



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



## بررسی انتقال بار در سلول‌های خورشیدی پروسکایت مبتنی بر نانو ساختارهای ترکیبی فرمامیدینیم - متیل آمونیوم

کامیار برکاتی<sup>۱</sup>، دکتر احمد مشاعی<sup>۱\*</sup>، زهرا باقری<sup>۱</sup>، سارا عباسیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup>پژوهشکده فیزیک، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)

چکیده - به منظور کاهش نقص‌ها و بهبود بلورینگی لایه پروسکایت ما  $FAPbI_3$  را به عنوان دانه‌های کریستالی برای تنظیم رشد بلورهای  $MAPbI_3$  معرفی می‌کنیم بنابراین یک لایه پروسکایت مخلوط ( $MA_{1-x}FA_xPbI_3$ ) با روش لایه نشانی چرخشی خواهیم داشت. میکروسکوپ الکترونی و الگوی پراش اشعه X بلورینگی بهتر و دانه‌های بزرگتر برای لایه پروسکایت ترکیبی نسبت به لایه  $MAPbI_3$  نشان می‌دهند. همبستگی مثبت بین کریستالیزاسیون و غلظت  $FAPbI_3$  نشان می‌دهد که فرآیند بلورسازی توسط القاء  $FAPbI_3$  کنترل می‌شود. در این مقاله سعی شده است با بررسی طیف جذب  $uv$ -visible، طیف XRD و SEM مشخصات این پروسکایت در یک سلول کامل نشان داد شود. کلیدواژه - پروسکایت، سلول خورشیدی، کریستالیزاسیون

### Investigation of charge transfer in perovskite solar cells based on nanostructures of formamidinium-methylammonium

<sup>1</sup>K.Barakati, <sup>1\*</sup>A.Moshaii, <sup>1</sup>Z.Bagheri, <sup>2</sup>S.Abbasian

<sup>1</sup>Atomic and Molecular Group, Faculty of Physics, tarbiat modares university

<sup>2</sup>School of Physics, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM)

(\*corresponding author : moshaii@modares.ac.ir)

**Abstract** - In order to reduce defects and improve the crystallinity of perovskite layer, we introduce  $FAPbI_3$  as crystalline grains for controlling the growth of  $MAPbI_3$  crystals, so we will have a mixed perovskite layer ( $MA_{1-x}FA_xPbI_3$ ) with the spin-coating method.

The electron microscope and X-ray diffraction pattern exhibit better crystallinity and larger grains for the mixed perovskite layer than the  $MAPbI_3$  layer. The positive correlation between crystallization and  $FAPbI_3$  concentration indicates that the crystallization process is controlled by induction of  $FAPbI_3$ . In this paper, we have tried to show the specification of this perovskite in a complete cell by studying the  $uv$ -visible absorption spectrum and SEM and the XRD spectrum.

**Keywords:** perovskite, solar cells, crystallization

## ۲- روش انجام آزمایش

در این پژوهش سعی بر آن شده است که پروسکایت مبتنی بر نانوساختارهای ترکیبی متیل آمونیوم و فرم آمیدیم با فرمول شیمیایی  $(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$  با پروسکایت خالص با فرمول شیمیایی  $MAPbI_3$  مقایسه شود. بنابراین برای ساخت این دو پروسکایت داریم از روش لایه نشانی چرخشی دو مرحله ای استفاده شده است.

### ۲-۱ مواد مورد نیاز

شیشه های FTO مربعی به طول ۱,۴ سانتی متر ، اتانول ، استون ، هیدروکلریک اسید ، کلروبنزن ، متیل آمونیوم یدید ، سرب یدید ، فرم آمیدنیوم یدید ، فیلتر ۲۰۰ نانومتری

