تاثیر اشکال مختلف نانو ذرات اکسید روی بر روی خواص مسدود کنندگی UV و ضد باکتری پارچه پنبه ای

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

اشـکال مختلـف ZnO (چنـد گلبرگـی، میلـه‌ای، کـروی) تهیـه شـدند و سـپس بـر روی پارچـه پنبـه‌ای بـه منظـور خـواص مسـدود کنندگـی UV و ضـد باکتـری بـکار بـرده شـدند. ذرات ZnO بـا اسـتفاده از XRD و SEM بررسـی شـدند. سوسپانسـیون تهیـه شـده بـر روی پارچه‌هـای پنبـه‌ای از طریـق فرآینـد pad–dry–cure در دمـای ۱۵۰ درجـه سـانتیگراد بـکار بـرده شـد. مشـخصات روکـش پارچـه بوسـیله XRD، SEM و اسپکتوسـکوپی جذبـی اتمـی (AAS) بررسـی شـدند. مسـدودکنندگی موثـر UV بـا اسـتفاده از اسـپکتروفتومتر UV–Vis اندازه‌گیـری شـد در حالیکـه فعالیـت ضـد باکتـری بـا اسـتفاده از روش AATCC 147 تعیین شـد. نتایـج XRD و SEM بـر روی پودرهـای ZnO نشـان می‌دهـد کـه مـا می‌توانیـم اشـکال مختلـف ZnO را تولیـد کنیـم. بررسـی بوسـیله SEM و AAS بـه وضـوح نشـان داد کـه ZnO بـه صـورت موثـر بـر روی سـطح پنبـه رسـوب داده شـده اسـت و چسـبندگی آن پـس از ۱۰ شستشـو حفـظ شـد. پارچه‌هـای روکـش شـده با ZnO بـه شـکل کـروی و ZnO بـه شـکل چنـد گلبرگـی (multi–petals) خاصیـت مسـدود کنندگـی UV نشـان می‌دهنـد. تمـام نمونه‌هـای تکمیـل شـده، فعالیـت ضـد باکتـری خـوب در مقابـل اسـتافیلو کـوک اورئـوس نشـان دادنـد. شـکل ZnO هیـچ تاثیـر قابـل توجهـی بـر روی خـواص ضـد باکتـری نشـان نمی‌دهـد.

