بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

عملکرد اپتیکی سلول خورشیدی آلی مبتنی بر پایه PEDOT:PSS/CuPC/C60 و PEDOT:PSS/ZnPC/C60

مهناز قاضی، علی‌اصغر شکری

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده - در این مقاله، با استفاده از مدل اپتیکی نرم‌افزار شبیه‌ساز Gpvdm مبتی بر روش ماتریس انتقال عملکرد اپتیکی سلول خورشیدی آلی مبتنی بر پایه PEDOT:PSS/CuPC/C60 و PEDOT:PSS/ZnPC/C60 را بررسی کرده‌ایم. وابستگی کمیت‌های تراکم و جذب فوتونها، چگالی جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز و همچنین بازده تبدیل توان و عامل پرشدگی به ضخامت لایه‌های فعال محاسبه شده است. نتایج محاسباتمان نشان می‌دهد که مقادیر کمیت‌های مذکور برای ضخامت بهینه ۳۰nm لایه فعال CuPC بیشتر از ضخامت بهینه ۱۵nm لایه فعال ZnPC است به طوری که ساختار نامتجانس بر پایه فتالوسیانین مس می‌تواند به عنوان سلول خورشیدی با عملکرد بهتری معرفی می‌شود. نتایج این مقاله ممکن است در طراحی ادوات اپتوالکترونیکی و سلول خورشیدی آلی مفید باشد.

کلید واژه- بازده تبدیل توان، تراکم و جذب فوتونها، چگالی جریان اتصال کوتاه، سلول خورشیدی آلی

Optical performance of an organic solar cell based on PEDOT: PSS/CuPC/C60 and PEDOT: PSS/ ZnPC/C60

Mahnaz Gahazi, Aliasghar Shokri

Department of physics, Payam Noor University (PNU), P.O.Box 19395-3697, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, using optical model of Gpvdm simulator software based on the transfer matrix, we have investigated the optical performance of organic solar cell based on PEDOT: PSS/CuPC/C60 and PEDOT:PSS/ZnPC/C60. The active layer thickness dependence of the density and photon absorption, short circuit current density, the feedback-voltage, the efficiency of the power conversion and filling factor are calculated. The results indicate that the measured values of all the parameters mentioned above for the optimum thickness of 30 nm of the active layer of CuPC are greater than the optimal thickness of 15 nm of the active layer ZnPC have been. Our results may have important applications for building blocks in the organic solar cell and optoelectronic devices

Keywords: Power conversion, Photon density and absorption, Short circuit current density, Organic solar cell

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

مقدمه

در دهه‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای توسعه سلول‌های خورشیدی در جهت کاهش هزینه‌های ساخت و افزایش بازده آنها صورت گرفته است. این تلاش‌ها به دنبال استفاده از فرآیندهایی بوده‌اند که به دمای فرآیند بالا، زمان‌های طولانی فرآیند و زیر لایه‌های سخت و گران‌قیمت نیازی نداشته باشند. در این میان، فتالوسیانین‌های فلز مد نظر است، که در این مقاله سلول خورشیدی آلی را به صورت یک چندلایه‌ای نامتجانس شامل نیمرساناهای مختلف از نوع دهنده و گیرنده که به وسیله یک لایه میانی (لایه فعال) از نوع ماده آلی (فتالوسیانین) انتخاب می‌کنیم. با در نظر گرفتن عنصر مرکزی فتالوسیانین از نوع فلزات مختلف مانند مس و روی، بازده و کمیت‌های مختلف سلول خورشیدی (جریان مدار کوتاه، ولتاژ مدار باز، ضریب جذب و ضریب عامل پرشدگی) مورد بحث قرار می‌گیرد. در این مقاله، با استفاده از مدل اپتیکی نرم‌افزار شبیه-ساز Gpvdm، سلول خورشیدی با لایه‌های فعال ZnPC/c60 و CuPC/c60 مورد مطالعه قرارگرفته است.

