همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

بررسی اثر چگالی تله های سطحی بر عملکرد سلول های خورشیدی پروسکایتی بر پایه MAPbI3

لادن خطاپوش *، نساء مجیدزاده، سعید اصغری زاده

پژوهشکده‌ی فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده: روند رشد بازده سلول های خورشیدی پروسکایتی در مقایسه با سایر سلولهای خورشیدی خیرکننده بوده است. به علت ماهیت جدید و متفاوت مواد پروسکایت، شناخت دقیق مشخصه های این نوع مواد نیاز به پژوهش های گسترده تجربی و نظری است. به خاطر ساختارهای لایه ای این نوع سلول های خورشیدی، بررسی دقیق اثرات بازترکیب سطحی و تله ها برای بهینه سازی بسیار مورد توجه می باشد. در این مقاله با استفاده از حل خود سازگار معادلات پیوستگی جریان و پواسون و با در نظر گرفتن تولید و بازترکیب حاملین بار، اثرات چگالی نقص های سطحی در پیوندگاه $MAPbI_3$/spiro-OMeTAD بر عملکرد سلول های خورشیدی پروسکایتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش چگالی نقص های سطحی، بازترکیب حاملین در این ناحیه افزایش می یابد که باعث کاهش چگالی حاملین بار شده و در نتیجه جریان کاهش می یابد. نتایج به دست آمده نشان می دهد با افزایش چگالی نقص های سطحی تا میزان 10^{13} cm^{-3} کاهش محسوسی در بازده مشاهده نمی شود ولی با افزایش تدریجی آن، بازده به شدت کاهش می یابد که به خاطر بازترکیب حاملین در نزدیکی لایه رسانای حفره و کاتد می باشد. علاوه بر این، به خاطر بازترکیب حاملین در این نقص ها، جریان و ولتاژ نیز کاهش می یابد.

کلید واژگان: سلول های خورشیدی پروسکایتی؛ بازده؛ چگالی بار سطحی

Influence of interface trap concentration on the performance of MAPbI3 Perovskite solar cells

Ladan Khatapoosh, Nesa Majidzadeh, Saeid Asgharizadeh

Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract: In this paper, we have performed a numerical simulation study to investigate the effects of interface trap concentration on device behavior. For this purpose, we chose interface trap density from 10^{11} to 10^{15} cm^{-3} in $MAPbI_3$/spiro-OMeTAD interface layer. Based on our results, when the interface defects density is below the 10^{13} cm^{-3}, cell efficiency dropped about 2% ,where J_{sc} is constant and V_{oc} decreases linearly. By increasing the interface effect density from 10^{13} cm^{-3} to 10^{15} cm^{-3}, the cell efficiency falls down dramatically from 23% to about 6%. Simulation results showed that by increasing the interface traps density, J_{sc} and V_{oc} decrease 65% and 20%, respectively, where cell efficiency decreases significantly more than 75%, which concludes that the main loses of charge carriers occurs in interface layers. Quantum efficiency results show considerably decreasing when trap density is above 10^{13} cm^{-3}.

Keywords: Perovskite solar cells; Efficiency; interface trap concentration

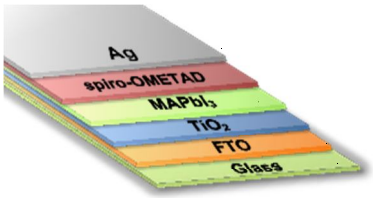
* khpladan@gmail.com

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

۱- مقدمه

ساخت سلول های خورشیدی مبتنی بر مواد پروسکایتی کم هزینه و آسان است و در مقایسه با سایر سلول های خورشیدی آلی، بازده و جذب نور بالاتری دارند [۱-۲]. نمودارهای جریان ولتاژ (J-V) این نوع سلول های خورشیدی نشان می دهد که حاملین بار در پیوندگاه لایه ها به دلیل ناکاملی های سطحی بازترکیب می شوند که باعث کاهش بازده سلول شده و می توان با ساخت و شبیه سازی، این لایه ها را بهینه سازی نمود [۳]. ساختار سلول خورشیدی پروسکایتی مورد نظر متشکل از ۶ لایه که شامل لایه شیشه ای، FTO، لایه انتقال دهنده الکترون TiO_2، لایه جاذب پروسکایت $MAPbI_3$، لایه انتقال دهنده حفره spiro-OMETAD، و درنهایت کاتد که در اینجا نقره در نظر گرفته شده است، در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار سلول خورشیدی پروسکایتی مورد مطالعه

