



نانو تکنولوژی

ایجاد پارچه پنبه‌ای محافظ در برابر UV بر پایه نانوذرات SiO_x

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

سوسپانسیون نانو SiO_x به دلیل عملکرد نوری منحصر بفردش جهت بهبود خاصیت ضد فرا بنفش پارچه پنبه‌ای در این مقاله تهیه شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که خاصیت ضد UV اینگونه پارچه‌های عمل شده (تکمیل شده) به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. طیف جذب، انعکاس، و انتقال پارچه عمل شده در طول فرآیند بهینه شده آنالیز شد. خاصیت مکانیکی پارچه عمل شده، مقداری افزایش در مقایسه با پارچه عمل نشده اصلی نشان داد. مورفولوژی پارچه عمل شده بوسیله SEM مطالعه شد. UPF پارچه عمل شده با سوسپانسیون نانو SiO_x به ۶۲ رسید، که بسیار بیشتر از پارچه عمل نشده اصلی است، علاوه بر این، پس از ۵۰ بار شستشوی خانگی، خاصیت مسدود کنندگی UV پارچه عمل شده به علت آفینیتت زیاد بین ذرات نانو SiO_x و لیف پنبه، به مقدار کمی تغییر کرد.

مقدمه

اکسید سیلیکون SiO_x به دلیل ثابت دی الکتریک پایین و ضریب شکست پایین توجه زیادی به خود جلب کرده است که x در SiO_x می‌تواند در محدوده ۰ و ۲ قرار گیرد. خواص منحصر بفرد SiO_x سبب شده است تا به عنوان بند الکترونی در الکترونیک، روکش‌های نوری، کامپوزیت‌های پلیمری، و غیره، بخصوص در مطالعه خواص مواد ضد فرسودگی مربوط به برهمکنش‌های حرارتی، فرا بنفش، ازن، کاربرد داشته باشد. انعکاس UVA و UVB بر روی نانو SiO_x بیشتر از ۸۵٪ می‌باشد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رزولوشن بالا، مشخص شده است که مقدار زیادی منافذ نانو، مزو بر روی سطح نانو SiO_x وجود دارد که سبب افزایش انعکاس سطح مشترک می‌شود. ساختار ویژه نانو SiO_x ، مشخصات نوری ویژه آن را تعیین می‌کند که برای مواد متداول در دسترس نمی‌باشد.

بر پایه عملکرد نوری ذاتی نانو SiO_x ، این ماده در اینجا برای بهبود خاصیت ضد فرا بنفش پارچه و برای جلوگیری از آسیب UV به انسان، استفاده شد. مشخص شده است که تابش UV شامل UVA، UVB، و UVC می‌باشد که به ترتیب در محدوده ۲۸۰-۳۱۵، ۳۱۵-۴۰۰، و ۲۸۰-۲۹۰ نانومتر رخ می‌دهد. پوست نیاز دارد تا از تابش بیش از حد UV، بخصوص UVB که بالاترین پتانسیل آسیب پوستی را دارد محافظت

شود. محققان همچنین تلاش می‌کنند برای بهبود ضد UV پارچه بیشتر از ZnO ، TiO_2 و غیره استفاده کنند. در حالیکه هیچ گزارشی در باره کاربرد SiO_x در منسوجات وجود ندارد، بنابراین ما تحقیق را با روش معین برای وسیع کردن محدوده ماده خام و بهبود اثر، انجام دادیم.

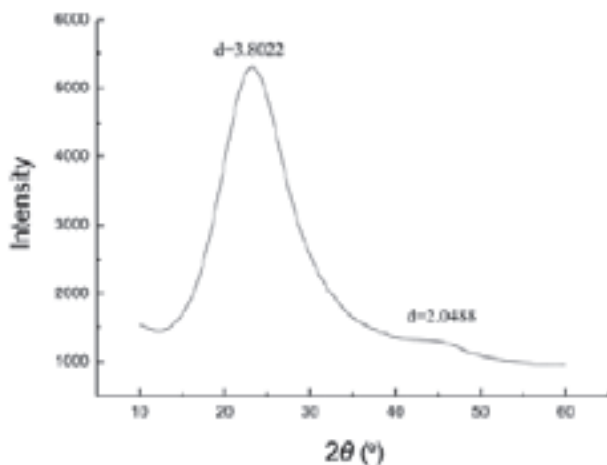
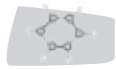
بخش تجربی

