

**CONTACTOS ÓHMICOS SOBRE LA
BASE DE Ni-In EN LA ELABORA-
CIÓN DE CELDAS SOLARES DEL
TIPO $p\text{-AlGaAs}/p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}$
PARA TRABAJO BAJO ALTA CON-
CENTRACIÓN LUMINOSA**

J. A. Rodríguez

**Laboratorio de Investigaciones en
Electrónica del Estado Sólido
Universidad de la Habana**

RESUMEN

Se describe la realización de contactos electroli-
ticos de Ni e In en la elaboración de celdas solares
basadas en la estructura $p\text{-AlGaAs}/p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}$ des-
tinadas al trabajo bajo alta concentración solar.

Los contactos son tratados térmicamente en atmósfera de H_2 a $440^\circ C$ durante 3 minutos. Se reportan valores del FF ascendentes a 0,82 con densidades de corriente de $37,4 A/cm^2$, comparables con los obtenidos en celdas análogas con contactos evaporados o electrolíticos basados en Au, que resultan más costosos y de más difícil obtención.

ABSTRACT

The technological procedure involved in the processing of electroplated Ni/In-based ohmic contacts in the fabrication of p-AlGaAs/p-GaAs/n-GaAs concentrator solar cells is discussed.

The contacts are annealed in H_2 at the temperature of $440^\circ C$ during 3 minutes. Values of the fill factor as high as 0,82 with current densities of $37,4 A/cm^2$ are reported. These values are comparable with those obtained in analogous solar cells with evaporated or electroplated Au-based ohmic contacts which are more expensive and more complex in their elaboration.

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación terrestre en gran escala de dispositivos que transforman directamente la luz solar en

electricidad, es decir, de las celdas solares, requiere el aumento de la eficiencia de transformación y un significativo abaratamiento del proceso de obtención de las mismas, a fin de hacer a esta fuente de energía competitiva respecto a otras fuentes de más sencilla explotación. En este sentido se han dado pasos importantes con la utilización de fotoelementos basados en la heterojuntura $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ (1-4) que, además de admitir factores de concentración elevados, arrojan altos valores de eficiencia que llegan hasta 24,7% a 178 soles (AM1) (4). No obstante es de señalar que en la elaboración de estos dispositivos se han seguido, por lo general, técnicas de cierta complejidad y alto costo como es el caso de los contactos, en su mayoría evaporados y que emplean metales costosos como el oro, plata o aleaciones basadas en los mismos.

En un trabajo anterior (5) se reportó la obtención e investigación de la celda solar obtenida a partir de una estructura del tipo p-AlGaAs/p-GaAs/n-GaAs en la cual los contactos eran de Au + Ni depositados electrolíticamente seguido de un llenado de las canales con In para reducir las pérdidas por resistencia a través del propio contacto a altos valores de corriente. Los bajos valores del factor de llenado (FF) obte-

cidos (0,67 en el mejor de los casos a una concentración de 100 soles) se atribuyen a la alta resistencia específica del contacto lo que influye notablemente en la eficiencia del dispositivo.

En el presente trabajo se reportan los resultados de las investigaciones realizadas en estructuras análogo gas con el empleo de la deposición electrolítica de Ni seguida del llenado con In, se describe el proceso empleado para la elaboración de los contactos y se reporta el tratamiento térmico que resultó más adecuado. Como medida de la calidad de los contactos se midieron las características I-V bajo iluminación de las celdas obtenidas a altos niveles de concentración y en régimen de impulsos para evitar el calentamiento de las mismas.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para elaborar las celdas se utilizaron estructuras crecidas con anterioridad del tipo $P-Al_{0,7}Ga_{0,3}As/p-GaAs/n-GaAs$.

Los sustratos de GaAs (n) orientados según la dirección (111), poseían Te como impureza a una concentración $n \approx 2 \cdot 10^{17}$. La capa epitaxial tenía un espesor de 30 micras y la juntura p-n se obtuvo a partir de la difusión de Zn desde la fase líquida

durante el crecimiento epitaxial. Su profundidad aproximada fue de 1μ .

El proceso de obtención de los contactos requiere una buena fijación del óxido anódico lo cual se realiza a $420^{\circ}C$ durante 4 minutos en atmósfera de H_2 . Acto seguido se efectúa la definición fotolitográfica del contacto. Para abrir las canales en la zona de la capa epitaxial se utiliza una solución que ataca actuando preferencialmente en la dirección normal a las superficies de las muestras y cuya velocidad de ataque es aproximadamente de $1 \mu/min$. La composición de dicha solución es: alcohol isopropílico, H_3PO_4 , H_2O_2 y Na_3PO_4 (10%) en las proporciones 3:1,3 :0,7: 1 respectivamente.

