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

افزایش بازدهی سلول خورشیدی لایه‌نازک سیلیکونی با بهره‌گیری از خواص پلاسمونی فلزات

فاطمه جعفری[۱]، محمدرضا رخشانی[۲] و محمدعلی منصوری بیرجندی[۳]

[۱]موسسه آموزش عالی هاتف، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (fateme.jaafari@gmail.com)
[۲]دانشگاه زابل، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (mrakhshani@uoz.ac.ir)
[۳]دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گروه مهندسی برق و الکترونیک (mansouri@ece.usb.ac.ir)

چکیده - به دلیل کاهش قیمت سلول خورشیدی ضخامت لایه فعال آن را کم می‌کنند. ولی این امر منجر به کاهش جذب نور مخصوصاً در طول موج‌های بلند خواهد شد. یکی از روش‌های افزایش جذب و بازدهی سلول خورشیدی، استفاده از نانوذرات فلزی و بهره بردن از اثر تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده می‌باشد. در این مقاله سعی شده است با قرار دادن آرایه نانوذرات نقره روی اکسید زینک (ZnO) در سلول خورشیدی لایه‌نازک با لایه فعال سیلیکون بی‌شکل (a-Si)، جذب و درنتیجه بازدهی سلول خورشیدی را افزایش داد. همچنین ضمن مقایسه با سایر آرایه‌های مستطیلی، مثلثی و نیم استوانه، نشان داده خواهد شد نانوذرات نقره باعث افزایش بازدهی بیشتری خواهند شد. در آخر پارامترهای اساسی سلول خورشیدی طراحی شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

کلید واژه- سلول خورشیدی لایه‌نازک، نانوذرات فلزی، تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده، بازدهی.

Efficiency Enhancement in Thin Film Silicon Solar Cell Using the Plasmonic Properties of Metals

Fatemeh Jaafari[1], Mohammad Reza Rakhshani[2] and Mohammad Ali Mansouri-Birjandi[3]

[1]Faculty of Engineering, Hatef Higher Education Institute, Zahedan
[2]Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol
[3]Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan

Abstract- In order to reduce the solar cell price, the active layer thickness has been decreased, but this reduces the absorption of light, especially at high wavelengths. One of the ways to increase the absorption and efficiency of solar cells is to use metal nanoparticles and to benefit from the effect of surface plasmon resonance. In this paper, we have tried to increase the absorption and efficiency of the solar cell by placing the silver nanoparticles on zinc oxide (ZnO) layer in a solar cell with an activate layer of amorphous silicon (a-Si). Also, compared to rectangular, triangular and semi-cylindrical arrays, it is shown that silver nanoparticles will increase the efficiency further. Finally, the basic parameters of the proposed solar cell are examined.

Keywords: Thin film solar cell, Metallic nanoparticle, Localized surface plasmon resonance, Efficiency

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

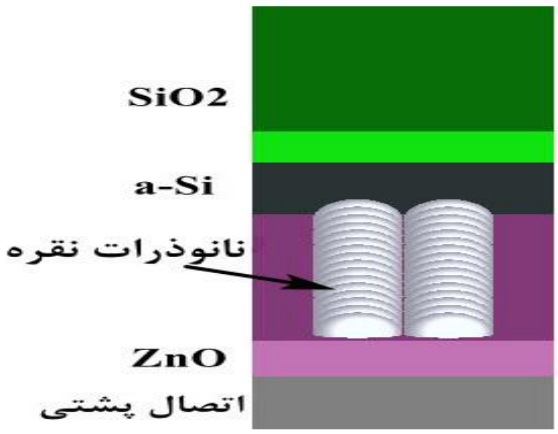
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

مقدمه

به دلیل اهمیت مسائل زیست‌محیطی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، توجه جامعه جهانی به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ازجمله انرژی خورشیدی جلب شده است. با استفاده از سلول خورشیدی می‌توان انرژی خورشیدی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل کرد [۱]. با کاهش ضخامت لایه فعال و استفاده از نانوذرات فلزی جهت افزایش بازدهی، می‌توان هزینه ساخت سلول خورشیدی را کاهش داد [۲و۳]. هدف ما در این تحقیق استفاده از نانوذرات فلزی برای ایجاد پلاسمون سطحی جایگزیده در سلول خورشیدی لایه نازک و در نتیجه افزایش بازدهی آن می‌باشد.

