

ORIGINAL ARTICLE

Fabrication of rGO/PSf Membrane and the Effect of rGO Concentration on PSf Hydrophobic Polymer and Using Its Self-Cleaning and Hydrophobic Properties to Improve the Efficiency and Stability of Solar Cells

Aghdas Farghdan¹, Seyed Ali Hashemizadeh Aghda^{2*}

1 PhD Student, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Correspondence

Seyed Ali Hashemizadeh Aghda

Email: ahashemizadeh@pnu.ac.ir

How to cite

Farghdan A, Hashemizadeh Aghda, S.A. (2024). Fabrication of rGO/PSf Membrane and the Effect of rGO Concentration on PSf Hydrophobic Polymer and Using Its Self-Cleaning and Hydrophobic Properties to Improve the Efficiency and Stability of Solar Cells, *Optoelectronic*, 6(4), 9-18.

ABSTRACT

In this research, the aim is to create a hybrid hydrophobic nanostructured membrane composed polysulfone and reduced graphene oxide (PSf/rGO) to improve the efficiency, stability, and self-cleaning of the solar cell. This coating has the properties of water repellency, self-cleaning, and reduced light reflection, which increases the stability of solar panels under atmospheric conditions. In this research, polysulfone has been used for the preparation of rGO/PSf hydrophobic membranes among the polymers due to its unique properties, including easy preparation, elastic transparency, and hydrophobicity. Among carbon groups of graphene oxide with high conductivity properties, which was synthesized by chemical phase change branches and hammers respectively. The hydrophobic coating for this project was prepared using DMF-NMP chemical solvents. SEM, BET, FTIR, FESEM, and Contact-angle analyses have been used to investigate the optimal rGO/PSf layer in the structure. By adding weight percentages (1%, 2%, 4%, 6%) of rGO to the base polysulfone, the roughness density and hydrophobicity of this membrane increases. This membrane was used in CsPbI₃ perovskite solar cells, and by measuring the current-voltage density (v-I) and the water contact angle, the initial efficiency of perovskite solar cells was maintained after 20 days under ambient conditions. Many commercial products have reached the production stage using this technology.

KEYWORDS

Polysulfone-Graphene Oxide Membrane, Hydrophobic, Self-Cleaning Surface, Contact Angle.

فصلنامه علمی

اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

ساخت غشاء rGO /PSf و تاثیر غلظت rGO بر خواص آب‌گریز پلیمر PSf و استفاده از خاصیت خودتمیزشوندگی و آب‌گریزی آن برای بهبود بازده و پایداری سلول‌های خورشیدی

اقدس فرقدان¹، سید علی هاشمی زاده عقد^{2*}

چکیده

در این پژوهش هدف ساخت یک غشا نانوساختار آب‌گریز هیبریدی شامل پلی سولفون و اکسید گرافن احیاء شده (PSf/rGO) برای بهبود بازده، پایداری و خودتمیزشوندگی سلول خورشیدی است. این پوشش با خاصیت‌های آب‌گریزی، خودتمیزشوندگی و کاهش انعکاس نوری که دارا است؛ پایداری پنل‌های خورشیدی را تحت شرایط اتمسفر هوا افزایش می‌دهد. در این تحقیق برای تهیه غشاء آب‌گریز rGO/PSf، از میان پلیمرها از پلی سولفون به دلیل خواص منحصر به فرد آن از جمله تهیه آسان، شفافیت کسسان و آب‌گریز بودن، استفاده شده است. همچنین از بین گروه‌های کربنی، اکساید گرافن با خواص رسانندگی بالا انتخاب شده که به ترتیب با روش‌های تغییر فاز شیمیایی و هامرز سنتز شده‌اند. با استفاده از حلال‌های شیمیایی DMF-NMP پوشش آب‌گریز این پروژه تهیه شده است. برای بررسی لایه بهینه rGO/PSf در ساختار، از آنالیزهای SEM، BET، FTIR، FESEM و Contact-angle استفاده شده است. با افزودن درصد‌های وزنی (1%، 2%، 4% و 6%) rGO به پلی سولفون زمینه، تراکم زبری و آب‌گریزی این غشاء افزایش پیدا می‌کند. این غشاء در سلول‌های خورشیدی پروسکایتی CsPbI₃ به کار برده شد و با اندازه‌گیری چگالی جریان -ولتاژ (v-I) و زاویه تماس آب، بازده اولیه سلول‌های خورشیدی پروسکایتی بعد از 20 روز تحت شرایط محیط حفظ شده است و محصولات تجاری زیادی با استفاده از این فناوری به مرحله تولید رسیده‌اند.

واژه‌های کلیدی

غشاء پلی سولفون - اکساید گرافن، آب‌گریزی، سطح خودتمیزشونده، زاویه تماس.

1 دانشجوی دکتری، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
2 استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

نویسنده مسئول:

سید علی هاشمی زاده عقدا

راهنامه: ahashemizadeh@pnu.ac.ir

استناد به این مقاله:

اقدس فرقدان، سید علی هاشمی زاده عقدا (1403). ساخت غشاء rGO /PSf و تاثیر غلظت rGO بر خواص آب‌گریز پلیمر PSf و استفاده از خاصیت خودتمیزشوندگی و آب‌گریزی آن برای بهبود بازده و پایداری سلول‌های خورشیدی. فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، 6(4)، 9-18.

مقدمه

با پیشرفت روزافزون و سریع جوامع بشری و افزایش مصرف انرژی هم‌راستا با توسعه صنایع و تغییرات آب و هوایی، نیاز به انرژی‌های مختلف به عنوان مشکل جهانی مطرح می‌شود. آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی نگرانی مهمی برای جامعه انسانی همراه دارد. در دهه‌های اخیر، علاقه و تمرکز گسترده‌ای برای توسعه فناوری‌هایی نظیر گرمای مزرعه‌های خورشیدی، نیروی آبی و انرژی بادی وجود داشته است که می‌توانند از منابع انرژی تجدیدپذیر استفاده کنند. از میان گزینه‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی رایگان، پاک و بدون آلاینده بوده و از نظر زیست محیطی پذیرفتنی است و می‌تواند به طور مستقیم به سایر شکل‌های انرژی تبدیل شود [1].

