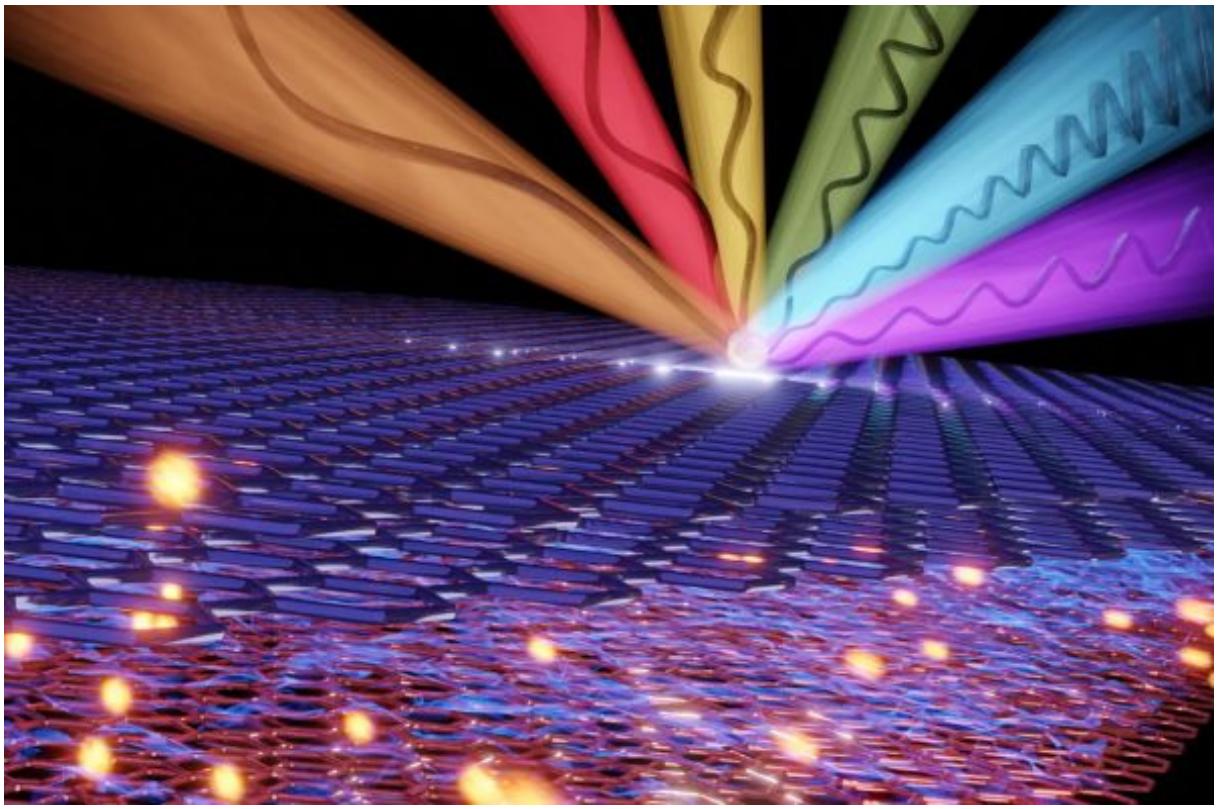


Un equip d'investigadors demostra una millora radical a la foto deteccio de banda ultraampla amb un dispositiu basat en grafe bicapa, doble, i trenat.

Un equip internacional d'investigadors publica a Nature Photonics l'us de grafe bicapa doble i trenat per desenvolupar un detector eficient capac de generar imatges continues en un rang ultra ampli d'espectre de llum.

September 26, 2023

Les imatges hiperespectrals fan servir tot l'espectre de llum per oferir informacio detallada sobre la naturalesa i el comportament que tenen. Aquests coneixements tenen multiples aplicacions en diferents ambits, des de la conduccio autonoma fins a la vigilancia mediambiental, l'atencio sanitaria, l'exploracio espacial o l'agricultura i el processament d'aliments.

