منسوجات فنی

فرایندی جدید برای روکش کردنِ منسوجات با نقره به منظورِ تهیهٔ پارچه‌های ضدمیکروب

مترجم: مسعود هاشمی

تکنولوژیِ کاربردِ روکشِ۱ نقره روی پارچه ارائه شده است.ابتدا منسوج با محلولِ سولفاتِ مس مرطوب شده و سپس توسطِ عملیاتِ فسفین، به فسفیدِ فلز کاهش یافته است. مرطوب کردن می‌تواند توسطِ غوطه‌ورکردنِ پارچه در محلولِ سولفاتِ مس یا اسپری کردن۲ محلول بر روی پارچه با استفاده از افشانه۳ صورت گیرد. مرحلهٔ عملیاتی بعدی، غوطه‌ورکردنِ پارچه در محلولِ نیتراتِ نقره می‌باشد، که در طولِ این فرایند فسفیدِ مس به روکشِ نقره تبدیل می‌شود. تکنولوژیِ گسترش‌یافته، امکانِ دستیابی به چسبندگیِ خوبِ سطح پارچه با فیلمِ پیوستهٔ نقره با ضخامتِ ۴۰ تا ۶۰۰ نانومتر را عرضه می‌کند. با استفاده از اسپریِ سولفاتِ مس، روکش‌های حاویِ نقاطِ واحد یا دسته‌ایِ نقره بدست آمدند. منسوجاتِ روکش‌داده با نقره، حتی بعد از ۱۰ دور شستشو، فعالیتِ ضدمیکروبی از خود نشان دادند.

مقدمه

نقره یکی از موادِ ضدباکتری و دارای خاصیتِ درمانی می‌باشد که برای هزاران سال در بخش‌های مختلفِ جهان استفاده می‌شد[۱,۲]. بواسطهٔ مکانیزمِ چندمنظورهٔ فعالیت نقره، طیفِ وسیعی از باکتریها، حدود ۶۵۰ گونه از باکتری‌ها، می‌توانند با استفاده از این نانوذرات غیرفعال شوند، در حالی که طیفِ ضدباکتریِ آنتی‌بیوتیک‌ها۱ می‌تواند محدود به چند مورد، فقط ۵ تا ۱۰ گونه از باکتری‌ها باشد [۵-۳].

رشدِ میکروارگانیزم‌ها روی موادِ پارچه‌ای می‌تواند مشکل‌ساز باشد، از اینرو، تولیداتِ نساجی معمولاً اغلب با موادِ ضدمیکروبی عمل داده می‌شوند [۶,۷]. اخیراً کاربردِ ذرات نقرهٔ ضدباکتری روی سطحِ مواد پارچه‌ایِ گوناگون برای اهدافِ خانگی، پزشکی و غیره گسترش یافته است [۱۱-۸]. این پارچه‌ها می‌توانند برای تولیدِ محصولاتِ پزشکی (باندژها، پارچه‌های مخصوص زخم یا گازها، نخهای بخیه و غیره) و انواعِ مختلفِ پوشاک (لباسهای فرمِ نظامی، لباسهای ورزشی، لباسهای زیر و غیره) به منظورِ محافظت از خطرِ عفونت‌ها یا اجتناب از عواقبِ ناخواستهٔ رشد باکتری، استفاده شوند [۱۲,۱۳]. مثالی برای این کاربردها در مورد جوراب‌ها می‌باشد که از رشد باکتری بدلیلِ بوی زننده، جلوگیری می‌شود. شواهدی وجود دارد که فضانوردانِ ایستگاه فضایی بین‌المللی، در جوراب‌های با نانوذرات نقره ساختِ روسیه، در فضا پرواز می‌کنند [۳,۱۴,۱۵].

روش‌های بسیاری جهتِ به کار بردنِ فیلم‌های فلزی روی مواد غیرفلزی تاکنون ارائه شده است؛ این روشها می‌تواند بطور بالقوه برای نشاندنِ فیلمهای نقره استفاده شود [۲۵-۱۶]. در میان این روش‌ها، بیشترین روش‌های مورد استفادهٔ مُکرر «روش‌های فیزیکی و شیمیایی» می‌باشند. در روشِ فیزیکی، ذراتِ فلزیِ از قبل مذاب‌شده روی سطحِ تحتِ روکش بوسیلهٔ هوا یا گاز فشرده اسپری می‌شوند. ذراتِ فلزی مایع در مسیرِ حرکت به سمت سطح تا اندازه‌ای سرد شده و فقط آنهایی که سطوحِ ذوب‌شده دارند به بسترِ موردنظر می‌چسبند. تغییراتِ این روش، فلزی‌کردن در خلأ می‌باشد [۲۲-۱۷]. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تکنولوژی ضرری برای محیط زیست نداشته و انتخابی هستند. اما اجرای این روش بسیار پیچیده است و نیاز به تجهیزاتِ پرهزینه دارد.

هنگامی که از روش‌هایِ فیزیکیِ نقره‌پوش کردن استفاده می‌شود، قبل از هرچیزی نانوذرات نقره مورد نیاز است، که سپس این ذرات توسطِ فازِ گازی، نشاندن با پلاسما یا خلأ بکاربرده می‌شوند. معایبِ روشهای فیزیکی، مشکلاتِ روکشِ فلزی کردنِ سطوحِ موادِ متخلخل و پیچیدگیِ کنترلِ ضخامتِ روکش می‌باشند.

شیوهٔ دیگر برای نشاندن۲ شیمیاییِ روکش‌های فلزی، استفاده از موادِ کاهش‌دهنده یا در فاز گازی و یا حل‌شده در محلولِ الکترولیت می‌باشد [۲۴-۲۱]. هیدروژن گازی می‌تواند در واکنشِ کاهشِ صورت‌گرفته در دماهای بالا تا صدها درجه، مورد استفاده قرار گیرد. این روش، امکانِ استفاده از محدودهٔ وسیعی از فلزات را پشتیبانی می‌کند، ولی به تجهیزاتِ مخصوص،

جهتِ حرارت‌دادن نیاز است و انتشارِ مخلوط‌های گازی، استفادهٔ وسیع از این روش را محدود می‌کند.

