



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۴۷۸-۱۰-A

## بهبود جذب نور در آرایه‌های نیمه‌متناوب سلول‌های خورشیدی نانوسیم

### مستطیلی سیلیکون بی‌شکل / کریستالی

سیده لیلا مرتضوی فر<sup>۱\*</sup>، مجتبی شهرکی<sup>۲</sup>، محمدرضا صالحی<sup>۱</sup>، ابراهیم عبیری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> شیراز، بلوار مدرس، دانشگاه صنعتی شیراز،

<sup>۲</sup> زاهدان، خیابان دانشگاه، دانشگاه سیستان و بلوچستان

\*  
l.mortazavifar@sutech.ac.ir

چکیده - در این مقاله، جذب نوری سلول‌های خورشیدی مستطیلی سیلیکون بلوری / بی‌شکل مورد مطالعه قرار گرفته است. هر نانوسیم از یک لایه نازک سیلیکون بی‌شکل تشکیل شده است که بین لایه‌های سیلیکون کریستالی محصور شده است. ساختار پیشنهادی در مقایسه با دیگر سلول‌های خورشیدی نانوسیم دارای هندسه بسیار ساده بوده، در حالی که میزان جذب آن با ساختارهای بسیار پیچیده قابل مقایسه است. برای دستیابی به جذب پهن‌بند از نانو سیم‌های مستطیل شکل دوره‌ای و نیمه دوره‌ای استفاده می‌شود. به منظور به حداکثر رساندن چگالی جریان اتصال کوتاه سلول خورشیدی نانوسیم پیشنهادی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۹۶ درصدی چگالی جریان اتصال کوتاه در مقایسه با ساختار فیلم نازک مسطح بهینه‌شده است.

کلید واژه- جذب نوری، جریان اتصال کوتاه، آنتن نوری، سیلیکون، نانوسیم

## Absorption improvement in semi-periodic arrays of a-si/c-si Solar cells

SyedehLeila Mortazavifar<sup>1,\*</sup>, Mojtaba Shahraki<sup>2</sup>, Mohammad Reza Salehi<sup>1</sup>, Ebrahim Abiri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shiraz University of Technology, Modarres Blvd, Shiraz, IRAN.

<sup>2</sup>University of Sistan and baluchestan, Daneshgah Blvd, Zahedan, IRAN.

\*  
l.mortazavifar@sutech.ac.ir

**Abstract-** In this paper, optical absorption of rectangular a-Si/c-Si solar cells is investigated. Each Nanowire is consisted of a thin layer of a-si, which surrounded by c-si layers. The proposed structure has a very simple geometry compared to other nanowire solar cells, while its absorption rate is comparable to very complex structures. Periodic and semi-periodic rectangular nanowires are used to achieve broadband absorption. In order to maximize the short-circuit current density of the proposed nanowire solar cells; particle swarm optimization (PSO) algorithm has been performed. The results show 96% increase in short-circuit current density compared to the optimally thin film structure.

Keywords: Optical Absorption, Short Circuit Current Density, Nano Antenna, Silicon, Nanowire

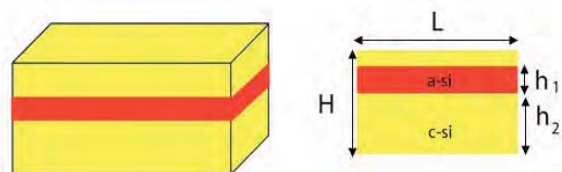
در ادامه مقاله، آرایه‌های مستطیل شکل دوره‌ای و نیمه دوره‌ای c-Si/a-Si بررسی شده‌اند. سپس، از چند NWs با هندسه‌های مختلف برای رسیدن به جذب پهن‌بند استفاده شده است. سرانجام، از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای بهینه‌سازی پارامترهای سلول‌های پیشنهادی استفاده گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از NW های مستطیلی نیمه دوره‌ای منجر به جذب پهن باند در داخل SC می‌شود.

### مدل نظری

در این مقاله، جذب نوری سلول‌های خورشیدی نانوسیم مستطیلی سیلیکون c-Si / a-Si مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، هر نانوسیم از یک لایه نازک سیلیکون آمورف تشکیل شده است که بین دو لایه سیلیکون بلوری قرار گرفته است. ضخامت لایه سیلیکون آمورف ۲۵ نانومتر تنظیم شده است [۴]. این لایه به اندازه کافی نازک است که تأثیرات منفی سیلیکون آمورف بر خصوصیات الکترونیکی و ایرقابل اغماض است.

