

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



طراحی و ساخت الکترود شفاف نانوساختار برای سلول خورشیدی پروسکایتی

سید سعید موسویان، سید محمد باقر قریشی و آرزو محمدبیگی

کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده ی فیزیک

Saeed7970@gmail.com

چکیده – در این پژوهش، ابتدا الکترود شفاف MoO₃/Ag/MoO₃ با ضخامت بهینهی ۲۰/۱۳/۲۰ نانومتر طراحی و ساخته شد. خواص اپتیکی و الکتریکی آن از قبیل تراگسـیل اپتیکی و مقاومت سـطحی مورد بررسـی قرار گرفتند که برای آنها در طول موج ۵۵۰ نانومتر، به ترتیب اعداد ۶٫۸۸٪ و ۴٫۵۶ Ω/cm² بد ست آمدند. سپس، بعد از ساخت سلول خور شیدی پرو سکایتی با ساختار نانومتر، به ترتیب اعداد Glass/FTO/TiO₂/Perovskite/CuPc، شده با استفاده از روش لایه نشانی تبخیر در خلأ به عنوان کاتد در سلول خورشیدی به کار برده شد. در نهایت، مشخصهیابی جریان–ولتاژ سلول خورشیدی پروسکایتی ساخته شده با استفاده از کاتد شـفاف، بازدهی ٪۴ را نشـان داد. بنابراین، از کاتد شـفاف به کار رفته در این سـاختار می توان به جای کاتد گران قیمت طلا در سلول هورشیدی پروسکایتی استفاده کرد.

كليد واژه- بازدهي، MoO3/Ag/MoO3. ، سلول خورشيدي پروسكايتي، الكترود شفاف، تبخير در خلأ

Design and Fabrication of Nanostructured Transparent electrode for Perovskite Solar Cell

Seyed Saeed Moosavian, Seyed Mohamad Bagher Ghoreyshi, and Arezoo Mohammad Beigi

Department of Physics, University of Kashan, Kashan

Abstract- In this study, first, $MoO_3/Ag/MoO_3$ transparent electrode with optimum thicknesses of 20/13/20 nm was designed and fabricated. The optical and electrical properties of it such as optical transmission and sheet resistance were investigated that at 550 nm wavelength, 62.8% and 4.56 Ω /cm² were obtained, respectively. Then, after fabrication of the perovskite solar cell with Glass / FTO / TiO₂ / Perovskite / CuPc structure, the designed transparent electrode by vacuum evaporation deposition method was used as cathode in solar cell. Finally, the current- voltage characterization of the fabricated perovskite solar cell with transparent cathode showed 4% efficiency. Therefore, the transparent cathode applied in this structure can be used instead of the expensive gold cathode in the Perovskite solar cells.

Keywords: Efficiency, MoO3/Ag/MoO3, Perovskite Solar Cell, Transparent electrode, Vacuum Evaporation.

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

مقدمه

امروزه با توجه به رشد روز افزون مصرف انرژی و محدودیتهایی که انرژیهای تجدید ناپذیر ایجاد می کنند، بشر به دنبال جایگزین کردن منابع تجدید پذیر و پاک در همهی عرصهها است. در میان چشمههای تجدیدپذیر، سلولهای فوتوولتائیک بیش از نیم قرن هست که مورد استفاده قرار می گیرند. سلولهای فوتوولتائیک بدون اینکه هیچ گونه آلودگیای برای محیط زیست در پی داشته باشند، مستقیماً انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل مىكنند. مواد هاليدى فلزى آلى- معدنى با عنوان پروسکایت برای ساخت سلولهای خورشیدی مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفتهاند. اخیراً، بازدهی سلولهای خورشیدی پروسکایتی از ۲۳ درصد فراتر رفته است [۱] که این موفقیت به خاطر دلایلی از جمله نزدیکی گاف نواری انرژی آنها به گاف انرژی بهینه (که در حدود ۱٫۵۵ الکترون ولت است)، نزدیکی به انرژی پیوندی کوچک زوج الکترون -حفره، تحرک پذیری بالای حامل، ضرایب جذب بالا، ثابت دى الكتريك بزرگ، طول هاى پخش زيادالكترون-حفره ممكن شده است [۲]. رايجترين ماده پروسكايت مورد استفاده در ساختار سلولهای خورشیدی، ترکیب آلی معدنی با فرمول شیمیایی CH₃NH₃PbX₃ است که اتم X می تواند یون های هالوژنی مانند ید، برم و یا کلر باشد. گاف نواری انرژی این ترکیب با کنترل مقدار عناصر هالوژنی قابل تغییر است که می تواند منجر به جذب بخش عمدهای از نور خورشید شود [۳]. یکی دیگر از ویژگیهای جالب این سلول های خورشیدی با بازدهی بالا، این است که امکان ساخت سلول خورشیدی پروسکایتی نیمه شفاف وجود دارد. این سلول های نیمه شفاف کاربردهای جالبی درساخت سیستمهای فوتوولتاییک یکپارچه و وسایل الکترونیکی دارند [۴]. به طور کلی، سیستمهای فوتوولتاییک امروزی نظیر سلولهای خورشیدی پروسکایتی به علت استفاده از فلزاتی در کاتد مانند Pt ،Au ،Ag و Al که بازتاب بالایی دارند، غیرشفاف هستند. از طرف دیگر، اگرچه سلولهای خورشیدی پروسکایتی نیمه شفاف به سادگی با استفاده از

