

شبیه‌سازی و بهبود جذب سلول خورشیدی پروسکایت بر پایه نانو سیم‌های TiO_2

عبدالله علیزاده^{۱*}، سمیه کیانی^۱، محمدباقر دلجوی^۱ و شب‌نم عنددلیبی میان‌دوآب^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/ /	دانش و فناوری بشری در دهه اخیر، از میان انواع سلول‌های خورشیدی، به «سلول‌های خورشیدی پروسکایت» بنابر دلایلی نظیر بازدهی نسبتاً بالا، فرآیند ساخت آسان و هزینه‌های تولید مقرون به صرفه، نگاهی ویژه داشته است. با این حال، یکی از مهمترین مسائل پیش رو در این نوع از سلول‌های خورشیدی، کیفیت بخشیدن به لایه‌ها و اجزای آنها در جهت افزایش بازدهی است. در این مقاله سلول خورشیدی پروسکایت با ساختار متداول معرفی و شبیه‌سازی شده و سپس با قرار دادن نانو سیم‌های TiO_2 در لایه جذب جهت افزایش طیف جذب نوری در لایه پروسکایت، مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده می‌شود که استفاده از نانوسیم‌های TiO_2 باعث بهبود طیف جذب می‌شود. در ادامه برای رسیدن به نتایج بهتر اندازه شعاع نانو سیم‌ها، فاصله بین آنها و تعداد لایه‌های آنها مورد بررسی قرار گرفته و ساختار بهینه با بیشترین بازده جذب به عنوان ساختار پیشنهادی معرفی شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نانوسیم‌های TiO_2 با شعاع 20nm و فاصله بین آنها 70cm جذب نوری را نسبت به حالت بدون نانو ذرات ۲۶۹٪ افزایش می‌دهد، محاسبه انتشار نور و مشخصات طیف جذب نوری در سلول خورشیدی معرفی شده توسط FDTD لومریکال انجام شده است.

۱- مقدمه

امروزه با استفاده از کلکتورهای خورشیدی و سامانه‌های فتوولتاییک، انرژی خورشیدی برای گرم کردن و تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. هزینه ساخت بالا و پایین بودن راندمان استفاده از انرژی خورشیدی، از جمله مشکلات گسترش این روش محسوب می‌شود که تلاش‌های زیادی در راستای بهبود عملکرد این تجهیزات در حال انجام است. در این راستا نسل‌های مختلفی از سلول‌های خورشیدی ساخته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هزینه بالای ساخت نسل اول و راندمان پایین نسل دوم، موجب علاقه به انجام پژوهش گسترده در زمینه ساخت سلول‌های نسل سوم از جمله سلول‌های خورشیدی پروسکایت شده

است. لذا سلول‌های خورشیدی پروسکایت به عنوان یک فناوری نوید بخش به منظور تبدیل نور خورشید به الکتریسیته موثر، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱-۶]. همچنین نانو ساختارها و نانو ذرات به منظور بهبود جذب نور در لایه جذب و ایجاد طیف جذب وسیع‌تر، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سلول‌های خورشیدی پروسکایتی یکی از انواع سلول‌های خورشیدی نسل سوم است که بر پایه ترکیباتی با ساختار پروسکایت می‌باشد. برای اولین بار در سال ۲۰۰۹، پروسکایت‌های متیل آمونیوم سرب ($CH_3NH_3PbX_3$, $X = Cl, Br, I$)، به عنوان جاذب نور در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به کار گرفته شدند [۷]. این نوع سلول‌ها به سرعت به عنوان گزینه

* پست الکترونیک نویسنده مسئول:

alizadeh@ubonab.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی بناب، دانشگاه بناب

ماکسول جهت محاسبه توزیع میدان های الکترو مغناطیس نوری در نواحی مختلف سلول خورشیدی پروسکایت استفاده شده است. با بدست آوردن توزیع میدان معادله زیر برای بدست آوردن بازده کوانتومی (QE) بکار گرفته شده است:

$$QE(\lambda) = \frac{1}{P_{in}} \int \frac{1}{2} c \epsilon_0 n \alpha |E(x, y, z)|^2 dx dy dz \quad (1)$$

بطوریکه P_{in} توان نور نرمالیزه وارد شده، c سرعت نور، ϵ_0 ضریب گذردهی در خلا، n قسمت حقیقی ضریب شکست لایه های مختلف، α ضریب جذب انرژی متناسب با طول موج $(\alpha = 4\pi k/\lambda)$ که k قسمت موهومی ضریب شکست لایه ها، λ طول موج و E توزیع میدان الکتریکی به دست آمده از روش FDTD در مکانهای مختلف را نشان می دهند.

