

Construcción de paneles de bajo costo para uso generalizado en la producción de energía eléctrica

Construction of low-cost panels for widespread use in the production of electrical energy

Presentación: 25/10/2019

Doctorando:

Sergio A. Woloj

Pertenencia (UTN)

swoloj@yahoo.com.ar

Director/es:

Carlos lasorsa

Resumen

En esta tesis se propone diseñar y desarrollar la tecnología necesaria para la construcción de paneles solares de bajo costo contruidos con materiales disponibles en el mercado local. por lo tanto, será necesaria la búsqueda del recubrimiento adecuado y el proceso de fabricación que mejor se adapte a las características de la tecnología nacional.

Palabras Plasma, PACVD, Sputtering, magnetron, celda solar, CdTe, películas, delgadas.

Abstract

In this tesis it is proposed to design and develop the technology necessary for the construction of low-cost solar panels built with materials available in the local market. therefore, it will be necessary to find the right coating and the manufacturing process that best suits the characteristics of national technology.

Keywords: Plasma, PACVD, Sputtering, magnetron, celda solar, CdTe, film, thin.

Introducción

Desde hace varios años se viene estudiando a nivel global el calentamiento del planeta, organismos como la NASA (USA) remarcan el hecho de que el mismo está asociado a la emisión de CO₂ y la huella de carbono proveniente de la quema de combustibles fósiles o minerales para la producción de energía [1].

El desarrollo de energías renovables como la solar y la eólica ayudan en la reducción del calentamiento global debido a la reducción la emisión de gases de CO₂ a la atmósfera.

Dentro del desarrollo de la energía fotovoltaica, el silicio ha sido el material más utilizado en dispositivos semiconductores por casi cincuenta años. Esto es debido a que es el segundo material más abundante en la corteza terrestre, es estable y no tóxico, su tecnología está altamente desarrollada y en su forma cristalina tiene un band gap apropiado para la conversión fotovoltaica de la energía solar; También ha sido el material fotovoltaico más utilizado para la fabricación de celdas solares desde 1954, año en que se desarrolló la primera celda solar [2].

En sus formas monocristalina, policristalina y amorfa cubre más del 90% del mercado fotovoltaico mundial [3]. El interés en celdas solares basadas en materiales III-V (Silicio o GaAs) se remonta al final de la

década de los 80, cuando se demostró que para aplicaciones espaciales resultaban competitivas con respecto a las de Silicio.

Dentro de los desarrollos recientes, las celdas solares de Telluro de Cadmio (CdTe) se las menciona como la única tecnología de película delgada con menores costos que las células solares convencionales hechas de silicio mono y poli cristalino, la misma se basa en el uso de Teluro de Cadmio, una delgada capa semiconductor diseñada para absorber y convertir la luz solar en electricidad [4].

En conjunto, ambas tecnologías representan la mayor parte del mercado fotovoltaico con un mercado 13.84 billones de dólares estimados para el 2025 solo para las celdas de CdTe. Siendo la energía solar dentro de las tecnologías más incorporadas en el mercado actual [5]. Esto se muestra en un incremento de 102 GW en 2018 por la tecnología solar a nivel mundial.

Actualmente las celdas solares basadas en silicio poseen una alta eficiencia, pero nuevos desarrollos continúan expandiendo esta capacidad, lo cual lo hace un campo de estudio muy atractivo, por otro lado, las celdas solares de CdTe presentan gran interés actual incrementando la capacidad de producción fotovoltaica a un menor costo.

Se espera que la eficiencia teórica de las células solares de película delgada de CdTe sea del 28% al 30%. Actualmente, First Solar ha anunciado un nuevo récord mundial este año para la eficiencia de la celda solar fotovoltaica CdTe de 17.3% con una celda de prueba construida utilizando equipos de fabricación a escala comercial, y su eficiencia media de los módulos producidos en el primer trimestre de 2011 fue del 11,7%.

Una de las mejores opciones para las células CdTe son las estructuras de heterounión con sulfuro de cadmio de tipo n (CdS) como una capa de ventana transparente, y generalmente se fabrican en una configuración de sustrato (Figura 1)

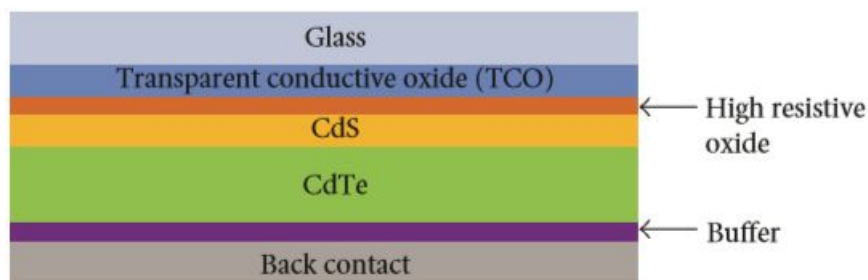


figura 1 Ejemplo de celda solar CdS/CdTe de película delgada

A pesar de la falta de coincidencia en la red del 10% entre CdTe y CdS, la heterounión formada tiene un excelente comportamiento eléctrico en las células solares producidas. [75]

