



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. ۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



## بررسی دماهای مختلف عملیات دما دهی لایه CuSCN در عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی به عنوان انتقال دهنده حفره غیر آلی

مائده کوهیان افضل دهکردی<sup>۱</sup>، وحید احمدی<sup>۱\*</sup>، فرزانه عرب پور رق آبادی<sup>۱,۲</sup>، بهرام عبدالهی نژاد<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، گروه پژوهشی اپتوالکترونیک و نانوفوتونیک  
<sup>۲</sup>ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی

\*نویسنده مسئول: [v\\_ahmadi@modares.ac.ir](mailto:v_ahmadi@modares.ac.ir)

چکیده - یکی از اجزای کلیدی در ساختار سلول‌های خورشیدی، لایه انتقال دهنده حفره است که نقش مهمی در استخراج حامل و جلوگیری از باز ترکیب آن دارد. این مواد به دو گروه اصلی مواد آلی و مواد غیر آلی تقسیم می‌شوند. در این مقاله از ماده غیر آلی تیوسیانات مس به عنوان انتقال دهنده حفره استفاده شد و تأثیر عملیات دما دهی بر بلور بندی و مورفولوژی سطح این لایه مورد بررسی قرار گرفت. در انتها سلول‌های خورشیدی بر پایه لایه‌های انتقال دهنده حفره که در دماهای مختلف حرارت دهی شدند، ساخته و مشخصه یابی شدند. نشان داده شد نمونه‌ای که در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد عملیات حرارت شده است بهترین بلورینگی و در نتیجه بهترین مشخصات فوتوولتائیکی را دارد.

کلید واژه- سلول خورشیدی پروسکایتی، لایه انتقال دهنده حفره غیر آلی، بلورینگی

## Annealing temperature effect of CuSCN in performance of the perovskite solar cells as an inorganic hole transporting layer

Maedeh koohian Afzal Dehkordi<sup>1</sup>, Vahid Ahmadi<sup>1,\*</sup>, Farzaneh Arabpour Roghabadi<sup>1,2</sup>, Bahram Abdollahi Nejad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Optoelectronic and Nanophotonic Research Group, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran-Iran. <sup>2</sup>Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran-Iran.

\*Corresponding author: [V\\_ahmadi@modares.ac.ir](mailto:V_ahmadi@modares.ac.ir)

**Abstract-** One of the main components in the structure of solar cells is the hole transporting layer that plays an important role in extracting the carriers. These materials are divided into two main categories including organic and inorganic materials. In this work, CuSCN is used as the hole transporting (HTL) layer and the effect of the annealing treatment on crystallinity and surface morphology of this layer was investigated. The perovskite solar cells based on an inorganic CuSCN HTL which were annealed at different temperatures were fabricated and characterized. It is shown that the prepared sample which is annealed at 120°C presents the best surface morphology as well as better photovoltaic characteristics.

**Keywords:** Perovskite solar cells, Inorganic Hole transporting layer, crystallization.

## مقدمه

گرفتند. در انتها پس از آب‌کشی، نمونه‌ها تحت دمای ۱۰۰ درجه خشک شدند. محلول شامل ۱۰ میلی گرم پودر CuSCN در ۱ میلی‌لیتر آمونیاک به روش لایه نشانی چرخشی بر روی زیر لایه‌ها لایه نشانی شد. برای بررسی عملیات دما دهی، نمونه‌ها به ۳ گروه تقسیم شدند در سری اول نمونه‌ها ۱۰ دقیقه تحت دمای ۱۵۰ درجه، سری دوم نمونه ۱۰ دقیقه تحت دمای ۱۲۰ درجه و در سری سوم، نمونه‌ها ۱۰ دقیقه تحت دمای ۱۰۰ قرار گرفتند.

### ۲-۱ لایه نشانی پروسکایت

در اینجا از روش پروسکایت دومرحله‌ای استفاده شد. در این روش ابتدا ۴۶۰ میلی‌گرم سرب یدید  $PbI_2$  را در ۱ میلی‌لیتر حلال DMF حل کرده و محلول به مدت ۲ ساعت تحت دمای ۷۰ درجه قرار داده می‌شود. محلول به روش لایه نشانی چرخشی روی نمونه‌ها لایه نشانی شد و به مدت ۱۰ دقیقه روی دمای ۱۰۰ درجه حرارت دهی شد. سپس ۳۰ میلی‌گرم پیش ماده متیل آمونیوم یدید ( $CH_3NH_3I$ ) در ۱ میلی‌لیتر ایزوپروپانول حل و روی نمونه‌های سرد شده تا دمای اتاق به روش لایه نشانی چرخشی لایه نشانی شد و سپس نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه به مدت ۱۰ دقیقه حرارت دهی شدند.

### ۳-۱ لایه نشانی انتقال دهنده الکترون و نقره

ماده Phenyl-C61-Butyric acid Methyl ester (PCBM) به‌عنوان انتقال دهنده الکترون روی نمونه‌ها به روش لایه نشانی چرخشی، لایه نشانی می‌شود و در انتها نقره به روش تبخیر حرارتی به ضخامت ۱۰۰ نانومتر بر روی نمونه‌ها لایه نشانی می‌شود.

