



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸



## بهینه سازی ساختارهای متناوب فلزی برای تله اندازی نور در سلول‌های خورشیدی

ثمین جباری<sup>۱</sup>، سعید گل محمدی هریس<sup>۲</sup>

۱-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز ([Samin.jabbary96@ms.tabrizu.ac.ir](mailto:Samin.jabbary96@ms.tabrizu.ac.ir))

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز ([Sgolmohammadi@tabrizu.ac.ir](mailto:Sgolmohammadi@tabrizu.ac.ir))

چکیده - سلول‌های خورشیدی لایه نازک به دلیل انعطاف پذیری و مصرف کمتر ماده نیمه هادی در ساختارشان مورد توجه قرار گرفته اند. یکی از ایرادات اساسی سلول‌های خورشیدی لایه نازک، ضخامت کم این نوع سلول‌ها و میزان جذب کمتر آنها به دلیل عبور نور از ساختار است. استفاده از نانو ساختارها در سطح سلول‌های خورشیدی به عنوان یکی از ابزارهای مهم در افزایش میزان جذب نور به واسطه حبس نور است. در این مقاله، دو ساختار برای افزایش میزان حبس نور مورد بررسی قرار گرفته که برای جذب در حداکثر پهنای باند نور بهینه سازی شده اند. ساختار اول حاوی لایه نازک از جنس AZO بر روی بستر سیلیکون است که نیمه کره‌هایی از جنس TiO<sub>2</sub> در داخل آن با آرایش لانه زنبوری قرار داده شده است. ساختار دوم دارای لایه ای با نیمه کره‌هایی به صورت حفره‌هایی توخالی با پوشش‌های AZO و TiO<sub>2</sub> با آرایه‌های لانه زنبوری است که بر روی بستر سیلیکون قرار داده شده است. در بهینه سازی جریان فوتونی برای رسیدن به بیشترین مقدار جریان، افزایش ۳۹٪، ۲۸٪ و ۴۵٪ در چگالی جریان اتصال کوتاه به ترتیب در لایه‌های a-Si 100nm، a-Si 300nm و c-Si 1.5µm به دست آمده است.

کلید واژه- سطوح شکل داده شده، سلول‌های خورشیدی، سیلیکون، نانوذرات فلزی

### Optimization of alternating metal structures for light trapping in solar cells

Samin Jabbary<sup>1</sup>, Saeed Golmohammadi heris<sup>2</sup>

1-Faculty of electrical engineering, university of Tabriz, Iran ([Samin.jabbary96@ms.tabrizu.ac.ir](mailto:Samin.jabbary96@ms.tabrizu.ac.ir))

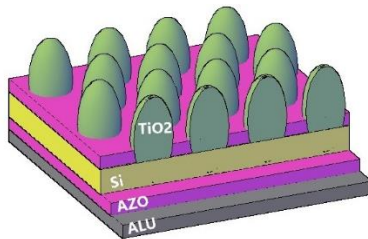
2- Faculty of electrical engineering, university of Tabriz, Iran ([Sgolmohammadi@tabrizu.ac.ir](mailto:Sgolmohammadi@tabrizu.ac.ir))

Abstract-Thin-film solar cells have attracted attention because of their flexibility and low consumption of semiconductor material. One of the major drawbacks of thin-film solar cells is their low absorption due to the light passing through the thin layer structure. The use of nanostructures on the surface of solar cells is one of the important tools for increasing the amount of light absorption via light confinement. In this paper, we optimize two structures to enhance light confinement through absorption bandwidth. The first structure contains a thin layer of AZO on a silicon substrate with TiO<sub>2</sub> spheres embedded in it with honeycomb arrangement. The second structure has a semicircular layer of hollow cavities with AZO and TiO<sub>2</sub> material with honeycomb arrays placed on the Si substrate. We achieved 39%, 28%, and 45% enhancement in photocurrent optimization, in 100nm, 300nm a-Si and 1.5µm c-Si layers, respectively.

