



## AVANCES EN EL ESTUDIO DE CELDAS SOLARES BASADAS EN MATERIALES III-V\*

J. Plá<sup>1,2</sup>, M. Barrera<sup>1,2</sup>, F. Rubinelli<sup>3</sup>, J. García<sup>4</sup>, H. Socolovsky<sup>1,+</sup>, M. Bosi<sup>5</sup>, G. Attolini<sup>5</sup>, C. Pelosi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Grupo Energía Solar, CAC-CNEA, Av. General Paz 1499, 1650 San Martín, Provincia de Buenos Aires

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Tel. (011) 6772-7128; e-mail [jpla@tandar.cnea.gov.ar](mailto:jpla@tandar.cnea.gov.ar)

<sup>3</sup> INTEC-CONICET, Universidad Nacional del Litoral, Güemes 3450, 3000 Santa Fe

<sup>4</sup> Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

<sup>5</sup> IMEM-CNR, Parco Area delle Scienze 37/A, 43010 Fontanini, Parma, Italia

<sup>+</sup> Becario de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT)

**RESUMEN:** Las celdas solares basadas en materiales semiconductores III-V han adquirido una gran relevancia en el mercado espacial, a la vez que comienzan a ser consideradas para aplicaciones terrestres en sistemas con concentración. En el Grupo Energía Solar (GES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) se está trabajando en el estudio de este tipo de dispositivos en el marco de un proyecto de colaboración científica entre el GES de la CNEA y el Instituto IMEM-CNR de Parma, Italia, quienes se especializan en la deposición de películas semiconductoras III-V de interés fotovoltaico mediante la técnica MOVPE (*Metalorganic Vapor Phase Epitaxy*). Asimismo, en el tema específico de simulación de dispositivos III-V, se estableció una colaboración con el INTEC de Santa Fe extendiéndose también el estudio hacia esta área. Se presentan los avances realizados durante el último año referidos a la caracterización de estructuras crecidas por MOVPE, optimización y simulación numérica de dispositivos, y finalmente la caracterización electrónica de los mismos.

**Palabras clave:** celdas solares, semiconductores III-V, simulación numérica, caracterización

### INTRODUCCION

En la actualidad es un hecho que los dispositivos fotovoltaicos basados en semiconductores III-V son la elección preferida a la hora de fabricar los sistemas de potencia de las misiones satelitales dada su superior performance eléctrica, que permite minimizar área y peso a igual prestación de potencia eléctrica, y su mayor resistencia al daño por radiación (Plá, 2007).

En particular, los paneles solares de las próximas misiones satelitales argentinas contarán con celdas ATJ (*Advanced Triple Junction*) InGaP/GaAs/Ge fabricadas por la empresa Emcore (Alurralde et al., 2005a; 2005b; 2007; Durán et al., 2002).

Este año los dispositivos de triple juntura han superado la notable barrera del 40% de eficiencia de conversión, con una concentración de 240 soles, haciendo ingeniería sobre el *gap* al utilizar semiconductores III-V no ajustados en el parámetro de red (King et al., 2007). Este avance en la tecnología de fabricación de dispositivos fotovoltaicos III-V los hace aún más atractivos para aplicaciones terrestres, posibilidad que ya se empezó a considerar en los últimos años (Sherif et al., 2005; Bosi y Pelosi, 2006). Cabe destacar, sin embargo, que la aplicación de la conversión fotovoltaica para la producción de energía en masa plantea nuevos desafíos y se encuentra actualmente en debate (Feltrin y Freundlich, 2006).

Como fuera mencionado anteriormente (Plá et al., 2006), se inició una colaboración científica entre el Grupo Energía Solar (GES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Instituto IMEM (Istituto dei Materiali per l'Elettronica ed il Magnetismo) del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) italiano a fin de profundizar el conocimiento sobre dispositivos fotovoltaicos basados en materiales III-V aprovechando las experiencias complementarias de ambos grupos.

Se realizaron también desarrollos en la simulación numérica de dispositivos III-V a través de otra colaboración, en este caso con el Grupo de Física de Materiales del INTEC-CONICET de Santa Fe.

Se presentan en este trabajo los avances en las actividades desarrolladas en el marco de estas colaboraciones en lo referido al crecimiento y caracterización de estructuras de materiales III-V para aplicaciones fotovoltaicas depositadas mediante la técnica MOVPE, la simulación numérica y optimización de dispositivos basados en materiales III-V, y la caracterización electrónica de dispositivos multijuntura a través de la medición de su respuesta espectral.

---

\* Trabajo realizado en el marco del proyecto "Fabricación y caracterización de celdas solares para aplicaciones espaciales basadas en semiconductores III-V", MAE-SECyT (2006-2007) IT-PA05-E/X/037. Cuenta con financiamiento de CONAE, CNEA, CONICET (Proyecto PIP 2006-2007 N° 5286) y la ANPCyT a través del subsidio BID 1201/OC-AR, PICT2003 N° 10-14327.

## CRECIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN ÓPTICA DE ESTRUCTURAS DE MATERIALES III-V

En el laboratorio del IMEM-CNR de Parma, Italia, se trabaja corrientemente en el crecimiento y estudio de películas semiconductoras de materiales compuestos III-V mediante la técnica MOVPE. Los detalles acerca de la técnica de crecimiento y del equipamiento utilizado fueron ya publicados y pueden verse en Plá et al. (2006).

Se realizaron diversos procesos de deposición, entre los que se destacan la deposición de películas de AlGaAs, material utilizado como capa “ventana” para la pasivación de la superficie frontal en celdas de GaAs (ver por ejemplo Rey-Stolle y Algora (2000)) y la deposición de estructuras compatibles con celdas homojuntura de GaAs.

En el caso de la deposición de películas de  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  se realizó un estudio referido al efecto de la variación del contenido de Al. Dichas películas fueron depositadas en sustratos de GaAs tipo n y orientación  $\langle 001 \rangle$  e inclinación de  $2^\circ$  hacia la dirección  $\langle 110 \rangle$  utilizando los precursores estándar arsina ( $\text{AsH}_3$ ), trimetilgalio (TMG) y trimetilaluminio (TMAI) diluidos en hidrógeno como gas de transporte, a  $600^\circ\text{C}$  de temperatura y 60 mbar de presión. A los efectos de controlar la incorporación de Al en el AlGaAs, las presiones parciales de TMAI y TMG fueron controladas con líneas de doble dilución, mientras que la presión parcial de  $\text{AsH}_3$  fue mantenida constante en todas las deposiciones. Las películas de AlGaAs fueron depositadas sobre el sustrato de GaAs luego de un ataque de corta duración en ambiente de  $\text{AsH}_3$  para remover el óxido nativo y sin utilizar capa *buffer*.

Las películas depositadas se caracterizaron por microscopía de fuerza atómica (AFM), difracción de rayos X en alta resolución (HRXRD), y reflectividad espectral. Los detalles pueden encontrarse en Attolini et al., 2007.

En el caso de la reflectividad espectral, las curvas experimentales fueron ajustadas por medio de simulaciones teóricas realizadas mediante el programa Optical (Centurioni, 2005) lo cual permitió determinar los espesores de las películas de AlGaAs. Los índices de refracción del GaAs y el  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  fueron extraídos de Palik (1985) y Palik (1991) respectivamente.

A partir de la medición del espectro de HRXRD es posible extraer tanto el contenido de Al como el espesor de la película; en la Tabla I se muestran los resultados obtenidos por ambas técnicas.

Se realizó también la caracterización óptica de estructuras compatibles con celdas homojuntura de GaAs depositadas sobre sustratos de Ge y GaAs de acuerdo a los detalles que ya fueran publicados en Plá et al. (2006). La estructura a caracterizar es: GaAs (capa de contacto,  $0,15 \mu\text{m}$ ) – AlGaAs (capa ventana,  $0,03 \mu\text{m}$ ) – GaAs (emisor + base + BSF,  $3,5 \mu\text{m}$ ) – AlGaAs (*buffer*,  $0,1 \mu\text{m}$ ) – sustrato (GaAs ó Ge,  $300 \mu\text{m}$ ).

Un ejemplo de dicha caracterización se presenta en la Figura 1, mientras que en la Tabla II se resumen los resultados obtenidos para todas las muestras caracterizadas. En el caso de la muestra 426, también se realizó la caracterización por HRXRD.

