

بررسی عملکرد سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و ZnO

علی اکبر بهرامی^۱، منصور نادری نیا^{۲*}، زهرا اعلایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک، دانشکده برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک، دانشکده برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

چکیده

در حال حاضر انواع سلول‌های خورشیدی با عملکرد و بازده‌های متفاوتی طراحی شده است. یکی از مهمترین انواع سلول‌های خورشیدی، سلول‌های خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت است که به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد خود به‌عنوان مهمترین نسل‌های سلول‌های خورشیدی به حساب می‌آید. پرواسکایت دارای قدرت جذب بالایی است و می‌توان آن را با هزینه پایینی در سلول‌های خورشیدی قرار داد و در نتیجه بازده بالای سلول خورشیدی را تضمین می‌کند. همچنین، پرواسکایت دارای قدرت جذب بالا در ناحیه مرئی نور خورشید است و تحرک‌پذیری بالای حامل‌ها در این ماده و نیز طول انتشار بالا در حدود ۱ میکرومتر باعث شده که از پرواسکایت به‌عنوان یک ماده‌ی اساسی در سلول‌های خورشیدی برای افزایش بازده استفاده شود. در این مقاله، ما به معرفی سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و روی اکسید خواهیم پرداخت و در نهایت به بازده ۱۷/۹۲ خواهیم رسید.

واژه‌های کلیدی: پرواسکایت، سلول خورشیدی و روی اکسید.

ایمیل نویسنده مسئول: Mansour.naderinia@gmail.com

۱- مقدمه

گرم شدن کره زمین ناشی از انتشار زیاد کربن اکسید و نیز اثرات گازهای گلخانه‌ای یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های امروزه انسان به شمار می‌رود. کربن اکسید در اتمسفر، به‌عنوان حاله‌ای قوی، گرمای منعکس از سطح زمین به جو را حبس می‌کند و در نتیجه باعث گرم‌تر شدن زمین می‌شود [۱]. در دهه‌های گذشته تلاش‌های مستمری در زمینه زمین‌شناسی و تسخیر کربن اکسید انجام گرفته است. با این حال تلاش در این زمینه خود نیازمند صرف انرژی بیشتری است [۲].

در حال حاضر، تنها در حدود ۱/۵ درصد انرژی از طریق سلول‌های خورشیدی تولید می‌شود که این مقدار در مقایسه با افزایش تقاضای انرژی و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی سهم بسیار کوچکی دارد که باید با توجه به نیاز به انرژی سیاست‌های کلی به سمت افزایش تولید و ارتقاء سلول‌های خورشیدی و انرژی‌های پاک برود [۳].

انرژی‌های خورشیدی دارای مزایایی از جمله فراوانی، عدم محدودیت، پاک، پایدار، قابل تجدید و همچنین، سازگاری بالا با محیط زیست می‌باشد. با توجه به موارد بالا، انرژی خورشیدی ایده‌ای خوب و

مطمین برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی که به دلیل محدودیت، هزینه زیاد، ایجاد آلاینده‌های در هوا و ایجاد خطرهایی برای محیط زیست مشکلاتی را فراهم می‌آورند، است.

در سال‌های اخیر، سلول‌های خورشیدی^۱ متفاوتی با استفاده از مواد و ساختارهای متنوعی طراحی و ساخته شده‌اند اما نیاز به ساخت یک سلول خورشیدی با بهره تبدیل توان بالا سبب شده است که پژوهش و مقالات زیادی در این زمینه انجام شود.

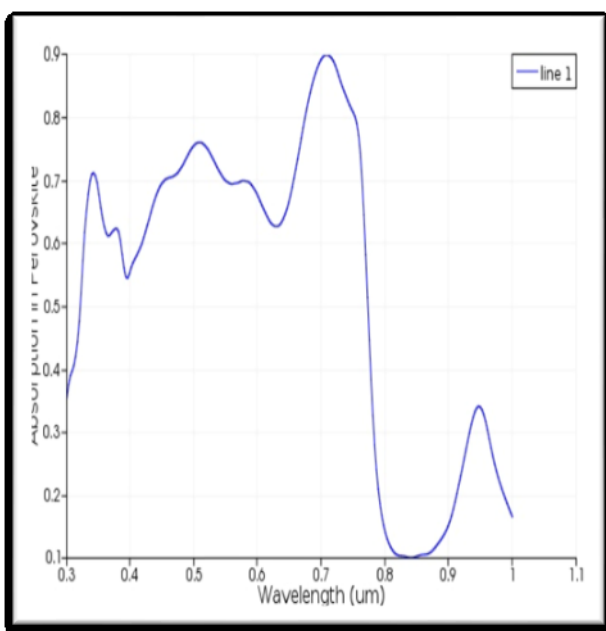
یکی از مهمترین انواع سلول‌های خورشیدی، سلول‌های خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت^۲ است که نسل سوم سلول‌های خورشیدی را ایجاد کرده است.

