

textOsFtextTOsFliningLFliningTLFtextosflininglftabulartabproportionalprosuperiorSup
superiorSup
fontspechyperref

TITLE

Author1

University

CELDAS SOLARES ORGÁNICAS CON ESTRUCTURA TÁNDEM

Omar Ramírez Sánchez. Estudiante de Ingeniería Mecatrónica UPIITA

Email: omar_rs2@hotmail.com

Luis Martín Reséndiz Mendoza. Profesor - Investigador de la SEPI UPIITA

Email: lresendiz@ipn.mx

Víctor Cabrera Arenas. Profesor - Investigador de la SEPI UPIITA

Email: vcabreraa@ipn.mx

Introducción

El consumo energético a nivel mundial en particular la electricidad, ha tendido a incrementarse. El consejo mundial de energía emitió un panorama donde se estima que para el año 2020 el consumo global de electricidad puede llegar a incrementarse en un 75 % y triplicarse para el año 2050 [1]. No cabe duda del aumento en la demanda de energía y es por esto que las energías alternativas son un tema de gran interés mundial. Organizaciones como el Consejo Latinoamericano de Energía Renovable y el American Council on Renewable Energy, por ejemplo, se reúnen con el objetivo de impulsar al sector privado a llevar a cabo inversiones que permitan el desarrollo de estas tecnologías.

En la actualidad, los combustibles fósiles como el carbón y el petróleo contribuyen con un 63 % de la producción eléctrica mientras que energías renovables como la eólica, biomasa y solar, contribuyen con menos del 1 % [2]. Globalmente, la generación de energía fotovoltaica a través de celdas solares ha tenido un rápido crecimiento durante los últimos años, y es por esto que, junto con los avances tecnológicos en materia de fabricación de celdas solares, han posicionado a la energía fotovoltaica como la mejor candidata para reemplazar a la energía nuclear y a los combustibles fósiles.

Actualmente, la mayoría de los materiales utilizados para la fabricación de celdas solares son inorgánicos, como el silicio (Si), arseniuro de galio (GaAs) y telurio de cadmio (CdTe), aunque las celdas solares fabricadas con estos materiales alcanzan una eficiencia en la conversión de energía de entre el 8 y 29 %, no representan un gran aporte en el mercado de las energías debido a su alto costo [3].

Otro tipo de celdas solares se basa en materiales relativamente nuevos: polímeros conjugados orgánicos, los cuales combinan las ya conocidas propiedades eléctricas de los conductores y semiconductores, con la facilidad de procesamiento y flexibilidad mecánica de los plásticos. Debido a esto, esta nueva clase de materiales ha llamado la atención por su gran potencial para desarrollar dispositivos electrónicos amigables con el ambiente, flexibles, ligeros y económicos.

¿Cómo funciona una celda solar?

Los materiales pueden ser clasificados de acuerdo a su nivel de conducción, podemos encontrar los conductores, semiconductores y aislantes. En la figura 1, podemos apreciar los diagramas de bandas de estos tipos de materiales inorgánicos. Los electrones que se encuentran dentro de la banda de valencia, a temperatura ambiente (23 °C) pueden obtener suficiente energía térmica para poder pasar a la banda de conducción; por otro lado, cuando la celda solar obtiene energía lumínica, una mayor cantidad de electrones pasan de la banda de valencia a la banda de conducción aumentando así la conductividad.

A la separación que se puede apreciar entre las bandas de valencia y conducción tanto en los semiconductores como en los aislantes se le denomina banda prohibida o bandgap. Para considerar a un material como semiconductor, es necesario que el ancho de la banda prohibida sea menor a 4 eV (electrón Volts). Para materiales semiconductores orgánicos, la banda de valencia recibe el nombre de HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital), y la banda de conducción LUMO (Lowest Occupied Molecular Orbital).

