تأثیر نانوذرات پلاسمونیکی بر کارایی سلول‌های فوتوولتاییک پلیمری

سیده محبوبه موسوی‌فر[۱]، محسن قاسمی[۱،۲*]، غلامحسین حیدری[۳]

[۱]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد
[۲] مرکز پژوهشی نانو فناوری، دانشگاه شهرکرد
[۳]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ملایر
Email: ghasemi.mohsen@sci.sku.ac.ir
m.mosavifar642@gmail.com

چکیده- در این مقاله، اثر نانوذرات پلاسمونیکی بر کارایی سلول‌های فتوولتاییک آلی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور سلول-های فوتوولتاییک پلیمری در حالت متعارف و در حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره با ساختارهای *ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/BCP/LiF/Al* و *ITO/PEDOT:PSS/Ag/P3HT:PCBM/BCP/LiF/Al* ساخته شدند. برای بهبود خواص پلاسمونیکی نقره پس از لایه‌نشانی، عملیات حرارت‌دهی در دو دمای متفاوت ۱۸۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس انجام گردید. پارامترهای فوتوولتاییک سلول‌ها تعیین و نقش نانو ذرات پلاسمونیکی نقره بر عملکرد سلول تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره باعث افزایش جذب لایه فعال سلول شده و درنتیجه بازده سلول‌های فوتوولتاییک پلیمری را بهبود می‌بخشد.

کلید واژه- بازده جذب، پلاسمونیک، سلول فوتوولتاییک پلیمری، نانو ذرات نقره

The effect of plasmonic nanoparticles on the performance of polymeric photovoltaic cells

Sayyideh Mahboubeh Mousavifar[1], Mohsen Ghasemi[1,2*], Gholamhosain Haidari[3]

[1]Department of Physics, Faculty of Sciences, Shahrekord University
[2]Nanotechnology Research Center, Shahrekord University
[3]Department of Physics, Faculty of Sciences, Malayer University

Abstract- In this paper, the effect of plasmonic nanoparticles on performance of organic photovoltaic cells has been investigated. For this purpose, polymer photovoltaic cells were fabricated in the conventional structure as well as the presence of silver plasmonic nanoparticles, with the structures ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/BCP/LiF/Al and ITO/PEDOT:PSS/Ag/P3HT:PCBM/BCP/LiF/Al ,respectively. In order to enhance the plasmonic properties of the Ag, after deposition, heat treatment was performed at two different temperatures of 180 ˚C and 120 ˚C. The photovoltaic parameters of the cells were determined and the role of silver plasmonic nanoparticles on the performance of the cell was analyzed. The results show that the presence of silver plasmonic nanoparticles increases the absorption of active layer and, consequently, improves the efficiency of the polymer photovoltaic cells.

Keywords: Absorption efficiency, Plasmonic, polymer photovoltaic cell, Silver Nanoparticle

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-21]

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

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر با بروز بحران‌های زیست محیطی و همچنین کاهش منابع انرژی تجدیدناپذیر، توسعه فناوری سلول‌های فتوولتاییک به عنوان منابع جدید تولید جریان الکتریکی از نور مورد توجه قرار گرفته است. سلول‌های فتوولتاییک آلی بدلیل سهولت ساخت، روش‌های متنوع ساخت، هزینه ی کم ساخت و امکان تولید بر روی بستره‌های انعطاف پذیر و در مساحت‌های بزرگ توجه محققان و صنایع زیادی را به خود جلب کرده است. سلول فتوولتاییک ارتقاء یافته با نانو ذرات پلاسمونیکی، نسل جدید سلول‌های فتوولتاییک است که با افزوده شدن نانوذرات فلزی با استفاده از فرآیندهای متنوع باعث گیراندازی نور در سلول، افزایش جذب نور فرودی و درنتیجه افزایش تولید الکتریسیته توسط سلول فتوولتاییک می‌شود. در سلول‌های فتوولتاییک فرایند تبدیل نور به جریان الکتریکی شامل جذب فوتون، تولید اکسایتون، جدایش اکسایتون و ترابرد بار به سمت الکترودها در لایه فعال سلول رخ می‌دهد[۱]. در این پژوهش ابتدا سلول فوتوولتاییک پلیمری متعارف، با پیوند ناهمگون حجمی با لایه فعال P3HT:PCBM در حضور لایه‌های میانگیر انتقال دهنده حفره و سد کننده اکسایتونی تهیه و سپس سلول ارتقاء یافته با حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره ساخته گردید. در ادامه به بررسی و تجزیه تحلیل نقش پلاسمونیکی نانوذارت نقره بر عملکرد سلول فوتوولتاییک پلیمری پرداخته شد.

