

**RESPUESTA ESPECTRAL DE CELDAS SOLARES MULTIJUNTURA PARA APLICACIONES ESPACIALES:
DISEÑO DEL EQUIPO Y PRIMERAS MEDICIONES**S. Fortin^{1,2}, M.G. Martínez Bogado^{2,3}, J. Plá^{2,3}¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires² Grupo Energía Solar - Centro Atómico Constituyentes - Departamento de Física - CNEA³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Av. General Paz 1499 (1650) San Martín, Argentina, Tel. (011) 6772-7128

jpla@tandar.cnea.gov.ar

RESUMEN

La Respuesta Espectral (RE) de una celda solar la caracteriza desde el punto de vista electrónico. De ella se pueden inferir propiedades como la efectividad de la pasivación de defectos en las superficies frontal y posterior, la calidad del emisor, el atrapamiento de fotones de alta longitud de onda, y la longitud de difusión de los portadores minoritarios en la base.

En el caso de celdas solares multijuntura de estructura monolítica, cada subcelda está conectada en serie y no se tiene acceso a sus terminales eléctricos. Así, es necesario modificar las componentes espectrales de la luz de polarización de manera tal que la subcelda cuya RE se quiere medir sea aquella que limite la corriente del conjunto. Otro aspecto a tener en cuenta es la posibilidad que, dadas las condiciones de polarización eléctrica, alguna de las subceldas pueda quedar polarizada en inversa más allá de la tensión de ruptura introduciendo errores en la medición.

En este trabajo se muestra el desarrollo de una fuente de luz de polarización sobre la cual es posible modificar su espectro de modo tal de permitir la medición de cada subcelda en una celda de triple juntura de GaInP/GaAs/Ge. También se muestran las primeras mediciones, a partir de un arreglo experimental basado en filtros de interferencia ópticos de banda angosta y un amplificador *lock-in* concebido inicialmente para medir homojunturas de Si, de las subceldas de GaInP y GaAs así como una propuesta de extensión del intervalo de medición de modo de incluir la subcelda de Ge.

Palabras clave: respuesta espectral – celdas solares – aplicaciones espaciales

INTRODUCCIÓN

Parte de las actividades programadas en el desarrollo de paneles solares para misiones satelitales argentinas (Bolzi et al., 2001, Bolzi et al., 2003, Durán et al., 2002, Alurralde et al., 2004a) está referida al estudio de celdas solares multijuntura y, en particular, a su caracterización eléctrica y electrónica. En este momento se encuentra en desarrollo un equipo para la medición de la respuesta espectral de celdas de triple juntura GaInP/GaAs/Ge de estructura monolítica. Los requerimientos de potencia y el área disponible determinaron que dichas celdas serán las utilizadas para la integración de los paneles de vuelo de las misiones satelitales SAOCOM y SAC-D de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).

Con anterioridad fue desarrollado en el Grupo Energía Solar (GES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) un equipo apto para la medición de la RE de celdas solares homojuntura de silicio cristalino con el cual se realizaron, por ejemplo, mediciones que fueron parte de la evaluación del daño por radiación sobre celdas de silicio (Tamasi et al., 2002, Alurralde et al., 2004b). Este equipo está formado por dos fuentes luminosas, una para la radiación monocromática y otra para la luz de polarización, una serie de filtros ópticos de interferencia de banda angosta entre 340 y 1150 nm que definen la longitud de onda monocromática incidente sobre el dispositivo, un amplificador *lock-in* que permite medir la perturbación introducida por la radiación monocromática, un circuito externo que pone a la celda bajo estudio en condiciones de cortocircuito, y una base termostatazada que mantiene la temperatura de la celda en condiciones normalizadas.