مدل اپتیکی

مدل اپتیکی بر اساس روش ماتریس انتقال می‌باشد که اولین بار توسط پترسون و همکارانش بر روی سلول خورشیدی آلی مورد استفاده قرارگرفت [۱]. از آنجا که تعداد اکسایتون‌ها در یک موقعیت خاص در یک ساختار به‌طور مستقیم وابسته به انرژی جذب شده توسط مواد است می‌توان با درنظرگرفتن عمودی بودن نور فرودی, انرژی‌جذب شده درمکان x لایه فعال(لایه j) را توسط رابطه (۱) محاسبه نمود:

$$Q_{j(x,\lambda)} = \frac{1}{2} C \varepsilon_0 \alpha_j \eta_j \left| E_{j(x,\lambda)} \right|^2 , \alpha_j = \frac{4\pi k_j}{\lambda} \qquad (1)$$

این، به این معنی است که انرژی جذب شده در موقعیت x درساختار لایه‌ای متناسب با سرعت نور c و ε_0 ضریب‌گذردهی خلا و α_j ضریب‌جذب و η_j ضریب‌شکست لایه‌فعال و $\left| E_{j(x,\lambda)} \right|^2$ مربع میدان‌الکتریکی درون لایه فعال است. تعداد اکسایتون‌های ایجادشده در یک لایه متناسب با تعداد فوتون های جذب شده است و از اینرو، $\left| E_{j(x,\lambda)} \right|^2$ به‌طور مستقیم نشان‌دهنده تولید اکسایتون‌های تولیدشده در هر نقطه است. آهنگ تولید اکسایتون با معادله (۲) داده می‌شود [۲]:

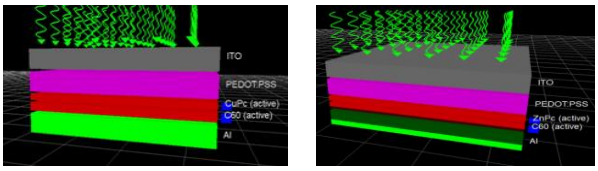
$$G_{j(x)} = \frac{1}{hc} \int_{350}^{800} Q_{j(x,\lambda)} \lambda d\lambda \qquad (2)$$

در این رابطه، h ثابت پلانک، c سرعت نور و λ طول موج نور فرودی می‌باشند. در حالت ایده‌آل می توان با جمع تمامی اکسایتون‌ها در ناحیه فعال، به رابطه بیشترین چگالی جریان اتصال کوتاه دست پیدا کرد. بنابراین، چگالی جریان اتصال کوتاه ایجادشده از رابطه(۳) محاسبه می‌شوند [۳].

$$J_{sc} = e \int G_{j(x)} dx \qquad (3)$$

بررسی نتایج

دو نوع ساختار بکار برده شده در شکل (۱) نمایش داده شده است:



شکل۱ :ساختارسلول خورشیدی آلی متشکل ازلایه فعال CuPC/C60 و ZnPC/C60

جدول۱: مقایسه پارامترهای اپتیکی ساختارA با ضخامت ۳۰nm و ساختار B با ضخامت۱۵nm

Device	Thickness (nm)	FF	PCE (%)	V_{OC} (V)	J_{sc} (Am^{-2})
A	30	0.733	13.086	0.841	-211.94
B	15	0.700	9.315	0.721	-184.19

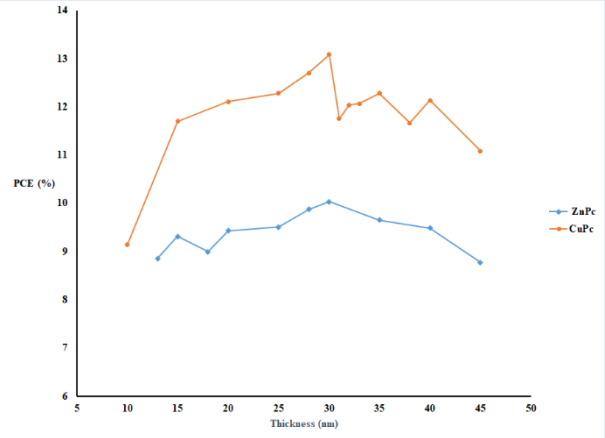
ثابت‌های اپتیکی (n, k) لایه‌های CuPc, c60, ZnPc ازمراجع استخراج شده است [۴ و ۵]. ابتدا برای یافتن ضخامت بهینه ،نمودار چگالی جریان مدار کوتاه برحسب

