

Investigation and Simulation of the Effect of Environment's Refractive Index on the Plasmonic Amorphous Silicon Solar Cell with Silver Ribbon Nanoplate

Esmaeel Sharif Kazemi¹, Saeed Olyaei*², Hamed Afkham³

Received: 2018.12.25

Accepted: 2020.01.25

Abstract

Solar cells have different efficiencies in different weather conditions and environments. Changing the environmental conditions leads to the change in the environmental refractive index. The change in the refractive index affects the efficiency of the solar cell. In this paper, we investigate and model the effect of changing the refractive index of the environment on a silicon solar cell with thickness of 500nm and silver ribbon nano-plates of width 25nm and height 50nm. We study the effect of refractive indices from 1 to 1.6 on the performance of the solar cell. The simulation results show that the best efficiency and absorption of plasmonic solar cell with silver ribbon nano-plates with width 25nm, height 50nm, and period 50nm are obtained in a refractive index of 1.2. The solar cell efficiency and fill factor are respectively evaluated as 12.45% and 83%. Finally, the open circuit voltage and short current density are calculated as 0.21V and 6.91mA/cm², respectively.

Keywords: *Solar cell, Silver Nano-Plates, Refractive Index, Ribbon, Fill Factor.*

¹ MSc Student, Faculty of Electrical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University (SRT-TU), Lavizan, 16788-15811, Tehran, Iran. Email: smail2421@chmail.ir

² Professor, Nano-photonics and Optoelectronics Research Laboratory (NORLab), Shahid Rajaei Teacher Training University (SRTTU), Lavizan, 16788-15811, Tehran, Iran. (Corresponding Author) Email: s_olyaei@srttu.edu

³ MSc Student, Faculty of Electrical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University (SRT-TU), Lavizan, 16788-15811, Tehran, Iran. Email: hamedafkham@gmail.com

دوفصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهرا
سال هشتم، پیاپی ۱۵، پاییز و زمستان ۱۳۹۷

بررسی و شبیه‌سازی تأثیر ضریب شکست محیط در سلول خورشیدی سیلیکونی آمورف پلاسمونی حاوی نانوصفحه ریونی نقره^۱

اسماعیل شریف کاظمی^۲، سعید علیانی^{۳*}، حامد افخم^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

چکیده

سلول‌های خورشیدی در محیط‌های مختلف و بسته به اینکه در چه شرایط آب و هوایی قرار می‌گیرند بازده و عملکرد متفاوتی دارند. تغییرات آب و هوا به تغییر ضریب شکست محیط می‌انجامد و عملکرد سلول خورشیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مقاله، تأثیر تغییرات ضریب شکست محیط در سلول خورشیدی سیلیکونی به ضخامت ۵۰۰ نانومتر و نانوصفحات ریونی نقره با عرض ۲۵ نانومتر و طول ۵۰ نانومتر شبیه‌سازی و مدل‌سازی شده است. تغییرات ضریب شکست محیط از ۱ تا ۱٫۶ در عملکرد سلول خورشیدی بررسی شده است. نتایج

^۱ DOI: 10.22051/jap.2019.23743.1110

^۲ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران ایران؛ smail2421@chmail.ir

^۳ استاد گروه الکترونیک، آزمایشگاه تحقیقاتی نانوفوتونیک و اپتوالکترونیک (NORLab) دانشکده مهندسی برق،

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی (نویسنده مسئول)؛ s_olyaee@srttu.edu

^۴ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران ایران؛

hamedafkham@gmail.com

شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بیشترین بازده و جذب سلول خورشیدی پلاسمونی با نانوصفحات ریون نقره با عرض ۲۵ نانومتر و طول ۵۰ نانومتر و دوره تناوب ۵۰ نانومتر در ضریب شکست ۱,۲ اتفاق می‌افتد. بازده سلول خورشیدی در این شرایط برابر ۱۲,۴۵٪ و ضریب پرشدگی حدود ۸۳٪ به دست آمد. همچنین نتایج شبیه‌سازی مقدار ولتاژ مدار باز و چگالی جریان اتصال کوتاه را به ترتیب ۰,۲۱ ولت و $۶,۹۱ \text{ mA/cm}^2$ نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: سلول خورشیدی، نانوصفحه نقره، ضریب شکست، ریون، ضریب پرشدگی.

