

Image not found

Puntos cuanticos de InSb/InP respetuosos con el medio ambiente para fotodetectores SWIR rapidos y sensibles

Investigadores del ICFO han desarrollado un nuevo metodo para sintetizar puntos cuanticos coloidales (CQDs) de InSb/InP estables en condiciones ambientales. Tal y como describen en un nuevo articulo publicado en la revista ACS Nano, los investigadores han empleado estos puntos cuanticos sin arsenico en la fabricacion de un sensor de luz infrarroja de onda corta (SWIR) de alta velocidad y muy sensible. Esta nueva estrategia amplia la posibilidad de fabricar dispositivos optoelectronicos basados en CQDs respetuosos con el medio ambiente que cumplan con las regulaciones actuales que limitan su uso en aplicaciones comerciales.

February 05, 2024

Aplicaciones como el LIDAR, las imagenes 3D para dispositivos moviles, coches autonomos, la realidad aumentada y virtual o la vision nocturna para labores de vigilancia, se basan en el desarrollo de fotodetectores de luz infrarroja de onda corta (SWIR). Estos dispositivos son capaces de ver en la region del espectro luminico que es invisible al ojo humano, ya que operan en la ventana espectral de 1-2 μm

La industria de los sensores de luz SWIR ha estado dominada durante anos por la tecnologia epitaxial, basada principalmente en dispositivos fabricados con arseniuro de indio y gali (InGaAs). Sin embargo, varios factores, como los altos costes de produccion, una fabricacio dificil de producir a gran-escala y la incompatibilidad con la tecnologia CMOS, han limitad la solucion epitaxial a sectores de mercado muy especificos, como el militar

Por el contrario, el potencial de los fotodetectores SWIR fabricados a partir de punto cuanticos coloidales (CQDs), materiales semiconductores nanometricos, ha despertado u gran interes en los ultimos anos debido a unas caracteristicas que los hacen muy atractivos como el bajo coste de produccion y la compatibilidad con la arquitectura CMOS, entre otras Si bien estos CQDs estan emergiendo como una tecnologia capaz de competir con lo dispositivos basados en InGaAs, es importante aclarar que los fotodetectores SWIR actuale

basados en CQDs contienen Componentes tales como calcogenuros de plomo (Pb) mercurio (Hg). Ambos elementos estan sujetos a la directiva europea de restriccion d sustancias peligrosas (RoHS por sus siglas en ingles), que regula su uso en aplicacione comerciales

Como consecuencia de este marco regulatorio, existe una necesidad urgente de desarrolla sensores de luz SWIR basados en CQDs libres de metales pesados y respetuosos con e medio ambiente

Los CQDs hechos con antimoniuro de indio (InSb) tienen un gran potencial para ser utilizado en el desarrollo de dispositivos de alto rendimiento y mucha estabilidad. Además, cumple con la directiva RoHS y permiten el acceso a toda la gama del SWIR gracias a la band prohibida (bandgap) inherente del InSb. Sin embargo, su síntesis ha planteado hasta ahor numerosos problemas debido a la naturaleza fuertemente covalente del InSb y a la falta d precursores quimicos altamente reactivos. Además, estudios previos han demostrado qu los CQDs de InSb son inestables cuando se exponen al aire debido a la fuerte propension de Sb a oxidarse

En un nuevo estudio publicado en la revista **ACS Nano**, los investigadores del **ICFO Lucheng Peng, Yongjie Wang, Yurong Ren, Zhuoran Wang**, dirigidos por el **profesor ICREA del ICFO, Gerasimos Konstantatos**, en colaboracion con **Pengfei Cao, del Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy with Electrons**, describen un nuevo metodo para sintetizar CQDs de InSb libres de arsenico, capaces de acceder al rango SWIR. El trabajo incluye el diseno de una estructura de cobertura de InSb/InP de los puntos cuanticos sintetizados y su utilizacion en la fabricacion de un fotodetector SWIR de alta sensibilidad y respuesta rapida. En el nuevo estudio, los investigadores han desarrollado un nuevo proceso para sintetizar puntos cuanticos de InSb de tamaño uniforme con un amplio espectro y alta calidad mediante el uso de precursores quimicos comerciales, superando asi algunos de los obstaculos encontrados en trabajos anteriores, como son un proceso de síntesis complejo y la dificultad de obtener una superficie libre de defectos.

