



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

سلول های خورشیدی کارآمد پروسکایت (با پیوند ناهمگون و

شکل مسطح)

بسیاری از فناوری های فتوولتایک مختلف برای تبدیل انرژی خورشیدی در مقیاس وسیع توسعه یافته اند (1-4). دستگاه های فتوولتایک نسل اول مبتنی بر آب همراه با لایه های جاذب نیمه هادی جامد فیلم نازک بین دو مفصل بار انتخابی (3) و سلول های خورشیدی با ساختار نانو (یا ساختار مزو) هستند که برای تولید بار و انتقال بار های مثبت و منفی در فاز های مکانی مجزا (4-6) به پیوند ناهمگن توزیعی متکی هستند. اگرچه مواد بسیاری در دستگاه های با ساختار نانو استفاده شده اند، هدف دست یابی به سلول های خورشیدی فیلم نازک با کارایی بالا از این طریق هنوز حاصل نشده است. (7). پروسکایت های هالید ارگانومتال اخیرا به عنوان یک ماده مهم برای دستگاه های نانوساختار با کارایی بالا مطرح شده اند (8-11). در این جا ما نشان دادیم که ساختار نانو برای دست یابی به کارایی بالا با این ماده نیاز نیست: یک سلول خورشیدی مسطح ساده با پیوند ناهمگون (ناجور پیوند) که پروسکایت رسوب یافته از طریق بخار شیمیایی را به عنوان لایه جاذب استفاده می کند، دارای ضریب تبدیل انرژی خورشیدی به توان الکتریکی بیش از 15 درصد می باشد (که تحت نور خورشید شبیه سازی شده اندازه گیری می شود). این نشان می دهد که جاذب های پروسکایت می توانند با بیشترین کارایی در معماری های دستگاه ساده بدون نیاز به نانو ساختار های پیچیده عمل کنند.

درون یک سلول خورشیدی، بسیاری از اجزای متفاوت با کارکرد ها و نقش های مختلف برای خواص الکترونیک نوری و خلوص وجود دارند. مفهوم سلول خورشیدی هیبریدی آلی-معدنی " یک مفهوم چند منظوره است " به طوری که هدف آن استفاده از مواد بهینه برای عملکرد بهتر تک تک اجزاء می باشد. هر ماده ای که به آسانی قابل فراوری، ارزان و فراوان باشد می تواند با هدف تولید یک سلول خورشید با کارایی بالا استفاده کرد. سلول های خورشیدی هیبریدی در ترکیبات پلیمری مزدوج حاوی نانو کریستال های نیمه هادی نظیر $CdSe$ (12)،

¹ 'material agnostic

CuInS₂ (13) and PbS (14) موثر بوده اند. سلول های خورشیدی رنگ-حساس، سلولهای خورشیدی هیبریدی حاوی یک اکسید نوع n غیر آلی (معدنی) با ساختار مزو (نظیر تیتانیوم اکسید) حساس با یک رنگ کمپلکس فلزی یا آلی و یک ویکرساننده حفره ای نوع p (4) می باشند. اخیراً، جاذب های پروسکایت تری هالید ارگانومتال با فرمول عمومی (RNH₃)BX₃ که R C_nH_{2n+1}، X هالوژن، Br-Cl، و B سرب یا استرانسیوم می باشد) به جای رنگ در سلول های خورشیدی رنگ-حساس برای تولید سلول های خورشیدی حالت جامد با ضریب تبدیل توان بیش از 10 درصد (منابع 11، 8 و 16) استفاده شده اند.

با استفاده از سلول های خورشیدی رنگ-حساس، نتایج نشان داد که جایگزینی تیتانیوم اکسید مزوپور با آلومینیوم اکسید مزوپور منجر به افزایش معنی داری در ضریب تبدیل توان (کارایی) شده و تولید ولتاژ مدار باز 1.1 ولت در یک دستگاه موسوم به سلول خورشیدی ابرساختار- مزو ساختار می کند. استدلال ما این است که این بهبود در ولتاژ مدار باز، ناشی از محصور شدن الکترون های ابرنگیخته با نور در فاز پروسکایت می باشد و این موجب افزایش تفکیک تراز شبکه فرمی برای الکترون ها و حفره های تحت روشنایی می شود که عامل اصلی تولید ولتاژ مدار باز است. حذف بیشتر لایه آلومینیوم اکسید مزوپور با پخت حرارتی و بهینه سازی بهتر فراوری منجر به تولید سلول های خورشیدی با ابر ساختار- مزو ساختار با ضریب تبدیل بیش از 12 درصد می شود (17). به علاوه، CH₃NH₃PbI₃ xCl_x می تواند عملکرد موثری به عنوان جاذب فیلم نازک (لایه نازک) در یک پیکر بندی سلول خورشیدی ناجور پیوند مسطح و دوجهی (فراوری شده با محلول) داشته و وقتی که هیچ گونه مزوساختاری استفاده نشود، کارایی آن حدود 5 درصد خواهد بود (17). این مطالعه پیشین نشان می دهد که جاذب پروسکایت در یک معماری دوجهی ساده تر عملکرد بهتری دارد ولی سوالی که مطرح می شود این است که آیا مزوساختار برای دست یابی به بالاترین کارکرد ضروری است یا خیر و این که آیا پیوند ناهمگون دو وجهی فیلم نازک منجر به ایجاد یک فناوری برتر می شود یا خیر.