برای بدست آوردن نتایج دقیقی از محاسبات سعی شده است از حداقل ساینز قابل قبول مش بندی (0.2nm) برای نواحی مختلف استفاده شود. مشخصات نوری و ویژگی های ضریب شکست لایه ها و مواد مختلف از رفرنس های معتبر انتخاب شده اند [۱۰ و ۱۴]. ساختار سلول خورشیدی در نظر گرفته شده توسط منبع نور موج تخت در محدوده طول موج $\lambda = 300\text{nm} - 800\text{nm}$ در راستای عمود بر سطح یعنی در راستای محور y مورد تابش قرار گرفته است. شرایط مرزی در نظر گرفته شده در راستای محور y به صورت PML (Perfectly matched layer) و برای مرزهای x پریودیک در نظر گرفته شده است. در ادامه با در دست بودن بازده کوانتومی مطابق معادله زیر جریان اتصال کوتاه محاسبه شده است:

$$J_{SC} = \frac{q}{hc} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \lambda QE(\lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

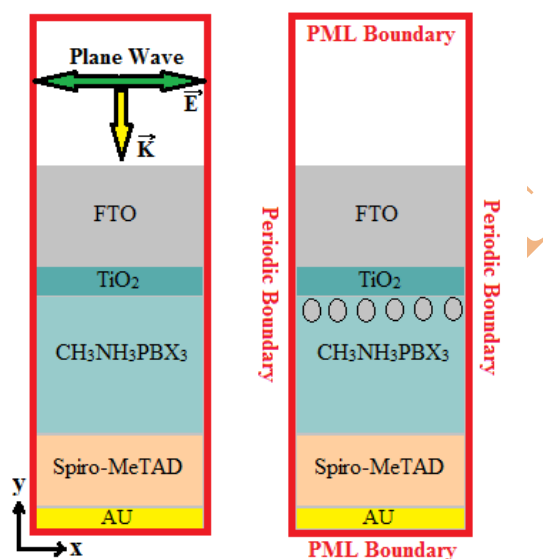
در این رابطه q بار واحد الکترون، h ثابت پلانک و $S(\lambda)$ مطابق طیف خورشید (AM 1.5G) در نظر گرفته شده است. همچنین λ_{max} باتوجه به شکاف باند ماده جاذب پروسکایت و λ_{min} مطابق کم ترین طول موج طیف تابشی خورشید (۳۰۰ نانو متر) تعیین می شود.

مناسبی برای جایگزینی سلول های سیلیکانی مطرح شدند. متیل آمونیوم سرب دیدید ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) به خاطر داشتن خواصی همچون گاف نواری مناسب، ضریب جذب بالا [۸]، طول نفوذ الکترون -حفره زیاد [۹]، و تحرک پذیری بالای حامل های بار [۱۰]، توجه زیادی را در چند سال اخیر به خود جلب کرده است. بازده سلول های خورشیدی پروسکایتی خیلی سریع از ۴٪ در سال ۲۰۰۹ [۷]، به ۲۲٪ در سال ۲۰۱۶ [۱۱] و ۲۵.۵٪ در سال ۲۰۲۱ [۱۲]، افزایش یافته است. در سلولهای خورشیدی پروسکایت متداول لایه TiO_2 به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون استفاده شده است [۱۳]. در ساختار معرفی شده در این مقاله علاوه بر لایه TiO_2 به صورت Compact که به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون می باشد از نانوسیم های TiO_2 به صورت افقی با سطح سلول در داخل لایه فعال پروسکایت نیز استفاده شده است. با توجه به اینکه طول نفوذ حاملها در لایه پروسکایت کوتاه است امکان استفاده از آن به تنهایی به صورت لایه ضخیم وجود ندارد و بایستی به طریقی سعی شود مسیر انتقال حاملها به الکتروود مربوطه فراهم شود. در این مقاله با کمک نانو سیمهای TiO_2 ، تلاش می کنیم علاوه بر اینکه حبس نور در لایه فعال برای افزایش امکان جذب را زیادتیر کنیم و نور تابشی را به عمق لایه فعال نیز ارسال کنیم، برای حامهای تولید شده در قسمتهای عمقی تر لایه فعال نیز مسیر انتقال به سمت الکتروود بالایی را فراهم کنیم.

