مجله علوم و فناوری نساجی
دوره جدید، شماره ۷، شماره پیاپی ۲۳
صفحه ۳۸-۲۹، ۱۳۹۷
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

تکنولوژی‌های جدید به‌منظور ایجاد منسوجات با سطوح هوشمند

Emerging Technologies for Fabrication Textiles with Smart Surfaces

سارا خمسه*[۱]، موسی صادقی کیاخانی[۲]

۱- تهران، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه پژوهشی نانو مواد و نانوفناوری، کد پستی: ۱۶۶۸۸۳۶۴۷۱
۲- تهران، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه پژوهشی رنگزای عالی، کد پستی: ۱۶۶۸۸۳۶۴۷۱

چکیده

در حال حاضر، تکنیک‌های متعددی جهت ایجاد پوشش‌های با کیفیت و دارای خواص ویژه، بر سطح منسوجات مورداستفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر علاوه بر روش‌های معمول، تکنولوژی‌های جدیدی معرفی شده‌اند که می‌توانند سطوح هوشمندی را بر سطح منسوجات به وجود آورند که در حال حاضر برای صنعت نساجی شناخته شده نیستند. در طی چند دهه گذشته، کاهش سایز به محدوده نانومتر، یکی از مهم‌ترین جهت‌گیری‌های پیشرفت علم و تکنولوژی بوده است. این جهت‌گیری، پتانسیل بالایی در حوزه تکمیل منسوجات دارد. مقاله حاضر تکنولوژی‌های جدیدی را مورد بررسی قرار می‌دهد که از تکنولوژی نانو استفاده کرده و دارای پتانسیل بالایی جهت ایجاد تغییرات قابل‌ملاحظه در تکمیل منسوجات هستند. این تکنیک‌ها، با ایجاد کمترین تغییرات در زیردست، راحتی، استحکام و قابلیت عبور هوای منسوجات، خواص ویژه مورد نظر را در آنها به وجود می‌آورند. این تکنولوژی‌های جدید عبارتند از، لایه‌نشانی لایه‌به‌لایه، لایه‌نشانی لایه اتمی، لایه‌نشانی فیزیکی از فاز بخار و لایه نشانی شیمیایی از فاز بخار. از آنجایی‌که این تکنولوژی‌ها به سرعت در حال رشد هستند، در آینده نزدیک از آن‌ها در تهیه منسوجات هوشمند استفاده خواهد شد.

کلمات کلیدی
منسوجات ویژه
سطوح هوشمند
لایه‌نشانی لایه‌به‌لایه
لایه‌نشانی لایه اتمی
لایه‌نشانی فیزیکی فاز بخار
لایه‌نشانی شیمیایی فاز بخار

مقدمه

منسوجات دارای کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف هستند. تحقیقات زیادی به منظور تغییر خواص سطحی منسوجات صورت گرفته که هدف، ایجاد خواص ویژه بر سطح آنها به منظور کاربردی خاص بوده است [۱-۲۰]. در این میان می‌توان به تهیه منسوجات مقاوم در برابر شعله و اشعه ماورای بنفش، منسوجات ضدباکتری و خودتمیز شونده اشاره کرد. تکنیک‌های مختلفی به منظور اعمال نانوپوشش‌ها بر سطح منسوجات بکار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به سل-ژل، دیسپرسیون پلیمر، لایه‌نشانی شیمیایی فاز بخار[۱]، لایه نشانی فیزیکی فاز بخار[۲]، الکترولیز و لایه نشانی لایه اتمی[۳] اشاره کرد. با این روش‌ها می‌توان هر تار جداگانه از منسوجات را پوشش داد و پوشش‌هایی بر سطح آنها به وجود آورد که دارای خواص ویژه بوده و حتی بتوانند کیفیت و طول عمر منسوجات را افزایش دهند[۲۱-۲۶]. تکنیک‌های سنتی از قبیل آغشته‌سازی-خشک کردن-پخت[۴] به شکلی گسترده به‌منظور ایجاد خواص ضدباکتری، مقاومت در برابر امواج ماورای‌بنفش و خود تمیزشوندگی بر سطح منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما این روش‌ها به صورت کامل موثر نبوده و دارای عیوبی از قبیل عدم پوشانندگی کامل، کاهش لطافت منسوجات، وزن بالای پوشش و به دنبال آن محصول نهایی، عدم پایداری پوشش‌ها بر سطح منسوجات و از بین رفتن سریع پوشش‌ها در اثر شستشو و کاهش استحکام مکانیکی منسوجات هستند. از طرف دیگر، این روش‌ها به جهت ایجاد پساب‌های خطرناک

*مسئول مکاتبات،پیام نگار: khamseh-sa@icrc.ac.ir

1- Chemical Vapor Deposition (CVD)
2- Physical Vapor Deposition (PVD)
3- Atomic Layer Deposition
4- Pad-dry-cure

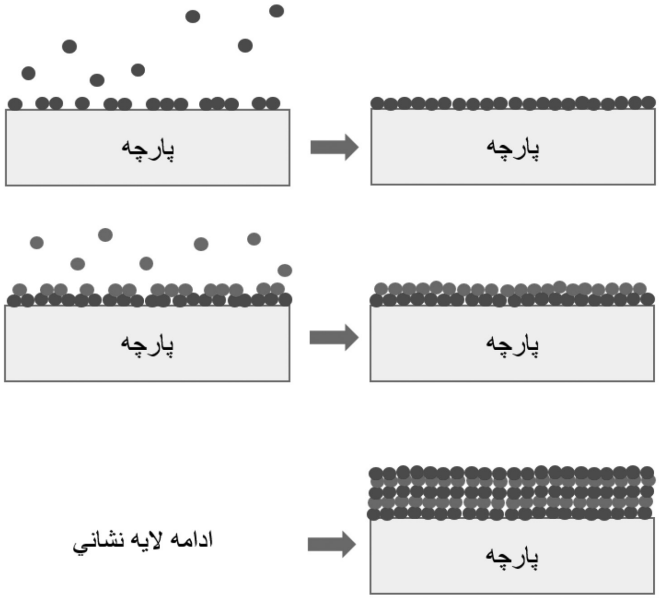
دارای خطرات زیست محیطی می‌باشند. بنابراین، تکنیک‌های لایه‌نشانی جدید از قبیل پوشش‌دهی لایه‌به‌لایه، لایه نشانی لایه اتمی، لایه‌نشانی فیزیکی فاز بخار و لایه‌نشـــانی شیمیایی فاز بخار در حال توسعه هستند که در آنها، خواص موردنظر در منسوجات، از طریق اعمال لایه‌های نازک پایدار بر سطح منسوجات، بدون ایجاد تغییرات در خصوصیات ذاتی آنها صورت می‌گیرد [۲۶].