Para poder medir la RE de las subceldas que componen una celda multijuntura de estructura monolítica, es necesario introducir modificaciones en el equipo descrito en el párrafo anterior. A fin de seleccionar la subcelda a medir, se aprovecha la característica constitutiva de la multijuntura donde las subceldas están conectadas eléctricamente en serie entre sí, de manera tal que de acuerdo a las componentes espectrales de la iluminación incidente la subcelda que genera menos corriente será aquella que limite la corriente de cortocircuito del conjunto. Así, la manera de seleccionar una dada subcelda es modificando el espectro de la luz de polarización de modo tal que dicha subcelda sea aquella que genere la menor fotocorriente.

La otra característica distintiva de una multijuntura GaInP/GaAs/Ge es el hecho de que su respuesta se extiende hasta los 1900 nm debido a la respuesta de la subcelda de Ge. Por esta razón es necesario extender las longitudes de onda de la luz monocromática ya disponibles hasta dicho valor. Por otra parte, se debe disponer también de un fotodetector calibrado como referencia que cubra todo el intervalo de longitudes de onda de interés para permitir realizar mediciones de RE relativas y absolutas sin necesidad de tener conocimiento de las intensidades espectrales de la luz incidente.

Se presentan en este artículo las modificaciones realizadas sobre la luz de polarización y las primeras mediciones de RE sobre dobles y triples junturas de GaInP/GaAs/Ge. En este último caso, hasta el momento, solo es posible medir las dos primeras junturas (InGaP y GaAs), discutiéndose los próximos pasos que permitirán la medición de la subcelda de Ge.

DISEÑO DEL EQUIPO

Para la medición de la RE de multijunturas son necesarias, básicamente, una luz monocromática definida sobre un intervalo de longitudes de onda que incluya la respuesta de todas las subceldas, una luz de polarización cuyo contenido espectral pueda ser cambiado, y un circuito eléctrico externo que ponga en condiciones de cortocircuito *la subcelda a medir*.

La luz monocromática se obtiene a partir de la interposición de filtros de interferencia óptica de banda angosta (típicamente 10 nm) entre una fuente luminosa de espectro extendido y la celda a medir. En nuestro caso se utiliza una lámpara de tungsteno de 250 W con ventilación forzada y filtros de interferencia cuadrados de 5.08cm de lado montados sobre una rueda de Al anodizado especialmente construida que permite seleccionar cada uno de los filtros; previamente a su paso por los filtros, el haz de luz es acondicionado por un condensador formado por dos lentes plano-convexas de cuarzo de modo que pueda ser interceptado por el conmutador (*chopper*) del amplificador *lock-in* (ver Fig. 1).

La fuente de luz monocromática, el condensador, el conmutador y los filtros están montados sobre una columna en forma alineada, donde la distancia entre la fuente y el plano de medición es tal que asegura una homogeneidad de la intensidad de iluminación monocromática dentro de $\pm 2,5\%$ según lo requerido en la norma correspondiente (Norma IRAM 2000).

La luz de polarización estaba dada por tres lámparas dicróicas de 50 W montadas sobre un anillo a una altura y con una orientación apropiadas para obtener la homogeneidad e intensidad acordes con las condiciones definidas en la norma. Dada la dificultad para producir modificaciones en el espectro de esta configuración, se reemplazaron por una única lámpara de 150 W con ventilación forzada y un soporte especialmente diseñado para incluir hasta dos filtros de interferencia pasabanda con el fin de modificar su espectro de iluminación. La distancia al plano de prueba fue definida nuevamente en función de obtener una homogeneidad dentro de $\pm 10\%$ (Norma IRAM 2000). Los ventiladores, tanto para la luz monocromática como para la luz de polarización, fueron montados desde el punto de vista mecánico en forma independiente de la estructura principal. Se evita de esta forma la posible modulación de la señal a detectar por vibraciones de este origen. Cabe aclarar que la señal a medir, producida por la luz monocromática, es una perturbación sobre el valor continuo generado por la luz de polarización e implica la medición de tensiones hasta del orden del μV .

