بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

اثر دمای بازپخت بر لایه‌ی پروسکایت $MAPbI_3$

فرزانه یکه کار[۱]، کیمیا فلاح[۱]، شیما تقیان[۱]، بیژن غفاری[۱] ، رضا صابری مقدم[۱و۲] ، راضیه کشتمند[۱]، شهاب نوروزیان علم*[۱]

دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت، تهران؛ [۲]دانشکده فیزیک کمبریج، انگلستان

f_yekekar@physics.iust.ac.ir, kimya_fallah۹۸@physics.iust.ac.ir, shima_taghiyan@physics.iust.ac.ir, ghafary@iust.ac.ir, reza.saberi@gmail.com, norouzian@iust.ac.ir، R_keshtmand@physics.iust.ac.ir, norouzian@iust.ac.ir

چکیده – امروزه نانو مواد پروسکایت به دلیل خواص مناسب اپتوالکترونیکی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از عوامل موثر بر تشکیل لایه پروسکایت می‌توان به مورفولوژی سطح پروسکایت اشاره کرد. دمای بازپخت می‌تواند بر مورفولوژی سطح اثرگذار باشد. در این پژوهش به منظور یافتن دمای بازپخت بهینه برای ماده متیل آمونیوم سرب یدید ($MAPbI_3$) ، سه دمای بازپخت ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف فوتولومینسانس آن‌ها بررسی شده است. در انتها به عنوان نتیجه بهترین دمای بازپخت در این آزمایش دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد بدست آمد که شدت فوتولومینسانس بالا با سطح یکنواخت‌تر نسبت به حالات دیگر آن را تایید کرد.

کلید واژه- بازپخت، پروسکایت، دمای بازپخت، لایه نازک، $MAPbI_3$.

The Effect of Annealing Temperature on Perovskite Layer $MAPbI_3$

Farzaneh Yeke kar[۱], Kimya Fallah[۱], Shima Taghiyan[۱], Bijan Ghafari[۱], , Reza Saberi Moghaddam[۲], Raziye Keshtmand[۱], Shahab Norouzian Alam*[۱]

[۱]□□□□□□□ □□□□□□□□□□□, □□□□ □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□, □□□□□□□ [۲]□□□□□□□

Department, University of Cambridge, United Kingdom; f_yekekar@physics.iust.ac.ir ،kimya_fallah۹۸@physics.iust.ac.ir، shima_taghiyan@physics.iust.ac.ir، ghafary@iust.ac.ir ،reza.saberi@gmail.com، R_keshtmand@physics.iust.ac.ir، norouzian@iust.ac.ir

Abstract- Nowadays, perovskite nano materials have received a lot of attention due to their good optoelectronic properties. One of the factors affecting the formation of the perovskite layers is the morphology of the perovskite surface. The annealing temperature can affect the surface morphology. In this study, in order to find the optimal annealing temperature for lead-iodide methyl ammonium ($MAPbI_3$), three annealing temperatures of ۸۰, ۱۰۰ and ۱۵۰ □□, □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□ □□□ □□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□□□□□□. □□ □□□ □□□, as a result of the best annealing temperature in this experiment, a temperature of ۱۰۰ °C was obtained, which was confirmed by high photoluminescence intensity with a more uniform surface than other cases.

Keywords: Perovskite, Thin film, $MAPbI_3$ Annealing, Thermal annealing.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

مقدمه

امروزه مواد پروسکایت به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، در زمینه‌ی اپتوالکتریک و فوتونیک کاربرد فراوانی دارند[۱]. از جمله مزایای مواد پروسکایت برای تولید فیلم‌های نازک، راندمان کوانتومی تابش نور بالا، ضریب جذب و تحرک حامل بالا است[۲]. برای بهبود کیفیت فیلم پروسکایت و یکنواختی سطح آن، اندازه ذره‌ها باید بهینه شود. روش تهیه و ساخت ماده پروسکایت از لحاظ علمی چالش برانگیز است[۳]. برای لایه‌نشانی پروسکایت بر روی سطح عمدتاً از روش لایه‌نشانی دو مرحله‌ای استفاده می‌شود[۴]. پارامتر دمای بازپخت در بررسی اندازه دانه کریستال، مورفولوژی فیلم‌های پروسکایت و ساخت ادوات اپتوالکترونیک نقش مهمی دارد. در این مقاله، با بررسی تأثیر دما بر میزان بلورینگی فیلم پروسکایت و مقایسه سه دمای بازپخت در شرایط یکسان، دمای بازپخت بهینه به دست آمده است. تصاویرمیکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) و فوتولومینسانس (PL) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد نشان می‌دهد که پروسکایت تشکیل شده در این دما بهتر و پایدارتر از دمای ۸۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