تکنیک‌های تهیه لایه‌های نازک بر سطح منسوجات

لایه‌نشانی لایه‌به‌لایه[1]

لایه‌نشانی لایه‌به‌لایه، روشی مناسب به منظور تهیه لایه‌های نازک ترکیبی بر سطح زیرلایه‌های جامد است که شامل جذب متوالی پلی‌کاتیون‌ها و پلی‌آنیون‌ها به منظور ساخت مجموعه‌ای از پلی‌الکترولیت‌های چند لایه به صورت فیلم بر ســـطح کالا می‌باشد. با اســـتفاده از این روش می‌توان منسوجات نانوکامپوزیتی با خواص ویژه را تهیه کرد. همچنین نانوذراتی از قبیـــل روی، نقره و تیتان را نیز می‌توان با اســـتفاده از این روش وارد ساختار منســـوجات کرد. در این فرآیند ابتدا زیرلایه (کالا) باردار شده و سپس در یک محلول پلی‌الکترولیت با بار مثبت غوطه‌ور و سپس آبکشی می‌شود. پلی‌الکترولیت مورداستفاده، دارای بار الکتریکی مخالف با زیرلایه اســـت، بنابراین به‌سمت زیرلایه جذب شده و با اســـتفاده از پیوندهای الکتروستاتیک قوی به آن متصل می‌شـــود. سپس زیرلایه پوشش داده شده با لایه اول، داخل محلول الکترولیت دیگری، با بار الکتریکی مخالف قرار می‌گیرد. با تکرار این روند، می‌توان تا ۲۰ لایه را بر سطح منسوجات نشاند [۲۶]. شمایی از سیستم لایه‌نشانی به روش لایه‌به‌لایه در شکل ۱ نشان داده شده است.

در گزارشی پوشش‌های نانوکامپوزیتی چندلایه شامل نانو ذرات Al_2O_3، بر سطح الیاف پنبه کاتیونی بوسیله تکنیک لایه‌به‌لایه پوشش‌دهی شده که هدف از آن بهبود خواص مکانیکی، حفاظت در برابر اشعه ماورای بنفش و افزایش مقاومت در برابر شعله الیاف پنبه‌ای بوده است [۲۷]. در گزارشی دیگر پوشش‌های نانوکامپوزیتی چندلایه، با لایه نشانی نانوذرات ZnO، بر سطح منسوجات پنبه‌ای کاتیونی با روش لایه‌به‌لایه اعمال شده است که نتیجه‌ی آن ایجاد خواص ضدباکتری بر سطح منسوجات بوده است [۲۸]. این روش، روشـــی مناسب جهت اعمال لایه‌های نازک چندلایه بر سطح منسوجات مختلف است. بعلاوه زیرلایه مورداستفاده در این روش، می‌تواند اندازه، شـــکل و توپوگرافی متفاوتی داشته باشد. در این روش به منظور عملکرد بهتر، می‌توان از پلی‌الکترولیت‌ها استفاده کرد. پلی‌الکترولیت‌ها دارای دانسیته بار الکتریکی مشخص، قابلیت جذب از محلول‌های غیرآبی،



شکل ۱- شمایی از سیکل لایه‌نشانی به روش لایه‌به‌لایه.

جذب انتخابی به منظور تهیه لایه‌های ترکیبی و واکنش‌پذیری شیمیایی بین لایه‌های مختلف هستند. این تکنیک دوست‌دار محیط زیست بوده و ارزان، سریع و آسان است [۲۹].

پوشش‌دهی به روش لایه اتمی

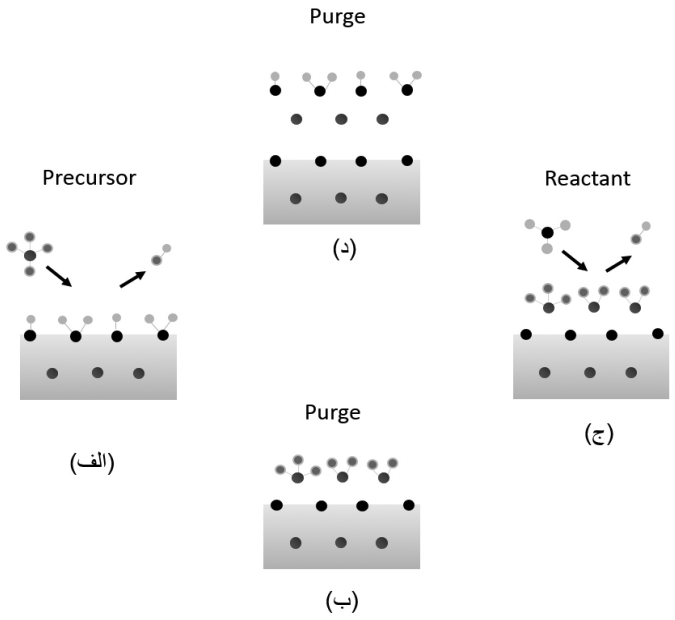
در این روش، نانوپوشـــش‌ها با استفاده از پالس‌هایی از گاز تهیه می‌شوند که در هر پالس یک لایه‌ی اتمی بر ســـطح منسوجات بوجود می‌آورند. ضخامت پوشـــش‌ها در این روش به وسیله ی کنترل تعداد سیکل‌های لایه‌نشانی (پالس گازی) کنترل می‌شود. سرعت لایه‌نشانی در این روش پایین است ولی دارای این مزیت است که ضخامت پوشش را می‌توان در حد انگستروم و یا تک‌لایه کنترل کرد[۳۰]. شمایی از سیکل لایه‌نشانی به روش لایه اتمی در شـــکل ۲ نشان داده شده است. تا چند سال پیش استفاده از این روش به علت دمای بالای فرآیند، برای لایه‌نشانی بر سطح پلیمرها غیر ممکن بود، ولی در ســـال‌های اخیر با توسعه تکنیک دمای پایین، می‌توان از این روش به‌منظور لایه‌نشانی پلیمرهای آلی حساس به دما نیز استفاده کرد.

از تکنیک لایه اتمی دمای پایین در اصلاح سطحی پلیمرها و یا لایه‌نشانی کامپوزیت‌های آلی/ معدنی استفاده می‌شود [۳۰]. به علاوه گزارش‌هایی

جدول ۱- مثال‌هایی از پوشش‌های اعمال شده بر سطح منسوجات مختلف، با استفاده از روش لایه‌به‌لایه و تاثیر پوشش بر خواص منسوجات.

جنس منسوج	پوشش اعمال شده	خواص بهبود یافته یا ایجاد شده	مرجع
الیاف پنبه کاتیونی	پوشش‌های نانوکامپوزیتی حاوی Al_2O_3	بهبود خواص مکانیکی حفاظت در برابر اشعه ماورای بنفش افزایش مقاومت در برابر شعله	[۲۷]
الیاف پنبه کاتیونی	پوشش‌های نانوکامپوزیتی حاوی ZnO	ایجاد خواص ضدباکتری	[۲۸]

1- Layer by Layer deposition



شکل ۲- شمایی از سیکل لایه‌نشانی به روش لایه اتمی.

