بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

لایه نشانی اکسید گرافن احیا شده بر روی زیرلایه های شیشه ای و پلیمری برای به کارگیری در قطعات اپتو الکترونیک

نوشین باستانی[۱]، عزالدین مهاجرانی[۲]، حامد اصغرزاده[۳]

۱- گروه مهندسی مواد، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز
۲- گروه فوتونیک پلیمر و مواد آلی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۳- گروه مهندسی مواد، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز

چکیده - در این پژوهش زیرلایه های شیشه ای و پلیمری با لایه ای از اکسید گرافن احیا شده به دو حالت سوسپانسیونی و پودری به ترتیب توسط لایه نشانی چرخشی و دستی لایه نشانی شدند. سپس وضعیت سطح از نظر یکنواختی، شفافیت و مقاومت سطحی بین دو نوع زیرلایه متفاوت مقایسه شد. زیرلایه شیشه از لحاظ بالا بودن شفافیت و پلیمری از لحاظ پایین بودن مقاومت سطحی عملکرد مناسبی داشت. اما بهترین نمونه در لایه نشانی چرخشی و دستی برای زیرلایه پلیمری حاصل شد.

کلید واژه- الکترود شفاف و رسانا، اکسید گرافن احیا شده، زیرلایه شیشه ای، زیر لایه پلیمری، مقاومت سطحی.

Deposition of reduced graphene oxide layer on the glass and polymer substrates for application in optoelectronic components

Bastani Nooshin[1], Mohajerani ezzedin[2], Asgharzadeh Hamed[3]

1- Department of Materials Engineering, School of Mechanical Engineering, University of Tabriz
2- Group photonic polymers and organic materials, Laser and Plasma Institute, shahid Beheshti University of Tehran
3- Department of Materials Engineering, School of Mechanical Engineering, University of Tabriz

Abstract- In this research, glass and polymer substrates were coated by a layer of reduced graphene oxide. Reduced graphene oxide in the form of suspension and powder was deposited by spin coating and manual coating, respectively. The quality of the coating was assessed based on the level of uniformity, transparency and surface resistivity. The results reveal that the glass substrate shows higher transparency while the polymer substrate has lower sheet resistance. The optimum result in both spin coating and manual coating was obtained for the polymer substrate.

Keywords : Glass substrate, Polymer substrate, Reduction graphene oxide, Surface resistivity, Transparent and conductive electrode.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

گرافن به عنوان یک ساختار دو بعدی از لایه های منفرد لانه زنبوری، از جنس کربن ساخته شده است. گرافن به دلیل ویژگی های منحصر به فرد خود محبوبیت زیادی میان جامعه علمی پیدا کرده است. از جمله خواصی که توجه محققان را به سوی این ماده و استفاده کاربردی از آن جلب کرده شفافیت، رسانش و الاستیسیته است که ماده فوق را برای استفاده در ادوات الکترونیکی انعطاف- پذیر مناسب می سازد [۱و۲]. به علاوه، گرافن به دلیل شفافیت و رسانندگی مطلوب جایگزین مناسبی برای اکسید ایندیم قلع (ITO) در ساخت الکترود شفاف و رسانای آند می باشد چرا که ITO دارای محدودیت هایی ازقبیل ترد و شکننده بودن، کمیاب بودن فلز ایندیم (In)، پایین بودن پایداری شیمیایی را در بردارد [۳-۵]. البته به این نکته بایستی توجه کرد که از لحاظ شفافیت، رسانندگی و بازدهی در قطعات اپتو الکترونیک، ITO عملکرد بهتری نسبت به لایه های گرافنی دارد. به طور مثال در مطالعه ای توسط Yun و همکارانش جهت ساخت سلول های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی، بازدهی نهایی برای الکترود ITO ۳/۱۹ درصد و برای الکترود گرافنی ۰/۳۳ درصد گزارش شده است [۶].