روش ساخت فیلم نازک پروسکایتی

ابتدا شیشه هایی به عنوان زیر لایه در ابعاد ۱/۲×۱/۲ سانتی متر برش داده شدند، سپس نمونه‌ها با آب و صابون، آبدوبار یونیزه شده و اتانول به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار داده شدند و به مدت یک ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد تحت حرارت قرار گرفتند. شپس محلول $MaPbI_3$ با روش پوشش‌دهی چرخشی در دو مرحله، ابتدا با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ ثانیه و سپس با سرعت ۵۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ ثانیه بر روی زیر لایه‌ها لایه نشانی انجام شد در هشت ثانیه پایانی لایه نشانی دوم، کلروبنزن بر روی لایه‌ها تزریق شد بلافاصله نمونه‌ها تحت دماهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت حرارت‌دهی شدند.

دستور العمل آماده سازی $MaPbI_3$ و لایه نشانی آن با Spin-Coating:

۰/۱۹گرم از PbI_2 را به مدت ۱۰ دقیقه بر روی اجاق بشقابی با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار می‌دهیم تا رطوبت آن گرفته شود. بعد از خنک شدن ۳۰۰/۵ میکرولیتر دی متیل سولفو اکسید (DMSO) به آن اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا کاملا حل شود. سپس ۰/۰۵۵ گرم MAI را با ترازو دیجیتال وزن کرده و۲۹۱/۵ میکرولیتر از محلول بالا را به آن اضافه می‌کنیم تا محلولی شفاف و زرد رنگ حاصل شود. بعد از ساخت محلول دستگاه لایه نشان را به صورت دو مرحله‌ای تنظیم کرده که در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول۱: مقادیر پارامترهای دما و زمان در لایه‌نشانی دو مرحله‌ای با سرعت های یکسان

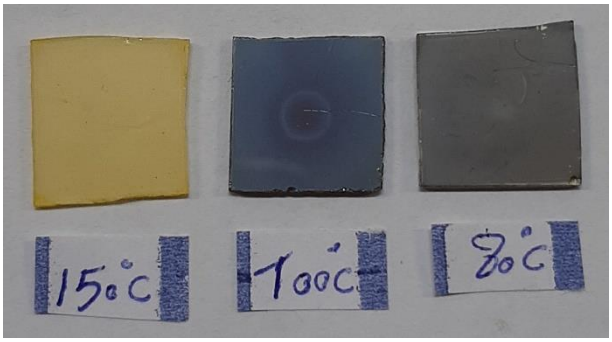
	سرعت مرحله اول rpm/s	زمان مرحله اول (ثانیه)	سرعت مرحله دوم rpm/s	زمان مرحله دوم (ثانیه)	دمای بازپخت درجه سانتیگراد	زمان بازپخت درجه سانتیگراد
۱	۱۰۰۰	۱۰	۵۰۰۰	۳۰	۸۰	۱ ساعت
۲	۱۰۰۰	۱۰	۵۰۰۰	۳۰	۱۰۰	۱ ساعت
۳	۱۰۰۰	۱۰	۵۰۰۰	۳۰	۱۵۰	۱ ساعت

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

مقدار ۲۵ میکرولیتر از محلول $MaPbI_3$ را به کمک پیپت بر روی لام ریخته و پخش می‌کنیم. دستگاه را فعال کرده و در ۱۵ ثانیه دوم مرحله دوم، مقدار ۱۲۰ میکرولیتر کلروبنزن را بر روی آن تزریق می‌کنیم. سپس نمونه را با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت تحت حرارت قرار می‌دهیم.

