

# تهیه پوشش نانوساختار تیتانیا-سیلیکا ضدبازتاب خودتمیزشونده به روش سل-ژل

نوع مقاله: علمی پژوهشی

نجمه لاری<sup>۱\*</sup>، شاهرخ آهنگرانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی سیرجان

<sup>۲</sup> دانشیار مهندسی مواد، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

\* N1lari@yahoo.com

## چکیده:

امروزه یکی از تلاش‌ها برای ساخت پوشش‌هایی با خواص ضدبازتاب و خودتمیزکننده است. زیرا اگرچه پوشش‌های ضدبازتاب کاربرد بسیاری در سلول‌های خورشیدی، جمع‌کننده‌های خورشیدی و بسیاری از وسایل نوری دیگر دارند اما این پوشش‌ها خاصیت ضدبازتابی خود را برای مدت طولانی در محیط‌های آلوده نگه نمی‌دارند. استفاده از تیتانیا با خواص خودتمیزکنندگی و ضدبخار مطلوب می‌باشد. برای به‌دست‌آوردن خاصیت ضدبازتابی و خودتمیزکنندگی رقابتی بین این دو وجود دارد. زیرا در صورت استفاده از تیتانیا ضریب شکست بالا می‌رود و از خاصیت ضدبازتابی می‌کاهد. در تحقیق حاضر برای ایجاد خاصیت ضدبازتابی و خودتمیزکنندگی از پوشش چندلایه تیتانیا-سیلیکا تهیه‌شده به روش سل-ژل بهره برده شد. برای ارزیابی پوشش از آنالیز طیف نگاری عبور Vis-UV، طیف‌نگاری مادون قرمز FT-IR و میکروسکوپ الکترونی SEM، تست AFM و تست زاویه تماس استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده به‌دست‌آمدن پوشش یکنواخت، با عبور بالا و از همه مهم‌تر پایدار در طول زمان بود.

نتایج نشان داد، پوشش چندلایه به‌دست‌آمده با ضخامت ۴۶ نانومتر دارای خواص ضدبازتابی با ۹۸٪ عبور می‌باشد. نتایج FTIR نیز نشان‌دهنده تشکیل پیوندهای Si-O-Si و Ti-O-Ti می‌باشد. نتیجه تست زاویه ترشوندگی پوشش حاکی از این است که زاویه بسیار کمی در حد ۲/۳ درجه به وجود آمده است. لذا پوشش را باید فوق‌آب‌دوست معرفی کرد. این خاصیت که به علت حضور لایه‌های تیتانیا به‌دست‌آمده، تمیزکاری پوشش را آسان می‌کند. در این نمونه پس از گذشت زمان هیچ تغییری در میزان عبور نور ایجاد نشده است. دلیل این عدم تغییر، وجود ماده فوتوکاتالیستی تیتانیا است که نقش آن برای تمیزکردن تخلخل از طریق تجزیه مواد آلی پس از فعال‌سازی نور طبیعی خورشید است. بنابراین پوشش به‌دست‌آمده در گذشت زمان از لحاظ خاصیت ضدبازتابی پایدار خواهد بود.

## اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۰ دی ۱۴۰۳

پذیرش: ۸ اسفند ۱۴۰۳

صفحه ۱۵ تا صفحه ۲۴

در دسترس در نشانی:

[www.ijcse.ir](http://www.ijcse.ir)

زبان نشریه: فارسی

شاپا چاپی: ۲۳۵۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی:

۳۰۰۳-۲۷۸۳

## کلیدواژه:

پوشش ضدبازتاب، خودتمیزشونده، تیتانیا، سیلیکا، سل-ژل.

20.1001.1.23222352.1403.13.1.6.2

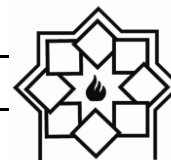
کد DOR:

## ۱- مقدمه

سلول‌های فتوولتائیک و نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی با

هدف افزایش بازدهی انرژی اختصاص داده شده است. با

بسیاری از تلاش‌ها به توسعه فن‌آوری‌های جدیدی چون



ایجاد پوشش ضدبازتاب<sup>۱</sup> (AR) روی یک پوشش شیشه‌ای دریافت‌کننده‌ها و سلول‌های خورشیدی، می‌توان تا حدودی به این مهم دست یافت. به‌طور معمول پوشش سیلیکا متخلخل با ضریب شکست پایین و چسبندگی عالی به سطح شیشه‌ای استفاده می‌شود. متأسفانه، پوشش  $\text{SiO}_2$  متخلخل در آب پایدار نیست و اگر به اندازه کافی در محلولی مانند باران قرار گیرد، به‌تدریج حل می‌شود. این فرآیند با حضور تخلخل که به‌طور چشمگیری سطح مواد را افزایش می‌دهد، تسریع می‌شود. در همین حال، حضور منافذ در حد نانومتر منجر به جذب آلاینده‌ها از محیط خارج می‌شود که باز هم منجر به افزایش ضریب شکست لایه ضدبازتاب و در نتیجه از دست دادن عملکرد نوری آن می‌گردد [۱]. یک راه‌حل برای رفع این مشکل ادغام یک‌گونه فوتوکاتالیستی به لایه نوری که نقش آن برای تمیزکردن تخلخل از طریق تجزیه مواد آلی پس از فعال‌سازی نور طبیعی خورشید خواهد بود. یکی از کارآمدترین مواد برای چنین هدفی  $\text{TiO}_2$  است. با وجود کارایی آن در خودتمیزکردن پنجره، به دلیل وجود مشکلاتی مانند ضریب شکست بالا  $n=2.5$ ، به‌طور چشمگیری خواص AR لایه کاهش می‌یابد. برای کاهش این معضل می‌توان از لایه‌های پشت سر هم تیتانیا و سیلیکا بهره برد [۲، ۳]. به‌طور مثال فایوستینی<sup>۲</sup> و همکارانش سیستم دولایه شامل یک لایه ضدبازتاب ضخیم که با یک لایه نازک تیتانیا پوشش داده شده است، به دست آوردند [۴].