مقدمه

کاربـرد نانـو فنـاوری در نسـاجی بـه طـور قابـل ملاحظـه‌ای توجهـات را در چنـد سـال اخیـر بـه خـود جلـب کـرده اسـت. دلیـل ایـن امـر ایـن می‌باشـد کـه نانـو ذرات مسـاحت سـطح بـالا دارنـد و می‌تواننـد پایـداری بالایـی بـرای پارچه‌هـا فراهـم کننـد. تحقیقـات مختلـف بـر روی کاربـرد تکمیـل مسـدود کنندگـی UV بـه پارچـه انجـام شـده اسـت. در میـان نانـو ذرات اکسـید فلـزی، دی اکسـید تیتانیـوم بـه طـور وسـیعی بـه عنـوان مـاده روکـش بـرای پارچه‌هـای نسـاجی جهـت فراهـم کـردن عملکردهایـی از قبیـل فعالیـت ضـد باکتـری، محافظـت در برابـر UV و خـود تمییـز شـوندگی مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت. اکسـید روی (ZnO)، یـک نیمـه هـادی بـا نـوار ممنوعـه وسـیع ۳/۳۷ eV، بـه عنـوان نانو مـاده امیـدوار کننـده بـرای محدوده وسـیعی از کاربردهـا از قبیـل فیلترهـای مـوج صوتـی سـطحی، شناسـاگرهای نـوری، سنسـورهای گاز، و مسـدود کننـده UV مـورد توجـه قـرار گرفتـه اسـت. بعضـی از شـکل‌های نانـو ZnO سـنتز شـده‌اند و بـر روی پارچه‌هـای پنبـه‌ای جهـت دسـتیابی بـه خاصیـت مسـدود کنندگـی UV عالـی مـورد اسـتفاده قـرار گرفته‌انـد. عوامـل ضـد باکتـری مربـوط بـه تعـدادی از بخش‌هـای صنعتـی از قبیـل تغذیـه، منسـوجات سـنتزی، بسـته بندی، مراقبت بهداسـتی، و همچنین سـاختمان می‌باشـند. آنهـا می‌تواننـد بـه دو نـوع آلـی و غیـر آلـی تقسـیم بنـدی شـوند. مـواد غیـر آلـی، اکسـیدهای فلـزی از قبیـل TiO_2، ZnO، MgO و CaO، از آنجـا کـه آنهـا نـه تنهـا تحـت شـرایط فرآینـد بـد پایـدار می‌باشـند، بلکـه عمومـا بـه عنـوان مـاده‌ای ایمـن بـرای انسـان‌ها و حیوانـات مـورد توجـه می‌باشـند، بسـیار مـورد توجـه می‌باشـند. نشـان داده شـد کـه پارچـه تکمیـل شـده بـا نانـو TiO_2 می‌توانـد محافظتـی موثر در مقابـل باکتـری بـه دلیـل فعالیـت فوتوکاتالیسـتی TiO_2 فراهـم کننـد. نانـو ZnO نیز خاصیـت فوتوکاتالیسـتی موثـر فراهـم می‌کنـد و فعالیـت ضـد باکتـری به منسـوجات ارائـه می‌دهـد. تکنیک‌هـای مختلفـی جهـت تولیـد نانـو ZnO بـکار برده شـده اسـت و روش سـل– ژل بـه دلیـل سـادگی، هزینـه کـم و موثـر بـودن مـورد توجـه می‌باشـد. بـا ایـن حـال، کنتـرل مورفولـوژی رشـد نانـو ذرات امـری بسـیار مهـم در پژوهش‌های نانـو فنـاوری می‌باشـد. محـدود گسـترده نانـو سـاختارهای ZnO (میلـه‌ای، نـواری، دمبلـی، لولـه‌ای، چنـد گلبرگـی) فعالیت‌هـای پژوهشـی را بـر روی نقش شـکل و اندازه بـه منظـور کاربـرد آنهـا در مـواد عامـل‌دار جلـب کـرده اسـت. در ایـن پژوهـش، مـا ۳ نـوع نانـو ZnO: ذرات ZnO چنـد گلبرگـی، ZnO میلـه‌ای، ZnO کـروی تهیـه کردیـم. تمـام سوسپانسـیون‌های ZnO بـر روی پارچه‌هـای پنبـه‌ای از طریـق فرآینـد pad–dry–cure در دمـای ۱۵۰ درجـه سـانتیگراد بـکار بـرده شـدند. خـواص مسـدود کنندگـی UV و ضـد باکتـری شـکل‌های مختلـف ZnO بـر روی پارچـه پنبـه‌ای مـورد بررسـی قـرار گرفتنـد.

بخش تجربی

تهیه سوسپانسیون ZnO چند گلبرگی

۰/۲۱۹۵ گـرم (۱ میلـی مـول، غلظـت نهایـی ۰/۰۲ مـول بـر لیتـر می‌باشـد) Zinc acetate Zn $(CH_3COO)_2.2H_2O$ و ۰/۵۶۲۵ گـرم β-CD (۰/۵ میلـی مـول، غلظـت نهایـی ۰/۰۱ مـول بـر لیتـر می‌باشـد) در ۴۰ میلـی لیتـر آب حل شـدند، پـس ۳۰ دقیقـه همـزدن بـا اسـتفاده از همـزن مغناطیسـی، ۱۰ میلـی لیتـر از محلـول NaOH (۱ مـول بـر لیتـر) بـه صـورت قطـره‌ای اضافـه شـد. رسـوب سـفید رنگـی بـه زودی نمایـان شـد، در حالیکـه NaOH بـه تدریـج اضافـه می‌شـد، محلـول دوباره بـه صـورت شـفاف تبدیـل شـد. پـس از آنکـه دمـا تـا ۹۰ درجـه سـانتیگراد با اسـتفاده از حمـام روغنـی بـالا بـرده شـد، رسـوب‌های سـفید نمایـان شـدند کـه نشـان داد کـه ZnO شـکل گرفتـه اسـت. محلـول در ایـن دمـا بـرای مـدت ۱ سـاعت نگـه داشـته شـد و سـپس تـا دمـای اتـاق سـرد شـد.

