

## FABRICACIÓN Y ESTUDIO DE CELDAS SOLARES DE Ga - Al - As QUE NO EMPLEAN ORO.

L. Hernández, T.A. Prutskij, E. Purón, R. Romero

Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido. (LIEES)

Universidad de La Habana

### RESUMEN

Se describe la fabricación de celdas solares de GaAlAs-GaAs de ventana ancha por la técnica de epitaxia desde la fase líquida. Las celdas se caracterizan por el empleo de contactos metálicos que no contienen oro.

Las heteroestructuras crecidas poseen buenas propiedades ópticas y eléctricas. No obstante, los dispositivos

elaborados presentan una elevada resistencia en serie. Esto se debe al empleo de un tratamiento térmico imperfecto.

#### ABSTRACT

This paper concerns the manufacture of thick window GaAlAs-GaAs solar cells by liquid phase epitaxy. The solar cells have electrical contacts which do not contain gold.

The heterostructures described in this article shows good optical and electrical properties. Nevertheless, the solar cells has a high series resistance. This is due to an imperfect contact anneal.

#### INTRODUCCIÓN

Una de las formas más perspectivas de aprovechar la energía solar es la conversión de la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico /1/. Los dispositivos fotovoltaicos se fabrican de materiales semiconductores, en particular de GaAs.

Es objeto de intenso estudio el fotoelemento que emplea la heterojuntura GaAlAs - GaAs /2/. Las mayores eficiencias de conversión reportadas corresponden a estos dispositivos. A la temperatura ambiente los valores de

eficiencia bajo luz concentrada son superiores al 24% /3,4/. También, la estabilidad térmica de las propiedades eléctricas de la celda solar de GaAlAs - GaAs es superior a la estabilidad de los parámetros semejantes en fotoelementos hechos de otros semiconductores /5/.

El empleo de luz concentrada incrementa la potencia generada por unidad de área de la celda solar y reduce el costo de la electricidad fotogenerada hasta el nivel de la energía eléctrica obtenida por otros fotoelementos, por ejemplo, Si. Un problema que limita la aplicación masiva de los dispositivos de GaAlAs - GaAs es su elevado costo de fabricación. Una fuente de reducción del costo de la celda es la sustitución del oro evaporado como componente de los contactos metálicos. En este trabajo se elaboran dispositivos que prescinden del empleo de oro. Se estudia su respuesta espectral y la característica volt - ampérica iluminada a la temperatura ambiente y superiores a la ambiente.

#### FABRICACIÓN DE LA CELDA SOLAR

Las heteroestructuras se crecen por el método de crecimiento epitaxial desde la fase líquida con enfriamiento forzado. La sección transversal del fotoelemento se muestra en la figura 1. Sobre el sustrato de nGaAs ( $N_D = 2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) (100) se crea una capa de pGaAlAs de

10 - 18  $\mu\text{m}$  de espesor. Posteriormente - a partir de un fundido de Ga enriquecido con Zn - ocurre la formación de la capa difundida de pGaAs de 0,5 - 1,5  $\mu\text{m}$  de profundidad.

Los contactos eléctricos se fabrican con ayuda de la deposición electrolítica de Ni en canales de 3  $\mu\text{m}$  de profundidad abiertos en la ventana epitaxial. Seguidamente, se funde In sobre la capa de Ni y se somete la muestra a un tratamiento térmico de 420 C durante 3 minutos. Los dispositivos resultantes son de 4 mm de diámetro. La rejilla de contactos que se emplea ocupa el 18% del área activa del fotoelemento.

La respuesta espectral de las celdas fue medida en el intervalo de longitudes de onda de 0,45 - 0,93  $\mu\text{m}$ . La sensibilidad de la respuesta espectral aparece en la figura 2. El borde de altas frecuencias de la respuesta espectral establece que la composición de Al en la superficie de la ventana de  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  es de alrededor de  $x = 0,65$ .

Las características volt - ampéricas iluminadas fueron medidas bajo una lámpara de halógeno con filamento de tungsteno. La temperatura de medición es en todos los casos de 300 K. Las curvas volt - ampéricas bajo distintos niveles de iluminación, así como también la curva volt - ampérica oscura, se presentan en la figura 3.

En la figura 4 se ilustra la dependencia de la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) del voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Como es característico para dispositivos de GaAlAs-GaAs, el gráfico  $\ln I_{sc}$  vs.  $V_{oc}$  presenta dos segmentos exponenciales.

