بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵بهمن ۱۳۹۸

ساخت نقاط کوانتومی پروسکایتی $CsPbI_3$ و به‌کارگیری آن‌ها در سلول‌های خورشیدی

سارا ایران‌پور[۱] ، وحید صاحب[۲]، حسین روح الامینی نژاد[۱]

۱. دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر،کرمان
۲. بخش شیمی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

Email: iranpoursara1994@gmail.com
Rooholamini@uk.ac.ir

چکیده –نقاط کوانتومی پروسکایتی معدنی $CsPbI_3$ در زمینه فوتونیک و اپتوالکترونیک توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. این نقاط کوانتومی در دمای پایین دارای پایداری فاز مکعبی می‌باشند و طیف جذبی آن‌ها در محدوده ی طیف مرئی است که بسیار مناسب جهت کاربرد در سلول‌های خورشیدی است. در اینجا نانومکعب‌های کلوئیدی $CsPbI_3$ دارای توزیع اندازه ای خاص، با استفاده از مواد تجاری ارزان قیمت سنتز شد. در این پروژه از حلال ارزان قیمت پارافین به جای اکتادسنس استفاده شد. سلول‌های خورشیدی پروسکایت های آلی-معدنی مثل $MAPbI_3$ از نظر بازدهی برتر هستند اما از نظر پایداری طولانی مدت با چالش بزرگی روبه‌رو شده اند. در این پروژه از نقاط کوانتومی پروسکایتی $CsPbI_3$ به عنوان لایه جاذب نور در سلول‌های خورشیدی استفاده شد و ولتاژ بالای ۶۳۰ میلی‌ولت حاصل گردید.

کلید واژه- پروسکایت، سلول خورشیدی، نقاط کوانتومی، فاز مکعبی، معدنی

Synthesis of $CsPbI_3$ Perovskite Quantum Dots and Their Application in Solar Cell

Sara Iranpour[1], Vahid Saheb[2] , Hossein Rooholamini Nejad[1]

1. Faculty of Physics, Shahid Bahonar University, Kerman
2. Department of Chemistry,Shahid Bahonar University, Kerman

Abstract- Colloidal nanocrystals of inorganic cesium lead halide perovskites ($CsPbI_3$) have attracted much attention for photonic and optoelectronic applications. $CsPbI_3$ quantum dots have cubic phase stabilization at low temperatures. Their absorption spectrum is within the visible range, which is very suitable for use in solar cells. **Here,** $CsPbI_3$ colloidal nanocubes with special size distribution were synthesized using inexpensive commercial precursors. In this paper, paraffin solvent were used instead of octadecence, which is inexpensive. Although organic–inorganic hybrid perovskites like $MAPbI_3$ are leading in terms of efficiency, they have been facing a huge challenge of long-term stability**. In this paper,** $CsPbI_3$ perovskite quantum dots were used as a light-absorbing layer in solar cells and obtained a voltage over 630 mV.

Keywords: cubic phase, organic, Perovskite, quantum dot, solar cell

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

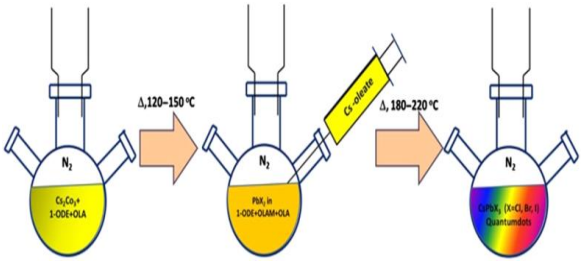
مقدمه

نقاط کوانتومی کلوئیدی خواص الکتریکی و نوری منحصر به فرد دارند و در زمینه اپتوالکترونیک کاربرد دارند. این نقاط کوانتومی کلوئیدی دارای خواص فاصله‌نوار وابسته به اندازه، ترازهای انرژی گسسته هستند. در سلول‌های خورشیدی، نقاط کوانتومی کلوئیدی باعث تولید چند اکسیتون می‌شود که منجر به افزایش بازده کوانتومی خروجی در سلول می‌شود [۱].

