

# Estudio de las propiedades eléctricas de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos de CdS/ZnS

Omar E. Solis, Jesús Manuel Rivas y Diego Esparza

Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas  
Av. Ramón López Velarde 801 Col. Centro, Zacatecas, Zac. CP 98060

osolisluna@gmail.com

**Resumen:** En este trabajo se realizó un estudio de las propiedades eléctricas de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos a base de Cadmio Zinc Asufre (CdZnS). El objetivo es aumentar la absorción de luz en el espectro electromagnético por medio del crecimiento del material. En este trabajo, se fabricaron celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos con la configuración TiO<sub>2</sub>/CdS/ZnS. Se realizó una investigación experimental variando las concentraciones de los depósitos de las películas para analizar cómo las propiedades eléctricas de las celdas solares son afectadas por el espesor de cada una de las películas.

**Palabras clave:** Puntos cuánticos, Celdas Solares.

**Abstract:** In this work, was carried out a study of the electrical properties of quantum dots sensitized solar cells with cadmium, zinc and sulfur (CdZnS) quantum dots. The objective is to increase the absorption light in the electromagnetic spectrum through the growth of the material. In this work, quantum dots sensitized solar cells were manufactured with the TiO<sub>2</sub>/CdS/ZnS configuration. An experimental investigation was carried out varying the concentration of the deposits of the films to analyze how the electrical properties of the solar cells are affected by the thickness of each film.

**Keywords:** Quantum dots, Solar cells.

## 1. Introducción

Los puntos cuánticos son materiales semiconductores de tamaño nanométrico ( $1 \times 10^{-9}$  m) regularmente menor a 10 nm, este tipo de materiales presenta un fenómeno llamado confinamiento cuántico. Este fenómeno se presenta cuando el tamaño de la partícula es del orden del radio de Bohr del material, en este orden de magnitud el movimiento de los electrones y huecos se confina en las 3 dimensiones espaciales. Su principal característica es que, a través del proceso de la discretización de los estados electrónicos, se puede sintonizar el rango de absorción de energía según su composición y tamaño. Existen diferentes tipos de puntos cuánticos compuestos principalmente de los grupos II-IV de la tabla periódica (CdSe, CdTe, CdS, ZnSe, ZnS, CdSeTe, etc.), además de puntos cuánticos de los grupos IV-VI como son PbSe, PbS, PbTe etc [1-20]. Los puntos cuánticos cuentan con una infinidad de aplicaciones, las más destacadas son aplicaciones biomédicas, sensores, diodos emisores de luz y celdas solares.

Las celdas solares son dispositivos fotovoltaicos capaces de convertir energía solar a energía eléctrica. Actualmente existen una gran variedad de tecnologías en la fabricación de celdas solares, catalogándolas como celdas solares de primera generación, segunda generación y tercera generación. De las tres anteriores gran parte de la investigación actual se centra en las celdas solares de tercera generación. Una de este tipo de celdas es la celda de Graetzel, fabricada por primera vez por O'Regan y Graetzel. Este dispositivo fotovoltaico consiste en un

fotodiodo transparente (FTO) seguido por una película de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) recubierta por un colorante orgánico, los electrones son absorbidos por el colorante y transportados a través del TiO<sub>2</sub> hacia el electrodo, mientras que los huecos son regenerados por medio de un electrolito líquido y un contra electrodo [21-27]. Las celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos son similares a las celdas solares tipo Graetzel, la diferencia fundamental es que en las celdas tipo Graetzel se utiliza un colorante orgánico como material sensibilizador, mientras que, en las celdas solares sensibilizadas con puntos cuánticos, el colorante es sustituido por el punto cuántico. De esta forma la luz es absorbida directamente por el punto cuántico, por lo que al aumentar el número de fotones absorbidos a longitudes de onda más cortas aumentas el número de portadores de carga, de forma análoga a una celda solar convencional, pero con una fabricación más simple. [28-35]

En este trabajo, se presenta el proceso de fabricación de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos del tipo CdZnS, el método de depósito es por medio de la adsorción y reacción sucesiva de capas iónicas (SILAR, por sus siglas en inglés). El proceso de depósito nos muestra que la cantidad de material depositado depende del número de ciclos SILAR depositado, además la eficiencia de conversión de energía depende primordialmente de la cantidad de material depositado.

