

مروری بر کاربردهای دی اکسید تیتانیم در چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌های بسیاری

علی اولاد^{*}، سپیده بهبودی

تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی، آزمایشگاه چندسازه‌های پلیمری

پیام نگار: a.olad@yahoo.com

چکیده

اضافه کردن ذرات یا نانوذرات معدنی در ماتریکس‌های بسیاری جنبه بسیار جالبی از سنتز چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌ها می‌باشد. سنتز نانوجندسازه‌های (بسیاری/ذرات معدنی) به عنوان راهکاری برای بهبود ویژگی‌های بسیاری سنتزی بسیار مورد توجه واقع شده است. در میان ذرات و نانوذرات معدنی مختلف، دی اکسید تیتانیم به دلیل دارا بودن خواصی از قبیل نورکاتالیزوری، پایداری نوری، بی اثر بودن زیستی و شیمیایی، ضریب شکست بالا، ثابت دی الکتریک بالا، زیست سازگاری و قیمت پایین به یک افزودنی مهم در ساخت چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌های بسیاری تبدیل شده است. چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌های (بسیار/دی اکسید تیتانیم) در زمینه‌های مختلفی مانند پوشش‌های ضد خوردگی، سلول‌های خورشیدی، باتری‌های یون لیتیم، پیل‌های سوختی، حسگرها و پوشش‌های بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مقاله ویژگی‌ها و کاربردهای ذرات و نانوذرات دی اکسید تیتانیم در زمینه‌های بسیاری مختلف و خواص چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌های حاصل مورد بررسی و مطالعه مروری قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: دی اکسید تیتانیم، چندسازه، نانوجندسازه، نانوذرات، بسیار

۱- مقدمه

کاربرد سیلیسیم) می‌باشد [۴]. در نانوجندسازه‌های بسیاری معمولاً فاز معدنی در مقیاس نانو در زمینه بسیاری توزیع می‌شود. نانوجندسازه‌های (بسیار/ مواد معدنی)، ویژگی‌های خاص ساختاری، خواص ویژه‌ای مانند شفافیت نوری، ویژگی‌های دی الکتریک خاص، هدایت الکتریکی (در مورد استفاده از پرکننده‌های رسانا)، تاثیرات نوری ناخطی، سازگاری و فعالیت زیستی از خود نشان می‌دهند [۳]. خواص نوری ناخطی به رفتار نور در محیط ناخطی (محیطی که قطبش دی الکتریک به میدان الکتریکی نور پاسخ ناخطی می‌دهد) اطلاق می‌گردد. این خواص ناخطی به طور نوعی در شدت‌های بالای نور (شدت‌های تولید شده با تپ‌های لیزری) ملاحظه می‌گردد.

چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌های بسیاری دسته خاصی از مواد هستند که دارای ویژگی‌های فیزیکی منحصربفرد و کاربردهای گسترده در زمینه‌های مختلف می‌باشند [۱ و ۲]. مواد چندسازه (بسیار/ نانوذرات معدنی) به عنوان یکی از مواد با فناوری بالا بسیار مورد توجه هستند [۳]. مواد مختلفی به‌عنوان افزودنی در تهیه چندسازه‌ها و نانوجندسازه‌های (بسیار/ ذرات معدنی) استفاده شده است که شامل فلزات (مانند آلومینیم، آهن، طلا و نقره)، اکسیدهای فلزی (مانند اکسید روی، اکسید آلومینیم، کربنات کلسیم و دی اکسید تیتانیم)، اکسیدهای غیرفلزی (مانند اکسید سیلیسیم) و دیگر موارد (مانند

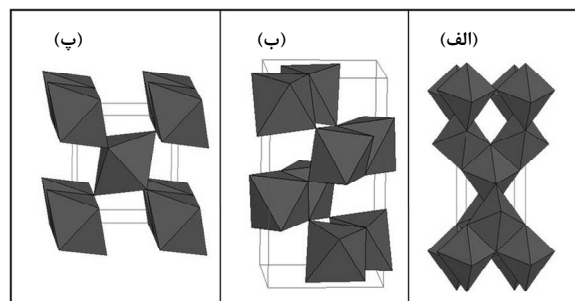
پایدارترین فرم بلوری TiO_2 از نظر ترمودینامیکی است و در واکنش‌های نورشیمیایی بی‌اثر است. این نوع از ذرات TiO_2 قادر به پراکنش نور جذب شده برای جلوگیری از تخریب پوشش‌ها در نتیجه تابش نور می‌باشند. بنابراین ذرات TiO_2 روتیل به طور گسترده‌ای به عنوان پرکننده در پوشش‌های بسیاری استفاده می‌شوند [۱۴]. افزودن نانوذرات دی اکسید تیتانیم به بسپارها باعث بهبود قابل ملاحظه‌ای در خواص مکانیکی، حرارتی و الکتروشیمیایی آن‌ها می‌شود [۱۵]. نانوسازها (بسپار/ TiO_2) به‌عنوان مواد رسانا، مستحکم و سبک وزن قابلیت استفاده در کاربری‌های فضایی، کاربردهای اترپوتولتی و نورکاتالیزی را نیز دارا می‌باشند [۱۶].

۲- نانوذرات TiO_2 در تهیه نانوسازها (بسپار) با خواص بهبود یافته

افزودن ذرات TiO_2 با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر به ماتریس بسپاری با توزیع یکنواخت نانومتری منجر به تهیه نانوسازها (بسپار) می‌گردد. تحقیقات نشان داده است که نانوسازها (بسپار) دارای خواص بهبود یافته قابل ملاحظه‌ای نسبت به بسپار پایه حتی در مقادیر کم افزودنی می‌باشند. در قسمت‌های بعدی به چشم‌اندازی از نانوسازها (بسپار/ TiO_2) سنتز شده اشاره می‌شود.

در میان بسپارهای مختلف پلی متیل متاکریلات به دلیل داشتن خواص مکانیکی بالا و شفافیت نوری مناسب بسیار مورد توجه است. پلی متیل متاکریلات بدلیل شفافیت بالا در محدوده نوری مرئی و امکان دسترسی آسان، در الیاف و دیسک‌های نوری و لنزها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این بسپار دارای پایداری گرمایی و مکانیکی خوبی می‌باشد. ترکیب ذرات معدنی TiO_2 با پلی متیل متاکریلات منجر به تولید یک بسپار اصلاح شده با ویژگی‌های جدید و پایداری گرمایشیمیایی بالاتر می‌گردد و تنظیم خواص محصول نهایی با تغییر ترکیب و غلظت TiO_2 معدنی در ماتریس بسپار برای کاربردهای مختلف حائز اهمیت است. نانوسازها (بسپار/ پلی متیل متاکریلات/ TiO_2) به‌عنوان افزودنی مناسب در روغن‌های ماشین و برای اندازه‌گیری‌های فوق سریع ناخطی نوری با پالس‌های لیزری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۷]. کاترچی [۱۷]، نانوسازها (پلی متیل متاکریلات/ TiO_2) را با مخلوط کردن

گاهی این نانوسازها دارای ویژگی‌های نوری، مکانیکی، الکترونیکی و مغناطیسی جدید هستند [۵]. این مواد در بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هم از بسپار خالص و هم از نانوذرات معدنی متفاوت می‌باشند [۱]. ماتریس‌های بسپاری که پیش‌تر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند شامل رزین‌های اپوکسی، پلی استایرن، پلی آکریلات و نایلون بوده و به عنوان فاز معدنی معمولاً از سیلیکات‌های لایه‌ای، نانوذراتی مانند دی اکسید سیلیسیم، دی اکسید تیتانیم، اکسید روی و کربنات کلسیم استفاده شده است [۶]. نانوسازها (بسپار/ هیبریدی آلی/ معدنی) به دلیل میکروساختار منحصر بفرد و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خود، توانایی کاربرد در زمینه‌های مختلفی مانند کاتد باتریها، میکروالکترونیک [۷]، کاتالیست‌ها، ابزارهای الکترونیکی و فوتونی [۸]، پزشکی، رنگ و به خصوص صنایع شیمیایی [۹] را دارا می‌باشند. در میان نانوذرات معدنی، نانوذرات دی اکسید تیتانیم (TiO_2) یکی از افزودنی‌های مناسب با کاربردهای گسترده می‌باشد [۱۰ و ۱۱]. TiO_2 در طبیعت در دو ساختار چهاروجهی روتیل^۱ و آاناتاز^۲ و همچنین در یک ساختار ناپایدار رومبیک که بروکیت^۳ نامیده می‌شود موجود است (شکل (۱)) [۱۲ و ۱۳].



