

## REDUCCION DE LA CONCENTRACION DE ELECTRONES EN InGaAs CECIDO POR LPE POR ADICION DE TIERRAS RARAS AL FUNDIDO

A. Iribarren, IMRE, Universidad de La Habana.  
V.G. Gruz dov, A.T. Gorelenok, I.F.T. A.F. Ioffe, Leningrado.

### RESUMEN

Se presenta la reducción de la concentración de electrones en capas de InGaAs crecidas por epitaxia desde la fase líquida (LPE) con adición de tierras raras en el fundido de crecimiento y cortos tiempos de precalentamiento. Se obtiene la expresión matemática que se ajusta al comportamiento de los puntos experimentales.

### ABSTRACT

The electron concentration reduction in LPE grown InGaAs layers with rare-earth addition in the growth melts and short baking times is presented. An expression which adjusts to the data behaviour is obtained.

### INTRODUCCIÓN

Las soluciones sólidas de  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  acopladas reticularmente con el InP son materiales imprescindibles para la obtención de dispositivos optoelectrónicos que trabajan en el rango de longitudes de onda entre 0,95 y 1,67  $\mu\text{m}$ . Las estructuras de ellas obtenidas requieren, para la fabricación de fotodiodos, capas que posean alta pureza, o sea, bajas concentraciones de impurezas que redundan en zona de carga espacial ancha,

capacidades bajas y bajo ruido, lo que es significativamente importante en los fotodiodos de avalancha (APD) [1], de manera que en régimen de trabajo, el dispositivo tenga ruptura de avalancha y no Zener. Para que esto ocurra, se requiere que la concentración de impurezas donoras sea menor que  $6 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  en el  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ , que  $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  en el InP y con valores intermedios entre los señalados según la composición del  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  [2]. Para disminuir la concentración de impurezas en las capas epitaxiales de estos compuestos, que normalmente es de alrededor de  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , se ha utilizado además de materiales de partida de alta pureza y un entorno de trabajo limpio, el precalentamiento de los fundidos durante períodos de tiempo del orden de decenas de horas [3, 4, 5]. Otro método también empleado para ello es la adición de tierras raras en los fundidos [6].

En el presente trabajo se muestran resultados obtenidos en la reducción de la concentración de impurezas en capas de InGaAs por adición al fundido de crecimiento de tierras raras como Ho, Gd y Dy.

#### TECNICA EXPERIMENTAL

Se utilizó la técnica convencional de LPE para el crecimiento de las capas de compuestos del sistema In-Ga-As-P. Los crecimientos se realizaron en un bote de corredera de grafito manipulado con varillas de molibdeno dentro de un reactor de cuarzo por el que pasa hidrógeno puro. El reactor se encuentra dentro de un horno controlado que posee una zona isotérmica, de manera que a lo largo del bote la temperatura sea la misma. Para el crecimiento se sitúa en el bote un fundido de In solo, cuya función es eliminar las capas del sustrato dañadas por el calentamiento, luego un fundido de In+InP para la capa buffer y a continuación el fundido del ternario de In+InAs+GaAs.

Previo a los crecimientos se prepararon y homogenizaron los fundidos mediante su calentamiento a temperatura algo superior a la del proceso. En este precalentamiento que fue de dos horas se excluye el fundido de In solo [5] y no se coloca el sustrato. A los fundidos sólo se les agregó como impureza la tierra rara.

Los sustratos fueron de InP tipo n con orientación (100).

#### EMPLEO DE LAS TIERRAS RARAS Y RESULTADOS

El empleo de las tierras raras como impurezas en los fundidos para reducir la concentración residual de donores en las capas crecidas se ha reportado en compuestos III-V del sistema In-Ga-As-P [6]. Este fenómeno se explica por el hecho que las tierras raras forman compuestos químicos con los elementos del grupo VI en el fundido, evitando la captura de

estos compuestos por la fase sólida [7, 8, 9]. En este trabajo se presenta el crecimiento de capas de InGaAs a partir de fundidos con adición de Ho, Gd y Dy. Los tiempos de precalentamiento de los fundidos fueron de 2 h. Las mediciones de concentración de portadores se realizaron por el método de C-V con punta de Hg, escogiendo las capas con buena morfología superficial. En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos en capas de InGaAs crecidas a partir de fundidos con adición de Ho. Es de notar que gráficamente se aprecia la tendencia a disminuir la concentración de portadores con el aumento de la cantidad de Ho. Asumiendo una expresión exponencial, por el método de mínimos cuadrados se obtiene:

$$n = 1,15 \cdot 10^{17} \cdot \exp [-7724 \cdot X^Z] \quad (1)$$

donde  $X^Z$  es la concentración de Ho en el fundido en fracciones atómicas y  $n$  la concentración de electrones en  $\text{cm}^{-3}$ .