یکی از روش های مناسبی که می توان جهت لایه نشانی گرافن برای ساخت الکترود به کار برد، روش لایه نشانی چرخشی است. چرا که فرآیندی آسان، کم هزینه و سریع برای تولید فیلم نازک و همگن می باشد. هر چند که متغیرهای زیادی نظیر سرعت لایه نشانی، تعداد مراحل لایه نشانی، نوع زیرلایه، شرایط آماده سازی سطح زیرلایه بر کیفیت پوشش تأثیرگذارند. از آن جائی که لایه نشانی مستقیم اکسید گرافن احیا شده به دلیل حذف شدن اغلب گروه های عاملی در مرحله سنتز مشکل است، در مطالعاتی که تا بحال برای ساخت الکترودهای مبتنی بر گرافن صورت گرفته، در ابتدا اکسید گرافن روی زیرلایه پوشش داده شده و سپس با احیای شیمیایی یا حرارتی احیا اکسید گرافن صورت گرفته است. بنابراین در این پژوهش، اکسید گرافن احیا شده به دو صورت سوسپانسیون و پودری به صورت مستقیم و بدون هیچ عملیات ثانویه بر روی زیرلایه پوشش داده شد. بدین منظور، اکسید گرافن احیا شده در حالت سوسپانسیونی به روش لایه نشانی چرخشی و در حالت پودری به روش لایه نشانی دستی بر روی زیرلایه های شیشه ای و پلیمری پوشش داده شد تا تأثیر نوع زیرلایه در کیفیت سطح، شفافیت و مقاومت سطحی مورد بررسی قرار گیرد [۴-۶].

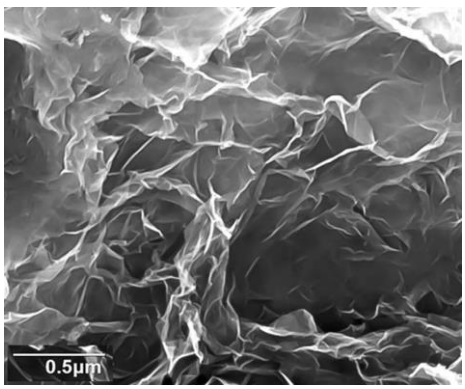
۲- روش ساخت و مشخصه یابی نمونه

سوسپانسیون و پودر اکسید گرافن احیا شده از شرکت پیشروان فناوری آذر پودر ایرانیان تهیه شد که مشخصات آن به این صورت است : پراکنده ساز : آب دیونیزه، ضخامت ورقه های گرافن : کمتر از ۳ نانومتر، ابعاد ورقه- های گرافن : کمتر از ۴۴ میکرون، نسبت کربن به اکسیژن : ۸ به ۱ و میزان ناخالصی ها : کمتر از ppm ۷۰. شکل ۱ تصویر اکسید گرافن احیا شده و شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ماده خریداری شده را نشان می دهد [۷].



(الف) (ب)

شکل ۱ : تصویر اکسید گرافن احیا شده (الف) پودر و (ب) سوسپانسیون.



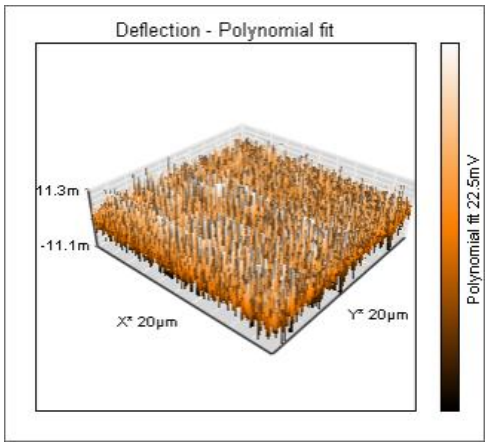
شکل ۲ : تصویر SEM اکسید گرافن احیا شده [۷].

از دو نوع زیرلایه شیشه ای و پلیمری جهت پوشش دهی اکسید گرافن احیا شده استفاده شد. با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) با مد تماسی، زبری سطح

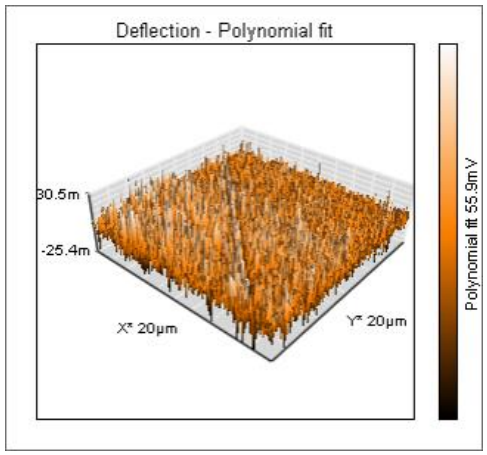
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

زیرلایه های شیشه ای و پلیمری اندازه گیری شد. شکل ۳، تصاویر ۳ بعدی از زیرلایه ها را نشان می دهد. نتایج AFM نشان می دهند که زبری سطح شیشه کمتر از پلیمر است به طوری که مقدار زبری برای شیشه ۲/۶۵ نانومتر و برای پلیمر ۸ نانومتر است.