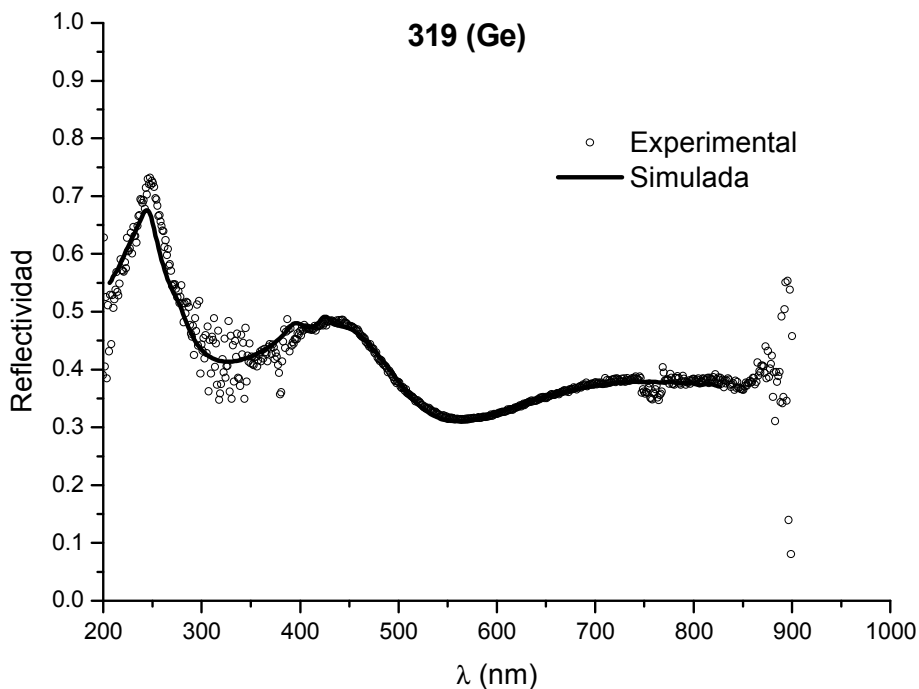


Figura 1: Caracterización óptica de la estructura GaAs (capa de contacto) - AlGaAs (ventana) - GaAs (emisor+base+BSF) - AlGaAs (*buffer*) - Ge (sustrato).

Cabe destacar que, debido a que el espesor de la base más el emisor y el BSF (*Back Surface Field*) de la celda (ópticamente indistinguibles) es de alrededor de  $3,5 \mu\text{m}$ , el efecto de interferencia de estas capas no se percibe en la reflectividad espectral

en las longitudes de onda consideradas (200-900 nm). Los valores correspondientes al emisor, base, BSF y *buffer* (de AlGaAs) fueron entonces fijados en sus valores nominales a los efectos de los cálculos teóricos. Se comprobó asimismo mediante simulaciones que estos valores tienen una influencia despreciable sobre la reflectividad en el rango de longitudes de onda donde se midió. Por lo tanto solo se presentan los espesores obtenidos para la capa de contacto (GaAs) y para la ventana (AlGaAs).

x en Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As	Espesor (XRD) (nm)	Espesor (reflectividad) (nm)
0,59	380	367
0,66	360	335
0,71	390	380
0,82	470	465

Tabla I: Espesores de distintas películas de Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As obtenidos por HRXRD y reflectividad

Se encontró un buen ajuste de la curva experimental de reflectividad por medio de la simulación teórica en todos los casos, hecho que le asigna una razonable confiabilidad a los espesores determinados por este medio. Cabe aclarar que, de existir alguna rugosidad en las capas, estos espesores serían “efectivos”, es decir aquellos que correspondiendo a superficies planas producirían el mismo efecto que las superficies rugosas desde el punto de vista óptico. Para determinar cual es la situación real es necesario recurrir a otros medios de caracterización, como ser microscopía electrónica de transmisión (TEM) en sección transversal o bien reflectividad de rayos X (XRR) (ver por ejemplo Barrera et al. (2007)).

Muestra (sustrato)	318 (GaAs)	319 (GaAs)	319 (Ge)	426 (GaAs)
GaAs – espesor nominal (nm)	150	150	150	50
GaAs – espesor obtenido (nm)	96,9	93,3	73,3	150 (147; HRXRD)
AlGaAs – espesor nominal (nm)	30	30	30	30
AlGaAs – espesor obtenido (nm)	15	22	17,5	60 (51,8; HRXRD)

Tabla II: Espesores de la capa de contacto (GaAs) y de la capa ventana (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As) obtenidos por medio de la simulación teórica de la reflectividad. En un caso (muestra 426) se presenta también el resultado obtenido por HRXRD.

Se observa que los valores obtenidos resultan en alrededor de un 40% menores que el espesor nominal, es decir de aquel definido de antemano y esperado de acuerdo a los parámetros del proceso de deposición, para los procesos 318 y 319, mientras que resultan sensiblemente mayores para el 426. También se observa una dependencia del sustrato en las dos muestras del proceso 319. Estos resultados implican la necesidad de revisar los parámetros de deposición a fin de lograr un mejor ajuste entre los espesores esperados y los realmente obtenidos.

No obstante la consolidación de los materiales III-V en aplicaciones fotovoltaicas aún resta mucho por investigar, también desde el punto de vista básico, en la optimización de materiales, procesos de crecimiento, y celdas solares. Así, el problema de las interfaces difusas en celdas de triple juntura, la generación de la juntura de la subcelda de Ge por crecimiento epitaxial en lugar de difusión, nuevos materiales ajustados en el parámetro de red al Si, o el llamado “crecimiento invertido” son temas actuales de investigación (Pelosi et al., 2006; 2007; Timò et al., 2007; Geisz et al., 2007).

## OPTIMIZACIÓN ANTIRREFLECTANTE Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DE CELDAS DE GaAs

Se continuó con las actividades conducentes a la optimización y simulación numérica de dispositivos basados en materiales semiconductores III-V.

