

# CELDA SOLARES CON JUNTURA OBTENIDA POR IMPLANTACIÓN IÓNICA

A.FRIGERIO, A.FILEVICH, J.C.PLÁ, A. LAMAGNA y J.C.DURÁN

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
DEPARTAMENTO FUENTES RENOVABLES Y URE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
AVDA. LIBERTADOR 8250 - 1429 BUENOS AIRES  
TEL.: (01) 754-7131 , FAX: (01) 754-7130  
E-mail: [duran@cnea.edu.ar](mailto:duran@cnea.edu.ar)

Se realizaron junturas en celdas solares de silicio monocristalino por implantación iónica. Estas primeras implantaciones de fósforo a partir de fosfamina realizadas en el país muestran la factibilidad de implantar el ion fósforo sobre cualquier material de interés.

Se implantaron dosis de  $3,9$  y  $2,5 \times 10^{15}$  con energías entre  $30$  y  $60$  keV. Los ciclos térmicos posteriores se diseñaron modelizando los perfiles de distribución de dopantes en profundidad con el programa Suprem-III. Los contactos y la capa antirreflectante se realizaron como en las celdas convencionales. Se analizan las curvas I-V de las celdas construidas y se evalúa el efecto de los diversos parámetros involucrados. Estos resultados se comparan con los de celdas solares de igual área obtenidas por el proceso convencional.

Junctions by ion implantation were built up on single crystalline silicon wafers. These were the first phosphorus ion implantation from a phosphine gaseous source in the country and it allows the possibility of implanting the phosphorus ion on any material of interest.

Doses of  $3.9$  and  $2.5 \times 10^{15}$ , with energies from  $30$  to  $60$  keV were implanted. Subsequent thermal cycles were designed after modelling the impurities distribution profile with the Suprem-III program. Metal contacts and antireflection coatings were carried out as conventional cells. The I-V curves are analyzed and the effect of several parameters involved are evaluated. Results are compared to conventional diffused cells with the same area.

## Introducción

El proceso de dopaje para la formación de la juntura en una celda solar se hace habitualmente por difusión, en un horno a temperaturas elevadas (típicamente  $1000^{\circ}\text{C}$ ). Puede también realizarse, con algunas ventajas, por implantación iónica de baja energía (decenas de keV) a temperatura ambiente.<sup>1,2</sup> Recientes resultados mostraron eficiencias de más del 17% en celdas solares con juntura implantada producidas utilizando procesos industrializables.<sup>3</sup>

Luego de la implantación, los parámetros de la red cristalina son recuperados mediante recocidos térmicos adecuados, pero a temperaturas menores que las mencionadas en primer término, por lo que el proceso es menos vulnerable a la contaminación con impurezas no deseadas que puedan afectar negativamente el funcionamiento del dispositivo.

En el caso de la juntura implantada, la cantidad y distribución de las impurezas introducidas pueden controlarse con gran precisión, lo que se traduce en una mayor reproducibilidad de los resultados.

La primera implantación de iones de fósforo en el país se realizó en septiembre de este año, en el Departamento de Física de la CNEA, con el Implantador Iónico Varian 200DF4 obteniéndose óptimos resultados.

Previamente, gracias a la colaboración brindada por el Departamento de Física de la Universidad Federal de Porto Alegre, se obtuvieron las primeras celdas de juntura implantada en la División Energía Solar (DES), a partir de obleas de silicio implantadas en su equipo de implantación iónica con fuente sólida.

## Desarrollo experimental

### Materiales, dosis y energías

El material de partida fue en todos los casos silicio comercial monocristalino tipo p con orientación (100) y valores de resistividad comprendidos entre 10 y 0,7  $\Omega\text{cm}$ .

El implantador iónico Varian 200DF4 del Departamento de Física de la CNEA tiene capacidad de implantar gran número de obleas de hasta 10 cm de diámetro. Dado que en este equipo los iones fósforo o arsénico (necesarios para dopar n material de base tipo p) se obtienen ionizando fosfamina o arsenamina, fue necesario adquirir equipamiento de seguridad adicional antes de comenzar a implantar, debido a la elevada toxicidad de dichos gases.