طراحی ساختار و شبیه‌سازی

در شکل۱، نمایی از ساختار سلول خورشیدی لایه‌نازک سیلیکونی که طراحی کرده‌ایم نشان داده شده است. در این طراحی لایه فعال از جنس سیلیکون بی‌شکل (a-Si) [۴] باضخامت ۵۰۰nm انتخاب شده است. اتصال پشتی از جنس نقره است و در قسمت بالای سیلیکون، اکسید سیلیکون (SiO_2) [۴] با ضخامت ۸۵nm به‌عنوان لایه ضد بازتاب و زیر سیلیکون اکسید زینک (ZnO) [۵] به عنوان لایه پراکننده نور با ضخامت ۱۰۰nm قرار گرفته است. نانوذرات نیم‌کره نقره[۶] در دو ردیف منظم بدون فاصله از یکدیگر و با دوره تناوب ۲۰۰nm روی Zno قرارداده شده‌اند. در این مقاله به بررسی جذب سلول خورشیدی پس از قرار دادن آرایه نانوذرات نقره به شعاع ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ نانومتر می‌پردازیم و نتایج حاصل را با آرایه‌های مستطیلی، مثلثی و نیم‌استوانه مقایسه می‌کنیم. منبع مورد استفاده یک منبع موج تخت با فرکانس ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار لومریکال نشان داده خواهد شد.



شکل۱: نمای سه بعدی ساختار سلول خورشیدی لایه‌نازک طراحی‌شده

شبیه‌سازی نوری و تحلیل نتایج

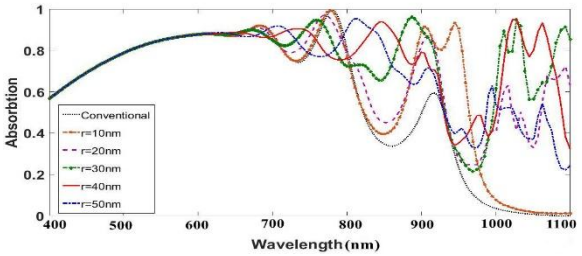
ابتدا به بررسی مقدار جذب سلول خورشیدی قبل و بعد از قرار دادن نانوذرات می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل۲ نشان داده شده است جذب سلول خورشیدی با قرار دادن نانوذرات نقره در طول موج‌های بلند افزایش یافته است و حداکثر مقدار آن برای نانوذرات با شعاع ۳۰ و ۴۰ نانومتر می‌باشد. چگالی جریان اتصال کوتاه به‌دست‌آمده در حالت پایه سلول خورشیدی (بدون آرایه نانوذرات) $۲۵/۶mA/cm^2$ و پس از قرار دادن نانوذرات نقره با شعاع ۳۰ و ۴۰ نانومتر به ترتیب mA/cm^2 ۳۲/۸۰ و mA/cm^2 ۳۳/۱۷ می‌باشد.

با بررسی شکل میدان الکتریکی در حالت پایه مطابق شکل۳ مشاهده می‌شود میدان الکتریکی بیشتر در سطح لایه جاذب می‌باشد ولی پس از اضافه کردن نانوذرات همان‌طور که در شکل۴ نشان داده شده است به دلیل تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده، میدان مغناطیسی

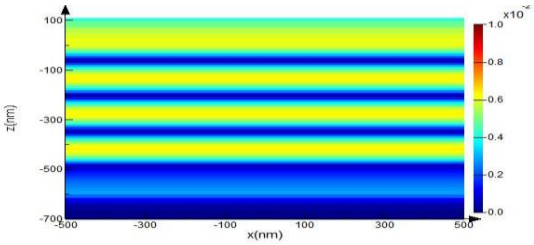
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

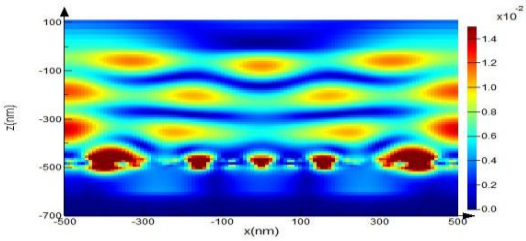
اطراف نانوذرات افزایش یافته و باعث افزایش تولید جفت الکترون–حفره و در نتیجه افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه می‌شود.



