فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: معرفی سلول‌های خورشیدی پلیمری
دوره ۵ / شماره ۱ / بهار ۱۴۰۰/ ص ۱۴-۱

معرفی سلول‌های خورشیدی پلیمری

اصغر قادری۱، محمد اربابی *۲، یونس جمالزهی۲، حسین ملازهی۲
۱. استادیار گروه برق، دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر، ۲. دانشجوی کارشناسی مهندسی برق، دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر
*mohamadarbabi00322@gmail.com

چکیده

محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضرورت توجه بیش از پیش به انرژی‌های تجدید پذیر را نمایان می‌سازد. از میان انرژی‌های تجدید پذیر انرژی خورشیدی یکی از بزرگترین منابع انرژی در جهان است. سلول‌های خورشیدی ابزاری هستند که نور خورشید را بر طبق اثر فوتوولتاییک به جریان الکتریسیته تبدیل می‌کنند. در سال‌های اخیر، به دلیل توسعه نسل‌های مختلف سلول‌های خورشیدی، انواع گوناگونی از آن ها، شامل سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، حساس شده به رنگ دانه، نقاط کوانتومی، آلی و نسل‌های جدید ساخته شده اند. در این میان سلول‌ها، نوع پلیمری آن به دلیل انعطاف پذیری، وزن سبک، امکان طراحی مواد به کار رفته در ساختار آن‌ها، ضریب جذب زیاد،فرایندپذیری در حالت محلول و فنون ساخت ارزا نقیمت توجه بسیاری را به خود جلب کرده اند. در این مقاله، سعی بر آن شده تا به معرفی سلول-های خورشیدی پلیمری و ویژگی آن پرداخته شود.

واژگان کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، سلول‌های خورشیدی، سلول خورشیدی پلیمری

مقدمه

متوسط برآورد مصرف انرژی جهان در سال ۲۰۰۰، بیش از ۱۳TW بود. این عدد با در نظر گرفتن رشد جمعیت و مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۵۰ تقریبا به ۲۸TW خواهد رسید. توجه دانشمندان انرژی در تمام جهان به منابع انرژی جایگزین مثل توربین-های بادی، آبی و سلول‌های خورشیدی جلب شده است (حسین پور و همکاران، ۱۳۹۳).

امروزه با توجه به کاهش روز افزون ذخائر سوخت‌های فسیلی و همچنین آلودگی زیست محیطی ناشی از این منابع تولید انرژی، یافتن منابع جدید انرژی که هم تا حدی پایان‌ناپذیر باشد و هم اینکه باعث آلودگی محیط زیست نشود، امری اجتناب‌ناپذیر است (فیروزی و محمدی، ۱۳۹۶).

محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضرورت توجه بیش از پیش به انرژی‌های تجدید پذیر را نمایان می‌سازد. از میان انرژی‌های تجدید پذیر انرژی خورشیدی یکی از بزرگترین منابع انرژی در جهان است. سلول‌های خورشیدی ابزاری هستند که نور خورشید را بر طبق اثر فوتوولتاییک به جریان الکتریسیته تبدیل می‌کنند. سلول‌های خورشیدی در سه نسل دسته‌بندی می‌شوند (آهنگرانی و مرندی، ۱۳۹۶)

سلول خورشیدی:

مزایای متعدد منابع انرژی تجدید پذیر ازجمله، فراوانی، عدم ایجاد آلودگی، فنّاوری نسبتاً ساده و تولید غیرمتمرکز، باعث افزایش روزافزون استفاده از این منابع شده است. سیستم‌های فتوولتائیک یکی از انواع این انرژی‌هاست (کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷).

مقدار از نور خورشید که فقط در یک ساعت به زمین می‌تابد، می‌تواند انرژی مورد نیاز زمین را برای یک سال تأمین کند. امروزه نیروگاه‌های خورشیدی زیادی در سرتاسر دنیا فعال هستند. سلول خورشیدی یا سلول فتوولتائیک وسیله‌ای الکترونیکی است که انرژی خورشید (یعنی انرژی تابشی رسیده از خورشید) تحت فرآیندی به نام فتوولتائیک، به الکتریسیته تبدیل می‌کند. در سلول-های خورشیدی اثرات مخرب محیط زیستی سلول‌های خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی مانند سوخت فسیلی و انرژی هسته‌ای بسیار ناچیز است (کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷؛ یعقوبی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

مبدل‌های فتوولتائیک به دلیل امکان تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی و مزایای دیگر نظیر وزن کم و امکانات نصب در قدرت‌های کوچک، جزء تجهیزات مورد توجه در زمینه استفاده از انرژی‌های نو می‌باشند ولی در مقایسه با سایر مبدل‌های انرژی الکتریکی، قیمت بیشتری دارند؛ بنابراین لازم است که همواره شرایطی فراهم شود که از این مبدل‌ها حداکثر انرژی جذب شود تا استفاده بهینه از سیستم صورت گیرد. کاربردهای دیگر سیستم‌های خورشیدی علاوه بر تزریق توان اکتیو به شبکه مانند توانایی کنترل فلوی توان اکتیو و راکتیو به‌منظور تأمین نیازهای شبکه طبق استانداردها، کنترل ولتاژ نقطه PCC مبدل و ... شده است.

سلول خورشیدی بدون استفاده از سیکل ترمودینامیک یا سیال عامل، راندمان انرژی تشعشعی فوتون‌های نور خورشید را با ۵ تا ۲۵ درصد مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و می‌توانند خودشان جمع کننده نور باشند و یا از متمرکز کننده‌های نوری مانند آینه یا عدسی محدب استفاده کنند. به دلیل مزایایی مانند کوتاه بودن زمان طراحی و راه‌اندازی، بی‌صدا بودن فرایند تبدیل انرژی، عمر زیاد و نیاز به نگهداری اندک به دلیل نداشتن اجزاء متحرک و حمل‌ونقل آسان بدلیل وزن کم اجزاء، این سیستم در حال پیشرفت است اما هنوز در مقایسه با سایر مبدل‌های انرژی نظیر دیزل ژنراتورها گران‌تر است. لذا استفاده بهینه و جذب حداکثر انرژی ممکن از آنها ضروری است زاویه تابش نور خورشید بر سطح یک آرایه خورشیدی، در میزان انرژی جذب‌شده توسط آرایه تأثیر زیادی می‌گذارد و با توجه به هزینه زیاد آرایه خورشیدی، ضروری است که همواره شرایطی فراهم شود که حداکثر انرژی خورشیدی جذب و تبدیل به انرژی الکتریکی شود تا استفاده بهینه از سیستم صورت گیرد. یکی از این شرایط، استفاده از آرایه خورشیدی متحرک با قابلیت تعقیب مسیر حرکت خورشید می‌باشد (کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷).