تهیه سوسپانیون ZnO میله‌ای

$Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ (6.8×10^{-3} mol) در آب مقطـر (۴۰ میلـی لیتـر) حـل شـد. مقـدار مناسـبی از آمونیـک (۲۵٪.wt) بـه صـورت سـریع تحـت هـم زدن مغناطیسـی بـرای مـدت ۱۵ دقیقـه اضافـه شـد تـا pH در بـالای ۹ حفـظ شـود. مخلـوط واکنـش در بشـر تیـره شـد، در دمـای ۳۰ درجـه سـانتیگراد بـرای مـدت ۱۲ سـاعت حـرارت داده شـد، و سـپس در هـوا خنـک شـد.

تهیه سوسپانسیون ZnO کروی

۳/۰۵ گـرم از $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ در ۵۰ میلـی لیتـر محلـول اتانـول حل شـد، پـس از همـزدن مغناطیسـی در دمـای ۴۰ درجـه سـانتیگراد بـرای مـدت ۲۰ دقیقـه، مونـو اتانـول آمیـن (MEA) (نسـبت وزنـی MEA:ZnAc ۱:۱) بـه صـورت قطره‌ای بـه محلـول اضافـه شـد. پـس از هـم زدن ایـن محلـول بـا آهنربـای میلـه‌ای در ۴۰

درجه سانتیگراد برای مدت ۳۰ دقیقه، دما تا ۹۰ درجه سانتیگراد افزایش داده شد و در این دما برای مدت ۱ ساعت نگه داشته شد؛ سرانجام محلول تا دمای اتاق خنک شد.

تکمیل پارچه پنبه‌ای با استفاده از سوسپانسیون ZnO

پارچه پنبه‌ای آهارگیری شده و شسته شده (۱۴۰ گرم بر متر مربع) در تمام این بررسی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه پارچه پنبه‌ای در ۲ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر از سوسپانسیون ZnO هر ساختار غوطه ور شد و سپس با فشار ۱/۵ kg/cm^2 با استفاده از پد کننده اتوماتیک پد شدند و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳ دقیقه خشک شدند. پس از خشک کردن در هوای آزاد، پارچه پنبه‌ای در ۱۵۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۱ دقیقه با یک خشک کننده کوچک پخت شد.

ارزیابی و توصیف

پودر ZnO و ساختارهای بلور ZnO با استفاده از پراش اشعه X (JDX-3530, JEOL) شناسایی شدند. مورفولوژی‌های پودر ZnO و مورفولوژی‌های بولر ZnO تشکیل شده بر روی سطح پارچه پنبه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (JSM-6301 F SEM با عمل در ۱۰ kV، JEOL) بررسی شدند. طیف‌های انتقالی UV نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-VIS تعیین شدند. مقاومت کششی پارچه‌های عمل شده بر طبق روش استاندارد ASTM D 5034:2001 انجام شد. فعالیت ضد باکتری با استفاده از استاندارد AATCC 147 تعیین شد. شستشوی نمونه‌های پنبه‌ای روکش شده ۱۰ بار بر طبق استاندارد AATCC انجام شد. مقدار روی بر روی سطح نمونه‌های پنبه‌ای بر طبق EPA3052:1996 با استفاده از اسپکتروسکوپی جذبی اتمی (AAS، Ana-lyst 700، Perkin Elmer) اندازه‌گیری شد. نمونه پارچه ۰/۵ گرمی در ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ حل شد. نمونه و اسید در محفظه مایکروویو پلیمری خنثی مناسب قرار داده شدند و در مایکروویو با دمای ۵ ±۱۸۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. پس از خنک کردن، محتوا به حجم رسانده شد و با استفاده از AAS بررسی شد.

نتایج و بحث

تشکیل ZnO

الگوهای پراش اشعه X اشکال مختلف ZnO در شکل ۱ نشان داده شده است. اشکال مختلف پیک‌های الگوهای XRD را در ۲θ برابر با ۳۱/۷، ۳۴/۳، ۳۶/۲، ۴۷/۵، ۵۶/۵، ۶۲/۸، ۶۶/۳، ۶۷/۹، ۶۹/۰، ۷۲/۴ و ۷۶/۹ نشان می‌دهند. تمام پیک‌های پراش مربوط به ZnO نوع ورتزیت (شماره کارت JCPDS: ۱۴۵۱-۳۶، a = ۰/۳۲۵۳ nm، c = ۵۲۱۵ nm ، شش گوش) بودند.