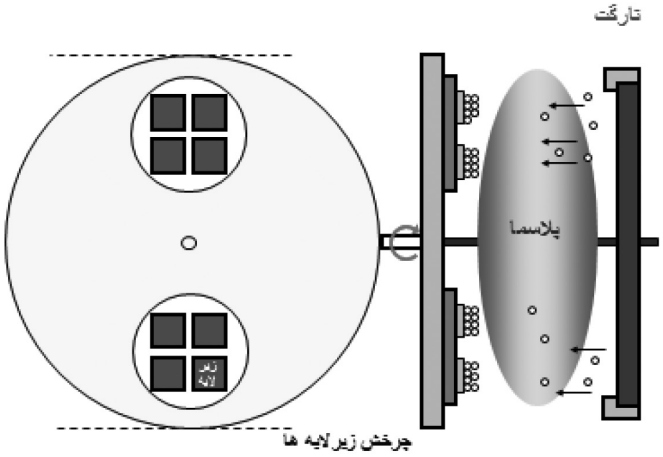
از لایه‌نشـــانی سطح منســـوجات با لایه‌های نازک ZnO و Al_2O_3 وجود دارد که با تکنیک لایه اتمی لایه‌نشانی شده‌اند [۳۱ و ۳۲]. نتایج حاصل از لایه‌نشـــانی Al_2O_3 بر سطح پلی‌پروپیلن نشان داد که با تغییر عوامل موثر بر لایه‌نشـــانی می‌توان سطح الیاف آب‌گریز پلی‌پروپیلن را از حالت نیمه آبدوســـت به آبدوســـت تغییر داد [۳۱]. در مقابل الیاف آبدوست پنبه‌ای پوشش داده شده با Al_2O_3، با تغییر شرایط لایه‌نشانی حالت نیمه آبدوستی داشـــتند. همچنین محققان لایه‌های نازکی از آلومینیوم را بر سطح منسوجات بی‌بافت پلی‌پروپیلن و منسوجات بافته پنبه‌ای با تکنیک لایه اتمی نشاندند و اثرات دمای لایه‌نشانی را بر رشد لایه اکسید آلومینیوم بررســـی کردند [۳۳]. نتایج حاصل نشان داد که ساختار فصل مشترک پوشش با منسوجات، به شدت به دمای لایه‌نشانی وابسته است به‌طوری‌که با افزایش دمای لایه‌نشانی نفوذ ذرات بیشتر شده و عمق بیشتری از الیاف، تحت پوشش قرار می‌گیرد.

لایه‌نشانی فیزیکی فاز بخار

لایه‌نشانی فیزیکی فاز بخار نوعی فرآیند تبخیر است که در آن انتقال مواد به فاز گاز به صورت اتم به اتم و یا ملکول به ملکول می‌باشد [۲۶ و ۳۴]. در مرحله بعد فاز گازی بر سطح منسوجات متراکم می‌شود. نتیجه کار، ایجاد یک لایه نازک، قدرتمند و پیوسته بر سطح منسوجات است. لایه‌نشانی

جدول ۲- مثال‌هایی از پوشـــش‌های اعمال شده بر منسوجات مختلف با استفاده از روش لایه اتمی و تأثیر پوشش بر خواص منسوجات.

جنس منسوج	پوشش اعمال شده	خواص بهبود یافته یا ایجاد شده	مرجع
پلی پروپیلن	ZnO و Al_2O_3	تغییر ترشوندگی	[۳۳]
الیاف پنبه	Al_2O_3	تغییر ترشوندگی	[۳۴]



شکل ۳- شمایی از سیستم لایه‌نشانی فیزیکی از فاز بخار.

فیزیکـــی فاز بخار بطور عمده جهت تهیه لایه‌های نازک ضد ســـایش و خوردگی بر سطح شیشه و فلزات استفاده شده است [۲۷ و ۲۸]. اخیراً از این تکنیک جهت ایجاد خواص ویژه بر سطح منسوجات، از قبیل هدایت الکتریکی، خواص نوری، مغناطیسی و زیست سازگاری استفاده شده است [۲۶، ۳۵ و ۳۶]. نتایج حاصل نشان داده است که پوشش‌های تهیه شده با اســـتفاده از این روش بر سطح منسوجات، باعث بهبود خواص سطحی آنها می‌شود بدون آنکه خواص فیزیکی آنها را تحت تاثیر قرار دهد [۲۸-۳۱]. روش لایه‌نشانی فیزیکی فاز بخار در مقایسه با سایر تکنیک‌های لایه نشانی دارای مزایای زیر است [۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۳۷-۴۱]:

- در مقایسه با تکنیک‌های رایج که به روش حلالی انجام می‌شوند، هیچ حلالی در این روش استفاده نمی‌شود و دوست‌دار محیط زیست می‌باشد.
- پوشش‌های تولیدی یکنواخت و متراکم هستند.
- زمان فرآیند کوتاه است.
- چسبندگی قوی بین پوشش و زیرلایه (منسوجات) وجود دارد.
- لایه‌نشانی در دماهای کم انجام می‌شود که برای پوشش‌های پلیمری مناسب است.
- انواع پوشش‌ها با این روش قابل تهیه هستند.

شـــمایی از سیستم لایه نشانی به روش کندوپاش در شکل ۳ نشان داده شده است.

Rtimia و همکارانش لایه‌های نازک از اکسی نیترید تیتانیوم (TiON) و اکسی نیترید تیتانیوم/نقره (TiON-Ag) را بر سطح پلی‌استر، در سیستم کندوپاش ایجاد کرده‌اند [۴۱]. نتایج نشان داد که وجود TiON در کنار Ag مانع جدا شدن نقره از سطح منسوجات شده و در نهایت پوشش‌های TiON-Ag خـــواص ضدباکتری بهتری را نشـــان می‌دهند. این گروه در کاری جدیدتر لایه‌های مس و نقره را بر سطح پلی‌استر نشانده و خواص ضدباکتری خوبی را گزارش کرده‌اند [۴۲]. خمســـه و همکاران لایه‌های نازکی از TiON و TiON-Cu را بر سطح پارچه پنبه‌ای لایه‌نشانی کردند و نتایج حاصل نشـــان داد که هر دو پوشـــش باعث آبگریز شدن سطح پارچه پنبه‌ای می‌شوند. از طرفی پوشش TiON توانایی از بین بردن ۹۰٪ باکتری‌های اضافه شده به ســـطح پارچه را داشت و درصد کاهش رشد

جدول ۳- مثال‌هایی از پوشش‌های اعمال شده بر منسوجات مختلف با استفاده از روش لایه‌نشانی فیزیکی فاز بخار و تاثیر پوشش بر خواص منسوجات.

جنس منسوج	پوشش اعمال‌شده	خواص بهبودیافته یا ایجاد شده	مرجع
پلی‌استر	TiON, TiON-Ag	چسبندگی بهتر Ag بر سطح پلی استر	[۴۱]
پلی‌استر	Ag, Cu	خاصیت ضدباکتری	[۴۲]
پنبه	TiON, TiON-Cu	افزایش آبگریزی خاصیت ضدباکتری	[۴۳]
پنبه	TiON, TiON-Cu	بهبود پایداری حرارتی خاصیت ضدباکتری	[۴۴]

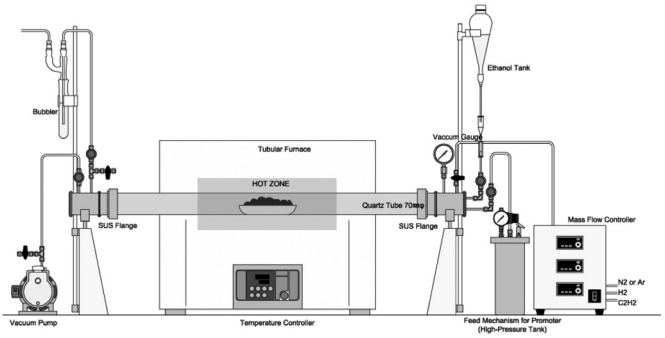
باکتری‌ها با اضافه شـــدن Cu به ســـاختار آن به ۱۰۰٪ رسید [۴۳]. در گزارش دیگری، صادقی و همکاران پوشش‌های مشابه را بر سطح پارچه پشمی لایه‌نشـــانی کردند [۴۴]. نتایج حاصل نشان داد که اضافه کردن Cu به ساختار پوشش‌های TiON لایه نشانی شده بر سطح پارچه پشمی زاویه تماس را کاهش می‌دهد ولی منجر به بهبود پایداری حرارتی و ایجاد خاصیت ضدباکتری ۱۰۰٪ بر سطح پارچه پشمی می‌شود.

