



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

Un equipo del ICFO, junto con colaboradores internacionales, informan en Nature sobre un nuevo método que logra por primera vez la polarización de valles en materiales gruesos centrosimétricos, sin depender del material específico. Esta técnica universal puede tener importantes aplicaciones vinculadas al control y análisis 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 información y la computación cuántica.

April 24, 2024

Los electrones dentro de materiales sólidos solo pueden tomar ciertos valores de energía. Los rangos de energía permitidos se denominan *bandas* y los espacios entre ellos,

los rangos no disponibles, se conocen como *bandas prohibidas*. Ambas juntas constituyen la *estructura de bandas* del material, que es una característica única de cada material específico. Cuando los físicos trazan la estructura de las bandas, normalmente ven que las curvas resultantes se parecen a montañas y valles. De hecho, el término técnico para un máximo o mínimo de energía local en las bandas se llama *valle*, y el campo que estudia y explota como los electrones en el material cambian de un valle a otro se denomina *valletrónica*. En la electrónica semiconductor estándar, la carga eléctrica de los electrones es la propiedad más utilizada para codificar y manipular información. Pero estas partículas tienen otras propiedades que también podrían usarse con el mismo propósito, como por ejemplo el valle en el que se encuentran. En la última década, el principal objetivo de la *valletrónica* ha sido alcanzar el control de la población de los valles (también conocido como polarización de los valles) en materiales. Un logro como este podría usarse para crear puertas y bits clásicos y cuánticos, algo que realmente podría impulsar el desarrollo de la computación y el procesamiento de información cuántica. Los intentos anteriores presentaban varios inconvenientes. Por ejemplo, la luz utilizada para manipular y cambiar la polarización de los valles tenía que ser resonante, es decir, la energía de sus fotones (las partículas que constituyen la luz) tenía que corresponder exactamente a la energía de la banda prohibida de ese material en particular. Cualquier pequeña desviación reducía la eficiencia del método, por lo que, dado que cada material tiene sus propias bandas prohibidas, generalizar el mecanismo propuesto parecía algo inalcanzable. Además, este proceso solo se había logrado para estructuras de monocapa (materiales 2D, de solo un átomo de espesor). Este requisito obstaculizaba su implementación práctica, ya que a menudo las monocapas tienen un tamaño y una calidad limitados y son difíciles de diseñar. Ahora, los investigadores **Alvaro Jimenez**, **Olga Poborska** y el **Dr. Lenard Vamos**, dirigidos por el **Prof. ICREA Jens Biegert**, en colaboración 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 método universal para inducir la polarización de los valles en materiales centrosimétricos con grosor**. El descubrimiento, publicado en Nature, abre la posibilidad de controlar y manipular la población de los valles sin restricciones respecto al material específico elegido. Al mismo tiempo, el método se puede utilizar para obtener una caracterización más detallada de cristales y materiales 2D.

La polarización de los valles en materiales voluminosos es posible

La aventura comenzó con el grupo experimental liderado por el Prof. ICREA en ICFO Jens Biegert, quien inicialmente quería producir experimentalmente polarización de valles usando su particular método en materiales 2D, en línea con lo que había sido demostrado teóricamente en un artículo teórico 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. ¿A primera vista, parecia que agregar mas capas dificultaria a seleccion de valles especificos en la muestra. Pero despues de los primeros resultados experimentales, ajustamos la simulacion a materiales gruesos y esta valido las observaciones sorprendentemente bien. Ni siquiera intentamos encajar nada. Simplemente surgio asii? ¿, anade el profesor Misha Ivanov, el lider teorico. Al final, ¿resulto que si, es posible polarizar los valles de materiales gruesos que sean simetricos centralmente, debido a las condiciones de simetria? ¿, concluye P

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

. Esta coincidencia entre el campo potente y la muestra rompe la simetria espacial y temporal 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, **¿simplemente rotando el campo de luz incidente, pudimos modular la polarizacion de los valles?** ¿, concluye Tyulnev, un logro importante en este campo y la confirmacion de una nueva tecnica universal 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.

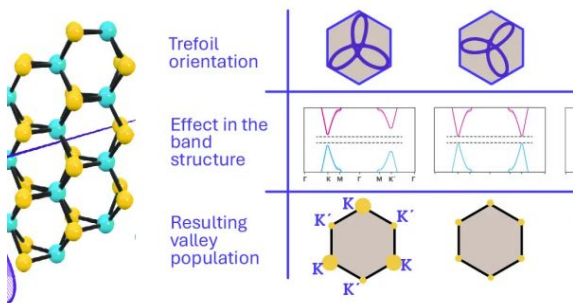
Tres anos despues de los primeros intentos experimentales, Igor Tyulnev esta entusiasmado con la reciente publicacion en Nature. La aparicion en tan prestigiosa revista reconoce el nuevo metodo universal que, segun afirma, ¿puede utilizarse no solo para controlar las propiedades de una amplia variedad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

r cristales y materiales 2Di?

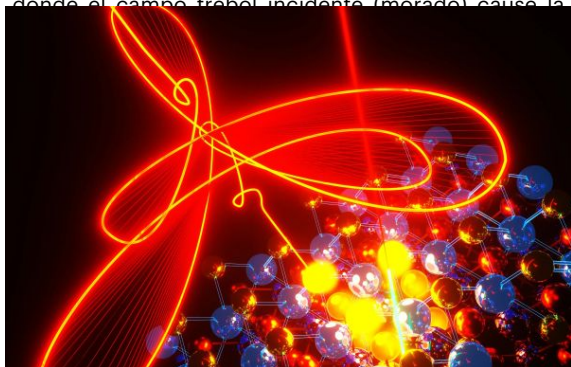
½. Como advierte el profesor ICREA del ICFO Jens Biegert: ¡½! Nuestro metodo puede proporcionar un ingrediente importante para disenar materiales energeticamente eficentes que cuenten con un almacenamiento eficaz de informacion y una conmutacion rapida. Esto aborda la necesidad apremiante de dispositivos de bajo consumo de energia y una mayor velocidad computacional. No puedo prometer que lo que hemos proporcionado sea 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) causa la



The infographic details the experimental setup for valley polarization. It includes sections for 'Generate trefoil', 'Direct them to the sample', 'Signal analysis', and 'Valley polarization'. It also features a 'CONCLUSION' section stating: 'A new UNIVERSAL METHOD OF VALLEY POLARIZATION'.

Infografía de la polarizacion de los Valles