شکل‌های بلورهای ZnO با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) شناسایی شدند، و نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۲(a) چند گلبرگی ZnO را نشان می‌دهد که شامل β-CD در فرآیند آماده سازی بودند.

در فرآیند رشد بلور، β-CD نیز می‌تواند اتصال هیدروژنی با ZnO تشکیل دهد، اما اتصالات مختلف برای صفحات بلوری مختلف بوجود آمد. برای صفحات بلور کناری ZnO از قبیل صفحات (۱۰-۱۰)، (۰۱-۱۰) و غیره)، هر O^{2-} تنها یک اتصال سست دارد، در حالیکه برای صفحه (۱-۰۰)، هر O^{2-} این صفحه ۳ اتصال سست دارد، بنابراین می‌تواند اتصال هیدروژنی با β-CDآسانتر از صفحات کناری تشکیل دهد. برای صفحه (۰۰۰۱)، یون‌های Zn^{2+} با بار مثبت تشخیص داده شد، بنابریان اتصال هیدروژنی بین β-CD و صفحه (۰۰۰۱) نمی‌تواند تشکیل شود. در نتیجه، صفحات بلوری دیگر کناری صفحه (۰۰۰۱) بوسیله β-CD پوشیده شده‌اند، تنها صفحه (۰۰۰۱) آزاد می‌باشد، از اینرو، رشد بلور ZnO در این جهت بسیار سریعتر خواهد بود و رشد صفحات دیگر بسیار آهسته تر می‌باشد. از آنجایی که میله‌های کوچک تمایل به جذب با یکدیگر در امتداد محور c دارند، چند گلبرگی ساختار ZnO نمایان می‌شود.

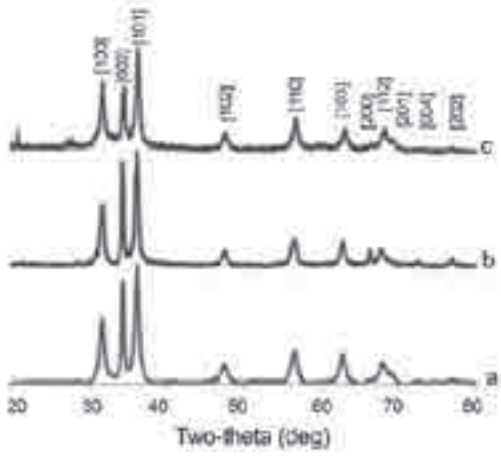
در شکل ۲(b) بلورهای ZnO شکل کروی بی نظمی دارند که کروی‌های ZnO نامیده می‌شود. آنها قطر متوسط ۱۲۰ نانومتر دارندو در شکل ۲(c)، میله ZnO به طور مناسب بوسیله این واکنش در مقادیر pH بالا سنتز شد. ZnO به صورت دارای تمایل به رشد در ساختار میله‌ای شکل در امتداد جهت (۰۰۱) توصیف می‌شود. بیشتر میله‌های ZnO نوک تیز تمایل به مخلوط شدن با یکدیگر در لبه دارند. ساختار ZnO میله‌ای تنها، می‌تواند بوسیله سونیکیت شدن در آب برای مدت ۳ دقیقه بدست آورده شود. قطر متوسط میله ZnO ۲۸۰ نانومتر می‌باشد و طول در محدوده ۲ میکرومتر می‌باشد.