شکل ۱- ساختارهای دی اکسید تیتانیم در طبیعت، ساختار آاناتاز (الف)، بروکیت (ب) و روتیل (پ) [۱۲]

آاناتاز از نظر نورکاتالیزی فعالتر از دو ساختار دیگر می‌باشد، که این تفاوت ناشی از مقدار و ماهیت متفاوت گروه‌های هیدروکسیل سطحی در دمای پایین در ساختار آاناتاز می‌باشد. همچنین فعالیت نوری بالای آاناتاز می‌تواند به تراز فرمی آن مربوط باشد که حدود ۰/۱ الکترون ولت بالاتر از روتیل است [۱۳]. TiO_2 در فاز روتیل

1. Rutile
2. Anatase
3. Brookite

الکتروکرومیک، سلول‌های نورولتائیک و مواد جاذب در سلول‌های خورشیدی می‌باشد [۲۳]. ترکیب هدایت الکتریکی پلی‌آنیلین و حساسیت به طیف UV فزاد آناتاز دی اکسید تیتانیم در نانوچندسازه‌های (هسته- پوسته) باعث افزایش کارایی آن در زمینه سیستم‌های نوری ناخطی و ابزارهای نوری الکتروشمیایی می‌شود. قدرت اکسیدکنندگی TiO_2 به اندازه Fe_2O_3 یا CeO_2 نیست که بتواند باعث بسپارش آنیلین بر روی سطح نانوذرات شود. بنابراین تشکیل چندسازه (هسته- پوسته) پلی آنیلین و دی اکسید تیتانیم مشکل است و قبل از پلیمرشدن باید سطح نانوذرات TiO_2 اصلاح شود [۲۴]. چانگ و همکارانش [۲۴] از γ -آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان) برای اصلاح سطح دی اکسید تیتانیم استفاده کردند و سپس مونومرهای آنیلین برای تشکیل نانوچندسازه‌های (هسته- پوسته) بر روی سطح دی اکسیدتیتانیم بسپارش شدند.

۳- سنتز چندسازه‌ها و نانوچندسازه‌های (بسپار- TiO_2)

در مطالعه سنتز چندسازه‌ها و نانوچندسازه‌های مختلف، تهیه هیبریدهای (آلی- معدنی) متشکل از نانوذرات پخش شده به طور یکنواخت در ماتریس‌های بسپاری، به چالشی بزرگ تبدیل شده است. در این راستا تلاش قابل توجهی به منظور یافتن روش‌های جدید سنتزی برای نانوچندسازه‌های (بسپار- فلز) یا (بسپار- اکسید فلز) صورت گرفته است. رایج‌ترین روش مورد استفاده به منظور سنتز نانوچندسازه‌های (آلی/ معدنی)، بسپارش در حضور نانوذرات معدنی کروی می‌باشد. علاوه بر این، امکان ایجاد فازهای آلی و معدنی به صورت همزمان طی سنتز تک ظرفی^۲ نانوچندسازه وجود دارد. با این وجود، چندین روش تهیه که منجر به دستیابی آسان و کنترل موثر ویژگی‌های مطلوب این مواد می‌گردند عبارت‌اند از تحریک فراصوتی بسپارش در محل و خودانباشتی^۳ می‌باشد [۲۵ و ۲۶].

۴- کاربرد چندسازه‌های (بسپار / دی اکسید تیتانیم)

۴-۱ استفاده از چندسازه‌های (بسپار / TiO_2) در پوشش‌های

ضد خوردگی

پوشش‌های بسپارهای رسانا همانند پلی‌آنیلین، پلی‌پیرول و

درصد‌های وزنی مختلفی از TiO_2 تهیه کرده است. TiO_2 خواص حرارتی، مکانیکی و خواص ویسکوالاستیسیته (شامل مدول دینامیکی G) پلی متیل متاکریلات را بهبود می‌بخشد. با افزودن ۵٪ وزنی از TiO_2 دمای انتقال شیشه نانوچندسازه بسپاری تا ۳۰٪ افزایش نشان داده است.

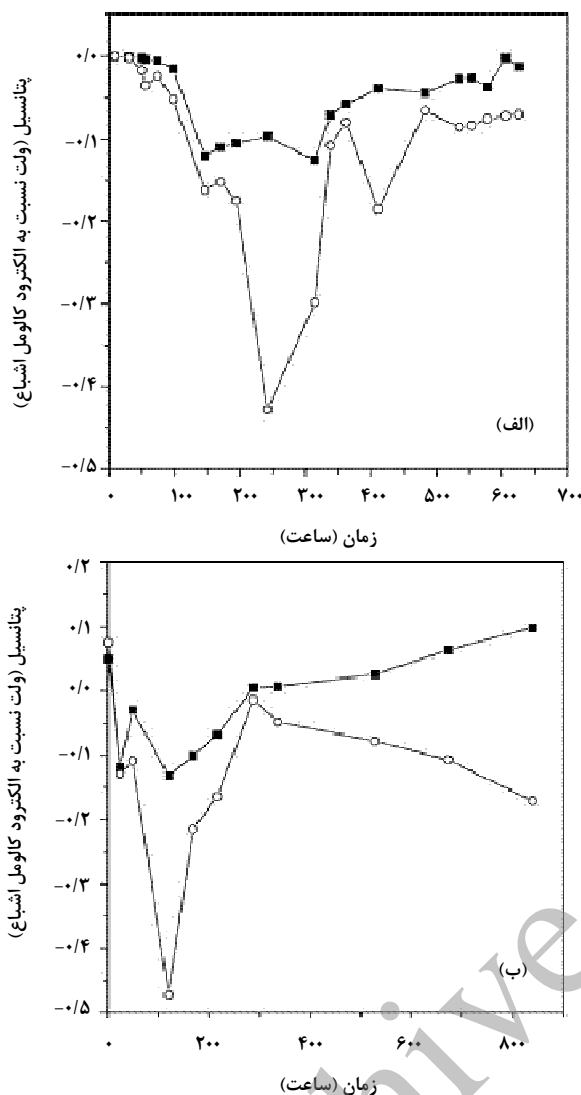
چیو و همکارانش [۱۸] تاثیر نانوذرات TiO_2 را در لیاف پلی پروپیلن بررسی کردند. مخلوط کردن نانوذرات TiO_2 با پلی پروپیلن بطور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش پایداری گرمایی نانوچندسازه بسپاری حاصل می‌گردد. پایداری حرارتی پلی پروپیلن بعد از افزودن نانوذرات دی اکسید تیتانیم با افزایش درصد TiO_2 در ماتریس بسپار افزایش می‌یابد. همچنین خاصیت آنتی باکتریال لیاف نانوچندسازه (پلی پروپیلن/ TiO_2) مورد بررسی قرار گرفته است.

از ذرات و نانوذرات TiO_2 در تهیه چندسازه‌ها و نانوچندسازه‌های بسپاری با ساختار (هسته- پوسته) نیز استفاده شده است. سیستم‌های (هسته- پوسته) به موادی اشاره می‌کند که در آن نانوذرات به‌عنوان هسته، بوسیله لایه‌ای از مواد معدنی یا آلی به‌عنوان پوسته احاطه شده است. هسته ممکن است نانوذرات معدنی مانند $CaCO_3$ ، TiO_2 ، SiO_2 و مونت موریلونیت باشد، در حالی که پوسته شامل مواد آلی یا بسپارهایی با گروه‌های خاص است [۱۹]. کره‌های تو خالی^۱ می‌توانند با حذف هسته از سیستم‌های (هسته- پوسته) تولید شوند. کره‌های تو خالی بدلیل خواص منحصر بفرد و قابلیت کاربردهای وسیع در زمینه‌های مختلف اهمیت بسیاری یافته‌اند. کره‌های تو خالی می‌توانند به‌عنوان ساختارهایی برای حذف پسماندهای آلوده و رهایش کنترل شده موادی مثل داروها، مواد آرایشی، رنگ و جوهرها یا به‌عنوان حامل کاتالیزگر استفاده شوند [۲۰ و ۲۱]. نانوذرات با ساختار (هسته- پوسته)، ماده شبه همگنی را ایجاد می‌کنند که تشکیل فیلم نرم روی سطح ذرات را امکان پذیر می‌سازد و مانع از تجمع نامطلوب و مسایل مربوط به جدایی فازها می‌شود [۲۲].

