

سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ با الکترولیت‌های ژلی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز

ملیحه خلیلی^۱، محمد عابدی^{۲*}، حسین سالار آملی^۳، سید احمد مظفری^۴

^۱ دانشجوی دکتری پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

malihekhali91@gmail.com

^{۲*} استادیار پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

mabedi50@yahoo.com

^۳ استاد پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

salar@irost.ir

^۴ استادیار پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

mozaffari2004@yahoo.com

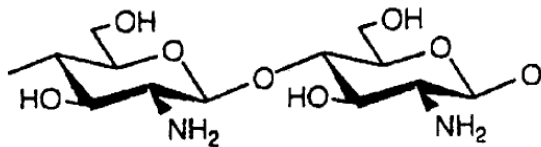
چکیده

در این تحقیق، پلیمرهای زیستی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز به‌عنوان عامل ژل‌کننده الکترولیت در ساخت سلول خورشیدی حساس شده با رنگ مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور بررسی اثر این دو پلیمر بر عملکرد سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ، مقادیر یکسانی از این دو پلیمر به‌طور مجزا به الکترولیت‌های مایع که هر دو شامل غلظت یکسانی از زوج اکسایش - کاهش I/I_3^- بودند، اضافه شد. مطالعه طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و نتایج اندازه‌گیری‌های فتولتائی سلول‌ها نشان داد که بازده دریافتی از سلول خورشیدی حاوی کربوکسی متیل سلولز بیشتر از سلول حاوی کیتوسان بود.

واژه‌های کلیدی: سلول خورشیدی حساس شده با رنگ، کیتوسان، کربوکسی متیل سلولز، الکترولیت ژلی.

۱. مقدمه

دریافتی از سلول بیشتر بوده و همچنین به علت عدم تبخیر و نشت حلال، پایداری بالاتری نسبت به الکترولیت‌های مایع دارند. بنابراین استفاده از الکترولیت‌های نیمه جامد راهکار مناسبی جهت تجاری‌سازی این نوع سلول‌هاست [۴-۶]. تاکنون از بیوپلیمرهای متعددی از جمله کیتوسان^۲، آگاروز^۳، سلولز و مشتقات آن به عنوان عامل ژل‌کننده در ساخت این نوع سلول‌ها استفاده شده است [۷-۱۱]. کیتوسان یک مولکول پلی ساکارید است که حلالیت آن در محلول آبی اسیدهای رقیق به پروتونه شدن گروه‌های آمین موجود در آن در محیط اسیدی نسبت داده می‌شود [۱۲]. پروتونه شدن کیتوسان خاصیت یونی محلول ژلی آن را افزایش داده و توانایی انتقال بار آن را افزایش می‌دهد، بنابراین قابلیت استفاده به عنوان الکترولیت در سلول‌های شیمیایی و به طور خاص در سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ^۴ (DSSC) را خواهد داشت. ساختار شیمیایی کیتوسان در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): ساختار شیمیایی پلی ساکارید کیتوسان [۱۲]

کربوکسی متیل سلولز یا (CMC) از مشتقات (سلولز فراوان‌ترین پلیمر زیستی طبیعی) است. این ماده از استخلاف شدن گروه‌های کربوکسی متیل (-COOH-CH₂) به جای برخی از گروه‌های هیدروکسیل (-OH) در سلولز به دست می‌آید که به علت وجود گروه‌های کربوکسی متیل حلالیت بالایی در آب دارد و همچنین ویسکوزیته مطلوبی را ایجاد می‌کند و با توجه به ویسکوزیته خوبی که در محلول ایجاد می‌کند، به عنوان عامل ژل‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳]. ساختار شیمیایی کربوکسی متیل سلولز در شکل (۲) نشان داده شده است.