Los autores del trabajo adoptaron el enfoque de "fuente unica", utilizando un proceso e inyeccion continua de precursores, en lugar de la opcion de "inyeccion en caliente". Esta estrategia fue clave para obtener CQDs de InSb con una distribucion de tamaño op ima y controlada y una absorcion en un periodo muy amplio del espectro (900 nm a 1750 nm). Al mismo tiempo, y al utilizar un abanico de temperaturas de reaccion que iba de los 22 °C a los 250 °C, pudieron controlar bien las posiciones de los puntos dentro de la fina pelicula obtenida mediante la solucion procesada. **La capacidad de poder sintonizar estos puntos desde el infrarrojo cercano al infrarrojo de onda corta, es decir, de los 900 nm a los 1750 nm, es la mayor obtenida hasta el momento para CQDs de InSb** ", escribieron los investigadores.

El equipo de científicos observo las muestras de CQDs procesadas con la tecnica de microscopia electronica de transmision (TEM) y confirmaron que los puntos obtenidos tenían un tamaño promedio de 2,4 nm, 3,0 nm, 3,5 nm, 5,8 nm y 7,0 nm, un hecho que permitia la

absorción de diferentes longitudes de onda. Los investigadores también caracterizaron la superficie de los CQDs de InSb, ya que se sabe que es un elemento crucial que define las propiedades optoelectrónicas del material.

También utilizaron la espectroscopia de fotoelectrones de rayos X para investigar los estados de oxidación del Sb asociados a los enlaces colgantes (dangling bonds) de Sb no pasivos de la superficie. Mediante este análisis confirmaron la formación de óxido de Sb sobre la superficie desprotegida.

Por esta razón, la siguiente fase de la investigación se centró en el desarrollo de una estrategia de pasivación para cubrir los CQDs de InSb obtenidos con una capa que evitara su oxidación. Se trató la superficie de CQDs con tricloruro de indio (InCl₃). Se protegieron los enlaces colgantes de la superficie de Sb reduciendo al mismo tiempo los defectos de la capa y mejorando la estabilidad coloidal de los CQDs para los siguientes pasos del proceso de purificación.

Los investigadores hicieron crecer a continuación unas finas capas protectoras de fosfuro de indio (InP) sobre los CQDs de InSb. Para generar estas capas de cobertura, utilizaron como precursores el oleato de indio y la fosfina de sililamida. Con ello, tal y como mostro el análisis del espectro de fotoluminiscencia, se obtuvo también un desplazamiento hacia el rojo del espectro de absorción de los CQDs sintetizados.

La estructura que hemos desarrollado de núcleo-capa de InSb/InP significa hacer crecer otro material (en este caso, InP) sobre la superficie del primer material (en este caso, InSb). En comparación con el InSb, el InP es un material con un band-gap más amplio que puede pasivar las trampas de la superficie del InSb que son perjudiciales para el desarrollo de dispositivos optoelectrónicos. Además, el Sb es bastante sensible al oxígeno, por lo que la estructura núcleo-capa desarrollada mejora la estabilidad del material bajo condiciones ambientales evitando su oxidación. explica Lucheng Peng, investigador del ICFO y primer autor del estudio.

Fabricación de fotodetectores más rápidos y sensibles

Una vez finalizada esta primera fase, los investigadores decidieron utilizar los CQDs de InSb/InP para fabricar un fotodetector SWIR de alta velocidad y baja temperatura.