۲- روش کار

در این مقاله برای بررسی انتشار امواج نوری در لایه های مختلف سلول های خورشیدی پروسکایتی از روش شبیه سازی با حل عددی تفاضل محدود در حوزه زمان (Finite Difference Time Domain) توسط بسته FDTD Solution مربوط به نرم افزار لومریکال استفاده شده است. تمامی شبیه سازی ها در دو بعد نرم افزاری انجام یافته است، و سعی شده است تا حد امکان از کوچکترین مش بندی برای نواحی شبیه سازی استفاده شود. در واقع روش FDTD برای گسسته سازی و حل عددی معادلات

ساختار مورد استفاده در این مقاله، که در محیط FDTD نرم افزار لومریکال شبیه سازی شده در شکل ۱ آورده شده است.



شکل (۱) ساختار سلول خورشیدی با و بدون نانوسیم های TiO_2

ساختار یکبار بدون حضور نانو سیم و یکبار با حضور نانو سیم از ۱ ردیف تا ۶ ردیف با ضخامت ۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر و شعاع ۱۰ و ۲۰ نانومتر شبیه سازی شده است. لایه جاذب موثرترین نقش را در بهبود جذب نور دارد، در این تحقیق، با توجه به نتایج بدست آمده، ضخامت لایه جاذب ۴۰۰ نانومتر در نظر گرفته شده است.

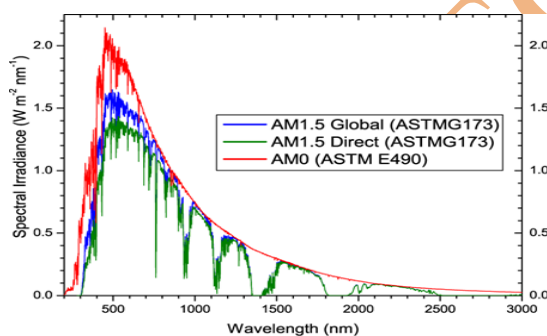
۳- ساختار سلول خورشیدی

معمولا سلولهای خورشیدی پروسکایت دارای سه لایه اصلی است: لایه انتقال دهنده الکترون (ETL)، لایه جاذب پروسکایت و لایه انتقال دهنده حفره (HTL). از متداول ترین مواد قابل استفاده برای ETL می توان به TiO_2 ، ZnO [۱۵] و $PCBM$ [۱۶]، همچنین برای لایه جاذب پروسکایت ترکیب $CH_3NH_3PBX_3$ که در آن X نمایانگر I، Br یا Cl است [۱۷]، همچنین برای لایه HTL نیز CuI ، $Spiro-MeTAD$ [۱۸]، NiO_3 ، $CuSCN$ [۱۹] و یا P_3HT [۲۰] استفاده می شود. ساختارهای مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده اند. در این شکل شمای دو

بعدی با حضور و بدون حضور نانوذرات TiO_2 را نشان می دهند.

مطابق شکل (۱)، $Compact TiO_2$ بعنوان لایه ETL، $CH_3NH_3PbI_3$ لایه جاذب و $Spiro-MeTAD$ لایه HTL در نظر گرفته شده است. سلول خورشیدی پروسکایت مورد مطالعه در این مقاله بر اساس هندسه سلول خورشیدی پروسکایت متداول طراحی شده است. ضخامت لایه ها به ترتیب برای $FTO=500nm$ ، $TiO_2=50nm$ ، $TiO_2\ nanowire=50nm$ ، $CH_3NH_3PbI_3=400nm$ ، $Spiro-MeTAD=350nm$ ، $AU=100nm$ می باشند. در شبیه سازی از شرایط مرزی Periodic در امتداد محور X و شرایط مرزی PML در محور Y استفاده شده است.