به منظور جلوگیری از نفوذ نانوسیم‌ها، از یک لایه میانی  $\text{SiO}_2$  بین هر نانو وایر استفاده شده است [۴]. علاوه بر این، سطح نانو وایر نیز با  $\text{SiO}_2$  به عنوان یک پوشش ضد انعکاس پوشش داده شده است.

فرض بر این است که نور خورشید از قطبش‌های الکتریکی متقاطع (TE) و مغناطیسی متقاطع (TM) تشکیل شده است.



شکل ۱: هندسه مقطعی نانوسیم

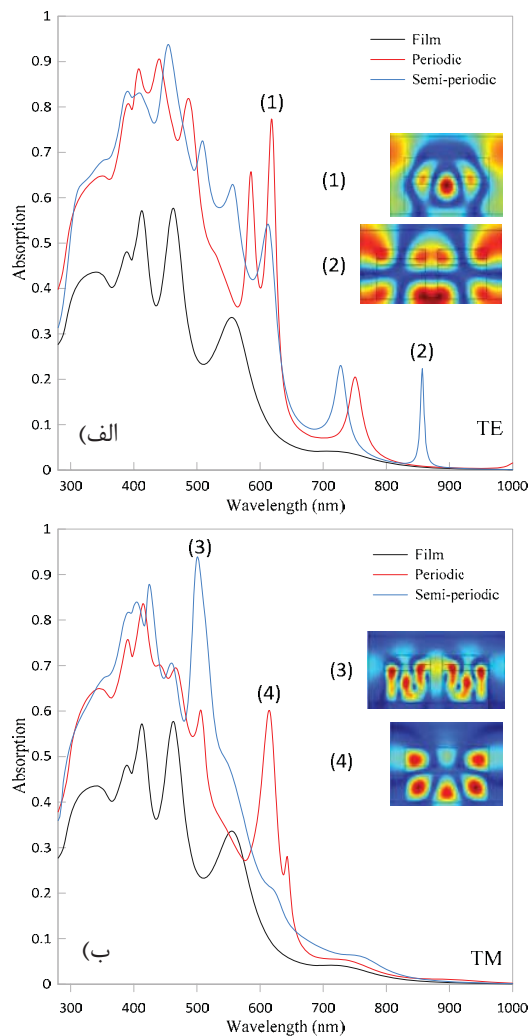
### مقدمه

سلول‌های خورشیدی در چندسال اخیر توجه زیادی را در تحقیقات علمی به دلیل مزایای فراوان مانند سودآوری، سبک‌وزن بودن و سادگی ساخت، به خود جلب کرده‌اند. با این حال، بازده کم این سلول‌ها برای کاربرد عملی چالش مهم می‌باشد. از این رو افزایش عملکرد سلول‌های خورشیدی همواره مشکلی است که در حین طراحی، باید به آن پرداخته شود. دستکاری رفتار نور برای بیشینه ساختن میزان جذب خورشیدی، روش کلیدی برای افزایش اثربخشی سلول‌های خورشیدی است [۱-۳].

استفاده از نانوسیم‌ها (NW) در سلول‌های خورشیدی (SC) به دلیل ویژگی‌های نوری قابل توجه NW های نیمه‌هادی از جمله جذب پهن‌بند و امکان تنظیم طیف جذب، توجه روزافزونی را به خود جلب کرده است. مهم‌تر از همه، فناوری NW هزینه تولید SC را به دلیل کاهش استفاده از مواد کمتر می‌کند.

سلول‌های لایه نازک از یک لایه نازک نیمه‌رسانا برای جذب فوتون‌ها استفاده می‌کنند. اولین سلول لایه نازک ساخته شده از نوع آمورف بود. این سلول به دلیل بازدهی کم و همچنین نرخ رسوب بالا نتوانست موفق ظاهر شود. از آنجا که طول انتشار حامل‌ها در a-Si نسبتاً کم است، اثرات مخربی بر خصوصیات الکتریکی SC دارد.

به همین دلیل، سیلیکون بلوری (c-Si) و سیلیکون بی‌شکل (a-Si) برای استفاده از طول انتشار حامل بالای c-Si و همچنین ضریب جذب بالای a-Si استفاده شده است [۱، ۲]. در این مقاله استفاده از نانوسیم‌های آرایه‌ای مستطیل شکل به عنوان ابزاری جهت افزایش بازدهی سلول خورشیدی پیشنهاد شده است. این سلول‌ها ساختار بسیار ساده‌ای داشته و در مقایسه با سلول‌های نانوسیم با ساختارهای پیچیده نتایج خوبی را ارائه می‌دهند.



