مجله علوم و فناوری نساجی
سال چهارم، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۰
صفحه ۱۰-۳، ۱۳۹۳
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

اثر عمل‌آوری با پلاسما بر شکل‌شناسی و مقاومت الکتریکی پارچه‌های پلی‌استر لایه‌نشانی شده با نانوذرات مس

Plasma Treatment and its Effect on Morphology and Electrical Resistance of Polyester Copper Nanoparticles Electroless Plated Fabrics

فاطمه حق‌دوست، فاطمه محترم، وحید متقی‌طلب*

رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه نساجی، صندوق پستی ۳۷۵۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۸

چکیده

عمل‌آوری با پلاسما روشی اقتصادی و سریع برای اصلاح و تغییر سطح پارچه در ابعاد میکروسکوپی بدون استفاده از روش‌های شیمیایی است. در این پژوهش، اثر پلاسمای هوا و آبکافت شیمیایی بر آماده‌سازی پارچه پلی‌استر و شکل‌شناسی سطح مدنظر برای ایجاد مکان‌های قابل جذب در سطح پارچه پلی‌استر با میکروسکوپ الکترونی پویشی بررسی شد. روش لایه‌نشانی به‌کار برده شده در این مقاله لایه‌نشانی نانوذرات فلز مس بدون استفاده از جریان الکتریکی و استفاده از مواد کاهنده برای کاهش شیمیایی یون فلزی است. مقاومت الکتریکی پارچه پلی‌استر با مولتی‌متر رقمی بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، عمل‌آوری با پلاسما منجر به افزایش پراکنش و نفوذ نانوذرات مس و رسانایی الکتریکی زیاد و یکنواخت منسوج، در مقایسه با روش آبکافت شیمیایی می‌شود. نتایج به‌دست آمده از مولتی‌متر رقمی نشان‌دهنده کاهش مقاومت الکتریکی از ۱/۲ Ω/cm^2 به ۰/۲ Ω/cm^2 در روش پلاسماست. همچنین، افزایش مدت زمان عمل‌آوری با پلاسما منجر به پوشش‌دهی بیشتر و یکنواخت سطح پارچه با نانوذرات فلز مس شد. ذرات پوشش داده شده به روش آبکافت شیمیایی با اندازه متوسط بیش از ۵۰۰ nm هستند که در مقایسه با روش عمل‌آوری با پلاسما اندازه ذرات فلز مس کوچک‌تر از ۱۰۰ nm است.

کلمات کلیدی

عمل‌آوری با پلاسما،
پارچه پلی‌استر،
آبکافت شیمیایی،
نانوذرات مس،
مقاومت الکتریکی

مقدمه

در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه تجهیزات الکترونیکی قابل پوشش انجام شده است. انعطاف‌پذیری وسایل و تجهیزات الکترونیکی و پزشکی، همواره مدنظر پژوهشگران بوده است. با گذشت زمان قطعات و تجهیزات الکترونیکی با ابعاد کوچک‌تر، وزن کمتر، قابلیت حمل‌ونقل و انعطاف‌پذیری بهتر ساخته شده‌اند. در طراحی و ساخت این قطعات ویژگی‌های خاصی مانند وزن بسیار کم، راحتی در پوشش، پایداری و مصرف انرژی کم درنظر گرفته شده است[۱].

در این میان از جمله اهداف مهم در صنعت الکترونیک قابلیت ساخت اجزای الکترونیکی و مدارها روی سطوح انعطاف‌پذیر است تا بدین ترتیب رویای ساخت تجهیزات الکترونیکی سبک و انعطاف‌پذیر تحقق یابد. استفاده از پارچه‌های رسانا به‌عنوان وسایل الکترونیکی با بهره زیاد به علت انعطاف‌پذیری زیاد و بهای کم به موضوعی منحصر به‌فرد تبدیل شده است. پارچه‌های رسانا در تولید کابل، به‌عنوان پارچه‌های رسانای انعطاف‌پذیر، در کاربردهای زیست‌پزشکی و بسترهای الکترود باتری استفاده گسترده‌ای دارند و اغلب با لایه‌نشانی نانوذرات فلزی بر سطح پارچه پلی‌استر ساخته و طراحی می‌شوند. استفاده از پارچه به‌عنوان زیرلایه برای ایجاد طرح رسانا به واسطه رشد روزافزون منسوجات الکترونیکی قابل پوشش و

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: motaghitalab@guilan.ac.ir

کاربردهای متنوع طرح‌های رسانا جذابیت زیادی در بین پژوهشگران ایجاد کرده است [۵-۲]. استفاده از منسوجات به دلیل خواص ذاتی و منحصر به‌فرد و نیز ظرفیت بالفعل آنها در تعامل فیزیکی و شیمیایی با مواد آلی و فلزی است. پژوهش‌ها برای اصلاح پلی‌استرها از اوایل دهه ۱۹۵۰، شروع شده است. الیاف پلی‌استر اصلاح شده بخش عمده‌ای از پلی‌استر تولیدی را تشکیل می‌دهند. این الیاف در مقایسه با پلی‌استر معمولی از نظر کاربردی خواص بهتری دارند. از جمله معایب الیاف پلی‌استر می‌توان به جذب آب بسیار کم، تمایل زیاد به تشکیل پرز و الکتریسته ساکن و مشکل رنگرزی آنها اشاره کرد. هدف از اصلاح این الیاف برطرف‌کردن یک یا تمام این معایب است. از اصلاحاتی که روی پارچه پلی‌استر انجام می‌شود، عمل‌آوری با پلاسماست. عمل‌آوری با پلاسما به‌طور مؤثری ویژگی‌های سطح پلیمر، مانند قابلیت جذب آب و چسبندگی مواد شیمیایی را تغییر می‌دهد.

پلاسما به گاز یون شده‌ای گفته می‌شود که همه اتم‌های آن یا بخش قابل توجهی از آنها یک یا چند الکترون از دست بدهند و به یون‌های مثبت تبدیل شوند. پلاسما بسته به شرایط آزمون موجب آثاری چون تمیزکردن (خارج‌کردن آلودگی‌های آلی از سطح پارچه)، خارج‌کردن مواد پلیمری و تخریب پلیمر، ایجاد پیوندهای عرضی (تشکیل رادیکال‌های آزاد و شاخه‌شدن درشت‌مولکول‌ها) و تشکیل سطح جدید گروه‌های عاملی در عمق زیاد حدود ۱۰ nm می‌شود [۸-۶]. به‌طور کلی پلاسما به دو روش سرد و داغ دسته‌بندی می‌شود. پلاسما از تخلیه الکتریکی در فشار جو یا فشار کم ایجاد می‌شود. بر این اساس، دو نوع پلاسما در فشار کم و در فشار جو در شیمی کاربرد دارند [۹،۱۰].