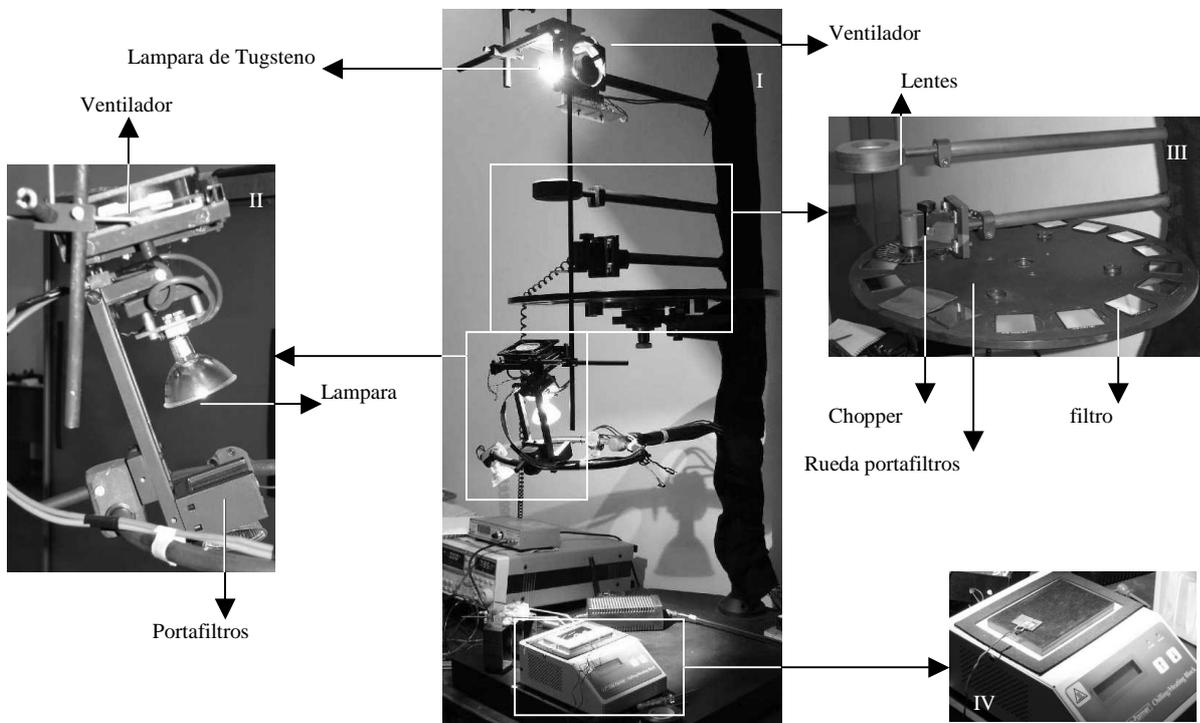


Figura 1. I. Vista general del dispositivo. II. Detalle de la lámpara de polarización y el portafiltros. III. Detalle del condensador, conmutador, y rueda portafiltros que provee la luz monocromática. IV. Detalle de la base termostatazada que mantiene la temperatura de la celda constante.

SELECCIÓN DE LA SUBCELDA A MEDIR

Dado un espectro de iluminación $S(\lambda)$, la corriente fotogenerada por la subcelda i será igual a la integral de la RE de dicha subcelda $RE^i(\lambda)$ multiplicada por la mencionada distribución espectral, de acuerdo a la expresión (1)

$$J_{sc}^i = \int RE^i(\lambda)S(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

donde la integral se extiende entre los límites entre los cuales las cantidades $RE^i(\lambda)$ y $S(\lambda)$ sean no nulas.

