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

افزایش جذب نور در سلولهای خورشیدی لایه نازک سیلیکونی: اثرات پوشش های ضد بازتاب و بازتابنده پشتی

سپیده، اسماعیلی قرمزگلی؛ بهروز، رضائی؛ سهراب، احمدی

دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

Sepidehesmaili72@gmail.com

چکیده – در این مقاله یک سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکونی با پوشش ضد بازتاب در سطح جلویی و ترکیبی از توری متناوب و بلور فوتونی در سطح پشتی آن در نظر گرفته شده است. ضخامت و تعداد لایه های پوشش ضد بازتاب، همچنین پارامترهای هندسی و فیزیکی بلور فوتونی و توری به منظور افزایش جذب نوری سلول خورشیدی بهینه سازی می شوند. شبیه سازی با استفاده از روش تفاضل متناهی در حوزه زمان تحت نرم افزار لومریکال انجام یافته است. نتایج محاسبات نشان می دهد که جذب نوری سلول خورشیدی با در نظر گرفتن پوشش ضد بازتاب، بلور فوتونی و توری به میزان قابل توجهی افزایش یافته است.

کلید واژه- بلور فوتونی، پوشش ضد بازتاب، توری، جذب، سلول خورشیدی سیلیکون

Optical absorption enhancement in thin film silicon solar cells: The effect of antireflection coatings and back reflectors

Sepideh, Esmaeili Germezgholi; Behrooz, Rezaei; Sohrab, Ahmadi

Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz

Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz

Abstract- In this paper, a **thin film silicon** solar cell **with anti-reflection coating on front surface and combination of periodic grating and photonic crystal on its back surface has been considered. The thickness and number of anti-reflection coating, as well as the geometric and physical parameters of photonic crystal and grating are optimized to increase the optical absorption of solar cell. The simulations have been performed using the finite difference time domain method with Lumercial software. The results show that optical absorption of solar cell has been increased significantly using the anti-reflection coating, photonic crystal and grating.**

Keywords: Photonic crystal, antireflection coating, grating, absorption, silicon solar cell.

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

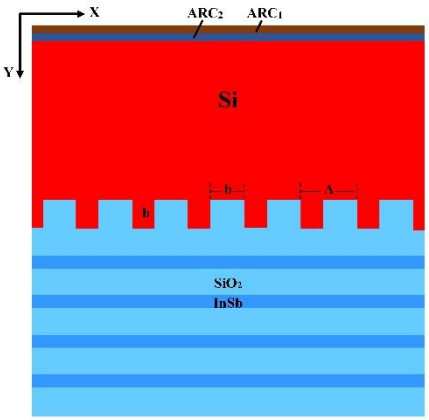
[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

مقدمه

با توجه به افزایش آلودگی و غلظت هوا ناشی از سوخت های فسیلی از قبیل نفت، گاز و غیره و گرم شدن تدریجی کره زمین، تمایل برای استفاده از انرژی خورشیدی رو به افزایش است. فناوری فتوولتائیک یکی از بهترین روش ها برای استفاده از انرژی خورشیدی است و بر این اساس مطالعه سلول های خورشیدی به عنوان منابعی پاک برای تولید انرژی از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. در میان تمام سلول های خورشیدی نیمرسانا، سلول های خورشیدی سیلیکونی بخش زیادی از بازار فتوولتائیک را به خود اختصاص داده اند. برای افزایش جذب در لایه های سیلیکونی نازک از تکنیکهای مختلفی مانند پوشش های ضد بازتابی (ARC) در سطح جلویی و بکارگیری فلزات، بلورهای فوتونی و توری ها به عنوان بازتاب کننده های پشتی استفاده می کنند [۳-۲]. اخیراً مطالعاتی در زمینه بکارگیری همزمان بلور فوتونی و توری به عنوان بازتاب کننده پشتی در سلول های خورشیدی انجام یافته و نشان داده شده است که این امر افزایش چشمگیری در جذب و در نتیجه کارایی سلول خورشیدی دارد [۵-۴]. هدف از این مطالعه بکار گیری بلور فوتونی و توری به عنوان بازتاب کننده پشتی سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکونی و بهینه سازی پارامترهای هندسی و فیزیکی آن به منظور افزایش جذب در لایه فعال سیلیکون (Si) می باشد. همچنین جنس، ضخامت و تعداد لایه های ARC به منظور افزایش جذب لایه فعال سیلیکونی بهینه سازی خواهد شد.

