بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بهینه سازی ترکیب $P_3HT:C_{60}$ برای ساخت سلول‌های خورشیدی آلی

محمد حسین خدامی[۱]، علیرضا صالحی[۱] ، فرهاد اکبری برومند[۱] و مریم مساح بیدگلی[۲]

[۱]دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، ایران

[۲]دانشگاه کاشان، دانشکده شیمی، کاشان، ایران

چکیده– در این تحقیق اهمیت ترکیب درصدهای مختلف از ماده‌ی دهنده/پذیرنده بر روی کارایی سلول‌های خورشیدی آلی با پیوندگاه ناهمگون توده‌ای با ساختار $ITO/PEDOT:PSS/P_3HT:C_{60}/Al$ نشان داده شده است. این ساختار با درصدهای مختلف اضافه شدن C_{60} به P_3HT مورد بررسی قرار گرفت. ۲۵، ۳۳ و ۵۰ درصد وزنی از ماده C_{60} را به P_3HT اضافه کرده، با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود که قطعه‌ی ساخته شده با نسبت وزنی ۳۳ درصد از C_{60} به افزایش قابل توجهی در ولتاژ مدار باز و فاکتور انباشتگی منجر می‌گردد.

کلید واژه– سلول خورشیدی آلی، پیوندگاه ناهمگون توده‌ای، پلی ۳- هگزیل تیوفن، فولرن.

Optimization of P_3HT/C_{60} Blend for Fabrication of Organic Solar Cells

M. H. Khoddami [1], A. R. salehi [1], F.A. Broumand [1] and M.Massah Bidgoli[2]

[1]Faculty of Electrical and Computer Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran , Iran

[2]Department of chemistry, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract- In this article, we highlight the importance of different compositions of donor/acceptor on the performance of a single layer bulk heterojunction organic solar cell with ITO/PEDOT:PSS/ $P_3HT:C_{60}/Al$ structure**.** The effect of adding different percentage of C_{60} into P_3HT, such as 25, 33 and 50 w.t% of C_{60} to P_3HT is investigated. The device fabricated with weight ratio of P_3HT:33%C_{60} demonstrated a significant improvment in the open circuit voltage and the fill factor.

Keywords: Organic solar cell, bulk heterojunction, Poly(3-hexylthiophene), C_{60}.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

۱- مقدمه

در دو دهه‌ی اخیر سلول‌های خورشیدی آلی به علت مزایای ویژه‌ای از قبیل: هزینه اندک، آسانی فرایند ساخت، وزن سبک، انعطاف‌پذیری مکانیکی (ساخت سلول‌های خورشیدی آلی برروی زیرپایه‌های انعطاف پذیری چون پلی اتیلن ترفتالیت[1] یا پلی اتیلن نفتالیت[2]) و ... زمینه تحقیقاتی بسیار مهمی را به خود اختصاص داده‌اند [۱و۲]. پیشرفت‌های جدید در این زمینه، معطوف به تغییرات در ترکیب و نحوه ایجاد لایه‌های مختلف در جهت افزایش راندمان آن‌ها بوده است. سلول‌های خورشیدی آلی عموما از ترکیب یک ماده به عنوان دهنده الکترون و یک ماده به عنوان پذیرنده الکترون در لایه فعال خود ساخته می‌شوند. در این‌گونه سلول‌ها عملیات انتقال بار الکتریکی، در ساده ترین حالت با انتقال یک الکترون از ماده دهنده به ماده پذیرنده صورت می‌گیرد[۳].ضخامت ماده دهنده الکترون عموما در حدود ۱۰۰ نانو متر در نظر گرفته می‌شود[۴]. در واقع این لایه باید به اندازه‌ای ضخیم باشد، تا بتواند نور لازم وکافی را جهت تولید حامل‌های بار مقید (اکسایتون) جذب کند. وقتی نور در سلول‌های خورشیدی آلی جذب می‌شود، اکسایتون، یعنی یک جفت زوج الکترون حفره مقید به هم تولید می‌شود. اکسایتون‌ها به دلیل فرآیند نفوذ با طول نفوذ در حدود ۲۰ نانومتر، داخل سلول به حرکت در می‌آیند. هنگامی‌که آن‌ها به سطح مشترک بین دو ماده دهنده و پذیرنده الکترون می‌رسند، با توجه به میدان الکتریکی موجود در این ناحیه می‌توانند به دو حامل بار الکترون و حفره جدا از هم تبدیل شوند [۵و۶]. بنابراین مغایرتی بین نیاز به ضخیم بودن ماده دهنده، برای جذب نور کافی و نازک بودن آن به علت طول نفوذ کم اکسایتون و جداشدن آن به بار موثر (الکترون و حفره) بوجود می‌آید. برای رفع این مشکل، تاکنون تحقیقات زیادی انجام شده است[۷]. ساختار سلول خورشیدی آلی ناهمگون توده‌ای یکی از ساختارهایی است که در لایه فعال آن، ماده دهنده و ماده پذیرنده الکترون را با در-صدهای مختلف وزنی با هم ترکیب می‌کنند و این سبب می شود که در لایه فعال، نقاط مرزی مشترک زیادتری بین دو ماده ایجاد شود و لذا اگر اکسایتون در هر فاصله-ای از ماده دهنده تولید شود با مقدار کمی نفوذ در لایه، به مرز مشترک بین دو ماده رسیده و تحت میدان الکتریکی به الکترون و حفره تبدیل می‌شود.

