

## **DETECCIÓN DE FISURAS EN CELDAS SOLARES III-V DE TRIPLE JUNTURA POR ELECTROLUMINISCENCIA\***

**M. Tamasi<sup>1,2</sup>, C.G. Bolzi<sup>1</sup>, J. Olima<sup>1</sup>, J.I. Perez<sup>1</sup>, S. Muñoz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Dpto. Energía solar-Gerencia Investigación y Aplicaciones - Centro Atómico Constituyentes - CNEA

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

Av. General Paz 1499 - (1650) San Martín - Argentina

Tel. (011) 6772-7132 – Fax (011) 6772-7121 – e-mail: bolzi@tandar.cnea.gov.ar

*Recibido 04/09/15, aceptado 05/10/15*

**RESUMEN:** Se describe el método utilizado para la detección de fisuras en celdas III-V de triple junta (TJ) utilizando la propiedad de electroluminiscencia propia de este tipo de celdas solares al polarizarlas en directa. La polarización se realiza utilizando una fuente variable de tensión con valores cercanos a la tensión de circuito abierto y con corrientes menores a la corriente de cortocircuito. La detección se realiza con una cámara digital con modo “visión nocturna” que permite detectar hasta los 1100 nm a la cual se le incluye un filtro pasa bajos. Las imágenes observadas son analizadas en busca de fisuras ya que la presencia y tamaño de las mismas determina si una celda solar es apta para la integración en un panel para uso espacial o no.

**Palabras clave:** energía solar, paneles espaciales, electroluminiscencia, inspección visual.

### **INTRODUCCIÓN**

El Departamento Energía Solar (DES) de la CNEA viene trabajando desde 1995 en desarrollo y aplicaciones de la energía solar para uso en misiones satelitales, en particular se puede citar el desarrollo de los paneles de vuelo de la misión satelital SAC-D/Aquarius (Alurralde et al. 2010) y varios microsátélites (Bolzi et al. 2012). Los paneles de una misión satelital, una vez en órbita, no tienen posibilidad de reemplazo o reparación. Esto obliga a asegurar la calidad de los componentes utilizados en los paneles solares y los procesos involucrados para la integración.

Uno de los componentes principales de los paneles solares son las celdas solares. En el caso de los paneles integrados por el DES, estas celdas son de TJ y no pueden presentar fisuras antes de ser integradas en los paneles solares. Los defectos mecánicos introducidos durante la integración de las celdas son potenciales fisuras o desperfectos ya que las celdas en el panel en operación son expuestas a ciclos de temperaturas que pueden ir entre -100°C y 100°C o más allá en algunos casos. Para detectar posibles fisuras desarrollaron métodos de inspección visual que permiten al personal capacitado detectar defectos sobre las celdas solares. En particular las fisuras son de difícil detección ya que la superficie de la celda solar es oscura debido a la absorción de la luz y pueden ser fácilmente confundidas con rayas o no ser observadas si se trata de fisuras muy finas y de escasa longitud.

Existen distintos métodos de inspección visual, el principal consiste en iluminar la celda cuya superficie refleja parte de esta luz, así los defectos mecánicos pueden ser detectados como discontinuidades en la superficie. Esta distorsión puede ser detectada por un ojo altamente entrenado. Este método es muy empleado en la industria espacial. Existen otras técnicas de inspección visual como la medición de fase por deflectometría que mide la distorsión de la grilla metálica (M.C. Knauer et al., 2004) o la utilización de laser muy fino para medir la corriente inducida (D.Sawyer y H. Kessler, 1980) pero estos métodos requieren o un proceso de calibración muy elaborado o no son utilizables en áreas grandes como los paneles de potencia de un satélite.

---

\* Trabajo parcialmente financiado por CONAE a través del Proyecto Paneles Solares y ANPCYP PICT 2013-0063

El trabajo presentado se basa en la utilización del método desarrollado por C. Zimerman, 2006 y la adecuación del mismo a una cámara digital genérica utilizada generalmente en vigilancia. La celda se polariza de directa con una fuente con una tensión cercana a la tensión de circuito abierto de la celda y una corriente que se va ajustando por debajo de la corriente de corto circuito. Esta corriente que en general está por debajo de los  $10\text{mA}/\text{cm}^2$  produce una señal suficiente de electroluminiscencia sin causar daños en el dispositivo. La utilización de la electroluminiscencia en la caracterización de celdas solares no es un método nuevo. Desde los años 70 distintos autores proponen la utilización de este efecto para obtener información de la respuesta de una celda solar y su caracterización, estudios sobre mecanismos de transporte, daño por radiación y hasta control de las condiciones de crecimiento de películas delgadas en celdas solares.