سیستم‌های (هسته- پوسته) بسپاری با هسته‌های TiO_2 تهیه شده است. چندسازه (هسته- پوسته) پلی آنیلین و نانوکریستالهای دی اکسید تیتانیم باعث ترکیب ویژگی‌های پلی آنیلین و نانوذرات دی اکسید تیتانیم می‌شود. این مواد دارای قابلیت کاربرد در زمینه پوشش‌های رسانا، ذخیره بار، الکتروکاتالیزگر، ابزارهای

1. Hollow Spheres

2. One-Pot Synthesis
3. Self-Assembly



شکل ۲- تغییر OCP فولاد پوشش داده شده (الف) بعد از غوطه وری در محلول ۳٪ سدیم کلرید و (ب) بعد از قرار دادن در معرض آزمون پاشش نمک 0 پوشش (PANI/TiO₂) [۲۹].
■ پوشش (PANI/TiO₂) [۲۹].

پلی آنیلین در پوشش‌ها می‌باشد که باعث کمک به تشکیل فیلم رویین یکنواخت بر روی سطح آهن می‌شود [۲۹]. پوشش‌های آلی حاوی چندساز (پلی آنیلین/نانوذرات TiO₂) با استفاده از سه مکانیسم همزمان (بهبود ویژگی‌های نفوذناپذیری، رفتار ردوکس پلی آنیلین و ایجاد اتصالات (p-n) برای ممانعت از انتقال آسان بار) باعث جلوگیری از خوردگی می‌شوند. علاوه بر حفاظت از خوردگی، چنین پوشش‌هایی دارای سطح براق و درخشنده می‌باشند و می‌توانند به‌عنوان پوشش اولیه یا حتی تنها پوشش بر روی فولاد (زمانی که رنگ پوشش معیار نباشد) مورد استفاده قرار گیرند [۲۸]. در قسمت

پلی تیوفن باعث ایجاد خاصیت حفاظت از خوردگی برای آهن و فلزات غیر آهنی می‌شوند. پوشش‌های آلی حاوی پلی آنیلین بر روی فولاد قادر به رویین کردن فولاد و در نتیجه حفاظت بهتر فلز در مناطق آسیب دیده در پوشش بسیاری می‌باشند. رویینگی سطح فلز از طریق آندی کردن فلز با پلی آنیلین و تشکیل (نمک آهن - دوپه‌کننده نامحلول) در سطح فلز انجام می‌گیرد [۲۷]. حفاظت آهن در اثر احیای نمک امرالدین پلی آنیلین به نمک لوکوامرالدین پلی آنیلین با آزاد شدن آنیون‌های دوپه‌کننده انجام می‌گیرد. آنیون‌های دوپه‌کننده آزاد شده در طول تشکیل فیلم رویین بوسیله پلی آنیلین، باعث تشکیل کمپلکس آنیون (دوپه‌کننده - آهن) می‌شوند. از آن جایی که از دی اکسید تیتانیم اغلب به‌عنوان رنگدانه در رنگ‌ها استفاده می‌شود، تصور می‌شود استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیم به‌عنوان افزودنی اکسید فلز در چندسازها می‌تواند منجر به ویژگی‌های نفوذناپذیری بهتر می‌شود و بنابراین باعث بهبود رفتار ضد خوردگی پوشش‌های بسیاری می‌گردد [۲۸]. بسیاری از رنگ‌ها دارای فرمولبندی حاوی TiO₂ به‌عنوان یک ماده پرکننده می‌باشند و از این جهت مطالعه پوشش‌های حاوی چندساز (پلی آنیلین/TiO₂) حائز اهمیت است [۲۹]. نتایج مطالعات انجام شده حاکی از آن است که فیلم‌های (پلی پیرول/TiO₂) پتانسیل آندی بیشتری از پلی پیرول یا مواد فولادی نشان می‌دهند که این امر بهبود محافظت خوردگی فیلم‌ها را در اثر حضور دی اکسید تیتانیم به‌عنوان رنگدانه اثبات می‌کند [۳۰].

در شکل (۲) تغییر پتانسیل‌های مدار باز (OCP) با زمان برای پوشش‌های رنگ حاوی پلی آنیلین و چندساز (PANI/TiO₂) بر روی فولاد در محلول سدیم کلرید ۳٪ و بعد از آزمون پاشش نمک^۱ نشان داده شده است [۲۹].

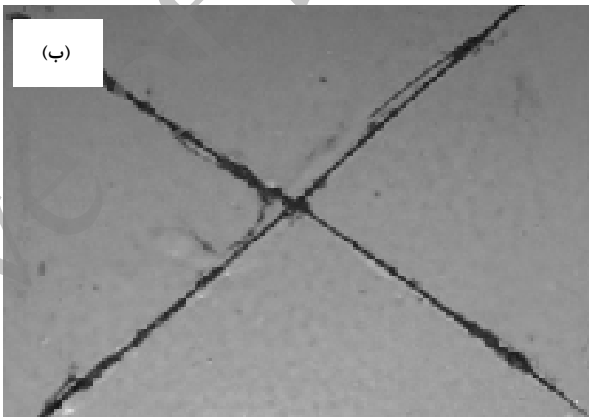
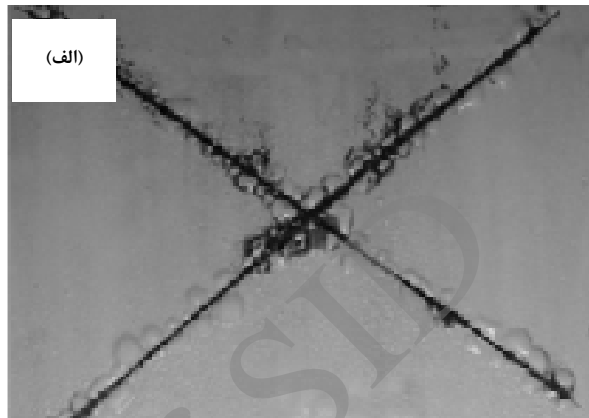
با توجه به شکل (۲) پوشش‌های حاوی چندساز (پلی آنیلین/دی اکسید تیتانیم) قادر است پتانسیل فلز را در مقادیر بسیار نجیب‌تری نگه دارد. نتایج مطالعات امیدانسان پوشش‌های حاوی چندساز (PANI/TiO₂) در محلول ۳٪ سدیم کلرید نشان می‌دهد مقدار مقاومت این پوشش‌ها دو برابر بزرگتر از مقادیر مقاومت پوشش‌های حاوی فقط پلی آنیلین است. عملکرد بالای پوشش‌های حاوی چندساز پلی آنیلین و دی اکسید تیتانیم بدلیل توزیع یکنواخت

1. Salt Spray Test

تشکیل یافته از بسپارهای مزدوج و نیمه‌رساناهای معدنی ویژگی‌های منحصر بفرد نیمه‌هادی‌های معدنی (مانند سیار بودن بالای الکترون و پایداری) را با کنترل ویژگی‌های تشکیل مناسب فیلم بسپارهای مزدوج دارا می‌باشند، به‌عنوان مواد جایگزین برای ابزارهای فوتوولتی آینده مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳۲].