شکل۲: نمودار جذب سلول خورشیدی با آرایه نانوذرات نقره

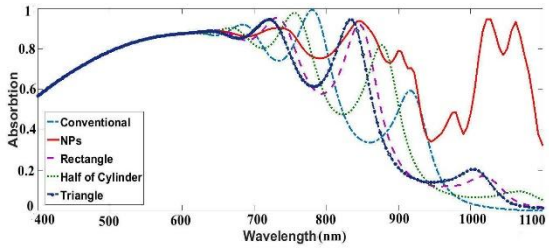


شکل۳: میدان مغناطیسی درسلول خورشیدی حالت پایه



شکل۴: میدان مغناطیسی در سلول خورشیدی پس از قرار دادن آرایه نانوذرات با شعاع ۴۰ نانومتر

یک روش افزایش جذب نور، استفاده از آرایه‌های مختلف در سطح زیرین سلول خورشیدی می‌باشد تا فوتون‌ها پس از برخورد به آن‌ها در جهات مختلف پراکنده‌شده و مسیر طولانی‌تری را در سلول طی کنند. این عمل باعث افزایش جذب فوتون‌ها در سلول خورشیدی می‌شود[۷]. برای مقایسه طیف جذب به‌دست‌آمده، آرایه‌های نیم‌استوانه، مستطیلی و مثلثی را به‌جای نانوذرات نقره با شعاع ۴۰نانومتر که حداکثر چگالی جریان اتصال کوتاه را تولید کرده است، قرار می‌دهیم. مشخصات آرایه‌های انتخاب شده مشابه آرایه نانوذرات نقره است. در شکل۵ طیف جذب سلول خورشیدی با آرایه‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هیچ‌کدام از آرایه‌هایی که در سطح زیرین سلول خورشیدی قرار گرفته‌اند مانند نانوذرات نقره افزایش چشمگیری در جذب فوتون مخصوصاً در طول‌موج‌های بلند نداشته‌اند.



شکل۵: طیف جذب سلول خورشیدی با آرایه‌های مختلف

چگالی جریان اتصال کوتاه که با آرایه‌های مختلف بدست‌آمده، در جدول ۱ بیان شده است.

جدول۱: چگالی جریان اتصال کوتاه با آرایه‌های مختلف

نوع آرایه	چگالی جریان(mA/cm^2)
حالت پایه(بدون آرایه)	۲۵/۶
نانوذرات نقره	۳۳/۱۷
مستطیلی	۲۶/۲۱
نیم استوانه	۲۶/۴
مثلثی	۲۶/۴۳

شبیه‌سازی الکتریکی و تحلیل نتایج

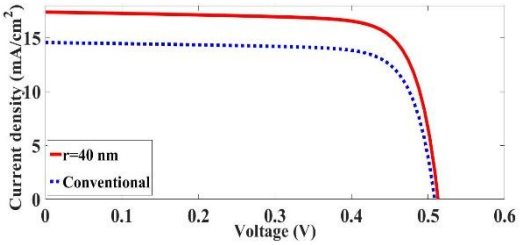
پس شبیه‌سازی نوری و بدست آوردن نرخ تولید الکترون –حفره در سلول می‌توان به شبیه‌سازی الکتریکی پرداخت. شکل ۶ منحنی ولتاژ–جریان و شکل ۷ منحنی توان خروجی سلول در حالت پایه و پس از قرار دادن آرایه نانوذرات نقره با شعاع ۴۰ نانومتر را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه از ۱۴/۵۶ به $17/39\ mA/cm^2$، توان تولیدی سلول نیز افزایش داشته است. در جدول ۲ سایر

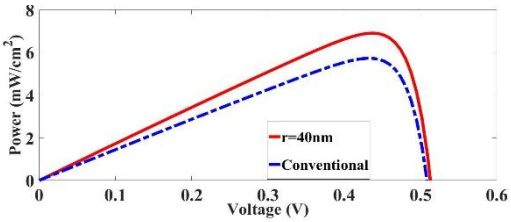
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

پارامترهای اصلی سلول طراحی شده پس از تحلیل الکتریکی را نشان داده شده است.