مواد

پارچه پنبه‌ای با بافت ساده به عنوان نمونه تست، با وزن ۱۹۰ گرم در هر متر مربع، مورد استفاده قرار گرفت. پودر نانو SiO_x از Zhe Jiang, Hongshen Material Co., Ltd. (چین) بود، اندازه متوسط ذره ۲۰ تا ۵۰ نانومتر بود و انعکاس UV بالای ۸۵٪ بود و x بین ۰ و ۲ می‌باشد. سدیم هگزا متا فسفات استفاده شده به عنوان دیسپرس کننده از Sinopharm Chemical Reagent Co. Ltd. بود و پلی اکریلات به صورت چسب از Guangrun Chemicals Co., Ltd.، Changzhou بود. هیدروکلریک آمونیاک از Shanghai Boer Chemicals Agent Co., Ltd بود.

تهیه سوسپانسیون‌های نانو SiO_x

به منظور یافتن فرمولاسیون بهینه سوسپانسیون، یک سری از آزمایشات



شکل ۲. XRD پودرهای نانو SiO_x

بررسی شد. در تست کننده پارچه YG065، فاصله ۱۰۰ میلی متر بود و سرعت کشش ۱۰۰ میلی متر بر دقیقه بود. تصاویر SEM پارچه با استفاده از JSM-5600 LV بدست آورده شدند. UPF نیز با استفاده از UV1000F (آنالیز کننده انتقال فرابنفش پارچه) از US Labsphere بررسی شد. نمونه‌های پنبه‌ای عمل شده در ماشین شوینده اتوماتیک بر طبق AATCC Test Method 135-2000 شسته شدند.

نتایج و بحث

FTIR پودر SiO_x

در ابتدا، ساختار شیمیایی پودر SiO_x بوسیله طیف FT-IR همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، بررسی شد. شکل ۱ نشان می‌دهد که دو باند جذبی قوی وجود داشت. پیک جذبی در حدود 3360 cm^{-1} می‌تواند به حالت ارتعاشی Si-OH مربوط باشد، در حالیکه پیک دیگری در حدود 1080 cm^{-1} بلت جذب گروه‌های Si-O می‌باشد. دو باند جذبی دیگر Si-OH (958 cm^{-1}) و Si-O-Si (796 cm^{-1}) وجود داشت که آفینیت به خوب نانو SiO_x به لیف پنبه را نشان می‌دهد.

پراش اشعه ایکس زاویه باز پودر

پراش اشعه ایکس پودرهای نانو SiO_x در شکل ۲ نشان داده شده است که پیک پراش بلوری تیز در زاویه پراش $2\theta = 20.448^\circ$ را نشان می‌دهد. بعلاوه در $2\theta = 44.16^\circ$ ، یک پیک برآمده غیر قابل رویت نیز وجود داشت که 2θ زاویه پراش و d فضای بین صفحه بلوری بود. بر طبق شاخص بلوری (CI)، $CI = 1 - A_p/A$ ، که A_a سطح پراش ناحیه آمورف بدست آمده با پراش پیک بود، و A سطح کلی پراش نمودار شدت تصحیح شده بود. بلورینگی نانو SiO_x، $50/69\%$ محاسبه شد. این بدان معناست که نانو SiO_x ساختار آمورف مشخصی داشت که منجر به برتری مشخص جهت در مشخصات نوری آن می‌شود.

خاصیت UV دیسپرسیون نانو SiO_x

خواص نوری سوسپانسیون آبی نانو SiO_x با غلظت مختلف نانو SiO_x (۱، ۲، ۳، ۴، و ۵٪) بررسی شدند و با استفاده از Hitachi U-4100، همانطور که در

انجام شدند. سوسپانسیون‌های آبی ذرات نانو SiO_x با غلظت‌های مختلف نانو SiO_x (۱، ۲، ۳، ۴، ۵٪) تهیه شدند و بوسیله موج مافوق صوت در مدت زمان مشخص، هم زده شد. قابل توجه بود که اگر غلظت SiO_x بالاتر از ۵٪ بود، رسیدن به سوسپانسیون نانو SiO_x به دلیل آنکه ذرات نانو به راحتی با هم تجمع می‌کنند، مشکل بود. سرانجام، دستورالعمل سوسپانسیون آبی بهینه نانو SiO_x به ترتیب با ۵٪ نانو SiO_x، ۱۵٪ پلی اکریلات، و ۲٪ سدیم هگزا متا فسفات در $\text{pH} = 9-10$ که با آمونیاک تنظیم شده بود، تعیین شد. سرعت همزن مکانیکی، ۱۵۰۰ rpm برای مدت ۳۰ دقیقه بود و سپس ۱۰ دقیقه تحت عملیات اولتراسونیک قرار گرفت.