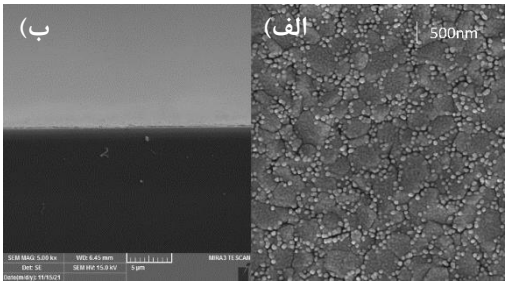
گزارش نتایج تجربی

در این پژوهش با افزایش دمای بازپخت، رنگ لایه‌ی پروسکایت به سمت زرد روشن تغییر می‌کند که در دمای ۱۵۰ درجه شاهد تخریب لایه‌ی پروسکایت خواهیم بود و فیلم با دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتیگراد بهترین نتیجه را داشته است که در شکل ۱ نشان داده شده است.

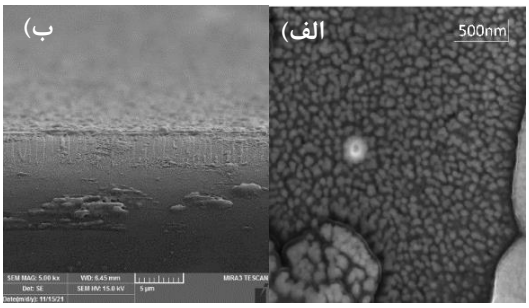


شکل۱: تصویر نمونه‌های پروسکایت $MAPbI_3$ به ترتیب از راست به چپ دمای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد.

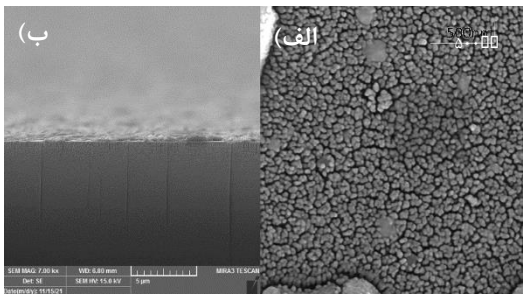
در شکل‌های ۲ تا ۴ بخش الف) مشاهده می‌شود برای ایجاد لایه پروسکایت با پکیدگی بالا، دما باید به صورت کنترل شده اعمال شود در غیر این صورت با توجه به بخش ب) شکل‌های ۲ تا ۴ بلورهای مجاور جمع شده و رشد خواهد کرد. افزایش یا کاهش بی‌رویه آن سبب ایجاد ترک‌های عرضی و عمودی می‌شود[۵].



شکل۲: تصویر FESEM الف) نمای بالا (top)، ب) سطح مقطع (cross-sectional) لایه پروسکایت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد.



شکل۳: تصویر FESEM الف) نمای بالا، ب) سطح مقطع لایه پروسکایت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد.

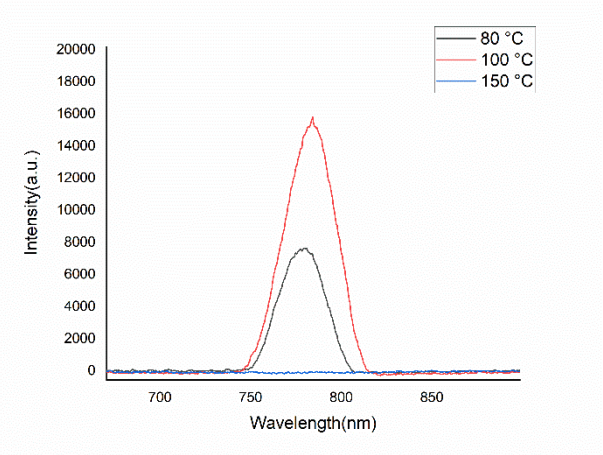


شکل۴: تصویر FESEM الف) نمای بالا، ب) سطح مقطع لایه پروسکایت در دمای ۱۵۰ سانتیگراد.