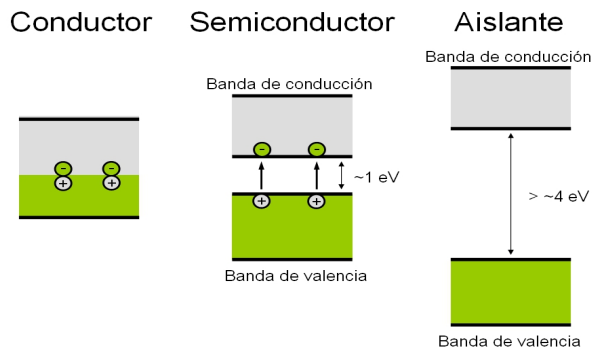


Figura 1. Diagramas de bandas de materiales inorgánicos

El fotón es la partícula elemental de toda señal electromagnética, así como los átomos son de la materia. Toda la luz que incide sobre la superficie terrestre contiene una gran cantidad de fotones, los cuales poseen una cantidad de energía que puede ser calculada de la siguiente manera:

☐@!@

$$E_f = \frac{h c}{\lambda}$$

Donde h es la constante de Planck (6.626×10^{-34} J·s), c es la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) y λ es la longitud de onda. Esta energía es aprovechada por la celda solar para generar corriente eléctrica.

Al incidir los fotones sobre una celda solar, estos excitan a los electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción. El hueco que deja el electrón en la banda de valencia, interacciona con él atrayéndolo a través de la fuerza de coulomb, el sistema resultante de dicho vínculo entre el electrón y el hueco es conocido como excitón.

Una vez que el excitón se ha formado, es necesario disociarlo a través de un campo eléctrico, el cual se genera en la zona de deserción de portadores móviles (interfaz entre el material n con el material p) para poder tener un portador de carga positiva y otro de carga negativa. Ya que el excitón se haya disociado, los portadores de carga libre podrán ser recolectados en los electrodos de la celda solar y así generar corriente.

Estructura de una celda solar orgánica

En la figura 2, podemos apreciar la estructura básica de una celda solar. A la capa donde se lleva a cabo la transformación de la luz en energía eléctrica se le conoce como capa activa.

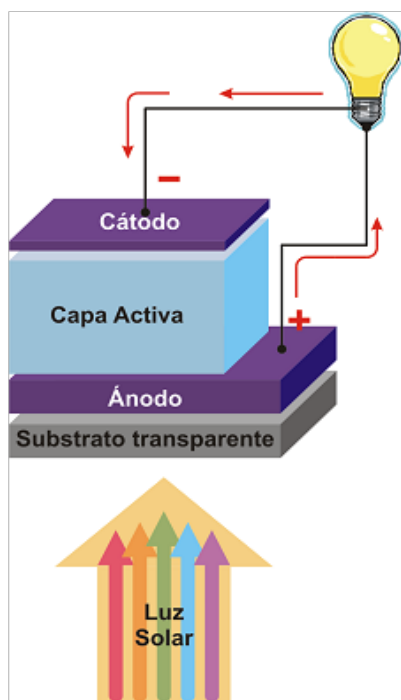


Figura 2. Estructura básica de una celda solar.

Cuando una celda solar contiene dentro de su capa activa una combinación de materiales donadores (tipo p) y aceptores (tipo n) mezclados entre sí, se le conoce como celda solar de heterounión de volumen. Este tipo de celda, que ha dado los mejores resultados en cuanto al transporte de cargas, permite incrementar las regiones en donde se genera el campo eléctrico necesario para disociar al excitón en una carga positiva y otra negativa, las cuales son recolectadas por los electrodos logrando así, generar corriente eléctrica. En la figura 3, podemos apreciar el principio de funcionamiento de la heterounión de volumen.

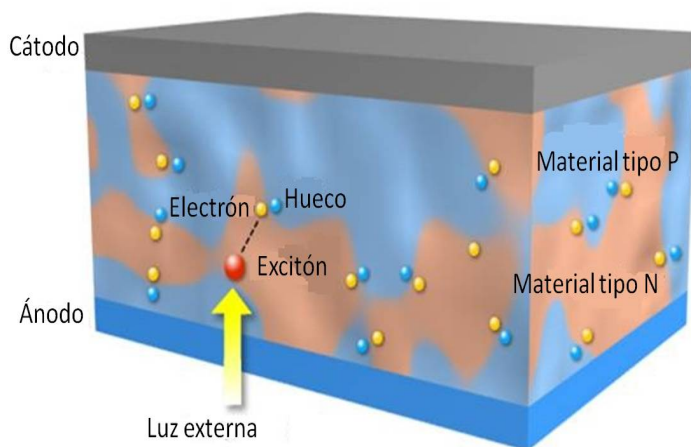


Figura 3. Capa Activa de heterounión de volumen.