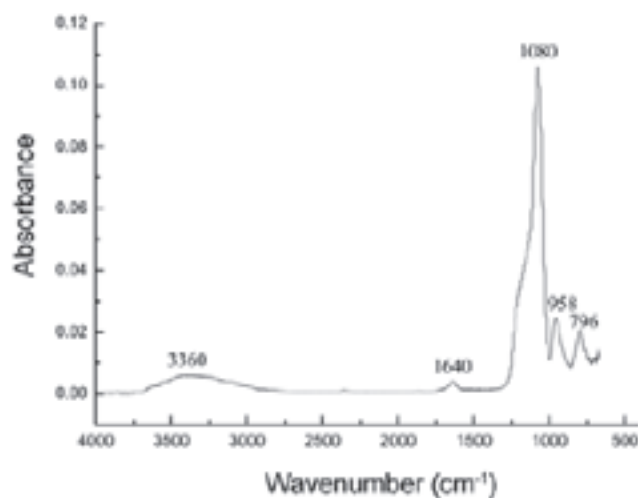
تکمیل پارچه

به منظور حذف ناخالصی‌های بر روی سطح نمونه، پارچه در استون به مدت ۱۲ ساعت خیس خرد و سپس با آب دی یونیزه شسته شد و خشک گردید. نمونه‌های پارچه سپس در سوسپانسیون آبی نانو SiO_x تحت دما ۴۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه وارد شدند، غوطه ور شدند و دوبار با برداشت ۷۵٪ در دمای اتاق فشرده شدند و سرانجام در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۵ دقیقه خشک شدند و در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳ دقیقه پخت شدند.

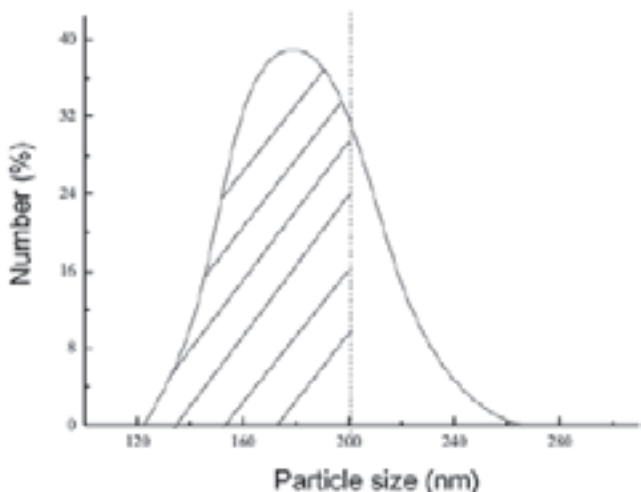
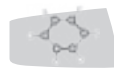
توصیف

اسپکتروسکوپی FTIR با استفاده از اسپکترومتر Nicolet 5700 FTIR بر روی نمونه‌ها انجام شد. نمودارهای شدت نمونه‌ها با استفاده از پراش سنج D/max 2550 PC X بدست آورده شدند. خاصیت نوری نمونه‌ها با استفاده از اسپکترومتر Hitachi U-4100 (اسپکترومتر فرابنفش مرئی مادون قرمز نزدیک) ارزیابی شد.

به منظور یافتن شرایط دیسپرسیون، اندازه سوسپانسیون آبی نانو SiO_x بوسیله Nanosizer از Malvern Instruments Ltd، انگلستان اندازه‌گیری شد. خاصیت مکانیکی پارچه‌های اصلی و عمل شده با استفاده از تست کننده الکترونیکی پارچه YG065 با اندازه نمونه ۲۵۰ میلی متر در ۵۰ میلی متر



شکل ۱. طیف FT-IR پودر نانو SiO_x



شکل ۴. توزیع اندازه سوسپانسیون‌های نانو SiO_x .

