

مروری بر سنتز نوع سل-ژل نانو TiO_2 و کاربردهای آن

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

نانو مواد به صورت محدوده ذرات از قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تعریف شده‌اند، که به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد آنها به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان این نانو ذرات، دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) مکرراً در تولید رنگ‌ها، کاغذ، پلاستیک، مواد روکش میله جوشکاری، وسایل آرایشی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. TiO_2 عموماً به عنوان فوتوکاتالیست نیمه هادی استفاده می‌شود. در میان نانو مواد مختلف، این ماده بسیار مطالعه می‌شود. با تابش UV-A فعال می‌شود و خواص فوتوکاتالیستی آن در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات درباره فوتوکاتالیستی TiO_2 در فعال کردن باکتری بیش از ۲۰ سال است که بدست آورده می‌شود. از اینرو، در این مقاله مروری، ما روش‌های سنتز، بخصوص روش نوع سل-ژل شیبه روش سل-ژل، روش سل-ژل به کمک اولتراسونیک، روش میکرو امولسیون، سنتز کلوئیدی را توضیح می‌دهیم، و همچنین دیگر روش‌ها مانند روش سالوترمال، روش پلاسما، روش جت پلاسما، روش جت پلاسما منبسط شده فرا صوتی، مشعل پلاسما، فرآیند پلاسما، راکتیو، اکسیداسیون الکترولیتی پلاسما، روش هیدرولیز، روش هیدرولیز حرارتی، روش هم رسوبی، روش خود سوزی سیترات-نیترات، و غیره بحث می‌شوند. همچنین کاربردهای TiO_2 از قبیل کاربردهای پزشکی، کاربردهای محیط زیستی، کاربرد سنسوری، کاربردهای فوتوکاتالیستی، و همچنین تأثیرات درستی آن در تماس بلند مدت بحث می‌شوند.

مقدمه

دی اکسید تیتانیوم یا تیتانیا

دارد (شکل ۱). TiO_2 نوع آنتاز ساختار بلوری دارد که مربوط به سیستم تتراگونال (چهار گوشه‌ای) (با ظاهر دو هرمی) می‌باشد و عمدتاً به عنوان فوتوکاتالیست در زیر نور UV استفاده می‌شود. TiO_2 نوع روتایل نیز ساختار بلوری تتراگونال (با ظاهر منشوری) دارد. این نوع از تیتانیا عمدتاً به عنوان پیگمنت سفید در نقاشی استفاده می‌شود. TiO_2 نوع بروکیت ساختار بلوری ارتورومبیک دارد. بنابراین TiO_2 یک ماده چند بعدی است که کاربردهایی در تولیدات مختلف از قبیل پیگمنت نقاشی، محلول ضد آفتاب، الکترودهای الکترو شیمیایی، خازن‌ها، سل‌های خورشیدی، و حتی به عنوان عامل رنگ کننده غذا و در خمیر دندان دارد.

عموماً TiO_2 در شکل آنتاز به دلیل فعالیت فوتوکاتالیستی بالا ترجیح داده می‌شود، زیرا لبه نوار رسانش منفی تر (انرژی پتانسیل بالاتر الکترون‌های تولید شده توسط نور)، مساحت سطح بالا، خواص غیر سمی، پایداری فوتو شیمیایی دارد و نسبتاً ارزان قیمت می‌باشد. TiO_2 آنتاز به دلیل قدرت بالای ردوکس القاء شده توسط نور، ماده فوتوکاتالیست برتر برای خالص سازی و ضد عفونی کردن آب و هوا، و همچنین تکمیل پساب‌های

تیتانیا به علت پا Tip یداری ساختار شیمیایی، خواص زیست تخریب پذیری، فیزیکی، نور XRD و الکترونیکی بسیار معروف می‌باشد و بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. خواص فوتوکاتالیستی آن در کاربردهای مختلف زیست محیطی به منظور حذف آلاینده‌های آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های فوتوکاتالیستی بر پایه تیتانیا برای کاربردهای مختلفی از قبیل تجزیه ناخواسته و ترکیبات آلی سمی، از بین بردن آلودگی‌ها از آب و هوا آلوده از بین بردن باکتری‌های مضر و سلول‌های سرطانی استفاده می‌شوند. خواص منحصر بفرد فرآیند فوتوکاتالیستی سبب می‌شود تا این ماده ترکیبات آلاینده و آلی مضر مولکول‌های ساده از قبیل دی اکسید کربن و آب را از بین ببرد. دی اکسید تیتانیوم سرامیکی است که به علت پایداری در آلاینده زیست محیطی توانایی این را دارد که برای سنسورهای گاز که در ده‌های بالا تا ۴۰۰ درجه عمل می‌کنند، انتخاب شود. این ماده به سه شکل معدنی از قبیل آنتاز، روتایل، و بروکیت وجود



می‌شود.

ترکیب دوباره الکترون و حفره در صورتیکه واکنش فوتوکاتالیستی مورد نظر است، باید تا حد ممکن جلوگیری شود (شکل ۲).

خواص فوتوکاتالیستی نانو TiO_2

در سال‌های اخیر، حضور بسیار وسیع مواد شیمیایی از قبیل فلزات سنگین، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، دترجنت‌های آلیفاتیک و آروماتیک، ترکیبات آرسنیک، حلال‌ها، عوامل چربی، مواد آلی فرار، و کلروفلورها خطرات جدی برای محیط زیست بوجود آورده است. وقتی چنین موادی به منابع آب سرایت کنند، آنها بسیار خطرناک می‌شوند. مثلاً، آب‌های پساب تولید شده از فرآیندهای نساجی و رنگ‌سازی حاوی مقادیر زیادی رنگ‌های آزو می‌باشند.

تخمین زده می‌شود که ۱۵٪ از کل رنگ‌ها در طول فرآیند رنگ‌رزی هدر می‌رود و در آب‌های پساب رها می‌شود. اکسیداسیون این آلاینده‌های آلی در سطح کاتالیزور TiO_2 ، یکی از کاربردهای فوتوکاتالیستی مهم می‌باشد. فوتوکاتالیست ناهمگن، فرآیندی است که مجموع فوتوشیمیایی و کاتالیزور با هم عمل می‌کنند. نتیجه می‌گیریم که هم نور و هم کاتالیزور برای انجام واکنش شیمیایی ضروری هستند. منبع نور UV بر روی نیمه هادی مانند TiO_2 الکترون‌ها و منافذ را تولید می‌کند. حفره‌های نوار والانس، اکسیدکننده‌های قوی هستند، در حالیکه الکترون‌های نوار رسانایی، احیاء کننده‌های خوبی هستند.

چه چیزی در مقیاس نانو اتفاق می‌افتد

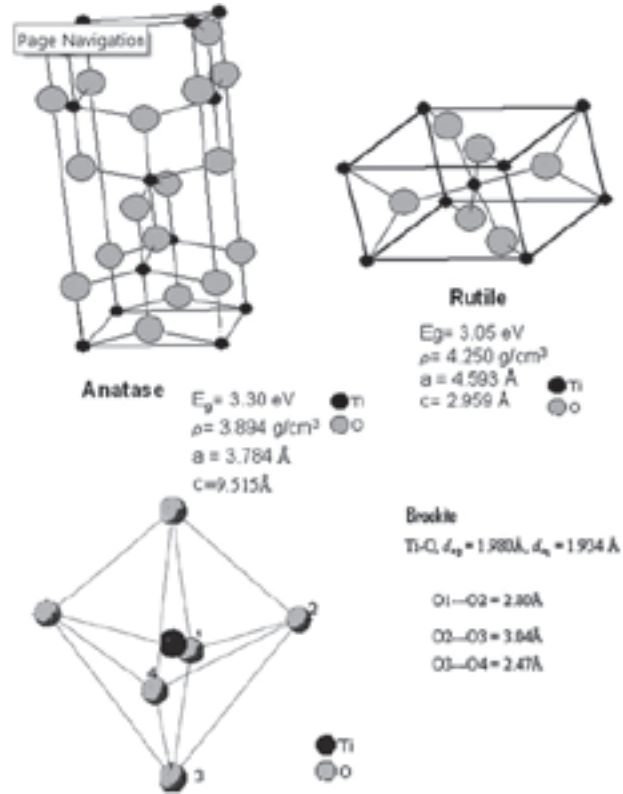
مواد تولید شده در مقیاس نانو می‌توانند به صورت ناگهانی خواص بسیار متفاوت در مقایسه با آنچه که آنها در مقیاس میکرو از خود بروز می‌دهند، به دلیل دو اثر نشان دهند.

تأثیرات سطحی

۱. درصد بیشتری از اتم‌ها در مقایسه با اتم‌های داخلی بر روی سطح می‌باشند.
۲. انرژی آزاد سطحی بیشتری در دسترس است: این مساحت سطح افزایش یافته و اتم‌های سطحی سبب افزایش انرژی سطحی مربوط به ذرات می‌شوند.
۳. افزایش مساحت سطح بستر عموماً سرعت واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد.

تأثیرات حجم

۱. طول موج کوتاهتر (فرکانس بالاتر و انرژی بالاتر).
۲. شیف آبی اتم‌ها برای طیف‌های نوری جذبی.
۳. مغناطیس: وقتی ذرات کوچکتر از ناحیه مغناطیس در مواد مغناطیس می‌باشند.
۴. در مدل الکترون آزاد، فاصله انرژی متوسط با کاهش اتم‌ها افزایش می‌یابد. این عامل خاصیت کاتالیزوری نانو ذرات را افزایش می‌دهد.



شکل ۱. شکل‌های مختلف TiO_2

خطرناک می‌باشد.

رسانایی حرارتی $TiO_2 = 22 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$

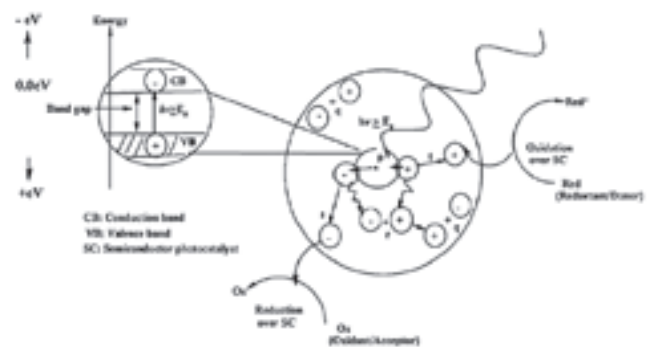
نقطه ذوب $TiO_2 = 1941 \text{ K}$

نقطه جوش $TiO_2 = 3546 \text{ K}$

فوتوکاتالیست

فوتوکاتالیست می‌تواند به عنوان واکنش القاء شده نوری تعریف شود که بوسیله حضور یک کاتالیزور شتاب داده می‌شود. این نوع از واکنش‌ها بوسیله جذب یک فوتون با انرژی کافی (برابر یا بیشتر از فاصله سطوح انرژی کاتالیزور) فعال می‌شوند.

جذب به علت ارتقاء یک الکترون (e^-) از نوار والانس کاتالیزور نیمه هادی به نوار رسانایی، منجر به جدا شدن بار می‌شود، و بنابراین حفره ($+H$) در نوار والانس (نمودار شماتیک فرآیند در شکل ۲ ارائه شده است) ایجاد



شکل ۲. دیاگرام شماتیک فرآیند فوتوکاتالیستی آغاز شده بوسیله عمل فوتون در نیمه هادی



تسهیل می‌بخشند. روش سل-ژل اصلاح شده از قبیل روش سل-ژل به کمک التراسونیک، روش آنروژل، روش مشابه با سل-ژل، سل-ژل و تجزیه احیایی نوری، رسوب کردن، روش شیمیایی تر دو مرحله‌ای، رسوب کردن در دمای بسیار پایین نیز استفاده می‌شود. یکی از مشکلاتی که عموماً با آن روبرو می‌شویم، این است که این روش‌ها می‌توانند محصولات آمورف یا بلورینگی کم تولید کنند که آنیلینگ بعدی برای بلوری کردن یا افزایش بلورینگی ضروری است. فرآیند به کمک پلاسما بلورینگی خوبی نشان می‌دهد. اخیراً، افزایش علاقه به مطالعه فرآیند سنتز تیتانیای نانو بلوری به کمک پلاسما بوسیله اسپکتروسکوپی نشری نوری (OES) به منظور درک بهتر جزئیات شیمیایی درگیر مشاهده شده است. اکسیداسیون تیتانیوم به صورت وسیعی در پلاسماهای سایش لیزی، در سیستم‌های کاتد پرانی ماگنترون، و پلاسماهای تخلیه الکتریکی مایکروویو مطالعه شده است. برتری‌های مشهود فرآیند پلاسما، بعلاوه سنتز پودر، مستقر شدن در ذرات حاصله خلصو بالا و پراکندگی زیاد می‌باشند. فرآیند آنروسول و فرآیند پلاسما با استفاده از پیش‌ماده‌های مایع نیز استفاده می‌شوند. عیب اصلی روش پلاسما پیش ماده محلول این است که انرژی بالایی برای بخار کردن حلال استفاده می‌کند.