Si se inyecta un exceso de portadores por polarización directa, en la celda se recombinan preferentemente en el borde del *gap* de tal manera que la radiación emitida se distribuye estrechamente alrededor del límite de baja energía de cada juntura. En la Figura 1 se muestra al lado del esquema de una celda triple juntura la ubicación de las bandas de emisión de cada una de las celdas, estando en la celda de arriba (InGaP) en la región visible a los  $679\pm 10\text{ nm}$ , en la intermedia (InGaAs) en  $879\pm 12\text{ nm}$  y en la inferior (Ge) a  $1700\pm 10\text{ nm}$ .

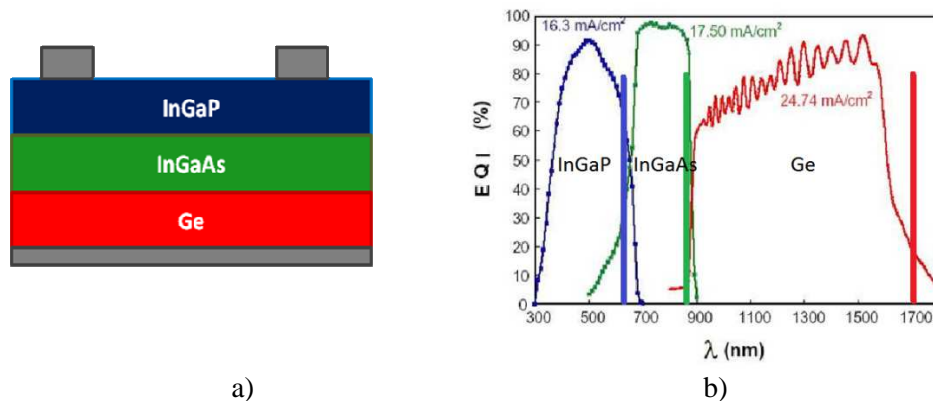


Figura 1. a) Esquema de la celda y b) gráfico de la respuesta espectral de las celdas y ubicación de las bandas de emisión.

## EQUIPAMIENTO Y DESARROLLO

El método de inspección visual desarrollado en base al trabajo de C. G. Zimmermann, 2006, permite por métodos electro-ópticos la detección más segura de fisuras. Como se describe en la referencia citada anteriormente cada una de las subceldas que componen la celda solar ATJ al ser polarizadas en directa emiten radiación electromagnética en intervalos bien determinados como se explicó en la sección anterior. En particular, para la detección de fisuras interesa el espectro emitido por la celda intermedia (InGaAs) que se encuentra en los 879 nm.

Para la obtención de las imágenes se utilizó una cámara comercial de vigilancia con la posibilidad de “visión nocturna”, esta cámara respecto a la utilizada originalmente en el trabajo de Zimmermann o las utilizadas normalmente en los laboratorios tiene un costo 10 veces menor aunque las características son similares. En este caso en particular se usó la cámara TCM-5311 con las siguientes características técnicas:

- Sensor CCD de 4,8 x 3,8 mm
- Resolución de 1280 x 960 a 15 fps
- Rango de sensibilidad en IR 700- 1100 nm

La cámara se utilizó para detección de fisuras en celdas individuales y en subcadenas de 8 celdas soldadas en serie. Para esto, se diseñó y construyó un soporte que permite variar la distancia entre

cámara y celdas y un movimiento en dos dimensiones para las celdas de manera de poder visualizar las distintas zonas en caso de que la imagen no sea completa o necesitar acercar la cámara.



Figura 2. Equipo de inspección visual por el método de electroluminiscencia.

### DETECCIÓN Y TIPO DE FISURAS

En base a la experiencia previa en cuanto a inspección visual con lupa o a ojo desnudo y provocando distintos tipos de fisuras en las celdas se pudo conocer la morfología de estos defectos mirados a través de esta cámara. La inspección visual por electroluminiscencia se realizó en parte del proceso de fabricación de celdas CIC para el satélite SAOCOM 1A y en forma completa sobre las cadenas de 8 celdas que están siendo integradas en los paneles de dicho satélite. En la Figura 3 se muestran celdas sin fisuras o defectos provenientes del proceso de integración, las manchas que se observan provienen de fábrica y en la Figura 4 se muestra la diferencia entre una raya proveniente del proceso de fabricación y la fisura. Esta raya, por ejemplo, fue provocada por uno de los operadores que integran la celda en la manipulación de la celda en alguno de los procesos anteriores al pegado del vidrio.

