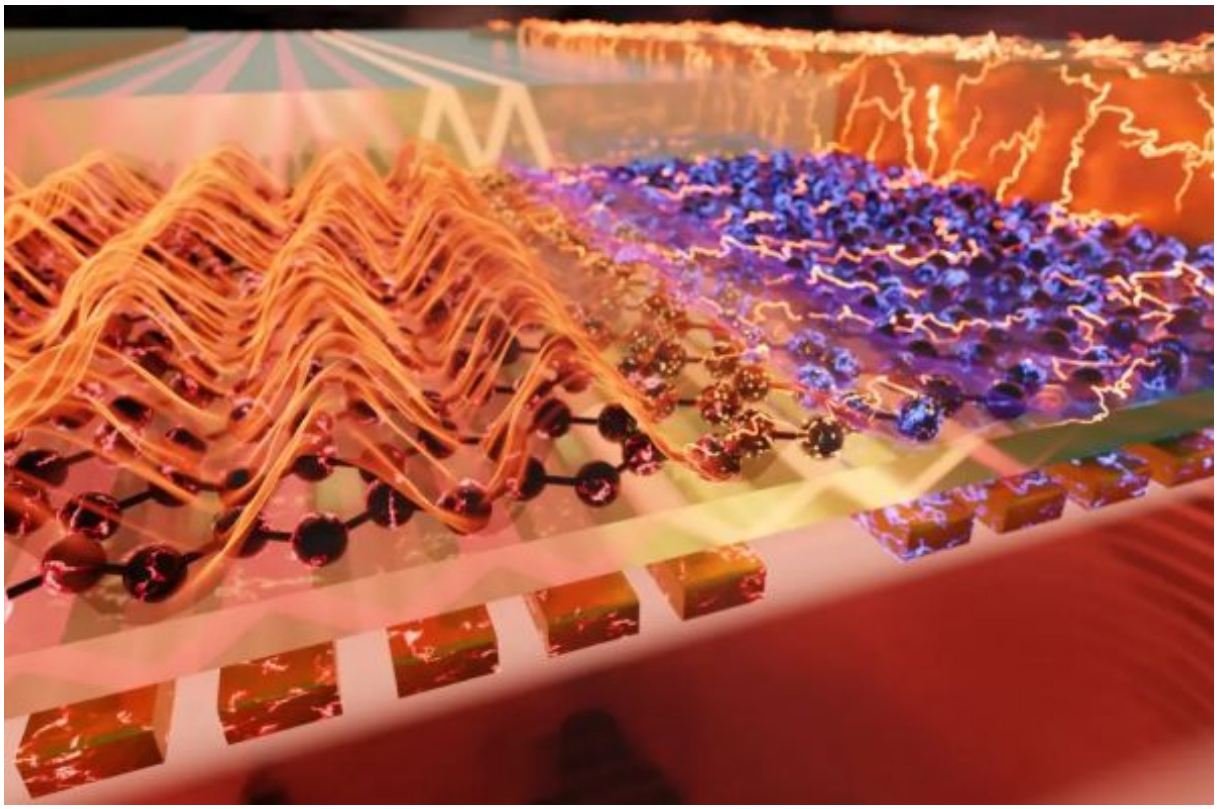

Nova plataforma d'electro-polaritons 2D per a futurs espectrometres miniaturitzats

En un article recent de Nature Communications, l'ICFO juntament amb un equip internacional d'investigadors presenta la integracio d'un sistema de deteccio i una plataforma polaritonica en el mateix material 2D, permetent per primera vegada la deteccio de nanoressonadors polaritonics 2D amb resolucio espectral. El dispositiu es adequat per a la miniaturitzacio i mostra nivells record en confinament lateral i factors de d'alta qualitat simultaniament.

October 21, 2024

Els polaritons son excitacions d'ones electromagnetiques acoblades amb particules carregades o be amb vibracions de la xarxa atomica d'un material determinat. S'utilitzen ampliament en nanofotonica per la seva capacitat de confinar la llum en volums extremadament petits, de l'ordre de nanometres, la qual cosa es essencial per millorar les

