



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 لایه نازک سیلیکونی با بهره‌گیری از خواص پلاسمونی فلزات

فاطمه جعفری<sup>۱</sup>، محمدرضا رخشانی<sup>۲</sup> و محمدعلی منصوری بیرجندی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>موسسه آموزش عالی هاتف، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (fateme.jaafari@gmail.com)

<sup>۲</sup>دانشگاه زابل، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (mrakhshani@uoz.ac.ir)

<sup>۳</sup>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 لایه نازک با لایه فعال سیلیکون بی‌شکل (a-Si)، جذب و در نتیجه 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.

کلیدواژه - سلول خورشیدی لایه نازک، نانوذرات فلزی، تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده، بازدهی.

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

Fatemeh Jaafari<sup>1</sup>, Mohammad Reza Rakhshani<sup>2</sup> and Mohammad Ali Mansouri-Birjandi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Hatef Higher Education Institute, Zahedan

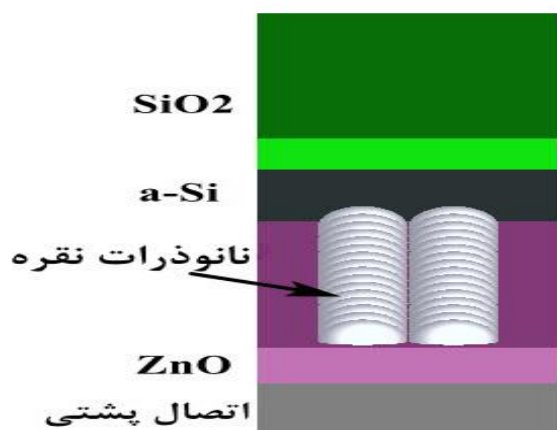
<sup>2</sup>Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol

<sup>3</sup>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

۱۱۰۰ نانومتر می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار لومریکال نشان داده خواهد شد.



شکل ۱: نمای سه بعدی ساختار سلول خورشیدی لایه نازک طراحی شده

## مقدمه

به دلیل اهمیت مسائل زیست‌محیطی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، توجه جامعه جهانی به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله 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 [۲ و ۳]. 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.

## شبیه‌سازی نوری و تحلیل نتایج

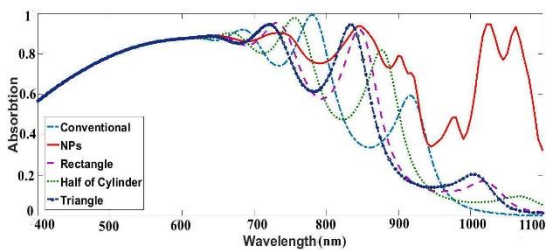
ابتدا به بررسی مقدار جذب سلول خورشیدی قبل و بعد از قرار دادن نانوذرات می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است جذب سلول خورشیدی با قرار دادن نانوذرات نقره در طول موج‌های بلند افزایش یافته است و حداکثر مقدار آن برای نانوذرات با شعاع ۳۰ و ۴۰ نانومتر می‌باشد. چگالی جریان اتصال کوتاه به دست آمده در حالت پایه سلول خورشیدی (بدون آرایه نانوذرات)  $25/6 \text{ mA/cm}^2$  و پس از قرار دادن نانوذرات نقره با شعاع ۳۰ و ۴۰ نانومتر به ترتیب  $32/80 \text{ mA/cm}^2$  و  $33/17 \text{ mA/cm}^2$  می‌باشد.

با بررسی شکل میدان الکتریکی در حالت پایه مطابق شکل ۳ مشاهده می‌شود میدان الکتریکی بیشتر در سطح لایه جذب می‌باشد ولی پس از اضافه کردن نانوذرات همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است به دلیل تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده، میدان مغناطیسی

## طراحی ساختار و شبیه‌سازی

در شکل ۱، نمایی از ساختار سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکونی که طراحی کرده‌ایم نشان داده شده است. در این طراحی لایه فعال از جنس سیلیکون بی‌شکل (a-Si) [۴] با ضخامت  $50 \text{ nm}$  انتخاب شده است. اتصال پشتی از جنس نقره است و در قسمت بالای سیلیکون، اکسید سیلیکون ( $\text{SiO}_2$ ) [۴] با ضخامت  $85 \text{ nm}$  به عنوان لایه ضد بازتاب و زیر سیلیکون اکسید زینک ( $\text{ZnO}$ ) [۵] به عنوان لایه پراکننده نور با ضخامت  $100 \text{ nm}$  قرار گرفته است. نانوذرات نیم‌کره نقره [۶] در دو ردیف منظم بدون فاصله از یکدیگر و با دوره تناوب  $200 \text{ nm}$  روی  $\text{ZnO}$  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

شده مشابه آرایه نانوذررات نقره است. در شکل ۵ 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 نانوذررات نقره افزایش چشمگیری در جذب فوتون مخصوصاً در طول موج‌های بلند نداشته‌اند.



