



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
14-12 بهمن 1400



تأثیر زمان اعمال ضد حلال در روش تک مرحله‌ای بر عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی

بیتا نخعی^{1*}، محمود برهانی زرنندی¹ و ناصر جهانبخشی زاده¹
¹دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، بخش اتمی - مولکولی

b_nakhaee@yahoo.com
mborhani@yazd.ac.ir
n_jahanbakhshi@yahoo.com

چکیده - در این مقاله به بررسی روش لایه نشانی لایه پروسکایت به صورت تک مرحله‌ای و استفاده از ضد حلال در زمان‌های مختلف از شروع لایه نشانی پروسکایت و تأثیر آن بر عملکرد سلول‌های خورشیدی پروسکایتی پرداخته شد. بدین منظور آنالیزهای طیف فوتولومینسانس (PL)، جریان-ولتاژ و پراش پرتو X (XRD) مورد استفاده قرار گرفتند. مشاهده شد **با ریختن ضد حلال در زمان 20 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی، شدت پیک طیف PL لایه پروسکایت کم‌تر، شدت پیک پروسکایت در XRD بزرگ‌تر و در نتیجه بازده سلول خورشیدی ساخته شده بیشتر خواهد بود.** با توجه به نتایج بدست آمده حالت بهینه برای ریختن ضد حلال، زمان 20 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی نسبت به زمان‌های دیگر بدست آمد، که بازده سلول خورشیدی ساخته شده در این زمان 5.7٪ شد.

کلید واژه - پروسکایت، سلول خورشیدی، ضد حلال، لایه نشانی تک مرحله‌ای

The effect of anti-solvent pouring time in one-step method on performance of perovskite solar cell

Bitan Nakhaee^{1*}, Mahmood Borhani Zarandi¹, Naser Jahanbakhshi Zadeh¹

¹Department of Physics, Yazd University, P.O. Box 89195-741, Yazd

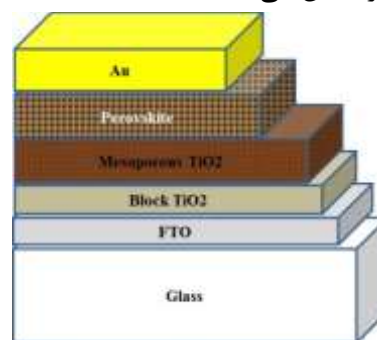
b_nakhaee@yahoo.com
mborhani@yazd.ac.ir
n_jahanbakhshi@yahoo.com

Abstract- In this paper, the pouring time of anti-solvent in one-step method to perovskite deposition and its effects on the performance of perovskite solar cells was investigated. For this purpose photoluminescence (PL), current-voltage and X-ray diffraction (XRD) analyzes were used. It was observed that in 20s left to complete the deposition, the pouring of anti-solvent lead to the lower peak intensity of the PL spectrum of the perovskite layer, the higher peak intensity of the perovskite in XRD and so the efficiency of the built solar cell will be higher. According to the results, the optimal time for pouring the anti-solvent was 20 seconds remained before the coating was completed compared to other times, and the efficiency of the constructed solar cell at this time was 5.7%.

