

# Fabricación de celdas solares de silicio monocristalino con superficie texturada

J. Almeida, N. Safronova y A. Martel

Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido (LIEES)  
Facultad de Física, Universidad de La Habana

## RESUMEN

---

Se presenta el proceso tecnológico utilizado en la obtención de celdas solares de silicio monocristalino de superficie texturada basándose en el método de aleación de aluminio. A partir de las características volt-ampéricas y de respuesta espectral se analizan los principales parámetros de dichos dispositivos, comparando los resultados obtenidos para celdas con contactos de Ti/Pd/Ag y de Ti/Ni/Cu.

## ABSTRACT

---

The technological process to obtain texturized surface Si solar cells based on an Al alloy method is presented.

The main device parameters are determined from I-V and spectral response characteristics.

The results of using Ti/Pd/Ag and Ti/Ni/Cu for cell contacts are compared.

## SIMBOLOGÍA

- FF - factor de llenado.
- $j_{cc}$  - densidad de corriente de cortocircuito.
- S - sensibilidad.
- $V_{ca}$  - voltaje a circuito abierto.
- $\eta$  - eficiencia.
- $\lambda$  - longitud de onda.

## I. INTRODUCCIÓN

Durante varios años las celdas solares de silicio monocristalino han sido fabricadas e investigadas en nuestro laboratorio. Partiendo de la tecnología convencional que comprende: oxidación gruesa, difusión para la obtención de una juntura profunda, capa antirreflectante sobre la superficie pulida y contactos por fotolitografía directa [1-2], hemos llegado a un proceso tecnológico más sencillo que permite la obtención de dispositivos con una eficiencia entre un 12 y un 14 % bajo iluminación AM1 y que puede ser introducida en la producción industrial.

El objetivo de este trabajo es presentar la tecnología desarrollada que puede ser un punto de partida y referencia para la obtención de celdas solares de área grande a bajo costo.

## II. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

Como material de partida se utilizó silicio monocristalino tipo p con orientación (100), 450  $\mu\text{m}$  de espesor y resistividades entre 0.1 y 10  $\text{ohm}\cdot\text{cm}$ .

El proceso de fabricación se muestra esquemáticamente en la figura 1.

La textura se hizo sumergiendo las obleas en una solución de hidróxido de potasio al 10 % de concentración en agua deionizada a la cual se le añade alcohol isopropílico a una temperatura de 80  $^{\circ}\text{C}$ . Como resultado se obtienen pirámides con una altura promedio de 5  $\mu\text{m}$  tal como puede verse en la figura 2.

La limpieza química se hace con vistas a la eliminación de sustancias orgánicas e iones de metales pesados de la superficie de la oblea. Para ello se utiliza como solventes orgánicos tricloroetileno y acetona así como ácido nítrico, ácido fluorhídrico y ácido sulfúrico.

La juntura p-n se obtuvo por difusión de fósforo haciendo pasar nitrógeno por una fuente líquida de oxocloruro de fósforo en un horno de cuarzo convencional en presencia de oxígeno a temperaturas entre 850 y 970  $^{\circ}\text{C}$  lográndose resistividades laminar entre 20 y 60  $\text{ohm}/\square$ .

Después de eliminado el fosforosilicato se deposita aluminio en la cara posterior por evaporación al vacío y es aleado a 800  $^{\circ}\text{C}$  en atmósfera de hidrógeno. Esto permite la compensación de la juntura espúrea así como la formación de una capa  $p^+$ , para la utilización del mismo sistema de contactos aplicado al emisor. La resistividad de esta capa es menor que 100  $\text{ohm}/\square$ .

El delineado de la rejilla colectora se hace por técnicas de lift-up, utilizando fotoresina AZ 1350J tratada con clorobenceno [3]. Posteriormente se evaporan al vacío capas metálicas de aproximadamente 60, 20 y 100 nm de titanio, paladio y plata respectivamente sobre un substrato no calentado.