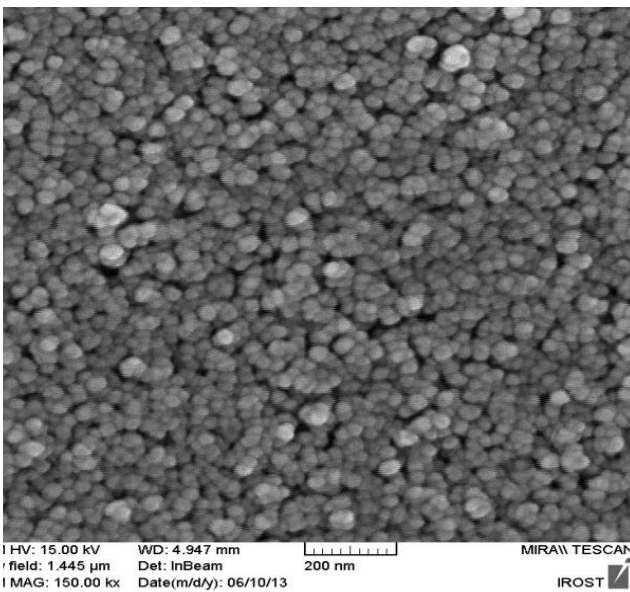
بدین منظور در این تحقیق، از پلیمرهای زیستی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز که زیست سازگار بوده و در دسترس می‌باشند، به عنوان عامل ژل‌کننده الکترولیت در ساخت سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ استفاده شده و عملکرد سلول‌ها مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

به دلیل افزایش تقاضای انرژی در دنیا و مشکل از بین رفتن سوخت‌های فسیلی و ایجاد اثر گلخانه‌ای ناشی از مصرف آن‌ها، جست‌وجوی منابع انرژی پاک که از نظر پسماند مشکلی نداشته باشند، ضروری است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشید به عنوان یک منبع انرژی تمام‌شدنی، یکی از قابل قبول‌ترین منابع است. سلول خورشیدی وسیله‌ای است که انرژی خورشید را از طریق اثر فتوولتائیک، به طور مستقیم به الکتریسته تبدیل می‌کند. سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ در مقایسه با سایر سلول‌های خورشیدی به علت ساخت آسان و کم هزینه بودن مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱]. در مرحله اول، ترکیب رنگی حساس به نور با جذب فوتون از حالت پایه (D) به حالت برانگیخته (D*) می‌رود. درباره فرایند جذب هر چقدر مقدار ضریب جذب مولی ماده رنگی بیشتر باشد، احتمال این جذب بالاتر و در نتیجه، جذب مؤثرتری خواهد بود. در مرحله بعد، الکترون‌های موجود در حالت برانگیخته رنگ به تراز رسانش دی‌اکسید تیتانیوم (TiO₂) تزریق شده که در نهایت رنگ اکسید می‌گردد. زوج الکترون-حفره در مرز مشترک رنگینه-نیمه هادی از یکدیگر جدا شده و الکترون‌های منتقل شده به نوار رسانش دی‌اکسید تیتانیوم بین ذرات آن منتقل شده و به آند از جنس شیشه هادی شفاف پوشش داده شده با لایه‌های اکسید فلزی (TCO^۱) رسیده و بعد هم از طریق مدار خارجی به الکتروکد کمکی می‌رسد. گونه Ox از الکتروکد کمکی (کاتد) الکترون دریافت نموده و احیا شده و در نهایت گونه Red تولید می‌شود. رنگینه اکسایش یافته، الکترون را از طریق گونه Red گرفته و به حالت اولیه خود باز می‌گردد و در نتیجه، مجدداً گونه Ox تولید می‌شود [۳]. پارامتر مهم جهت تجاری شدن و ورود سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ به بازار، پایداری زمانی قابل قبول سلول‌های تهیه شده در آزمایشات تحت شرایط ملایم (دمای پایین و عدم حضور نور UV) و طول عمر آن‌هاست. علی‌رغم راندمان بالای سلول‌های خورشیدی با الکترولیت مایع، به علت تبخیر و نشت الکترولیت، ولتاژ خروجی آنها به مرور کاهش می‌یابد. لذا به عنوان اولین راه‌حل از الکترولیت‌های جامد در ساخت سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ استفاده شد، اما در الکترولیت‌های جامد نفوذپذیری به شبکه نانوذره‌ای دی‌اکسید تیتانیوم و انتقال بار به آن کم بوده و لذا بازده این سلول‌ها پایین است، بنابراین اخیراً توجه زیادی به استفاده از الکترولیت‌های نیمه جامد (ژلی) در ساخت سلول‌های خورشیدی معطوف شده است. در الکترولیت‌های نیمه جامد به دلیل سرعت نفوذپذیری و انتقال بار بالاتر در مقایسه با الکترولیت‌های جامد، بازده

