

Los puntos cuánticos no tóxicos abren el camino hacia los sensores CMOS infrarrojos de onda corta para la electrónica de consumo

Un equipo de investigadores del ICFO y de Qurv han creado un nuevo sensor de imágenes de luz infrarroja de onda corta (SWIR por sus siglas en inglés) de alto rendimiento utilizando puntos cuánticos coloidales no tóxicos. En un artículo publicado en *Nature Photonics*, los investigadores han descrito un nuevo método para sintetizar puntos cuánticos libres de fosfina compatibles e integrables con la tecnología CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor).

January 03, 2024

Aunque es invisible a nuestros ojos, la luz infrarroja de onda corta (o SWIR, por sus siglas en inglés) puede permitir una viabilidad, funcionalidad y rendimiento sin precedentes de las aplicaciones de visión por computador de alto volumen para los mercados de la robótica de

servicio, la automoción, y la electrónica de consumo. Los sensores de imagen con sensibilidad en el espectro SWIR pueden operar bajo condiciones adversas como en situaciones con luz del sol muy brillante, en situaciones de niebla, bruma o incluso humo. Además, el rango SWIR proporciona fuentes de iluminación segura para el ojo humano y da lugar a poder detectar las propiedades de los materiales a través de la imagen molecular. La tecnología basada en los puntos cuánticos coloidales (CQD por sus siglas en inglés), ofrece una vía tecnológica prometedora para el desarrollo de sensores de imagen SWIR. Los CQD, cristales semiconductores de tamaño nanométrico, son una plataforma de solución procesada que puede ser integrada con la tecnología CMOS y permitir el acceso al espectro SWIR. Sin embargo, llevar el uso de los puntos cuánticos sensibles al SWIR a una tecnología válida para aplicaciones orientadas al mercado tiene sus obstáculos, ya que a menudo estos CQD contienen metales pesados, como el plomo o el mercurio (semiconductores de calcogenuros IV-VI Pb, Hg). Estos de materiales están sujetos a la Directiva Europea de Restricción de Sustancias Peligrosas (RoHS), una normativa que regula su uso en aplicaciones comerciales de productos electrónicos de consumo.

En un nuevo estudio publicado en la revista *Nature Photonics*, los investigadores del ICFO **Yongjie Wang, Lucheng Peng y Aditya Malla**, liderados por el profesor ICREA del ICFO **Gerasimos Konstantatos**, en colaboración con los investigadores **Julien Schreier, Yu Bi, Andres Black y Stijn Goosens**, de *Qurv*, una spinoff del ICFO, han desarrollado unos fotodetectores infrarrojos de altas prestaciones y un sensor de imagen de luz infrarroja de onda corta (SWIR) que opera a temperatura ambiente y están basados en el uso de los puntos cuánticos coloidales no tóxicos. El trabajo publicado describe un nuevo método para poder sintetizar estos puntos cuánticos libres de fosfina y de tamaño modulable, que preservan las propiedades de los puntos que si contienen metales pesados. De esta forma, se abre el camino a la introducción de la tecnología basada en los puntos cuánticos capaz de operar en el rango del SWIR en los mercados de gran volumen.

Mientras estaban investigando cómo sintetizar nanocristales de telururo de bismuto y plata (AgBiTe_2) para aumentar la cobertura espectral del arseniuro de bismuto y azufre (AsBiS_2) para mejorar el comportamiento de los dispositivos fotovoltaicos, los investigadores obtuvieron un subproducto: el Ag_2Te . Este material mostró una absorción de confinamiento cuántico fuerte y modulable, similar a la de los puntos cuánticos. Los investigadores se dieron cuenta de su potencial para desarrollar fotodetectores y sensores de imagen SWIR, y centraron entonces sus esfuerzos en obtener un nuevo método para sintetizar una versión sin fosfina de puntos cuánticos de telururo de plata, ya que se ha visto que la fosfina tiene un impacto negativo sobre las propiedades optoelectrónicas de los puntos cuánticos relevante para la fotodetección.

Como parte de su nuevo método de síntesis, el equipo de investigadores utilizó diferentes compuestos libres de fosfina como precursores de la plata y el telurio. Obtuvieron puntos cuánticos con una buena distribución por tamaño y unos picos de excitación a lo largo de un

rango muy amplio del espectro de luz. Después de sintetizarlos y caracterizarlos, los puntos cuánticos mostraron un rendimiento notable, con picos excitónicos distintivos por encima de los 1500 nm, un logro sin precedentes en comparación con técnicas anteriores para la síntesis de puntos cuánticos basadas en la fosfina.