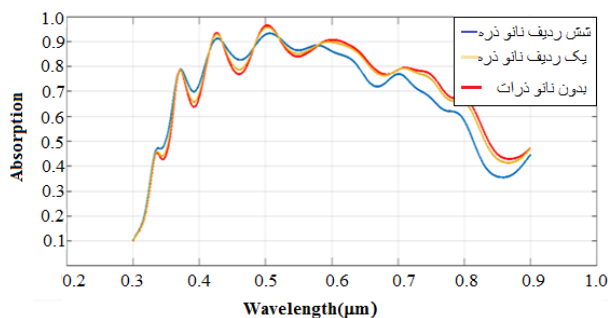
در عمل سلولهای خورشیدی بدلیل زاویه تابش نور خورشید، ضخامت های متفاوتی از اتمسفر زمین را خواهند دید. بنابراین استفاده از پارامتر AM (Air Mass) که نمایانگر طول موثر عبور نور از اتمسفر نسبت به ضخامت عمودی اتمسفر می باشد رایج می باشد.



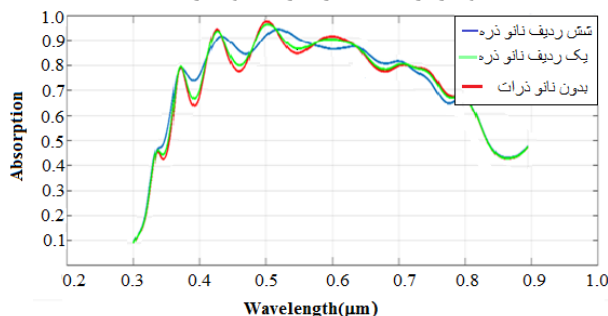
شکل (۲) طیف های استاندارد شامل AM0، AM1.5G، AM1.5D، [۱۵]

طیف های استاندارد شامل AM0 (بدون اتمسفر)، AM1.5G و AM1.5D (تابش مستقیم بدون پراکندگی برای عرض جغرافیایی حدود 48.2°) هستند که در شکل ۲ آورده شده است. در اغلب شبیه سازی های سلول های خورشیدی از طیف AM1.5G استفاده می کنند.

۴- نتایج شبیه سازی و بحث



شکل (۴) میزان جذب لایه جذب با نانو سیم‌های به شعاع ۱۰ نانومتر برای ساختار ۶ ردیف و ۱ ردیف

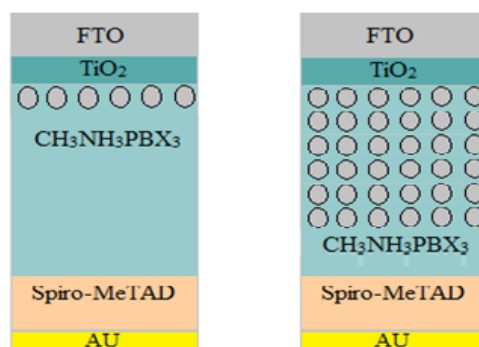


شکل (۵) میزان جذب لایه جذب با نانو سیم‌های به شعاع ۲۰ نانومتر برای ساختار ۶ ردیف و ۱ ردیف

به همین دلیل کاهش ضخامت لایه پروسکایت در کاهش اثرات مضر آن در محیط زیست و کاهش بازترکیب‌های غیر تابشی حامل‌ها و بنابراین بهبود عملکرد سلول خورشیدی پروسکایت موثر خواهد بود. در بررسی دیگری به تاثیرات ضخامت لایه پروسکایت بر روی بازده جذب سلول خورشیدی پروسکایت پرداخته شده است. در این بررسی، ضخامت لایه پروسکایت از ۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر تغییر داده می‌شود. برای مقایسه ملموس‌تر منحنی‌ها، از درصد جذب تجمیعی یا عبارتی از سطح زیر منحنی‌ها استفاده شده است. لذا بجای آوردن منحنی جذب، درصد بازده جذب به ازای ضخامت‌های مختلف لایه پروسکایت در جدول (۱) آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود، برای ضخامت لایه پروسکایت ۴۰۰ نانومتر با نانوذراتی به شعاع ۲۰ نانومتری، بیشترین میزان جذب نور در ساختار ۶ ردیفه بدست آمده است.

