

Obtención y caracterización de estructuras de AlGaAs/GaAs crecida por epitaxia desde fase líquida

E. Purón; L. Hernández y S. de Roux.
Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica,
Universidad de La Habana

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio de las propiedades estructurales y eléctricas del sistema p-Al_xGa_{1-x}-p GaAs-n GaAs obtenido por el método de epitaxia desde fase líquida. Por topografía de rayos X se estudia la superficie de las muestras, y utilizando la técnica de doble cristal, se analiza el comportamiento del Aluminio en la capa-ventana de las estructuras crecidas.

ABSTRACT

A study of the structural and electric properties of p-Al_xGa_{1-x}-p GaAs-n GaAs grown by liquid phase epitaxy are described. Topography and double crystal X-Ray techniques were employed in order to evaluate the Al composition in the window-epilayer.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos décadas la epitaxia desde fase líquida (LPE) ha demostrado ser la tecnología más eficiente para la fabricación masiva de dispositivos optoelectrónicos basados en los compuestos III-V y sus solu-

ciones [1], bien sean diodos electroluminiscentes, celdas solares o láser de inyección. También la técnica LPE se utiliza para fabricar dispositivos tales como osciladores GUNN, diodos IMPATT y transistores de efecto de campo (FET).

La técnica de crecimiento LPE se realiza a temperaturas inferiores al punto de fusión del sólido, resolviendo así problemas que surgen en el crecimiento desde fundidos a altas temperaturas. La composición del solvente y soluto incorporados a la capa crecida está determinado por el diagrama de fase del sistema, quien también delimita el rango de temperatura en el que pueda ocurrir el crecimiento.

De los materiales III-V, el más utilizado es el GaAs y sus soluciones sólidas AlGaAs. En el presente trabajo se realiza un estudio de las cualidades estructurales y eléctricas del sistema $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}$ obtenido mediante la técnica LPE. Estas estructuras pueden ser utilizadas en celdas solares [2,3] fundamentalmente y en diodos electroluminiscentes infrarrojos de estructura simple [4].

PROCESO DE OBTENCIÓN

La estructura se obtiene en un equipo convencional de LPE con un bote de pistón [5] que permite el crecimiento de capas epitaxiales a partir de cuatro sustratos a la vez. Sobre un sustrato de GaAs dopado con Sn con concentración $n \sim 1,0 - 1,8 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ se deposita una capa epitaxial de GaAs, también con concentración de Sn, $n \sim 1,5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, conocida como capa buffer. En esta capa se difunde posteriormente la llamada zona activa del dispositivo o zona de recombinación, por lo cual requiere una alta perfección cristalina. El espesor de la misma es de 15 - 20 μm .

Con la misma tecnología, en proceso independiente a 870 °C se comienza la deposición de la capa de (AlGa)As tipo p, y conjuntamente la creación de la juntura p-n en la capa buffer de GaAs. Esta se forma a partir de un fundido saturado, previamente calculado, compuesto de Al, Ga, As y Zn. En la medida que crece la capa (AlGa)As, la cual tiene función de ventana óptica en la celda solar, se va difundiendo el Zn en el sustrato de GaAs. Todo este proceso se lleva a cabo en atmósfera de hidrógeno. La temperatura final del crecimiento es 700 °C. La estructura así obtenida se muestra en la Figura 1.

Los espesores obtenidos de la capa p-GaAs varían entre 1 - 2 μm , con una frontera regular bien definida, mientras los espesores de la capa $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ varían en torno a 25 μm . El fundido saturado fue calculado para obtener una estructura con el valor alrededor de $x = 0,0$ que de acuerdo con la literatura [6] es la composición en torno a la cual la variación del contenido de Al es muy pequeña en la medida que el espesor

de la capa epitaxial (AlGa)As se incrementa. Sobre la superficie de las estructuras obtenidas se deposita una capa de óxido nativo por método electrolítico con voltaje máximo de 60V, con el fin de proteger el AlGaAs de la acción del medio y crear una capa antirreflectante en la superficie libre del dispositivo.

CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}$

DISCUSIÓN

Para caracterizar eléctricamente las juntas se evaporaron contactos de Au-Zn sobre la capa p-AlGaAs y Au-Ge sobre la capa n-GaAs, siendo posteriormente tratadas térmicamente a 450 °C. En la Figura 2 se muestra una característica I-V en oscuridad, evidenciando un alto voltaje de ruptura y una magnífica calidad de la junta. Esto evita las corrientes de fuga y produce altos voltajes de circuito abierto en las celdas solares. De estos resultados se infiere la conveniencia de crecer la capa buffer para construir en ella la junta.

