



Nova plataforma d'electro-polaritons 2D per a futurs espectrometres miniaturitzats

En un article recent de Nature Communications, l'ICFO juntament amb un equip internacional d'investigadors presenta la integració d'un sistema de detecció i una plataforma polaritònica en el mateix material 2D, permetent per primera vegada la detecció de nanoressonadors polaritònics 2D amb resolució espectral. El dispositiu és adequat per a la miniaturització i mostra nivells record en confinament lateral i factors de qualitat simultaniament.

October 21, 2024

Els [polaritons](#) són excitacions d'ones electromagnètiques acoblades amb partícules carregades o bé amb vibracions de la xarxa atòmica d'un material determinat. S'utilitzen àmpliament en [nanofònica](#) per la seva capacitat de confinar la llum en volums extremadament petits, de l'ordre de nanometres, la qual cosa és essencial per millorar les

interaccions llum-materia. Els [materials bidimensionals](#) (es a dir, materials d'un sol àtom de gruix) s'utilitzen comunament per a aquest propòsit, ja que els polaritons que poden allotjar mostren un confinament encara més extrem, menors pèrdues d'energia -resultant en vides més llargues- i una major capacitat d'adaptació en comparació amb els materials voluminosos. Per aconseguir un control encara més gran sobre el confinament de la llum i explotar encara més les propietats polaritòniques, es poden emprar estructures a nanoescala anomenades nanoressonadors. A més, quan la llum interactua amb un nanoressonador, els polaritons s'exciten. Aleshores oscil·len i ressonen a unes freqüències específiques, que estan determinades per la geometria i les propietats del material del resonador, permetent la manipulació precisa de la llum a la nanoescala.

Tot i que l'ús de polaritons per al confinament de la llum ja és una pràctica establerta, encara hi ha marge de millora en els mètodes per estudiar-los. En els últims anys, les mesures òptiques s'han convertit en l'opció majoritària, però els seus detectors voluminosos requereixen equips externs. Això limita la miniaturització del sistema de detecció i la claredat del senyal (coneguda com la relació senyal-soroll) que es pot obtenir de les mesures, cosa que al seu torn dificulta l'aplicació de les propietats polaritòniques en àrees on aquestes dues característiques són essencials, com la detecció molecular.

Ara, investigadors 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, liderats pel Prof. ICREA Frank Koppens; la [Universitat de Ioannina](#); la [Universidade do Minho](#); el [Laboratori Iberic Internacional de Nanotecnologia](#); la [Universitat Estatal de Kansas](#); l'[Institut Nacional de Ciència de Materials \(Tsukuba, Japo\)](#); [POLIMA](#) (de la Universitat del Sud de Dinamarca); i [URCI](#) (Institut de Ciència de Materials i Computació, Ioannina), han demostrat en un article de Nature Communications la integració de polaritons 2D amb un sistema de detecció en el mateix material bidimensional. **El dispositiu integrat permet, per primera vegada, la detecció elèctrica amb resolució espectral de nanoressonadors polaritònics 2D i marca un pas significatiu cap a la miniaturització d'aquests dispositius.**

L'equip va aplicar [espectroscòpia](#) elèctrica a una pila de tres capes de materials 2D, en concret, una capa d'hBN (nitrur de bor hexagonal) col·locada sobre [grafe](#), que al seu torn es va disposar sobre una altra lamina d'hBN. Durant els experiments, els investigadors van identificar diversos avantatges de l'espectroscòpia elèctrica en comparació amb les tècniques òptiques comercials. En el primer cas, el rang espectral cobert és significativament més ampli (es a dir, s'abasta un rang més gran de freqüències, incloent-hi el rang de l'infraroig i terahertz), l'equip requerit és considerablement més petit i les mesures presenten una major relació senyal-soroll.

Aquesta plataforma electro-polaritònica representa un avenç en el camp degut principalment a dues característiques. En primer lloc, el detector extern per realitzar espectroscòpia requerit per la major part de tècniques òptiques, deixa de ser necessari. **Un sol dispositiu funciona ara com a fotodetector i plataforma polaritònica, la qual cosa permet una major**

miniaturització del sistema. I en segon lloc, tot i que en general un major confinament de la llum es perjudicial per a la qualitat d'aquest confinament (ja que, per exemple, es redueix el temps de retenció de la llum), el dispositiu integrat supera amb èxit aquesta limitació. **Les nostres plataformes presenten una qualitat excepcional, aconseguint un confinament òptic lateral record i factors de qualitat de fins a aproximadament 200.** Aquest nivell excepcional de confinament i qualitat del grafe millora significativament l'eficiència de la fotodetecció? , explica el Dr. Sebastian Castilla, primer coautor de l'article . A més, l'enfocament de l'espectroscòpia elèctrica permet investigar nanoressonadors polaritònics 2D extremadament petits (amb mides laterals d'aproximadament 10 nanòmetres). Això era molt difícil de detectar amb tècniques convencionals a causa de les limitacions de resolució imposades i, afegeix l'investigador. Castilla ara reflexiona sobre els futurs descobriments que podria desbloquejar el seu nou enfocament. Hi ha aplicacions en detecció, imatge hiperespectral i espectrometria òptica que podrien beneficiar-se d'aquesta plataforma integrada electro-polaritònica. Per exemple, la detecció elèctrica de molècules i gasos en el mateix xip podria esdevenir possible, suggereix. Crec que el nostre treball obrirà la porta a moltes aplicacions que la naturalesa voluminosa de les plataformes comercials estàndard ha estat obstac

Referència:

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 Severo Ochoa 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 forCore2 and Core3. F.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 Science 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).