

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN COMPOSICIONAL EN PUNTOS CUÁNTICOS DE INASBI/GAAS PARA TELECOMUNICACIONES MEDIANTE FIBRA ÓPTICA

D. F. Reyes, S. Flores, T. Ben, V. Braza y D. González.

Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz

Las nanoestructuras de puntos cuánticos (QD) semiconductores han despertado un gran interés debido a sus múltiples aplicaciones en muchos campos, como las telecomunicaciones o la fotovoltaica. Su estructura cero-dimensional las hace prometedoras debido a una densidad de estados muy estrecha, una mayor localización de portadores, un aumento de las energías de unión de los excitones y una mayor fuerza de oscilación. Concretamente, el uso de QDs de InAs autoensamblados crecidos sobre GaAs (001) por el modo Stransky-Krastanov como parte de la región activa en dispositivos emisores como las fuentes monofotónicas o los diodos láser, presenta ventajas en comparación con otras nanoestructuras ya que su relación de aspecto optimizada puede proporcionar un confinamiento más profundo de los portadores de carga, corrientes umbral más bajas, así como una mayor insensibilidad a la temperatura.

Durante décadas, se han realizado importantes esfuerzos para ampliar la longitud de onda de emisión en heteroestructuras basadas en GaAs para fabricar dispositivos que operen en las ventanas de absorción más bajas de las fibras ópticas usadas en telecomunicaciones. En este sentido, la

aleación de Bi podría lograr una emisión fotónica a longitudes de onda más largas debido a su elevada reducción de la banda prohibida (hasta 55 meV/% de Bi en InAs). Además, la aleación de Bi produce un incremento considerable de la energía de desdoblamiento de espín-órbita en la banda de valencia, lo que ofrece un gran potencial para mejorar tanto el rendimiento del láser como la estabilidad térmica en el régimen de alta temperatura al reducir la recombinación Auger. Esto confirma el interés de alea los QDs con Bi para su implementación en dispositivos de longitud de onda cercana al infrarrojo.

Sin embargo, el crecimiento de las aleaciones III-V-Bi es siempre complicado por la baja eficiencia de la incorporación de Bi, lo que lleva muchas veces a la formación de gotas de Bi metálico y/o fracciones de composición bajas. En general, se han necesitado temperaturas de crecimiento muy por debajo de 400 °C para producir capas con fracciones de Bi relativamente altas. Hasta la fecha, el crecimiento a unos 400 °C sin gotas de Bi es posible, pero sólo utilizando condiciones casi estequiométricas o cambiando las condiciones de flujo de As₂ por As₄ como constituyente de sobrepresión de As. Sin embargo, los