Actualmente existen varios desafíos para hacer que las células solares de película delgada de CdS / CdTe sean más competitivas, a saber:

1. Corta vida útil del portador minoritario debido a la recombinación de pares de agujeros de electrones en los centros de defectos en las capas de CdTe y en la interfaz entre CdS y CdTe ,
2. Transparencia insuficiente de las capas de ventana de óxido conductor transparente (TCO) y CdS,
3. Falta de buen contacto óhmico entre las capas de CdTe y los contactos traseros
4. Posibilidad de dopar películas de CdTe tipo p de manera estable.

En este contexto, es nuestro objetivo adquirir experiencia y desarrollar las tecnologías y los recubrimientos delgados asociados con ellas y proponer nuevas soluciones de los procesos de manufactura que son de interés para el futuro de la energía fotovoltaica a nivel local e internacional.

Dentro de la propuesta inicial del estudio de celdas basadas en películas delgadas tipo II -VI, se desarrollaran las distintas etapas de deposición, acordes a la estructura que se detalla en la figura 1:

1. Desarrollo de películas delgadas transparentes conductoras (Óxidos o grafeno)
2. Desarrollo de recubrimientos de CdTe y CdS (proceso de sputtering y CCS) son las propuestas iniciales, modificación de las mismas pueden ser propuestas a fin de mejorar las características de las mismas.
3. Desarrollo de recubrimientos de carbono amorfo y grafeno como etapa buffer

4. Proponer y estudiar diferentes dopantes que permitan estabilizar las películas de CdTe.
5. Caracterizar eléctrica y electrónicamente los dispositivos fabricados.
6. Estudiar la degradación de las mismas

Se realizará una caracterización sistemática de los recubrimientos individuales y en conjunto desde un punto de vista microestructural y morfológica (análisis XRD, SEM, EDS, AFM, etc.), desde el punto de vista electrónico (movilidad electrónica, conductividad, etc.) y desde un punto de vista óptico (Transmitancia, Band Gap, Respuesta espectral, etc.)

Resultados

Luego de una búsqueda bibliográfica y lectura de la misma para comprender el funcionamiento en general de la celda solar, y en particular de algunas de sus etapas se comenzó con el desarrollo del equipamiento para la parte experimental de la misma.

El primer equipo en el que se trabajó es un sistema de sputtering el cual se detalla en la figura 2, en el mismo se genera una descarga tipo glow en alto vacío (10⁻³ mbar) en una atmósfera inerte de argón o nitrógeno de forma tal que los iones generados positivos sean atraídos hacia la superficie del blanco constituido por el material que se desea depositar, la muestra se colocó sobre el electrodo negativo, los iones del target arrancados por el impacto de los átomos de argón son depositados sobre la muestra generando recubrimientos de estructura conveniente y químicamente puros.



Figura 2: Sistema de deposición por Plasma, CVD o Sputtering

En la figura 3 se detalla el sistema en funcionamiento con un blanco de testeado de cobre (de los más simples a depositar) para comprobar el funcionamiento del mismo. Al sistema se le incorporó una configuración específica de imágenes para concentrar los iones de argón sobre el target e incrementar de esta manera el proceso de crecimiento del cobre sobre el vidrio.

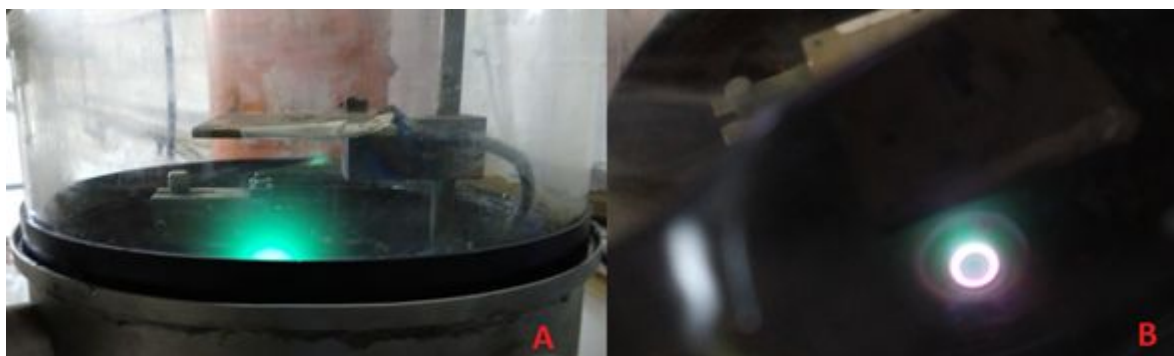


Figura 3: Sistema de Sputtering en funcionamiento.