در این مطالعه، ما از انباشت بخار (رسوب بخار) دو منبعی به عنوان ابزاری برای تولید فیلم های مسطح یکنواخت پروسکایت هالید ترکیبی، CH₃NH₃PbI₃ 2 xCl_x استفاده می کنیم. شکل 1، تصویری از دستگاه رسوب بخار همراه با نمای سلول خورشید p-i-n ناجور پیوند دوجهی و مسطح (شکل 1پ) را نشان می دهد. از قسمت زیرین (قسمتی که به آن نور برخورد می کند)، دستگاه بر روی شیشه پوشش دهی شده (FTO) با اکسید قلع آلیایده

شده با فلئور و نیز پوشش دهی شده با یک لایه متراکمی از تیتانیوم اکسید نوع n که به عنوان رابط الکتروسولکتیو عمل می کند قرار می گیرد. لایه پروسکایت بر روی لایه فشرده و متراکم نوع n و سپس رساننده حفره ای نوع p، 2,29,7,79-تتراکیس (p-di-N-N- متوکسی فنیلامین)-9,99- اسپیروبیوفلورن (اسپیرو-OMeTAD) رسوب یافته و موجب اطمینان از جمع اوری انتخابی حفره ها در کاتد نقره می شود. با توجه به این که هدف این مطالعه درک و بهینه سازی خواص لایه جاذب پروسکایت رسوب دهی شده با بخار است، تیتانیوم اکسید متراکم و انتقال دهنده حفره اسپيرو-OMeTAD تحت فراوری محلول قرار گرفتند (فرایندی که در سلول های خورشیدی مزوساختار- ابر ساختار معمول است).

در شکل 1 ب، الگوی انکسار اشعه ایکس فیلم های $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3 \cdot 2\text{xClx}$ رسوب دهی شده با بخار یا ریخته گری شده با محلول بر روی شیشه با پوشش FTO و تیتانیوم اکسید متراکم مقایسه شده است. پیک های انکسار اصلی، که به ترتیب 110،220 و 330 پیک در 14.12° ، 28.44° و 43.23° می باشند، در موقعیت های مشابه برای هر دو فیلم های ریخته گری شده با محلول و رسوب دهی شده با بخار قرار دارند، این نشان می دهد که هر دو روش تولید پروکسایت هالید ترکیبی مشابه و یکسان با ساختار بلور ارترومبیک کرده است (8). پر واضح است که با نگاهی دقیق به منطقه پیک انکسار (110) در 14.12° ، یک پیک کوچک در 12.65° (پیک انکسار (001) برای PbI_2) وجود دارد و هیچ گونه پیک قابل اندازه گیری در 15.68° (پیک انکسار (110) برای $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbCl}_3$) وجود ندارد و این نشان دهنده سطوح بالای از خلوص فازی است. نمودار ساختار بلورین در شکل 1 ت نشان داده شده است. کوچک شدن محور c نشان دهنده تفاوت اصلی بین $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ و پروسکایت هالید ترکیبی می باشد. این مطابق با اتم های Cl در پروسکایت هالید ترکیبی می باشد که در نقاط محوری خارج از صفحه PbI_4 قرار داشته و نقطه مقابل آن مکان های اکتاهدرال استوایی می باشد که قبلا به طور نظری پیش بینی شده بود (18).

ما اکنون به مقایسه بین توپولوژی فیلم نازک و ساختار مقطعی دستگاه های تولید شده توسط رسوب بخار یا فراوری محلول می پردازیم. نمای فوقانی از تصاویر میکروسکوپ الکترونی ریشی (SEM) در شکل 2 الف و ب، تفاوت های قابل ملاحظه ای را بین مورفولوژی های فیلم تولید شده توسط دو فرایند رسوب و انباشت نشان میدهد. فیلم های رسوب شده با بخار کاملا یکنواخت هستند و به صورت اجزای متبلور بر روی مقیاس طولی چند صد نانومتر

ظاهر می شود. بر عکس، فیلمهای فراوری شده با محلول، به صورت جزئی بر روی سوبسترا پوشش دهی می شوند و به صورت دانه های متبلور در مقیاس طولی چند ده میکرومتر قرار می گیرند. منافذ و حفره های بین بلور هادر فیلم های فراوری شده با محلول مستقیما بر روی شیشه پوشش دهی شده با FTO و تیتانیوم اکسید متراکم کشیده می شوند.

تصاویر عرضی از دستگاه های تکمیل شده در شکل 2 پ و ت، اطلاعات بیشتری را در مورد اندازه بلور نشان می دهد. فیلم پروسکایت رسوب دهی شده با بخار (شکل 2 پ) یکنواخت بوده و ظاهر مشابه با لایه FTO دارد. فیلم پروسکایت فراوری شده با محلول (شکل 2 ت) در تصاویر SEM کاملا مسطح و یکنواخت است و متناسب با اندازه دانه بلور بزرگ تر از میدان دید است. برای هر دوی این فیلم ها، اندازه های بلور بزرگ تر از آن هستند که بتوان آن ها را از عرض پیک طیف های انکسار اشعه ایکس (حدود 400 نانومتر) به دلیل پهن شدگی ماشین تعیین کرد. با کوچک تر شدن تصویر، فیلم رسوب شده با بخار در شکل 2 ت، به صورت مسطح و صاف باقی می ماند و دارای ضخامت فیلم متوسط تقریبا 330 نانومتر است. برعکس، فیلم فراوری شده با محلول در شکل 2 ج دارای سطح موج است و ضخامت فیلم از 50 تا 410 نانومتر متغیر است. بدیهی است که این مقطع عرضی (برش عرضی) درون یک صفحه بوده و زبری بیشتر به دلیل وجود مناطقی است که در آن جاذب پروسکایت به طور کامل وجود ندارد (تغییر ضخامت از 0 تا 465 نانومتر در تصاویر مختلف SEM مشاهده شد).