تولید جریان در اثر تابش نور در سلول‌های خورشیدی شامل چهار مرحله می‌باشد: (۱) جذب نور بوسیله لایه فعال که منجر به ایجاد اگزایتون^۱ها می‌شود (۲) تفکیک اگزایتون‌ها در سطح مشترک (الکترون دهنده/ پذیرنده) و تشکیل بارهای آزاد (۳) انتقال بار تحت میدان الکتریکی (۴) جمع آوری بار توسط الکترودها. افزایش کارایی سلول‌های فوتوولتی آلی برای جلوگیری از ترکیب مجدد اگزایتون‌ها به چالشی مهم در پیل‌های خورشیدی تبدیل گردیده است. یک روش جالب برای جدایی بار در فیلم‌های آلی، ترکیب آن با یک الکترون پذیرنده مانند مشتقات فلورن (C60) می‌باشد [۳۳]. اتصال ناهمگن توده (BHJ)^۲ بر پایه مخلوط بسپارها با مشتقات فلورن ابزارهای مطالعه شده‌ای هستند که تاکنون دارای بالاترین بازدهی یعنی ۵٪ بوده‌اند. با وجود این، در مورد استفاده از فلورن به‌عنوان الکترون پذیرنده معایبی نظیر تخریب به مرور زمان و پایداری ضعیف در برابر نور مطرح است. نیمه‌رساناهای معدنی همانند دی اکسید تیتانیم به‌عنوان جایگزینی برای این الکترون پذیرنده‌ها محسوب می‌شوند [۳۴]. در میان نانوکریستال‌های مختلف، TiO_2 به‌عنوان الکترون پذیرنده در ابزارهای فوتوولتی بر پایه بسپار استفاده می‌شود [۳۲]. دی اکسید تیتانیم بطور گسترده‌ای به‌عنوان ماده حساس به نور بکار گرفته می‌شود. بخصوص در حالت نانوتیوب انتظار می‌رود ویژگی‌های بهتری برای کاربردهای حساس به نور در مقایسه با حالت کلئیدی یا شکل‌های دیگر ساختاری داشته باشد [۳۳]. اخیراً چندسازه پلی آنیلین به‌عنوان ماده هادی نوع p، با دی اکسید تیتانیم برای ساخت سلول‌های خورشیدی حالت جامد حساس شده با رنگ^۳ بکار رفته است [۳۴]. سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ جایگزین مناسب و ارزان قیمت برای سلول‌های خورشیدی متداول با اتصال (p-n) هستند. نمونه پیش نمونه^۴ سلول‌های خورشیدی فوتوولتی براساس ویژگی‌های نیمه‌رسانای دی

شکل (الف) (۳) تصویر سطح فولاد پوشش داده شده با رنگ حاوی پلی آنیلین بعد از ۳۵ روز قرار گرفتن در معرض آزمون پاشش نمک نشان داده شده است و قسمت (ب) شکل (۳) سطح فولاد پوشیده شده با رنگ حاوی چندسازه (پلی آنیلین/ TiO_2) را به همان مدت در معرض همان آزمون نشان می‌دهد.



شکل ۳- (الف) تصویری از پوشش حاوی پلی آنیلین پوشانده شده بر روی فولاد بعد از ۳۵ روز قرار گرفتن در معرض آزمون پاشش نمک (ب) تصویری از رنگ حاوی چندسازه ($PANI/TiO_2$) پوشانده شده بر روی فولاد بعد از ۳۵ روز قرار گرفتن در معرض آزمون پاشش نمک [۲۹]

۴-۲ کاربرد چندسازه‌های (بسپار/ TiO_2) در سلول‌های خورشیدی و فوتوولتی

کاربرد نانچندسازه‌های (آلی- معدنی) در سل‌های خورشیدی آلی گزارش شده است [۳۱]. ابزارهای فوتوولتی بر پایه مواد بسپاری، بدلیل قیمت پایین و سطح بزرگ و انعطاف پذیر بسیار مورد توجه هستند. از آنجایی که ابزارهای فوتوولتی بر پایه بسپارهای هیبریدی

1. Exiton
2. Bulk Heterojunction
3. Solid- State Dye-Sensitized Solar Cells
4. Prototype

تخلخل متوسط به عنوان ماده آندی برای باتری‌های یون لیتیم قابل استفاده است. نانوجندساز تهیه شده ظرفیت تخلیه بزرگتر و عملکرد تخلیه در سرعت بالای خوبی را داراست.

لین و همکارانش [۳۹] تاثیر نانوذرات TiO_2 را در ویژگی‌های انتقال یون لیتیم الکترولیت چندسازه بسپاری برای باتری‌های یون لیتیم بررسی کردند. الکترولیت‌های بسپاری بر پایه پلی اتیلن اکسید بدلیل چگالی انرژی بالا و استفاده در باتری‌های یون لیتیم، توان بالا بدلیل تشکیل آسان کمپلکس با نمک‌های لیتیم، حرکت بالای حامل‌های بار و پایداری شیمیایی مورد توجه هستند. اخیراً گزارش شده است که افزودن پرکننده‌های معدنی نظیر TiO_2 در ماتریس (پلی اتیلن اکسید-هالید لیتیم) باعث افزایش هدایت یونی و پایداری مکانیکی آن می‌شود. این امر منجر به اندرکنش بین نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بارگذاری شده و زنجیر پلی اتیلن اکسید و اصلاح ساختار آن می‌شود. در نتیجه باعث مهاجرت سریع یون‌های لیتیم در الکترولیت چندسازه بسپاری می‌گردد. افزایش حرکت یون‌های لیتیم و ساختار انعطاف‌پذیر، مسئول بهبود هدایت یونی الکترولیت چندسازه بسپاری است. الکترولیت چندسازه بسپاری توسعه یافته با هدایت یونی بالا و عدد مهاجرت بالای لیتیم می‌تواند به عنوان غشای مناسب برای باتری یون لیتیم حالت جامد مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۴ استفاده از چندسازه‌های (بسپار/ TiO_2) در پیل‌های

سوختی

در پاسخ به افزایش تقاضا برای سیستم‌های تولید انرژی با توان بالا و پاک، پیل‌های سوختی متانول مستقیم بطور گسترده به منظور استفاده در ابزارهای قابل حمل یا کاربردهای حمل و نقل مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۴۰]. پیل‌های سوختی متانول مستقیم دارای مزایای متعددی از قبیل کارایی بالا، چگالی توان بالا، عدم انتشار آلاینده‌ها و یا انتشار کم آلاینده‌ها می‌باشند [۴۱].

۴-۴-۱ استفاده از چندسازه‌های (PANI/ TiO_2) به عنوان

غشای الکترولیتی در پیل‌های سوختی متانول مستقیم

با وجود مزایای ذکر شده در بالا عبور عرضی متانول از غشای الکترولیتی در پیل‌های سوختی متانول مستقیم، عملکرد و کاربرد این پیل‌ها را محدود کرده است. عبور عرضی متانول به طرف کاتد،

اکسید تیتانیوم و بسپارها گسترش یافته‌اند [۳۵]. به منظور بهبود بازدهی سلول‌های خورشیدی (بسپار/ TiO_2) اگزایتونهای تولید شده در بسپار در اثر تابش نور باید به سطح مشترک با TiO_2 برسند و بخوبی تفکیک شوند. یکی از روش‌های متداول بمنظور بهبود تفکیک اگزایتون‌ها در سلول‌های فوتوولتی آلی استفاده از ساختارهای اتصال ناهمگن توده‌ای است. اتصال ناهمگن توده‌ای (پلی (۲- متوکسی-۵-(۳و۷-دی متیل اکتیل اکسی)-پارافنیلین وینیلین)/ TiO_2) که دارای بازدهی کوانتومی خارجی ۱۱٪ و بازدهی تبدیل توان ۱۸٪ برای ۲۰٪ دی اکسید تیتانیوم می‌باشد، گزارش گردیده است [۳۶].

۴-۳ کاربرد چندسازه‌های (بسپار/ TiO_2) در باتری‌های

لیتیمی

باتری‌های قابل شارژ یون لیتیم بدلیل چگالی انرژی بالا در ابزارهای الکترونیکی قابل حمل توجه زیادی بخود جلب کرده‌اند. برای باتری‌های یون لیتیم تجاری معمولاً گرافیت به عنوان ماده آندی استفاده می‌شود. علی‌رغم مزایای قابل توجه آند گرافیتی مانند مسطح بودن، محدوده پتانسیل کم، ظرفیت برگشت‌پذیری بالا و هزینه پایین بعلت وجود رشته‌های لیتیم بعد از عملیات (شارژ-تخلیه) متوالی، نگرانی‌هایی در مورد مسائل ایمنی وجود دارد. در نتیجه یک جایگزین ایمن با عملکرد عالی بر آن ترجیح داده می‌شود. در میان گزینه‌های احتمالی، دی اکسید تیتانیوم آاناتاز بدلیل هزینه کم، سازگاری با محیط زیست و بخصوص توانایی بالای آن برای میان‌لایه‌سازی^۱ لیتیم به منظور اجتناب از نشت لیتیم فلزی مناسب است. اخیراً گزارش شده است که پوشش بسپاری بی‌شکل بر روی مواد الکترودی می‌تواند باعث ایجاد لایه بافر در سرعت تخلیه بالا شود. بنابراین برای بدست آوردن عملکرد عالی در سرعت شارژ و دشارژ بالا سعی در ساخت و استفاده از نانوجندسازه‌های بسپاری حاوی نانوکریستال‌های TiO_2 کاملاً پخش شده در ماتریس بسپاری و با تخلخل متوسط گردیده است [۳۷].