۱. مقدمه

با توجه به توسعه صنایع و نیاز روزافزون بشر به انرژی الکتریکی و محدود بودن سوخت‌های فسیلی، گرایش به سمت سلول‌های خورشیدی در سال‌های اخیر رشد چشم‌گیری داشته است. از ساخت اولین سلول‌های خورشیدی تاکنون با توجه به پیشرفت‌های علم و فناوری نسل‌های مختلفی از سلول‌های خورشیدی در بازار ارائه شده است. یکی از انواع سلول‌ها، سلول‌های خورشیدی هستند که بر پایه سیلیکون آمورف ساخته شده و توسعه یافته‌اند. سیلیکون آمورف برخلاف سیلیکون بلوری شکاف انرژی مستقیم و ضریب جذب عالی دارد [۱].

از روش‌های بهبود سلول‌ها استفاده از ساختارهای پلاسمونی و نقاط کوانتومی است [۹-۱]. ساختارهای پلاسمونی با به دام انداختن نور باعث افزایش ضریب جذب و همچنین بازده تبدیل توان می‌شوند [۱]. به دام انداختن نور پلاسمونی از طریق عناصر فلزی به منظور افزایش کارایی سلول‌های خورشیدی است. استفاده از عناصر پلاسمونی نه تنها می‌تواند بهره‌وری سلول‌های خورشیدی را با به دام انداختن یا تمرکز نور در لایه جاذب بهبود بخشد، بلکه می‌تواند به مثابه یک الکتروود ضد بازتاب نیز به کار برده شود [۱۰، ۱۱].

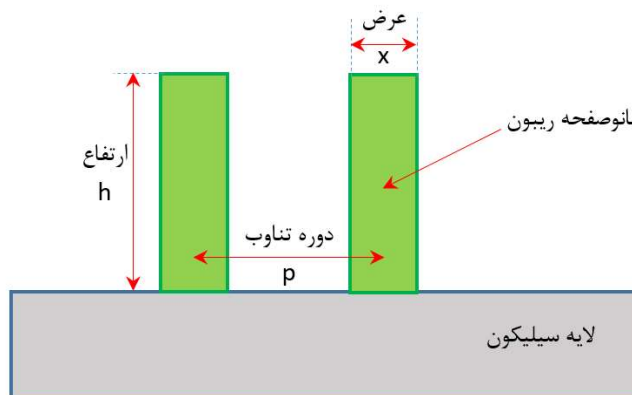
در یکی از مطالعاتی که در سال‌های اخیر در زمینه سلول‌های خورشیدی پلاسمونی انجام شده است، افزایش ۴۳٪ نیز در بهبود جریان اتصال کوتاه مشاهده شده است [۱۲]. در تحقیق دیگری، افزایش میزان جذب ۴۵,۷٪ در سلول‌های خورشیدی پلاسمونی نسبت به سیلیکونی ساده مشاهده شده است [۱۳].

در این مقاله پیشنهاد ما استفاده از ساختارهای ریون در سلول‌های خورشیدی پلاسمونی است. ساختارهای ریون در چند سال گذشته در سلول‌های خورشیدی گرافینی در جهت برقراری پیوند بین گرافین و سیلیکون [۱۴] و در تحقیقات پزشکی مطالعه شده است [۱۵]. ساخت ساختارهای

ریون نیز در سال‌های اخیر مطالعه شده است و روش‌هایی نیز برای بهبود در ساخت این گونه ساختارها ارائه شده است [۱۸-۱۶]. در این تحقیق، تأثیر ضریب شکست محیط در سلول‌های خورشیدی که بر روی آن نانوصفحه ریون نقره قرار گرفته است، بررسی شده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مقاله به منظور شبیه‌سازی ساختار، در بخش شبیه‌سازی نوری، نرم‌افزار لومریکال و در بخش شبیه‌سازی جریان، نرم‌افزار سیلواکو است.

