

ÚLTIMOS DESARROLLOS EN CELDAS SOLARES DE SILICIO CRISTALINO EN LA CNEA

M. Barrera^{1,2}, C.G. Bolzi¹, D. Corvalán³, M.G. Martínez Bogado^{*1}, J. Plá^{1,2}, M.J.L. Tamasi^{1,2}

¹Grupo Energía Solar - Centro Atómico Constituyentes - Departamento de Física - CNEA

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

³Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires
Av. General Paz 1499 (1650) San Martín, Argentina, Tel. (011) 6772-7837

tamasi@tandar.cnea.gov.ar, jpla@tandar.cnea.gov.ar

RESUMEN

El Grupo Energía Solar (GES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) realiza actividades relacionadas con el desarrollo de celdas solares de silicio cristalino desde el año 1992. A partir de la iniciación, en 1995, de la colaboración con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), dichas actividades se orientaron especialmente a la fabricación y ensayo de dispositivos de silicio para aplicaciones espaciales. En este artículo se presentan los resultados obtenidos en: i) optimización y elaboración de multicapas antirreflectantes-pasivantes para celdas encapsuladas, ii) optimización y elaboración de celdas de silicio cristalino con capa antirreflectante de ZnS, iii) elaboración de celdas solares de silicio cristalino de área apropiada para aplicaciones espaciales; iv) la fabricación de máscaras fotolitográficas sobre vidrio para elaborar grillas frontales de celdas solares. En todos los casos se consideraron características propias de la aplicación espacial, como ser la utilización del espectro AM0 en los procesos de optimización teórica.

Palabras clave: celdas solares de silicio – aplicaciones espaciales - capas antirreflectantes - fotolitografía - máscaras

INTRODUCCIÓN

Como parte de las actividades desarrolladas en el marco del Subproyecto Paneles Solares del Proyecto SAOCOM (Bolzi et al., 2001, Bolzi et al., 2003, Durán et al., 2002), el GES fabrica celdas y sensores solares de silicio cristalino para distintas aplicaciones, como puesta a punto de procesos de fabricación de paneles solares, ensayos de daño por radiación (Tamasi et al., 2002, Alurralde et al., 2004), sensores gruesos para satélites (Bolzi et al., 2002a), y sensores para radiómetros (Bolzi et al., 2002b). Asimismo, el GES posee amplia experiencia del tanto en la elaboración cuanto en la caracterización de celdas solares de silicio cristalino (ver, por ejemplo, Bolzi et al., 1997; Bruno et al., 1999; Martínez Bogado et al., 2000; Tamasi et al., 1998, Plá et al., 1998; Plá et al., 2000). Las celdas solares corrientemente fabricadas tienen estructura n^+pp^+ , utilizándose un proceso de un paso a alta temperatura (Basore et al., 1994) modificado para obtener óxidos pasivantes más delgados en la superficie frontal. Detalles acerca del proceso de elaboración completo pueden obtenerse en Plá et al., 1998.

Como objetivo general, las celdas fabricadas serán integradas en el futuro a un panel solar de ingeniería basado en celdas solares de silicio cristalino, con el fin de calificar los componentes (celdas solares, vidrios protectores, interconectores, etc.) y los procesos de fabricación (soldadura, pegado) para su utilización en satélites artificiales.

En particular, se continuó trabajando en la obtención estructuras antirreflectantes-pasivantes para celdas solares de silicio encapsuladas. Debido a sus características ópticas, tanto el TiO_2 como el ZnS son aptos como capa antirreflectante para celdas de silicio encapsuladas. Por un lado, se obtuvieron experimentalmente estructuras formadas por cuatro capas sobre un sustrato de Si, MgF_2 -vidrio- TiO_2 - SiO_2 -Si, representativas de celdas solares encapsuladas para aplicaciones espaciales, de acuerdo a la optimización teórica realizada anteriormente (Barrera y Plá, 2003). Se presenta la caracterización óptica de las muestras obtenidas así como el análisis en profundidad por espectroscopía Auger de la estructura TiO_2 - SiO_2 -Si. Paralelamente, se fabricaron celdas solares con ZnS como capa antirreflectante, obtenida por evaporación térmica en cámara de vacío, presentándose los resultados de la caracterización eléctrica de las celdas antes y después de la deposición del ZnS.