روش محاسباتی

ساختار سلول خورشیدی مورد مطالعه در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است. لایه فعال سلول خورشیدی از جنس سیلیکون با ضخامت D است. بلور فوتونی یک بعدی از لایه های دی الکتریک SiO_2 و InSb به ترتیب با ضرایب شکست و ضخامت (n_1, d_1) و (n_2, d_2) تشکیل شده است. جنس توری از ماده SiO_2 بوده و دارای مشخصات Λ (دوره تناوب)، h (عمق) و b (پهنا) می باشد.



شکل ۱: نمایش طرحوار ساختار سلول خورشیدی مورد مطالعه.

ضخامت ARC طوری انتخاب می شود که کمترین بازتاب حاصل شود. بنابر این ضخامت ARC در حالتی که تک لایه باشد، برابر t و برای حالتی که دو لایه در نظر گرفته شود، ضخامت ها با t_1 و t_2 نمایش داده می شوند و از روابط زیر حاصل می شوند [۶]:

$$t = \frac{\lambda_0}{4n}$$

$$t_1 = \frac{\lambda_0}{2\pi n_1}\sqrt{\tan^{-1}\left[\frac{(n_s - n_0)(n_2^2 - n_0 n_s)n_1^2}{(n_1^2 n_s - n_0 n_2^2)(n_0 n_s - n_1^2)}\right]} \quad (۱)$$

$$t_2 = \frac{\lambda_0}{2\pi n_2}\sqrt{\tan^{-1}\left[\frac{(n_s - n_0)(n_0 n_s - n_1^2)n_2^2}{(n_1^2 n_s - n_0 n_2^2)(n_2^2 - n_0 n_s)}\right]}$$

در رابطه فوق λ_0 طول موج نور تابیده شده در فضای آزاد، n_0، n_1، n_2 و n_s به ترتیب ضریب شکست محیط ورودی، لایه ARC اول، لایه ARC دوم و Si در طول موج λ_0 است. در این مقاله برای محاسبه طیف جذبی ساختار سلول خورشیدی مورد مطالعه از روش تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD) تحت نرم افزار لومریکال استفاده شده است. ناحیه شبیه سازی برای انتشار نور قطبیده TM (میدان الکتریکی در راستای محور Z) دارای شرط مرزی تناوبی در راستای جانبی (جهت X) و شرط مرزی جاذب PML در

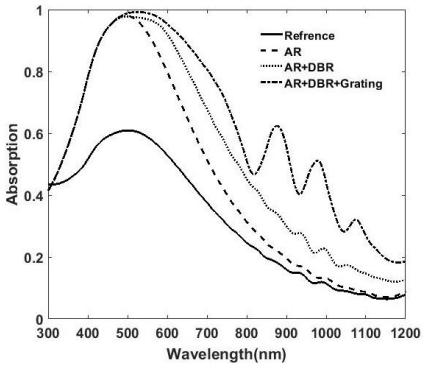
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

راستای Y است. ابعاد ناحیه محاسباتی برابر 0.86×6 میکرومتر و گام های مکانی برابر $\Delta x=\Delta y=0.25nm$ در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

