



Revelando el papel de los excitones oscuros en la generación de corriente

Investigadores del ICFO, en una colaboración internacional, presentan una novedosa técnica para rastrear excitones brillantes y oscuros, los portadores de energía en materiales optoelectrónicos y fotovoltaicos, a temperatura ambiente.

Abril 29, 2025

En la búsqueda de un transporte de energía y una generación de corriente eficientes, es esencial comprender cómo viajan los portadores de energía a través de dispositivos optoelectrónicos y fotovoltaicos. Estos portadores no son electrones por sí solos. En cambio, cuando un electrón se excita, su promoción en energía deja tras de sí una ausencia de carga negativa o, en otras palabras, un *huevo* cuasi-positivo. El electrón y el hueco se enlazan, formando lo que se conoce como un excitón; el verdadero portador de energía potencial dentro del material. Para convertir esta energía en corriente eléctrica, es necesario separar de nuevo el electrón y el hueco. Conseguir una *separación de carga* eficiente es un proceso crítico a optimizar en los materiales emergentes. Sin embargo, no todos los excitones logran generar corriente. En algunos casos, el

lectron pierde energia al volver a llenar el hueco, produciendo un foton, en un proceso llamado recombinacion. Estos son conocidos como excitones brillantes, ya que la emision de fotones da lugar a la fotoluminiscencia. Otros excitones, sin embargo, tienen una configuracion especifica que, segun las reglas de la mecanica cuantica, es incompatible con la recombinacion. Debido a que no emiten fotones facilmente, se conocen como excitones oscuros. La ausencia de recombinacion les proporciona mas tiempo para desplazarse a traves del dispositivo, aumentando sus posibilidades de llegar a un electrodo y generar corriente mediante la separacion de

carga. Aunque hace tiempo que se acepta que los excitones oscuros desempeñan un papel clave en la generacion de corriente, su falta de respuesta optica los hace dificiles de estudiar. Los metodos experimentales se han centrado principalmente en los excitones brillantes, precisamente porque emiten fotoluminiscencia, la cual puede detectarse convenientemente; o bien han requerido temperaturas criogenicas, muy alejadas de las condiciones del mundo real, para detectar cualquier indicio de excitones

oscuros. Ahora, los investigadores de **Joseph Wragg**, el Dr. **Luca Bolzonello**, dirigidos por el **Prof. ICREA Niek van Hulst**, así como el **Dr. Karuppasamy Pandian Soundarapandian** y **Riccardo Bertini**, bajo la direccion del **Prof. ICREA Frank Koppens**, en colaboracion con el Laboratorio Europeo de Espectroscopia No Lineal, la School for Engineering of Matter, Transport and Energy (Arizona), y el National Institute for Materials Science (Tsukuba, Japon), **han desarrollado un metodo para rastrear excitones en materiales a temperatura ambiente**, tanto espacial como espectralmente, **distinguiendo además entre las contribuciones brillantes y oscuras**. Publicada en Nano Letters, esta nueva tecnica promete ser una potente herramienta para comprender el comportamiento de los diferentes estados de los excitones y abre nuevas vias para la investigacion futura de materiales, incluyendo la proxima generacion de dispositivos electronicos y fotovoltaicos.

Para lograr estos resultados, el equipo llevo a cabo espectroscopia de accion, un metodo que rastrea tanto la fotoluminiscencia generada como las senales de fotocorriente, asociadas a los excitones brillantes y oscuros, respectivamente. Como caso de estudio, investigaron el WSe₂, un semiconductor bidimensional ampliamente utilizado en ciencia de materiales. Al comparar ambas respuestas, los investigadores pudieron inferir el papel de cada tipo de excitacion en el material. Además, examinaron como el numero de capas del material afecta la fotoluminiscencia y la fotocorriente, explorando no solo la interaccion entre excitones brillantes y oscuros en cada espesor, sino tambien la estabilidad de cada estado excitado.

"Este enfoque nos permite construir una imagen completa de la creacion, vida y extincion de los excitones en este tipo de materiales", comparte Joseph Wragg, primer autor del articulo, quien recuerda haber observado transporte a distancias de varios micrometros. Y añade:

¿Los excitones oscuros nunca se habian estudiado de esta manera antes, y nuestra capacidad de recuperar este tipo de datos a temperatura ambiente es realmente prometedora para futuros trabajos?

½. En conjunto, esta novedosa técnica ofrece una ventana de observación hacia los mecanismos de transferencia de energía en materiales que son críticos para tecnologías optoelectrónicas y fotovoltaicas. De hecho, los conocimientos que este trabajo ha brindado podrían desempeñar un papel clave a la hora de desbloquear su máximo potenc

Referencia:

Joseph Wragg, Luca Bolzonello, Ludovica Donati, Karuppasamy Pandian Soundarapandian, Riccardo Bertini, Seth Ariel Tongay, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Frank H. L. Koppens, and Niek F. van Hulst. Dual Action Spectroscopy Exposes the Bright and Dark Excitons of Room-Temperature WSe₂. *Nano Letters* (2025)

DOI: [10.1021/acs.nanolett.4c0634](https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.4c0634)

Agradecimientos:

J.W., L.B., and N.F.v.H. acknowledge support through the MCIN/AEI projects PID2021-123814OB-I00, TED2021-129241BI00, the *Severo Ochoa* program for Centres of Excellence in R&D CEX2019-000910-S, Fundació Privada Cellex, Fundació Privada Mir-Puig, and the Generalitat de Catalunya through the CERCA program. N.F. .H. acknowledges financial support from the European Commission (ERC Advanced Grant 101054846-FastTrack). This work is part of the ICFO Clean Planet Program supported by Fundació Joan Ribas Araquistain (FJRA). R.B. acknowledges funding from the European Union's Horizon H2020 under the Marie Skłodowska-Curie grant agreements No 847517.