سلول‌های خورشیدی به صورت کلی به دو نسل سلول‌های خورشیدی سیلیکونی بلوری و سلول‌های خورشیدی لایه نازک تقسیم می‌شوند که سلول‌های لایه نازک شامل سلول‌های خورشیدی سیلیکونی بی‌شکل، سلول‌های خورشیدی نقاط کوانتومی، سلول‌های حساس به رنگ، سلول‌های کوچک مولکول، سلول‌های پلیمری و سلول‌های خورشیدی نوظهور پروسکایتی است. در میان سلول‌های خورشیدی لایه نازک، سلول‌های خورشیدی پلیمری به دلیل داشتن مشخصه‌هایی نظیر وزن سبک و ساخت آسان و مقرون به صرفه بودن توجه زیادی را در جامعه دانشگاهی و صنعتی به خود معطوف کرده‌اند. در دهه اخیر، سلول‌های خورشیدی ترکیبی آلی-معدنی پروسکایتی با استفاده از لایه نازک و ارزان قیمت، پیشرفت سریعی در زمینه خواص فوتولتایی داشته‌اند. در این پژوهش از پروسکایت معدنی CsPbI_3 با توجه به خواص منحصر به فرد فوتولتایی، بند گپ انرژی مناسب (1/7) ضریب جذب نوری بالا و طول بالای حامل‌های انتشار استفاده می‌شود [2].

امروزه به استفاده از سیستم‌های فوتولتاییک که انرژی نور خورشید را بدون تولید مواد سمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند، توجه شده است. با توجه به توسعه گسترده سلول‌های خورشیدی و به دلیل استفاده غیر متمرکز آنها روی سقف ساختمان‌ها در شهرها، با مسائلی از قبیل رسوب‌گذاری سریع و جذب آلاینده‌ها مواجه هستیم. در نتیجه میزان عبور نور و جذب آن و همچنین بازده سلول خورشیدی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر فرآیند تمیز کردن سطح سلول‌های خورشیدی پرهزینه و باعث اتلاف آب مصرفی می‌شود [3]. بنابراین، تولید

سلول‌های خورشیدی فوتولتاییک که نور خورشید را مستقیماً به برق تبدیل می‌کنند، یکی از امیدوارکننده‌ترین راه حل‌های مشکل جامع بشری شده است. اما ناپایداری سلول‌های خورشیدی پروسکایتی مشکل بزرگی است که مانع تجاری‌سازی این سرمایه خدادادی شده است. با توجه به اینکه عامل‌های بیرونی و درونی این ناپایداری را ایجاد می‌کند و از میان عوامل بیرونی، رطوبت، اصلی‌ترین علل تخریب سلول‌های خورشیدی شناخته شده است. در این تحقیق با ساخت پوشش آب‌گریز rGO/PSF قدمی برای حفظ بازده و پایداری سلول‌های خورشیدی PSC برداشته‌ایم. در این پروژه برای ساخت پوشش خودتمیزشونده و آب‌گریز از میان پلیمرها با گروه‌های عاملی تکرارشونده از (PSf) به عنوان بهبود دهنده سطح استفاده شده است [4-6]. این پلیمر بیشترین جذب در ناحیه فرابنفش - مرئی را نشان می‌دهد و پتانسیل استفاده در لایه‌های نازک، شفاف و کثیف را دارا است. گروه‌های عاملی تکرارشونده این پلیمر جهت برهمکنش جاهای خالی مناسب است. اما چون انتقال بار در پلیمرها ضعیف است، بازده تبدیل کلی این سلول‌ها کاهش می‌یابد. استفاده از این پلیمر به همراه انتخاب لایه‌های با انتقال بار بالا می‌تواند مشکل را برطرف کند [7,8]. از گروه‌های کربنی، گرافن، با توجه به فراوانی آن در طبیعت و خواص منحصر به فرد الکتریکی و مکانیکی که دارد انتخاب مناسبی در نظر گرفته می‌شود [9]. گرافیت طی روش‌های شیمیایی هامرز سنتز شده و با استفاده از مواد جدول شماره 1 و برگ کاری محلی حالت احیا (rGO) پیدا می‌کند. اکسید گرافن (GO) یک لایه تک اتمی شامل مولکول‌های کربن، هیدروژن و اکسیژن است که با توجه به نیروی کوانتومی بین مولکول‌های صفحه و نیروی واندروالسی ضعیف بین صفحات گرافن، در مقایسه با گرافیت و نانو لوله‌های کربنی توانایی پیوندی کمتری دارد. لذا با احیا، فاصله صفحات زیاد شده و رسانندگی الکتریکی بسیار زیادی حاصل می‌شود و به الکترون‌ها اجازه می‌دهد به راحتی از آن عبور کنند؛ بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک انتقال دهنده الکترون برای غشاء (rGO/PSf) آب‌گریز و خودتمیزشونده برای سلول‌های خورشیدی استفاده کرد. همچنین به دلیل احیا و زیاد شدن فاصله، صفحات شفاف شده و نور بیشتری را از خود عبور می‌دهد، اشعه UV را فیلتر می‌کند و باعث حذف یا کوچک شدن گروه‌های عاملی (C-O,OH) می‌گردد [10]. با سنتز ذکر شده، غشاء پتانسیل مناسب آب‌گریزی جهت حفظ بازده اولیه سلول‌های خورشیدی را به دست آورده است.

بخش تجربی

مواد مورد استفاده

در این پژوهش و برای سنتز به روش هامرز برای تهیه گرافن، اکسید گرافن و سپس اکسید گرافن احیا از مواد شیمیایی، با خلوص و مقدار ذکر شده در جدول شماره یک استفاده شده است:

جدول 1. مواد لازم برای سنتز گرافن (G)، اکسید گرافن (GO) و اکسید گرافن احیا (rGO)

Name	Chemical properties	TM name	Amount of use	Time	Temperature
Graphite	Natural	C	5 g	60 min	15 °c
Hydro chloric acid	30 %	HCL	12 mL	30 min	30 °c
Sulfuric acid	10 %	H ₂ SO ₄	108 mL	60 min	15 °c
Potassium permanganate	10%	KMnO ₄	15 g		(20-30) ^{0c}
sulfide acid	98%	H ₃ PO ₄	12 mL	30min	30 °C
Hydro peroxide	10 %	H ₂ O	150 mL		30 °c
Curry-Leaf	Sweet-bay		30 mL	10 min	(60-80) ^{0c}

برای سنتز PSf و تهیه محلول برای لایه بهبود دهنده از مواد با نام و مقدار مطابق جدول 2 استفاده شده است.