لیو<sup>۳</sup> و همکارانش نیز فیلم‌های دو لایه  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  با خواص ضدبازتابی و خودتمیزشوندگی تولید کردند. لایه زیرین سیلیکا

به‌عنوان پوشش ضدبازتاب و لایه رویی تیتانیا به‌عنوان لایه فوتوکاتالیست و خودتمیزشونده است. بیشینه عبور در این تحقیق ۹۶٪ به دست آمد [۵]. ویسنت<sup>۴</sup> و همکارانش پوشش دولایه سیلیکا-تیتانیا که لایه سیلیکا داخلی حاوی تریتون و لایه نازک تیتانیا بر روی آن است، تولید کردند. این پوشش هم خاصیت ضدبازتابی دارد و هم خودتمیزشوندگی. خاصیت فوتوکاتالیستی آن تحت نور UV فعال می‌شود و بیشینه عبور ۹۶٪ گزارش شده است. چون خاصیت فوتوکاتالیستی و خود تمیزکنندگی لایه تیتانیا خیلی نازک به دلیل کم‌شدن نقاط حساس به نور<sup>۵</sup> کم است، لذا ضروری است، بهینه‌ای بین عبور بالا و خودتمیزشوندگی به دست آید [۶].

اگرچه لایه‌های نازک تیتانیا تنها در تشعشع اشعه UV فعال می‌شوند، اما در عمل همیشه منبع نور UV وجود ندارد. اگر لایه‌های  $\text{TiO}_2$  در جای تاریک نگهداری شوند، سطح تیتانیا به حالت آب‌گریز برمی‌گردد. لذا ترجیح داده می‌شود، فیلم‌های تیتانیا خواص آب‌دوستی خود را برای مدت زیادی در مکان تاریک نگه دارند. اسحاقی و همکارانش نشان دادند که افزودن سیلیکا به سل تیتانیا و تشکیل کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا خواص آب‌دوستی تیتانیا را در جای تاریک بهبود می‌دهد. در مطالعه دیگر این محققان پوشش سه‌لایه  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  را به روش PVD تهیه کردند [۷].

یکی از راه‌های فعال‌کردن تیتانیا در نور مرئی استفاده از ترکنده‌های آلی در محلول می‌باشد. چو<sup>۶</sup> و همکارانش نیز گزارش دادند که نه‌تنها ترکنده‌ها یک وسیله‌ای برای متمرکز کردن سطوح آب‌گریز در منطقه سطحی  $\text{TiO}_2$  است،

<sup>5</sup> Photoactive

<sup>6</sup> Cho

<sup>1</sup> Anti-reflective

<sup>2</sup> Faustini

<sup>3</sup> Liu

<sup>4</sup> Vicente



سورفکانت غیریونی تخلخل را استفاده شد. سل‌های حاوی تریتون با نماد p و سل‌های بدون تریتون با نماد d مشخص شده‌اند. سل‌های تیتانیا و سیلیکا با ترکیبات جدول ۱ آماده‌سازی گردیدند.

نحوه مخلوط کردن سل‌ها به صورت دیاگرام شکل ۱ می‌باشد. برای نمونه‌های تیتانیا بدون تریتون مرحله افزودن تریتون حذف می‌گردد. برای هم‌زدن محلول از دستگاه همزن مغناطیسی با سرعت ۲۵۰ rpm بهره گرفته شد.

پس از پیرسازی، عملیات پوشش‌دهی غوطه‌وری توسط دستگاه پوشش‌دهی غوطه‌وری (dip coater) آغاز شد. لام‌های آزمایشگاهی ابتدا توسط آب مقطر و سپس اتانول خشک گردیدند. برای غوطه‌وری سرعت رفت و برگشت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و زمان غوطه‌وری برای لایه سیلیکا ۶۰ ثانیه و برای تیتانیا ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. نحوه پوشش‌دهی پوشش‌های چندلایه در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

پس از پوشش دادن، نمونه‌ها مدتی در هوای محیط قرار گرفته تا خشک و بعد به کوره برنامه‌دار منتقل گردیدند. توسط این کوره عملیات حرارتی در دماهای ۱۲۰، ۲۷۰ و ۴۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت انجام گردید.

بلکه در نور مرئی نیز امکان شکل‌گیری یک سطح کمپلکس بر تیتانیا وجود دارد. استفاده از ترکنده‌های غیریونی ساده مثل گروه‌های پلی‌اکسی‌اتیلن، تیتانیا را در زمان اولیه فعال می‌کند. تشکیل کمپلکس‌های سطحی بین ترکنده‌های غیریونی و سطح تیتانیا منجر به جذب ضعیف نور مرئی می‌شود [۸].