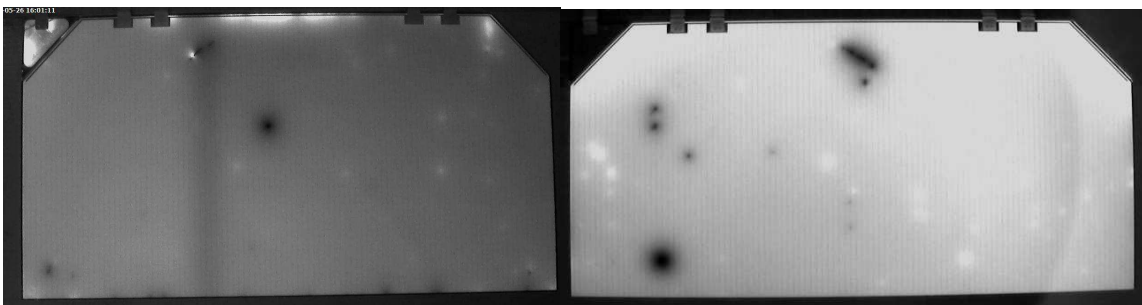


Figura 3. Celdas observadas por el método de electroluminiscencia sin fisuras..

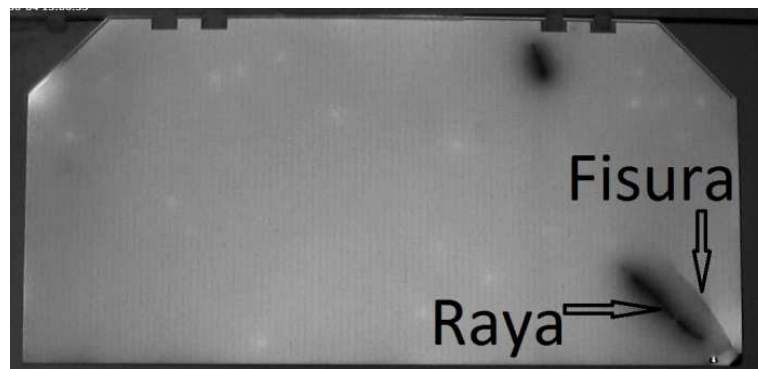


Figura 4. Celda en donde se aprecia la diferencia entre raya o defecto en la celda y fisura

Las imágenes de las Figuras 5 y 6 que se observan a continuación se presentan los distintos tipos de defectos encontrados que tienen relación con el proceso de integración. Una de las fisuras más frecuentes (Figura 5) se encuentran en las zonas de las soldaduras al realizar la interconexión de las celdas.

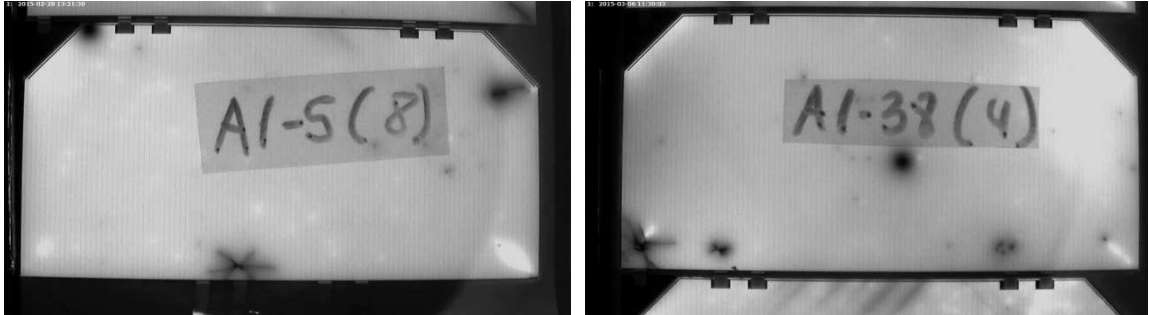


Figura 5. Celdas con fisuras detectadas en la zona de la soldadura posterior



Figura 6. Celda con fisura en el borde lateral de la celda

La implementación de estas cámaras también permite registrar imágenes en el espectro visible y compararlas con el método de electroluminiscencia. En la Figura 7 se puede ver la comparación de una celda cuya fisura es muy difícil de detectar a ojo desnudo debido al tamaño (entre 1 y 2 mm) y la imagen obtenida por electroluminiscencia en donde se observa claramente una fisura que coincide con la zona de la soldadura del diodo a la cara posterior de la celda.