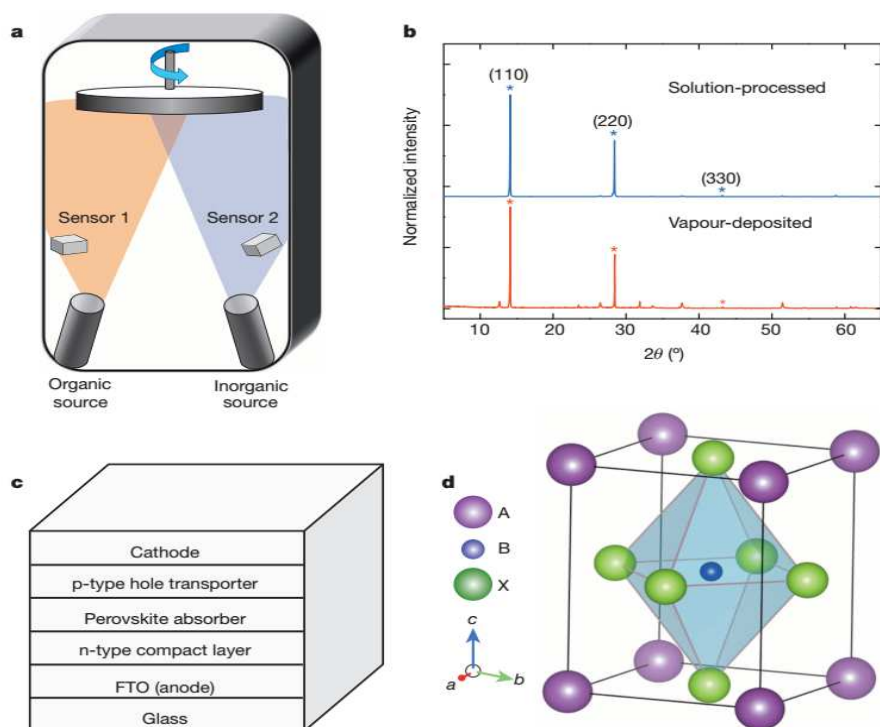
منحنی های ولتاژ/تراکم-جریان اندازه گیری شده تحت تابش AM1.5, 101 mW cm^{-2} (نور خورشید شبیه سازی شده) برای سلول های خورشیدی ناجور پیوند مسطح (ریخته گری شده با محلول و رسوب شده با بخار) با بالاترین عملکرد در شکل 3 نشان داده شده است. کارآمد ترین دستگاه پروسکایت رسوب شده با بخار دارای جریان نوری^۲ مدار کوتاه 21.5 mA cm^{-2} ، ولتاژ مدار باز 1.07 V و ضریب پوششی 0.68 بودند که کارایی (ضریب تبدیل توان 15.4 درصد) را نشان دادند. در عین حال، بهترین سلول خورشیدی پروسکایت ناجور پیوند مسطح فراوری شده با محلول، تولید جریان نوری مدار کوتاه 17.6 mA cm^{-2} ، ولتاژ مدار باز 0.84 V و ضریب پوششی 0.58 و کارایی (ضریب تبدیل توان کل) 8.6 درصد کردند. در جدول 1، ما پارامتر های عملکرد استخراج شده را برای این سلول های با بهترین عملکرد و میانگین با انحراف

جریان نوری جریان الکتریکی که با روشنایی تغییر می کند²

معیار 12 سلول خورشیدی پروسکایت رسوب شده با تعمیر تولید شده به شکل مشابه با سلول عملکرد بالا نشان می دهیم.

رسوب بخار دو منبعی منجر به یکنواختی برتر فیلم های پروسکایت پوشش دهی شده در طیفی از مقیاس های طولی شده و متعاقبا منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد سلول خورشیدی می شود. در بهینه سازی سلول های خورشیدی پروسکایت ناجور پیوند مسطح، ضخامت فیلم پروسکایت یک پارامتر کلیدی است. در صورتی که فیلم بسیار نازک باشد، آنگاه آن منطقه نور خورشید کافی را جذب نخواهد کرد. در صورتی که فیلم بسیار ضخیم باشد، احتمال کوتاه تر شدن طول انتشار الکترون و حفره (یا اکسایتون) از ضخامت فیلم افزایش می یابد و این که بار در پیوند های ناهمگون نوع n و نوع p انباشته نمی شود. به علاوه، حذف مواد از برخی مناطق در فیلم های فراوری شده با محلول (حفره سوزنی) منجر به تماس مستقیم لایه فشرده تیتانیوم اکسید و اسپیرو-OMeTAD نوع p میشود. این منجر به ایجاد یک مسیر منحرفی می شود که عامل کاهش ضریب پوششی و ولتاژ مدار باز در دستگاه های ناجور پیوند مسطح ریخته گری شده با محلول می شود (17-19). در واقع، این فیلم های ناهمگن و موج ریخته گری شده با محلول می توانند تولید دستگاه هایی با کارایی و ضریب تبدیل توان بیش از 8 درصد کنند.

