

# TRABAJO DE CAPACITACION EN LA ELABORACION DE CELULAS SOLARES DE SILICIO MONOCRISTALINO. (\*)

C. G. BOLZI

Comisión Nacional de Energía Atómica  
División Energía Solar  
Av. Libertador 8250 - 1429 Buenos Aires

(\*) Bajo la dirección de F. C. Marques y M. I. Romeiro del Laboratorio de Conversión Fotovoltaica del Instituto de Física de la Universidad Estadual de Campinas, Campinas S. P. Brasil.

## Resumen

El objetivo principal de este trabajo fue el aprendizaje de la tecnología de fabricación de células solares de juntura p-n por difusión gaseosa a partir de obleas de Si monocristalino. Se describen los procesos de fabricación y caracterización utilizados y se analizan los resultados obtenidos, especialmente en lo que se refiere a la capacitación lograda.

## Introducción

Las células solares son dispositivos que permiten la conversión directa de la radiación solar en electricidad, y constan principalmente de una juntura p-n, una grilla de contacto superior y una de contacto inferior. Para una introducción detallada de su funcionamiento, puede consultarse la literatura [1].

## Fabricación

La fabricación de las células se realizó a partir de obleas de silicio monocristalino provenientes de lingotes crecidos por el método Czochralski, de dos procedencias:

a) Wacker de Alemania con resistividad aproximada de  $1 \Omega \text{ cm}$  dopadas con Boro (tipo p) y orientación  $\langle 111 \rangle$  que fueron suministradas por el Grupo de Conversión Fotovoltaica de la Universidad Estadual de Campinas, Campinas, S. Pablo, Brasil.

b) División Energía Solar (D.E.S.) de la C.N.E.A., con resistividad aproximada de  $5 \Omega \text{ cm}$  dopadas con boro y orientación  $\langle 111 \rangle$ . Estas últimas provienen de un lingote elaborado en la D.E.S., y cortado por la Empresa Heliodinámica de Brasil en forma gratuita.

A partir de las obleas se realizaron las siguientes etapas de elaboración:

#### \* PREPARACION Y LIMPIEZA DE LAS OBLEAS

##### Preparación

Corte de las obleas redondas de 3" de diámetro a cuadradas de 2,5 cm de lado en el caso de las Wacker y 5cm de lado las de la D.E.S..

##### Limpieza

Se realizó una limpieza simple que consistió en:

- 1.- Tricloroetileno caliente más ultrasonido (2 veces).
- 2.- Acetona caliente más ultrasonido (2 veces).
- 3.- Sucesivos enjuagues con  $\text{H}_2\text{O}$  deionizada.
- 4.- HF al 10 % para la eliminación del óxido.
- 5.- Se repite 3.-
- 6.- Secado de las obleas con  $\text{N}_2$ .

Luego de esta limpieza se realiza un pulido químico que consiste en:

$\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{SO}_4$  a temperatura ambiente, produciéndose un desbaste de alrededor de  $40 \mu\text{m}$  por cada 10'.

Luego se realizan enjuagues con  $\text{H}_2\text{O}$  deionizada y se secan con  $\text{N}_2$ . Antes de realizar la difusión se realiza una limpieza MOS que se

consiste en:

- 1.- Tricloroetileno caliente más ultrasonido (2 veces).
- 2.- Acetona caliente más ultrasonido (3 veces).
- 3.- H<sub>2</sub>O más ultrasonido (3 veces).
- 4.- Limpieza orgánica: H<sub>2</sub>O+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+NH<sub>4</sub>OH hirviendo por 15'.
- 5.- Enjuague con agua deionizada (3 veces).
- 6.- HF al 30 %.
- 7.- H<sub>2</sub>O más ultrasonido (3 veces).
- 8.- Limpieza inorgánica: H<sub>2</sub>O+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+HCL hirviendo por 15'.
- 9.-H<sub>2</sub>O deionizada más ultrasonido (3 veces).
- 10.- H<sub>2</sub>O deionizada en cascada por 10'.
- 11.- Secado con N<sub>2</sub>.

\* DIFUSION GASEOSA DE DOPANTE TIPO n (fósforo).

La difusión se realiza por burbujeo de N<sub>2</sub> en POCL<sub>3</sub>, ingresando simultáneamente en el horno N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Antes de realizar la difusión se satura de dopante el horno, durante 30' realizando luego la difusión por 10'.

Luego de la difusión se mide la resistencia en distintos sectores de la oblea, por el método de 4 terminales a fin de comprobar la uniformidad de la misma, por el método de 4 terminales.

