

# ESTUDIO DE PELÍCULAS DELGADAS CON APLICACIÓN A CONCENTRADORES SOLARES

Eliana Mangano<sup>1</sup>, Edgardo Sambrano<sup>2</sup>, María Dolores Perez<sup>3</sup>, José Di Santo<sup>3</sup>, Laura Malatto<sup>1</sup>, Juan Pla<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INTI - CMNB, <sup>2</sup> SEGEMAR - INTEMIN, <sup>3</sup> CNEA - CAC

eliana@inti.gov.ar

## Introducción

La energía solar es una fuente de energía abundante y no contaminante, pudiendo ser colectada y transformada en energía térmica o eléctrica en el lugar de utilización. La conversión directa de energía solar en electricidad se obtiene mediante dispositivos electrónicos denominados celdas solares o fotovoltaicas (FV).

Las tecnologías fotovoltaicas disponibles, con diferente grado de madurez, son las siguientes: la tradicional basada en Si cristalino; películas delgadas, principalmente telurio de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) y silicio amorfo (a-Si); dispositivos multijuntura basados en semiconductores III-V, de uso habitual en aplicaciones espaciales, pero que han comenzado a utilizarse en los últimos años en usos terrestres en combinación con sistemas ópticos de concentración de la radiación solar (CPV, *Concentrating Photovoltaics*); tecnologías emergentes, tales como celdas solares de perovskitas, sensibilizadas por colorante, y de materiales orgánicos. Los sistemas fotovoltaicos con concentración de la radiación solar, donde apunta este trabajo, son los de mayor eficiencia de conversión de energía solar en electricidad desarrollados hasta el momento, aunque requieren radiación solar directa ya que no pueden hacer uso de la componente difusa de dicha radiación. La alta eficiencia de estos sistemas le otorga un gran potencial de reducción de costos por unidad de energía generada en regiones con alta disponibilidad de radiación solar directa, lo que le permitiría poder llegar a competir con la generación FV tradicional sin concentración en determinados nichos de mercado [1].

## Objetivo

Estudiar películas delgadas, depositadas por la técnica de *sputtering*, para su aplicación en concentradores de radiación solar. Obtener prototipos de concentradores con reflectancia mayor al 80% en el espectro del visible e infrarrojo cercano.

## Descripción

El estudio de las películas se realizó sobre 2 tipos de sustratos planos: vidrio portaobjetos "PO", que se utilizaron como sustratos de referencia; y vidrio comercial industrial o "vidrio gris", denominación que adoptan los vidrios que incorporan mezclas de óxidos metálicos. Para este estudio se crecieron películas delgadas de Al, SiO<sub>2</sub>, y Al/SiO<sub>2</sub>. El Al actúa como película reflectante de la radiación solar. El SiO<sub>2</sub> cumple la función de pasivar la película de Al, brindando protección mecánica ante la inclemencia ambiental, pero sin atenuar las propiedades reflectivas del sistema.

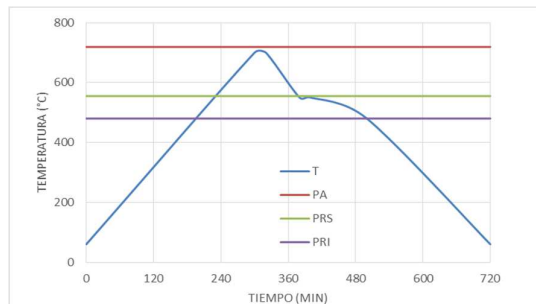
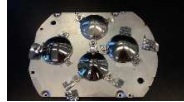
Los sustratos se limpiaron en una solución de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno en una proporción de 2:1 durante 10 min. Para crecer las películas se utilizó la técnica *physical vapor deposition* (PVD), en particular *magnetron sputtering*, en un equipo Edwards modelo AUTO 500. Se utilizó un *target* de Al calidad industrial, y un *target* de SiO<sub>2</sub> de pureza 99,995%. Ambos de 75mm de diámetro y 6 mm de espesor. Como gas *carrier* para generar el plasma dentro de la cámara se usó Ar (99,9997%) y O<sub>2</sub> (99,8%). Los sustratos se montaron sobre una plataforma rotatoria que permite obtener películas homogéneas. La presión base alcanzada fue en todos los casos inferior a 1,5x10<sup>-5</sup>mbar. Las películas de Al se depositaron con un plasma generado a 400W con una fuente DC y las de SiO<sub>2</sub> con una fuente RF de 13,56 MHz a la misma potencia. En la tabla 1 resumimos como se variaron los espesores de las películas y la composición del gas *carrier*. Las películas bicapas fueron crecidas sin perder el vacío en la cámara para controlar la composición de la interfaz Al/ SiO<sub>2</sub>, en dos atmósferas distintas: inerte y reactiva.