نام پرواسکایت از ساختار معدنی CaTiO_3 که توسط معدن‌شناس آلمانی به نام Gustav Rose در سال ۱۸۳۹ کشف شد، مشتق شده است [۴]. پرواسکایت به‌عنوان نوع خاصی از ماده‌ی سلول‌های خورشیدی توسط یک معدن‌شناس روسی به نام L. A. perovski در سال‌های ۱۸۵۶-۱۷۹۲ مطرح شد و او نام پرواسکایت را برای این ماده برگزید که

¹ Solar cells

² Perovskite Solar Cells

به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای این سلول خورشیدی باشد. در شکل ۲ نمودار جریان - ولتاژ سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و ZnO آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، مقدار جریان اتصال کوتاه نسبتاً خوبی در حدود 21 mA/cm^2 وجود دارد. مقدار ولتاژ مدار باز این سلول خورشیدی نیز در حدود 1 V است.



شکل ۱. نمودار جذب سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و روی اکسید

در واقع براساس شکل ۲ مشاهده می شود که، وجود پرواسکایت و روی اکسید سبب افزایش شدت جریان در این نوع سلول خورشیدی شده است. در واقع مقدار نور جذب شده با پرواسکایت و به سبب آن جریان تولید شده در قسمت روی اکسید قرار می گیرد و ZnO مانع از بازتاب نور شده و به صورت حاله ای محکم عمل می کند. در نتیجه، حداکثر مقدار نور جذب شده به جریان تبدیل می شود و بازده بالای این سلول خورشیدی را رقم می زنند.

بیشتر مواقع به عنوان یک ماده نوید دهنده برای نسل های آتی سلول های خورشیدی مطرح بود [۵]. در این مقاله، ما به بررسی ساختار و عملکرد سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و ZnO خواهیم پرداخت و شکل ساختار و عملکرد و در نتیجه بازده آن را نشان خواهیم داد.

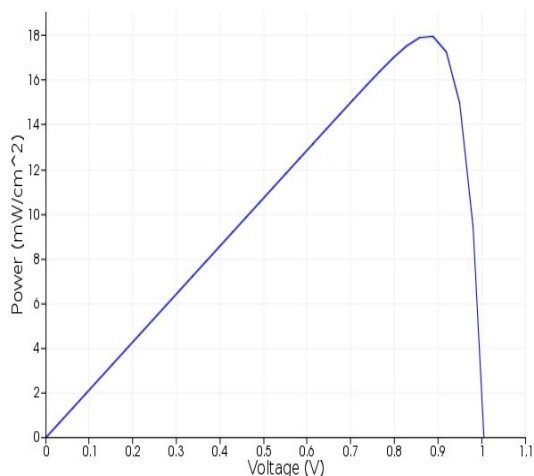
۲- ساختار و عملکرد سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و ZnO

در این قسمت در سلول خورشیدی از ماده منحصر به فرد پرواسکایت به عنوان لایه فعال استفاده شده است. پرواسکایت دارای قدرت جذب بسیار بالایی است. به تازگی، به همین دلیل به عنوان مهمترین ماده در استفاده از لایه ی فعال^۳ در سلول های خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است. به همین منظور پس از الکتروود به عنوان نخستین لایه در سلول خورشیدی از پرواسکایت استفاده شده است. یکی دیگر از مواردی که باید در سلول های خورشیدی مورد توجه قرار بگیرد، جلوگیری از اتلاف جریان های تولید شده در سلول های خورشیدی است. به همین منظور، در این مقاله از ZnO به عنوان یک پوشش ضد بازتاب مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع با وجود پرواسکایت در طراحی این سلول خورشیدی به جذب بالای ۹۰ درصدی نور خورشید دست یافتیم و باید این جذب حداکثری نور کنترل و مانع از بازتاب و اتلاف آن به صورت جریان های ناشی شود. استفاده از ZnO به دلیل غلظت بالای آن و نیز انرژی بستگی بالای این ماده سبب می شود که بتوان به بازده بالایی در این نوع سلول خورشیدی دست یابیم.