لای و همکارانش [۳۸] یک روش تک مرحله‌ای برای تهیه نانوجندسازه (پلی‌آنیلین/ TiO_2) آاناتاز توسعه دادند. نانوجندسازه تهیه شده با دارا بودن ساختاری مساعد شامل پوشش پلی‌آنیلین بی‌شکل، ذرات دی اکسید تیتانیوم با اندازه نانو، مساحت سطح بالا و

1. Intercalation

۴-۴-۲ استفاده از چندسازه (PANI/TiO₂) به عنوان پایه

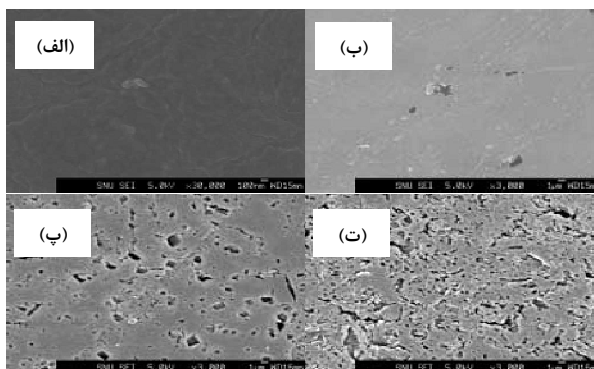
کاتالیستی در پیل‌های سوختی

کاتالیست‌های دوفلزی (Pt-Rt) بر پایه کربن مناسب‌ترین موادی هستند که تاکنون به‌عنوان آند پیل‌های سوختی متانول مستقیم توسعه یافته‌اند. از آنجائیکه این کاتالیزورها بوسیله مونوکسید کربن مسموم می‌شوند، نیازمند بارگذاری مقادیر زیادی از فلزات گران‌بها برای پایداری آن‌ها می‌باشند، که باعث افزایش قیمت پیل‌های سوختی متانول مستقیم می‌گردد. این مساله از دو طریق قابل حل است. راه حل اول جایگزین کردن فلزات گران‌بها با کاتالیزگرهای فلزات ارزان قیمت غیرنجیب است و راه دیگر بررسی سوخت‌های جایگزین است که قادر به اکسید شدن روی کاتالیزگرهای ارزان قیمت باشند. در این روش اسکوربیک اسید که از نظر زیستی ماده‌ای مهم و هم‌چنین ارزان قیمت است بطور گسترده‌ای در منابع برای استفاده در پیل‌های سوختی مورد مطالعه قرار گرفته است. اسکوربیک اسید قادر به اکسید شدن روی فلزات ارزان و غیرنجیب است در حالی که متانول روی فلزات نجیب و در محیط اسیدی اکسید می‌شود [۴۰]. اکسایش الکتروشیمیایی اسکوربیک اسید بطور گسترده‌ای روی Pt، Au و الکترودهای کربنی مورد مطالعه قرار گرفته است. اخیراً مواد بر پایه پلی آنیلین به‌عنوان الکتروکاتالیست برای اکسایش اسکوربیک اسید گزارش شده است. گانسان و همکارانش [۴۰] چندسازه (PANI/TiO₂) را به‌عنوان پایه، کاتالیست برای اکسایش اسکوربیک اسید بررسی نمودند. این گروه، ماهیت خازنی چندسازه (PANI/TiO₂) را بوسیله ولتامتری چرخه‌ای مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که بارداری خازنی الکتروشیمیایی باعث ذخیره انرژی در لایه دوگانه الکتریکی بین الکترولیت و پلی آنیلین می‌شود. ظرفیت الکتریکی چندسازه (PANI/TiO₂) عمدتاً بیشتر از پلی آنیلین است. فعالیت بهتر چندسازه (PANI/TiO₂) ممکن است دلیل اثر هم‌افزایی مابین پلی آنیلین و دی اکسید تیتانیم باشد. چندسازه‌های (PANI/TiO₂)، فعالیت کاتالیتیکی و پایداری بالا در مقایسه با پلی آنیلین نشان می‌دهند. بنابراین نانوجندسازه (PANI/TiO₂) می‌تواند به‌عنوان ماده آندی مناسب برای پیل‌های سوختی اسکوربیک اسید مورد استفاده قرار گیرد [۴۰].

نه تنها باعث کاهش بازدهی سوخت می‌شود بلکه پتانسیل مازاد کاتد را نیز افزایش می‌دهد و منجر به عملکرد پایین پیل می‌گردد. اگر چه غشاهای پرفلوئورینه مانند نفیون یا فلمیون برای پیل‌های سوختی هیدروژن بسیار مناسب هستند، اما برای کاربرد در پیل‌های سوختی متانول مستقیم به دلایل متعدد، مانند هزینه بالا، از دست دادن هدایت در دماهای بالاتر از ۸۰°C و نفوذپذیری بالای آب و متانول، نامناسب می‌باشند. چندین روش برای اصلاح نفیون گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به جایگزینی تعدادی از یون‌های پروتون در نفیون ۱۱۷ با یون‌های Cs⁺ اشاره کرد. روش دیگر توسعه غشاهای چندسازه‌ای (بسپار/اکسید معدنی) است. اخیراً نشان داده شده است که پلی (اتراترکتون)^۱ سولفوناته بدلیل دارا بودن پایداری گرمایی، قدرت مکانیکی و هدایت کافی برای کاربرد در پیل‌های سوختی مناسب است و بسپار خالص تک فازی می‌تواند بوسیله ترکیب با اکسید جامد کاملاً پخش شده اصلاح شود. کالاپا و همکارانش [۴۱] غشاهای نانوجندسازه‌ای (آلی-معدنی) جدید حاوی دی اکسید تیتانیم را در گستره وسیعی بررسی کرده و نتیجه بدست آمده را با عملکرد غشای نفیون ۱۱۵ استاندارد مقایسه نموده‌اند. نتایج بدست آمده نشان داده است که افزایش مقدار دی اکسید تیتانیم در ترکیب غشاهای چندسازه‌ای پلی (اتراترکتون) سولفوناته^۲ باعث افزایش گزینش‌پذیری عبور آب نسبت به متانول می‌شود. این ویژگی برای عملکرد پیل سوختی متانول مستقیم مزیت بزرگی محسوب می‌شود زیرا مانع از کاهش واکنشگرها در الکترودها و هم‌چنین باعث افزایش پایداری طولانی مدت غشاء می‌شود. مقادیر مختلف TiO₂ در ماتریس آلی پلی اتراترکتون سولفوناته منجر به تهیه غشاهای چندسازه‌ای با محدوده گسترده‌ای از ویژگی‌ها در رابطه با هدایت پروتون، جذب آب و متانول و نفوذ آب می‌شود. هدایت پروتونی غشاهای چندسازه‌ای در ۸۰°C به ۰/۰۱ S.cm⁻¹ می‌رسد که نزدیک به غشاهای نفیونی تحت همان شرایط است و نفوذپذیری متانول در غشاهای پلی اتراترکتون سولفوناته بطور قابل ملاحظه ای پایین‌تر از غشاهای نفیونی می‌باشد. در نتیجه غشاهای چندسازه‌ای (پلی اتراترکتون سولفوناته/TiO₂) دارای دورنمای خوبی برای استفاده در پیل‌های سوختی متانول مستقیم می‌باشند [۴۱].

1. PEEK
2. SPEEK

دی اکسید تیتانیم در ماتریس بسیار برای کاربردهای تجاری مورد نیاز است. تجمع نانوذرات TiO_2 در حد میکرومتری، باعث کاهش قابل ملاحظه کارایی تخریب نوری از دو طریق کاهش سطح تماس (پلی وینیل کلرید/ TiO_2) و القای سفید شدگی سریع می‌شود. سفید شدن سریع در اثر القای نور باعث کوتاه شدن عمق نفوذ نور به فیلم چندسازه می‌شود که از تخریب نوری بیشتر جلوگیری می‌کند. نانوذرات حفره‌هایی به اندازه نانو تولید می‌کنند که باعث پراکنده شدن نور ورودی می‌شوند [۴۳].



