

Optimización de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos de CdS por medio de la fabricación de un prototipo SILAR

Brandon Alberto Ríos García, Jesús Manuel Rivas, Diego Esparza

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

beto232011@live.com.mx

Resumen: Hoy en día, la fabricación de dispositivos capaces de convertir energía solar a energía eléctrica de bajo costo y altamente eficientes es uno de los grandes desafíos para los investigadores en todo el mundo. En este trabajo, se presentará un prototipo que automatiza la técnica de adsorción y reacción sucesiva de capas iónicas (SILAR, por sus siglas en inglés) para crecer puntos cuánticos. Esta técnica es considerada como una innovación en fabricación de celdas solares, principalmente en las celdas solares sensibilizadas con puntos cuánticos o de tercera generación. Se fabricó una celda solar a base de puntos cuánticos específicamente de sulfuro de cadmio (CdS). El diseño automático del sistema de depósito proporciona varios beneficios como optimizar el tiempo de depósito del material, reducir los costos de fabricación y la reducción de materiales empleados.

Palabras clave: Celdas solares, puntos cuánticos, prototipo SILAR

Abstract: Actually, the solar device fabrication to obtain electrical energy from solar energy at low cost and high efficiency is one of the challenges in the world. In this work, it is presented a machine prototype that automate the successive ionic layer reaction and adsorption (SILAR) technique with the propose to obtain quantum dots. This technique is very used in the fabrication of quantum dots sensitized solar cells. The automate design of the prototype provide several benefits in the fabrication of solar cells as optimization of the deposit time, the reduction of the material and the reduction of the final cost.

Keywords: Solar Cells, Quantum dots, SILAR prototype

1. Introducción

Actualmente, existe un problema a nivel mundial debido al calentamiento global, este problema es generado principalmente por la contaminación ambiental producida por el CO₂. Una de las soluciones a estos problemas es el uso de energías alternativas o energías renovables. La energía solar es considerada una energía renovable además ha sido propuesta como una de las tecnologías que mayor alcance tiene para resolver este problema, debido a la gran cantidad de radiación solar que recibe la Tierra [1]. Por medio de celdas solares es posible aprovechar la radiación electromagnética que recibimos y convertirla en energía eléctrica y de esta forma producir electricidad. Para esto es necesario la fabricación de celdas solares, comúnmente conformadas por materiales semiconductores. Las celdas de primera generación están hechas a base de silicio, ya sea monocristalino o policristalino con eficiencias de conversión de energía del 25%; sin embargo, son muy costosas en sus procesos de fabricación [2]. Las celdas de segunda generación son dispositivos fabricados por medio de películas delgadas, las cuales son menos costosas que las de primera generación, sin embargo, son menos eficientes. Las celdas CdS/CdTe son un ejemplo de este tipo de dispositivos con eficiencias de alrededor del 17% [3]. Posteriormente surgen las celdas de tercera generación. Estos dispositivos son fabricados a partir de películas delgadas o nano materiales, y son dispositivos

de bajo costo y fáciles de fabricar; sin embargo, presentan eficiencias relativamente bajas o inestables [4-12]. Una de las principales ventajas de estos dispositivos es que la razón costo/eficiencia es muy buena, considerando el bajo costo de fabricación.

Los procesos de fabricación de celdas solares de tercera generación son diversos, los más comunes son para fabricar películas delgadas, algunas técnicas son por ejemplo el recubrimiento por centrifugación (spin coating en inglés), impresión por medio de serigrafía (screen printer en inglés) y el rocío pirolítico (Spray pirolisis en inglés). El rocío pirolítico es una técnica muy utilizada para depositar películas compactas de Dióxido de Titanio (TiO₂) sobre sustratos de Óxido de Indio dopado con flúor (FTO) que funge como contacto eléctrico en celdas solares, la película de TiO₂ ayuda a la disminución de cortos circuitos en el dispositivo, además de ser un material transportador de electrones. Este depósito es muy utilizado en celdas solares de perovskita y en celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos, ambas celdas dentro de la categoría de celdas de tercera generación.