در فلزی‌کردن در فازِ گاز، واکنشِ تجزیهٔ حرارتی اغلب استفاده می‌شود. مناسب‌ترین ترکیبات برای این منظور، کربونیل‌های فلزی هستند. این ترکیبات در دمای اتاق در حالت مایع یا جامد می‌باشند. هنگامی که بیشتر از دمای معینی (معمولاً چندصد درجه) حرارت داده شوند، کربونیل‌ها به منواکسیدِ کربن و فلز تجزیه می‌شوند. منواکسیدِ کربن می‌تواند دوباره جهتِ بدست‌آوردنِ کربونیلِ فلز استفاده شود. در این روش منوکسیدِ کربن می‌تواند در یک چرخهٔ بسته استفاده شود. این امر نه تنها در کاربردهای صنعتی مفید است، بلکه می‌تواند جهتِ به حداقل رساندنِ هزینهٔ مواد کمکی و همچنین جهتِ رفع آلودگی بکار گرفته شود. کاربردِ وسیعِ این روش بواسطهٔ دمایِ نسبتاً بالایِ فرایند و هزینهٔ زیادِ کربونیل‌های فلزی کاهش یافته است [۱۹,۲۰].

روکش‌دهیِ فلزیِ شیمیایی–الکترولیتی [۱۷,۲۵] به منظورِ ایجادِ سطوحِ رسانا استفاده می‌شود. بطوریکه لایهٔ عایق یا دی‌الکریک توسطِ ایجادِ مراکزِ تحریک‌کننده فعال شده و سپس توسط روش شیمیایی روکش داده می‌شود. تکنولوژی‌های شیمیایی و الکترولیتی، دارای محدودیت‌هایی مربوط به استفاده از موادِ پرهزینه، استفاده از دمای بالا و فقدانِ روکش‌دهی روی موادِ با تخلخلِ بالا، می‌باشند.

برای کاربردِ نانوذراتِ نقره روی پارچه‌ها، از روشی که در آن کاهشِ شیمیایی و جذبِ فیزیکی بواسطهٔ مافوق‌صوت با هم تلفیق شده‌اند نیز استفاده شده بود [۲۴]. نمونهٔ پنبه‌ای در محلولِ نیترات نقره در حضورِ اتیلن گلایکولِ آبدار و هیدروکسید آمونیوم قرار داده می‌شود و سپس در معرض عملیات مافوق‌صوت قرار می‌گیرد. اتیلن‌گلایکول جهتِ تبدیلِ نقره به حالت فلز استفاده می شود، هرچند، به عنوانِ نتیجه، تشکیلِ کمپلکسِ پایدارِ $[Ag(NH_3)_2]^+$ بدست می‌آید و غلظتِ یون‌های نقره کاهش می‌یابد و واکنشِ کاهش به آرامی پیش می‌رود. در این شرایط، تشکیلِ ذراتِ بسیار کوچکِ (نانوذرات) نقره رخ می‌دهد و پارچه به رنگ زرد تیره می‌شود که حذفِ آن حتی بعد از شستشویِ شدید مشکل می‌باشد. به منظورِ حذفِ ذراتی که به پارچه متصل نشده‌اند، مجموعه‌ای از شستشوها مورد نیاز می‌باشد. کسرِ جرمیِ نقرهٔ نشانده‌شده، به اندازهٔ کمی وابسته به طبیعت پارچه است، که این امر نشان می‌دهد ذرات بواسطهٔ جذبِ فیزیکی به منسوج متصل شده‌اند. همچنین مبین این است که مافوق‌صوت ذرات را به سطح الیاف می‌فشارد. اندازهٔ شعاعِ ذرهٔ میانگین برای این فرایند حدودِ ۸۰ نانومتر است، امّا ذراتِ بزرگتری نیز تشکیل شدند. هرچند، این روش دارای معایبی نیز می‌باشد. به عنوان مثال امکانِ تشکیلِ نانوذرات نقره نه تنها بر روی سطح پارچه بلکه درونِ محلول نیز وجود دارد؛ به دلیلِ محدودیتِ نفوذ، روکش در اعماقِ خلل و فرج‌ها، نازکتر از لایه‌های بیرونی است. در نهایت استفاده از مافوق‌صوت باعثِ پیچیدگیِ فرایند می‌شود.

بنابراین این امر مشهود می‌باشد که به منظورِ رفعِ مشکلاتِ مشخص مربوط به فرایندهای در دسترسِ حالِ حاضر، ایجادِ روش‌های فلزی‌کردنِ سطحِ منسوجات، که به تجهیزاتِ مخصوص و مواد شیمیایی گران‌قیمت احتیاج نداشته باشد، مورد نیاز است.

در این مطالعه شیوهٔ جدیدِ کاشت یا نشاندنِ نقره روی پارچه ارائه شده است. این روش یک فرایند با درجه حرارت پایین بر اساسِ واکنشِ فازِ گازی بین فسفین و سولفات مس می‌باشد. در ابتدا لایه‌ای از فسفید مس فراهم شده و سپس این لایه به نقره تبدیل شد. توسطِ این روشِ گسترش‌یافته که برای تولیدِ لایهٔ رسانا روی سطوح استفاده می‌شود، امکانِ ایجادِ روکش یا پوشش فلزی هم روی فلز و هم روی مواد دی‌الکتریک یا عایق وجود دارد [۲۸]. این تکنیک برای موادِ متخلخل نیز مناسب می‌باشد. پارامترهای تخصصیِ اصلیِ فرایندِ دستیابی به فیلمِ فسفید، روی سطوحِ فلزی مُسطح (مس، نیکل) و صفحاتِ عایق مورد بررسی قرار گرفت. این تکنیک نسبتاً کم‌خرج می‌باشد و نیازی به تجهیزاتِ پیچیده ندارد.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی

همهٔ مواد شیمیایی از سیگما–آلدریچ خریداری شده بودند و دارای خلوص آزمایشگاهی بودند.

