

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE UN POLÍMERO P3HT: PCBM PARA APLICACIÓN EN CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS FLEXIBLES

Gálmez Plascencia, Oscar (1), Oviedo Mendoza, Moisés (2), Hernández Rodríguez, Eric Noé (3)

¹[Departamento Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, División de Ingenierías (DICIS), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [o.galmezplascencia@ugto.mx]

²[Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías (DICIS), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [moisesoviedo@cinvestav.mx]

³[Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías (DICIS), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [noe.hernandez@ugto.mx]

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de películas delgadas preparadas mediante la técnica de spin-coating basadas en un polímero semiconductor tipo p (P3HT), como donador de electrones y un derivado del fullereno (PCBM) como aceptor de electrones. Para con ello tener un sistema donador-aceptador. Se reportan sus espectros de transmitancia y sus valores de band gap asociados, con la finalidad de demostrar su viabilidad para la aplicación en celdas solares fotovoltaicas. El volumen de cada muestra para la formación de películas delgadas fue de 1 ml, utilizando velocidades de 500 y 4500 rpm durante 90 y 30 segundos respectivamente.

Abstract

In this work, we presented the results obtained from thin films, prepared by the technique of spin-coating. They are based upon a semiconductor polymer type p (P3HT) and a fullerene derivative (PCBM). Having a donor/acceptor electron system. Organic polymers have a couple of advantages over conventional semiconductors. We studied the transmission spectrum and we calculate the band gap value associated with them, to show its feasibility for the application of photovoltaic solar cells. The best conditions of preparation were a volume of 1 ml with 500 and 4500 rpm during 90 and 30 seconds respectively.

Palabras Clave

P3HT; PCBM; Películas delgadas; Spin Coating; Celdas Solares

INTRODUCCIÓN

Actualmente cerca del 80 % de la energía total consumida en el mundo es producida por combustibles fósiles, y se prevé que en las próximas décadas estos combustibles no serán suficientes para cubrir las demandas energéticas de la población [1], por esta razón, a nivel mundial se están realizando esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías, o mejorar las ya existentes con la finalidad de aprovechar de manera limpia y eficiente los recursos renovables del planeta y con ello, disminuir de manera significativa la contaminación ambiental por parte de estos combustibles. Dentro de las energías alternativas se encuentran la energía hidráulica, los biocombustibles, la energía eólica, solar y geotérmica; su contribución actual a la generación de energía eléctrica a nivel global es de 24%, 22%, 18%, 6 % y %2 respectivamente [2].

La energía solar es uno de los recursos menos utilizados dentro de estas energías y uno de los de mayor potencial de aprovechamiento, esto se debe principalmente a los altos costos de fabricación de los paneles solares (un panel solar está compuesto por un conjunto de celdas solares fotovoltaicas interconectadas entre sí).

A nivel mundial el mercado de la producción de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos ha estado dominado por las tecnologías basadas en celdas solares fotovoltaicas (CSFs) de silicio debido a sus altas eficiencias de fotoconversión las cuáles han alcanzado eficiencias récord de 25%, y tienen una vida útil de alrededor de 30 años [3], no obstante, la escases de silicio de alta pureza (99.9999%) requerido para su fabricación hace que estos sistemas sean costosos y su recuperación de inversión inicial sea a largo plazo.

Por otro lado, para evitar los escases de silicio de alta pureza se ha desarrollado una segunda generación de tecnologías basadas en absorbedor de película delgada, donde estos sistemas destaca el telurio de cadmio (CdTe). Recientemente ha

estado ganando mercado, pues se ha logrado una eficiencia récord de 25 % aproximadamente [4], sin embargo, los altos costos de manufactura asociados a su fabricación hacen que su precio también sea alto.

Por lo anterior en años recientes se han desarrollado una serie de nuevas alternativas, entre las cuales destacan las CSFs orgánicas, especialmente las basadas en materiales poliméricos, debido a que el empleo de materiales como absorbedor de luz en la celda abre la posibilidad de usar técnicas de fabricación simples y baratas, ofreciendo grandes ventajas, como la fabricación de dispositivos de bajo peso, mecánicamente flexibles, producción en masa y sobre todo de bajo costo.