2. Chitosan
3. Agarose
4. Dye Sensitized Solar Cells

1. Transparent Conductive Oxide

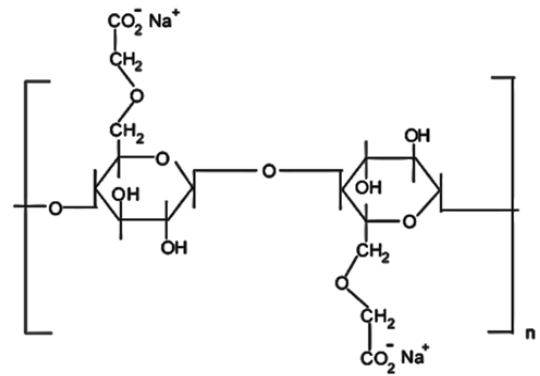
بار تقطیر و اتانول لایه‌ها را به مدت ۳۰ دقیقه در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده که در نهایت، لایه‌ها با ضخامت ۷ میکرومتر دی‌اکسید تیتانیوم پس از سرد شدن تا حد دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در محلول رنگینه ۰/۴ میلی‌مولار N719 در حلال اتانول قرار گرفت. پس از خارج کردن لایه از محلول رنگ، لایه پوشش داده شده با اتانول شسته شده و پس از خشک شدن جهت ساخت سلول مورد استفاده قرار گرفت [۱۴]. شکل (۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی از لایه نانو ساختار تیتانیوم دی‌اکسید با میانگین ذرات ۲۰ نانومتر را که در ساخت این سل‌ها استفاده شده است، نشان می‌دهد. این تصویر با استفاده از دستگاه FE-SEM مدل Tescan Mira II ساخت کشور جمهوری چک به دست آمده است.



شکل (۳): تصویر میکروسکوپ الکترونی لایه نانو ساختار دی‌اکسید تیتانیوم به کاررفته در فوتوآند سل خورشیدی حساس شده با رنگ

۳.۲ روش آماده‌سازی کاتد

شیشه FTO با مقاومت الکتریکی ۱۰ اهم از سمت غیررسانا و با استفاده از الماس و به ابعاد ۱/۵ در ۱ سانتی‌متر برش داده شده و جهت تزریق الکترولیت با استفاده از فرز مینیاتوری سوارخی به ابعاد ۰/۶ میلی‌متر روی سمت رسانای FTO ایجاد شد. به منظور تمیز شدن سطح، لایه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد در کوره حرارت داده شده و سرد شد. سپس لایه‌ها به یک قطره محلول ۰/۵ مولار هگزا کلرو پلاتینیک اسید (H₂PtCl₆) آغشته گردید تا تمامی سطح لایه پلاتینه گردد. در نهایت تثبیت پلاتین روی سطح، مجدداً لایه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد در



شکل (۲): ساختار شیمیایی کربوکسی متیل سلولوز [۱۳]

۲. بخش تجربی

۱.۲ مواد شیمیایی مورد استفاده

استونیتربیل، استیک اسید، اتانول، استن، هیدرو کلریک اسید، دیدید پتاسیم (KI)، ید (I₂)، H₂PtCl₆ و TiCl₄ ساخت شرکت مرک، رنگینه N719، خمیر TiO₂ و پلیمر سورلین^۱ ساخت شرکت سولارونیکس، کیتوسان^۲ و سدیم کربوکسی متیل سلولوز^۳ شرکت سیگما - آلدریج مورد استفاده قرار گرفتند.