جدید دیگر در نانومترهای پایین تماس خواهد داشت. از طرف دیگر، بیشتر مواد شامل اتصال Si-O در طول محدوده نور مرئی جذب ندارند و پیک جذبی SiO_x کمتر از ۲۰۰ نانومتر می‌باشد، بنابراین انعکاس سطح مشترک نانو SiO_x می‌تواند به طور قوی اشعه UV و نور مرئی را منعکس کند. با مزوتخلخل بیشتر و نسبت بین وجهی بالاتر، انعکاس قوی‌تر می‌شود.

آنالیز اندازه سوسپانسیون نانو SiO_x

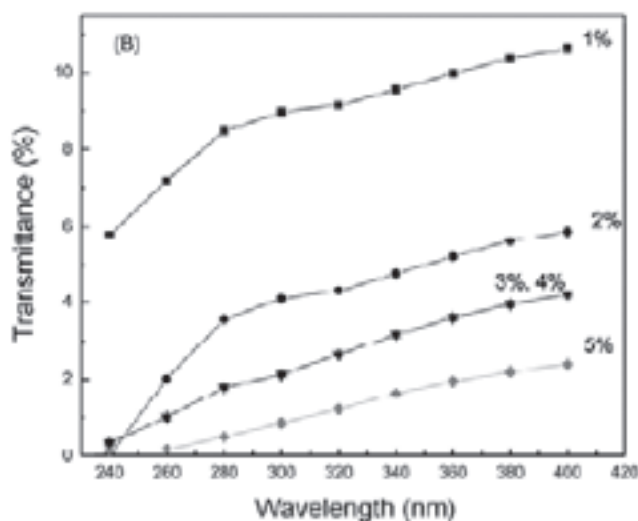
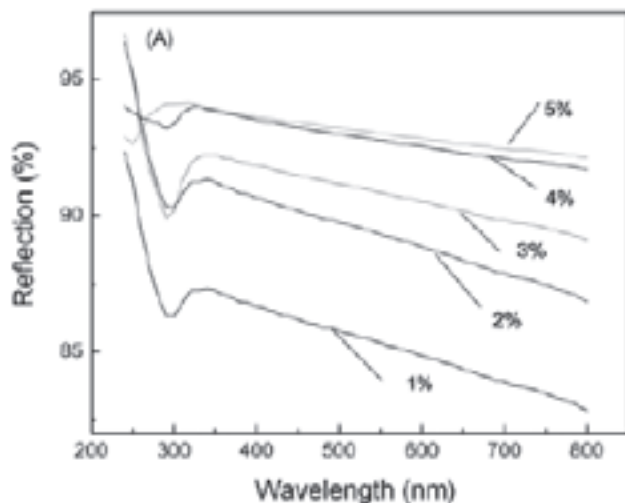
سوسپانسیون آبی بهینه سرانجام با ۵٪ SiO_x ، ۱۵٪ پلی‌اکریلات و ۲٪ سدیم هگزامتافسفات تحت pH=۹-۱۰ و با هم‌زدن با سرعت چرخش rpm 1500 برای مدت ۳۰ دقیقه و سپس ۱۰ دقیقه تحت عملیات التراسونیک، بدست آورده شد. توزیع اندازه ذرات SiO_x در سوسپانسیون با استفاده از Nanosizer در شکل ۴ نشان داده شده است، که محور X قطر بررسی شده ذرات (nm) و محور Y مربوط به درصد عدد (%) می‌باشند.

زیر منحنی (شکل ۴)، سطح انتگرال عدد اندازه ذره کمتر از ۲۰۰ نانومتر برای بیشتر تمام ترکیب محاسبه شده است. بر پایه توزیع اندازه-عدد، به روشنی می‌توان دریافت که اندازه ذرات SiO_x در سوسپانسیون اکثراً کمتر از ۲۰۰ نانومتر بودند، بزرگترین اندازه ذره کمتر از ۲۷۰ نانومتر بود. همانطور که در بالا اشاره شد، اندازه متوسط ذره SiO_x ، ۵۰-۲۰ نانومتر بود، و نشان داد که ذرات نانو SiO_x به صورت یکسان در سوسپانسیون دیسپرس شده‌اند، که برای تشکیل لایه یکنواخت‌تر و نازک‌تر بر روی لیف به منظور اجتناب از اثرات منفی بر روی زیردست و مقاومت، مفید بود.