En el caso de la simulación numérica, se profundizó el estudio de un dispositivo homojuntura de GaAs cuya estructura, así como los valores experimentales de los parámetros eléctricos, fue publicada en Bett et al., 1999 y se presenta en la Figura 2. Los espesores de la doble capa AR MgF<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, no especificados en Bett et al., 1999, se obtuvieron a partir de cálculos de optimización numérica realizados con anterioridad en los que se consideró, además, la influencia de la capa de InGaP pasivante del emisor en el proceso de optimización (Plá et al, 2006). La simulación del dispositivo fue realizada utilizando el código D-AMPS-1D apropiadamente modificado para considerar materiales semiconductores III-V, y los resultados preliminares fueron presentados en Plá et al., 2006. Considerando una pérdida resistiva de 0,062 Ωcm<sup>2</sup> y utilizando el método descrito en Plá et al. (2003), se obtuvo un buen ajuste del factor de llenado (FF) experimental. Así, el conjunto de los parámetros eléctricos presentados en Bett et al., 1999 pudo ser razonablemente ajustado, tal como se muestra en el Tabla III.

Los resultados presentados en la Tabla III provienen de simulaciones donde se supuso que las bandas eran planas en la superficie frontal. Se realizaron nuevas simulaciones a fin de tener en cuenta otras situaciones, como ser la curvatura de las bandas debido a la presencia de una alta densidad de defectos en la superficie (Gee y Drummond, 1991), la posibilidad del pasaje de huecos por efecto túnel a través de la barrera presente en la interfaz GaAs(emisor) / InGaP(ventana), y la influencia del nivel de dopaje de la capa que actúa como ventana óptica. La curvatura de las bandas se simuló variando el potencial de barrera para los huecos en la superficie del dispositivo, habilitándose la posibilidad de transporte por efecto túnel. Como resultado, se encontró que existe un valor crítico del potencial de barrera a partir del cual se comienzan a degradar los parámetros eléctricos de la celda. Asimismo, el aumento del dopaje de la ventana influye considerablemente sobre dicho valor crítico, dado que la barrera para el pasaje por efecto túnel de los huecos se vuelve más fina y por lo tanto más transparente. Los detalles del trabajo realizado fueron recientemente publicados (Plá et al., 2007).

MgF <sub>2</sub> / TiO <sub>2</sub>	Capa AR; 97,3 nm / 42,1 nm
p <sup>+</sup> InGaP	Capa ventana; 30 nm; 3x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
p <sup>+</sup> GaAs	Emisor; 0,5 μm; 5x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
n GaAs	Base; 3 μm; 2x10 <sup>17</sup> cm <sup>-3</sup>
n <sup>+</sup> InGaP	BSF; 0,25 μm; 3,5x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
n <sup>+</sup> GaAs	Capa <i>buffer</i> ; 0,2 μm; 1x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
n GaAs	Sustrato, 3x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>

Figura 2: Estructura de la celda homojuntura de GaAs utilizada en las simulaciones numéricas.

Se consideraron también ventanas en celdas de GaAs formadas por materiales de alto *bandgap* alternativos como el Al<sub>0,8</sub>Ga<sub>0,2</sub>As y el Al<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, cuyos índices de refracción complejos fueron obtenidos de la literatura (Palik, 1991; Schubert et al., 1999). Para estos casos se realizó la optimización de la bicapa antirreflectante (AR) MgF<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> considerando la influencia de la capa ventana, tal como fuera hecho anteriormente para el caso de la ventana de InGaP. Los cálculos de optimización AR para celdas de GaAs y espectro AM0 correspondientes a una ventana de AlInP se presentan en la Figura 3. Para el caso de la ventana de AlGaAs los resultados obtenidos fueron muy similares a los obtenidos para el AlInP.

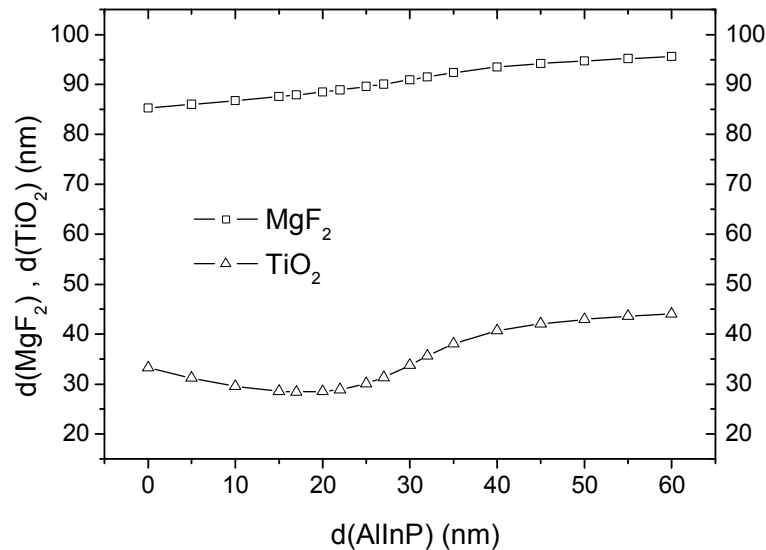


Figura 3: Espesores óptimos de  $MgF_2$  y  $TiO_2$  calculados para diferentes espesores de la capa pasivante de  $AlInP$  usando el espectro solar  $AM_0$ .