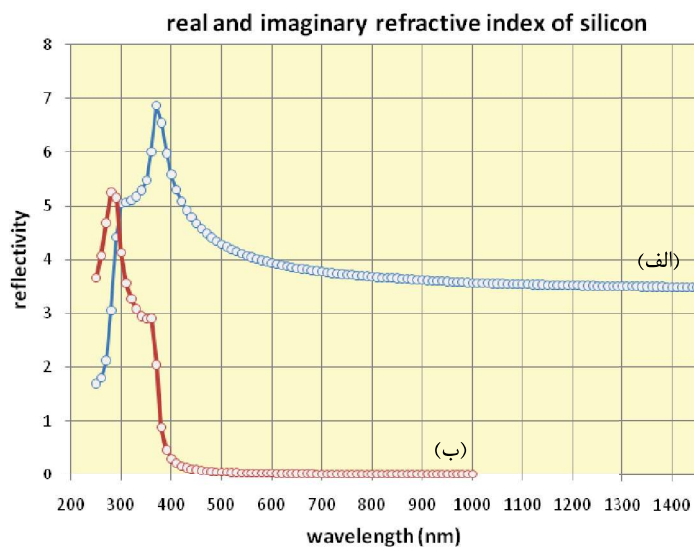
۲. بررسی و شبیه‌سازی ساختار

برای شبیه‌سازی نانوصفحه ریون از یک ساختار دوبعدی با ضخامت معین در راستای x و y و ضخامت ناچیز (حدود صفر) در راستای z استفاده شده است. برای این کار از شبیه‌سازی (ناحیه FDTD) دوبعدی استفاده شده است. در واقع، تفاوت نانوصفحه ریون با نانوذره مکعب مستطیلی در این است که نانوصفحه ریون حالت صفحه‌ای نانوذره مکعب مستطیلی است. شکل ۱ طرح‌واره نانوصفحه ریون نقره با عرض x و ارتفاع h را بر روی لایه سیلیکونی با دوره تناوب p نشان می‌دهد.



شکل ۱ طرح‌واره نانوصفحه ریون بر روی لایه سیلیکونی.

شکل ۲ بخش حقیقی و موهومی ضریب شکست سیلیکون را در دمای ۳۰۰ کلوین نشان می‌دهد [۱۹]. بخش حقیقی ضریب شکست با بازتاب و بخش موهومی با ضریب جذب رابطه دارد. طبق این شکل با افزایش یافتن طول موج از ۴۰۰ نانومتر تا ۱۱۰۰ نانومتر سرعت انتشار نور و جذب لایه سیلیکونی کاهش می‌یابد.

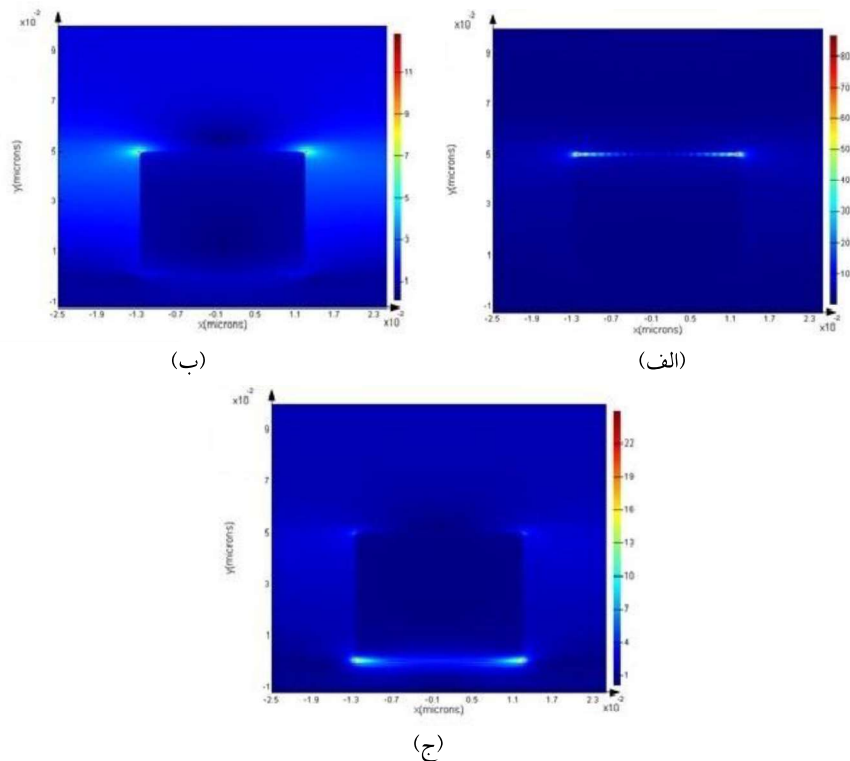


شکل ۲ بخش (الف) حقیقی و (ب) موهومی ضریب شکست سیلیکون در دمای ۳۰۰K [۱۹].

برای بررسی تأثیر ضریب شکست محیط بر عملکرد سلول خورشیدی پلاسمونی با تغییر ضریب شکست محیط از ۱ (هوا) تا ۱٫۶، نمایه (پروفایل) توزیع نور به نانوصفحه ریبون و ضریب جذب سیلیکون به دست آورده شده است. از آنجا که ضریب شکست بخار آب در حدود ۱٫۳ و ضریب شکست کربن (دود) در حدود ۲ در بازه طول موجی طیف خورشید هستند، این بازه منتخب برای ضریب شکست معقول به نظر می‌رسد.