(الف)

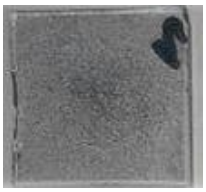


(ب)

شکل ۴ : تصویر میکروسکوپ AFM زیرلایه شیشه ای (الف) و پلیمری (ب) قبل از لایه نشانی.

جهت پوشش دهی، در ابتدا زیرلایه های شیشه و پلیمر توسط حلال های آلی شستشو و آماده سازی شدند. سپس خشک سازی در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه در آون صورت گرفت. سوسپانسیون اکسید گرافن احیا شده با غلظت ۴ میلی گرم بر میلی لیتر بر روی زیرلایه ها به صورت دو مرحله ای و با سرعت چرخشی ۴۰۰۰ دور بر دقیقه لایه نشانی چرخشی شد. جهت چسبندگی بهتر ماده به سطح زیرلایه ها در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شدند. هم چنین، مقداری از پودر اکسید گرافن احیا شده بر روی دو زیرلایه متفاوت ریخته شده و لایه نشانی دستی با مالش روی زیرلایه انجام پذیرفت. اکسید گرافن احیا شده پوشش داده شده روی زیرلایه های شیشه ای و پلیمری در شکل ۴ نشان داده شده است.

میزان نور عبوری الکترودهای پوشش داده شده توسط دستگاه طیف سنج Ocean optic usb2000 و مقاومت الکتریکی سطحی آن ها با دستگاه 4point probe اندازه گیری شد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳ : لایه نشانی اکسید گرافن احیا شده (الف) سوسپانسیون بر روی شیشه، (ب) سوسپانسیون بر روی پلیمر و (ج) پودر بر روی پلیمر.

۳- نتایج و بحث

در صد نور عبوری و مقاومت سطحی زیرلایه های شیشه-ای و پلیمری پوشش داده شده با اکسید گرافن احیا شده در جدول ۱، ارائه شده است. در ساخت الکترود شفاف و رسانا، بایستی درصد نور عبوری بالا و مقاومت سطحی پایین باشد. از طرفی، شفافیت و رسانایی الکتریکی رابطه معکوس دارند،

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

به طوری که هر چقدر مقاومت سطحی پایین تر باشد رسانندگی بالاتر است. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، در روش لایه نشانی چرخشی برای پوشش دهی سوسپانسیون اکسید گرافن احیا شده، زیرلایه شیشه از لحاظ شفافیت و زیرلایه پلیمری از لحاظ پایین بودن مقاومت سطحی عملکرد بهتری داشته است. در حالت کلی، با در نظر گرفتن شفافیت و مقاومت سطحی به صورت هم زمان زیرلایه پلیمری گزینه مناسب برای پوشش دهی با اکسید گرافن احیا شده است، چرا که به خاطر زبری بالای سطح لایه های گرافنی بهتر و یکنواخت تر بر روی سطح می نشینند و سبب مقاومت سطحی پایین تر می شوند. اما باید توجه شود با بالا بودن زبری سطح که یکی از دلایل آن می-تواند عیوب ساختاری باشد، ممکن است پراکندگی نور در حدی صورت بگیرد که سبب کاهش شفافیت نمونه گردد. از طرف دیگر، اگر زیرلایه پلیمری کیفیت مطلوبی در مرحله تولید داشته باشد، مشکل شفافیت هم کمتر می شود. شایان ذکر است زیرلایه پلیمری از جنس پلی اتیلن تری– فتالات با درصد شفافیت بیشتر از ۹۹٪ می تواند تولید شود، اما از مشکلات مهم این نوع زیرلایه ها وجود عیوب در ساختار (مشکل ساز بودن در میزان نور عبوری)، محدودیت دمای کاری و حساس بودن سطح به خراش است.