شرح مختصر روش‌های سنتز نانو TiO_2 آماده سازی سل-ژل

ترکیبات سل-ژل دی اکسید تیتانیوم نانو بلوری بوسیله هیدرولیز و واکنش تراکمی تترا تیتانیوم-ایزو پروکسید ۵٪ در محلول اسیدی حاوی اسید استیک ۵٪ و اسید هیدروکلریک ۱/۴٪ تهیه می‌شوند. محلول‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تحت همزدن شدید برای مدت ۲ و ۱۶ ساعت حرارت داده می‌شوند. ترکیبات ۲ و ۱۶ ساعت به ترتیب با T2 و T16 نام‌گذاری می‌شوند.

نتایج پراش اشعه X نشان می‌دهد که اندازه ذرات سل‌ها با زمان‌های مختلف تهیه متفاوت می‌باشند. در T2، پیک اصلی اندازه ذرات از ۴۰ تا ۲۵ نانومتر کاهش یافته است. توزیع اندازه ذرات T16 در محدوده ۱۵ تا ۷۵ نانومتر بودند، در حالی که T2 بزرگتر بود و در محدوده ۱۰ تا ۵۰ نانومتر بود. XRD همچنین نشان داد که تشکیل فاز آاناتاز با بلورینگی بالا و پیک آاناتاز تیز مشاهده شده است. در نهایت، سل T2 ترکیب شفاف‌تر با توزیع اندازه ذرات کوچکتر نشان داد.

چگونه افزودنی‌ها می‌توانند برای تهیه سل-ژل مفید باشند؟

گزارش شده است که اضافه کردن Zn^{2+} می‌تواند فعالیت نوری TiO_2 را به طور قابل توجهی افزایش دهد، با این حال، این دی اکسید تیتانیوم‌ها به طور کامل به ساختار روتایل در دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد تبدیل می‌شوند. آنها همچنین دریافتند که بوسیله سولفاتی شدن TiO_2 آلیبده با Zn، انتقال فاز آاناتاز به فاز روتایل می‌تواند حفظ شود و TiO_2 آلیبده با Zn در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد، عمدتاً فاز بلوری آاناتاز TiO_2 را داشته است. محلول اسید فسفریک به سوسپانسیون TiO_2 ، بدست آمده از سنتز سل-ژل، برای تهیه TiO_2 اصلاح شده با فسفات ($P-TiO_2$) اضافه شد.

مواد نیمه هادی، موادی هستند که نوار والانس و نوار رسانایی بوسیله فاصله سطوح انرژی یا فاصله سطوح نوار از هم جدا شده‌اند. وقتی یک مولکول نیمه‌هادی فوتون‌ها با انرژی برابر یا بزرگتر از فاصله سطوح نوار را جذب می‌کند، الکترون‌ها در نوار والانس می‌توانند برانگیخته شوند و به نوار رسانایی بروند، و بنابراین حامل‌های بار تولید می‌شوند. به منظور داشتن واکنش فوتوکاتالیستی، باید از دوباره مخلوط شدن الکترون-حفره، و سپس جداسازی بار اولیه، تا حد ممکن جلوگیری کرد. در میان تمام نیمه‌هادی‌ها، کاتالیزور نیمه‌هادی که بیشتر در فرآیندهای القایی توسط نور مورد استفاده قرار می‌گیرد، دی اکسید تیتانیوم می‌باشد (TiO_2). اگرچه TiO_2 این عیب را دارد که نور مرئی فعال نمی‌شود، اما بوسیله نور UV فعالی می‌شود، و مزیت آن نسبت به بقیه در این است که از نظر شیمیایی و بیولوژیک بی اثر می‌باشد، از نظر فوتوکاتالیستی پایدار می‌باشد، نسبتاً آسان تولید و استفاده می‌شود، قادر است تا به طور مناسب واکنش‌ها را کاتالیز کند، ارزان است و برای محیط زیست و انسان بی خطر است. عملکرد TiO_2 برای کاربردهای تکنیکی مشخص به طور چشمگیری از اندازه بلوری، مساحت سطح، ساختار فاز، و نوع ماده اضافه شده و غلظت تاثیر می‌پذیرد. اخیراً، نشان داده شده است که مخلوط کردن TiO_2 با نقره، غیر فعال سازی باکتری و ویروس‌ها را بسیار زیاد بهبود می‌بخشد. جذب نور مرئی توسط پلاسماهای سطح نقره سبب می‌شود تا انتقال به TiO_2 القاء شود و سبب جدایی بار می‌شود و بنابراین توسط نور مرئی فعالی می‌شود. فاصله سطوح نوارها TiO_2 و ZnO توسط اضافه کردن نانو فلزات و فلزات گذار اصلاح می‌شود. هر ماده اضافه شده اثر خاصی بر روی خواص نوری و فعالیت فوتوکاتالیستی این اکسیدهای نیمه‌هادی دارد. گزارش شده است، TiO_2 نور مرئی را از طریق محل‌های خالی اکسیژن ایجاد شده به صورت مصنوعی در ساختار بلوریش جذب می‌کند. مکان‌های خالی اکسیژن در TiO_2 بوسیله عملیات پلاسما از طریق تخلیه بار فرکانس رادیویی تولید می‌شوند. اگرچه مکان‌های خالی اکسیژن می‌تواند TiO_2 را در زیر نور مرئی فعال کند، اما آنها همچنین می‌توانند فرآیند دوباره ترکیب شدن الکترون-حفره را افزایش دهند.

روش‌های سنتز

روش‌های زیادی برای تولید نانو پودرهای TiO_2 از قبیل تجزیه محلول شیمیایی (CSD)، تجزیه بخار شیمیایی، روش شیمیایی تر دو مرحله‌ای، سل-ژل، تابش التراسونیک، اتانول ترمال و هیدرو ترمال گزارش شده است.

بیشترین TiO_2 استفاده شده در فوتوکاتالیزور، ماده تجاری Degussa P25 می‌باشد که بوسیله هیدرولیز $TiCl_4$ در دماهای بیشتر از ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد در حضور هیدروژن و اکسیژن تولی می‌شود. مقالات اخیر نشان دادند که سل-ژل روش است که عمدتاً برای تولید فوتوکاتالیزور TiO_2 تنها یا TiO_2 آلیبده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت این روش‌ها (روش‌های شیمیایی تر، که شامل سل-ژل می‌شود) این است که آنها سنتز پودر TiO_2 بلوری در ابعاد نانو با خلوص بالا در دمای نسبتاً کم را



بر روی خواص فوتوکاتالیست‌های مزو متخلخل TiO_2 ، به جز تاثیرات شیمیایی بر روی مورفولوژی آنها، داشته باشند. بنابراین، با روش سل-ژل به مک التراسونیک، کنترل بسیاری از پارامترهای مهم از قبیل اندازه ذرات، مساحت سطح، حجم منافذ، اندازه منافذ، نسبت فاز آنتاز و روتایل، و بلورینگی ممکن می‌شود.

تهیه نانو ذرات TiO_2

فوتوکاتالیست‌های TiO_2 بوسیله روش‌های سل-ژل و سل-ژل به کمک التراسونیک سنتز شده‌اند، که تیتانیوم تترا ایزوپرو پوکسید (TTip) به عنوان پیش ماده استفاده شده بود. نسبت آب و TTip برای روش‌های سل-ژل ۱۷۵ و برای سل-ژل به کمک التراسونیک ۳۵ بود. در این مطالعه، دو منبع مختلف اولتراسونیک استفاده شدند و مقایسه شدند. یکی Bran-son می‌باشد که عموماً برای اهداف تمییز کردن در آزمایشگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و دیگری Sonics Vibracell می‌باشد. Vibracell بیشتر برای تجزیه به کمک اولتراسونیک آلاینده‌های آلی و همچنین سنتز نانو ذرات استفاده می‌شود. قدرت التراسونیک هر دو اولتراسونیک‌تور بوسیله روش کالریمتری تعیین شده است.

قدرت اولتراسونیک نوع حمامی، ۱۵۷ وات می‌باشد و قدرت اولتراسونیک نوع تیپ ۳۰ وات در دامنه ۴۰٪ می‌باشد. فرکانس اولتراسونیک کننده‌های نوع حمامی و تیپ به ترتیب ۲۰ و ۴۰ کیلو هرتز بود. کاتالیزور TiO_2 تهیه شده بوسیله دستگاه Branson به صورت bath-US مشخص شد و کاتالیزور TiO_2 تهیه شده بوسیله دستگاه Vibracell به صورت Tip-US مشخص شد.

در Vibracell، صوت تیپ برای تولید تابش التراسونیک در داخل راکتور و مخلوط سل-ژل استفاده شد، در حالیکه در bath-US، تابش اولتراسونیک از بیرون از راکتور بکار گرفته شد. فوتوکاتالیست‌های TiO_2 بوسیله روش‌های bath-US و Tip-US تولید شدند، که هیدرولیز تیتانیوم ایزوپرو پوکسید تحت تابش التراسونیک به مدت ۱ ساعت در حالت ممتد انجام شد. برای روش Tip-US، دمای راکتور دو جداره در حدود ۲۰ درجه سانتیگراد با استفاده از دستگاه خنک کننده ثابت نگه داشته شده بود. پس از تهیه TiO_2 بوسیله این ۳ روش مختلف، کاتالیزورها برای مدت ۲۰ ساعت به منظور هیدرولیز آهسته در دمای اتاق نگه داشته شدند، و در دمای محیط برای مدت ۱۲ ساعت خشک شدند و در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد در کوره تحت جریان مداوم هوا برای مدت ۳ ساعت تکلیس شدند.

روش میکرو امولسیون

روش سل-ژل نیاز به حلال‌های آلی گران قیمت دارد که یک نقص می‌باشد.

آماده سازی

سطح فعال پلیمری پلی (دی اتیل آمینو اتیل متاکریلات-بلوک- H_2O)، H_2O ، $2H_2O$ ، پر فلئورو اکتیل متاکریلات) $PDMAEMA_{2k}$ -b- $PFOMA_{10k}$ بوسیله افزایش مداوم DMEMA و FOMA از طریق پلیمرزاسیون انتقالی

گزارش شد که حضور فسفات انتقال فاز آنتاز به روتایل را به دماهای بالاتر تغییر می‌دهد. مساحت سطح مخصوص و انرژی فاصله سطح انرژی نیمه هادی $P-TiO_2$ با محتوی فسفات افزایش می‌یابد اما با دمای تکلیس کاهش می‌یابد. برای کاربردهایی مانند فوتو اکسیداسیون فنول، آنها نتیجه گرفتند که $P-TiO_2$ با محتوی فسفات کمتر از ۳ wt% فعال تر از TiO_2 خالص بوده است.

آماده سازی

نانو ذرات TiO_2 ، با روی و/یا مواد افزودنی فسفر، بوسیله روش سل ژل تهیه شده‌اند. ۵۰ میلی لیتر از محلول الکلی حاوی ۰/۰۶ مول تترا اتیل ارتو تیتانیت [خلوص ۹۵٪؛ $(TEOT;Ti(OC_2H_5)_4)$] با ۵۰۰ میلی لیتر از محلول آبی نیترات روی [خلوص ۹۹٪؛ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] و اسید فسفریک (خلوص ۹۸٪؛ H_3PO_4) مخلوط شدند.

تعداد کل مول‌های نیترات روی و اسید فسفریک در محلول آبی، ۵٪ تعداد مول‌های TEOT استفاده شده بود و نسبت مولی اسید فسفریک و نیترات روی متفاوت بود (یعنی $3-0 = [H_3PO_4]/[Zn(NO_3)_2]$). مخلوط سپس در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۴ ساعت رفلاکس شد، و سپس سوسپانسیون حاصل تا دمای اتاق سرد شد.

سپس پس از فیلتراسیون گریز از مرکز، ذرات جامد جمع شده به ترتیب در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و جامدات خشک شده سپس در هوا در دماهای مختلف در محدوده ۴۰۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲ ساعت تکلیس شدند.

نانو ذرات $P/Zn-TiO_2$ با نسبت مولی $0.5 = [P+Zn]/[TiO_2]$ با استفاده از روش سل-ژل سنتز شدند. تاثیرات نسبت مولی $[H_3PO_4]/[Zn(NO_3)_2]$ و دماهای تکلیس بر روی انتقال فاز و قابلیت فوتوکاتالیستی $P/Zn-TiO_2$ بررسی شدند. نانو ذرات $P/Zn-TiO_2$ تهیه شده با استفاده از $[H_3PO_4]/[Zn(NO_3)_2] = 2$ نه تنها می‌تواند آنتاز TiO_2 در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد را کاملاً پایدار کند، بلکه قابلیت‌های فوتوکاتالیستی بهتری نیز نشان می‌دهد.

این ذرات $P/Zn-TiO_2$ تیه شده در دمای ۶۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند بیش از ۹۶٪ مولی MB را بعد از ۳۰ دقیقه تابش UV و بیش از ۸۰٪ MB بعد از ۶۰ دقیقه تابش نور سفید را تجزیه کنند، که بسیار بهتر از ذرات P25 می‌باشد.