Keywords: Anti-solvent, one-step deposition, perovskite, solar cell

1- مقدمه

بر اساس گزارش مرکز تحقیقات مشترک اروپا، تا سال 2100، نسبت انرژی های تجدیدپذیر از تقاضای انرژی تا 86 درصد خواهد بود. از جمله منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است که بیش از 60 درصد از کل تقاضای انرژی را تشکیل می دهد [1]. پروسکایت های هالید آلی- معدنی به عنوان یک ماده فوتولتائیک جدید توجهات زیادی را به خود جلب کرده اند. بازده سلول های خورشیدی پروسکایتی از بازده 3.8٪ در سال 2009 به بیشتر از 22٪ در حال حاضر رسیده است [2]. به منظور تحقق بخشیدن به تجاری سازی این نوع از سلول های خورشیدی، تلاش های زیادی در جهت افزایش پایداری و مقیاس ساخت آنها انجام شده است [3]. یکی از مسائل مهم جهت بهبود عملکرد و پایداری این نوع از سلول های خورشیدی، بهینه سازی ریخت شناسی لایه پروسکایت است. خواصی از لایه پروسکایت مانند قدرت جذب نور، طول انتشار حامل های بار و باز ترکیب آن ها مستقیماً به ریخت شناسی وابسته هستند [4]. یکی از روش های کم هزینه جهت کنترل ریخت شناسی لایه پروسکایت، استفاده از ضد حلال حین لایه نشانی پروسکایت می باشد. ضد حلال می تواند سرعت هسته زایی ناهمگن را از طریق استخراج سریع حلال از محلول افزایش دهد [5]. ساختار کلی سلول خورشیدی پروسکایت به صورت FTO / لایه متراکم TiO_2 / لایه مزوپروس TiO_2 / فیلم پروسکایت / لایه انتقال دهنده حفره و طلا می باشد. شکل 1 ساختار شماتیک سلول خورشیدی پروسکایتی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد.



شکل 1: طرح شماتیک از سلول خورشیدی پروسکایتی

در این مقاله از پیش ماده $CH_3NH_3PbI_3$ در فرایند تک- مرحله ای جهت ساخت لایه پروسکایت استفاده و اثر اعمال ضد حلال لایه پروسکایت در لایه نشانی تک مرحله ای بر عملکرد سلول خورشیدی بررسی گردید.

2- روش آزمایش

مواد مورد نیاز و روش ساخت سلول خورشیدی پروسکایتی به شرح زیر می باشد.

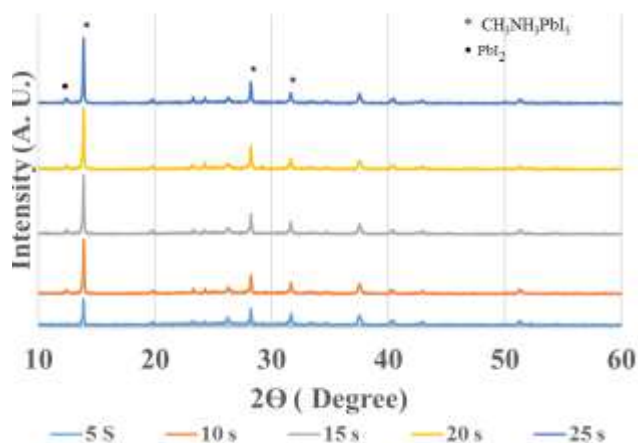
2-1- مواد مورد نیاز

شیشه ی لایه نشانی شده با اکسید رسانای فلزی (FTO)، اتانول، دی متیل فرم آمید، ایزوپروپانول، پودر سرب یدید و پودر متیل آمونیوم یدید (MAI)، کلروبنزن، دی متیل- سولفوکساید. این مواد از شرکت های ادوات نوری نانوساختاری ایساتیس، شریف سولار و سیگما خریداری شده است. اندازه گیری مشخصات فوتولتائیک سلول خورشیدی نیز توسط دستگاه Keithley2400 صورت گرفته است.