Los sistemas de depósito de puntos cuánticos actualmente utilizados presentan una eficiencia baja respecto a costo y tiempo empleado. Existen diferentes tipos de métodos de depósitos de puntos cuánticos, de los más comunes el depósito por baño

químico (CBD por sus siglas en inglés) o el SILAR [13-15]. El proceso de fabricación de celdas solares sensibilizadas con puntos cuánticos conlleva un proceso de optimización de los procesos de depósito de los materiales, esto lleva a la necesidad de la fabricación de un prototipo SILAR, es decir, la realización de un método que lleve a cabo el depósito de puntos cuánticos con el proceso de la técnica SILAR (adsorción y reacción sucesiva de capa iónica), tratando de efectuarlo con la mayor eficiencia y con una amplia variedad de aplicaciones. En este trabajo se detalla el procedimiento para realizar un prototipo SILAR para depositar puntos cuánticos y la técnica para fabricar celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos.

2. Fabricación del prototipo SILAR

Para la fabricación de este prototipo se desarmó una impresora hasta obtener el riel principal, como se muestra en la Figura 1.

Esta estructura se adaptó para que cumpliera con los requerimientos establecidos por la técnica de depósito, la adaptación de la estructura como se observa en la figura 2.

A la parte del movimiento horizontal se le adaptó un motor 12 vcd y un engranaje como reductor de velocidad para el movimiento vertical en forma de elevador. Este proceso se puede observar en la Figura 3.

Los procesos de carga aumentan el trabajo del motor principal, para reducir la carga en el motor principal, se colocó una guía en la parte inferior del elevador como se observa en la figura 4.

Para invertir el giro de los motores se armó dos circuitos puente H, con transistores 2N2222A, resistencias de 15 K Ω , y pulsadores, el puente H se puede observar en la figura 5.

Se usó un microcontrolador Arduino Uno y un módulo de relevadores 4 canales 5 vcd para programar los tiempos del sustrato en los químicos, eliminando la parte de los pulsadores. El programa utilizado para el control se muestra a continuación:

Para la programación se empleó el siguiente código:

```
void setup() {
pinMode(13, OUTPUT); //Declaramos el pin 13 como salida
pinMode(11, OUTPUT); //Declaramos el pin 11 como salida
pinMode(9, OUTPUT); //Declaramos el pin 9 como salida
pinMode(7, OUTPUT); //Declaramos el pin 7 como salida
}
```

```
void loop() {
digitalWrite(13, HIGH); //Bajamos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(13, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(11, HIGH); //Subimos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(11, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(9, HIGH); //Primer avance
delay(3000); //Esperamos 3 segundos
```

```
digitalWrite(9, LOW); //Detenemos el avance
delay(1000); //Esperamos 1 segundo
```

```
digitalWrite(13, HIGH); //Bajamos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(13, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(11, HIGH); //Subimos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(11, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(9, HIGH); //Segundo avance
delay(3000); //Esperamos 3 segundos
digitalWrite(9, LOW); //Detenemos el avance
delay(1000); //Esperamos 1segundos
```

```
digitalWrite(13, HIGH); //Bajamos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(13, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(11, HIGH); //Subimos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(11, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(9, HIGH); //Tercer avance
delay(3000); //Esperamos 3 segundos
digitalWrite(9, LOW); //Detenemos el avance
delay(1000); //Esperamos 1 segundos
```

```
digitalWrite(13, HIGH); //Bajamos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(13, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(11, HIGH); //Subimos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
digitalWrite(11, LOW); //Detenemos el elevador
delay(2000); //Esperamos 2 segundos
```

```
digitalWrite(7, HIGH); //Regreso al origen
delay(9000); //Esperamos 9 segundos
digitalWrite(7, LOW); //Detenemos el avance al origen
delay(1000); //Esperamos 1 segundo
}
```

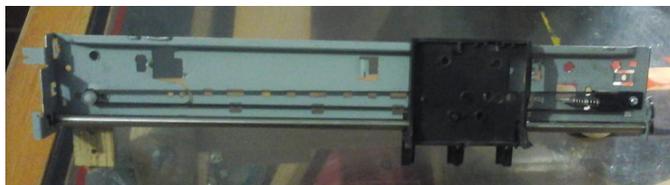


Figura 1. Riel principal de una impresora convencional.



Figura 2. Riel con estructura adaptada a los requerimientos del depósito.



Figura 3. Riel con elevador adaptado a las necesidades específicas de la técnica de depósito.



Figura 4. Estructura final del dispositivo SILAR.