Además, se muestran los primeros resultados obtenidos en el GES en la fabricación y caracterización de celdas solares de silicio cristalino de dimensiones apropiadas para aplicaciones espaciales, presentándose resultados obtenidos en celdas de hasta 32 cm^2 , con y sin textura superficial.

Finalmente, se describe el diseño y elaboración máscaras fotolitográficas para la confección de la grilla metálica de celdas solares. Las máscaras fueron diseñadas con las mismas características y dimensiones que las celdas de vuelo que se utilizarán en el satélite SAOCOM (Durán et al. 2002) lo cual permitirá, además, ensayar procesos tales como pegado de vidrios y soldadura en dispositivos de bajo costo.

* Becaria de Doctorado, subsidio BID 1201/OC-AR, PICT N° 10-06981

Debido a la necesidad de fabricación de un gran número de celdas, éstas son realizadas sobre vidrio a fin de lograr repetitividad en las dimensiones y evitar la degradación que se produce debido a la luz o el calor, proveniente del iluminador UV durante la exposición, de las máscaras realizadas sobre película fotográfica.

MULTICAPAS AR-PASIVANTES PARA CELDAS DE SI ENCAPSULADAS

Elaboración y caracterización óptica

Para estudiar el comportamiento de multicapas AR-pasivantes en celdas de silicio, se elaboraron muestras de MgF_2 -vidrio- TiO_2 - SiO_2 -Si de acuerdo a la optimización teórica realizada anteriormente y que se reporta en Barrera y Plá, 2003.

En una primera instancia se prepararon muestras de TiO_2 - SiO_2 -Si según el siguiente procedimiento: (i) limpieza de la superficie de Si según procedimiento standard y ataque del SiO_2 mediante una solución diluida de HF; (ii) depósito de Ti sobre Si mediante evaporación térmica en cámara de vacío; (iii) oxidación de la/s muestra/s en horno a alta temperatura en ambiente de oxígeno según el proceso descrito en Barrera y Plá, 2003. Luego se depositó la capa AR de MgF_2 sobre el vidrio por evaporación térmica en cámara de vacío. Una vez elaborada la capa AR del vidrio y obtenida la muestra de Si con su correspondiente bicapa, se armó el sistema MgF_2 -vidrio (más adhesivo)- TiO_2 - SiO_2 -Si, el cual representa la situación real de una celda de Si encapsulada. Para ello, se pegaron los vidrios con la correspondiente capa AR de MgF_2 sobre la muestra de Si con su AR-pasivante. El adhesivo utilizado fue Dow Corning DC 93500, el cual posee un índice de refracción prácticamente igual al del vidrio.

La caracterización óptica del sistema se llevó a cabo midiendo la reflectividad global de las muestras en función de la longitud de onda mediante un espectrofotómetro GMC UV-vis con esfera integradora y la simulación numérica se realizó mediante el programa OPTICAL utilizando el mismo procedimiento que se describe en Barrera y Plá, 2003; en dicha simulación se utilizaron los espesores de MgF_2 , TiO_2 , y SiO_2 determinados previamente a partir del ajuste teórico de la transmitancia medida del sistema MgF_2 -vidrio, por un lado, y de la reflectividad medida del sistema TiO_2 - SiO_2 -Si, por otro. En la Figura 1 se observa la caracterización óptica de una muestra con el sistema anterior, junto con la simulación de la misma.

Debido a que el vidrio (más el pegamento) es en este caso una película gruesa respecto de las longitudes de onda consideradas, y a que por su ubicación en la multicapa el OPTICAL no lo considera como sustrato, la simulación muestra la aparición de múltiples extremos producto de la interferencia (constructiva o destructiva) entre los haces reflejados en ambas caras del vidrio, consideradas en el modelo teórico como idealmente planas y paralelas. Esto no resulta muy claro en la Figura 1 dada la relativamente escasa cantidad de puntos y la escala utilizada y por ello se ve, en vez de una curva, una especie de franja de valores. En el caso real, las caras no son perfectamente planas y paralelas y entonces no se ven efectos de interferencia en películas gruesas, tal como puede apreciarse en la curva medida en la Figura 1 (izquierda). Por este motivo se realizó el suavizado de esta franja con un programa de cálculo matemático de uso corriente en computadoras personales, el cual muestra los valores promedios según puede observarse en la Figura 1 (derecha).