تشکیل ZnO بر روی پارچه پنبه‌ای

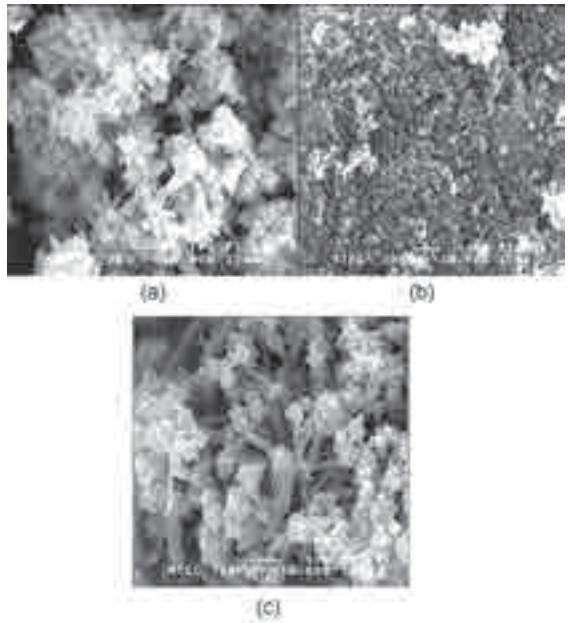
الگوهای XRD پارچه پنبه‌ای روکش شده با ZnO در شکل ۳ نشان داده شده است. عموما پارچه پنبه‌ای پیک الگوهای XRD در ۲θ برابر با ۱۴/۷، ۱۶/۳ و ۲۲/۵ نشان می‌دهد. در این شکل، پیک‌های کوچک می‌توانند در ۲θ برابر با ۳۴/۶ و ۴۴/۳ مشاهده شوند که چسبندگی ZnO بر روی سطح را نشان می‌دهد. مقدار ZnO بر روی سطح پارچه پنبه‌ای می‌تواند بوسیله اندازه‌گیری مقدار Zn بوسیله AAS ارزیابی شود، و نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد که پارچه روکش شده با ساختار میله‌ای ZnO مقدار حداقل Zn بر روی سطح داشت. این امر می‌تواند به دلیل نوک تیز میله‌های ZnO باشد و منجر به سوب کم بر روی سطح پارچه پنبه‌ای می‌شود. سطوح نمونه‌های روکش شده با ZnO چند گلبرگی و ZnO کروی هیچ تفاوت چشمگیری در مقدار Zn نشان نمی‌دهد.

سطوح پارچه‌های روکش شده بوسیله SEM مشاهده شدند که در شکل ۴ نشان داده شده است. باید توجه کرد که تمام شکل-های ZnO به صورت عالی بر روی سطح پراکنده شده‌اند، اگرچه باز هم مقداری تجمعات نانو ذرات مشاهده می‌شود. بیشترین تجمعات، مربوط به میله‌های ZnO می‌باشد، شکل ۴(c)، که چسبندیگ کمتر به سطح را نشان می‌دهد.



شکل ۱. الگوهای XRD اکسید روی (a) ZnO چند گلبرگی (b) ZnO کروی و (c) ZnOمیله‌ای

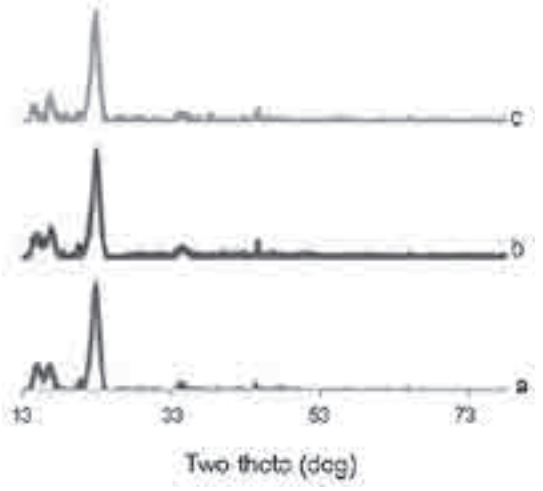


شکل ۲. تصاویر SEM بلورهای a) ZnO چند گلبرگی (b) ZnO کروی و (c) ZnO میله‌ای

اثـر خـواص محافظـت در برابـر UV و ضـد باکتـری پارچه‌هـای پنبـه‌ای تکمیـل شـده

مسـدود کنندگـی UV پارچـه بـه تعـداد زیـادی از فاکتورهـا از قبیـل مقـدار لیـف، الگـوی بافـت، تخلخـل، مقـدار رطوبـت، غلظـت رنگـزا، فرآیندهـای تکمیلـی، وجـود مـواد اضافـی بسـتگی دارد. محافظـت در برابـر خورشـید پارچه‌هـا می‌توانـد بـه روش‌هـای زیـادی از قبیـل اسـتفاده از فیلم‌هـای نـازک نانـو ذرات ZnO فرآینـد سـل- ژل افزایـش یابنـد. تاثیـر شـکل‌های ZnO بـر روی مسـدود کنندگـی UV پارچـه پنبـه‌ای روکـش شـده در ایـن پژوهـش بررسـی شـدند.