لایههای بسیار نازکی از فلز Au یا Ag به عنوان کاتد، مى توانند ساخته شوند؛ اما به دليل بازتاب بالايى كه دارند اتلاف انرژی در آنها بسیار زیاد است. میتوان برای کاتدهای شفاف از نامزدهای مناسبی نظیر: فیلم های فلزی ناز کی که توسط دی الکتریکهایی با گاف انرژی بالا ساندویچ شدهاند ، نانوسیم های فلزی، نانولولههای کربنی، اکسیدهای رسانای شفاف وپلیمرهای رسانا، نام برد [۵]. به عبارت دیگر، برای کاهش اتلاف انرژی از الکترود نازک فلزی که دارای بازتاب بالا است، از لایهی دی الکتریک مانند اکسید مولیبدن (MoO₃) استفاده می شود که برای عملکرد بهتر سلولهای خورشیدی نیمه شفاف مؤثر است؛ این ساختارها به صورت الكترود دى الكتريك/فلز/دى الكتريك (D/M/D) شناخته می شوند [۶]. انواع مختلفی از مواد در الکترودهای چند لایه استفاده می شوند؛ به طور معمول برای لایه ی فلزی از موادی با ضخامتهای فوق نازک و دارای تابع کار بالا مانند Ag، Au و Cu و برای لایه دی الکتریک از اکسیدهای فلزی مانند NiO ،V2O5 ،MoO3 ،WO3 استفاده می شود [۷]. در این مقاله، از الكترود چند لايهای MoO₃/Ag/MoO₃ به عنوان کاتد در سلول خورشیدی یروسکایتی استفاده شده است؛ در الكترود مذكور، اولين لايه (MoO₃)، نقش لايهى تزريق کننده/ استخراج کنندهی حفره را ایفا میکند و آخرین لايهى الكترود (MoO3) نيز مى تواند بازتاب از الكترود سه لایهای را کنترل کند که در صورت عدم وجود این لایه، چگالی جریان مدار کوتاه (Jsc) برای سلول خورشیدی نیمه شفاف مقدار کمی را نشان میدهد. به طور معمول، در سلولهای خورشیدی نیمه شفاف با الکترود D/M/D، ضخامت بهینه برای لایهی خارجی الکترود (MoO₃) ۲۰ تا ۴۰ نانومتر گزارش شده است [۸]. مقاومت سطحی برای جنین ساختارهایی در حدود Ω/cm^2 40 گزارش شده که از مرتبه مقاومت سطحی فیلمهای تجاری FTO (36Ω/cm²) است. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از نرم افزار Mathcad15 به منظور طراحی و بهینه سازی سیستم سه لایهای DMD (الکترود شفاف) از نظریه ماتریس انتقال لایههای نازک استفاده شد [۹] و ضخامت بهینه ۲۰/۱۳/۲۰ نانومتر برای لایههای آن به دست آمد. سپس، خواص

اپتیکی و الکتریکی آن از جمله طیف تراگسیل اپتیکی و مقاومت سطحی اندازه گیری شدند که در طول موج ۵۵۰ نانومتر به ترتیب اعداد ۶۲٫۸ و ۴٫۵۶ ۹٫۷۳ بدست آمد. در نهایت، سلول خورشیدی پروسکایتی با ساختار Glass/FTO/TiO2/Perovskite/CuPc ساخته شد و الکترود طراحی شده با ضخامت بهینه، به عنوان کاتد در سلول خورشیدی ساخته شده، به روش تبخیر در خلأ لایه نشانی شد.