Los valores de las diferentes densidades de corriente de saturación ( $I_0$ ) y de los factores de perfección de la juntura ( $\beta$ ) aparecen en la tabla 1. para dos muestras representativas. En ambos casos se supone que la característica volt - ampérica del dispositivo es  $I = I_0 (\exp (qV/\beta KT) - 1)$ .

Tabla 1- Parámetros de las junturas difundidas

Muestra	$I_{01}$ ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	$\beta_1$	$I_{02}$ ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	$\beta_2$
1	$7 \cdot 10^{-13}$	1,5	$1 \cdot 10^{-7}$	2,7
2	$2 \cdot 10^{-9}$	1,9	$5 \cdot 10^{-5}$	4,2

Según la teoría de Shockley - Noyce - Sah el valor de  $\beta$  puede ser de 2 ó 1 según ocurra recombinación en la zona de carga espacial o en la base, respectivamente. En nuestro caso, los valores de  $\beta$  son superiores a los que predice la teoría debido, al parecer, a que las medicio-

nes de las características fueron realizadas sobre diodos de área grande. Es conocido que la existencia de inhomogeneidades estructurales en la muestra conduce a valores mayores de  $\beta$  e  $I_0$ .

Se realizaron también mediciones de la característica volt - ampérica bajo alta concentración de la luz solar. En estos experimentos se empleó un concentrador solar que tiene como elemento activo un espejo esférico de 40 cm. de diámetro. El concentrador produce una imagen del sol de 10 mm de diámetro a una distancia de 1 m del plano del espejo. Está equipado de un sistema electrónico que permite seguir el sol. La celda solar se enfría con agua circulante de modo que la temperatura de trabajo nunca exceda 35 C.

Las curvas volt - ampéricas experimentales, medidas bajo el sol, aparecen en la figura 5. Los bajos valores de eficiencia de conversión son debidos a la elevada resistencia en serie de los dispositivos. La resistencia en serie fue evaluada por el método expuesto en /6/. Se encontró que su valor variaba en el rango de 0,3 - 0,4  $\Omega$ . Se cree que esta alta cifra es consecuencia de una elevada resistencia de contacto.

Se midió también el voltaje a circuito abierto en dependencia de la temperatura (figura 6). La disminución

con la temperatura es de 2,00 mV/C, que es cercano al valor reportado por otros autores /2/.

#### CONCLUSIONES

Se fabricaron y estudiaron celdas solares en el sistema Ga - Al - As por el método de la epitaxia líquida con enfriamiento forzado del fundido.

Estas celdas se distinguen por la composición de sus contactos metálicos, que no poseen oro. La eficiencia de conversión del dispositivo es baja debido a una elevada resistencia de contacto. No obstante, la optimización del régimen de aleación Ni electrolítico -In- pGaAlAs debe reducir la resistencia de contacto de modo sensible.

#### BIBLIOGRAFÍA

1- Ehrenreich H., Chairman.

Principal conclusions of the APS study group on solar photovoltaic energy conversion. The American physical society. New York. 1976.

2- Hovel H.J., Woodall J.M.

J. Electrochem. Soc. 120 (1973) 1246

3- James L.W., Moon R.L.

Appl. Phys. Lett. 26 (1975) 476

4- Sahai R., Edwall D.D. et al.

Appl. Phys. Lett. 34 (1979) 147

5- Díaz P., Hernández L. et al.

Pendiente de publicación en Crystal Research & Technology.

6- Wolf M.

Rauschenbach Advanced Energy Conv. 3 (1963) 455

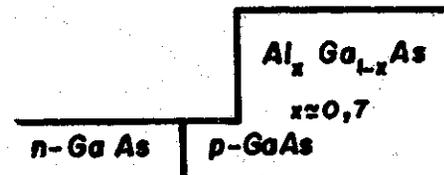
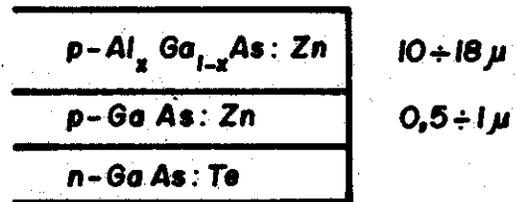


Figura 1.- Estructura y perfil de las muestras crecidas.