جدول (۱) میزان جذب بر حسب درصد برای ساختار ۶ ردیفه به ازای ضخامت‌های مختلف لایه پروسکایت

همانطور که اشاره شد، برای افزایش جذب لایه پروسکایت و همچنین افزایش محدوده طیف جذب می‌توان از نانو ذرات استفاده کرد. در این تحقیق از نانو سیم‌های TiO_2 به عنوان نانو ذرات در داخل لایه پروسکایت سلول خورشیدی استفاده شده است. نتایج مطالعات ساختار سلول خورشیدی پروسکایت حاوی نانو سیم‌های TiO_2 با نتایج ساختار سلول خورشیدی پروسکایت بدون حضور نانو ذرات مقایسه می‌شود. تاثیر تغییر مشخصات نانو ذرات شامل شعاع نانو ذرات و فاصله از همدیگر و فاصله از لایه بالایی در ادامه آورده می‌شود. در شکل ۳ قسمت مرکزی دو ساختار سلول خورشیدی پروسکایت آورده شده است که در یکی از آنها شش ردیف نانو ذره و در دیگری تنها یک ردیف نانو ذره مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار طیف جذب محاسبه شده برای هر کدام از دو ساختار فوق به ازای شعاع ۱۰nm در شکل (۴) و به ازای شعاع ۲۰nm در شکل (۵) آورده شده است. برای راحت بودن مقایسه همراه با این نتایج طیف جذب ساختار بدون نانو ذره نیز آورده شده است.



شکل (۳) ساختار با ۶ ردیف نانوذره TiO_2 و با ۱ ردیف نانو ذره TiO_2

اگر چه سلول خورشیدی پروسکایت به دلیل پتانسیل بازده بالا مورد توجه قرار گرفته اند اما وجود سرب در لایه جذب آن و در عین حال طول نفوذ کوتاه حامل‌های آزاد ایجاد شده از جذب نور، یک چالش برای کاربرد گسترده آن در صنعت محسوب می‌شود.

ضخامت لایه پروسکایت	با نانو سیم ۱۰ نانومتر	با نانو سیم ۲۰ نانومتر	بدون نانو سیم
50	36.575	33.5178	38.9287
100	50.3616	48.2234	54.3498
150	58.9591	57.3356	60.6668
200	62.3329	56.9404	63.0681
250	64.5075	60.9822	65.0206
300	66.1364	63.7228	66.0818
350	67.1776	66.8621	66.8735
400	66.6483	68.9532	66.9196
450	66.8733	68.1752	67.1214
500	66.5552	67.8858	66.2661

استفاده از نانو ذرات در لایه جاذب باعث افزایش حبس نور و در نتیجه افزایش زمان و ایجاد فرصت برای جذب نور در لایه جاذب خواهد بود. ولی از طرفی اگر تعداد لایه های نانوذرات افزایش یابد با توجه به اینکه حجم لایه جاذب کاهش پیدا میکند بنابراین نقش بازدارنده خواهد داشت و بازده را کاهش خواهد داد. در شبیه سازی دیگری بررسی های فوق برای یک لایه نانو سیم انجام داده شد و نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

جدول (۲) میزان جذب بر حسب درصد برای ساختار ۱ ردیفه به ازای ضخامت های مختلف لایه پروسکایت

ضخامت لایه پروسکایت	با نانو سیم ۱۰ نانومتر	با نانو سیم ۲۰ نانومتر	بدون نانو سیم
50	36.575	33.5178	38.9287
100	54.2270	52.5137	54.3498
150	60.9113	60.6497	60.6668
200	63.5590	64.0944	63.0681
250	65.5528	66.2454	65.0206
300	66.7701	67.5448	66.0818
350	67.6113	68.6775	66.8735
400	67.5978	69.6096	66.9196
450	68.0619	68.5196	67.1214
500	67.1199	67.4912	66.2661

تغییرات درصد جذب لایه جاذب پروسکایت به صورت تابعی از ضخامت لایه پروسکایت در سه حالت بدون نانو ذره، در حضور نانو سیم های TiO_2 (با شعاع ۱۰ نانومتر و شعاع ۲۰ نانومتر) یکبار برای شش لایه نانو سیم و بار دیگر برای یک ردیف نانو سیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تغییر ضخامت در جدول های ۱ و ۲ و همچنین برای هر حالت به ازای طول موجهای مختلف در شکل های ۴ و ۵ آورده شده است.