روش ساخت

برای ساخت سلول خورشیدی پروسکایتی، ابتدا شیشهی لايهنشاني شده با اكسيد قلع آلاييده شده با فلورين (FTO) به ابعاد $1 imes 1.5 cm^2$ برش داده شد و سپس با پودر روی و اسید کلریدریک با توجه به الگوی مورد نیاز، تحت سونش قرار گرفت. در ادامه، به ترتیب در آب و صابون، استون، اتانول و آب مقطر شستشو داده شدند که در هر مرحله ظرف حاوی زیر لایه ها به مدت ده دقیقه در حمام آلتراسونیک قرار گرفت و در نهایت با هوای تمیز به طور کامل خشک شدند. سپس لايه سدكنندهي الكترون (محلول تيتانيوم دي اكسيد (TiO2) در اتانول) با دستگاه لایه نشانی چرخشی به مدت ۶۰ ثانیه با دور ۴۰۰۰ بر روی زیرلایهها لایه نشانی و بعد به مدت یک ساعت در کوره با دمای $^{\circ}C$ ۵۰۰ بازیخت شد. در مرحله بعد برای ساخت محلول پروسکایت، ابتدا محلول یدید سرب (PbI2) با انحلال ۴۶۰ میلیگرم پودر PbI2 در ۶۳۰ میکرولیتر دی متیل فرمامید (DMF) و ۷۵ میکرولیتر دی متیل سولفوکسید (DMSO) آماده شد و به مدت ۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس به میزان ۱۶۰ میلی گرم پودر متیل آمونیوم یدید (MAI) را به محلول PbI_2 اضافه کردیم و پروسکایت آماده شده با دستگاه لایه نشانی چرخشی به مدت ۴۵ ثانیه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه روی زیرلایه قبلی لایه نشانی شد؛ البته، در ثانیه پانزدهم لایه نشانی محلول پروسکایت، باید به میزان ۱۵۰

میکرولیتر کلروبنزن بر روی پروسکایت چکانده شود. بعد از خشک شدن زیرلایهها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه، فتالوسیانین مس (CuPc) به عنوان لایهی انتقال دهندهی حفره با استفاده از دستگاه تبخیر درخلاً در فشار ^۴-۱۰ ×۳ میلی بار به ضخامت ۳۰ نانومتر بر روی زیرلایه، لایه نشانی شد. لازم به ذکر است که در این دستگاه برای اندازه گیری ضخامت لایهها از یک دستگاه ضخامت سنج بلور کوارتز استفاده شده است که در هر لحظه می تواند ضخامت لایه و آهنگ انباشت را حین لایه نشانی بر روی صفحه نمایشگر نشان دهد. سپس برای لایه نشانی کاتد، اکسید مولیبدن و فلز نقره (با خلوص ۹۹/۹۹ درصد) که به ترتیب در بوتههای مولیبدن و تنگستن قرار داده شده بودند، دستگاه تبخیر در خلأ ىە با صورت MoO₃(20nm)/Ag(13nm)/MoO₃(20nm) بر روى زير لايه لايه نشانى شدند كه البته براى كنترل ضخامت لایهها از شاتر مکانیکی استفاده شد.

نتايج و بحث

طیف تراگسیل اپتیکی و مقاومت سطحی ساختار MoO₃/Ag/MoO₃ به ترتیب توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر دو پرتویی و دستگاه پروب چهارنقطهای اندازه گیری شدند. در شکل ۱ نتایج تجربی و شبیه سازی شده ی تراگسیل اپتیکی الکترود شفاف مشاهده می شود. همانطور که مشخص است، در طیف تجربی و شبیه سازی عبور ساختار در طول موج ۵۵۰ نانومتر به ترتیب ۶۲٫۸ /۶۲۸ است؛ این تفاوت به این دلیل است که در شبیه سازی طیف عبور ساختار مورد نظر، ضریب شکست و ضریب خاموشی MoO3 و Ag به صورت حجمی (bulk) در نظر گرفته شده است در حالی که طیف عبور تجربی، حاصل از گرفته شده است در حالی که طیف عبور تجربی، حاصل از شدهاند. هم چنین، مقاومت سطحی اندازه گیری شده به شدهاند. هم چنین، مقاومت سطحی اندازه گیری شده به

211

مقاومتهای سطحی نمونههای تجاری الکترودهای شفاف مانند ITO و FTO بسیار کمتر است. در شکل ۲ شفافیت نمونه آزمایشگاهی ساخته شده الکترود شفاف MoO3/Ag/MoO3 به خوبی مشخص است.