El espectro de iluminación de la luz de polarización puede ser modificado mediante la interposición de filtros pasabanda, de modo tal que si $T(\lambda)$ es la transmitancia espectral de dicho filtro, el espectro modificado será $S_m(\lambda) = S(\lambda) \times T(\lambda)$. Se dispone de un juego de filtros pasabanda (pasaaltos y pasabajos) cuadrados de 2" con frecuencias de corte entre 400 nm y 750 nm. La transmitancia de los filtros pasabanda fue medida utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV-Vis-IR.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es posible calcular la corriente fotogenerada por cada subcelda conociendo el espectro de la luz de polarización, su RE y la transmitancia de los filtros a interponer. La $RE^i(\lambda)$ es justamente la cantidad a

medir pero, dado que lo que se busca es una estimación de las corrientes fotogeneradas para encontrar una condición general a aplicar en las mediciones, es posible utilizar datos típicos extraídos de la literatura para realizar los cálculos. En la figura 2 pueden verse las RE correspondientes a una celda de triple juntura GaInP/GaAs/Ge (King et al. 2000). Estas celdas están diseñadas de modo tal que la corriente está limitada por la subcelda de InGaP para el espectro espacial AM0 (Stan et al. 2002). Esto se debe a que la subcelda de GaAs es más susceptible al daño por radiación, definiéndose entonces un espesor menor para la celda de InGaP para que al final de la vida útil determinada por el daño por radiación ambas subceldas generen la misma fotocorriente.

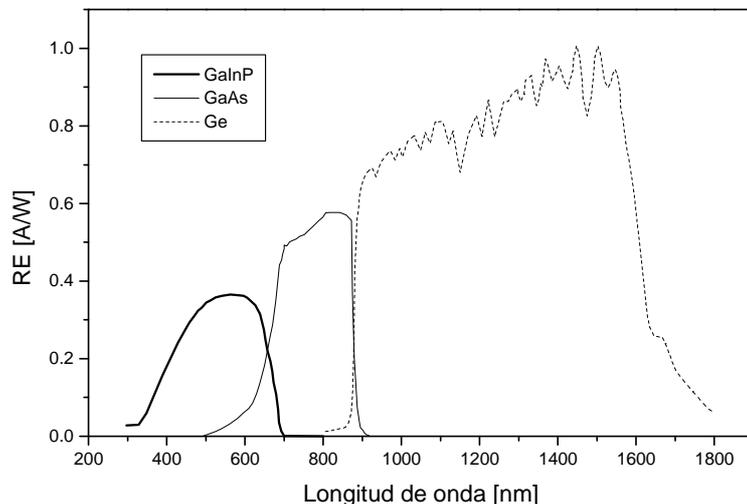


Figura 2. RE correspondientes a una celda de triple juntura GaInP/GaAs/Ge (King et al. 2000)

A fin de calcular las fotocorrientes generadas por cada subcelda, se midió el espectro generado por la nueva luz de polarización a la distancia elegida para obtener la homogeneidad apropiada utilizando un espectrofotómetro portátil CVI SM32Pro. Dada la limitación en longitud de onda de este espectrofotómetro, los datos obtenidos se limitan hasta los 1000 nm, lo cual permite encontrar las condiciones para seleccionar las subceldas de GaInP y GaAs bajo la hipótesis de que la subcelda de Ge no esté generando una corriente menor. Esta hipótesis resulta razonable dado que para el espectro AM0 la subcelda de Ge ya genera una mayor fotocorriente que las otras dos (King et al. 2000) y, estando el espectro de la lámpara dicróica desplazado hacia el IR respecto al AM0, se puede suponer que esta fotocorriente será aún mayor.

