



## Un nuevo dispositivo en chip utiliza rayos de luz exótica en materiales 2D para detectar moléculas

Investigadores han desarrollado un detector altamente sensible para identificar moléculas a través de su *huella vibracional* en el infrarrojo. Publicado en Nature Communications, este innovador detector convierte la luz infrarroja incidente en "nanoluz" ultra-confinada en forma de polaritones fonónicos dentro del área activa del detector. Este mecanismo cumple dos funciones cruciales: aumenta la sensibilidad general del detector y mejora la huella vibracional de una capa molecular de nanómetros de espesor colocada sobre el detector, lo que permite que esta huella molecular sea detectada y analizada más fácilmente. El diseño compacto y la operación a temperatura ambiente del dispositivo prometen el desarrollo de plataformas ultra-compactas para aplicaciones de detección molecular y de gases.

Las moléculas tienen una especie de "huellas dactilares", características únicas que pueden usarse para diferenciarlas. Cada tipo de molécula, cuando se ilumina con la luz adecuada, vibra a una frecuencia característica (su frecuencia de resonancia, que generalmente ocurre en el rango infrarrojo) y con una intensidad específica. De manera similar a lo que se hace con las huellas dactilares humanas, esta información se puede usar para distinguir entre distintos tipos de moléculas o gases. Esto también puede protegernos de peligros potenciales al identificar sustancias o gases venenosos y peligrosos en lugar de criminales. Un enfoque convencional es la espectroscopia de huellas infrarrojas, que utiliza espectros de reflexión o transmisión de infrarrojos para identificar diferentes moléculas. Sin embargo, el pequeño tamaño de las moléculas orgánicas en comparación con la longitud de onda del infrarrojo resulta en una señal de dispersión débil, lo que dificulta la detección de pequeñas cantidades de material. En los últimos años, esta limitación se ha abordado mediante la espectroscopia de absorción infrarroja mejorada en superficie (SEIRA, por sus siglas en inglés). La espectroscopia SEIRA aprovecha la mejora del campo cercano infrarrojo proporcionada por superficies metálicas rugosas o nanoestructuras metálicas para amplificar las señales vibracionales moleculares. La principal ventaja de SEIRA es su capacidad para medir y estudiar cantidades diminutas de material.

Recientemente, los polaritones fonónicos (excitaciones acopladas de ondas electromagnéticas con vibraciones de la red atómica), particularmente los polaritones fonónicos hiperbólicos (HPhPs) en capas delgadas de nitruro de boro hexagonal (h-BN), han surgido como candidatos prometedores para aumentar la sensibilidad de la espectroscopia SEIRA. "Anteriormente, demostramos que los polaritones fonónicos pueden aplicarse a la espectroscopia SEIRA de capas moleculares de nanómetros de espesor y a la detección de gases, gracias a sus largas vidas útiles y ultra-alta confinación del campo", comenta el Prof. Rainer Hillenbrand de Nanogune.

Sin embargo, la espectroscopia SEIRA sigue siendo una técnica de campo lejano que requiere equipos voluminosos, como fuentes de luz, sustratos SEIRA y, típicamente, detectores de infrarrojos enfriados con nitrógeno. Esta dependencia de instrumentos grandes limita su potencial de miniaturización y aplicaciones en chip. Paralelamente, "hemos estado investigando detectores de infrarrojos basados en grafeno que operan a temperatura ambiente, y hemos demostrado que los polaritones fonónicos pueden detectarse eléctricamente y mejorar la sensibilidad del detector", añade el Prof. Frank Koppens del ICFO.

Combinando estos avances, un equipo de investigadores ha demostrado ahora con éxito la primera detección SEIRA fonónica en chip de vibraciones moleculares. Este resultado fue posible gracias a los esfuerzos experimentales conjuntos de los investigadores de Nanogune e ICFO, junto con el apoyo teórico de los grupos del Dr. Alexey Nikitin en el Centro Internacional de Física de Donostia y del Prof. Luis Martín-Moreno en el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (CSIC-Universidad de Zaragoza). Los investigadores

emplearon HPhPs ultra-confinados para detectar huellas moleculares en capas moleculares de nanómetros de espesor directamente en la fotocorriente de un detector basado en grafeno, eliminando la necesidad de detectores IR tradicionales y voluminosos.

"Uno de los aspectos más emocionantes de este enfoque es que este detector basado en grafeno abre el camino hacia la miniaturización", comenta el investigador del ICFO, Dr. Sebastian Castilla. Y continúa: "Al integrar este detector con canales microfluidicos, podríamos crear un verdadero 'laboratorio en chip', capaz de identificar moléculas específicas en pequeñas muestras líquidas, allanando el camino para diagnósticos médicos y monitoreo ambiental".

En un panorama más amplio, el investigador de Nanogune y primer autor del estudio, Dr. Andrei Bylinkin, cree que "los detectores de infrarrojos en chip que operan a temperatura ambiente podrían permitir una identificación molecular rápida, potencialmente integrada en smartphones o dispositivos electrónicos portátiles". Además, considera que "esto ofrecería una plataforma para una espectroscopia infrarroja compacta, sensible y operativa a temperatura ambiente".

**Referencia:**

Bylinkin, A., Castilla, S., Slipchenko, T.M. et al. On-chip phonon-enhanced IR near-field detection of molecular vibrations. *Nat Commun* **15**, 8907 (2024). Featured in the journal's Editors' Highlights

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53182-9>

**Agradecimientos:**

The work was financially supported by the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement Nos. 785219 and 881603 (GrapheneCore2 and GrapheneCore3 of the Graphene Flagship). R.H., F. Casanova, and L.E.H. acknowledge funding by the Spanish MICIU/AEI/10.13039/501100011033 (grant CEX2020-001038-M). R.H. acknowledges funding by the Spanish MICIU/AEI and ERDF/EU (grants RTI2018-094830-B-I00 and PID2021-123949OB-I00). F. Casanova and L.E.H. acknowledge funding by the Spanish MICIU/AEI and ERDF/EU (grant PID2021-122511OB-I00). F.H.L.K. acknowledges funding by the Spanish MICIU/AEI (grants FIS2016-81044, PID2019-106875GB-I00, CEX2019-000910-S, PCI2021-122020-2A and PDC2022-133844-100). A.N. acknowledges funding by the Spanish MICIU/AEI and ERDF/EU (grants PID2020-115221GB-C42 and PID2023-147676NB-I00); by the Department of Education of the Basque Government (grant PIBA-2023-1-0007). L.M.-M and T.S. acknowledge funding by the Spanish MICIU/AEI (grants PID2020-115221GB-C41 and CEX2023-001286-S); by the Government of Aragon through Project Q-MAD. F.H.L.K., S.C., and V.P. acknowledge funding by the European Union (ERC, POLARSENSE, 101123421).