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[۱]،سعید گل محمدی هریس[۲]

۱–دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ، دانشگاه تبریز، تبریز(Samin.jabbary96@ms.tabrizu.ac.ir)

۲– دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ، دانشگاه تبریز، تبریز(Sgolmohammadi@tabrizu.ac.ir)

چکیده – سلول‌های خور شیدی لایه نازک به دلیل انعطاف پذیری و م صرف کمتر ماده نیمه هادی در ساختار شان مورد توجه قرار گرفته اند. یکی از ایرادات ا سا سی سلول‌های خور شیدی لایه نازک، ضخامت کم این نوع سلول‌ها و میزان جذب کمتر آن‌ها به دلیل عبور نور از ساختار ا ست. ا ستفاده از نانو ساختارها در سطح سلول‌های خور شیدی به عنوان یکی از ابزارهای مهم در افزایش میزان جذب نور به وا سطه حبس نور ا ست. دراین مقاله، دو ساختار برای افزایش میزان حبس نور مورد برر سی قرار گرفته که برای جذب درحداکثر پهنای باند نور بهینه سازی شده اند. ساختار اول حاوی لایه ای نازک از جنس AZO بر روی بستر سیلیکون است که نیمه کره‌هایی از جنس TiO2 در داخل آن با آرایش لانه زنبوری قرار داده شده است. ساختار دوم دارای لایه ای با نیمه کره‌هایی به صورت حفره‌هایی توخالی با پو شش‌های AZO و TiO2 با آرایه‌های لانه زنبوری ا ست که بر روی ب ستر سیلیکون قرار داده شده ا ست. در بهینه ســازی جریان فوتونی برای رســیدن به بیشــترین مقدار جریان، افزایش ۳۹٪، ۲۸٪ و ۴۵٪ در چگالی جریان اتصــال 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 solarcells

Samin Jabbary[1], Saeed Golmohammadi heris[2]

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

2- Faculty of electrical engineering, university of Tabriz,Iran (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 TiO2 spheres embedded in it with honeycomb arrangement. The second structure has a semicircular layer of hollow cavities with AZO and TiO2 material with honeycomb arrays placed on the Si substrate. We achieved 39%, 28%, and 45% enhancement in **p**hotocurrent optimization, in 100nm, 300nm a-Si and 1.5µm c-Si layers, respectively.

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

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

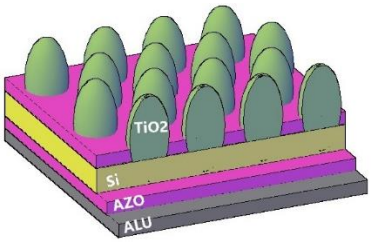
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

مقدمه

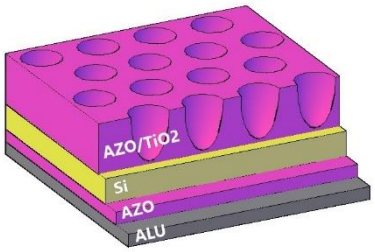
ساخت سریع و آسان سلولهای خورشیدی لایه نازک، همچنین هزینه تمام شده‌ارزان، وزن سبک و انعطاف‌پذیری بیشتر از جمله مزایای این سلول‌ها می‌باشد. علاوه بر این کاهش ضخامت، می‌تواند منجر به افزایش V_{OC} (و در نتیجه بهره‌وری) به دلیل کمتر شدن باز ترکیب‌ها در لایه جاذب شود[۱]. روش‌های تله اندازی به طور معمول در 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 درنتیجه افزایش بازدهی آن می‌باشد.

طراحی ساختار و شبیه سازی

شکل۱، 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 TiO2 (تیتانیوم دی اکسید) 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 TiO2 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 هردو 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 تا۱۱۰۰نانومتر میباشد. نتایج شبیه سازی توسط نرمافزار لومریکال بدست آمده است.