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

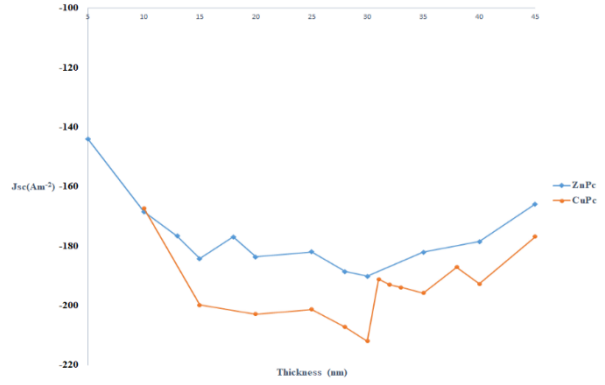
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

ضخامت را برای سلول با لایه فعال CuPc/c60 (ساختارA) و لایه فعال ZnPc/c60 (ساختارB) بدست آورده‌ایم (شکل۲ ببینید).

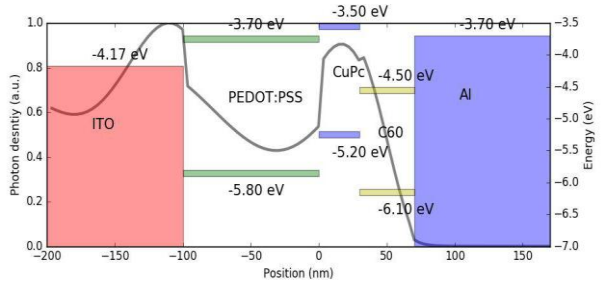
در ابتدا توسط نرم افزار شبیه ساز Gpvdm[1] که اساس محاسبات عددی این شبیه ساز برمبنای روش نیوتن رافسون و مبنای محاسبات اپتیکی و الکتریکی آن براساس روش پترسون می‌باشد.ضخامتهای بهینه رابرای بیشترین بازده تبدیل توان دوساختار محاسبه نموده ایم و سپس مقایسه بین پارامترهای اپتیکی را انجام داده ایم.با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۱ مشاهده می‌شود که مقادیر تمام پارامترهای به دست آماده از دستگاه A با ضخامت بهینه ۳۰ nm بالاتر از دستگاه B با ضخامت بهینه ۱۵nm می‌باشد. نحوه تغییر بازده تبدیل توان برحسب ضخامت لایه فعال در شکل ۲ ارائه شده است. البته لازم به ذکر است که در ضخامت ۱۵nm و ۳۰nm در لایه فعال ZnPc قله بازده داریم که بالاترین بازده در ضخامت ۳۰nm لایه ZnPc رخ داده است اما به علت بالارفتن احتمال بازترکیب در این ضخامت ما دستگاه شبیه‌ساز gpvdm را با ضخامت ۱۵nm تنظیم نمودیم. باتوجه به شکل۳ مشاهده می-کنیم که روند کاهش و افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه در هردو ساختار در ضخامت‌های مشابه, یکسان می‌باشد و در هردو ساختار در ضخامت ۱۰nm بیشترین چگالی جریان اتصال کوتاه را داریم ودرضخامت ۳۰ nm کمترین مقدار چگالی جریان اتصال کوتاه را داریم. با توجه به اینکه در این دو ساختار لایه های ZnPc و CuPc هردو نقش دهنده را بر عهده دارند با مقایسه شکل‌های ۴و۵ درمی‌یابیم که لایه CuPc نقش‌دهندگی خود را بهتر ایفا می‌نماید و تراکم فوتونها در این لایه ازدستگاه A بیشتر از لایه ZnPc ساختارB می‌باشد.



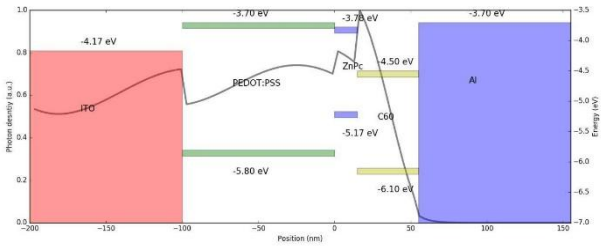
شکل ۲- بازده تبدیل توان برحسب ضخامت‌های دو ساختار A وB