Al aumentar el área de contacto entre el metal y el semiconductor disminuye la resistencia total por lo cual parece lógico realizar un ataque profundo en la zona de la ventana. Sin embargo el ataque ocurre también hacia los lados aumentando el ancho de las canales y disminuyendo con ello el área efectiva del dispositivo. Se encontró experimentalmente que un resultado óptimo se logra cuando la profundidad de las canales es $12-14 \mu$, y el ancho de las mismas es $28-30 \mu$. Esto se obtiene con un ataque de 12-14 minutos y un

ancho inicial de las canales en la fotoresina de 8-10 μ .

El contacto en la cara anterior, en todos los casos, está formado por un anillo grueso que define el área del dispositivo y del cual parte un conjunto de fibras radiales que a su vez se ramifican a fin de disminuir la resistencia laminar. La densidad de contacto es aproximadamente uniforme y el área sombreada es de 13-15 % del área total para las condiciones descritas con anterioridad.

Previo a la deposición del Ni la superficie de contacto es activada con una solución de PdCl_2 con una concentración de 0,5g/l en el punto de ebullición durante 5 seg. y luego se enjuaga la muestra con H_2O destilada y se seca en una centrifuga.

La deposición electrolítica se realiza en un baño ácido cuya composición en g/l es: NiSO_4 , Na_2SO_4 , ácido bórico y NaCl , en las proporciones: 7:4:2:0,5.

Se utiliza una densidad de corriente de 0,6 A/dm². Es recomendable comenzar la deposición con un valor muy pequeño de esta magnitud y aumentarlo después paulatinamente para lograr un depósito uniforme, especialmente en muestras de diámetro mayor a 8mm. El espesor del depósito fue de 1,5-2 μ .

Luego de eliminar la fotoresina se completa la estructura del contacto introduciendo la muestra en In fundido para llenar las canales completamente. Estos detalles se muestran en la figura 1 donde se representa un corte transversal a una de éstas.

Las características del contacto obtenido y por ende del fotoelemento son muy sensibles a las condiciones del tratamiento térmico. Los mejores resultados fueron obtenidos con un tratamiento a 440°C durante 3 minutos en atmósfera de H_2 .

Con la metódica descrita se elaboraron celdas de 4,8 y 17 mm de diámetro.

Se realizaron experiencias con otros metales y aleaciones para llenar las canales después de la deposición del Ni , tales como In+Cd, Sn y Sn+Pb.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se muestra la influencia del tratamiento térmico en los parámetros que caracterizan a los dispositivos obtenidos, a través de la característica I-V bajo iluminación. La concentración luminosa 2500 soles y la densidad de corriente obtenida de 37,4 A/cm². Como se observa, cuando el tratamiento es a 350°C durante 1 min el contacto no es completamente óhmico y se obtiene un bajo valor del FF. Al reali-

zar un nuevo tratamiento térmico a una temperatura de 420°C mejora la ohmicidad pero aún la resistencia del contacto metal-semiconductor es considerable. Esta resulta menor en la muestra x21-4 la que además se mantuvo 1 minuto a 450°C. El mejor resultado evidentemente corresponde a la muestra x77-4 cuyo tratamiento fue a 440°C durante 3 minutos, y que arroja un $FF = 0,82$. Este valor es comparable con el que se toma como referencia en (5) correspondiente a contactos evaporados de Au-Zn y Au-Ge medidas bajo un nivel mucho menor de concentración luminosa y es además mucho mejor que los valores reportados en dicho trabajo. Se experimentó con mayores temperaturas y mayores tiempos de exposición pero los resultados fueron iguales y en ocasiones peores por lo cual este régimen térmico se puede considerar el más adecuado.

En la figura 3 aparecen los resultados obtenidos en una muestra de 8 mm de diámetro; la x12-8. La densidad de corriente medida fue aproximadamente la misma que en el caso anterior. También aparece la curva correspondiente a la muestra x12-17- de 17 mm de diámetro pero en este caso las mediciones se realizaron bajo una concentración luminosa tal que se obtuvieron densidades de corriente de corto circuito de $10,4 \text{ A/cm}^2$.

Para densidades de corriente muy elevadas, a medida que crece el radio de las celdas las pérdidas por resistencias a través del propio contacto afectan notablemente la característica I-V del dispositivo y reducen el valor del FF.

