

ESTUDIO DE CELDAS SOLARES BASADAS EN MATERIALES III-V*

M. Barrera^{1,2}, J. Plá^{1,2}, F. Rubinelli³

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

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Tel. (011) 6772-7128; e-mail barrera@tandar.cnea.gov.ar

³ INTEC-CONICET, Universidad Nacional del Litoral, Güemes 3450, 3000 Santa Fe

RESUMEN: Los dispositivos fotovoltaicos basados en semiconductores III-V se utilizan como fuente de potencia de satélites y otros vehículos espaciales debido a su alta eficiencia y resistencia a la radiación. En particular, los paneles solares de las próximas misiones satelitales argentinas contarán con celdas de triple juntura, ATJ (*Advanced Triple Junction*) InGaP/GaAs/Ge fabricadas por la empresa Emcore.

Se realizaron simulaciones numéricas de celdas solares basadas en materiales III-V, estableciéndose para ello una colaboración entre grupos del INTEC y la CNEA. Los cálculos fueron realizados mediante el código D-AMPS-1D el que permite evaluar, entre otras características, las curvas JV bajo iluminación y en oscuridad, la respuesta espectral, la distribución del campo eléctrico en el dispositivo, y la concentración de portadores libres y atrapados.

Se presenta el estudio de homojunturas n-p basadas en InGaP, GaAs y Ge, materiales que conforman la mencionada celda de triple juntura, habiéndose llegado a un buen acuerdo entre los parámetros eléctricos simulados en este trabajo y los experimentales presentados en la literatura. Asimismo, se presentan resultados preliminares de la interconexión de las tres homojunturas simuladas para dar lugar a la simulación de una celda triple juntura InGaP/GaAs/Ge. Esta actividad permitirá aportar en el futuro conocimientos para el diseño, predicción del funcionamiento y optimización de este tipo de dispositivos.

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

INTRODUCCIÓN

Las celdas solares constituidas de materiales semiconductores III-V poseen alta eficiencia y resistencia al daño por radiación, y por ello son particularmente aptas para aplicaciones espaciales. Ejemplo de este tipo de dispositivos son las celdas solares multijuntura, las que están formadas por dos o más celdas de materiales con distinto *band gap* (E_g) de modo que cada uno absorbe una porción diferente del espectro solar (Figura 1). Cada celda, mirando desde la cara frontal hacia la posterior, posee menor *band gap* que la precedente, diseño que permite que los fotones menos energéticos pasen a través de las celdas superiores y sean absorbidos por las celdas inferiores.

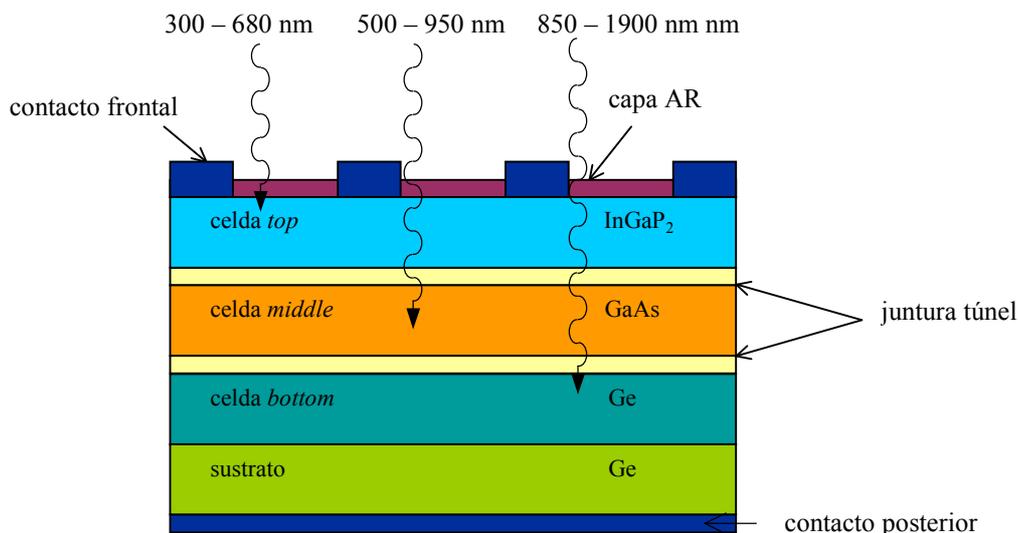


Figura 1. Estructura de una celda multijuntura InGaP/GaAs/Ge.