	Vidrio	Al	SiO <sub>2</sub>
A	PO	-	350 nm; Ar (10 sccm)
B	PO	100nm; Ar (5 sccm)	350nm; Ar (10 sccm)
C	"gris"	100nm; Ar (5 sccm)	350nm; Ar (10 sccm)
D	PO	100nm; Ar (5 sccm)	130nm; Ar (7 sccm) + O <sub>2</sub> (3 sccm)
E	"gris"	100nm; Ar (5 sccm)	130nm; Ar (7 sccm) + O <sub>2</sub> (3 sccm)
F	PO	100nm; Ar (5 sccm)	-

**Tabla 1: Condiciones de crecimiento de las películas delgadas.**

Los prototipos de concentradores se realizan por conformado de espejos de primera superficie de perfil hiperbólico. La técnica desarrollada consiste en el curvado de vidrios, a partir de una superficie de forma apropiada dada por un cerámico tallado.

El vidrio se introduce en una mufla en donde alcanza una temperatura próxima al punto de ablandamiento (PA)  $10^{6.6}$  Pa.s en donde se produce la deformación plástica del mismo, entrando posteriormente en una zona de liberación de tensiones entre el punto de recocido superior (PRS)  $10^{12}$  Pa.s y el inferior (PRI)  $10^{13.5}$  Pa.s. La correspondiente curva de temperatura del proceso se muestra en la figura 1. Los prototipos finales de concentradores se moldearon en vidrio "gris" y se procesaron en forma similar a las muestras D y



E. En el detalle de la figura se observa el montaje en el portamuestras del *sputtering*.

**Fig. 1: Curva de conformado de la superficie hiperbólica. Detalle: Foto de concentradores en cámara de *sputtering*.**

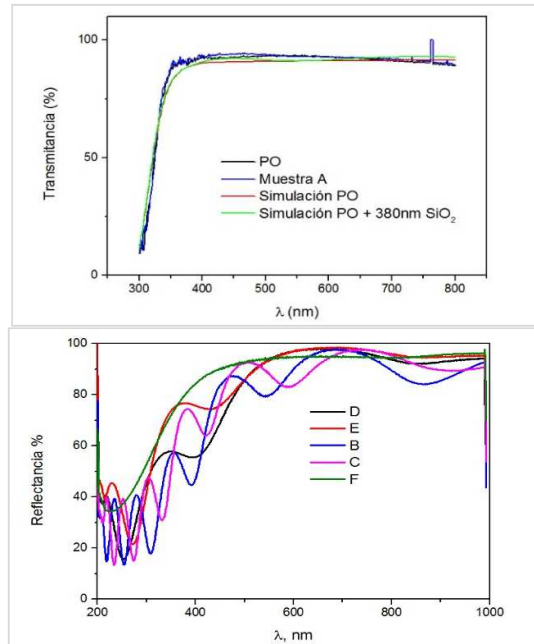
## Resultados

Para analizar el comportamiento de la película de pasivado se midió la transmitancia del vidrio PO, virgen y con film de  $\text{SiO}_2$  (muestra A). Para ello se utilizó un equipo de mediciones espectrorradiométricas Sciencetech. Los resultados se compararon con simulaciones numéricas realizadas con el programa Optical [2]. En la figura 2 se observa la comparación de los valores medidos con los simulados. Durante la simulación se ajustó el espesor de la película de  $\text{SiO}_2$  para aproximar a la curva medida. Se observa que la transmitancia medida de la película de dióxido de silicio difiere en menos del 1% respecto a la transmitancia medida de un sustrato sin dicha película, concluyéndose que este *film* no produce una atenuación significativa. El modelo de simulación se ajusta razonablemente bien a las mediciones, a menos de pequeñas diferencias dadas por no contar con el índice de refracción espectral específico del vidrio PO utilizado como sustrato.

Las mediciones de reflectancia se llevaron a cabo con un equipo QE Pro ABS de Ocean Optics. En la figura 3 se comparan las películas de aluminio con y sin pasivación. Analizando la respuesta, por encima de los 500nm de longitud

de onda, se observa que las muestras crecidas en atmósfera reactiva (D y E) presentan un comportamiento semejante a la muestra sin pasivar (F), indicando probablemente un mejoramiento en la estequiometría del  $\text{SiO}_2$  y reduciendo consecuentemente la proporción de compuestos no estequiométricos absorbentes.

**Fig. 2: Transmitancia medida para la muestra A y el vidrio PO. También se muestran las correspondientes simulaciones realizadas con el código Optical.**



**Fig. 3: Reflectancia espectral medida para las muestras B, C, D, y F.**

## Conclusiones

Se estudiaron las propiedades ópticas de las películas delgadas para aplicación en concentradores de radiación solar, concluyendo que una atmósfera reactiva en el crecimiento del pasivado aporta mejores prestaciones, y cumpliendo la meta de reflectancia. Se obtuvieron prototipos que serán evaluados con el sistema fotovoltaico completo. La causa de la disminución de la reflectancia observada para longitudes de onda menores a 400nm, así como su potencial influencia en la prestación de un módulo que utilice este concentrador, serán objetos de un estudio posterior.

## Bibliografía

- [1] Philipps S. P., Bett A. W., Horowitz K., Kurtz S., (Abril 2017) "Current Status of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology", Version 1.3 <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/studie-current-status-of-concentrator-photovoltaic-cpv-technology.html>
- [2] <https://www.bo.imm.cnr.it/users/centurioni/optical.html>