–۲ لوازم و تجهیزاتِ مورد استفاده برای روکش نمودنِ منسوج:

به منظورِ تر نمودنِ سطح نمونه‌ها توسط محلول‌های تخصصی و برای ایجادِ چسبندگیِ لازم، مراحلِ مقدماتیِ خوردگی سطحی با اسید(اسیدشویی) و تمیزکردن انجام شده بود.

صفحاتِ فلزی در محلولِ اسید هیدروکلریک ۲۰۰ g/l، تحتِ خوردگی قرار گرفتند. پارچه‌های ساخته شده با موادِ پلیمری در اسید سولفوریکِ غلیظ حاویِ ۱۵۰ g/l دی‌کرومات پتاسیم برای ۳–۲ ثانیه به منظورِ خوردگی سطحی قرار گرفتند. پارچه‌های ساخته شده از پنبه تحت خوردگی با اسید قرار نگرفتند، بدلیل اینکه سطحِ آنها زبر و خشن است و قابلیتِ مرطوب شدنِ خوبی توسطِ محلول‌های مخصوص (محلول سولفات مس) از خود نشان می‌دهد. بر رویِ سطوحِ آماده شده، یک لایهٔ محلولِ نمک مس بکار رفته بود. بدین منظور، نمونه‌ها برای زمانی معین در محلولِ سولفات مس غوطه‌ور می‌شوند. برای صفحاتِ صاف و هموار زمانِ غوطه‌وری –۱۰ ۱۵ ثانیه بود، درحالیکه برای نمونه‌های متخلخل ۱۵–۱۰ دقیقه بود. بعد از اینکه نمونه‌ها از محلول خارج شدند، به آرامی تکان داده شدند که باعثِ ایجاد یک فیلمِ نازک از نمکِ مس روی سطحِ نمونه‌ها شده بود.

فسفین توسطِ تجزیهٔ اسیدیِ فسفیدِ رویِ پودر شده(Zn_3P_2) تهیه شده بود. فسفیدِ روی با اسیدها جهتِ تولیدِ فسفینِ روی و نمک مربوطهٔ آن مطابقِ واکنشِ زیر واکنش می‌دهد:

$$Zn_3P_2 + 6HCl \longrightarrow 3ZnCl_2 + 2PH_3 \uparrow$$

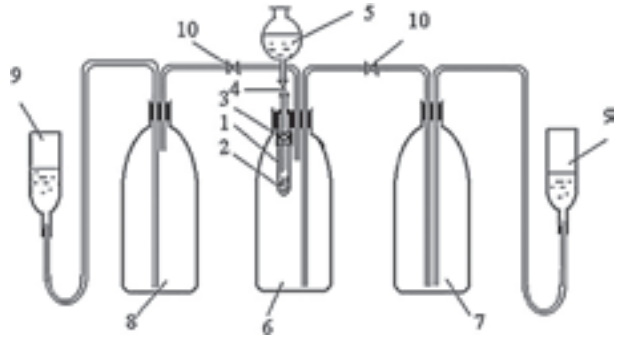
برای تولیدِ فسفین، یک دستگاه و تجهیزاتِ در مقیاس آزمایشگاه (شکل۱) شاملِ قسمت‌های زیر استفاده شده بود:

الف. مخزنِ واکنش: یک لولهٔ شیشه‌ای با یک روزنه در بالای آن برای خروجِ گاز تولیدشده در حینِ واکنش از محیط؛

ب. مخزنِ جمع‌کننده: یک ظرفِ پلاستیکی برای جمع کردنِ فسفینِ حاویِ گاز؛

ج. مخزنِ یکنواخت‌کننده: یک مخزنِ پر از آب برای جابه‌جاییِ گاز در ظرفِ جمع‌کننده.

نمونهٔ فسفیدِ روی، در قسمتِ پایینی مخزنِ ۱ قرار داده شده و با مقدار کمی آب مرطوب شده بود. سپس یک لولهٔ شیشه‌ای با چوب‌پنبه بسته شده و

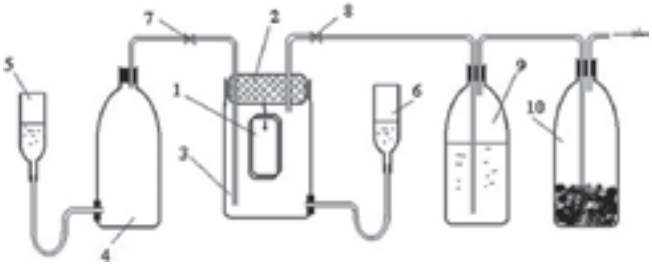


شکل ۱- شماتیک تجهیزاتِ در مقیاسِ آزمایشگاه برای تولید فسفین. (۱) مخزنِ واکنش، (۲) میزانِ وزن شدهٔ فسفید روی، (۳) روزنه، بسته شده با حلقهٔ لاستیکی، (٤) شیر هوا برای تغذیهٔ اسید، (٥) بورت برای اسید، (٦) مخزن برای جمع‌آوری فسفینِ حاویِ گاز، (۷) مخزن واسطه با آب، (۸) دریافت‌کنندهٔ فسفین حاوی گاز و (۹) مخزن‌های تراز یا یکنواختی

در منبع یا مخزنِ ۶ قرارگرفته بود، بصورتی که گلوگاهِ لوله، خیلی سفت و محکم گلوگاهِ مخزن را بسته بود.

سپس از مخزنِ واسطهٔ ۷ حاویِ آب، بوسیلهٔ مخزنِ یکنواخت‌کنندهٔ ۹، به درونِ مخزنِ ۶ آب اضافه شده بود. بورتِ ۵ با اسید هیدروکلریک ۱۰٪ پر شده بود که بوسیلهٔ شیرِ ۴ به مخزنِ واکنشِ ۱ اضافه شود. فسفینِ تولید شده فشار را افزایش داده و حلقهٔ لاستیکیِ بزور جا داده شده در لولهٔ شیشه‌ای را به درونِ مخزنِ جمع‌کنندهٔ ۶ انداخت. حلقهٔ لاستیکی همچنین نقشِ شیر یا سوپاپ را برای جلوگیریِ ورودِ آب به محیطِ واکنش دارد. آب از مخزنِ جمع‌کننده به اجبار واردِ مخزنِ واسطهٔ ۷ شده بود. میزانِ آبِ منتقل شده از مخزنِ جمع‌کنندهٔ ۶ به مخزنِ واسطهٔ ۷ برابر با میزانِ فسفینِ تشکیل شده در این مدت است. در صورتِ لزوم فسفینِ حاویِ گاز توسط فشار به ظرفِ جمع‌کنندهٔ ۸ منتقل می‌شود، بطوریکه تا زمانِ استفاده در آنجا ذخیره شود.