روش پلاسمای کم فشار دارای معایبی چون نیاز به تجهیزات خلأ با هزینه زیاد است. اطلاعات مربوط به اثر عمل‌آوری با پلاسما روی پلی‌استر بیشتر مربوط به پلاسمای سرد در فشار جوست. از پلاسما برای افزایش خاصیت ترشوندگی و جذب رنگ الیاف پلی‌استر نیز استفاده می‌شود. گازهای پلاسما اغلب برای اصلاح سطوح پلیمری به‌کاربرده می‌شوند. همچنین، از آنها برای اصلاح پارچه‌های نساجی حاصل از الیاف طبیعی و مصنوعی نیز استفاده می‌شود [۶،۷]. در پژوهش‌های انجام گرفته خلل و فرج ایجاد شده در سطح الیاف بر اثر خوردگی ناشی از پلاسما و نیز ایجاد گروه‌های قطبی آبدوست در سطح الیاف به علت اکسایش سطحی نمونه دلایل افزایش ترشوندگی بیان شده است [۱۱]. عمل‌آوری سطوح مختلف به‌ویژه پلیمرها به روش پلاسما در سه دهه اخیر به‌طور گسترده‌ای پیشرفت کرده است. در این روش با انجام فرایندها در محیط خشک، تا حدودی مشکلات زیست‌محیطی برطرف شده است.

لایه‌نشانی بدون الکتریسیته روش متداول شیمیایی برای پوشش سطوح با لایه‌ای از فلز با استفاده از محلول آبی فلز و بدون استفاده از منبع جریان الکتریکی خارجی است. در این روش، یون فلز در محلول آبی در مجاورت ماده کاهنده به روش شیمیایی کاهش یافته و فلز در مواضع فعال شده لایه‌نشانی می‌شود. مهم‌ترین مزیت این روش لایه‌نشانی، امکان پوشش سطوح مواد نارسانا با فلزات یا آلیاژهای فلزی است. در لایه‌نشانی بدون الکتریسیته امکان پوشش سطوح با هر شکلی وجود دارد. در این روش، تمام خلل و فرج بستر به‌طور یکنواخت با فلز پوشش داده می‌شود، به‌طوری که ضخامت لایه فلز در تمام سطح پوشش داده شده اعم از برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها تقریباً یکسان است. تراکم فلز پوشانده شده در روش لایه‌نشانی کاهشی از سایر روش‌ها بیشتر است، همچنین، در روش لایه‌نشانی بدون الکتریسیته امکان پوشش بخشی از سطح به‌طور گزینشی وجود دارد، زیرا فلز فقط در مواضعی از سطح که از نظر شیمیایی فعال شده‌اند، نشانده می‌شود. در این روش می‌توان تمام فلزات را لایه‌نشانی کرد، ولی به دلیل اکسایش سریع ماده کاهنده و در نتیجه کم‌بودن مدت زمان پایداری حمام لایه‌نشانی، از فلزاتی برای لایه‌نشانی استفاده می‌شود که سرعت کاهش کمتری داشته باشند.

در لایه‌نشانی بدون استفاده از جریان الکتریکی از مواد کاهنده برای کاهش شیمیایی یون فلزی استفاده می‌شود. از مواد کاهنده متداول مصرفی در لایه‌نشانی کاهشی می‌توان به سدیم هیپوفسفیت، هیدرازین، سدیم بورهیدرید، فرمالدهید، سدیم پتاسیم تارتارات و گلوکوز نوع آلفا اشاره کرد. انتخاب عامل کاهنده به نوع فلز یا آلیاژی که لایه‌نشانی می‌شود، بستگی دارد. همچنین شرایط لایه‌نشانی و خواص فیزیکی- شیمیایی لایه، متأثر از نوع کاهنده است. عامل پایدارکننده، ماده‌ای شیمیایی است که در لایه‌نشانی کاهشی برای جلوگیری از تجزیه و تخریب محلول لایه‌نشانی به‌کار می‌رود.

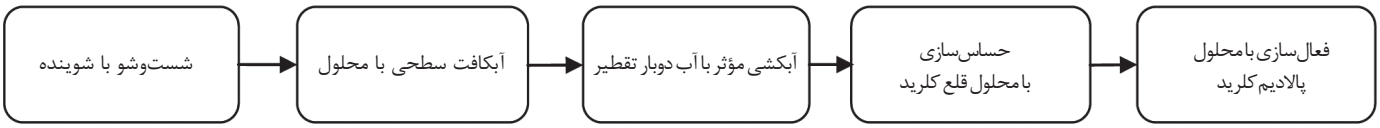
تخریب محلول لایه‌نشانی در اثر کاهش و رسوب ذرات فلز در محلول لایه‌نشانی اتفاق می‌افتد. ذرات فلز رسوب کرده نسبت سطح به حجم زیادی دارند، به همین دلیل این ذرات مانند کاتالیزور عمل می‌کنند و باعث کاهش یون‌های فلز در محلول لایه‌نشانی و درنهایت رسوب فلز در محلول می‌شوند. بنابراین، وجود مواد پایدارکننده در محلول لایه‌نشانی امکان نگه‌داری و استفاده درازمدت از محلول را فراهم می‌کند. نکته مهم در کاربرد مواد پایدارکننده مقدار غلظت این مواد در محلول لایه‌نشانی است، زیرا غلظت ماده پایدارکننده، معین‌کننده سرعت کاهش و تشکیل لایه است و اگر غلظت آن از حد مجاز بیشتر باشد، فرایند لایه‌نشانی انجام نمی‌شود [۱۲].

در این پژوهش، اثر عمل‌آوری با پلاسما بر مقاومت الکتریکی پارچه‌های پلی‌استر در مقایسه با روش آبکافت شیمیایی بررسی شده است. در پژوهش حاضر، آماده‌سازی سطح براساس پلاسما و آبکافت شیمیایی برای منسوج پلی‌استر به منظور افزایش گروه‌های جاذب در الیاف و برای تهیه بستری مناسب برای جذب سطحی بیشتر نانوذرات مس انجام شده است.

تجربی

مواد

سدیم هیدروکسید، قلع کلرید، کلریدریک اسید ٪۳۷، پالادیم (II) کلرید، مس سولفات ۵ آبه، فرمالدهید٪۳۶ و اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید همگی از شرکت Merck تهیه و بدون هیچ خالص‌سازی استفاده شدند.



طرح ۱- مراحل آماده‌سازی پارچه به روش آبکافت شیمیایی برای لایه‌نشانی نانوذرات فلز مس.