نتایج ارایه شده نشان می دهد که لایه های پروسکایت جامد عملکرد بسیار بالایی در یک سلول خورشیدی دارند و ایجاد یک آستانه کوچک تری از 330 نانومتر (ضخامت فیلم) بر روی الکترون و طول انتشار حفره در این جاذب پروسکایت می کند. با این حال، مطالعات بیشتری برای تعیین دقیق طول الکترون و انتشار حفره و درک برنگیختگی اولیه و مکانیسم های تولید بدون بار در این مواد لازم است.

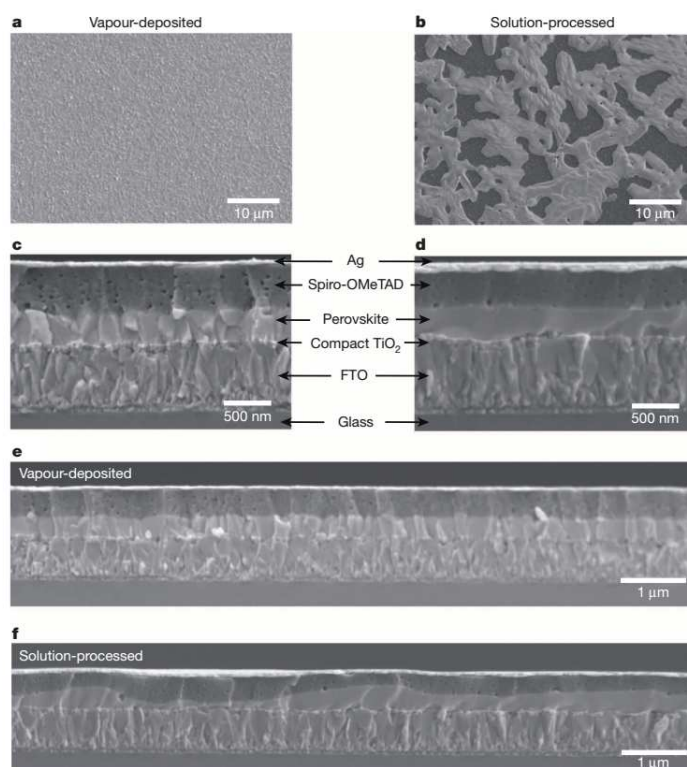


سنسور 1، سنسور 2، منبع آلی، منبع معدنی	شدت نرمال، فراوری شده با محلول، رسوب شده با بخار،
کاتد انتقال دهنده حفره جاذب پروسکایت لایه متراکم نوع n FTO (آنود) شیشه	

شکل 1: مشخصات سیستم رسوب مواد... الف: سیستم تبخیر حرارتی دو منبع برای رسوب دهی جاذب های پروسکایت: منبع آلی، متیل امونیوم یدید و منبع معدنی $PbCl_2$ است، ب: طیف های انکسار اشعه ایکس یک فیلم پروسکایت فراوری شده با محلول (آبی) و فیلم پروسکایت رسوب دهی شده با بخار (قرمز). پ: ساختار عمومی یک سلول خورشیدی پروسکایت p-i-n ناجور پیوند مسطح ت: ساختار بلورین جاذب پروسکایت که به فرم پروسکایت ABX_3 در می آید، A متیل امونیوم، B، سرب و X، I یا Cl است.

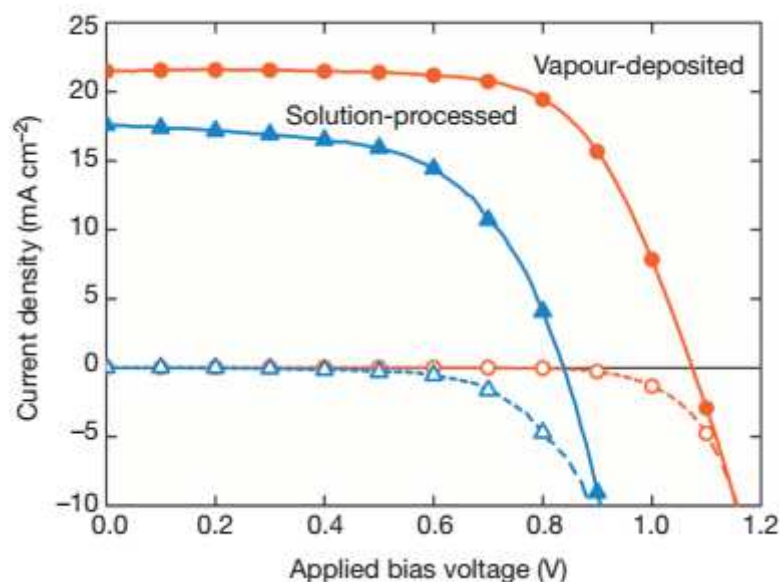
مزیت متمایز و منحصر به فرد رسوب بخار نسبت به فراوری محلول (ر یخته گری محلول) توانایی و قابلیت تولید فیلم های نازک چند پشته ای لایه لایه را در مقیاس وسیع دارد. رسوب بخار، یک روش کامل مورد استفاده در صنعت شیشه، صنعت تولید ال سی دی و صنعت تولید سلول های خورشیدی فیلم نازک است. رسوب بخار می