روش سل-ژل به کمک التراسونیک

در این روش، امواج التراسونیک شامل سیکل‌های متراکم و سبباً ضعیف حباب‌های خلاء در محلول مایع تولید می‌کنند. پس از چندین سیکل متراکم، حباب‌های خلاء به صورت شدید و به صورت آدیاباتیک در دماهای بسیار بالا در حدود ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد و فشارهای حدود ۵۰۰ اتمسفر از بین می‌روند. بنابراین، این چنین دماهای و فشارهای بسیار بالا در یک راکتور کوچک می‌توانند تغییرات زیادی در مورفولوژی نانو ذرات TiO_2 در طول تهیه ایجاد کنند. در حالت سنتز TiO_2 به کمک التراسونیک، متغیرهای عملیاتی از قبیل دانسیته قدرت التراسونیک، اندازه راکتور، تاثیر همزدن، و نوع بکارگیری امواج التراسونیک و غیره می‌توانند تاثیرات زیادی



آماده سازی

تیتانیوم (IV) بوتوکسید (خلوص ۹۷٪) به عنوان ماده شروع کننده استفاده شد. تقریباً ۲۵ گرم از تیتانیوم n- بوتوکسید در ۱۰۰ میلی لیتر از تولوئن در یک لوله آزمایش دیسپرس شد، که سپس در اتوکلاو ۳۰۰ میلی لیتر قرار داده شد. از همان ماده در فاصله بین لوله آزمایش و دیواره اتوکلاو پر شد. اتوکلاو به طور کامل از نیتروژن پس از آنکه تا دمای مورد نظر در ۵۷۳ درجه کلوین با سرعت ۲/۵ درجه کلوین بر دقیقه حرارت داده شد، پاک سازی شد. دمای اتوکلاو در ۵۷۳ درجه کلوین برای مدت ۲ ساعت ثابت نگه داشته شد و سپس تا دمای اتاق سرد شد. TiO_2 بدست آمده چندین بار بوسیله متانول شسته شد و سرانجام در هوای آزاد خشک شد.

عملیات تبرید سریع

قبل از سرد کردن سریع، TiO_2 سنتز شده در فشار اتمسفر در ۵۷۳ درجه کلوین با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه کلوین بر دقیقه برای مدت ۱ ساعت حرارت داده شد و سپس برداشته شد و سریعاً در محیط‌های مختلف سرد کردن، تبرید سریع انجام شد. به منظور تبرید سریع در محیط فاز مایع، نیتروژن مایع در دمای ۷۷ درجه کلوین (نمونه A)، آب در دمای اتاق و ۳۷۳ درجه کلوین (نمونه‌های B و C)، و پروکسید هیدروژن (۳۰ wt٪) در دمای اتاق، و ۳۷۳ درجه کلوین (نمونه‌های D و E) انتخاب شدند. برای سرد کردن سریع در محیط فاز گاز، هوا آزاد در دمای اتاق و ۷۷ درجه کلوین (نمونه‌های F و G) استفاده شدند. پس از آنکه نمونه‌ها در محیط مورد نظر برای مدت ۳۰ دقیقه سریع سرد شدند، تمام نمونه‌ها در هوای آزاد در دمای اتاق خشک شدند و در دسیکاتورها نگهداری شدند.

نتایج XRD، اندازه ذرات ۱۰ تا ۱۳ نانومتر را نشان می‌دهد. میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح تصویر بالا (HRTEM) نشان می‌دهد که ذرات بلوری با شکل کروی با اندازه حدود ۸ تا ۱۵ نانومتر شکل می‌گیرند. فرآیند تبرید سریع که از محیط با دمای پایین استفاده می‌کند می‌تواند اثر شک حرارتی را ایجاد کند که در نتیجه سبب ترک‌های سطحی تر Ti^{3+} بر روی نمونه TiO_2 می‌شود و از اینرو فعالیت فوتوکاتالیستی افزایش می‌یابد.

روش سالوترمال جهت سنتز نانو Bi/TiO_2

آماده سازی

واکنشگرهای مورد استفاده برای تهیه مخلوط سل، تیتانیوم تترا-ایزو پروپوکسید یا TTip (۹۹/۹۵٪) و بیسموت (III) کلرید (۹۹/۹۹٪) بودند. پیش ماده‌های فلزی با اتیل الکل (۹۹٪) مخلوط شدند و در اتوکلاو در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۱۰ ساعت با نرخ ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه حرارت دهی شدند. نسبت‌های مولی پیش ماده‌های $Bi:Ti$ در مخلوط‌های ژل در نسبت مولی ۱:۱۰ حفظ شدند. در طول عملیات حرارتی، Ti و Bi بوسیله گروه OH در حلال هیدرولیز شدند و سپس تبلور Bi/TiO_2 نانو اتفاق افتاد. پودر حاصل با آب مقطر در pH برابر با ۷ شسته شد و سپس خشک شد. سرانجام، جهت حذف ناخالصی، که یون‌های کربن و کلرید باقیمانده بر روی سطح پودرها می‌باشند، این نمونه‌ها در ۵۰۰ درجه

گروهی سنتز شد. سل به درون حمام آب وارد شد و دمای سل بوسیله حمام آب کنترل شد. فشار با استفاده از ژنراتور فشار بالا کنترل شد. یک همزن مغناطیسی خارجی با میله مغناطیسی روکش داده شده با PTFE استفاده شد. میکرو امولسیون W/C بوسیله اضافه کردن سطح فعال PD-MAEMA-b-PFOMA به سل و سپس اضافه کردن آب برای دستیابی به نسبت آب به سطح مطلوب (W0) تهیه شدند و سپس سل با استفاده از دی اکسید کربن در دمای آزمایش بارگذاری شد، و فشار تا بیش از ۵۰۰ psi همراه با همزدن مداوم به مدت ۳۰ دقیقه افزایش یافت. سرانجام، مقدار مناسب TTip اضافه شد و سپس فشار سلول در ۴۰۰۰ psi برای مدت ۳۰ دقیقه برای تهیه هیدروکسید تیتانیوم کنترل شد. نانو ذرات بدست آمده بوسیله اتانول شسته شدند و در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد برای مدت ۱ روز خشک شدند و سپس در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳ ساعت تکلیس شدند.

اندازه بلور می‌تواند با استفاده از نسبت مول آب به سطح فعال (W0) کنترل شود، که بر سرعت هیدرولیز، اندازه قطره، و برهمکنش‌های بین میسلی تاثیر دارد. الگوی XRD ذرات خشک شده در ۱۰۵ درجه سانتیگراد بدون تکلیس، آمورف بودن را نشان داد و ذرات تکلیس شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به عنوان آنتاز نانو بلوری صرف نظر از نسبت W0 نشان دادند. اندازه بلور ذرات از ۸ تا ۱۸ نانومتر افزایش می‌یابد و فعالیت فوتوکاتالیستی با افزایش نسبت W0 کاهش می‌یابد. ذرات TiO_2 تهیه شده بوسیله روش میکرو امولسیون، فعالیت بالاتر از TiO_2 حجیم نشان داد.

سنتز کلوئیدی TiO_2

تیتانیوم ایزو پروپوکسید (۹۷٪) به صورت قطره قطره به محلول اسید نیتریک ۰/۱ M (به ترتیب ۱۲۵ تا ۷۵۰ میلی لیتر) تحت همزدن شدید اضافه شد. محلول سفید رنگ تشکیل شد و این محلول در ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد، و برای مدت ۳ ساعت به منظور دست یابی به لخته زدایی (یعنی تجزیه تجمعات و دو باره دیسپرس کردن به ذرات اولیه) هم زده شد. سپس محلول در قیف تهیه شده با شیشه متخلخل فیلتر شد تا تجمعات غیر لخته‌ای جدا شوند. عملیات هیدروترمال محلول در اتوکلاو برای مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد انجام شد. رسوب در طول اتوکلاو کردن اتفاق می‌افتد، و ذرات بوسیله دو مرحله سونیکیت متوالی دوباره دیسپرس می‌شوند. سپس، دیسپرسیون کلوئیدی به دستگاه تبخیر کننده چرخان در ۳۵ درجه سانتیگراد، ۳ MPa اضافه شد و غلظت نهایی TiO_2 ، wt ۱۱٪ بدست آورد شد. TiO_2 آنتاز نانو بلوری با توزیع اندازه ذرات کوچک ۸ تا ۱۸ نانومتر سنتز شد.

روش سالوترمال

روش سالوترمال راهکاری جهت سنتز مستقیم (یک مرحله ای) نانو TiO_2 آنتاز خالص می‌باشد. فرآیند تبرید سریع به عنوان عملیات پس از سنتز جهت افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی نانو TiO_2 سنتز شده بوسیله روش سالوترمال استفاده می‌شود. تبرید سریع به صورت مکانیزم سرد کردن سریع ماده تعریف می‌شود.



زیاد TiO_2 می‌تواند تولید شود اما هزینه آن زیاد می‌باشد. با این حال، فرآیند پلاسما، خصوصیات منحصر بفردی جهت تهیه نانو پودرها دارد. دمای بالا و سرد کردن سریع موجود در فرآیند پلاسما، زمان فرآیند کوتاه را بدست می‌دهد. فرآیند پلاسما، حرارتی جهت سنتز پودر نانو TiO_2 استفاده می‌شود.

آماده سازی

نانو دی اکسید تیتانیوم از تترا کلرید تیتانیوم (۹۹/۹٪، $TiCl_4$) در یک راکتور پلاسما حرارتی سنتز شد. مشعل پلاسما شامل کاتد تنگستن و آنود مس می‌باشد، و پلاسما بوسیله گاز آرگون تولید شد. $TiCl_4$ به ناحیه پلاسما از طریق بلوک تزریق گاز حامل آرگون تزریق شد. کلرید آلومینیوم (۹۹٪، $AlCl_3$) در محلول متانول به راکتور پلاسما از طریق بلوک تزریق با استفاده از پمپ مترینگ اضافه شد. پودرهای سنتز شده بر روی دیواره راکتور با استفاده از قاشک‌های مدور جمع شدند. گازهای خروجی از تصفیه کننده گاز جهت حذف ترکیبات کلر عبور کردند.

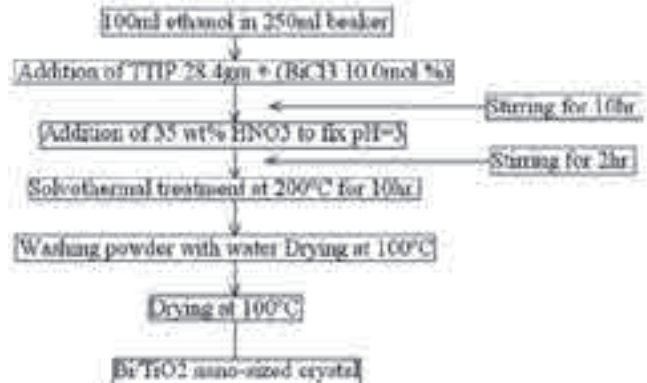
نتایج XRD نشان می‌دهد که تغییرات قابل توجهی نمی‌تواند در فاز بوسیله اضافه کردن Al بوجود آید. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان می‌دهد که با افزایش اضافه کردن Al، اندازه ذرات کاهش یافته است. میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نشان می‌دهد که در TiO_2 آلیاژ با Al، محدوده ابعاد از ۱۰ تا ۵۰ نانومتر می‌باشد. خاصیت نوری نشان می‌دهد که لبه نوار پودرها از ناحیه UV به ناحیه مرئی شیفیت پیدا کرده است.

روش پلاسما حرارتی با استفاده از پیش ماده مایع

آماده سازی

مشعل پلاسما القا شده با آب سرد برای سنتز پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد، پیش ماده مایع بوسیله پمپ گرم وار به داخل مرکز پلاسما Ar/O_2 بوسیله پروب بمباران کننده اتمی ارسال شد. نرخ تغذیه پیش ماده در حدود ۴ میلی لیتر بر دقیقه تنظیم شد. پیش ماده مایع بوسیله اضافه کردن مقادیر مشخص دی اتانول آمین ($(HN(OC_2H_5)_2)$ به $0.1/25$ مول از بوتکسید تیتانیوم ($(Ti(OC_4H_9)_4)$) تحت سرد کردن آب و همزن مغناطیسی ساخته شد. پلاسما حرارتی Ar/O_2 بوسیله مخلوط کردن O_2 در پوشش آرگون تولید می‌شود. نانو ذرات TiO_2 تشکیل شده بوسیله اکسیداسیون ناگهانی قطرات مایع اتمی شده بوسیله پلاسما حرارتی Ar/O_2 عموماً بر روی فیلتر و دیواره‌های داخلی راکتور رسوب می‌کنند.