جدول 2. مواد لازم برای سنتز پلی سولفون (poly-sulfone)

Name	Chemical properties	TM name	Amount of use
Poly-sulfone	16 %	PSf	30g
N-Methyl-2-pyrrolidne	95 %	NMP-DMF	
Reduced-rG-oxide		Rgo	30mg

روش کار

به منظور سنتز غشای نامتقارن پلی سلفونی، از روش تغییر فاز توسط رسوب‌دهی غوطه‌وری استفاده شده است. بر این اساس، ابتدا 16% وزنی از پلیمر پلی سلفون (PSf) به عنوان پلیمر اصلی و سازنده بدنه غشاء و پلی‌وینیل‌پیرولیدون به عنوان ایجاد کننده حفرات و آبدوست کننده سطح در حلال دی‌متیل‌فرمامید **جدول 3.** غشاء ساخته شده (rGO/PSf) با درصدهای وزنی

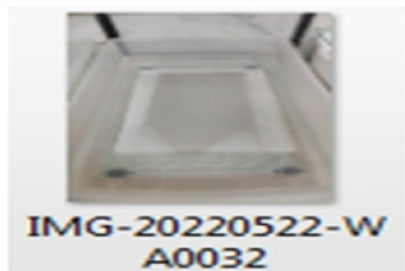
اکسید گرافن احیا (rGO)

#Name	rGO	PSf
S0	0%	0%
S1	1%	6%
S2	2%	6%
S3	3%	6%
S4	4%	6%
S6	6%	6%

حل گردیده است. فرآیند حل شدن به وسیله همزن مغناطیسی به مدت 12 ساعت ادامه می‌یابد [11-12]. پس از این فرآیند محلول پلیمری قبل از استفاده دور از نور بدون همزدن نگه داشته شد، تا حباب‌های احتمالی از محلول خارج گردند. سپس محلول توسط ضخامت دهنده یا فیلم کش روی پارچه

پلیستری کشیده شده و بلافاصله در حمام آب مقطر غوطه‌ور گردید. بعد از تشکیل غشاهای، به منظور اطمینان از تکمیل فرآیند جدایش فاز، غشاهای به مدت 24 ساعت درون حمام ناحلال در دمای محیط قرار داده شدند. در پایان نیز غشاهای از آب خارج شده و در دمای اتاق بین کاغذ صافی قرار داده می‌شوند تا خشک گردند [13].

برای ساخت غشاء rGO/ PSF تمامی مراحل قبل انجام می‌شود، با این تفاوت که برای ساخت محلول پلیمری ابتدا نانوذرات گرافن اکساید با 2 درصد وزنی در حلال دی‌متیل‌فرمامید پراکنده شده و پلی‌وینیل‌پیرولیدون نیز به محلول اضافه می‌گردد. در ادامه به منظور پراکنده‌گی مناسب ذرات در حلال، محلول به مدت 30 دقیقه در حمام التراسونیک قرار داده می‌شود، سپس پلیمر پلی سلفون به محلول اضافه می‌گردد و فرآیند پراکنده شدن به مدت 12 ساعت با همزن مغناطیسی صورت می‌گیرد. برای ساخت این غشاء آب‌گریز خودتمیزشونده ابتدا اکسید گرافن احیاء سنتز شد و سپس پلیمر PSf با حلال 1-metgl-2-pgrroLidone یا DMF به صورت پایه با درصد وزنی 6% تهیه شد [14]. با افزودن rGO با درصد وزنی 1%، 2%، 4%، 6% و 3% برای ساخت غشاء آب‌گریز به محلول 6% پلی سولفون اضافه گردید. با توجه به ضعف انتقال بار در پلیمرها، با کاربرد اکسایدگرافن احیا به این غشاء خودتمیزشونده پتانسیل کاربرد را در سلول‌های خورشیدی PSC به دست آورده است [15]. در جدول 3 براساس میزان پلیمر و اکسید گرافن احیاشان کدگذاری شده‌اند.

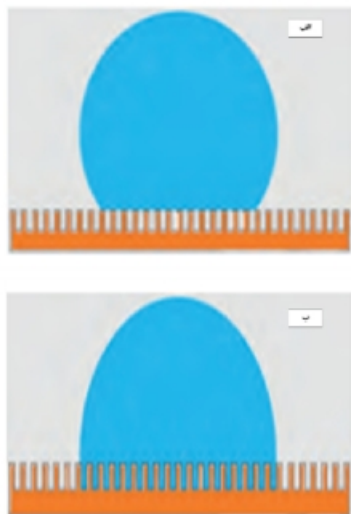


شکل 1. غشاء ساخته شده rGO/PSf در حمام آب سرد

از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM Hitaachis-4800) برای بررسی مورفولوژی و تعیین ساختار نمونه‌های ساخته شده برای آب‌گریزی غشاء استفاده شد. در شکل 2 الف تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح غشاء rGO/ PSF با درصد وزنی (1% 6%) rGO نشان می‌دهد که سطح مورد نظر زبر و دارای ساختاری متخلخل است. از این تصویر می‌توان دریافت که هرچه درصد گرافن احیاء بیشتر شود سطح، حالت متخلخل خود را حفظ کرده و مانع از انباشتگی و به هم فشردن شدن ذرات روی سطح

بررسی توسط دستگاه BET¹

تست BET برای سنجش حجم گاز جذب و واجذب شده توسط سطح داخلی حفرات نمونه در دمای ثابت گاز مایع N انجام می‌شود. با افزایش فشار، حجم گاز جذب شده را اندازه‌گیری کرده و با کاهش فشار، حجم گاز واجذب را محاسبه می‌کنیم. نتایج تست BET در جدول 3 آورده شده است. این تست با اندازه‌گیری قطر نمونه کاهش مکان‌های جذب سطحی برای رطوبت و اکسیژن و کاهش شعاع حفرات داخل نمونه را نشان می‌دهد این اتفاق باعث نفوذ بهتر هوا به داخل حفرات شده است. همچنین در طر حواره شکل 4 قطره آب روی سطح معلق می‌ماند و زاویه تماس بیشتری نسبت به شکل، حاصل می‌شود. این نتایج می‌تواند در بهینه‌سازی نمونه‌های کاربردی سلول‌های خورشیدی مفید باشد. در واقع هوای حبس شده داخل حفرات مانع نفوذ آب می‌شود.