لایه‌نشانی شیمیایی فاز بخار (CVD)

لایه‌نشانی شیمیایی فاز بخار شامل لایه‌نشانی یک فیلم جامد از حالت گاز است که در آن مواد شیمیایی در حالت بخار و تحت حرارت و فشارهای پایین با یکدیگر واکنش داده و فیلم جامد را شکل می‌دهند [۳۵]. شمایی از سیستم لایه‌نشانی به روش رسوب شیمیایی فاز بخار در شکل ۴ نشان داده شـــده اســـت. کمپانی Conductive Coatings منسوجات بی‌بافت پوشـــش داده با نیکل را به این روش تهیه کرده اســـت که دارای هدایت الکتریکی بوده و سپر امواج الکترومغناطیس می‌باشند [۴۵]. در گزارشی دیگر سطوح ابرآبگریز خودتمیزشـــونده از جنس پلی‌متیل سیلوکسان به روش حرارتی بر ســـطح سلولز بدست آمده اســـت [۲۶]. لایه‌نشانی اکسایشی شیمیایی فاز بخار روشی جدید برای ایجاد پوشش‌های پلیمری (۴،۳- اتیلن دی‌اکسی تیوفن) بر سطح انواع مختلف زیرلایه‌ها می‌باشد که برای تهیه منســـوجات با هدایت الکتریکی بالا نیز استفاده می‌شود. منســـوجات پوشش داده شده با این روش، قابلیت استفاده در لباس‌های هوشمند مورداستفاده در پزشکی، صنایع نظامی و سلول‌های خورشیدی را دارند. به‌منظور بهبود خواص سطحی منسوجات مورداستفاده در صنایع بسته‌بندی، نانوذرات نقره با استفاده از روش لایه‌نشانی شیمیایی فاز بخار به داخل ســـاختار SiOCH وارد شدند و نتایج حاصل نشان داد که وجود ذرات نقره با اندازه دانه ۱۰ نانومتر آســـیبی به شفافیت پوشش نمی‌زند

جدول ۴. مثال‌هایی از پوشـــش‌های اعمال شده بر منسوجات مختلف با استفاده از روش لایه نشانی شیمیایی فاز بخار و تاثیر پوشش بر خواص منسوجات.

جنس منسوج	پوشش اعمال‌شده	خواص بهبودیافته یا ایجاد شده	مرجع
منسوجات بی‌بافت	Ni	هدایت الکتریکی سپر امواج الکترومغناطیس	[۴۵]
سلولز	پلی متیل سیلوکسان	ابرآبگریز	[۴۶]

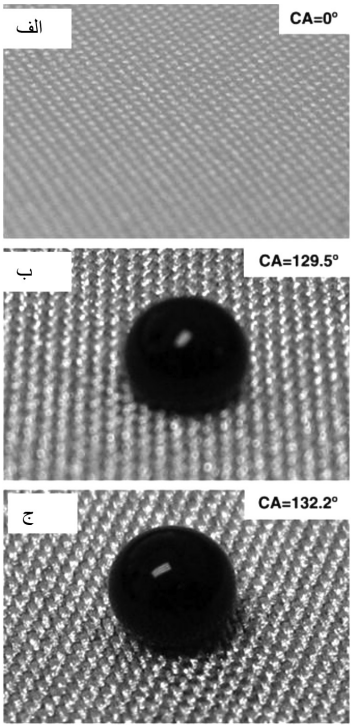


شکل ۴- شمایی از سیستم لایه‌نشانی شیمیایی از فاز بخار.

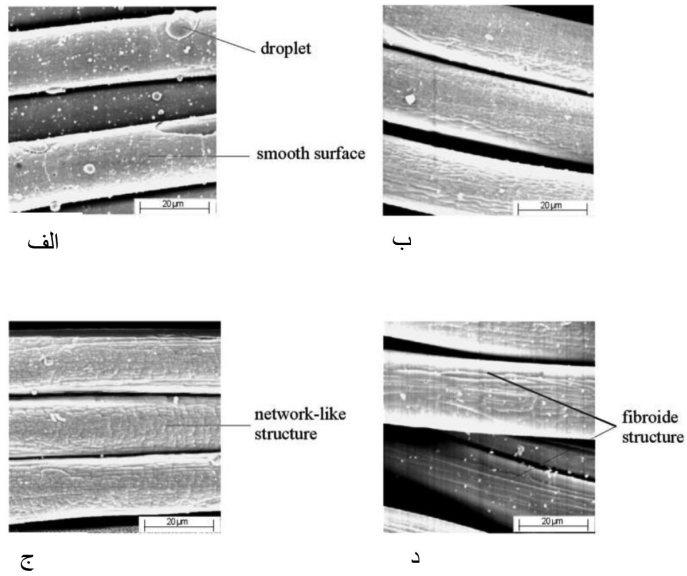
درحالی‌که خاصیت ضدباکتری خوبی به منسوج می‌دهد [۴۶]

مثال‌هایی از کاربرد تکنولوژی‌های جدید به‌منظور ایجاد سطوح هوشمند بر سطح منسوجات

تکنیک‌های بر پایه لایه‌نشـــانی فیزیکی فاز بخار بطور گسترده به‌منظور تهیه لایه‌های بسیار نازک از فلزات بر سطح انواع مختلف زیرلایه‌ها (فلزی و غیرفلزی) مورداستفاده قرار می‌گیرد. Wei و همکارانش لایه‌های نازک مس را به روش کندوپاش بر سطح پلی‌پروپیلن تهیه کرده و نشان دادند که پیش عملیات پلاســـمایی و حرارت‌دهی در حین لایه‌نشانی تأثیر به سزایی بر چسبندگی پوشش‌ها دارد [۲۴]. در گزارشی دیگر، لایه نازکی از نقره به روش کندوپاش مغناطیسی بر سطح الیاف پلی‌استر نشانده شده



شـــکل ۵- زاویه تماس آب با (الف) پارچه‌ی پلی‌استر خام (ب) پارچه پلی‌استر پوشش داده شده با نقره به مدت ۱۰ دقیقه (ج) پارچه پلی‌استر پوشش داده شده با نقره به مدت ۳۰ دقیقه [۲۳].