پودر تولید شده عموماً حاوی TiO_2 می‌باشد و بدون ناخالصیهای فوق اکسید تیتانیوم از قبیل Ti_2O_3 ، Ti_3O_5 ، Ti_4O_7 و غیره می‌باشد و مخلوطی از چند شکلی آناتاز و روتایل می‌باشد. مقدار آناتاز در محدوده باریک حدود $71-78\%$ کاهش می‌یابد، و اندازه بلوری آناتاز بین حدود 33 و 40 نانومتر متغیر می‌باشد، در حالیکه روتایل بین حدود 37 و 43 نانومتر می‌باشد. شناخته شده است که فاز آناتاز نیمه پایدار به روتایل پایدار از ترمودینامیکی در محدوده دما حدود 400 تا 1000 درجه سانتیگراد با توجه به فاکتورهای مختلف از قبیل اندازه بلور، نوع ناخالصی و غلظت، و اتمسفر منتقل می‌شود.



شکل ۳. تهیه ذرات TiO_2 و نانومتری Bi/TiO_2 ۱۰ درصد مولی بوسیله روش سالوترمال

سانتیگراد برای مدت ۳ ساعت تکمیل حرارتی شدند. برخلاف روش سل-ژل، هسته‌های متبلور شده TiO_2 در عملیات حرارتی در دما و فشار بالا ایجاد شدند، و سپس تا ذرات اولیه از طریق هم لختگی رشد کردند. در این لحظه، مقداری از حلال‌های اضافی، رشد بیشتر بلور را متوقف کردند، در نتیجه، اندازه ذرات کوچکتر از روش سل-ژل شد. سرانجام، ذرات آناتاز TiO_2 بدون مرحله تکلیس بدست آورده شدند.

نتایج FESEM نشان می‌دهد که بلورهای TiO_2 و Bi/TiO_2 شامل ذرات نسبتاً یکنواخت و کروی با اندازه حدود ۲۵ نانومتر می‌باشند. XRD و اسپکتروسکوپی رامان تایید می‌کند که یون‌های Bi به خوبی با سایت‌های Ti عوض شده‌اند. مساحت سطح (310 متر مربع بر گرم) در مقایسه با TiO_2 (140 متر مربع بر گرم) بزرگ بود. Bi/TiO_2 (۱۰/۰ درصد مولی) مقدار آب کمتر از TiO_2 جذب کرد (شکل ۳).

تهیه دیسپرسیون آبی TiO_2

پودر Degussa P-25 TiO_2 بدون هیچگونه عملیاتی استفاده شد. لازم است ذکر گردد که پودر Degussa P-25 TiO_2 تقریباً کروی و نانو ذرات با خلوص بیشتر از ۹۹/۵٪ می‌باشد و حاوی حدود ۸۰٪ آناتاز و ۲۰٪ روتایل می‌باشد و اندازه متوسط ذرات TiO_2 ، ۳۰ نانومتر بود. تمام مواد شیمیایی دیگر از درجه آزمایشگاهی بودند. دیسپرسیون آبی TiO_2 بوسیله مخلوط کردن ۱/۵ گرم از پودر TiO_2 و مقادیر مناسب از آب دی یونیزه در مخلوط کننده اولتراسونیک تهیه شد. پس از ۵ ساعت مخلوط کردن اولتراسونیک، $0.1/25$ گرم پلی گلایکول به دیسپرسیون آبی اضافه شد و تحت همزن مغناطیسی مداوم برای مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شد. دیسپرسیون آبی TiO_2 تهیه شده شامل ۳٪ وزنی Degussa P-25 TiO_2 و ۲۵٪ وزنی پلی گلایکول می‌باشد. اندازه متوسط ذرات در دیسپرسیون آبی TiO_2 ، $0.2/12$ میلی متر اندازه گیری شد.

فرآیند پلاسما حرارتی

اگرچه روش سل-ژل به عنوان روش مناسب جهت سنتز ذرات بسیار خالص مورد توجه می‌باشد، اما این روش نیاز به مقادیر زیادی محلول دارد، زمان فرآیند و عملیات حرارت دهی به منظور متبلور کردن طولانی است، زیرا TiO_2 آمورف فعالیت فوتوکاتالیستی کمی دارد. تجمع ذرات و رشد در طول عملیات حرارت دهی بعدی اجتناب ناپذیر است. در روش کاتد پرانی، مقدار



TiCl₄ یا دیگر پیش‌ماده‌های حاوی Si انجام شده است. پودر یا فیلم تولید شده بوسیله چنین فرآیندی معمولاً به صورت ذرات ریز نا منظم در مقیاس نانو تجمع می‌کند، که یا آمورف می‌باشند یا بسیار کم بلوری می‌شوند.

آماده سازی

اکسیداسیون پودرهای میکرو TiC در راکتور آنورسل مجهز به مشعل پلاسما القایی انجام شده است. پودرهای اولیه TiC، از نوع تجاری با قطر متوسط ۲۸ میلی متر بودند. در عملیات اکسیداسیون، پودرهای TiC از نوک مشعل پلاسما به مرکز ناحیه پلاسما بوسیله تغذیه کننده پودر با استفاده از حامل آرگون تزریق شدند. اکسیژن بسیار خالص (۹۹/۹۹٪) با آرگون مخلوط شد و به دو روش تزریق شد: (i) به عنوان گازهای صفحه پلاسما تزریق شد؛ و (ii) در بخش عقبی لوله پلاسما تزریق شد. محصولات اکسید شده از محفظه واکنش جمع آوری شدند.

نتایج SEM نشان می‌دهد که ذرات بسیار ریز در مقیاس نانو (۳۰ تا ۵۰ نانومتر) سنتز شده‌اند. XRD نشان می‌دهد که ذرات تولیدی شامل آناتاز و روتایل می‌باشند که آناتاز بیشتر می‌باشد. مقدار ذرات نانو با افزایش ورودی اکسیژن افزایش می‌یابد. این فرآیند می‌تواند کره‌های میکرونی مناسبی از TiO₂ با درجه بالایی از بلورینگی بوسیله یک فرآیند یک مرحله‌ای تولید کند. ذرات کامپوزیتی TiO₂-TiC با ساختار هسته-پوسته منحصر بفرد می‌تواند بوسیله این فرآیند جدید از طریق کنترل اکسیداسیون TiC با استفاده از وردی اکسیژن کمتر در گازهای صفحه‌ای پلاسما تولید شود. فرآیند پلاسما راکتیو

روش جدید شامل اکسیداسیون در فضا TiH₂ در جت پلاسما حرارتی جهت سنتز قسمت عمده تیتانیا نانو بلوری در حال گسترش می‌باشد. فرآیند پلاسما راکتیو (RPP) روش جدیدی است که مزایای دمایی بالا و آنتاپی بالایی جت پلاسما حرارتی جهت تاثیر بر واکنش‌های شیمیایی در فضا در حضور گاز راکتیو برای سنتز سرامیک‌های پودری نانو بسیار پیشرفته، روکش‌های جدید و تبدیل پسماندهای صنعت ماسه معدنی به مواد با ارزش افزوده را بدست می‌دهد. مزیت اصلی تکنیک RPP شامل تطبیق پذیری، زمان فرآیند کوتاه، عملکرد بالا؛ قابلیت تطبیق پذیری با روکش‌ها و فیلم‌های نازک فرآیند می‌باشد. همچنین، فرآیند می‌تواند جهت سنتز هرگونه محصول مورد نظر بکار گرفته شود. تکنیک به صورت ایده‌آل جهت تولید در مقیاس زیاد مناسب می‌باشد.

سنتز پلاسما راکتیو پودر TiO₂ نانو

اجزای اصلی راکتور پلاسما شامل مشعل پلاسما آرک DC، ۴۰ kW، بخش با آب خنک شده راکتور، مکان تجمع محصول، منبع تغذیه DC، سیستم خنک کننده آب، و گاز خروجی می‌باشد. مشعل پلاسما آرک DC بر روی راکتور قرار داده می‌شود، که مخزن سیلندری فولاد ضد زنگ دو لایه با قطر ۳۰۰ میلی متر و طول ۶۰۰ میلی متر می‌باشد. الکترودهای مشعل و راکتور بوسیله آب خنک می‌شوند. پودر به درون جت پلاسما از طریق دریچه جداگانه تعبیه شده در آند مشعل پلاسما تزریق می‌شود.

تشکیل آناتاز به عنوان فاز اصلی در این پژوهش، با وجود دمایی فرآیند بالا، به تاثیر سریع سرد کردن پلاسما حرارتی مربوط می‌باشد. گاز CO آزاد شده بوسیله اکسیداسیون پیش ماده آلی، تاثیرات محسوس بر روی ماده تشکیل دهنده فاز دارد. اکثریت ذرات TiO₂ حاصله در محدوده نانو می‌باشند (کمتر از حدود ۵۰ نانومتر).

جت پلاسما منبسط شده فراصوتی

استفاده از جت پلاسما منبسط شده فراصوتی جهت کنترل سنتز تیتانیا نانو ساختار، بوسیله واکنش تیتانیوم کلرید با اکسیژن گزارش شده است. تکنیک‌های OES برای مطالعه غلظت اولیه شیمیایی پلاسما در منطقه گرم تزریق پس از آند، که بیشتر واکنش‌ها اتفاق می‌افتد، استفاده می‌شود. تکنیک‌های اسپکتروسکوپی به منظور تشخیص عیوب پلاسما، و همچنین شناسایی سیستماتیک نمونه‌های شیمیایی شرکت کننده در واکنش‌ها استفاده می‌شوند. اگرچه این روش شیمیایی خاص جهت تولید تجاری ماده تیتانیا در مقادیر زیاد ترجیح داده می‌شود، اما تمام فرآیند هنوز هم به درستی شناخته نشده است و باید بهینه سازی شود.

آماده سازی

شعله پلاسما قطعه بندی شده مورد استفاده در اینجا شامل کاند تنگستن توریم، حلقه‌ای مسی روکش دار و فاصله دار و آند مسی می‌باشد، که تمام آنها با آب زیاد یرد می‌شوند. آند به بخش تزریق (۱۵ میلی متر قطر و ۲۵ میلی متر طول) و سپس نازل هم مرکز بلند (قطر دهانه وردی ۱۰ میلی متر و قطر دهانه خروجی ۵ میلی متر) متصل می‌باشد. کوره لوله‌ای مانند جهت تبخیر کلریدهای فلزی و تزریق کردن به داخل بخش تزریق استفاده می‌شود.

به دلیل اختلاف فشار بالای حفظ شده بین بخش تزریق و انتهای نازل، پرتو پلاسما از طریق نازل شتاب پیدا می‌کند و به صورت فراصوتی در داخل محل جمع آوری کم فشار نمونه منبسط می‌شود. تیتانیا با استفاده از واکنش بخار کلرید تیتانیوم و گاز اکسیژن در پلاسما تشکیل می‌شود.



آنها سنتز ذرات دی اکسید تیتانیوم نانو بلور تجمع نیافته در فرآیند به کمک جت پلاسما منبسط شده فراصوتی با کنترل بر روی اندازه متوسط ذرات و مخلوط کردن فازها را نشان دادند. اندازه متوسط ذرات با افزایش غلظت پیش ماده افزایش می‌یابد، که می‌تواند جهت بهبود تکنیک برای تولید تجاری مهم باشد.

مشعل پلاسما القایی

پلاسما به صورت منبع تغذیه پر انرژی و گرم کننده سریع اخیراً جهت تولید پودرهای TiO₂ و فیلم‌های نازک بکار گرفته می‌شود. لایه‌های نازک TiO₂ بوسیله اسپری پلاسما پودرهای TiO₂ نازک تحت پلاسما حرارتی Ar-O₂ و بوسیله القای پلاسما فلز Ti تهیه شده‌اند. سنتز پودرهای TiO₂ بوسیله پلاسما و با استفاده از رسوب بخار و/یا اکسیداسیون



FTIR و XPS بدست آورده شد، که بهبود بیشتر عملکرد فوتوکاتالیستی را تأیید کردند.

اکسیداسیون الکترولیتی پلازما

اکسیداسیون الکترولیتی پلازما (PEO) هیدروکسی آپاتیت $(\text{HA}, \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$ نسبتاً راحت می‌باشد و تکنیکی کاربردی جهت اضافه کردن P و Ca به درون روکش‌های متخلخل TiO_2 بر روی تیتانیوم و آلیاژهای آن می‌باشد.

آماده سازی

در فرآیند PEO، صفحات $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$ ($10 \times 10 \times 1/5$ mm) به عنوان آند استفاده شدند و صفحات فولاد ضد زنگ به عنوان کاتد در حمام الکترولیتی استفاده شدند. صفحات $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$ با کاغذهای سمباده تمیز شدند، و به صورت اولتراسونیک با استون و آب دی یونیزه شسته شدند و سپس در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک شدند.

الکترولیتی با استفاده از $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (۶/۳ گرم بر لیتر)، $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (۱۳/۲ گرم بر لیتر)، EDTA.2Na (۱۵ گرم بر لیتر) و NaOH (۱۵ گرم بر لیتر) به داخل آب دی یونیزه با اضافه کردن پودر نانو HA با اندازه متوسط ذرات ۵۰ نانومتر (۱۶ گرم بر لیتر) تهیه شد. ولتاژ، فرکانس، چرخه کار، و زمان اکسید شدن بکار رفته به ترتیب ۳۰۰ ولت، ۶۰۰ هرتز، ۸۰٪ و ۵ دقیقه بودند. دمای الکترولیت در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد با استفاده از سیستم خنک کننده حفظ شد.