تواند به بهینه سازی کامل تماس الکترونیک در رابط های مختلف از طریق چند لایه های با سطوح کنترل شده دوپینگ (آلایدگی) (20) همانند پیوند ناهمگون سیلیکون متبلور با سلول خورشیدی با لایه درونی نازک (21) و سلول های خورشیدی فیلم نازک (3) کمک کند. به علاوه، دیود های نور افشان آلی (22-23) از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند و دارای دستگاه هایی هستند که با پشته های چند لایه ای نازک همراه هستند که با رسوب بخار تشکیل می شود. فتوولتاییک آلی مولکولی کوچک رقابت مستقیمی با فتوولتاییک آلی فراوری شده با محلول علی رغم سطوح پایین تحقیق و توسعه را نشان داده است، زیرا با رسوب بخار، لایه های میانی جمع آوری بار را می توان به خوبی تنظیم کرد و معماری های چند پیوندی را ایجاد کرد (24). یکی از کاربردهای مهم فناوری پروسکایت رسوب دهی شده با بخار جریان، استفاده از آن به عنوان سلول های فوقانی با اتصال هیبریدی پشت سر هم با سیلیکون متبلور یا سلنید گالیوم ایندیوم مس می باشد. اگرچه یک سلول چند پیوندی (چند اتصالی) تمام پروسکایتی را می توان تولید کرد، سلول های پروسکایت امروزه به عملکردی رسیده اند که این عملکرد برای افزایش کارایی مطلق سیلیکون متبلور و سلول های خورشیدی سلنید گالیوم ایندیوم مس (25) کافی است. به علاوه، چون رسوب بخار لایه های پروسکایت کاملاً با روش های فراوری سنتی برای سلول های خورشید فیلم نازک مبتنی بر ویفر سیلیکون سازگار است، زیرساخت را می توان برای توسعه این فناوری، فراهم کرد.



رسوب شده با بخار، فراوری شده با محلول، اسپيرو OMeTAD، پروسکایت، تیتانیوم اکسید متراکم،
FTO، شیشه،

شکل 2: مشخصات توپولوژی فیلم نازک: الف ب: نمای فوقانی از تصاویر SEM فیلم پروسکایت رسوب شده با بخار (الف) و فیلم پروسکایت فراوری شده با محلول (ب)، پ-ت: تصاویر عرضی تحت بزرگنمایی سلول های خورشیدی ساخته شده از فیلم پروسکایت رسوب دهی شده به بخار (پ) و یک فیلم پروسکایت فراوری شده با محلول (ت). ث-ج: تصاویر SEM مقطعی تحت بزرگ نمایی پایین تر سلول های خورشیدی ساخته شده از فیلم پروسکایت رسوب شده با بخار و فیلم پروسکایت فراوری شده با محلول



رسوب شده بخار، فراوری شده با محلول، تراکم جریان، ولتاژ بایاس اعمال شده

شکل 3: عملکرد سلول خورشیدی: منحنی های جریان-تراکم-ولتاژ سلول های خورشیدی پروسکایت ناجور پیوند مسطح فراوری شده با محلول (خطوط ابی، مثلث ها) و رسوب شده با بخار (خطوط قرمز، دواپیر) که تحت نور خورشید شبیه سازی شده AM1.5 از تابش 101 mW cm^{-2} (خطوط ممتد) و در تاریکی (خط چین) اندازه گیری شده است. منحنی های مربوط به سلول های با بهترین عملکرد و قابلیت تولید مجدد آنها در جدول 1 نشان داده شده است.

ما سلول های خورشیدی پروسکایت تری هالید ارگانومتال رسوب شده با بخار را بر اساس یک معماری فیلم نازک ناجور پیوند مسطح که دارای ضریب تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی با بیش از 15 درصد با ولتاژ مدار

باز 1.07 ولت میباشد ساختیم. جاذب های پروسکایت دارای مواد چند منظوره برای استفاده در سلول های خورشیدی با کارایی بالا با توجه به فراوری با دمای پایین میباشد و از رسوب بخار و فراوری محلول یا هر دو استفاده کرده، دارای معماری دستگاه ساده و قابلیت دسترسی به املاح آلی و فلزی دیگر می باشند که تشکیل یک ساختار پروسکایت می دهند. این که آیا رسوب بخار یک شیوه مطلوب برای تولید می باشد و یا یک روش معیار برای تولید فیلم های یکنواخت می باشد (که در نهایت منطبق بر فراوری با محلول خواهد بود)، هنوز مشخص نشده است. در نهایت، یک هدف کلیدی برای جامعه فتوولتایک یافتن سلول های خورشیدی با کارایی بالا و باندگپ گسترده تر می باشد که گام مهمی در بهبود عملکرد سیلیکون متبلور و سلول های خورشیدی فیلم نازک نسل دوم است. این فناوری پروسکایت اکنون با این فناوری های نسل اول و دوم سازگار بوده و توسط صنعت و جامعه فتوولتایک مورد استفاده قرار می گیرد. از این روی می تواند سریعاً مسیر خود را به تولید توان در مقیاس وسیع تر (مقیاس تاسیسات) هموار کند.