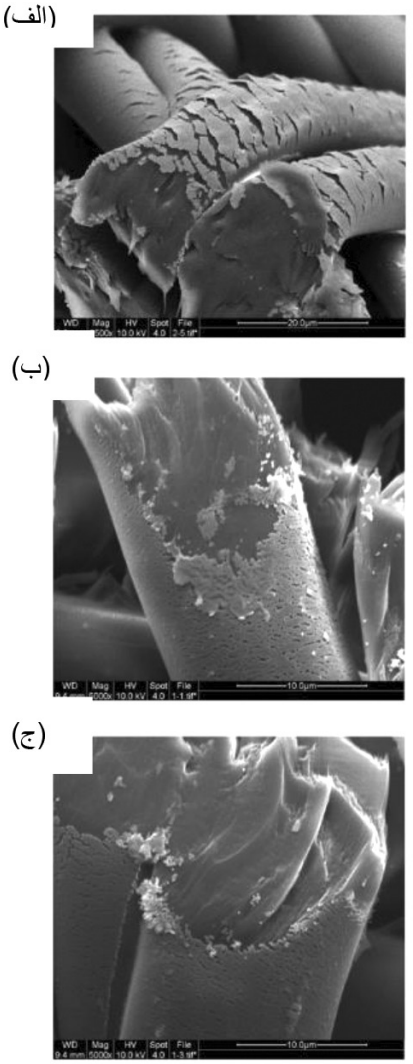
شـــکل ۶- تصویر منسوجات پلی‌آمید پوشش داده شده با (الف) Ti (ب) ٪TiC20 (ج) ٪TiN50(د)٪TiN100 [۶].

است و محافظت در برابر امواج ماورای بنفش بسیار بالا، آب گریزی بسیار خوب و مقاومت باکتریایی بسیار خوبی به دست آمده است [۲۳].
در گزارش دیگری اثرات لایه‌های نازک کندوپاش شـــده از مس، اکسید روی و پلی‌تترافلورواتیلن بر سطح منسوجات بی‌بافت از جنس پلی‌پروپیلن موردمطالعه قرار گرفته است [۲۴]. نتایج حاصل نشان داد که لایه مس باعث بالا رفتن هدایت الکتریکی سطح می‌شود و از طرف دیگر، لایه اکسید روی باعث جذب بالای اشعه ماورای بنفش می‌گردد بطوری‌که از محصول بدست آمده می‌تواند بعنوان سپری در برابر اشعه ماورای بنفش استفاده شود. از طرف دیگر آبدوستی منسوجات پوشش داده شده با مس و اکسید روی افزایش یافت. منســـوجات لایه‌نشانی شده با هم دارای خاصیت آب گریزی بالا و زبری سطح بالا بودند که علت آن طبیعت لایه بود. Dietzel و همکاران رابطه بین ریز ســـاختار سطح و خواص منسوجات پلی‌آمید پوشش داده شده با تیتانیوم و زیرکونیوم تهیه شده به روش کندوپاش را بررســـی کردند [۶]. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که به جهت اچ شدن سطح در کندوپاش فلزی واکنشی، خواص شیمیایی سطح منسوج تغییر

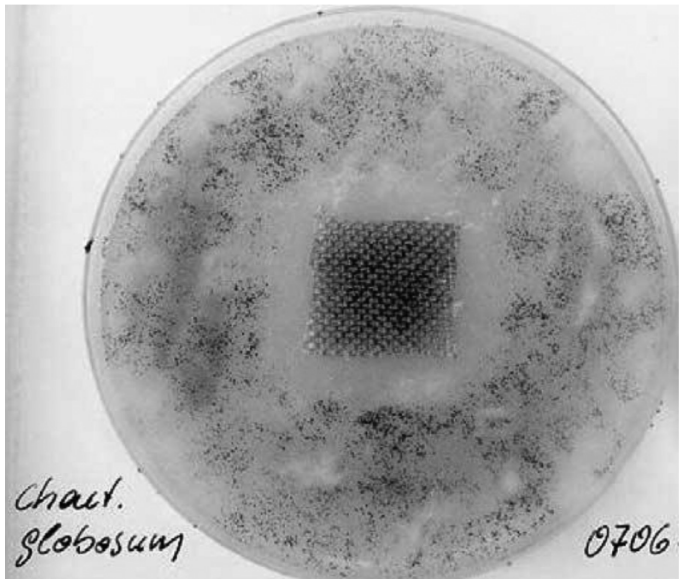
جدول ۵- تغییر مقاومت الکتریکی PP پوشش داده شده با لایه‌های نازک ITO و AZO با ضخامت‌های مختلف [۱۲].

نمونه	پوشش اعمال‌شده
بی‌بافت PP	خارج از محدوده
ITO بی‌بافت پوشش‌داده شده با ۲۰ نانومتر PP	۳۱/۰۶
ITO بی‌بافت پوشش‌داده شده با ۵۰ نانومتر PP	۴/۷۶
ITO بی‌بافت پوشش‌داده شده با ۱۰۰ نانومتر PP	۰/۹۳
AZO بی‌بافت پوشش‌داده شده با ۲۰ نانومتر PP	۳۵۶/۴۵
AZO بی‌بافت پوشش‌داده شده با ۵۰ نانومتر PP	۱۶۷/۰۰
AZO بی‌بافت پوشش‌داده شده با ۱۰۰ نانومتر PP	۱۷/۵۲

یافته و چسبندگی پوشش افزایش می‌یابد.
Weiو همکارانش لایه‌های نازک از جنس اکسید روی دوپ شده (AZO) و اکســـید ایندیم دوپ شـــده (ITO) را بر سطح منسوجات پلی‌پروپیلن بی‌بافت با روش کندوپاش نشاندند [۱۲]. نتایج حاصل نشان داد که تحت شرایط مشابه لایه‌نشانی، ITO دارای ساختار فشرده‌تر از AZO می‌باشد. بعلاوه پوشـــش ITO دارای مقاومت الکتریکی پایین‌تر بود و منسوجات پوشـــش‌داده شـــده با AZO دارای مقاومت به اشعه ماورای بنفش بالاتر بودند.
Weiو همکارانش پوشش‌های مس را به روش کندوپاش بر سطح منسوجات بی‌بافت با ابعاد الیاف مختلف نشاندند و مشخص شد که منسوجات با الیاف نازک‌تر مقاومت الکتریکی پایین‌تری دارند [۴۷]. تحقیقاتی وجود دارد که نشان می‌دهند وقتی ضخامت لایه مس پوشش داده شده بر سطح الیاف پلی‌اســـتر به ۱۰۰ نانومتر می‌رسد، زبری سطح الیاف پلی‌اتیلن ترفتالات افزایش و مقاومت الکتریکی سطح کاهش می‌یابد [۴۸].



شکل ۷- تغییر ساختار حفره‌ای و سطح مشترک پلی‌پروپیلن و پوشش مس نشانده شده به روش کندوپاش تحت توان‌های مختلف (الف)W ۵ (ب) W ۳۰ و (ج) W ۶۰ [۵۰]



شکل ۸- آزمایش فعالیت ضد قارچی منسوجات SiO_2 پوشش داده شده با Cu [۵۲].

