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

مقایسه عملکرد اپتیکی سلول خورشیدی نانو ساختار آلی برپایه P3HT:PCBM و PCPDTBT:PCBM

سمیه ناظردیلمی، حمید رضاقلی پوردیزجی

دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده – در این مقاله، با استفاده از مدل اپتیکی، عملکرد اپتیکی سلول خورشیدی آلی ناهمگون حجمی برپایه *P3HT:PCBM* و *PCPDTBT:PCBM* را بررسی کردیم. جذب و آهنگ تولید اکسایتون در لایه فعال محاسبه گردید. چگالی جریان مدار کوتاه بر حسب ضخامت لایه فعال تعیین گردید. نتایج این مدل، پیش بینی می کند که برای لایه فعال با ضخامت های بیشتر از ۱۰۷ نانومتر، سلول خورشیدی آلی بر پایه *PCPDTBT:PCBM* عملکرد بهتری نسبت به سلول بر پایه *P3HT:PCBM* دارد.

کلید واژه- سلول خورشیدی آلی، مدل اپتیکی، P3HT:PCBM، PCPDTBT:PCBM

Comparison between Optical Performance of Nanostructured Organic Solar Cell based on P3HT:PCBM & PCPDTBT:PCBM

Somayeh Nazerdeylami, Hamid Rezagholipour Dizaji

Faculty of Physics, Semnan University, Semnan, I. R. of Iran

Abstract- In this paper, we investigated the optical performance of bulk heterojunction organic solar cells (OSCs) based on P3HT:PCBM (poly (3-hexylthiophene): phenyl-C61-butyric acid methyl ester) and PCPDTBT:PCBM (poly[2,6-(4,4-bis-(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta[2,1-b;3,4-b0]dithiophene)-alt-4,7-(2,1,3-benzothiadia-zole)]:phenyl-C61-butyricacidmethylester). Light absorption and exciton generation rate were calculated in active layer. Short circuit current density was calculated as function of active layer thickness. Results of this model predict that OSCs based on PCPDTBT:PCBM have better performance than P3HT:PCBM based OSCs for active layer thickness more than 107nm.

Keywords: Organic solar cell; Optical modeling; P3HT:PCBM; PCPDTBT:PCBM

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

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

۱- مقدمه

در دهه های اخیر سلول های خورشیدی آلی به عنوان منابع جدید تولید جریان الکتریکی از نور، بدلیل انعطاف پذیری، هزینه کم و ساخت آسان مورد توجه قرار گرفته اند [۱، ۲]. فرایند تبدیل نور به جریان الکتریکی شامل جذب فوتون، تولید اکسایتون، جدایش اکسایتون و ترابرد بار به سمت الکترودها در لایه ی فعال سلول رخ می دهد [۳]. بنابراین یکی از عوامل مهم در بازده سلول خورشیدی آلی، ماده، مورفولوژی و ضخامت لایه ی فعال می باشد. لایه فعال با ساختار ناهمگون حجمی دارای بازده بالاتری نسبت به ساختار دولایه ای است [۴]. در سلول خورشیدی آلی، مشتقات فولرین بعنوان پذیرنده الکترون و پلیمرهای مزدوج مانند MEH-PPV، P3HT به عنوان دهنده الکترون استفاده می شود. برای بهبود بازده این نوع از سلول ها و جذب بیشتر نور فرودی، پلیمرهای مزدوج با گاف انرژی کوچکتر مورد توجه قرار گرفته اند. یکی از این مواد PCPDTBT با گاف انرژی ۱/۵ الکترون ولت می باشد[۱].

در این مقاله، با استفاده از مدل اپتیکی، سلول خورشیدی با لایه ی فعال P3HT:PCBM و PCPDTBT:PCBM مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- مدل اپتیکی

مدل اپتیکی بر اساس روش ماتریس انتقال می باشد که اولین بار توسط پترسون و همکارانش[۵] بر روی سلول خورشیدی آلی مورد استفاده قرار گرفت.

برای نور فرودی عمودی، انرژی جذب شده در لایه ی فعال در مکان x توسط معادله (۱) داده می شود[۵]:

$$Q(x,\lambda)=\frac{1}{2}c\varepsilon_0\alpha n\left|E(x,\lambda)\right|^2 \qquad (۱)$$

که در آن n و α به ترتیب ضریب شکست و ضریب جذب لایه فعال و $\left|E(x,\lambda)\right|^2$ مربع میدان الکتریکی نوری درون لایه فعال است. آهنگ تولید اکسایتون با معادله (۲) داده می شود[۶]:

$$G(x)=\int_{\lambda_1=350}^{\lambda_2=800}\frac{\lambda}{hc}Q(x,\lambda)d\lambda \qquad (۲)$$

که در آن h ثابت پلانک، c سرعت نور و λ طول موج نور فرودی است. چگالی جریان مدار کوتاه ایجاد شده توسط معادله (۳) بیان می شود[۷]:

$$J_{sc}=e\int G(x)dx \qquad (۳)$$

که e بار الکترون است.