Para la obtención del contacto posterior se evapora el mismo tipo de contactos.

Después de llevar a cabo un desbaste mecánico de los bordes, se depositan por pulverización catódica reactiva 80 nm de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  que actúa como capa antirreflectante.

También se hicieron dispositivos con contactos formados mediante la evaporación de titanio, níquel y cobre de espesores aproximados 60, 20 y 120 nm.

### III. CARACTERIZACIÓN

---

Con este objetivo se hicieron mediciones de las características I-V bajo radiación artificial con una lámpara de halógeno así como de la respuesta espectral en el rango entre 400 y 1200 nm.

De esta forma nos fue posible calcular los parámetros eléctricos que caracterizan las celdas fabricadas.

En la figura 3 vemos una curva I-V iluminada antes de depositar la capa antirreflectante para una celda típica cuya juntura fue realizada a 850 °C sobre un sustrato de una resistividad 3 ohm cm utilizando contactos de Ti/Pd/Ag.

La sensibilidad espectral de esta celda se muestra en la figura 4, donde podemos ver que es similar a la reportada para celdas de silicio monocristalino para uso terrestre [4].

En los dispositivos en que se utilizaron contactos de titanio/níquel/cobre, se obtuvieron características semejantes a las que se logran con contactos de titanio/paladio/plata, estos contactos son más baratos y pueden ser aplicados exitosamente en celdas solares para uso terrestre, más es necesario tener en cuenta que los tratamientos térmicos que se utilicen no deben exceder los 350 °C pues ello provocaría la difusión del Ni y/o del Cu hacia la juntura del dispositivo empeorando sus características [5,6].

Se comprobó que la deposición de 80 nm de  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , espesor óptimo para celdas de superficie especular [2] sólo aumenta en un 7 % la densidad de corriente en nuestras celdas para radiación directa, por lo que pueden fabricarse celdas solares de superficie texturada sin aplicarle capa antirreflectante pues esto no justifica un aumento de la eficiencia considerable redundando en un dispositivo más barato.

### IV. CONCLUSIONES

---

Se ha logrado obtener un proceso tecnológico para la fabricación de celdas solares que es fácilmente repetible y sencillo, además puede ser

disminuido el costo de los dispositivos fabricados usando el sistema de contactos de titanio/níquel/cobre que fue puesto a punto con buenos resultados y es altamente promisorio.

#### AGRADECIMIENTOS

---

A los técnicos José Moreno y José Vilahomat por su ayuda en la fabricación de las celdas.