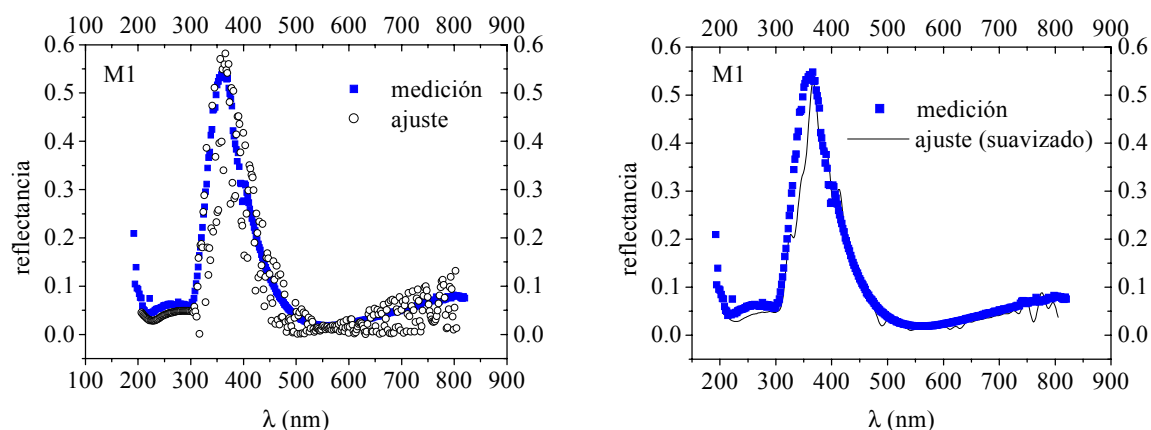


Figura 1: Reflectancia y ajuste teórico para una muestra $d\text{MgF}_2=110 \text{ nm}$, $d\text{TiO}_2=49,2 \text{ nm}$, $d\text{SiO}_2=13 \text{ nm}$.

Análisis con espectroscopía de electrones Auger

Con el objeto de obtener información de los compuestos presentes en la multicapa después de realizar el proceso térmico, se realizó un análisis en función de la profundidad con AES (espectroscopía de electrones Auger). Las mediciones fueron llevadas a cabo en un analizador de superficies de ultra alto vacío (UHV) con presión de base de 10^{-10} Torr, equipado con AES. Dicho equipamiento se encuentra en el INTEC (Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química, Universidad Nacional del Litoral). La muestra estudiada, especialmente realizada sobre una oblea de Si con pulido espejo, fue el sistema $\text{TiO}_2(48 \text{ nm})$ - $\text{SiO}_2(11 \text{ nm})$ -Si y la información obtenida en el análisis preliminar es la que se muestra en la Figura 2.

El perfil de concentraciones se realizó decapando la superficie mediante el bombardeo con Ar^+ a 4 keV. Para estimar el espesor eliminado en cada barrido, es necesario tener en cuenta parámetros que dependen del haz incidente y la muestra (coeficiente de erosión). En este caso se hizo una estimación teórica, con un error de aproximadamente el 30%. Un problema

propio de la técnica AES es que al bombardear con electrones, esto provoca desorción inducida en el caso de óxidos. Por ejemplo, en el caso del TiO_2 , aparecen óxidos inferiores (Ti_2O_3) que deben tenerse en cuenta al analizar los resultados. Si se toma en cuenta un SiO_2 puro, al poco tiempo de bombardearlo muestra la presencia de Si.

