



Nueva plataforma de electro-polaritones 2D para futuros espectrometros miniaturizados

En un reciente artículo de Nature Communications, el ICFO junto con un equipo internacional de investigadores presentan la integración de un sistema de detección y una plataforma polaritónica en el mismo material 2D, permitiendo por primera vez la detección de nanoresonadores polaritónicos 2D con resolución espectral. El dispositivo es adecuado para la miniaturización y muestra niveles record en confinamiento lateral y factores de alta calidad simultáneamente.

October 21, 2024

Los [polaritones](#) son excitaciones de ondas electromagnéticas acopladas con partículas cargadas o bien con vibraciones en la red atómica de un material dado. Se utilizan ampliamente en [nanofotónica](#) debido a su capacidad para confinar la luz en volúmenes extremadamente pequeños, del orden de nanómetros, lo cual es esencial para mejorar las

interacciones luz-materia. Los [materiales bidimensionales](#) (es decir, materiales de un solo átomo de grosor) se utilizan comúnmente para este propósito, ya que los polaritones que pueden alojar muestran un confinamiento aún más extremo, menores pérdidas de energía -resultando en vidas más largas- y mayor capacidad de adaptación en comparación con los materiales voluminosos. Para lograr un control aún mayor sobre el confinamiento de la luz y mejorar aún más las propiedades polaritónicas, se pueden emplear estructuras a nanoescala llamadas nanoresonadores. Además, cuando la luz interactúa con un nanoresonador, los polaritones se excitan. Entonces oscilan y resuenan a unas frecuencias específicas, que vienen determinadas por la geometría y las propiedades del material del resonador, permitiendo la manipulación precisa de la luz en la nanoescala.

Si bien el uso de polaritones para el confinamiento de la luz ya es una práctica establecida, aún hay margen de mejora en cuanto a los métodos para sondearlos. En los últimos años, las mediciones ópticas se han vuelto la opción mayoritaria, pero sus detectores voluminosos requieren equipos externos. Esto limita la miniaturización del sistema de detección y la claridad de la señal (conocida como la relación señal-ruido) que se puede obtener de las mediciones, lo que a su vez dificulta la aplicación de las propiedades polaritónicas en áreas donde estas dos características son esenciales, como la detección molecular.

Ahora, investigadores de [ICFO](#), el **Dr. Sebastian Castilla**, el **Dr. Hitesh Agarwal**, el **Dr. David Alcaraz**, el **Dr. Adria Grabulosa**, **Matteo Ceccanti**, el **Dr. Roshan Krishna Kumar**, liderados por el **Prof. ICREA Frank Koppens**; la [Universidad de Ioannina](#); la [Universidade do Minho](#); el [Laboratorio Iberico Internacional de Nanotecnología](#); la [Universidad Estatal de Kansas](#); el [Instituto Nacional de Ciencia de Materiales \(Tsukuba, Japon\)](#); [POLIMA](#) (de la Universidad del Sur de Dinamarca); y [URCI](#) (Instituto de Ciencia de Materiales y Computación, Ioannina), han demostrado en un artículo de Nature Communications la integración de polaritones 2D con un sistema de detección en el mismo material bidimensional. **El dispositivo integrado permite, por primera vez, la detección eléctrica con resolución espectral de nanoresonadores polaritónicos 2D y marca un paso significativo hacia la miniaturización de estos dispositivos.**

El equipo aplicó [espectroscopia](#) eléctrica a una pila de tres capas de materiales 2D, en concreto, una capa de hBN (nitrato de boro hexagonal) colocada sobre [grafeno](#), que a su vez se dispuso sobre otra lámina de hBN. Durante los experimentos, los investigadores identificaron varias ventajas de la espectroscopia eléctrica en comparación con las técnicas ópticas comerciales. En el primer caso, el rango espectral cubierto es significativamente más amplio (es decir, se abarca un rango mayor de frecuencias, incluyendo los rangos del infrarrojo y terahercios), el equipo requerido es considerablemente más pequeño y las mediciones presentan una mayor relación señal-ruido.