از دیگر مزایای زیرلایه پلیمری نسبت به زیرلایه شیشه ای امکان پوشش دهی پودر اکسید گرافن احیا شده به صورت دستی است. با توجه به این که سطح شیشه نسبت به پلیمر سخت تر باردار می شود، زمانی که ماده به صورت پودری لایه نشانی شد، میزان بسیار اندکی روی سطح قرار گرفت. به طوری که ماده ای نارسانا و با شفافیت بالا حاصل گردید. مطابق جدول ۱، شفافیت و مقاومت سطحی زیرلایه پلیمری پوشش داده شده با پودر اکسید گرافن احیا شده به صورت دستی کمتر از سوسپانسیون آن است که با لایه نشانی چرخشی پوشش داده شده است. بنابراین، روش لایه نشانی چرخشی روش مناسب- تری نسبت به روش لایه نشانی دستی است. باید توجه داشت که با پوشش دهی اکسید گرافن احیا شده بر روی زیرلایه پلیمری با شفافیت بالا و زبری سطح مناسب، امکان ساخت الکترودی با درصد شفافیت بالای ۵۰ و مقاومت سطحی نزدیک ۱ کیلو اهم وجود دارد.

جدول ۱ : میزان نور عبوری و مقاومت سطحی زیرلایه های پوشش داده شده با اکسید گرافن احیا شده.

نوع زیرلایه	روش پوشش دهی	شفافیت (٪)	مقاومت سطحی (Ω/sq)
شیشه	چرخشی	۴۲/۶	۱۳۴۲۰۰
پلیمر	چرخشی	۴۲/۴	۳۳۷۹۲
پلیمر	دستی	۳۸/۴	۷۷۰۰۰
پلیمر	دستی	۲۶/۵	۲۷۲۷

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زیرلایه پلیمری به خاطر زبری سطح بالا، قابلیت لایه نشانی بهتر و مقاومت سطحی پایین‌تر نسبت به شیشه دارد. از لحاظ چسبندگی ماده به سطح هم، زیرلایه پلیمری بهتر عمل کرد. هم چنین، روش لایه نشانی چرخشی روش مناسب تری نسبت به روش لایه نشانی دستی برای پوشش دهی اکسید گرافن احیا شده است. ساخت الکترود شفاف و رسانای آند مبتنی بر اکسید گرافن احیا شده، امیدوار کننده است اما نیاز به تمهیداتی جهت افزایش شفافیت، یکنواختی فیلم تشکیل یافته و پایداری ماده بر روی سطح دارد.

مراجع

[1] Ciriminna, Rosaria, Nan Zhang, Min-Quan Yang, Francesco Meneguzzo, Yi-Jun Xu, and Mario Pagliaro. "Commercialization of graphene-based technologies: a critical insight." *Chemical Communications* 51, no. 33 (2015): 7090-7095.

[2] Geim, Andre K., and Konstantin S. Novoselov. "The rise of graphene." *Nature materials* 6, no. 3 (2007): 183-191.

[3] Lee, Youngbin, and Jong-Hyun Ahn. "Graphene-based transparent conductive films." *Nano* 8, no. 03 (2013): 1330001.

[4] Forrest, Stephen R. "The path to ubiquitous and low-cost organic electronic appliances on plastic." *Nature* 428, no. 6986 (2004): 911-918.

[5] Chen, Zhong, Brian Cotterell, Wei Wang, Ewald Guenther, and Soo-Jin Chua. "A mechanical assessment of flexible optoelectronic devices." *Thin Solid Films* 394, no. 1 (2001): 201-205.

[6] Yun, Jin-Mun, Chan-Hee Jung, Yong-Jin Noh, Ye-Jin Jeon, Seok-Soon Kim, Dong-Yu Kim, and Seok-In Na. "Morphological, optical, and electrical investigations of solution-processed reduced graphene oxide and its application to transparent electrodes in organic solar cells." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 21 (2015): 877-883.

[7] Abdolhosseinzadeh, Sina, Hamed Asgharzadeh, and Hyoung Seop Kim. "Fast and fully-scalable synthesis of reduced graphene oxide." *Scientific reports* 5 (2015)

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]