پس از عملیات PEO، هر نمونه در ۱۰ میلی لیتر از محلول NaOH با غلظت ۵ مول بر لیتر در ۶۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲۴ ساعت تکمیل شد، و سپس به آرامی با آب دی یونیزه شسته شد و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (جدول ۱) خشک شد.

نتایج XRD نشان می‌دهد که یک فاز آمورف با استفاده از تکمیل شیمیایی روکش PEO تولید شده است.

نتایج SEM نشان می‌دهد که روکش PEO سطح متخلخل با میکرو تخلخل‌های با قطر ۳ میلی متر که بطور یکنواخت توزیع شده‌اند را ارائه می‌دهد. در بزرگنمایی بالاتر می‌توان مشاهده کرد که سطح روکش PEO زبر می‌باشد. پس از اچینگ شیمیایی، سطح روکش PEO اصلاح شد و اندازه میکرو تخلخل‌ها تا ۱-۰/۵ میلی متر کاهش یافت.

بعلاوه، روکش CT-PEO یک ساختار متخلخل مرکب از نانو فلزهای بسیار زیاد (با ضخامت ۱۰۰ نانومتر) و تخلخل‌های (با اندازه ۱۰۰ تا ۲۰۰

جدول ۱. برجسب‌های نمونه‌ها و شرایط تکمیل

Sample	Treatment condition Plasma electrolytic oxidation	Chemical treatment
nPEO	✓ ^a	-
PEO	✓ ^b	-
CT-nPEO	✓ ^a	✓
CT-PEO	✓ ^b	✓

✓ با تکمیل، «-» بدون تکمیل

a روکش اکسید شده تشکیل شده در الکترولیت بدون اضافه کردن HA

b روکش اکسید شده تشکیل شده در الکترولیت با اضافه کردن HA

تجهیزات مناسب جهت تزریق اکسیژن یا هر گاز راکتیو مورد نظر دیگر در پایین جت پلازما که بوسیله حلقه تزریق گاز بر روی سر مشعل قرار داده شده است، وجود دارد. مخلوط آرگون و نیتروژن به عنوان گاز پلازما استفاده شدند. نرخ تغذیه پودر و نرخ جریان گاز حامل کنترل شدند. انجام آزمایش برقرار کردن آرک پایدار بین الکترودها بود. گاز پلازما، اضافه شده در ناحیه بین الکترودها، انرژی آرک و موارد خارج از نازل آند از قبیل دمای بالا و جت با سرعت زیاد را خارج می‌کند.

مقدار قدرت مطلوب بوسیله کنترل سرعت‌های جریان گازهای پلازما و جریان آرک حفظ شد. پودر TiH_2 با خلوص ۹۹/۸٪ به عنوان پیش ماده استفاده شد. پودر TiH_2 (اندازه ۳۸ تا ۵۳ میلی متر) به درون جت پلازما با استفاده از آرگون به عنوان گاز حامل تزریق شد. گاز اکسیژن ۱۰ میلی متر پایین تر از خروجی مشعل پلازما اضافه شد. TiH_2 جهت تشکیل ذرات Ti و گاز هیدروژن در جت پلازما تجزیه می‌شود که سپس به TiO_2 و بخار آب تبدیل می‌شوند، که همراه با جریان گاز خروجی خارج می‌شود. اکسید تیتانیوم مجموعه‌ای به عنوان آلودگی‌های در ابعاد نانو بر روی جداره راکتور، محفظه جمع‌آوری و لبه‌ها تشکیل داد. پودر در ابعاد نانو TiO_2 تشکیل شده بوسیله این روش با A1 نامگذاری می‌شود. راکتور پلازما برای مدت ۵ دقیقه بکار گرفته شد و مقدار کل TiH_2 تزریق شده به درون پلازما ۲۵ گرم بود.

به منظور مشاهده تأثیر تکمیل بعدی بر روی خواص فوتوکاتالیستی پودر RPP، مقداری از نمونه A1 در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد در جریان گاز Ar-80%H2 برای مدت ۳ ساعت حرارت داده شد و به عنوان نمونه A2 نامگذاری می‌شود.

وزن نهایی TiO_2 جمع شده از مراحل مختلف راکتور پلازما ۳۹/۴۵ گرم (تقریباً مطابق با مقدار تئوری) بدست آورده شد. تبدیل کامل TiH_2 به TiO_2 باید ۳۹/۹۶ گرم دی اکسید تیتانیوم حاصل کند. تفاوت بین وزن TiO_2 جمع شده و مقدار تئوری در محدوده خطای آزمایشی می‌باشد و تبدیل کامل ماده تغذیه شده به TiO_2 را نشان می‌دهد. مقدار فاز آنتاز در پودر بدست آمده حدود ۶۵٪ بدست آورده شد.

نتایج مطالعات XRD نشان داد که عملیات حرارتی تأثیری بر فاز ترکیب A1 نداشته است. میکروسکوپ رامان نشان می‌دهد که باندهای مشخصه مربوط به فاز آنتاز شدیدتر از فاز روتایل نمونه‌های A1 و A2 می‌باشند و مطابق با نتایج XRD می‌باشد. اسپکتروسکوپی انعکاس پراکنده نشان می‌دهد که لبه جذب نانو پودرهای TiO_2 سنتز شده با پلازما برای نمونه‌های A1 و A2 در حدود ۴۲۰ نانومتر ظاهر شده است. از آنجایی که نمونه‌های A1 و A2، نور در محدوده وسیعی از طول موج جذب می‌کنند و انرژی نور بیشتری استفاده می‌کنند، می‌توان نتیجه گرفت که آنها فعالیت فوتوکاتالیستی بیشتری در زیر تابش نور خورشید دارند. FESEM پودر (A1 و A2) شامل ذرات در ابعاد نانو با مورفولوژی کروی با نزدیک به کروی را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که اندازه ذره در محدوده ۱۰ تا ۵۰ نانومتر توزیع شده است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که بیشتر از ۶۰٪ ذرات در محدوده ۲۰ تا ۳۰ نانومتر توزیع شده‌اند. شواهد برای تشکیل مراکز Ti^{3+} و گروه‌های هیدروکسیل بر روی سطح پودر با استفاده از نتایج



نانومتر) حدود زیر میکرون را نشان می‌دهد. اضافه کردن نانو HA در الکترولیت هیچگونه تاثیر مشهودی بر روی قابلیت تشکیل آپاتیت روکش CT-PEO ندارد.

روش هیدرولیز

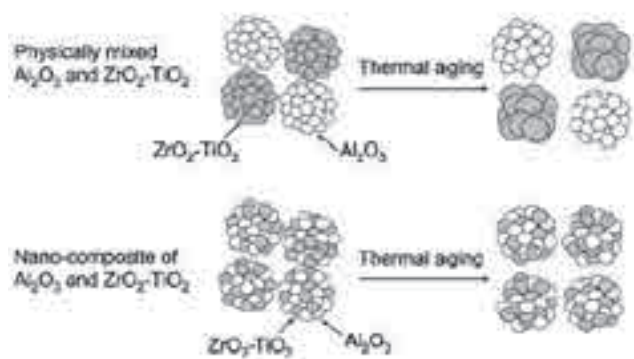
پودرهای مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از هیدرولیز کنترل شده بوتکسید تیتانیوم در محلول اتانول سنتز شده بود. مورفولوژی پودر کروی یا بیضی شکل با قطر در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ نانومتر بود و پودر در فاز آمورف بود.

آنالیز XRD فیلم‌های TiO_2 سه نوع فیلم TiO_2 را نشان می‌دهد، مشاهده شد که، فیلم (I) عموماً متشکل از فازهای آناتاز و روتایل بود. شدت پراش فاز آناتاز بیشتر از فاز روتایل می‌باشد و همچنین مقادیر ناچیزی TiO_2-x مشاهده شد. فیلم (II) نیز متشکل از فازهای آناتاز و روتایل با مقدار کمی TiO_2-x بود. شدت پراش روتایل و آناتاز مشابه بودند و فاز TiO_2-x افزایش یافته بودند. فیلم (III) عموماً متشکل از فاز روتایل با مقدار کمی فازهای آناتاز و TiO_2-x بود و می‌توان نتیجه گرفت که مقدار فاز آناتاز کاهش یافته بود و فاز روتایل از فیلم (I) به فیلم (II) و فیلم (III) افزایش یافته بود. برای مورفولوژی های فیلم‌های TiO_2-x ، تصاویر SEM فیلم تیتانیا نشان می‌دهد که هر سه نوع فیلم و مورفولوژی نانو ساختار متخلخل می‌تواند مشاهده شود. با این حال، صافی فیلم‌ها متفاوت بود. از فیلم (I) به فیلم (II) و فیلم (III)، سطح فیلم‌ها صافتر شد، تخلخل کاهش یافت، و توزیف تخلخل‌ها نیز بیشتر شد. تصاویر TEM سه نوع فیلم TiO_2 نشان می‌دهد که این سه فیلم متشکل از ذرات نانو و ذرات با محدوده اندازه ۵۰ تا ۱۰۰ نانومتر بودند.

هیدرولیز حرارتی

آماده سازی

ذرات آناتاز با استفاده از هیدرولیز حرارتی در ۹۵ درجه سانتیگراد محلول $TiCl_4$ در حضور اسید گلوتامیک بدست آورده شدند، ۲۵۰ میلی لیتر محلول $TiCl_4 + (0.082/0.082)$ مول بر لیتر) تهیه شد، و اسید گلوتامیک (۰/۰۸۲) مول بر لیتر) به صورت پودر تحت همزدن شدید اضافه شد. pH محلول در ۴ با استفاده از هیدروکسید سدیم تنظیم شد. رسوب سفید فوراً نمایان شد و



شکل ۴. دیگران کلی نانو کامپوزیت Al_2O_3 و ZrO_2-TiO_2

سوسپانسیون برای مدت ۴۸ ساعت در آن در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد بدون همزدن قرار داده شد. محلول از ۲۵۰ میلی لیتر به ۳/۵ لیتر رسانده شد، و ذرات جامد با استفاده از فیلتراسیون سوسپانسیون کلوئیدی بدست آورده شدند. به منظور راحت شدن فیلتراسیون، pH تا ۶ (نزدیک نقطه ایزوالکتریک) با اضافه کردن NaOH افزایش یافت و ذرات رسوب کردند و سپس چندین بار با آب دی یونیزه شسته شدند. پودرها در نهایت در هوا در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. XRD نشان می‌دهد که ماده خام مورد استفاده، نانوذرات فاز آناتاز خالص بود.

هم رسوبی

آماده سازی

اکسید نانو کامپوزیت شامل Al_2O_3 ، ZrO_2 و TiO_2 با استفاده از هم رسوبی معمولی بدست آورده شد. $ZrO_2 \cdot 2H_2O$ ، $Al(NO_3)_3$ ، $TiCl_4$ و $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ ، $9H_2O$ ، $Al(NO_3)_3$ در آب مبادله یونی شده حل شدند، و سپس محلول آمونیاک به منظور هم رسوبی اضافه شد. محصول بدست آمده در ۶۷۳ درجه کلون برای مدت ۵ ساعت خشک شد و در دمای ۱۰۷۳ درجه کلون برای مدت ۵ ساعت در هوا تکلیس شد.

این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نانو کامپوزیت Al_2O_3 و ZrO_2 TiO_2 به عنوان بستر روش بهتری برای ذخیره سازی NOx نسبت به اکسید مخلوط شده فیزیکی می‌باشد (شکل ۴).

روش خود سوزی سیترات- نیترات

برای بدست آوردن مواد بهینه و نانو قابل باز تولید، روش خود سوزی سیترات- نیترات مورد استفاده قرار گرفت که روش اصلاح شده پچینی می‌باشد. فرآیند پچینی یکی از تکنیک‌های سل- ژل در دسترس می‌باشد که کمپلکس‌های کی لیت بین مخلوط کاتیون‌ها و گروه‌های اسیدی کربوکسیلیک از قبیل اسید سیتریک تشکیل می‌شود. در این روش، کاتیون‌ها به طور یکنواخت در سرتاسر ساختار ژل توزیع می‌شوند. بر اثر گرم شدن، این کمپلکس پلیمری کی لیت شکسته می‌شود و سپس کاتیون‌ها به منظور تشکیل بلورهای اکسید فلزی اکسید می‌شوند. گزارش شده است که این روش می‌تواند جهت ایجاد نانو پودر TiO_2 خالص و آلایش شده مورد استفاده قرار بگیرد که حساسیت خوبی به CO نشان می‌دهد.