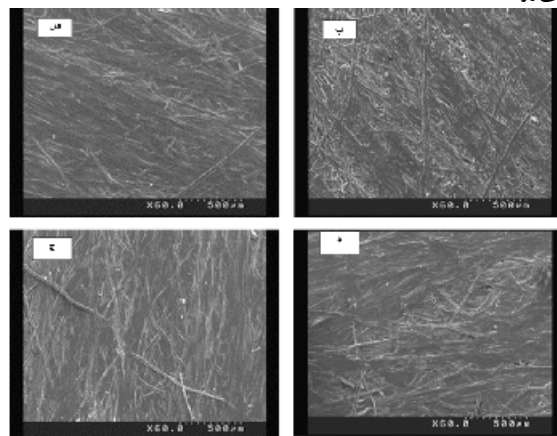
شکل 4. رفتار یک قطره آب روی یک سطح زیر

نتایج طیف FTIR تایید بر بلورینگی فاز و قله‌های طیف پراش پرتو ایکس است. هر مولکول در هر ترکیبی دارای فرکانس ارتعاش منحصر بفرد و طبیعی است؛ که با متفاوت شدن محیط هر ترکیب جذب‌ها در مادون قرمز متفاوت می‌شود، این تغییرات حاصل از آنالیزها جهت اطمینان از نشانده شدن ماده روی سطوح موردنظر و نمونه‌هاست. این خاصیت می‌تواند در جهت شناسایی ترکیبات و آب‌گریزی مواد در غشاء مفید باشد. این پژوهش، روشی مناسب برای بررسی پیوند ذرات گرافیت سنتز شده و تغییرات مولکولی غشاء ساخته شده rGO/PSf قبل از ترکیب و بعد از اضافه شدن درصد‌های وزنی rGO برای رسیدن به پایداری بلند مدت و خودتمیزشوندگی آب‌گریزی غشاء

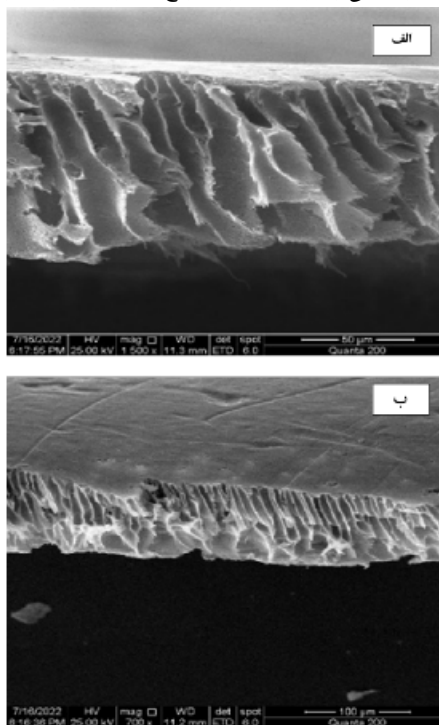
جدول 3. نتایج تست BET مساحت سطح ویژه حفرات داخلی با بهبود

BET plot		
V_m	0.48	$[\text{cm}^3(\text{STP}) \text{g}^{-1}]$
$a_{s,\text{BET}}$	2.0894	$[\text{m}^2 \text{g}^{-1}]$
C		
Total pore volume($p/p_0=0.990$)	0.010386	$[\text{cm}^3 \text{g}^{-1}]$
Average pore diameter	19.885	$[\text{nm}]$

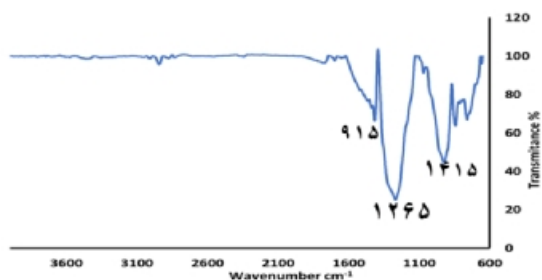
نمونه می‌شود، از طرفی با توجه به شکل 3، وجود حفرات دوطرفه باز دمبلی شکل را تأیید می‌کند. افزایش ذرات گرافن موجب افزایش خاصیت فتوکاتالیستی نمونه مورد نظر شده زیرا با حضور صفحات گرافن رسانندگی الکتریکی سیستم بالا می‌رود [16].



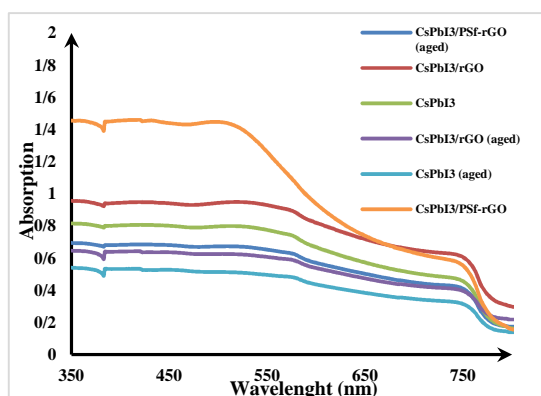
شکل 2. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی حاصل از نمونه‌ها الف) خالص (psf) ب) 1% (rGO) ج) 4% (rGO) د) 6% (rGO)



شکل 3. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی حاصل از نمونه‌های 1% rGO در 6% (PSf)



شکل 8. طیف FTIR نمونه 6% PSf /rGO

شکل 9. طیف از لایه‌های نازک CsPbI₃ /rGO. CsPbI₃ و CsPbI₃/RGO:PSf بلافاصله و پس از 20 روز

آزمون اندازه‌گیری زاویه تماس

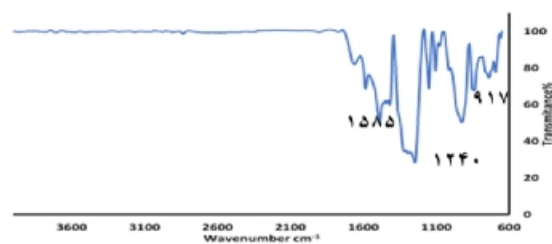
جدول 4. نتایج تست BET مساحت سطح ویژه حفرات داخلی بدون بهبود که کاهش شعاع دیده می‌شود.

BET plot		
V _m	0.8264	[cm ³ (STP) g ⁻¹]
a _{s,BET}	3.5968	[m ² g ⁻¹]
C	49.87	
Total pore volume(p/p ₀ =0.990)	0.010289	[cm ³ g ⁻¹]
Average pore diameter	11.443	[nm]

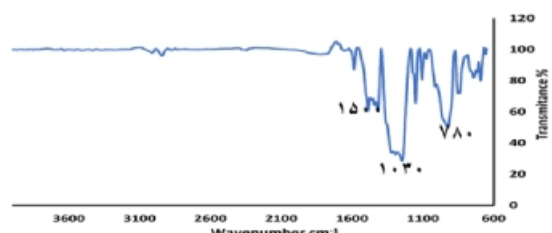
با اضافه کردن اکساید گرافن احیا به پلی سولفون زمینه با 6% وزنی ثابت زاویه برخورد آب با نمونه‌ها به ترتیب 71 و 73 و 77 درجه را نشان می‌دهد که ایده‌آل‌ترین آن مربوط به اضافه کردن 6% rGO اضافه شده به PSf است که تقریباً 117 درجه رسیده است و بعد آن به مقدار ثابت می‌رسد.