الف)



ب)

شکل ۱: طرح هایی از هر دو نوع نانوساختارهای 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.

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

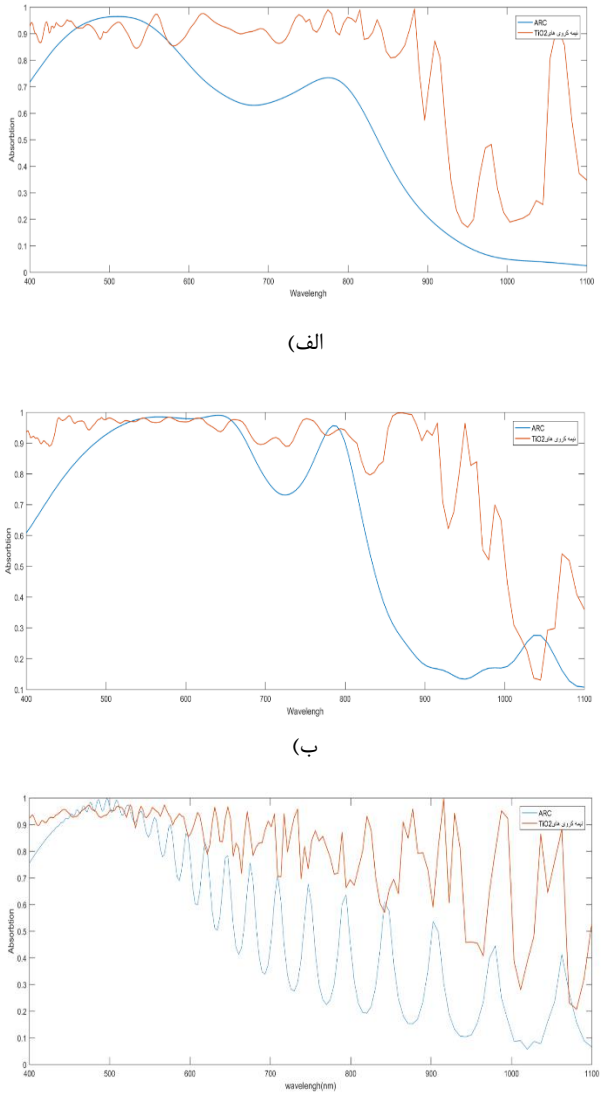
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

همانطور که در شکل۲ و ۳ نشان داده شده است جذب سلول‌های خورشیدی با قرار دادن ساختار در اکثر طول موج‌ها، مخصوصاً طول موج‌های کوتاهتر، افزایش قابل ملاحظه ای به دست آمده است. چگالی جریان اتصال کوتاه بدست آمده درحالت پایه سلول خورشیدی (بدون ساختار حبس نور وبا یک لایه AZO) برای هر سه بستر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱: نتایج جریان فوتونی(Jph)مربوط به ساختارهای شکل ۱ در مقایسه با دیگر حالت‌ها

ساختار حبس نور	لایه جاذب a-Si 100nm	لایه جاذب a-Si 300nm	لایه جاذب c-Si 1.5µm
ARC	20.1	25.4	21.7
سطوح لامبارتین	32.4	33.7	38
نیمه کره‌های TiO2	27.9	31.7	31.4
نیمه کره‌های توخالی در TiO2	27.6	32.7	30.5
نیمه کره‌های توخالی در AZO	24.4	28.6	24.7

در جدول بالا مقادیر Jph با یکای mA/cm^2 برای ساختارهای طراحی شده با دو ساختار دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است. ساختار اولیه شامل سلول خورشیدی با لایه جاذب 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 Jph تاثیر داشته است. سطر دوم جدول نیز به محدودیت تئوریکال ساختارهای حبس نور از نظر اپتیک هندسی که از سطوح پراکندگی لامبارتین ایده ال شده بدست می آید،دلالت میکند.