Los investigadores decidieron entonces implementar estos nuevos puntos cuánticos para fabricar un fotodetector (fotodiodo), a escala de laboratorio, sobre un sustrato de vidrio con una fina capa de ITO (óxido de indio y estaño) para caracterizar el dispositivo construido y medir sus propiedades. ¿Estos dispositivos de laboratorio se operan mediante luz que incide desde la parte inferior. Para los CMOS formados por capas apiladas de puntos cuánticos, la luz se aplica de forma cenital, al ubicarse la parte electrónica del CMOS en la zona inferior. ¿, comenta **Yongjie Wang**, investigador postdoctoral y primer autor del estudio. ¿Así que el primer reto que tuvimos que superar fue revertir la configuración de la entrada de luz del fotosensor, algo que en teoría parece simple pero que resultó ser una tarea compleja?

. Inicialmente, el fotodiodo mostró un rendimiento bajo de detección de luz SWIR. Esto obligó a los investigadores a llevar a cabo un rediseño que incluyó la incorporación de una capa intermedia (buffer) en el corazón del dispositivo. Este ajuste mejoró significativamente el rendimiento del fotodetector. El fotodiodo SWIR resultante presentaba un rango espectral que iba de los 350nm a los 1600nm, un rango dinámico lineal que excedía los 118dB, un ancho de banda a de -3dB sobrepasando los 110kHz y una capacidad de detección a temperatura ambiente del orden de los 10^{12} Jones

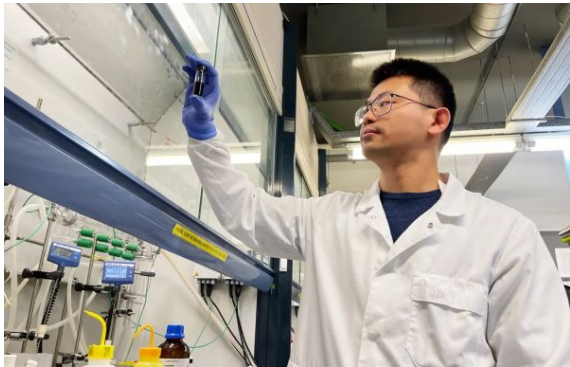
. ¿Hasta donde nosotros sabemos, los fotodiodos descritos en este trabajo representan por primera vez una solución procesada y no tóxica de fotodiodos SWIR que exhiben unos factores de mérito similares a las versiones desarrolladas con puntos cuánticos que contienen metales pesados. ¿, explica **Gerasimos Konstantatos**, profesor ICREA del ICFO y coautor del estudio. ¿Estos resultados muestran que los puntos cuánticos de Ag₂Te que hemos sintetizado son un material prometedor que cumple con la directiva RoHS para desarrollar aplicaciones de fotodetección de luz SWIR de alto rendimiento y bajo costo. ¿. Con el desarrollo exitoso de este fotodetector basado en puntos cuánticos libres de metales pesados, los investigadores dieron un paso más en su trabajo. Iniciaron una colaboración con la empresa Qurv, una spin-off del ICFO, para demostrar su potencial y se embarcaron en la construcción de una prueba de concepto de un sensor de imagen SWIR construido con puntos cuánticos no tóxicos y capaz de operar a temperatura ambiente. El equipo integró el fotodiodo construido con un CMOS sobre un circuito integrado de lectura digital (ROIC) y un conjunto de plano focal (FPA) construyendo por primera vez la **prueba de concepto de un sensor de imagen SWIR basado en puntos cuánticos no tóxicos capaces de operar a temperatura ambiente**. Los autores del trabajo probaron la capacidad del sensor de imagen de poder operar en el espectro SWIR tomando diferentes imágenes. En concreto, fueron capaces de obtener imágenes del contenido de una botella de plástico que era opaca bajo la

luz visible, como uno de los posibles ejemplos realizados.

Acceder al SWIR con una tecnología de bajo coste para la electrónica de consumo significa utilizar el potencial de este rango del espectro para numerosas aplicaciones, incluyendo sistemas de visión mejorada para la industria de la automoción que permitan la conducción bajo condiciones climatológicas severas, explica Gerasimos Konstantatos. La banda del SWIR entre las 1.35 μm y las 1.40 μm proporciona una ventana de seguridad para nuestros ojos, libre de luz de fondo en condiciones diurnas y nocturnas, permitiendo a detección y alcance de luz de largo alcance (LiDAR), imágenes tridimensionales para aplicaciones en el sector del automóvil, de la realidad aumentada y realidad virtual. Ahora los investigadores desean aumentar el rendimiento de los fotodiodos mediante el diseño y la modificación del conjunto de capas que componen el dispositivo fotodetectado. También quieren explorar nuevas superficies químicas para los puntos cuánticos AgTe que permitan mejorar el rendimiento y la estabilidad térmica y ambiental del material en su camino hacia el mercado.

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. 10113088-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.



El investigador del ICFO, Yingjie Wang, sosteniendo una muestra de puntos cuánticos libres de metales pesados sintetizados. ©ICFO



[Enlace al video](#)