در این مقاله، سلول های خورشیدی PSC ترکیبی آلی-غیر آلی مبتنی بر نانوسیم های TiO_2 ، شبیه سازی شده و مشخصات جذب و توزیع میدان در لایه پروسکایت با کمک روش حل عددی FDTD محاسبه شده است. با تغییر پارامترهای اندازه و تعداد لایه های نانو ذرات TiO_2 و همچنین ضخامت لایه پروسکایت، نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی نانوساختارهای TiO_2 با استفاده از دو روش هیدروترمال یا الکتروشیمیایی تهیه می شوند [۲۱]. در روش های هیدروترمال، بسیاری از نانولوله های TiO_2 منفرد سنتز می شوند. در حالی که، در روش الکتروشیمیایی، که آنودیزاسیون نیز نامیده می شود، نانولوله های TiO_2 بسیار مرتب و منظم بدون دیفرمیشن های احتمالی سنتز می شوند. در این روش اندازه، طول، ضخامت و عرض نانولوله های TiO_2 را می توان به راحتی در مقیاس های دقیق نانومتری به عنوان تابعی از زمان واکنش، ولتاژ و غلظت الکترولیت ها کنترل کرد. این روشها با توجه به اینکه در فاز محلول اجرا می شوند در صورت کنترل عوامل محیطی پیچیدگی ساخت دیگری نخواهند داشت. تکه های نانولوله های TiO_2 سنتز شده توسط آنودیزاسیون برای پراکندگی نور با توجه به تئوری پراکندگی Mie مناسب هستند. به این ترتیب هست که سلول های خورشیدی پروسکایت حاوی نانو میله های TiO_2 ما افزایش قابل توجهی در چگالی جریان نوری (J_{sc}) نشان داده است که علاوه بر اینکه هدایت بار را افزایش داده، نور خورشید بیشتری را نیز جذب کرده است. مطابق نتایج حاصله، وجود نانو ذرات در لایه جاذب باعث افزایش حبس نور و در نتیجه بهبود جذب نور در سلول های خورشیدی پروسکایت می شود. مقادیر بهینه برای ضخامت پروسکایت ۴۰۰ نانومتر، شعاع نانو سیم ها ۲۰ نانومتر و تعداد یک لایه می باشد که در این شرایط ۲.۶۹ درصد بازده جذب را نسبت به ساختار بدون نانوذرات بهبود می بخشد.