### ۲-۲ روش آماده سازی زیر لایه ها و محلول

#### پروسکایت

برای آماده سازی زیر لایه ها ابتدا FTO ها را Etch می کنیم یعنی به اندازه ۲-۳ میلی متر از لایه رسانا را با ریختن پودر روی و اسید هیدروکلریک (HCL) برمی داریم سپس FTO ها را ابتدا با آب صابون ، استون و اتانول شستشو می دهیم. بعد از این مرحله محلول ۴۳۰ mM تیتانیوم ایزوپروپوکساید در اتانول را به عنوان یک لایه ی مسدود کننده ی حفره (Block) با استفاده از روش Spin Coating لایه نشانی می کنیم و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار می دهیم. سپس خمیر  $TiO_2$  محلول در اتانول را به عنوان لایه متخلخل  $TiO_2$  (Mesoporous  $TiO_2$ ) اسپین کرده و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار می دهیم. زیر لایه ها را برای مرحله نهایی و مهم پروسکایت آماده می کنیم. ابتدا دو محلول پروسکایت  $MAPbI_3$  و  $FAPbI_3$  با غلظت 1molar درست می کنیم، ابتدا محلول  $FAPbI_3$  را روی سلول ریخته و اجازه می دهیم با سرعت 4000rpm به مدت 20s بچرخد سپس محلول  $MAPbI_3$  را می ریزیم (5000rpm ، 30s) و در نهایت Anti Solvent کلرو بنزن را می ریزیم سپس FTO ها را به مدت ۳۰ دقیقه در

## مقدمه

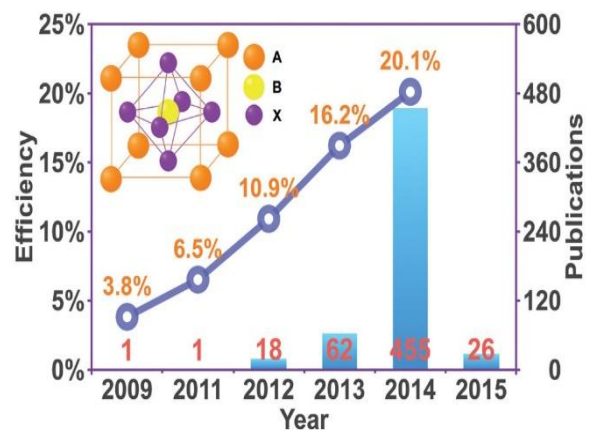
انرژی های تجدید پذیر باتوجه به ویژگی هایی چون پاک بودن، در دسترس بودن و ظرفیت بالا مورد توجه قرار گرفته اند. از آنجائیکه میزان انرژی خورشیدی دریافتی توسط زمین در طول یک ساعت از کل میزان انرژی مصرفی جهانیان بیشتر است به کار گیری این منبع عظیم میتواند نگرانی های مربوط به حوزه انرژی را برطرف سازد. از تابش خورشید به طور مستقیم به دو شکل نور و گرما میتوان استفاده کرد [1]. فناوری فوتولتایی خود شامل دو زیرمجموعه است:

۱- تبدیل مستقیم نور به الکتریسیته توسط سلولهای خورشیدی

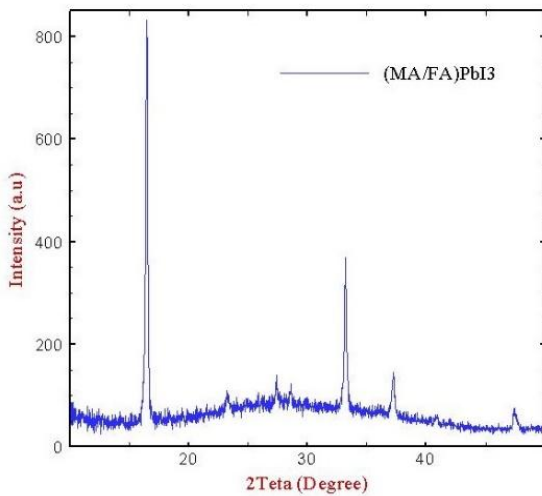
۲- تولید فوتوالکتروشیمیایی هیدروژن

در این پژوهش بهبود تولید الکتریسیته از نور خورشید توسط یکی از انواع سلولهای خورشیدی با نام سلولهای خورشیدی پروسکایتی مد نظر است که در ادامه به آن می پردازیم.

پروسکایت دارای ساختار کریستالی  $ABX_3$  است که X یون هالوژن (I-,Br-,Cl-)، A یون آمونیوم آلی ( $CH_3NH_3^+$ )، B کاتیون فلزی دو ظرفیتی ( $CH(NH_2)_2^+$ ،  $Cs^+$ ) و  $(Pb^{2+}, Sn^{2+}, Ge^{2+})$  است. در شکل ۱ می توان نمودار آخرین بازده های توانی و پیشرفت عملکرد سلول های خورشیدی مبتنی بر ساختار  $ABX_3$  را مشاهده کرد [2][3].