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با وضوح بالا از (PVC/TiO_2) (الف) بعد از صفر روز (ب) ۱۰ روز (پ) ۲۰ روز (ت) ۳۰ روز تابش دهی نور UV [۴۲].

نتایج تخریب نورکاتالیزی نانوجندسازه (پلی وینیل کلرید/ TiO_2)، توانایی این نانوجندسازه را برای استفاده به‌عنوان جایگزین سازگار با محیط زیست برای دفع پسماندهای پلی وینیل کلرید به جای مدفون کردن رایج آن‌ها و زباله سوزهایی که تولید گاز دی اکسید می‌نمایند، ثابت می‌کند. شکل (۴) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده از نانوجندسازه (PVC/TiO_2) را قبل و بعد از تابش دهی با نور فرابنفش بعد از زمان‌های مختلف تابش دهی نشان می‌دهد [۴۲].

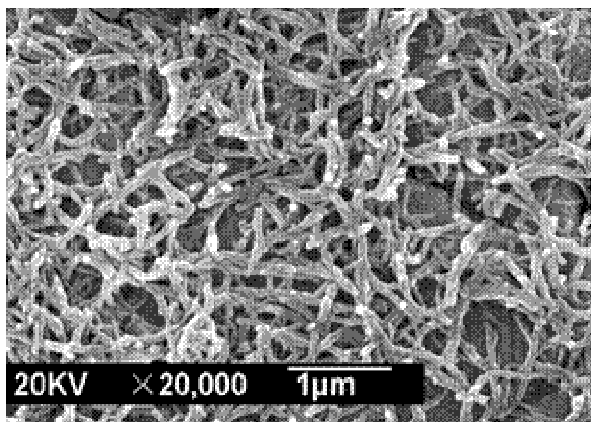
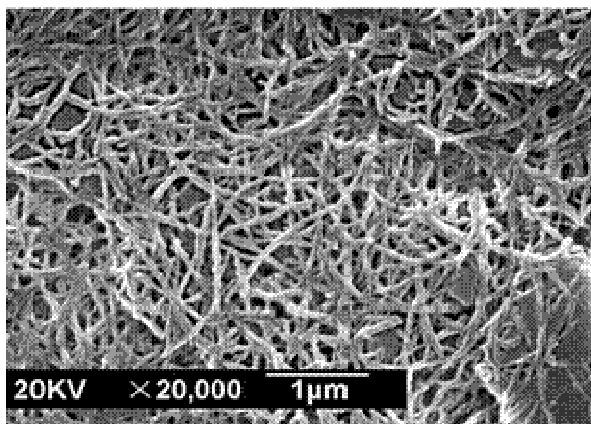
۴-۶ استفاده از چندسازه‌های (بسیار/ TiO_2) در حسگرها
بسیارهای رسانا از قبیل پلی آنیلین، پلی پیرول و پلی تیوفن بطور گسترده‌ای به‌عنوان مواد قابل استفاده در حسگرهای شیمیایی بررسی شده‌اند. با این وجود، مشکل این بسیارهای رسانا

۴-۵ استفاده از نانوجندسازه (بسیار/ TiO_2) در دفع پسماندهای بسیاری

پلی وینیل کلرید یکی از بسیارهایی است که بطور وسیع در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا تعادل مناسبی بین عملکرد و قیمت نشان می‌دهد که این امر کاربرد آن را در لوله‌ها، عایق کابل، ورق‌های بسته بندی و محصولات دارویی امکان‌پذیر می‌سازد [۴۲]. مقدار بسیار زیادی از پلی وینیل کلرید (۲۳ میلیون تن در سال) در سطح جهان برای اهداف مختلف تولید و مصرف می‌شود [۴۳]. زمانی که عمر این مواد به پایان می‌رسد با توده بزرگی از پسماندها روبرو می‌شویم که باعث ایجاد نگرانی جهانی در مورد چگونگی دفع این مواد گردیده است. اگرچه تصفیه پسماندها بوسیله فرآیند زباله سوزی مزایای بسیاری بدلیل درجه بالای تخریب، کاهش زمین مورد استفاده و قابلیت بازیافت انرژی دارد، اما سوزاندن این پسماندها باعث مسائل زیست محیطی جدی مانند خروج دی اکسید سمی از تجهیزات نامناسب یا زباله سوزی نامناسب می‌شود. نانوذرات TiO_2 به علت تاثیر نورکاتالیزی باعث تخریب مواد آلی و بسیاری مانند پلی اتیلن، پلی استایرن، پلی وینیل کلرید می‌شوند [۴۲]. چندسازه کردن چنین بسیارهایی با TiO_2 یک روش جدید برای تخریب پذیری بسیارهای جامد در محیط باز ارائه می‌کند [۴۴].

۴-۵-۱ بررسی تخریب نورکاتالیزی چندسازه (پلی وینیل کلرید/ TiO_2)

آغاز تخریب نورکاتالیزی پلی وینیل کلرید کاملاً متفاوت از تخریب نورکافت است. این نوع تخریب بطور غیرمستقیم از طریق رادیکال‌های اکسند تولید شده بر روی TiO_2 آغاز می‌شود. تحقیقات چو و همکارانش [۴۳] نشان می‌دهد که تخریب نورکافتی پلی وینیل کلرید از تخریب نورکافتی مستقیم آن در چندین جنبه متفاوت است. محل تخریب نورکافتی، در سطح تماس پلی وینیل کلرید با TiO_2 می‌باشد و حفره‌های اطراف ذرات رشد می‌کنند، در حالی که مراکز تخریب نورکافتی بطور یکنواخت در ماتریس پلی وینیل کلرید توزیع می‌شود. در نتیجه فیلم (پلی وینیل کلرید/ TiO_2) سریعاً با پراکنده کردن نور مرئی، سفید می‌شود. مطالعه اخیر ثابت می‌کند چندسازه (بسیار/ TiO_2) توانایی استفاده به‌عنوان یک محصول قابل تخریب در اثر نور را داراست. از سوی دیگر توزیع یکنواخت نانوذرات

□ ■ PANI/TiO₂

□ ○ PANI

شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلم‌های نازک ساخته شده از (PANI/TiO₂) (الف) PANI (ب) [۴۵].

راحتی بشر بلکه برای طیف وسیعی از صنایع و فناوری‌ها مهم است. طراحی یک حسگر رطوبت، موضوع بسیار پیچیده‌ای است، زیرا ساخت حسگرهای رطوبت با عملکرد بالا نیازمند مواردی همچون پاسخ دهی خطی، حساسیت بالا، پاسخ‌دهی سریع، پایداری فیزیکی و شیمیایی، عملکرد در محدوده وسیعی از رطوبت و قیمت پایین می‌باشند. موادی که برای این منظور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند شامل بسپارها، سرامیک‌ها و چندسازه‌ها بوده‌اند. حسگرهای رطوبت ساخته شده با مواد بسپاری به دو دسته نوع مقاومتی و نوع خازنی تقسیم می‌شوند. حسگرهای نوع مقاومتی با الکترولیت‌های بسپاری یا کمپلکس‌های (بسپار-نمک) ساخته می‌شوند، در حالی که نوع خازنی با بسپارهای آب‌گریز ساخته می‌شوند. گزارش‌های بسیاری در مورد تهیه چندسازه‌های (بسپار/ مواد معدنی) براساس بسپارهای شیمیایی و تکنیک الکتروشیمیایی برای کاربرد در حسگرهای گاز و

فرایندپذیری کم، قدرت مکانیکی ضعیف و ناپایداری شیمیایی آن‌ها می‌باشد. یک روش مناسب برای افزایش قدرت مکانیکی و بهبود ویژگی‌های مربوط به حسگرها ترکیب کردن مواد آلی با اجزای معدنی برای تشکیل چندسازه است. در سالهای اخیر چندسازه‌های مختلفی از پلی آنیلین با نانوذرات معدنی برای بدست آوردن مواد با ویژگی‌های بهبود یافته و رفتار مکمل سنتز شده‌اند [۴۵].