دستگاه‌ها و روش‌ها

ساخت پارچه رسانا

پارچه پلی‌استر با تراکم ۳۰×۳۲، نمره نخ تار و پود ۸۸/۸ دنیر با بافت تافته به‌عنوان زمینه انتخاب شد. برای آماده‌سازی سطح آبگریز پارچه پلی‌استر از دو روش آبکافت شیمیایی و عمل‌آوری با پلاسما در فشار هوا استفاده شد.

آبکافت شیمیایی (۱)

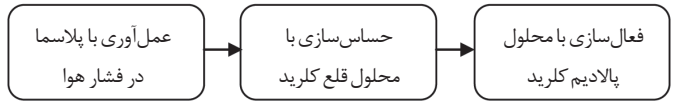
پارچه ابتدا با محلول حاوی شوینده برای زدودن آلودگی‌های سطحی شست‌وشو داده شد. ایجاد مکان‌های جاذب در سطح پارچه با محلول سدیم هیدروکسید ۱۵ g/L در دمای ۷۰°C به‌مدت ۲۰ min انجام شد. سپس، فرایند حساس‌سازی با محلول ۱۰ g/L قلع کلرید و ۲۰ mL کلریدریک اسید در دمای محیط به‌مدت ۲۰ min انجام شد. پس از آن پارچه به‌مدت ۳۰ s، برای فعال‌سازی سطح و جذب نانوذرات فلز مس وارد حمام پالادیم کلرید شد. طرح ۱ فاز اول مراحل آماده‌سازی پارچه را به‌طور متوالی نشان می‌دهد. این مرحله شامل شست‌وشوی اولیه، آبکشی، آبکافت شیمیایی با محلول سدیم هیدروکسید، آبکشی مجدد، حساس‌سازی با کلرید قلع و آبکشی نهایی است.

عمل‌آوری با پلاسما در فشار هوا (۱)

در این روش، پارچه پلی‌استر بدون شست‌وشو به مدت ۱، ۳ و ۵ min در عملیات پلاسما با فشار هوا قرار گرفت. طرح ۲ مراحل آماده سازی پارچه را به روش پلاسما نشان می دهد. پس از آن، مراحل حساس‌سازی و فعال‌سازی مانند روش آبکافت شیمیایی (۱) انجام شد.

حمام لایه‌نشانی نانوذرات فلز مس

پس از فعال‌سازی پارچه، نمونه‌ها در حمام الکترولس حاوی سولفات مس ۵ آبه، سدیم هیدروکسید، فرمالدهید ٪۳۶، اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید قرار گرفتند. سپس، دمای حمام ۸۰°C و قدرت اسیدی آن روی ۱۲-۱۱/۵ تنظیم شده و در طول فرایند این شرایط حفظ شد. مقادیر مواد شیمیایی استفاده شده برای حمام لایه نشانی در جدول ۱ آمده است. درانتها، پارچه لایه‌نشانی شده با آب دوبار تقطیر شست‌وشو شد.



طرح ۲- مراحل آماده‌سازی پارچه به روش پلاسما برای لایه‌نشانی نانوذرات فلز مس.

اندازه‌گیری خواص

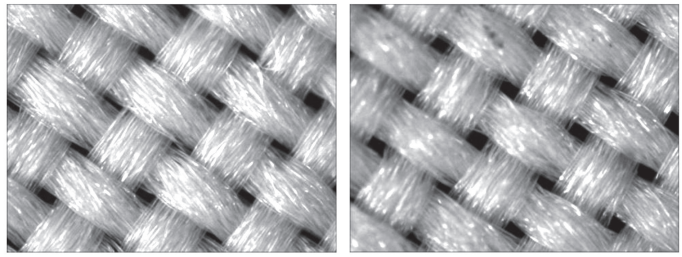
همه نمونه‌ها پیش از انجام تمام اندازه‌گیری‌ها طبق روش‌های استاندارد به‌مدت ۲۴ h در فشار جو، رطوبت نسبی ۲ ± ٪۶۵ و دمای ۱±۲۱°C قرار گرفتند. مقدار مقاومت الکتریکی نمونه‌ها به‌وسیله مولتی‌متر مدل Agilent، اندازه‌گیری شد. مقدار یکنواختی لایه در نمونه‌هایی که پس از لایه‌نشانی، مقاومت الکتریکی آنها تغییر کرده با استفاده از رسانایی‌سنج چهارکانالی خطی بررسی شد. فاصله بین الکترودهای این رسانایی‌سنج که در دانشکده فنی دانشگاه گیلان ساخته شد، ۱cm است. مقدار مقاومت الکتریکی سطح نمونه‌های رسانا شده با رسانایی‌سنج چهارکانالی و طبق استاندارد F390:2003 ارزیابی شد. برای ارزیابی مقدار مقاومت الکتریکی سطحی، شدت جریان الکتریکی ثابت به وسیله منبع تغذیه به نمونه اعمال شد و تغییرات ولتاژ با مولتی‌متر اندازه‌گیری شد. درنهایت، مقدار متوسط مقاومت الکتریکی سطح نمونه از معادله (۱) محاسبه شد. در این معادله V ولتاژ، w عرض نمونه، I متوسط شدت جریان عبوری و l مقدار فاصله بین‌الکترودهاست:

$$R_s = \frac{V \times w}{I \times l} \qquad (۱)$$

برای بررسی شکل‌شناسی سطح نمونه‌ها پس از آماده‌سازی سطح به دو روش و لایه‌نشانی با نانوذرات فلزی، از نمونه‌ها به کمک میکروسکوپ الکترونی تصویربرداری شد. از پارچه‌های لایه‌نشانی شده با نانوذرات نیکل به وسیله میکروسکوپ الکترونی JXA-840 تصویربرداری شد. در پژوهش حاضر، از دستگاه پلاسما FEMTO (Hwaseong-Si.) ساخت کره و هوا به‌عنوان گاز ورودی استفاده شد. واضح است که عملیات پلاسما پیش از ایجاد خلأ به مقدار ۱۰-۵ bar، شروع نمی‌شود. در فرایند پلاسما می‌توان از گازهای نیتروژن، اکسیژن یا آرگون نیز استفاده کرد. حتی می‌توان بدون نصب لوله انتقال گاز، لوله‌های ورودی گاز دستگاه پلاسما را تحت فشار هوا قرار داده و فرایند را بدون استفاده از گازهای ویژه انجام داد. در این فرایند از روش مزبور استفاده شده است.

