

## تاثیر نانولوله های کربنی تک دیواره و فتالوسیانین مس روی بهبود کیفیت سلول های خورشیدی

## آلی مخلوطی حجمی

برجسته ، آزاده ؛ اژتیان، رسول

دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران ، نارمک، تهران

## چکیده

در این مقاله سلول های خورشیدی آلی مخلوطی حجمی، با ساختار لایه فعال 1-(P3HT: PCBM)-2،(P3HT: PCBM: SWCNT) و 3-(P3HT: PCBM: SWCNT: CuPc) ساخته شد. مشاهده شد که سلول های حاوی نانولوله یعنی سلول شماره ۲ دارای راندمان بهتری نسبت به سلول شماره ۱ و سلول های دارای فتالوسیانین مس یعنی سلول های شماره ۳ دارای راندمان بهتری از دو سلول قبلی هستند. طیف جذبی فتالوسیانین مس و P3HT: PCBM با هم به طور کامل طیف خورشید را پوشش می دهد، لذا چگالی جریان اتصال کوتاه  $J_{sc}$  و ولتاژ مدارباز  $V_{oc}$  این سلول ها با فتالوسیانین مس نسبت به نمونه بدون فتالوسیانین مس بیشتر است. بازدهی سلول دوم به مقدار 0.1056% در صورتی که بازدهی سلول سوم 0.3744% یعنی تقریباً 3.54 برابر سلول شماره ۲ شد. تحقیقات برای بهبود کیفیت این نوع سلول ها در جریان است.

## Effect of SWCNT and CuPc on the improvement of quality of Bulk Hetero Junction organic solar cell

Barjasteh, Azadeh; Ajeian, Rasul

Department of Physics, Iran University of Science and technology, Tehran

## Abstract

In this paper the bulk hetero junction organic solar cells by active layer 1-(P3HT: PCBM), 2-(P3HT: PCBM: SWCNT) and 3-(P3HT: PCBM: SWCNT: CuPc) are built. It seen that the cells number2 that having nanotube have better output in compare with cells number1 and the cells having CuPc, have better output in compare with the two other cells. The absorption spectrum of CuPc and P3HT: PCBM embody the sun spectrum and for this short circuit current density  $J_{sc}$  and open circuit voltage  $V_{oc}$  of cells by CuPc is more than the cells without CuPc. The output of cells number2 is 0.1056% while the output of cells number3 is 0.3744% mean almost 3.54 times of cells number2. The research for improvement of these types of cells is going on.

PACS No. 73

## مقدمه

الکترون بهترین بازدهی را نشان داده اند [1]. اثر فوتولتائیک در این سلول ها شامل تولید زوج الکترون-حفره مقید (اکسایتون) ، تجزیه آن به حامل های بار آزاد و جمع شدن هریک از آن ها در الکترودهای مربوط به آن می باشد. در مواد معدنی اکسایتون های تولید شده در اثر فوتون ها، بلافاصله به الکترون و حفره آزاد تبدیل می شوند در حالیکه در مواد آلی جذب فوتون سبب تولید زوج الکترون-حفره مقید با طول عمر متوسط بیشتر می شود [2]. از زمان کشف پدیده انتقال بار در پلیمرهای آلی و فولرین ها و

در سال های اخیر سلول های خورشیدی آلی به علت هزینه کم، آسانی ساخت و انعطاف پذیری بسیار مورد توجه هستند. در بین آن ها سلول های مخلوطی حجمی با ساختار لایه فعال 'P3HT: PCBM: SWCNT'، که پلیمر P3HT به عنوان ماده بخشنده الکترون و PCBM و SWCNT به عنوان مواد پذیرنده