شـکل ۵ طیف‌هـای انتقالـی UV اشـکال مختلـف ZnO روکـش شـده بـر روی پارچه‌هـای پنبـه‌ای را نشـان می‌دهـد. بـرای پارچـه پنبـه‌ای خالـص، درصـد انتقـال در حـدود ۱۰۰ می‌باشـد. کاربـرد ZnO، انتقـال UV تمـام نمونه‌هـا را کاهـش می‌دهـد. پارچـه روکـش شـده بـا ZnO در محـدوده UVB (۲۵۰ تـا ۳۱۵ نانومتـر) و



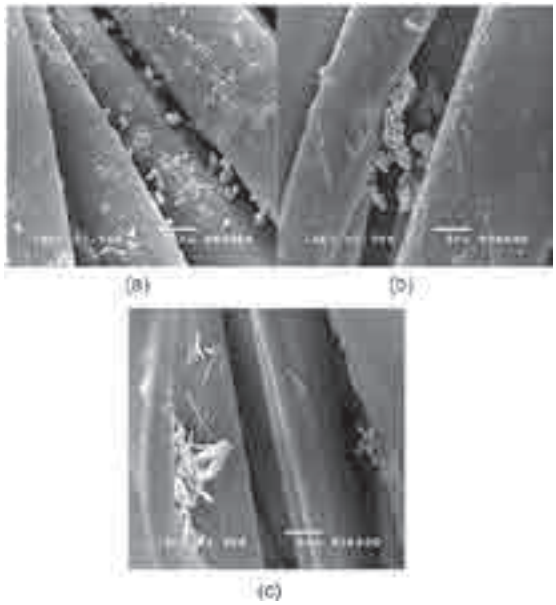
شکل ۳. الگوهای XRD پارچه پنبه‌ای روکش داده شده با ZnO (a) ZnO چند گلبرگی (b) ZnO کروی و (c) ZnO میله‌ای

Sample	Zn content (mg/kg)	
	Before washing	After washing
Multi-petals shaped ZnO coated cotton fabric	1,961.2	19.8
Sphericals-shaped ZnO coated cotton fabric	1,897.2	35.8
Rods-shaped ZnO coated cotton fabric	659.6	24.7

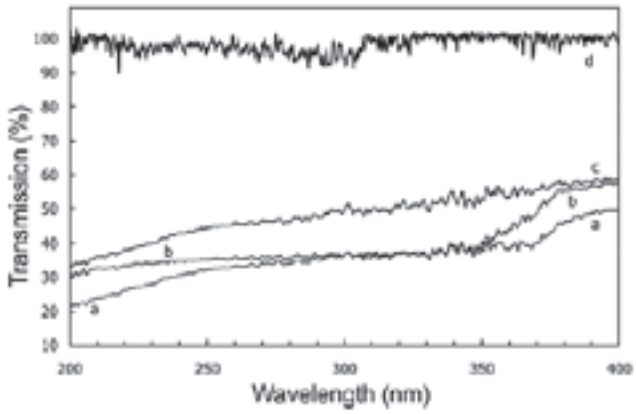
جدول ۱. مقدار Zn بر روی سطح پارچه پنبه‌ای قبل و بعد ۱۰ بار شستشو

در محـدوده UVA (۳۱۵ تـا ۳۷۰ نانومتـر) بـه دلیـل قابلیـت جـذب UV کسـید روی انتقـال UV کـم می‌باشـد، امـا محافظـت بـرای طـول موج‌هـای بلندتـر از ۳۷۰ نانومتـر فراهـم نمی‌باشـد. بـا توجـه بـه شـکل ۵، پارچـه پنبـه‌ای روکـش شـده بـا ZnO کـروی کمتریـن مقـدار انتقـال را دارد. ایـن شـکل نشـان می‌دهـد کـه ایـن نـوع از ZnO بهتریـن خاصیـت مسـدود کنندگـی UV بـرای پارچـه پنبه‌ای را نشـان می‌دهـد. پارچـه روکـش شـده بـا ZnO چنـد گلبرگـی نیـز مسـدود کنندگـی UV خـوب در محـدوده UVB و UVA نشـان می‌دهـد، در حالیکـه پارچـه وکـش شـده بـا ZnO میلـه‌ای مسـدود کنندگـی UV کمتـر نسـبت بـه بقیـه نشـان می‌دهـد. یکـی از دلایـل ایـن می‌باشـد کـه مقـدار کمتـر ZnO میلـه‌ای بـر روی سـطح پارچـه روکـش شـده می‌باشـد یـا توزیـع آرایـش یافتگـی ایـن شـکل کـم می‌باشـد. بنابرایـن، ZnO کـروی پتانسـیل کاربـرد در لبـاس را دارد، زیـرا می‌توانـد نـور بـا انـرژی hν را جـذب کنـد کـه مطابـق با گاف انـرژی در محـدوده UV طیف خورشـید می‌باشـد.