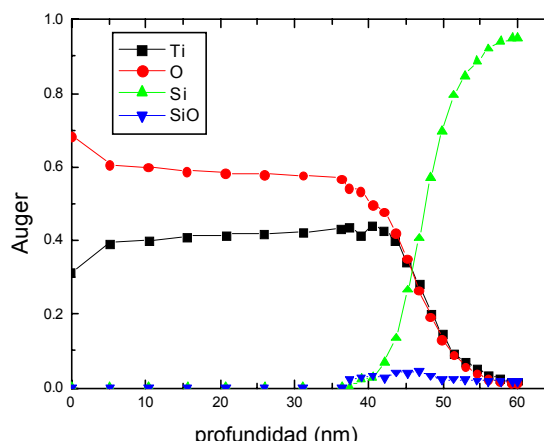


Figura 2: Perfil de concentraciones en función de la profundidad del sistema $\text{TiO}_2(48 \text{ nm})\text{-SiO}_2(11 \text{ nm})\text{-Si}$.

Debido al tratamiento térmico podrían haberse formado compuestos indeseables previos a la oxidación, tales como compuestos entre el Si y el Ti (siliciuros), cosa que no sucede ya que no se observa en el perfil de concentraciones. En la Figura 2 se puede observar que al principio la proporción Ti-O es 1:2, luego las proporciones cambian a 2:3 a causa de la desorción de oxígeno. Por otra parte, se ve que esta relación no se mantiene en la interfaz. También hay que tener en cuenta que la interfaz se ensancha debido al bombardeo y al *sputtering* preferencial (Richards et al., 2002). Si bien no se pueden hacer estimaciones cuantitativas razonablemente confiables, el estudio realizado por AES parece ser consistente con los resultados obtenidos por medio de la caracterización óptica a través de la medición de la reflectividad espectral y la posterior simulación teórica. Por otro lado, los resultados obtenidos son acordes con la bibliografía consultada (Richards et al., 2002).

ELABORACIÓN DE CELDAS DE Si CON AR DE ZnS

Del mismo modo que para el caso de TiO_2 como capa AR, se realizó la optimización del sistema $\text{MgF}_2\text{-vidrio-ZnS-SiO}_2\text{-Si}$. Los espesores óptimos calculados para incidencia normal, un espesor de SiO_2 de 10 nm y espectro AM0 fueron los siguientes: $d(\text{ZnS}) = 60 \text{ nm}$; $d(\text{MgF}_2) = 110 \text{ nm}$, para los cuales resulta una corriente de cortocircuito relativa de 0,924. Si se tiene una tolerancia del 1% en la caída de la corriente, los espesores óptimos de ZnS se encuentran entre 48 y 76 nm. Se evaporó ZnS en polvo sobre celdas de Si monocristalino, calentándose previamente el polvo para extraerle el agua que pudiera estar contenida; el óxido de la cara frontal de las obleas de Si difundidas fue eliminado antes de la deposición de la grilla de contactos debido a que su excesivo espesor (~40 nm) afecta la característica AR que se desea obtener. La deposición fue llevada a cabo en la misma evaporadora que se utilizó para la evaporación de Ti, y el espesor de la capa depositada fue medido *in situ* con un monitor de espesores. Se verificó el espesor medido, evaporando ZnS sobre muestras de Si, ajustando teóricamente la curva de reflectancia medida tomando como valores de n y k los correspondientes a la estructura cúbica del ZnS, ya que esta es la estructura predominante luego de la evaporación. Se caracterizaron eléctricamente celdas solares no encapsuladas con una capa AR de ZnS de 60 nm de espesor, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1. Las mediciones fueron realizadas antes y después de depositar el ZnS en condiciones estándar para la caracterización de dispositivos para aplicaciones espaciales. El simulador solar utilizado es un TS-Space *close match AM0* a $1,367 \text{ kW/m}^2$ con una base termostatazada a 28°C .

Celda	V_{ca} (mV)		I_{cc} (mA)		FF		η (%)	
	sin AR	con AR	sin AR	Con AR	sin AR	con AR	sin AR	con AR
298a	579	577	404	582	0,78	0,75	8,4	11,5
298b	563	592	414	555	0,78	0,78	8,3	11,7
299a	600	601	421	551	0,79	0,77	9,1	11,7

Tabla 1: Parámetros eléctricos de celdas solares de Si cristalino de 16 cm^2 de área con y sin capa AR de ZnS.