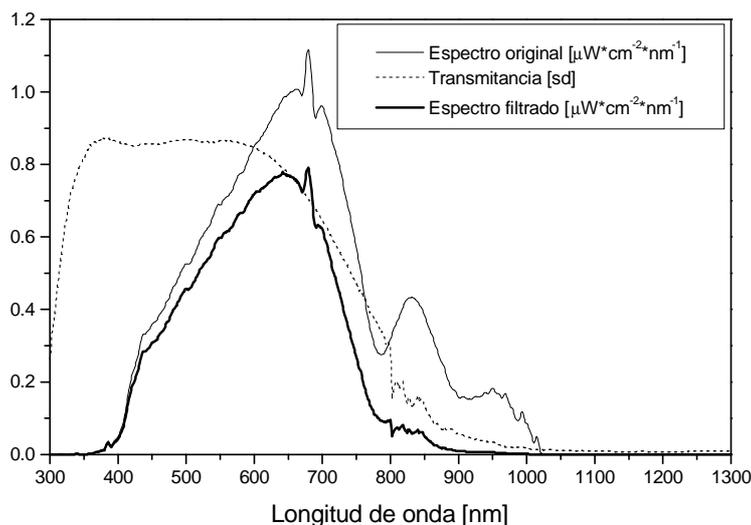


Figura 3. Transmitancia del filtro pasa-altos (750 nm), espectro de la luz de polarización, y el producto de ambos.

El cálculo de la fotocorriente generada en las subceldas de GaInP y GaAs utilizando la ecuación 1 sin interponer filtros, da el siguiente resultado: $J_{sc}(\text{InGaP}) = 56.09 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ y $J_{sc}(\text{GaAs}) = 69.85 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Esto implica que el espectro de la lámpara

dicroica define que la celda de InGaP es la que limita la corriente y en consecuencia aquélla a ser medida en estas condiciones.

Para la selección de la subcelda de GaAs, se eligió el filtro pasa-altos con longitud de onda de corte en 750 nm. Esta elección se realizó a priori dada la necesidad de seccionar parte del espectro donde la subcelda de GaAs tiene respuesta (aproximadamente entre 700 nm y 900 nm) con el fin de disminuir su fotocorriente respecto a la generada por la subcelda de InGaP. En la figura 3 se pueden observar la transmitancia del filtro, el espectro de la luz de polarización y el producto de ambos. Aplicando la ecuación (1) para este nuevo espectro, se obtiene $J_{sc}(\text{InGaP}) = 46.79 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ y $J_{sc}(\text{GaAs}) = 34.99 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, con lo cual en este caso la que limita la corriente es la celda de GaAs como se quería.

Cabe aclarar que esta elección es válida en el caso de la doble juntura donde el sustrato de Ge es inactivo, dado que el filtro con frecuencia de corte en 750 nm no deja pasar longitudes de onda más allá de este valor. Si se utilizara este filtro en el caso de una triple juntura, automáticamente pasaría a limitar la corriente la subcelda de Ge.

Para este caso se eligió otro filtro disponible: tiene la longitud de onda de corte en 650 nm pero transmite para longitudes de onda mayores que 1000 nm. Considerando este nuevo filtro se obtienen $J_{sc}(\text{InGaP}) = 47.38 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ y $J_{sc}(\text{GaAs}) = 16.03 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, con lo cual también en este caso la que limita la corriente es la celda de GaAs.

MEDICIÓN DE LA RESPUESTA ESPECTRAL. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Arreglo experimental y procedimiento de medición

Para la medición de la respuesta espectral se utilizó el equipo descrito más arriba, utilizándose una frecuencia de conmutación de aproximadamente 770 Hz, un circuito eléctrico externo para poner la celda en condiciones de cortocircuito, una base termostatazada y un preamplificador para mejorar el aprovechamiento del rango dinámico del *lock-in*. La constante de tiempo del amplificador *lock-in* se elige en cada caso según la relación señal-ruido que se tenga, comenzando típicamente en 300 ms para una más rápida aproximación al valor final de la medición para luego ir aumentándola; los valores utilizados varían entre 1 y 10 s. El nivel de ruido medido en ausencia de señal (obturando el haz monocromático) resultó de $9 \mu\text{V}$, mientras que las señales medidas variaron entre $37 \mu\text{V}$ y 27mV . La medición se realiza midiendo la caída de tensión sobre una resistencia conectada en serie en el circuito eléctrico externo, por la cual circula la corriente de cortocircuito de la celda. Como celda de referencia se utilizó una celda solar de Si cristalino elaborada en el GES y calibrada en el laboratorio Spasolab de España.