En la figura 4 se detalla el crecimiento de películas delgadas de cobre de adecuada homogeneidad sobre muestras de vidrio, esta fue una primera prueba de funcionamiento del equipo desarrollado. La diferencia de espesores entre las muestras A, B y C se deben a tiempos distintos de deposición siendo los espesores obtenidos directamente proporcionales a los tiempos de proceso, a igual potencia de fuente de alimentación.

Actualmente se optimizó el proceso de crecimiento y el proceso que tomaba 1 hora para obtener un crecimiento determinado actualmente se realiza en 10 min a misma potencia. Por otro lado, se destaca que se contruyeron la totalidad de los componentes del equipo desde las piezas mecanizadas hasta la fuente de alimentación..

Actualmente nos llegaron (este mes de octubre del 2019) las muestras de CdTe, CdS para poder realizar ensayos de deposición de estos materiales, los ensayos todavía no se iniciaron.

Dentro de las etapas de la celda solar de CdTe, se deberá desarrollar una película transparente conductora, se desarrollo un sistema de crecimiento de películas delgadas llamado spray pirolisis, en el mismo se emplea un nebulizador de piston u ultrasonico o alguna generador de partículas de gas que permitan la producción de gotas de precursor que son arrastradas hacia el sustrato a depositar.

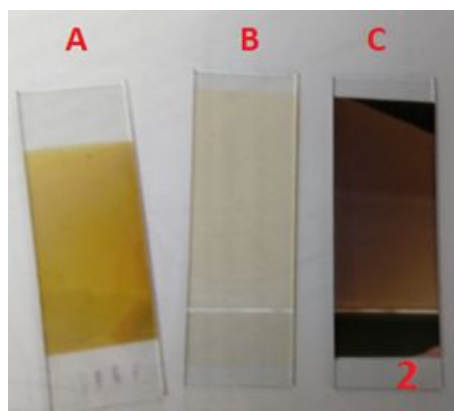


Figura 4: Resultados del proceso de deposición adiferentes tiempos.

El sustrato se colocó a una temperatura de reacción de aproximadamente 500 °C y se depositó un óxido de SnO₂, que se dopa con fluor alterando su estructura de bandas y permitiendo la conductividad eléctrica, sin perder su transparencia.

Inicialmente se realizaron pruebas de funcionamiento de la técnica con un equipo horno desarrollado en el laboratorio figura 5, el cual permitio obtener resultados prometedores.



Figura 5: Horno de hasta 550°C para el sistema de spray pirolisis, muestras desarrollada con conductividad de 100 ohm/cm².

Si embargo, se observo un crecimiento inhomogeneo sobre el sustrato de vidrio, ademas se aprecia una perdida de precursor debido a que el sistema cerrado calienta el tubo de vidrio y se produce una cristalización sobre este (de hecho se midió conductividad sobre el vidrio).

Se propuso una modificación al sistema de spray pirolisis, en la figura 6 se aprecia el nuevo sistema el cual posee un motor que permite la homogeneización del recubrimiento, ajuste de la altura del flujo de gas para evitar la cristalización sobre el tubo de conexión y se reemplazo el horno por una placa caliente que permite un flujo más homogeneo sobre la muestra.

Se puede apreciar que los problemas de homogeneidad se encuentran prácticamente resueltos y se alcanzo una conductividad de 30 ohm, son embargo es necesario realizar mejoras en el sistema para alcanzar un recubrimiento parejo sobre la muestra de vidrio.

Se realizaron estudios sobre la proyección del flujo del gas sobre la muestra a fin de optimizar la homogeneidad del recubrimiento, también se mediran parámetros como la movilidad electrónica a través de

mediciones hall, la cantidad de portadores y parámetros ópticos como la respuesta espectral (todavía no realizado).

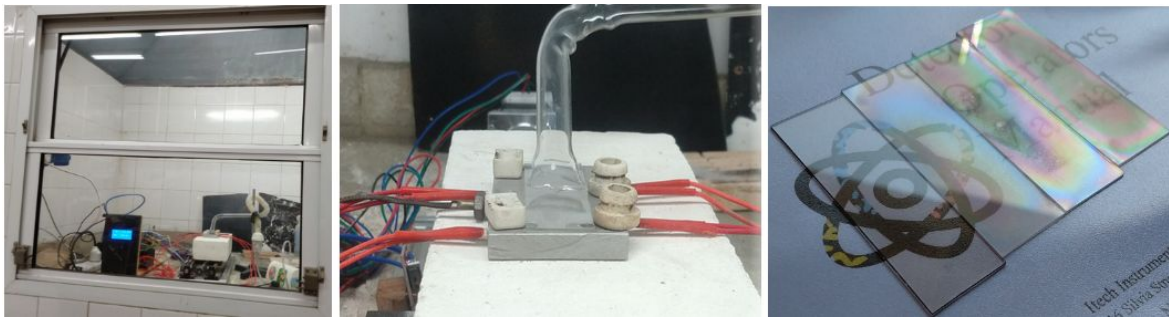


figura6 Modificación al sistema de spray pirolisis.