در تحقیق حاضر دو هدف مد نظر است، اول ایجاد پوشش با عبور بالا دوم حفظ این خاصیت در طول زمان. بدین منظور پوشش‌های چندلایه تیتانیا-سیلیکا طراحی شد تا هر دو خاصیت به دست آید. در ادامه نتایج این تحقیق ارائه شده است.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- پوشش‌دهی فیلم‌های سیلیکا و تیتانیا

برای ساخت سل‌ها از تترااتیل ارتوسیلیکات ( $TEOS^1$ )، تترا بوتیل ارتوتیتانات ( $TBT^2$ )، آب مقطر، اتانول خالص، اسید نیتریک به عنوان کاتالیست و از اتیل استواسات ( $EAA^3$ ) (به عنوان جمع‌کننده) استفاده گردید. چهار نوع سل سیلیم و تیتانیم با و بدون تریتون<sup>۴</sup> تولید شد. در محلول‌های حاوی تریتون، از تریتون به مقدار ۴۰ گرم بر لیتر به عنوان یک عامل

جدول ۱- ترکیب سل‌های چگال و متخلخل سیلیکا و تیتانیا

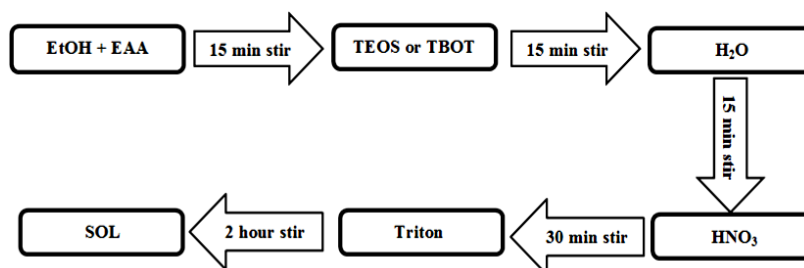
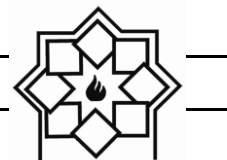
| سل | EtOH | H <sub>2</sub> O | TEOS | TBT | Triton | HNO <sub>3</sub> | EAA  |
|----|------|------------------|------|-----|--------|------------------|------|
| sp | ۴۶   | ۳/۷۵             | ۵/۲۵ | -   | ۲      | ۰/۱              | ۰/۵۵ |
| td | ۵۲   | ۰/۷۵             | -    | ۱/۵ | -      | ۰/۱              | ۱    |
| sd | ۴۶   | ۳/۷۵             | ۵/۲۵ | -   | -      | ۰/۱              | ۰/۵۵ |
| tp | ۵۲   | ۰/۷۵             | -    | ۱/۵ | ۱/۵    | ۰/۱              | ۱    |

<sup>3</sup> Ethyl acetoacetate

<sup>4</sup> Triton

<sup>1</sup> Tetraethylorthosilicate

<sup>2</sup> Tetraethyl orthotitanate



شکل ۱- نحوه آماده سازی سل های سیلیکا و تیتانیا

مورفولوژی و ریز ساختار مرتبط است. زیرا میزان تخلخل بر ضریب شکست لایه نازک موثر و منجر به کاهش آن می شود [۹]. پوشش هایی که حاوی تریتون هستند دارای تخلخل بیش تری می باشند چون تریتون در اثر عملیات حرارتی تبخیر می شود و تخلخل ایجاد می کند. پس می توان انتظار داشت این پوشش ها دارای ضریب شکست کمتر و عبور بیش تر می باشد. تک لایه حاوی تریتون سیلیکا ۹۷٪ و پوشش بدون تریتون آن ۹۳٪ عبور از خود نشان می دهند. علت تفاوت این دو در میزان تخلخل است. در پوشش های تک لایه حاوی تریتون و بدون تریتون تیتانیا نیز به همین ترتیب در اثر اختلاف تخلخل به ترتیب ۸۷٪ و ۸۲٪ عبور از خود نشان داده است. لذا تریتون به خوبی توانسته است، نقش خود را در ایجاد تخلخل ایفا کند. همان طور که مشاهده می شود، پوشش tdsptpsptpsd نیز با ۹۸٪ عبور خوبی از خود نشان داده است. بعد از گذشت یک سال تفاوت محسوسی در عبور نور اتفاق نیفتاده است. در این پوشش از ترکیب لایه های بدون تریتون در سطح زیرین و بالا استفاده شده است و در لایه های داخلی نیز از پوشش های حاوی تریتون که دارای تخلخل بیش تری هستند استفاده شده است. این ترکیب لایه ها به ما کمک می کند تا هم از خواص ضدبازتابی پوشش های متخلخل استفاده شود و هم پایداری خاصیت ضدبازتابی پوشش به دلیل لایه های چگال در بالا و پایین به دست آید. دلیل دیگر آن

جدول ۲- نحوه قرار گیری لایه ها در پوشش های تک و چند لایه تیتانیا-سیلیکا sp: لایه سیلیکا متخلخل، tp: لایه تیتانیا متخلخل، sd: لایه سیلیکا چگال، td: لایه تیتانیا چگال

| نامگذاری     | شماره |
|--------------|-------|
| sp           | ۱     |
| tp           | ۲     |
| sd           | ۳     |
| td           | ۴     |
| tdsptpsptpsd | ۵     |