آماده سازی

تمام نانو پودر با استفاده از پودر TiO_2 تجاری سنتز ششد. ۵۰ گرم از پودر TiO_2 تجاری برای مدت ۱ روز در ۲۵۰ میلی لیتر از HF (۵۱-۴۸٪) جهت تهیه محلول TiF_4 نگهداری شد. پس از ۱ روز، مایع با استفاده کاغذ فیلتر ۱۱ m فیلتر شد. هیدروکسید آمونیوم (۳۰٪-۲۸٪ NH_4OH) جهت فیلتر کردن مایع به منظور رسوب کامل بین pH ۱۰ و ۱۱ اضافه شد. رسوب‌ها مکرراً با استفاده از آب مقطر جهت حذف هر گونه ناخالصی شسته شدند، و در اسید نیتریک غلیظ (۶۹/۵٪ HNO_3) با استفاده از حرارت دادن در دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد همراه با همزدن مداوم بر روی همزن مغناطیسی تا زمانی که محلول Ti^{4+} شفاف و یکنواخت بدست آورده شد، حل شد. در این مرحله، مقدار کمی از آب، ۱۰ wt% محلول Ti، جهت متوقف کردن هرگونه



۵۰، تقریباً ۳۰۰۰-۲۹۵) برای مدت ۳۰ دقیقه در هوا در رطوبت اتمسفری تابانده شد. نتایج TEM نشان می‌دهد که ذرات TiO_2 تقریباً دارای اندازه یکنواخت (۷-۵ nm) هستند و ذرات طلا عموماً در محدوده ۱۰ تا ۱۲ نانومتر می‌باشند. با توجه به XRD، شیفت آبی لبه جذب بر روی الیاف پوشیده شده با TiO_2 با دلیل TiO_2 آنتاز خالص مشاهده می‌شود که به دلیل تاثیر اندازه کوانتومی ذرات کوچک می‌باشد، که فاصله سطوح انرژی بالاتر با توجه به بلورهای بی شمار دارند. قطر متوسط ذرات TiO_2 در حدود ۵ نانومتر و قطر متوسط ذرات Au در حدود ۴۰ نانومتر تخمین زده می‌شوند. Au/TiO_2 وقتی که بر روی پارچه پنبه‌ای روکش شد، رنگ ارغوانی بدست داد.

روش شیمیایی جهت سنتز نانو B_2O_3/TiO_2

آماده سازی

سنتز نانو TiO_2 گزارش شده است که جهت سنتز نانو B_2O_3/TiO_2 می‌تواند اصلاح شود. بدین منظور، ۳ گرم اسید بوریک به ارلن مایر حاوی ۱۵ گرم اتانول و ۱۰ میلی لیتر تری بوتوکسید اضافه شد. مخلوط در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد رفلکس شد و در طول رفلکس مخلوط اتانول، آب، و HCl (۱۲/۵ + ۰/۵ + ۰/۲۵ میلی لیتر) اضافه شد. مخلوط برای مدت ۳ ساعت در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد هم زده شد. سپس، مخلوط برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد خشک شد. ماده جامد بدست آمده در هاون برای حدود ۱۰۰ دقیقه پودر شد. ماده پودری در ظرف پینی قرار داده شد و در حدود ۴۵۰ درجه سانتیگراد گرما داده شد و پودر رنگی خاکستری بدست آورده شد.

ماده کامپوزیتی نانو B_2O_3/TiO_2 به عنوان یک استخراج کننده جدید فاز جامد، یک روش ساده، انتخابی، صحیح، اقتصادی، سریع، و دقیق جهت تغلیظ و تعیین کادمیوم فراهم می‌کند.

کاربردها

کاربردهای پزشکی

کاربرد در ایمپلنت دندان

وقتی زیست ماده در بدن انسان ایمپلنت می‌شود، تماسی که خون با سطح ایمپلنت خواهد داشت اجتناب ناپذیر است و سطح ایمپلنت با لایه‌ای از پروتئین‌های پلازما که واسط واکنش‌های مولکولی بعدی هستند، پوشانده می‌شود. این منجر به زیست سازگاری بهتر برای سطح ایمپلنت می‌شود. از آنجا که تیتانیوم (Ti) و آلیاژهای آن خواص مکانیکی، مقاومت در برابر خوردگی، و زیست سازگاری رضایت بخشی دارند، آنها به طور وسیعی برای مواد ارتوپدی و ایمپلنت دندان استفاده می‌شوند. فلز Ti به صورت خودبخود یک لایه TiO_2 محافظ در اتمسفر تشکیل می‌دهد. وقتی ایمپلنت Ti در بدن انسان جاگذاری می‌شود، بافت‌های جانبی مستقیماً در تماس لایه TiO_2 بر روی سطح ایمپلنت می‌باشند. مشخصات سطحی لایه TiO_2 زیست سازگاری ایمپلنت Ti را تعیین می‌کنند. بنابراین، اصلاح سطحی مناسب برای افزایش زیست سازگاری ایمپلنت Ti جهت کاربردهای کلینیکی بلند مدت برای استفاده مهم می‌باشد.

رسوب TiO_2 اضافه شد. جهت ارزیابی مقدار Ti^{4+} در محلول، هیدروکسید آمونیوم به ۱۰ میلی لیتر از محلول تا زمانیکه رسوب کامل شود، اضافه شد. رسوب فیلتر شد و همراه با کاغذ فیلتر در ظرف آلومین در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲ ساعت تکلیس شد. وزن این محصول تکلیس شده جهت محاسبه غلظت Ti^{4+} در محلول استفاده شد. برای نانو پودر TiO_2 آلیایده با Y (ایتریم)، $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ به عنوان ماده شیمیایی آغاز کننده به عنوان منبع Y^{3+} مورد استفاده قرار گرفت. جهت ساخت نانو پودر آلیایده با $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ ، ۱۰ wt% Y_2O_3 در ۱۰ میلی لیتر آب به عنوان منبع یون‌های فلزی مربوطه حل شد و با محلول پیش ماده Ti^{4+} مخلوط شد.

سپس اسید سیتریک به این محلول پیش ماده Ti با نسبت‌های مختلف سیترات به نیترات (C/N) ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، و ۰/۵ اضافه شد. محلول هم زده شد و صفحه گرم در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد نگهداری دش. با پیدایش ژل در محلول، دما صفحه گرم تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد افزایش یافت. با خشک کردن کامل، توده ژلاتینی زغالی شد. پودر زغالی شده در ظرف آلومین در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۱ ساعت جهت بدست آوردن پودر TiO_2 نهایی تکلیس شد.

نمونه سنتز شده بدون آب اندازه بلور بزرگتر ۲۰/۳ نانومتر نشان داد. تمام پودر TiO_2 سنتز شده اصولاً فاز آنتاز داشتند. آنالیز مساحت سطح BET افزایش در مساحت سطح متوسط مخصوص با افزایش نسبت C/N و اضافه کردن آب در طول سنتز نشان داد. اضافه کردن آب در طول سنتز واکنش سنسورها به CO در ۶۰۰ درجه سانتیگراد به علت کاهش اندازه ذرات و افزایش مساحت سطح TiO_2 آلیایده با Y را افزایش داد.

روش شیمیایی جهت سنتز فیلم نازک Au/TiO_2

آماده سازی

محلول الکلی (ایزوپروپانول) ایزوپروپوکسید تیتانیوم با محلول دوم که با استفاده از مخلوط کردن HCl رقیق (چند قطره) و $(CH_3)_2CHOH$ تهیه شده بود، مخلوط شد. سل شفاف بدست آمده با استفاده از همزدن مغناطیسی (۲۰۰ rpm) در شرایط اتمسفری یکنواخت شد. ذرات TiO_2 تشکیل شده در فاز محلول بدون هیچگونه تیرگی برای مدت طولانی (۱ هفته) باقی ماندند و جهت عمل با الیاف پنبه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. پس از عمل کردن، نمونه‌های بدست آمده در آن از قبل گرم شده در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد جهت حذف حلال از الیاف قرار داده شد و سپس در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد برای مدت ۵ دقیقه جهت کامل شدن تشکیل TiO_2 از پیش ماده پخت شد.

سرانجام، نمونه‌های الیاف پنبه‌ای عمل شده در آب جوش برای مدت ۳ ساعت (پخت بعدی) تکمیل شدند. ذرات TiO_2 متصل نشده از سطح الیاف در طول پخت بعدی جدا شدند. نمونه‌های بدست آمده در آن از قبل گرم شده در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. سپس لیف پنبه‌ای پوشانده شده با فیلم نازک در محلول ۰/۰۱ مولار $HAuCl_4$ برای مدت ۱ دقیقه خیسانده می‌شود. سپس نمونه در دمای اتاق خشک شد. به منظور بدست آوردن نانوذرات طلا، نمونه با فیلم $HAuCl_4-TiO_2$ در $308 K$ (mW/cm^2)



مخلوط های نانو الیاف پلی لاکتید/ نانو TiO_2 در زیست حسگر دارو ضد سرطان دانوروبیسین

زیست سازگاری و زیست تجزیه پذیری پلیمرهای پلی لاکتید (PLA) آنها در ارسنایی دارو، مهندسی بافت، و کاربردهای درمانی موقتی در دارو شناسی و جراحی مناسب می کنند. نانو ذرات فلزی (مانند Au یا Ag) یا نانو ذرات نیمه هادی کاربردهای ارزشمندی در زمینه های الکترونیک، نوری، پروتئین شناسی، و زیست تجزیه ای دارند و به علت خواص منحصر بفرد از قبیل مساحت سطح زیاد، ساختار متخلخل، تاثیرات نهفته، و تاثیر اندازه، خاصیت منحصر بفرد و واکنش پذیری بالا نانو دی اکسید تیتانیوم، استفاده در زمینه های زیست پزشکی و زیست مهندسی را ممکن می سازد.

نانو الیاف PLA با استفاده از الکتروسی سنتز می شوند و مخلوط نانو الیاف نانو TiO_2 -PLA به منظور افزایش قابل توجه عملکرد و حساسیت شناسایی زیست شناسایی و همچنین آفینیتیه اتصال داروی ضد سرطان دانوروبیسین به DNA استفاده می شوند.

نتایج مطالعات الکتروشیمیایی و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نشان می دهد که نانو کامپوزیت های پلیمری جدید نانو TiO_2 -PLA می توانند اتصال دانوروبیسین به DNA را تسهیل بخشند و به طور قابل توجهی حساسیت شناسایی نسبتا زیست مولکولی را افزایش می دهند.

کاربرد به منظور کاهش آلودگی هوا/ آب

نانو مواد ضد میکروبی به منظور ضد عفونی کردن آب و کنترل میکروبی: کاربردهای بالقوه و پیامدها

TiO_2 می تواند هم باکتری با بار منفی و هم باکتری با بار مثبت را نابود کند، اگرچه باکتریهای با بار مثبت به دلیل قابلیت شان برای تشکیل تخم میکروب کمتر حساس می باشند. اخیرا، نانو TiO_2 برای از بین بردن ویروس هایی از قبیل پولیو ویروس ۱، ویروس هپاتیت B، ویروس هرپس سیمپلکس، و MS2 بکار برده شده اند. غلظت مورد نیاز TiO_2 برای از بین بردن باکتری ها با توجه به اندازه ذرات و شدت و طول موج نور مورد استفاده، معمولا بین ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ppm می باشد.

فعالیت ضد میکروبی TiO_2 به رادیکال های آزاد هیدروکسیل و پراکسید تشکیل شده تحت تابش UV-A به ترتیب از طریق اکسیداسیون و احیاء تاثیر می گذارند، بستگی دارد. جذب قوی UV-A، TiO_2 را تحت نور خورشید فعال می کند، و به طور چشمگیری ضد عفونی کننده خورشید را افزایش می دهد. شناخته شده است که باکتری های در تماس با ضد عفونی کننده فوتوکاتالیستی TiO_2 خود ترمیم کننده نمی باشند. با این حال، مرگ باکتری که در محیط تاریک اتفاق می افتد، نشان دهنده این است که مکانیزم های دیگری می توانند وجود داشته باشند.

TiO_2 برای کاربردهای تکمیل آب مناسب می باشد، زیرا در آب پایدار می باشد، غیر سمی است و هزینه اش پایین می باشد و ضد عفونی کردن آب آشامیدنی مناسب می باشد. فعالیت نوری در محدوده UV-A و پتانسیل فعالیت در نور مرئی وقتی که با فلزات آلیاژ شده می شود، ضد عفونی کننده فوتوکاتالیستی TiO_2 را سبب می شود که مخصوصا در کشورهای در حال توسعه که الکتریسته در دسترس نمی باشد، مفید است. با این حال، ضد عفونی کننده خورشیدی بر پایه TiO_2 عموما به دلیل بخش کوچک

UV-A در تابش خورشید یک فرآیند بسیار آهسته می باشد. بنابراین، تحقیق بر روی آرایش فلز یا نیتروژن به منظور بهبود جذب نور مرئی TiO_2 یا فعالیت UV-A برای کاربرد ضد عفونی کننده خورشیدی TiO_2 ضروری است. اخیرا، نشان داده شده است که آرایش TiO_2 با نقره، ضد عفونی کننده باکتریایی فوتوکاتالیستی با استفاده از TiO_2 فعال شده با UV-A را بسیار بهبود می دهد.