جدول 1: پارامتر های عملکرد سلول خورشیدی

ضریب تبدیل (درصد)	ضریب پوششی	ولتاژ مدار باز	تراکم جریان (mA cm ²)	
15.4	0.67	1.07	21.5	رسوب دهی شده با بخار
2+12.3	0.05+0.62	0.03+1.05	1.8+18.9	رسوب دهی شده با بخار (میانگین + انحراف معیار)
8.6	0.58	0.84	17.6	فراوری شده با محلول

پارامتر های عملکرد سلول خورشیدی از منحنیهای ولتاژ جریان در شکل 3 استخراج می شوند. مقادیر و میانگین انحراف معیار 12 سلول خورشیدی پروسکایت $CH_3NH_3PbI_3 \times 2xCl_x$ رسوب دهی شده با بخار نشان داده شده است

خلاصه روش ها

جاذب پروسکایت توسط یک سیستم تبخیر دو منبعی (کورت جی لسکر مینی اسپکتروس) با بوته های سرامیکی) منابع دیود نورافشان آلی) در یک محفظه پر از نیتروژن رسوب دهی شده است. دستگاههای پروسکایت رسوب دهی شده با بخار بر روی شیشه پوشش دهی شده با FTO تولید شد. یک لایه متراکم تیتانیوم اکسید بر روی شیشه پوشش دهی شده با FTO با پوشش دهی دورانی (فراوری محلول) آن با محلول اسید ضعیف تیتانیوم ایزوپروکسید در اتانول (17) رسوب یافته و سپس، جاذب پروسکایت بر روی سوبسترای FTO پوشش دهی شده با تیتانیوم اکسید متراکم رسوب یافت. متیل امونیوم یدید ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$) و کلرید سرب املاح پیش ساز آلی و معدنی بودند که هم زمان از منابع مجزا در 10^{-5} mbar با نسبت مولی 4:1 بر اساس قرائت سنسور ها بالاتر از بوته ها تبخیر شدند. یک رنگ قهوه ای مایل به قرمز تیره فوراً پس از بخار مشاهده شد. با حرارت دهی جاذبهای پروسکایت قبل از پوشش دهی دورانی، لایه انتقال دهنده حفره به طور کامل موجب متبلور شدن لایه پروسکایت شد. پس از پوشش دهی دورانی انتقال دهنده حفره، اسپرو-OMeTAD، از محلول کلروبنزن برای تشکیل لایه فتواکتیو) از جمله نمک لیتیم بیس- تریفلرو متیل فونیل و ترت- بوتیل پیریدین به عنوان ماده افزایشی)، دستگاه ها با الکترو د های فلز نقره ای از طریق بخار حرارتی در 10^{-6} mbar پوشش دهی شد. جزییات کامل فنون شناسایی و تولید دستگاه و مواد در قسمت روش ها نشان داده شده است. همه اندازه گیری ها به صورتی که قبلاً گفته شده بود انجام شدند.

روش ها

آماده سازی سوبسترای دستگاه: تهیه و آماده سازی سوبسترا تحت شرایط محیط انجام شد. شیشه پوشش دهی شده با FTO-TEC7 (مقاومت ورقه $7\ \Omega/\square$) از طریق اتچینگ با پودر فلز روی الگو دهی شده و 2 مول HCL در آب مقطر رقیق سازی شد. سوبسترا ها با محلول 2 درصدی ماده شوینده Hellmanex پاک شده و با آب مقطر استون و اتانول آبکشی شده و با هوای خشک و تمیز، خشک شدند. پلاسمای اکسیژن برای فراوری سوبسترا به مدت 10 دقیقه استفاده شد. یک محلول اسیدی تیتانیوم ایزوپروکسید در اتانول، بر روی سوبستراهای تمیز با 2000 دور بردقیقه به مدت 1 دقیقه قبل از خشک سازی در 150 درجه به مدت ده دقیقه تحت پوشش دهی دورانی قرار گرفت و در نهایت در دمای 500 درجه به مدت 30 دقیقه برای تشکیل یک لایه تیتانیوم اکسید نوع N متراکم تحت پخت قرار می گیرند.

رسوب بخار جاذب پروسکایت از املاح پیش ساز: جاذب های پروسکایت متعاقبا از طریق تبخیر دو منبعی از کلرید سرب ($PbCl_2$) و متیل الومینیوم یدید (CH_3NH_3I) به طور هم زمان بر روی سوبسترای FTO پوشش دهی شده با لایه متراکم تیتانیوم اکسید تحت خلاء، رسوب شدند.

برآورد ضریب شکل دهی: هر منبع رسوب بخار با استفاده از مانیتور کریستال کوارتز واقع در فاصله کوتاهی از منبع پایش شد. فاصله منبع تا مانیتور متفاوت از فاصله منبع تا سوبسترا می باشد و از اینر وی یک ضریب شکل دهی (که نسبت ماده رسوب یافته بر روی سنسور ها به ماده رسوب یافته بر روی نمونه ها) برای هر منبع به طور جداگانه قبل از بخار دو منبعی برآورد شد. ضریب شکل دهی برای هر دو منبع بر روی برنامه اواپراتور بر روی 1 تنظیم شد. پارامتر های مورد نیاز برای برآورد ضخامت ماده رسوب دهی شده در جدول 1 نشان داده شده است. مشاهده می شود که تراکم و امیدانس اکوستیک CH_3NH_3I مجهول است ولی هر دو برابر با 1 تنظیم شده اند (چگالی CH_3NH_3Cl به صورت 1.1 گرم بر سانتی متر مکعب گزارش شده است و هر تفاوت مطلق با استفاده از ضریب شکل دهی قابل توجیه است). در ابتدا، دمای هر منبع رابه طور جدا تنظیم کرده و هم زمان نرخ رسوب را برای دست یابی به یک دامنه دمایی و سرعت رسوب دقیق، اندازه گیری کردیم. ما سپس اقدام به انتخاب یکدما برای هر ماده ای کردیم که یک ضخامت منطقی را از ماده رسوب یافته در دوره رسوب 30 دقیقه ای بدست می دهد. سپس هر منبع برای یک مدت زمان کل 30 دقیقه ای با نرخ تبخیر ثابت، بخار شده و ضخامت رسوب نهایی بر روی مانیتور کریستال ثبت شد. ضخامت رسوب واقعی بر روی سوبسترا با یک پروفیل متر سطحی اندازه گیری شده و ضریب شکل دهی با تقسیم ضخامت سنسور بر ضخامت رسوب بر روی سوبسترا اندازه گیری شد. نتایج شکل دهی در جدول 1 نشان داده شده است. این ضرایب شکل دهی متعاقبا در طی فرایند هم رسوبی استفاده شد. نرخ رسوب برای CH_3NH_3I در طی تبخیر برابر با 15% بود در حالی که نرخ $PbCl_2$ تا 10 درصد متغیر بود.