En la Figura 2 se agregan a los datos correspondientes a la adición de Ho, los de Gd y Dy, observándose que los puntos están en el entorno de los primeros, aunque al aplicar mínimos cuadrados a todo el grupo de valores, la expresión queda:

$$n = 8,9 \cdot 10^{16} \cdot \exp [-7665 \cdot X^Z] \quad (2)$$

De los gráficos y las condiciones del proceso se infiere que con cortos períodos de precalentamiento y el empleo de cantidades adecuadas de tierras raras en los fundidos puede reducirse la concentración de portadores hasta en dos órdenes, o sea,  $n \sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  para  $X^Z \sim 0,05$  / at de Gd en el fundido. La cantidad de tierra rara se asume que no afecta la capa crecida, pues no se incorpora a ella, sino que sólo actúa sobre el fundido, formando compuestos químicos con las impurezas residuales del grupo VI, especialmente con el S [9], de ahí que puedan obtenerse capas puras de InGaAs sin necesidad de largos precalentamientos [3, 4, 5].

## CONCLUSIONES

Se crecieron capas de InGaAs agregando tierras raras a los fundidos, lo que condujo a una reducción significativa de la concentración de electrones de hasta dos órdenes. La obtención de tales resultados indica que no son necesarios largos precalentamientos si se agregan cantidades adecuadas de tierras raras a los fundidos.

## REFERENCIAS

1. FORREST, S.R. (1981): IEEE J. Quantum Electron, QE-17, 217.
2. TAKANASHI, Y. et al. (1980): Japan J. Appl Phys., 9, 693.
3. COOK, L.W. et al. (1982): J. Cryst. Growth, 56, 475.
4. PEARSALL, T.P. (1980): IEEE J. Quantum Electron, QE-16, 709.

5. CHAND, N. et al. (1981): Electron. Letters, 17, 726.
6. BAGRAEV, N.T. et al. (1984): Fiz.i Tejn. Poluprovodn, 18, 83.
7. BESPALOV, V.A. et al. (1987): Sd. Kratk. Soobshch. Fiz. A.N. SSSR, Fiz. Inst. P.N. Lebedeva, 9, 32.
8. KORBER, W. et al. (1986): J. Cryst. Growth, 79 (1-3), pt. 2, 741.
9. GORELENOK, A.T. et al. (1988): Fiz.i Tejn. Poluprovodn, 22, 35.