پیش تغلیظ و جداسازی کادمیوم

اخیرا، تعیین فلزات بسیار کمیاب از قبیل کادمیوم در نمونه های زیست محیطی و غذایی به دلیل حد بسیار پایین اعمال شده بر روی مقدار فلز این چنین نمونه ها، بسیار جدی شده است. کادمیوم یکی از خطرناک ترین فلزات کمیاب نه تنها به دلیل مقدار سمیت بالای آن، بلکه به دلیل توزیع وسیع آن و کاربردهای بسیار مهم آن، در محیط زیست انسان می باشد. کمیته FAO/WHO Joint Expert در افزودنی غذا پیشنهاد کرد که حداکثر مقدار وارد شدن روزانه کادمیوم از تمام منابع (آب، غذا، و هوا) ۱/۰ تا ۱/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بدن می باشد. حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در آب نوشیدنی ۵/۰ گرم بر لیتر می باشد. تعیین مستقیم غلظت بسیار کم فلزات کم یاب با استفاده از روش های اسپکتروسکوپی مدرن به دلیل حساسیت نامناسب تکنیک ها و ممانعت های ماتریس هنوز هم دشوار می باشد.

به منظور غلبه بر این مشکل، تکنیک های جداسازی ابتدایی و/یا پیش تغلیظ به منظور جداسازی فلزات ناچیز از ماتریس های پیچیده به ماتریس شناخته شده به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. در میان تکنیک های پیش تغلیظ، جداسازی فاز جامد (SPE) به صورت فرایند های در مقایسه با روش های کلاسیک دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. مواد زیادی سنتز شده اند و به عنوان استخراج کننده فاز جامد مورد استفاده قرار گرفته اند.

مزایا:

۱. مواد کامپوزیتی نانو B_2O_3/TiO_2 به عنوان استخراج کننده جدید فاز جامد یک روش ساده، انتخابی، صحیح، اقتصادی، سریع، و عملی برای پیش تغلیظ و تعیین کادمیوم فراهم می کند.
۲. هیچ نیازی به بارگذاری هیچ عامل کی لیت ساز و/یا عامل کمپلکس کننده یا میکرو آرگانیسم بر روی جاذب قبل از روش پیش تغلیظ به منظور بدست آوردن بازیابی قابل توجه یون کادمیوم وجود ندارد.
۳. این روش امکان آلودگی و برهمکنش ها به دلیل واکنشگرها را حداقل می کند.
۴. این ویژگی همچنین امکان استفاده مکرر از جاذب را فراهم می کند. دریافت شد که مقدار بازیابی کادمیوم پس از ۱۰۰ چرخه جذب و دفع هنوز هم قابل توجه می باشند.
۵. این روش اجازه مطالعه در محیط اسیدی که رسوب هیدروکسیدهای فلزی را حداقل می کند، را فراهم می کند. بزرگترین عیب این روش پیشنهاد شده، مدت زمان مرحله رسوب می باشد. این مدت زمان در حدود ۵ ساعت برای ۵۰۰ میلی لیتر نمونه محلول می باشد.



حذف ۴-کلرو فنول

نانو طلای نگهداری شده بر روی لیف شیشه روکش شده با

TiO₂ به منظور حذف گاز سمی CO از هوا

فعالیت‌های کاتالیستی نانو طلا به منظور اکسیداسیون CO در دمای کم، در واکنش‌های مختلف بر روی کاتالیست‌های نانو طلا مورد بررسی قرار گرفتند. این واکنش‌ها شامل اکسیداسیون CO، اکسیداسیون ترجیحی CO در حضور هیدروژن اضافی (PROX)، واکنش انتقال گاز آب (WGSR)، هیدروژناسیون و اکسیداسیون می‌باشند. با این حال، در بسیاری از بررسی‌ها، ذرات نانو طلا (بعضی در شکل نانو لوله‌های طلا) بر روی پودرهای اکسید فلزی از قبیل TiO₂، Fe₂O₃، Al₂O₃ و MgAl₂O₄ یا بر روی مواد متخلخل از قبیل زئولیت نگهداری می‌شوند، از طرف دیگر، شکل پودری این بلورها ممکن است کاربرد آنها را محدود کند، زیرا قطره تحت فشار، هنگامیکه دانسیته فشرده‌سازی پودر بسیار بالا می‌باشد، یک مسئله مهم می‌شود. از اینرو، نانو طلا بر روی لیف شیشه تهیه شد که انتظار می‌رود تا کاربردهای مختلفی داشته باشد، که یکی از آنها، ماده فشرده سازی در ماسک‌های گاز به منظور حذف گاز CO سمی از هوا می‌باشد، زیرا کاتالیست‌های نانو طلا مزایای زیادی از قبیل فعالیت واکنشی بالاتر در دمای اتاق و مقاومت رطوبتی بالاتر نسبت به دیگر کاتالیست‌ها برای حذف CO دارند.

فعالیت کاتالیستی نانو طلا نگهداری شده بر روی لیف شیشه روکش شده با TiO₂ وابسته به اندازه بلور TiO₂ می‌باشد. کاتالیست‌های لیف شیشه-TiO₂ می‌توانند به طور مداوم CO را به CO₂ برای مدت بیشتر از ۱۵ دقیقه تبدیل کنند که مطابق با استاندارد اروپا می‌باشد.

کاربرد نانو TiO₂ جهت تکمیل آب آلوده همراه با روش الکترو-

فوتو شیمیایی

همرا با پیشرفت سریع صنعت و افزایش زیاد حجم آلودگی در شهرها، مواد مختلف سمی و مضر، به خصوص آلاینده‌های آلی به داخل آب‌های طبیعی بدون عملیات مناسب تخلیه شدند، که سبب آلودگی جدی می‌باشد. تا کنون توجهات زیادی به آلودگی آب و تکمیل آن شده است، فوتوکاتالیست می‌تواند به طور کامل آلاینده‌های آلی را به مواد غیر آلی بی ضرر (از قبیل CO₂، H₂O و غیره) تحت شرایط ملایم تجزیه کند و هیچ آلودگی ثانویه جدی دیگری را تولید نمی‌کند.

نانو TiO₂ یکی از نیمه هادی‌های مناسب برای کاتالیست می‌باشد اما خواص آن، نه تنها بازده یا فعالیت نوری بلکه پاسخ نوری مناسب نمی‌باشند، و از طرف دیگر نسبت بالای باز ترکیبی جفت‌های الکترون-حفره تحریک شده نوری نیز بازده کاتالیستی آن را کاهش می‌دهد. بنابراین، اصلاحات مختلفی بر روی نانو TiO₂ جهت افزایش قابلیت کاتالیستی آن و توسعه عملکردهای فوتوکاتالیستی جدید انجام شده است.

اکسیداسیون فوتوکاتالیستی VOCها با استفاده از فوتوکاتالیست

نانو TiO₂

اخیرا آلودگی هوا در حال تبدیل شده به مشکل جدی می‌باشد. آلاینده‌ها در هوا از قبیل ترکیبات آلی فرار (VOCs)، NOx و SO₂ می‌توانند سبب

مشاهده شده است که نانو ذرات TiO₂ مزو متخلخل برای تجزیه ۴-کلرو فنول بسیار مفید می‌باشند. TiO₂ اندازه ذرات کوچکتر و مساحت سطح بزرگتر از بلورها دارد که حجم متخلخل کم نشان دهنده واکنش پذیری کم به منظور تجزیه ۴-کلرو فنول می‌باشد.

هر یک از متغیرهای عملیات بکار رفته در این بررسی از قبیل زمان تابش اولتراسونیک، مقدار قدرت، اندازه واکنش دهنده، دمای مخلوط واکنش، اثر همزدن و نسبت H₂O/TTIP، نقش مهم و اصلی در کنترل خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات TiO₂ مورد بررسی داشتند اما هیچ تاثیر زیادی به دلیل واکنش فاز مایع مشاهده نشد، در حالیکه آلاینده‌های بی دوام ممکن است تاثیر زیادی به دلیل تغییر اندک پارامترهای TiO₂ نشان دهند.

تعیین مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی

مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) یکی از پارامترهای بسیار مهم می‌باشد و به طور وسیعی به منظور ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا تجزیه ترکیبات آلی نیاز به اکسیژن دارند و تعیین مقدار آنها در نمونه آب می‌تواند با استفاده از مقدار اکسیژن مورد نیاز جهت اکسیداسیون آنها تخمین زده شود.

روش متداول جهت تعیین COD بر پایه اندازه گیری اکسیژن مصرفی در اکسیداسیون ترکیبات آلی با استفاده از عوامل اکسید کننده قوی از قبیل دی کرومات یا پر منگنات می‌باشد و چندین عیب از قبیل: فرآیند تجزیه ۲ ساعته تحت فشار و دمای بالا، نیاز به مواد پرهزینه (Ag₂SO₄)، خوردگی بالا (H₂SO₄)، سمیت (HgSO₄ و CR₂O₇²⁻) و آلودگی ثانویه که غیر قابل اجتناب می‌باشد، دارد. بعلاوه، حساسیت تقیبا ۱۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد، که خطای زیادی در تعیین مقادیر کم COD دارد و برای تعیین آب شیر، آب چشمه، و آب استخر مناسب نمی‌باشد.

از اینرو، فناوری فوتوکاتالیستی جهت شناسایی مقدار COD بکار برده می‌شود و دلیل باز ترکیبی راحت الکترون‌ها و منافذ تولید شده توسط نور به علت بازده فوتوکاتالیستی کم نانو فیلم می‌باشد. از اینرو، کامپوزیت نانو ZnO/TiO₂ جهت بهبود بازده فوتوکاتالیستی ساخته شد، بعلاوه کنترل فیلم ZnO/TiO₂ راحت‌تر از تعلیق نانو ذرات می‌باشد.

مکانیزم فوتوکاتالیستی فیلم نانو ZnO/TiO₂ نشان می‌داد که ZnO در فیلم نانو ZnO/TiO₂ نقش مهمی در انتقال الکترون‌ها بازی می‌کند و جدایی الکترون‌ها و حفره‌ها تولید شده توسط نور را افزایش داد، که بازده اکسیداسیون فوتوکاتالیستی برای ترکیبات آلی را افزایش داد. تحت شرایط ملایم، گراف کالیبراسیون خوب برای مقادیر COD بین ۰/۳ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر بدست آمد و این روش حساس، قادر به شناسایی COD کم مانند ۰/۱ میلی گرم بر لیتر بود و این روش هنگامی که برای نمونه‌های واقعی استفاده شد، مزایای مختلفی از قبیل زمان آنالیز کوتاه، سادگی، عدم نیاز به واکنش دهنده‌های گران قیمت و سمی نشان داد و نتایج بدست آمده با استفاده از این روش در توافق خوبی با مقادیر بدست آمده با روش‌های متداول بودند. بنابراین، چشم انداز امیدوار کننده‌ای برای تعیین مقادیر COD کم آب‌های زمینی نشان داد.



تأثیرات سوء سلامتی بر روی انسان‌ها شود. VOCها اجزای اصلی آلاینده‌های هوا می‌باشند، که ناشی از وسایل، استعمال دخانیات، اتومبیل، و استفاده از گاز مایع می‌باشند.

عموماً، آلاینده‌های VOCs با استفاده از تصفیه کننده‌های هوا که فیلترها را جهت حذف مواد ریز بکار می‌برند یا با استفاده از مواد جاذب (مانند کربن فعال ریز) برای جذب آلاینده‌ها، حذف می‌شوند. نگهداری نادرست این تصفیه کننده‌ها می‌تواند حتی منبع آلودگی شود. فرآیند فوتوکاتالیستی به عنوان فناوری راهکاری امیدوار کننده جهت تجزیه VOCها در حال پدیدار شدن می‌باشد. فرآیند فیلم نازک نانو TiO_2/UV ، یک فرآیند اکسیداسیون پیشرفته می‌باشد.

TiO_2 به دلیل مشخصات قابل توجه زیر نسبت به دیگر فوتوکاتالیست‌ها برتری دارد:

- (a) این ماده کم هزینه، امن می‌باشد، و بازده فوتوکاتالیستی بالای بسیار پایدار نشان می‌دهد؛
- (b) این ماده اکسیداسیون دمای محیط کلاس‌های اصلی آلاینده‌های هوا را توسعه می‌دهد؛
- (c) تجزیه کامل محدوده وسیعی از آلاینده‌ها می‌تواند تحت شرایط عمل مشخص بدست آورده شود؛
- (d) هیچ ماده اضافی شیمیایی دپیری مورد نیاز نمی‌باشد.

مشخص شده است که بازده تجزیه فوتوکاتالیستی فیلم نازک نانو TiO_2 ترکیبات آلی فرار می‌تواند به صورت بالقوه بوسیله پارامترهای مختلفی محدود شود.

- (a) بازده تجزیه می‌تواند در داخل کاتالیست ضخیم به دلیل آنکه شدت نور UV با استفاده از کاتالیست کم می‌شود، بسیار کاهش یابد.
- (b) انتشار مولکول‌های VOCها در کاتالیست می‌تواند بسیار آهسته باشد و بنابراین مولکول‌های کافی در دسترس جهت تجزیه در داخل کاتالیست وجود ندارند.