بعد از ایجادِ فیلمِ نمکِ مس، نمونه‌ها اندکی در دمای اتاق برای ۳۰ تا ۴۰ دقیقه خشک شده و در محفظهٔ فلزی‌کردن قرار داده شده بودند، که در آنجا نمکِ فلز بوسیلهٔ فسفینِ حاویِ گاز به فسفیدِ فلز تبدیل می‌شود. شماتیکِ تجهیزاتِ مورد استفاده در آزمایش برای دستیابی به فیلمِ مس-فسفر در شکل۲ نشان داده شده است. نمونهٔ ۱ به سقفِ ۲ محفظهٔ فلزی‌کردن آویخته شده بود و سپس هوا از داخلِ محفظه توسطِ تصفیه یا زدودن با نیتروژن خارج شده بود. بعد از آن، گازِ فسفین از مخزنِ از قبل پرشدهٔ ۴ به محفظهٔ فلزی‌کردن تغذیه شده بود. برای انجام این عمل، محفظه با مقداری آب پر شده بود و سپس، با بسته بودنِ شیرهای ۷ و ۸، آب توسطِ



شکل ۲- شماتیک تجهیزاتِ در مقیاسِ آزمایشگاهی برای بکاربردنِ فیلمهای مس-فسفر. (۱) نمونه، (۲) سقف (۳) مخزنِ روکش‌کاری (٤) مخزنِ حاوی فسفین (٥،٦) مخزن‌های تراز؛ (۷،۸) شیر (۹) مخزنِ حاوی محلولِ سولفات مس (۱۰) مخزنِ حاویِ کربنات مس

مخزنِ ترازکنندهٔ ۶ تخلیه شده بود. در این حالت، در محفظهٔ فلزی‌کردن یک خلاء ایجاد شد که هنگامی که شیر ۷ باز شد به جریانِ ورودیِ گاز به داخلِ محیط واکنش کمک کرد. هنگامِ جریانِ گاز، آب از مخزنِ ترازکنندهٔ ۵ به درونِ مخزنِ ۴ جاری شد. بدلیلِ اینکه در طیِ واکنش، گازِ فلزی‌سازی جذب شده است، پس خلاء در سراسرِ فرایند حفظ شده بود. در پایانِ واکنش، فشار در مخزنِ ۵ و ۴ تنظیم شده بود و جریانِ آب از مخزنِ ۵ به مخزنِ ۴ متوقف شده بود. این امر تعیینِ اتمامِ واکنش را ممکن می‌سازد. بعد از اینکه شیرِ مخزنِ ۶ بسته شد، باقی‌ماندهٔ گاز و هوا از درونِ مخزنِ حاویِ محلولِ سولفاتِ مسِ ۹ به اجبار عبور کرده و به منظورِ خالص‌سازی از مخزنِ ۱۰ عبور کرده بود.

ترکیباتِ مس روی سطحِ نمونه با فسفینِ حاوی گاز (در دمای اتاق) برهمکنش داشته و به فسفیدِ مس تبدیل شده بودند. به عنوانِ نتیجه، یک فیلمِ تیره از فسفیدِ مس روی سطح تشکیل شده بود.

واکنشِ کلّیِ فسفید می‌تواند توسط رابطهٔ زیر ارائه شود:

$$6CuSO_4 + 3PH_3 + 3H_2O \longrightarrow 2Cu_3P + 6H_2SO4 + H_3PO_3$$

روکشِ پارچه‌ها

نمونه‌های پارچه‌ایِ مورد مطالعه در محلولِ سولفاتِ مس با غلظتِ g/l ۲۰۰-۱۰۰ غوطه‌ور شده و در ۴۰-۳۰ درجهٔ سانتیگراد برای مدتِ ۲۰-۱۰ دقیقه خشک شده بودند. سپس پارچه، که در این مرحله اندکی مرطوب بود در یک محفظهٔ مهر و موم شده قرار گرفت و با فسفین تحتِ عمل قرار گرفت. اندکی شرایط مرطوبِ منسوج مورد نیاز است، اولاً برای ممانعت از تبلورِ سولفاتِ مس (که باعث جلوگیری از توزیع یکنواختِ لایهٔ محلول در بعضی مناطقِ منسوج خواهد شد) و دوماً به نفوذپذیریِ موردنیاز برای نفوذِ یکنواختِ فسفین به داخلِ همهٔ قسمتهای پارچه کمک می‌کند. بدینگونه به عنوانِ نتیجهٔ واکنش۲، روی سطحِ پارچه، فیلمِ فسفیدِ مس تشکیل شده است. سپس نمونه‌ها با آبِ مقطر برای حذفِ محصولاتِ فرعیِ واکنش از قبیلِ H_2SO_4 و H_3PO_3 شسته شده بودند.