Posteriormente se realiza la remoción de una de las capas n<sup>+</sup> difundidas con una solución de HF+HNO<sub>3</sub>+CH<sub>3</sub>COOH protegiendo el otro lado con piceina. A continuación, se realiza sucesivos enjuagues con H<sub>2</sub>O deionizada y secado con N<sub>2</sub>.

\* EVAPORACION DE LA GRILLA DE CONTACTO FRONTAL Y EL CONTACTO POSTERIOR.

Antes de la evaporación, se realiza una limpieza MOS (descripta anteriormente) hasta el paso N° 7 inclusive.

Luego de esto, se deposita Al en la parte posterior de la oblea (lado donde se removió la capa n<sup>+</sup>) por evaporación, realizándose luego un recocido a 650°C por 10' con flujo de N<sub>2</sub>, removiendo luego el óxido de Al con una solución de HF al 30 % por 1', enjuagando con H<sub>2</sub>O deionizada.

Seguidamente se realiza nuevamente la limpieza MOS hasta el punto N° 7 inclusive.

A continuación se evapora la grilla de contacto superior (lado n<sup>+</sup>) a través de una máscara, que consta de Ti-Pd-Ag evaporados uno a continuación del otro sin sacar las obleas de la campana. Terminada la evaporación, se da vuelta la oblea y se evapora nuevamente Ti-Pd-Ag. Una vez terminado el depósito de los contactos se realiza un recocido final a 450°C en una atmósfera de N<sub>2</sub> por 1'.

#### \*CAPA ANTIRREFLECTORA

Para la formación de la capa se colocan las células en una placa calefactora a aproximadamente 300°C y se procede a pulverizar una solución de SnCl<sub>4</sub> en etanol absoluto con N<sub>2</sub> que forma un óxido en la superficie de la oblea, reconociéndose el espesor correcto en forma visual cuando el color es ligeramente azulado.

#### \*CARACTERIZACION ELECTRICA DE LAS CELULAS

Para las células fabricadas con las obleas de Wacker, se utilizó un simulador solar con lámpara de tungsteno y carga electrónica para trazar la correspondiente curva I-V por medio de un graficador x-y. Debido a que no se pudo medir la irradiancia de este simulador, estas mediciones son solo cualitativas por lo cual no se presentan en este trabajo.

Las células fabricadas con material de la D.E.S. no se pudieron medir con la carga electrónica, puesto que ésta no podía manejar corrientes generadas por estas células debido a su mayor superficie (5x5 cm).

En la D.E.S. se repitieron las mediciones de algunas de las células fabricadas al sol y con un simulador solar construido también en la D.E.S. [2] utilizando una carga electrónica diseñada y construida en la D.E.S. [3], con los cuales pudieron medirse también las células fabricadas con el material local.

Las curvas I-V se trazaron conectando la carga a un graficador x-y.

#### MEDICION DE LA ORIENTACION CRISTALOGRAFICA

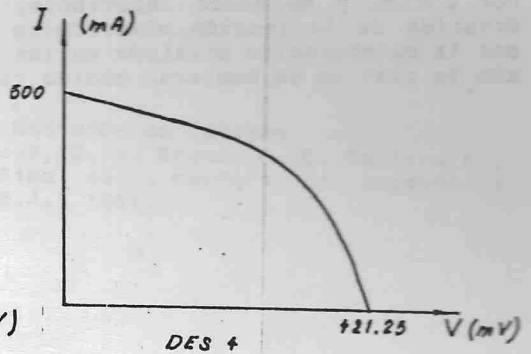
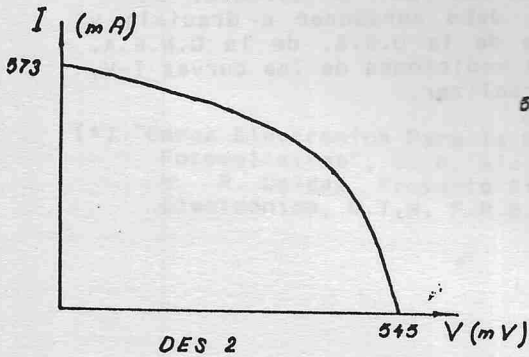
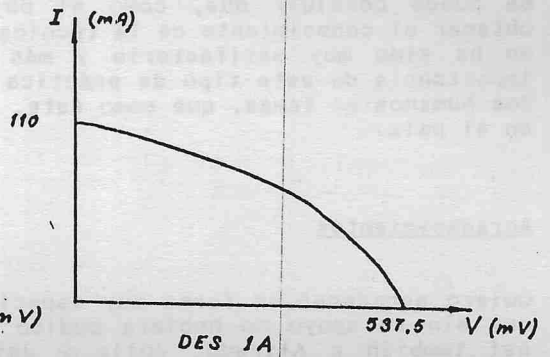
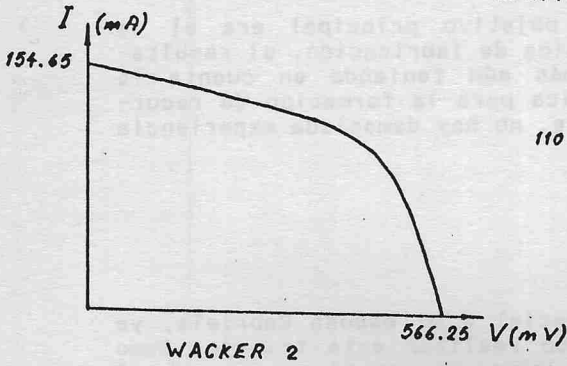
Como complemento de la fabricación de las células, y gracias a la colaboración del grupo de rayos X de la Universidad Estadual de Campinas, se midió la orientación de la superficie de las obleas en forma indirecta, obteniéndose el pico característico en 28,64° siendo el correspondiente a la orientación <111> 28,44°.