L'obtencio d'imatges des de l'infraroig fins al regim de terahercis planteja un desafiament tecnologic, ja que requereix dispositius prou eficients i sensibles a tot el rang de l'espectre.

Fins ara, els unics que compleixen parcialment les expectatives son els conjunts de fotoconductors basats en elements de tel·lurur de mercuri i cadmi. Tot i que aquesta es l tecnologia mes adequada que existeix actualment, la seva eficiencia de rendiment en l deteccio de llum no es de banda ampla, ja que tendeixen a ser absorbents eficients per certes longituds d'ona, pero funcionen pitjor per a altres, i simplement no tenen la capacita de detectar les longituds d'ona de llum mes llargues en el regim dels terahercis, que s'esta convertint cada cop mes rellevants per a la tecnologia

Com comenta Frank Koppens, primer autor de l'estudi, "La torsio de materials bidimensional com el grafe ha revolucionat el camp dels materials quantics, impulsat pel descobriment d la superconductivitat no convencional. Pero recentment tambe hem vist que es un plataforma per a una amplia gamma d'aplicacions, per les propietats uniques i altamen sintonitzables"

En els darrers anys s'ha demostrat que el grafe bicapa (BLG) es un fotodetecto impressionant quan esta polaritzat amb camps electrics externs, encara que a causa de l seva naturalesa 2D, l'absorcio de llum es forca limitada. Curiosament, el BLG es compatibl amb la tecnologia de silici existent, imprescindible per a la seva introduccio al mercat. Tot aixo, la necessitat d'aplicar un camp electric planteja enormes dificultats a l'hora d'ampliar l fabricacio en tres dimensions, cosa que caldria per superar el problema de la baixa absorci de BLG

Un nou dispositiu

Els dispositius de grafe bicapa doble trenat (TDBG), per altra banda, han esdevingut un material unic que pot evitar aquestes restriccions. El TDBG esta fet de dues piles de grafe bicapa girades o tortes en un angle gran (15 graus), que recentment s'ha demostrat que creen el seu propi camp electric intrinsec sense la necessitat d'electrodes addicionals que compliquin la fabricacio en el cas de BLG. Aixo ha obert perspectives de deteccio de banda ampla en un sistema escalable. Pero fins ara encara no s'han provat les capacitats de deteccio de llum del TDBG.

Els **investigadors de l'ICFO Hitesh Agarwal i Krystian Nowakowski**, dirigits per l'investigador postdoctoral **Dr. Roshan Krishna Kumar i el Professor ICREA de l'ICFO Frank Koppens** juntament amb el grup del **Professor ICREA a l'ICFO Adrian Bachtold**, han treballat en col·laboracio amb el grup de **Prof. Giacomo Scalari d'ETH Zurich** i investigadors de la **Universitat de Manchester**, **NIMS** al Japo i **CNRS** a Franca, informen en un estudi publicat a Nature Photonics sobre el desenvolupament d'un nou fotodetector de banda ultraampla TDBG. Aquest detector es capac de detectar llum de forma molt eficient, en un rang espectral que inclou des del teraherci llunya (longitud d'ona de 100 ?m, equivalent a 3 THz) fins a l'infraroig proper (longitud d'ona de 2 ?m o 150 THz) i amb una bona eficiencia continua a tot el rang, sense espais. El fotodetector de banda ultraampla ha demostrat tenir una bona **eficiencia quantica interna**, una millor fotoconductivitat mitjancant el filtratge entre capes i l'