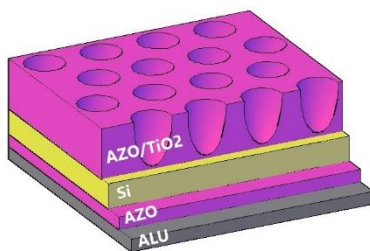
Keywords: metal nanoparticles, patterned structures, solar cell, silicon

## مقدمه

با شبکه لانه زنبوری متناوب است که در داخل لایه AZO طراحی شده است (الف). اطلاعات مربوط به چگالی جریان فوتونها در جدول ۱ آمده است. در حالت دوم لایه ای با ضخامت‌های بهینه شده‌ی مختلف یک بار با ماده AZO و بار دیگر با ماده TiO<sub>2</sub> بر روی سه بستر طراحی شده است. در این حالت آرایه‌های نیمه کره‌ای به صورت برعکس و تو خالی در داخل مواد طراحی شده است (ب) [3 و 4]. اطلاعات مربوط به این حالت با هر دو ماده نیز در جدول ۱ قرار داده شده است. در این مقاله به بررسی جذب سلول خورشیدی پس از قرار دادن این آرایه‌ها می‌پردازیم و نتایج حاصل را با حالت‌های ساده تر سلول‌ها مقایسه می‌کنیم. منبع مورد استفاده یک منبع موج تخت با فرکانس ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر می‌باشد. نتایج شبیه سازی توسط نرم‌افزار لومریکال بدست آمده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱: طرح هایی از هر دو نوع نانو ساختارهای حبس نور که در این تحقیق طراحی و مورد تحلیل قرار گرفته اند.

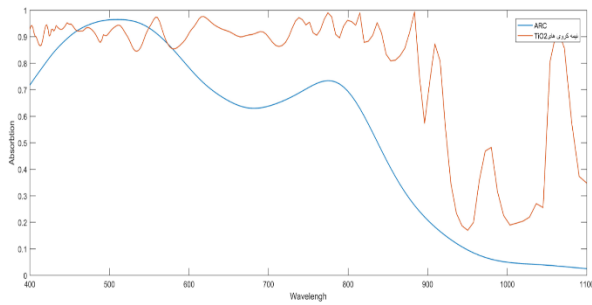
## نتایج و بحث

ابتدا با ساختار حالت الف شروع می‌کنیم و به بررسی مقدار جذب سلول بعد از قرار دادن ساختار حبس نور می‌پردازیم.

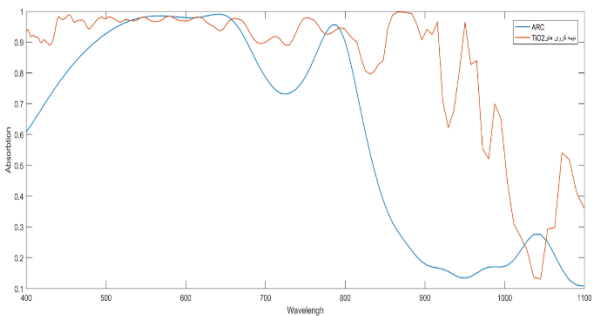
ساخت سریع و آسان سلولهای خورشیدی لایه نازک، همچنین هزینه تمام شده‌ارزان، وزن سبک و انعطاف‌پذیری بیشتر از جمله مزایای این سلول‌ها می‌باشد. علاوه بر این کاهش ضخامت، می‌تواند منجر به افزایش Voc (و در نتیجه بهره‌وری) به دلیل کمتر شدن باز ترکیب‌ها در لایه جاذب شود [۱]. روش‌های تله اندازی به طور معمول در افزاره‌های مبتنی بر ویفر و یا فیلم‌های نازک استفاده می‌شود که عمدتاً توسط لایه‌هایی همچون ARC (پوشش ضد انعکاس) و یا TCO (اکسید رسانای شفاف) که به صورت شکل داده شده در جلو و یا پشت ساختار قرار می‌گیرند، فراهم می‌شود [۲]. هدف ما در این مقاله استفاده از نانوذرات فلزی برای ایجاد ساختارهای متناوب در سطح سلول خورشیدی لایه نازک برای افزایش میزان حبس نور و در نتیجه افزایش بازدهی آن می‌باشد.