۴-۶-۱ استفاده از چندسازه (PANI/TiO₂) در حسگرهای

گازی آمونیاک و مونوکسیدکربن

رام و همکارانش [۴۵] ویژگی‌های یک فیلم بسیار نازک خودانباشته (PANI/TiO₂) را برای تشخیص گاز مونوکسیدکربن و آمونیاک بررسی کردند. رفتار پاسخ مشاهده شده برای فیلم نازک نانوحندسازه (PANI/TiO₂) حساسیت بالاتر، پاسخ سریعتر و سرعت بازیابی بیشتر حسگر نانوحندسازه را در تشخیص آمونیاک نسبت به حسگر پلی آنیلین خالص نشان داد. کاملاً واضح است که ذرات TiO₂ بر روی ریخت‌شناسی فیلم نانوحندسازه تأثیر می‌گذارد و منجر به تغییر رفتار (بازیابی- پاسخ) حسگر می‌شود.

ریخت‌شناسی سطح فیلم‌های نازک (PANI/TiO₂) و PANI در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود نانوحندسازه دارای یک ساختار سوراخ مانند است و ابعاد ذرات در محدوده نانو قرار می‌گیرد. حفرات بسیاری روی سطح وجود دارد که بنظر می‌رسد در پاسخ دهی سریع‌تر و برگشت پذیری بهتر حسگر مشارکت دارند. نفوذ گاز در ساختارهای متخلخل بسیار آسان‌تر است و بنابراین واکنش بین مولکول‌های گاز و فیلم نازک نانوحندسازه به سهولت انجام می‌شود. اندازه حفرات روی فیلم نازک (PANI/TiO₂) بسیار بزرگ‌تر از فیلم PANI خالص است. بدلیل سطح تماس بیشتر و افزایش عمق نفوذ مولکول‌های گاز، بطور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش میزان نفوذ شده و بنابراین مقادیر پاسخ حسگر فیلم نازک (PANI/TiO₂) به دلیل نسبت سطح به حجم بالا افزایش می‌یابد [۴۵].

۴-۶-۲ حسگرهای رطوبت بر پایه فیلم‌های نازک

نانوحندسازه (پلی پیروول /TiO₂)

رطوبت جزء مهمی از محیط زیست است و کنترل آن نه تنها برای

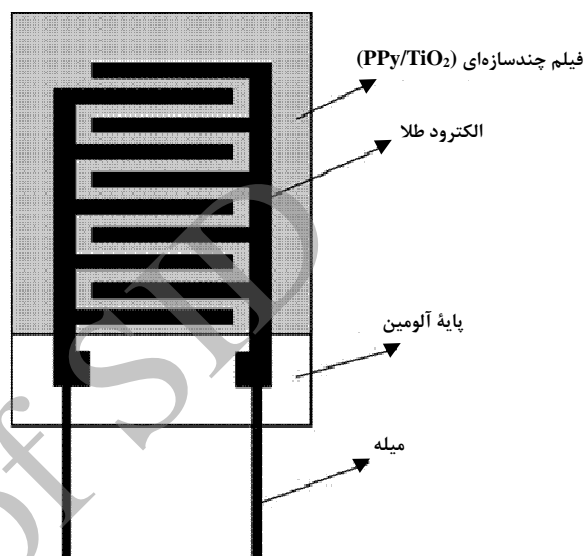
بسته بندی سبک وزن است که نور UV را بلوکه می کند و همزمان دارای عملکرد بالا و شفافیت نیز می باشد. پوشش های مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی نباید مواد سمی تولید کنند یا هیچ گونه مواد مضر از خود بر جای گذارند و تا جایی که ممکن است ویژگی مواد غذایی را تغییر ندهند. دی اکسید تیتانیم بطور گسترده ای در صنایع غذایی به عنوان افزودنی کاربرد دارد. بسیار کیتوزان^۱ (کوبسپار β -(۱-۴)-۲-استامیدو-۲-دئوکسی-D- β -گلوکوز و β -(۱-۴)-۲-آمین-۲-دئوکسی-D- β -گلوکوز) نیز بدلیل غیر سمی بودن و توانایی بالای تشکیل فیلم توجه بسیاری را در این زمینه به خود جلب کرده است. این ویژگی ها، نانوسازها (کیتوزان/ TiO_2) را به گزینه ایده آلی برای پوشش های بسته بندی فعال مواد غذایی تبدیل کرده است. ویسراگ و همکارانش [۱۶] فیلم های چندسازه ای نیمه شفاف با ترکیب دی اکسید تیتانیم و بسپار کیتوزان برای استفاده در پوشش های بسته بندی مواد غذایی را تهیه کرده اند [۱۶].

۴-۸ نانوسازها (بسپار/ TiO_2) با ضریب شکست بالا

ضریب شکست بسپارهای متداول در بیشترین حالت به $1/6$ محدود می شود. برای غلبه بر این محدودیت، مواد معدنی دارای ضریب شکست بالا مانند دی اکسید تیتانیم و غیره به ماتریس، بسپاری افزوده می شود. ذرات کوچک با اندازه قطر کمتر از یک دهم طول موج نور مرئی (۸۰۰-۴۰۰ nm)، (نوعاً کمتر از ۲۵ nm)، باعث جلوگیری از پخش رابلی شده و می توانند برای ساخت فیلم های نانوسازها با ضریب شکست بالا با ماتریس های بسپاری شفاف ترکیب شوند. TiO_2 ضریب شکست بالایی نشان میدهد ($n \sim 2/5$) برای شکل کریستالی آناتاز و $n \sim 2/7$ برای فرم کریستالی روتیل). از این رو نانوذرات دی اکسید تیتانیم یک ماده معدنی مناسب برای افزایش ضریب شکست نانوسازها بسپاری است [۵]. الیم و همکارانش [۴۷] کنترل ضریب شکست و ویژگی های پخش رابلی چندسازها (بسپار/ TiO_2) را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که هر دو ویژگی با افزایش درصد حجمی نانوذرات TiO_2 افزایش می یابد. آن ها نشان دادند که چنین چندسازها هیبریدی دارای ضریب شکست $n > 1/8$ برای محتویات $\text{TiO}_2 \sim 30\%$ هستند و همچنین وابستگی پخش رابلی را به اندازه و مقدار TiO_2 ثابت

1. Chitosan

رطوبت منتشر گردیده است. سو و همکارانش [۴۶] نوع مقاومتری حسگرهای رطوبت را بر اساس فیلم های نازک چندسازه ای (پلی پیرول/ TiO_2) تهیه کردند. در شکل (۶) ساختار اجمالی حسگر رطوبت ساخته شده بوسیله فیلم چندسازه ای (پلی پیرول/نانوذرات دی اکسید تیتانیم) نشان داده شده است.



شکل ۶- ساختار حسگر رطوبت تهیه شده با فیلم چندسازه ای (پلی پیرول/ TiO_2) [۴۶]

حسگرهای تهیه شده بر اساس فیلم چندسازه ای، حساسیت بالاتر، خطیت بهتر، پاسخ دهی سریع تر، زمان بازیابی بهتر و دمای کارکرد پایین بین ۱۵ تا 35°C و پایداری طولانی مدت در مقایسه با حسگرهای بدون نانوذرات TiO_2 را نشان می دهند. در فیلم چندسازه ای، نانوذرات TiO_2 برهنه، سطح فعال الکتریکی بیشتری دارند و بنابراین قادر به جذب بیشتر مولکول های آب در مقایسه با پلی پیرول خالص هستند [۴۶].