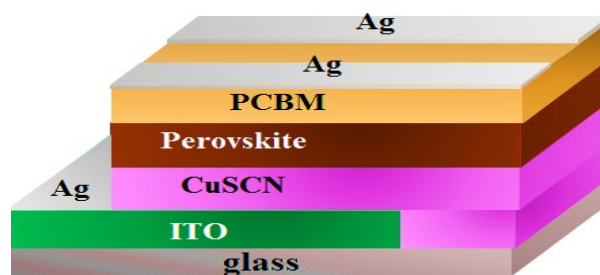
سلول خورشیدی صفحه‌ای معکوس طراحی شده در اینجا شامل لایه های ITO/CuSCN/Perovskite/PCBM/Ag است. شماتیک کلی ساختار در شکل ۱ نشان داده شده است.

در سال ۲۰۰۹ میاساکا و همکارانش برای اولین بار از پروسکایت  $CH_3NH_3PbI_3$  به‌عنوان لایه جاذب نور در سلول خورشیدی استفاده کردند [۱]. بازده سلول‌های خورشیدی پروسکایتی به سرعت پیشرفت کرد و در سال‌های اخیر به بازدهی بالای ۲۳/۳٪ رسیده است [۲]. مواد انتقال‌دهنده حفره نقشی اساسی و مهم در استخراج هرچه بهتر حامل و در نتیجه حصول بازدهی بالا در سلول خورشیدی پروسکایتی دارند. تیوسیانات مس (CuSCN) یک ماده غیر آلی با گاف انرژی بزرگ‌تر از ۳.۴ eV است. این ماده مانند همه مواد غیر آلی از خواص مکانیکی خوب، شفافیت بالا، تحرک پذیری حامل بالا به صورت خالص نسبت به مواد انتقال‌دهنده حفره پلیمری معروف نظیر PEDOT:PSS یا Spiro MeOTAD برخوردار است. مواد پلیمری به علت تحرک پذیری حامل پایین، به افزودنی نظیر LiTFSI نیازمندند که این نمک به علت رطوبت پذیری شدید سبب غیر پایداری سلول خورشیدی می‌شود [۳]. یکی از چالش‌های مواد غیر آلی آمورفی بودن ساختار آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش عملیات دما دهی پس از لایه نشانی ماده CuSCN برای بهبود مورفولوژی سطح و کریستال شدن این ماده مورد بررسی قرار گرفته است.

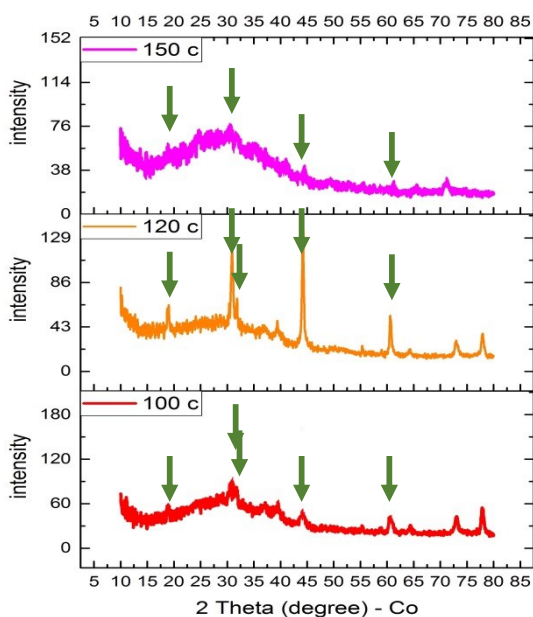
## ۱- روش آزمایش

### ۱-۱ لایه نشانی CuSCN

در این پژوهش از بستره ITO به‌عنوان زیر لایه استفاده شد. در ابتدا زیر لایه‌ها به روش شیمیایی با هیدروکلریک اسید (HCL) تحت دمای ۷۰ درجه الگودهی شدند. پس از الگودهی، زیر لایه‌ها به ترتیب با آب صابون رقیق شده در آب یون‌زدایی شده (DI)، استون، دپروپانول و آب یون‌زدایی شده هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه تحت حمام التراسونیک قرار



شکل ۱: شماتیک برش عرضی ساختار سلول خورشیدی



شکل ۲: طیف‌های XRD لایه‌های حرارت دهی شده در دماهای مختلف

## ۲- مشخصه‌یابی سلول خورشیدی

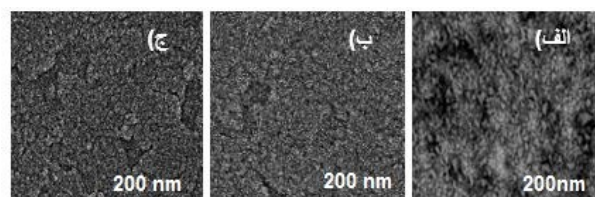
برای بررسی جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی از دستگاه شبیه‌ساز نور خورشید شریف سولار به همراه پتانسیواستات استفاده شد. برای مطالعه مورفولوژی سطوح لایه نشانی شده از میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) و به منظور بررسی بلورینگی و تشخیص ماده لایه نشانی شده از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد.

### ۱-۲ بلورینگی لایه انتقال دهنده حفره

طیف XRD لایه‌های CuSCN فرایند شده در دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. پیک‌های مربوط به صفحات کریستالی CuSCN بر روی طیف با فلش مشخص شده‌اند و مابقی پیک‌ها مربوط به زیر لایه ITO می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود لایه‌های حرارت دهی شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد ساختاری تقریباً آمورف دارند و ساختار با بلورینگی بیشتر برای ماده CuSCN در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است.

### ۲-۲ مورفولوژی سطح لایه انتقال دهنده حفره

برای بررسی مورفولوژی سطحی هر سه نوع لایه CuSCN از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است. تصاویر ۳- الف و ۳- ب و ۳- ج به ترتیب برای نمونه‌های سری اول، دوم و سوم هستند.



شکل ۳: تصویر از نمای بالا لایه CuSCN الف-نمونه سری اول، ب-نمونه‌های سری دوم، ج- نمونه‌های سری سوم

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مورفولوژی سطحی نمونه سری دوم از یک‌نواختی بیشتری برخوردار است.

## ۲-۳ مشخصات فتوولتائیک سلول خورشیدی

نمودار جریان-ولتاژ و مشخصات فتوولتائیکی برای سلول‌های ساخته شده با لایه انتقال دهنده حفره CuSCN به ترتیب در شکل ۴ و جدول ۱ نشان داده شده است.

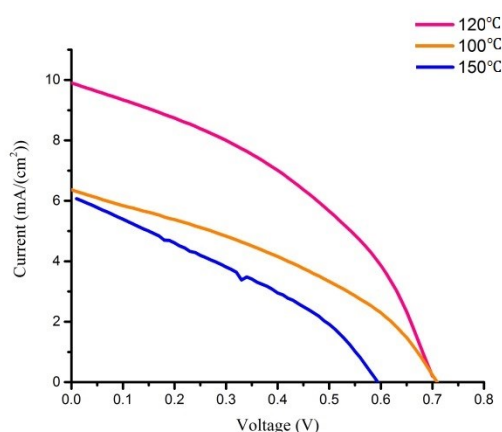
که می دانیم بلورینگی نقش به سزایی در استخراج هرچه بیشتر حامل و در نتیجه کاهش تجمع بار در فصل مشترک ها و باز ترکیب را به دنبال دارد. از طرفی، ولتاژ مدار باز سلول خورشیدی رابطه معکوس با سرعت باز ترکیب حامل ها دارد. پس هرچه بلورینگی بیشتر باشد باز ترکیب حامل ها در فصول مشترک کمتر و در نتیجه ولتاژ مدار باز بیشتر می شود. در سه نوع نمونه بهترین ساختار بلورینگی با عملیات حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد حاصل شد. در نتیجه بهتر شدن بلورینگی سبب بهبود استخراج حفره و بهتر شدن جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز و بهبود بازدهی سلول خورشیدی حاوی این لایه شد.

### سپاس گذاری

همکاران این پژوهش از حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس (هسته پژوهشی نانوپلاسما فوتونیک IG-39704) تشکر و قدردانی می کنند.

### مرجع ها

- [1] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, and T. Miyasaka, "Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 131, no. 17, pp. 6050-6051, 2009.
- [2] National Renewable Energy Laboratory, Research Cell Efficiency Records <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/pv-efficiencies-07-17-2018.pdf>.
- [3] E. V. A. Premalal, et al, "Tuning chemistry of CuSCN to enhance the performance of TiO<sub>2</sub>/N719/CuSCN all-solid-state dye-sensitized solar cell," *Chemical Communications*, 10.1039/B927336K vol. 46, no. 19, pp. 3360-3362, 2010.



شکل ۴: نمودار جریان ولتاژ افزاره با CuSCN حرارت دهی شده در دماهای مختلف

جدول ۱: مشخصات فوتوولتائیکی سه نوع نمونه عملیات دما دهی شده

	120°C	100°C	150°C
PCE(%)	2.9	1.7	1.2
FF(%)	41	37	31
Jsc(mA/cm <sup>2</sup> )	9.99	6.37	6.06
V <sub>oc</sub> (V)	0.71	0.71	0.58

همان طور که مشاهده می شود، مشخصات فوتوولتائیکی برای نمونه های سری دوم (با عملیات حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد) بهتر شده است. به نظر می رسد بلورینگی بیشتر لایه CuSCN نسبت به حالت آمورف سبب بهبود استخراج حامل و در نتیجه بهبود مشخصات فوتوولتائیکی شده است.

### ۳- نتیجه گیری

در اینجا نشان داده شد که بلورینگی و مورفولوژی لایه CuSCN وابستگی قابل توجهی به عملیات حرارتی دارد. همانطور که از طیف XRD لایه های CuSCN حرارت دهی شده در دماهای مختلف مشاهده می شود، بلورینگی نمونه تهیه شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد از همه کمتر است و می توان گفت که لایه کاملاً آمورف است. همان طور