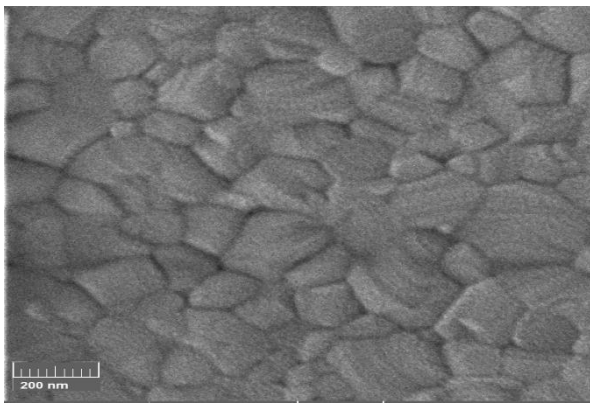


شکل ۱: پیشرفت ها و عملکرد سلول های خورشیدی پروسکایتی مبتنی بر ساختار  $ABX_3$  به روز شده تا (2015/02/01)



شکل ۳: طیف XRD از  $(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$

مطابق شکل ۲ و ۳ مشخص است که ساختار شبکه‌ای مکعبی پروسکایت ساخته شده در حالت‌های مختلف تشکیل شده است و اثری از مواد اولیه آن مانند  $PbI_2$  که کارایی سلول را کاهش می‌دهد وجود ندارد. این مسئله همچنین نشان دهنده کامل بودن واکنش شیمیایی بین MAI، FAI و  $PbI_2$  است.



شکل ۴: تصویر SEM لایه پروسکایت  $(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$

شکل ۴ نشان می‌دهد که ساختار پروسکایت تشکیل شده تقریباً مکعبی بوده و میانگین اندازه مکعب‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ نانومتر است. در تصویر SEM تهیه شده که پروسکایت لایه نشانی شده با روش چرخشی دو مرحله‌ای پوشش‌دهی نسبتاً بهتری را روی زیر لایه ایجاد کرده و ساختار مسطحی دارد.

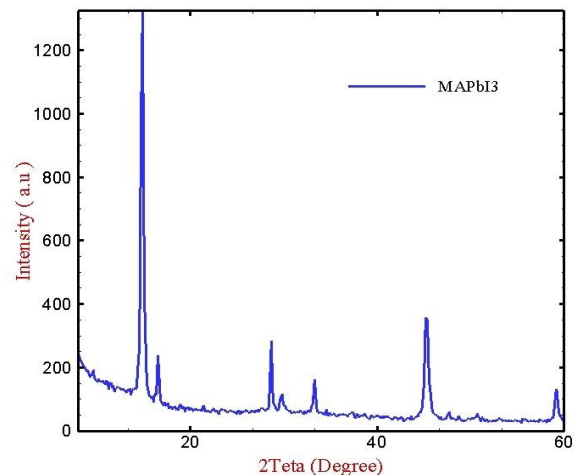
دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد روی هات پلیت قرار می‌دهیم. در مرحله‌ی بعد لایه Spiro-OMETAD را اسپین کرده و در آخرین مرحله طلا را به عنوان contact نهایی لایه نشانی می‌کنیم. این مراحل را یکبار دیگر تنها با محلول  $MAPbI_3$  تکرار می‌کنیم.

### ۳-۲ روش تهیه محلول پروسکایت

برای تهیه محلول پروسکایت ترکیبی ابتدا به مقدار مورد نظر پودر سرب یدید را وزن کرده و در آون ۱۲۰ درجه به مدت ۳۰ دقیقه می‌گذاریم تا آبگیری شود. محلول ۱ مولار  $MAPbI_3$  و محلول ۱ مولار  $FAPbI_3$  را آماده می‌کنیم. برای تهیه  $MAPbI_3$  500 $\mu$ L از حلال (نسبت حجمی ۴:۱ DMF و DMSO) را روی  $PbI_2$  ریخته و اجازه می‌دهیم حل شود سپس این محلول را به MAI اضافه می‌کنیم. به صورت مشابه  $FAPbI_3$  را نیز آماده می‌کنیم.

### ۳-۳ مشخصه یابی

ما در این پژوهش برای هر نمونه مشخصه یابی های XRD، UV Visible و SEM و J-V را انجام دادیم که شرح نتایج را می‌توان در شکل‌های زیر مشاهده کرد.



شکل ۲: طیف XRD از  $MAPbI_3$

مطابق شکل ۶ نمودار J-V برای پروسکایت مخلوط  $(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$  چگالی جریان بالاتر و در نتیجه بازدهی بهتری دارد، که نشان دهندهی بهبود کیفیت لایه پروسکایت می‌باشد.