El dispositivo fotodetector estaba formado por la superposición de varias capas, una encima de otra: una base de óxido de indio y estano (ITO), una capa para la transferencia de electrones (ETL) hecha de dióxido de titanio (TiO₂), la capa delgada que contiene los CQDs de InSb/InP y finalmente una capa superior de oro.

El objetivo de los autores del trabajo era obtener un fotodetector con una respuesta temporal rápida para utilizarlo en aplicaciones que vayan más allá de la velocidad de fotogramas de video, por lo que utilizaron el TiO₂ como ETL por su estabilidad fotoquímica.

A continuación, se procedió a medir la respuesta del sensor de luz fabricado. Tal y como explican los autores en el artículo, el fotodetector "**demuestra una características notables**

que incluyen un amplio rango dinámico lineal que supera los 128 dB, una eficiencia cuántica externa (EQE) máxima del 25% a 1240 nm (y del 12% a 1420 nm), un tiempo de fotorespuesta rápido de 70 ns, y una detectividad específica de hasta $4,4 \times 10^{11}$ Jones?

. Como se pudo comprobar, el dispositivo resultó ser altamente resistente a las condiciones atmosféricas sin utilizar ningún tipo de encapsulación. Después de dos meses de exposición ambiental, el fotodetector mantuvo sus propiedades. Después de 90 horas funcionando al aire libre, se verificó la estabilidad del dispositivo.

. **Hasta ahora, este es el mejor fotodetector SWIR basado en CQDs procesados en solución hechos con InSb considerando tanto su rendimiento como su estabilidad, con unas cifras de mérito que pueden permitir el futuro desarrollo de sensores de luz de alta velocidad para aplicaciones de visión artificial, la tecnología de gated imaging y de detección 3D**", explica Gerasimos Konstantatos, profesor ICREA del ICFO.

Este trabajo no solo muestra el enorme potencial de los CQDs de InSb como material libre de metales pesados que puede ser utilizado en fotodetectores SWIR, sino que también abre la puerta a futuros desarrollos en InSb coloidal utilizando métodos químicos húmedos para la fabricación de dispositivos electrónicos u optoelectrónicos de alto rendimiento, concluye Konstantatos.

. El equipo ahora está trabajando en cómo reducir aún más la corriente oscura y aumentar la eficiencia cuántica de los fotosensores basados en CQDs. Para ello, se centran principalmente en mejorar la movilidad de los portadores de carga en las películas delgadas que contienen los CQDs. Lograr esto les permitirá aumentar la velocidad de respuesta del sensor de luz, con el objetivo de ir más allá de los 10 ns para que la tecnología pueda usarse en i-ToF (tiempo de vuelo indirecto), útil para las aplicaciones LIDAR y de imágenes 3D.

Artículo original

Peng, L., Wang, Y., Yurong, R., Wan, Z., Cao, P., Konstantatos, P. (2023) [InSb/InP core-shell colloidal quantum dots for sensitive and fast short wave infrared photodetectors](https://doi.org/10.1021/acsnano.3c12007). ACS Nano. Doi: <https://doi.org/10.1021/acsnano.3c12007>

Acknowledgements (ingles)

Results incorporated in this work have received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement No. 101002306) and by the European Union (2DNeuralvision, 101119489). Views and opinions expressed are, however, those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them. We also acknowledge financial support from the Fundacio Joan Ribas Araquistain (FJRA), the Fundacio Privada Cellex, the program CERCA, and Severo Ochoa Centre of Excellence CEX2019-000910-S funded by the Spanish State Research Agency. L.P. acknowledges

ges support from the Horizon Europe Framework Programme, the Marie Skłodowska-Curie Action-MSCA-Postdoctoral Fellowships 2021 grant agreement no.101052595. L.P. thanks Dr. Katerina Nikolaidou for help with PLQY calculation and Zhuoyu Li for technical support in drawing the schemat

Image not found

Lucheng Peng in the lab holding a solution of quantum dots

Image not found

TEM image of the InSb/InP core-shell quantum dots showing narrow size distribution

Image not found

Lucheng Peng in the lab holding a photodetector