## طراحی ساختار و شبیه سازی

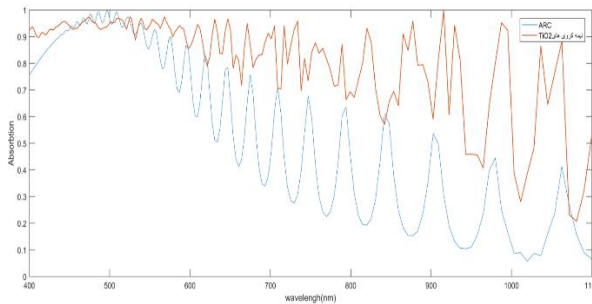
شکل ۱، نمایی از ساختار سلول‌های خورشیدی لایه نازک سیلیکونی حاوی نانو ذرات به صورت نیمه کره‌های چشم پروانه ای و همچنین سطح سوراخدار را نشان می‌دهد. این طراحی شامل سه نوع متفاوت لایه فعال از جنس سیلیکون بی‌شکل (a-Si) در دو ضخامت متفاوت ۱۰۰ و ۳۰۰ نانومتر و سیلیکون کریستالی (c-Si) با ضخامت ۱،۵ میکرومتر است. اتصال پشتی Si یک لایه از جنس AZO (آلومینیوم زینک اکسید) با ضخامت ۶۰nm و یک لایه از جنس الومینیوم برای بازتاب فوتون‌های رسیده به قسمت پشتی ساختار به درون لایه جاذب است. قسمت بالایی لایه Si، شامل دو حالت مختلف نشان داده شده در شکل است. حالت اول شامل یک لایه ARC از جنس AZO است، که ضخامت این لایه در بسترهای مختلف تغییر می‌کند، و الگویی از آرایه‌های نیمه کره‌ای از جنس TiO<sub>2</sub> (تیتانیوم دی اکسید)



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۲: نمودار طیف جذب نور خورشید در ساختار نیمه کره‌های TiO<sub>2</sub> با سه لایه جذب متفاوت (الف) a-Si 100nm (ب) a-Si 300nm و (پ) c-Si 1.5μm

خطوط قرمز رنگ نمودارهای موجود در شکل ۲ قسمت‌های الف تا پ نشان دهنده طیف جذبی ساختار نیمه کره‌های TiO<sub>2</sub> است (سطر سوم جدول ۱). خطوط آبی رنگ نمودارها نیز مربوط به ساختار سطر اول جدول ۱ هستند، که برای مقایسه نتایج آورده شده‌اند. با قرار دادن ساختارهای حبس نور میزان جذب سلول خورشیدی در اکثر طول موج‌های طیف افزایش داشته است و دلیل این امر کاهش میزان بازتاب به علت وجود لایه AZO در اطراف نیمه کره‌ها و

همانطور که در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است جذب سلول‌های خورشیدی با قرار دادن ساختار در اکثر طول موج‌ها، مخصوصاً طول موج‌های کوتاه‌تر، افزایش قابل ملاحظه‌ای به دست آمده است. چگالی جریان اتصال کوتاه بدست آمده در حالت پایه سلول خورشیدی (بدون ساختار حبس نور و با یک لایه AZO) برای هر سه بستر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: نتایج جریان فوتونی (J<sub>ph</sub>) مربوط به ساختارهای شکل ۱ در مقایسه با دیگر حالت‌ها

ساختار	لایه جذب	لایه جذب	لایه جذب
ARC	20.1	25.4	21.7
سطوح لامبارتین	32.4	33.7	38
نیمه کره‌های توخالی TiO <sub>2</sub>	27.6	31.7	31.4
در TiO <sub>2</sub>	27.6	32.7	30.5
نیمه کره‌های توخالی AZO	24.4	28.6	24.7

در جدول بالا مقادیر J<sub>ph</sub> با یکای mA/cm<sup>2</sup> برای ساختارهای طراحی شده با دو ساختار دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است. ساختار اولیه شامل سلول خورشیدی با لایه جذب Si معمولی می‌باشد، ولی با این تفاوت که یک لایه نازک از جنس AZO به عنوان ARC است. مشاهده می‌شود که وجود این ساختارهای حبس نور چه میزان در مقدار J<sub>ph</sub> تاثیر داشته است. سطر دوم جدول نیز به محدودیت تئوریکال ساختارهای حبس نور از نظر اپتیک هندسی که از سطوح پراکندگی لامبارتین ایده‌آل شده بدست می‌آید، دلالت می‌کند.

خطوط قرمز و آبی رنگ، مربوط به سطر ۴ و ۵ جدول (۱) با سه لایه جاذب متفاوت است. با مقایسه دو طیف قرمز و آبی رنگ، مشاهده میکنیم که در دو بستر اولیه در اکثر طول موج ها ساختار  $TiO_2$  دارای میزان جذب بالاتری نسبت به ساختار AZO بوده و در طول موج های کوتاهتر تفاوت بسیار کمی از طیف سطوح لامبارتین دارد.