## ۲-۱-۱- بررسی پوشش ها

پس از آماده شدن نمونه ها، به منظور ارزیابی پوشش های به دست آمده از دستگاه های UV-VIS (Bruker Tensor 27) و طیف نگاری مادون قرمز FT-IR (Jasco v-550)، میکروسکوپ نیروی اتمی AFM و تست زاویه تماس استفاده گردید.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- طیف نگاری عبور

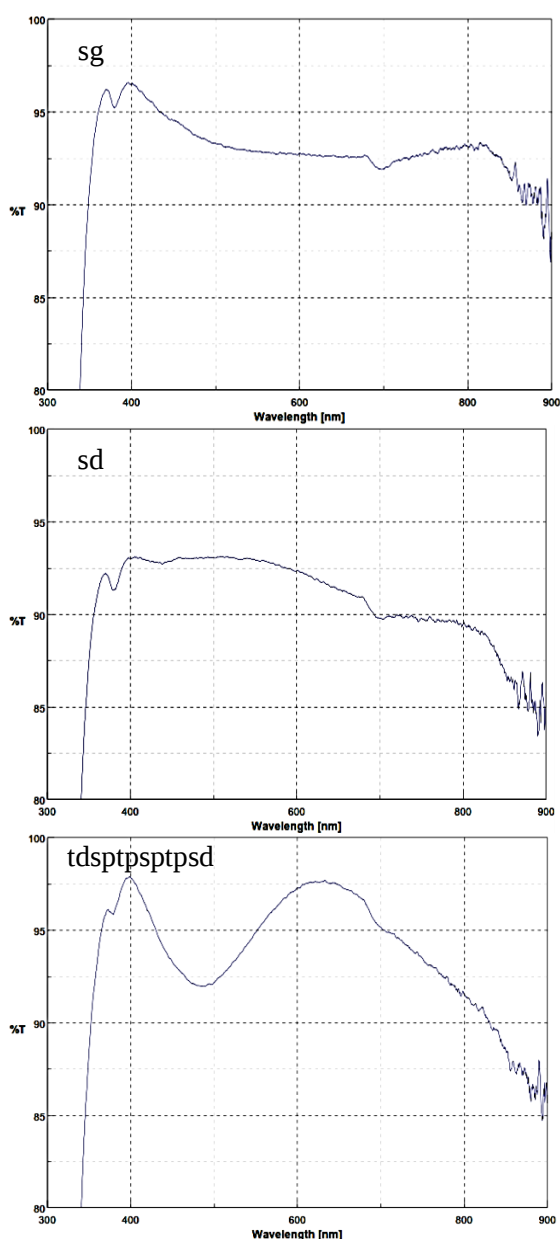
طیف نگاری عبور پوشش های تک و چند لایه در شکل ۲ مشاهده می شود. بیشینه عبور نمونه ها در جدول ۳ مشاهده می گردد. در لایه های نازک، خواص اپتیکی متأثر از ضخامت اپتیکی (حاصل ضرب ضخامت فیزیکی در ضریب شکست لایه نازک) است. به طور معمول در شرایط یکسان تفاوت میزان عبور نور در لایه های نازک حاصل از سل ها با



خطوط تولید شده ترک نیستند، بلکه فاصله مابین ذرات می‌باشند. ضخامت این پوشش تقریباً ۴۶ نانومتر می‌باشد.

### ۳-۳- بررسی AFM

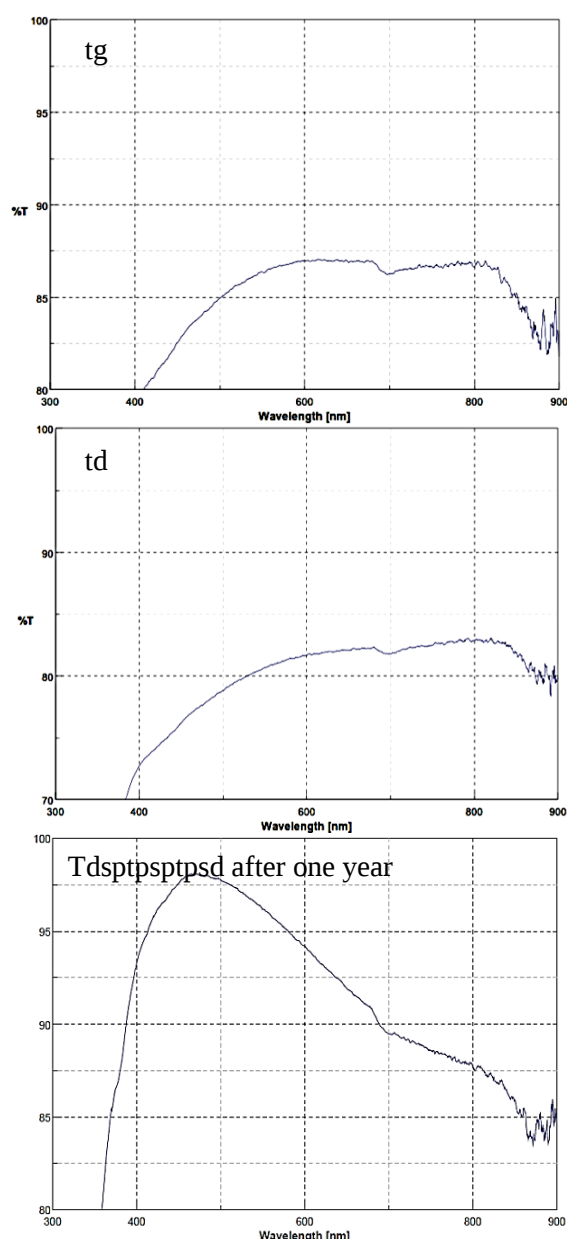
تصویر AFM پوشش شش لایه تیتانیا-سیلیکا در زمان‌های اولیه و پس از گذشت یک سال در شکل ۴ مشاهده می‌شود.