خاصیت ضد UV پارچه با/بدون تکمیل

پس از انجام تکمیل با سوسپانسیون نانو SiO_x ، مسدود کنندگی UV پارچه‌های اصلی و عمل شده (تکمیل شده) با استفاده از Hitachi U-4100 مورد بررسی قرار گرفتند که طول موج نور بیشتر در محدوده UV، ۴۰۰-۲۴۰ نانومتر متمرکز بود.

خاصیت جذب پارچه‌های اصلی و عمل شده برای UV در شکل ۵(a) نشان داده است. از شکل ۵(a)، می‌توان دریافت که جذب UV پارچه عمل شده در

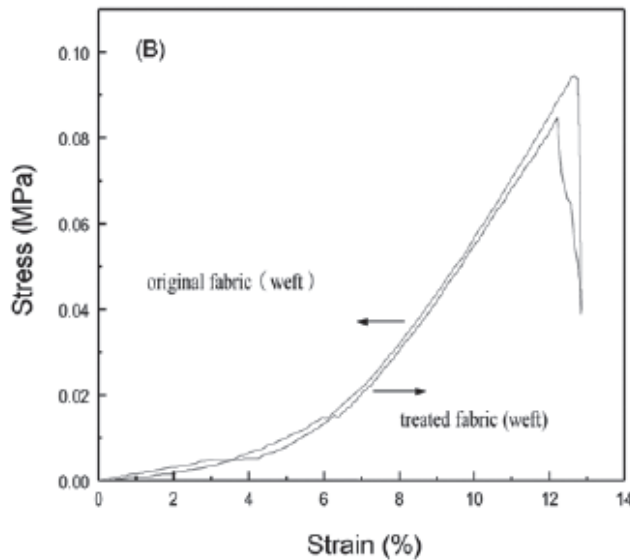
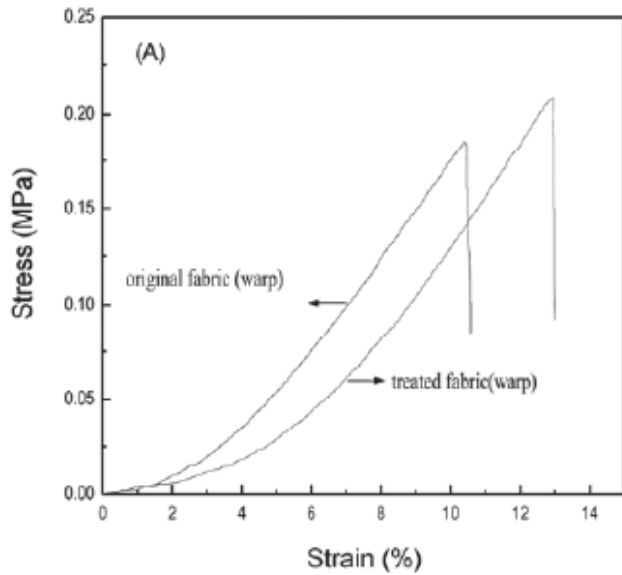
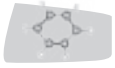


شکل ۳. طیف سوسپانسیون نانو SiO_x (a) انعکاس، (b) انتقال.

شکل ۳ نشان داده شده است، مقایسه شدند. واضح است که انعکاس دیسپرسیون نانو SiO_x (شکل ۳(a)) با طول موج نور برخورد کرده، تغییر کرده است. می‌توان دریافت که انعکاس SiO_x تحت هم نور UV و هم مرئی (۸۰۰-۲۴۰ نانومتر) به بیشتر از ۸۰٪ می‌رسد و با افزایش غلظت SiO_x افزایش می‌یابد.