*El trabajo 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.

La construcción de los módulos fotovoltaicos de las misiones SAOCOM (Satélites de Observación y Comunicaciones) y SAC-D (Satélite de Aplicaciones Científicas - D) de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) está a cargo de un grupo de trabajo creado especialmente en el Centro Atómico Constituyentes de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en torno al Grupo Energía Solar (GES) del Departamento de Física. Estos Proyectos definieron el uso de celdas de triple juntura (InGaP-GaAs-Ge) para la construcción de los módulos fotovoltaicos siendo provistas por la empresa EMCORE (Emcore Photovoltaics, 2004).

Considerando el consecuente interés que despertan este tipo de dispositivos se iniciaron actividades conducentes a la optimización y simulación numérica de celdas solares basadas en materiales III-V mediante el código D-AMPS-1D (*Analysis of Microelectronic and Photonic Devices- new Developments*). Para ello se inició una colaboración con el Grupo de Física de Materiales del INTEC-CONICET de Santa Fe.

En este trabajo se presenta el estudio de celdas basadas en InGaP, GaAs y Ge, actividad que permitirá obtener conocimientos acerca del diseño y funcionamiento del dispositivo multijuntura InGaP/GaAs/Ge. En el futuro será posible realizar optimizaciones numéricas sobre este tipo de dispositivos a fin de realizar propuestas de mejoras en su diseño. Otra posible aplicación de este trabajo será la interpretación y cuantificación del daño introducido en cada subcelda en ensayos de irradiación por partículas cargadas.

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE CELDAS BASADAS EN MATERIALES III-V

Se realizaron simulaciones numéricas de homojunturas homologables a cada una de las subceldas que componen una celda ATJ Emcore utilizando el código D-AMPS-1D (*Development - Analysis of Microelectronic and Photonic Devices – one dimensional*) (Plá et al., 2007a; Rubinelli et al., 2001; Vukadinovic et al.; 2004). El código es una versión actualizada del programa unidimensional AMPS el cual fue desarrollado inicialmente en The Pennsylvania State University, University Park, EE.UU. durante los años 1988-1993 (McElheny et al., 1988). En AMPS se utiliza la técnica de diferencias finitas y la iteración de Newton-Raphson para resolver las ecuaciones de Poisson y de continuidad con condiciones de contorno apropiadas (Rubinelli et al., 1992).

La letra “D” en D-AMPS se refiere a los nuevos desarrollos introducidos a AMPS, la mayoría de ellos referidos a una mejor caracterización y diseño de celdas de silicio amorfo, cristalino o microcristalino. En su versión más reciente, motivada por el presente trabajo, permite simular celdas solares de materiales III-V, para lo que se incluyó la posibilidad de contar con los mecanismos de recombinación banda-banda (directa) y Auger (Barrera et al., 2007; Plá et al., 2007b).

El código permite evaluar la curva corriente-tensión (J-V) en condiciones de oscuridad e iluminación, la eficiencia cuántica, la reflectividad, el campo eléctrico, las concentraciones de portadores libres y atrapados, las corrientes de electrones y de huecos, las tasas de recombinación y de generación, etc.

Con la finalidad de comprender el comportamiento de cada subcelda por separado de la estructura InGaP/GaAs/Ge, se realizó la simulación numérica de homojunturas n-p de InGaP, de GaAs y de Ge. Los valores de *band gap* y del coeficiente de recombinación radiativa se muestran en la Tabla I.

material	AllnP	InGaP	GaAs	Ge
E_g (eV)	1,545	1,88	1,424	0,664
coeficiente de recombinación radiativa (cm ³ /s) (*)	-	1x10 ⁻¹⁰	7,2x10 ⁻¹⁰	-

Tabla I. Principales parámetros correspondientes a cada material.

(*) (Levinshtein et al.;1999)

Cabe aclarar que tanto el Ge como el AllnP son materiales con *gap* indirecto (Sze, 1985) y con coeficiente de recombinación radiativa despreciable frente a los del GaAs y el InGaP (Levinshtein et al., 2000), es por ello que no se consideraron en los cálculos.