تاریخچه سلول خورشیدی:

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظورهای مختلف به زمان ماقبل تاریخ باز می‌گردد. شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جام‌های بزرگ طلایی سیقل داده شده و اشعه خورشید آتشدان‌های محراب‌ها را روشن می-کردند. یکی از فراعنه مصر معبدی ساخته بود که با طلوع خورشید درب آن باز و با غروب خورشید درب بسته می‌شد. ولی مهمترین روایتی که درباره استفاده از خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می‌باشد(کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷). در سال ۱۹۰۵ میلادی آلبرت انیشتین همراه با تئوری نسبیت خود اثر فوتوالکتریک را مطرح نمود (بدری و همکاران، ۱۳۹۷؛ کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷) سپس سال ۱۹۰۸ ویلیام جی بیلی یک کلکتور با سیم پیچ مسی و یک جعبه عایق ساخت. این طرح تقریبا شبیه همان طرحی است که امروزه برای کلکتورهای خورشیدی استفاده می‌شود. بعد از آن در سال ۱۹۱۴ دانشمندان متوجه یک بند الکترونی در دستگاه‌های فتوولتائیک شدند که نهایتا در سال سال ۱۹۱۶ دانشمندان اثر فوتوالکتریک را به صورت تجربی اثبات کردند. پس از ان دانشمندان هر کدام در این زمینه فعالیت‌هایی داشتند که در سال ۱۹۵۴ سه دانشمند آمریکایی اولین سلول فتوولتائیک سیلیکونی را توسعه دادند، اولین سلول خورشیدی توانائی این را داشت که برق کافی را از طریق خورشید برای تجهزات الکترونیکی فراهم نماید. ژاپنی‌ها نیز توانتند که سال ۱۹۶۳ ژاپن یک پنل ۲۴ واتی را بر روی یک فانوس دریایی نصب نمود و ناسا اولین ماهواره‌ای که با سلول‌های فتوولتائیک به ظرفیت ۴۷۰ وات تغذیه می‌گردید توسط سفینه فضایی به فضا پرتاب نمود؛ در سال ۱۹۷۷ میلادی دولت آمریکا موسسه تحقیقات انرژی خورشیدی را راه اندازی کرد که منجر به توسعه و پیشرفت فراوان در این حوزه گردید (کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷).

در ۷ آگوست ۱۹۵۹ میلادی ماهواره‌ای اکسپلورر ۶ با یک ارایه متشکل از ۹۶۰۰ سلول خورشیدی (هر سلول با ابعاد ۲*۱ سانتی-متر) به فضا پرتاب شد. در این زمان بازده سلول‌های خورشیدی در حدود ۱۰ درصد بود. به تدریج بازده سلول‌های خورشیدی افزایش یافت، این افزایش بازده به معنای آن بود که می‌توان از سطح کوچکتری یک توان تعیین شده را دریافت کرد. در دهه ۱۹۶۰ میلادی این فناوری به طوری جدی در صنعت فضایی به کار گرفته شد. در طی بحران انرژی در دهد ۱۹۷۰ ناوری فتوولتاییک به عنوان منبعی از انرژی برای برنامه‌های عیرفضایی به رسمیت شناخته شد (بدری و همکاران، ۱۳۹۷).

انواع سلول‌های خورشیدی:

برای سلول‌های خورشیدی تقسیم‌بندی‌های متفاوتی انجام می‌گیرد که در زیر به تعداد از آنها اشاره می‌گردد:

- باید خاطر نشان کرد که فناوری فتوولتاییک مستقیم‌ترین روش برای تبدیل انرژی خورشیدی به برق بدون تشعشع دی اکسید کربن یا اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. مقدار پتانسیل خورشیدی قابل استفاده در حدود TW ۶۰۰ تخمین زده می‌شود. در صورتی که با استفاده از ۱۰ درصد این میزان یعنی TW۶۰ می‌توان بر مشکل انرژی پیروز شد (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

از مهمترین انواع این دسته از سلول‌های خورشیدی می‌توان به سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، پلیمری و نقاط کوانتومی اشاره کرد. ایدهٔ اولیهٔ سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای توسط شخصی به نام گراتزل در سال ۱۹۹۱ مطرح شد. ساده بودن و هزینهٔ پایین مراحل ساخت و بازدهی تبدیل انرژی مناسب این سلول‌ها در مقایسه با انواع دیگر سلول‌های خورشیدی از مهمترین مشخصه‌های این نوع سلول هاست. در سال‌های اخیر سلول‌های خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی تحقیقات وسیعی را به خود اختصاص داده‌اند. نکتهٔ قابل توجه در مورد سلول‌های خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی، روند رو به رشد و سریع افزایش بازدهی این سلول‌ها در سال‌های اخیر می‌باشد که نقش مؤثری در افزایش میزان تحقیقات علمی در این زمینه داشته است (آهنگرانی و مرندی، ۱۳۹۶).

ساخت سلول خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی در چهار مرحله انجام می‌گیرد. این مراحل شامل آماده سازی فوتو الکترود، آماده سازی الکترود شمارنده، تهیهٔ الکترولیت پلی سولفید و بستن سلول خورشیدی هستند (آهنگرانی و مرندی، ۱۳۹۶).

سلول حساس شده با رنگ می‌تواند یک تکنولوژی ما بین دومین و سومین نسل از سلول‌های خورشیدی باشد. این نوع سلول پتانسیل تبدیل شدن به تکنولوژی نسل سوم را با به‌کارگیری خواص نانومواد سازنده‌ی آن داراست (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

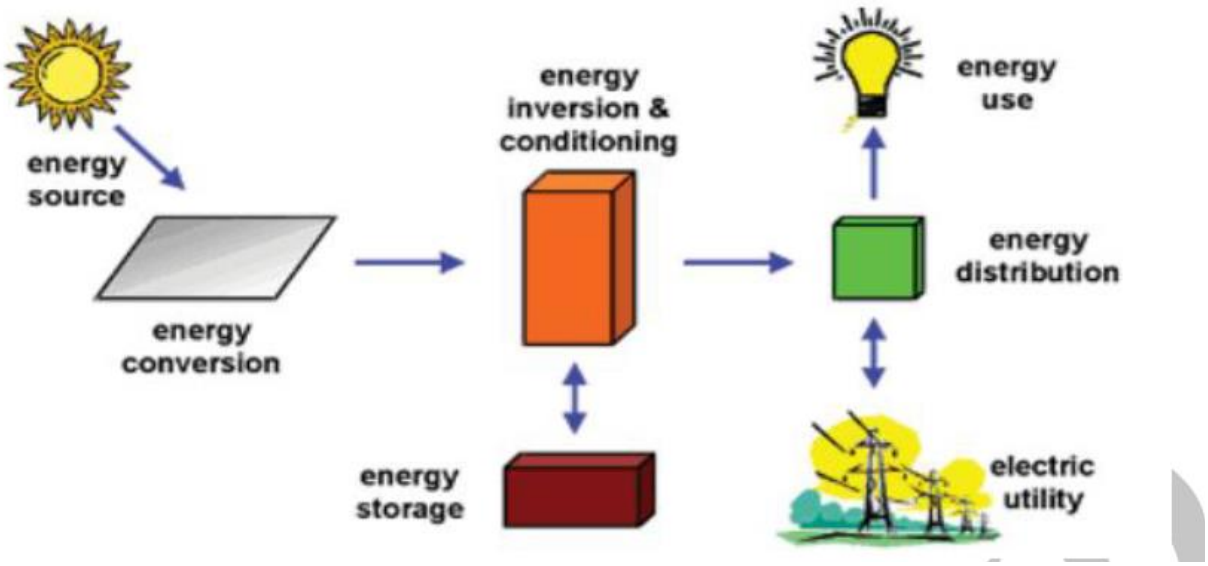
- سلول‌های خورشیدی در سه نسل دسته‌بندی می‌شوند. در این میان، نسل سوم سلول‌های خورشیدی شامل تمامی دستگاه‌های فوتوولتایی است که از انواع ساختارهای نانومتری استفاده می‌کنند (آهنگرانی و مرندی، ۱۳۹۶)

- سلول‌های خورشیدی را می‌توان به چهار نوع اصلی سلول خورشیدی تک کریستان، سلول خورشیدی پلی کریستال یا چند کریستالی، سلول خورشیدی آمورف و سلول خورشیدی نانو متری لایه نازک تقسیم بندی نمود (یعقوبی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

در جدول زیر بازده برای سلول‌های خورشیدی مختلف بیان گردیده است.