شکل ۳ توزیع نور خورشید را به نانوصفحه ریبون با عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر در طول موج‌های ۴۰۰ نانومتر و ۵۰۰ نانومتر و ۶۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. ضریب شکست محیط ۱٫۲ در نظر گرفته شده است. سایر طول موج‌ها به دلیل عدم تحریک پلاسمونی بررسی نشده‌اند. شکل ۳ (الف)، توزیع نور خورشید را به نانوصفحه ریبون در طول موج ۴۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. در سطح بالایی نانوصفحه بیشترین شدت نور توزیع شده با شدتی حدود 10^{-2} 8×10 رخ داده است؛ در طول موج ۴۰۰ نانومتر به ازای ضریب شکست محیط ۱٫۲، نانومتر افزایش جذب مناسبی مشاهده می‌شود. شکل ۳ (ب)، توزیع نور خورشید به نانوصفحه ریبون در طول موج ۵۰۰ نانومتر را نشان می‌دهد. بیشترین شدت نور توزیع شده، 11×10^{-2} است. شدت نور توزیع شده به نانوصفحه ریبون در طول موج ۵۰۰ نانومتر، نسبت به طول موج ۴۰۰ نانومتر حدود ۷ برابر کاهش یافته و نور صرفاً به گوشه‌های بالای نانوصفحه توزیع شده است؛ بنابراین افزایش جذب در طول موج ۵۰۰ نانومتر کمتر از ۴۰۰ نانومتر است.

شکل ۳ (ج)، ترویج نور خورشید را به نانوصفحه ریبون در طول موج ۶۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. بیشینه شدت نور ترویج شده 22×10^{-2} است. برای طول موج ۶۰۰ نانومتر شدت و چگالی ترویج نور به گوشه پایین نانوصفحه افزایش چشم‌گیری یافته است. همین‌طور شدت نور ترویج شده به گوشه‌های بالایی نانوصفحه افت محسوسی کرده است. میزان بهبود جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۶۰۰ نانومتر است. با فرض ضریب جذب و عبور برابر سیلیکون در دو طول موج ۵۰۰ و ۶۰۰ نانومتر میزان بهبود جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۵۰۰ نانومتر است.



شکل ۳ نمایه ترویج نور خورشید به نانوصفحه ریبون در عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر، ضریب شکست ۱,۲ و در طول موج‌های مختلف (الف) ۴۰۰ نانومتر، (ب) ۵۰۰ نانومتر و (ج) ۶۰۰ نانومتر.

شکل ۴ ترویج نور خورشید را به نانوصفحه ریبون با عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر در طول موج‌های ۴۰۰ نانومتر، ۵۰۰ نانومتر و ۶۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. ضریب شکست محیط ۱,۴ در نظر گرفته شده است. در طول موج ۴۰۰ نانومتر بیشترین شدت نور

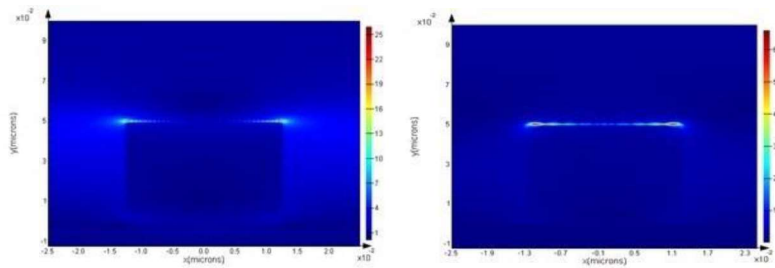
تزوید شده به نانوصفحه در سطح بالایی نانوصفحه با شدت خیلی زیاد برای ضریب شکست محیط ۱,۲ رخ داده است، طبق شکل ۴ (الف)، بیشترین شدت نور به سطح بالایی نانوصفحه ریون در طول موج ۴۰۰ نانومتر رخ می‌دهد با این تفاوت که شدت نور تزوید شده در ضریب شکست ۱,۴ بیشتر از ضریب شکست ۱,۲ است. تزوید نور خورشید را به نانوصفحه ریون در طول موج ۵۰۰ نانومتر نشان می‌دهد.

بیشینه شدت نور تزوید شده 9.0×10^{-2} است. در طول موج ۴۰۰ نانومتر، به ازای ضریب شکست محیط ۱,۴ جذب بیشتری نسبت به ضریب شکست ۱,۲ خواهیم داشت. شکل ۴ (ب)، تزوید نور خورشید را به نانوصفحه ریون در طول موج ۵۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. بیشینه شدت نور تزوید شده 2.5×10^{-2} است. در طول موج ۵۰۰ نانومتر نسبت به طول موج ۴۰۰ نانومتر، شدت نور تزوید شده حدود ۴ برابر کاهش یافته و بیشتر به گوشه‌های بالای نانوصفحه تزوید شده است. در طول موج ۵۰۰ نانومتر، شدت نور تزوید شده در ضریب شکست ۱,۴ بیش از دو برابر ضریب شکست ۱,۲ است. شکل ۴ (ج)، تزوید نور خورشید را به نانوصفحه ریون در طول موج ۶۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. شدت نور تزوید شده بیشینه نیز معادل 2.8×10^{-2} است.

در طول موج ۶۰۰ نانومتر همانند ضریب شکست ۱,۲، نور به گوشه پایین نانوصفحه تزوید شده است، که شدت و چگالی نور با تغییر ضریب شکست از ۱,۲ به ۱,۴ اندکی افزایش یافته است. با فرض ضریب جذب و ضریب عبور یکسان سیلیکون در سه طول موج ۴۰۰ و ۵۰۰ و ۶۰۰ نانومتر، میزان بهبود جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۶۰۰ نانومتر و در طول موج ۶۰۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۵۰۰ نانومتر است.

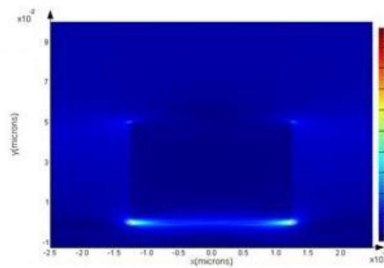
شکل ۵ تزوید نور خورشید را به نانوصفحه ریون با عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر در طول موج‌های ۴۰۰ نانومتر (شکل ۵ (الف))، ۵۰۰ نانومتر (شکل ۵ (ب)) و ۶۰۰ نانومتر (شکل ۵ (ج)) و ضریب شکست محیط ۱,۶ نشان می‌دهد. در حالتی که ضریب شکست ۱,۶ در نظر گرفته شود، تزوید نور مانند دو ضریب شکست محیط ۱,۲ و ۱,۴ است. در طول موج ۴۰۰ نانومتر، بیشترین شدت نور تزوید شده به ترتیب مربوط به ضریب شکست‌های ۱,۴ و ۱,۲ و ۱,۶ است. برای طول موج‌های ۵۰۰ و ۶۰۰ نانومتر، بیشترین شدت نور تزوید شده به ترتیب مربوط به ضریب شکست‌های ۱,۶، ۱,۴ و ۱,۲ است. با فرض ضریب جذب و ضریب عبور یکسان سیلیکون در سه طول موج ۴۰۰ و ۵۰۰ و ۶۰۰ نانومتر، میزان بهبود جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۶۰۰ نانومتر و در طول موج ۶۰۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۵۰۰ نانومتر است. برای تحلیل جذب در لایه سیلیکونی علاوه بر تشدید پلاسمونی در نانوصفحه، لازم است جذب و عبور و بازتاب از سطح (نانوصفحه و سیلیکون) در نظر گرفته شود.

دوفصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال هشتم، پیاپی ۱۵، پاییز و زمستان ۱۳۹۷ / ۶۳



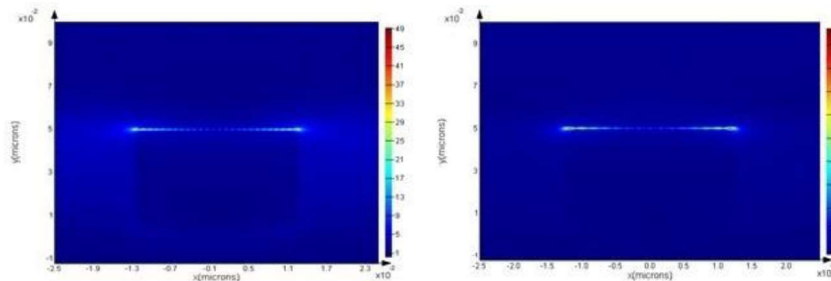
(ب)

(الف)



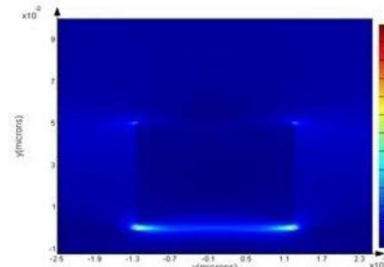
(ج)

شکل ۴ نمایش ترویج نور خورشید به نانوصفحه ریبون در عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر، ضریب شکست ۱,۴ و در طول موج‌های مختلف: (الف) ۴۰۰ نانومتر، (ب) ۵۰۰ نانومتر، (ج) ۶۰۰ نانومتر.



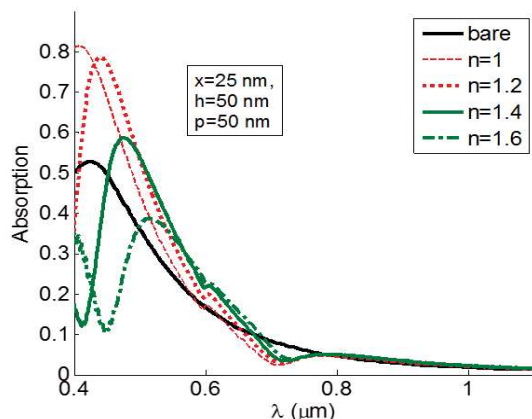
(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۵ نمایش ترویج نور خورشید به نانوصفحه ریبون در عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر، ضریب شکست ۱,۶ و در طول موج‌های مختلف: (الف) ۴۰۰ نانومتر، (ب) ۵۰۰ نانومتر و (ج) ۶۰۰ نانومتر.

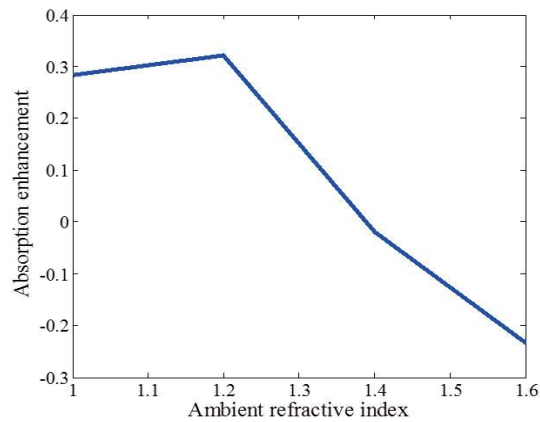


شکل ۶ منحنی جذب لایه سیلیکونی نسبت به طول موج برای طول ۵۰ نانومتر، عرض ۲۵ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر و مقادیر مختلف ضریب شکست محیط.

شکل ۶ منحنی جذب لایه سیلیکونی را برحسب طول موج برای نانوصفحه ریبون با عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر و مقادیر مختلف ضریب شکست محیط نشان می‌دهد. منحنی جذب برای حالت بدون نانوصفحه و با حضور نانوصفحه در محیط هوا و محیط با ضرایب شکست ۱٫۲، ۱٫۴ و ۱٫۶ بررسی شده است. با افزایش طول موج، جذب و بازتاب از سطح سیلیکون به ترتیب به دلیل کاهش بخش موهومی ضریب شکست و کاهش بخش حقیقی ضریب شکست، کاهش می‌یابد. با افزایش ضریب شکست محیط نانوصفحه، ضریب شکست سیلیکون به ضریب شکست محیط نزدیک‌تر شده و میزان بازتاب از سطح سیلیکون کاهش و در نتیجه جذب نسبت به حالت هوا ($n=1$) افزایش می‌یابد. در شکل ۵ برای ضرایب شکست ۱٫۲ و ۱٫۴ و ۱٫۶ به ترتیب در طول موج‌های بزرگ‌تر از ۴۴۰ نانومتر، ۴۷۰ نانومتر و ۵۱۵ نانومتر افزایش جذب و کاهش بازتاب رخ داده است.

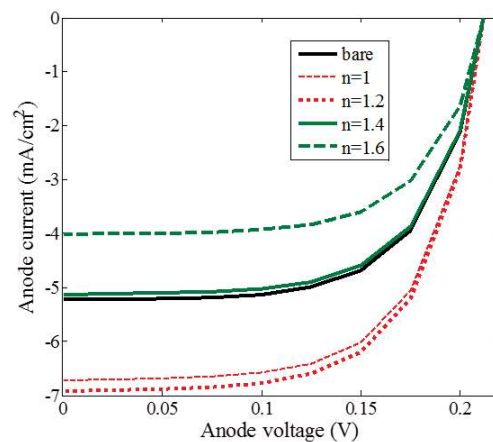
نوسانات موجود در جذب سیلیکون در طول موج‌های کمتر از ۵۵۰ نانومتر و حدود ۷۰۰ نانومتر به دلیل پراکندگی و رفتار پلاسمونیک نانو ذرات است. در محیط هوا تا طول موج ۶۰۰ نانومتر بهبود جذب مناسبی مشاهده شده است و فقط در بازه ۶۳۰ تا ۷۷۰ نانومتر دره‌ای ایجاد شده که در آن جذب نسبت به حالت بدون نانوصفحه کاهش یافته است. بیشینه جذب در محیط با ضرایب شکست ۱٫۲، ۱٫۴ و ۱٫۶ به ترتیب در طول موج‌های ۴۴۰ و ۴۷۰ و ۵۱۵ نانومتر به دست می‌آید. بنابراین با افزایش ضریب شکست محیط نانوصفحه، طول موج بیشینه جذب در لایه

سیلیکون به طول موج‌های بالاتر منتقل شده است. برای طول موج‌های کمتر از طول موج بیشینه جذب، به دلیل پراکندگی نانوصفحه و تغییر مشخصات نوری، جذب کاهش یافته است.



شکل ۷ تأثیر ضریب شکست محیط در بهبود جذب لایه سیلیکونی.

شکل ۷ تأثیر ضریب شکست محیط را در بهبود جذب لایه سیلیکونی نشان می‌دهد. بالاترین جذب در ضریب شکست محیط ۱,۲ به دست آمده است. برای ضریب شکست ۱,۴ و ۱,۶ ضریب جذب منفی است و نسبت به حالت بدون نانوصفحه، جذب کاهش یافته است. طبق شکل‌های ۲ تا ۴، بیشترین شدت نور تزویج شده در ضریب شکست ۱,۲ نسبت به ۱,۴ و ۱,۶ رخ می‌دهد و طبق شکل ۶ از طول موج ۴۴۰ نانومتر تا حدود ۷۰۰ نانومتر جذب سیلیکون در محیط با ضریب شکست ۱,۲ بیشتر از هوا است.



شکل ۸ منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی سیلیکونی برای مقادیر مختلف ضریب شکست محیط نانوصفحه.

شکل ۸ منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی سیلیکونی را با نانوصفحه ریبون به عرض ۲۵ نانومتر، ارتفاع ۵۰ نانومتر، دوره تناوب ۵۰ نانومتر و مقادیر مختلف ضریب شکست محیط نشان می‌دهد. در شکل ۷ جریان-ولتاژ برای حالت بدون نانوصفحه و با حضور نانوصفحه در محیط هوا و محیط با ضرایب شکست ۱٫۲ و ۱٫۴ و ۱٫۶ بررسی شده است. با افزایش ضریب شکست محیط تا ۱٫۲، بازتاب از سطح سیلیکون کاهش و در نتیجه جذب و جریان نوری نسبت به حالت محیط هوا افزایش می‌یابد، بنابراین در محیط با ضریب شکست ۱٫۲ بالاترین جذب و جریان نوری و بازده را داریم. برای ضرایب شکست ۱٫۴ و ۱٫۶ به دلیل پراکندگی و تلفات پلاسمونی نانوذرات، جریان نوری کاهش یافته است. برای ضریب شکست ۱٫۴ و ۱٫۶ ضریب بهبود جذب منفی است پس نسبت به حالت بدون نانوصفحه جریان نوری کاهش یافته است.

جدول ۱ پارامترهای سلول خورشیدی سیلیکونی را در حضور نانوصفحه در محیط هوا و محیط با ضرایب شکست ۱٫۲ و ۱٫۴ و ۱٫۶ بیان می‌کند.

جدول ۱ پارامترهای سلول خورشیدی سیلیکونی لایه نازک برای مقادیر مختلف ضریب شکست محیط.

ضریب شکست	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	P_{max} (mW/cm ²)	FF (%)	η (%)
خالص	۵٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۷۰	۶۳٫۳۵	۹٫۴۲
۱	۶٫۷۱	۰٫۲۱	۰٫۹۰	۸۱٫۳۱	۱۲٫۰۹
۱٫۲	۶٫۹۱	۰٫۲۱	۰٫۹۲	۸۳٫۷۳	۱۲٫۴۵
۱٫۴	۵٫۱۲	۰٫۲۱	۰٫۶۹	۶۲٫۰۸	۹٫۲۳
۱٫۶	۴٫۰۱	۰٫۲۱	۰٫۵۴	۴۸٫۵۷	۷٫۲۲

۳. نتیجه گیری

در این مقاله، اثرات ضریب شکست محیط در سلول‌های خورشیدی سیلیکونی مبتنی بر نانوصفحه ریبون بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که چگونه این نانوذرات در محیط‌های مختلف باعث بهبود کارایی دستگاه می‌شوند به طوری که در محیط با ضریب شکست ۱٫۲ حدود ۳٪ بهبود بازده نسبت به محیط هوا مشاهده می‌شود. استفاده از مواد با ضرایب شکست مختلف در بعضی موارد باعث کاهش بازده افزاره می‌شود که باید به این مسئله دقت کرد. همچنین برای استفاده از برخی مواد در ساخت سلول خورشیدی فناوری‌های پیچیده‌تری نیز لازم است که هزینه ساخت افزاره را افزایش می‌دهد.