	$V_{oc}$ (mV)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	$\eta$ (%)
Parámetros experimentales	1035	26,7	84,3	23,3
Parámetros simulados	1039	26,4	84,3	23,1

Tabla III: Parámetros eléctricos experimentales extraídos de Bett et al. (1999), y simulados con D-AMPS-1D para una celda de GaAs

### MEDICIÓN DE LA RESPUESTA ESPECTRAL EN DISPOSITIVOS MULTIJUNTURA

Se continuaron las modificaciones en el equipo de medición de respuesta espectral (RE) en celdas multijuntura en el marco de los desarrollos ya presentados anteriormente (Fortin et al., 2005; Plá et al., 2006).

Entre los cambios introducidos se encuentra el cambio de la luz de polarización por una lámpara dicróica de 250 W con alimentación independiente y ventilación forzada. Esto permite obtener una irradiancia en el plano de prueba de valor similar a la de trabajo y homogeneidad apropiadas, en acuerdo con la norma correspondiente a la medición de RE en homojunturas (Norma IRAM, 2000). Se agregó además una segunda lámpara de 250 W, también con alimentación independiente. El diseño de los soportes de ambas lámparas posibilita intercalar filtros ópticos a fin de modificar el espectro de iluminación de cada una de ellas por separado. Estas modificaciones tienen como objetivo crear condiciones de iluminación más cercanas a las de trabajo de las celdas a la vez que se tienen más opciones para la selección de la subcelda a medir sin variar excesivamente dichas condiciones.

Asimismo se midieron los espectros de iluminación de las lámparas de polarización de manera tal de facilitar la elección de los filtros ópticos apropiados para seleccionar la subcelda a medir (Fortin et al. 2005). La medición se realizó utilizando un espectroradiómetro *Analytical Spectral Device, Inc*, modelo *FieldSpec Pro FR*, cuyo rango de medición es de 350 nm a 2500 nm. Con el fin de explorar distintas posibilidades para la manipulación de la intensidad y el espectro de las lámparas, se realizaron mediciones a distintas distancias del plano de medición y distintas tensiones de alimentación; como ejemplo se presenta en la Figura 4 la medición realizada a 24 V de alimentación y 34 cm de distancia.

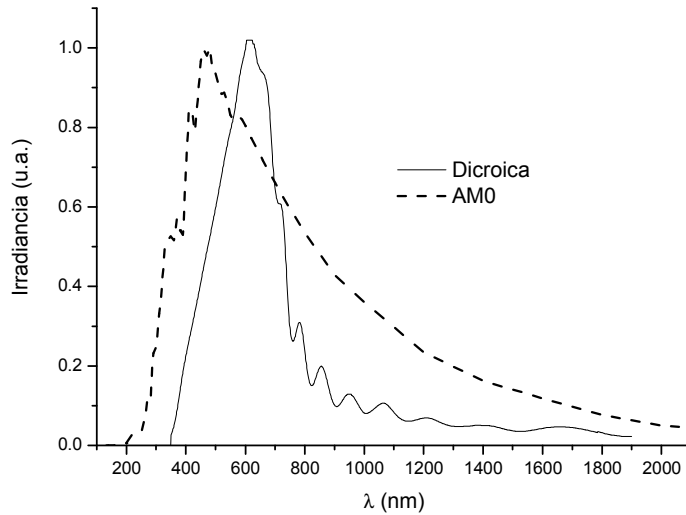


Figura 4: Espectro medido de una lámpara dicroica de 250 W y AM0 estándar.

En la Figura 4 se muestra también el espectro estándar (ASTM) AM0 a fines comparativos. Puede observarse la deficiencia de UV e IR de la lámpara dicroica respecto del espectro solar AM0; de hecho, las fotocorrientes generadas calculadas integrando la RE pesada con el espectro de iluminación cuando se utiliza el espectro de la dicroica y una RE típica de una triple junta extraída de la literatura (King et al., 2000) implica que la subcelda que limita la corriente es la de Ge, cuando en condiciones normales de trabajo esta subcelda genera aproximadamente el doble de fotocorriente que las otras dos subceldas tal cual resulta de los cálculos realizados según puede verse en la Tabla IV. De hecho, en las primeras mediciones de RE de celdas triple junta InGaP/GaAs/Ge realizadas con la lámpara de polarización de 250 W pero sin modificar el espectro de la lámpara resultó que la subcelda de Ge limitaba la corriente de la celda consistentemente con los cálculos realizados.