۲.۲ روش آماده‌سازی فوتوآند

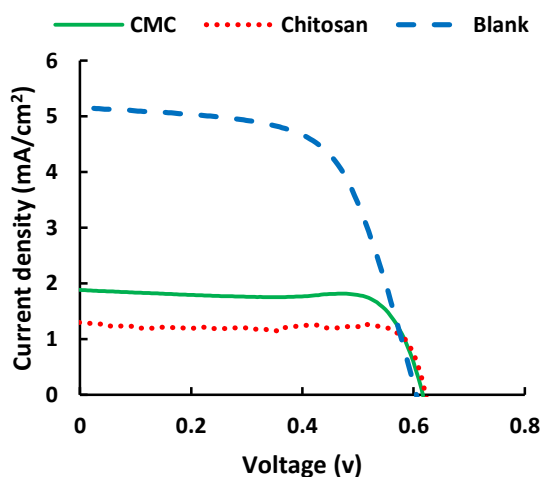
شیشه اکسید قلع آرایش شده با فلئور (FTO^۴) با مقاومت الکتریکی ۱۰ اهم از سمت غیررسانا و با استفاده از الماس و به ابعاد ۱/۵ در ۱ سانتی‌متر برش داده شد. این لایه‌های برش داده شده به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۴۰ میلی‌مولار TiCl₄ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا لایه پیش‌ساز اولیه به‌منظور جلوگیری از باز ترکیب فتوالکترون‌های تشکیل شده در لایه هدایت دی‌اکسید تیتانیوم با FTO تشکیل گردد. سپس با روش دکتر بلید^۵، خمیر دی‌اکسید تیتانیوم بر روی لایه‌های شیشه آماده‌شده در ابعاد استاندارد ۰/۵ در ۰/۵ سانتی‌متر (سطح مؤثر ۰/۲۵ سانتی‌متر مربع)، لایه نشانی گردید و به‌منظور حذف پلیمر موجود در خمیر، لایه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۰ دقیقه در دمای ۳۷۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ دقیقه در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک کوره الکتریکی با قابلیت تنظیم دما قرار گرفت. پس از سرد شدن تا دمای محیط در یک دسیکاتور، مجدداً لایه‌ها تحت تیمار تراکلرید تیتانیوم (TiCl₄) قرار گرفته و پس از شست‌وشو با آب دو

1. Surlyn
2. Chitosan
3. Carboxy Methyl Cellulose (CMC)
4. Fluorine Doped Tin Oxide
5. Doctor Blade

فوتوجریان تولیدشده ثبت گردید. در عمل برای مستقل ساختن نتایج از اندازه سلول، از چگالی جریان به جای جریان استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

به منظور مقایسه الکترولیت ژلی حاصل از کربوکسی متیل سلولز و کیتوسان در ساخت و عملکرد سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ، دو سری سلول‌های خورشیدی شبیه به هم و با الکترولیت‌های متفاوت از این پلیمرهای زیستی طراحی و ساخته شد. به منظور مقایسه سلول‌ها، به سلول‌های خورشیدی حاوی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز تحت تابش استاندارد 100 w cm^{-2} ، یک ولتاژ معکوس از پیش تعیین شده اعمال شد و فوتوجریان‌های تولید شده ثبت گردید. منحنی جریان - ولتاژ سلول‌های مزبور در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴): منحنی $J-V$ سلول خورشیدی حساس به رنگ با الکترولیت کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز

بازده تبدیل انرژی با استفاده از معادله (۱) قابل محاسبه است.

$$\mu = \frac{|JV|}{P_{in}} = \frac{V_{oc} J_{sc} FF}{P_{in}} \quad (1)$$

در این معادله، P_{in} چگالی توان ورودی، FF فاکتور پرکنندگی، V_{oc} ولتاژ مدار باز، J_{sc} چگالی جریان مدار کوتاه و μ بازده سلول است [۱۵]. پارامترهای فوتوولتائیک سلول‌های حاوی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز در جدول (۱) گزارش شده است.

از آنجایی که طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی یک روش غیرتخریبی برای بررسی و توصیف الکتروشیمیایی سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ است و از تحلیل و آنالیز امپدانس پارامترهای متعدد سلول‌های خورشیدی از جمله مقاومت انتقال بار در سطح کاتد، مقاومت باز ترکیب الکترون‌ها با الکترولیت و طول عمر مؤثر الکترون‌ها در آند

کوره حرارت داده شد و پس از سرد شدن در دسیکاتور به عنوان الکتروکاتد (مقابل) در ساخت سلول استفاده گردید [۱۴].

۴.۲. روش آماده سازی الکترولیت

مقدار 0.67 گرم KI (۴ میلی‌مول) و 0.66 گرم I_2 (۰/۲۶ میلی‌مول) در 20 میلی‌لیتر استونیتربیل حل شد. سپس این محلول قطره قطره به 25 میلی‌لیتر محلول یک درصد کیتوسان (یک گرم کیتوسان در 100 میلی‌لیتر محلول یک درصد (v/v) اسید استیک) اضافه گردید تا به ترتیب، غلظت I^- و I_2 در الکترولیت ژلی حاصل معادل $8/97 \times 10^{-2}$ و $5/77 \times 10^{-4}$ مولار شد. از ژل حاصل به عنوان الکترولیت نیمه جامد در ساخت سلول استفاده شد. برای ساخت الکترولیت حاوی کربوکسی متیل سلولز دقیقاً مانند کیتوسان عمل گردید، با این تفاوت که برای حل کردن کربوکسی متیل سلولز از آب مقطر دو با تقطیر استفاده شد. الکترولیت شاهد نیز مطابق روش فوق و با این تفاوت تهیه گردید که در آن از عامل ژل کننده استفاده نشد.