همانطـور کـه از جـدول ۲ می‌تـوان مشـاهده کـرد، تمـام پارچه‌هـای روکـش شـده بـا ZnO فعالیـت ضـد باکتـری بالایـی بـدون تفاوت‌هـای قابـل توجـه مربـوط بـه شـکل ZnO دارنـد. بررسـی قبلـی نشـان داد کـه فعالیـت ضـد باکتـری ZnO بـه مسـاحت سـطح و غلظـت بسـتگی دارد، در حالیکه سـاختار بلـوری و انـدازه ذرات تاثیر کمـی دارنـد. مکانیزم‌هـای رفتـار ضـد باکتـری از آسـیب دیـواره غشـای باکتـری بـه دلیـل برهمکنـش تقریبـا مسـتقیم بیـن ZnO و دیـواره سـلول حاصـل می‌شـود یـا ZnO فضاهـای اکسـیژن فعـال تولیـد می‌کنـد کـه می-توانـد دیـواره سـلول را تخریـب کنـد. ذرات ZnO نیـز جهـت محـدود کـردن باکتـری گـرم مثبـت و گـرم



شکل ٤. تصاویر SEM اکسید روی بر روی سطح پارچه پنبه‌ای (a) ZnO چند گلبرگی (b) ZnO کروی و (c) ZnO میله‌ای



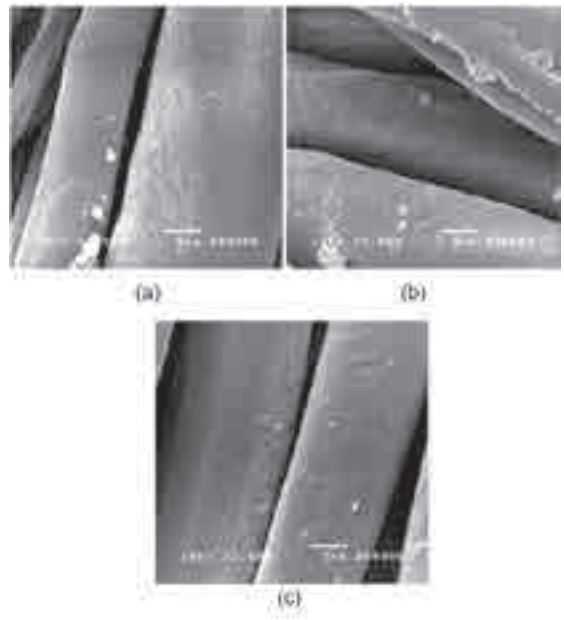
شکل ۵. طیف‌های انتقالی UV/Vis پارچه پنبه‌ای روکش شده با شکل‌های مختلف ZnO (a) ZnO کروی، (b) ZnO چند گلبرگی، (c) ZnO میله‌ای و (d) تکمیل نشده

منفی موثر می‌باشند. مقادیر مقاومت کششی پارچه پنبه‌ای روکش شده با نانو ذرات ZnO در جدول ۳ نشان داده شده است. مشاهده شد که تفاوت قابل توجهی مقاومت کششی بین روکش ZnO و پارچه پنبه‌ای خالص وجود ندارد.

تاثیر شستشو بر روی خواص پارچه‌های پنبه‌ای

از جدول ۱ و شکل ۶ می‌توان دریافت که پس از ۱۰ بار شستشو، مقدار Zn بر روی سطح پارچه به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. این بدین دلیل است که نانو ذرات ZnO به صورت کووالانت با سطح پارچه متصل نمی‌شوند.