جدول ۱- وضعیت بازدهی‌های تولید برق در سلول‌های مختلف (پری زاده و رستم زاده، ۱۳۹۳)

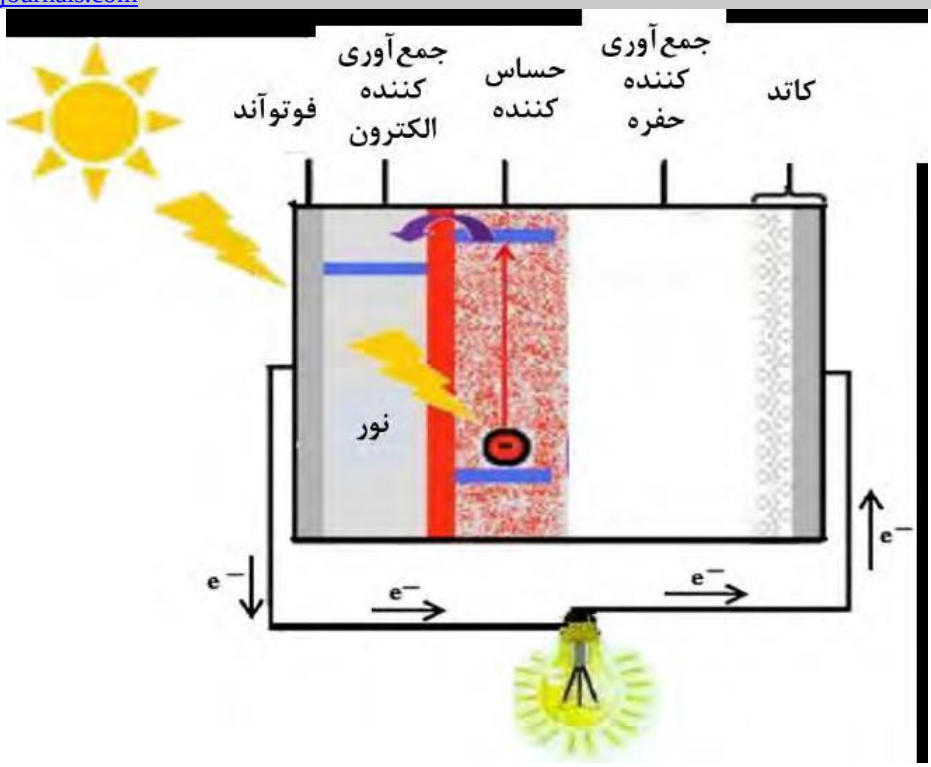
مواد نیمه رسانا	بازدهی تبدیل برق (٪)	فناوری
مونو سیلیکون کریستال	۲۴ – ۲۰	کریستال
پلی سیلیکون کریستال	۱۸ – ۱۳	فیلم نازک و ضخیم
گالیوم – آرسنید	۲۹ – ۲۰	کریستال
سیلیکون اتمسفری	۱۳ – ۸	فیلم نازک
کادمیوم تلورید	۱۷ – ۱۰	فیلم نازک
کادمیوم ایندیوم سلنید	۱۹ – ۱۰	فیلم نازک



شکل ۱- انتقال انرژی از خورشید تا مصرف‌کننده الکتریکی(کریم‌پور و قادری، ۱۳۹۷).

- امروزه، نسل‌های مختلفی از سلول‌های خورشیدی طراحی شده‌اند که به دوگروه کلی سلول‌های خورشیدی غیرآلی و آلی دسته-بندی می‌شوند. در میان سلول‌های خورشیدی آلی، سلول‌های خورشیدی پلیمری به دلیل مزایای فراوان مانند انعطاف پذیری، وزن کم، قابلیت کاربرد گسترده مواد در ساخت آن‌ها و فرایندپذیر بودن در حالت محلول بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵). در مقاله مروری پیش رو، سلول‌های خورشیدی پلیمری معرفی شده و درباره نحوه عملکرد آن‌ها، مواد پلیمری به کار رفته در ساخت، انواع دسته‌بندی و مشخصه‌یابی آنها توضیحاتی ارائه می‌شود.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



شکل ۲- چگونگی ایجاد جریان الکتریکی توسط سلول خورشیدی(حنیفه‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

معرفی سلول‌های خورشیدی پلیمری

در دهه اخیر، سلول‌های خورشیدی پلیمری به دلیل مزایای مانند وزن کم، انعطاف‌پذیری مناسب و ضریب جذب زیاد مورد توجه قرار گرفته‌اند. ضخامت چندصد نانومتری سلول‌های خورشیدی پلیمری برای جذب بیشتر تابش فرودی خورشید کافی است و می-توان آنها را با فنون ساخت ارزان قیمت، مانند پوشش‌دهی چرخشی (spin coating) و چاپ کردن تهیه کرد. از سوی دیگر، ساخت آنها به شکل انعطاف‌پذیر امکان‌پذیر است. سلول خورشیدی پلیمری از سه بخش اصلی آند، کاتد و لایه فعال تشکیل می-شود. در مقیاس آزمایشگاهی روش‌های مختلفی را می‌توان برای ساخت لایه‌های سلول خورشیدی پلیمری به کار برد (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی گورجی و همکاران، ۱۳۹۰).

پوشش دهی چرخشی روشی متداول برای پوشش دهی لایه فعال سلول‌های خورشیدی پلیمری است. بدین منظور، از دستگاه پوشش‌دهی چرخشی استفاده می‌شود که قابلیت تنظیم سرعت را در زمان پوشش‌دهی دارد. همچنین، به منظور تشکیل لایه‌هایی با ضخامت کم یا زیاد یا با شکل شناسی یکنواخت، تغییر سرعت چرخش دستگاه در جهت مطلوب امکان‌پذیر است. آشکار است، در سرعت‌های زیاد دستگاه پوشش‌دهی چرخشی، ضخامت‌های کمتر به‌دست می‌آید. این روش، به دلیل اتلاف بیش از حد مواد از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵).

در این روش، محلولی از مواد مدنظر بر زیرلایه‌ای مناسب پوشش‌دهی می‌شود. بدین ترتیب که با چرخش دستگاه در سرعت و شتاب کنترل شده، لایه نازکی از مواد (چند ده نانومتر) روی زیرلایه قرار می‌گیرد. ضخامت، شکل‌شناسی و توپوگرافی سطحی فیلم تهیه شده با این روش بسیار تکرارپذیر است. ضخامت فیلم به دست آمده به سرعت چرخش و گرانروی محلول بستگی دارد (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵).

در روش دیگری که پوشش‌دهی تیغه‌ای (doctor blading) نامیده می‌شود، در اثر حرکت تیغه تیز در فاصله‌ای معین نسبت به زیرلایه، لایه نازکی از مواد بر سطح زیرلایه به جا می‌ماند. در این روش، نسبت به روش قبل در مصرف مواد به کار گرفته شده

بیشتر صرفه جویی می‌شود، اما این فن کند است. بنابراین، برای محلول‌هایی با غلظت زیاد که تمایل به تجمع یا تبلور دارند، مناسب نیست.

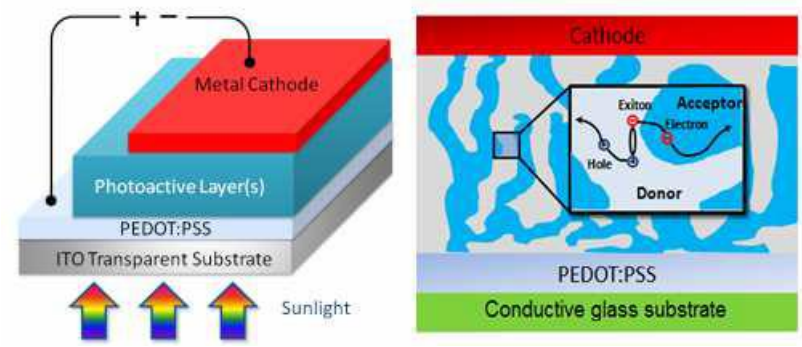
ریخته‌گری روش ساده دیگری در تهیه فیلم‌های نازک است که به تجهیزات پیچیده نیاز ندارد. در این فن، محلولی از مواد مدنظر ریخته‌گری و روی سطح زیرلایه قرار می‌گیرد و سپس خشک می‌شود. شایان توجه آن که، کنترل ضخامت فیلم‌ها در این روش دشوار است.