برای ایجاد خاصیت آب‌گریزی با توجه به ساختار آب و داشتن جفت الکترون پیوندی در بالاترین اوربیتال مولکولی و آماده برای برقراری برهمکنش با پایین‌ترین اوربیتال مولکولی اشغال نشده مولکول‌های دیگر ایجاد شد و سطح تجزیه می‌شود. زاویه تماس آب در سطوحی که انرژی کمتری دارند به شدت با افزایش تخلخل و زبری سطح افزایش می‌یابد [18-27] و انرژی جذب مولکول آب و سطح مقیاس اندازه‌گیری برای آب‌گریزی می‌شود. در شکل 10 غشاء (PSf/rGO) بیشترین مقدار زاویه تماس آب را 117 درجه نشان می‌دهد. این نتیجه آب‌گریز قوی (PSf / rGo) در مقایسه با سایر غشاء‌های دیگر را نشان می‌دهد

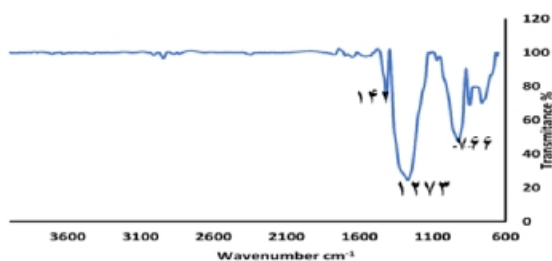
ساخته را نشان می‌دهد. پیش از افزودن پلیمر پلی سولفون در طیف FT-IR نمونه طول پیوند 1220cm⁻¹ مربوط به پیوند C-O-1.917 Cm⁻¹ مربوط به پیوندهای اکسید گرافن باقی مانده در ترکیب، ارتعاش 1585cm⁻¹ مربوط به پیوند C=C است. طیف حاصل از FTIR ترکیب اکسید گرافن و پلی سولفون (rGO/PSf) باندهای کششی S-O در نقاط 1070 - 1030 و باند کششی غیر متقارن S=O در نقاط 1351 cm⁻¹ نشات گرفته از ترکیبات حبس شده در پلی سولفون و اکسید گرافن و باند متقارن کششی S-O-S در cm⁻¹ و نقاط cm⁻¹ 1563-700 مربوط به C=S را نشان می‌دهد [16]. با اضافه کردن اکسید گرافن احیا به محلول پلی سولفون پیوندهای کششی S-O در 769 کم می‌شود که این اتفاق مانع از مهاجرت اکسیژن به سطح غشاء شده. اکسید گرافن اضافه شده با درصد‌های (1، 2، 4، 6) [17] طیف حاصل از لایه‌های تهیه شده در بازه 700 تا 3500 نانومتر در شکل‌های 5-9 نشان داده شده است. برای این طیف از طول موج 400 نانومتر برای تحریک استفاده شده است.



شکل 5. طیف FTIR نمونه rGO قبل از ترکیب

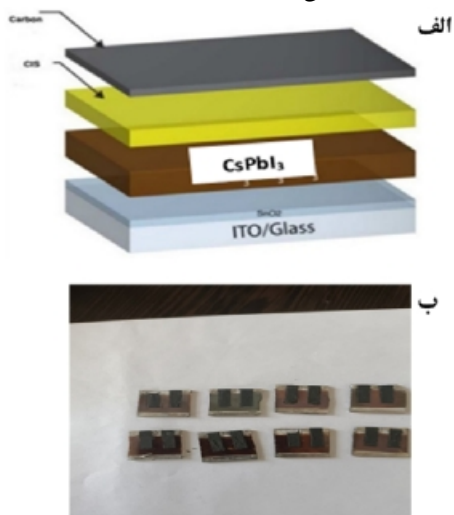


شکل 6. طیف FTIR نمونه 1% PSf /rGO

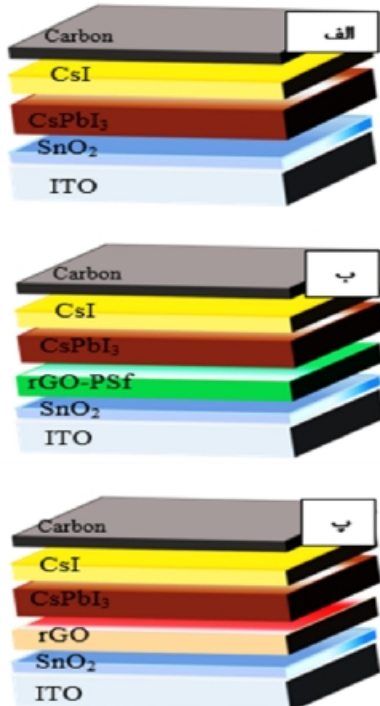


شکل 7. طیف FTIR نمونه 4% PSf /rGO

FTIR و SEM به صورت محلول با روش اسپین کوت بین پروسکایت CsPbI_3 و SnO_2 . به صورت دو مرحله‌ای روی لایه قبل، لایه‌نشانی شد [19-21] و بعد از انجام لایه‌نشانی، لایه‌ها در دمای 100 درجه به مدت 1 ساعت بارپخت شدند. بعد از مرحله گرمادهی، CsI به عنوان لایه انتقال حفره روی پروسکایت توسط روش لایه‌نشانی چرخشی، لایه‌نشانی شد [22]. در نهایت از کربن به عنوان الکترودهای سطح بالایی استفاده شده است (شکل 12).

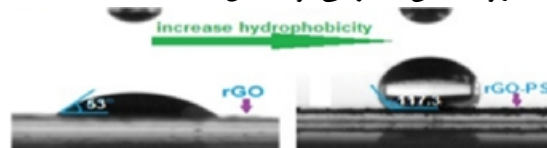


شکل 12. الف) ترتیب قرارگرفتن لایه‌های سلول خورشیدی PSC کنترل (بدون بهبود) ب) نمونه‌های ساخته شده از سلول‌های PCS با بررسی نتایج چیدمان شکل 12 (پ) با بیشترین خروجی جریان همراه بود و چیدمان (ب) بیشترین بازده ایجاد شده است.

