

Els punts quantics no tòxics obren el camí cap als sensors CMOS infrarojos d'ona curta per a l'electrònica de consum

Un equip d'investigadors de l'[ICFO](#) i [Qury](#) han creat un nou sensor d'imatges de llum infraroja d'ona curta (SWIR) d'alt rendiment utilitzant punts quantics col·loïdals no tòxics. En un article publicat a *Nature Photonics*, els investigadors descriuen un nou mètode per a sintetitzar punts quantics lliures de fòsfor compatibles i integrables amb la tecnologia CMOS (Complementary Metall-Oxide-Semiconductor).

January 03, 2024

Encara que és invisible per als nostres ulls, la llum infraroja d'ona curta (SWIR per les seves sigles en anglès) pot permetre la viabilitat, funcionalitat i rendiment sense precedents de les aplicacions de visió per ordinador per als mercats dels serveis robòtics, de l'automòbil, i de l'electrònica de consum. Els sensors d'imatge sensibles a l'espectre SWIR poden operar

sota condicions adverses com ara la llum del sol brillant, la boira, la boira i el fum. A més, el rang del SWIR proporciona fonts d'il·luminació segura per a l'ull humà i obre la porta a la detecció de les propietats dels materials a través de la imatge molecular

La tecnologia basada en els punts quàntics col·loïdals (CQD per les seves sigles en anglès), ofereix una via tecnològica prometedora per al desenvolupament de sensors d'imatge SWIR. Els CQD, cristalls semiconductors de mida nanomètrica, són una plataforma de solució processada que pot ser integrada amb la tecnologia CMOS i permetre l'accés a l'espectre SWIR. Tot i això, encara hi ha un obstacle per a traslladar l'ús dels punts quàntics sensibles al SWIR a una tecnologia vàlida per a aplicacions orientades al mercat. Els CQD contenen metalls pesants, com ara el plom o el mercuri (semiconductors de calcogenurs IV-VI Pb, Hg). Aquests materials estan subjectes a la Directiva Europea de Restricció de Substàncies Perilloses (RoHS), una normativa que regula el seu ús en aplicacions comercials de productes electrònics de consum.

En un nou estudi publicat en la revista *Nature Photonics*, els investigadors del **ICFO Yongjie Wang, Lucheng Peng i Aditya Malla**, liderats pel professor ICREA a l'ICFO **Gerasimos Konstantatos**, en col·laboració amb els investigadors **Julien Schreier, Yu Bi, Andres Black i Stijn Goosens**, de Quv, una spinoff de l'ICFO, han desenvolupat uns fotodetectors infrarojos d'altres prestacions i un sensor d'imatge de llum infraroja d'ona curta (SWIR) que opera a temperatura ambient basats en l'ús dels punts quàntics col·loïdals no tòxics. El treball publicat descriu un nou mètode per a poder sintetitzar aquests punts quàntics lliures de fosfina i de grandària modulable que preserven les propietats dels punts que si contenen metalls pesants. D'aquesta manera, s'obre el camí a la introducció de la tecnologia basada en els punts quàntics amb capacitat d'operar en el SWIR als mercats de gran volum.

Mentre investigaven com sintetitzar nanocristalls de tel·lur de bismut i plata (AgBiTe) per a augmentar la cobertura espectral de l'arsenur de bismut i sofre (AsBiS_2) per a millorar el comportament dels dispositius fotovoltaics, els investigadors van obtenir un subproducte: el tel·lur de plata (Ag_2Te). Aquest material va mostrar una absorció de confinament quàntic fort i modulable, molt similar a la dels punts quàntics. Els investigadors es van adonar del seu potencial per a desenvolupar fotodetectors i sensors d'imatge SWIR. Van centrar aleshores els seus esforços a obtenir un nou mètode per a sintetitzar una versió sense fosfina de punts quàntics de Ag_2Te , ja que s'ha vist que la fosfina té un impacte negatiu sobre les propietats optoelectròniques dels punts quàntics rellevant per a la capacitat de fotodetecció.

Per al nou mètode de síntesi, l'equip d'investigadors va utilitzar com a precursors del tel·lur diferents compostos lliures de fosfina. Van obtenir així punts quàntics amb una bona distribució de grandària i amb uns pics d'excitació al llarg d'un rang molt ampli de l'espectre. Després de sintetitzar-los i caracteritzar-los, els punts quàntics van mostrar un rendiment notable, amb pics d'excitació distintius per sobre dels 1500 nm, un assoliment sense precedents en comparació amb tècniques anteriors per a la síntesi de punts quàntics basades en la utilització de la fosfina.

Els investigadors van decidir implementar aquests nous punts quantics per a construir un fotodetector (fotodiode) a escala de laboratori sobre un substrat de vidre amb una fina capa de ITO (oxid d'indi i estany) per poder caracteritzar els dispositius desenvolupats i mesurar-ne les seves propietats. Aquests dispositius de laboratori s'operen mitjançant llum que incideix des de la part inferior. Per contra, per als CMOS amb piles de CQD integrades la llum prove de la part superior, en situar-se la part electronica del CMOS a la zona inferior, comenta **Yongjie Wang**, investigador post-doctoral i primer autor de l'estudi. Així que el primer repte que vam haver de superar va ser revertir la configuració de l'entrada de llum del fotosensor, un fet que en teoria sembla simple però que va resultar ser una tasca complexa?