ELABORACIÓN DE CELDAS DE Si DE MAYOR ÁREA

A fin de explorar la factibilidad de elaborar dispositivos fotovoltaicos de área más apropiada para aplicaciones espaciales, se fabricaron celdas solares de hasta 32 cm^2 , con y sin textura superficial como tratamiento AR. Cabe aclarar que en ambos casos fue creada una capa de SiO_2 de espesor próximo al óptimo como AR para celdas de Si sin encapsular. Los resultados, obtenidos para una irradiancia de 1 kW/m^2 y 25°C de temperatura, se presentan en la Tabla 2 y la Figura 3.

Celda	Área (cm^2)	V_{ca} (mV)	J_{cc} (mA/cm^2)	FF	η (%)	tipo
299-21	28	605	32,31	0,79	15,40	Texturada
299-22	32	602	31,39	0,73	13,85	Texturada
299-03	25,2	604	28,73	0,77	13,35	Plana

Tabla 2: Parámetros eléctricos de celdas solares de Si cristalino con y sin textura superficial.

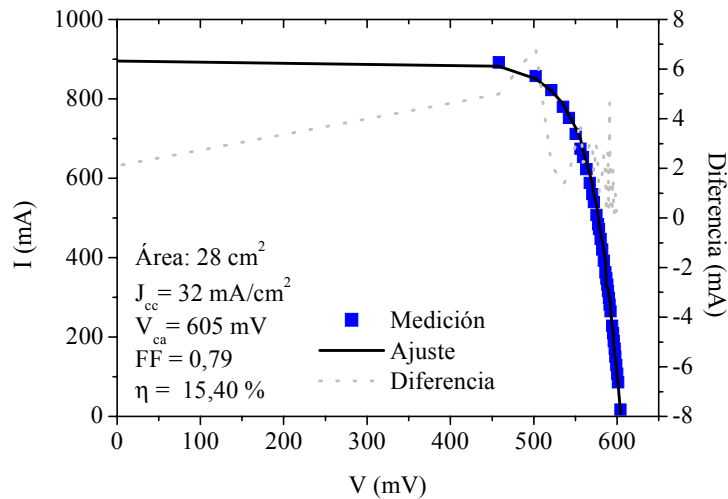


Figura 3: Característica I-V medida de la celda 299-21 y su correspondiente ajuste numérico.

ELABORACIÓN DE MÁSCARAS FOTOLITOGRÁFICAS SOBRE VIDRIO

Diseño de la grilla

El diseño de la grilla se realizó respetando el bus superior y la posición de los rectángulos en donde se soldarán los interconectores de las celdas que se utilizarán en los paneles de la misión SAOCOM. El espesor de los dedos y la cantidad de los mismos se calculó utilizando un programa desarrollado en el GES que optimiza la eficiencia y calcula el factor de transparencia en base a los datos conocidos de los dispositivos elaborados hasta el momento, tales como resistencia serie, resistencia de capa (R_c), resistividad de la base, resistencia del metal utilizado, entre otros (Durán et al., 1991). Se variaron dos parámetros a fin de evaluar su incidencia en el factor de transparencia: R_c , que puede ser modificada en el proceso de elaboración de la juntura, y el ancho de los dedos metálicos (w), que puede cambiarse en la confección de la máscara final (Figura 4).