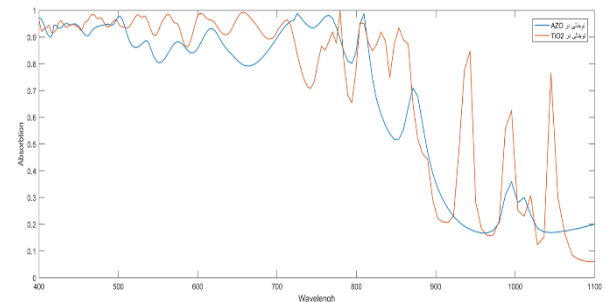
### نتیجه گیری

در این مقاله اثر استفاده از ساختارهای حبس نور بر میزان جذب نور در یک سلول خورشیدی لایه نازک مورد بررسی قرار گرفته است. با در نظر گرفتن بیشترین میزان جریان فوتونی به دست آمده هر ساختار، شاهد افزایش افزایش  $39\%$ ،  $28\%$  و  $45\%$  چگالی جریان اتصال کوتاه به ترتیب در لایه های  $a-Si$  100nm،  $a-Si$  300nm و  $c-Si$  1,5 $\mu m$  بوده ایم. دلیل این امر کاهش میزان نور بازتابی در طول موج های کوتاهتر به دلیل وجود لایه ARC و افزایش طول مسیر طی شده توسط نور در لایه جاذب و TCO در طول موجهای بلندتر و در حالت کلی حبس نور و تعداد فوتون بیشتر در داخل ساختار و انتقال آن به لایه جاذب است. این اثرات ادغام شده باعث بهبود افزایش پهنای باند جذب نور و کاهش ضخامت لایه جاذب بدون اتلاف جریان خروجی میشود.

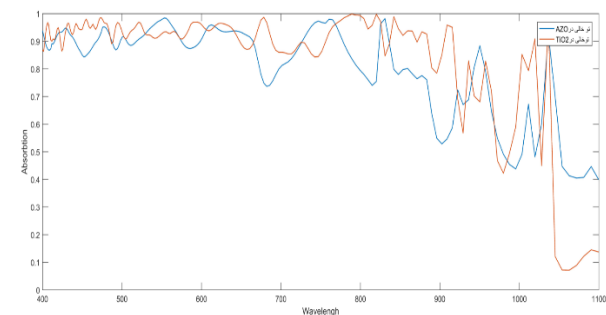
### مراجع

- [1] Sai, H.; Matsui, T.; Koida, T.; Matsubara, K.; Kondo, M.; Sugiyama, S.; Katayama, H.; Takeuchi, Y.; Yoshida, I. Appl. Phys. Lett., 2015, 106, 213902.
- [2] Sai, H.; Matsui, T.; Matsubara, K.; Kondo, M.; Yoshida, I. IEEE J. Photovolt., 2014, 4, 1349.
- [3] Mendes, M.J., Araújo, A., Vicente, A., Aguas, H., Ferreira, I., Fortunato, E., and Martins, R. (2016). Design of optimized wave-optical spheroidal nanostructures for photonic-enhanced solar cells. Nano Energy 26, 286–296.
- [4] Tseng, P.-C., Tsai, M.-A., Yu, P., and Kuo, H.-C. (2012). Antireflection and light trapping of subwavelength surface structures formed by colloidal lithography on thin film solar cells. Prog. Photovolt. Res. Appl. 20, 135–142.

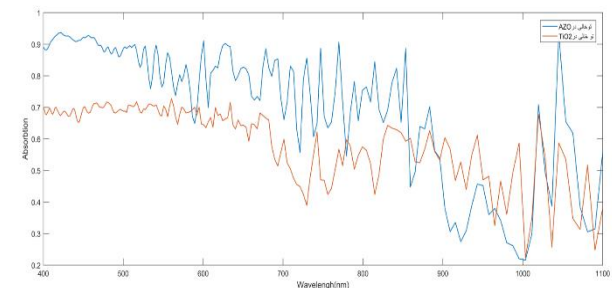
وجود نیمه کره های موجود در روی سطح هستند، که باعث میشود همانند یک عدسی عمل کرده و فوتون های برخوردی به خود را به جای بازتاب در لایه جاذب متمرکز کنند. با مقایسه کلی تصاویر شکل ۲ مشاهده میکنیم که میزان جذب در هر سه بستر در کل بازه طول موجی افزایش چشمگیری داشته است.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۳: نمودار طیف جذب نور خورشید در ساختار نیمه کره های تو خالی در  $TiO_2$  و AZO با سه لایه جاذب متفاوت (الف)  $a-Si$  100nm (ب)  $a-Si$  300nm و (پ)  $c-Si$  1,5 $\mu m$

تصاویر الف تا پ شکل ۲ نشان دهنده طیف جذبی ساختار نیمه کره های تو خالی با دو ماده  $TiO_2$  و AZO (به ترتیب