Inicialment, el fotodiode va mostrar un rendiment baix de detecció de la llum SWIR. Això va obligar els investigadors a dur a terme un re-disseny amb la incorporació d'una capa intermedia (buffer) en el cor del dispositiu. Aquest ajust va millorar de forma significativa el rendiment del fotodetector. El fotodiode SWIR resultant presentava un rang espectral que anava dels 350nm als 1600nm, un rang dinàmic lineal que excedia els 118dB, una amplada de banda de -3dB sobrepassant els 110kHz i una capacitat de detecció a temperatura ambient de l'ordre dels 10¹² Jons.

En aquest treball, nosaltres sabem, els fotodiodes que descrivim en aquest treball representen per primera vegada una solució processada i no tòxica de fotodiodes SWIR que exhibeixen uns nombres meritoris similars a les versions desenvolupades amb punts quantics que si que contenen metalls pesants, explica **Gerasimos Konstantatos**, professor ICREA de l'ICFO i coautor de l'estudi. Aquests resultats mostren que els punts quantics de Ag₂Te que hem sintetitzat són un material prometedora que compleix amb la directiva RoHS per a desenvolupar aplicacions de foto detecció de llum SWIR d'alt rendiment i baix cost?

Amb el desenvolupament exitós d'aquest fotodetector basat en punts quantics lliures de metalls pesants, els investigadors van decidir fer un pas més. Van iniciar una col·laboració amb l'empresa Qurv, una spin-off del ICFO, per a demostrar el potencial d'aquests punts quantics i es van embarcar en la construcció d'una prova de concepte d'un sensor d'imatge SWIR. L'equip va integrar el fotodiode construït amb un CMOS basat en un circuit integrat de lectura digital (ROIC) i un conjunt de pla focal (FPA) **Construït per primera vegada un sensor d'imatge SWIR a partir de punts quantics no tòxics capaç d'operar a temperatura ambient.** Els autors del treball van provar la capacitat del sensor d'imatge d'operar en l'espectre SWIR prenent diferents imatges. En concret, van ser capaçs de, per exemple, obtenir imatges del contingut d'una ampolla de plàstic que era opaca sota la llum visible.

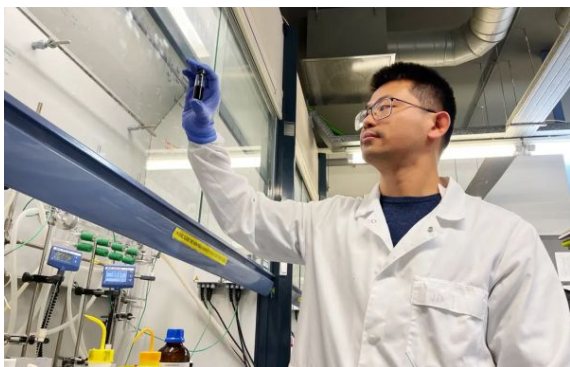
Accedir al SWIR amb una tecnologia de baix cost alliberarà el potencial d'aquest rang de l'espectre per a nombroses aplicacions per a l'electronica de consum, incloent-hi sistemes de visió millorada per a la indústria de l'automobil que permetin la conducció sota condicions climatològiques severes, explica Gerasimos Konstantatos. La banda del SWIR entre les 1.35 μm i les 1.40 μm proporciona una finestra de seguretat als nostres ulls, lliure de llum

e fons en condicions diürnes i nocturnes, permetent la detecció i llum de llarg abast (LiDA), imatges tridimensionals per a aplicacions en el sector de l'automobil, de la realitat augmentada i realitat virtual.

Ara els investigadors volen augmentar el rendiment dels fotodiodes mitjançant l'enginyeria de la pila de capes que componen el dispositiu fotodetector. També volen explorar noves solucions químiques per a la superfície dels punts quàntics AgTe desenvolupats per a millorar-ne el rendiment i l'estabilitat tèrmica i ambiental del material en el seu camí cap al mercat.

Acknowledgements

G.K. acknowledges financial support from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement no. 101002306), the Fundació Joan Ribas Araquistain (FJRA), the Fundació Privada Cellex, the program CERCA and 'Severo Ochoa' Centre of Excellence CEX2019-000910-S funded by the Spanish State Research Agency. Y.W. acknowledges support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement no. 754558. L.P. acknowledges support from the Horizon Europe Framework Programme, the Marie Skłodowska-Curie Postdoctoral Fellowships (grant agreement no. 101052595). S.G. acknowledges support from the Horizon-EIC action under the grant agreement no. 101113088-QSTACK. We would like to thank Y. Ren and D. Mandal for their help during the metal electrodes deposition and T. Khodkov for supplying the diced chips for the imager.



L'investigador de l'ICFO, Yingjie Wang, sostenint una mostra de punts quàntics lliures de metalls pesants sintetitzats. ©ICFO



Enllac a l'article