ساختار سلول خورشیدی شامل لایه نازک Si فعال به ضخامت $D=2\mu m$ و بلور فوتونی است. بلور فوتونی از ۸ دوره تناوب SiO_2 و InSb تشکیل شده و پارامترهای آن به صورت $n_1=1.46$، $n_2=4.72$، $d_1=128nm$، $d_2=40nm$ انتخاب شده است [۷]. توری از جنس SiO_2 بوده و پارامترهای بهینه شده آن $\Lambda=0.86\mu m$، $b=0.43\mu m$ و $h=0.31\mu m$ است. محاسبات نشان می دهد که طیف عبوری بلور فوتونی با توجه به مواد انتخاب شده و پارامترهای بهینه شده آن دارای گاف فوتونی بسیار بزرگ بوده و در بازه ۵۵۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر تغییر می کند. نور پس از برخورد به آن به داخل لایه فعال بازتاب شده، در نتیجه باعث افزایش جذب در این ناحیه می شود. توری در این ساختار به منظور پراکندگی نور تعبیه شده و موجب بیشتر شدن مسیر حرکت نور در داخل لایه فعال و در نتیجه افزایش جذب نور در آن می شود. پارامترهای توری طوری بهینه شده اند که جذب لایه فعال بیشتر شود. لایه شفاف ARC به منظور کاهش انعکاس از سطح سلول خورشیدی در نظر گرفته می شود. اکثراً در سلولهای خورشیدی از مواد TiO_2 ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، ZnO و غیره به عنوان ARC استفاده می شود. در این مقاله از SiO بعنوان ARC تک لایه و از ZnO/TiO_2 ، MgF_2/TiO_2 و Al_2O_3/TiO_2 بعنوان ARC های دو لایه استفاده شده است. لایه SiO به ازای طول موج هدف $\lambda_0=525nm$ دارای ضریب شکست $n_{SiO}=1.99$ [۸] و طبق رابطه (۱) دارای ضخامت $t=65.95nm$ است. طیف جذبی ساختار مورد مطالعه با در نظر گرفتن SiO بعنوان تک لایه ARC در شکل ۲ نشان داده شده است.



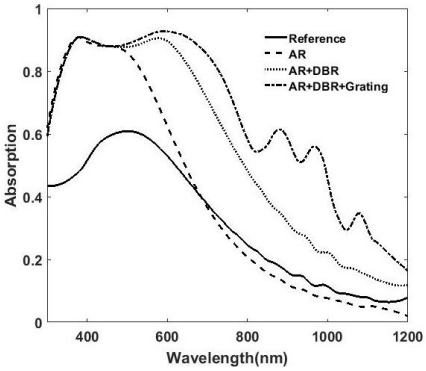
شکل ۲: طیف جذبی سلول خورشیدی مورد مطالعه با ARC تک لایه SiO

لازم به توضیح است که شبیه سازی تحت نرم افزار لومریکال انجام یافته و داده های بدست آمده برای طیف جذبی در نرم افزار مطلب رسم شده اند. این شکل طیف جذبی ساختار مورد مطالعه را در چهار حالت: ۱) مرجع (بدون ARC، بلور فوتونی و توری) ۲) با ARC ۳) با ARC و بلور فوتونی ۴) با ARC، بلور فوتونی و توری نشان می دهد که به ترتیب با منحنی های خط توپر، خط چین، نقطه چین و خط-نقطه مشخص شده است. ملاحظه می شود که هر کدام از عوامل تله اندازی افزایش قابل ملاحظه ای را در جذب نوری لایه فعال سیلیکون نشان می دهند. در گام بعدی دو لایه ARC را در نظر می گیریم. در این حالت طول موج هدف برابر با $\lambda_0=750nm$ در نظر گرفته شده است، چون پهنای طیف طول موجی با کمترین بازتاب از سطح سلول خورشیدی بیشتر است. به ازای این طول موج هدف $n_{TiO_2}=2.35$، $n_{MgF_2}=1.42$، $n_{ZnO}=1.6$ و $n_{Al_2O_3}=1.76$ [۸] و طبق رابطه (۱) پوشش های ضد بازتاب دو لایه ZnO/TiO_2 ، MgF_2/TiO_2 و Al_2O_3/TiO_2 به ترتیب دارای ضخامت $(76.15,50.88)$ ، $(87.3,61.68)$ و $(75,38.3)$ نانومتر هستند. نتایج حاصل از شبیه سازی برای طیف جذبی ساختارهای سلول خورشیدی با ARC دو لایه در شکل های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. همانند ساختار قبلی طیف جذبی در هر چهار حالت رسم شده است. مشاهده می شود که در تمام ساختارها عوامل تله اندازی نور (ARC، بلور فوتونی و توری) باعث افزایش چشمگیر در جذب سلول