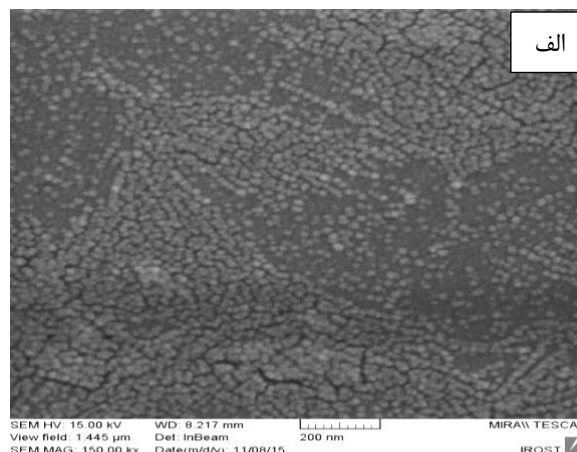
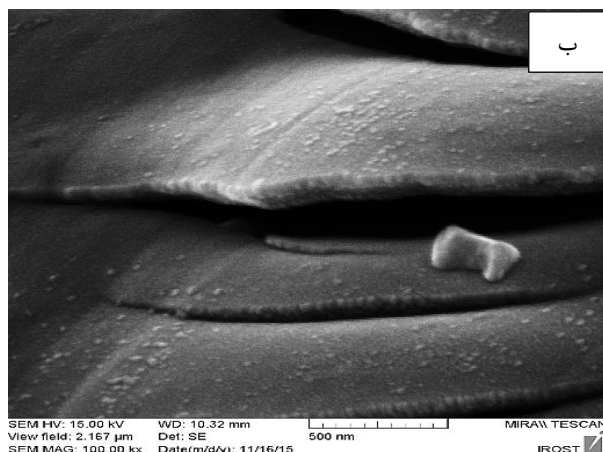
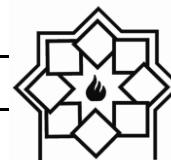
نیز استفاده از تیتانیا با خاصیت فتوکاتالیستی است که منجر به تمیز کردن تخلخل‌ها و در نتیجه پایداری نوری پوشش‌ها می‌گردد.

### ۳-۲- بررسی میکروسکوپی

تصویر میکروسکوپی پوشش شش لایه در شکل ۳ مشاهده می‌گردد. سطح پوشش به جز نواحی تقریباً یکنواخت است.



شکل ۲- نمودار عبور نور پوشش‌های تک لایه سیلیکا، تک لایه تیتانیا و شش لایه تیتانیا-سیلیکا



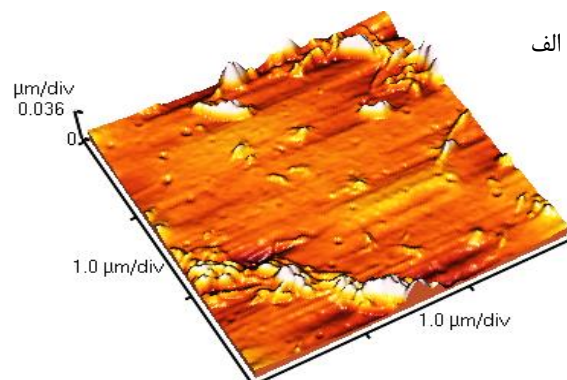
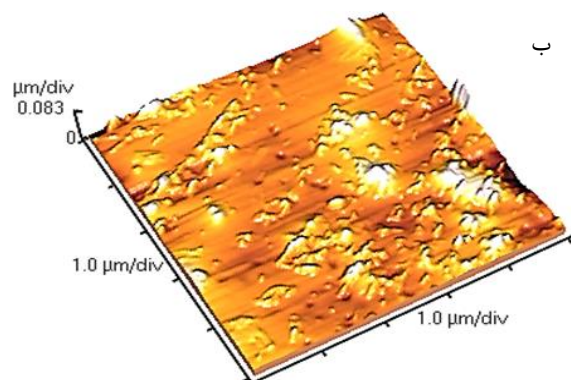
شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی (الف) مورفولوژی سطح، (ب) سطح مقطع پوشش شش لایه tdsptpsptpsd

زیادی حفظ خواهد شد.

### ۴-۳- بررسی FTIR

طیف‌های مادون قرمز پوشش‌های تیتانیا و سیلیکا در شکل ۵ دیده می‌شود. مشخصه پیک‌ها در  $450\text{ cm}^{-1}$  و  $800\text{ cm}^{-1}$  و  $1080\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی جنبشی یا نوسانی، خمشی و نامتقارن پل‌های سیلیکا می‌باشند [۱۰]. پیوندهای تیتانیا بین  $500\text{ cm}^{-1}$  تا  $900\text{ cm}^{-1}$  اتفاق می‌افتد. در همه نمودارهای حاوی سیلیسیم از بین پیک‌های مربوط به ارتعاشات پیوند سیلیکا بلندترین پیک متعلق به ارتعاشات خمشی Si-O-Si در  $800\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود.