El cambio de la luz de polarización hizo necesario el cambio de los filtros pasabandas anteriormente utilizados para medir las celdas de InGaP y GaAs en triple juntas InGaP/GaAs/Ge (Fortin et al., 2005). Para poder medir la RE de las celdas deseadas fue necesario utilizar dos filtros: un filtro pasa bajos de longitud de onda de corte de 650 nm para seleccionar la celda de GaAs, y un filtro pasa altos de longitud de onda de corte de 600 nm para seleccionar la celda de InGaP.

La verificación de que los filtros mencionados anteriormente crean las condiciones para que la subcelda a medir sea aquella que limita la corriente, fue realizada utilizando la transmitancia de los filtros, el espectro de la lámpara de 250 W y una respuesta espectral completa típica de la celda de triple junta siguiendo el procedimiento descrito en Fortin et al., 2005.

Subcelda	$J_{sc}$ (Dicroica) [u.a.]	$J_{sc}$ (AM0) [mA/cm <sup>2</sup> ]
GaInP	63.60	16.39
GaAs	50.49	15.20
Ge	40.45	30.10

Tabla IV: Corrientes de cortocircuito generadas por cada subcelda para una triple junta InGaP/GaAs/Ge calculadas utilizando el espectro medido de la lámpara dicroica y el estándar AM0 normalizado a 1367 W/m<sup>2</sup> para una RE típica extraída de King et al. (2000).

Una vez definido el procedimiento de medición y conocidos los filtros necesarios para medir las primeras dos juntas de la celda, se procedió a medir la RE de una celda irradiada con protones de 10 MeV (irradiación realizada a 80°C de temperatura y con una fluencia acumulada de 10<sup>12</sup> p/cm<sup>2</sup>), para compararla con la RE de la misma celda sin irradiar. Los resultados de esta medición y su comparación con la RE de la celda sin irradiar se pueden ver en la Figura 5. Como puede observarse, la RE de la subcelda de InGaP resultó invariante, mientras que en el caso de la subcelda de GaAs se manifiesta una cierta degradación. Este resultado es consistente con el hecho de que las celdas fabricadas con materiales que contienen In son más resistentes al daño por radiación (Walters et al., 2005).

Asimismo, la degradación de la RE en la subcelda de GaAs comienza a hacerse evidente para longitudes de onda mayores que 750 nm mientras que para valores menores no se manifiesta; este efecto está relacionado con el deterioro de la longitud de difusión en la base de dicha subcelda debido al daño por radiación: al disminuir la longitud de difusión los portadores generados más lejos de la junta tienen menor probabilidad de llegar a la misma para ser colectados.

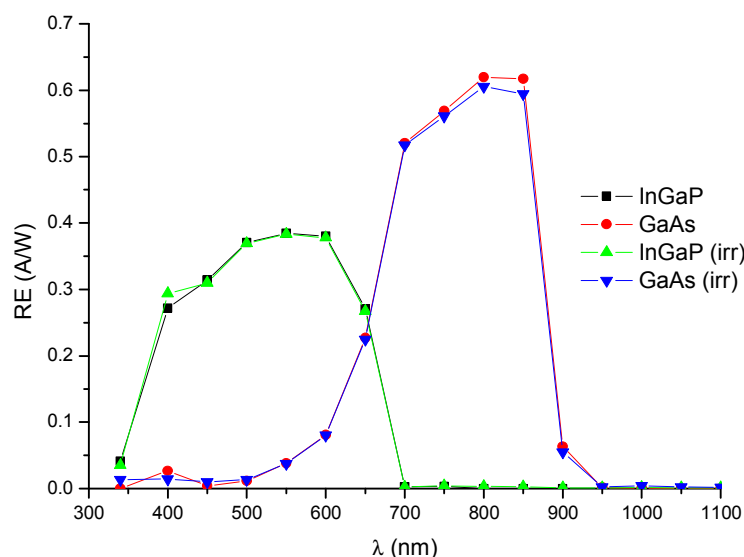


Figura 5: Respuesta espectral medida en CNEA para una celda ATJ Emcore InGaP-GaAs-Ge de las dos primeras subceldas antes y después de ser irradiada con protones de 10 MeV.

## CONCLUSIONES

Se presentaron los avances de las actividades realizadas en el estudio de celdas solares basadas en compuestos III-V a través de proyectos de colaboración científica entre el Instituto IMEM-CNR de Italia, el INTEC-CONICET de Santa Fe y el GES de la CNEA. Entre dichas actividades, se encuentran la deposición de estructuras monolíticas de GaAs e InGaP sobre sustratos de Ge aptas para la fabricación de celdas solares, la simulación y optimización numérica de dispositivos de GaAs, y la caracterización de multijunturas a partir de la medición de la respuesta espectral de cada subcelda.