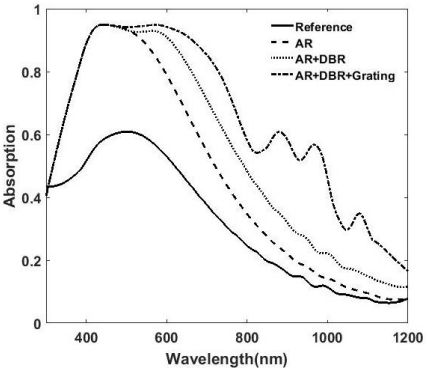
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

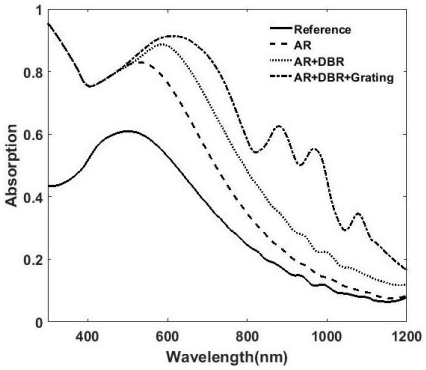
خورشیدی شده و وجود ARC نیز باعث افزایش قابل توجه جذب نور در ناحیه طول موجهای پایین شده است. مقایسه این شکلها نشان می دهد که بیشترین میزان جذب مربوط به ساختار با لایه پوششی دوگانه Al_2O_3/TiO_2 برابر با ۹۵/۴۵ درصد می باشد. بیشینه جذب مربوط به ساختارهای با لایه پوششی دو گانه ZnO/TiO_2 و MgF_2/TiO_2 به ترتیب برابر ۹۲/۷۳ و ۹۴/۹ درصد است.



شکل ۳: طیف جذبی سلول خورشیدی مورد مطالعه با ARC دو لایه ZnO/TiO_2 .



شکل ۴: طیف جذبی سلول خورشیدی مورد مطالعه با ARC دولایه MgF_2/TiO_2 .



شکل ۵: طیف جذبی سلول خورشیدی مورد مطالعه با ARC دو لایه Al_2O_3/TiO_2 .

نتیجه‌گیری

در این مقاله ساختار سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکونی مبتنی بر بلور فوتونی یک بعدی و توری به منظور افزایش جذب آن طراحی گردید. همچنین پوششهای ضد بازتاب در سطح جلویی ساختار از نظر ضخامت و تعداد لایه ها برای بهبود جذب بهینه سازی شدند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با بکارگیری بلور فوتونی، توری و پوشش ضد بازتاب جذب لایه فعال سیلیکونی به طور چشمگیر افزایش می یابد.

مرجع‌ها

[1] A. R. Prasad, and D. Jagadish, “Developments in Solar Pond Technology: A Literature Review”, Proceedings of National Conference on Frontiers in Mechanical Engineering, Bhopal, Madhya Pradesh, pp. 154-156, 2013.

[2] P. Bermel, C. Luo, L. Zeng, L. C. Kimerling, and J. D. Joannopoulos, “Improving thin-film crystalline cell efficiencies with photonic crystals”, Opt. Express, Vol. 15, No. 25, pp.16986-17000, 2007.

[3] N.-N. Feng, *et al* “Design of highly efficient Light-Trapping Structures for Thin-Film Crystalline Silicon Solar Cells”, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 54, No. 8, pp. 1926-1932, 2007.

[4] J. G. Mutitu, and et al, “Thin film silicon solar cell design based on photonic crystal and diffractive grating structures”, Opt. Express, Vol. 16, No. 19, pp. 15238-15248, 2008.

[5] X. Sheng, L. Z. Broderick, L. C. Kimerling, “Photonic crystal structures for light trapping in thin-film Si solar cells: Modeling, process and optimizations”, Optics Commu., Vol. 314, pp. 41-47, 2014.

[6] H. A. Macleod, *Thin-Film Optical Filters*, 3rd ed. Institute of Physics Publishing: Bristol, UK, 2001.

[7] S. K. Tripathy, “Refractive indices of semiconductors from energy gaps”, Opt. Materials, Vol. 46, pp. 240-246, 2015.

[8] M. N. Polyanskiy, Refractive index database. https://refractiveindex.info.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]