سطح این پوشش دارای ساختار نانو است. زبری این پوشش در زمان‌های اولیه تقریباً  $3\text{ nm}$  می‌باشد. همچنین متوسط ارتفاع تقریباً  $10\text{ nm}$  می‌باشد. زبری این پوشش بعد از یک سال تقریباً  $5\text{ nm}$  است. همچنین متوسط ارتفاع تقریباً  $15\text{ nm}$  است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با گذشت زمان سطح به مقدار کمی زبر شده است که علت آن رشد ذرات در اثر نفوذ یون‌های کلسیم و سدیم شیشه به پوشش است که به مرور زمان اتفاق خواهد افتاد. این نفوذ به تخلخل پوشش بستگی دارد. باتوجه به اینکه پایین‌ترین لایه تیتانیا چگال است در جلوگیری از نفوذ یون‌های شیشه به پوشش تا حد زیادی جلوگیری می‌کند. در نتیجه خاصیت ضد بازتابی تا حد

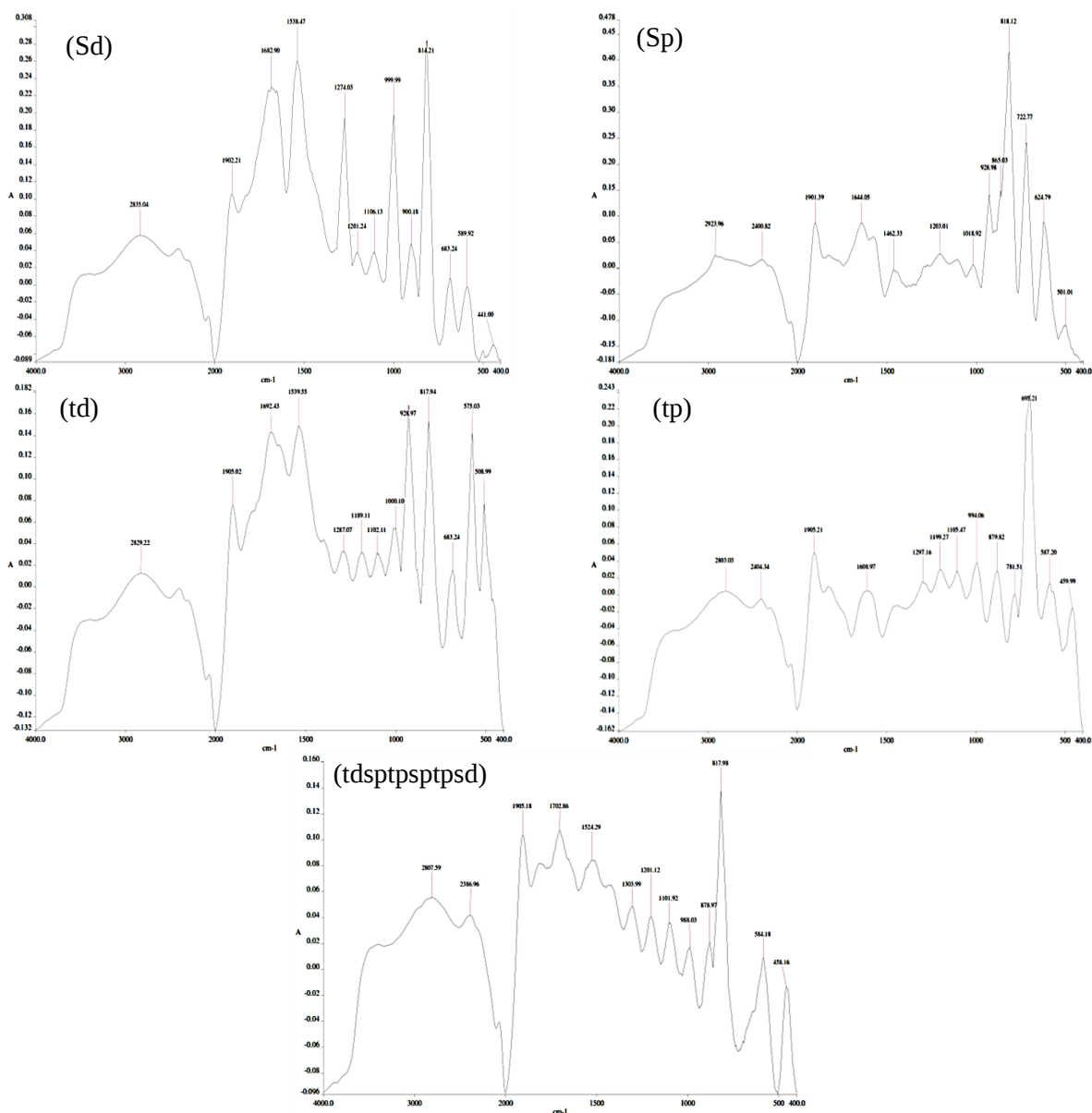


شکل ۴- تصویر AFM پوشش شش لایه (الف) در زمان‌های اولیه (ب) پس از گذشت یک سال

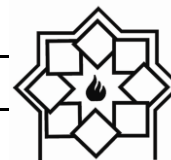


مربوط به آب در  $1640\text{ cm}^{-1}$  [۱۳] در هر دو نمودار دیده نمی‌شود. در نمودار td ترکیبات کربنی بین  $1500\text{ cm}^{-1}$  تا  $1700\text{ cm}^{-1}$  از شدت بیش‌تری نسبت به tp برخوردار است. در نمودار sd نسبت به sp وضع به همین منوال است. در نمودار sd علاوه بر پیک  $800\text{ cm}^{-1}$  پیک  $999\text{ cm}^{-1}$  و  $1274\text{ cm}^{-1}$  از ارتعاشات Si-O بیش‌تر از sp است.

در نمودارها پیک  $2800\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-H [۱۲] است که ممکن است از ترکیبات تریتون که در پوشش باقی‌مانده است و یا مربوط به اتانول باشد. در نمودار tp قوی‌ترین پیک یعنی  $695\text{ cm}^{-1}$  و در Td پیک  $817\text{ cm}^{-1}$  متعلق به پیوند Ti-O-Ti است. ممکن است به دلیل تراکم بیش‌تر در فیلم td پیوند در طول موج‌های بیش‌تری اتفاق افتاده باشد. پیک



شکل ۵- طیف‌نگاری مادون قرمز پوشش‌های تک‌لایه سیلیکا، تک‌لایه تیتانیا و چندلایه تیتانیا-سیلیکا



اشعه تیتانیا مجددا فعال می شود.