También se realizaron mediciones de DLTS para determinar la concentración de niveles profundos en la banda prohibida del GaAs originados por el crecimiento. En todas las muestras no se encontraron niveles con concentraciones mayores al límite de sensibilidad mínima del instrumento, a saber, 10^{12} cm^{-3} , coincidente con los mejores resultados obtenidos por las técnicas de LPE.

Para analizar las características morfológicas de las muestras se realizaron mediciones de topografía de rayos X, que permiten detectar imperfecciones o defectos mayores de $2 \mu\text{m}$. En la Figura 3 se reportan las fotos con aumento 120X de las superficies de dos muestras del mismo crecimiento. Una de ellas, la Figura 3a, muestra una superficie casi perfecta, en tanto la otra, la superficie está llena de defectos. Esto es consecuencia de las características propias del bote de pistón que permite el crecimiento a partir de cuatro sustratos a la vez. El primer sustrato en contacto con la solución debe ayudar a equilibrar ésta, pues siempre hay diferencia entre la temperatura del sustrato y del fundido. Por otra parte, sobre el último sustrato cae el fundido final con la mayor cantidad de impurezas y residuos siendo éste uno de los defectos principales del bote de pistón con muchas obleas donde todas no se mojan a la vez. En cambio los sustratos intermedios se encuentran en el centro del bote y el proceso de crecimiento en ellos se realiza más cerca de las condiciones ideales. Estas consideraciones son corroboradas por los resultados obtenidos: las Figuras 3a y 3b que corresponden a la muestra crecida sobre un sustrato intermedio y sobre el sustrato final respectivamente. La topografía fue realizada con la capa de óxido depositada sobre la superficie, evidenciando que los defectos estructurales repiten dicha capa de óxido.

El crecer capas ventanas gruesas de AlGaAs tiene la ventaja de disminuir la resistencia en serie de las celdas solares que deben trabajar bajo alta concentración [2]. Sin embargo, es importante que la composición de Al no disminuya mucho con el espesor. De ahí la importancia de mantener esta composición con poca variación cuando aumenta el espesor de esta capa ventana. El comportamiento típico del Al con el espesor se muestra en [7]. Mientras menor es el valor de x , el umbral de absorción se desplaza hacia mayores longitudes de onda del espectro solar y como consecuencia disminuye la eficiencia de la celda solar.

A través de mediciones de rayos X con la técnica del doble cristal se determinó la composición de Al y su variación con el espesor. El monocromador utilizado fue el típico para el GaAs, es decir, $\text{Cu } \langle \alpha_1 \rangle$ (36 KV, 25 mA.) Las reflexiones fueron observadas en la dirección $\langle 400 \rangle$ teniendo el sustrato de GaAs la dirección $\langle 100 \rangle$. El haz de rayos X siempre incidió sobre la misma región de la muestra.

La Figura 5 muestra un conjunto de cuatro espectros que asocian a los espesores diversos de la capa epitaxial de AlGaAs. Para la Figura 4a el espectro fue hecho después de eliminada la capa de óxido superficial mediante un ataque instantáneo de $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (5:1:1) reduciendo su espesor en $6 \mu\text{m}$ (Figuras 4-6). Dos ataques ulteriores con $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$ (1:10) disminuyeron en aproximadamente $10 \mu\text{m}$ de espesor en cada oportunidad (Figuras 4c, 4d).

De los espectros de la Figura 5 se observa que la distancia angular entre los picos se mantiene constante, independiente de los ataques realizados. El valor de composición de aluminio calculado fue $x = 0,59$. El primer espectro obtenido después de eliminado el óxido, posee un ensanchamiento mayor del máximo asociado a la capa epitaxial (47°). En el resto de los casos el ensanchamiento se mantiene constante e igual a 39° . Estos valores son cinco veces mayores que los reportados teóricamente (8°), siendo la causa fundamental de ensanchamiento un pequeño gradiente de composición de Al, que por demás no es crítico ya que las variaciones significativas en la x producen pequeñas variaciones del parámetro reticular en el $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, muy cercano a su vez al valor del GaAs. En los primeros estratos de la capa epitaxial, en los más alejados de la juntura, el gradiente de composición es mayor como era de esperar.

CONCLUSIONES

Las estructuras obtenidas $\text{p-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As/p-GaAs/n-GaAs}$ por la técnica de LPE muestran una alta perfección en sus características eléctricas y estructurales. La formación de la juntura p-n en la capa buffer es casi perfecta evitando las fugas de corriente y proporcionando un valor alto en voltaje en circuito abierto. Durante el proceso de crecimiento no se crean niveles profundos en la banda prohibida del GaAs en concentraciones mayores

de 10^{12} cm^{-3} , evidenciado por las mediciones de DLTS, en concordancia con los mejores resultados obtenidos por LPE.