جامد بدست آمده شامل نانولوله های استخلافی با گروه های رادیکالی COOH و طول کوتاه می باشد. آن ها به دلیل داشتن رادیکال COOH در حلال های آلی آروماتیک مانند کلروبنزن و دی کلروبنزن و یا حلال های غیر آروماتیک مانند کلروفرم حل می شوند [3]. در ادامه P3HT: PCBM به نسبت ۱:۱ در حلال دی کلروبنزن حل شده و در دستگاه ماوراصوت<sup>۳</sup> قرار داده شدند. نانولوله های استخلافی شده به این محلول اضافه شده و به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه ماوراصوت قرار می گیرند تا مخلوط کاملاً همگنی بدست آید. پس از تمیز کردن شیشه های پوشیده شده با ITO، به ترتیب با شیشه شو، استون و ایزوپروپانول، آن ها را در مجاورت گاز نیتروژن قرار داده تا خشک شدند. سپس ماده PEDOT:PSS به روش لایه نشانی چرخان<sup>۴</sup> با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه روی ITO تا ضخامت ۵۰ نانومتر لایه نشانی شد. برای حذف آب موجود در لایه و ایجاد ساختار بلوری، زیرلایه های پوشیده شده با PEDOT:PSS برای مدت ۱ ساعت در هوا تا حدود ۱۲۵ درجه سانتیگراد حرارت داده شدند. برای ادامه لایه نشانی لایه های فعال و به منظور جلوگیری از نفوذ اکسیژن به داخل لایه ها، زیر لایه ها به یک محیط عاری از هوا<sup>۵</sup> (محیط نیتروژن) منتقل شدند. بعد از لایه نشانی لایه فعال به روش لایه نشانی چرخان در محیط نیتروژن، به منظور ایجاد ساختار بلوری جهت افزایش سرعت انتقال حامل ها، لایه ها به مدت ۱۰ دقیقه در همان محیط نیتروژن حرارت داده شدند. سپس لایه ها به دستگاه لایه نشانی خلا<sup>۶</sup> منتقل شده و ابتدا ماده BCP به ضخامت ۹ نانومتر و سپس الکتروود نقره با ضخامت ۵۰ نانومتر لایه نشانی شدند. به منظور مقایسه، همزمان سلول هایی با ساختار لایه فعال شماره ۱ و ۲ و ۳ ساخته شدند. برای سلول با ساختار لایه فعال شماره ۳ بعد از لایه نشانی PEDOT: PSS نمونه ها به دستگاه لایه نشانی خلا منتقل شده و CuPc به ضخامت ۹ نانومتر لایه نشانی شد. سایر شرایط لایه نشانی به صورتی است که برای سلول های بدون

همچنین فصل مشترک بین آن ها، سلول های مختلفی از این نوع مواد ساخته شده است. نانو لوله های کربنی نیز از مدت ها پیش در ساختار این سلول ها مورد استفاده قرار گرفته اند. این مواد به دو صورت، هم به عنوان الکتروود شفاف و هم به عنوان شبکه فعال و همچنین عامل نفوذ الکترون ها در لایه فعال برای انتقال آنها در سلول های خورشیدی مورد توجه هستند [3]. در این مقاله اثر اضافه کردن نانو لوله های کربنی و فتالوسیانین مس به سلول های خورشیدی آلی با ساختار لایه فعال P3HT: PCBM بررسی می شود. در ادامه منحنی جریان- ولتاژ سلول ها رسم شده و نتایج آن با سلول با لایه فعال P3HT: PCBM: SWCNT و با فتالوسیانین مس و بدون آن مقایسه می شود.