شکل ۱: طیفتراگسیل اپتیکی تجربی و شبیهسازی شده الکترود MoO3/Ag/MoO3



شكل ۲: نمونه ى ساخته شده الكترود شفاف MoO3/Ag/MoO3

مشخصات فوتوولتائیک سلولهای ساخته شده توسط دستگاه ولتاژ- جریان تحت تابش نور با توان ۱۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع اندازه گیری شد. منحنی چگالی جریان بر حسب ولتاژ این سلولها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳: نمودار چگالی جریان-ولتاژ سلولهای ساخته شده

نتایج نیز به طور خلاصه در جدول ۱ مشاهده می شود.

جدول ۱: مقادیر ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، ضریب پرشدگی و بازدهی

V _{oc} (mV)	J _{sc} (mA/Cm ²)	FF (%)	PCE (%)
۹۱۰	13,74	٣٢	4.0

مشاهده میشود که الکترود طراحی شده میتواند جایگزین مناسبی به عنوان کاتد در سلولهای خورشیدی باشد.

نتيجهگيرى

در این پژوهش، بعد از طراحی الکترود شفاف نانوساختار Mathcad به کمک نرم افزار MoO₃/Ag/MoO3 ضخامت بهینهی مناسب برای سه لایهای به دست آمد. سپس با ساخت این الکترود، بررسی خواص اپتیکی و الکتریکی آن نشان داد که شفافیت و مقاومت مناسب جهت استفاده در سلول خورشیدی به عنوان کاتد را دارد. در نهایت، با ساخت سلول خورشیدی به عنوان کاتد را دارد. در این الکترود، بازدهی قابل قبول به دست آمده به خوبی نشان داد که می تواند جایگزین مناسبی برای کاتد گران قیمت طلا در سلولهای خورشیدی باشد.

مرجعها

- [1] W.S. Yang, B.-W. Park, E.H. Jung, N.J. Jeon, Y.C. Kim, D.U. Lee, S.S. Shin, J. Seo, E.K. Kim, J.H. Noh, S.I. Seok, "Iodide management in formamidinium-lead-halide–based perovskite layers for efficient solar cells", Science, Vol. 356, pp.1376-1379, 2017.
- [2] C. Wehrenfennig, M. Liu, H.J. Snaith, M.B. Johnston, L.M. Herz, "Homogeneous Emission Line Broadening in the Organo Lead Halide Perovskite CH3NH3PbI3 xClx", J. Phys. Chem. Lett., Vol. 5, pp. 1300-1306, 2014.
- [3] G.E. Eperon, S.D. Stranks, C. Menelaou, M.B. Johnston, L.M. Herz, H.J. Snaith, "Formamidinium lead trihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells", Energy Environ. Sci., Vol. 7, pp. 982, 2014.
- [4] C. Roldan-Carmona, O. Malinkiewicz, R. Betancur, G. Longo, C. Momblona, F. Jaramillo, L. Camacho, H.J. Bolink, "High efficiency single-junction semitransparent perovskite solar cells", Energy Environ. Sci., Vol. 7, pp. 2968-2973, 2014.
- [5] K.-T. Lee, L. Guo, H. Park, "Neutral- and Multi-Colored Semitransparent Perovskite Solar Cells", Molecules, Vol. 21, pp. 475, 2016.
- [6] E. Della Gaspera, Y. Peng, Q. Hou, L. Spiccia, U. Bach, J.J. Jasieniak, Y.-B. Cheng, "Ultra-thin high efficiency semitransparent perovskite solar cells", Nano Energy, Vol. 13, pp. 249-257, 2015.
- [7] S. Wilken, V. Wilkens, D. Scheunemann, R.-E. Nowak, K. von Maydell, J. Parisi, H. Borchert, "Semitransparent Polymer-Based Solar Cells with Aluminum-Doped Zinc Oxide Electrodes", ACS Appl. Mater. Interfaces, Vol. 7, pp. 287-300, 2015.
- [8] J.M. Cho, S.K. Lee, S.-J. Moon, J. Jo, W.S. Shin, "MoO3/Ag/MoO3 top anode structure for semitransparent inverted organic solar cells", Curr. Appl. Phys., Vol. 14, pp. 1144-1148, 2014.

[9] H.M. Liddell, "Computer-Aided Techniques for the Design of Multilayer Filters, Adam Hilger Ltd, Bristol", 1981

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