Varias combinaciones de materiales donadores y aceptores han sido utilizadas para construir celdas solares de heterounión. Una de las primeras combinaciones llevadas a cabo fue un polímero semiconductor como donador y un derivado de fullereno C60 como aceptor [3]. Un gran avance en cuanto a la eficiencia de conversión de energía fue la heterounión basada en MDMO-PPV como donador y PCBM como aceptor. En la figura 4, se pueden apreciar las estructuras químicas de algunos de los materiales orgánicos más utilizados. Como Donadores: MDMO-PPV, P3HT y PFDTBT, como aceptores: PCBM y PC70BM.

||@|@

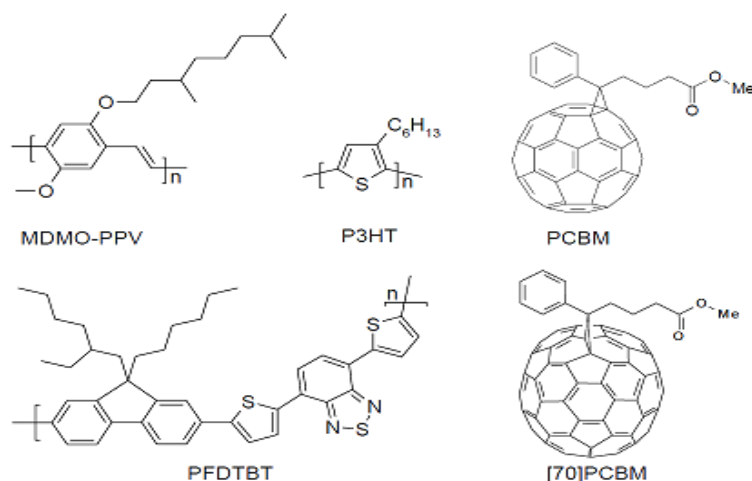


Figura 4. Estructura química de algunos materiales orgánicos

Otra parte muy importante dentro de la estructura de una celda solar, son los electrodos. Como ya se había mencionado, estos se encargan de recolectar las cargas una vez que el excitón se ha disociado. Por lo general, uno de los electrodos es metálico, siendo el aluminio (Al), oro (Au) y plata (Ag) los materiales más utilizados para su fabricación. Mientras que el otro electrodo, debe permitir el paso de fotones hacia la capa activa, por lo que para su fabricación, se utilizan óxidos conductores transparentes. El ITO (Indium Tin Oxide) es el material que más se ha utilizado en la investigación, pero debido a su alto costo, no es una opción viable para la comercialización de celdas solares orgánicas [4].

Estructura tándem

Cuando se elige el material semiconductor con el cual se trabajará en la creación de una celda solar, es importante tener en cuenta el ancho de la banda prohibida. Para que una celda pudiera absorber el 77% de la radiación solar, sería necesario que el material semiconductor tuviera un ancho de banda de 1.1 eV (1100 nm) [5]. La mayoría de los polímeros semiconductores tienen bandas prohibidas mayores a 2 eV (600 nm), lo cual limita la posible absorción a tan solo el 30%.

Un paso importante dentro del desarrollo de las celdas solares orgánicas fue la combinación de 2 diferentes celdas conectadas en serie o en paralelo en una misma estructura la cual es denominada estructura tándem (figura 5). Cada sub-celda posee diferentes propiedades eléctricas debido a que para su fabricación se utilizan distintos materiales semiconductores cuyo ancho de banda prohibida es diferente. El objetivo de la estructura tándem es aumentar la posibilidad de absorción gracias a que cada sub-celda absorbe la luz en diferentes intervalos del espectro solar.

Cuando se diseña una celda solar con estructura tándem donde las sub-celdas se encuentran conectadas en serie, la sub-celda colocada en la parte inferior de la estructura debe ser diseñada con materiales cuyo ancho de banda prohibida sea menor que el de la sub-celda superior con la finalidad de que los fotones incidentes que no puedan ser absorbidos por la sub-celda inferior, sean transmitidos a través de ésta y sean absorbidos por la sub-celda superior. En esta configuración (serie), la sub-celda con menor densidad de corriente determinará la densidad de corriente total alcanzable, por lo que es necesario que las densidades de corriente en cada sub-celda sean lo más elevadas posible. En cuanto a la tensión de la estructura, la tensión total será igual a la suma de las tensiones en cada sub-celda.