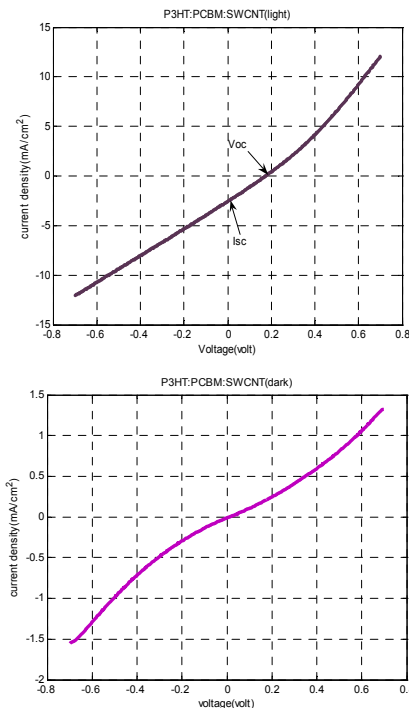
### روش آزمایش

برای ساخت این سلول ها از پلیمر P3HT، PCBM، PEDOT:PSS، BCP، نانولوله های کربنی تک دیواره و نقره خالص خریداری شده از شرکت سیگما آلدریچ و زیر لایه های پوشیده شده با ITO<sup>۲</sup> از مرکز صنایع اپتیک اصفهان، با مقاومت بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ اهم بر سانتی متر مربع استفاده شده است. نانو لوله های کربنی در اثر نیروهای واندروالس به هم چسبیده و دسته هایی از نانولوله را تشکیل می دهند لذا حضور یک نانولوله فلزی (نانولوله با گپ صفر) کافی است تا کل دسته ساختار فلزی پیدا کند. این نانو لوله های فلزی می توانند به عنوان مراکز باز ترکیب حامل های بار عمل کنند. لذا برای ساخت سلول های خورشیدی جدایی آن ها از هم ضروری می باشد. برای جدا و پراکنده کردن نانولوله های کربنی، ابتدا حجم دلخواه از آن ها را در ترکیب اسید نیتریک و اسید سولفوریک به نسبت ۱:۳ ترکیب می شوند و برای حدود دو ساعت در دستگاه ماوراصوت<sup>۱</sup> با قدرت بالا قرار می گیرند. سپس محلول به دست آمده با آب مقطر رقیق شده و در سانتریفیوژ<sup>۲</sup> با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه قرار می گیرد تا هر توده بزرگی از داخل آن حذف شود. در نهایت در چندین مرحله آب آن عوض شده تا PH محلول به ۵ برسد. محلول به دست آمده در ۱۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می شود تا نمونه جامدی بدست آید. نمونه

<sup>۳</sup> Ultrasonic  
<sup>۴</sup> Spinner  
<sup>۵</sup> Glove Box  
<sup>۶</sup> PVD

<sup>۲</sup> Indium Tin Oxide

4.5mA/cm<sup>2</sup> ترتیب P3HT: PCBM: SWCNT: CuPc و 0.326V می باشد. چون منحنی جذب فتالوسیانین مس با طول موج های بالای ۶۰۰ نانومتر و P3HT: PCBM با طول موج های کمتر از ۶۰۰ نانومتر مکمل یکدیگر هستند می توانند تمام طیف خورشید را جذب نمایند.



شکل ۱- نمودار جریان- ولتاژ سلول ۲ با ساختار لایه فعال P3HT: PCBM: SWCNT در روشنایی (a) و تاریکی (b)

از طرفی در سلول هایی با ساختار لایه فعال P3HT: PCBM: SWCNT: CuPc به طور همزمان یک زیر سلول مخلوطی حجمی با مولکول های P3HT و یک زیر سلول دو لایه با مولکول های CuPc ایجاد می کند. از طرفی CuPc هم یک زیر سلول دو لایه با SWCNT تشکیل می دهد. بدین ترتیب با افزایش تعداد فصل مشترک ها تجزیه اکسایتون به صورت موثر صورت گرفته و به دلیل افزایش میزان جذب تعداد بیشتری از اکسایتون ها ایجاد می شوند، لذا چگالی جریان اتصال کوتاه افزایش می یابد [6].

فتالوسیانین مس توضیح داده شد. نکته قابل توجه اینکه اگر ضخامت لایه فتالوسیانین مس بیشتر از ۱۰ نانومتر باشد تعداد زیادی از اکسایتون ها قبل از رسیدن به فصل مشترک، باز ترکیب شده و از بین می روند. از طرفی انتخاب لایه فتالوسیانین مس ضخیم سبب می شود که نور کمتری به لایه فعال برسد [5]. تمام اندازه گیری ها مانند منحنی جریان ولتاژ پس از ساخت سلول انجام شده و کیفیت رفتار دیودی (FF<sup>v</sup>) از رابطه ۱ و بازدهی  $\eta$  از رابطه ۲ بدست می آیند. نتایج این اندازه گیری ها در جدول شماره ۱ دیده می شوند.

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \quad (2)$$

که در این روابط  $V_{max}$  و  $I_{max}$  به ترتیب ولتاژ و جریان ماکزیمم،  $V_{oc}$  و  $I_{sc}$  ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه می باشند. همچنین  $P_{in}$  توان شبیه ساز خورشیدی است که در این مورد  $100\text{mW/cm}^2$  است.

## نتیجه گیری

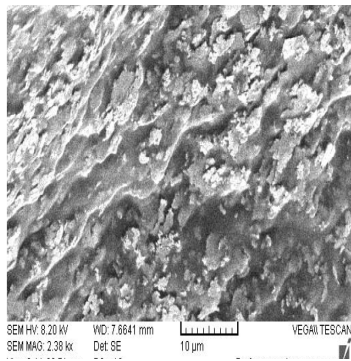
بعد از ساخت سلولهایی با ساختار

- ITO: PEDOT/PSS P3HT: PCBM- 1
- ITO: PEDOT/PSS P3HT: PCBM: SWCNT -2
- ITO: PEDOT/PSS: CuPc: P3HT: PCBM: SWCNT -3

با استفاده از شبیه ساز خورشیدی دست ساز با توان تابشی  $100\text{mW/cm}^2$  منحنی های جریان- ولتاژ در تاریکی و روشنایی بدست می آیند. چون برای سلول ۱ مقادیر جریان و ولتاژ ناچیز بود، از آوردن آنها صرف نظر شده است. همانطور که در شکل (۱) و (۲) مشاهده می شود، برای سلول های با ساختار لایه فعال