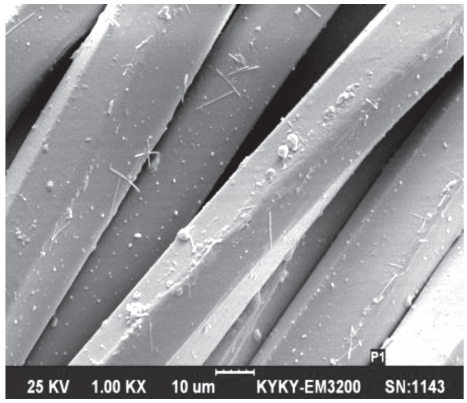
جدول ۱- مقادیر و شرایط حمام لایه‌نشانی نانوذرات مس.

مواد لایه‌نشانی نانوذرات مس و شرایط	مقدار (g/L)
سدیم هیدروکسید	۳/۵
اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید	۵/۱
مس سولفات ۵ آبه	۲/۵
فرمالدهید	۰/۲
pH	۱۲-۱۱



(الف) (ب)

شـــکل ۱- تصاویر TEM: (الف) پارچه پلی‌استر سفید خام و (ب) پارچه شسته‌شده با شوینده با بزرگ‌نمایی ۱۰۰.



شکل ۳- تصویر SEM پارچه عمل‌آوری شده با فرایند پلاسما (بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰).

نتایج و بحث

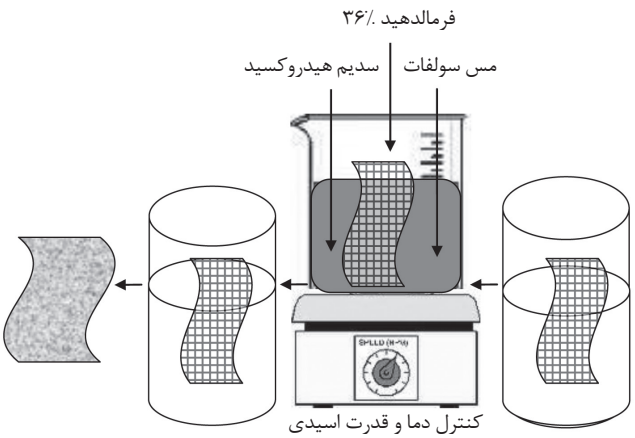
در روش آماده‌سازی پارچه پلی‌استر به روش آبکافت شیمیایی (۱)، مرحله اول، شست‌وشـــو سطح پارچه با شوینده است. شـــکل ۱ تصویر TEM از ســـطح پارچه را پیش و پس از شست‌وشـــو با شوینده نشان می‌دهد. شفافیت ظاهری سطح پس از شست‌وشو به‌وضوح قابل مشاهده بوده که نشـــان‌دهنده زدوده‌شدن چربی‌ها یا گرد و غبار احتمالی از سطح پارچه است. این مرحله در فرایند فعال‌سازی بسیار مؤثر است و موانع عملیاتی تشکیل لایه یکنواخت و با ثبات فلزی را روی پارچه برطرف می‌کند.

پارچه پس از شست‌وشوی مقدماتی، برای ایجاد مکان‌های لازم برای لایه نشانی مؤثر به روش غوطه‌وری در تماس با محلول سدیم هیدروکسید قرار می‌گیرد. سپس، فرایند حساس‌سازی منسوج با قلع کلرید انجام می‌شود. شکل ۲- الف سطح منســـوج را پس از عمل‌آوری با سدیم هیدروکسید نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود، آبکافت شیمیایی یا ایجاد فضاهای لازم برای به تله‌افتادن ذرات لایه‌نشانی شده بسیار ملایم انجام شد که در بزرگ‌نمایی بیشتر به شکل سطوح موج‌دار یا زبری روی سطح ظاهر می‌شود (شکل ۲- ب).

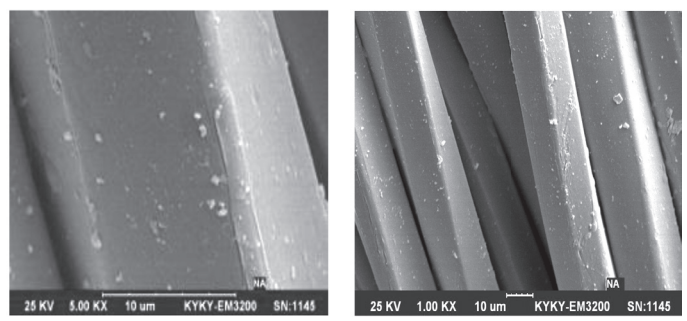
عمل‌آوری با پلاســـما در شرایط متغیر از نظر زمان تحت تأثیر هوا، تـــوان تخلیه W ۱۰۰و زمان عمـــل‌آوری ۱، ۳ و min ۵ روی نمونه‌ها بررســـی شد. در روش آماده‌سازی پارچه پلی‌استر به روش پلاسما (۲) مرحله شست‌وشوی سطح پارچه با شوینده نیاز نیست. زیرا، زدوده‌شدن چربی‌ها یا آلودگی‌های مختلف از ســـطح پارچه از جمله مواردی است که با این روش به همراه ایجاد مکان‌های قابل جذب بر ســـطح پارچه پلی‌اســـتر ایجاد می‌شـــود. این مرحله در فرایند لایه‌نشانی بسیار مؤثر است و شـــیارها و موانع ایجاد شده بر ســـطح پارچه، تشکیل لایه‌ای یکنواخت و با ثبات از نانوذرات فلز را روی پارچه فراهم می‌آورد.

شکل ۳ سطح منسوج را پس از عمل‌آوری با پلاسما به‌مدت min ۴۵ نشـــان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود، فرایند ایجاد فضاهای بیشـــتر برای جذب ذرات لایه‌نشانی فلز، بسیار شدیدتر انجام شـــد که در بزرگ‌نمایی بیشتر به شکل ســـطوح موج‌دار یا زبری روی ســـطح ظاهر می‌شـــود. در مرحله نهایی، پارچه وارد حمام الکترولس می‌شود. فرایند لایه‌نشانی به روش کاهشی در شرایط مختلف می‌تواند روی کیفیت، مقدار لایه تشکیل شده و رسانایی نمونه‌های لایه‌نشانی شـــده اثر بگذارد. به همین علت شرایط فرایند، جنس منسوج، غلظت یا اندازه ذرات شـــرکت‌کننده حین فرایند و pH واکنش می‌تواند روی عملیات لایه‌نشانی مؤثر باشد (شکل ۴).