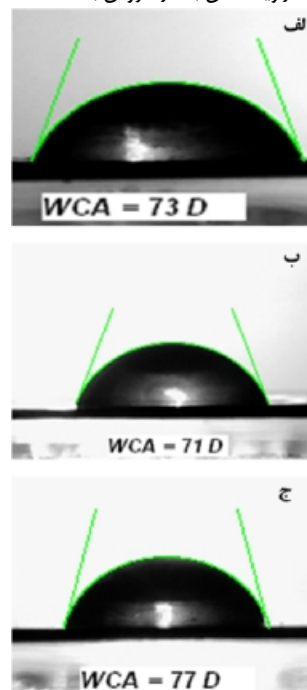


شکل 13. چیدمان سلول‌های خورشیدی الف) بدون درمان، ب) با درمان rGO-PSf، پ) با درمان rGO.

که رابطه قوی بین آب‌گریزی و کارکرد پوشش ساخته شده وجود دارد مخصوصاً در شرایط رطوبت محیطی که باعث می‌شود کاربرد کلی در محیط‌های مرطوب نیز بررسی شود [18]. با اضافه کردن اکسید گرافن به پلی سولفون زمینه ب 6% وزنی ثابت زاویه تماس بیشتر می‌شود (شکل 11).



شکل 10. الف) زاویه تماس اکساید گرافن احیا قبل از افزودن PSf ب) زاویه تماس بعد از افزودن به PSf



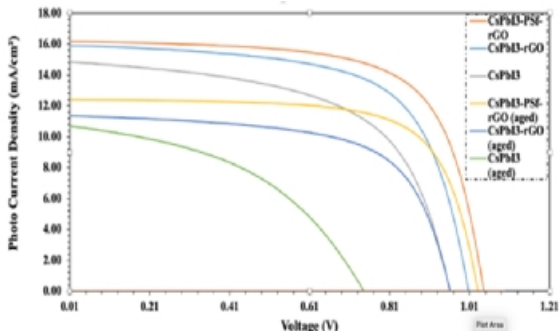
شکل 11. الف) زاویه تماس 6% rGO، ب) زاویه تماس PSf خالص، ج) زاویه تماس 1% rGO

افزودن 4% به اندازه 0/2 نانو ذرات rGO به PSf زاویه تماس استاتیک (CA) تغییر چندانی ایجاد نشد که می‌توان به دو عامل یکی پراکنده نبودن و همگنی نانوذرات در محلول پلی سولفون و دیگری کنترل نبودن دما در حین ساخت نمونه‌ها اشاره کرد.

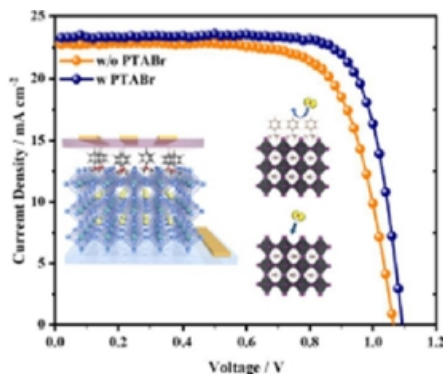
روش کاربرد پوشش rGO/PSf در سلول‌های خورشیدی PCS

برای ساخت سلول ابتدا سطح ITO توسط شستشو با آب و صابون، آب دیونیزه، اتانول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) و ایزوپروپانول ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) و قرار دادن لایه‌ها درون آلتراسونیک بعد از هر شستشو تمیز گردید. محلول SnO_2 از پیش تهیه شده توسط روش لایه‌نشانی چرخشی روی لایه ITO لایه‌نشانی شد. بعد از لایه‌نشانی، لایه‌ها به مدت نیم ساعت در دمای 150 درجه قرار گرفتند. سپس غشاء اکسید گرافن و پلی سولفون (rGO/PSf) تهیه شده را با توجه به بررسی نتایج آنالیزهای قبلی نظیر XRD،

جریان به ولتاژ تحت شرایط نشان دادن AM 1/5G انجام شد. همان طور که در شکل 15 نشان داده شده است خواص زیر برای سلول گزارش شده چگالی جریان 22/69، ولتاژ جریان باز 1/073، ضریب 0/759 و بازده تبدیل 18/48 به دست آمد. با ورود کاتیون، عملکرد سلول بهبود می‌شود. با تغییر غلظت از نیم تا دو بازده سلول روند افزایشی داشته به یک بیشینه رسیده که غلظت یک است و سپس کاهش می‌یابد که پارامترهای فوتوولتایی در جدول 5 گزارش شده است. این سلول با غلظت کاتیون یک دارای خواص چگالی 23/28 ولتاژ جریان باز 1/093 ضریب پر شدن 79/13 و ضریب 20/13 است. جهت بررسی صحت این اندازه‌گیری‌ها نور خروجی را در بایاس بیشینه و غلظت 1%، 150 ثانیه در شرایط AM 1.5G قرار دادیم، همان طور که در شکل جریان-ولتاژ آورده شده است، سلول با غلظت یک کارایی بهتری داشت. در مقابل خروجی پرستین نسبت به کاتیون پاسخ کمتری دارد. علاوه بر این، طیف IPCE برای بررسی صحت داده‌ها استفاده شده. با تجمیع طیف IPCE و سایر طیف‌ها، چگالی جریان 21/76 و 22/3 به دست آمد. این نتایج با نتایج حاصل از J-V که در شکل 16 رسم شده است، متناسب است.