El empleo de un polímero para la fabricación de una CSF fue reportado por primera vez por Tang en 1986 [5], sin embargo, a pesar de la intensa actividad de investigación que recientemente se ha hecho en torno a estos dispositivos las mejores eficiencias alcanzadas oscilan alrededor del 5% [4].

En este trabajo se estudiaron algunas propiedades ópticas de películas delgadas basadas en la mezcla de un polímero semiconductor P3HT: PCBM para su aplicación en celdas solares fotovoltaicas de tercera generación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para la fabricación del polímero semiconductor se emplearon Poli-3-hexiltiofeno-2,5-diyl (P3HT) regio regular (98%) de un peso molecular promedio (M_w) de 87,000 g/mol, [6,6]fenil-C₆₁-ácido butírico metil ester >99% (Ver IMAGEN 1). Clorobenceno (CB) 99.8%. De Sigma Aldrich. Acetona 99.8%, alcohol metílico 99.8% y alcohol isopropílico 99.5% de Karal, portaobjetos de vidrio Scimate® de un espesor de 1 mm. Todos los reactivos fueron usados sin purificación adicional.

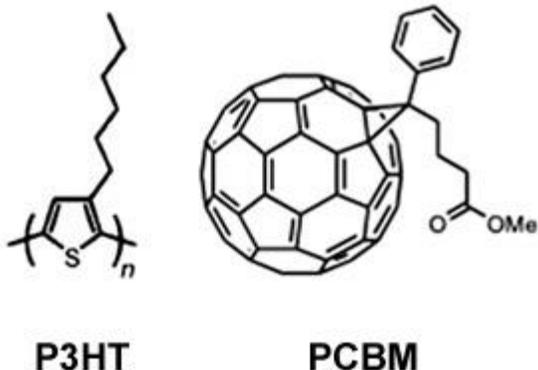


IMAGEN 1: Estructura molecular del P3HT y el PCBM. Semiconductores tipo p y n respectivamente.

Limpieza de Sustratos

Se cortaron vidrios de 1"x1" y fueron lavados en acetona, metanol e isopropanol utilizando un sonificador de 50 W durante 5 minutos para cada solvente. Con esto, los vidrios estarán limpios, libres de grasa o con la menor cantidad de suciedad sobre la superficie

Preparación de muestras

Se utilizó una proporción 1:1 de P3HT y PCBM empleando 10 y 20 mg en un volumen de 1 ml, utilizando CB como solvente. La muestra fue preparada en agitación magnética toda la noche. Teniendo con esto una concentración estimada de ambos compuestos de 10 y 20 mg/ml respectivamente.

Preparación de películas delgadas por técnica de spin-coating

Para la preparación de las películas delgadas se utilizó un spin coating elaborado en DICIS/UG. Se desarrolló un software para el control de la velocidad de giro utilizando una interfaz programada en LabVIEW®. Se utilizaron velocidades de 500 rpm por un tiempo de 90 segundos, seguido de 4500 rpm por 30 segundos.

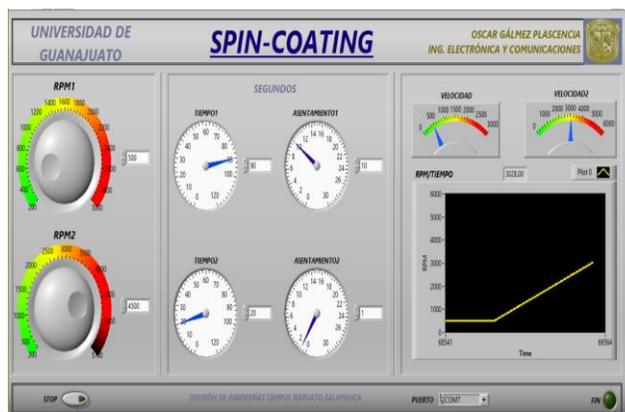


IMAGEN 2: Interfaz realizada en LabVIEW®, con ella se pueden controlar velocidades angulares y tiempos de preparación.