En el caso en el que las dos sub-celdas se encuentran eléctricamente conectadas en paralelo, la densidad de corriente total estará dada por la suma de las densidades de corriente de cada sub-celda, mientras que la tensión máxima total estará limitada por la generada por la sub-celda inferior.

@@@

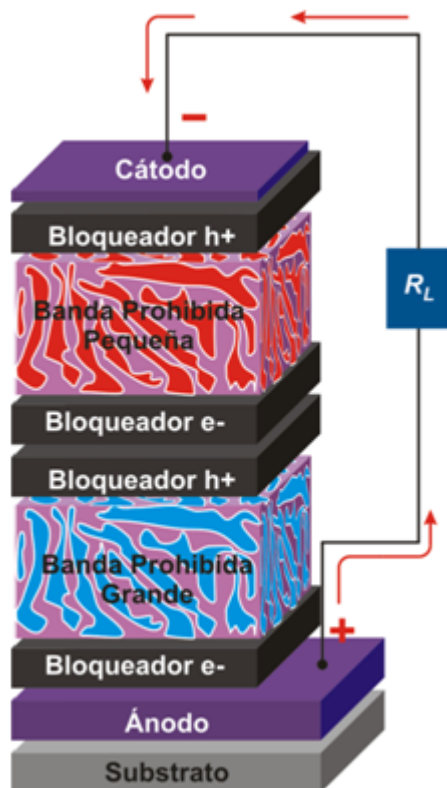


Figura 5. Estructura tándem

Actualmente, la investigación en temas de celdas solares orgánicas gira en torno a la necesidad de aumentar la eficiencia en el proceso de conversión de energía ya que, si bien su producción representa beneficios debido a que es más económica, los resultados obtenidos hasta ahora, no han sido suficientes para desplazar del mercado a las celdas solares inorgánicas.

Referencias

[1] Comisión Nacional de Energía Atómica. "Alternativas energéticas para el siglo XXI". URL: <http://www.cnea.gov.ar/xxi/temas-nucleares/alternativas-energeticas/alternativas-energeticas.asp>

[2] Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura. "Fuentes de energía, debate mundial: Hacia su uso racional". URL: http://www.fundacionypf.org.ar/publicaciones/Energia%20I/contents/energia/crisis_energetica/fuentes_energia/fuent

[3] R. Janssen, "Introduction to polymer solar cells", Departments of Chemical Engineering & Chemistry and Applied Physics, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

[4] J. Wu, H. A. Becerril, Z. Bao, Z. Liu, Y. Chen et al. "Organic solar cells with solution-processed graphene transparent", *Appl. Phys. Lett.* 92, 263302 (2008); doi: 10.1063/1.2924771

[5] K. Petritsch, "Organic solar cell architectures", PhD Thesis, Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität Graz, Austria, 2000.

[6] H. Hoppe, N.S. Sariciftci, "Organic solar cells: An overview", Linz Institute for Organic Solar Cells, Physical Chemistry, Johannes Kepler University, *J. Mater. Res.*, Vol. 19, No.7, Austria, 2004.

[7] P. Boland, K. Lee, J. Dean, G. Namkoong, "Design of organic tandem solar cells using low- and high-bandgap polymer: fullerene composites". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 94 (2010) 2170-2175

[8] A. Hadipour, B. de Boer, P.W.M. Blom, "Device operation of organic tandem solar cells." *Organic Electronics* 9 (2008) 617-624

Referencias

- [1] <http://www.robotis.com/x/darwin/en>
- [2] Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc.
- [3] Técnicas de control para motores Brushless Comparativa entre conmutación Trapezoidal, conmutación Sinusoidal y Control Vectorial, Roger Juanpere Tolrà.

Referencias

- [1] Albert Einstein, Isaac Newton, Marie Curie, Galileo Galilei, Charles Darwin **(mayo - junio, 2025)** *La teoría de la evolución biológica. Boletín UPIITA. año 19, (108) 2025* [liga del artículo](#)