تبخیر دو منبعی تقریبا 500 میلیگرم CH_3NH_3I و 100 میلی گرم $PbCl_2$ بر روی بوته های مجزا قرار داده شد. سوبستراهای دستگاه در یک محفظه در بالای منابع با FTO پوشش دهی شده با تیتانیوم اکسید قرار داده شد. وقتی که فشار در محفظه به زیر 10^{-5} آمینی بار رسید، دو منبع بالاتر از دمای رسوب مطلوب به مدت 5 دقیقه حرارت دهی شدند (یعنی CH_3NH_3I تا 120 درجه و $PbCl_2$ تا 325 درجه حرارت دهی شد) و هدف از این کار حذف ناخالصی های فرار قبل از رسوب مواد بر روی سوبسترا بود. نگهدارنده سوبسترا برای اطمینان از پوشش دهی

یکنواخت در سراسر فرایند رسوب دهی چرخانده شد زیرا منبع سمت راست به طور غالب قسمت سمت راست سوبسترا و منبع سمت چپ قسمت سمت چپ پوشش دهی می کند. نگه دارنده سوبسترا تا 21 درجه خنک شد، اگرچه اندازه گیری دقیق دمای سوبسترا در طی رسوب انجام نشد. فیلم های پروسکایت برای دست یابی به عملکرد بهینه دستگاه با تغییر پارامتر های کلیدی رسوب دهی نظیر سرعت رسوب و دفعات رسوب برای دو منبع بهینه سازی شد. به طور ویژه، عملکرد دستگاه به ترکیب نسبی $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ به PbCl_2 و به ضخامت کل رسوب بسیار حساس بود.

در این آزمایشات، مراحل زیر انجام شد 1- ترکیب رسوب $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ به PbCl_2 از نسبت 1:1 به 7:1 با ضخامت فیلم ثابت 125 نانومتر تغییر یافت. 2- ضخامت فیلم- در نسبت بهینه $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}:\text{PbCl}_2 = 3.5:1$ از 125 تا 500 نانومتر تغییر کرده و عملکرد بهینه آن در 330 نانومتر بود. 3- نسبت $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}:\text{PbCl}_2$ برای فیلم ها با ضخامت 330 نانومتر برای دست یابی به ترکیب بهینه 4:1 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}:\text{PbCl}_2$ تنظیم شد. 4- ضخامت انتقال دهنده حفره (غلظت محلول) و غلظت دوپانت Li-TFSI برای بیشینه سازی عملکرد بر روی فیلم های با ضخامت 330 نانومتری پروسکایت رسوب شده $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}:\text{PbCl}_2$ 4:1 بهینه سازی شد. نرخ رسوب دهی بهینه 5.3 \AA s^{-1} برای $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ (با دمای بوته 116 درجه) و 1 \AA s^{-1} برای PbCl_2 (با دمای بوته 320 درجه) بود و تبخیر به مدت 228 دقیقه انجام شد که در جدول داده 2 نشان داده شده است.

رنگ نمونه ها پس از رسوب، با توجه به ترکیب دو منبع متغیر بود. برای دستگاه های با عملکرد عالی، یک رنگ قهوه ای مایل به قرمز مشاهده شده و فیلم ها به طور جزئی در تصویر SEM متبلور شدند که در شکل 1 نشان داده شده است. حرارت دهی فیلم های رسوب دهی شده در دمای 100 درجه به مدت 45 دقیقه در محفظه پر از نیتروژن قبل از پوشش دورانی انتقال دهنده حفره، امکان تبلور کامل پروسکایت، تیره شدن رنگ و در نهایت رشد دانه های بلور که در تصویر SEM به وضوح دیده می شود را داد. پس از حرارت دهی، نمونه های با عملکرد بالا دارای ضخامت متوسط 330 نانومتر بود. همان طور که از نسبت مولی غیر استوکیومتری مشخص است، تلفات جرم و تلفات ضخامت معنی داری در طی تشکیل فیلم پروسکایت نشان داد.