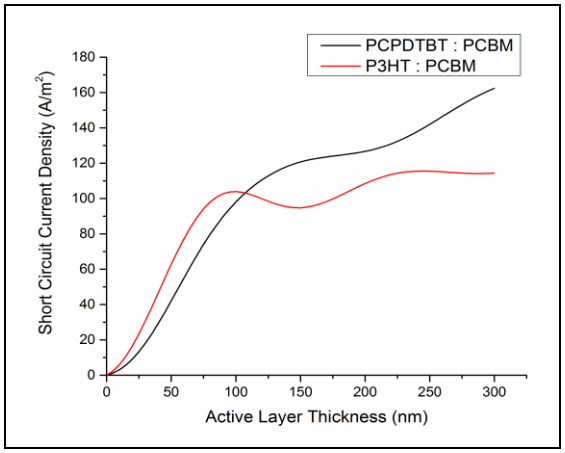
۳- بررسی نتایج

ساختار سلول در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱: ساختار سلول خورشیدی آلی متشکل از لایه فعال P3HT:PCBM و PCPDTBT:PCBM

ثابت های اپتیکی (n, k) لایه های ITO, NiO, Al, LiF و P3HT:PCBM از مرجع [۷] و PCPDTBT:PCBM از مرجع [۸] بدست آمده است. ابتدا برای یافتن ضخامت بهینه، نمودار چگالی جریان مدار کوتاه بر حسب ضخامت لایه فعال (L) را برای سلول با لایه فعال P3HT:PCBM (ساختار A) و PCPDTBT:PCBM (ساختار B) محاسبه کردیم (شکل ۲). در اینجا، ضخامت لایه از صفر تا سیصد نانومتر تغییر می کند.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]



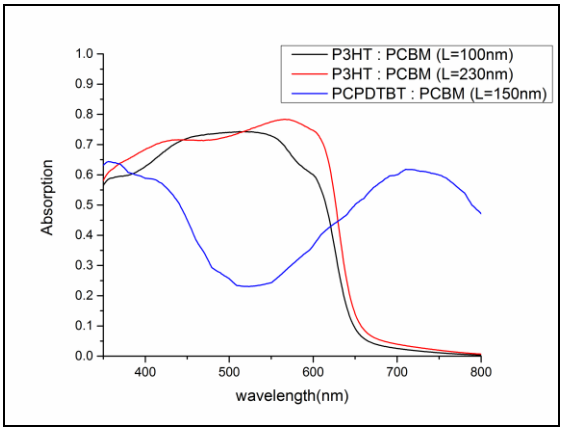
شکل ۲: چگالی جریان مدار کوتاه بر حسب ضخامت لایه فعال ساختار A و ساختار B

ساختار A دارای دو قله در ضخامت های ۹۷ نانومتر و ۲۳۰ نانومتر و ساختار B دارای یک قله در ۱۵۰ نانومتر و در ضخامت های بیشتر از ۲۰۷ نانومتر چگالی جریان افزایشی است. در L=107nm چگالی جریان هردو ساختار برابر است. برای ضخامت های کوچکتر از 107nm چگالی جریان ساختار A بزرگتر از چگالی جریان ساختار B است و در ضخامت های بیشتر از L=107nm کمتر است. در L=148nm چگالی جریان در ساختار A، ۲۱درصد کمتر از ساختار B می باشد و این مقدار در L=272nm به ۲۵درصد می رسد (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسه چگالی جریان در دو ساختار با ضخامت ۱۴۸ و ۲۷۲ نانومتر

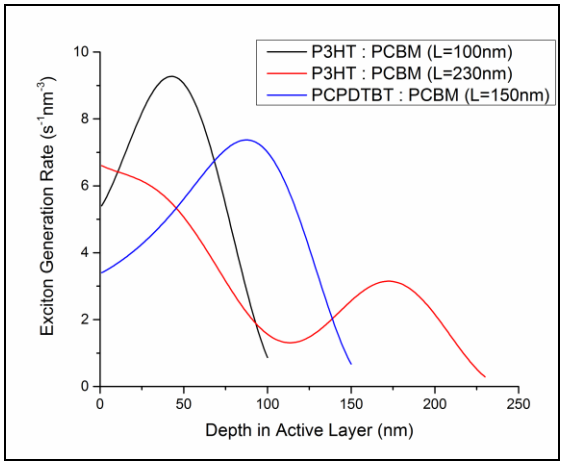
device	L (nm)	J_{sc} (A/m^2)	Improvement (%)
A	148	95.12	
B	148	120.43	**21**
A	272	114.30	
B	272	152.28	**25**