۵.۲. آب‌بندی و تزریق الکترولیت

پس از آماده‌سازی الکترودها و به منظور ساخت سلول، یک قطعه فیلم پلیمری از جنس سورلین^۱ با ضخامت 60 میکرومتر به نحوی بر روی آند قرار گرفت که سطح مؤثر حاوی دی‌اکسید تیتانیوم و رنگینه را پوشاند و در واقع فضای بین دو الکتروکاتد را آب‌بندی نماید. پس از قراردادن کاتد بر روی آند و به منظور چسبیدن سطوح دو الکتروکاتد آب‌بندی کامل آن، سلول به مدت 90 ثانیه در اون در در دمای 120 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا فیلم پلیمری ذوب شده و دو سطح الکتروکاتد کاملاً به یکدیگر بچسبند. پس از سرد شدن و رسیدن به دمای محیط، در نهایت با استفاده از یک پمپ خلاء الکترولیت حاوی گونه‌های اکسنده - کاهنده (ox-red) و پلیمرهای زیستی از طریق حفره موجود روی سطح کاتد به داخل سلول تزریق گردید و سلول خورشیدی حساس به رنگ ساخته شد [۱۴].

۶.۲. مشخصه‌یابی و اندازه‌گیری خصوصیات الکتریکی و الکتروشیمیایی سلول‌های ساخته‌شده

از دستگاه شبیه‌ساز خورشیدی^۲ ساخت دانشگاه صنعتی شریف با شدت تابش استاندارد معادل 100 w cm^{-2} ($AM=1.5$) برای پرته‌دهی به سلول‌های ساخته شده و بررسی خصوصیات آن‌ها استفاده شد. در این اندازه‌گیری به سلول تحت تابش یک ولتاژ بایاس معکوس اعمال و

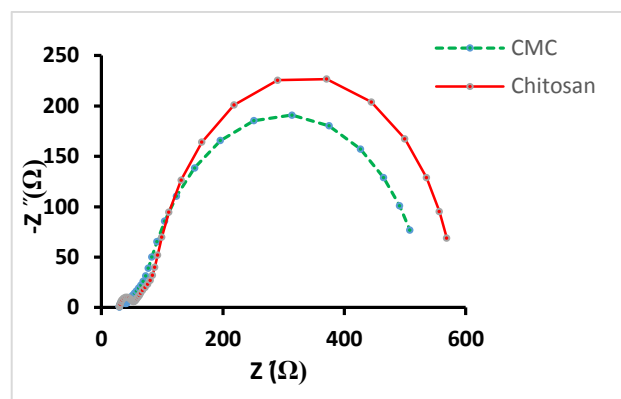
1. Surllyn
2. Solar Simulator

اجزای الکترولیت‌ها تغییرات وجود داشته است، بنابراین مقاومت انتقال بار در کاتد که نشان‌دهنده سرعت واکنش احیاگونه I_3^- موجود در الکترولیت در سطح کاتد است، تعیین‌کننده عملکرد سلول‌های خورشیدی می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج جدول (۱) بازده دریافتی از سلول در حضور عامل ژل‌کننده کربوکسی متیل سلولز نسبت به زمانی که از عامل ژل‌کننده کیتوسان استفاده شده، بالاتر بوده و طبق نتایج حاصل از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی مقاومت انتقال بار در سطح کاتد (R_{pt}) در حضور کیتوسان نسبت به شرایطی که از کربوکسی متیل سلولز در ساخت سلول استفاده شده، بیشتر بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که واکنش احیا I_3^- در سطح کاتد در حضور کربوکسی متیل سلولز نسبت به کیتوسان سریع‌تر بوده و در نهایت، منجر به افزایش بازده دریافتی و J_{sc} بزرگ‌تر در حضور کربوکسی متیل سلولز شده است. همچنین نتایج حاصل از سل شاهد که در آن از عامل ژل‌کننده استفاده نشده، به‌منظور مقایسه در جدول (۱) آمده است. همان‌طور که مشخص است، حضور عامل ژل‌کننده در الکترولیت، باعث کاهش راندمان سل شده که دلیل اصلی آن افزایش ویسکوزیته الکترولیت و در نتیجه، کاهش تحرک یون‌های زوج اکسایش/کاهش برای مهاجرت است.