الف)

ب)

پ)

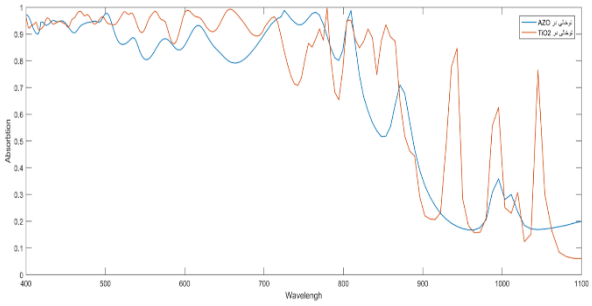
شکل ۲: نمودار طیف جذب نور خورشید در ساختار نیمه کره‌های TiO2 با سه لایه جاذب متفاوت الف) a-Si 100nm ب)-a Si 300nm و پ)c-Si 1,5µm

خطوط قرمز رنگ نمودارهای موجود در شکل۲ قسمت‌های الف تا پ نشان دهنده طیف جذبی ساختار نیمه کره‌های TiO2 است (سطر سوم جدول۱). خطوط آبی رنگ نمودارها نیز مربوط به ساختار سطر اول جدول ۱ هستند، که برای مقایسه نتایج آورده شده اند. با قرار دادن ساختار های 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

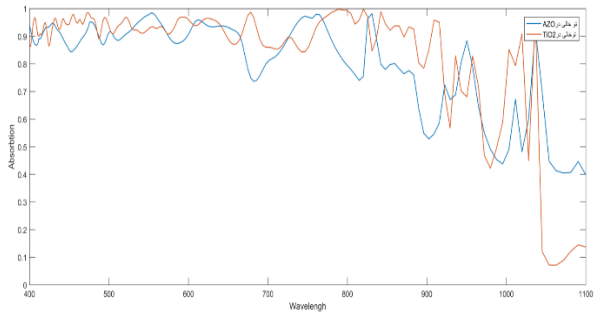
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

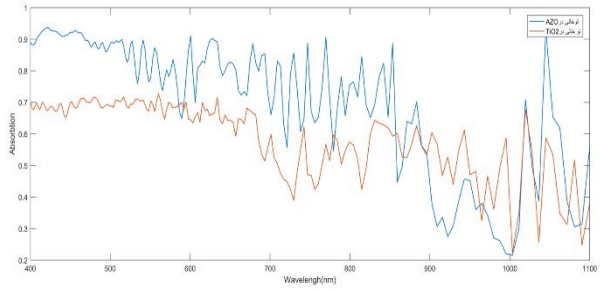
وجود نیمه کره‌های موجود در روی سطح هستند، که باعث میشود همانند یک عدسی عمل کرده و فوتون‌های برخوردی به خود را به جای بازتاب در لایه جاذب متمرکز کنند. با مقایسه کلی تصاویر شکل ۲ مشاهده میکنیم که میزان جذب در هر سه بستر در کل بازه طول موجی افزایش چشمگیری داشته است.



الف)



ب)



پ)

شکل ۳: نمودار طیف جذب نور خورشید در ساختار نیمه کره‌های تو خالی در TiO2و AZO با سه لایه جاذب متفاوت الف) a-Si 100nm ب) a-Si 300nm و پ)c-Si 1,5µm

تصاویر الف تا پ شکل ۲ نشان دهنده طیف جذبی ساختار نیمه کره‌های توخالی با دو ماده TiO2 و AZO (به ترتیب 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 TiO2 دارای میزان جذب بالاتری نسبت به ساختار AZO بوده و در طول موج های کوتاهتر تفاوت بسیار کمی از طیف سطوح لامبارتین دارد .

نتیجه‌گیری

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 ۳۹٪، ۲۸٪ و ۴۵٪ چگالی جریان اتصال کوتاه به ترتیب در لایه های a-Si 100nm، a-Si 300nm و c-Si 1,5µm 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., Arau´ jo, 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.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]