اولین مواد پروسکایت آلی- معدنی $CH_3NH_3PbI_3$ در سال ۲۰۰۹ در سلول خورشیدی به کاربرده شد. سلول‌های پروسکایتی در طول عملکردشان، کارایی خود را از دست می‌دهند و این مانع تجاری شدن این سلول‌ها شده است. مواد پروسکایت دارای فرمول عمومی ABX_3 هستند. در این ساختار B می‌تواند یک فلز از گروه چهارده مانند سرب(Pb) و قلع(Sn)، و X یک هالوژن مانند کلر(Cl)، برم(Br)، ید(I) و ترکیبی از آن‌ها باشد. با توجه به کاتیون A خانواده پروسکایت را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. گروه اول پروسکایت هالید معدنی است که در آن A یک فلز یک ظرفیتی مانند سزیم(Cs) و یا پتاسیم(K) است؛ و گروه دوم پروسکایت هالید آلی- معدنی است که در آن A یک کاتیون آلی مانند متیل آمونیوم و یا فرمامین است. در واقع محققین بر این باور هستند که قسمت کاتیون آلی دارای پایداری ضعیف گرمایی و محیطی می باشد. بنابراین، جایگزینی کاتیون آلی با یک کاتیون معدنی مثل (Cs^+)برای بهبود پایداری در نظر گرفته می شود [۲و۳].
پروسکایت $CsPbI_3$ در دمای اتاق در فاز اورتورومبیک می‌باشد و این در حالی است که فاز مکعبی فقط در دمای بالای ۳۱۰ درجه سانتیگراد حاصل می شود. فاکتور تحمل برای آن، ۰/۸ محاسبه شده است که نشان‌دهنده‌ی فاز اورتورومبیک می‌باشد. اندازه کاتیون Cs برای پایداری فاز کوچک است و بنابراین فورا به فاز اورتورومبیک تبدیل می‌شود. یک راه برای پایداری ساختار کریستالی با فاز مکعبی می‌توان ارائه داد و آن کاهش ابعاد کریستال است[۴و۵]. بنابراین می‌توانیم نقاط کوانتومی $CsPbI_3$ با فاز مکعبی را داشته باشیم و در سلول‌های خورشیدی به کار ببریم. در این مقاله یک روش سنتز برای نقاط کوانتومی ارائه می‌دهیم و به عنوان لایه جاذب نور در سلول خورشیدی به کار می‌بریم.

سنتز نانو کریستال های $CsPbI_3$ و به‌کاربردن آن در سلول خورشیدی

نانو کریستال‌های $CsPbI_3$ در فاز مایع سنتز می‌شوند. برای ساخت نقاط کوانتومی پروسکایتی همانند شکل۱ عمل می‌کنیم. سزیم‌کربنات در فلاسک سه دهانه همراه با حلال‌های اولئیک اسید و اکتادسنس زیر جو نیتروژن در دمای ۱۲۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد گرم می شود. در طی گرم کردن پیش‌ماده سزیم (Cs-Oleate) آماده می شود.
پیش‌ماده سزیم به منبع PbI_2 همراه با حلال‌های اولئیک اسید، اولیل آمین و اکتادسنس فورا تزریق می‌شود. سپس محلول به دمای دلخواه (به طور معمول ۱۸۵درجه سانتیگراد) آورده می‌شود. در نهایت فلاسک به مدت ۵ ثانیه درون حمام آب و یخ سرد شده و نقاط کوانتومی تشکیل می‌شود[۵و۶و۷].



شکل ۱: ساخت نقاط کوانتومی پروسکایتی[۶]

اکتادسنس یک حلال گران‌قیمت می‌باشد. این هیدروکربن دارای نقطه‌جوش بالا و فرمول مولکولی $C_{18}H_{36}$ می‌باشد. در اینجا از پارافین با ویژگی‌های تقریبا یکسان با اکتادسنس ولی ارزان‌قیمت استفاده کردیم. نتایج به دست آمده در این کار با نتایج مشاهده شده در کارهای قبلی گزارش شده در منابع علمی بسیار نزدیک به هم می‌باشد،

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

اما مزیت آن ارزان قیمت و دردسترس بودن پارافین نسبت به هیدروکربن خالص اکتادسنس است[۵].

محلول نقاط کوانتومی برای ۳۰ دقیقه و با دور ۷۰۰۰دور بر دقیقه سانتریفیوژ می‌شود. در نتیجه روغن شناور شده و رسوب جدا می‌شود. کوانتوم‌دات رسوب شده در هگزان مجددا حل می‌کنیم. نکته قابل توجه اینکه برای ساخت نقاط کوانتومی به گاز نیتروژن یا آرگون نیاز است[۸].