۲- مراحل ساخت قطعه

در این تحقیق جهت ساخت سلول‌های خورشیدی آلی ناهمگون توده‌ای از ساختار PET/ITO/PEDOT:PSS/P_3HT:C_{60}/Al با سه درصد وزنی مختلف از لایه‌ی فعال استفاده شد. در ابتدا ۱۰ میلی گرم از ماده P_3HT به عنوان دهنده الکترون (تهیه شده از شرکت سیگما الدریچ) و ۲۰ میلی‌گرم از ماده C_{60} به عنوان پذیرنده الکترون (تهیه شده از شرکت نوترینو) به طور جداگانه در ۱ میلی لیتر از حلال آلی ۱ و ۲ دی کلروبنزن (تهیه شده از شرکت مرک) حل شد. پس از آن سه ترکیب فوق، با اضافه کردن ۲۵، ۳۳ و ۵۰ درصد وزنی از محلول C_{60} به محلول P_3HT بدست آمد. برای لایه نشانی لایه‌های مختلف سلول خورشیدی زیر لایه‌ای از جنس PET که با اکسید ایندیوم-قلع پوشیده شده و دارای مقاومت سطحی ۶۰ اهم بر مربع بود (تهیه شده از شرکت سیگما الدریچ) به کار برده شد. جهت تمیز کردن زیر لایه‌ها، آن‌ها را به ترتیب در استون، آب مقطر، ایزوپروپانول و متانول شستشو دادیم. سپس ماده‌ی انتقال دهنده حفره PEDOT-PSS (تهیه شده از شرکت سیگما الدریچ) را به روش لایه نشانی چرخشی با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و زمان ۳۰ ثانیه برروی زیر لایه PET/ITO لایه نشانی کرده و به جهت عملیات حرارتی و تبخیر حلال آن، در داخل کوره با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ دقیقه قرار دادیم. در ادامه سه محلول ساخته شده با درصدهای مختلف وزنی از C_{60} را بر روی زیر لایه PET/ITO/PEDOT-PSS با روش لایه نشانی چرخشی با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و زمان ۳۰ ثانیه لایه نشانی کرده و برای عملیات ترمیم حرارتی و بهتر کریستالی شدن ماده دهنده الکترون، در کوره و معرض نیتروژن به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. سپس بر روی قطعه‌ها، با استفاده از روش تبخیر حرارتی، فلز آلومینیوم به عنوان کاتد در فشار 10^{-5} تور لایه نشانی شد. در نهایت برای سلول‌های خورشیدی آلی ساخته شده، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری (SMU) مدل ۲۳۸، ساخت شرکت Keithley و با استفاده از لامپ

[1] PET(polyethylene terephthalate)
[2] PEN(polyethylene naphthalate)

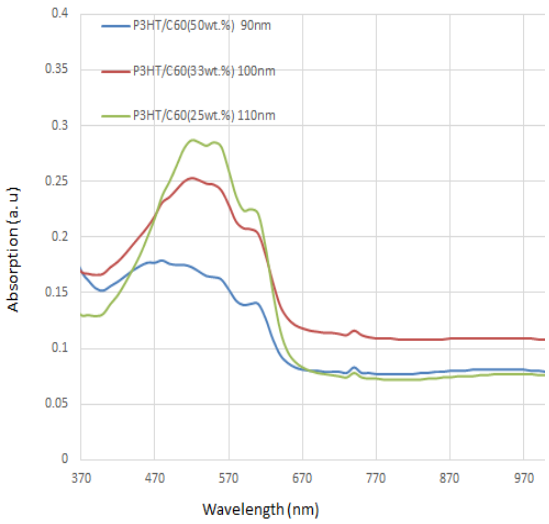
[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

تنگستن جهت نورتابی، منحنی‌های جریان-ولتاژ بدست آورده شد. همچنین نمودارهای جذب نوری برای ترکیب-های مختلف با استفاده از دستگاه UV/VIS Spectrometer مدل LambdaEZ201 و ضخامت لایه‌ها توسط دستگاه Dektak 500 بدست آمد.