CELDA DE InGaP

La estructura de la celda de InGaP y su correspondiente caracterización eléctrica es la publicada en Bett et al. (1999) (Figura 2). En el caso de la interfase InGaP-GaAs se consideraron bandas centradas mientras que para la interfase AllnP-InGaP se utilizaron los mencionados en Luque y Hegedus (2003).

Dado que el trabajo de Bett et al. (1999) no hace referencia a los espesores de la bicapa antirreflectante (AR) MgF₂-TiO₂ se realizó la optimización AR con el fin de determinarlos, para ello se utilizó un programa desarrollado en el Grupo Energía Solar (Plá et al., 2006) considerando distintos espesores de la capa ventana. Los cálculos correspondientes a los espectros AM0 y AM1,5 se presentan en la Figura 3.

Los índices de refracción tenidos en cuenta tanto en la optimización AR como en las simulaciones con D-AMPS fueron extraídos de (Palik, 1985a; Palik1985b; Palik1985c; Schubert et. al, 1995; Schubert et. al. 1999) para el TiO₂, el MgF₂, el GaAs, el InGaP y el AllnP respectivamente.

Las movilidades del GaAs y del InGaP fueron extraídas en los trabajos de Ghannam et al. (2003), Ikeda y Kaneko (1989) y Shitara y Eberl (1994).

MgF ₂ – TiO ₂		capa AR; d(MgF ₂)=92,1nm d(TiO ₂)=24,5nm
n	AllnP	ventana; 30 nm; N _d =1x10 ¹⁸ cm ⁻³
n	InGaP	emisor; 50 nm; N _d =5x10 ¹⁸ cm ⁻³
intrínseco	InGaP	capa intrínseca; 500 nm; N _d =1x10 ¹⁵ cm ⁻³
p	InGaP	base; 1300 nm; N _a =3x10 ¹⁷ cm ⁻³
p	InGaP	BSF; 300 nm; N _a =3,5x10 ¹⁸ cm ⁻³
p	GaAs	buffer; 200 nm; N _a =2x10 ¹⁹ cm ⁻³
p	GaAs	sustrato; 350 μm; N _a =6x10 ¹⁸ cm ⁻³

Figura 2. Estructura de la celda de InGaP simulada

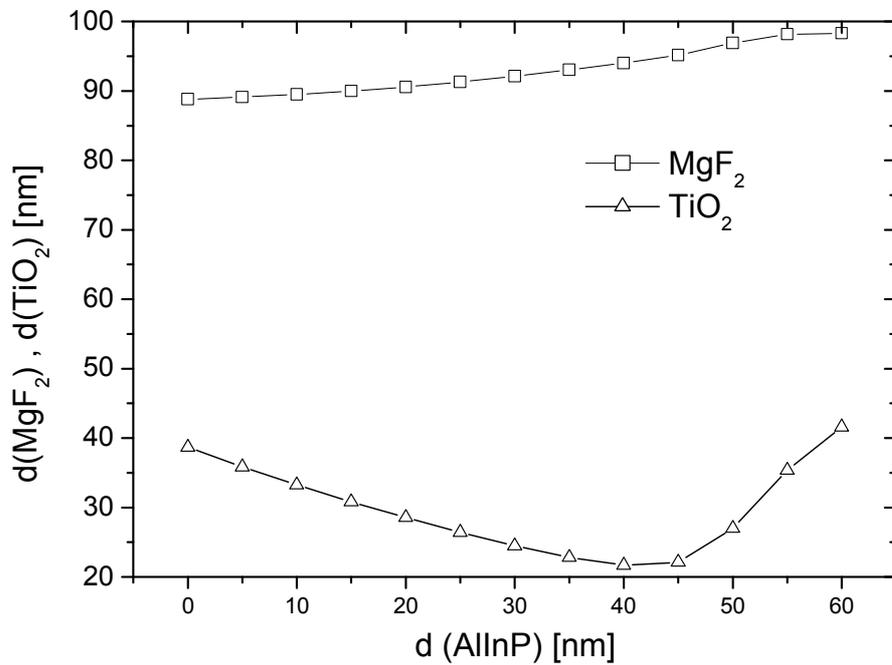


Figura 3(a). Espesores óptimos de MgF₂ y TiO₂ calculados para diferentes espesores de la capa pasivante de AllnP usando el espectro AM1,5.