برای تبدیلِ فسفیدِ مس به نقره، نمونه‌ها برای مدت ۶-۵ ساعت در محلولِ حاویِ ۲-۱ گرم بر لیتر $AgNO_3$ و ۰.۵ گرم بر لیتر HNO_3 قرار گرفته بودند. فرایندِ تشکیلِ نقره توسط واکنش‌های زیر شرح داده شده است:

$$Cu_3P + 9AgNO_3 + 3H_2O \longrightarrow 9Ag + 3Cu(NO_3)_2 + 3HNO_3 + H_3PO_3$$

$$Cu_3P + 11AgNO_3 + 4H_2O \longrightarrow 11Ag + 3Cu(NO_3)_2 + 5HNO_3 + H_3PO_4$$

آزمایش مواد روکش‌شده

میکروسکوپ الکترونیِ پویشی SEM (model ISM-6490-LV, JEOL, Japan) برای مطالعهٔ فیلمهای مس-فسفر نشانده-شده روی سطوح مختلف، استفاده شده بود.عکس‌های میکروسکوپ الکترونی پویشیِ مناطقِ سطوحِ روکش‌یافته در بزرگنمایی‌های متفاوت گرفته شدند. با دستگاه SEM مورد استفاده در این مطالعه، نه تنها امکانِ تعیینِ انرژی‌ها یا طول‌موجهای طیفِ صادر-شده (تجزیه‌تحلیلِ کمّی) ، بلکه همچنین امکانِ اندازه‌گیریِ

شدتِ خطوطِ عناصرِ شرکت‌کننده و بر این اساس، انجام تجزیه-تحلیلِ کمّیِ آنها، وجود داشت. بنابراین، همراه با عکسهای الکترونیِ طیف، اطلاعاتِ حجمِ کمّیِ عناصر در این طیفها ارائه شدند. به منظورِ مطالعهٔ ترکیبِ فیلمهای مس-فسفر، طیف‌سنجِ پراش اشعهٔ X، XRD (DRON-3, Russia) در محدودهٔ زوایای از ۶ تا ۶۴ درجه در U=۳۵ kV، I=۲۰ mA ، استفاده شده بود.

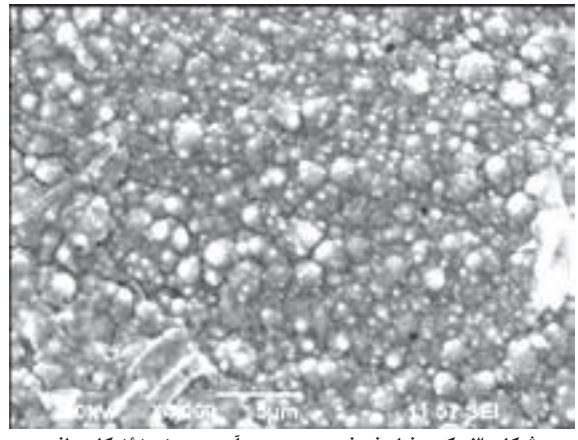
ضخامتِ فیلم از طریقِ رطوبت‌پذیریِ عایق یا دی‌الکتریک تعیین شده بود [۲۹]. برای آزمایشِ خصوصیاتِ ضدباکتری، نمونه‌های پارچه‌ای دارای فیلمهای نقره و پارچهٔ مرجع (بدونِ فیلمهای نقره) در یک ظرفِ مخصوصِ کشت باکتریِ استریل قرار گرفته بودند و محلولِ آبیِ آگار-آگار آلوده‌شده با باکتریِ استافیلوکوک اورئوس۱ روی پارچه ریخته شده بود تا حدی که کاملاً پارچه را پوشش داد. آگار و نمونه‌های غوطه‌ور شده در آن در شرایطِ آرام و سکون قرار گرفته و نمونه‌ها در دمای اتاق ذخیره شده و بدلیلِ رشدِ میکروبی در محیطِ کشت، کلنی‌های باکتری بعد از ۶-۵ روز قابلِ ملاحظه بودند. توانایی فیلم‌های نقره در جلوگیری از رشد باکتری، از طریقِ مقایسهٔ تعدادِ کلنی‌هایِ رشدیافته در نمونه‌های دارای روکش نقره نسبت به نمونه‌های مرجع، معین شده بود.

نتایج

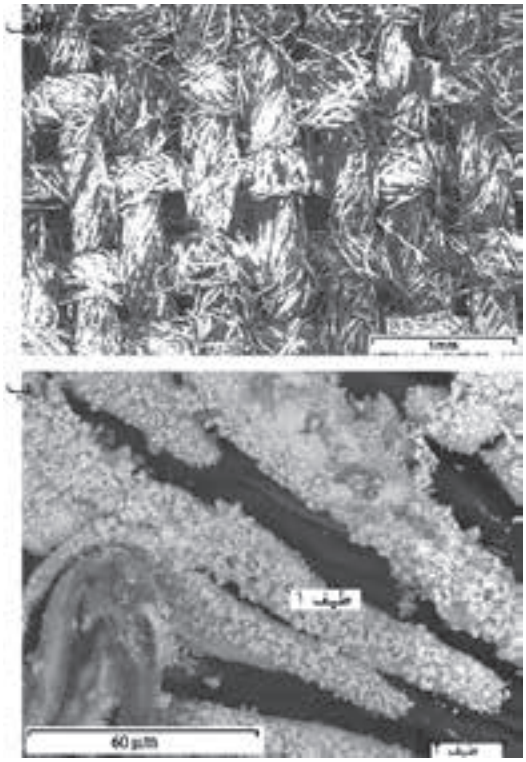
کاشتِ نقره در منسوجات توسطِ غوطه‌وری در محلولِ سولفات مس

تصویرِ فیلمِ فسفیدِ مسِ نشانده‌شده روی صفحهٔ مسطحِ نیکل در شکل۳ ارائه شده است. این تصویر نشان می‌دهد که فیلم حاویِ ذراتی تقریباً کروی‌شکل با قطری در محدودهٔ از ۵۰ نانومتر تا چند میکرومتر می‌باشد. محلول سولفات مس که با غلظتهای از ۱۰۰ تا ۲۵۰ گرم بر لیتر روی صفحهٔ فلزیِ مسطح بکار رفته بود، باعثِ ایجادِ فیلم‌هایی با ضخامت و حجمِ یکسان شده بود. ضخامتِ فیلمِ فسفیدِ مسِ تشکیل‌شده بعد از عمل‌آوری با فسفین متناسب با غلظتِ سولفاتِ مس بود و هنگامی که غلظتِ سولفاتِ مس از ۱۰۰ تا ۲۵۰ گرم بر لیتر افزایش یافت، ضخامت از ۰.۳ تا ۰.۶ میکرون افزایش داشت.