## 2. Proceso de Fabricación

### 2.1 Lavado de substratos

Se utilizaron sustratos con óxido de estaño dopado con fluor (FTO), el proceso de lavado fue en varias etapas; primero por medio de un ultrasonido se enjuagaron con agua y jabón por 10 minutos, en seguida se puso nuevamente en el baño ultrasónico en agua, después se puso otros 10 minutos en el baño ultrasónico en una mezcla de agua con alcohol isopropílico, en una relación 1:1 y por último fueron secados con aire. En la Figura 1 se muestra el proceso del lavado de los sustratos en un baño ultrasónico.



Fig. 1.- Lavado de sustratos.

## 2.2 Depósito de $TiO_2$

La fabricación del dispositivo fotovoltaico consta de 3 películas de  $TiO_2$ , la primera película es una película compacta, esta consiste en depositar Diisopropóxido de Titanio y Etanol en una concentración de (1:3 en volumen) por medio de la técnica llamada rocío pirolítico. Esta técnica se usa para depositar una amplia variedad de materiales, en la cual puedes variar el espesor con la variación de la viscosidad del material depositado. Esta técnica consiste en aumentar la temperatura del sustrato y depositar el material por medio de choque térmico [2], para esto se necesitó calentar los sustratos en un plato de calentamiento a  $450^\circ C$  para luego depositar la solución de Diisopropóxido de Titanio y Etanol. En la Figura 2 se muestra la técnica de depósito utilizada.

La segunda capa de  $TiO_2$  forma una película mesoporosa, esta capa se depositó por medio de la técnica llamada Dr Blade, la cual consiste en hacer un arrastre de la pasta de  $TiO_2$  para formar una película, después se realiza un proceso de secado en un plato de calentamiento a  $100^\circ C$  por 10 minutos. En seguida se deposita otra capa de  $TiO_2$ , con la diferencia que esta capa está formada por partículas más grandes que la primera capa, se realiza nuevamente el proceso de secado como se mencionó anteriormente. Finalmente se calcinan a  $450^\circ C$  por 1 hora.

## 2.3 Depósito de puntos cuánticos de CdS

Para el depósito de los puntos cuánticos se utilizó la técnica SILAR, que es usada para depositar capas aproximadamente de 10 micrómetros de espesor en áreas de hasta  $10\text{ cm}^2$  [3]. La cual consiste en sumergir el sustrato con una película mesoporosa de  $TiO_2$  en una solución, que incluye cationes y aniones, alternativamente, de esta forma se depositan los puntos cuánticos y se pueden controlar con el número de ciclos del SILAR [4]. Para depositar los puntos cuánticos de CdS se utilizó una concentración de  $\Gamma=0.05\text{ mol/L}$ , para conseguir estos puntos cuánticos se utilizan cuatro etapas, las cuales consisten en cuatro contenedores; de los cuales el primero contiene acetato de Cd disuelto en metanol, el segundo es un lavado de metanol, el tercero es  $Na_2S$  disuelto en agua desionizada y metanol en una proporción 1:1 en volumen y la última es un lavado que contiene una mezcla de metanol y agua desionizada en una proporción 1:1. Los sustratos tienen que pasar por cada uno de estos contenedores en el orden mencionado, al término del cuarto contenedor se le llama un ciclo, la cantidad de material depositado depende del número de ciclos. La figura 3 muestra un dibujo esquemático del proceso SILAR, básicamente del depósito del punto cuántico de CdS.



Fig. 2. Depósito de película compacta de  $TiO_2$ .

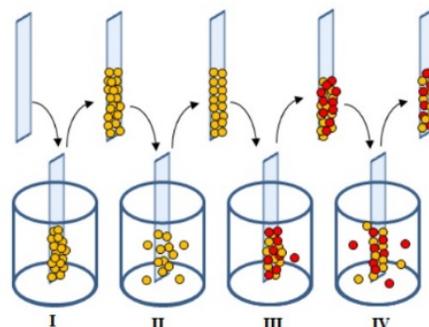


Fig. 3. Depósito de puntos cuánticos de CdS por SILAR [5]. I) Acetato de Cadmio. II) Lavado de metanol. III)  $Na_2S$  disuelto en metanol y agua desionizada. IV) Lavado de metanol y agua desionizada.