اجرای فرآیند بازپخت در دمای بهینه، سبب تشکیل مورفولوژی یکنواخت با اندازه دانه‌های بهینه، چیدمان متراکم و زبری نسبتا کم می‌شود[۶]. این نتیجه زمانی تایید می‌شود که میزان فوتولومینسانس با توجه به شکل ۵ در نمونه‌ی با دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتیگراد نسبت به دو دمای دیگر بیشتر است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین شدت در ۱۰۰ درجه سانتیگراد حاصل شد.کاهش شدت فوتولومینسانس ناشی از افزایش دما را می‌توان به افزایش نقص در فیلم پروسکایت نسبت داد که منجر به

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

افزایش به دام انداختن بار و نوترکیبی غیرتابشی یا خاموش شدن لومینسانس می‌شود. بنابراین دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به عنوان بهترین دمای بازپخت برای تشکیل لایه‌ی پروسکایت انتخاب می‌شود.



شکل۵: نمودار فوتولومینسانس $MAPbI_3$.

نتیجه گیری

در این تحقیق مشاهده می‌شود که با مقایسه‌ی سه دمای بازپخت ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد رنگ لایه‌ی پروسکایت از قهوه‌ای مایل به مشکی به سمت زرد روشن تغییر می‌یابد. با توجه به مشخصه‌یابی‌های لایه نشانی، می‌توان نتیجه گرفت که با مقایسه‌ی دماهای بازپخت، شرایط برای تشکیل لایه‌ی پروسکایت با بلورهای مناسب‌تر در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد فراهم می‌شود و افزایش دمای بازپخت در دماهای بالا مانند ۱۵۰ درجه سانتیگراد باعث از بین رفتن لایه‌ی پروسکایت $MaPbI_3$ می‌شود.

مرجع‌ها

[۱] Ch.H. Mak, X. Huang, R. Liuab, Y. Tang, X. Han, L.Ji, X. Zou, G.Zou, H.Y. Hsua, "Recent progress in surface modification and interfacial engineering for high-performance perovskite light-emitting diodes", Nano Energy, Vol.۷۳, pp. ۱۰۴۷۵۲-۱۰۴۷۶۸, ۲۰۲۰.

[۲] F. Deschler, M. Price, S. Pathak, L. E. Klintberg, D.-D. Jarausch, R. Higler, S. Hüttner, T. Leijtens, S. D. Stranks, H. J. Snaith, M. Atatüre, R. T. Phillips, R. H. Friend, "High Photoluminescence Efficiency and Optically Pumped Lasing in Solution-Processed Mixed Halide Perovskite Semiconductors", J. Phys. Chem. Lett., Vol. ۵, No. ۸, pp. ۱۴۲۱–۱۴۲۶, ۲۰۱۴.

[۳] J.Ch. Yu, J.H. Park, S.Y. Leea, M.H. Song, "Effect of perovskite film morphology on device performance of perovskite light-emitting diodes", Nanoscale, Vol. ۱۱, pp.۱۵۰۵-۱۵۱۴, ۲۰۱۹.

[۴] G.E. Eperon, V.M. Burlakov, P. Docampo, A. Goriely, H.J.Snaith, "Morphological control for high performance, solution-processed planar heterojunction perovskite solar cells", Advanced Functional Materials, Vol. ۲۴, No. ۱, pp. ۱۵۱-۱۵۷, ۲۰۱۴.

[۵] J. Liang, Y. Zhang, X. Guo, Z. Gan, J. Lin, Y. Fan, X. Liu, "Efficient Perovskite Light-Emitting Diodes by Film Annealing Temperature Control", RSC Adv, Vol. ۶, pp. ۷۱۰۷۰-۷۱۰۷۵, ۲۰۱۶.

[۶] J.C Yu, D.W Kim, D.B Kim, E.D Jung, J.H Park, A.Y Lee, B.R Lee, D.D Nuzzo, R.H Friend, M.H Song, "Improving the Stability and Performance of Perovskite Light-Emitting Diodes by Thermal Annealing Treatment", Adv, Vol. ۲۸, pp. ۶۹۰۶-۶۹۱۳, ۲۰۱۶.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]