به منظورِ مطالعهٔ اجزای سازندهٔ فیلم‌ها از XRD یا طیف‌سنجِ پراش اشعهٔ ایکس استفاده شده بود. در تمامِ الگوهای اشعهٔ ایکسِ بدست‌آمده، تشکیلِ فیلمِ فسفید مس (Cu_3P) مشاهده شد، که مربوط به خطوطِ دیفراکسیون



شکل -۳ عکسِ فیلمِ فسفید مسِ بدست‌آمده روی نمونهٔ نیکلِ صاف



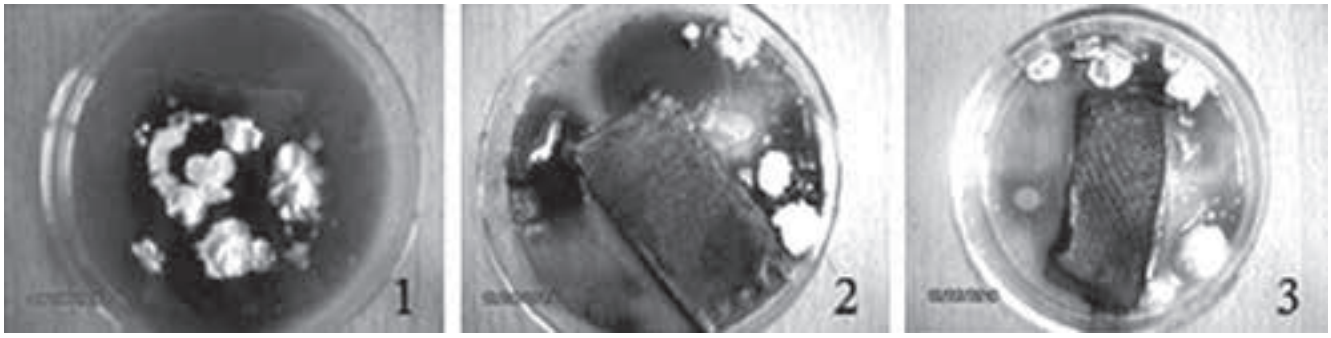
شکل -٤ (الف) عکسِ SEM منسوج و (ب) نواحیِ منحصر به فرد منسوج با نقرهٔ کاربردیِ غوطه‌ور شده در محلولِ سولفاتِ مس- g/l ۲۰۰

یا پراش با پارامترهایِ فاصله بینِ صفحات از A ۲.۴۹، A ۲.۰۱، A ۱.۹۵ و A ۱.۷۹ بود. تعیینِ فسفر بوسیلهٔ روش وزن‌سنجیِ مولیبدات انجام شد، که برای آنالیزِ فسفید مس توصیه شده بود [۳۰]. نتایج نشان داد که میزانِ فسفر در ترکیب یا آلیاژ برابرِ ۱۲-۱۰ درصد بود. این داده‌ها با هم امکانِ شناساییِ فسفیدِ بدست‌امده به عنوانِ Cu_3P را می‌دهند، درحالیکه میزانِ فسفر برابرِ ۱۲.۱ درصد می‌باشد.

شکلِ ۴ عکسِ الکترونیِ قسمتی از منسوج را که با محلولِ g/l **۲۰۰** سولفات مس عمل‌آوری شده بود را نشان می‌دهد. جدولِ ۱ نشان می‌دهد که میزانِ نقرهٔ کل در منسوج ۳۰ درصد (وزنی/وزنی) می‌باشد. مقدارِ کمِ فسفر (٪ ۱.۲) ممکن است مربوط به تشکیلِ فسفاتِ نامحلول یا فسفاتِ نقره با شد.

پوشش مداوم بود و شاملِ دسته‌های ذرات نقرهٔ کره‌ای شکل بود. در بعضی مکان‌های مشخص‌شده بر روی لایهٔ بیرونیِ منسوج (شکل -۴الف، جدول۱)، میزانِ نقره برابر با ۴۸٪ و ۱۹٪ بود.

خصوصیات ضدباکتریِ پارچه‌های دارای فیلمِ نقره با ضخامتِ حدودِ ۴۰-۵۰ نانومتر، که بعد از عملیات در محلولِ ۱۰۰ گرم بر لیترِ سولفاتِ مس بدست‌آمده بود، در شکل ۵ ارائه شده است. برای نمونه‌های منسوج بدونِ روکشِ نقره (نمونهٔ ۱)، تکثیرِ کلنی-های باکتری در تمام قسمتهای محیطِ کشت وجود داشت. برای نمونه‌های منسوج با فیلمِ نقره (نمونهٔ ۲)، هیچگونه کُلُنی در مجاورتِ پارچه تشکیل نشده بود، هرچند در قسمتهای دیگرِ محیطِ کشت، میکروارگانیسم‌ها تکثیر شده بودند. خصوصیاتِ ضدباکتریِ فیلم‌های نقره بعد از ۱۰ مرتبه شستشو حفظ شده بودند (نمونهٔ ۳) جدول۲.



شکل -۵ نمونه‌های پارچهٔ قرارداده شده در محیط کشت آگار-آگار. (۱) پارچه بدون روکش نقره، (۲) پارچه با روکش نقره، (۳) پارچه با روکش نقره بعد از ۱۰ بار شستشو.

کاشتِ نقره در منسوجات توسطِ اسپری‌کردنِ محلول سولفاتِ مس

در بعضی موارد، به منظورِ دستیابی به خصوصیاتِ ضدباکتری، لازم نیست که یک فیلمِ پیوسته و مداوم بر روی سطحِ پارچه تشکیل شود، بلکه کافی است که ذراتِ نقره در برخی مناطقِ منحصربفردِ منسوج قرار داده شوند. برای این موارد، فرایندِ دستیابی به ذراتِ نقره توسطِ اسپری‌کردن مورد بررسی قرار گرفت. پارچه با محلولِ سولفاتِ مس اسپری شده و بلافاصله بعد از این عمل، پارچه با فسفین عمل شده بود. امکانِ اجرای عملیات بدون خشک کردن وجود داشت، بطوریکه بعد از اسپری‌کردن، پارچه دارای نفوذپذیریِ گازِ مناسبی بود. در این روش، فرایندهای زدودنِ یون‌های سولفات و فسفات، انجام نشدند.