Caracterización

Se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis-NIR Ocean Optics® USB 4000-XR1-ES, con un intervalo de longitud de onda de 200-1100 nm en modo transmitancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El solvente utilizado es un parámetro importante en el desarrollo de celdas solares basadas en polímeros. siendo solventes halogenados aromáticos los más adecuados debido a su mayor solubilidad. El P3HT y el PCBM tienen una solubilidad de 15.9 y 59.5 mg/ml respectivamente, utilizando CB como solvente. [6]. En la IMAGEN 3. Se muestran las películas delgadas obtenidas por la técnica spin coating



IMAGEN 3: Películas delgadas realizadas por técnica de spin-coating. 5 mg P3HT diluidos en 1 ml CB (Izquierda), 10 mg P3HT diluidos en 1 ml CB (central), 10 mg P3HT, 10 mg PCBM en un mililitro CB (derecha).

Se probaron concentraciones de 5mg/ml y 10 mg/ml medidas en el intervalo de 300-900 nm. En la IMAGEN 4, se muestran los espectros de transmitancia del P3HT y PCBM después de tratamiento térmico a 140°C por 15 minutos para eliminar el solvente residual.

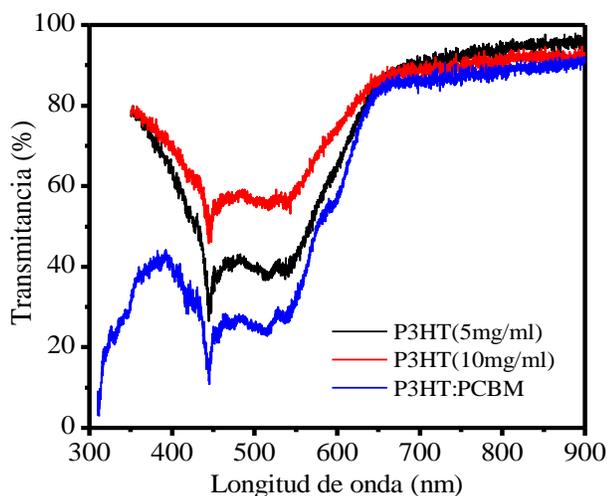


IMAGEN 4: Espectro de transmitancia de una película delgada de P3HT depositada por spin coating en un sustrato de vidrio.

Para el P3HT, el espectro UV-Vis muestra dos picos de absorción en 520 y 554 nm y un hombro de absorción en 625 nm. Estas tres bandas son hombros de absorción, que son atribuidos a transiciones en los enlaces $\pi-\pi^*$ en la estructura cristalina de los enlaces $\pi-\pi$ en el polímero.[7]. La muestra más concentrada mostró una mayor absorción de luz. Con la adición del PCBM, se observa una mejora del espectro de absorción en la región ultravioleta.

La preparación de las películas fue mejor al usar concentración de 10mg/ml y velocidades de giro de 500 rpm por 90 segundos, seguido de 4500 rpm por 30 segundos

El coeficiente de absorción α fue calculado a partir de la ley de Lambert-Beer: $\alpha = -(\ln(T/100)/d)$. La energía del band gap (E_g) está asociada con transiciones HOMO a LUMO entre el electrón del orbital molecular π^* y π ., La E_g puede ser estimada usando la aproximación de Tauc: $\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2}$ para el caso de band gap directo. donde, $h\nu$ es la energía del fotón incidente. Al

extrapolar la región lineal a la energía del fotón (eje X) es posible calcular el band gap.

Los valores de E_g , dependen de la estructura cristalina y el arreglo y distribución de los átomos en la celda unitaria. Los valores de E_g fueron calculados a partir de los datos de % de transmitancia al obtener $(\alpha h\nu)^2$ y la energía del fotón ($h\nu$).

Para el caso de las muestras preparadas con proporciones 1:1 de P3HT y PCBM. Se encontró un valor de band gap de 1.96 eV para el PCBM (Ver IMAGEN 5). En la imagen se aprecian 2 regiones “aparentemente lineales” donde cada una de ellas es para cada material de la mezcla (P3HT y PCBM).

El valor del band gap se encontró mediante la aproximación lineal ($y=mx+b$) mediante mínimos cuadrados (línea azul), encontrando la intercepción matemáticamente con el eje “X” (Energía del fotón) La intercepción es el valor del band gap del material.