La implantación realizada en Porto Alegre se hizo sobre muestras ya cortadas por clivaje en cuadrados de 2,5 cm de lado, debido a las dimensiones del portamuestras, mientras que en la realizada en Buenos Aires, la implantación fue previa al corte, sobre obleas de 10 cm de diámetro.

En ambos casos se implantó sobre la cara frontal pulida ópticamente una dosis de  $2,5 \times 10^{15}$  iones de fósforo  $\text{P}^+$  por  $\text{cm}^2$  para dar lugar a la capa  $\text{n}^+$ . En el implantador de Porto Alegre se utilizó una energía de 20 keV, mínimo valor compatible con la extracción de iones de la fuente, mientras que en la CNEA fue necesario llegar a 55 keV para obtener condiciones satisfactorias de corriente.

La profundidad de juntura obtenida en ambos casos después de idénticos tratamientos térmicos posteriores resulta similar, según la simulación realizada con el programa Suprem-III para las dos implantaciones consideradas.

En la Fig. 1 se ve un perfil de dopaje neto obtenido con dicho programa; el punto donde la concentración de boro del material de base iguala la del fósforo implantado indica aproximadamente la profundidad de la juntura. En los casos considerados, ésta varía entre 0,25  $\mu\text{m}$  y 0,33  $\mu\text{m}$ , según la resistividad de la base.

En lo relativo al mayor daño producido en la red en el caso de la implantación a 55 keV, la primera etapa del tratamiento térmico posterior, de acuerdo con los resultados obtenidos, diluye

las diferencias en lo que al desempeño del dispositivo se refiere.

En la otra cara de las obleas, se implantó boro para lograr una estructura del tipo  $\text{n}^+\text{pp}^+$ . De esta forma se disminuye la contribución del contacto posterior a la resistencia serie de la celda. La dosis de boro implantada fue de  $2,5 \times 10^{15}$   $\text{at}/\text{cm}^2$  con una energía de 20 keV en Porto Alegre y de 48 keV en Bs.As..

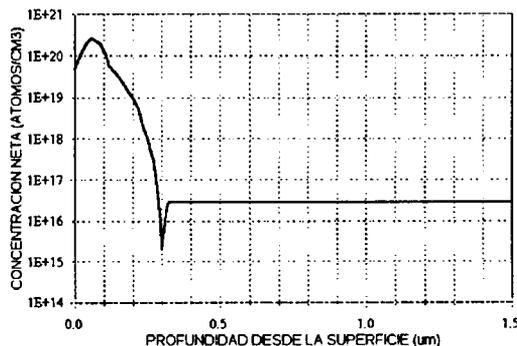


Figura 1: Perfil de dopaje neto obtenido con el programa de simulación Suprem-III.

### Tratamiento térmico

Luego de las implantaciones y de una cuidadosa limpieza con ácido fluorhídrico al 10% en agua deionizada, sucesivos enjuagues en un lavador en cascada con agua de 18  $\text{M}\Omega\text{cm}$  y secado con nitrógeno seco, se sometió a las obleas a la siguiente secuencia de tratamientos térmicos en flujo de nitrógeno seco (7l/min) en el horno Thermco de 4 bocas disponible en la DES: 120 minutos a 550°C, subida en 15 minutos a 850°C, temperatura mantenida durante otros 15 min y luego la bajada hasta los 550 °C nuevamente, totalizando esta última etapa otros 120 minutos.

El paso inicial produce una recristalización epitaxial de la red de silicio dañada durante el proceso de implantación<sup>4</sup>; a los 850°C tiene lugar la activación eléctrica del dopante a través de la reubicación de las impurezas en sitios sustitucionales. El paso final, a baja temperatura, permite mejorar la vida media de los portadores minoritarios, al disminuir el número de defectos por restauración de la red cristalina.

Los valores de resistencia de capa obtenidos por implantación iónica después del recocido son de 67  $\Omega/\square$  en la cara frontal  $\text{n}^+$  y de 95  $\Omega/\square$  en la

posterior  $p^+$ , coincidente con lo esperable según Ref. 5 para estas dosis y temperaturas.