۲- مواد و روش

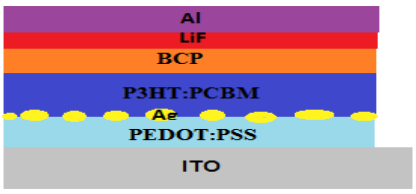
به منظور بررسی اثر نانوذرات پلاسمونیکی نقره در سلول فتوولتاییک آلی پلیمری، دو ساختار زیر را در نظر گرفتیم:

ساختار (۱):

ITO/ PEDOT:PSS /P3HT:PCBM/BCP/LiF/Al

ساختار (۲):

ITO/PEDOT:PSS/Ag/P3HT:PCBM/BCP/LiF/Al



شکل۱: ساختار نوعی سلول خورشیدی با نانوذرات پلاسمونیکی نقره.

شکل ۱ طرح نمادین از ساختار سلول فوتوولتاییک تحت مطالعه در حضور نانوذرات نقره را نشان می‌دهد. در ساخت سلول فوتوولتاییک پلیمری بدون حضور نانوذرات با ساختار (۱) ابتدا لایه‌های تجاری در دسترس ITO را به‌عنوان آند با مقاومت سطحی ۱۵ Ω/sq با استفاده از اسید کلریدریک سونش دادیم. سپس فرآیند شست و شو با استفاده از استون، ایزو-پروپانول، اتانول و آب دیونیزه، برای هر کدام به مدت ۵ دقیقه درون دستگاه آلتراسونیک انجام شد. در ادامه لایه انتقال دهنده حفره PEDOT:PSS با روش لایه‌نشانی چرخشی با سرعت چرخشی ۳۲۰۰ دور بر دقیقه و زمان چرخش ۴۰ ثانیه لایه نشانی گردید. پس از لایه‌نشانی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۰ °C عملیات بازپخت انجام شد. برای تهیه نسبت ۱:۱ از P3HT:PCBM، ۰/۰۱۷ g از P3HT در ۱ mL دی کلروبنزن و همچنین ۰/۰۱۷ g از PCBM در ۱ mL دی کلروبنزن مجزا از هم، به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۴۵ °C حل شد. پس از این مرحله، دو محلول به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط مخلوط شدند. پس از مراحل آماده سازی، P3HT:PCBM با روش لایه‌نشانی چرخشی با سرعت چرخشی ۱۲۰۰ دور بر دقیقه و زمان چرخشی ۶۰ ثانیه لایه نشانی شد. جهت افزایش ضخامت لایه جاذب P3HT:PCBM لایه‌نشانی در دو مرحله پشت سرهم دو مرتبه تکرار گردید. سپس به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۵۰°C نمونه مورد بازپخت قرار گرفت. لایه BCP به عنوان سد کننده اکسیتونی با ضخامت ۱۱ nm و سپس LiF با ضخامت ۱/۲ nm و در نهایت کاتد Al با ضخامت ۱۰۰nm به روش تبخیر حرارتی لایه‌نشانی گردیدند. به منظور بررسی اثر نانوذرات پلاسمونیکی بر عملکرد سلول خورشیدی مورد نظر در ساختار (۲)، با استفاده از دستگاه تبخیر حرارتی نقره در فشار نهایی 5×10^{-5} mbar با آهنگ انباشت ۰/۰۵ nm/s به ضخامت اسمی ۴ nm بر روی لایه ITO/PEDOT:PSS لایه‌نشانی شد. جهت بهره‌وری از خاصیت پلاسمونیکی نقره پس از لایه‌نشانی ملزم به حرارت‌دهی هستیم. این فرآیند در دو دمای مختلف بالا و پایین انجام می‌شود تا نقره تحت تأثیر خاصیت تجمع پذیری، از حالت نزدیک به لایه‌ای یکنواخت خارج شود و

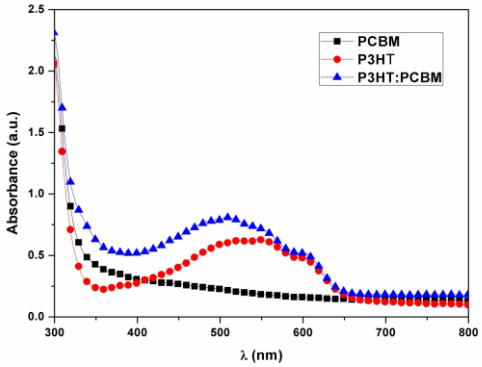
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-21]

به حالت نزدیک به نانوذرات مجزا بیشتر تبدیل گردد. بنابراین در کوره در شرایط خلأ ابتدا به مدت ۱۵۰دقیقه در دمای بالای ۱۸۰°C و سپس به مدت ۱۸۰ دقیقه در دمای پایین ۱۲۰°C مورد بازپخت قرار گرفت. پس از این مراحل لایه سدکننده اکسیتونی BCP و کاتد LiF/Al انباشت گردیدند. همه شرایط آزمایش برای دو ساختار یکسان در نظر گرفته شد.