برای بررســـی بازده لایه‌نشانی و مقدار لایه تشکیل شده روی سطح، مقاومت الکتریکی نمونه‌ها با دســـتگاه رسانایی‌سنج چهارکانالی خطی اندازه‌گیری شد. مقدار مقاومت الکتریکی سطح پارچه پلی‌استر به روش

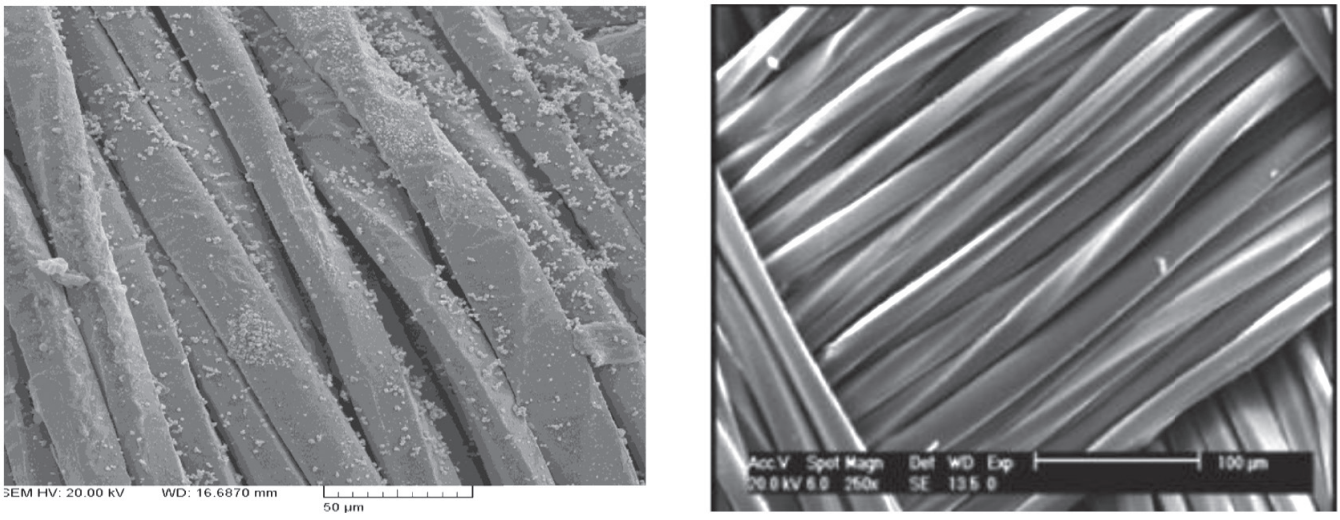


شکل ۴- طرح کلی فرایند لایه‌نشانی بدون الکتریسیته نانوذرات مس.



(الف) (ب)

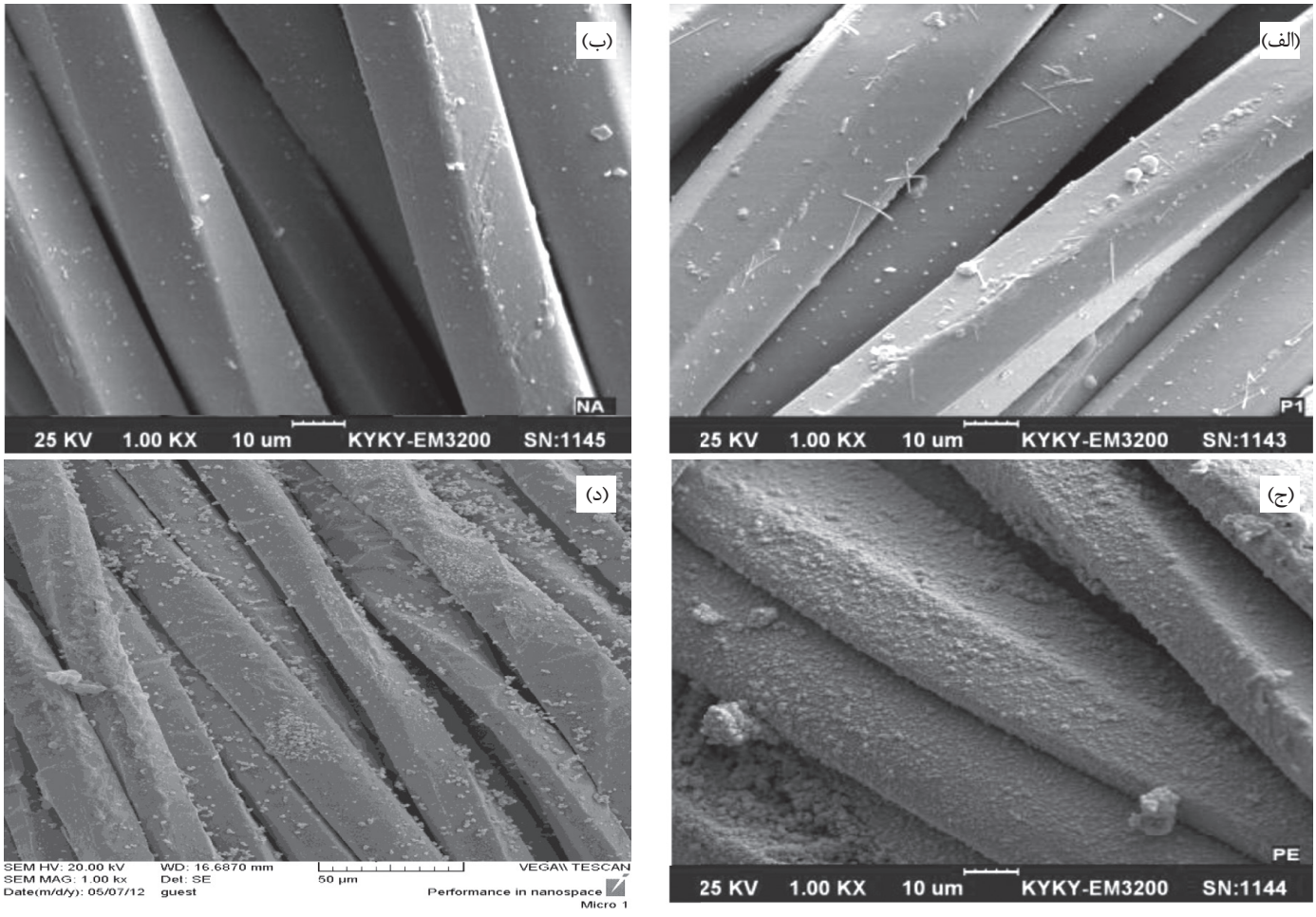
شکل ۲- تصاویر SEM پارچه عمل‌آوری شده با سدیم هیدروکسید: (الف) بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ و (ب) بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰.