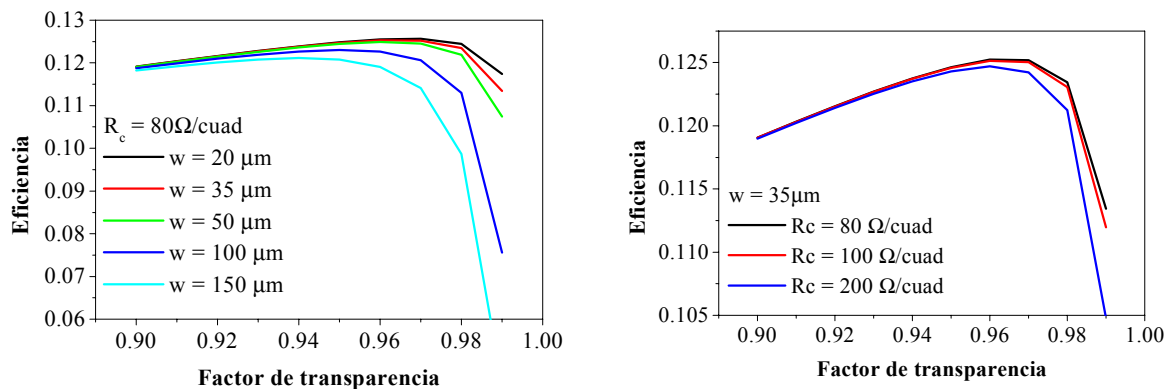


Figura 4: Variación de la eficiencia para distintos anchos de dedos (izq.) y diferentes resistencia de capa (der.)

En base a los cálculos se obtuvo un factor de transparencia entre 96 y 97 % para dedos de 35 μm . Se realizaron dos patrones, uno con esquinas recortadas tal como son las celdas de vuelo adquiridas para el panel de potencia del satélite SAOCOM y otra rectangular (ambas de 37 mm x 76 mm), aunque la máscara final fue confeccionada sin las esquinas recortadas debido a la dificultad que se presenta en el corte de dichas esquinas en la celda terminada hasta tanto se cuente con una sierra apropiada.

El patrón se realizó con un programa de diseño asistido por computadora (CAD) y se imprimió ampliado 10 veces respecto del tamaño original de la máscara. Se sacaron fotos de la ampliación con una cámara de galería y sobre película gráfica para obtener el dibujo sobre el negativo en el tamaño original. Dichos negativos sirvieron de máscara en el proceso de elaboración de la máscara sobre vidrio que se explica a continuación.

Elaboración de la máscara

Las máscaras para fotolitografía se fabricaron sobre vidrio *White-Soda Lime* de 50 mm x 100 mm y 1 mm de espesor. El mismo tiene un alta transmisión óptica en el intervalo de longitudes de onda de activación de la fotorresina (300 - 450 nm), es de menor costo que el cuarzo y se consigue en el país. Los vidrios son sometidos a una limpieza muy rigurosa (Elliot, 1982) para favorecer la adherencia del metal que posteriormente será evaporado sobre los mismos. La cobertura se puede realizar con diferentes metales; en este caso se eligió el cromo debido a su alta durabilidad, resistencia a la limpieza, buena

adherencia al vidrio y dureza. El cromo fue depositado por evaporación térmica en cámara de vacío.

A fin de imprimir el patrón diseñado sobre el cromo es necesario realizar previamente el proceso de fotolitografía idéntico al que se utiliza en la elaboración de las grillas frontales en las celdas solares. En dicho proceso se deja libre de fotorresina las regiones de los contactos en la máscara protegiendo el resto de la misma. Posteriormente se ataca el cromo con una solución compuesta de 100 gr de sulfato de cerio tetrahidratado, 50 ml de ácido sulfúrico en 1000 ml agua previa activación de la superficie del cromo con ácido clorhídrico con aluminio.

Se observó una buena adherencia del cromo sobre el vidrio y una buena definición de las líneas que forman los dedos. Éstos tienen un espesor que va desde (45 ± 1) μm en la parte central de la máscara hasta (50 ± 1) μm en los bordes. Estas diferencias con respecto a la medida de los dedos de 35 μm propuesta inicialmente y la variabilidad del espesor se deben al ensanchamiento que se produce en el revelado y posterior ataque químico y a la dispersión observada en la película fotográfica utilizada como patrón debido a problemas asociados a la máquina fotográfica utilizada.

Se elaboraron grillas metálicas sobre obleas de silicio con las máscaras confeccionadas con resultados similares a los obtenidos hasta el momento, obteniéndose el patrón de la grilla ubicado en el mismo lugar en todas las celdas.

CONCLUSIONES

Se avanzó en la implementación de multicapas AR-pasivantes optimizadas para celdas solares de Si encapsuladas para aplicaciones espaciales, encontrándose una buena correlación entre la caracterización óptica de las muestras y su correspondiente simulación teórica. El análisis por espectroscopia Auger de la estructura $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2\text{-Si}$ mostró un buen acuerdo con su caracterización óptica y con resultados encontrados en la literatura.