La topografía de rayos X muestra que la superficie de las muestras obtenidas, a partir de los sustratos que se encuentran en posiciones intermedias del bote de pistón, son excelentes. Sin embargo, las muestras crecidas en las posiciones exteriores presentan una deficiente calidad morfológica de las superficies.

A través de mediciones de rayos X, utilizando la técnica de doble cristal, se demostró que en las estructuras crecidas, la composición de Al a lo largo del espesor de la capa epitaxial de AlGaAs se mantiene constante, facilitando de este modo una mayor recolección de los fotoportadores en la juntura.

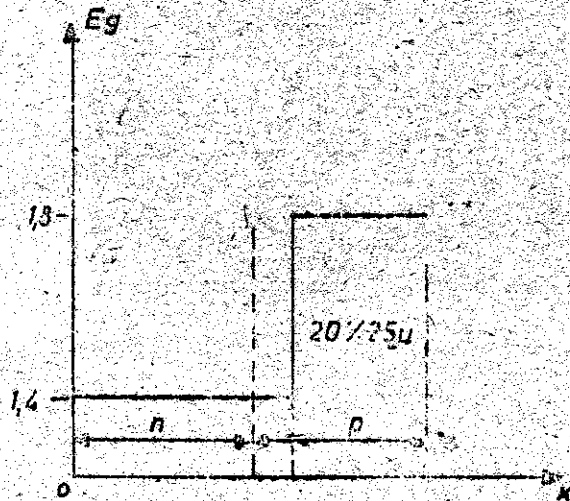
AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración del Instituto MASPEC de Italia, en especial del Dr. C. Bocchi y del Dr. P. Fransosi.

$P_{Al} 0.7 \text{ Ga}_{0.3} \text{As} : \text{Zn} (\sim 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3})$	$\sim 20 \times 25 \mu$
$p \text{ GaAs} : \text{Zn} (\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3})$	$\sim 1-2 \mu$
$n \text{ GaAs} : \text{Sn} (\sim 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3})$	$> 15 \mu$

SUSTRATO

(a)

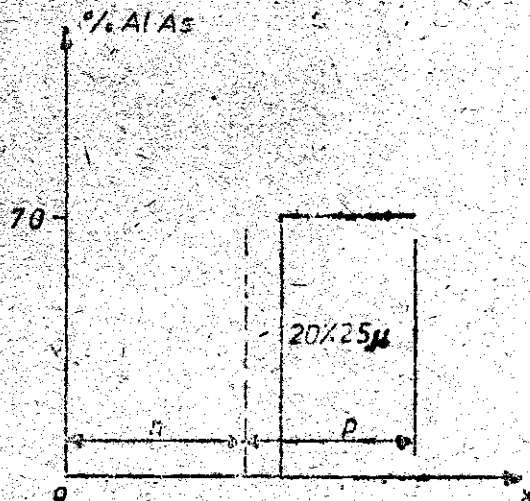


(a)

(a) Estructura obtenida.

(b) Variación de E_g con el espesor.

(c) Variación del % de AlAs con el espesor de la capa.



(c)

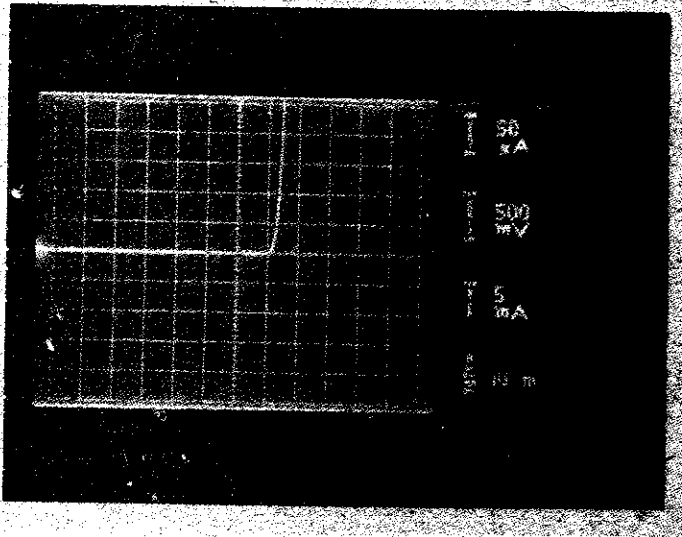


Figura 2. Característica IV en oscuridad
 diodo Au-Zn/p-Al_xGa_{1-x}As-pGaAs-n
 GaAs/au-Ge