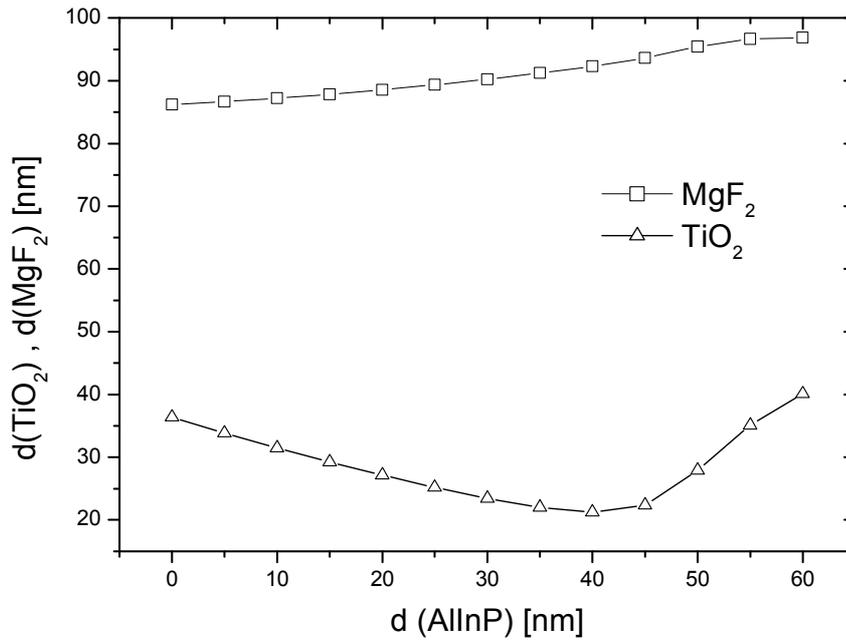


Figura 3(b). Espesores óptimos de MgF_2 y TiO_2 calculados para diferentes espesores de la capa pasivante de $AlInP$ usando el espectro $AM0$.

Los parámetros eléctricos resultantes correspondientes a la superficie pasivada, es decir con baja velocidad de recombinación superficial ($S=200$ cm/s) y optimización AR se muestran en la Tabla II, puede observarse que el ajuste de los valores simulados con los experimentales es muy bueno para la tensión de circuito abierto (V_{ca}) y la densidad de corriente de cortocircuito (J_{cc}). La diferencia que se observa en el caso del factor de forma (FF), y por lo tanto para la eficiencia de conversión (η), resulta del hecho que en las simulaciones no se consideraron pérdidas resistivas.

	V_{ca} (mV)	J_{cc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
parámetros simulados	1324	13,8	0,850	15,5
parámetros experimentales (Bett et al., 1999)	1324	13,9	0,799	14,7

Tabla II. Comparación entre los resultados simulados y experimentales para una celda homojuntura de $InGaP$ (espectro $AM1,5$).

En la Figura 4 puede observarse la eficiencia cuántica externa obtenida.

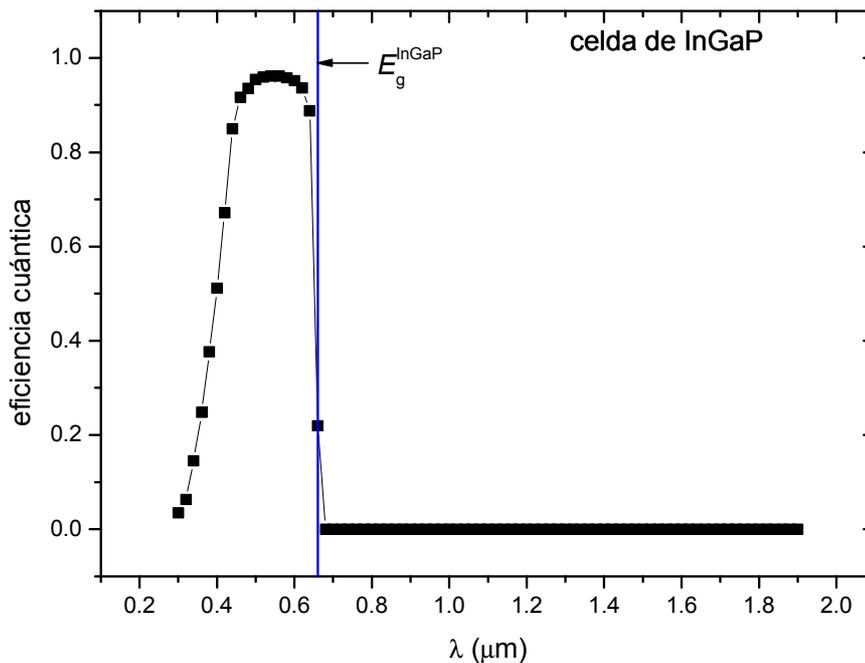


Figura 4. Eficiencia cuántica externa para la celda de $InGaP$.