ترکننده‌ها همچون تریتون نیز خاصیت فتوکاتالیستی سیستم  $\text{TiO}_2$  را تحت نور مرئی افزایش می‌دهند. نقش اساسی ترکننده‌ها در این مورد متمرکز کردن سطوح آب‌گریز در لایه‌های تیتانیا و همچنین تشکیل کمپلکس‌هایی بر سطح تیتانیا است که منجر به جذب نور مرئی می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی به ایجاد پوشش پایدار ضدبازتاب شد. نتایج نشان داد پوشش‌هایی با ساختار چندلایه متشکل از لایه‌های چگال و متخلخل می‌تواند با عبور ۹۸٪ پایداری خوبی در گذشت زمان داشته باشد. این پایداری به دو علت می‌باشد اول اینکه ایجاد دو سد محافظتی در بالا و پایین پوشش است که نسبت به نفوذ یون‌ها از زیرلایه و آلودگی هوا محافظت می‌کنند. دوم وجود ماده فوتوکاتالیستی تیتانیا است که نقش آن برای تمیز کردن تخلخل از طریق تجزیه مواد آلی پس از فعال‌سازی نور طبیعی خورشید خواهد بود. لذا خاصیت ضدبازتابی به مرور زمان تغییر نخواهد کرد.

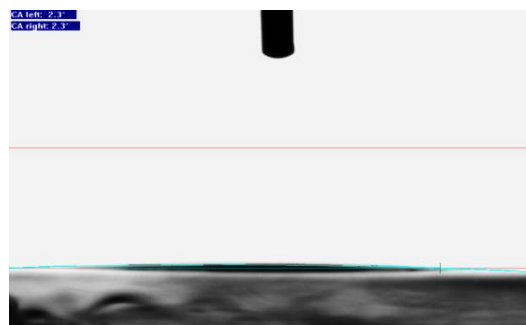
#### مراجع

- [1]. M. Faustini, L. Nicole, C. Boissiere, P. Innocenzi, C. Sanchez, D. Grosso, "Hydrophobic, Antireflective, Self-Cleaning, and Antifogging Sol-Gel Coatings: An Example of Multifunctional Nanostructured Materials for Photovoltaic Cells", Chem. Mater, 2010, 22, 4406-4413.
- [2]. J. Philpavicius, I. Kazadojev, A. Beganskiene, A. Melnkaitis, V. Sirutkaitis, Kareiva, "A Hydrophobic Antireflective Silica Coatings via Sol-gel Process", Materials Science, 2008, 14(4), 283-287.
- [3]. R. Prado, G. Beobide, A. Marcaide, J. Goikoetxea, A. Aranzabe, "Development

لذا پوشش از ذرات بیش‌تری  $\text{SiO}_2$  نسبت به پوشش چگال برخوردار است. در نمودار Td نیز به همین منوال است. در  $\text{cm}^{-1}$  ۹۲۰ پیوند Ti-O-Ti قوی وجود دارد که نسبت به tp از شدت بیش‌تری برخوردار است. لذا تراکم ذرات تیتانیا در لایه چگال بیش‌تر است. پیک مربوط به آب جذب‌شده از محیط تنها در sp دیده شد. که دلیل آن آب‌دوستی پیش‌ماده TEOS و تریتون است. در نمودار شش‌لایه ساندویچی قوی‌ترین پیک  $\text{cm}^{-1}$  ۸۱۷ مربوط به پیوند Ti-O-Ti و پیک‌های  $\text{cm}^{-1}$  ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ مربوط به پیوند Si-O-Si است.