برای ساخت سلول خورشیدی، نخست شیشه رسانای شفاف FTO شستشو داده می‌شود. سپس خمیر TiO_2 که ترکیبی از نانو ذرات تیتانیوم‌اکسید و اسیداستیک است به روش دکتر بلید بر روی FTO لایه‌نشانی شد. و در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد پخت می‌گردد. بدین ترتیب فوتوآند آماده می‌شود. سپس سه قطره از محلول نقطه کوانتومی پروسکایتی روی آن ریخته شد. و چند قطره محلول الکترولیت روی شیشه می‌ریزیم. برای ساخت الکترود کاتد از لایه‌نشانی نانوذرات حاصل از دوده شمع به روی شیشه FTO استفاده شد. در نهایت برای مونتاژ کردن سلول، فوتوآند و الکترود کاتد بین دو گیره ساندویچ می‌گردند.

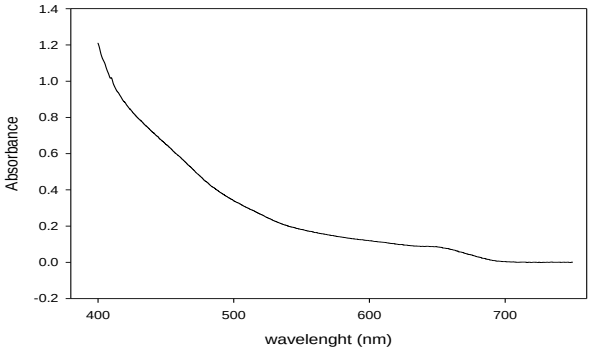
بحث و نتایج

برای ساخت نقاط‌کوانتومی $CsPbI_3$، سزیم‌اولئیت آماده شده از سدیم‌کربنات، اولئیک‌اسید و پارافین به فلاسک شامل سرب‌هالید تزریق شده و بعد از ۵ ثانیه، واکنش در حمام یخ خاموش می‌شود. بلافاصله بعد از تزریق رنگ محلول قرمز می‌شود.(شکل ۲)



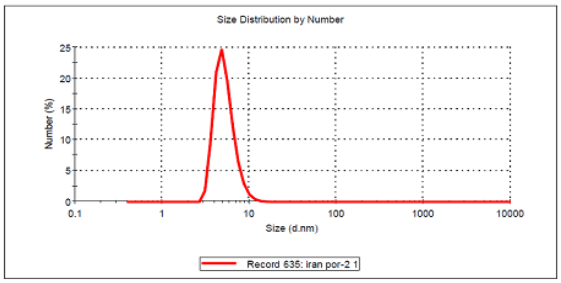
شکل۲: ساخت نقاط کوانتومی پروسکایتی

طیف جذبی فرابنفش- مرئی نقاط کوانتومی سنتز شده در شکل۳ مشاهده می‌شود که توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و یک سل کوارتزی به دست آمده است. باتوجه به شکل این نقاط‌کوانتومی در محدودی مرئی جذب دارند.



شکل۳: طیف جذبی فرابنفش- مرئی برای نقاط‌کوانتومی$CsPbI_3$

اندازه ابعاد نقاط کوانتومی پروسکایتی سنتز شده به کمک روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) به دست آمده است شکل(۴). اندازه این ذرات بین ۳ تا ۱۳ نانومتر می‌باشد و می‌توان اندازه میانگین برای این ذرات را ۵ نانومتر درنظر گرفت.

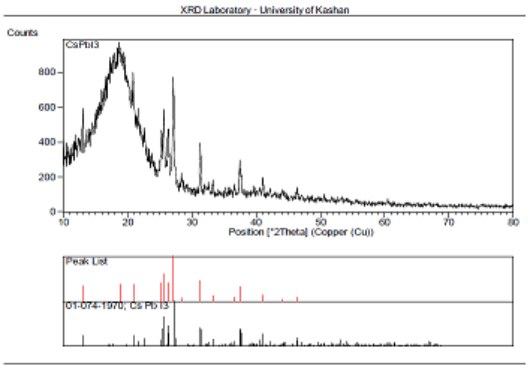


شکل۴: پراکندگی اندازه ذرات نقاط‌کوانتومی‌پروسکایتی

طیف سنجی پراش پرتوایکس، یک تکنیک سریع آنالیزی است که برای تشخیص نوع مواد و همچنین فاز و خصوصیات کریستالی آن به کار می‌رود. همان طور که در این طیف مشاهده می‌شود، در زوایای مختلفی پیک مشخصی وجود دارد و این پیک‌ها با ایدی کارت (01-074-1970;$CsPbI_3$) مطابقت دارد. این طیف XRD نشان می‌دهد که نقاط کوانتومی $CsPbI_3$ بیشتر در فاز مکعبی سنتز شده‌اند.

