

DISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CAPAS DE RECUBRIMIENTO (Al)GaAs(Sb)(N) EN SISTEMAS DE PUNTOS CUÁNTICOS InAs SOBRE SUSTRATOS GAAS PARA CELDAS SOLARES DE BANDA INTERMEDIA DE ALTA EFICIENCIA

Ben. T., Ruiz. N., Braza. V., Reyes. D. F., González. D.

Equipo de investigación Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

El suministro energético se ha convertido en uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad ya que los recursos convencionales como los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), que cubrieron la mayor parte de la demanda de energía en el pasado, son ahora recursos limitados o los principales causantes del llamado efecto invernadero. El Consejo de Ministros remitió a las Cortes en mayo de 2020 el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética. En él se plantean como gran reto que en 2030 el sistema eléctrico cuente con un 70% de generación a partir de energías renovables y mejorar la eficiencia energética. Este objetivo es verdaderamente ambicioso, pero deja patente que se están dando grandes pasos para poner en valor y disparar el desarrollo de un sector empresarial energético sostenible y eficiente, lo que, unido a la investigación en la generación de energía más eficiente, es clave para una solución energética mundial técnica y económicamente viable. En este sentido, las tecnologías solares fotovoltaicas serán decisivas en la transición hacia medios de producción de energía más eficientes, seguros y respetuosos con el medio ambiente, por ello se plantea que lleguen en el 2050 a suponer más del 20% dentro de sector energético.

Los avances en investigación de dispositivos optoelectrónicos con materiales semiconductores a nivel mundial han

sido clave para su abaratamiento en las telecomunicaciones. Sin embargo, queda camino por recorrer en dispositivos que cubran la producción de energía sostenible. En la actualidad existe un gran interés en las llamadas celdas solares (SCs) de 3ª generación, potencialmente capaces de superar el límite de Shockley-Queisser del 31-41% de eficiencia energética. Una de las rutas principales de investigación es fabricar celdas solares de banda intermedia (IBSC) con una sola capa de material semiconductor donde se logra la formación de un segundo material con un ancho de banda prohibido inferior. Con este tipo de células sería posible lograr la promoción directa de electrones entre las bandas de conducción (BC) y de valencia (BV) tanto por la incidencia de un único fotón de alta energía como a través de la banda intermedia mediante saltos consecutivos de dos fotones de baja energía, sin la consecuente pérdida del voltaje original del semiconductor matriz. Hasta el momento el único principio operativo que se ha podido demostrar ha sido mediante la inserción de capas apiladas de puntos cuánticos (en inglés quantum dot, QD), donde las funciones de onda de los mismos se solapan y los niveles energéticos de los estados confinados actúan como banda intermedia. La predicción para la eficiencia teórica de las IBSC ideal se aproxima al 63% en el caso de usar dispositivos concentradores para la captación de la radiación solar, lo cual es bastante mayor que el 43% alcanzado por SCs simples. El

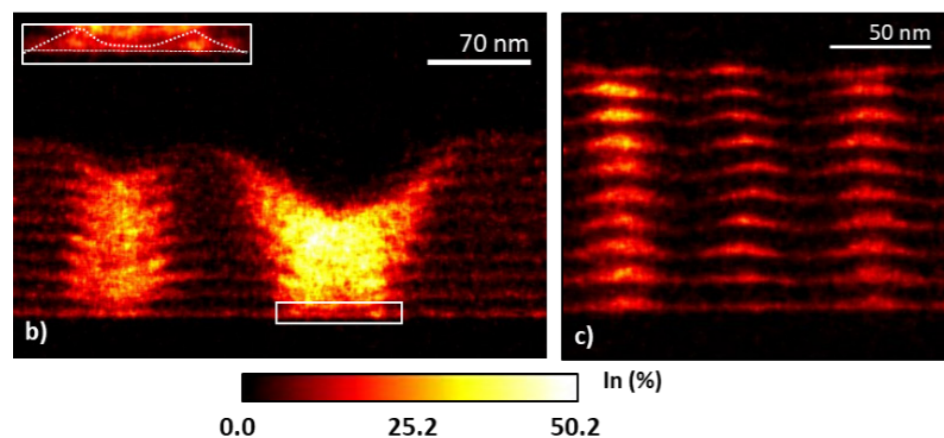


Figura 1. Mapas de EDX de la distribución de In en capas acopladas de puntos de InAs. Se observan aglomerados cuando acoplamos recubriendo con GaAs (a), y formación acoplada correcta cuando recubrimos con GaAsSb (b), demostrándose el efecto positivo de incluir Sb en la CL.

“las tecnologías solares fotovoltaicas serán decisivas en la transición hacia medios de producción de energía más eficientes, seguros y respetuosos con el medio ambiente”

uso de concentradores (con factores de concentración de entre 20 y 5000 unidades) podría permitir un precio competitivo para la electricidad de origen fotovoltaico pese al mayor coste de los materiales semiconductores requeridos.

Las limitaciones para el óptimo diseño se deben a la falta de materiales y nanoestructuras con las propiedades y alineamientos de bandas requeridos. Se requiere además una distribución homogénea de pequeños QDs en la región activa de la célula. Para obtener un correcto nivel de captación se necesita además una densidad de área de QD muy superior a los 1010 cm² de una típica capa simple de InAs sobre sustrato GaAs. Por ello es necesario recurrir a la formación de capas apiladas cuyo acople se logra solo tras un correcto recubrimiento y separación de los QD con aleaciones y dis-

tancias específicas. Entre las más recientes propuestas para el óptimo diseño de este tipo de células está la de partir de capas apiladas de QDs de InAs enterrados bajo capas de recubrimiento (CL) del sistema GaAs(Sb)(N) por su capacidad de modular las bandas de energía y el estado tensional de la estructura a partir del control de la composición de las especies. Se han propuesto también CL de GaAsSb/AlAs para minimizar la captura de portadores fuera de los QD. Sin embargo, el recubrimiento con estas complejas aleaciones puede conllevar fenómenos de segregación, separación de fases o formación de aglomerados (Fig.1).

Dentro de la línea de investigación “Ingeniería de aleaciones semiconductoras GaAsSbN para aplicaciones en celdas solares y fotodetectores de alto rendimiento” desarrollado por miembros del grupo de investigación Ciencia e Ingeniería de los Materiales, y en colaboración con investigadores del Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología de la Universidad Politécnica de Madrid, se ha desarrollado el análisis de QDs acoplados y no acoplados con recubrimientos tipo GaAs(Sb) y capas simples recubiertas con AlAs (Fig.2). Se ha logrado una importante comprensión de los mecanismos que afectan al crecimiento durante el recubrimiento y todo ello se ha correlacionado con las propiedades funcionales resultantes. Se han aplicado también de forma óptima metodologías estadísticas basadas en la interdependencia de los QDs de AlAs/InAs con la capa de mojado (WL) para la cuantificación de la distribución de In/Al en el sistema completo. Por último y como paso previo a la formación de CL de (Al)GaAs(Sb)(N), se ha empleado una metodología específica para la determinación de la distribución del N en capas con simultánea deposición de Sb y N. En general, el trabajo ha cubierto la completa caracterización estructural y de composición mediante un conjunto de diferentes técnicas de formación de imágenes mediante microscopía electrónica (DCTEM, HREM, ADF, HAADF...) junto con técnicas analíticas tales como las espectroscopías EDX, XRD y EEL, todas utilizadas para conocer las condiciones que puedan optimizar la eficiencia de IBSC.

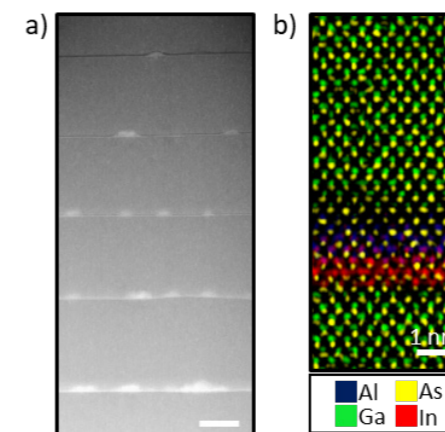


Figura 2. Imagen de microscopía electrónica de barrido transmisión en campo oscuro (ADF) de 5 capas de puntos de InAs separadas por capas de GaAs y recubiertas con GaAs (capa inferior) ó 1, 2, 3 y 5 monocapas de AlAs (capas superiores respectivamente). El contraste de la CL entre los puntos varía desde más brillante (CL de GaAs) hasta más oscuro (5 ML de CL de AlAs) con respecto al GaAs. b) Mapa EDX para la cuantificación química con resolución atómica de los componentes en una zona de la WL entre QDs recubiertos con 3 MLs de AlAs.



La Dra. Teresa Ben Fernández es Licenciada en Física por la Universidad de Sevilla, se doctoró en 2006 en la Universidad de Cádiz con una Tesis Doctoral que recibió en 2007 el Premio a la Mejor Tesis en Ciencia de los Materiales que concede la Sociedad Española de Microscopía. Desempeñó la labor de personal técnico en la puesta en marcha y el uso avanzado de la estación Focused Ion Beam (FIB) del Instituto IMEYMAT y en 2011, recibió la beca “José Castillejo” para trabajar con el grupo STEM en el LPS (Francia). Desde 2017 es Profesora Titular de Universidad.