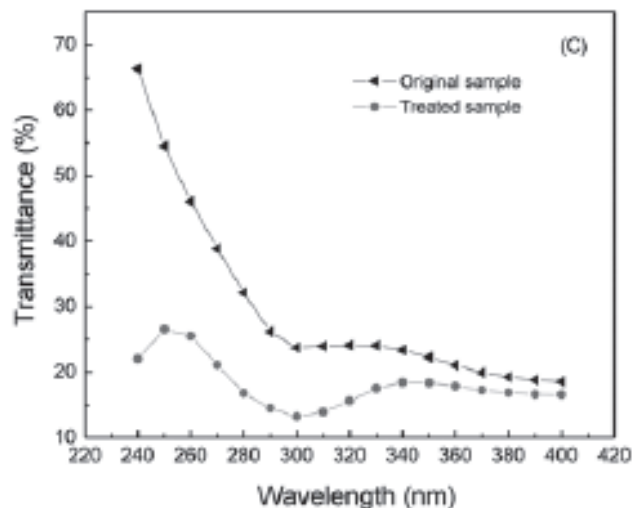
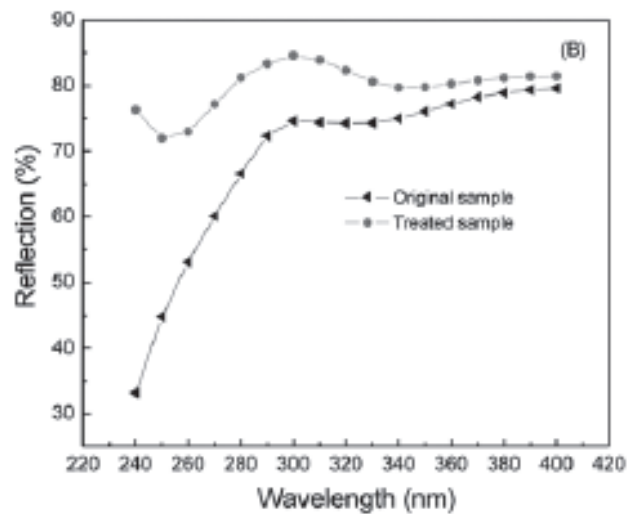
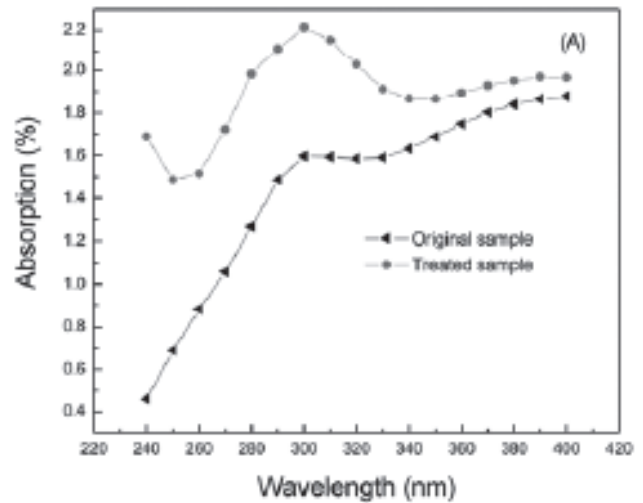
در همان زمان، انتقال سوسپانسیون SiO_x (شکل ۳(b)) با افزایش غلظت SiO_x کاهش یافت، و تا ۳٪ در غلظت وزنی ۵٪ SiO_x کاهش یافت. در این نقطه، انعکاس حداکثر بود (انعکاس متوسط در ۸۰۰-۲۴۰ نانومتر، بالای ۹۲٪ بود) و انتقال حداقل بود (انتقال متوسط در ۸۰۰-۲۴۰ نانومتر، زیر ۲٪ بود)، که می‌تواند نقش موثری در مقاومت در برابر نور بازی کنند. همانطور که در بالا اشاره شد، وقتی غلظت نانو SiO_x در سوسپانسیون بالای ۵٪ بود، ذرات به راحتی تجمع خواهند کرد و سوسپانسیون ناپایدار خواهد بود. بنابراین از آزمایشات ما، مشخص شد که غلظت ۵٪ SiO_x ، بهترین می‌باشد.

سطح متخلخل ذرات SiO_x ، امکان و قابلیت بیشتر انعکاس سطح مشترک را فراهم می‌کند. وقتی نور برخورد کرده به SiO_x گرانولی می‌رسد، به دلیل آنکه مزوتخلخل زیادی وجود دارد، نور به طور پیوسته با سطح مشترک



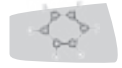
شکل ۶. خواص مکانیکی پارچه: (a) در جهت تار و (b) در جهت پود.