\*RESULTADOS

Tabla I

TIPO Y N°	AREA	Voc	Isc	Vmp	Imp	FF	EFIC.
WACKER 2	6.25	566.25	154.65	480	104.65	0.57	9.2
DES 1 A	6.25	536	108	312	66	0.36	3.46
DES 2	25	421.25	500	275	364	0.47	2.75
DES 4	25	545	573	425	405	0.55	1.6

Gráficos



## Conclusiones

Como puede observarse en los resultados, las células fabricadas con obleas de la D.E.S. tienen una eficiencia apreciablemente más baja que la de Wacker. Dado que el proceso de fabricación fue prácticamente el mismo para ambos tipos de obleas, salvo en la difusión.

Para obtener los mismos valores de resistencia de capa en las obleas de la D.E.S. se tuvo que aumentar al doble el tiempo de difusión, no atribuyendo este hecho a la calidad del material, dado que al realizar difusiones simultáneamente con las obleas de la D.E.S. y de Wacker se obtuvieron valores muy similares.

De estos resultados aún no se puede inferir si otras limitaciones provenientes del material afectan el incremento en la eficiencia. Esto se verá en trabajos posteriores donde se fabricarán nuevamente células con este material, pero ahora en la facilidad que se está implementando en la D.E.S., y en una caracterización posterior del mismo.

Se puede concluir que, como el objetivo principal era el de obtener el conocimiento de la técnica de fabricación, el resultado ha sido muy satisfactorio y más aún teniendo en cuenta la importancia de este tipo de práctica para la formación de recursos humanos en temas, que como éste, no hay demasiada experiencia en el país.

## Agradecimientos

Quiero agradecer en forma muy especial a mi esposa Gabriela, ya que sin su apoyo no hubiera podido realizar este trabajo. Como así también a Alfredo, Julio y Jaime que confiaron en mí al elegirme para este curso.

Debo agradecer también la dedicación y paciencia que tuvieron Isabel, Francisco e Ivan al igual que a Fabio que me facilitó el alojamiento y su amistad, quedando en falta si no nombro a todos los muchachos del grupo que hicieron tan fácil mi estadía.

Por último y no menos importante, debo agradecer a Graciela y Cristián de la sección electrónica de la D.E.S. de la C.N.E.A. por la colaboración prestada en las mediciones de las curvas I-V, sin la cual no se hubieran podido realizar.

## Bibliografía y Referencias

- [1] Martin A. Green, Solar Cells (Prentice Hall, 1982)
- [2] A. Ansaldi, V. Fierro, A. Frigerio y L. Dawidowski Desarrollo y Comparación de dos Prototipos de Simulador Solar. (77 Reunión Nacional de Física Aplicada)
- [3] C. J. Bruno y G. M. Azzaroni Carga Electrónica para la Medición de la Curva I-V de Células Solares (\*). (77 Reunión Nacional de Física Aplicada)

(\*) "Carga Electrónica Para la Medición de Células Fotovoltaicas", C. D. Alesi, C. J. Bruno, M. C. Caffaratti, H. R. Caldez, Proyecto Final de la carrera de Ingeniería Electrónica, U.T.N. F.R.B.A., 1991.