کاربردها در سنسورها

بررسی سنسور میکرو بالانس بلور کوارتز و رفتار حرارتی آن

سنسورهای گاز بر پایه پلیمرهای هادی عموماً به دلیل اینکه این ترکیبات می‌توانند به صورت شیمیایی برای نشان دادن حساسیت بالا به محدوده گازها و بخارها اصلاح شوند، مورد توجه می‌باشند. پلیمرهای هادی خواص مکانیکی خوبی دارند که ساخت آسان سنسورها را مهیا می‌کند. سنسور گاز ساده و تکرار پذیر بر پایه کامپوزیت پلی آنیلین ($PANI-TiO_2$) به منظور شناسایی تری متیل آمین در دمای اتاق بوسیله روش میکرو بالانس بلور کوارتز ($PANI$) ایجاد شده است.

این سنسورها پاسخ خطی مناسب به تری متیل آمین را نشان دادند و انتخابی خوبی در مقابل اتانول، فرمالدئید، و استالئید داشت. زمان پاسخ سنسور به تری متیل آمین کمتر از ۳۰۰ ثانیه می‌باشد، و این پاسخ‌گویی با استفاده از تصفیه راحت N_2 بهبود یافت.

نتایج طیف‌های FTIR و $PANI$ این دو ماده نشان داد که ذخیره سازی $PANI$ می‌تواند بعضی از مولکول‌های کوچک در هوا را جذب کند، که

می‌تواند حساسیت تری متیل آمین آن را کاهش داد. تفاوت حساسیت به عات تغییر دما در زیر دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند با اضافه کردن $PANI$ به TiO_2 از بین برود. نانو کامپوزیت $PA-NI-TiO_2$ حد تغییرات دمایی بهتر از $PANI$ بدون TiO_2 داشت و قابلیت انجام کار نانو کامپوزیت $PANI-TiO_2$ به عنوان غشاء حساس به گاز تری متیل آمین برای سنسورهای $PANI$ در کاربردهای عملی مخصوص نیز بهتر می‌باشد.

با این حال، خواص دریافت نانو کامپوزیت $PANI-TiO_2$ از قبیل حساسیت، زمان پاسخگویی، و انتخابی و غیره به اندازه کافی خوب نمی‌باشد. تحقیقات بیشتری جهت بهبود خواص دریافت گاز آن و کاربرد عملی آن انجام خواهد شد.

نانوپودر TiO_2 آلیبده با آلومینیوم برای سنسورهای گاز

اکسیدهای فلزات حد واسط به طور وسیعی به عنوان سرامیک برای کاربردهای سنسور گاز استفاده می‌شوند. تغییرات در رسانایی الکتریکی به علت حضور گاز هدف برای اندازه‌گیری دریافت استفاده می‌شود. در میان اکسیدهای فلزات حد واسط، سنسورهای بر پایه SnO_2 به طور وسیعی استفاده می‌شوند. سنسورهای مقاوم حساس به گاز حساسیت و انتخابییت خوبی در زیر دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهند. با این حالف در دامپ‌های بالاتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد، سنسورهای بر پایه SnO_2 حساسیت کمی به دلیل کمبود پایداری نشان می‌دهند. گزارش شده است که سنسورهای گاز بر پایه دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) حساسیت و پایداری خوبی در محیط‌های نامناسب نشان می‌دهند و توانایی برای کاربرد در سنسورهای گاز دمای بالا را دارند.

نشان داده شده است که حساسیت سنسورهای TiO_2 می‌تواند با استفاده از اضافه کردن موادی از قبیل Al, Zn, Pt, Sn, Cr, Nb و La, Y بهبود یابد. مهمترین تاثیر مواد اضافه شده در TiO_2 افزایش رسانایی، کم کردن سرعت تبدیل آنتاز به روتایل، و کاهش رشد بذرها می‌باشد. در میان مواد اضافه شده، Al در TiO_2 ، کندی انتقال فاز از آنتاز به روتایل با استفاده از پایدار سازی حالت سطحی ذرات TiO_2 و همچنین جلوگیری از رشد بذرها را نشان می‌دهد. گزارش شده است که رسانایی TiO_2 آلیبده با Al بالاتر از TiO_2 خالص می‌باشد و همچنین حساسیت و انتخابییت به گازهای مشخص افزایش می‌یابد، و همچنین نشان داده شده است که حساسیت بالاتر به رطوبت در فیلم‌های ضخیم و نازک دارند. با اضافه کردن ماده آلیبده، و افزایش بلورینگی نیز نیاز به بهبود حساسیت این سنسورهای گاز وجود داشت.

کاربردهای مخصوص

خود تمییز شوندهی منسوجات پنبه‌ای اصلاح شده با استفاده از TiO_2 در دماهای پایین در زیر تابش نور روز مولسیون‌های اکریلیک TiO_2 با هدف تاثیرات خود تمییز شوندهی در زیر تابش نور روز بر روی منسوجات روکش می‌شوند، اما روکش پس از مدتی در تماس بودن با نور روز مقداری تجزیه شد. پتانسیل تجاری نیمه هادی



رنگ حساس می‌تواند جذب نور مرئی را بهبود ببخشد و الکترون‌های انتقال یافته از TCPPP به نوار رسانایی TiO_2 را افزایش می‌دهند و سبب افزایش بازده سل خورشیدی رنگ حساس می‌شود.

روکش‌های هوشمند مقاوم در برابر خوردگی

PANI پلیمرهای رسانایی می‌باشد که کاربردهای مختلفی از قبیل سنسورها، رسانای شفاف، محافظت در برابر تخلیه الکترو استاتیکی (ESD) و تداخل الکترو مغناطیسی (EMI)، نمایشگرهای الکترو کرومیک و غیره، و اخیراً به عنوان ماده موثر به منظور حفاظت از خوردگی دارند. تعدادی از محققان دیگر استفاده از PANI با مواد اضافی دیگر در حفاظت از خوردگی را گزارش داده‌اند اما بیشتر در شکل ماکرو ذره می‌باشند.

در حفاظت از خوردگی بوسیله روکش‌های آلی، اثر انسداد و داخلی مربوط به تشکیل الکترومی‌تواند وجود داشته باشد که محافظت نسبت به بستر زیرین بدست می‌دهد. خواص مانعی اگر فیلترهای مناسب در روکش استفاده شود می‌تواند افزایش یابد و پرکننده‌های نانو ذره خواص مانعی بسیار بهتر حتی در غلظت‌های کمتر از مواد افزودنی متداول در اندازه میکرون بدست می‌دهد.

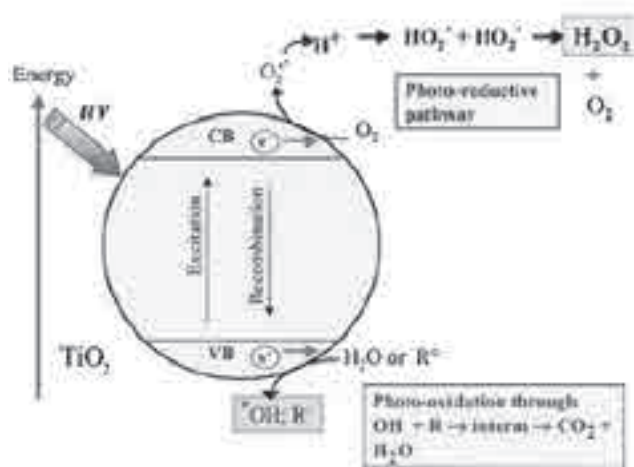
دی اکسید تیتانیوم (روتایل یا آناتاز) معمولاً به عنوان ماده پیگمنت برای رنگ‌ها استفاده می‌شود، استفاده از نانو ذرات TiO_2 به عنوان ماده افزودنی اکسید فلزی در کامپوزیت که دیسپرسسیون بهتری از فرمولاسیون بست می‌دهد، به نظر بهتر می‌باشد. خواص انسدادی در روکش‌ها و تاثیرات خود بهبود دهنده‌گی، مزایایی را در رفتار خود انسدادی بدست می‌دهد.

از اینرو، اگر رزین اصلی آسیب ببیند، مواد افزودنی تاثیر ترمیمی بدست می‌دهند و از نقص‌های بسیار زیاد جلوگیری می‌کنند، که به راحتی در روکش‌های متداول و تهیه شده با مواد در اندازه میکرون بدست نمی‌آید. این چنین سیستم‌ها می‌تواند به عنوان روکش اولیه یا حتی روکش واحد در استیل که رنگ مانع بسیار مهمی نمی‌باشد، استفاده شود.

تاثیر تماس بلند مدت نانو TiO_2

از طرف دیگر با افزایش کاربرد نانو محصولات TiO_2 (نانو TiO_2)، به احتمال زیاد تاثیراتی بر روی سلامتی انسان‌ها که در تماس با این محصولات می‌باشند، بوجود می‌آید. تعدادی از مطالعات نشان می‌دهند که نانو TiO_2 سیتوتوکسیسیته قابل توجهی در مدل‌های کشت سلولی مختلف و کاتالیزهای نانو TiO_2 تشکیل دهنده سوپر اکساید، H_2O_2 و رادیکال‌های هیدروکسیل حاصل در سیتوتوکسیسیته و ژنوتوکسیسیته در سلول‌های پستاندار مختلف نشان می‌دهد اما پاسخ‌های سلولی قابل ملاحظه‌ای نیز به مقادیر مختلف نانو TiO_2 مشاهده می‌شود. در محدوده ۵ تا ۲۰۰ میکرو گرم بر لیتر برای مدت تماس ۱۲ تا ۷۲ ساعت، نانو TiO_2 تاثیرات غیر سیتوتوکسیک و غیر ژنوتوکسیک به سلول‌های کشت شده مختلف نشان داد.

نتایج نشان می‌دهند که تماس بلند مدت با نانو TiO_2 از توسعه سیکل سلولی و تفکیک ژنتیکی پیچیده جلوگیری می‌کند و منجر به ناپایداری کروموزومی و تغییر شکل سلول می‌گردد.



شکل ۵. شماتیک کلاسیک تولید نمونه‌های بسیار اکسایشی بوسیله TiO_2 تحت تابش نور با طول موج‌های کمتر از ۴۰۰ نانومتر

TiO_2 بر روی منسوجات پنبه‌ای تهیه شده در دهه‌های نسبتاً پایین شامل اهداف خود تمییز شونده‌گی، اهداف بی رنگ کردن مواد آلی از قبیل رنگ‌ها، پیگمنت‌ها، و گریس بر روی منسوج پنبه‌ای اصلاح شده همراه با TiO_2 می‌باشد. استفاده از بسترهای انعطاف پذیر همراه با TiO_2 امکان کاربرد آنها در طول تجزیه توسط نور میسل‌ها، روغن‌ها، حلال‌ها، آروماتیک‌ها، و هیدروکربن‌های آلیفاتیک در زیر نور روز را فراهم می‌کند.

پارچه با لایه نازکی از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم روکش می‌شود. وقتی لایه نیمه هادی در تماس با نور قرار می‌گیرد، فوتون‌های با انرژی برابر یا بزرگتر از فاصله سطوح انرژی دی اکسید تیتانیوم، الکترون‌ها را به نوار رسانایی تهییج می‌کند. الکترون‌های تهییج شده در ساختار بلوری با اتم‌های اکسیژن در هوا واکنش می‌دهد و رادیکال آزاد اکسیژن را ایجاد می‌کنند. این اتم‌های اکسیژن عوامل اکسید کننده قوی هستند، که می‌توانند بسیاری از ترکیبات بر پایه کربن از طریق واکنش‌های اکسایش-کاهش را از بین ببرند.

در این واکنش‌ها، ترکیبات آلی (یعنی کثیفی، آلاینده‌ها، و میکرو ارگانیسم‌ها) به موادی از قبیل دی اکسید کربن و آب تبدیل می‌شوند. از آنجاییکه دی اکسید تیتانیوم تنها به عنوان کاتالیزور برای واکنش‌ها عمل می‌کند، این ماده هرگز استفاده نمی‌شود. این اجازه می‌دهد تا از بین بردن آلودگی‌ها به صورت مکرر ادامه یابد (شکل ۵).

کاربرد در الکتروسل‌های خورشیدی رنگ حساس

سل‌های خورشیدی رنگ حساس (DSSCs) بر پایه الکترودهای نانو بلوری TiO_2 راهکاری کم هزینه برای دستگاه‌های متداول غیر آلی فوتو ولتائیک می‌باشند. عملکرد این چنین دستگاه‌ها بر پایه تزریق یک الکترون از حالت تحریک شده نوری رنگ‌زای حساس کننده به نوار رسانایی نیمه هادی می‌باشد. این رنگ‌زاهای حساسیت مناسبی به علت جذب قوی آنها در ناحیه مرئی نشان می‌دهند.

TiO_2 /TCPPP به انرژی‌های اتصال بالاتر انتقال می‌یابند که نشان می‌دهد که تاثیرات ذرات نانو TiO_2 اضافه شده در الکتروسل خورشیدی