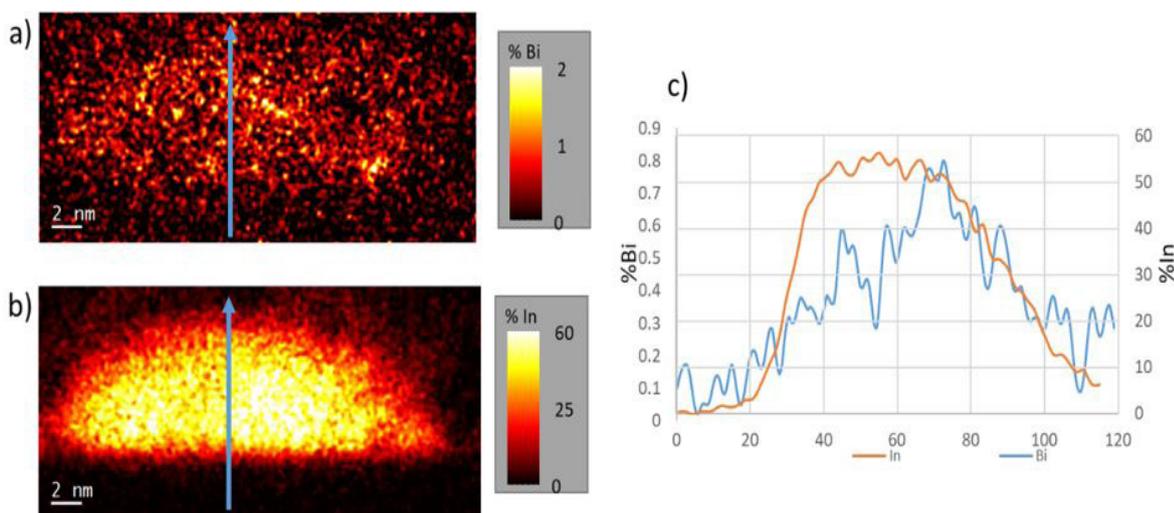


Figura 1. Mapas de composición de Bi (a) y In (b) de un QD de una de las muestras de baja temperatura. c), perfil realizado en la dirección de crecimiento a través del punto donde se aprecia que el Bi tiende a acumularse dentro del punto en la parte superior. Nótese la presencia de pequeñas acumulaciones de Bi en la imagen a). La flecha azul representa donde se ha realizado el perfil y la dirección de crecimiento.

En este proyecto, exploramos la influencia de un flujo de Bi durante la deposición de InAs para formar QDs a dos temperaturas de crecimiento y bajo diferentes condiciones de flujo de Bi.

QDs de InAs sin dislocaciones requieren temperaturas de crecimiento de alrededor de 500 °C para mejorar la longitud de difusión de los adátomos en la superficie.

En este proyecto, exploramos la influencia de un flujo de Bi durante la deposición de InAs para formar QDs a dos temperaturas de crecimiento y bajo diferentes condiciones de flujo de Bi. La primera temperatura seleccionada (510 °C) se encuentra en el intervalo de temperaturas estándar para la formación de QDs sobre sustratos de GaAs (001) y la segunda (380 °C) se encuentra en el intervalo de bajas temperaturas utilizadas para el crecimiento de aleaciones III V Bi.

Se ha llevado a cabo una completa caracterización tanto estructural como composicional de los QDs. En primer lugar, a partir de las imágenes de microscopía convencional se determinó la ausencia de QDs en la muestra sin Bi crecida a baja temperatura, sí estando estos presentes en las demás muestras. En todos los casos se observó que el aumento del flujo de Bi produce un aumento del tamaño de los QDs. Centrándonos en la morfología de los QDs, observamos que los puntos crecidos a baja temperatura presentan una mayor relación de aspecto, siendo estos por tanto más esbeltos que los crecidos a alta temperatura. En segundo lugar, el análisis composicional, mediante energía dispersiva de rayos X (ver Figura 1), reveló que no se ha

incorporado Bi en las muestras de alta temperatura o que su incorporación está por debajo de los límites de detección. Sin embargo, el panorama cambia en las muestras de baja temperatura, en la que se observa una incorporación heterogénea de Bi superior en algunos casos al 2%. No obstante, mientras que las muestras crecidas a alta temperatura se encuentran libres de defectos, la incorporación de Bi ha producido un gran número de dislocaciones. El análisis de deformaciones llevado a cabo en los puntos ha demostrado que estos estaban plásticamente relajados, encontrándose una red de dislocaciones de desajuste en su interior. En general, el trabajo realizado ha permitido una completa caracterización, tanto estructural como composicional, lo que ha permitido un mejor entendimiento de las propiedades ópticas de dichos puntos. No obstante, es necesario la optimización del crecimiento para conseguir una incorporación homogénea de Bi en los puntos y una reducción del número de defectos.

Los resultados obtenidos fruto del presente proyecto han sido presentados en varios congresos científicos de carácter nacional e internacional. Además, estos resultados forman parte de la tesis que está realizando la doctoranda Sara Flores Gallegos y actualmente se está a la espera de la aceptación de un artículo en una revista de alto impacto (Applied Surface Science).



El Dr. Daniel Fernández de los Reyes se licenció en Física por la Universidad de Córdoba (2009). Posteriormente realizó un Máster en Ciencias y Tecnología Química (2011) y obtuvo el título de doctor (2014) en la Universidad de Cádiz, obteniendo el premio de doctorado en 2017. Desde 2018 es Profesor Ayudante Doctor en el grupo de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. A lo largo de estos años, se ha centrado en la caracterización de materiales mediante técnicas de microscopía electrónica de transmisión, utilizando tanto microscopios convencionales como de última generación con doble aberración corregida. Especialmente, su investigación está enfocada en el estudio de las propiedades estructurales de nanoestructuras basadas en semiconductores III-V con N, Bi, Sb y/o Al, para dispositivos optoelectrónicos y fotovoltaicos, así como en materiales basados en diamante para dispositivos de potencia.