La medición se realizó siguiendo el siguiente procedimiento: 1) se posiciona la celda de referencia en el plano de prueba y se deja termalizar según los requerimientos de la norma IRAM (a $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$); 2) se procede a la medición de la señal producida por el haz monocromático para todas las longitudes de onda disponibles entre 340 nm y 1150 nm manteniendo la celda en condiciones de cortocircuito; 3) se reemplaza la celda de referencia por la celda a medir y se deja termalizar; 4) se fija el espectro de la luz de polarización de acuerdo a la subcelda a medir; 5) se mide la señal producida por el haz monocromático para las distintas longitudes de onda en condiciones de cortocircuito; 6) se cambia el espectro de luz de polarización para la medición de otra subcelda; 7) se repite el paso 5).

Una vez obtenidos los valores de tensión medidos para cada longitud de onda, se calcula la respuesta espectral absoluta de acuerdo a la ecuación

$$RE^{cel}(\lambda) = \frac{A^{ref}}{A^{cel}} \times \frac{V^{cel}(\lambda)}{V^{ref}(\lambda)} \times RE^{ref}(\lambda) \quad (2)$$

mientras que la eficiencia cuántica externa se calcula según

$$Q^{ext}(\lambda) = \frac{hc}{q} \times \frac{RE(\lambda)}{\lambda} \quad (3)$$

donde V^{cel} y V^{ref} son las tensiones medidas (proporcionales a la corriente de cortocircuito) con el *lock-in* para las celdas a medir y de referencia respectivamente, A^{cel} y A^{ref} son las áreas de la celda a medir y la celda de referencia respectivamente, RE^{ref} es la respuesta espectral absoluta de la celda de referencia, h la constante de Plank, c la velocidad de la luz y q la carga del electrón.

Resultados

Se realizaron las primeras mediciones de dos celdas multijuntura de origen comercial: una doble juntura GaInP/GaAs/Ge Spectrolab y una triple juntura GaInP/GaInAs/Ge Emcore. Los resultados obtenidos se pueden ver en las figuras 4 y 5. Según puede verse, ambas mediciones resultan consistentes cualitativamente con aquellas reportadas en la bibliografía. En el caso de la celda de doble juntura, la subcelda de GaAs presenta mayor respuesta en la zona correspondiente a la subcelda de InGaP que en el caso de la triple juntura. La presencia de esta respuesta se debe al hecho de que el espesor de la celda de InGaP es menor al óptimo para que sea esta la celda que limite la corriente de la multijuntura según se explicó con anterioridad, mientras que la mayor respuesta observada en el caso de la doble juntura podría deberse a que la subcelda de InGaP es de menor espesor que en el caso de la triple juntura.

La presencia de respuesta de la subcelda de InGaP entre 700 y 850 nm, observado solo en el caso de la doble juntura, parece ser algún problema asociado a esta medición en particular que deberá ser analizado con detenimiento.

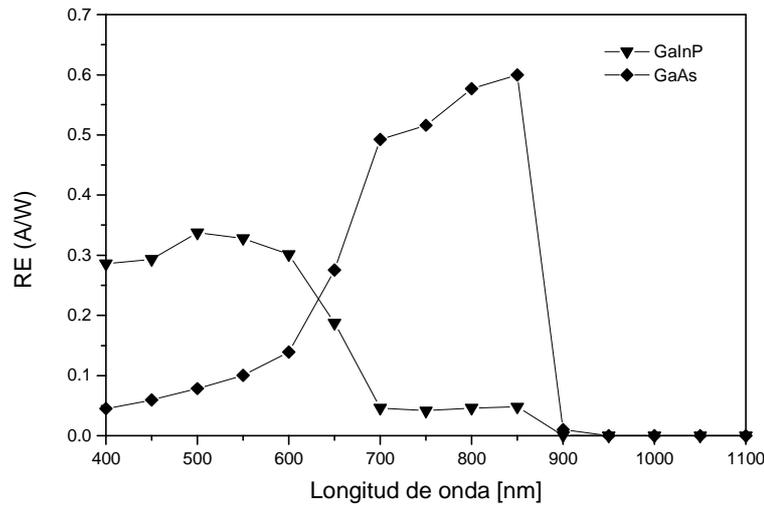


Figura 4. RE medida en la celda doble juntura GaInP/GaAs Spectrolab.