شکل ۲: طیف جذب آرایه‌های مستطیلی دوره‌ای و نیمه دوره‌ای پیشنهادی و فیلم نازک SC، برای قطبش الف) TE و ب) TM.

مدهای کاواک (Cavity Modes) برای قطبش TM و برای قطبش TE مدهای گالری زمزمه (whispering Gallery Modes) منجر به افزایش جذب آرایه‌های مستطیلی‌گون پیشنهادی می‌شود. طیف جذب برای آرایه‌های دوره‌ای NW مستطیلی‌گون پیشنهادی برای قطبش TE و TM، در شکل ۳ نشان داده شده است.

### آرایه‌های نانوسیم مستطیلی نیمه دوره‌ای

با توجه به شکل ۲ قسمت ب) برای بهبود جذب NW سلول خورشیدی مستطیلی، از ساختار NW نیمه دوره‌ای استفاده شده است.

با استفاده از طیف جذب و با فرض کارایی کامل کوانتومی داخلی، می‌توان چگالی جریان اتصال کوتاه سلول خورشیدی را با استفاده از رابطه (1) بدست آورد [۶].

$$(1) J_{sc} = \int_{\lambda_{m1}}^{\lambda_{m2}} \frac{q\lambda}{hc} I(\lambda) A(\lambda) d\lambda$$

در این حالت،  $q$  بار الکترون،  $\lambda$  طول موج نور خورشید،  $h$  ثابت پلانک،  $c$  سرعت نور و  $\lambda_{m1}, \lambda_{m2}$  به حداقل و حداکثر طول موج اشاره دارند که به ترتیب برابر با  $280$  و  $1000$  نانومتر هستند  $A(\lambda)$ . جذب نور سلول خورشیدی و  $I(\lambda)$  شدت تابش جهانی طیف خورشید است که با AM.15 نشان داده می‌شود [۷].

### آرایه های فیلم نازک

در این آرایه ضخامت لایه سیلیکون آمورف  $25$  نانومتر و ضخامت کل ساختار  $200$  نانومتر تنظیم شده است. پارامترهای بهینه این سلول با استفاده از الگوریتم PSO به صورت  $h_2=124$  و  $t_{arc}=151/4$  nm،  $L=309.5$  nm  $nm$  به دست می‌آیند که منجر به چگالی جریان  $5.32$   $mA/cm^2$  می‌شود. در شکل ۲، طیف‌های جذب فیلم نازک رسم شده است.

### آرایه‌های نانوسیم مستطیلی دوره‌ای

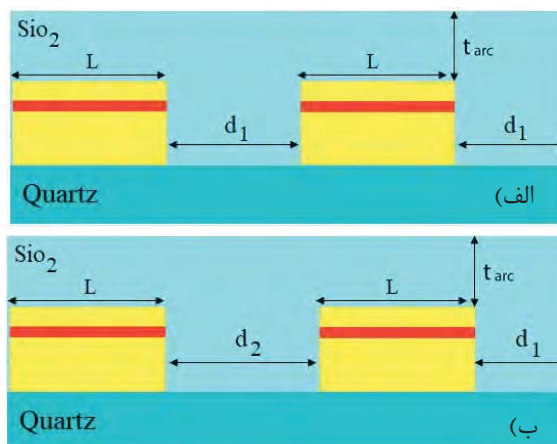
برای جذب بهتر نور، شکل ۳ الف) آرایه‌های دوره‌ای NW مستطیلی‌گون پیشنهادی در بالای بستری از کوارتز با ضخامت کافی قرار می‌گیرند. به دلیل وابستگی زیاد خصوصیات نوری سلول‌های خورشیدی به پارامتر هندسی نانوسیم، از الگوریتم PSO برای استخراج حداکثر چگالی جریان استفاده می‌شود. پارامترهای بهینه در جدول (۱) آورده شده است. در مقایسه با فیلم نازک، آرایه‌های دوره‌ای NW مستطیلی‌گونه پیشنهادی جذب بالاتری برای قطبش TE و TM دارند. یک تشدید قوی در حدود  $650$  -  $600$  نانومتر برای قطبش TM وجود دارد.