در روش دیگری با نام چاپ جوهرافشان، قطره‌های ریزی از محلول نمونه روی سطح زیرلایه پاشیده می‌شود. تشکیل این قطره‌ها با اعمال فشار مکانیکی روی محلول نمونه انجام پذیر است. سپس، این قطره‌ها باردار می‌شوند و با کمک میدان الکتریکی به سمت زیرلایه شتاب می‌یابند. در این روش، محلول نمونه باید از گرانروی کمی برخوردار بوده و از نظر الکتریکی باردار باشد. بدین ترتیب، می‌توان چند لایه از مواد مختلف را به سادگی روی هم پوشش داد.

نکته مهم در روش‌های مختلف پوشش‌دهی، ضخامت لایه فعال سلول خورشیدی پلیمری است. به طورکلی، این سلول‌ها ضخامت نانومتری دارند. اما طول مسیر نفوذ در لایه فعال برای انتقال الکترون، از حفره دهنده به پذیرنده الکترون در حدود ۱۰ nm است که معماری لایه فعال و ضخامت آن در این انتقال‌ها بسیار مؤثر است.

تولید سلول‌های خورشیدی پلیمری در مقیاس صنعتی با روش تولیدی آن‌ها در آزمایشگاه متفاوت است. برای پوشش دهی درمقیاس تجاری از روش‌های پیوسته استفاده می‌شود. مهمترین این روش‌ها فن غلتک است که با عنوان قرقره به قرقره یا غلتک به غلتک شناخته می‌شود. در این روش از زیرلایه‌های انعطاف پذیری استفاده می‌شود که روی غلتک حرکت می‌کنند. بدین ترتیب، این روش تاکنون تنها به منظور ساخت سلول‌های خورشیدی پلیمری انعطاف‌پذیر استفاده شده است. در این روش، پس از شست-وشوی مناسب و آماده سازی زیرلایه با روش‌هایی، مانند پوشش‌دهی، لایه فعال به ضخامت ۱۰۰-۲۰۰ nm پوشش‌دهی می‌شود (کیانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵). سپس، لایه تماس فلزی روی آن ایجاد شده و عملیات گرمادهی و خشک کردن انجام می‌شود. اگر ترکیبات لایه فعال به هوا یا رطوبت حساس باشند، تمام فرایند باید در جو بی اثر یا هوای خشک انجام شود. فنونی مانند قرقره به قرقره امکان تولید روزانه ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ متر مربع از مدول‌های پلیمری را فراهم میکنند. در حالی که تولید چنین مساحتی از صفحه‌های سیلیکونی یک سال به طول می‌انجامد.

هزینه ساخت سلول‌های خورشیدی پلیمری بین $\$/m^2$ ۴۸ تا $\$/m^2$ ۱۳۸/۹ تخمین زده می‌شود. با درنظر گرفتن بازده تبدیل انرژی ٪ ۵ و پایداری ۵ ساله هزینه تولید مدول‌های پلیمری بین $\$/W$ ۱ تا $\$/W$ ۲/۸۳ برآورد می‌شود. این هزینه‌ها سلول‌های خورشیدی پلیمری را از جنبه اقتصادی با سلول‌های خورشیدی سیلیکونی قابل رقابت می‌سازد. در لایه فعال سلول‌های خورشیدی پلیمری، پلیمرهای رسانای مزدوج به عنوان ترکیبات دهنده و پذیرنده الکترون به کار می‌روند (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵).

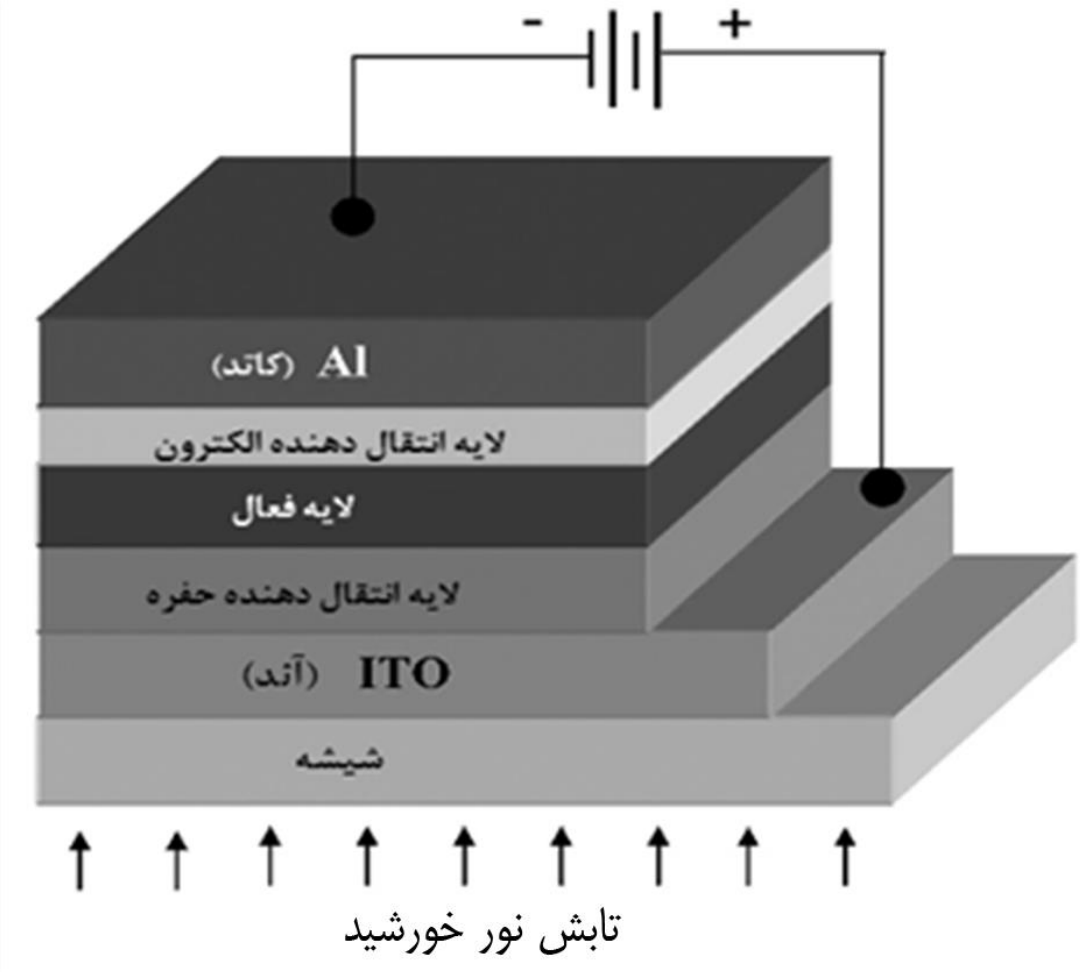


شکل ۳- ساختار یک سلول خورشیدی پلیمری (سمت چپ)، ساختار سلول خورشیدی توده با اتصالات ناهمگن (سمت راست) (کیانی و همکاران، ۱۳۹۱)

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

اجزای اصلی سلول‌های خورشیدی پلیمری

سلول خورشیدی پلیمری به‌طورکلی از اجزای زیر تشکیل شده است: (شکل ۴)



شکل۴- طرحی از ساختار سلول خورشیدی پلیمری (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵)

- شیشه: شیشه به‌عنوان زیرلایه در ساخت سلول‌های خورشیدی پلیمری به کار می‌رود. به‌منظور ساخت سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر می‌توان از زیرلایه‌های انعطاف‌پذیر، مانند پلی اتیل نترفتالات (PET) نیز استفاده کرد. زیرلایه باید شفاف باشد، به‌گونه‌ای که نور خورشید به راحتی و بدون جذب در زیرلایه به لایه‌های درونی‌تر انتقال یابد.

