

Marzo de 2013

TRABAJOS DE LABORATORIO 6 y 7

PROPUESTA

“Instrumentación de la calibración simultánea durante la medición de la respuesta espectral en celdas solares multijuntura de estructura monolítica”

Director: Dr. Juan Plá

Codirector: Lic. Javier A. Garcia

Lugar de Trabajo: Departamento Energía Solar – CAC – Comisión Nacional de Energía Atómica

Av. Gral. Paz 1499 - 1650 San Martín - Provincia de Buenos Aires

Teléfono: 6772-7128

e-mail: jpla@tandar.cnea.gov.ar

Dedicación propuesta: 12 horas semanales.

Introducción:

La Respuesta Espectral (RE) de una celda solar la caracteriza desde el punto de vista electrónico y se define como la corriente de cortocircuito por unidad de potencia incidente de luz monocromática, en función de la longitud de onda:

$$RE(\lambda) = \frac{I_{sc}(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} = \frac{J_{sc}(\lambda)}{E(\lambda)}$$

donde $I_{sc}(\lambda)$ es corriente de cortocircuito para la longitud de onda λ , $P_{in}(\lambda)$ es la potencia de luz incidente sobre la celda para la longitud de onda λ , $J_{sc}(\lambda)$ es la densidad de corriente de cortocircuito de la celda para la longitud de onda λ , y $E(\lambda)$ es la irradiancia de la iluminación para la misma longitud de onda.

La Respuesta Espectral brinda información esencial acerca de las características ópticas y de recombinación en el volumen y superficies de dispositivos fotovoltaicos, y es por ello que la comunidad fotovoltaica ha diseñado diversos sistemas para la medición de RE a lo largo de los años. Se pueden encontrar basados en filtros de interferencia, monocromadores e interferómetros [1-6]. Asimismo, más allá de la información que como técnica de caracterización brinda acerca del funcionamiento del dispositivo, la medición de la repuesta espectral permite evaluar por ejemplo el efecto de experiencias de daño por radiación en celdas solares para aplicaciones espaciales, así como predecir el comportamiento eléctrico de una celda ante distintos espectros de iluminación.

Para determinar la RE de una celda monojuntura se la ilumina con luz monocromática pulsada (*choppeada*), de características perturbativas, y a la vez con otra fuente de luz continua mucho más intensa que coloca a la celda en condiciones de trabajo. Un circuito externo pone a la celda en condiciones de cortocircuito. La corriente alterna que produce la luz monocromática pulsada se convierte en una caída de tensión y es medida con un amplificador *lock-in*. Generalmente, la fotocorriente pulsada generada toma valores entre los μA y los mA .

Así, se produce un barrido en longitudes de onda de la perturbación monocromática en todo el intervalo de respuesta de la celda, registrándose los valores de corriente para cada una de ellas. Luego se hace lo propio con una celda de referencia calibrada en RE, de modo que la RE a medir resulta de la comparación entre ambos valores de corriente, normalizados con las áreas de las celdas.

Para medir la respuesta espectral en celdas solares multijuntura hay que tener en cuenta que las subceldas están conectadas en serie entre sí y no se tiene acceso a sus terminales eléctricos como puede verse en la figura 1, donde se esquematiza una celda triple-juntura InGaP/GaAs/Ge de estructura monolítica o tándem.

A fin de seleccionar la subcelda a medir, se aprovecha la mencionada 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. Una vez seleccionada la subcelda a medir el procedimiento de medición es análogo al utilizado en celdas monojuntura, aunque la luz monocromática debe barrer un intervalo de longitudes de onda que incluya la respuesta de todas las subceldas.