escalabilitat del TDBG, ja que no calen portes per aplicar el camp electric i obtenir la bretxa energetica (bandgap).
Els investigadors van estudiar exhaustivament la fotoresposta del TDBG. Van fabricar multiples dispositius de TDBG i van estudiar-ne la fotoconductivitat, es a dir, com canvia la seva resistencia electrica sota la il·luminacio. Com comenta el primer coautor de l'articl Krystian Nowakowski, i¿½la idea d'aquest experiment va sorgir despres de llegir un estudi on els investigadors havien trobat una petita bretxa energetica electronica al grafe doble bic pa i trenat (TDBG), sense necessitat d'aplicar un camp electric extern, com es el cas per ob ir una bretxa energetica a la pila comuna de grafe bicapa (BLG). La presencia d'una bre xa energetica fa que el grafe bicapa sigui un bon detector de llum, pero la necessitat d'apli ar un camp electric extern es una barrera per a les aplicacions a causa de la complexi at d'ampliar la fabricacio per a aplicacions industrialsi¿½. Despres d'examinar la literatura van veure que ningu no havia provat aixo amb l'anomenat BLG "doble" o DBG. L'equip va decidir centrar tots els esforcos a preparar l'experiment. Com recorda H tesh Agarwal, primer coautor, "fer mostres de TDBG no es pas una tasca trivial. Vam com ncar exfoliant escates de grafe i vam continuar aquest proces fins que vam poder troba una escata de grafe bicapa prou gran. Despres tallem la fulla per la meitat a b un micromanipulador, agafem una de les meitats, la girem 15 graus i l'apilem sobre l'altr per crear una pila TDBG". Posteriorment, els dispositius es van refredar a una temperatura de 4 Kelvin per realitzar mesuraments precisos de la resistencia electrica. Sota la il·luminac o amb llum d'infraroig mitja, els investigadors van veure que la resistencia dis inuia significativament, cosa que va generar la possibilitat d'utilitzar aquests dispositius com a fotodete

Creativitat a la investigacio

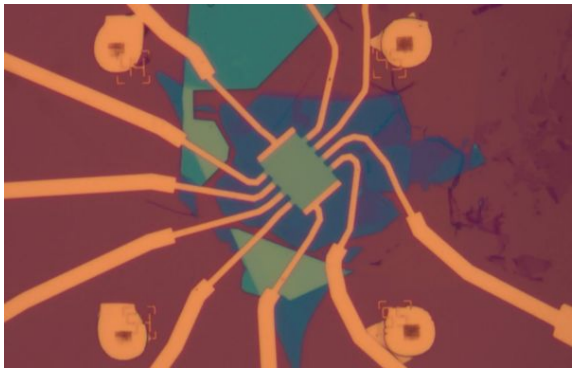
Despres de diversos mesos de treballar intensament a l'experiment i despres del tancament sobtat el 2020, l'equip es va veure obligat a buscar alternatives logistiques i experimentals per poder continuar amb l'estudi, incloent-hi el control remot dels equips per continuar amb els mesuraments durant la pandemia. Amb una actitud enginyosa i inventiva, l'equip va treballar sense parar per configurar l'experiment, mesurar tant com fos possible i recopilar i comprendre el tipus de dades que estaven obtenint i allo que realment significaven. "Un dels grans desafiaments a que ens enfrontem va ser comprendre realment l'origen de la resposta i comparar-la de manera fiable amb tecnologies comercials", recorda Roshan Krishna Kumar. Despues de muchos meses de analizar datos, determinar que habia que medir y por que, aprender a distinguir entre varias hipotesis y proponer nuevas ideas que pudieran facilitar la obtencion de resultados, finalmente lograron cuantificar la Eficiencia Cuantica Interna - indicador de la fraccion de los fotones absorbidos que se convierten en el cambio medido en la corriente electrica, y descubrio que la eficiencia de la mayor parte del rango del espectro era igual o superior al 40%, lo cual es un buen valor y muy prometedor cuando se combina