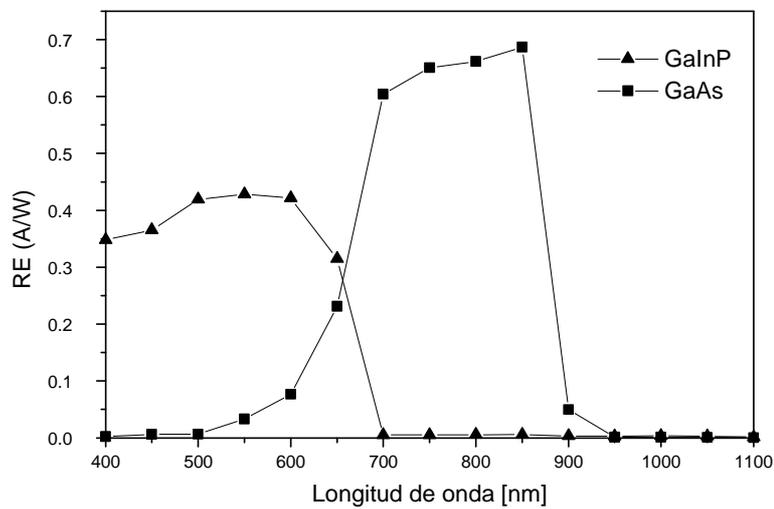


Figura 5. RE medida en la celda triple juntura GaInP/GaInAs/Ge Emcore.

Extensión de la capacidad del equipo

Un punto a tener en cuenta en sucesivas mediciones es la condición de cortocircuito determinada por el circuito externo. En las mediciones realizadas esta condición se impone variando la tensión de una fuente variable hasta compensar la caída de tensión en continua en la celda a medir ($V^{cel} \cong 0$). Si bien esto es correcto para una homojuntura, en el caso de un multijuntura imponer esta condición *no implica que cada subcelda esté en cortocircuito*, sino que cada una resulta polarizada en inversa por las otras dos ya que, por ejemplo en una triple juntura, si $V^{cel} = V^{InGaP} + V^{GaAs} + V^{Ge} \cong 0$ entonces $V^{InGaP} = - (V^{GaAs} + V^{Ge})$ y así sucesivamente en los casos restantes. Si la tensión de ruptura no es demasiado pequeña y las celdas tienen una resistencia paralelo razonablemente alta, esto no representa un problema y la medición puede hacerse de esta forma sin inconvenientes, como de hecho resultó en los casos presentados en este trabajo. Sin embargo, estas condiciones no se suelen satisfacer para la subcelda de Ge, lo cual implica la necesidad de tener un cuidado particular en este caso. Una discusión pormenorizada acerca de los problemas que pueden aparecer en la medición de la RE en multijunturas se encuentra en Meusel et al. 2003.

La extensión del intervalo de longitudes de onda para incluir la medición de la subcelda de Ge implica la solución de al menos tres problemas: la medición del espectro de la luz de polarización para todas las longitudes de onda donde dicha subcelda tiene respuesta (es decir hasta 1900 nm), y tener un haz monocromático y un fotodetector calibrado que cubran este intervalo de longitudes de onda.