Para el desarrollo de un recubrimiento de grafeno se propuso la técnica plasma CVD, los equipos empleados para tal fin se muestran en la figura 7, se realizaron las primeras pruebas de recubrimiento sobre cobre en el equipo B, sin embargo el mismo no alcanza las temperaturas requeridas de trabajo, para tal fin se adaptó el equipo empleado para magnetron sputtering a fin de poder realizar recubrimientos a mayor temperatura, también se observó que la presencia de oxígeno afecta fuertemente el crecimiento del mismo en la estructura cristalina deseada.

Se obtuvieron resultados que fueron medidos mediante la técnica raman, se encontró una grafitización del depósito, sin embargo, se continúa obteniendo carbono amorfo sobre el cobre.

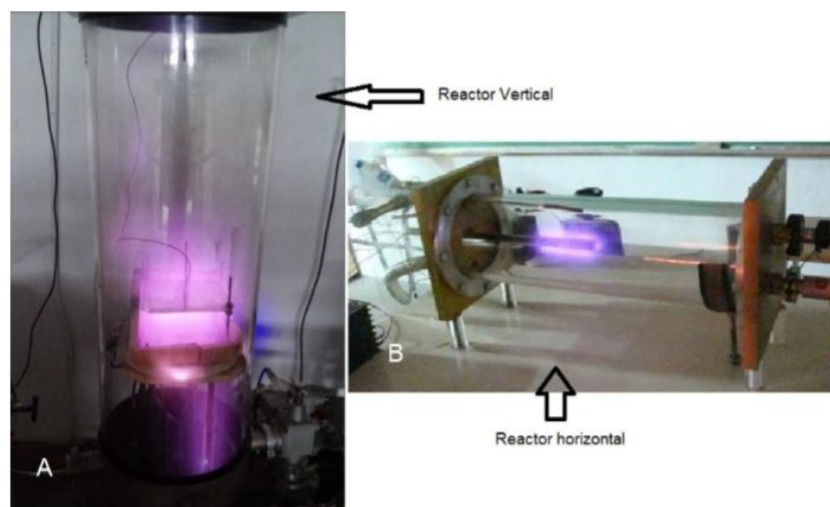


figura 7: Reactor de plasma CVD desarrollado en el laboratorio, A reactor vertical con capacidad de vacío de 10-5mBar, B reactor horizontal con capacidad de vacío de 10-2mBar

Dentro de las tareas realizadas se encuentran el desarrollo de 3 equipos necesarios para el proyecto, spray pirolisis, magnetron sputtering y PACVD.

Conclusiones

1. Se construyó en un 80% el equipo necesario para la realización de la tesis
2. Se realizaron recubrimientos de prueba por plasma CVD para la producción de grafeno.
3. Se realizaron recubrimientos por spray pirolisis de SnO₂:F observando una resistencia de 60 ohm y una transparencia del 80%
4. Se realizaron depósitos por sputtering de cobre y se están mecanizando los nuevos magnetrones para disponer de 3 o 4 cabezas y poder realizar deposiciones de aleaciones especiales sobre superficies.

5. Se esta avanzando con un acuerdo de colaboración UTN - CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica) para que en el grupo solar de la institución se realicen las mediciones de los parámetros físicos de la celda.

Cómo pendientes queda realizar depósitos por sputtering de CdTe, y CdS sobre el vidrio recubierto con SnO₂:F.

Terminar de poner a punto la técnica de formación del grafeno y depositar sobre las etapas previas el carbono a fin de desarrollar la primer celda solar operativa.

Mediciones sobre las características de cada uno de los recubrimientos: SEM, AFM, EDS, XRD análisis microestructural y morfológico, 4 puntas y Hall movilidad electrónica y presencia de portadores libres, elipsometría, respuesta espectral para determinar las características ópticas de los recubrimientos.

Referencias

1. https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/climate_bkgd_sp
2. D.M. Chapin et al., *Journal of Applied Physics* 25, 676 (1954).
3. K.I. Chang et al., *Proceedings of the 19th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 273 (1987).
4. <https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>
5. K. Zweibel, J. Mason, V. Fthenakis, "[A Solar Grand Plan](#)", *Scientific American*, Jan 2008. CdTe PV is the cheapest example of PV technologies and prices are about 16¢/kWh with US Southwest sunlight.