#### Depósito de contactos y capa antirreflectante

Esta parte del proceso de elaboración de las celdas emplea técnicas comunes al las del tipo difundidas, también desarrolladas en la DES, a saber:

- Luego de eliminar el óxido nativo con HF al 10% 1 min, depósito de titanio-paladio-plata (Ti-Pd-Ag) por evaporación en vacío de  $10^{-6}$  mmHg en ambas caras, con máscara metálica en el caso de la frontal para dar lugar a la grilla que permita el paso de la radiación y también una eficiente colección de los portadores. Para lograr una mejor adherencia y disminuir la resistencia serie, se hizo un recocido de 1 min a  $470^{\circ}\text{C}$  en flujo de nitrógeno.
- Para disminuir la reflectividad de la superficie frontal, se depositó una capa de SiO.

#### Resultados y conclusiones

La caracterización eléctrica de las celdas solares elaboradas, se realiza iluminando con lámpara de filamento de tungsteno de 250W con reflector dicróico. La curva de corriente-tensión (I-V) del dispositivo se obtiene mediante la carga electrónica y el sistema de adquisición de datos desarrollado en la DES.<sup>6</sup>

El área efectiva de estas celdas es de  $5\text{ cm}^2$ . La Fig. 2 muestra, a modo de ejemplo, la curva I-V de una celda implantada elaborada sobre una oblea de silicio de  $0,7\Omega\text{cm}$  de resistividad. Sus parámetros característicos son  $V_{ca}=562\text{mV}$ ,  $J_{cc}=29,7\text{mA}/\text{cm}^2$ ,  $\text{FF}=0,64$  y  $\eta=10,7\%$ .

Estos valores son similares a los obtenidos por difusión en nuestro laboratorio<sup>7</sup>, pero con una menor dispersión. Por esta razón se busca mejorar todos los procesos comunes a la producción de celdas solares (evaporación de contactos, fotolitografía, capa antirreflectante, procesos químicos de pulido y limpieza, etc.) antes de experimentar con otros parámetros de implantación iónica y tratamientos térmicos posteriores.

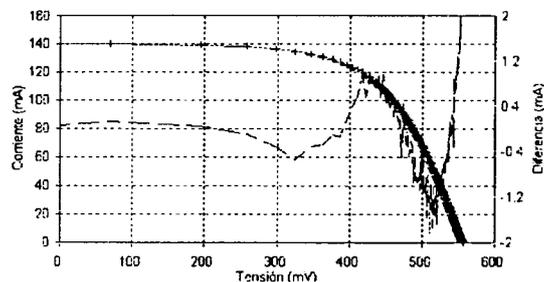


Figura 2: Curva I-V experimental (+) de una celda implantada, ajuste teórico correspondiente (—) y diferencia entre ambas (...).

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a J. Fernández Vázquez por su valiente participación en las implantaciones de fósforo y boro, y a E. Campitelli por el depósito de la capa antirreflectante.

Uno de los autores, A.Frigerio, agradece muy especialmente al Dr. Moni Behar y su grupo de colaboradores en Porto Alegre por la generosa colaboración prestada para las primeras implantaciones y en el tema de simulación.

#### Referencias

- P.R.Younger y S.N.Bunker, Solar Cells 6, 79 (1982)
- M. Ruzinsky y S. Baratka, Proc. 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisboa, Portugal (1991).
- M. Ruzinski, V. Saly, D. Ruzinska, P. Redi, L. Lori y S. Tassi, Proc. First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii, EE.UU. de América, pág. 1485 (1994).
- S.K. Ghandi, "VLSI Fabrication Principles", John Willey & Sons (1983).
- W.E. Beadle, J.C.C. Tsai, "Quick Reference Manual for Silicon Integrated Technology", R.D. Plummer Editors, John Willey & Sons (1985).
- G. Azzaroni, C. Bruno, L. Dawidowski, A. Frigerio, Proc. Workshop on Materials Science and Physics of Non-Conventional Energy Sources, Buenos Aires, Argentina, pág. 246 (1992).
- Bolzi, G.L. Venier, J.C. Plá, C.J. Bruno, A. Lamagna y J.C. Durán, Anales AFA 6 (1994).