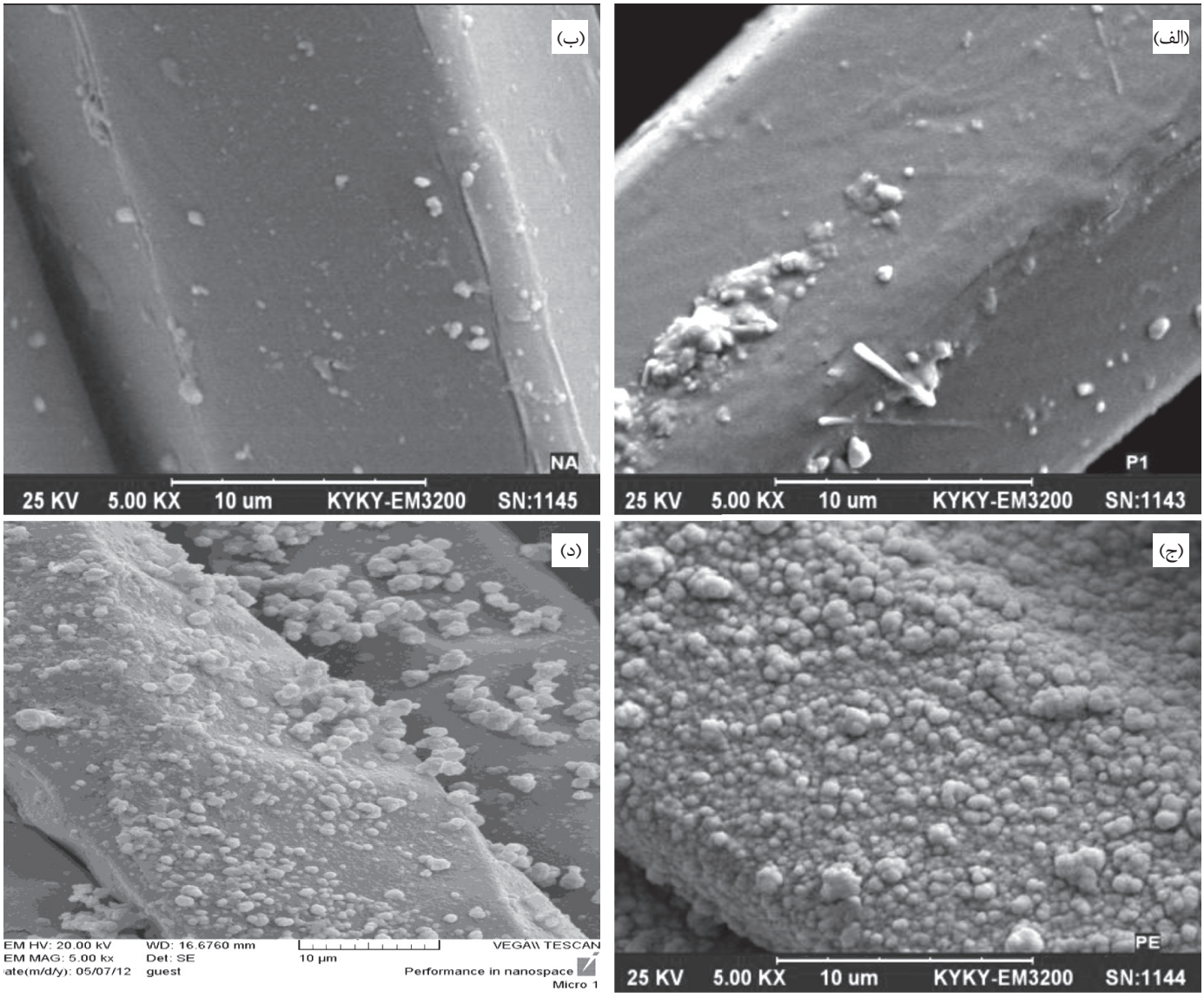
(الف) (ب)

شکل۵- تصاویر SEM پارچه پلی‌استر آماده‌سازی‌شده به روش آبکافت شیمیایی (۱): (الف) پارچه خام و (ب) پارچه لایه‌نشانی شده با نانوذرات مس.

آبکافت شـــیمیایی (۱) پس از مدت h ۲ از انجام لایه‌نشـــانی فلز مس به مقدار Ω/cm^2 ۱/۲۲ کاهش یافته اســـت. ولی نایکنواختی در مقدار مقاومت الکتریکی سطح پارچه وجود دارد که در بعضی مناطق مقاومت الکتریکی به مقدار Ω/cm^2 ۲/۳۲ افزایش یافته است. برای بررسی تغییرات



شـــکل ۶- تصاویر SEM پارچه آماده‌سازی‌شـــده به روش: (الف) پلاسما به‌مدت min ۵ در فشار هوا، (ب) آبکافت شیمیایی به‌مدت min ۲۰ و لایه‌نشانی فلز مس بر سطح پارچه عمل‌آوری شده به روش (ج) پلاسما و (د) آبکافت شیمیایی (بزرگ نمایی ۱۰۰۰).

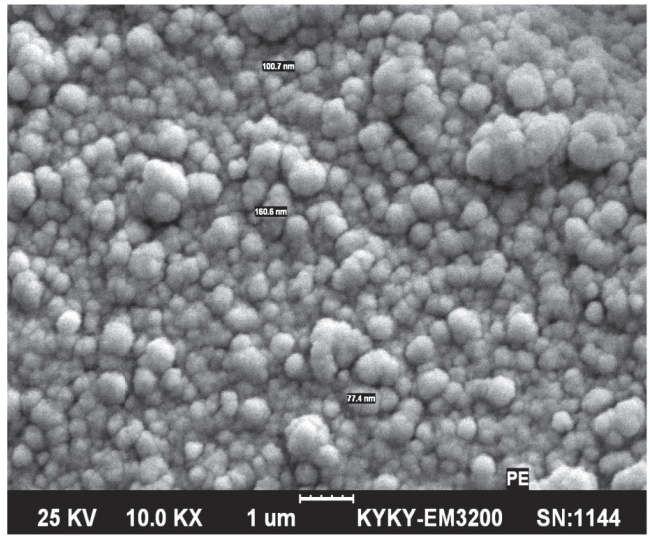


شـــکل ۷- تصاویر SEM پارچه آماده‌سازی‌شـــده به روش: (الف) پلاسما به مدت min ۵ در فشار هوا، (ب) آبکافت شیمیایی به مدت min ۲۰ و لایه‌نشانی فلز مس به سطح پارچه به روش (ج) پلاسما و (د) آبکافت شیمیایی (بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰).

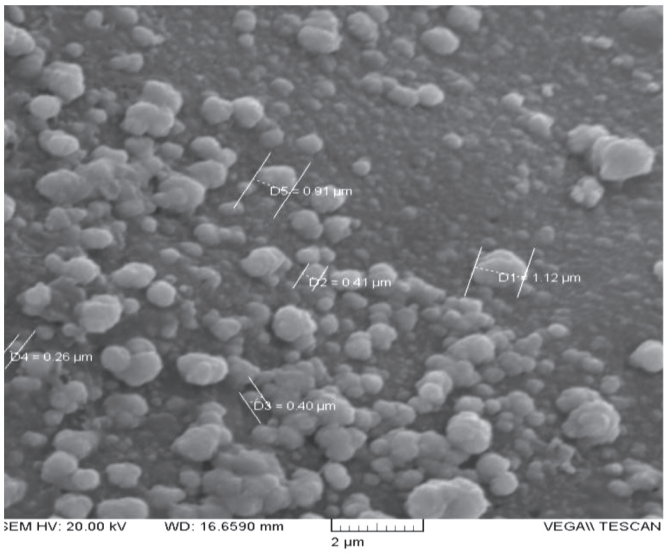
به‌وجود آمده در سطح نمونه پس از لایه‌نشانی، از سطح نمونه‌های تهیه شده تصویر میکروسکوپ الکترونی گرفته شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. این شکل تصاویر سطح نمونه را پیش و پس از لایه‌نشانی با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ و ولتاژ V ۲۵ نشان می‌دهد.

همان‌طور که در تصاویر مشـــاهده می‌شـــود، ســـطح الیاف پس از لایه‌نشانی، به‌طور کامل و یکنواخت با لایه‌ای از فلز پوشیده شده است، به‌طوری که ساختار میکروســـکوپی الیاف پلی‌استر پس از لایه‌نشانی به‌طور کامل تغییر کرده است.

نایکنواختی‌های ایجاد شـــده به روش آبکافت شـــیمیایی در مقدار مقاومت الکتریکی ســـطح پارچه موجب محدودیت‌هایی برای کاربرد گســـترده این منسوجات رســـانا در زمینه‌های مختلف الکترونیکی و تجهیزات پزشکی می‌شـــود. مقاومت الکتریکی سطح پارچه پلی‌استر به روش عمل‌آوری با پلاسما (۲) پس از مدت h ۲ از انجام لایه‌نشانی فلـــز مس، در ســـطح نمونه‌هایی که به‌مـــدت ۱ و min ۳ در عملیات پلاسما قرار گرفته بودند، نشـــان‌دهنده مقاومت الکتریکی زیاد و نیز نایکنواختی شدید در مقدار مقاومت الکتریکی بوده است. به‌طوری که مقدار مقاومت الکتریکی به‌دست آمده در شرایط عمل‌آوری با پلاسما به‌مدت min ۱ در فشـــار هوا، زیاد بوده و مقدار آن در بعضی بخش‌ها ۷/۸ Ω/cm^2 اســـت. روی سطح پارچه عمل‌آوری شده به‌مدت min ۱ در پلاســـمای هوا در بسیاری از نواحی، هیچ لایه‌نشانی فلز مس انجام نشده است، به‌طوری که پارچه در این بخش‌ها نارساناست. این موضوع نشان‌دهنده کم‌بودن زمان لازم برای آماده‌سازی سطح پارچه پلی‌استر برای ایجاد مکان‌های قابل جذب با نانوذرات فلز مس است. با افزایش مدت زمان عمل‌آوری با پلاسما بر سطح پارچه پلی‌استر به‌مدت min ۳ مکان‌های قابل جذب روی سطح پارچه افزایش می‌یابد، ولی همچنان پس از لایه‌نشانی ذرات مس، بخش‌هایی از سطح پارچه نارساناست و



(الف)



(ب)

شکل۸- تصویر SEM پارچه لایه‌نشانی شده با نانوذرات مس در: (الف) عمل‌آوری با پلاسما و (ب) آبکافت شیمیایی.

پوشش‌دهی نانوذرات فلز مس بر سطح آن مشاهده نمی‌شود. مقاومت الکتریکی به‌دست آمده در بعضی بخش‌ها به Ω/cm^2 ۳/۵ افزایش یافته است، اما در بعضی نواحی بخش‌های نارسانا نیز وجود دارد. درنتیجه در ادامه مراحل آماده‌سازی، زمان عمل‌آوری با پلاسما به‌مدت min ۵ افزایش یافت.پس از اتمام لایه‌نشانی و اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی در سطح پارچه در بخش‌هایی مختلف مشاهده شد که مقدار مقاومت الکتریکی به Ω/cm^2 ۰/۲کاهش یافته است مؤثرترین لایه‌نشانی روی سطح پارچه با توجه به کمترین مقدار مقاومت الکتریکی، انجام شده است. نتایج به‌دست آمده از آزمون مقاومت الکتریکی نشان‌دهنده یکنواختی زیاد رسانایی الکتریکی در تمام بخش‌های پارچه عمل‌آوری شده با پلاسما به‌مدت min ۵ است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود، عمل‌آوری با پلاسما به دلیل ایجاد خلل و فرج در سطح الیاف باعث افزایش خاصیت جذب مواد شیمیایی به پلی‌استر می‌شود. با افزایش مدت زمان عمل‌آوری، خواص جذب در سطح پارچه افزایش می‌یابد. اصلاح خواص با پلاسما محدود به سطح است و خواص توده را تغییر نمی‌دهد. دلیل افزایش جذب مربوط به خوردگی‌های سطحی الیاف است. شکل‌های۶ و ۷ اثر فرایند عمل‌آوری پلاسما بر سطح پارچه پلی‌استر را در مقایسه با روش آبکافت شیمیایی نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده می‌شود، مکان‌های قابل جذب ایجاد شده در سطح پارچه عمل‌آوری شده به روش پلاسما (شکل ۷- الف) بسیار بیشتر از عمل‌آوری به روش آبکافت شیمیایی (شکل ۷- ب) است. لایه نانوذرات مس تشکیل شده بر سطح پارچه‌ای که به روش پلاسما عمل‌آوری شده از تراکم و پیوستگی بسیار زیادی برخوردار است (شکل ۷- ج). فلز مس تشکیل شده بر سطح پارچه در روش آبکافت شیمیایی (شکل ۷- د) تراکم بسیار کمتری دارد که این موضوع تأییدکننده مقاومت الکتریکی زیادتر در منسوج آماده‌سازی شده به روش آبکافت شیمیایی است.