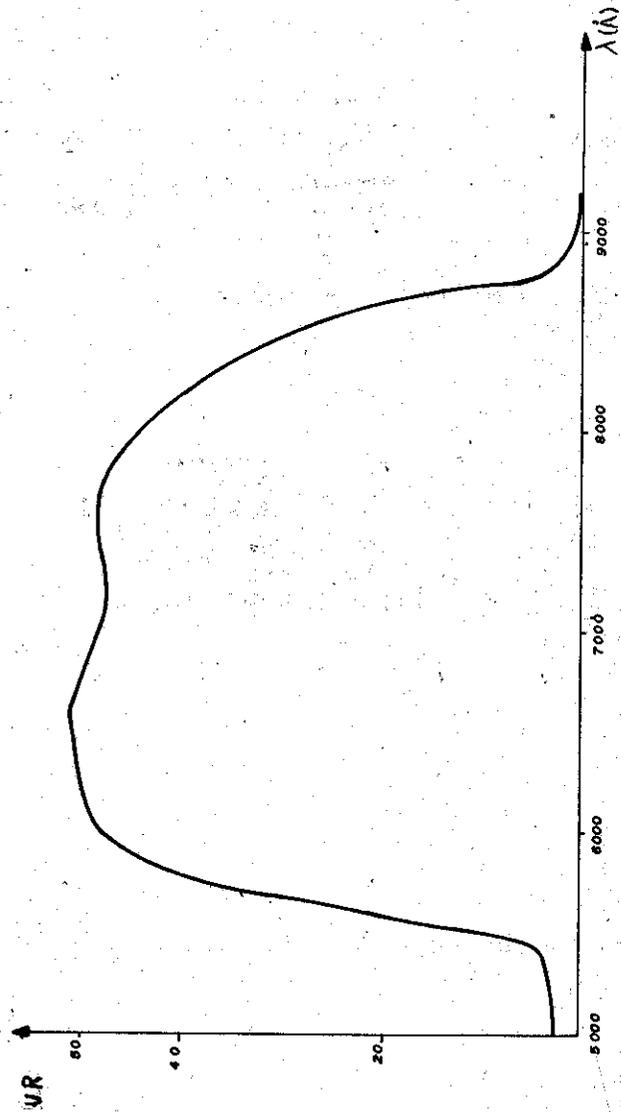


Figura 2 Respuesta espectral en unidades relativas vs.  $\lambda$  (Å).