Para el depósito de los puntos cuánticos de ZnS también se utilizó la técnica SILAR, al igual que en el depósito anterior se usaron cuatro etapas, pero con una concentración de  $\Gamma=0.1\text{ mol/L}$ , la primera etapa contiene acetato de zinc disuelto en agua desionizada, la segunda es un lavado que contiene agua desionizada, la tercera contiene  $Na_2S$  disuelto en agua desionizada y la última es un lavado con agua desionizada. La Figura 4 muestra una fotografía real del proceso de depósito de puntos cuánticos de ZnS por medio de SILAR.

## 2.4 Polisulfuros

Para regenerar el material sensibilizante a través del transporte de huecos, es necesario que ocurra una reacción redox entre dos

compuestos, en donde el sensibilizante toma el papel de compuesto a reducirse y el electrolito el compuesto a oxidarse.

El electrolito empleado en la medición del dispositivo es polisulfuro, el cual consiste en una solución de 1M de S, 1M de Na<sub>2</sub>S, 0.1M de NaOH y 20 ml de agua destilada. Desde la perspectiva de una reacción química, la oxidación ocurre en la interacción del fotoánodo con el electrolito [6]. La figura 5 muestra el proceso de síntesis del electrolito a base de polisulfuros.

### 2.5 Contraelectrodos

Dado que el proceso de reducción se lleva a cabo en la interfase entre el electrodo y el electrolito, es preferible que el material que toma el papel de contraelectrodo sea catalíticamente activo a reducir al electrolito, es decir, la elección del contraelectrodo depende del electrolito empleado. Para este caso, el contraelectrodo empleado es a base de cobre (latón) ya que posee una alta actividad catalítica en la reducción de polisulfuros; el contraelectrodo se somete a un baño de ácido clorhídrico (HCl) [7] por ~1 hora, lo cual deja una capa expuesta de cobre, después se realiza una reacción utilizando el electrolito para formar el contraelectrodo de sulfuro de cobre (Cu<sub>2</sub>S).

### 2.6 Ensamblado

Para ensamblar el dispositivo fotovoltaico se pone el sustrato con los depósitos de TiO<sub>2</sub> y los puntos cuánticos de CdS/ZnS sobre el contraelectrodo de Cu<sub>2</sub>S y en medio de los dos se agrega una pequeña cantidad de los polisulfuros, tal y como se muestra en la Figura 6.

## 3. Resultados

La figura 7 muestra el depósito de la película compacta de TiO<sub>2</sub>, como se puede observar es una película homogénea, se puede distinguir por medio de una máscara el lugar de depósito de la película.

La figura 8 nos muestra los fotoelectrodos de TiO<sub>2</sub> con el depósito de CdS por medio del método SILAR, como se puede observar, la película de TiO<sub>2</sub> está completamente pintada de color amarillo, esto indica el depósito de CdS por medio de SILAR.

El proceso de medición de propiedades ópticas se midió por medio de un multímetro y el ensamblaje de la celda solar. La Figura 9 muestra la medición de voltaje directamente sobre el dispositivo fotovoltaico sin la presencia de luz. El multímetro muestra un voltaje de 0V, debido a que el dispositivo está completamente en oscuridad. Sin embargo, al ser irradiado con luz, se puede observar que el multímetro muestra un voltaje de 0.4 V, mientras que a luz ambiente se puede observar un voltaje de 0.1 V. De esta forma mostramos que el dispositivo es sensible a la luz, sin embargo, es necesario hacer más caracterización óptica para mostrar la foto generación de corriente producida en el dispositivo fotovoltaico.



Fig. 4. Depósito de puntos cuánticos de ZnS por el método SILAR.



Fig. 5. Elaboración de polisulfuros.



Fig. 6. Diagrama de ensamblado de la celda [8].



Fig. 7. Depósito de película compacta de TiO<sub>2</sub>.



Fig. 8. Fotoelectrodos de TiO<sub>2</sub> sensibilizados por medio de SILAR.