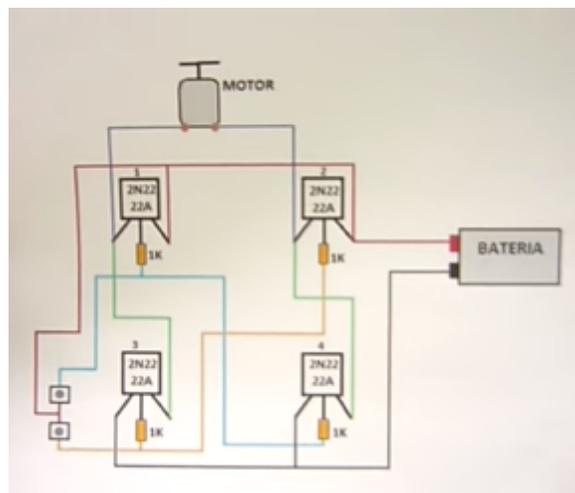


Figura 5. Puente H.

cohol isopropílico y acetona en la máquina de baño ultrasónico por 10 minutos. Al finalizar se realizó un secado con compresor.

3.2 Depósito de TiO_2

La fabricación del dispositivo fotovoltaico consta de 3 películas de TiO_2 , la primera es una película compacta, esta consiste en depositar Disopropóxido de Titanio y Etanol en una concentración de (1:3 en volumen) y se realiza el depósito por medio de la técnica llamada depósito 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, depositar el material y por medio de choque térmico depositar la película, para esto es necesario elevar la temperatura de los sustratos en un plato de calentamiento a $450^{\circ}C$ después depositar la solución de Disopropóxido de Titanio y Etanol y por medio del choque térmico se genera la película.

3. Fabricación de puntos cuánticos de CdS mediante la técnica SILAR

La técnica SILAR está basada en el proceso de cierto número de ciclos de la adsorción y reacción de diferentes materiales, logrando así una capa uniforme en nuestras muestras, a continuación, se desarrolla la técnica empleada para la fabricación de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos.

3.1 Lavado de la muestra

Se hizo el lavado de la muestra con agua y jabón, además al-

3.3 Depósito de puntos cuánticos de CdS por medio de prototipo SILAR

Para la parte de la adsorción se prepara una solución de con 0.1M de Cd en metanol, esto se debe poner en agitación magnética hasta que se mezcle homogéneamente.

Para la parte de la reacción se prepara una solución de 0.1M de NaS en metanol y agua desionizada, en agitación magnética hasta que se mezcle homogéneamente.

El segundo lavado se realiza en 40 ml mezclando metanol y agua con una proporción 1:1.

Todo esto se repite por 7 ciclos, con una duración de un minuto adentro de las mezclas y un minuto de secado entre cada una. Si se considera que para la reacción se necesitan 2 mezclas mas 2 con sus respectivas soluciones, entonces un ciclo SILAR tarda aproximadamente 8 minutos en generarse, si se considera que son al menos 7 ciclos, entonces se ocupan alrededor de 56 minutos de trabajo si se realiza manualmente. La figura 6 muestra el prototipo SILAR en funcionamiento, durante el depósito de un ciclo de puntos cuánticos de CdS.

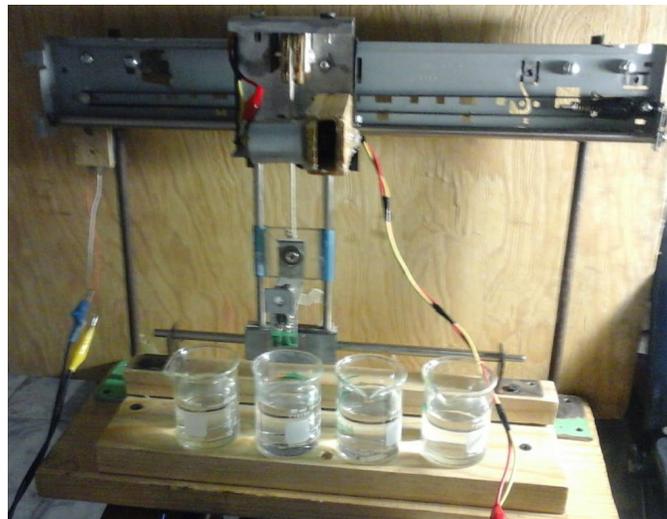


Figura 6. Depósito de CdS por medio del prototipo SILAR.