شکل ۸-الف و ۸-ب تصاویر SEM نمونه‌ای را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار رسانایی را دارد. پوشش یکنواخت سطح الیاف با نانوذرات مس پس از عمل‌آوری با پلاسما و نیز متوسط اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۰ nm بر سطح پارچه پلی‌استر در مقایسه با شکل ۸- ب مربوط به نمونه آماده‌سازی شده به روش آبکافت شیمیایی و متوسط اندازه ذرات ۶۲۰ nm به‌وضوح قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون‌ها می‌توان نتیجه گرفت، عمل‌آوری با پلاسما به دلیل سازگاری با زیرلایه‌های مختلف (هر نوع پارچه‌ای) و سرعت زیاد فرایند، اصلاح دورترین نقطه یک لایه در حالی که خواص جرمی بدون تغییر باقی می‌ماند، کمترین مصرف مواد شیمیایی و بیشترین ایمنی در کارکرد، عملیاتی بدون پسماند است و کمترین اثر را بر آلودگی محیط زیست دارد، درنتیجه نسبت به سایر روش‌ها مزیت دارد. نتایج به‌دست آمده از تصاویر SEM و مقاومت‌های به‌دست آمده از نمونه‌ها نشان داد، آماده‌سازی با پلاسما در مقایسه با روش آبکافت شیمیایی منجر به مقاومت الکتریکی بسیار کمتری می‌شود. به‌طوری‌که مقدار مقاومت الکتریکی از Ω/cm^2 ۱/۲ در روش آبکافت شیمیایی، به Ω/cm^2 ۰/۲ در روش پلاسما کاهش یافته است.

افزون بر این، مقاومت الکتریکی به‌دست آمده در روش عمل‌آوری با آبکافت شیمیایی در سطح پارچه نایکنواخت است و در بعضی مناطق به Ω/cm^2 ۲/۲ افزایش یافته است. این موضوع در کاربرد پارچه‌های رسانا مشکل ایجاد می‌کند. زیرا، از جمله پارامترهای مهم در ایجاد پارچه‌های رسانا، دارابودن یکنواختی در مقدار مقاومت الکتریکی است. عمل‌آوری با پلاسما در فشار هوا، با افزایش مدت زمان عمل‌آوری از min ۱ به min ۳

منجر به کاهش قابل ملاحظه مقدار مقاومت الکتریکی شده است و مقدار این کاهش از ۷/۸ Ω/cm^2 به ۰/۲ Ω/cm^2 بوده است.
از طرفی، پارچه‌های رســـانای طراحی شده به این روش دارای استحکام مطلوب و در عین حال انعطاف‌پذیری مناسب برای کاربردهای گسترده‌ای در حوزه الکترونیک قابل پوشش برای استفاده در مدارهای الکترونیکی و تجهیزات پزشکی قابل پوشش هستند.

مراجع

1. Tekin E., Gans B.N., and Ulrich S.S., Ink-jet printing of polymers-from single dots to thin film libraries, *J. Mater. Chem.*, 14, 2627-2632, 2004.
2. Zieba J., Frydrysiak M., Tesiorowski L., and Tokarska M., Textronic clothing to ECG measurement, *Medical Measurements and Applications Proceedings*, Bari, 2011.
3. Kim N.S. and Han K.N., Future direction of direct writing, *J. Appl. Phys.*, 108,108-112, 2010.
4. Caldara M., Colleoni C., Guido E., Re V., Rosace G., and Vitali A., Textile based colorimetric pH sensing - A platform for future wearable pH monitoring, *9th International Conferance on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, London, 9-12 May, 2012.
5. Basiricò L., Cosseddu P., Fraboni B., and Bonfiglio A., Inkjet printing of transparent flexible organic transistors, *Thin Solid Films*, 520,1291-1294, 2011.
6. Wakida T. and Tokino S., Surface modification of fiber and polymeric materials by discharge treatment and its application to textile processing, *Ind. J. Text. Res.*, 21, 69-78, 1996.
7. Hocker H., Plasma treatment of textile fibers, *Pure Appl. Chem.*, 74, 423-427, 2002.
8. Poll H.U., Schladitz U., and Schreiter S., Penetration of plasma effects into textile structures, *Surface Coat. Technol.*, 142, 489-493, 2001.
9. مســـایلی ا.، برهانی ص.، بررسی تاثیر پلاسمای سرد و کم فشار بر خواص رطوبتی پارچه پلی استر، *علوم و تکنولوژی پلیمر*، ۱۵۵-۱۶۵، ۱۳۸۶.
10. Simor M., Rahel J., Cernak M., Imahori Y., Stefecka M., and Kando M., Atmospheric pressure plasma treatment of polyester nonwoven fabrics for electroless plating, *Surface Coat. Technol.*, 172, 1-6, 2003.
11. Bhat N.V. and Benjamin Y.N., Surface resistivity behavior of plasma treated and plasma grafted cotton and polyester fabrics, *J. Text. Res.*, 69, 38-42, 1999.
12. Afzali A.V., MottaghitalabV., Motlagh M.S., and Haghi A.K., The electroless plating of Cu-Ni-P alloy onto cotton fabrics, *Korean J. Chem. Eng.*, 27, 1145-1149, 2010.

Journal of
Textile Science
and Technology
Vol. 4, No.1, 3-10
Spring 2014
ISSN: 2151-7162

Plasma Treatment and its Effect on Morphology and Electrical Resistance of Polyester Copper Nanoparticles Electroless Plated Fabric

F. Haghdoost, F. Mohtaram, and V. Mottaghitalab*

Textile Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Guilan, P.O. Box: 3756, Rasht, Guilan

Received 10 December 2013; Accepted 19 March 2014

Abstract

The plasma finishing treatment is an economical and facile technique for modification of a fabric surface in microscopic scale without using chemicals. Current work focuses on the influence of hydrolysis treatment on the fabric conductivity and its corresponding homogeneity compared to chemical etching. The SEM images indicate the positive effect of plasma treatment on the surface roughness and changes in the morphology of the fabric's texture. This may suggest the necessity for inclusion of sensitizer and catalyst into the surface of the fabric to increase its conductivity and homogeneity. The measurement shows a significant drop in electrical resistance from1.2 to 0.2 Ω/cm^2, respectively for chemically-hydrolysis compared to plasma-treatmed fabric. The homogenous coverage of single filaments by copper nanoparticles on the fabric surface formed by electroless plating shows a range of particle size below 100 nm, which is very much smaller than those formed by copper particles of about 500 nm reduced by chemical hydrolysis.

Keywords

plasma treatment,
polyester fabric,
chemical hydrolysis,
copper nanoparticles,
electrical resistance

(*) Address Correspondence to V. Mottaghitalab, Email: mottaghitalab@guilan.ac.ir