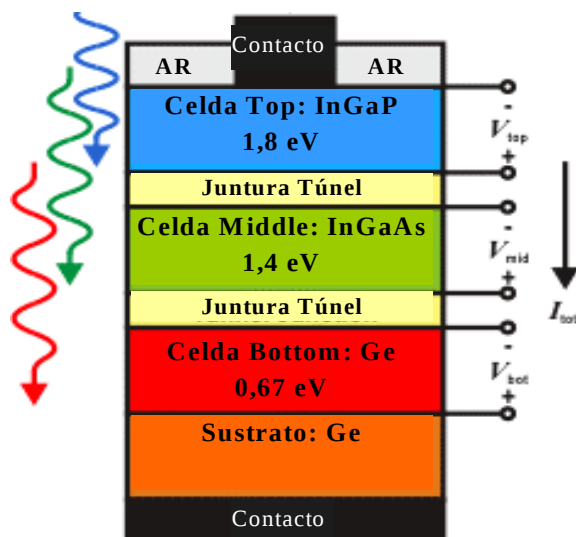


Figura 1. Esquema de una celda solar de triple juntura

Descripción del proyecto

La medición de la RE se realiza utilizando un amplificador lock-in para la detección del efecto de la perturbación monocromática sobre la celda a medir. En las actuales condiciones, es necesario hacer el barrido en longitudes de onda sobre la celda a

medir y sobre la celda de referencia calibrada para poder obtener los valores absolutos de RE. La idea a instrumentar en este proyecto es que ambas mediciones, sobre la celda y sobre la referencia, se hagan en forma simultánea, de modo que se acortará el tiempo de medición y se ganará en precisión. Cabe aclarar que, según las condiciones experimentales, la medición de una triple junta puede demandar varias horas.

Se propondrá entonces una metodología para la medición simultánea de celda y referencia, basada en la disponibilidad espacial de los haces de luz monocromático y de polarización con que cuenta el equipo del DES. Esto implicará la fabricación de un soporte dedicado, la modificación del software de adquisición, y la calibración de nuevas celdas de referencia.

Tareas específicas y objetivos:

Las tareas específicas a realizar en el marco del presente proyecto son las siguientes:

- Fabricación de Fuente de tensión regulable y sistema de polarización eléctrica.
- Fabricación de soportes y máscara para medición simultánea.
- Modificación/creación de programa para medición simultánea de RE (preferentemente LabView).
- Calibración de celdas de referencia.
- Medición de RE en celdas de uso terrestre y de uso espacial.
- Análisis de estabilidad y ruido del sistema de medición.
- Evaluación del daño por radiación producido en celdas a través de la medición de RE

Se espera que una vez concluidas estas tareas, se tendrá una mejora sensible en la prestación del equipo de medición de RE del DES.

Objetivos y conocimientos a adquirir:

Los alumnos tomarán contacto con mediciones electro-ópticas de uso corriente en las actividades de investigación en conversión fotovoltaica. Esto involucra tanto el *setup* óptico como el tratamiento de señales pequeñas y la evaluación del error de medición.

Cabe destacar que la medición de RE en celdas solares se hace en contados grupos del país.

Los alumnos se involucrarán en las tareas de investigación en curso, así como participarán en la mejora del equipamiento haciendo un aporte creativo.

Cronograma de tareas:

1º Cuatrimestre :

- ♦ Se pasará revista a los principios fundamentales del funcionamiento de una celda solar: la junta p-n, las ecuaciones de transporte y las definiciones de los parámetros de salida de una celda solar bajo iluminación: corriente de cortocircuito, tensión de circuito abierto, factor de llenado y eficiencia de conversión [7].
- ♦ Se pasará revista a las normas ASTM e IRAM correspondientes al tema en cuestión [8-9].
- ♦ Estudio de las capacidades y funcionamiento del *lock-in*.
- ♦ Diseño y fabricación del sistema de polarización eléctrica para la celda de referencia.

- ♦ Construcción de un soporte ad-hoc para la conexión simultánea de la celda a medir y la celda de referencia.
- ♦ Desarrollo de un software apropiado para la medición simultánea de celda y referencia.