Los resultados obtenidos en las distintas actividades encaradas permitieron ampliar el conocimiento en el país acerca de estos dispositivos fotovoltaicos de última generación, que en los últimos años han adquirido una gran relevancia en aplicaciones espaciales y que ya comienzan a ser tenidos en cuenta para aplicaciones terrestres.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de C. Ferrari en la medición de los espectros de HRXRD y de F. Capalbo por la medición de los espectros de las lámparas dicróicas. La colaboración de C. Bruno y J. Fernández Vázquez en la resolución de los problemas relacionados con la medición de respuesta espectral es también agradecida.

## REFERENCIAS

- Alurralde M., Antonuccio F., Barrera M., Bolzi C. G., Bruno C. J., Cabot P., Carella E., Di Santo J., Durán J. C., Fernández Vázquez J., Filevich A., Franciulli C. D., Godfrin E. M., Goldbeck V., Iglesias A., Martínez Bogado M. G., Mezzabolta E., Moglioni A., Nigro S. L., Plá J., Prario I., Raffo Calderón M. C., Rodríguez S. E., Tamasi M. J. L., Vertanessian A. (2005a). Fabricación y ensayo de paneles solares para uso espacial. Módulo de ingeniería para la misión Aquarius/SAC-D. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 9, 04.07-04.12.
- Alurralde M., Barrera M., Bolzi C. G., Bruno C. J., Durán J. C., Fernández Vázquez J., Filevich A., Godfrin E. M., Goldbeck V., Iglesias A., Martínez Bogado M. G., Mezzabolta E., Nigro S. L., Plá J., Prario I., Raffo Calderón M. C., Rodríguez S. E., Tamasi M. J. L., Vertanessian A., Antonuccio F., Cabot P., Carella E., Di Santo J., Franciulli C. D., Moglioni A., Berbeglia G., Fernández Slezzack D. (2005b). Development of photovoltaic modules for space applications in Argentina. Proceedings of the 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, España, 538-541.
- Alurralde M., Barrera M., Bolzi C. G., Bruno C. J., Cabot P., Carella E., Di Santo J., Durán J. C., Fernández Vázquez J., Filevich A., Franciulli C. D., Godfrin E. M., Goldbeck V., Iglesias A., Martínez Bogado M. G., Mezzabolta E., Moglioni A., Nigri C., Nigro S. L., Palumbo F., Plá J., Prario I., Raffo Calderón M. C., Rodríguez S. E., Socolovsky H., Tamasi M. J. L., Vertanessian A. (2007). Advances in the development of photovoltaics for space applications in Argentina. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Milán, Italia. En prensa.
- Attolini G., Bosi M., Ferrari C., Barrera M., Plá J., Pelosi C. (2007). Growth and characterisation of AlGaAs layers. Extended Abstracts - 12th European Workshop on Metalorganic Vapour Phase Epitaxy, Bratislava, Eslovaquia, 17-20.
- Barrera M., Plá J., Bocchi C., Migliori A. (2007) Antireflecting-passivating dielectric films on crystalline silicon solar cells for space applications. Enviado a Solar Energy Materials and Solar Cells.
- Bett A. W., Dimroth F., Stollwerck G., Sulima O. V. (1999). III-V compounds for solar cell applications. Applied Physics A 69, 119-129.
- Bosi M., Pelosi C. (2006). The potential of III-V semiconductors as terrestrial photovoltaic devices. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 15, 51-68.