2-2- روش ساخت سلول خورشیدی و نتایج

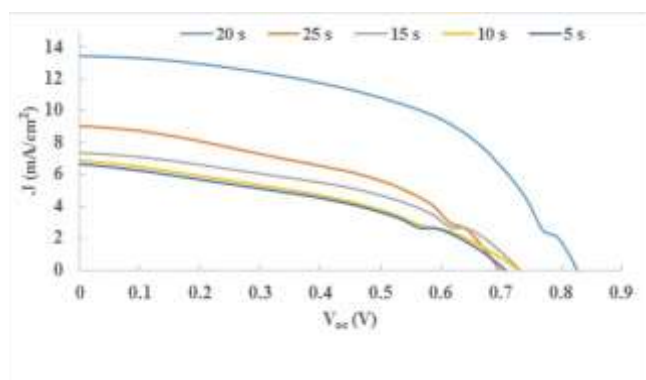
ابتدا قسمتی از لایه رسانای FTO بر روی شیشه را به کمک پودر روی و هیدروکلریک اسید لایه برداری کردیم. سپس مراحل شست و شو به ترتیب با آب و مایع ظرف شویی، آب مقطر، استون، آب مقطر، اتانول و ایزوپروپانول انجام شد و سلول ها به مدت 15 دقیقه در دمای 100 درجه سانتی گراد خشک شدند. لایه سدکننده حفره با استفاده از محلول تیتانیوم ایزوپراکسید در هیدروکلریک اسید و اتانول به وسیله لایه نشانی چرخشی با سرعت 4000 دور بر دقیقه و زمان 60 ثانیه لایه نشانی شد. سپس این لایه در دمای 100 درجه سانتی گراد به مدت 15 دقیقه خشک و به مدت 60 دقیقه در دمای 500 درجه سانتی گراد پخت داده شد. لایه نانوساختار تیتانیوم- دی اکسید که با کمک خمیر تیتانیوم دی اکسید در اتانول تهیه شده بود نیز به روش لایه نشانی چرخشی با 4000 دور بر دقیقه و زمان 60 ثانیه

[6]. پیک کوچک مشاهده شده در زاویه $12/85^\circ$ مربوط به صفحه (001) از بلور PbI_2 است که بعنوان ناخالصی لایه پروسکایت در نظر گرفته می‌شود. از این دیدگاه شدت پیک پروسکایت ایجاد شده در 5 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی نسبت به بقیه زمان‌ها کم‌تر می‌باشد.



شکل 3: طیف XRD لایه پروسکایت ایجاد شده به روش تک‌مرحله‌ای برای ریختن ضد حلال در زمان‌های 5(s)، 10(s)، 15(s)، 20(s)، 25(s) مانده به اتمام لایه‌نشانی

نمودار جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی پروسکایتی ساخته شده مربوط به شرایط فوق‌الذکر در شکل 4 و مشخصات فوتوولتاییکی آنها در جدول (1) نشان داده شده است.

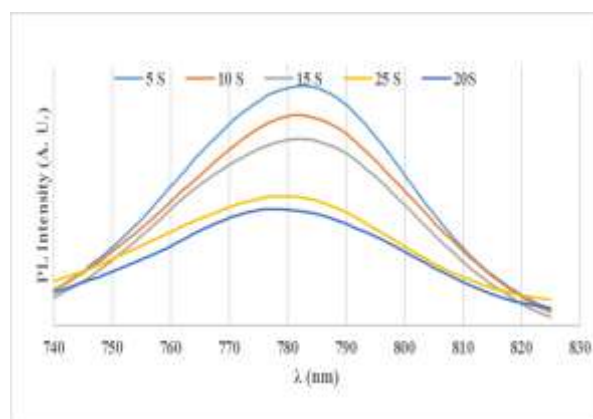


شکل 4: نمودار چگالی جریان ولتاژ مدار برای سلول‌های ساخته شده

لایه‌نشانی و مانند مرحله قبل به مدت 15 دقیقه در دمای 100 درجه سانتی‌گراد خشک و به مدت 60 دقیقه در دمای 500 درجه سانتی‌گراد پخت داده شد.

محلول یک مولار سرب‌کلرید در دی‌متیل‌فرماید و دی‌متیل‌سولفوکساید به نسبت 1:9 به روش لایه‌نشانی چرخشی با 4000 دور بر دقیقه و در زمان 30 ثانیه لایه‌نشانی شد. در این مرحله در زمان‌های 10، 15، 20، 25، 30 ثانیه لایه‌نشانی 5 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی از ضد حلال (کلروبنزن) استفاده شد. در مرحله آخر لایه طلا به ضخامت 60 نانومتر به عنوان الکتروود مقابل توسط دستگاه لایه‌نشانی تبخیری، لایه‌نشانی شد.

شکل 2: طیف PL مربوط به لایه پروسکایت در زمان‌های مختلف ریختن ضد حلال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زمان 20 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی نسبت به زمان‌های دیگر، شدت پیک طیف PL کمتر است. این نشان می‌دهد که احتمال بازترکیب حامل‌های بار کم‌تر و در نتیجه چگالی جریان بیشتر و عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی بهتر خواهد بود.