با استفاده از این روش می‌توان بطورِ قابلِ توجهی مصرفِ نقره را کاهش داد. بدین‌گونه اگر روش مورد استفاده برای پیش-نقره‌پوش کردنِ منسوج، غوطه‌وری در محلولِ سولفاتِ مس باشد، میزانِ نقرهٔ کل در نمونه برابرِ ۳۰٪ بود (شکل۴)، ولی هنگام استفاده از روش اسپری‌کردن این مقدار ۱.۲٪ می باشد (شکل۶). ذرات نقره در گروه‌ها یا نقاطِ جداگانه توزیع شده بودند. میزان نقره در این مناطق (شکل -۶ب)، سازگار با میزانِ کلّ آن در سطوحِ جامد بود (شکل ۴). پارچه‌هایی که دارای فیلمِ نقرهٔ تهیه شده از طریقِ اسپری‌کردنِ محلول‌های سولفاتِ مس بودند، فعالیتِ ضدمیکروبیِ مشابه با نمونه‌های منسوجِ تهیه شده از طریق غوطه‌وری در محلول‌های سولفات مس از خود نشان دادند (شکل ۵).

بحث

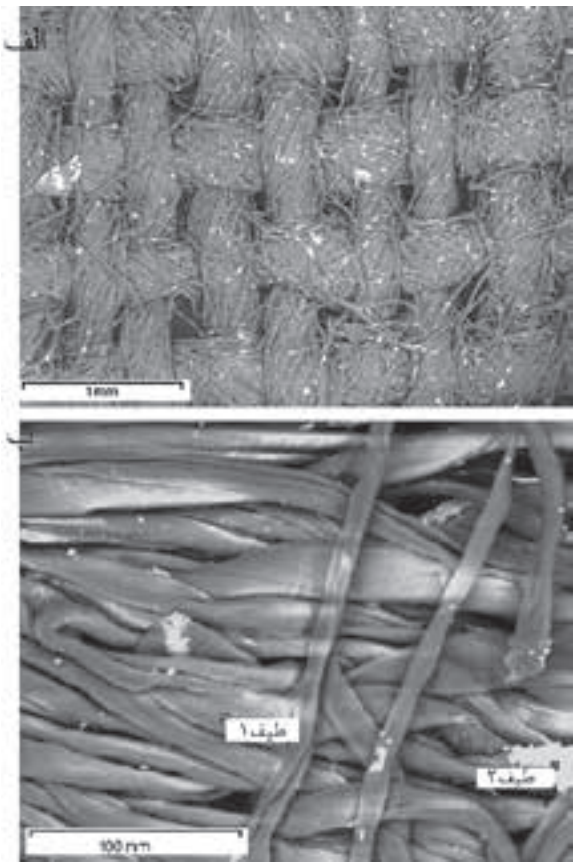
اسیدشویی(خوردگی سطحی با اسید) سطوحِ فلزی به منظورِ حذف فیلمِ اکسید انجام شده بود، در حالیکه اسیدشویی سطوحِ غیرفلزی جهتِ ایجادِ خشنی و زبری در اندازهٔ میکرو انجام شده بود. برای موادِ غیرفلزیِ متخلخل یا سطوحِ زبر و خشن، عملیاتِ اسیدشویی، اختیاری می‌باشد.

نشاندنِ فیلمِ فسفیدِ مس روی صفحاتِ نیکل اولاً به منظورِ مطالعهٔ نسبت اجزاءِ تشکیل‌دهندهٔ فیلم توسطِ مطالعاتِ اشعهٔ ایکس و دوماً برای مطالعهٔ اثر غلظت محلولِ سولفات مس در فرایندِ ایجادِ فیلمِ فسفید نقره توسطِ غوطه‌وری نمونه در محلول سولفات مس، انجام شده بود.

نقره توسطِ برهمکنش یونهای نقره با فسفید مس تولید شده است. علاوه بر این، تقریباً کل فسفیدِ مس به فسفید نقره تبدیل شده است. بنابراین، ضخامت فیلم نقره با ضخامتِ فیلم فسفید مس که در مرحلهٔ ابتداییِ فرایند تشکیل شده، ارتباط مستقیم دارد. ضخامتِ فیلمِ فسفید مس وابسته به غلظتِ محلولِ سولفاتِ مس می‌باشد که نمونه قبل از قرارگیری در معرضِ فسفین برای ایجادِ لایه‌ای از محلولِ سولفاتِ مس روی سطحِ خود، در آن قرار می‌گیرد.

همچنین در مورد منسوجات، ضخامتِ فیلمِ فسفید مس(و نتیجتاً نقره) با افزایشِ غلظتهای سولفات مس افزایش می‌یابد، امّا این ارتباط نمی‌تواند بر حسبِ ثابتِ تناسبی برای مواد پارچه‌ای، بدلیلِ نایکنواختیِ قابل‌توجه آنها بیان شود. از این رو، در هر حالت، غلظتِ (یا محدودهٔ غلظتها) فیلمِ ضدمیکروب بایستی به صورتِ تجربی محاسبه شود.

روش ارائه شده برای کاشت یا القاء نقره در منسوجات، بر پایهٔ لایهٔ فسفید مسِ از قبل تهیه شده بود که سپس به نقره تبدیل شد. فرایندِ دریافتِ فسفید نقره، یک واکنشِ فازِ گازی با درجه حرارت کم بینِ فسفین و



شکل -٦ (الف) نمونهٔ منسوج (ب) و نواحیِ منحصربفرد منسوج در حالتی که ایجادِ روکش نقره توسطِ اسپری‌کردن محلول سولفات مس ۲۰۰ g/l انجام شده بود.