۳- بحث و نتایج

طیف جذب PCBM، P3HT و P3HT:PCBM در شکل ۲ نشان داده شده است. P3HT دارای باند جذب گسترده و قوی در طول موج ۴۰۰ تا nm ۶۵۰ است و PCBM دارای جذب قوی در محدوده فرابنفش با طول موج ۳۰۰ تا nm ۳۵۰ است. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود پس از مخلوط کردن PCBM و P3HT، مقدار جذب در ناحیه جذبی P3HT و در ناحیه جذب اشعه ماوراء بنفش PCBM تقویت می‌شود، که به علت برهم‌نهی جذب و اثر ناهمگونی PCBM و P3HT است[۲].

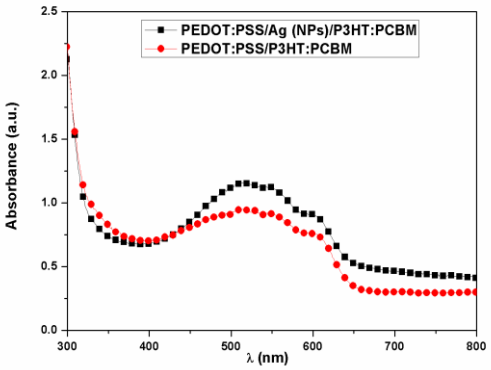


شکل ۲: طیف جذب P3HT، PCBM و P3HT:PCBM برحسب طول موج

به منظور نشان دادن بهبود کارایی سلول فوتوولتاییک دارای نانوذرات پلاسمونیکی، طیف جذب با حضور نانوذرات نقره و بدون حضور آن‌ها مطالعه شد. شکل ۳ مقایسه طیف جذب دو ساختار زیر را نشان می‌دهد:

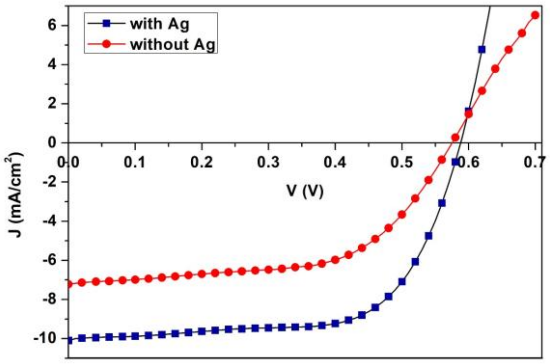
ITO/PEDOT:PSS/Ag/P3HT:PCBM
ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM

با مقایسه دو منحنی، شدت جذب در حضور نانو ذرات پلاسمونیکی نقره به طور واضح افزایش یافته است. همچنین در ساختار لایه پلیمری، تحرک‌پذیری حفره‌ها در لایه فعال پلیمر: فولرین کمتر از الکترون‌هاست. این بدین معناست که حفره‌ها آهسته‌تر از الکترون‌ها به فصل مشترک‌ها می‌رسند. از سوی دیگر، میدان الکتریکی موضعی در مجاورت نانوذرات نقره که با تشدید پلاسمون-های سطحی موضعی نانوذرات ایجاد می‌شود، با افزایش فاصله از ذره، کاهش می‌یابد. بنابراین، حفره‌های نزدیک به فصل مشترک بین لایه‌های میانگیر و فعال می‌توانند از میدان الکتریکی قوی‌تری بهره‌مند شوند و باعث تسریع در انتقال حفره‌ها به آند می‌شود.



شکل۳: طیف جذب لایه‌های میانگیر و فعال با حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره و بدون حضور آن‌ها

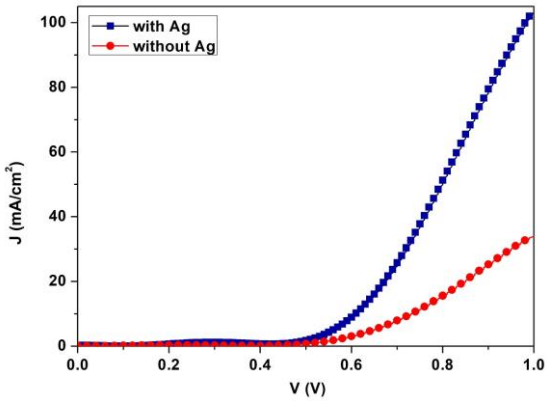
اثرات ناشی از حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره و عدم حضور آن‌ها در منحنی مشخصه J-V در حالت روشنایی، تحت تابش با شدت ۱۰۰ mW/cm^2 در استاندارد AM ۱/۵، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: منحنی مشخصه چگالی جریان- ولتاژ، با حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره و بدون حضور آن‌ها تحت روشنایی

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-21]



شکل ۵: منحنی مشخصه چگالی جریان- ولتاژ، با حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره و بدون حضور آن در تاریکی.