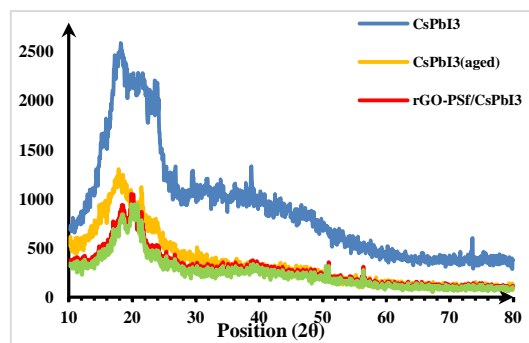


شکل 15. منحنی چگالی جریان-ولتاژ (J-V) سلول‌ها در شرایط نوردهی مناسب



شکل 16. منحنی چگالی جریان-ولتاژ (J-V) سلول‌ها در شرایط نوردهی مناسب

الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) لایه‌های نازک rGO، PSf/rGO در شکل 14 نشان داده شده است، که نشان‌دهنده تشکیل فاز مکعبی یا سیاه CsPbI₃ است که با گزارش‌های قبلی مطابقت دارد. الگوهای XRD در طی 20 روز اندازه‌گیری شد. فیلم CsPbI₃ با یک انتقال کامل (تغییر اوج به زاویه کوچک) در عرض 20 روز شروع به تخریب به δ -CsPbI₃ کرده اما، فیلم‌های CsPbI₃/rGO و CsPbI₃/rGO/PSf هیچ تخریب قابل توجهی در طول 20 روز نشان ندادند و هنوز هم عمدتاً پس از 20 روز در فاز α بود. نتایج XRD گرفته شده از نمونه‌ها وجود صفحات اکسید گرافن (rGO) و نانو ساختار (PSf) را تایید کرد. میانگین اندازه ذرات اکسید گرافن توسط آزمون (XRD) 4/3 نانومتر تخمین زده شده است [23].



شکل 14. طیف پراش اشعه ایکس نمونه‌ها

بهبود سطحی سریع برای تهیه موثر سلول خورشیدی پروسکایتی پایدار با استفاده از PTABr

برای بررسی بهتر خواص سینتیکی، اندازه‌گیری زوال TRPL برای پرستین و نمونه‌های دارای PTABr انجام شد. این اندازه‌گیری مشابه اندازه‌گیری فوتولومینسانس ایستا است. زمان تاخیر با مدل نمایی با جزء سریع (τ_1) و جزء کند (τ_2) برازش شده که برای نمونه پرستین زمان زوال محاسبه شده میانگین برابر 357/7 نانوثانیه است. با افزودن PTABr به پروسکایت افزایش چشمگیری در زمان زوال رخ داده و به 806/7 نانوثانیه می‌رسد. هر دو این نمونه‌ها دارای طول عمر حامل یکسان است. برای بررسی اثر بهبود PTABr از ساختار فوق تصویر SEM گرفته شد (شکل 3). استفاده از اسید لوئیس در افزایش بازده بسیار موثر است. همان طور که از تصویر پیداست لایه‌های فشرده و یک شکل پروسکایت تشکیل شده و همچنین برای بررسی تشکیل لایه c-TiO₂ و m-TiO₂ استفاده شده است. در زمینه خواص بار سطحی لایه پروسکایت بسیار تحقیقات انجام شده است و تاثیرات آن بر غلظت‌های متفاوت کاتیون بررسی شد [24-25].

برای بررسی خواص فوتوولتایی اندازه‌گیری‌های چگالی

جدول 5. داده‌های پارامتر فوتولتایی

Number	Name	Voc	Jsc	PCE	FF
1	CsPbI ₃ /rGO-PSf	1.05	16.21	11.59	0.68
2	CsPbI ₃ /rGO	1.01	15.92	10.48	0.65
3	CsPbI ₃	0.96	14.89	8.37	0.58
4	CsPbI ₃ /rGO-PSf (aged)	1.03	12.41	9.08	0.71
5	CsPbI ₃ /rGO (aged)	0.96	11.37	7.04	0.64
6	CsPbI ₃ (aged)	0.75	10.81	3.61	0.45

نتیجه‌گیری

لایه‌های فعال این پروژره از مواد پلیمر و اکساید گرافن احیا (PSF و rGO) با روش‌های شیمیایی هامرز و تغییر فاز ساخته شدند و جهت اطمینان از نشانده شدن ماده روی پلیستر و داشتن خواص آب‌گریزی و خودتمیزشوندگی لایه بهینه rGO/PSf از آنالیزهای SEM، BTE، FTIR، FESEM و Contact-angle استفاده شده است. آنالیزهای انجام شده حضور ماده را تایید می‌کند و نشان داد طبق شکل 10 و 11 با اضافه کردن 6% rGO به PSf پایه زاویه تماس ایده‌ال آب‌گریز 117 درجه به‌دست آمد. ایجاد خاصیت آب‌گریزی و خودتمیزشوندگی این پوشش‌ها با توجه به ساختار آب و داشتن جفت الکترون پیوندی در بالاترین اوربیتال مولکولی و آماده برای برقراری برهمکنش با پایین‌ترین اوربیتال مولکولی اشغال نشده مولکول‌های دیگر ایجاد می‌شود در نتیجه سطح تجزیه می‌شود و زاویه تماس آب

در سطوحی که انرژی کمتری دارند به شدت با افزایش تخلخل وزبری سطح افزایش می‌یابد. طبق شکل 5 و 4 منحنی BET از نمونه‌های ساخته شده قطر حفرات 2 و 4/6 نانومتر به‌دست آمد. از میان سلول‌های خورشیدی پروسکایتی از پروسکایت CsPbI₃ با باند گاف 1/7 الکترون ولت در نظر گرفته شد و با احیا کردن اکسایدگرافن باند گاف (1/2) آن به فاز مکعبی نزدیک می‌شود و با کاربرد (rGO/PSf) در لایه بالایی این سلول خورشیدی به دلیل گروه‌های زنجیره‌ای عامل‌دار پلیمر، جذب آب برای سلول بسیار سخت می‌شود با تابش پرتو فرابنفش (UV) الکترون آزاد می‌شود و با آب و هوای اطراف سطح واکنش داده و تولید رادیکال‌های آزاد می‌کند. رادیکال‌های آزاد با مواد ارگانیک روی سطح واکنش داده و باعث شکستن و نابودی آنها می‌شوند و با بارش باران قطرات گلوله شده و سطح حالت خودتمیزشوندگی و آب‌گریزی پیدا می‌کند. در نتیجه نفوذناپذیری نسبت به آب، از میزان تخریب و خوردگی سطح حاوی پوشش rGO/PSf می‌کاهد و پایداری بلندمدت برای پنل‌های خورشیدی حاصل می‌شود. این پروژه قدمی برای تجاری شدن انرژی خدادی برداشته است.