شکل۶: منحنی جریان- ولتاژ سلول خورشیدی



شکل۷: منحنی توان- ولتاژ سلول خورشیدی

چگالی جریان اتصال کوتاه این ساختار در مقایسه با ساختار مرجع [۸] که نانوذرات نقره را در روی اتصال پشتی قرار داده و افزایش ۱۴/۳۶ درصدی داشته است، با گذاشتن آرایه نانوذرات نقره روی ZnO افزایش ۱۹/۴۳ از خود نشان داده است.

جدول۲: پارامترهای اصلی سلول

حالت	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc}(V)	FF(%)	η(%)
حالت پایه	۱۴/۵۶	۰/۵	۷۷/۷۱	۵/۷
r= 40 nm	۱۷/۳۹	۰/۵۱	۷۷/۴	۶/۹

نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر استفاده از نانوذرات نقره بر میزان جذب نور در یک سلول خورشیدی لایه‌نازک مورد بررسی قرار گرفت. از روش تفاضل محدود در حوزه زمان برای شبیه‌سازی و بررسی نتایج استفاده شده است. قرار دادن دو ردیف آرایه نانوذرات نیم‌کره از جنس نقره بر روی لایه پراکننده نور ZnO، باعث افزایش ۱۹/۴ درصدی چگالی جریان اتصال کوتاه و افزایش ۲۱ درصدی بازدهی شده است زیرا تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده ایجاد شده در نانوذرات باعث افزایش تولید حامل‌ها و در نتیجه جریان تولید شده سلول خورشیدی می شود. پس می‌توان نتیجه گرفت نانوذرات ساختارهای مناسبی جهت افزایش بازدهی مخصوصاً در سلول‌های لایه‌نازک می‌باشند.

مرجع‌ها

[1] S. Galliano, et Al. “Finely tuning electrolytes and photoanodes in aqueous solar cells by experimental design,” Solar Energy, Vol. 163, pp. 251-255, 2018.

[2] K. Sahu, M. Dhonde, and V.V.S. Murty, “Efficiency of Solar Cells Based on Natural Dyes with Plasmonic Nanoparticle-Based Photo Anode,” International Journal of Nanoscience, p.1850042. 2018.

[3] A. Bahrami, and R. Faez, “Simulation analysis of inverted organic solar cells with grating structure: Undesirable effects of high absorption near grating anode,” Optik-International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 154, pp. 453-458, 2018.

[4] E. D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press, 1985.

[5] C. Stelling, C. R. Singh, M. Karg, T. A. F. König, M. Thelakkat, M. Retsch, “Plasmonic nanomeshes: their ambivalent role as transparent electrodes in organic solar cells,” Scientific reports, Vol. 7, pp. 42530, 2017.

[6] K. M. McPeak, S. V. Jayanti, S. J. Meyer, S. Iotti, A. Rossinelli, D. J. Norris, “Plasmonic films can easily be better: rules and recipes,” ACS photonics, Vol. 2, No. 3, pp. 326-333, 2015.

[7] H. Heidarzadeh, A. Rostami, M. Dolatyari, G. Rostami, “Plasmon-enhanced performance of an ultrathin silicon solar cell using metal-semiconductor core-shell hemispherical nanoparticles and metallic back grating,” Applied optics, Vol. 55, No. 7, pp. 1779-1785, 2016.

[8] X. Chen, B. Jia, J. K. Saha, N. Stokes, Q. Qiao,Y. Wang, Z. Shi, M. Gu, “Broadband enhancement in thin-film amorphous silicon solar cells enabled by nucleated silver nanoparticles,” Nano letters, Vol. 12, No. 5, pp. 1779-1785, 2012.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

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