Figura 1. Secuencia tecnológica para la obtención de celdas solares

Figura 2. Fotografía obtenida por SEM de la textura de las celdas

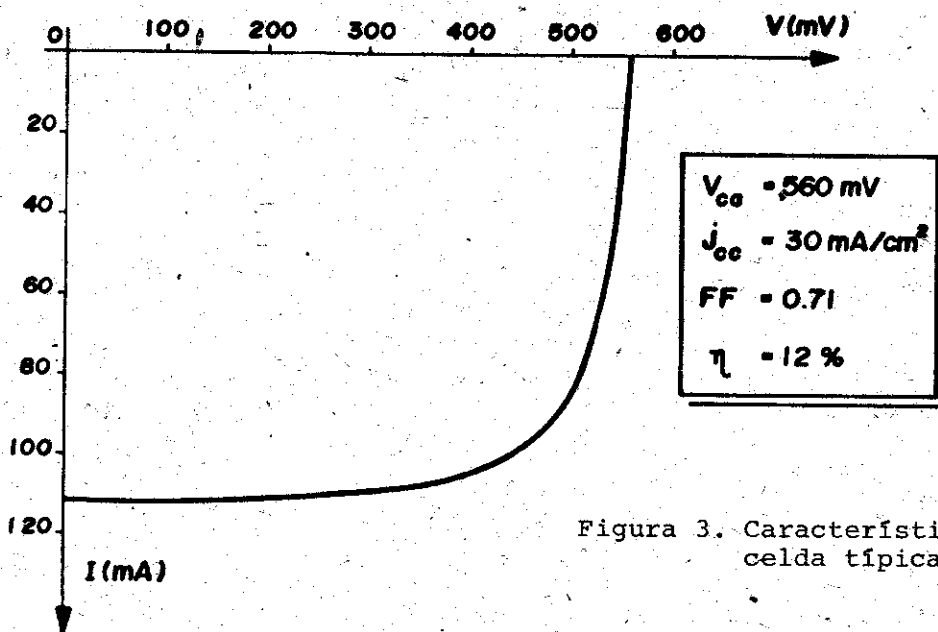
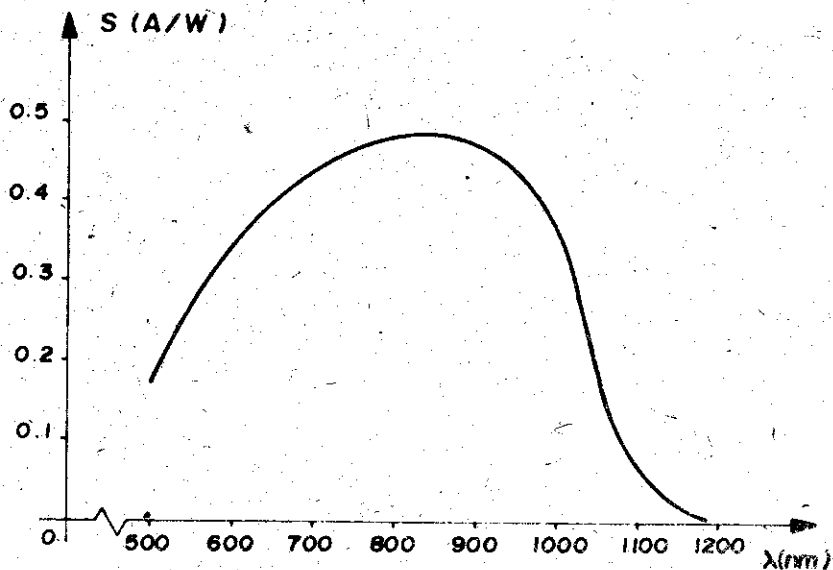


Figura 3. Característica I-V de una celda típica

Figura 4. Sensibilidad espectral de una celda típica



## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Martel, A.; S. Aguilera; N. Safronova and M. García  
Characterization of single crystal silicon solar cells through illuminated I-V family curves. Cryst. Res. Technol. Vol. 20, No. 9, pp. 1261-1269 (1985).
- [2] García, M.; A. Martel; P. Rodríguez y S. Aguilera  
Mejoramiento de las características ópticas y eléctricas de celdas solares de silicio monocristalino mediante el uso de capas antirreflektantes de nitruro de silicio. Física y tecnología de semiconductores, Vol. 3, (1984).
- [3] Belko, V.V.; N.E. Kalinina y B.E. Borisenko  
Formación de la topología de los elementos de los circuitos integrados por el método de fotolitografía de explosión. Radioteknika i elektronika. No. 5 (312) pp. 3-39 (1987).
- [4] Ruiz, J.M. y M. Cid  
Mismatch corrections of solar cell spectral response measurement with a reference cell. 5th European Symposium, La Haya, Oct. (1986).
- [5] Meier, D.L.; R.B. Campbell; J.R. Davis et al.  
Solar cell contacts. 16th IEEE Photovoltaic Spec. Conf. San Diego, Calif. 1982, Conf. Rec. New York, N.Y. pp. 904-906 (1982).
- [6] Jing-xiao, Wang  
An investigation of copper contact for use in silicon solar cells. 17th IEEE Photovoltaic Spec. Conf. Kissimmee Fla. 1-4 May. 1984. New York, N. Y. pp. 580-583 (1984).