وجود ناخالصی در لایه جاذب $MAPbI_3$، ناخالصی سطحی بین لایه انتقال دهنده الکترون $MAPbI_3/TiO_2$، ناخالصی سطحی بین لایه انتقال دهنده ی حفره $spiro\text{-}OMETAD/MAPbI_3$، نقش مهمی در عملکرد سلول از جمله ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، بازده و فاکتور پرشوندگی ایفا می کند [۳]. در این مقاله تاثیر ناکاملی ها و نقص های سطح در پیوندگاه لایه انتقال دهنده حفره و لایه پروسکایتی $spiro\text{-}OMETAD/MAPbI_3$ بررسی شده است. در این مقاله با استفاده از نرم افزار MATLAB معادلات پیوستگی جریان و پواسون و با در نظر گرفتن تولید و بازترکیب حاملین بار به صورت خودسازگار شبیه سازی شده است.

۲- شبیه سازی عددی

در این مقاله، با استفاده از روابط پواسون و قرار دادن رابطه معادلات سوق و پخش حاملین بار در معادله پیوستگی بار می توان رابطه کلی وابستگی چگالی الکترون‌ها و حفره‌ها به میدان الکتریکی، ضخامت، چگالی ناخالصی و تله های سطحی را در سلول ها ی خورشیدی پروسکایتی بدست آورد. ضرایب جذب لایه های مختلف از مراجع و داده های گزارش شده انتخاب شده است [۳].

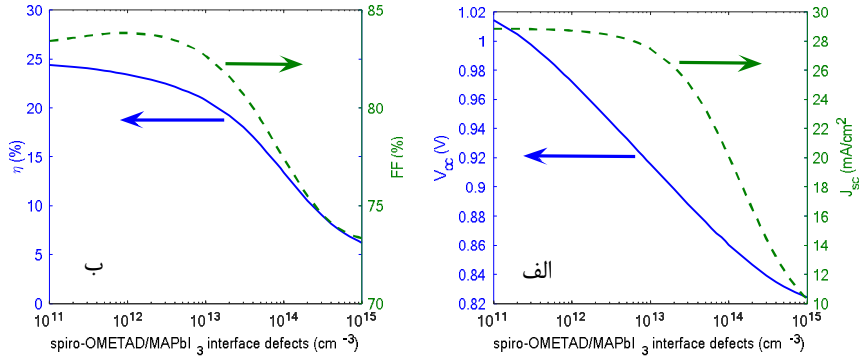
۳. نتایج و بحث

میزان ناخالصی ها و تله های سطحی در لایه پروسکایت به ویژه در پیوندگاه لایه های $spiro\text{-}OMETAD/MAPbI_3$ نقش مهمی در تعیین عملکرد سلول خورشیدی ایفا می کند؛ زیرا تولید حاملین بار در لایه جاذب پروسکایت رخ داده و از طریق لایه رسانای حفره و الکترون به آند و کاتد می رسد. با تغییر چگالی نقص های سطحی را از 10^{11} cm^{-3} تا 10^{15} cm^{-3} در پیوندگاه لایه های spiro-OMETAD/$MAPbI_3$ اثرات ناکاملی ها و نقص های سطحی بر عملکرد سلول خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ الف، تغییرات V_{oc} و J_{sc} را به عنوان تابعی از چگالی ناخالصی سطحی را در پیوندگاه لایه های $spiro\text{-}OMETAD/MAPbI_3$ نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، مقدار V_{oc} و J_{sc} با افزایش چگالی ناخالصی سطحی Spiro-OMeTAD/$MAPbI_3$ کاهش می یابد که V_{oc} با افزایش ناخالصی سطحی به صورت خطی کاهش یافته ولی J_{sc} با افزایش چگالی ناخالصی ها تا 10^{13} cm^{-3} مقدار J_{sc} تقریبا ثابت باقی می ماند و بعد از آن کاهش می یابد. در واقع با افزایش چگالی نقص های سطحی، این ناکاملی ها باعث به وجود آمدن ترازهای ناخالصی شده که به عنوان مراکز بازترکیب حاملین بار عمل می کنند. با افزایش چگالی، تعداد مراکز بازترکیب افزایش یافته و در نتیجه بازترکیب حاملین بار افزایش می یابد. در واقع افزایش چگالی ناخالصی های سطحی باعث کاهش چگالی حاملین شده و درنتیجه ولتاژ مدار باز نیز کاهش می یابد. به خاطر اینکه این چگالی ها به عنوان ناخالصی در ساختار سلول خورشیدی هستند، انتظار میرود که مقاومت سری سلول خورشیدی افزایش یابد که این افزایش مقاومت سری در فاکتور پرشوندگی مشاهده می شود (شکل ۲ ب). در شکل ۲ب،