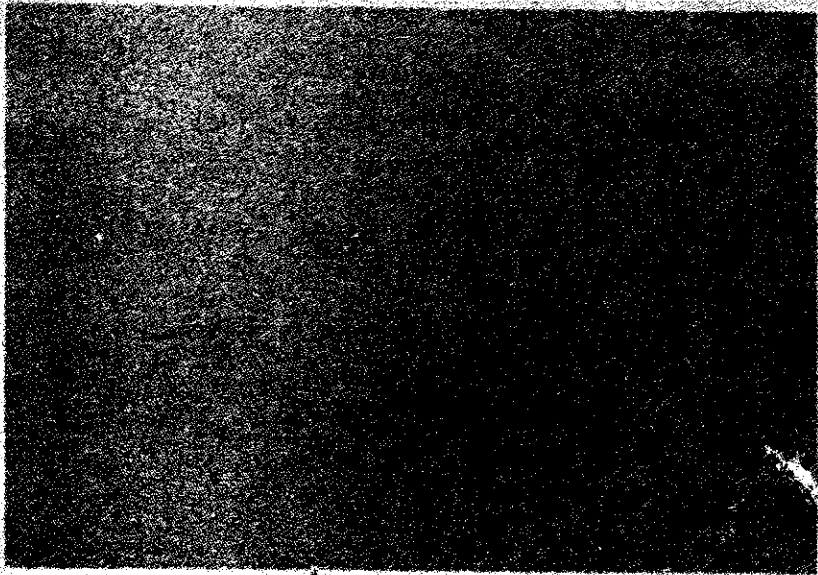


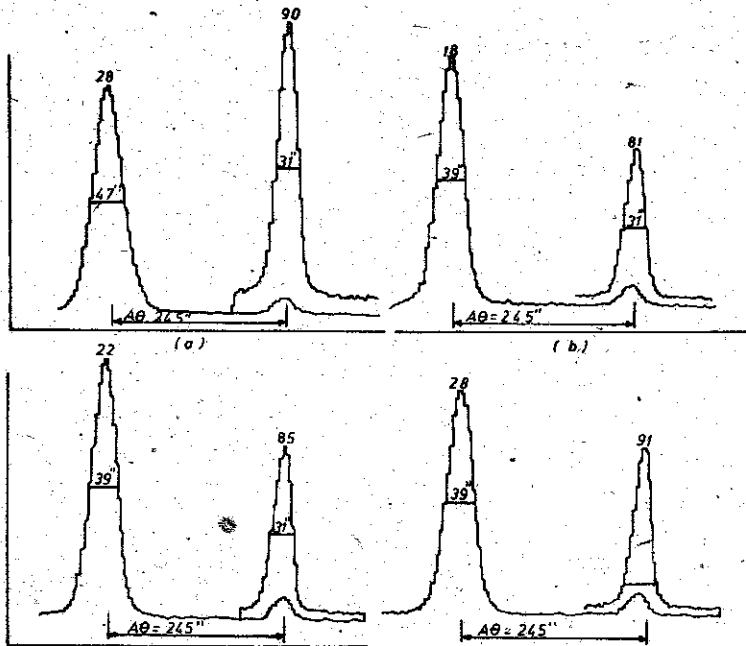
Figura 3.

a)



Figura 3. b)

Fotos de la superficie de dos muestras del mismo crecimiento obtenidas por Topografía de Rayos-X



(c) ESPECTRO DE RAYOS X (Doble cristal) (d)
 a) ELIMINADA LA CAPA DE ÓXIDO c) DESPUÉS DE 16 μm
 b) DESPUÉS DE REDUCIR LA CAPA DE AlGaAs EN 6 μm d) DESPUÉS DE 26 μm

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hsich, J.J. (1981)
Handbook on Semiconductors, Liquid Phase Epitaxy, Vol. 3, Cap. 6,
North Holland.
- [2] Díaz, P.; L. Hernández; J.A. Rodríguez y R. Romero (1982)
Crystal Res. & Technol., 17, 1025-1030, RDA.
- [3] Hernández, L.; T.A. Prutskij; E. Purón y R. Romero (1983)
Rev. Cubana de Física, 2.
- [4] Purón, E.; E. Vigil; J.A. Rodríguez; S. de Roux y B. González (1986)
Física y Tecnología de Semiconductores, Vol. 2, No. 3, México.
- [5] Alferov, Zh. I.; V.M. Andreev; S.G. Konnikov y V.R. Larionov (1976)
Krist und Technik, Vol. 8, 1013.
- [6] Prutskij, T.; E. Purón; J.A. Rodríguez; R. Romero y S. de Roux (1981)
Rev. Cubana de Física, 2.
- [7] Eliujin, V.A.; C.U. Karpov; E.L. Portnoi y D.N. Treatiakov (1978)
Pisma v Zh. T. F., Vol. 11, No. 4.

Recibido: 11 de julio de 1989