En la eficiencia cuántica obtenida, como era de esperar, se observa un corte para el valor del gap del InGaP y su forma es consistente con la curva medida presentada en Bett et al. (1999).

CELDA DE GaAs

En el caso de la subcelda de GaAs, se simuló una celda n-p según los datos encontrados en Letay et al. (2006). La estructura de la celda se presenta en la Figura 5, se consideró la superficie frontal no pasivada y sin capa AR.

n	InGaP	ventana; 30 nm; $N_d=3,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
n	GaAs	emisor; 100 nm; $N_d=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
intrínseco	GaAs	capa intrínseca; 5 nm; $N_d=1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
p	GaAs	base; 3495 nm; $N_a=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
p	InGaP	BSF; 50 nm; $N_a=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
p	GaAs	buffer; 275 nm; $N_a=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
p	GaAs	sustrato; 300 μm ; $N_a=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

Figura 5. Estructura de la celda de GaAs simulada.

Para los valores de movilidad y los *offsets* de las bandas se consultaron los mismos trabajos que se mencionaron para la celda de InGaP. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4, y se aplican en este caso los mismos comentarios realizados respecto a los resultados del caso de la homojuntura de InGaP.

	$V_{ca}(\text{mV})$	$J_{cc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	FF (%)	η (%)
parámetros simulados	996	19,34	0,860	16,6
parámetros experimentales (Letay et al., 2006)	991	19,3	0,815	15,6

Tabla II. Comparación entre los resultados simulados y experimentales para una celda homojuntura de GaAs n-p (AM1,5).

En la Figura 6 puede observarse la eficiencia cuántica externa, esta presenta un escalón justo en el valor coincidente con el *gap* del InGaP. Este hecho es consistente con la absorción óptica producida en la ventana de InGaP utilizada para pasivar la cara frontal de la celda (ver la estructura de la Figura 3).

La reflectividad obtenida mediante D-AMPS y el código OPTICAL (Centurioni, 2005) se presenta en la Figura 7. Como puede verse, el acuerdo con la medición experimental dada en Letay et al. (2006) es razonable. Las pequeñas diferencias que se observan podrían ser atribuidas a diferencias entre los índices de refracción utilizados en las simulaciones y los que realmente corresponden a los materiales depositados en la fabricación del dispositivo real.

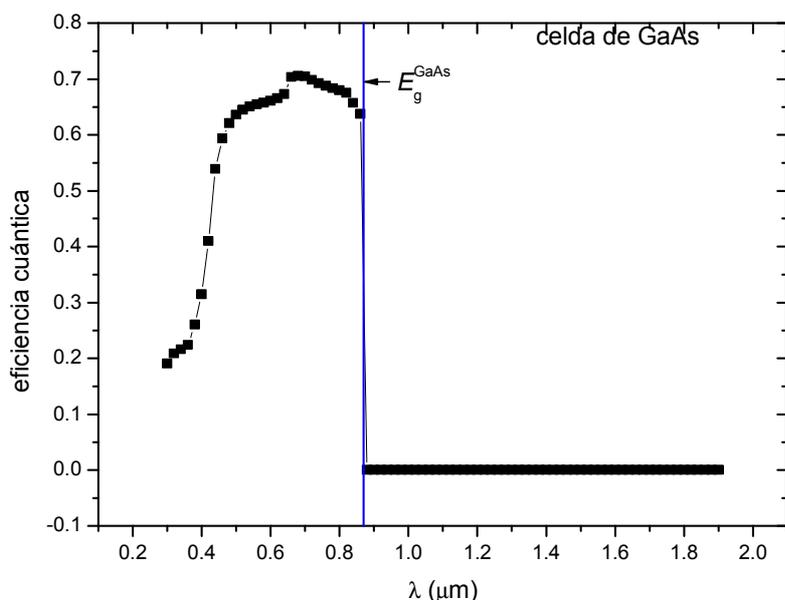


Figura 6. Eficiencia cuántica externa para la celda de GaAs.