در جدول زیر مشخصات کلی این دو روش از نظر بازدهی، چگالی جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز مقایسه شده است. که به وضوح عملکرد بهتر سلول خورشیدی برای حالت مخلوط نسبت به حالت متیل آمونیوم خالص را نشان می‌دهد.

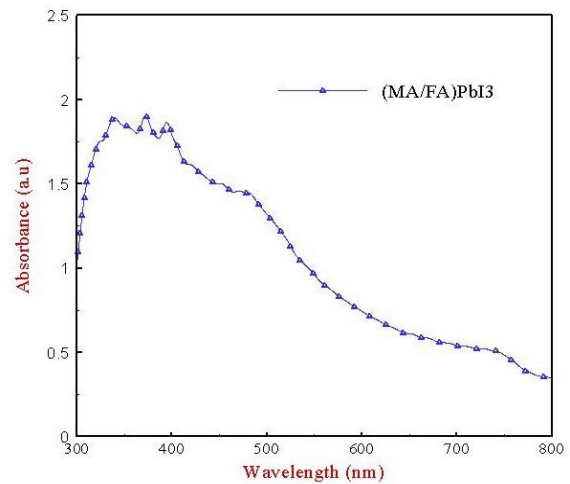
	J	V	Efficiency
$(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$	17	8.34	8.75
MAPbI <sub>3</sub>	12.3	8.19	6.72

### نتیجه گیری

به منظور کاهش نقص‌ها و بهبود بلورینگی لایه پروسکایت ما  $FAPbI_3$  را به عنوان دانه‌های کریستالی برای تنظیم رشد بلورهای  $MAPbI_3$  معرفی کردیم بنابراین یک لایه پروسکایت مخلوط  $(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$  با روش لایه نشانی چرخشی داشتیم که این ترکیب با توجه به مشخصه یابی‌های به عمل آمده دارای پوشش سطحی بسیار خوب، جذب نور بالا و انتقال بار بسیار مناسب است.

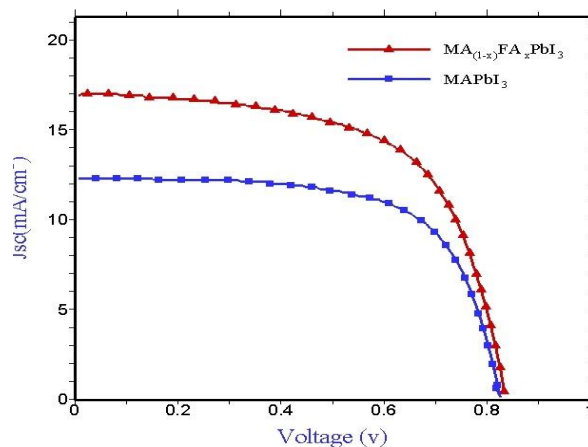
### مرجع‌ها

- [1] A. J. McEvoy, L. Castaner, and T. Markvart, *Solar cells: materials, manufacture and operation*. Academic Press, 2012.
- [2] Zheng, L., et al., *Morphology control of the perovskite films for efficient solar cells*. Dalton transactions, 2015. 44(23): p. 10582-10593.
- [3] کتاب انرژی خورشیدی ( فیزیک و مهندسی فتوولتائیک فناوری ها و سامانه‌ها)



شکل 5: طیف جذب (UV-Visible) از  $(MA_{1-x}FA_xPbI_3)$

شکل ۵ میزان جذب خالص لایه پروسکایت ساخته شده در حالت ترکیبی بررسی شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است در ناحیه طول موجی ۳۵۰ تا ۵۵۰ نانومتر درصد جذب پروسکایت ساخته شده بهتر است که فوتون بیشتری را جذب نموده و در نتیجه حامل‌های بار بیشتری ایجاد می‌کند که این می‌تواند باعث افزایش جریان شود. البته افزایش جذب در این حالت لزوماً به معنای نتایج بهتر در سلول‌های خورشیدی ساخته شده نیست چون فوتون جذب شده باید بتواند ابتدا تولید زوج الکترون و حفره کرده و این الکترون و حفره باید بتوانند از لایه‌ها عبور کنند و جریان بهتری را برای سلول فراهم آورند.



شکل ۶: نمودار J-V برای دو نمونه سلول خورشیدی متیل آمونیوم خالص و ترکیبی