interaccions llum-materia. Els materials bidimensionals (es a dir, materials d'un sol atom de gruix) s'utilitzen comunament per a aquest proposit, ja que els polaritons que poden allotjar mostren un confinament encara mes extrem, menors perdues d'energia -resultant en vides mes llargues- i una major capacitat d'adaptacio en comparacio amb els materials voluminosos. Per aconseguir un control encara mes gran sobre el confinament de la llum i explotar encara mes les propietats polaritoniques, es poden emprar estructures a nanoescala anomenades nanoressonadors. A mes, quan la llum interactua amb un nanoressonador, els polaritons s'exciten. Aleshores oscil·len i ressonen a unes freqüencies especifiques, q
e estan determinades per la geometria i les propietats del material del ressonador, permete
t la manipulacio precisa de la llum a la nanoescal
. Tot i que l'us de polaritons per al confinament de la llum ja es una practica establerta, enca
a hi ha marge de millora en els metodes per estudiar-los. En els ultims anys, les mesur
s optiques s'han convertit en la opcio majoritaria, pero els seus detectors voluminos
s requereixen equips externs. Aixo limita la miniaturitzacio del sistema de deteccio i la clared
t del senyal (coneguda com la relacio senyal-soroll) que es pot obtenir de les mesures, co
a que al seu torn dificulta l'aplicacio de les propietats polaritoniques en arees on aquestes du
s caracteristiques son essencials, com la deteccio molecula
. Ara, investigadors del 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 Ciencia de Materials (Tsukuba, Japo); POLIMA (de la Universitat del Sud de Dinamarca); i URCI (Institut de Ciencia de Materials i Computacio, Ioannina), han demostrat en un article de Nature Communications la integracio de polaritons 2D amb un sistema de deteccio en el mateix material bidimensional. **El dispositiu integrat permet, per primera vegada, la deteccio electrica amb resolucio espectral de nanoressonadors polaritonics 2D i marca un pas significatiu cap a la miniaturitzacio d'aquests dispositius**.

L'equip va aplicar espectroscopia electrica 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'espectroscopia electrica en comparacio amb les tecniques optiques comercials. En el primer cas, el rang espectral cobert es significativament mes ampli (es a dir, s'abasta un rang mes gran de freqüencies, incloent-hi el rang d
l'infraroig i terahertzs), l'equip requerit es considerablement mes petit i les mesure
presenten una major relacio senyal-soroll

Aquesta plataforma electro-polaritonica representa un avenc en el camp degut principalmen
a dues caracteristiques. En primer lloc, el detector extern per realitzar espectroscopia
requerit per la major part de tecniques optiques, deixa de ser necessari.**Un sol dispositiu funciona alhora com a fotodetector i plataforma polaritonica, la qual cosa permet una major**

miniaturitzacio 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 retencio de la llum), el dispositiu integrat supera amb exit aquesta limitacio. i¿½**Les nostres plataformes presenten una qualitat excepcional, aconseguint un confinament optic lateral record i factors de qualitat de fins a aproximadament 200**. Aquest nivell excepcional de confinament i qualitat del grafe millora significativament l'eficiencia de la fotodeteccioi¿? , explica el Dr. Sebastian Castilla, primer coautor de l'articl
. A mes, l'enfocament de l'espectroscopia electrica permet investigar nanoressonado
s polaritonics 2D extremadament petits (amb mides laterals d'aproximadament
0 nanometres). i¿½Aixo era molt dificil de detectar amb tecniques convencionals a causa de les limitacions de resolucio imposadesi¿½, afegeix l'investi
ador. Castilla ara reflexiona sobre els futurs descobriments que podria desbloquejar el s u nou enfocament. i¿½Hi ha aplicacions en deteccio, imatge hiperespectral i espectrometri optica que podrien beneficiar-se d'aquesta plataforma integrada electro-polaritonica. Per xemple, la deteccio electrica de molecules i gasos en el mateix xip podria esdevenir poss blei¿½, suggereix. i¿½Crec que el nostre treball obrira la porta a moltes aplicacions que l naturalesa voluminosa de les plataformes comercials estandard ha estat obstac

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 i¿½Severo Ochoai¿½ Program for Centers of Excellenc in R&D (SEV-2015-0522), support by Fundacio Cellex Barcelona, Generalitat de Catal nya through the CERCA program, and the Agency for Management of University and Rese rch Grants (AGAUR) 2017 SGR 1656. Furthermore, the research leading to these results has received funding from the European Union Seventh Framework Program under g ant agreements no.785219 and no. 881603 Graphene Flagship forCore2 and Core3. .C. acknowledges financial support from the Barcelona Institute of Science and Techno ogy (BIST), the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixemen de la Generalitat de Catalunya and the European Social Fund (L'FSE inverteix en el teu futu) - FEDER. N.M.R.P. acknowledges support from the Independent Research Fund Denmark (g ant no. 2032-00045B) and the Danish National Research Foundation (Project No. DNRF1 5). 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 prov ded by the Office of Naval Research, Award no. N00014-22-1-2582. F.H.L.K. and S.C. acknowl dge funding from the European Union (ERC, POLARSENSE, 101123421).