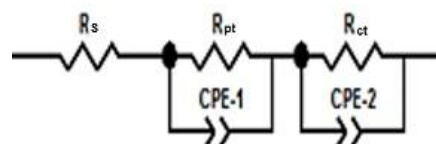
۴. نتیجه‌گیری

از آنجایی که پایداری سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ با الکترولیت مایع پایین می‌باشد و یکی از فاکتورهای اساسی در تجاری سازی این سلول‌ها افزایش پایداری آن‌هاست، در این تحقیق با توجه به اینکه بیوپلیمرها زیست تخریب‌پذیر، ارزان و در دسترس‌اند، از دو بیوپلیمر کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز به‌عنوان عامل ژل‌کننده در ساخت سلول‌های رنگینه‌ای نیمه‌جامد استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بازده دریافتی از سلول در حضور کربوکسی متیل سلولز نسبت به بازده دریافتی از سلول در حضور کیتوسان بالاتر بوده است و از آنجایی که سلولز و مشتقات آن نسبت به کیتوسان فراوان‌تر و ارزان‌ترند، نتایج این تحقیق می‌تواند مسیر جدیدی را جهت ساخت سلول‌های خورشیدی رنگینه‌ای با الکترولیت نیمه‌جامد پیش روی محققان قرار دهد.

قابل محاسبه است [۱۶-۱۷]، در این تحقیق با استفاده از دستگاه Autolab (مدل PGSTAT. 302N, Autolab, Eco-Chemie) و در تاریکی و شرایط مدار باز، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی سلول‌های خورشیدی ساخته شده در دامنه فرکانس ۰/۱ هرتز تا ۱۰۰ کیلو هرتز اندازه‌گیری و از نرم‌افزار Zview/Zplot (Scribner Associates, Inc.) برای فیت داده‌ها استفاده شد. نمودار نایکوئیست^۱ طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی سل‌های تهیه شده با پلیمرهای زیستی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز در شکل (۵) و مدار معادل آن‌ها در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل Z' امپدانس واقعی و Z'' امپدانس موهومی است.



شکل (۵): نمودار نایکوئیست طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی سلول‌های خورشیدی تهیه شده با پلیمرهای زیستی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز



شکل (۶): مدار معادل طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی

نیم‌دایره اول مربوط به واکنش احیاگونه I_3^- در سطح کاتد و نیم‌دایره دوم مربوط به باز ترکیب الکترون‌های موجود در نوار هدایت TiO_2 با الکترولیت است. نتایج حاصل از فیت کردن طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی سلول‌های حاوی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز و محاسبه مقاومت‌های مربوط در جدول (۱) گزارش شده است. از آنجایی که در سلول‌های خورشیدی حاوی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز روش ساخت فوتو آندها و کاتدها یکسان بوده و تنها در

جدول (۱): پارامترهای فوتولتائیک سلول‌های خورشیدی حاوی پلیمرهای زیستی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز (غلظت I^- معادل 1.0×10^{-2} و I_2 معادل 1.0×10^{-4} مولار)

R_{ct} (Ω)	R_{pt} (Ω)	FF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	Efficiency (%)	عامل زل‌کننده
۵۰۰	۲۵/۰	۰/۸۲	۱/۲۹	۰/۶۲	۰/۶۶	کیتوسان
۴۵۰	۱۱/۰	۰/۷۸	۱/۸۸	۰/۶۲	۰/۹۱	کربوکسی متیل سلولز
۴۷	۹/۴	۰/۶۲	۵/۱۶	۰/۶۱	۱/۹۴	شاهد

مراجع

- [1] Grätzel M., "Dye-Sensitized Solar Cells", Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Vol. 4, pp. 145-153, 2003.
- [2] Rhee S. W., Kwon W., "Key Technological Elements in Dye-Sensitized Solar Cells (DSC)", Korean Journal of Chemical Engineering, Vol. 28, pp. 1481-1494, 2011.
- [3] Luque A., Hegadus S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, J. Wiley & Sons, (2003).
- [4] Bandara T. M. W. J., Dissanayake M. A. K. L., Jayasundara W. J. M. J. S. R., Albinsson I., Mellander B.E., "Efficiency Enhancement in Dye Sensitized Solar Cells using Gel Polymer Electrolytes Based on a Tetrahexylammonium Iodide and MgI₂ Binary Iodide System", Physical Chemistry Chemical Physics, Vol. 14, pp. 8620-8627, 2012.
- [5] Sadoughi G., Mohammadpour R., Irajizad A., Taghavinia N., Dadgostar S., Samadpour M., Tajabadi F., "Improved Charge Collection Efficiency of Hollow Sphere/Nanoparticle Composite TiO₂ Electrodes for Solid State Dye Sensitized Solar Cells", Current Applied Physics, Vol. 13, pp. 371-376, 2013.
- [6] Huang K.Ch., Vittal R., Ho K. Ch., "Effects of Crown Ethers in Nanocomposite Silica-Gel Electrolytes on the Performance of Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells", Solar Energy Material & Solar Cells Vol. 94, pp. 675-679, 2010.
- [7] Li P., Zhang Y., Fa W., Zhang Y., Huang B., "Synthesis of a Grafted Cellulose Gel Electrolyte in an Ionic Liquid ([Bmim]I) for Dye-Sensitized Solar Cells", Carbohydrate Polymers, Vol. 86, pp. 1216-1220, 2011.
- [8] Bella F., Nair J. R., Gerbaldi C., "Towards Green, Efficient and Durable Quasi-Solid Dye-Sensitized Solar Cells Integrated with a Cellulose-Based Gel-Polymer Electrolyte Optimized by a Chemometric DoE Approach", RSC Advance, Vol. 3, pp. 15993-16001, 2013.
- [9] Bella F., Chiappone A., Nair J. R., Meligrana G., Gerbaldi C., "Effect of Different Green Cellulosic Matrices on the Performance of Polymeric Dye-Sensitized Solar Cells", Chemical Engineering Transactions, Vol. 41, pp. 211-216, 2014.
- [10] Huang X., Liu Y., Deng J., Yi B., Yu X., Shen P., Tan S., "A Novel Polymer Gel Electrolyte Based on Cyanoethylated Cellulose for Dye-Sensitized Solar Cells", Electrochimica Acta, Vol. 80, pp. 219-226, 2012.
- [11] Alias S. S., Mohamad A. A., "Effect of NH₄I and I₂ Concentration on Agar Gel Polymer Electrolyte Properties for a Dye-Sensitized Solar Cell" Ionics, Vol. 19, pp. 1185-1194, 2013.
- [12] Yahya M. Z. A., Arof A. K., "Effect of Oleic Acid Plasticizer on Chitosan-Lithium Acetate Solid Polymer Electrolytes", European Polymer Journal, Vol. 39, pp. 897-902, 2003.
- [13] Biswal D. R., Singh R. P., "Characterization of Carboxymethyl Cellulose and Polyacrylamide Graft Copolymer", Carbohydrate Polymer, Vol. 57, pp. 379-387, 2004.
- [14] Sedghi A., Normohammadi H., "Influence of TiCl₄ Treatment on Structure and Performance of Dye-Sensitized Solar Cells", Japanese Journal of applied physics, Vol. 52, pp. 075002-1-075002-5, 2013.
- [15] Bella F., Bongiovanni R., "Photoinduced Polymerization: An Innovative, Powerful and Environmentally Friendly Technique for the Preparation of Polymer Electrolytes for Dye-Sensitized Solar Cells", Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Vol. 16, pp. 1-21, 2013.
- [16] He C., Zheng Z., Tang H., Zhao L., Lu F., "Electrochemical Impedance Spectroscopy Characterization of Electron Transport and Recombination in ZnO Nanorod Dye-Sensitized Solar Cells", Journal of Physical Chemistry C, Vol. 113, pp. 10322-10325, 2009.
- [17] He C., Zhao L., Zheng Z., Lu F., "Determination of Electron Diffusion Coefficient and Lifetime in Dye-Sensitized Solar Cells by Electrochemical Impedance Spectroscopy at High Fermi Level Conditions", Journal of Physical Chemistry C, Vol. 112, pp. 18730-18733, 2008.