عمل شده ۲/۲۱٪ بود. بالاتر از ۳۰۰ نانومتر، اختلاف جذب بین نمونه‌های اصلی و عمل شده کوچکتر شد. انعکاسات UV پارچه‌های پنبه‌ای اصلی و عمل شده در شکل ۵(b) نشان داده شده است. مشابه با حالت جذب در شکل ۵(a)، تکمیل، انعکاس UV در محدوده طول موج پایین‌تر را افزایش داد. خاصیت انتقالی پارچه‌های اصلی و عمل شده در شکل ۵(c) نشان داده شده است. انتقال پارچه عمل شده، یعنی اشعه UV عبور کرده از پارچه که به پوست می‌رسد، در مقایسه با پارچه اصلی ناچیز می‌باشد. از طرف دیگر این چنین بهبود در محدوده طول موج پایین‌تر از قبیل UVB و UVC بیشتر بودند. با ترکیب تمام طیف‌ها (جذب، انعکاس، و انتقال) در ۲۴۰-۴۰۰ نانومتر، می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های پارچه عمل شده با سوسپانسیون SiO_x ، عملکرد در محافظت از UV، بخصوص در باندهای طول موج کوتاه‌تر UVB، را بهبود می‌بخشند که می‌تواند به اندازه نانو SiO_x در طول این بررسی نیز مربوط باشد.



شکل ۵. طیف پارچه: (a) جذب، (b) انعکاس و (c) انتقال.

مقایسه با نمونه اصلی به طور مشهودی افزایش یافته است. در ۲۴۰ nm، جذب نمونه اصلی ۰/۴۵٪ بود و تا ۱/۷۰٪ برای نمونه عمل شده افزایش یافت. در ۳۰۰ نانومتر، جذب نمونه اصلی ۱/۵۹٪ بود، در حالیکه برای نمونه



$\Delta\lambda$ = پهنای باند به نانومتر؛
 λ = طول موج به نانومتر.

نتایج نمونه‌های اصلی و تکمیل شده بوسیله UV1000F در جدول ۱ نشان داده شده است، که T(UVA) به معنی انتقال در محدوده UVA و T(UVB) به معنی انتقال در محدوده UVB می‌باشد.

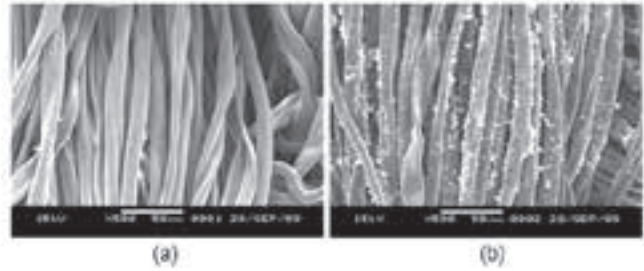
از جدول ۱ می‌توان مشاهده کرد که انتقال پارچه اصلی ۱/۳٪ در UVA بود، و نمونه‌هایی که با سوسپانسیون نانو SiO_x عمل شده بودند، انتقال تا ۰/۷۶٪ کاهش یافت. انتقال پارچه در محدوده UVB از ۲/۴۳٪ تا ۱/۶۶٪ پس از تکمیل کاهش یافت. مقدار T(UVB) بیشتر از T(UVA) بهبود یافت که نشان می‌دهد که ذرات SiO_x بر روی پارچه در بازداری از آسیب‌های UVB موثرتر بودند. این نتایج با نتایج بالای طیف UV، که پارچه عمل شده بهبود بیشتری در محدوده UVB و UVC دارد، همخوانی دارد.

UPF پارچه پنبه عمل شده به ۶۲ می‌رسد، که بالاتر از پارچه اصلی (۳۲/۵) بود و پارچه عمل شده با سوسپانسیون نانو SiO_x ، محافظت در برابر تابش UV عالی (بالای ۵۰+) داشت که مقایسه طیف بالا را تایید می‌کند. اثر مسدود کنندگی UV مشابه با پارچه‌های عمل شده متداول با ZnO یا TiO_2 که انتقال در محدوده ۴۰۰-۲۹۰ نانومتر کمتر از ۲۰٪ بود و UPF بیشتر از ۵۰ بود، می‌باشد. این تایید کرد که نانو SiO_x می‌تواند نقش مشابهی بر روی بهبود عملکرد مسدود کنندگی UV پارچه عمل شده بازی کند.