- Centurioni E. (2005). Generalized matrix method for calculation of internal light energy flux in mixed coherent and incoherent multilayer. *Applied Optics* 44, 7532-7539.
- Durán J. C., Bruno C. J., Alurralde M., Antonuccio F., Bolzi C. G., Cabot P., Carella E., Fernández 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., Tamasi M. J. L. (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.
- Feltrin A., Freundlich A. (2006). Material challenges for terawatt level deployment of photovoltaics. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii, EE.UU.*, 2469-2474.
- Fortin S., Martínez Bogado M. G., Plá J. (2005). Respuesta espectral de celdas solares multijuntura para aplicaciones espaciales: diseño del equipo y primeras mediciones. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 04.01-04.06.
- Frigeri C., Pelosi C., Germini F., Attolini G., Bosi M. (2007). Combined (200) DF-TEM and X-ray diffraction investigations of interfaces in MOVPE grown InGaP/GaAs heterojunctions. *Physica Status Solidi (c)* 4, 1485-1489.
- Gee J. M., Drummond T. J. (1990). A theoretical investigation of effective surface recombination velocity in AlGaAs/GaAs heteroface solar cells. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Photovoltaic Science and Engineering Conference*, 26-31.
- Geisz J. F., Kurtz S., Wanlass M. W., War J. S., Duda A., Friedman, D. J., Olson J. M., McMahon W. E., Moriarty T. E., Kiehl J. T. (2007). High-efficiency GaInP/GaAs/InGaAs triple-junction solar cells grown inverted with a metamorphic bottom junction. *Applied Physics Letters* 91, 023502.
- King D. L., Hansen B. R., Moore J. M., Aiken D. J. (2000). New methods for measuring performance of monolithic multi-junction solar cells. *Proceedings of the 28<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Alaska, EE.UU.*, 1197-1201.
- King R. R., Law D. C., Edmondson K. M., Fetzer C. M., Kinsey G. S., Yoon H., Sherif R. A., Karam N. H. (2007). 40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells. *Applied Physics Letters* 90, 183516.
- Norma IRAM 210013-12 (2000). Métodos normalizados para la medición de la respuesta espectral de celdas fotovoltaicas.
- Palik E. D. (ed.) (1985) *Handbook of Optical Constants of Solids*, pp. 429-443, Academic Press, New York.
- Palik E. D. (ed.) (1991) *Handbook of Optical Constants of Solids II*, pp. 513-558, Academic Press, New York.
- Plá J., Tamasi M., Rizzoli R., Losurdo M., Centurioni E., Summonte C., Rubinelli F. (2003). Optimization of ITO layers for heterojunction a-Si/c-Si solar cell applications, *Thin Solid Films* 425, 185-192.
- Plá J., Barrera M., Bosi M., Pelosi C., Attolini G., Rubinelli F., Fortin S., Martínez Bogado M. G. (2006). Colaboración Italo-Argentina para el estudio de celdas solares basadas en materiales III-V. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 10, 04.61-04.66.
- Plá J. (2007). Influencia de nuevas tecnologías en celdas solares en el costo de un sistema fotovoltaico para aplicaciones espaciales. *Enviado a Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Plá J., Barrera M., Rubinelli F. (2007). Influence of the InGaP window layer on the optical and electrical performance of GaAs solar cells. *Semiconductor Science and Technology* 22, 1122-1130.
- Pelosi C., Bosi M., Attolini G., Prutsikij T. (2006). Thermodynamic study of interface between InGaP/GaAs and GaAs/InGaP heterosystems. *Journal de Physique IV* 132, 205 -209.
- Pelosi C., Musaeva N., Attolini G., Bosi M., Clerjau B., Benalloul P., Barthou C., Jabbarov R., Abdullayeva S. (2007). Heteroepitaxial MOVPE growth of GaInPN alloys on Si. A ser presentado en MISHT-2007, Baku, Azerbaijan, September 26-29.
- Rey-Stolle I., Algora C. (2000). Optimum antireflection coatings for heteroface AlGaAs/GaAs solar cells-Part I: The influence of window layer oxidation. *Journal of Electronic Materials* 29, 984-991.
- Schubert M., Woollam J. A., Leibiger G., Rheinländer B., Pietzonka I., Sass T., Gottschalch V. (1999). Isotropic dielectric functions of highly disordered  $Al_xGa_{1-x}InP$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) lattice matched to GaAs. *Journal of Applied Physics* 86, 2025-2033.
- Sherif R. A., King R. R., Karam N. H., Lillington D. R. (2005). The path to 1 GW of concentrator photovoltaics using multijunction solar cells. *Proceedings of the 31<sup>st</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 17-22.
- Timò G., Lasagnes I., Lamare B., Pelosi C. (2007). Epitaxial germanium for high efficiency MJ solar cells and III-V based structures on silicon. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Milán, Italia*. En prensa.
- Walters R. J., Wamel J. H., Summers G. P., Messenger S. R., Lorentzen J. R. (2005). Radiation response mechanisms in multijunction III-V space solar cells. *Proceedings of the 31<sup>st</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 542-547.

**ABSTRACT:** Solar cells based on III-V semiconductor materials have acquired great relevance in the market of devices for space applications, and they began to be considered for terrestrial applications in concentration systems. Studies about this type of devices are being carried out in the Solar Energy Group (GES) of the National Atomic Energy Commission (CNEA) in the frame of a scientific collaboration project between GES-CNEA and the IMEM-CNR Institute from Parma, Italy, who are specialists in the deposition of III-V semiconductor films of photovoltaic interest using the MOVPE (Metalorganic Vapor Phase Epitaxy) technique. In the specific issue of simulation of III-V devices a collaboration with the INTEC Institute from Santa Fe, Argentina, was established by extending the study also to this area. Advances performed in the last year referred to material characterization of structures grown by MOVPE, optimization and numerical simulation of devices, and finally the electronic characterization of III-V devices are presented.

**Keywords:** solar cells, III-V semiconductors, numerical simulation, characterization