پارامترهای فوتوولتاییک این دو سلول در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات سلول‌های فوتوولتاییک

شماره سلول	مشخصه ی سلول	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (V)	η_P (%)	FF (%)
۱	سلول متعارف	۷/۲۲	۰/۵۷	۲/٤۰	۵۸/۳
۲	سلول دارای نانوذرات پلاسمونیکی	۱۰/۱۰	۰/۵۸	۳/۸۸	٦٦/۲

از مقایسه پارامترهای فوتوولتاییک مربوط به این دو ساختار در می‌یابیم که با اضافه کردن نانو ذرات نقره در سلول‌های فتوولتاییک پلیمری P3HT:PCBM، مقدار جریان مدار کوتاه (J_{sc}) از مقدار ۷/۲۲ به ۱۰/۱ (mA/cm^2) و ضریب پرشدگی (FF) از مقدار ۵۸/۳٪ به ۶۶/۲٪ افزایش می‌یابد. همان‌گونه که دیده می‌شود با توجه به ضریب پرشدگی، سلول شماره ۲ از رفتار دیودی مناسب‌تری نسبت به سلول ۱ برخوردار است. با توجه به شیب نمودار شکل ۴ برای مقادیر J_{sc} و V_{oc} مقاومت سری سلول ۲ کاهش یافته و مقاومت موازی آن افزایش یافته است. این تغییرات می‌تواند به علت اثرات اپتیکی نزدیک و دور میدانی منتج شده از نانوذرات نقره ایجاد شده باشد که باعث افزایش بازده جذب و تولید اکسیتون‌های بیشتر در سلول می‌شود. این عمل به طور مستقیم به افزایش جریان فوتونی کمک می‌کند و درنتیجه منجر به کارایی بهتر سلول‌های فوتوولتاییک آلی پلیمری می‌شود[۳و۲].

منحنی مشخصه چگالی جریان- ولتاژ سلول‌ها در وضعیت تاریکی نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. چنانچه از شکل پیداست تزریق حامل بار درون سلولی که دارای نانوذرات نقره است به شکل مؤثرتری انجام می‌شود به طوری‌که در ولتاژ اعمالی ۱ ولت، جریان سلول در حدود ۵ برابر سلول بدون نانوذرات نقره است که اهمیت بررسی اثرهای الکترونیکی منتج از نانوذرات نقره در کنار اثرات اپتیکی و اهمیت آنها را نشان می دهد[۴].

۴- نتیجه‌گیری

عملکرد سلول فتوولتاییک آلی پلیمری در حضور نانوذرات پلاسمونیکی نقره و بدون حضور نانوذرات بررسی شد. از آنجایی که میدان الکتریکی ایجاد شده در حضور نانوذرات پلاسمون‌های سطحی موضعی با فاصله از فصل مشترک کاهش می‌یابد، مناسب‌ترین مکان برای لایه‌نشانی نانوذرات نقره و بهره‌مندی از خواص آن در حد فاصل بین لایه میانگیر PEDOT:PSS و لایه فعال P3HT:PCBM می‌باشد. پس از مشخصه‌یابی و بررسی پارامترهای سلول فوتوولتاییک پلیمری، نتایج نشان می‌دهد حضور نانوذرات نقره به‌دلیل تشدید پلاسمون‌های سطحی موضعی باعث افزایش جذب نور در مقایسه با سلول بدون حضور نانوذرات نقره می‌شود که در نتیجه آن تولید اکسیتون بیشتر و افزایش جریان مدار کوتاه و به طور کلی افزایش کارایی سلول را به همراه دارد.

مراجع

[1] S. Gunes, H. Neugebauer, N.S. Sariciftci, Organic Solar Cells: Device Physics, Processing, Degradation, and Prevention, *Chem. Rev.*, Vol. 107, No. 4, pp. 1324–1338, 2007.

[2] J. Mulleroa, M. Kaiser, V. Nadazdy, P. Siffalovic, E. Majkova, Optical absorption study of P3HT:PCBM blend photo-oxidation for bulk heterojunction solar cells, Solar Energy, vol.134 , No.4, p. 314, 2016.

[3] D. Qu, F. Liu, Y. Huang, W. Xie, Q. Xu, Mechanism of optical absorption enhancement in thin film organic solar cells with plasmonic metal nanoparticles, Optical Society of America., Vol. 19, No.24, pp. 24795-24803, 2011.

[4] J. Blakesley, D. Neher, Relationship between energetic disorder and open-circuit voltage in bulk heterojunction organic solar cells, Phys. Rev. B, vol.84, No. 7, p. 210, 2011.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-21]