## نتیجه گیری

در این مقاله، برای افزایش چگالی جریان سلول‌های خورشیدی از یک آرایه c-Si/a-Si استفاده شده است و جذب نور در آرایه‌های مستطیلی گونه دوره‌ای و نیمه‌دوره‌ای بررسی شده است. به منظور به حداکثر رساندن چگالی جریان اتصال کوتاه سلول خورشیدی، الگوریتم بهینه‌سازی برای تمام ساختارهای پیشنهادی اعمال می‌شود. نتایج محاسبه نشان داد که آرایه‌های مستطیلی شکل دوره‌ای بهینه شده علاوه بر اینکه افزایش جذب بهتری در مقایسه با فیلم نازک دارد، حالت‌های تشدید جدیدی را نیز ایجاد می‌کند. ساختار پیشنهادی نیمه‌دوره‌ای در مقایسه با سلول فیلم نازک افزایش ۹۶ درصدی داشته است.

## مراجع

- [1] F. F. Mahani and A. Mokhtari, "TiO<sub>2</sub> circular nano-gratings as anti-reflective coatings and potential color filters for efficient organic solar cells," *Journal of nanoelectronics and optoelectronics*, vol. 13, no. 11, pp. 1624-1629, 2018.
- [2] Y. Gao, F. Jin, Z. Su, H. Zhao, Y. Luo, B. Chu, and W. Li, "Cooperative plasmon enhanced organic solar cells with thermal coevaporated Au and Ag nanoparticles," *Org. Electron.* 48, 336–341 (2017).
- [3] P. T. Dang, T. K. Nguyen, and K. Q. Le, "Revisited design optimization of metallic gratings for plasmonic light-trapping enhancement in thin organic solar cells," *Opt. Commun.* 382, 241–245 (2017).
- [4] M. Gwon, Y. Cho, and D.-W. Kim, "Design of surface nanowire arrays for high efficiency thin ( $\leq 10$  nm) Si solar cells", *Curr. Appl. Phys.*, Vol. 15, pp. 34-37, Jan. 2015.
- [5] M. Shahraki, M.R. Salehi, and E. Abiri, "Optimal design of laterally assembled hexagonal silicon nanowires for broadband absorption enhancement in ultrathin solar cells", *Opt. Eng.*, Vol. 54, pp. 115102, Nov. 2015.
- [6] Yan, X.; Liu, H.; Sibirev, N.; Zhang, X.; Ren, X. "Performance Enhancement of Ultra-Thin Nanowire Array Solar Cells by Bottom Reflectivity Engineering. *Nanomaterials*" 2020, 10, 184.



شکل ۳. آرایه‌های نانوسیم مستطیلی (الف) دوره‌ای (ب) نیمه دوره‌ای

در ساختار نیمه دوره‌ای، اثر آنتن نوری و اثر پراش را می‌توان با تغییر فضای بین هر NW کنترل کرد. با هدف به حداکثر رساندن جریان اتصال کوتاه ( $J_{SC}$ ) از الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی ساختار پیشنهادی استفاده می‌شود. پارامترهای بهینه در جدول (۱) آورده شده است.

طیف جذب آرایه‌های فیلم نازک، دوره‌ای و نیمه دوره ای NW در شکل ۲ مقایسه شده است. چگالی کل جریان سلول‌های خورشیدی در درجه اول با نسبت منطقه سیلیکون پیش‌بینی شده تعیین می‌شود. با این وجود، حداکثر چگالی جریان موثر نتیجه هر دو اثر پراش و آنتن نوری است. در جدول (۱) مقادیر محاسبه شده پارامترهای بهینه شده برای ساختارهای مختلف پیشنهادی همراه با افزایش  $J_{SC}$  در مقایسه با نانوسیم فیلم نازک ارائه شده است.

جدول ۱: پارامترهای بهینه شده

| Structure                      | Thin film | Periodic | Semiperiodic |
|--------------------------------|-----------|----------|--------------|
| $L$                            | 309.5     | 301.3    | 196.6        |
| $d_1$                          | -         | 102.3    | 132.7        |
| $d_2$                          | -         | -        | 50.1         |
| $h_2$                          | 151.4     | 76.1     | 78.2         |
| $J_{SC}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) | 124       | 108      | 137          |
|                                | 5.32      | 9.853    | 10.45        |

[7]Peter Amalathas, A.; Alkaisi, M.M. “Nanostructures for light trapping in thin film solar cells. *Micromachines*”2019, 10, 619.