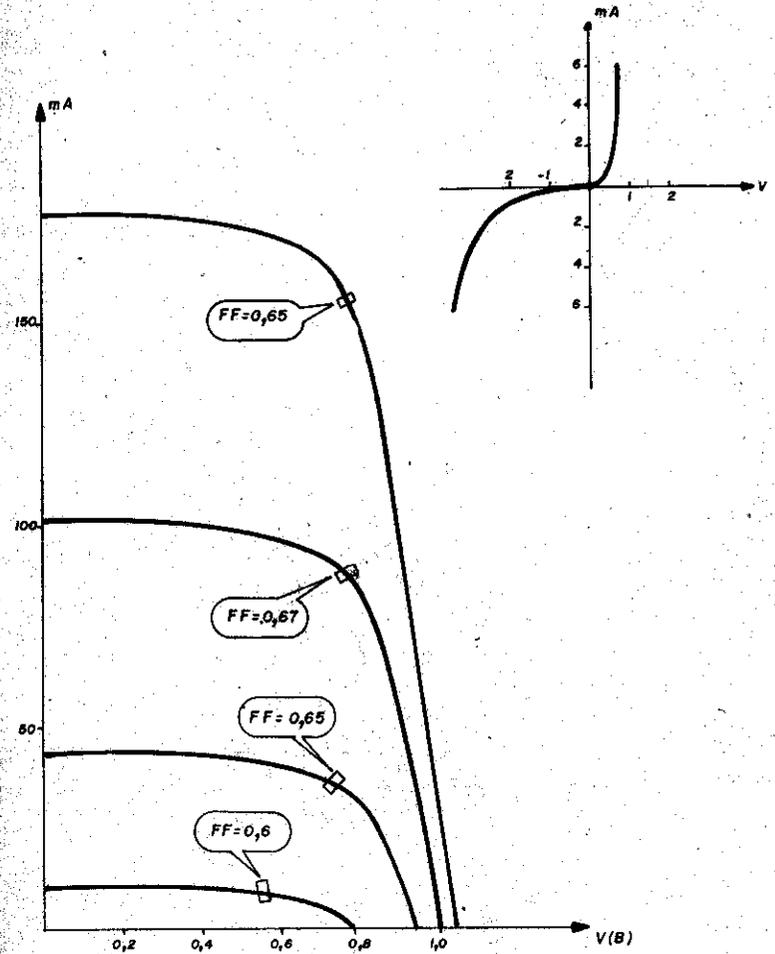


Figura 3.- Características volt - ampéricas iluminadas a distintas concentraciones de luz artificial.

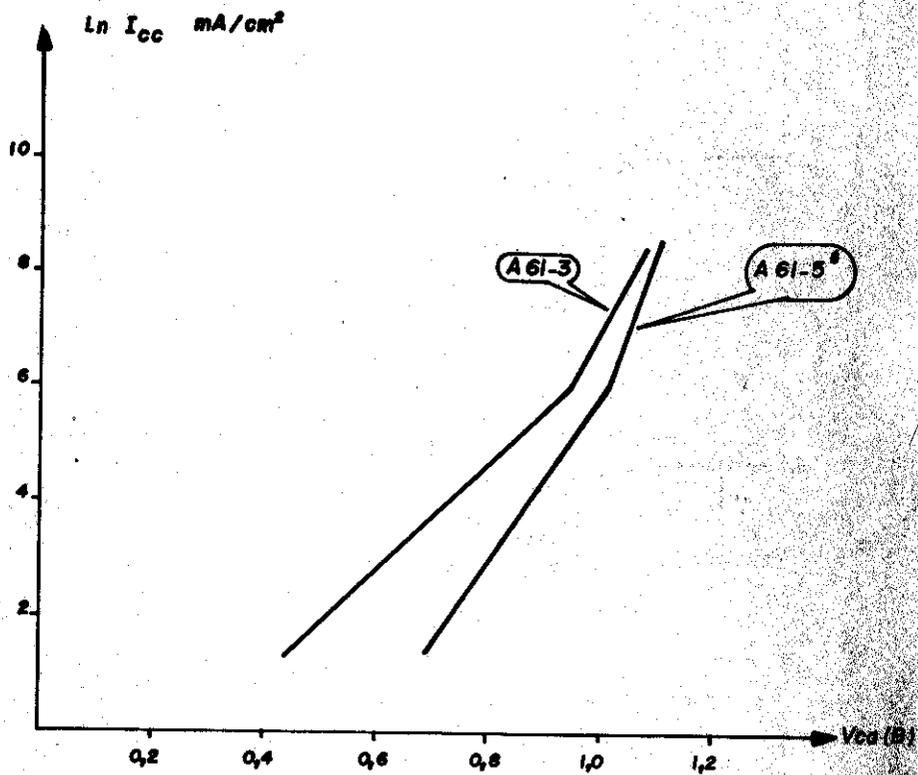


Figura 4.- Dependencia de  $\ln I_{sc}$  vs.  $V_{oc}$ .