#### ۳-۵- زاویه تماس

زاویه ترشوندگی پوشش شش‌لایه ساندویچی در شکل ۶ مشاهده می‌شود. پوشش دارای زاویه بسیار کمی در حد ۲/۳ درجه می‌باشد. لذا پوشش را باید فوق‌آب‌دوست معرفی کرد. این خاصیت برای تمیز کردن پوشش بسیار مطلوب بوده و تمیزکاری پوشش را آسان می‌کند. این خاصیت به علت حضور لایه‌های تیتانیا در پوشش به دست آمده است. بنابراین اجازه تمیزکاری پوشش‌ها را بدون احتیاج به نور UV می‌دهد.



شکل ۶- زاویه تماس پوشش‌های شش‌لایه تیتانیا-سیلیکا

این خاصیت هفته‌ها و ماه‌ها باقی می‌ماند. تا اینکه جذب کربن محیط در تخلخل‌ها اتفاق افتد. لازم به ذکر است که نور خورشید خود دارای نور UV می‌باشد و در صورت نیاز، با این



- [12]. M. H. Asghar, M. B. Khan, S. Naseem, Z. A. Khan, "Design and preparation of antireflection films on glass substrate" Turk J Phys, 2005, 29, 43 -53.
- [13]. D. Bouhafs, A. Moussi, A. Chikouche, J. M. Ruiz, "Design and simulation of antireflection coating systems for optoelectronic devices: Application to silicon solar cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, 1998, 52(1-2), 79-93.
- [4]. L. Miao, L. F. Su, T. Sakae, C. A. J. Fisher, L. L. Zhao, Q. Liang, G. Xu, "Cost-effective nanoporous  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  coatings on glass substrates with antireflective and self-cleaning properties", Applied Energy, 2013, 112, 1198-1205.
- [5]. Z. Liu, X. Zhang, T. Murakami, Fujishima, "A Sol- gel  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  bilayer films with self-cleaning and antireflection properties", Solar Energy Materials & Solar Cells, 2008, 92, 1434-1438.
- [6]. G. S. Vicente, A. Morales, N. German, S. Suarez, " $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  Antireflective Coatings With Photocatalytic Properties Prepared by Sol-Gel for Solar Glass Covers", Journal of Solar Energy Engineering, 2012, 134, 041011-5.
- [7]. A. Eshaghi, A. A. Aghaei, H. Zabolian, M. Jannesari, A. Firoozifar, "Transparent superhydrophilic  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  tri-layer nanostructured antifogging thin film", Ceramics-Silikaty, 2013, 57 (3), 210-214.
- [8]. Y. Cho, H. Kyung, W. Choi, "Visible light activity of  $\text{TiO}_2$  for the photo-reduction of  $\text{CCl}_4$  and  $\text{Cr(VI)}$  in the presence of nonionic surfactant (Brij)", Applied Catalysis B: Environmental, 2004, 52, 23-32.
- [9]. P. Nostella, A. Roosa, B. Karlsson, "Optical and mechanical properties of sol-gel antireflective for solar energy applications" Thin Solid Films, 1999, 351, 170-175.
- [10]. A. Detrich, N. Nagy, M. Nyari, E. Albert, D. Zambo, Z. Horvolgyi, "Nanostructured antireflective bilayers: Optical design and preparation", Materials Chemistry and Physics 2014, 145, 176-185.
- [11]. L. Yao, J. He, "Recent progress in antireflection and self-cleaning technology-From surface engineering to functional surfaces", Progress in Materials Science, 2014, 61, 94-143.

## **Preparation of Self-Cleaning, Anti-Reflective Titania-Silica Nanostructure Coating by Sol-Gel Method**

Najme Lari<sup>1\*</sup>, Shahrokh Ahanagarani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Materials Engineering Department, Faculty of Engineering, Sirjan University, sirjan, Iran

<sup>2</sup> Advanced Materials and Renewable Energies Department, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran

\* N1lari@yahoo.com

**Abstract:** Today, one of the efforts is to make coatings with anti-reflective and self-cleaning properties. Because although anti-reflective coatings are widely used in solar cells, solar collectors and many other optical devices, these coatings do not maintain their anti-reflective properties for a long time in polluted environments. It is desirable to use titania with its self-cleaning and anti-vapor properties. There is a competition between the two to obtain anti-reflective and self-cleaning properties. Because if titania is used, the refractive index increases and reduces the anti-reflective property. In the present research, the titania-silica multilayer coating prepared by sol-gel method was used to create anti-reflective and self-cleaning properties. UV-Vis transmission spectrometry analysis, FT-IR infrared spectrometry and SEM electron microscope, AFM test and contact angle test were used to evaluate the coating. The results showed the achievement of a uniform coating, with high transmission and, most importantly, stable over time. The results showed that the multilayer coating obtained with a thickness of 46 nm has anti-reflective properties with 98% transmission. FTIR results also indicate the formation of Si-O-Si and Ti-O-Ti bonds. The result of the coating wetting angle test indicates that there is a very small angle of 2.3 degrees. Therefore, the coating should be introduced as ultra-hydrophilic property. This property, which is achieved due to the presence of titania layers, makes the coating easy to clean. In this sample, there was no change in the light transmission rate after the passage of time. The reason for no change is the presence of titania photocatalytic material, whose role is to clean the porosity through the decomposition of organic matter after the activation of sunlight. Therefore, the obtained coating will be stable over time in terms of anti-reflection property.

**Keywords:** Anti-reflective coating, Self-cleaning, Titania, Silica, Sol-gel.