منابع

- [1] Aghbolaghi S., Mohammadi-Vanyar O., and Abbaspoor S. (2021). Stabilization of Polymer Solar Cells and Their Importance in Photovoltaic System: A Review, Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian), 34,99-129.
- [2] Shi, D., Adinolfi, V., Comin, R., Yuan, M., Alarousu, E., Buin, A., & Sargent, E. H. (2015). Low trap-state density and long carrier diffusion in organolead trihalide perovskite single crystals. *Science*, 347(6221), 519-522.
- [3] Kusuma, D. M., Alfuruqi, M. H., Wang, C. H., & Wu, K. C. (2020). Poly (sulfone) based membranes for carbon dioxide capture: A review. *Journal of Membrane Science*, 610, 118304.
- [4] Jeon, N. J., Noh, J. H., Kim, Y. C., Yang, W. S., Ryu, S., & Seok, S. I. (2014). Solvent engineering for high-performance inorganic-organic hybrid perovskite solar cells. *Nature materials*, 13(9), 897-903.
- [5] Yang, W. S., Noh, J. H., Jeon, N. J., Kim, Y. C., Ryu, S., Seo, J., & Seok, S. I. (2015). High-performance photovoltaic perovskite layers fabricated through intramolecular exchange. *Science*, 348(6240), 1234-1237.
- [6] Li, X., Zhu, H., Chen, C., Wang, J., & Li, Y. (2016). Graphene and graphene oxide: biofunctionalization and applications in biotechnology. *Trends in biotechnology*, 34(7), 618-632.
- [7] Kim, H. S., Lee, C. R., Im, J. H., Lee, K. B., Moehl, T., Marchioro, A., ... & Grätzel, M. (2012). Lead iodide perovskite sensitized all-solid-state submicron thin film mesoscopic solar cell with efficiency exceeding 9%. *Scientific reports*, 2, 591.
- [8] Zhang, Y., Liu, Y., Wang, Y., Xu, X., & Chen, Y. (2017). Facile synthesis of high-quality CsPbBr₃ perovskite nanocrystals via organic-inorganic hybrid precursors. *Journal of Materials Chemistry C*, 5(34), 8805-8810.
- [9] Burschka, J., Pellet, N., Moon, S. J., Humphry-Baker, R., Gao, P., Nazeeruddin, M. K., & Grätzel, M. (2013). Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells. *Nature*, 499(7458), 316-319.
- [10] Anaraki, E. H., Kermanpur, A., Steier, L., Domanski, K., Matsui, T., Tress, W., ... & Grätzel, M. (2016). Highly efficient and stable solar cells based on crystalline oriented perovskite. *The journal of physical chemistry letters*, 7(5), 893-898.
- [11] Bai, H., Li, C., & Shi, G. (2011). Functional composite materials based on chemically converted graphene. *Advanced Materials*, 23(9), 1089-1115.
- [12] Kim, J. H., Jeon, N. J., Noh, J. H., Yang, W. S., Kim, Y. C., Ryu, S., & Seok, S. I. (2015). High-performance and stable perovskite solar cells based on ZnO nanorods as the electron transport layer. *ACS nano*, 9(2), 1955-1963.
- [13] Li, Y., & Zhang, S. (2016). Structural and optoelectronic properties of organic-inorganic hybrid perovskites: theoretical insights from first-principles calculations. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(17), 6371-6383.
- [14] Li, Z., Yang, M., Park, J. S., Wei, S. H., & Berry, J. J. (2016). Stabilizing perovskite structures by

- tuning tolerance factor: Formation of formamidinium and cesium lead iodide solid-state alloys. *Chemistry of Materials*, 28(9).
- [15] Ahn, N., Son, D. Y., Jang, I. H., Kang, S. M., Choi, M., & Park, N. G. (2015). Highly reproducible perovskite solar cells with average efficiency of 18.3% and best efficiency of 19.7% fabricated via Lewis base adduct of lead (II) iodide. *Journal of the American Chemical Society*, 137(27), 8696-8699.
- [16] Wu, C. G., Chiang, C. H., Tseng, Z. L., Nazeeruddin, M. K., Hagfeldt, A., & Grätzel, M. (2015). High efficiency stable inverted perovskite solar cells without current hysteresis. *Energy & Environmental Science*, 8(9), 2725-2733.
- [17] Walsh, A., Scanlon, D. O., Chen, S., Gong, X. G., & Wei, S. H. (2015). Self-regulation mechanism for charged point defects in hybrid halide perovskites. *Angewandte Chemie*, 127(6), 1811-1814.
- [18] Zhao, B., Jin, S. F., Huang, S., Liu, N., Ma, J. Y., Xue, D. J., ... & Ding, J. (2018). Ge, Q.-Q.; Feng, Y.; Hu, J.-S. Thermodynamically Stable Orthorhombic γ -CsPbI₃ Thin Films for High-Performance Photovoltaics. *J. Am. Chem. Soc.*, 140(37), 11716-11725.
- [19] Akhair, S. M., Harun, Z., Jamalludin, M. R., Shuhor, M. F., Kamarudin, N. H., Yunos, M. Z., ... & Azhar, M. F. H. (2017). Effect of graphene oxide with controlled stirring time. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 709-714.
- [20] Ameen, S., Rub, M. A., Kosa, S. A., Alamry, K. A., Akhtar, M. S., Shin, H. S., ... & Nazeeruddin, M. K. (2016). Perovskite solar cells: influence of hole transporting materials on power conversion efficiency. *ChemSusChem*, 9(1), 10-27.
- [21] Cho, Y., Soufiani, A. M., Yun, J. S., Kim, J., Lee, D. S., Seidel, J., ... & Ho-Baillie, A. W. (2018). Mixed 3D-2D passivation treatment for mixed-cation lead mixed-halide perovskite solar cells for higher efficiency and better stability. *Advanced Energy Materials*, 8(20), 1703392.
- [22] Zhao, B., Jin, S. F., Huang, S., Liu, N., Ma, J. Y., Xue, D. J., ... & Ding, J. (2018). Ge, Q.-Q.; Feng, Y.; Hu, J.-S. Thermodynamically Stable Orthorhombic γ -CsPbI₃ Thin Films for High-Performance Photovoltaics. *J. Am. Chem. Soc.*, 140(37), 11716-11725.
- [23] Huang, Q., et al. "Graphene oxide-wrapped CsPbI₃ perovskite nanocrystals for high-performance photovoltaics." *Journal of Materials Chemistry A* 7.24 (2019): 14604-14612.
- [24] Zhang, X., et al. "Graphene oxide wrapped CsPbI₃ perovskite nanocrystals as an efficient charge extraction layer for high-performance perovskite solar cells." *Journal of Materials Chemistry A* 7.29 (2019): 17375-17382.
- [25] Li, X., et al. "Enhancing the performance and stability of CsPbI₃ perovskite solar cells using a graphene oxide electron transport layer." *Journal of Materials Chemistry A* 8.6 (2020): 3113-3120.