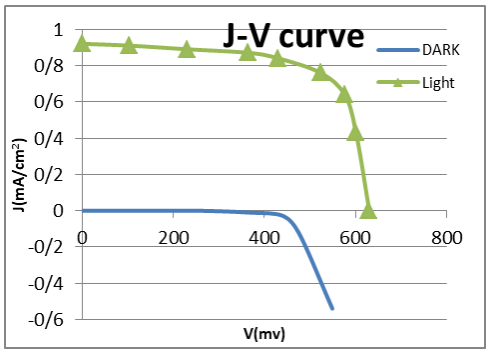
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]



شکل۵: نمودار پراش پرتو ایکس برای نقاط کوانتومی $CsPbI_3$

مهم‌ترین آنالیزی که در سلول‌های خورشیدی وجود دارد، بررسی منحنی جریان- ولتاژ می باشد. سلول ساخته شده با نقاط کوانتومی سنتز شده، دربرابر نور خورشید با شدت تابش ۱۰۰ میلی‌وات بر سانتی‌مترمربع قرار داده شد. سپس یک مدار با ولت‌سنج موازی و آمپرسنج و مقاومت متغیر به سلول بسته شد. با اندازه‌گیری جریان و ولتاژ در مقاومت‌های مختلف، منحنی جریان- ولتاز رسم شد.



شکل۶: منحنی چگالی جریان-ولتاژ مربوط به سلول خورشیدی نقطه کوانتومی پروسکایتی در تاریکی و تحت نورخورشید

همان‌طور که از شکل پیداست، چگالی جریان در حالت اتصال کوتاه(J_{SC}) برابر ۰/۹۲۰میلی‌آمپر است. یعنی زمانی که مقاومت در مدار صفر و جریان بیشترین مقدار را دارد. ولتاژ در حالت مدار باز (V_{OC}) برابر ۶۳۰ میلی‌ولت است. یعنی زمانی که هیچ جریانی در مدار نیست و مقاومت بی‌نهایت می‌باشد. بیشترین توان خروجی یک پارامتر مهم در سلول‌های خورشیدی محسوب می‌شود که از حاصل‌ضرب جریان و ولتاژ در نقطه خمیدگی منحنی جریان- ولتاژ به دست می‌آید. این نقطه در جایی از منحنی جریان- ولتاژ قرار دارد که بزرگترین مستطیل زیر منحنی را تشکیل دهد. بیشترین توان خروجی در این سلول برابر با ۰/۳۹ میلی‌وات بر سانتی‌مربع می‌باشد.

هم چنین برای رسم منحنی جریان- ولتاژ در تاریکی، یک مدار با ولت‌سنج موازی و آمپرسنج و منبع تغذیه متوالی به سلول بسته شد. منبع تغذیه که به صورت بایاس مستقیم به سلول متصل است. قابل ذکر است که در حالت روشن با استفاده از نور خورشید تولید حامل‌ها صورت گرفت، اما در حالت تاریک با جریان الکتریکی این امر محقق شد.

مرجع‌ها

[1] H. Jing, Strategies for Performance Improvement of Quantum Dot Sensitized Solar Cells(Doctoral Thesis), p. 71, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2016

[2] S. Jonas, Perovskite solar cells(Master Thesis)., University of Umeå, 2017.

[3] A.K. Jena, A. Kulkarni, T. Miyasaka, Halide perovskite photovoltaics: background, status, and future prospects (Chemical reviews) (2019).

[4] Sharma, N Weiden, A. Weiss, Phase diagrams of quasibinary systems of the type: ABX3—A′ BX3; ABX3—AB′X3, and ABX3—ABX′ 3; X= halogen, Zeitschrift für Physikalische Chemie, 1992.

[5] SA. Swarnkar, et al., Quantum dot–induced phase stabilization of α-CsPbI3 perovskite for high-efficiency photovoltaics, Science, 2016.

[6] A. Soosaimanickam, J.R. Kumar, S.M. Babu, Cesium lead halide ($CsPbX_3$, X= Cl, Br, I) perovskite quantum dots-synthesis, properties, and applications: a review of their present status, Journal of Photonics for Energy, 2016.

[7] L. Protesescu ,et al., Nanocrystals of cesium lead halide perovskites (CsPbX3, X= Cl, Br, and I): novel optoelectronic materials showing bright emission with wide color gamut, Nano letters, 2015.

[8] M. Shekhirev, et al., Synthesis of cesium lead halide perovskite quantum dots, PP. 1150-1156, Journal of Chemical Education, 2017.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]