- فوتوآند: در اکثر سلول‌های خورشیدی پلیمری ایندیم قلع اکسید (ITO)، به عنوان ماده شفاف و نیمه رسانا برای استفاده در نور آند به‌کار می‌رود. این ترکیب به‌طور معمول با روش پوشش‌دهی پاششی (sputtering) روی سطح شیشه پوشش می‌یابد. به دلیل شفافیت مناسب و تابع کار (work function) بزرگ برای استفاده در نور آند سلول‌های خورشیدی پلیمری مناسب است. در سال‌های اخیر، مطالعاتی به‌منظور جایگزین کردن ITO با مواد رسانای ارزان‌تر انجام شده است.

- لایه انتقال‌دهنده حفره (HTL): بسیاری از ساختارها از لایه انتقال‌دهنده حفره روی آند بهره می‌برند. HTLاز نفوذ الکترون‌ها به سمت آند جلوگیری کرده و نقش مهمی در جمع آوری اثرگذارتر و کارآمدتر بار الکتریکی تولید شده ایفا می‌کند. مهمترین پلیمر رسانا که به عنوان HTL در ساختار سلول‌های خورشیدی پلیمری استفاده می‌شود، پلی(۴،۳ -اتیلن دی اکسی تیوفن): پلی (استیرن سولفونات) (PEDOT:PSS) است که لایه نازکی از آن با روش پوشش‌دهی چرخشی روی ITO قرار می‌گیرد.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

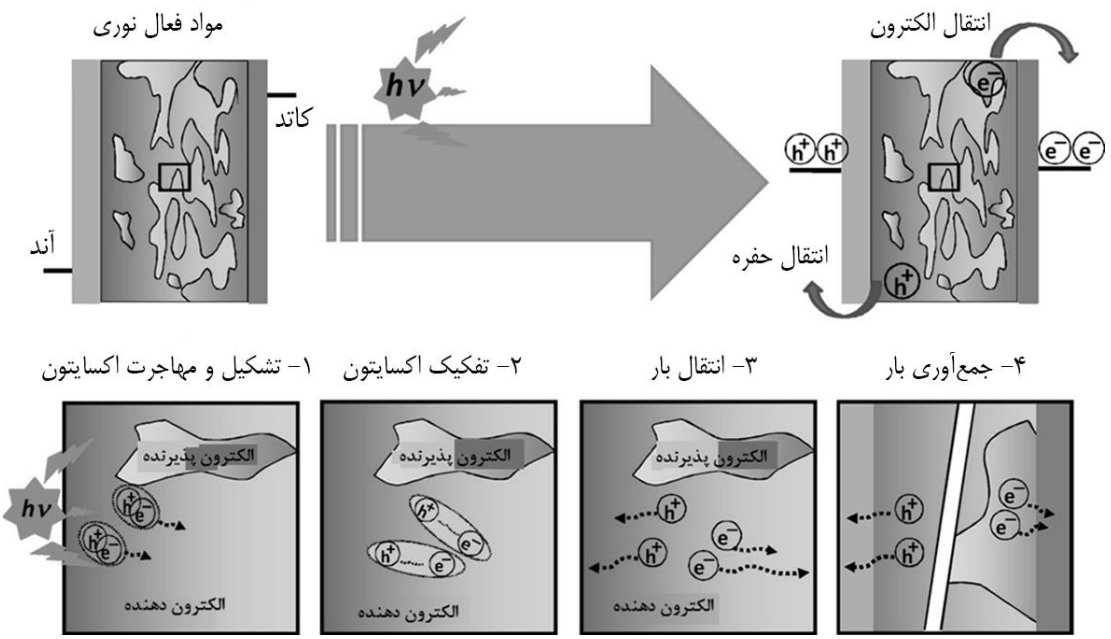
- لایه فعال: مهمترین بخش در سلول‌های خورشیدی پلیمری لایه فعال است که مسئولیت جذب تابش و تولید اکسایتون را برعهده دارد. در اکثر ساختارها لایه فعال از دو جزء الکترون‌دهنده و الکترون‌پذیرنده تشکیل می‌شود. نکته مهم در انتخاب این ترکیبات نحوه قرارگیری ترازهای انرژی در آن‌هاست. لایه نانومتری از مواد پلیمری با نوار فاصله و ترازهای انرژی مناسب با روش پوشش‌دهی چرخشی روی HTL پوشش داده می‌شود.

- لایه انتقال دهنده الکترون: این لایه به عنوان لایه سدکننده حفره نیز شناخته می‌شود و به‌منظور تفکیک مناسب‌تر الکترون و انتقال آن به طرف کاتد نیز کاربرد دارد. LiF از رایج‌ترین این ترکیبات است.

- کاتد: این بخش از سلول خورشیدی پلیمری از ترکیباتی با تابع کار کوچک مانند Al ، Ca، Cuو Au یا ترکیبی از آنها بهره می‌برد تا در اثر برقرار شدن اختلاف تابع کار میان آند و کاتد، امکان انتقال بار فراهم شود. به‌طور معمول، پوشش‌دهی کاتد به روش پاششی یا تبخیری در خلأ (PVD) اتفاق می‌افتد (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ کیانی و همکاران، ۱۳۹۱).

سازوکار عملکرد سلول‌های خورشیدی پلیمری

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، فرایند تبدیل نور به الکتریسیته به‌وسیله سلول‌های خورشیدی پلیمری در چهار مرحله رخ می‌دهد که در ادامه معرفی می‌شوند. تغییر نوع مواد به کار رفته در ساختار این دستگاه‌ها و متغیرهایی مانند دما و رطوبت بر کارایی هر یک از این مراحل اثرگذار است.



شکل ۵- سازوکار عملکرد سلول خورشید پلیمری (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵).

۱) جذب فوتون و تولید جفت الکترون- حفره: در این مرحله پلیمر مزدوج که در ساختار لایه فعال به‌کار گرفته شده است، به واسطه جذب نور خورشید برانگیخته می‌شود و زوج الکترون – حفره یا اکسایتون تولید می‌کند. همان‌طور که گفته شد، به دلیل ثابت دیالکتریک کوچک پلیمرهای رسانا در اثر برانگیختگی با تابش، اکسایتون تولید می‌شود.

۲) نفوذ اکسایتون به فصل مشترک ترکیبِ دهنده و پذیرنده الکترون: اکسایتون پس از شکل‌گیری به مرز مشترک ترکیبات الکترون دهنده و پذیرنده نفوذ می‌کند.

۳) تفکیک اکسایتون در مرز مشترک میان ترکیبات دهنده و پذیرنده الکترون و تولید الکترون‌ها و حفره‌های آزاد: برای تفکیک اکسایتون‌ها، میدان الکتریکی قوی لازم است. در سطح تماس ترکیبات‌دهنده و پذیرنده الکترون زمانی که تغییری ناگهانی در انرژی

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

پتانسیل رخ می‌دهد، میدان الکتریکی به نسبت قوی شکل می‌گیرد. بنابراین، اکسایتون‌ها پیش از آن که از بین بروند، باید به این منطقه برسند. در غیر این حالت، ممکن است با آسایش تابشی یا غیرتابشی انرژی خود را از دست بدهند. محدوده نفوذ اکسایتون‌ها در پلیمرها و به طورکلی در مواد نیمه رسانای آلی nm ۱۰ -۲۰ است. این مسئله در زمان طراحی لایه فعال در سلول‌های خورشیدی پلیمری باید درنظر گرفته شود(کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ کیانی و همکاران، ۱۳۹۱).

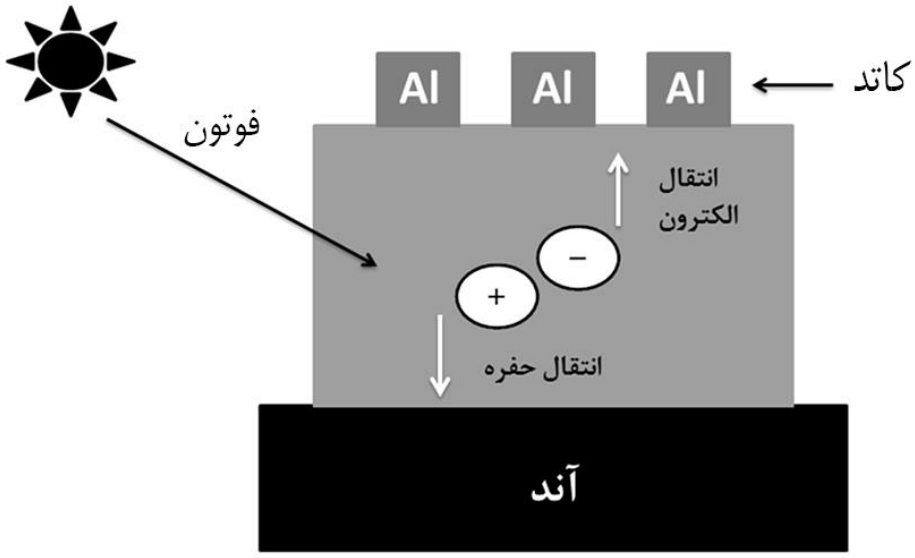
۴) انتقال بار به کاتد و آند و تولید جریان الکتریکی: بارهای آزاد تولید شده باید پیش از تخریب به الکترود مناسب رسیده و جمع-آوری شوند. برای این منظور، حاملان بار به نیروی محرکه نیاز دارند. در محل تماس ترکیبات پذیرنده و دهنده الکترون شیبی در پتانسیل شیمیایی الکترون‌ها و حفره‌ها ایجاد می‌شود. این شیب از تفاوت انرژی تراز HOMO ترکیب دهنده الکترون و تراز LUMO ترکیب پذیرنده الکترون ایجاد می‌شود که می‌تواند میدان الکتریکی درونی ایجاد کند. به کاربردن دو الکترود با تابع کار مختلف) با هدف جمع آوری الکترون و حفره (موجب به وجودآمدن میدان الکتریکی بیرونی می‌شود که همراه با میدان الکتریکی درونی به حرکت حاملان بار کمک می‌کنند. شیب غلظتی که در حاملان بار وجود دارد نیز موجب ایجاد جریان‌های نفوذی می‌شود که خود محرک دیگری برای حرکت الکترون‌ها به‌سمت کاتد و حفره‌ها به سوی آند است (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ کیانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ زنگی آبادی و فرجی، ۱۳۹۵).

انواع سلول‌های خورشیدی پلیمری بر اساس ساختار لایه فعال

سلول‌های خورشیدی پلیمری از ابتدای پیدایش تاکنون، طراحی‌های مختلفی را پشت سر گذاشته‌اند. تغییر در معماری سلول خورشیدی، به تغییر عملکرد دستگاه و درنهایت، تغییر بازده تولید انرژی ایجاد شده از آن منجر می‌شود. از آنجا که محدوده نفوذ اکسایتون‌ها در این نوع از سلو لها کم است، دستیابی به ساختارهایی که بتوانند با مقدار طول نفوذ اکسایتون متناسب باشند، دارای اهمیت است. در ادامه انواع ساختارهای موجود برای سلول‌های خورشیدی پلیمری ارائه می‌شوند (کاظمی فرد و همکاران، ۱۳۹۵).

سلول‌های خورشیدی پلیمری تک‌لایه

ساده‌ترین ساختار در میان سلول‌های خورشیدی پلیمری به نوع پلیمری تک‌لایه تعلق دارد (شکل ۶). این دستگاه‌ها از قرارگرفتن یک لایه مواد پلیمری رسانا به ترتیب میان دو الکترود آند با تابع کار بزرگ و الکترود کاتد با تابع کار کوچک ساخته می‌شوند. اختلاف در تابع کار میان دو الکترود به شکل گیری میدان الکتریکی درونی در لایه فعال پلیمری منجر میشود. زمانی که نور به وسیله لایه پلیمری جذب می‌شود، الکترون‌ها از اوربیتال HOMO به اوربیتال LUMO ترکیب پلیمری دهنده الکترون برانگیخته شده و اکسایتون تشکیل می‌شود.

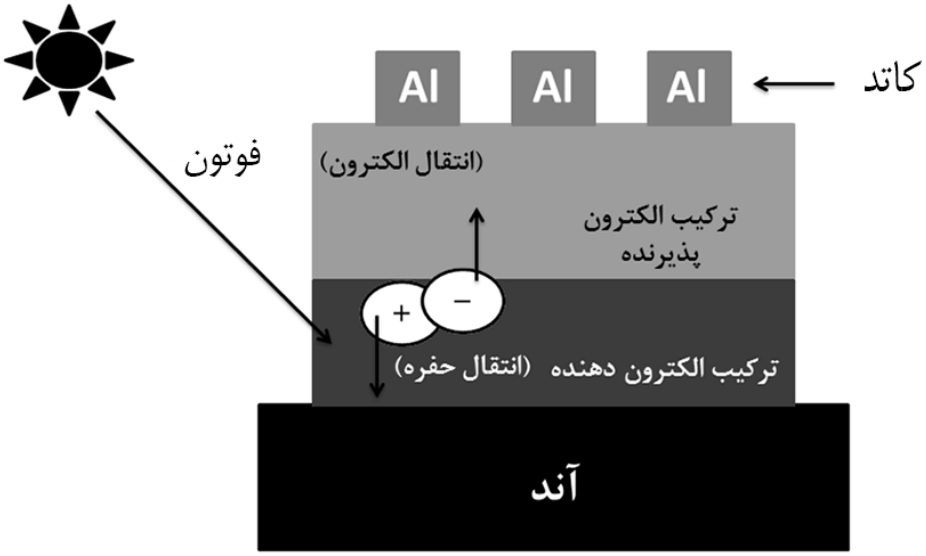


شکل۶- طرحی از سلول خورشیدی پلیمری تک لایه

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

سلول‌های خورشیدی پلیمری دولایه

همان طور که در شکل ۷ نمایش داده شده است،این نوع از سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای دو لایه پلیمر رسانا متفاوت میان کاتد و آند هستند. این لایه‌ها از نظر الکترون‌خواهی و انرژی یونی شدن با یکدیگر متفاوت هستند. بنابراین، در سطح مشترک میان دولایه متصل به هم، نیروهای الکتروستاتیکی ایجاد می شود. هر چه میدان‌های الکتریکی ایجاد شده بزرگتر باشند، امکان جدایش مؤثرتر اکسایتون‌ها را نسبت به سلول‌های خورشیدی پلیمری تک‌لایه فراهم می‌آورند. لایه دارای الکترون‌خواهی و پتانسیل یونی شدن بیشتر به عنوان لایه پذیرنده الکترون و لایه دیگر، دهنده الکترون است.

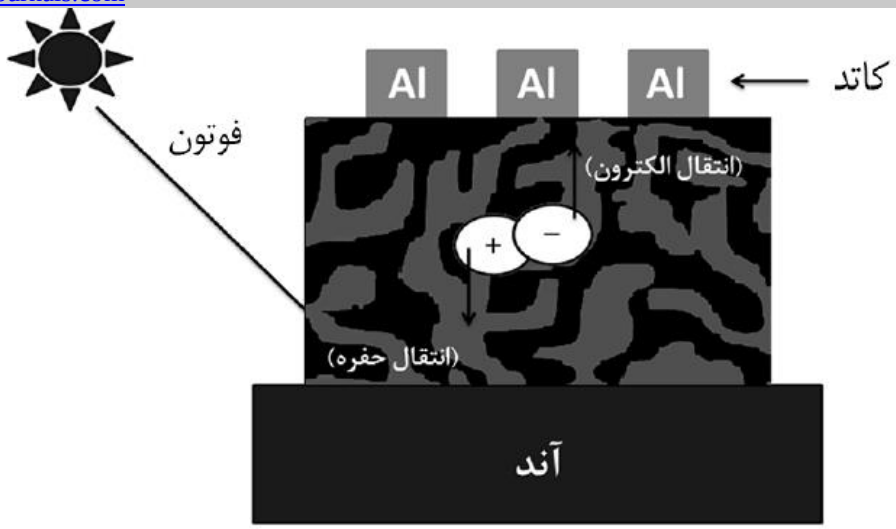


شکل ۷- طرحی از سلول خورشیدی پلیمری دولایه

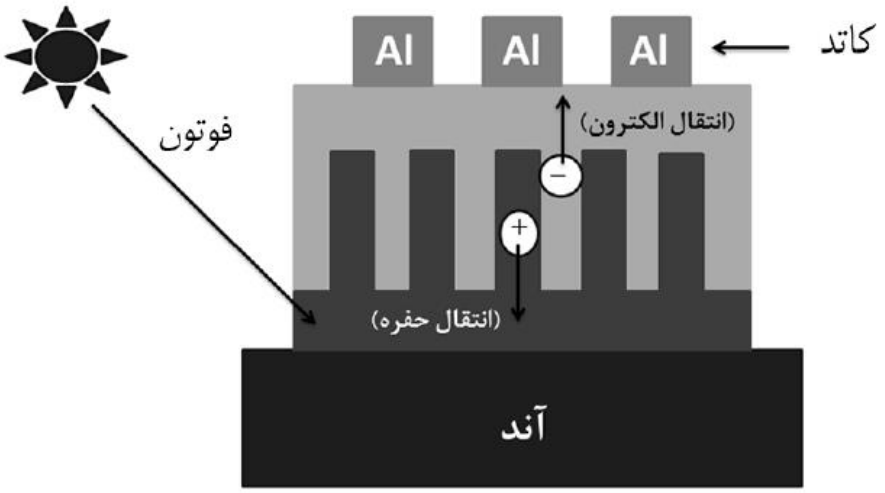
سلول‌های خورشیدی پلیمری با ناجور اتصالات توده‌ای (BHJ)

ضعف عملکردی در سلول‌های خورشیدی پلیمری دولایه به ارتقای ساختار لایه فعال در این گروه از سلوله‌ای خورشیدی منجر شده است. ساختار جدید ارائه شده ساختار ناجور اتصال
توده‌ای(bulk heterojunction) نام دارد. علت ضعف موجود در سلول‌های خورشیدی پلیمری دولایه آن است که لایه پلیمری به‌منظور جذب تابش فوتون باید دستکم دارای ضخامت ۱۰۰ nm باشد. در چنین ضخامتی تنها بخش کمی از اکسایتون‌های تولید شده می‌توانند به فصل مشترک دو لایه دهنده و پذیرنده الکترون دست یابند. به‌منظور رفع این مشکل، سلول‌های خورشیدی BHJ
طراحی شدند (شکل ۸). در این دستگاه‌ها ترکیبات پلیمری الکترون‌گیرنده و الکترون‌دهنده با یکدیگر مخلوط می‌شوند. این اختلاط موجب افزایش سطح تماس میان هردو فاز دهنده و پذیرنده الکترون می‌شود. درنهایت، این کار به بهبود کارایی سلول خورشیدی پلیمری منجر می‌شود. درچنین ساختاری تعداد زیادی از اکسایتون‌های تولیدی در لایه فعال امکان رسیدن به سطح مشترک میان دولایه را دارند و به‌طور مؤثر جدا می‌شوند. به دلیل افزایش سطح مؤثر، مقدار بازترکیب در این ساختارها تا حد درخور توجهی کاهش می‌یابد.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



(الف)



(ب)

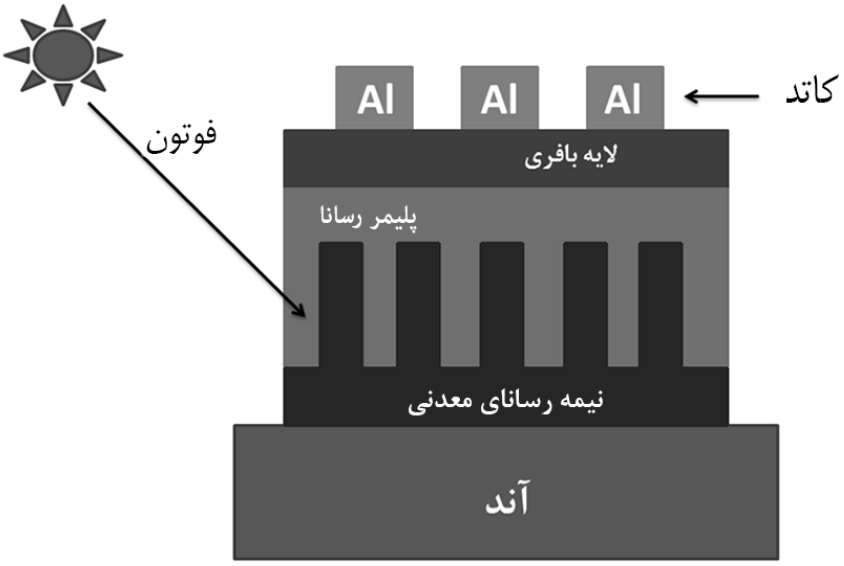
شکل ۸- سلول‌های خورشیدی پلیمری با ناجور اتصالات توده‌ای: الف) لایه فعال تصادفی، ب) ساختار ایده‌آل.

سلول‌های خورشیدی پلیمری هیبریدی

پس از گسترش سلول‌های خورشیدی BHJ ، انواع پلیمری هیبریدی طراحی شدند. تاکنون ترکیبات متنوعی به عنوان پذیرنده الکترون در ساختار سلول‌های خورشیدی پلیمری BHJ استفاده شده است که از آنها می‌توان پلیمرهای مزدوج، فولرن ها و نانوبلورهای غیرآلی را نام برد. در سلول‌های خورشیدی پلیمری هیبریدی BHJ از ترکیبات غیرآلی، به‌ویژه اکسیدهای فلزی به عنوان پذیرنده الکترون و از پلیمرهای مزدوج به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌شود. از میان مواد غیرآلی، اکسیدهای فلزی ترکیباتی که بیشترین مطالعه درباره آنها انجام شده است، می‌توانند به عنوان الکترون‌پذیر عمل کنند. اگرچه عملکرد سلول‌های خورشیدی پلیمری هیبریدی در مقایسه با دستگاه‌هایی که از ترکیبات فولرن به عنوان پذیرنده الکترون استفاده می‌کنند، کمتر است، اما ظرفیت دستیابی به عملکرد بهتر را نوید می‌دهند. این در حالی است که سلول‌های خورشیدی هیبریدی مزایای منحصر به فرد خود را، یعنی هزینه تولید کم، نازکی، انعطاف پذیری و آسانی تهیه حفظ کرده‌اند. با تغییر اندازه نانوذرات غیرآلی نوار فاصله و سطوح انرژی آنها به دلیل اثر اندازه کوانتومی تغییر می‌کند. از سوی دیگر، در این دستگاه‌ها هر دو جزء پلیمری و نانوبلوری از

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

قابلیت جذب نور برخوردارند. این نانوذرات می‌توانند ساختار پایدار و بلندی نیز (حدود nm ۱۰۰-۲) فراهم کنند و موجب بهبود انتقال بار و تفکیک اکسایتون‌ها شوند شکل ۹ ساختاری از سلول خورشیدی هیبریدی را نشان می‌دهد



شکل ۹- طرحی از سلول خورشیدی پلیمری هیبریدی

مزایا، معایب و کاربردهای سلول‌های خورشیدی پلیمری

از جمله مزایای سلول‌های خورشید پلیمری نسبت به سایر انواع سلول‌های خورشیدی، می‌توان به هزینه پایین تولید، ایجاد سطح وسیع، انعطاف‌پذیری و نیز از جمله معایب این نسل، می‌توان به جریان الکترونی پایین، مشخصه‌های جذبی که مناسب برای طیف خورشید نیستند، تخریب محیطی و غیره اشاره نمود، با توجه به اهمیت دستیابی به سلول‌های خورشیدی با هزینه پایین محققان در تلاش برای بهبود کارایی این نسل و بر طرف نمودن معایب آن هستند.

در راستای صنعتی سازی این سلول‌های خورسیدی شرکت‌های کونرکا، پلکس ترونیک، هلیاتک، مشغول می‌باشند که در شکل ۱۰ نمونه‌هایی از کاربردهای این سلول خورشیدی که به صدرت صنعتی تولید شده‌اند، آورده شده است (کیانی و همکاران، ۱۳۹۱).

شکل ۱۰- کاربردهای مختلف صنعتی شده از سلول‌های خوشیدی پلیمری (کیانی و همکاران، ۱۳۹۱)

نتیجه گیری

محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضرورت توجه بیش از پیش به انرژی‌های تجدید پذیر را نمایان می‌سازد. از میان انرژی‌های تجدید پذیر انرژی خورشیدی یکی از بزرگترین منابع انرژی در جهان است. سلول‌های خورشیدی ابزاری هستند که نور خورشید را بر طبق اثر فوتوولتاییک به جریان الکتریسیته تبدیل می‌کنند. در سال‌های اخیر، به دلیل توسعه نسل‌های مختلف سلول‌های خورشیدی، انواع گوناگونی از آن ها، شامل سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، حساس شده به رنگ دانه، نقاط کوانتومی، آلی و نسل‌های جدید ساخته شده‌اند.

در میان انواع سلول‌های خورشیدی، انواع پلیمری آنها به دلیل سبک بودن و انعطاف صفحه‌های آن، ضریب جذب زیاد مواد پلیمری، کم هزینه بودن فنون ساخت و بازده تبدیل انرژی مناسب، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. سلول خورشیدی پلیمری در کنار داشتن مزایای بسیار زیاد، دارای بازه پایینی می‌باشد که استفاده از روش‌های مختلفی جهت افزایش بازدهی این نوع سلول پیشنهاد گردیده است. بنابراین، با طراحی جدید در ساختار سلول‌های خورشیدی پلیمری می‌توان دست یابی به بازده بیشتر و کاربرد صنعتی و پایه‌ای این دستگاه‌ها را نوید داد.

منابع:

۱- آهنگرانی فراهانی، فرزانه.، مرندی، مازیار.، حساس سازی همزمان سلول‌های خورشیدی نقاط کوانتومی متشکل از فوتوآند نانوبلوری TiO_2 با نانوذرات PbS و CdS و بررسی تأثیر نقاط کوانتومی PbS بر عملکرد سلول خورشیدی، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۷، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۶.

۲- احمدی گورجی، خدیجه.، احمدی، مهدی.، میر عباس زاده، کاووس.، نقش نانو ساختارها در عملکرد سلول‌های خورشیدی پلیمری، ماهنامه فناوری نانو، مرداد ۱۳۹۰.

۳- بدری، محمد علی.، عالم رجبی، علی اکبر.، زمانی، بتول.، مدلسازی عددی و ارزیابی تجربی عملکرد سلول‌های خورشیدی تحت تمرکز نور خورشید؛ مجله مهندسی مکانیک، شماره ۸۲ف جلد ۴۸، بهار ۱۳۹۷.

۴- پری‌زاده، محسن.، رستم‌زده، جهانگیر.، بررسی تولید الکتریسیته در سلول‌های خورشیدی پلیمری با اتصالات مخالف؛ اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست، ۱۳۹۳.

۵- حسین‌پور دهکردی، مهرداد.، شهریور قوزوللو، جعفر.، نیک بین، سعید.، کازرونی، حنیف.، ساخت سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ با ایتفاده از ساختارهای کروی و نانو حفره TiO_2 ؛ مجله مواد و فناوری‌های پیشرفته، جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳.

۶- خسروی، مهرداد.، صالحی، سعید.، حسینی آباد شاپوری، مهدی.، طالع‌زاری، مجتبی.، عابدی، محسن.، افزایش بازده سلول های خورشیدی یک ماهواره با نشانه روی خورشیدی از طریق طراحی بهینه پیکربندی لوله‌های حرارتی به روش الگوریتم ژنتیک؛ ماهنامه علمی- پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۹، شماره ۴، فرودین ۱۳۹۸.

۷-زنگی آبادی، زهره.، فرجی، رضا.، سلول‌های خورشیدی پلیمری و افزایش بازده آن با استفاده از نانوساختارها، فاولین همایش ملی مهندسب برق باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، اردیبهشت ۱۳۹۵.

فیروزی، آرزو.، محمدی، احمد.، طراحی سلول‌های خورشیدی نانوپلاسمونیکی بر اساس برانگیختگی مدهای اپتیکی درون سلول؛ مجله پژوهش سیستم‌های بس ذره‌ای، دروه ۷، شماره ۱۵، زمستان ۱۳۹۶.

۸- کاظمی‌فرد، شعله.، ناجی، لیلا.، افشار طارمی، فرامرز.، فخاران، زهرا.، مروری بر سلول‌های خورشیدی پلیمری، سازو کار عملکرد و مشخصه‌یابی آنها، بسپارش فصلنامه علمی- ترویجی، سال ششم، شماره ۳، ۱۳۹۵.

۹- کیانی، سجاد.، صباغ الوانی، علی اصغر.، خراسانی، منوچهر.، موسی خانی، شیما.، سلول‌های خورشیدی پلیمری: ساختار، عملکرد و روش‌های بهبود بازدهی، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۱۳۹۱.

۱۰- کریم‌پور، کریم.، قادری، آرام.، روش‌های افزایش بازده توان خروجی در سلول‌های خورشیدی؛ مجله نخبگان علوم و مهندسی، جلد۳، شماره ۴، ۱۳۹۷.

۱۱- یعقوبی‌نژاد، یدالله.، اشرفی گل، عاطفه.، دهنوی، فاطمه.، لطف الهی، غزل.، محمدزاده، مرتضی.، وکیلی، احسان.، نظری، امیر سجاد.، معرفی سلول‌های خورشیدی لایه نازک مبتنی بر ترکیبات گرافنی نانوساختار با توجه به پتانسیل‌های استان خراسان جنوبی؛ کنفرانس ملی فرصت‌ها و محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در حوزه صنعت خراسان جنوبی، بیرجند، فروردین ۱۳۹۶.