روش‌های مناسب دیگر به منظور افزایش مقدار ZnO در ساختار پارچه پس از شستشو باید مورد بررسی قرار گیرند. با این حال، با استفاده از روش ساده pad-dry-cure، تاثیر محافظت در برابر پرتو UV پارچه شستشو شده هنوز هم در حدود انتقال ۵۰٪ می‌باشد (شکل ۷). فعالیت ضد باکتری کمی کمتر از پارچه شستشو نشده می‌باشد (جدول ۲).



شکل ٦. تصاویر SEM اکسید روی بر روی سطح پارچه پنبه‌ای پس از ۱۰ بار شستشو (a) ZnO چند گلبرگی، (b) ZnOکروی و (c) ZnO میله‌ای.

جدول ۲. قطر ناحیه پاک پارچه پنبه‌ای روکش شده با ZnO قبل و بعد از ۱۰ بار شستشو

Sample	Diameter of clear zone (mm)	
	Before washing	After washing
Cotton fabric	5	5
Multi-petals shaped ZnO coated cotton fabric	11	7
Sphericals-shaped ZnO coated cotton fabric	11	8
Rods-shaped ZnO coated cotton fabric	10	7

جدول ۳. مقاومت کششی پارچه‌های پنبه‌ای روکش شده

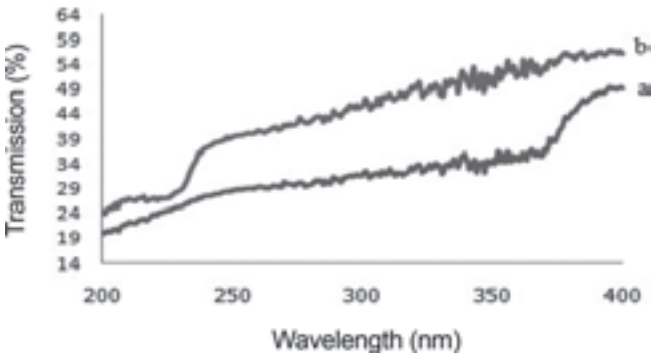
Samples	Tensile strength (N)	
	Warp yarn	Weft yarn
Pure cotton fabric	498.1	218.3
Multi-petals shaped ZnO coated cotton fabric	490.6	249.7
Sphericals-shaped ZnO coated cotton fabric	497.5	240.4
Rods-shaped ZnO coated cotton fabric	491.5	237.7

نتیجه‌گیری

۳ شکل ZnO (چند گلبرگی، میله‌ای، کروی) تهیه شدند و بر روی سطح پارچه پنبه‌ای با استفاده از روش pad-dry-cure روکش شدند. نمونه‌های روکش شده با ZnO به شکل چند گلبرگی و ZnO به شکل حلقوی مقدار بیشتری محتوای Zn بر روی سطح نسبت به ZnO به شکل میله‌ای نشان می‌دهند.

بکار بردن تمام شکل‌ها ZnO انتقال UV نمونه‌ها را بخصوص در محدوده UVB (۲۵۰ تا ۳۱۵ نانومتر) کاهش می‌دهند. پارچه‌های روکش شده با ZnO کروی و ZnO چند گلبرگی، انتقال UV کم در محدوده UVB نشان می‌دهند که در حدود ۳۰٪ می‌باشد.

تمام نمونه‌های تکمیل شده فعالیت ضد باکتری خوب در مقابل استافیلو کوک اورئوس نشان دادند، اما شکل ZnO تاثیر کمی بر روی این فعالیت دارد. پس از ۱۰ بار شستشو، مقدار Zn بر روی سطح پارچه به طور قابل توجهی کاهش یافت، اما با این حال خاصیت مسدود کنندگی UV هنوز هم قابل قبول می‌باشد. فعالیت ضد باکتری پارچه شسته شده کمی کمتر از پارچه‌های شسته نشده می‌باشد. بررسی‌های بیشتر اخیرا جهت بهبود چسبندگی سوسپانسیون ZnO تهیه شده بر وری سطح منسوج در حال انجام می‌باشد.



شکل ۷. طیف‌های انتقالی UV/Vis پارچه پنبه‌ای روکش شده با ZnO کروی (a) قبل از شستشو و (b) بعد از شستشو