۵- نتیجه گیری

- [1] M. A. Green, et al., "The emergence of perovskite solar cells", *Nature Photonics*, vol. 8, no. 7, p.506, 2014.
- [2] H. J. Snaith, "Perovskites: the emergence of a new era for low-cost, high-efficiency solar cells", *Journal of Physical Chemistry Letter*, vol. 4, no. 21, pp.3623-3630, 2013.
- [3] E. Ghahremanirad, et al., "The influence of embedded plasmonic nanostructures on optical absorption of perovskite solar cells", *Photonics*, vol. 6, no.37, pp. 1-8, 2019.
- [4] E. Ghahremanirad, et al., "Improving the performance of perovskite solar cells using kesterite mesostructure and plasmonic network," *Solar Energy*, vol.169, pp. 498-504, 2018.
- [5] E. Ghahremanirad, et al., "Hexagonal array of mesoscopic HTM based perovskite solar cell with embedded plasmonic nanoparticles", *Physica Status Solidi B*, vol. 255, no. 3, pp. 1-8, 2018.
- [6] E. Ghahremanirad, et al., "Inductive loop in the impedance response of perovskite solar cells explained by surface polarization model", *Journal of Physical Chemistry Letter*, vol. 8, no. 7, pp. 1402-1406, 2017.
- [7] J.H.Im, et al., "6.5% efficient perovskite quantum-dot-sensitized solar cell", *Nanoscale*, 3(2011). 4088-4093
- [8] M. Baudrit and C. Algora. "Tunnel diode modeling, including nonlocal trap-assisted tunneling: a focus on III-V multijunction solar cell simulation", *IEEE Trans. Electron Devices*, 57:2564–71, 2010.
- [9] H. S. Kim, et al., "High efficiency solid-state sensitized solar cell-based on submicrometer rutile TiO₂ nanorod and CH₃NH₃PbI₃ perovskite sensitizer," *Nano Letters*, vol. 13, no. 6, pp.2412-2417, 2013.
- [10] A. Asadzade and S. A. Miandoab, "Design and simulation of 3D perovskite solar cells based on titanium dioxide nanowires to achieve high-efficiency", *Solar Energy*, no. 228, pp.550-561, 2021.
- [11] D. Liu, and T. L. Kelly, "Perovskite solar cells with a planar heterojunction structure prepared using roomtemperature solution processing techniques," *Nature Photonics*, vol. 8, no. 2, p.133, 2014.
- [12] Y. Xu, et al, "Performance improvement of perovskite solar cells based on pcbm-modified ZnO-nanorod arrays," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 6, no. 6, pp.1530-1536, 2016.
- [13] Y. Da, et al., "Quantifying energy losses in planar perovskite solar cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, no.174,pp.206-213, 2018.
- [14] A. Jiménez-Solano, et al., "Absorption enhancement in methylammonium lead iodide perovskite solar cells with embedded arrays of dielectric particles", *Optics express*, no.26(18),pp.A865-A878,2018.
- [15] K. C. Wang, et al., "P-type mesoscopic nickel oxide/organometallic perovskite heterojunction solar cells," *Scientific Reports*, 4, p.4756, 2014.
- [16] P. Docampo, et al., "Efficient organometal trihalide perovskite planar-heterojunction solar cells on flexible polymer substrates," *Nature Communications*, vol. 4, p.2761, 2013.
- [17] M. Liu, et al., "Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition," *Nature*, vol. 501, no. 7467, p.395, 2013.
- [18] J. A. Christians et al., "An inorganic hole conductor for organo-lead halide perovskite solar cells." *J. of American Chemical Society*, vol. 136, no. 2, pp.758-764, 2013.

[19] P. Qin, et al., "Inorganic hole conductor-based lead halide perovskite solar cells with 12.4 conversion-efficiency.;Nature Communication, vol.5, p.3838, 2014.

[20] P. Löper, et al., "Complex refractive index spectra of CH₃NH₃PbI₃ perovskite thin films determined by spectroscopic ellipsometry and spectrophotometry," Journal of Physical Chemistry Letters, vol. 6, no. 1, pp.66-71, 2015.

[21] H. Y. Yang, et al., "TiO₂ nanoparticles/nanotubes for efficient light harvesting in perovskite solar cells", Nanomaterials, no.9(3), pp.326, 2019.

UNCORRECTED PROOF

Improving the adsorption profile of Perovskite solar cells by TiO₂ nanowires

A.Alizadeh^{1,*}, S.kiani¹, M.Delghavi¹, Sh. Andalibi Miandoab²,

1. Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab, 5551761167, Iran.

2. Department of Electrical Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad university, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Emails: alizadeh@ubonab.ac.ir

ARTICLE INFO

Keywords:

Solar cells,
Perovskite,
TiO₂ Nanowire,
Absorption profile.

ABSTRACT

Because of some advantages of perovskite solar cells, such as good efficiency, simple manufacturing process and cost-effective production, perovskite solar cells has been taken into consideration in recent years. One of the most important issues in advancing of perovskite solar cells, is to improve the quality of the layers and their components in order to increase the light absorption and efficiency. In this article TiO₂ nano-wire has been added to perovskite solar cells to enhance the absorption spectrum. The simulation results show the 2.69% increasing in adsorption profile. Absorption profile has been simulated in the FDTD of Lumerical software.

UNCORRECTED PROOF