جدول -۱ آنالیز عنصریِ کلّیِ طیف‌های عکسهای الکترونیِ منسوج با بکارگیریِ نقره غوطه‌ور شده در محلول سولفات مس- g/l ۲۰۰

عناصر	وزن ٪		
	طیف ۱ (شکل ۴-الف)	طیف۱ (شکل۴-ب)	طیف ۲ (شکل ۴-ب)
C	۲۹	۲۷	۴۳
O	۴۰	۲۲	۳۴
P	۱/۲	۱/۸	۰/۷
Ag	۳۰	۴۸	۱۹

سولفاتِ مس می‌باشد. علاوه بر این، واکنش فقط از طریقِ فیلمِ محلولِ سولفات مس و با سطحِ مرطوب، پیش می‌رود و با خشک‌شدنِ کاملِ فیلم، کریستال‌های سولفاتِ مس تشکیل می‌شوند. دراین حالت، به عنوانِ سطحِ بیرونی و سطح داخلیِ خلل و فرجها، یک فیلم از کریستالهای مرطوبِ سولفات مس تشکیل می‌شود و خلل و فرجها تنفس‌پذیر می‌شوند. در هنگامِ کاربردِ فیلم روی صفحات مسطحِ پلاستیک، مشاهده شده بود که اگر لایهٔ محلولِ سولفاتِ مس کاملاً خشک شود، سپس روی سطحِ صفحه، کریستال‌های سولفاتِ مس تشکیل می‌شوند. ضمناً، در طولِ فرایند با فسفین، فسفید مس تولید شده بطور کامل این ساختار را حفظ کرد. با خشک-شدنِ جزئی، فیلمِ یکنواختی از فسفید مس تشکیل شده بود. اگر نمونه تا اندازه‌ای که مقداری رطوبت داشته باشد خشک نشود، زمانِ مورد نیاز برای کامل‌شدنِ واکنش بطور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد، بطوریکه توسطِ قطعِ جذب فسفین مشخص می‌شود. در نتیجه فرایند، بوسیلهٔ واکنش فسفینِ تشکیل‌دهندهٔ فیلم‌های مس-فسفر، روی سطوحِ خارجی و داخلیِ مواد متخلخل رخ می‌دهد. این امر به چسبندگی بالای فیلمِ فسفر-مس به منسوج کمک می‌کند. بنابراین لایهٔ نقره، که در حینِ تبدیلِ لایهٔ مس-فسفر به نقره تشکیل شده است، همان چسبندگیِ افزایشی را نشان می‌دهد. این امر امکان حفظِ خاصیتِ ضدباکتری پارچه را، بعد از چندین بار شستشو(حداقل ۱۰ بار) می‌دهد.

با تنظیم غلظتِ محلول سولفات مس در حالتِ غوطه‌وریِ نمونه، ضخامتِ فیلم فلزیِ نتیجه‌شده را می‌توان کنترل کرد. بدینگونه از طریق عمل‌آوری در محلولهای غلیظ، ضخامت فیلم به مقادیرِ ۰.۶-۰.۵ میکرون می‌رسد. علاوه بر این، ساختن و افزایش ضخامت توسط فلزی‌کردنِ شیمیایی یا گالوانیک امکان‌پذیر می باشد [۲۸,۳۰]. این امر ایجادِ محصولاتِ نساجی با خصوصیاتِ رسانایی الکتریکی را ممکن می‌سازد.

از لحاظِ نظری، فیلم نقره می‌تواند با کاهشِ غلظتِ محلول سولفات مس در اندازهٔ نانو، تهیه شود؛ هرچند، چونکه این ذرات به عنوان نتیجهٔ واکنش ۲ تشکیل شده‌اند، ذرات فسفید مس(و ذرات نقره بعد از آن) دارای شکل کروی بوده و ضخامتِ کمینهٔ فیلم-های بدست‌آمده توسط این تکنولوژی ۵۰-۴۰ نانومتر بود. فیلمهای ضد باکتری می‌تواند توسط اسپری‌کردنِ محلولِ سولفات مس روی سطح پارچه ایجاد شود. در این حالت ذرات نقره در برخی مناطق، به شکلِ نقاط یا دسته‌ها، تشکیل می‌شوند. این امر کمک به کاهشِ مصرف نقره و همچنین حذف فرایندهای تخصصیِ شستشو و عملیات های خشک‌کردن، می‌کند.

نتیجه‌گیری

دو روشِ نشاندنِ نقره روی منسوجات ارائه شده بودند: در یکی از روشها نمونه‌های منسوج در محلولِ سولفاتِ مس غوطه‌ور می-شوند و در دیگری سولفاتِ مس روی سطحِ نمونه‌های مسنوج اسپری می‌شود. در هر دو حالت، ذراتِ نقره روی سطحِ منسوج، ایجاد خواص ضدباکتری کردند، بطوریکه این خواص بعد از شستشوی مکرر، باقی ماند. از طریقِ روش غوطه‌وری، فیلمهای نقرهٔ پیوسته با ضخامت‌های متغیر از ۴۰ تا ۶۰۰ نانومتر فراهم شده بودند. در حالتِ استفاده از روش اسپری‌کردن، نانوذراتِ نقره بطور نایکنواخت روی سطح پارچه توزیع شده بودند و نواحیِ ضد باکتری روی سطح ایجاد کردند. روش دوم می‌تواند با توجه به هزینه مؤثرتر باشد، زیرا مقدار نقره کمتری در این روش موردنیاز است. روشهای ارائه‌شده می‌توانند به منظورِ ایجاد روکش بر روی مواد رسانا و عایق و همچنین برای مواد متخلخل نیز بکار روند.

منابع در دفتر مجله موجود است.

جدول -۲ ترکیبِ عنصری طیف‌های عکسهای الکترونیِ منسوج در حالتِ ایجاد فیلم نقره توسطِ اسپری‌کردن محلول سولفات مس-g/l۲۰۰

عناصر	وزن ٪		
	طیف۱ (شکل ۶-الف)	طیف۱ (شکل ۶-الف)	طیف۲ (شکل ۶-ب)
C	۲۷	۵۹	۳۲
O	۲۲	۳۸	۲۷
P	۱/۸	-	۱/۴
Ag	۴۸	-	۳۳
S	-	-	۰/۵
Cu	-	-	۱/۶