3.4 SILAR de ZnS

Regularmente, en la literatura se depositan puntos cuánticos de ZnS, este tipo de puntos cuánticos disminuyen los procesos de recombinación en el dispositivo y mejoran la eficiencia del mismo.

Para la parte de la adsorción se prepara una solución de con 0.1M de NaS en agua desionizada; esto se debe poner en agitación magnética hasta que se mezcle homogéneamente.

Para la parte de la reacción se prepara a la misma concentración molar del precursor de Zinc en agua desionizada, en agitación magnética hasta que se mezcle homogéneamente.

Todo esto se repite 2 ciclos, con una duración de un minuto adentro de las mezclas y un minuto de secado entre cada una. La figura 7 se muestra el prototipo SILAR realizando un ciclo de depósito de ZnS.

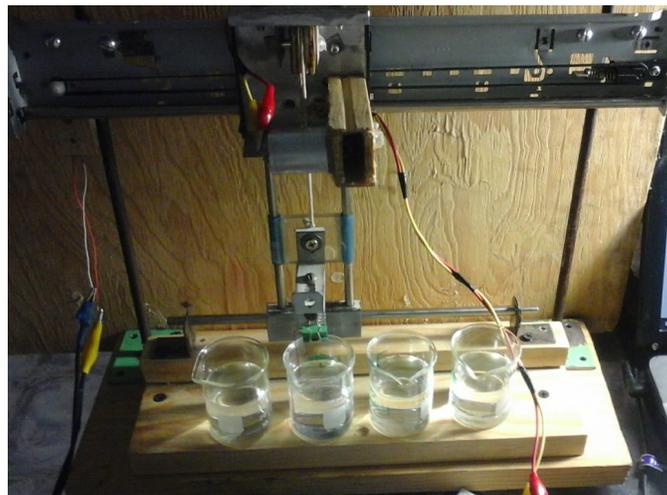


Figura 7. Depósitos de ZnS por medio del prototipo SILAR.

3.5 Contraelectrodos de Cu₂S

Se corta una lámina de latón del tamaño del sustrato, se pule y se lava por medio de baño ultrasónico, se somete a ácido clorhídrico (HCl) durante una hora, se saca y se lava con agua desionizada en el baño ultrasónico. Este proceso expone el cobre en la superficie, de tal forma que al entrar en contacto con el electrolito (poli sulfuros) o electrolito redox (óxido-reducción), produce una reacción creando sulfuro de cobre (Cu₂S).

3.6 Poli sulfuros

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 este tipo de dispositivos o celdas solares son llamados poli sulfuros, el cual consiste en una solución de 1M de Azufre (S), 1M de sulfuro de sodio (Na₂S), 0.1M de Hidróxido de Sodio (NaOH) en 20 ml de agua destilada. Desde la

perspectiva de una reacción química, la oxidación ocurre en la interacción del foto-ánodo con el electrolito. La figura 5 muestra el proceso de síntesis del electrolito a base de poli sulfuros.

3.7 Ensamblado de la celda

Para ensamblar el dispositivo fotovoltaico se ensambla el foto electrodo con los depósitos de TiO₂ y los puntos cuánticos sobre el contra electrodo de Cu₂S y en medio de los dos se agrega una pequeña cantidad de los poli sulfuros.

4. Conclusiones

Las celdas solares de tercera generación presentan un bajo costo en sus procesos de fabricación. El proceso de fabricación de celdas solares sensibilizadas por puntos cuánticos presenta varios procesos de optimización. El método SILAR es uno de los más

utilizados en este tipo de dispositivos. El prototipo SILAR es diseñado por medio del uso de motores de CD, un circuito electrónico y la programación en arduino, por medio de este desarrollo se logro controlar los tiempos de depósitos y el movimiento del deposito. Se muestra el deposito de CdS por medio de esta técnica, probando la viabilidad del dispositivo.

5. 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-PROMEP-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-TiO₂ 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 In_xAs_{1-y}Ga_{1-y}As 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 et al., "Photovoltaic study of quantum dot-sensitized TiO₂/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 TiO₂ 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 TiO₂ solar cells," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 119, no. 24, pp. 13394-13403, 2015.