شکل 2: طیف PL لایه پروسکایت ایجاد شده به روش تک‌مرحله‌ای برای ریختن ضد حلال در زمان‌های 5(s)، 10(s)، 15(s)، 20(s)، 25(s) مانده به اتمام لایه‌نشانی

شکل 3: آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) لایه پروسکایت ایجاد شده به روش تک‌مرحله‌ای برای ریختن ضد حلال در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. پیک‌های ظاهر شده در زوایای $28/5^\circ$ ، $14/2^\circ$ و $32/1^\circ$ به ترتیب مربوط به صفحات (110)، (220) و (310) از بلور پروسکایت هستند

مرجع‌ها

- [1] Joint Research Centre: Available at: <http://eC.europa.eu/jrc/eN>, accessed March 15, 2018.
- [2] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, and T. Miyasaka: "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells", J. Am. Chem. Soc., Vol. 131, pp. 6050–6051, 2009.
- [3] M.M. Tavakoli, R. Tavakoli, Z. Nourbakhsh, A. Waleed, U. S. Virk, and Z. Fan: "High efficiency and stable perovskite solar cell using ZnO/rGO QDs as an electron transfer layer", Adv. Mater. Interfaces, Vol. 3, pp. 1500790, 2016.
- [4] Y. Wang, D. Liu, P. Zhang, T. Zhang, W. Ahmad, X. Ying, F. Wang, J. Li, L. Chen, and J. Wu: "Reveal the growth mechanism in perovskite films via weakly coordinating solvent annealing", Sci. China Mater., Vol. 61, pp. 1536–1548, 2018.
- [5] Y. Wang, S. Li, P. Zhang, D. Liu, X. Gu, H. Sarvari, Z. Ye, J. Wu, Z. Wang, and Z.D. Chen: "Solvent annealing of PbI₂ for the highquality crystallization of perovskite films for solar cells with efficiencies exceeding 18%", Nanoscale, Vol. 8, pp. 19654–19661, 2016.
- [6] N. Jahanbakhshi Zadeha, M. Borhani Zarandi, M.R. Nateghi, "Effect of crystallization strategies on CH₃NH₃PbI₃ perovskite layer deposited by spin coating method: Dependence of photovoltaic performance on morphology evolution", thin solid films, Vol. 660, pp. 65-74, 2018.

جدول 1: مشخصه های فتوولتائیکی سلول های ساخته شده

زمان مانده به اتمام لایه نشانی	J _{SC} (mA/cm ²)	Voc (V)	FF (%)	Eff (%)
5(s)	6.65	0.71	0.4	1.87
10(s)	6.87	0.74	0.39	1.93
15(s)	7.35	0.74	0.44	2.35
20(s)	13.42	0.84	5.01	5.70
25(s)	9.03	0.71	0.45	2.81

با مقایسه نمودار چگالی جریان-ولتاژ و پارامترهای مربوط به مشخصه‌یابی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی ساخته شده، مشخص می‌شود که با ریختن ضد حلال در 20 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی، سلول خورشیدی پروسکایتی ساخته شده عملکرد بهتری را از خود نمایش می‌دهد.

3- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر زمان اعمال ضد حلال بر خواص الکتریکی و ساختاری لایه پروسکایت مورد بررسی قرار گرفت. با تغییر زمان اعمال ضد حلال، مشخصات لایه پروسکایت ایجاد شده و در نتیجه عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی ساخته شده متفاوت خواهد بود. مشخص شد بهترین زمان برای اعمال ضد حلال، 20 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی است. لایه پروسکایت ایجاد شده در این حالت، دارای بازترکیب کم‌تری از حامل‌های بار (الکترون-حفره) می‌باشد و در نتیجه عملکرد سلول خورشیدی بهتر خواهد بود. بازدهی سلول خورشیدی بهینه سازی شده 5.7% بدست آمد.

سپاسگزاری

از همکاری اعضای محترم گروه پژوهشی فوتونیک دانشگاه یزد که در انجام این آزمایشات به ما یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.