۳- نتایج وبحث

۳-۱- نمودارجذب

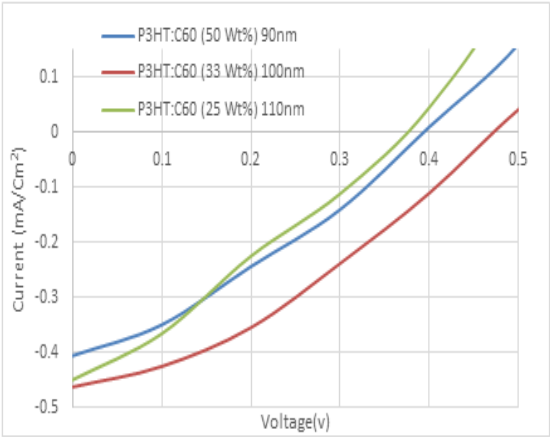
یکی از پارامترهای مهم در کارایی سلول‌های خورشیدی آلی ترکیب درصد P_3HT و C_{60} می‌باشد که در این تحقیق به بررسی این پارامتر و پیدا کردن درصد ترکیب بهینه پرداخته شده است. در شکل ۱ نمودار جذب در طول موج ۳۷۰ تا ۹۷۰ نانو متر، برای درصدهای مختلف ترکیب C_{60} با ضخامت متفاوت نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود جذب نور در لایه با ضخامت ۹۰ نانومتر (۵۰ درصد وزنی از C_{60}) کمتر از لایه با ضخامت ۱۰۰ نانومتر (۳۳ درصد وزنی از C_{60}) است و همچنین جذب این لایه کمتر از لایه با ضخامت ۱۱۰ نانومتر (۲۵ درصد وزنی از C_{60}) می‌باشد. دلیل این موضوع با توجه به ضخامت لایه و همچنین افزایش نسبت ماده دهنده الکترون توجیه می-شود یعنی در واقع هر چقدر در صد P_3HT به عنوان ماده دهنده الکترون و جذب کننده نور افزایش یابد جذب نور بیشتر مقدار فوتون بیشتری جذب می‌شود[۸].



شکل۱: نمودار جذب در فاصله طول موج ۳۷۰ تا ۹۷۰ نانومتر برای درصدهای مختلف اضافه شدن فولرین C_{60}.

۳-۲- نمودار جریان-ولتاژ

شکل ۲ مشخصه چگالی جریان- ولتاژ سلول خورشیدی آلی را در سه درصد ترکیب مختلف نشان می‌دهد. همچنین مشخصات فتوولتائیک قطعات در جدول ۱ گزارش شده است.



شکل ۲: نمودار جریان- ولتاژ سلول خورشیدی

با توجه به شکل و داده‌های موجود در جدول، دیده می-شود که قطعه‌ی ساخته شده با $P_3HT:C_{60}$ با ترکیب ۳۳ درصد وزنی از C_{60} بالاترین مقدار جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، فاکتور انباشتگی و راندمان و کمترین مقدار مقاومت سری را نشان می‌دهد،یک دلیل برای افزایش کارایی قطعه‌ی ساخته شده با ۳۳ درصد وزنی از C_{60}، کاهش مقاومت سری می‌باشد (شیب منحنی جریان-ولتاژ در ناحیه‌ای که جریان اتصال کوتاه صفر است یعنی محور مثبت x برابر با معکوس مقاومت سری است). در واقع کاهش مقاومت سری یا به اصطلاح تحدب بیشتردر نمودار جریان- ولتاژ در این ترکیب به معنی این است که تعادل وزنی بین ماده پذیرنده و دهنده الکترون، تحرک حامل‌ها و لذا جریان اتصال کوتاه و به دنبال آن دیگر پارامترها در سلول خورشیدی بیشتر از ترکیب ۲۵ درصد وزنی از C_{60} با میزان جذب بیشتر است.