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

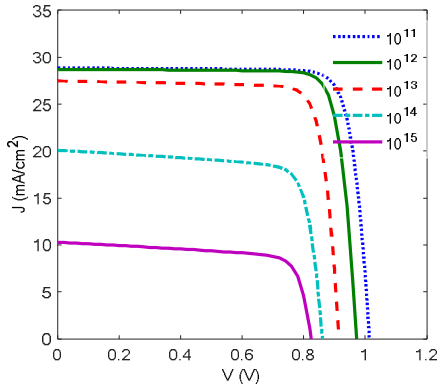
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

تغییرات بازده سلول خورشیدی و فاکتور پرشوندگی برحسب چگالی ناخالصی های سطحی پیوندگاه لایه های spiro-OMETAD/$MAPbI_3$ را نشان می دهد.



شکل ۲: تغییرات V_{oc}و J_{sc} نسبت به چگالی ناخالصی سطحی در Spiro-OMeTAD/$MAPbI_3$

همانطور که نشان داده شد، بازده سلول نیز با افزایش میزان چگالی ناخالصی های سطحی کاهش می یابد. با افزایش چگالی ناخالصی های سطحی تا $۱۰^{۱۳}$ cm^{-3} کاهش بازده محسوس نیست ولی با افزایش چگالی سطحی، بازده به شدت کاهش می یابد. دلیل این کاهش به خاطر کاهش شدید جریان مدار باز است که در شکل ۲ الف نشان داده شده است. با افزایش چگالی ها بیش از $۱۰^{۱۳}$ cm^{-3}، سرعت بازترکیب سطحی به سرعت افزایش می یابد و در نتیجه تعداد حاملین بار اقلیت (در این لایه الکترون ها) در این چگالی ها سریعتر به تله افتاده و باعث بازترکیب با حاملین اکثریت (حفره ها) می گردد. در واقع با افزایش چگالی ناخالصی، سرعت انتقال حفره ها به لایه کاتد به خاطر تله افتادن در ناخالصی ها کاهش می یابد و در نتیجه تعداد کمتری از حفره ها به لایه کاتد رسیده و باعث کاهش جریان کلی می شود. برای بررسی بهتر نمودار مشخصه جریان ولتاژ J-V را برای چگالی ناخالصی های سطحی مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳ : نمودار مشخصه جریان ولتاژ J-V چگالی ناخالصی های سطحی

نتیجه گیری

نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش چگالی نقص های سطحی، بازترکیب حاملین در ناحیه فعال افزایش می یابد که باعث کاهش چگالی حاملین شده و در نتیجه بازده کاهش می یابد. با افزایش چگالی نقص ها تا میزان $۱۰^{۱۳}$ cm^{-3}، کاهش محسوس در بازده مشاهده نمی شود ولی با افزایش تدریجی آن، بازده به شدت کاهش می یابد که به دلیل افزایش سرعت بازترکیب سطحی است. افزایش سرعت بازترکیب سطحی منجر به کاهش سرعت انتقال حفره ها به لایه کاتد به خاطر تله افتادن در ناخالصی ها و بازترکیب با الکترون ها است.

مراجع

1. Juan–Pablo Correa–Baena, et. al., **Energy Environ. Sci.**, (2017),10, 710-727.
2. Hyun Suk Jung, Nam-Gyu Park, **Small**, 11, 10–25 (2015)
3. F. Liu, et.al., **Appl. Phys. Lett.** 104, 253508 (2014)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]