بر اساس نتایج شکل ۲، جذب در لایه فعال برای سلول ساختار A با ضخامتL=100nm و L=230nm و در ساختار B با ضخامت L=150nm (ساختارها به ترتیب A1، A2 و B1) را برحسب طول موج، محاسبه کردیم (شکل ۳).



شکل ۳: جذب در لایه فعال ساختارA1، A2 و B1

ساختار A1 دارای قله جذب در $\lambda = 540nm$ به مقدار ۷۳/۷% و ساختار A2 دارای قله جذب در $\lambda = 568nm$ به مقدار ۷۸/۴% می باشد. ساختار B1 دارای دو قله جذب در $\lambda = 718nm$ و $\lambda = 370nm$ بترتیب ۶۱/۵% و ۶۳/۳% می باشد. افزایش جذب در طول موج های بالاتر ناشی از جذب در PCPDTBT است. شکل ۴، نمودار آهنگ تولید اکسایتون بر حسب فاصله از آند در لایه فعال را نشان می دهد. حالت نوسانی نمودار، ناشی از اثرات تداخل اپتیکی است و قله ها نشانگر تداخل سازنده می باشند.



شکل ۴: آهنگ تولید اکسایتون در لایه فعال بر حسب فاصله از آند

۴- نتیجه گیری

عملکرد سلول خورشیدی آلی با استفاده از مدل اپتیکی بر اساس روش ماتریس انتقال بررسی گردید. ساختار B در ضخامت های بیشتر از ۱۰۷ نانومتر دارای چگالی جریان مدار کوتاه بزرگتری نسبت به ساختار A است زیرا

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

PCPDTBT گاف انرژی کوچکتری نسبت به P3HT دارد و طول موج های بیشتری را جذب می کند. با افزایش ضخامت در ساختار A، تعداد قله های نمودار آهنگ تولید اکسایتون بدلیل افزایش اثر تداخل اپتیکی، افزایش می یابد. در ادامه کار، از داده های این مقاله برای محاسبه پارامترهای فتوولتائیک (ولتاژ مدار باز، فاکتور پرشوندگی، بازده تبدیل توان) این دو ساختار می توان استفاده نمود.

مراجع

[1] Boland P., Lee K., Namkoong G., *Device optimization in PCPDTBT:PCBM plastic solar cells,* **Sol. Energy Mater. Sol. Cells,** 94 (2010) 915-920.

[2] Liang C., Wang Y., Li D., Ji X., Zhang F., He Z., *Modeling and simulation of bulk heterojunction polymer solar cells,* **Sol. Energy Mater. Sol. Cells,** 127 (2014) 67-86.

[3] Iwan A., Chuchmala A., *Perspectives of applied graphene: polymer solar cells,* **Prog. Polymer Sci.,** 37 (2012)1805-1828.

[4] Nazerdeylami S., Gholipour Dizaji H., *Effect of active layer thickness on characteristics of P3HT:PCBM based organic solar cells,* **5th International Congress on Nanoscience & Nanotechnology,** Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 22-24 October 2014.

[5] A. A. Pettersson L., S. Roman L., Inganas O., *Modeling photocurrent action spectra of photovoltaic devices based on organic thin films,* **J. Appl. Phys.** 86 (1999) 487.

[6] Albrecht S., Schafer S., Lange I., Yilmaz S., Dumsch I., Allard S., Scherf U., Hertwig A., Neher D., *Light management in PCPDTBT :PC70BM solar cells: A comparison of standard and inverted device structures,* **Org. Electron.** 13 (2012) 615-622.

[7] E. Petoukhoff C., K. Vijapurapu D., M. Ocarroll D., *Computational comparison of conventional and inverted organic photovoltaic performance parameters with varying metal electrode surface workfunction,* **Sol. Energy Mater. Sol. Cells,** 120 (2014) 572-583.

[8] G. Dennler, K. Forberich, T. Ameri, C. Waldauf, P. Denk, C. J. Brabec, *Design of efficient organic tandem cells: On the interplay between molecular absorption and layer sequence,* **J. Appl. Phys.** 102 (2007) 123109-6.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]