La caracterización eléctrica de las celdas de Si con y sin AR optimizado de ZnS muestran un sensible incremento del 35 % en la corriente de cortocircuito y en la eficiencia de conversión. Resta resolver en este caso el problema de la pasivación de la superficie frontal ya que el ZnS no provee dicha pasivación y, mediante simulaciones numéricas, se verificó que por este motivo se pierde cerca de un 8 % de la I_{cc} .

Se elaboraron por primera vez en el Grupo Energía Solar de la CNEA máscaras fotolitográficas sobre vidrio. Esto permitirá poseer fotomáscaras de bajo costo que no se degraden (como las de película fotográfica) por el calor o la radiación UV proveniente del equipo iluminador para la realización de la fotolitografía. Cabe aclarar que este trabajo consistió en poner a punto las distintas técnicas de la fabricación de máscaras quedando por mejorar y lograr el control en la transferencia de las dimensiones de los dedos metálicos.

Asimismo, se elaboraron por primera vez en el GES celdas solares Si cristalino de área apropiada para aplicaciones espaciales para las cuales se obtuvieron resultados comparables a aquellos correspondientes a dispositivos de menor área.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a A. Gómez Ruperez por la donación de los vidrios utilizados en este trabajo, a J. Latricchina por su colaboración con el equipo de fotografía, a J. Ferrón por la medición por espectroscopia Auger, y a E. Godfrin por el ajuste de las curvas de las celdas con AR de ZnS. Este trabajo fue financiado fundamentalmente por la CONAE y la CNEA. Cuenta también con aportes de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del subsidio BID 1201/OC-AR, PICT No 10-06981

REFERENCIAS

- Alurralde M., Tamasi M.J.L., Bruno C.J., Martínez Bogado M.G., Plá J., Fernández Vázquez J., Durán J., Schuff J., Burlon A.A., Stoliar P. y Kreiner A.J. (2004). Experimental and theoretical radiation damage studies on crystalline silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **82**, 531–542.
- Barrera M. y Plá J. (2003). Películas dieléctricas antirreflectantes-pasivantes en celdas solares de silicio cristalino para uso espacial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **7**, 09.07–09.12.
- Basore P.A., Gee J.M., Buck M.E., Schubert W.K. y Ruby D.S. (1994). Simplified high-efficiency silicon cell processing. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **34**, 91-100.
- Bolzi C.G., Merino L.M., Tamasi M.J.L., Plá J.C., Durán J.C., Bruno C.J., Godfrin E.M., Lamagna A., Barrera M.P. y Quintero L.B. (1997). Elaboración y caracterización de celdas y paneles solares de silicio cristalino para su ensayo en el satélite SAC-A. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **1**, 2, 1-4.
- Bolzi C.G., Bruno C.J., Godfrin E.M., Martínez Bogado M.G., Plá J., Rodríguez S.E., Tamasi M.J.L., Alurralde M., Cabot P., Carella E., Fernández Vázquez J., Franciulli C.D., Goldbeck V., Mezzabolta E., Antonuccio F., Nigro S.L. y Durán J.C. (2001). Convenio de cooperación CONAE-CNEA: desarrollo, fabricación y ensayo de paneles solares para misiones satelitales argentinas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **5**, 4.07-4.12.
- Bolzi C.G., Bruno C.J., Durán J.C., Godfrin E.M., Martínez Bogado M.G., Merino L.M., Plá J.C., Tamasi M.J.L. y Barrera