**Fig. 9.** Medición de las propiedades eléctricas de una celda solar sensibilizada por puntos cuánticos.

#### 4. Conclusiones

Se mostró la fabricación de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos, por medio del método SILAR se depositaron puntos cuánticos del tipo CdS/ZnS. Se mostró la síntesis y el depósito y se analizaron las propiedades eléctricas de este tipo de celdas solares. Se pudo observar que el dispositivo genera un voltaje, al ser irradiado con luz, de hasta 400 mV, cuando no está expuesto a la luz el voltaje es de 0V, cuando está expuesto a luz ambiente este presenta un voltaje de 100 mV. Se pretende realizar una caracterización más profunda para determinar la eficiencia de conversión y los parámetros electroquímicos del dispositivo.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por una beca otorgada a través del programa para el desarrollo profesional docente del nivel superior (Prodep) número de proyecto F-PROME-38/Rev-04SEP-23-005.

#### Referencias

- [1] B. Y. Liu and R. C. Jordan, "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation," *Solar energy*, vol. 4, no. 3, pp. 1-19, 1960.
- [2] N. S. Lewis, "Toward cost-effective solar energy use," *science*, vol. 315, no. 5813, pp. 798-801, 2007.
- [3] J. Palm, V. Probst, and F. H. Karg, "Second generation CIS solar modules," *Solar Energy*, vol. 77, no. 6, pp. 757-765, 2004.
- [4] M. A. Green, "Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond," *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 14, no. 1-2, pp. 65-70, 2002.
- [5] W. W. Yu, L. Qu, W. Guo, and X. Peng, "Experimental determination of the extinction coefficient of CdTe, CdSe, and CdS nanocrystals," *Chemistry of Materials*, vol. 15, no. 14, pp. 2854-2860, 2003.
- [6] V. González-Pedro, X. Xu, I. Mora-Seró, and J. Bisquert, "Modeling High-Efficiency Quantum Dot Sensitized Solar Cells," *ACS Nano*, vol. 4, no. 10, pp. 5783-5790, 2010/10/26 2010.
- [7] S. Gimenez et al., "Improving the performance of colloidal quantum-dot-sensitized solar cells," *Nanotechnology*, vol. 20, no. 29, p. 295204, 2009.
- [8] R. Plass, S. Pelet, J. Krueger, M. Grätzel, and U. Bach, "Quantum dot sensitization of organic-inorganic hybrid solar cells," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 106, no. 31, pp. 7578-7580, 2002.
- [9] J. Jasieniak, M. Califano, and S. E. Watkins, "Size-dependent valence and conduction band-edge energies of semiconductor nanocrystals," *ACS nano*, vol. 5, no. 7, pp. 5888-5902, 2011.
- [10] A. Kongkanand, K. Tvrđy, K. Takechi, M. Kuno, and P. V. Kamat, "Quantum dot solar cells. Tuning photoresponse through size and shape control of CdSe-TiO<sub>2</sub> architecture," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 130, no. 12, pp. 4007-4015, 2008.
- [11] A. Polimeni, A. Patane, M. Henini, L. Eaves, and P. Main, "Temperature dependence of the optical properties of InAs/GaAs self-organized quantum dots," *Physical Review B*, vol. 59, no. 7, p. 5064, 1999.
- [12] L. Qu, Z. A. Peng, and X. Peng, "Alternative routes toward high quality CdSe nanocrystals," *Nano Letters*, vol. 1, no. 6, pp. 333-337, 2001.
- [13] A. Cerdán-Pasarán, D. Esparza, I. Zarazúa, M. Reséndiz, T. López-Luke, E. De la Rosa, R. Fuentes-Ramírez, A. Alatorre-Ordaz, A. Martínez-Benítez "Photovoltaic study of quantum dot-sensitized TiO<sub>2</sub>/CdS/ZnS solar cell with P3HT or P3OT added," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 46, no. 9, pp. 975-985, 2016.
- [14] D. Esparza et al., "Studying the role of CdS on the TiO<sub>2</sub> surface passivation to improve CdSeTe quantum dots sensitized solar cell," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 728, no. Supplement C, pp. 1058-1064, 2017/12/25/ 2017.
- [15] D. Esparza et al., "Effect of different sensitization technique on the photoconversion efficiency of CdS quantum dot and CdSe quantum rod sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 119, no. 24, pp. 13394-13403, 2015.