A manera de comparación se muestran las características de una celda de 8mm con contactos evaporados de Au y otra de 17mm con contactos evaporados de Au+Zn a la zona p y Au+Ge a la zona n, seguido de la deposición de Ni y el llenado ulterior de las canales con In, en ambos casos. Como se observa los resultados son perfectamente comparables.

La sustitución del In por otros metales fue satisfactoria solamente en el caso de la aleación de Sn y Pb al 40% de éste último elemento. Con su empleo fueron construídas celdas de 4mm de diámetro y se obtuvieron valores de FF tan elevados como 0,82 con densidades de corriente de $37,4 \text{ A/cm}^2$. Sin embargo hay tendencia al desprendimiento del contacto anterior después de realizar el tratamiento térmico lo que parece ser debido a la diferencia en el coeficiente de dilatación térmica respecto al In. Esto limita las perspectivas de utilización de esta aleación.

CONCLUSIONES

Se elaboraron celdas solares a partir de estructuras del tipo P-AlGaAs/p-GaAs/n-GaAs de ventana ancha, con contactos profundos obtenidos por deposición electrolítica de Ni y un llenado posterior con In fundido. El tratamiento térmico que resultó más adecuado fue de 3 minutos a 440°C en atmósfera de H₂. Se construyeron celdas de 4,8 y 17mm de diámetro destinadas al trabajo bajo régimen de alta concentración luminosa. A muestras de los diferentes diámetros se les midió las características I-V con carga aplicada bajo alta concentración en régimen de impulsos. Los parámetros de estas celdas son perfectamente comparables con los parámetros correspondientes a celdas análogas con contactos evaporados y electrolíticos basados en Au, que resultan más caros y de más compleja elaboración.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al programa de colaboración entre nuestra Institución y el Laboratorio de Fenómenos de Contactos en Semiconductores del Instituto Físico-Técnico A.F.IOFFE de Leningrado dirigido por el académico Zh. I. Alferov, a quien expresamos nuestro agradecimiento. Al Dr. V.M.Andreev,

al C.D. V.D. Rumantsev y en especial al C.D. V.R. Larionov nuestro más profundo reconocimiento por el apoyo constante y sugerencias en el desarrollo del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Zh. I. Alferov., V.M. Andreev., M.B. Kagan., I.I. Protasov y V.G. Trofin. Sov. Phys. Semicond. 4,2047 (1971)
- 2- J.M. Woodall y H.J. Hovel. Appl. Phys. Lett. 21, 379 (1972)
- 3- L.W. James y R.L. Moon, Appl. Phys. Lett. 26,467 (1975)
- 4- R. Sahai, D.P. Edwall y J.S. Harris, Jr. Appl. Phys. Lett 34,147 (1979)
- 5- T. Protskij, E. Purón, J.A. Rodríguez, R. Romero y Serleides de Roux. Revista Cubana de Física VI,N2 p145 (1981)