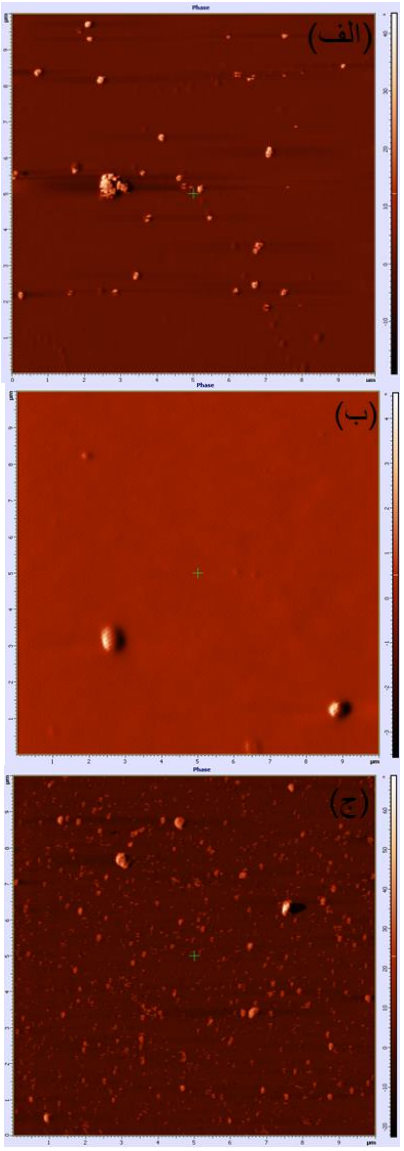
جدول۱) پارامترهای سلول خورشیدی برای درصدهای مختلف C_{60}

C_{60}	25 wt.%	33 wt.%	50 wt.%
V_{oc} (v)	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۴۰
J_{sc} (mA/Cm^2)	-۰/۴۴۹	-۰/۴۶۲	-۰/۴۰۵
FF	۰/۲۶۳	۰/۳۳۵	۰/۳۰۰
η (%)	۰/۲۹۹۲	۰/۴۷۵۲	۰/۳۲۴۲
R_s (kΩ.Cm^2)	۰/۷۲۲	۰/۵۴۷	۰/۷۱۶
R_p (kΩ.Cm^2)	۱/۲۰	۲/۶۷	۱/۷۹

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

۳-۳-آنالیز تصویر میکروسکوپ اتمی[۳]

در شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از سه در صد مختلف وزنی C_{60} نشان داده شده است. با توجه به ظاهر تصاویر و همچنین مقادیر میانگین جذر مربعات یا همان ناهمواری که به ترتیب ۴/۳۷، ۳/۴۷ و ۳/۹۸ نانو متر برای ۵۰، ۳۳ و ۲۵ درصد وزنی از C_{60} می‌باشند، ملاحظه می‌شود که ساختارسلول خورشیدی با ۳۳ درصد وزنی از C_{60} دارای یکنواختی و تعادل وزنی بیشتری بین ماده دهنده و پذیرنده می‌باشد. این امر، دلیلی بر افزایش مقدار جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، فاکتور انباشتگی و راندمان و کاهش مقدار مقاومت سری در ساختار فوق می باشد.



شکل ۳. (الف) ۵۰ درصد وزنی C_{60} (ب) ۳۳ درصد وزنی C_{60} (ج) ۲۵ درصد وزنی C_{60}

[۳] AFM Characterization

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سه نمونه سلول خورشیدی براساس درصدهای مختلف وزنی ماده C_{60} ساخته شد. ملاحظه شد که بهینه ترین ترکیب در ساخت این سلول ها با اضافه کردن ۳۳ درصد وزنی ماده C_{60} به P_3HT بدست می آید. در این ترکیب مقاومت سری کاهش یافته و این نشان دهنده تعادل وزنی مناسب بین ماده دهنده و پذیرنده می باشد.

مراجع

[1] *K. M. Coakley, and M. D. McGehee, 2004, Conjugated polymer photovoltaic cells, Chemistry of Materials, 16, pp. 4533-4542.*

[2] *G. Dennler, and N. S. Sariciftci, 2005, Flexible conjugated polymer-based plastic solar cells: From basics to applications , Proceedings of the Ieee, 93, pp. 1429-1439.*

[3] *H. Hoppe, and N. S. Sariciftci, 2004, Organic solar cells: An overview, Journal of Materials Research, 19, pp. 1924-1945.*

[4] *H. Hoppe, N. Arnold, N. S. Sariciftci, and D. Meissner, 2003, Modeling the optical absorption within conjugated polymer/fullerene-based bulk-heterojunction organic solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, 80, pp. 105-113.*

[5] *B. Kippelen, and J. L. Bredas, 2009, Organic photovoltaics, Energy & Environmental Science, 2, pp. 251-261.*

[6] *R. Gaudiana, 2008, Organic photovoltaics, Photonics Spectra, 42, pp. 74-76.*

[7] *A. L. Ayzner, C. J. Tassone, S. H. Tolbert, and B. J. Schwartz, J. Phys. Chem. C 113, 20050 2009.*

[8] Yi Yang, Mukti Aryal, *Kamil Mielczarek, Walter Hu, Anvar Zakhidov, Received 20 July 2010; accepted 11 October 2010; published 1 December 2010.*

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]