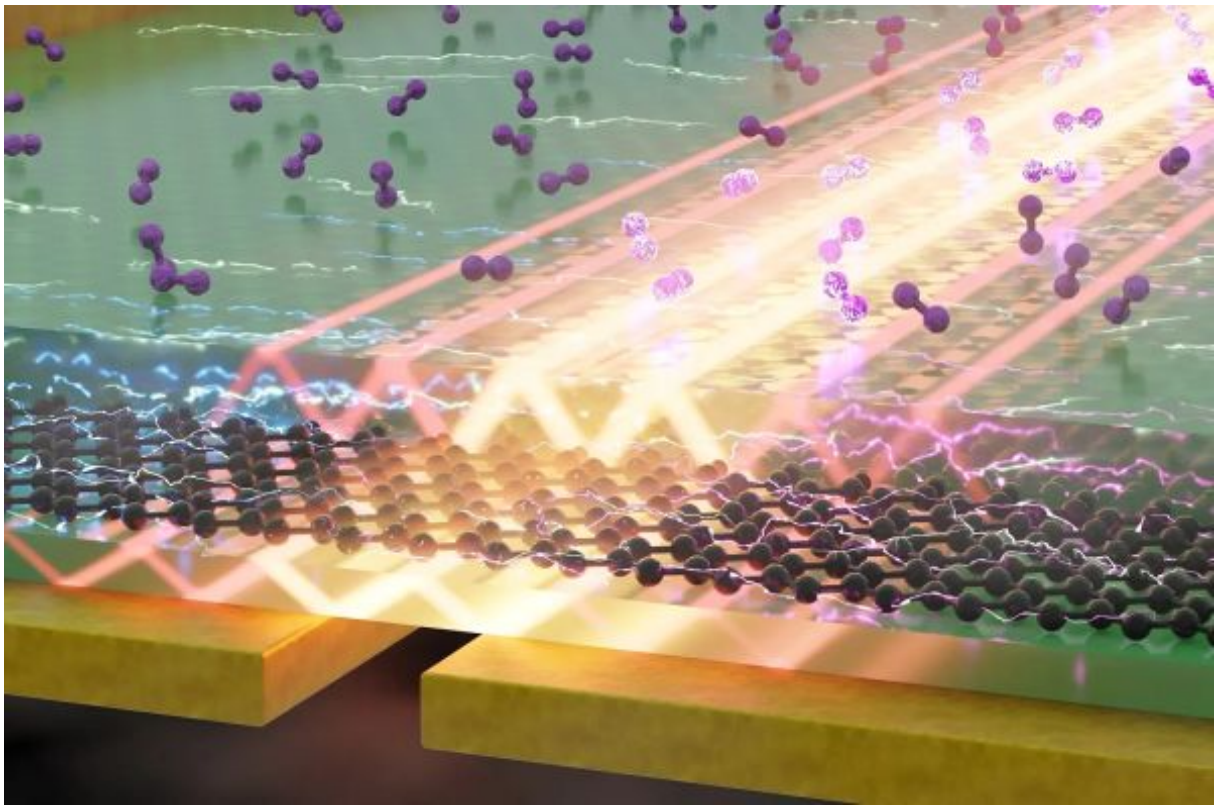


Un nuevo dispositivo en chip utiliza rayos de luz exotica en materiales 2D para detectar moleculas

Investigadores han desarrollado un detector altamente sensible para identificar moleculas a traves de su i¿½huellai¿½ vibraci nal en el infrarrojo. Publicado en Nature Communications, ste innovador detector convierte la luz infrarroja incident en "nanoluz" ultra-confinada en forma de polaritones fonon cos dentro del area activa del detector. Este mecanismo cumple dos funciones cruciales: aumenta la sensibilidad general del detect r y mejora la huella vibracional de una capa molecular de nanome ros de espesor colocada sobre el detector, lo que permite que sta huella molecular sea detectada y analizada mas facilmente. El diseno compacto y la operacion a temperatura ambiente del dispositivo prometen el desarrollo de plataformas ultra-compactas para aplicaciones de deteccion molecular y de gases.

November 19, 2024

Las moleculas tienen una especie de "huellas dactilares", caracteristicas unicas que pueden usarse para diferenciarlas. Cada tipo de molecula, cuando se ilumina con la luz adecuada, vibra a una frecuencia caracteristica (su frecuencia de resonancia, que generalmente ocurre en el rango infrarrojo) y con una intensidad especifica. De manera similar a lo que se hace con las huellas dactilares humanas, esta informacion se puede usar para distinguir entre distintos tipos de moleculas o gases. Esto tambien 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 reflexion o transmision de infrarrojos para identificar diferentes moleculas. Sin embargo, el pequeno tamano de las moleculas organicas en comparacion con la longitud de onda del infrarrojo resulta en una senal de dispersion debil, lo que dificulta la deteccion de pequenas cantidades de material. En los ultimos anos, esta limitacion se ha abordado mediante la espectroscopia de absorcion infrarroja mejorada en superficie (SEIRA, por sus siglas en ingles). La espectroscopia SEIRA aprovecha la mejora del campo cercano infrarrojo proporcionada por superficies metalicas rugosas o nanoestructuras metalicas para amplificar las senales vibracionales moleculares. La principal ventaja de SEIRA es su capacidad para medir y estudiar cantidades diminutas de material.

Recientemente, los polaritones fononicos (excitaciones acopladas de ondas electromagneticas con vibraciones de la red atomica), particularmente los polaritones fononicos hiperbolicos (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 fononicos pueden aplicarse a la espectroscopia SEIRA de capas moleculares de nanometros de espesor y a la deteccion de gases, gracias a sus largas vidas utiles y ultra-alta confinacion del campo", comenta el Prof. Rainer Hillenbrand de Nanogune.

Sin embargo, la espectroscopia SEIRA sigue siendo una tecnica de campo lejano que requiere equipos voluminosos, como fuentes de luz, sustratos SEIRA y, tipicamente, detectores de infrarrojos enfriados con nitrogeno. Esta dependencia de instrumentos grandes limita su potencial de miniaturizacion 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 fononicos pueden detectarse electricamente y mejorar la sensibilidad del detector", anade el Prof. Frank Koppens del ICFO.

Combinando estos avances, un equipo de investigadores ha demostrado ahora con exito la primera deteccion SEIRA fononica 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 teorico de los grupos del Dr. Alexey Nikitin en el Centro Internacional de Fisica de Donostia y del Prof. Luis Martin-Moreno en el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragon (CSIC-Universidad de Zaragoza). Los investigadores

emplearon HPhPs ultra-confinados para detectar huellas moleculares en capas moleculares de nanometros 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 mas emocionantes de este enfoque es que este detector basado en grafeno abre el camino hacia la miniaturizacion", comenta el investigador del ICFO, Dr. Sebastian Castilla. Y continua: "Al integrar este detector con canales microfluidicos, podriamos crear un verdadero 'laboratorio en chip', capaz de identificar moleculas especificas en pequenas muestras liquidas, allanando el camino para diagnosticos medicos y monitoreo ambiental".
En un panorama mas 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 podrian permitir una identificacion molecular rapida, potencialmente integrada en smartphones o dispositivos electronicos portatiles". Ademas, considera que "esto ofreceria 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-100, 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).