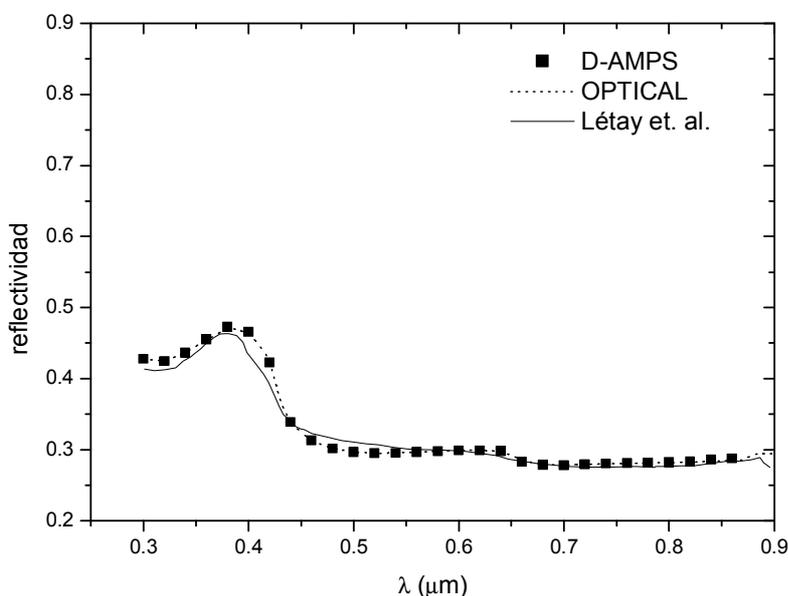


Figura 7. Reflectividad simulada con el código D-AMPS y con el código OPTICAL.

CELDA DE Ge

En el caso de la celda de Ge, se consideró una juntura difundida construida según datos de las referencias Espinet et al. (2007), Friedman y Olson (2001), Gaubas y Vanhellefont (2006), Posthuma et al. (2003), Posthuma et al. (2004), Phostuma et al. (2005) y Tobin et al. (1988). Las movilidades fueron extraídas de Sze (1985).

Dada la amplia variedad de situaciones encontradas, en particular en lo referido a la pasivación de la cara frontal, y dada la aplicación que se hará posteriormente de esta simulación, se optó por pasivar dicha cara frontal directamente en el D-AMPS, no consignándose en este caso una comparación directa con valores experimentales. En las Tablas III y IV se presentan la estructura utilizada y los parámetros eléctricos obtenidos.

	material	espesor nominal	dopaje (cm^{-3})
emisor	Ge	260 nm	$N_d = 1 \times 10^{19}$ en la superficie, luego perfil gaussiano
base	Ge	140 μm	$N_a = 4 \times 10^{17}$

Tabla III. Estructura de la celda de Ge simulada.

	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
parámetros simulados	267	33,61	0,701	6,3

Tabla IV. Parámetros simulados para una celda de Ge (AMI,5).

Para los dispositivos simulados, la densidad de defectos en cada capa fue ajustada de modo de obtener un buen ajuste de los parámetros eléctricos reportados en cada caso.

CELDA TRIPLE JUNTURA

Se realizó la conexión virtual de tres subceldas basadas en InGaP, GaAs y Ge para formar la celda de triple juntura InGaP/GaAs/Ge. La importancia de la simulación de esta celda radica en que es la que utilizarán los paneles solares de las misiones SAC-D y SAOCOM de la CONAE.

Dado que dichas celdas triple juntura son comerciales, no se disponen de los datos de los parámetros de la celda y es por ello que se utilizaron como punto de partida las simulaciones de las homojunturas detalladas en la sección anterior. Primeramente cada subcelda fue simulada independientemente considerando el espectro AM0 filtrado y con la corrección de la reflectividad debido a las interfases aire/subcelda. Los espesores de dichas subceldas fueron estimados a través del ajuste de la reflectividad medida de la celda Emcore y comparando los resultados con los parámetros eléctricos con los presentados en Emcore Photovoltaics (2004). Los valores obtenidos son de aproximadamente de 0,514 μm para la celda *top*, 3 μm para la celda *middle* y 140 μm para la celda *bottom*. Otros detalles pueden encontrarse en Barrera et al. (2008).