2º Cuatrimestre :

- ♦ Medición de dispositivos de Si cristalino elaborados en el DES. Interpretación de los resultados.
- ♦ Medición de dispositivos de origen comercial o de laboratorio de doble y triple juntura. Interpretación de los resultados.
- ♦ Medición de dispositivos MJ antes y después de su ensayo de daño por radiación inducido por irradiación con protones de energías de orden del MeV.
- ♦ Evaluación del resultado del daño por radiación sobre celdas multijuntura

Instrumental:

El equipo de medición de RE en celdas solares sobre el que se trabajará está basado en una serie de filtros ópticos de banda angosta para definir la luz monocromática, lámparas dicróicas y filtros ópticos pasabanda para definir la polarización luminosa, y un amplificador *lock-in*. Una fuente de tensión variable externa pone al dispositivo en las condiciones de polarización eléctrica que se requieran. El equipo está automatizado y controlado por software. Se cuenta también con celdas de referencia de diverso tipo.

En consecuencia, se utilizarán amplificador *lock-in*, multímetro, fuentes de alimentación de tensión continua, y un sistema de adquisición de datos instrumentado en una PC.

Equipamiento y fuentes de financiación:

El presente plan de trabajo se enmarca en las actividades de investigación y desarrollo que realiza el DES de la Gerencia Investigación y Aplicaciones (ex Departamento de Física) de la CNEA. Estas actividades cuentan con la infraestructura de dicho Departamento, y se encuentran parcialmente financiadas por los contratos suscriptos entre la CNEA y la CONAE para el desarrollo de técnicas de fabricación y ensayo de paneles solares para usos espaciales.

Las actividades del DES, particularmente las específicas de investigación, también están financiadas por el subsidio otorgado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) a través del proyecto PICT2007 N° 01143 y se cuenta también con el subsidio PIP-CONICET 2009-2011 N° 02318 "Estudio teórico-experimental de celdas solares para aplicaciones terrestres y espaciales".

Se encuentra disponible en el DES el equipo desarrollado para la medición de la RE en celdas solares multijuntura, sobre el cual se realizará la presente propuesta. Se cuenta también con celdas de referencia de diverso tipo.

Bibliografía:

- [1] G.F. Virshup, J.G. Werthen, Spectral response measurements of two-terminal multijunction solar cells, Proceedings of the 18th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 618 (1985).

- [2] K. Emery, D. Dunlavy, H. Field, T. Moriarty, Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 2298 (1998).
- [3] D.L. King, B.R. Hansen, J.M. Moore, D.J. Aiken, New methods for measuring performance of monolithic multi-junction solar cells, Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1197 (2000).
- [4] B. Ebner, G. Agostinelli, E. Dunlop, Automated absolute spectral response characterisation for calibration of secondary standards, Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2203 (2000).
- [5] D. Aiken, M. Stan, C. Murray, P. Sharps, J. Hills, B. Clevenger, Temperature dependent spectral response measurements for III-V multi-junction solar cells, Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 828 (2002).
- [6] H. Socolovsky, J. García, J. Plá, Setup development for spectral response measurement on multijunction solar cells, Proceedings of the 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 854 (2010).
- [7] “Spectral response measurements of monolithic GaInP/Ga(In)As/Ge triple-junction solar cells: measurement artifacts and their explanation”, M. Meusel et al., Progress in Photovoltaics: Research and Applications **11**, 499 (2003).
- [8] M. Green, “Solar cells: operating principles, technology and system applications”, Univ. New South Wales, 1990.
- [9] “Standard methods for measuring the spectral response of photovoltaic cells”, norma ASTM N° E 1021 – 84. “Standard Test Methods for Measurement of Electrical Performance and Spectral Response of Nonconcentrator Multijunction Photovoltaic Cells and Modules”, norma ASTM N° E 2236 - 05.
- [10] “Método normalizado para la medición de la respuesta espectral de celdas fotovoltaicas”, norma IRAM; en proceso de elaboración.
- [11] “Radiation response analysis of triple junction InGaP/InGaAs/Ge solar cells”, S.R. Messenger et al., Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich (2001), 2251.

Dr. Juan Plá
 Investigador Independiente - CONICET
 Departamento Energía Solar
 Gerencia Investigación y Aplicaciones
 CAC-CNEA