con el espectro espectral ultra amplio. alcance y escalabilidad de TDBG.
Despres d'analitzar les dades, determinar que calia mesurar i per que aprendre a distingir entre diverses hipotesis i proposar noves idees que poguessin facilitar l'obtencio de resultats, finalment van aconseguir quantificar l'Eficiencia Quantica Interna, l'indicador de la fraccio dels fotons absorbits que es converteixen en el canvi mesurat al corrent electric. L'equip va descobrir que l'eficiencia de la major part del rang de l'espectre era igual o superior al 40%, la qual cosa es un bon valor, i es molt prometedor en combinar-lo amb l'abast espectral ultra ampli i escalabilitat del TDBG..
Els investigadors posteriorment "van centrar-nos a comprendre el mecanisme fisic darrere del senyal mesurat. Despres d'una llarga pluja d'idees amb el Prof. Frank Koppens, vam descobrir que la resposta es deu principalment a l'efecte fotoconductor, on els fotons influeixen en la resistencia creant directament mes parells buits d'electrons, en lloc de l'efecte bolometric en que els fotons escalfen la mostra influint indirectament en la resistencia mitjancant el canvi de temperatura".
Aquest estudi mostra que els metodes i resultats descrits poden servir com a guia i punt de referencia per a altres cientifics que utilitzen la llum per estudiar aquests interessants materials recaragolats. L'explicacio de la millora de la conductivitat mitjancant el cribratge entre capes, el metode per diferenciar entre resposta bolometrica i fotoconductora i la idea proposada d'apilament tridimensional es poden fer servir com a base per a futures investigacions sobre altres materials bidimensionals.

Acknowledgements

We thank D. B. Ruiz, S. Castilla, D. De Fazio, M. Amir Ali, G. Li, A. Berdyugin, M. Polini, V. Mkhitaryan, G. Kumar, and I. Torre for technical discussions. We further thank M. Ceccanti for making the illustration presented in Fig. 1a. H.A., K.N. and R.B. acknowledge funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Marie Sk?odowska-Curie grant agreement no. 665884, 713729 and 847517, respectively. S.B.-P. acknowledges funding from the Presidencia de la Agencia Estatal de Investigacion within the PRE2020-094404 predoctoral fellowship. G.S. and A.F. gratefully acknowledge funding from the ERC grant CHIC (no. 724344), and J. Faist for discussions. A.P. acknowledges support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Marie Sklodowska-Curie grant agreement no. 873028 and from the Leverhulme Trust under grant agreement RPG-2019-363. K.W. and T.T. acknowledge support from the Elemental Strategy Initiative conducted by MEXT Japan with grant no. JPMXP0112101001, JSPS KAKENHI (JP19H05790, JP20H00354 and JP21H05233) and CREST (JPMJCR15F3), JST. R.K.K. acknowledges the EU Horizon 2020 programme under MarieSk?odowska-Curie grants 754510 and 893030 and the FLAG-ERA grant (PhotoTBG, PCI2021-122020-2A), by ICFO, RWTH Aachen and ETHZ/Department of Physics. A.B. acknowledges support from ERC advanced grant no. 692876, MICINN grant no. RTI2018-097953-B-I00 and

PID2021-122813OB-I00, AGAUR (grant no. 2017SGR1664), the Fondo Europeo de Desarrollo, the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness through Quantum CCAA, EUR2022-134050, and CEX2019-000910-S [MCIN/AEI/10.13039/501100011033], MCIN with funding from European Union NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) Plan Complementario d Comunicaciones Cuanticas-, Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Generalitat de Cataluny through CERCA. F.H.L.K. acknowledges support from the ERC TOPONANOP (726001) Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Generalitat de Catalunya (CERCA, AGAUR, SGR 1656 program TWIST), the Government of Spain [PID2019-106875GB-I00; PCI2021-122020-2A PDC2022-133844-I00 (Teracomm); Severo Ochoa CEX2019-000910-S] funded b MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the European Union NextGenerationEU/PRTR Furthermore, the research leading to these results has received funding from the Europea Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no 881603 (Graphene flagship Core3), 820378 (Quantum flagship) and 101034929 (Fastera) This material is based upon work supported by the Air Force Office of Scientific Researc under award number FA8655-23-1-7047. Any opinions, findings, and conclusions o recommendations expressed in this material are those of the author(s) and do not necessaril reflect the views of the United States Air Force



Imatge optica d'una mostra de TDBG amb forma de barra Hall per a un mesurament precis de la resistivitat electrica i la fotoconductivitat.