Posteriormente se realizó la interconexión de las subceldas mediante el código SIMPAN, desarrollado en el GES (Alurralde et al., 2007). Con una resistencia serie de 0,135 Ω se logra un buen ajuste con los datos provistos por Emcore Photovoltaics (2004) (Tabla V).

	V_{ca} (V)	J_{cc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
ATJ Emcore	2,60	17,10	0,840	27,5
simulación	2,69	17,21	0,862	29,2
simulación con $R_s=0,135 \Omega$	2,69	17,21	0,840	28,4

Tabla V. Comparación de los parámetros eléctricos de una celda ATJ Emcore promedio y la simulación de la interconexión de las tres subceldas simuladas con D-AMPS con y sin resistencia serie (espectro AM0).

CONCLUSIONES

Se presentaron los resultados obtenidos a partir de simulaciones numéricas de celdas solares basadas en materiales III-V con el código D-AMPS-1D. Se estudiaron homojunturas n-p basadas en InGaP, GaAs y Ge, materiales que conforman la celda de triple juntura InGaP-GaAs-Ge. Los resultados obtenidos se encuentran en buen acuerdo con los valores experimentales presentados en la literatura para los dispositivos simulados.

Por último se mostraron los resultados preliminares que surgen de la interconexión en serie de las tres subceldas presentes en el dispositivo multijuntura.

Estos resultados abren nuevas posibilidades para el diseño, predicción del funcionamiento y optimización de celdas solares multijuntura basadas en materiales III-V.

Se espera asimismo que la herramienta de simulación numérica desarrollada pueda ser probada en el futuro próximo sobre dispositivos experimentales de estructura conocida.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Elena Godfrin en el trabajo de interconexión de las subceldas con el código SIMPAN para formar la multijuntura.

REFERENCIAS

- 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 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 687-691.
- Barrera M., Plá J., Rubinelli F. (2007). Simulación numérica de celdas solares de GaAs. Avances en energías renovables y medio ambiente 11, 04.93-04.99.
- Barrera M., García J., Socolovsky H., Rubinelli F., Godfrin E., Plá J. (2008). Activities on simulation and characterization of multijunction solar cells for space applications in Argentina. Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, en prensa.
- Bett A.W., Dimroth F., Stollwerck G., Sulima O.V. (1999). III-V compounds for solar cell applications. Applied Physics A 69, 119-129.
- Centurioni E. (2005). Generalized matrix method for calculation of internal light energy flux in mixed coherent and incoherent multilayer. Applied Optics 44, 7532-7539.
- Emcore Photovoltaics (2004). Product Brief, Advanced Triple Junctions (ATJ). High efficiency solar cells for space applications.
- Espinete P., Rey-Stolle I., Galiana B.; Baudrit M.; Algora C. (2007). Modeling Germanium p-n Junctions for Multi-junction Solar Cell Applications. Spanish Conference on Electron Devices, 96-99.
- Friedman D.J., Olson J.M. (2001). Analysis of Ge junctions for GaInP/GaAs/Ge three-junction solar cells. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 9, 179-189.