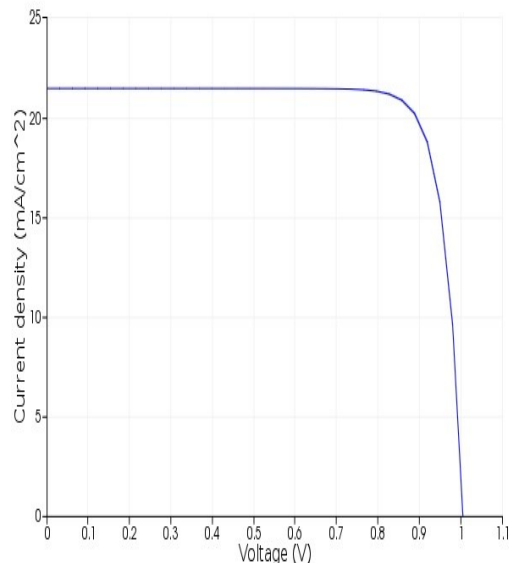
۳- بحث و نتایج

در شکل ۱ نمودار جذب سلول خورشیدی طراحی شده در این مقاله نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است، جذب این سلول خورشیدی در ابتدا در طول موج $0.3/\mu\text{m}$ میکرومتر تقریباً ۳۸ درصد است. در ادامه، با افزایش طول موج بر حسب میکرومتر مقدار جذب سلول خورشیدی افزایش می یابد به طوری که در طول موج $0.7/\mu\text{m}$ میکرومتر مقدار جذب نور خورشیدی با سلول خورشیدی ارائه شده به ۹۰ درصد می رسد. در واقع وجود ماده پرواسکایت در این ساختار سبب جذب حداکثری نور خورشید شده است که می تواند

³ Active layers



شکل ۳. نمودار توان بر حسب ولتاژ سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و روی اکسید



شکل ۲. نمودار جریان - ولتاژ سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و روی اکسید

مقدار بهره تبدیل توان این سلول خورشیدی حدودی برابر با $17/92 \text{ MW/CM}^2$ است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار توان در این سلول خورشیدی به‌نسبت مناسب است و این به‌دلیل ویژگی بسیار مهم تبدیل نور در پرواسکایت است.

براساس شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که استفاده از پرواسکایت تا چه مقدار عملکرد سلول‌های خورشیدی را تحت تأثیر خود قرار خواهد داد و تا چه مقدار عملکرد سلول‌های خورشیدی ارتقاء می‌یابند. لازم به ذکر است در نتیجه‌ی جذب بالا با پرواسکایت، شدت جریان در سلول‌های خورشیدی افزایش می‌یابد.

در جدول ۱ مشخصات کامل سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و ZnO نشان داده شده است. در این سلول خورشیدی ارائه شده مقدار بازده برابر با $17/9$ درصد است. در این نوع سلول خورشیدی وجود پرواسکایت در افزایش قدرت جذب به سلول خورشیدی کمک کرده است. همچنین، وجود روی اکسید باعث محبوس نگه داشتن نورهای جذب شده می‌شود و در نتیجه مقدار بازده بالای سلول خورشیدی را رقم زده است. یکی دیگر از مزایای مهم پرواسکایت این است که پرواسکایت با ضخامت بسیار کوچکی می‌تواند در سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار بگیرد و در نتیجه این ضخامت کوچک منجر به کاهش هزینه در ساخت سلول‌های خورشیدی که یکی از پارامترهای اساسی در ساخت این سلول‌ها است.

روی اکسید یک ماده نیم‌رسانا چندمنظوره است که می‌تواند در دماهای پایین تولید شود. وجود

در واقع وجود هر دو ماده منحصر به فرد پرواسکایت و ZnO سبب شده است که مقدار جریان اتصال کوتاه به‌نسبت بالایی از سلول خورشیدی بگیریم. وجود لایه‌ی ضد بازتاب در این سلول خورشیدی سبب شده که بیشترین مقدار جذب نور به جریان تبدیل و مقدار تلفات و انعکاس نور حداقل شود.

در شکل ۳ نمودار توان این سلول خورشیدی نشان داده شده است.

همانطور که انتظار می‌رود، به علت وجود هر دو ماده منحصر به فرد پرواسکایت و روی اکسید مقدار توان این سلول خورشیدی بالاست و در نتیجه بازده مناسب سلول خورشیدی به سبب وجود جریان بالا مشاهده می‌شود و همچنین، هزینه ساخت پایین از ویژگی دیگر این سلول خورشیدی است.

برای این منظور از ZnO به عنوان یک پوشش ضد بازتاب استفاده شده و سبب کاهش انعکاس نور و تلفات جریانی می شود و در نتیجه مقدار بازده سلول خورشیدی افزایش یافته است.

۵. منابع

- [1] A. Yamasaki, J. Chem Eng Jpn. ; 36, 61-75, (2019).
- [2] L.L. Tan, W.J. Ong, S.P. Chai, Nanoscale Res Lett ;8,1-8, (2018).
- [3] F. Low, Ch.Lai, solar cells 20, 103-125, (2019).
- [4] Qi. chen, N. Marco, Y. Yang, T. Song, Ch. Chen, H. Zhao, Z. Hong, H. Zhou, Y. Yang, J. Chem Eng Jpn. 10, 355-401, (2015).
- [5] A. Ehtesham, W. Wong, H. Y. Wong, M. Zamani. American Journal of Applied Sciences, 13, 1290-1312, (2016).
- [6] P.T. Hieu. Nguyen et al. American Journal of Applied Sciences 15, 322-355, (2018).

ویژگی های منحصر به فرد آن یعنی گاف انرژی^۴ عریض، مقاومت در برابر تابش نور خورشید، انرژی بستگی (انرژی جداگر) بالا و همچنین، پایداری شیمیایی بالایی که دارد، سبب شده است که روی اکسید به عنوان یک ماده ی بسیار مهم در کاربردهایی مانند حسگرها، دیودها، ترانزیستورها و نیز سلول های خورشیدی مورد توجه پژوهشگران قرار بگیرد. همچنین، روی اکسید دارای ویژگی نوری و الکتریکی منحصر به فردی است که از جمله تحرک الکتریکی بالا در حدود $1500 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ در دمای اتاق، نوار انرژی بالا برابر با $3/3 \text{ eV}$ و نیز انرژی بستگی الکترون - حفره ها برابر با 60 meV است که می تواند به عنوان یک ماده ضد بازتاب در سلول های خورشیدی به شدت باعث ارتقاء سلول خورشیدی شود. ترکیب ZnO با گرافن باعث افزایش ۸ برابری تابش نوری، قابلیت انتقال الکترون ها، جذب بالا و افزایش در پایداری شیمیایی سلول های خورشیدی و باعث افزایش بازده در سلول های خورشیدی می شود [۶].

جدول ۱. مشخصات سلول خورشیدی مبتنی بر پرواسکایت و اکسیدروی

پارامترهای سلول	Voc	Jsc (mA/cm ²)	Pmax (mW/cm ²)	°FF	Eta
مشخصات سلول	۱/۰۰۴	۲۱/۴۴	۱۷/۹۲۵۶	۰/۸۳	۱۷/۹۲

۴. نتیجه گیری

از آنجایی که در یک سلول خورشیدی باید در ابتدای امر بیشترین نور خورشید جذب شود، در این ساختار از پرواسکایت به عنوان لایه فعال و جاذب استفاده شده است. همانطور که نشان داده شد، به مقدار حداکثر جذب نور یعنی ۹۰ درصد دست یافتیم. در ادامه، باید از این نور جذب شده بیشترین استفاده انجام شود و با جلوگیری از انعکاس و تلفات نور جذب شده مقدار جریان تولیدی با سلول خورشیدی حداکثر شود. در نتیجه، مقدار بازده سلول خورشیدی نیز افزایش یابد.

⁴ Energy gap

⁵ Fill Factor