Deng و همکارانش کاهش مقاومت الکتریکی منسوجات بی‌بافت پوشش داده شده با آلومینیوم را گزارش کرده‌اند [۴۹]. در تحقیقی دیگر مس با روش کندوپاش بر سطح پلی‌پروپیلن بی‌بافت نشانده شده و مورفولوژی سطح، ساختار حفرات و خواص الکتریکی آنها موردبررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت پوشش، مقاومت الکتریکی سطح منسوجات کاهش می‌یابد که علت آن پخش یکنواخت مس بر سطح منسوجات می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که اندازه حفرات منسوجات کاهش یافته است ولی ساختار حفره‌ای آن از بین نرفته است [۵۰]. در گزارشی دیگر پوشش‌دهی کندوپاشی مس و نقره بر سطح منسوجات بی‌بافت پلی‌پروپیلن انجام شد و نتایج حاکی از کاهش عبور نور مرئی و اشعه ماورای بنفش و کاهش مقاومت سطح منسوجات بی‌بافت داشت [۵۱]. در تحقیقی دیگر لایه‌های نقره، مس، طلا و پلاتین با ضخامت ۳۰۰ نانومتر بر سطح الیاف SiO_2 به‌وسیله کندوپاش مغناطیسی جریان مستقیم نشانده شده و نتایج نشان داد که الیاف پوشش داده شده با مس بالاترین مقاومت در برابر باکتری و قارچ را دارند [۵۲].

در حال حاضر منسوجات محافظتی در برابر امواج الکترومغناطیسی پیشرفته در حال تهیه با سیستم کندوپاش هستند. به‌عنوان مثال به‌منظور ایجاد خواص محافظتی در برابر امواج الکترومغناطیسی بر سطح منسوجات، پوشش‌های فلزی نظیر روی بر سطح سطوح بی‌بافت پلی‌پروپیلن تحت اتمسفر آرگون تهیه شده‌اند که نتایج قابل قبولی بدست آمده است [۵۳]. در تحقیق دیگری محافظت در برابر امواج الکترومغناطیس با پوشش‌دهی لایه‌های فلزی بر سطح منسوجات بافته از فلز/PET گزارش شده است [۵۴]. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد که محافظت در برابر امواج الکترومغناطیسی منسوجات به‌شدت به ترکیب شیمیایی پوشش وابسته بوده و افزایش ضخامت پوشش منجر به افزایش اثرات محافظتی آن خواهد شد.

تکنیک‌های مختلف تکمیلی به‌منظور ایجاد خاصیت آنتی‌باکتریال بر سطح منسوجات از جمله اعمال مس و نمک‌های فلزی آلی بر سطح انجام گرفته است. شهیدی و همکاران با استفاده از کندوپاش مغناطیسی جریان مستقیم ذرات مس را بر سطح منسوجات پنبه‌ای نشاندند که هدف ایجاد خواص ضد باکتری، ضد قارچ و ضد لک در آنها بود. مشخص شد که خواص ضدباکتری پوشش پس از ۳۰ بار شستشو حفظ می‌شود [۱۳]. در گزارشی دیگر پوشش‌های TiO_2، Cu و TiO_2/Cu بر سطح پارچه پنبه‌ای نشانده شدند و بررسی خواص ضدباکتری پوشش‌ها نشان داد که رابطه‌ای بین جذب نوری پوشش‌ها و خاصیت ضدباکتری آنها وجود دارد و پوشش‌های TiO_2/Cu در مقایسه با سایر پوشش‌ها دارای خواص ضدباکتری بهتری هستند [۴۸].

نتیجه‌گیری

تهیه منسوجاتی که سطوح آنها با تکنیک‌های مختلف دارای خواص ویژه شده است، فرصتی مناسب جهت پیشرفت صنعت نساجی محسوب می‌شوند. هدف از این کار دستیابی به منسوجاتی است که سطح آنها دارای خواص و قابلیت‌هایی از قبیل ضدآب بودن، ضدآتش بودن، دفع حشرات، ضد میکروبی، خودتمیز شوندگی، محافظت در برابر اشعه ماورای بنفش، مواد شیمیایی و بیولوژیکی با کمترین اثر بر روی لطافت، زیردست و استحکام منسوجات باشد. مقاله حاضر تکنولوژی‌های جدیدی را مورد بررسی قرار داده است که از تکنولوژی نانو استفاده کرده و دارای پتانسیل بالایی جهت ایجاد تغییرات قابل ملاحظه در تکمیل منسوجات هستند. این تکنیک‌ها این قابلیت را دارند تا با ایجاد کمترین تغییرات در زیردست، راحتی، استحکام و قابلیت عبور هوای منسوجات، خواص ویژه موردنظر را در آنها ایجاد نمایند. این تکنولوژی‌های جدید عبارتند از، لایه‌نشانی لایه‌به‌لایه، لایه‌نشانی لایه اتمی، لایه‌نشانی فیزیکی از فاز بخار و لایه‌نشانی شیمیایی از فاز بخار. هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند و می‌توانند جهت ایجاد خواص ویژه بر سطح منسوجات مورداستفاده قرار گیرند. لایه‌های نازک چندلایه می‌توانند با استفاده از روش لایه‌نشانی لایه‌به‌لایه تولید شوند. زیرلایه می‌تواند هر اندازه، شکل و توپوگرافی داشته باشد. این تکنیک دوست‌دار محیط زیست، ارزان، سریع و آسان است. تا چند سال پیش استفاده از روش لایه‌نشانی لایه اتمی به علت دمای بالای فرآیند، برای لایه‌نشانی بر سطح پلیمرها غیر ممکن بود ولی در سال‌های اخیر با توسعه تکنیک لایه اتمی دمای پایین، می‌توان از این روش به‌منظور لایه‌نشانی پلیمرهای آلی حساس به دما نیز استفاده کرد. از تکنیک لایه اتمی دمای پایین در اصلاح سطحی پلیمرها و یا لایه‌نشانی کامپوزیت‌های آلی/معدنی استفاده می‌شود. اخیراً از روش لایه‌نشانی فیزیکی از فاز بخار جهت ایجاد خواص ویژه بر سطح منسوجات، از قبیل هدایت الکتریکی، خواص نوری، مغناطیسی و زیست سازگاری استفاده شده است و نتایج خوبی به‌دست آمده است. این روش، تکنیکی است که از حلال (آب) استفاده نمی‌شود و هیچ پسابی در فرآیند تکمیل ایجاد نمی‌نماید، درنتیجه فرآیندی است که دوست‌دار محیط زیست بوده و قابلیت تولید پوشش‌های با کیفیت بر سطح منسوجات را دارد. روش لایه‌نشانی شیمیایی از فاز بخار هم می‌تواند پوشش‌هایی با یکنواختی و کیفیت بالا را بر سطح منسوجات

ایجاد کند ولی خروجی‌های این سیستم می‌تواند حاوی مواد مضری باشد که این روش را به روشـــی تبدیل کرده است که دوست‌دار محیط زیست نمی‌باشد.
در حـــال حاضر کارخانجات نســـاجی وارد رقابتی بزرگ جهت توســـعه تکنیک‌های جدید جهت ایجاد خواص ویژه بر سطح منسوجات شده‌اند و تقاضـــا برای ایـــن روش‌ها هر روز در حال افزایش اســـت. در این میان راه‌حل‌های دوست‌دار محیط زیست و اقتصادی با قابلیت تولید انبوه مورد توجه و توسعه قرار خواهند گرفت.