به منظور اندازه‌گیری دوام شستشویی پارچه عمل شده، UPF پارچه پس از شستشوی‌های خانگی نیز بر طبق AATCC Test Method 135-2000 اندازه‌گیری شد. مقدار UPF به علت چسبندگی قوی بین لیف پنبه و ذرات نانو SiO_x ، به مقدار بسیار کم پس از حتی ۵۰ بار شستشوی خانگی تغییر کرد. بعلاوه، مقدار T(UVA) و T(UVB) پس از شستشوی تغییر زیادی نکرد که نشان داد که پارچه عمل شده با سوسپانسیون نانو SiO_x دوام شستشویی خوب داشته است و بازهم قابلیت محافظت در برابر UV بالاتر پس از شستشوی دارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی جدید برای ایجاد منسوجات عامل‌دار تهیه شد و سوسپانسیون نانو SiO_x برای بهبود خاصیت ضد UV پارچه پنبه‌ای استفاده شد. سوسپانسیون پهنه بر پایه مقایسه خاصیت نوری بدست آورده شد. با استفاده از فرمولاسیون پهنه شده، جذب، انعکاس و خاصیت انتقال پارچه عمل شده به طور مشهودی بهبود یافت. داده‌های محور γ طیف پارچه عمل شده نشان داد که انعکاس بیشتر از ۷۰٪ بوده است و حداکثر انتقال تا ۲۶٪ کاهش یافت. پارچه عمل شده با سوسپانسیون نانو SiO_x اثر مسدود کنندگی خوب UV بخصوص در محدوده UVB نشان داد. خاصیت مکانیکی پارچه عمل شده با سوسپانسیون نانو SiO_x اندکی افزایش در جهت تار داشت. مورفولوژی پارچه عمل شده نشان داد که ذرات نانو SiO_x بر روی سطح لیف دیسپرس شده است که اشعه UV مسدود کرد و منجر به بهبود خاصیت ضد UV شد. UPF پارچه عمل شده با سوسپانسیون SiO_x (۶۲) بیشتر از نمونه اصلی (۳۲) بود و در محدوده عالی محافظت در برابر UV قرار داد. بعلاوه، به علت آفینیتیه زیاد بین ذرات نانو SiO_x و لیف پنبه، خاصیت مسدود کنندگی UV افزایش یافته، به مقدار کمی پس از ۵۰ بار شستشوی خانگی تغییر کرد.



شکل ۷. تصویر پارچه پنبه‌ای. (a) نمونه اصلی و (b) عمل شده با سوسپانسیون SiO_x .

خواص مکانیکی

خاصیت مکانیکی پارچه نیاز اصلی و مهم برای کاربرد می‌باشد. بنابراین، پارچه‌های اصلی و عمل شده با نانو SiO_x بر حسب مقاومت کششی مورد بررسی قرار گرفتند، که هر دو جهات تار و پود، همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، تست شدند. از شکل (a) ۶ می‌توان مشاهده کرد که تکمیل نانو SiO_x مقداری مدول اولیه را کاهش داده است اما هم از دید طول تا حد پارگی و هم نیروی پارچه در جهت تار را افزایش داده است. با این حال، این چنین تأثیرات در جهت پود نشان داده نشد. اگرچه خواص مکانیکی زیاد افزایش نمی‌یابد، اما پارچه عمل شده یک بهبود مشخصی دارد و بنابراین SiO_x تأثیر مثبت در پارچه عمل شده دارد.

آنالیز مورفولوژی

مورفولوژی نمونه‌های اصلی و عمل شده با سوسپانسیون نانو SiO_x می‌تواند از شکل ۷ مشاهده گردد. از تصاویر SEM، همانطور که انتظار می‌رفت، می‌توان دریافت که ذرات زیادی از SiO_x که دیسپرس‌شده خوب بر روی سطح پارچه نشان داده‌اند، وجود دارد، که در مسدود کنندگی UV موثر می‌باشند.

بررسی UPF (فاکتور محافظت در برابر UV) و دوام شستشویی

مقدار UPF (فاکتور محافظت در برابر UV) در اینجا برای ارزیابی ظرفیت محافظت در برابر UV استفاده شد، که بوسیله استاندارد استرالیا/نیوزلند AS/NZS 4399:1966 تعریف می‌شود.

$$UPF = \frac{\sum_{290nm}^{400nm} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{290nm}^{400nm} E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (1)$$

E_{λ} = اثر بخشی طیفی اریتم زا؛ S_{λ} = تابش طیفی خورشید به $\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ ؛
 T_{λ} = انتقال طیفی پارچه؛

جدول ۱. مقدار UPF پارچه‌های اصلی و عمل شده

	T(UVA)(%)	T(UVB)(%)	UPF
Original sample	1.30	2.43	32.50
Treated sample	0.76	1.66	62.00
After 25 washing cycles	1.06	1.68	59.37
After 50 washing cycles	1.15	1.78	57.71