Está prevista, en consecuencia, la compra de un conjunto filtros de interferencia de banda angosta centrados entre 1200 nm y 1900 nm. Los mismos, por un problema de costo y espacio disponible, serán circulares de 1" de diámetro, y estarán montados en una rueda giratoria que permita su selección y una integración adecuada al equipo preexistente. Además, se adquirirá una celda de Ge calibrada Emcore que oficiará como patrón de referencia primario. Por último, está prevista próximamente la medición del espectro de la luz monocromática en el intervalo de interés por medio de un espectrofotómetro apropiado.

CONCLUSIONES

Se realizaron las primeras mediciones de respuesta espectral de celdas multijuntura. Dichas celdas, de estructura GaInP/GaAs/Ge, son de dos terminales y están construidas en forma monolítica; por lo tanto, para acceder a la RE de cada subcelda fue necesario modificar experimentalmente en forma apropiada el espectro de la luz de polarización. Las mediciones preliminares realizadas sobre las subceldas de InGaP y GaAs en celdas de doble y triple juntura, resultaron compatibles con otras mediciones reportadas en la literatura, mostrando entonces un correcto funcionamiento del arreglo experimental y de las hipótesis de trabajo.

Se identificaron asimismo puntos clave a tener en cuenta para la extensión de la capacidad del equipo a fin de medir la respuesta espectral de la subcelda de Ge, para los cuales se consideraron propuestas a realizar próximamente.

La implementación de este tipo de mediciones tendrán, además de la profundización del estudio de las celdas solares multijuntura, una aplicación directa en la evaluación de la degradación de cada subcelda en futuros ensayos de daño por radiación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a C. Bruno y J. Fernández Vázquez por su constante ayuda y colaboración, y a M. Barrera por la medición de los filtros pasabanda. 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 PICT2003 N° 10-14327.

REFERENCIAS

- 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., Franciulli, C.D., Moglioni, A. (2004a). Últimos desarrollos relacionados con la fabricación y el ensayo de paneles solares y componentes para usos espaciales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **8**, 4.01-4.06.
- 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. (2004b). Experimental and theoretical radiation damage studies on crystalline silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **82**, 531-542.
- 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., 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.
- 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. 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.
- King D. L., Hansen B. R., Moore J. M. y Aiken D. J. (2000). New methods for measuring performance of monolithic multi-junction solar cells. *Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Alaska, EE.UU., 1197-1201.
- Meusel M., Baur C., Bett A.W., Warta W. y Fernández E. (2003). Spectral response measurements of monolithic GaInP/Ga(In)As/Ge triple-junction solar cells: measurement artifacts and their explanation. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* **11**, 499-514.
- Norma IRAM 210013-12 (2000). Métodos normalizados para la medición de la respuesta espectral de celdas fotovoltaicas.
- Stan M.A., Aiken D.J., Sharps P.R., Fatemi N.S., Spadafora F.A., Hills J., Yoo H. y Clevenger B. (2002). 27.5% efficiency GaInP/InGaAs/Ge advanced triple junction (ATJ) space solar cells for high volume manufacturing. *Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, New Orleans, EE.UU., 816-819.
- 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

One way to characterize electronically a solar cell is by the Spectral Response measurement. Properties as effectiveness of passivation schemes on front and rear surfaces, emitter quality, light trapping of long wavelength photons, and diffusion length of minority carriers in the base can be inferred.

In the case of monolithic multijunction solar cells, each subcell is in series connection and there is no available the access to its electric contacts. Thus, it is necessary modifying the spectrum of polarization lamp to set the subcell under proof as limiting the total current. Another issue to take into account is the possibility that, given the conditions of electrical polarization, some of the cells could remain inverse polarized beyond the rupture voltage, introducing in this way errors in the measurements.

This work presents the development of a source of polarization light where the lamp spectrum can be modified in order to measure each subcell in a triple junction GaInP/GaAs/Ge cell. Also, using an experimental array based on narrow band optical interference filters, and a lock-in amplifier initially constructed to measure Si homojunctions, first measurements of GaInP and GaAs subcells are shown, as well as a proposal for the extension of the wavelength range in order to include the Ge subcell.

Keywords: spectral response - solar cells – space applications