مراجع

1. Kusiak-Nejman, E., Morawski, A.W., Ehiasarian, A. P., Pulgarin, C., Baghriche, O., Mielczarski, E., Mielczarski, J., Kulik, A., Kiwi, J., E. coli Inactivation by High-Power Impulse Magnetron Sputtered (HIPIMS) Cu Surfaces, J. Phys. Chem. C, 115, 21113–21119, 2011.
2. Chen, Y-H., Hu, Ch-Ch., He, J-L., Antibacterial silver coating on poly (ethylene terephthalate) fabric by using high power impulse magnetron sputtering, Surface and Coatings Technology 232, 868–875, 2013.
3. Mao, Zh., Wang, W., Liu, Y., Zhang L., Xu, H., Zhong, Y., Infrared stealth property based on semiconductor (M)-to-metallic (R) phase transition characteristics of W-doped VO2 thin films coated on cotton fabrics, Thin Solid Films 558, 208–214, 2014.
4. Drabik, M., Vogel-Schäuble, N., Heuberger, M., Hegemann D., Biederman H., Sensors on Textile Fibres Based on Ag/a-C:H:O Nanocomposite Coatings, Nanomaterials and Nanotechnology, 3, 13-20, 2013.
5. Hu, Y., Wang Y., Coating of Zn1−xAlxO on Cotton Fabric via a Low Temperature Hydrothermal Process and Characterizations of the Composites, Journal of the Korean Physical Society, 58, 902-905, 2011.
6. Dietzel, Y., Przyborowski, W., Nocke, G¨., Offermann, P., Hollstein, F., Meinhardt, J¨., Investigation of PVD arc coatings on polyamide fabrics, Surface and Coatings Technology, 135, 75-81, 2000.
7. Morent, R., De Geyter, N., Verschuren, J., De Clerck, K., Kiekens, P., Leys, C., Non-thermal plasma treatment of textiles, Surface and Coatings Technology 202, 3427–3449, 2008.
8. Depla, D., Segers, S., Leroy, W., Van Hove, T., Van Parys, M., Smart textiles: an explorative study of the use of magnetron sputter deposition, Textile Research Journal, 81, 1808-1817, 2011.
9. K., Lai, R-J., Sun, M-Y., Chen, H., Wu, A-X., Zha, Electromagnetic Shielding Effectiveness of Fabrics with Metallized Polyester Filaments, Textile Research Journal, 77, 242-248, 2007.
10. Broasca, G., Borcia, G., Dumitrascu, N., Vrinceanu, N., Characterization of ZnO coated polyester fabrics for UV protection, Applied Surface Science, 279, 272– 278, 2013.
11. Gouda, M., Keshk, S.M.A.S., Evaluation of multifunctional properties of cotton fabric based on metal/chitosan film, Carbohydrate Polymers, 80,504–512, 2010.
12. Wei, Q., Shao, D., Deng, B., Xu, Y., Comparative Studies of Polypropylene Nonwoven Sputtered with ITO and AZO, Journal of Applied Polymer Science, 114, 1813–1819, 2009.
13. Shahidi, Sh., Ghoranneviss, M., Moazzenchi, B., Rashidi, A., Mirjalili, M., Investigation of Antibacterial Activity on Cotton Fabrics with Cold Plasma in the Presence of a Magnetic Field, Plasma Processes and Polymers, 4, 2007, S1098–S1103.
14. Wei, Q., Yu, L., Hou, D., Huang, F., Surface Characterization and Properties of Functionalized Nonwoven, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 107, 132–137, 2008.
15. El-Shafei, A., ElShemy, M., Abou-Okeil, A., Eco-friendly finishing agent for cotton fabrics to improve flameretardant and antibacterial properties, Carbohydrate Polymers, 118, 83–90, 2015.
16. Baghriche, O., Ruales, C., Sanjines, R., Pulgarin, C., Zertal, A., Stolitchnov, I., Kiwi, J., Ag-surfaces sputtered by DC and pulsed DC-magnetron sputtering effective in bacterial inactivation: Testing and characterization, Surface and Coatings Technology, 206, 2410–2416, 2012.
17. Castro, C., Sanjines, R., Pulgarin, C., Osorio, P., Giraldo, S.A., Kiwi, J., Structure–reactivity relations for DC-magnetron sputtered Cu-layers during E. coli inactivation in the dark and under light, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 216, 295–302, 2010.
18. Baghriche, O., Zertal, A., Ehiasarian, A. P., Sanjines, R., Pulgarin, C., Kusiak-Nejman, E., Morawski, A. W., Kiwi, J., Advantages of highly ionized pulse plasma magnetron sput-

tering (HIPIMS) of silver for improved E. coli inactivation, Thin Solid Films, 520, 3567–3573, 2012.

19. Osorio-Vargas, P., Sanjines, R., Ruales, C., Castro, C., Pulgarin, C., Rengifo-Herrera, A.-J., Lavanchy, J.-C., Kiwi, J., Antimicrobial Cu-functionalized surfaces prepared by bipolar asymmetric DC-pulsed magnetron sputtering (DCP), Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 220, 70–76, 2011.
20. Torres, A., Ruales, C., Pulgarin, C., Aimable, A., Bowen, P., Sarria, V., Kiwi, J., Innovative High-Surface-Area CuO Pretreated Cotton Effective in Bacterial Inactivation under Visible Light, Applied Materials and Interfaces, 2, 2547-2552, 2010.
21. Deng, B., Yan, X., Wei, Q., Gao, W., AFM Characterization of nonwoven material functionalized by ZnO sputter coating, Materials Characterization, 58, 854–858, 2007.
22. Xu, Y., Wei, Q. F., Wang, Y.Y., Huang, F.L., Preparation of TiO2 coated on fabrics and their photocatalytic reactivity, Journal of Donghua University, 24, 333–336, 2007.
23. Jiang, S.X., Qin, W.F., Guo, R.H., Zhang, L., Surface functionalization of nanostructured silver-coated polyester fabric by magnetron sputtering, Surface & Coatings Technology, 204, 3662–3667, 2010.
24. Wei, Q., Yu, L., Wu, N., Hong, S., Preperation and characterization of copper nanocomposite textiles, Journal of Industrial Textiles, 37 (3), 275–283, 2008.
25. Wei, Q., Surface modification of textiles, Woodhead Publishing in Textiles, The Textile Institute, 2009.
26. Gulrajani, M.L., Gupta, D., Emerging techniques for functional finishing of textiles, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 36, 388–397, 2011.
27. Uğur, S.S., Sarıışık, M., Aktaş, A.H., Nano-Al2O3 multilayer film deposition on cotton fabrics by layer-by-layer deposition method, Materials Research Bulletin, 46, 1202–1206, 2011.
28. Uğur, S.S., Sarıışık, M., Aktaş, A.H., Uçar, M.C., Erden, E., Modifying of cotton fabric surface with nano-ZnO multilayer films by layer-by-layer deposition method, Nanoscale Res. Lett., 5, 1204–1210, 2010.
29. Chen, W., McCarthy, T.J., Layer-by-layer deposition: a tool for polymer surface modification, Macromolecules, 30, 78-86, 1997.
30. George, S.M., Atomic layer deposition: an overview, Chem. Rev., 110, 111–131, 2010.
31. Hyde, G.K., Scarel, G., Spagnola, J.C., Peng, Q., Lee, K., Gong, B., Roberts, K.G., Roth, K.M., Hanson, C.A., Devine, C.K., Stewart, S.M., Hojo, D., Na, J., Jur, J.S., Parsons, G.N., Atomic layer deposition and abrupt wetting transitions on nonwoven polypropylene and woven cotton fabrics, Langmuir., 26 (4), 2550–2558, 2010.
32. Jur, J.S., Parsons, G., Atomic layer deposition of Al2O3 and ZnO at atmospheric pressure in a flow tube reactor, ACS Applied Materials & Interfaces, 3(2), 299–308, 2011.
33. Jur, J.S., Spagnola, J.C., Lee, K., Gong, B., Peng, Q., Parsons, G., Temperature-dependent subsurface growth during atomic layer deposition on polypropylene and cellulose fibers, Langmuir, 26 (11), 8239–8244, 2010.