Recibido 2-2-82

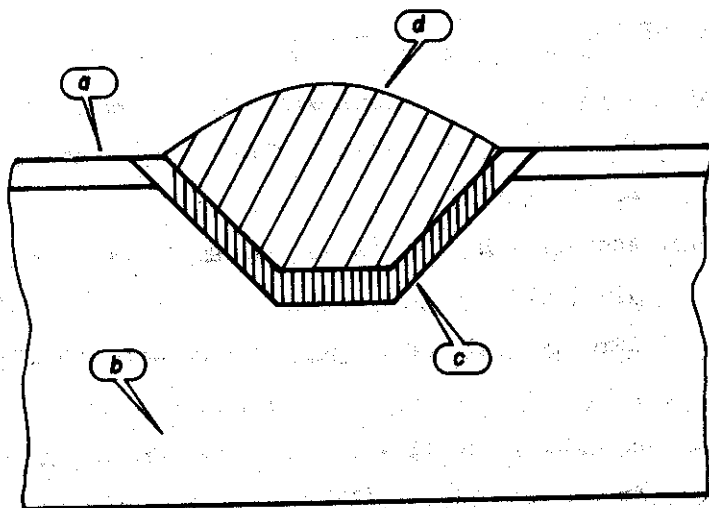


FIG.1_ CORTE TRANSVERSAL DEL CONTACTO

- a_ Óxido anódico.
- b_ Capa epitaxial
- c_ Capa de níquel
- d_ Indio

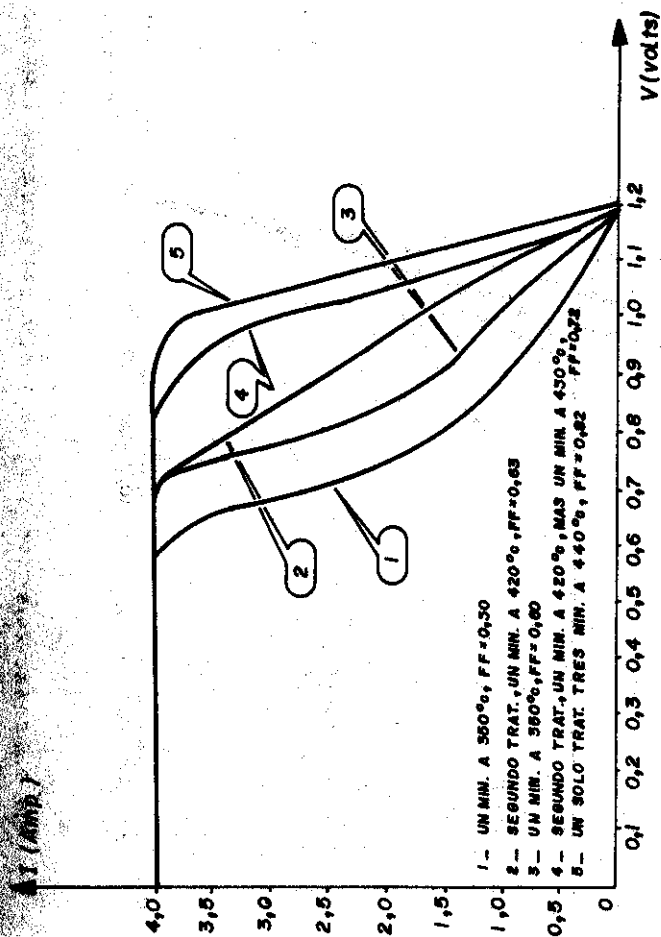


FIG. 2 - INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

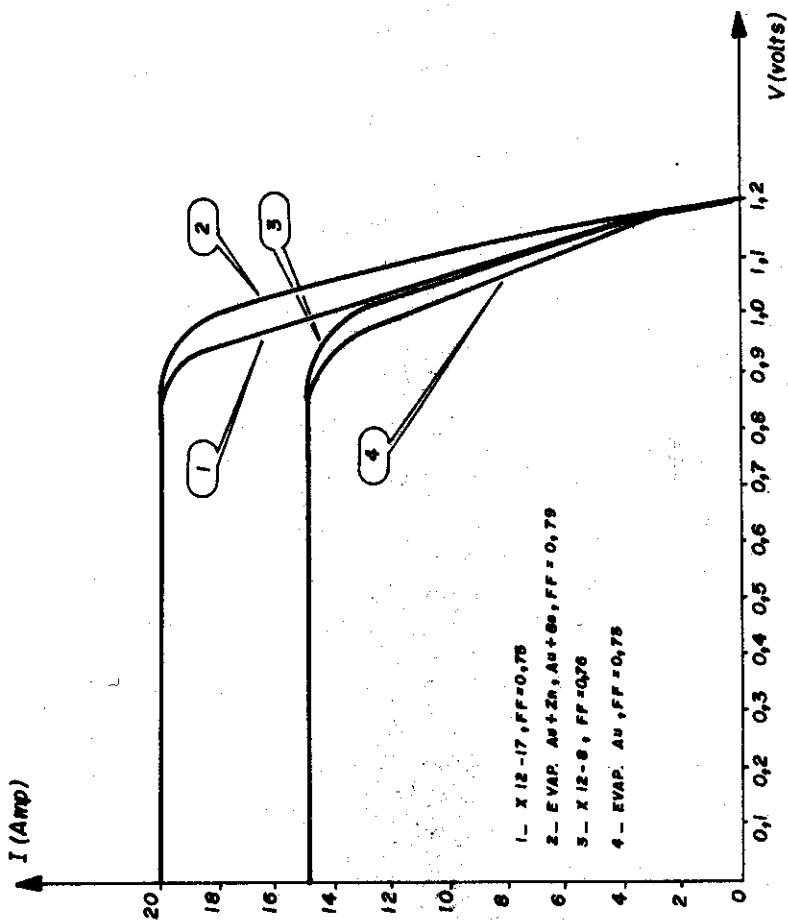


FIG. 3 — CARACTERÍSTICAS I-V, BAJO ALTA CONCENTRACIÓN LUMINOSA EN RÉGIMEN DE IMPULSOS. —