بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

افزایش جذب نور مرئی در لایه سیلیکون با استفاده از نانوساختارهای پلاسمونیکی

وحیده منصوری[۱و۲*]، مهدیه هاشمی[۳] و عبدالرسول قرائتی جهرمی[۱]

۱- گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، agharaati@pnuac.ir

۲ - شیراز، آموزش وپرورش ناحیه۱، دبیر فیزیک، vamansori@yahoo.com

۳- فسا، دانشگاه فسا، بخش فیزیک، Mahdieh.hashemi@gmail.com

چکیده - در این مقاله با شبیه سازی دو بعدی نشان داده‌ایم که جذب پرتوهای نور مرئی، توسط سیلیکون، در آرایه‌ای که یک لایه نانو ساختار فلزی بر روی سیلیکون قرار دارد، افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که برانگیختگی پلاسمون سطحی، باعث افزایش میدان الکترومغناطیسی درون نانوساختار فلزی می‌شود و در نتیجه جذب در لایه سیلیکون بالا می‌رود. به کارگیری نانوساختار فلزی کمک شایانی به افزایش جذب نور درسلولهای خورشیدی سیلیکونی می‌کند. شبیه‌سازی توسط روش تفاضل محدود در حوزه زمان انجام شده است. در این شبیه‌سازی ملاحظه می‌شود که میزان جذب سیلیکون، در این نانوساختار طراحی شده به ۸۶٪ خواهد رسید.

کلید واژه- پلاسمونیک، جذب افزایش یافته، سلول خورشیدی، سیلیکون، نانوساختارفلزی.

Enhancement of absorption of visible light in silicon by using plasmonic nanostructure

Vahideh Mansoori [1,2], Mahdieh Hashemi[3], Abdolrasoul Gharaati jahromi[1]

1- Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Department of Education, Shiraz, Iran

3- Department of Physics, Fasa University, Fasa, Iran

Abstract - In this paper, we will be shown that two-dimensional simulations absorption of visible light by the silicon layer with nanostructured metallic arrays on it will be increased. Excitation of surface plasmons enhances electromagnetic field in metallic nanostructures. This enhancement will raise the absorption of the silicon layer beneath the nanostructure. The use of metallic nanostructures helped to increase light absorption the silicon solar cells. For simulations, finite difference time domain method is used. The simulation results show an increase of 86% percent in light absorption by the silicon in the presence of metallic nanostructure.

Keywords: Plasmonic, Enhanced absorption, Solar cell, Silicon, metallic nanostructures.

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]

۱- مقدمه

افزایش الکتریسیته‌ی دریافتی از نورخورشید و کاهش هزینه‌ی این فرایند، هدفی است که در صورت تحقق، کاربردهای بسیار گسترده‌ای در عرصه‌ی انرژی، فناوری و مدیریت آب و هوا خواهد داشت. دستگاه‌های فتوولتائیک قادر به تبدیل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی هستند[۱و۴]. عملکرد این دستگاه ها بر مبنای مواد نیمه رسانا می‌باشد. سیلیکون بلوری یکی از نیمه رساناهایی است که معمولاً درسلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای داشتن بازدهی بالا در سلول-خورشیدی، بایستی مواد تشکیل دهنده ساختار را درست انتخاب نموده و طراحی ساختار نیز به‌گونه‌ای باشد که حداکثر نور در لایه‌های فعال جذب شود. بدین منظور با وارد کردن آرایه‌ای از نانوساختار فلزی بر روی لایه فعال (سیلیکون) میتوان خواص الکترونیکی این لایه را در راستای افزایش جذب، بهبود بخشید. نانو ساختارهای فلزی به جهت قابلیت آنها در تحریک پلاسمون‌ها (نوسانات جمعی الکترون‌های آزاد) مورد توجه قرار گرفته-اند. با برانگیزش پلاسمون‌های سطحی، میدان در مجاورت سیلیکون به شدت تقویت شده و سبب افزایش جذب خواهد شد[۲]. جذب در سیلیکون با تولید حاملها در این ماده ارتباط مستقیم دارد بطوریکه با افزایش میزان جذب، بازده کوانتومی ابزارهای الکترواپتیکی افزوده خواهد شد.

۲- شبیه سازی

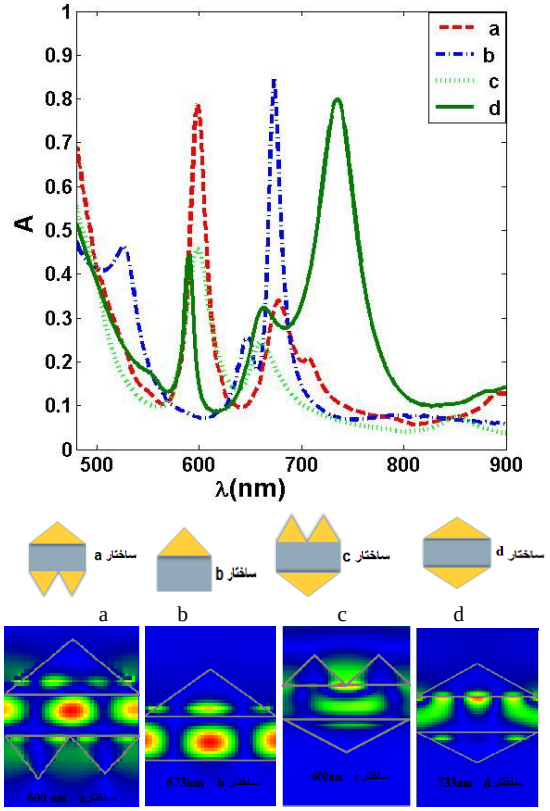
ما با بهره‌گیری از برانگیزش پلاسمون سطحی در آرایه‌ای از نانوساختار فلزی که روی سیلیکون قرار گرفته با تاباندن نوری با قطبش TM (میدان مغناطیسی در جهت عمود بر آرایه) به ساختار، ضریب جذب[1] را افزایش می‌دهیم. ما برای انتخاب بهترین ساختار، نانوساختارفلزی در ابعاد متفاوت وجنس مختلف را بر روی لایه نازکی از سیلیکون قرار می‌دهیم ومیزان جذب آنها را مقایسه می‌کنیم.

به منظور شبیه‌سازی، ضریب شکست سیلیکون و ثابت-های اپتیکی وابسته به فرکانس فلزات بکار گرفته شده، از داده‌های مرجع[۳] استفاده شده است.

شبیه سازی برمبنای روش تفاضل محدود در حوزه زمان FDTD انجام شده است. سلول واحد ساختار مورد بررسی از بالا و پایین توسط لایه همسان‌ساز کامل(APML) و از دو طرف توسط مرزهای متناوب احاطه شده است. شرط مرزی APML برای طراحی ناحیه‌ای مجازی در دو طرف ناحیه اصلی ایجاد شده است که بتواند کل موج برخوردی به مرز را جذب نماید.

۳- معرفی ساختار

در ساختارهای طراحی شده، h ارتفاع نانوساختار فلزی، t ضخامت لایه‌ی سیلیکون و P دوره تناوب (پریود) ساختار می‌باشد. ما در اینجا آرایه‌های مختلفی از نانوساختارهای فلزی، از جنس فلز نقره را طراحی کرده و نمودار جذب بر حسب طول موج آنها را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم تا ساختار بهینه انتخاب گردد.در تمامی ساختارها ضخامت لایه سیلیکون ۱۷۰nm وپریود ۳۵۰nm می باشد.



شکل۱ مقایسه جذب ساختار های طراحی شده و بررسی توزیع میدان مغناطیسی در طول موج پیک هر یک از ساختارها

در ساختار a ارتفاع نانو ساختار فلز نقره که بر روی سیلیکون قرار دارد ۱۲۵nm وپریود ۳۵۰ nmمی باشد و لایه نقره‌ای که در زیر آن قرار دارد، دارای ارتفاع ۱۲۵nm وپریود ۱۷۵nm دارد.پیک ملاحظه شده در این ساختار در طول موج ۶۰۰nmاست.

1-absorption

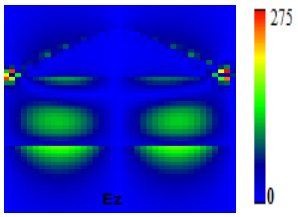
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

در ساختار b نیز ارتفاع نانو ساختار فلزی که بر روی سیلیکون قرار دارد ۱۲۵nm است.

ساختار c همان ابعاد ساختار a را دارد با این تفاوت که جای لایه زیرسیلیکون وروی آن جابه‌جا شده است.

در ساختارd لایه روی سیلیکون از فلز نقره به ارتفاع ۱۲۵nmولایه نقره زیرسیلیکون هم دارای ارتفاع ۱۰۰nm می باشد.

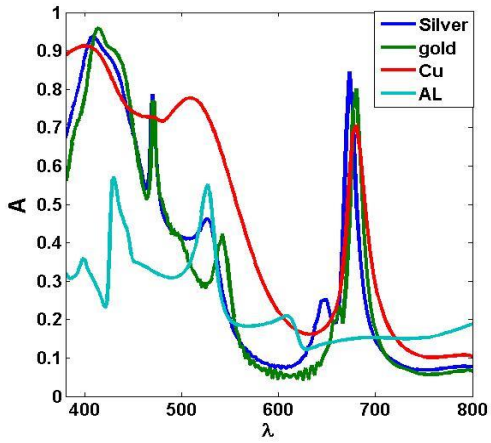
با توجه به توزیع میدان مغناطیسی در طول موج پیک برای ساختارهای معرفی شده ملاحظه می شود که بهترین تجمع نور در سیلیکون (بیشترین جذب)، برای ساختار b می باشد. توزیع میدان الکتریکی این ساختاردر شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ توزیع میدان الکتریکی برای ساختار b در طول موج ۶۷۳nm

با توجه به توزیع میدان مغناطیسی شکل ۱-b ، وتوزیع میدان الکتریکی شکل ۲ در طول موج ۶۷۳nm نور فرودی به صورت پلاسمون جایگزیده در گوشه آرایه مثلثی در نزدیک لایه سیلیکون جمع می‌شود

پلاسمون‌های جایگزیده حاصل برانگیختگی الکترون‌های رسانش فلز هستند که با تابش الکترومغناطیسی فرودی کوپل شده‌اند. در طول‌موج جذب ماکسیمم سیلیکون، الکترون‌های آزاد فلز به صورت تشدیدی برانگیخته شده و در گوشه آرایه‌ها جمع می‌شوند[۵]. نفوذ پلاسمون‌های ایجاد شده در سیلیکون به صورت مُد هدایت شده در آن لایه ظاهر می‌شود. جذب تشدیدی در طول موج ۶۷۳nm به جهت ایجاد موج ایستا در لایه سیلیکون اتفاق می‌افتد.

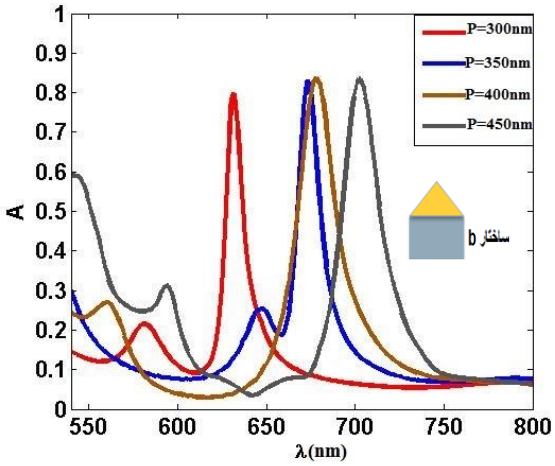


شکل ۳ مقایسه میزان جذب آرایه‌هایی با نانوساختار (فلزاتی با جنس‌های مختلف)

ما جنس نانوساختار فلزی را تغییر می دهیم و نمودار میزان جذب نور برحسب طول موج را بررسی می-کنیم(شکل ۳).

این نانو ساختارها را از جنس نقره، طلا، مس، آلومنیم انتخاب می کنیم. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می-شود باز هم میزان جذب بهینه در طول‌موج حدود ۶۷۳ نانومتر است که آرایه فلزی از جنس نقره بالاترین میزان جذب نور در ساختار را دارد.

حال می‌خواهیم پریود ساختار را افزایش دهیم. در شکل ۴ پریود ساختار b با نانوساختار فلزی نقره که بعنوان ساختار بهینه انتخاب شده است را تغییر داده‌ایم. ملاحظه می‌کنیم که با افزایش پریود، پیک به سمت طول موج نور قرمز جابه‌جا می‌شود.



شکل ۴ نمودار برای ساختارها با دوره تناوب متفاوت

علت را می‌توان چنین بیان کرد که هرگاه پریود بزرگتر

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

باشد موج ایستا در لایه سیلیکون، در طول موج‌های بلندتر تشکیل می‌شود. و یا می‌توان گفت در پریودهای بزرگتر بارهای مثبت و منفی در گوشه آرایه مثلثی نانو ساختار فلزی از یکدیگر دورتر می‌شوند در نتیجه تشدید پلاسمونی در طول موج‌های بالاتر رخ می‌دهد. توجه کنید که مقدار جذب مستقل از پریود ساختار می‌باشد.

نتایج:

به دام انداختن نور در لایه فعال سلول خورشیدی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله، ایجاد آرایه‌ای از نانوساختارهای فلزی روی سیلیکون را برای تقویت میدان الکترومغناطیسی و در نتیجه افزایش جذب سیلیکون پیشنهاد داده‌ایم. کمک گیری از تحریک پلاسمون‌ها در نانوساختارهای فلزی کمک شایانی به افزایش جذب نور و کاهش حجم کل ساختار خواهد نمود. با طراحی ساختاری متشکل از نانو ساختار فلزی در ابعاد و فلز مناسب و در نتیجه بهره‌گیری از اثر پلاسمون سطحی توانستیم جذب لایه سیلیکون را تا حد چشمگیری افزایش دهیم. این افزایش جذب در نهایت منجر به افزایش بازدهی سلول خورشیدی تا ۸۶٪ خواهد شد.

مراجع:

[1] Magdalena Skompska, Hybrid conjugated polymer/semiconductor photovoltaic cells, Synthetic Metals 160, 1–15, (2010).

[2] Maier, Stefan," Plasmonics Fundementals and Applications", Springer, NewYork, (2007).

[3] E. D. Palik, Handbook of Optical Constants of Soloids, Amsterdam: Elsevier, 1998.

[4] M.A Green, "Thin-film solar cells: review of materials, technologies and commercial status, " J Mater Sci: Mater Electron , 2007,vol.18, pp. 15-19.

[۵] م.هاشمی، افزایش جذب گرافن در ناحیه مرئی با استفاده از نانوساختارهای پلاسمونیکی، پانزدهمین همایش دانشجوئی فناوری نانو، تهران، انجمن نانوفناوری ایران، ۱۳۹۳

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