Khamseh،S.پوشش‌های نانوساختار سخت: طراحی، تهیه و کاربردها، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۳/ ۴۵-۵۳، ۱۳۹۲.

34. Tai-Ran, H., MEMS & microsystems design and manufacture, McGraw-Hill, New York, USA, 2002.
35. Wang, R.X., Tao, X.M., Wang, Y., Wang, G.F., Shang, S.M., Microstructures and electrical conductance of silver nanocrystalline thin films on flexible polymer substrates, Surface & Coatings Technology, 204, 1206–1210, 2010.
36. Wei, Q., Xu, Q., Cai, Y., Wang, Y., Evaluation of the interfacial bonding between fibrous substrate and sputter coated copper, Surface & Coatings Technology, 202, 4673– 4680, 2008.
37. Xu, Y., Wu, N., Wei, Q., Pi, X., Preparation and the light transmittance of TiO2 deposited fabrics, J. Coat. Technol. Res., 6 (4), 549–555, 2009.
38. Amberg, M., Grieder, K., Barbadoro, P., Heuberger, M., Hegemann, D., Electromechanical behavior of nanoscale silver coatings on PET Fibers, Plasma Process Polym, 5, 874–880, 2008.
39. Wei, Q. F., Wang, X.Q., Gao, W. D., AFM and ESEM characterization of functionally nanostructured fibers, Applied Surface Science, 236, 456–460, 2004.
40. Rtimia, S., Baghrichea, O., Sanjinesb, R., Pulgarina, C., Bensimonc, M., Kiwi, J., TiON and TiON-Ag sputtered surfaces leading to bacterial inactivation under indoor actinic light, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 256, 52– 63, 2013.
41. Rtimia, S., Baghrichea, O., Pulgarin, C., Ehiasarian, A., Bandorf, R., Kiwi, J., Comparison of HIPIMS sputtered Ag- and Cu-surfaces leading to accelerated bacterial inactivation in the dark, Surf. Coat.Technol 250, 14-20, 2014.

42. Khamseh, S., Tekieh Fatemi, M., Koozegar kaleji, B.,Sadeghi-Kiakhani, M., Investigations on sputter-coated cotton fabric with regard to their microstructure, antibacterial, hydrophobic properties and thermal stability, The Journal of The Textile Institute, 108, , 2184–2190, 2017.
43. Sadeghi-Kiakhani, M., Khamseh, S., Rafie, A., Fatemi Tekieh, M., Zarrintaj, P., Saeb, M.R.,Thermally stable antibacterial wool fabrics surface-decorated by TiON and TiON/Cu thin films, Surface Innovations, 6, 4–5, 258-265, 2018.
44. http://conductivecomposites.com, October 2012.
45. Brunon, C., Chadeau, E., Oulahal, N., Grossiord, C., Dubost, L., Bessueille, F., Simon, F., Degraeve, P., Leonard, D., Characterization of plasma enhanced chemical vapor deposition–physical vapor deposition transparent deposits on textiles to trigger various antimicrobial properties to food industry textiles, Thin Solid Films, 519, 5838–5845, 2011.
46. Wei, Q. F., Li, Q., Hou, D.Y., Yang, Z.T., Gao, W.D., Surface characterization of functional nanostructures sputtered on fiber substrates, Surface and Coatings Technology, 201, 1821–1826, 2006.
47. Wei, Q. F., Tao, D., Du, Z.F., Cai, Y .B., Wu, N., Chen, L., Surface nanostructures and dynamic contact angles of functionalized poly(ethylene terephthalate) fibers, Journal of Applied Polymer Science, 109, 654–658, 2008.
48. Deng, B.Y., Wei, Q. F., Gao, W. D., Yan, X., Surface functionalization of nonwoven by aluminum sputter coating, Fibres and Textiles in Eastern Europe, 15, 4, 90–92, 2007.
49. Wei, Q., Xiao, X., Hou, D., Ye, H., Huang, F., Characterization of nonwoven material functionalized by sputter coating of copper, Surface & Coatings Technology, 202, 2535–2539, 2008.
50. Wei, Q. F., Yu, L. Y., Hou, D. Y., Wang, Y., Comparative studies of functional nanostructures sputtered on polypropylene nonwovens, Epolymers, 039, 2007.
51. Scholz, J., Nocke, G., Hollstein, F., Investigation on fabrics coated with precious metals using magnetron sputtering technique with regard to their anti-microbial properties, Surface and Coatings Technology, 192, 252–256, 2005.
52. Koprowska, J., Ziaja, J., Janukiewicz, J., Plasma metallization textiles as shields for electromagnetic fields, IEEE, 2008.
53. Baghrichea, O., Rtimia, S., Pulgarina, C., Sanjinesb, R., Kiwi, J., Effect of the spectral properties of TiO_2, Cu, TiO_2/Cu sputtered films on the bacterial inactivation under low intensity actinic light, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 251, 50– 56, 2013.

Journal of
Apparel and Textile Science
and Technology

Renewed Period of Publication,
No. 7, Autumn 2018,
Issue No. 23, 29-37
ISSN: 2151-7162

Emerging Technologies for Fabrication Textiles with Smart Surfaces

Sara Khamseh*[1], Mousa Sadeghi kiakhani[2]

Tehran, Institute for Color Science and Technology Depatment of nanomaterials and nanocoatings, postal code: 1668836471 -1
2- Tehran, Institute for Color Science and Technology Depatment of Organic Colorant, postal code: 1668836471

Abstract

There are several techniques which can be used in order to produce high quality coatings from functional materials on the surface of textiles. Besides, there are some cutting edge technologies that can make functional coatings on textiles that are unknown until know in textile processing. Decreasing to nanometer scale is one of the most important directions in science and technology over the last decades. This trend has a big potential to use in the field of textile finishing. This paper discusses some cutting edge technologies that have a big potential to make a big change in the field of textile finishing in the near future using nanotechnology. These techniques add desired functionalities with minimum effect on the handle, feel, strength and breathability of textiles. These cutting edge deposition techniques include layer by layer deposition, atomic layer deposition, physical vapor deposition and chemical vapor deposition techniques. Since the development in these areas continues very fast, they will extensively be used to produce interactive and smart textiles in the near future.

Keywords

Multifunctional textiles,
Smart surface,
Layer by layer deposition,
Atomic layer deposition,
Physical vapor deposition,
Chemical vapor deposition

(*) Address Correspondence to S. Khamse, Email: khamseh-sa@icrc.ac.ir