmente polarizacion de valles usando
su particular metodo en materiales 2D, en linea con lo que habia sido demostrado
teoricamente en un articulo teorico anterior de Alvaro Jimenez, Rui Silva y Misha Ivanov. Para

montar el experimento, hicieron unas pruebas iniciales en MoS2 grueso (un material grueso esta hecho de muchas monocapas apiladas una encima de la otra), con el sorprendente resultado de que vieron indicios de la polarizacion de los valles. "Cuando empezamos a trabajar en este proyecto, nuestros colaboradores teoricos nos dijeron que mostrar la polarizacion de los valles en materiales voluminosos era mas bien imposible", explica Julita Poborska.

El equipo teorico tambien comenta que, al principio, su modelo solamente era adecuado para capas 2D individuales. i¿½A primera vista, parecia que agregar mas capas dificultaria a seleccion de valles especificos en la muestra. Pero despues de los primeros resultad s experimentales, ajustamos la simulacion a materiales gruesos y esta valido las observacion s sorprendentemente bien. Ni siquiera intentamos encajar nada. Simplemente surgio asii? ½, anade el profesor Misha Ivanov, el lider teorico. Al final, i¿½resulto que si, es posible pol rizar los valles de materiales gruesos que sean simetricos centralmente, debido a las condi iones de simetriai¿½, concluye P

borska. Como explica Igor Tyulnev, primer autor del articulo, i¿½nuestro experimento co sistio en crear un intenso pulso de luz con una polarizacion que se adaptaba a esta estructur interna. El resultado fue el **campo i¿½trefoili¿½** (un campo en forma de trebol), cuya simetria coincidia con las subredes triangulares que constituyen los materiales hexagonales hetero-atomicosi¿?

. Esta coincidencia entre el campo potente y la muestra rompe la simetria espacial y tempor l dentro del material y, lo que es mas importante, la configuracion resultante depende de a orientacion del campo trebol con respecto al material. Por lo tanto, i¿**simplemente rotando el campo de luz incidente, pudimos modular la polarizacion de los valles**i¿½, conclu e Tyulnev, un logro importante en este campo y la confirmacion de una nueva tecnica univers l que puede controlar y manipular los valles de electrones en materiales grueso

El proceso experimental

El experimento se puede explicar en tres pasos fundamentales: primero, la sintesis del campo trefoil; luego su caracterizacion; y finalmente, la produccion propiamente dicha de la polarizacion de los valles.

Los investigadores destacan la precision increiblemente alta que requirio el proceso de caracterizacion, ya que **el campo trefoil esta formado no solo por uno, sino por dos campos opticos combinados coherentemente**. Uno de ellos tenia que estar polarizado circularmente en una direccion y el otro tenia que ser el segundo armonico del primer haz, polarizado en sentido contrario. Entonces superpusieron estos campos entre si, de modo que la polarizacion total en el tiempo trazara la forma de trebol deseada.

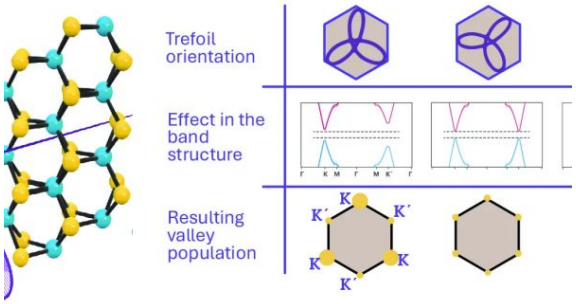
Tres anos despues de los primeros intentos experimentales, Igor Tyulnev esta entusiasmado con la reciente publicacion en Nature. La aparicion en tan prestigiosa revista reconoce el nuevo metodo universal que, segun afirma, i¿½puede utilizarse no solo para controlar l s propiedades de una amplia variedad de especies quimicas, sino tambien para caracteriz

r cristales y materiales 2Di?

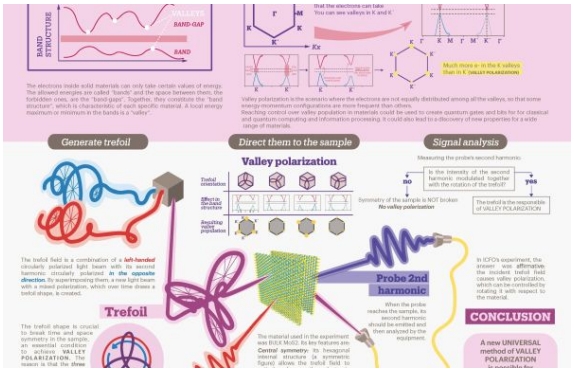
½. Como advierte el profesor ICREA del ICFO Jens Biegert: i¿½Nuestro metodo puede proporcionar un ingrediente importante para disenar materiales energeticamente efic entes que cuenten con un almacenamiento eficaz de informacion y una conmutacion rapida Esto aborda la necesidad apremiante de dispositivos de bajo consumo de energia y una mayor velocidad computacional. No puedo prometer que lo que hemos proporcionado ea LA solucion, pero probablemente sea una solucion dentro de este gran desaf

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 del efecto de la polarizacion de los valles, donde el campo trebol incidente (morado) cause la



Infografia de la polarizacion de los Valles