شکل۳- چگالی جریان اتصال کوتاه برحسب ضخامت دو ساختار A وB



شکل۴- نمودار تراکم فوتون درتمامی لایه‌های دستگاه A



شکل۵- نمودار تراکم فوتون درتمامی لایه‌های دستگاه B

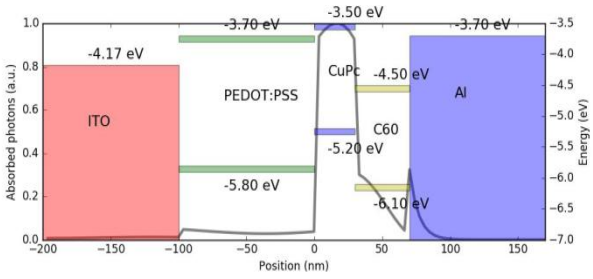
با مقایسه شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می کنیم که ماکزیمم جذب چگالی فوتونها در CuPc وZnPc هردو در ۱ می‌باشد

[1] General-purpose Photovoltaic Device Model (gpvdm)

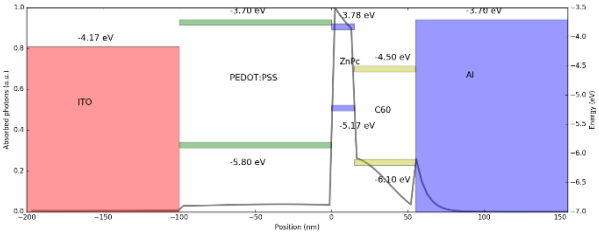
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

اما با این تفاوت که در CuPc نمودار تقریباً دراین محدوده به صورت سهمی می‌باشد اما در ZnPc به صورت خطی با یک نقطه ماکزیمم می‌باشد و سپس به شدت نزولی می‌گردد. طبق نمودارهای مربوطه به نظر می‌رسد که جذب فوتون‌ها در CuPc بیشتر می‌باشد.



شکل۶- نمودار جذب فوتون در تمامی لایه‌های دستگاه A



شکل۷- نمودار جذب فوتون در تمامی لایه‌های دستگاه B

نتیجه گیری

درد این مقاله، عملکرد سلول خورشیدی آلی با استفاده از نرم-افزار شبیه‌ساز gpvdm که اساس کار آن روش ماتریس انتقال می‌باشد بررسی گردید. پارامترهایی چون ولتاژ مدار باز و چگالی جریان اتصال کوتاه و عامل پرشدگی و بازده تبدیل توان در ساختار A با ضخامت ۳۰nm نانومتر دارای مقادیر بالاتری از ساختار B با ضخامت۱۵nm می باشد. زیرا با این حال که ساختار A در لایه دهنده خود دارای گاف انرژی بزرگتری می-باشد اما نسبت به لایه دهنده ساختار ,B دارای تراکم فوتونی و جذب فوتونی بهتری می‌باشد. در ادامه کار، از داده‌های این مقاله برای بحث در مورد پارامترهای فتوولتائیک(ولتاژ مدار باز، فاکتور پرشوندگی، بازده تبدیل توان) این دو ساختار می‌توان استفاده نمود.

سپاسگزاری

از آقای مهندس هاشم حجتی‌راد به خاطر راهنمایی‌هایشان تشکر و قدردانی می‌کنیم.

مرجع‌ها

[1] 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.

[2] 2. Albrecht S., Schafer S., Lange I., Yilmaz S., Dumsch I.,Allard S., Scherf U., Hertwig A., Neher D., Lightmanagement in PCPDTBT :PC70BM solar cells: Acomparison of standard and inverted device structures,

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

[4] 4. Monestier, F., Simon, J.-J., Torchio, P., Escoubas, L., Ratier, B., Hojeij, W., Lucas, B., Moliton, A., Cathelinaud, M., Defranoux, C., Flory, F. (2008). Optical modeling of organic solar cells based on CuPc and C_60. Applied Optics, 47(13), C251-C256.

[5] 5.Senthilarasu, S., Velumani, S., Sathyamoorthy, R., Subbarayan, A., Ascencio, J. A., Canizal, G., Sebastian, P. J., Chavez, J. A., Perez, R. (2003). Characterization of zinc phthalocyanine (ZnPc) for photovoltaic applications. Applied Physics A: Materials Science & Processing, 77(3-4), 383–389.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

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