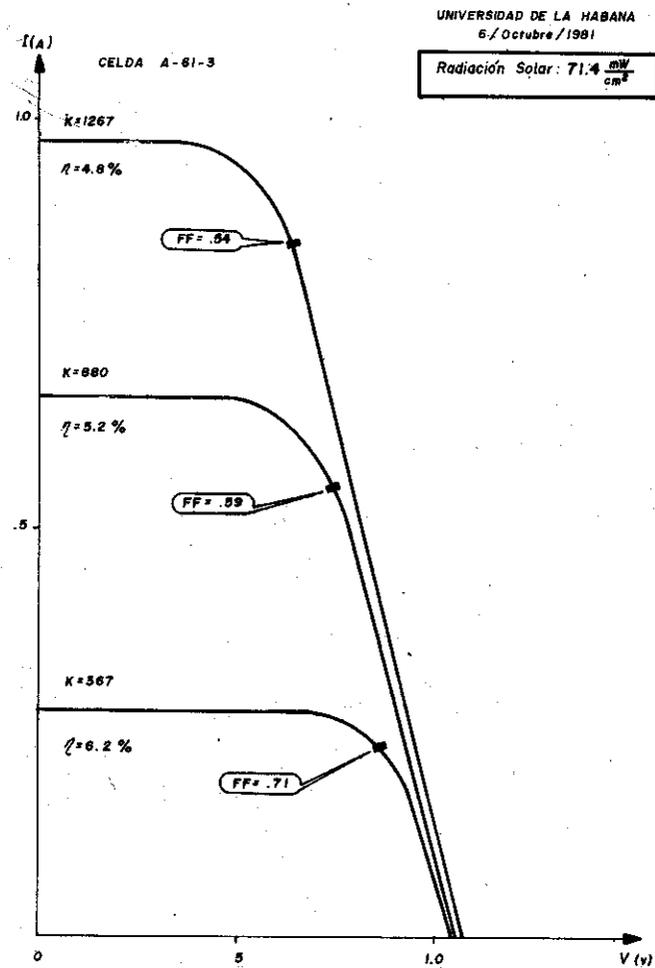


Fig. 5 Características volt - ampéricas iluminadas bajo luz solar concentrada.

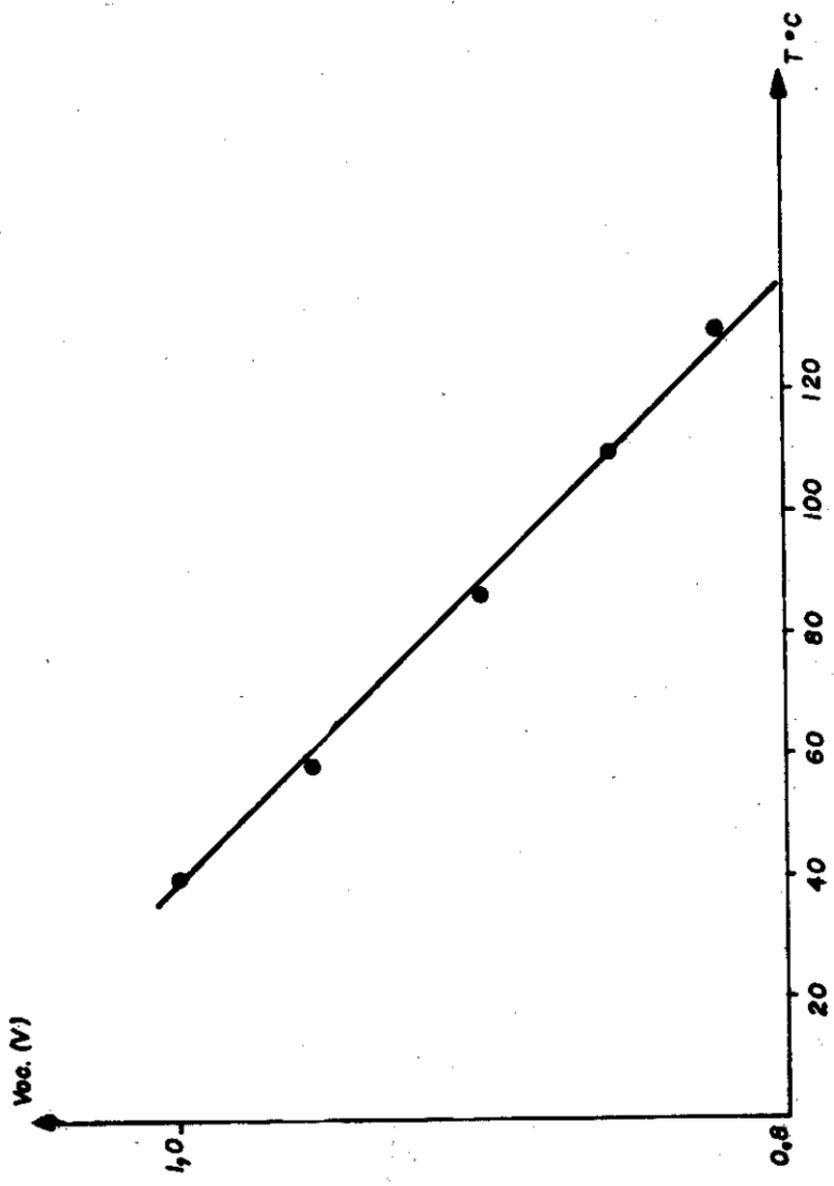


Figure 6. Dependencia térmica del voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ).