بهبود جذب در سلول های خورشیدی با استفاده از نانوسیم های مورب با زوایا و سطح مقطع های مختلف

دکتر زهیر کردرستمی*، حسام شیخ الاسلامی

دانشکده مهندسی برق- الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

*kordrostami@sutech.ac.ir

چکیده – در این مقاله، استفاده از نانوسیم های مورب به جای نانوسیم های افقی یا عمودی در سلول های خورشیدی نانوساختار پیشنهاد گردیده است. تاثیر آرایه نانوسیم ها بر روی میزان جذب سلول خورشیدی به روش المان محدود شبیه سازی شده است. ضریب جذب و تاثیر پارامترهای نانوسیم ها روی آن محاسبه گردیده است. جذب نوری سه آرایه نانوسیم های با سطح مقطع های دایره، مربع و مثلث مقایسه و بحث شده است. اثر زاویه شیب آرایه نانوسیم ها بر روی جذب نور برای سطح مقطع های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. میدان الکتریکی در سلول خورشیدی برای حالت های مختلف محاسبه و رسم گردیده است. نتایج نشان می دهد که نانوسیم های مورب با سطح مقطع مربع نسبت به نانوسیم های با سطح مقطع دایره و مثلث جذب نوری بالاتری درطیف وسیع تری ازفرکانس ها دارد. همچنین نتایج بیانگر این است که سلول خوشیدی با آرایه نانوسیم های با سطح مقطع مربعی در زاویه ۴۰ درجه به میزان جذب ۰/۹۹۸۸ در فرکانس THz ۶۴۲ رسیده است.

کلید واژه- جذب نوری، سلول خورشیدی، نانوسیم.

Absorption Improvement in Solar Cells Using Inclined Nanowires with Different Angles and Cross Sections

Zoheir Kordrostami*, Hesam Sheikholeslami

Department of Electrical Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

*kordrostami@sutech.ac.ir

Abstract- In this paper, inclined nanowire solar cells rather than vertical or horizontal nanowires have been proposed. The effect of the nanowire absorption on the solar cell absorption has been simulated based on finite element analysis. The absorption coefficient and the effect of the nanowire parameters on it has been calculated. The optical absorptions for three nanowire arrays with circular, square and triangular cross sections have been compared and discussed. The effect of the nanowire array inclination angle on the light absorption for different nanowire cross sections has been studied. The electric field for different cases has been calculated and plotted. The results show that the inclined nanowires with square cross section, compared to the nanowires with circular or triangular cross sections have larger optical absorption in a wider frequency range. The results also show that the solar cells with the inclined nanowire arrays with square cross section have the maximum absorption of 0.9988 in 642 THz frequency at the 40 degree angle.

Keywords: Optical Absorption, Solar Cell, Nanowire.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]

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

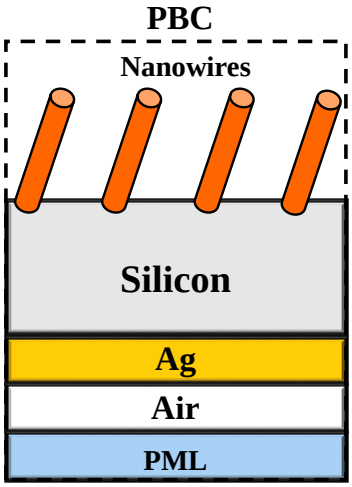
۱- مقدمه

با گذر زمان، روز به روز طراحی های متفاوتی از سلول های خورشیدی با کاربردهای صنعتی، تجاری و منازل مسکونی ارائه می شود. سلول های خورشیدی لایه نازک اگرچه دارای مزایایی چون کاهش وزن و افزایش انعطاف پذیری می باشند اما جذب نامناسبی درضخامت های کم از خود نشان می دهند. یکی از دلایل مطرح شدن سلول های خورشیدی نانوساختار، برطرف کردن این نقیصه در سلول های خورشیدی لایه نازک است. نانوساختارها به علت ابعاد نانومتری که دارند ویژگی های جدیدی از خود نشـــان می دهند که در توده همان نوع ماده وجود ندارد یا ضعیف است. به عنوان مثال نسبت سطح به حجم آنها بسیار زیادتر از مواد توده می باشد. به همین دلیل، کاربردهای آرایه های نانوساختارها در کاربردهای مختلفی مثل حسگرها و سلول های خورشیدی افزایش یافته است. یکی از نانوساختارهایی که امروزه مطالعات و تحقیقات بسیاری را به خود اختصاص داده است نانوسیم ها هستند. ساخت سیم هایی در ابعاد نانومتری هم از جهت فناوری و هم از جهت علمی بسیار مورد علاقه می باشد، زیرا در ابعاد نانومتری خواص غیر معمولی از خود بروز می دهند، مانند اینکه نسبت طول به قطر نانوسیم ها بسیار بالا می باشد [۳-۱]. در سلول های خورشیدی از آرایه ای از نانوسیم ها استفاده می گردد که باعث جبران جذب اندک سلول های خورشیدی لایه نازک می شوند. بطورکلی عواملی از قبیل قطر و فاصله نانوسیم ها و نسبت بین این دو تاثیر زیادی در افزایش جذب نور دارد و مطالعاتی دراین زمینه صورت گرفته است [۴, ۵].

بیشتر پژوهش های اخیر روی سلول های خورشیدی به سمت استفاده از نانوسیم هایی با جنس های غیر سیلیکن [۶, ۷]، نانوسیم های ساخته شده با روش های مبتنی بر محلول[۸] و نانوسیم های پروسکایت [۹] متمایل شده اند. در این مقاله به بررسی اثر نانوسیم های سیلیکنی زاویه دار با سطح مقاطع مختلف روی جذب نوری در فرکانس های مختلف پرداخته می شود.

۲- ساختار سلول خورشیدی نانوسیم مورب

در شکل ۱ ساختار سلول خورشیدی که در آن از آرایه نانوسیم های مورب استفاده گردیده است نشان داده شده است.

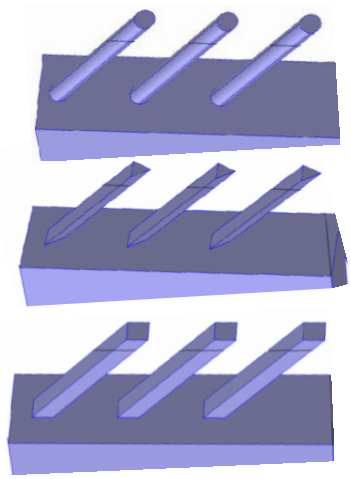


شکل ۱: ساختار سلول خورشیدی با آرایه نانوسیم های مورب

نانوسیم ها از جنس سیلیکن هستند. لایه پشتی انعکاسی از جنس نقره برای کاهش انتقال نور قرار داده شده است. برای مدل سازی ساختار آرایه ای متناوب، در دو جهت شرایط مرزی متناوب (PBC) در نظرگرفته شده است. همچنین در شبیه سازی یک زیرلایه نیمه بی نهایت (لایه تطبیق متناوب PML) در جهت عمودی اضافه گردیده است. برای شبیه سازی از روش المان محدود استفاده گردیده است.

۳- اثر سطح مقطع نانوسیم بر به دام اندازی نور

در این مقاله سه آرایه متفاوت از نانوسیم ها با سطح مقطع های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۲ آرایه های نانوسیم ها با سطح مقطع های دایره ای، مربعی و مثلثی را نشان می دهد.

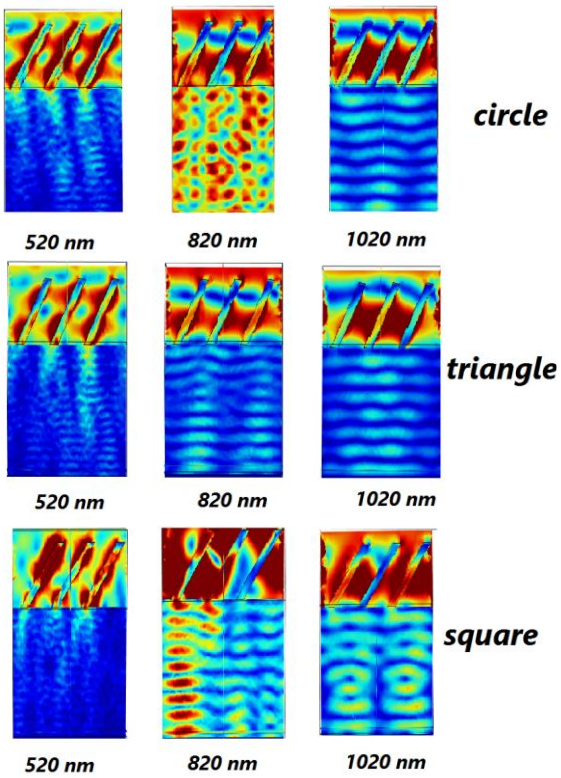


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]

شکل ۲: آرایه نانوسیم های مورب با سطح مقطع های دایره ای، مثلثی و مربعی

انعکاس های متوالی نور برخوردی به نانوسیم ها سبب افزایش طول مسیرنوری موثر شده در نتیجه بازده بالاتر می رود. در شکل ۳ توزیع میدان الکتریکی برای ساختارهای مختلف در سه طول موج متفاوت محاسبه و رسم گردیده است.

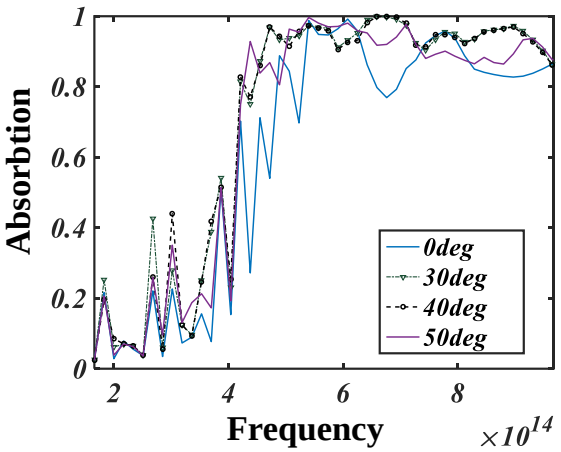


شکل ۳: توزیع میدان الکتریکی برای سطح مقطع های مختلف نانوسیم های مورب در سه طول موج متفاوت در زاویه ۴۰ درجه.

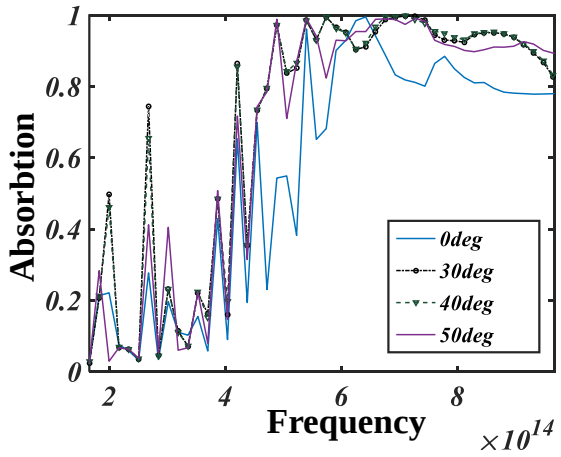
از مقایسه تصاویر مشهود است که آرایه نانوسیم های مورب در طول موج ۸۲۰nm دارای هم پوشانی خوبی با زیرلایه Si می باشد و اکثر نورهای محدود شده در آرایه با زیرلایه Si کوپلینگ خوبی دارند. نور با طول موج بلند جذب نشده با نور منعکس شده تداخل کرده و افزایش حاشیه تداخل Fabry-perot با زیرلایه Si در طول موج ۸۲۰nm را فراهم می کند. هماگونه که در شکل نشان داده شده است به طورکلی شدت میدان الکتریکی در میان نانوسیم های مورب با سطح مقطع مربعی به طور نسبی بزرگتر از نانوسیم های با سطح مقطع دایره ای و مثلثی درطول موج یکسان بوده و لذا قابلیت به دام اندازی نور بیشتری را دارد.

۴- محاسبه جذب نوری

در این قسمت جذب نوری در فرکانس های مختلف برای نانوسیم های مورب محاسبه گردیده است. محاسبات به گونه ای صورت گرفته است که در هر شکل جذب برای زوایای شیب متفاوتی به صورت جداگانه قابل مشاهده باشد. شکل ۴ تا شکل ۶ به ترتیب جذب را برای نانوسیم های مورب با سطح مقطع های دایره ای، مثلثی و مربعی نشان می دهد. در هر شکل جذب برای نانوسیم های عمودی و نانوسیم های با زاویه شیب ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد جذب در زاویه ۴۰ درجه بهتر از سایر زوایا می باشد. در شکل ۷ جذب سطح مقطع های مختلف در زاویه ۴۰ درجه با هم مقایسه گردیده است.



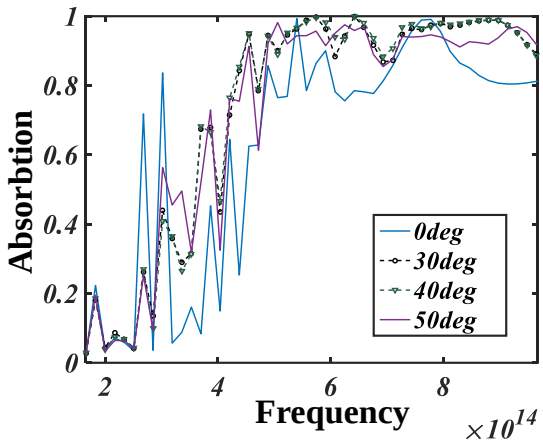
شکل ۴: جذب در سلول خورشیدی با نانوسیم های مورب دایره ای



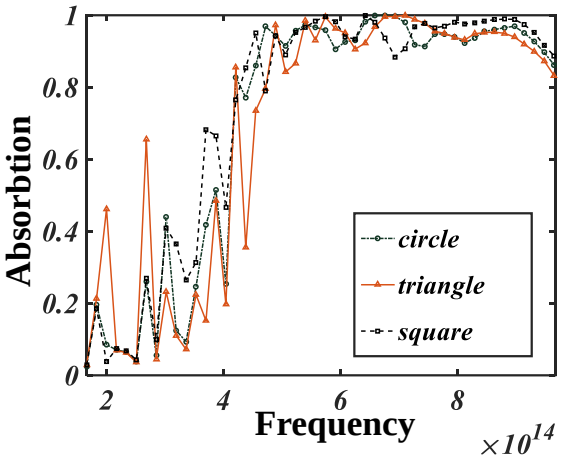
شکل ۵: جذب در سلول خورشیدی با نانوسیم های مورب مثلثی

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]



شکل ۶: جذب در سلول خورشیدی با نانوسیم های مورب مربعی



شکل ۷: مقایسه جذب نوری برای سطح مقطع های مختلف در زاویه شیب ۴۰ درجه.

توجه به نتایج محاسبه شده نشان می دهد که سلول خورشیدی با آرایه نانوسیم مورب با سطح مقطع مربعی، زاویه شیب ۴۰ درجه، قطر نانوسیم ۱۰۰nm و دوره تناوب ۴۰۰nm در فرکانس ۶۴۲ THz به میزان جذبی برابر با ۰/۹۹۸۸ رسیده است و جذب بالاتری در طیف وسیع تری از فرکانس ها نسبت به دو سطح مقطع دایره و مثلث از خود نشان می دهد. شایان ذکر است اگرچه در برخی فرکانس ها سطح مقطع مثلثی جذب بالاتری دارد ولی در یک طیف وسیع فرکانسی جذب پایین تری نسبت به سطح مقطع مربعی ازخود نشان می دهد. به عنوان مثال برای سطح مقطع مثلثی در زاویه ۴۰ درجه، در فرکانس ۶۴۲ THz جذب به ۱ و برای سطح مقطع دایره ای در زاویه ۴۰ درجه در فرکانس ۶۷۶ THz جذب به ۰/۹۹۹۶۵رسیده است اما در مجموع نانوسیم های مربعی جذب نوری بهتری نشان می دهند.

۵- نتیجه‌گیری

سلول های خورشیدی نانوسیم های مورب با زوایای شیب مختلف و با سه سطح مقطع دایره ای، مربعی و مثلثی توسط روش المان محدود صورت گرفت. نتایج نشان می دهد که برای هر سه سطح مقطع مورد بررسی، میانگین جذب در زاویه ۴۰ درجه بیشتر بوده است. همچنین نانوسیم های مورب با سطح مقطع مربعی نسبت به نانوسیم های با سطح مقطع دایره ای و مثلثی جذب بیشتری از خود نشان دادند. طراحی پیشنهادی برای سلول خورشیدی با آرایه نانوسیم های مورب با سطح مقطع مربعی، زاویه شیب ۴۰ درجه، قطر نانوسیم ۱۰۰nm و دوره تناوب ۴۰۰nm به میزان جذبی برابر با ۰/۹۹۸۸ در فرکانس ۶۴۲ THz رسیده است و جذب بالاتری در طیف وسیع تری از فرکانس ها نسبت به دو سطح مقطع دایره ای و مثلثی از خود نشان داد.

مراجع

[۱] S. Jin, E. Shin, and J. Hong, "TiO2 Nanowire Networks Prepared by Titanium Corrosion and Their Application to Bendable Dye-Sensitized Solar Cells," Nanomaterials, vol. 7, no. 10, 2017.

[۲] S. Limpert et al., "Single-nanowire, low-bandgap hot carrier solar cells with tunable open-circuit voltage," Nanotechnology, vol. 28, no. 43, 2017.

[۳] V. Maryasin, D. Bucci, Q. Rafhay, F. Panicco, J. Michallon, and A. Kaminski-Cachopo, "Technological guidelines for the design of tandem III-V nanowire on Si solar cells from opto-electrical simulations," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 172, pp. 314-323, 2017.

[٤] D. Mikulik et al., "Conductive-probe atomic force microscopy as a characterization tool for nanowire-based solar cells," Nano Energy, vol. 41, pp. 566-572, 2017.

[٥] Z. H. Yang et al., "Opto-electric investigation for Si/organic heterojunction single-nanowire solar cells," Scientific Reports, vol. 7, 2017.

[٦] M. K. Pathirane, H .H. Khaligh, I. A. Goldthorpe, and W. S. Wong, "Al-doped ZnO/Ag-nanowire Composite Electrodes for Flexible 3-Dimensional Nanowire Solar Cells," Scientific Reports, vol. 7, Aug 2017.

[٧] L. M. Ali and F. A. Abed, "Investigation the absorption efficiency of GaAs/InGaAs nanowire solar cells," Optical Materials, vol. 72, pp. 650-653, 2017.

[٨] J. Jang et al., "Cu(In,Ga)Se-2 thin film solar cells with solution processed silver nanowire composite window layers: Buffer/window junctions and their effects," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 170, pp. 60-67, 2017.

[٩] J. Ahn, H. Hwang, S. Jeong, and J. Moon, "Metal-Nanowire-Electrode-Based Perovskite Solar Cells: Challenging Issues and New Opportunities," Advanced Energy Materials ,vol. 7, no. 15, 2017.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]