Esta plataforma electro-polaritónica representa un avance en el campo debido principalmente a dos características. En primer lugar, el detector externo para realizar espectroscopia, requerido por la mayor parte de técnicas ópticas, deja de ser necesario. **Un**

solo dispositivo funciona al mismo tiempo como fotodetector y plataforma polaritónica, lo que **permite una mayor miniaturización del sistema**. Y en segundo, aunque en general un mayor confinamiento de la luz es perjudicial para la calidad de este confinamiento (ya que, por ejemplo, se acorta el tiempo de retención de la luz), el dispositivo integrado supera con éxito esta limitación. **¡Nuestras plataformas presentan una calidad excepcional, logrando un confinamiento óptico lateral record y factores de calidad de hasta aproximadamente 200.**

Este nivel excepcional de confinamiento y calidad del grafeno mejora significativamente la eficiencia de la fotodetección. ^{1/2} explica el Dr. Sebastian Castilla, primer coautor del artículo

. Además, el enfoque de la espectroscopia eléctrica permite investigar nanoresonadores polaritónicos 2D extremadamente pequeños (con tamaños laterales de alrededor de 10 nanómetros). ^{1/2} Eso era muy difícil de detectar con técnicas convencionales debido a las limitaciones de resolución impuestas. ^{1/2}, añade el investigador. Castilla ahora reflexiona sobre los futuros descubrimientos que podría desbloquear su nuevo enfoque. ^{1/2} Hay aplicaciones en detección, imagen hiperespectral y espectrometría óptica que podrían beneficiarse de esta plataforma integrada electro-polaritónica. Por ejemplo, la detección eléctrica de moléculas y gases en el propio chip podría hacerse posible. ^{1/2}, sugiere. ^{1/2} Creo que nuestro trabajo abrirá la puerta a muchas aplicaciones que la naturaleza voluminosa de las plataformas comerciales estándar ha estado obstaculizando.

Referencia:

Castilla, S., Agarwal, H., Vangelidis, I. et al. Electrical spectroscopy of polaritonic nanoresonators. Nat Commun 15, 8635 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52838-w>

Acknowledgements:

The authors thank Hanan Herzig Sheinfux, Krystian Nowakowski, and Iacopo Torre for fruitful discussions. F.H.L.K. acknowledges financial support from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness, through the ^{1/2} Severo Ochoa ^{1/2} Program for Centers of Excellence in R&D (SEV-2015-0522), support by Fundació Cellex Barcelona, Generalitat de Catalunya through the CERCA program, and the Agency for Management of University and Research Grants (AGAUR) 2017 SGR 1656. Furthermore, the research leading to these results has received funding from the European Union Seventh Framework Program under grant agreements no.785219 and no. 881603 Graphene Flagship for Core2 and Core3. .C. acknowledges financial support from the Barcelona Institute of Science and Technology (BIST), the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya and the European Social Fund (L'FSE inverteix en el teu futur) - FEDER. N.M.R.P. acknowledges support from the Independent Research Fund Denmark (grant no. 2032-00045B) and the Danish National Research Foundation (Project No. DNRF15). Y.V.B., M.I.V., and N.M.R.P. acknowledge support by the Portuguese Foundation for Sci

nce and Technology (FCT) in the framework of the Strategic Funding UIDB/ 04650/2020. .W. and T.T. acknowledge support from the JSPS KAKENHI (Grant Numbers 21H05233 and 23H02052) and World Premier International Research Center Initiative (WPI), MEXT, Japan, for the growth of h-BN crystals. Funding for hBN crystal growth by E.J. and J.H.E. was provided by the Office of Naval Research, Award no. N00014-22-1-2582. F.H.L.K. and S.C. acknowledge funding from the European Union (ERC, POLARSENSE, 101123421).