- M. (2002a). First experiment of Argentine solar cells in space: modules fabrication, characterisation, and telemetry data analysis from SAC-A satellite. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **73**, 269–280.
- Bolzi C.G., Tamasi M.J.L., Martínez Bogado M.G. y Plá J.C. (2002b). Radiómetros fotovoltaicos de bajo costo desarrollados en la C.N.E.A.: prototipo comercial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6**, 11.01–11.02.
- Bolzi C.G., Bruno C.J., Cabot P., Carella E., Durán J.C., Fernández Vázquez J., Franciulli C.D., Godfrin E.M., Goldbeck V., Martínez Bogado M.G., Moglioni A., Plá J., Rodríguez S.E., Tamasi M.J.L., Alurralde M., Antonuccio F., Filevich A., Iglesias A., Mezzabolta E. y Nigro S.L. (2003). Desarrollo, fabricación y ensayo de paneles solares para misiones satelitales argentinas - primer módulo para ensayos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **7**, 04.07–04.12.
- Bruno C.J., Martínez Bogado M.G., Plá J.C. y Durán J.C. (1999). Determination of minority carrier lifetime in solar cells: a novel biased OCVD technique. *Physica Status Solidi (a)* **174**, 231-238.
- Durán J.C., Venier G.L. y Weht R. (1991). Optimization of the junction depth and doping of solar cell emitters, *Solar Cells* **31**, 497-503.
- Durán J.C., Bruno C.J., Alurralde M., Antonuccio F., Bolzi C.G., Cabot P., Carella E., Fernandez Vázquez J., Filevich A., Franciulli C.D., Godfrin E.M., Goldbeck V., Martínez Bogado M.G., Mezzabolta E., Nigro S.L., Plá J., Rodríguez S.E. y Tamasi M. (2002). Convenio de cooperación CONAE-CNEA: desarrollo, fabricación y ensayo de paneles solares para misiones satelitales argentinas-Actividades desarrolladas en el último año. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6**, 04.13–04.17.
- Elliot D., 'Integrated Circuit Fabrication Technology', Mc. Graw Hill Company, 1982, New York.
- Martínez Bogado M.G., Tamasi M.J.L., Plá J.C., Bolzi C.G. y Durán J.C. (2000). Influencia de la difusión de aluminio y fósforo sobre la vida media de portadores minoritarios en obleas de silicio cristalino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **4**, 04.23-04.28.
- Plá J.C., Godfrin E.M. y Durán J.C. (1998). Diseño, elaboración y caracterización de celdas solares de silicio cristalino con textura superficial. *Energías Renovables y Medio Ambiente* **4**, 1-5.
- Plá J.C., Bolzi C.G., Venier G.L., Tamasi M.J.L. y Durán J.C. (2000). Short circuit current vs. cell thickness in solar cells under rear illumination: a direct evaluation of the diffusion length. *Solid State Electronics* **44**, 719-724.
- Richards B.S., Cotter J.E., Honsberg C.B. (2002). Enhancing surface passivation of TiO₂ coated silicon wafers. *Applied Physics Letters* **80**, 1123-1125.
- Tamasi M.J.L., Plá J.C., Bolzi C.G., Martínez Bogado M.G., Venier G.L. y Durán J.C. (1998). Comparison of different simple fabrication processes for high efficiency silicon solar cells. *Proceedings of the Second World Photovoltaic Energy Conversion Conference and Exhibition*, Viena, Austria, 1874-1877.
- Tamasi M.J.L., Martínez Bogado, M.G., Alurralde, M., Plá, J.C. (2002). Estudio teórico-experimental de daño por radiación con protones de 10MeV en celdas solares de silicio cristalino. *Energías Renovables y Medio Ambiente* **11**, 19-24.

ABSTRACT

As the Argentine National Space Agency (CONAE) and the Solar Energy Group (GES) from the Argentine National Atomic Energy Commission (CNEA) began to work together on research and development activities, one of the goals was to fabricate solar cells for space applications. In this paper, we present first obtained results on: i) fabrication of photolithographic masks on glass to elaborate frontal contact grids on optimized solar cells; ii) optimization and fabrication of antireflecting-passivating multilayers for encapsulated cells; iii) optimization and fabrication of crystalline silicon solar cells with antireflecting layer of ZnS; iv) fabrication of large area silicon solar cells. In all cases proper characteristics of the application were considered, as the utilization of the AM0 spectrum in the theoretical optimization process and the fabrication of devices of larger area than the usual used at lab level.

Keywords: silicon solar cells – space applications - antireflecting coatings – photolithography – masks