مراجع

- [1] Zalevsky, Zeev, and Ibrahim Abdulhalim, *Integrated nanophotonic devices*, (Elsevier, 2014).
- [2] E. Ghahremanirad, S. Olyaei, and M. Hedayati, "The influence of embedded plasmonic nanostructures on optical absorption of perovskite solar cells", *Photonics*, Vol. 6, AN. 37, pp. 1-8, 2019.
- [3] Hung-Yu Lin, Yang Kuo, and Cheng-Yuan Liao, and Yean-Woei Kiang. "Surface plasmon effects in the absorption enhancements of amorphous silicon solar cells with periodical metal nanowall and nanopillar structures", *Optics Express* 20(1), A104-18, 2012.
- [4] Ghahremanirad, S. Olyaei, and A. Abdollahi Nejad, P. Nazari, V. Ahmadi, and K. Abedi, "Improving the performance of perovskite solar cells using kesterite mesostructure and plasmonic network", *Solar Energy*, Vol. 169, pp. 498-504, 2018.
- [5] E. Ghahremanirad, S. Olyaei, and A. Abdollahi Nejad, V. Ahmadi, and K. Abedi, "Hexagonal array of mesoscopic HTM based perovskite solar cell with embedded plasmonic nanoparticles", *Physica Status Solidi B: Basic Solid State Physics*, Vol. 255, No. 3, pp. 1-8, 2018.
- [6] E. Ghahremanirad, A. Bou, S. Olyaei, and J. Bisquert, "Inductive loop in the impedance response of perovskite solar cells explained by surface polarization model", *Journal of Physical Chemistry Letters*, Vol. 8, No. 7, pp. 1402-1406, 2017.
- [7] Yang Wang, Tianyi Sun, Trilochan Paudel, Yi Zhang, Zhifeng Ren, and Krzysztof Kempa, "Metamaterial-Plasmonic Absorber Structure for High Efficiency Amorphous Silicon Solar Cells", *Nano Lett.*, 2 (1) (2012), pp 440-445.
- [8] S. Olyaei and F. Farhadipour, "Investigation of hybrid Ge QDs/ Si nanowires solar cell with improvement in cell efficiency", *Optica Applicata*, Vol. 48, No. 4, pp. 633-645, 2018.
- [9] S. Olyaei, F. Farhadipour, and E. Ghahremanirad, "Enhanced photovoltaic properties of InAs/GaAs quantum-dot intermediate-band solar cells by using cylindrical quantum dots", *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, Vol. 13, No. 1, pp. 271-277, 2018.
- [10] Vora, Ankit, "Increasing solar energy conversion efficiency in thin film hydrogenated amorphous silicon solar cells with patterned plasmonic silver nano-disk array", 2015.
- [11] Akimov, Yuriy A., and Wee Shing Koh. "Design of plasmonic nanoparticles for efficient subwavelength light trapping in thin-film solar cells", *Plasmonics* 6, No. 1 (2011): 155-161.
- [12] Wen, Long, Fuhe Sun, and Qin Chen. "Cascading metallic gratings for broadband absorption enhancement in ultrathin plasmonic solar cells." *Applied Physics Letters* 104, No. 15 (2014): 151106.
- [13] Reineck, Philipp, George P. Lee, Delia Brick, Matthias Karg, Paul Mulvaney, and Udo Bach. "A solid-state plasmonic solar cell via metal nanoparticle self-assembly." *Advanced Materials* 24, No. 35 (2012): 4750-4755.
- [14] Le Lay, G., B. Aufray, C. Léandri, H. Oughaddou, J-P. Biberian, P. De Padova, M. E. Dávila, B. Ealet, and A. Kara. "Physics and chemistry of silicene nano-ribbons." *Applied Surface Science* 256, No. 2 (2009): 524-529.

- [15]** Warner, Marvin G., and James E. Hutchison. "Linear assemblies of nanoparticles electrostatically organized on DNA scaffolds." *Nature Materials* 2, No. 4 (2003): 272.
- [16]** Lee, Dong Yun, Jonathan T. Pham, Jimmy Lawrence, Cheol Hee Lee, Cassandra Parkos, Todd Emrick, and Alfred J. Crosby. "Macroscopic nanoparticle ribbons and fabrics." *Advanced materials* 25, No. 9 (2013): 1248-1253.
- [17]** Zhang, Debao, Xifeng Yang, Xuekun Hong, Yushen Liu, and Jinfu Feng. "Aluminum nanoparticles enhanced light absorption in silicon solar cell by surface plasmon resonance." *Optical and Quantum Electronics* 47, No. 6 (2015): 1421-1427.
- [18]** Bozhevolnyi, S. I. *Plasmonic Nanoguides and Circuits*, (Singapore: Pan Stanford, 2009).
- [19]** G. Barbarino, R. Asmundis, G. Rosa, C. Maximiliano Mollo, S. Russo, and D. Vivolo, "Silicon Photo Multipliers Detectors Operating in Geiger Regime: An Unlimited Device for Future Applications, Photodiodes", *IntechOpen*, DOI: 10.5772/21521 (2011).