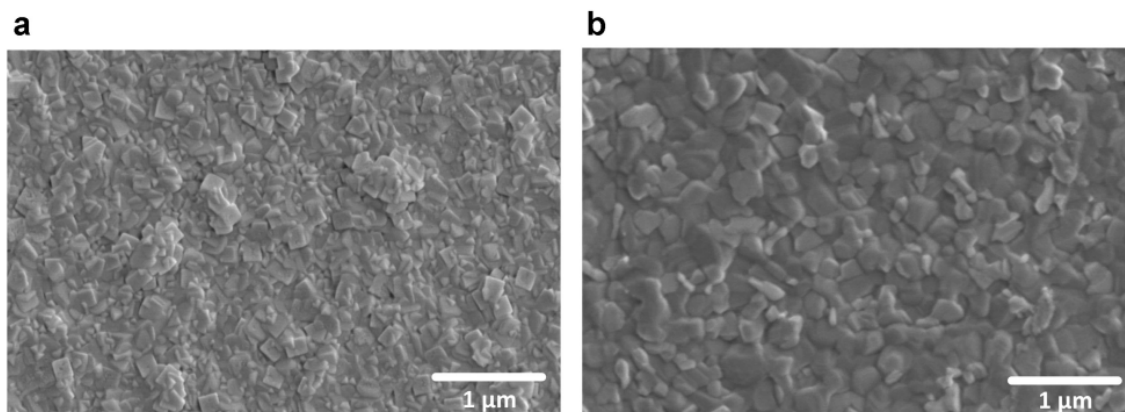
رسوب انتقال دهنده حفره: لایه انتقال دهنده حفره با پوشش دهی دورانی (2000 دور بر دقیقه به مدت 45 ثانیه) 25 میکرو لیتر محلول کلروبنزن حاوی 61.4 میلی مول spiro-OMeTAD، 55 میلی مول تری-بوتیل

پیریدین و 26 میلی مول لیتیم بیس- تریفلرو متیل فونیل ایمید رسوب یافت. قبل از تکمیل ساخت دستگاه با تبخیر حرارتی یک کاتد نقره ای، دستگاه ها در یک دسیکاتور قرار گرفته و دستگاه های بدون پوشش پس از ساخت کاتد، تست شد. توجه کنید که رسوب بخار جاذب های پروسکایت و پوشش دهی دروانی لایه انتقال دهنده حفره در محفظه نیتروژن انجام شد..

انکسار اشعه ایکس: اسکن های 2θ از نمونه های پروسکایتبرروی شیشه پوشش دهی شده با FTO و تیتانیوم اکسید با استفاده از انکسار سنج اشعه ایکس بدست آمد.

تصاویر SEM: یک SEM (میدان S-4300 هیتاچی) برای جمع اوری تصاویر SEM استفاده شد. این دستگاه از یک اشعه الکترونی در 500 ولت تا 30 کیلووات استفاده کرده و امکان انجام عملیات را در طیف وسیعی از جریان ها می دهد.

ویژگیهای جریان-ولتاژ: ویژگی های جریان-ولتاژ (سورس متر، سری 2400، کیتلی اینستریومننت) تحت نورخورشید شبیه سازی شده AM1.5 در 101 میلی ولت بر سانتی متر مربع تابش تولید شده توسط یک شبیه ساز Abet Class AAB Sun 2000 با شدت واسنجی شده با یک سلول مرجع Si فیلترشده KG5 واسنجی شده با آزمایشگاه انرژی تجدید پذیرملی (خطای رتبه بندی شده در جریان پویای مدار کوتاه برروی سلول مرجع 1.36 تا 95 درصد) اندازه گیری شد. ضریب عدم تطبیق کم تر از 1 درصد بود. دستگاه های خورشیدی با یک پوشش فلزی برای تعریف سطح فعال $0.076 \pm 0.002 \text{ cm}^2$ (خطادر منطقه پوشش از اندازه گیری تعداد پوشش های مختلف با اندازه یکسان برآورد شد) پوشش دهی شده و در یک نگهدارنده نمونه برای کمینه سازی اثرات حاشیه ای اندازه گیری شده و موجب اطمینان از این می شود که هر دو سلول های مرجع و آزمایشی در یک نقطه تحت شبیه سازی خورشیدی در طی اندازه گیری قرار گرفته اند.



شکل 1: نمای فوقانی از تصاویر SEM برای فیلم های پروسکایت رسوب دهی شده با بخار الف: فیلم پروسکایت رسوب دهی شده ب: فیلم پروسکایت پس از حرارت دهی

جدول داده های تعمیم یافته: اندازه گیری ضریب شکل دهی سیستم رسوب بخار دو منبع

منبع	چگالی	سرعت تبخیر	مقادیر بر روی سنسور	ضخامت فیلم واقعی	ضریب شکل دهی
Source 1: CH ₃ NH ₃ I	1 g cm ⁻³ *	15 Ås ⁻¹	30 kÅ	1.39 μm	2.16
Source 2: PbCl ₂	5.85 g cm ⁻³	5 Ås ⁻¹	10 kÅ	185 nm	5.41

جدول 2 داده های تعمیم یافته: شرایط رسوب بهینه سازی شده برای دستگاه های خورشیدی پروسکایت بخار شده

منبع	سرعت تبخیر	مقادیر بر روی سنسور ها	ضریب شکل دهی	ضخامت معادل رسوب واقعی	نسبت مولی تقریبی بر روی سوپسترا CH ₃ NH ₃ I : PbCl ₂
Source 1: CH ₃ NH ₃ I	5.3±0.8 Ås ⁻¹	42.4 kÅ	2.16	1.96 μm	4:1
Source 2: PbCl ₂	1 Ås ⁻¹	8 kÅ	5.41	148 nm	



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی