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 دمادهی لایه CuSCN در عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی به‌عنوان انتقال‌دهنده حفره غیرآلی

مائده کوهیان افضل دهکردی[۱]، وحید احمدی [۱،*]، فرزانه عرب پور رق‌آبادی[1,2]، بهرام عبدالهی نژند[۱]

[۱]ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، گروه پژوهشی اپتوالکترونیک و نانوفتونیک
[۲] ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی
*نویسنده مسئول: v_ahmadi@modares.ac.ir

چکیده - یکی از اجزای کلیدی در ساختار سلول‌های خورشیدی، لایه انتقال‌دهنده حفره است که نقش مهمی در استخراج حامل و جلوگیری از بازترکیب آن دارد. این مواد به دو گروه اصلی مواد آلی و مواد غیر آلی تقسیم می شوند. در این مقاله از ماده غیر آلی تیوسیانات مس به‌عنوان انتقال‌دهنده حفره استفاده شد و تأثیر عملیات دما دهی بر بلور بندی و مورفولوژی سطح این لایه موردبررسی قرار گرفت. در انتها سلول‌های خورشیدی بر پایه لایه‌های انتقال‌دهنده حفره که در دماهای مختلف حرارت دهی شدند، ساخته و مشخصه یابی شدند. نشان داده شد نمونه ای که در دمای 120 درجه سانتی‌گراد عملیات حرارت شده است بهترین بلورینگی و درنتیجه بهترین مشخصات فوتوولتائیکی را دارد.

کلید واژه- سلول خورشیدی پروسکایتی، لایه انتقال‌دهنده 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[1], Vahid Ahmadi[1,*], Farzaneh Arabpour Roghabadi[1,2], Bahram Abdollahi Nejand[1]

[1]Optoelectronic and Nanophotonic Research Group, Faculty of Electrical and Computer [2]Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran-Iran.
*Corresponding author: 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-28]

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

مقدمه

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 به‌سرعت پیشرفت کرد و در سال‌های اخیر به بازدهی بالای 23/3٪ رسیده‌است [۲]. مواد انتقال‌دهنده حفره نقشی اساسی و مهم در استخراج هرچه بهتر حامل و درنتیجه حصول بازدهی بالا در سلول خورشیدی پروسکایتی دارند. تیوسیانات مس (CuSCN) یک ماده غیر آلی با گاف انرژی بزرگ‌تر از 3.4 eV است. این ماده مانند همه مواد غیر آلی از خواص مکانیکی خوب، شفافیت بالا، تحرک پذیری حامل بالا به‌صورت 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 LiTFSIنیازمندند 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 موردبررسی قرارگرفته است.

۱- روش آزمایش

۱-۱ لایه نشانی CuSCN

دراین پژوهش از بستره ITO به‌عنوان زیرلایه استفاده‌شد. 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 رقیق‌شده در آب یون‌زدایی شده (DI)، استون، دوپروپانول و آب یون‌زدایی شده هرکدام به مدت ۱۰ دقیقه تحت حمام التراسونیک قرار گرفتند. در انتها پس از آب‌کشی، نمونه‌ها تحت دمای ۱۰۰ درجه خشک شدند. محلول شامل ۱۰ میلی گرم پودر CuSCN در ۱میلی‌لیتر آمونیاک به روش لایه نشانی چرخشی بر روی زیر لایه‌ها لایه نشانی شد. برای بررسی عملیات دمادهی، 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.

۱-۲ 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.

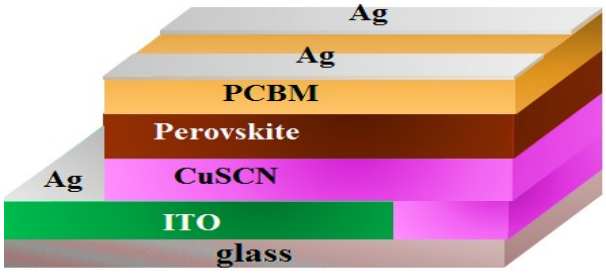
۱-۳ لایه نشانی انتقال دهنده الکترون و نقره

ماده Phenyl-C61-Butyric acid Methyl ester (PCBM) به‌عنوان انتقال‌دهنده 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 نشان‌داده‌شده است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-28]



شکل ۱: شماتیک برش عرضی ساختار سلول خورشیدی

۲- مشخصه‌یابی سلول خورشیدی

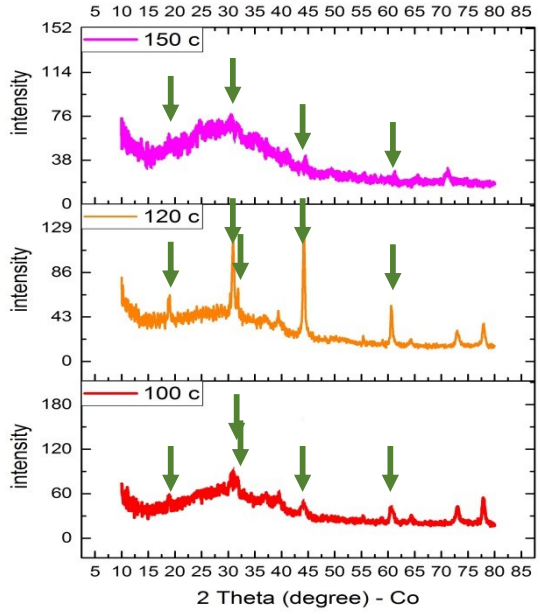
برای بررسی جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی از دستگاه شبیه‌ساز نور خورشید شریف سولار به همراه پتانسیواستات استفاده شد. برای مطالعه مورفولوژی سطوح لایه نشانی شده از میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) و به‌منظور بررسی بلورینگی و تشخیص ماده لایه نشانی شده از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)استفاده شد.

۲-۱ بلورینگی لایه انتقال دهنده حفره

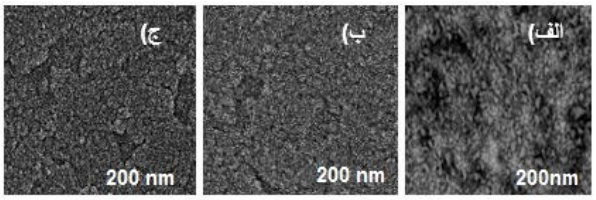
طیف XRD لایه‌های CuSCN فرایند شده در دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده‌شده است. پیک‌های مربوط به صفحات کریستالی CuSCN بر روی طیف با فلش مشخص‌شده‌اند و مابقی پیک‌ها مربوط به زیر لایه ITO می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود لایه‌های حرارت دهی شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد ساختاری تقریبا آمورف دارند و ساختار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

۲-۲ مورفولوژی سطح لایه انتقال دهنده حفره

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



شکل۲: طیف‌های XRD لایه‌های حرارت دهی شده در دماهای مختلف



شکل۳: تصویر از نمای بالا لایه CuSCN الف-نمونه سری اول، ب-نمونه‌های سری دوم، ج- نمونه‌های سری سوم

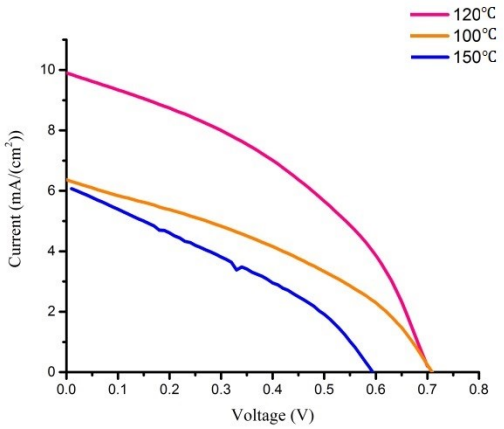
همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مورفولوژی سطحی نمونه سری دوم از یکنواختی بیشتری برخورداراست .

۲-۳ مشخصات فوتوولتائیک سلول خورشیدی

نمودارجریان-ولتاژو مشخصات فتوولتائیکی برای سلول‌های ساخته‌شده با لایه انتقال‌دهنده حفره CuSCN به ترتیب درشکل۴ و جدول۱ نشان داده شده‌است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-28]

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



شکل۴: نمودار جریان ولتاژ افزاره با CuSCNحرارت دهی شده در دماهای مختلف

جدول۱:مشخصات فوتوولتائیکی سه نوع نمونه عملیات دمادهی شده

	120°C	100°C	150°C
PCE(%)	2.9	1.7	1.2
FF(%)	41	37	31
Jsc(mA/cm^2)	9.99	6.37	6.06
V_{oc}(V)	0.71	0.71	0.58

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مشخصات فوتوولتائیکی برای نمونه‌های سری دوم (با عملیات حرارتی دردمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) بهتر شده است. به نظر می‌رسد بلورینگی بیشتر لایه CuSCN نسبت به حالت آمورف سبب بهبود استخراج حامل و درنتیجه بهبود مشخصات فوتوولتائیکی شده است.

۳- نتیجه گیری

در اینجا نشان داده شد که بلورینگی و مورفولوژی لایه CuSCN وابستگی قابل‌توجهی 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 کاملا آمورف است. همان طور که می دانیم بلورینگی نقش به سزایی در استخراج هرچه بیشتر حامل و در نتیجه کاهش تجمع بار در فصل مشترک ها و بازترکیب را به دنبال دارد. از طرفی، ولتاژ مدار باز سلول خورشیدی رابطه معکوس با سرعت بازترکیب حامل ها دارد. پس هرچه بلورینگی بیشتر باشد بازترکیب حامل‌ها در فصول مشترک کمتر و در نتیجه ولتاژ مدار باز بیشتر می-شود. در سه نوع نمونه CuSCN بهترین ساختار بلورینگی با عملیات حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. درنتیجه 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 گزاری

همکاران این پژوهش از حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس (هسته پژوهشی نانوپلاسمافوتونیک IG-39704) تشکر و قدردانی می‌کنند.

مرجع‌ها

[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 theperformance of TiO2/N719/CuSCN all-solid-state dye-sensitized solar cell," Chemical Communications, 10.1039/B927336K vol. 46, no. 19, pp. 3360-3362, 2010.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-28]