P3HT: PCBM: SWCNT چگالی جریان اتصال کوتاه  $2.6\text{mA/cm}^2$  و ولتاژ مدار باز  $0.173\text{V}$  و چگالی جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز برای سلول هایی با ساختار لایه فعال

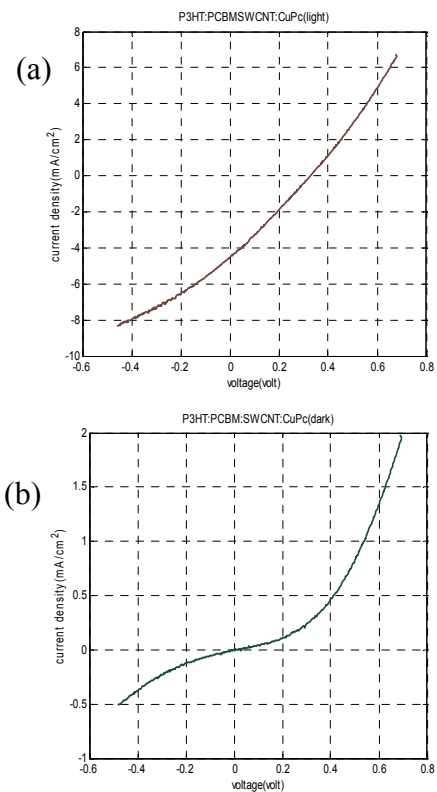
مشاهده می شود که استفاده از CuPc سبب افزایش ولتاژ مدار باز به اندازه 1.84 برابر و چگالی جریان اتصال کوتاه 1.73 برابر و بازدهی آن 3.54 برابر می شود. در تصویر SEM شکل شماره ۳ ساختار مخلوطی حجمی دو ماده فعال بخشنده و پذیرنده به صورت تباین تصویر<sup>۱</sup> در کنار هم دیده می شود.



شکل ۳- تصویر SEM ساختار مخلوطی حجمی دو ماده بخشنده و پذیرنده

### مرجع ها

[1] E. Kymakis, "Carbon nanotube doping of P3HT: PCBM photovoltaic devices", J. Phys. D: Appl. Phys. 41(2008) 165110  
 [2] E. Kymakis, "nanotube/conjugated polymer photovoltaic devices", Appl. Phys. Lett, Vol. 80, 1(2001)  
 [3] E. Kymakis, (2003), "single wall carbon nano tube composite: "electrical, optical and structural investigation", Synthetic Metals 127(59-62)  
 [4] W. T. Welford, R. Wineston, (1999), "solar cells using fullerene", J. Appl. Phys., Vol. 86, No. 1  
 [5] Liming Liu, Student Member, IEEE, 978(2004)  
 [6] Zhu, "Simple tandem organic photovoltaic cells for improved energy conversion efficiency", Appl. Phys. Lett. 92, (083310), (2008)



شکل ۲- نمودار جریان- ولتاژ سلول ۳ با ساختار لایه فعال

(b) و تاریکی (a) در روشنایی P3HT: PCBM: SWCNT: CuPc

با استفاده از روابط ۱ فاکتور کیفیت سلول ها به دست می آید که در جدول یک بیان و مقایسه شده اند.

جدول ۱-مقایسه نتایج سلول های مختلف

Active layer	$J_{sc}$ $\frac{mA}{cm^2}$	$V_{oc}$ (volt)	FF(Fill factor)	$J_{sc}V_{oc}$ ( $mW/cm^2$ )	% $\eta$
P3HT:PCBM:SWCNT	2.6	0.173	0.24	0.44	0.1056
P3HT:PCBM:SWCNT:CuPc	4.5	0.32	0.26	1.44	0.3744

Surf and download all data from SID.ir: [www.SID.ir](http://www.SID.ir)

Translate via STRS.ir: [www.STRS.ir](http://www.STRS.ir)

Follow our scientific posts via our Blog: [www.sid.ir/blog](http://www.sid.ir/blog)

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: [www.sid.ir/workshop](http://www.sid.ir/workshop)