شکل ۵: طیف جذب سلول خورشیدی با آرایه‌های مختلف

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

جدول ۱: چگالی جریان اتصال کوتاه با آرایه‌های مختلف

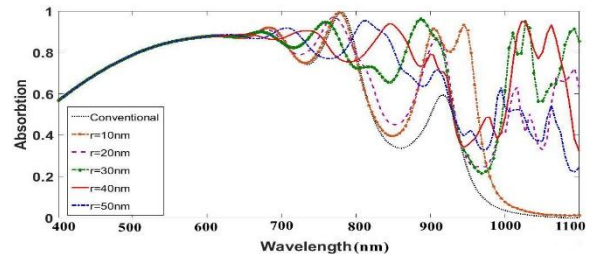
نوع آرایه	چگالی جریان (mA/cm <sup>2</sup> )
حالت پایه (بدون آرایه)	۲۵/۶
نانوذررات نقره	۳۳/۱۷
مستطیلی	۲۶/۲۱
نیم استوانه	۲۶/۴
مثلثی	۲۶/۴۳

### شبیه‌سازی الکتریکی و تحلیل نتایج

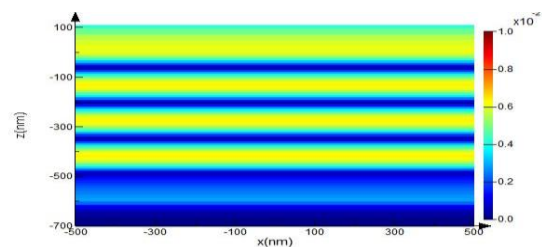
پس شبیه‌سازی نوری و بدست آوردن نرخ تولید الکترون -حفره در سلول می‌توان به شبیه‌سازی الکتریکی پرداخت. شکل ۶ منحنی ولتاژ-جریان و شکل ۷ منحنی توان خروجی سلول در حالت پایه و پس از قرار دادن آرایه نانوذررات نقره با شعاع ۴۰ نانومتر را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه از ۱۴/۵۶ به ۱۷/۳۹ mA/cm<sup>2</sup>، توان تولیدی سلول نیز افزایش داشته است. در جدول ۲ سایر

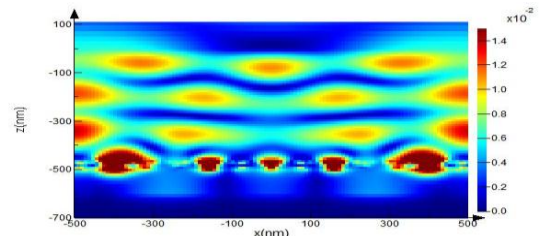
اطراف نانوذررات افزایش یافته و باعث افزایش تولید جفت الکترون-حفره و در نتیجه افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه می‌شود.



شکل ۲: نمودار جذب سلول خورشیدی با آرایه نانوذررات نقره



شکل ۳: میدان مغناطیسی در سلول خورشیدی حالت پایه



شکل ۴: میدان مغناطیسی در سلول خورشیدی پس از قرار دادن آرایه نانوذررات با شعاع ۴۰ نانومتر

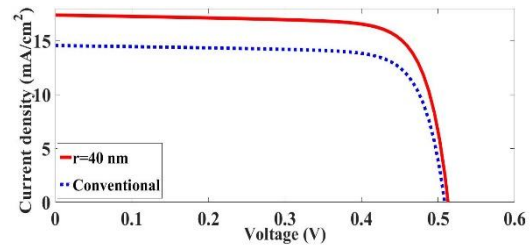
یک روش افزایش جذب نور، استفاده از آرایه‌های مختلف در سطح زیرین سلول خورشیدی می‌باشد تا فوتون‌ها پس از برخورد به آن‌ها در جهات مختلف پراکنده شده و مسیر طولانی‌تری را در سلول طی کنند. این عمل باعث افزایش جذب فوتون‌ها در سلول خورشیدی می‌شود [۷]. برای مقایسه طیف جذب به دست آمده، آرایه‌های نیم‌استوانه، مستطیلی و مثلثی را به جای نانوذررات نقره با شعاع ۴۰ نانومتر که حداکثر چگالی جریان اتصال کوتاه را تولید کرده است، قرار می‌دهیم. مشخصات آرایه‌های انتخاب

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 می توان نتیجه گرفت نانوذرات ساختارهای مناسبی جهت افزایش بازدهی مخصوصاً در سلول های لایه نازک می باشند.

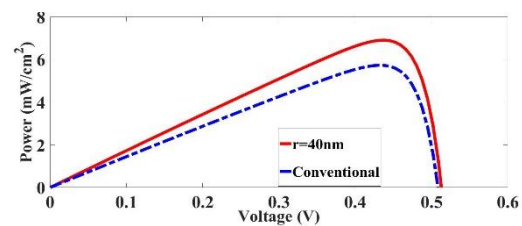
### مرجع ها

- [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.

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



شکل ۶: منحنی جریان - ولتاژ سلول خورشیدی



شکل ۷: 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.

جدول ۲: پارامترهای اصلی سلول

حالت	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF(%)	$\eta$ (%)
حالت پایه	۱۴/۵۶	۰/۵	۷۷/۷۱	۵/۷
$r=40\text{ nm}$	۱۷/۳۹	۰/۵۱	۷۷/۴	۶/۹

### نتیجه گیری

در این مقاله اثر استفاده از نانوذرات نقره بر میزان جذب نور در یک سلول خورشیدی لایه نازک مورد بررسی قرار گرفت. از روش تفاضل محدود در حوزه زمان برای شبیه سازی و بررسی نتایج استفاده شده است. قرار دادن دو ردیف آرایه نانوذرات نیم کره از جنس نقره بر روی لایه پراکننده نور ZnO، باعث افزایش ۱۹/۴ درصدی چگالی