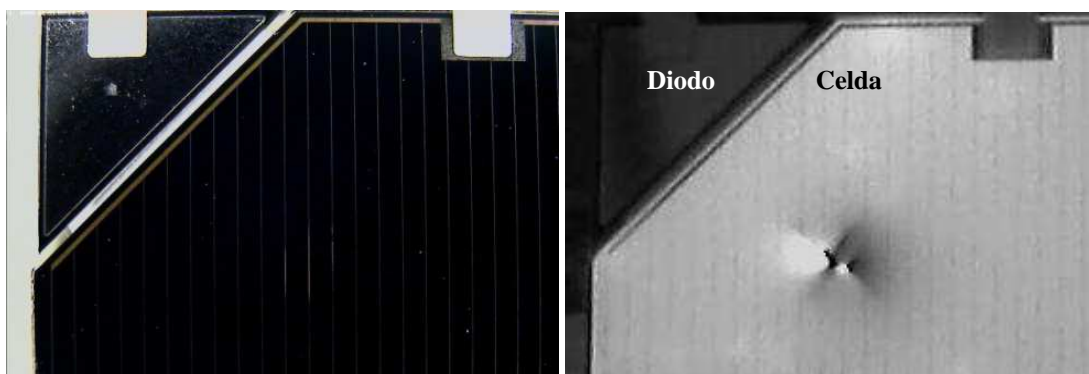


Figura 6. Imagen de una celda con cámara con el espectro visible y por electroluminiscencia.

## CONCLUSIONES

La implementación de este método permite encontrar fisuras pequeñas, que al realizar la inspección visual con lupa y/o a ojo desnudo en algunos casos no se detectaban, y en los casos de fisuras más importantes se encuentran más rápidamente. Por otro lado permite realizar un control de calidad en cualquier momento del proceso de fabricación de celdas y subcadenas.

La implementación de esta técnica de inspección visual permite mejorar la calidad de las subcadenas que son integradas al panel reduciendo al mínimo la probabilidad de integrar celdas con alguna fisura. Por lo tanto se pueden detectar fallas de procedimiento por golpes, mal embalaje, caídas, etc. Este procedimiento, teniendo los recaudos necesarios, es aplicable además a paneles solares con celdas de triple junta. Por lo tanto este método permite agilizar y dar mayor confiabilidad a la fabricación de paneles solares con dispositivos triple junta. Sin embargo a pesar de que con la implementación de esta técnica se pueden detectar rápidamente una posible fisura, en todos los casos se requiere de un operador entrenado para confirmar su presencia por métodos ópticos convencionales.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la colaboración del grupo de Electrónica del DES, en particular O. Romanelli y D. Raggio.

### **REFERENCIAS**

- Bolzi C. et al. (2012). Integración de los paneles de vuelo del satélite CUBEBUG-1. *AVERMA* **16** 4.49-4.55
- Alurralde M. et al. (2010). Integración y ensayos de los paneles solares de vuelo para la misión satelital aquarius/SAC-D. *AVERMA* **14** 4.48-4.55
- Knauer M.C. et al. (2004). A study on carrier phase distortion in phase measuring deflectometry with non-telecentric imaging. *Proc. SPIE* **5457**, 366.
- Sawyer D. y Kessler H. (1980). Laser scanning of solar cells for the display of cell operating characteristics and detection of cell defects. *IEEE Trans Electron Devices* **27**, 864
- Zimmermann C.G. (2006). Utilizing lateral current spreading in multijunction solar cells: An alternative approach to detecting mechanical defects. *Journal of Applied Physics* **100**, 023714.

### **ABSTRACT**

The method for crack detection in III-V triple junction (TJ) solar cells, which is based on electroluminescence is described. The cells are forward biased by a DC power supply with a potential approximately equal to the open circuit voltage of the cell and the current was adjusted below the short circuit current. These injection conditions produce a sufficient electroluminescence signal.

In this work a digital camera with "night vision" mode was used to record images of individual TJ cells. The digital camera detects up to 1100 nm and a low pass filter is included. The images are analyzed for cracks because size thereof determine whether a solar cell is suitable for integration into a solar array for space use.

**Keywords:** solar energy, solar array, electroluminescence, visual inspection.