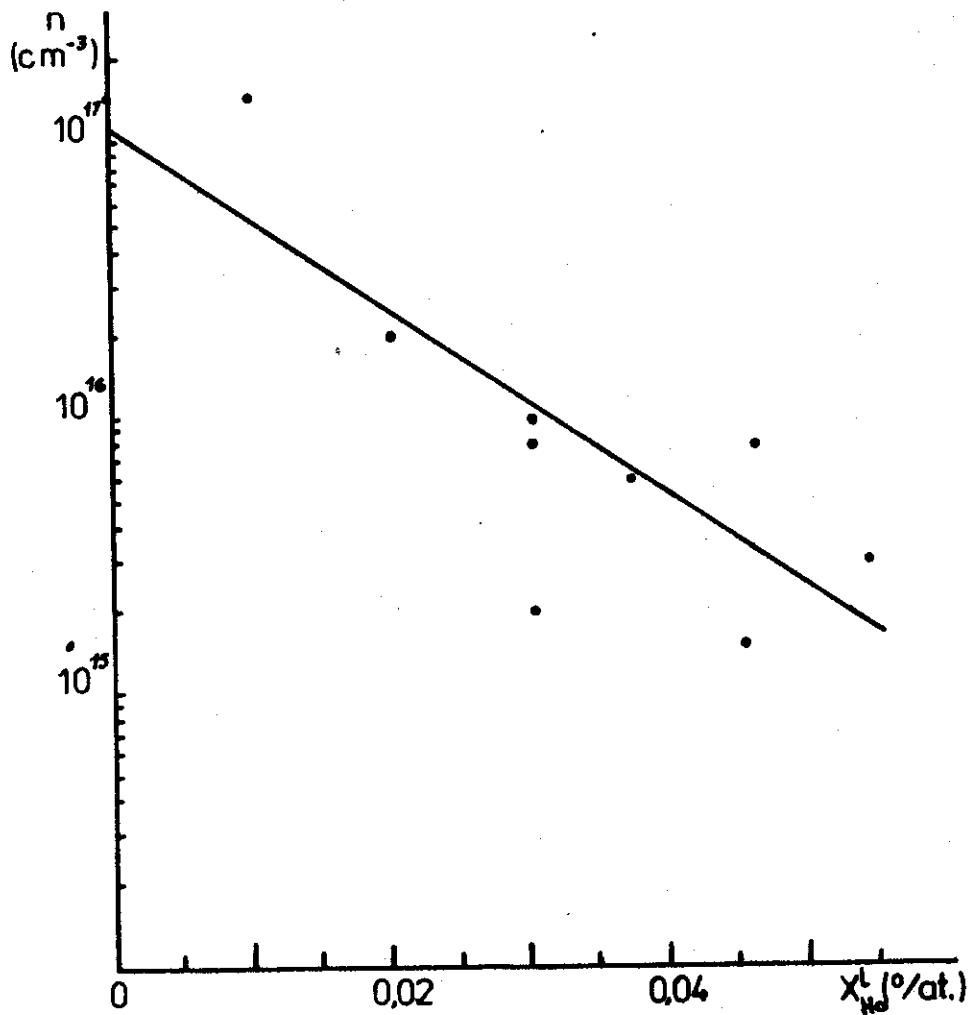


Figura 1. Dependencia de la concentración de portadores en capas de InGaAs con la concentración de Ho en el fundido.

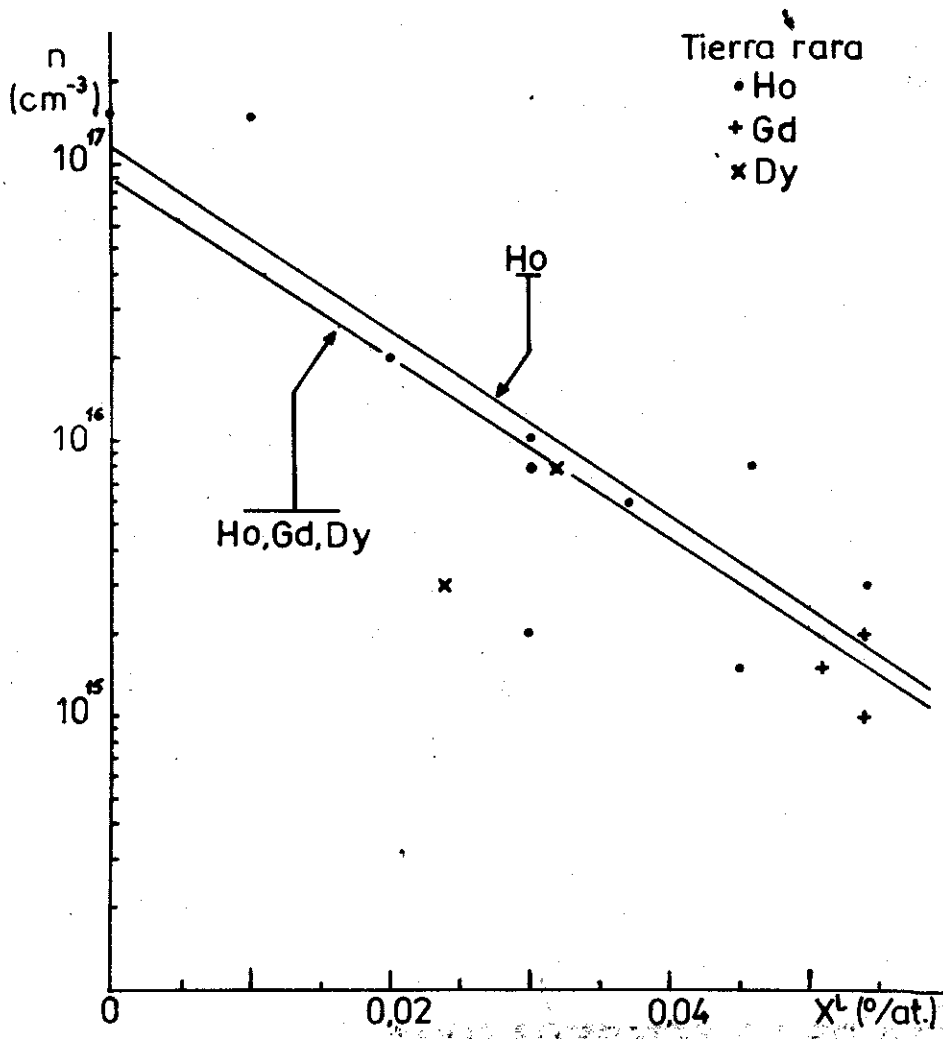


Figura 2. Dependencia de la concentración de portadores en capas de InGaAs con la concentración de tierras raras (Ho, Gd y Dy) en el fundido.