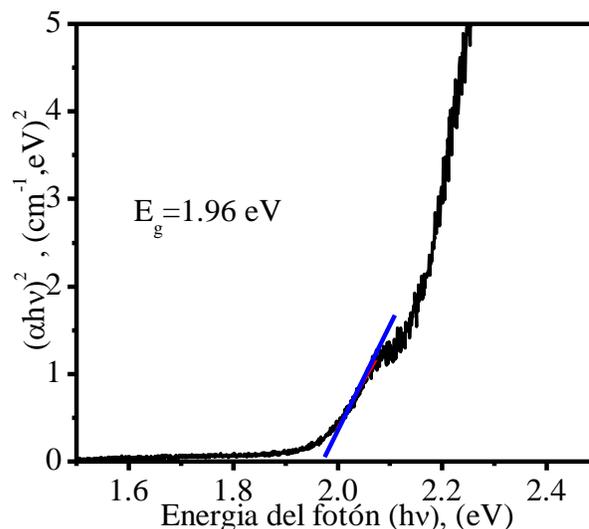


IMAGEN 5: Relación entre $(\alpha h\nu)$ versus energía del fotón ($h\nu$) para el P3HT: PCBM.

Para el P3HT se reportan en la literatura valores alrededor de 1.90 eV Ver IMAGEN 6. El valor obtenido fue de 2.06 eV.

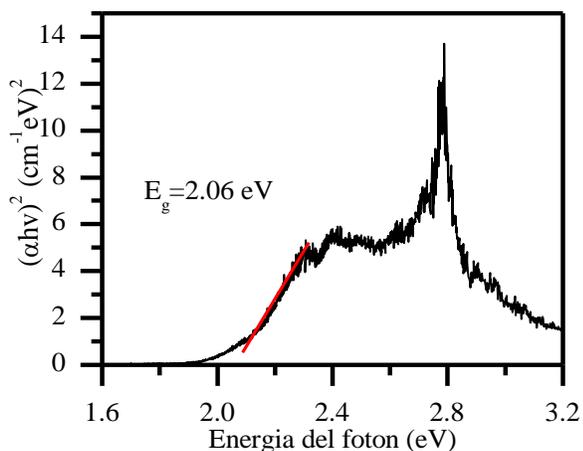


IMAGEN 6: Relación entre $(\alpha h\nu)$ versus energía del fotón $(h\nu)$ para el P3HT.

CONCLUSIONES

Se prepararon películas delgadas de P3HT: PCBM por medio de la técnica de spin coating, para desarrollar un material absorbente para aplicaciones solares. Se estudiaron sus propiedades ópticas por medio de la técnica de UV-vis observando que la concentración de las muestras es de suma importancia para mejorar la absorción del material, aspecto requerido para la mejora parcial de una celda solar. Otro aspecto que considerar es la velocidad de rotación y los tiempos utilizados en el spin-coating, debido a que esta afecta la uniformidad de la película y el grosor de la misma.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca (DICIS) por darme la oportunidad de realizar dicha estancia de investigación, además de recalcar el apoyo en cuanto a instalaciones y materiales utilizados.

Este trabajo fue financiado por CONACYT número de proyecto PDCPN 2015-28.

Sin ellos esto no hubiera sido posible, mis más sinceros agradecimientos.

REFERENCIAS

- [1] "AIG" Agencia Internacional de la Energía, "Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total)," Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE, 2014. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?view=chart>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [2] U.S Energy Information Administration, "Renewable Energy Sources - Energy Explained, Your Guide To Understanding Energy - Energy Information Administration." [Online]. Available: https://www.eia.gov/Energyexplained/index.cfm?page=renewable_home. [Accessed: 21-Jul-2017].
- [3] M. A. Green, Green-Solar Cells_ Operating Principles, Technology, and System Applications, Prentice H. 1981.
- [4] K. A. Emery, M. Green, and E. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (Version 46)," no. June, 2015.
- [5] C. W. Tang, "Twolayer organic photovoltaic cell," Appl. Phys. Lett., vol. 183, no. 1986, 2012.
- [6] F. Machui, S. Langner, X. Zhu, S. Abbott, and C. J. Brabec, "Solar Energy Materials & Solar Cells Determination of the P3HT : PCBM solubility parameters via a binary solvent gradient method : Impact of solubility on the photovoltaic performance," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 100, pp. 138–146, 2012.
- [7] A. A. Hussein, A. A. Sultan, M. T. Obeid, A. T. Abdulnabi, and M. T. Ali, "Synthesis and Characterization of poly (3-hexylthiophene)," no. 7, pp. 33–38, 2015.