- Gaubas E., Vanhellemont J. (2006). Dependence of carrier lifetime in germanium on resistivity and carrier injection level. *Applied Physics Letters* 89, 142106.
- Ghannam M., Poortmans J., Nijs J., Mertens R. (2003). Theoretical study of the impact of bulk and interface recombination on the performance of GaInP/GaAs/Ge triple junction tandem solar cells. *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 666-669.
- Ikeda M., Kaneko K. (1989). Selenium and zinc doping in Ga_{0.5}In_{0.5}P and (Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P grown by metalorganic chemical vapor deposition. *Journal of Applied Physics* 66, 5285-5289.
- Levinshtein M., Rumyantsev S., Shur M. (ed.) (2000). *Handbook Series on Semiconductor Parameters*, pp. 77-103, Vol.1. World Scientific Publishing Company, Singapore.
- Levinshtein M., Rumyantsev S., Shur M. (ed.) (1999). *Handbook Series on Semiconductor Parameters*, pp. 37-61, Vol.2. World Scientific Publishing Company, Singapore.
- Letay G, Hermle M., Bett W. (2006). Simulating single-junction GaAs Solar Cells including photon recycling. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 14, 683-696.
- Luque A. y Hegedus S.(ed.) (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, pp. 359-411. John Wiley & Sons, Inglaterra.
- McElheny P.J., Arch J.K., Lin H.S., Fonash S.J. (1988). Range of validity of the surface-photovoltage diffusion length measurement: a computer simulation. *Journal of Applied Physics* 64, 1254-1265.
- Plá J., Barrera M., Rubinelli F. (2007)a. Influence of the InGaP window layer on the optical and electrical performance of GaAs solar cells. *Semiconductor Science and Technology* 22, 1122-1130.
- Plá J., Barrera M., Rubinelli F., García J., Socolovsky H., Bosi M., Attolini G., Pelosi C. (2007)b. Avances en el estudio de celdas solares basadas en materiales III-V. *Avances en energías renovables y medio ambiente* 11, 04.85-04.92.
- Palik E.D. (ed.) (1985a). *Handbook of Optical Constants of Solids*, pp. 795-804, Academic Press, New York.
- Palik E.D. (ed.) (1985b). *Handbook of Optical Constants of Solids*, pp. 899-918, Academic Press, New York.
- Palik E.D. (ed.) (1985c). *Handbook of Optical Constants of Solids*, pp. 899-918, Academic Press, New York.
- Posthuma N.E., Flamand G., Poortmans J. (2003). Development of stand-alone germanium solar cells for application in space using spin-on diffusants. *Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 777-780.
- Posthuma N.E., Flamand G., Geens W., Poortmans J. (2005). Surface passivation for germanium photovoltaic cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 88, 37-45.
- Posthuma N.E., van der Heide J., Flamand G., Poortmans J. (2004). Development of low cost germanium photovoltaic cells for application in TPV using spin on diffusants. *AIP Conference Proceedings* 738, 337-344.
- Rubinelli F.A., Rath J.K., Schropp R.E.I. (2001). Microcrystalline n-i-p tunnel junction in a-Si:H/a-SiH tandem cells. *Journal of Applied Physics* 89, 4010-4018.
- Rubinelli F., Fonash S.J., Arch J.K. (1992). Computer modelling of solar cells structures. *Proceedings of 6th International Photovoltaic Science and Engineering conference*, 811.
- Schubert M., Gottschalch V., Herzinger C.M., Yao H., Snyder P.G., Woollam J.A. (1995). Optical constants of Ga_xIn_{1-x}P lattice matched to GaAs *Journal of Applied Physics* 77, 3416-3419.
- 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 ≤ x ≤ 1) lattice matched to GaAs. *Journal of Applied Physics* 86, 2025-2033.
- Shitara T., Karl Eberl. (1994). Electronic properties of InGaP grown by solid-source molecular-beam epitaxy with a GaP decomposition source. *Applied Physics Letters* 65, 356-358.
- Sze S.M. (1981). *Physics of semiconductor devices*, 2^a edición, pp. 7-60. John Wiley & Sons, United States of America.
- Tobin S.P.; Vernon S.M., Bajgar C.; Haven V.E.; Geoffroy L.M.; Sanfacon M.M.; Lillington D.R.; Hart R.E. Jr.; Emery K.A.; Matson R.J. (1988). High efficiency GaAs/Ge monolithic tandem solar cells. *Proceedings of the 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 405-410.
- Vukadinovic M., Smole F., Topic M., Schropp R.E.I., Rubinelli F.A. (2004). Transport in tunnelling recombination junctions, a combined computer simulation study. *Journal of Applied Physics* 96, 7289-7299.

ABSTRACT

Photovoltaics devices based on III-V semiconductors were used as power supply of satellites and other spacial vehicles because their high efficiency and resistance to the radiation. In particular, the next Argentine satellites space missions will use solar arrays with triple junction solar cells, ATJ (Advanced Triple Junction) InGaP/GaAs/Ge developed by Emcore Photovoltaics.

Numerical simulation of III-V solar cells device was performed, a scientific collaboration between INTEC and CNEA was established. Calculations were performed by using the D-AMPS-1D, this code between other characteristics evaluates the J-V curve under dark and under illumination, the spectral response, the electric field distribution and the free and trapped carrier concentrations.

In this work, the n-p homojunction study based in InGaP, GaAs y Ge was presented. These materials represent the constituents of a triple junction. The results of the numerical simulations show a good agreement with the experimental ones already reported in the literature. Furthermore, preliminary results of a triple junction simulation are presented. This activity facilitates the knowledge for the design, the working prediction and the optimisation of these devices.

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