۴-۷ استفاده از چندسازها (بسپار/ TiO_2) در تهیه پوشش های بسته بندی مواد غذایی

نور UV می تواند باعث انجام فرایندهای اکسایش شود که عمر محصولات غذایی حساس به نور مانند اسکوربیک اسید، آنتوسیانین، ریبوفلاوین و ویتامین D2 را محدود می کند. پوشش های بسته بندی غذایی ممکن است سرعت چنین واکنش هایی را با جذب و انعکاس بخشی از نور ورودی کند نماید. چالش ها بر سر توسعه پوشش های

نور می‌توانند در سلول‌های خورشیدی و ابزارهای نورولتایی بر پایه مواد بسیاری مورد استفاده قرار گیرند. به‌عنوان افزودنی برای اصلاح بسپارهای جایگزین از نفیون استفاده می‌شود و نانوجندسازهای بدست آمده بدلیل گزینش‌پذیری بالا در برابر آب نسبت به متانول در پیل‌های سوختی متانول مستقیم قابل استفاده خواهند بود. در ضمن از نانوجندسازهای (بسپار/ TiO_2) برای تولید پایه‌های کاتالیزگر به منظور اکسایش سوخته‌های جایگزین متانول استفاده می‌شود. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدلیل میان‌لایه‌سازی یون لیتیم و جلوگیری از رسوب لیتیم فلزی به‌عنوان افزودنی در الکترولیت‌های بسپارشی باتری‌های یون لیتیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این نانوذرات به‌عنوان قالب برای تهیه نانوجندسازهای (هسته- پوسته) استفاده می‌شود که این امر باعث بوجود آمدن نانوجندسازهای با پایداری توزیع بالا می‌شود که ویژگی حساسیت به نور دی‌اکسید تیتانیوم آناتاز را با ویژگی‌های بسپار ترکیب می‌کند. از دی‌اکسید تیتانیوم فاز روتیل که باعث پخش نور تابشی می‌شود، به‌عنوان افزودنی در تهیه روکش‌های چندسازهای استفاده می‌شود. بطور کلی چندسازهای (بسپار/ TiO_2) خواص جالب و منحصر بفردی نشان می‌دهند که با خواص نانوذرات و بسپار به تنهایی متفاوت است و از این رو قابلیت کاربرد در زمینه‌های مختلف صنعت و فناوری را دارا هستند.

مراجع

- [1] Lin, X.; Bian, C.; He, J.; Xu, N.; Xue, G. "Surface modification of TiO_2 nanoparticles by polyaniline" *Applied Surface Science*, 217, 16-22 (2003).
- [2] Wu, D.; Wang, X.; Song, Y.; Jin, Y. "Nanocomposites of poly (vinyl chloride) and nanometric calcium carbonate particles: effects of chlorinated polyethylene on mechanical properties, morphology and rheology" *Journal of Applied Polymer Science*, 92, 2714- 2723 (2004).
- [3] Dutta, K.; De, S. K. "Optical and nonlinear electrical properties of SnO_2 -polyaniline nanocomposites" *Materials Letters*, 61, 4967-4971 (2007).
- [4] Hussain, F.; Hojjati, M. "Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing and application: an overview" *Journal of Composite Materials*, 40, 1511-1575 (2006).
- [5] Nakayama, N.; Hayashi, T. "Preparation and characterization of TiO_2 - ZrO_2 and thioacrylate resin nanocomposites with high refractive index via UV-induced crosslinking polymerization" *Composites: Part A*, 38, 1996-2004 (2007).

کردند. بعلاوه ضریب شکست بالا و شفافیت (پخش رایلی کم) چندسازهای هیبریدی (بسپار/ TiO_2) را به گزینه‌ای خوب برای رساناهای موج نوری و کاربردهای ارتباطات نوری تبدیل نموده است [۴۷].

۴-۹ نانوجندسازهای (بسپار/ TiO_2) با ثابت دی‌الکتریک بالا

تهیه نانوجندساز دی‌اکسید تیتانیوم با بسپارهایی همچون پلی‌آنیلین باعث تولید نانوجندسازهایی با ثابت دی‌الکتریک بسیار بالا تا ۳۷۰۰ می‌شود. چندسازهای بسپاری با ثابت دی‌الکتریک بالا برای استفاده در تحریک شونده‌ها^۱، ماهیچه‌های مصنوعی و ابزارهای ذخیره بار مطلوب هستند [۴۸].

۵- نتیجه‌گیری

نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدلیل دارا بودن برخی از خواص به‌عنوان افزودنی در ماتریس بسپارها برای تهیه نانوجندسازهای با ماتریس بسپاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. دی‌اکسید تیتانیوم بدلیل جذب نور فرابنفش و دارا بودن خاصیت نورکاتالیزی که میتوان گفت بارزترین مشخصه آن است، در تصفیه هوا، فاضلاب و آلاینده‌های محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این مشخصه دی‌اکسید تیتانیوم در تهیه چندسازهای بسپاری با بسپارهایی همچون پلی‌وینیل کلرید، پلی‌استایرن و غیره (که دفع آن‌ها از طریق روشهای متداول باعث ایجاد تهدیدات زیست محیطی می‌گردد) استفاده می‌شود. این نانوجندسازها قابلیت تخریب شدن در مقابل اشعه فرابنفش را دارا هستند. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بدلیل دارا بودن ضریب شکست بالا، در تهیه چندسازهای بسپاری با ضریب شکست بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدلیل ایجاد نفوذ ناپذیری در چندسازهای بسپاری از ذرات دی‌اکسید تیتانیوم همراه با بسپارهای رسانا برای تهیه پوشش‌های ضدخوردگی استفاده می‌شود. بدلیل سطح فعال الکتریکی بالا و ایجاد چندساز بسپاری متخلخل توسط دی‌اکسید تیتانیوم از چندسازهای (بسپار/ TiO_2) در ساخت حسگرهای حساس به گاز استفاده می‌شود. از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان افزودنی در ماتریس بسپارها برای بدست آوردن نانوجندسازهایی با خواص گرمایی و مکانیکی بهبود یافته استفاده می‌گردد. این نانو ذرات، بدلیل داشتن خاصیت حساسیت به

1. Actuator

- [6] Chen, X.; Wu, L.; Zhou, S.; You, B. "In situ polymerization and characterization of polyester-based polyurethane/nano-silica composites" *Polymer International*, 52, 993-998 (2003).
- [7] Yuvaraj, H.; Park, E.; Gal, Y.; Lim, K. "Synthesis and characterization of polypyrrole- TiO₂ nanocomposites in supercritical CO₂" *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 313-314, 300-303 (2008).
- [8] Kim, I.; Kwon, O.; Park, J. B.; Joo, H. "Synthesis and characterization of ABS/silica hybrid nanocomposites" *Current Applied Physics*, 61, e43-e47 (2006).
- [9] Coutinho, C.; Gupta, V. "Formation and properties of composites based on microgels of a responsive polymer and TiO₂ nanoparticles" *Journal of Colloid and Interface Science*, 315, 116-122 (2007).
- [10] Chen, J.; Zhou, Y.; Nan, Q.; Sun, Y.; Ye, X.; Wang, Z. "Synthesis, characterization and infrared emissivity study of polyurethane/TiO₂ nanocomposites" *Applied Surface Science*, 253, 9154-9158 (2007).
- [11] Zhu, M.; Xing, Q.; He, H.; Zhang, Yu.; Chen, Y.; Potchke, P.; Adler, H. "Preparation of PA6/nano Titanium dioxide composites and their spinnability" *Macromolecular Symposia*, 210, 251-261 (2004).
- [12] Coronado, D. R.; Gattorno, G. R.; Pesqueira, M. E. E.; Cab, C.; Coss. R. D.; Oskam, G. "Phase-pure nanoparticles: anatase, brookite and rutile" *Nanotechnology*, 19, 145605-145615 (2008).
- [13] Wold, A. "Photocatalytic Properties of TiO₂" *Chemistry of Materials*, 5, 280-283 (1993).
- [14] Bian, C.; Xue, G. "Nanocomposites based on rutile-TiO₂ and polyaniline" *Materials Letters*, 61, 1299-1302 (2007).
- [15] Zhu, H. J.; Jin, J. H.; Li, G.; Jiang, J. M.; Yang, S. L. "Preparation and improved mechanical properties of nano-TiO₂ filled Poly (p-phenylene benzobisoxazole) fibers" *Polymer For Advanced Technologies*, 20, 351-354 (2009).
- [16] Diaz-Visurraga, J.; Melendrez, M. F.; Garcia, A.; Paulraj, M. "Semitransparent Chitosan- TiO₂ nanotubes composite film for food package applications" *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 3396-3407 (2010).
- [17] Chatterjee, A. "Effect of nanoTiO₂ addition on Poly (methylmethacrylate): an exciting nanocomposite" *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 3503-3515 (2010).
- [18] Chiu, C.; Lin, C.; Hong, P. "Melt spinning and thermal stability behavior of TiO₂ nanoparticle/ polypropylene nanocomposite fibers" *Journal of Polymer Research*, 18, 367-372 (2011).
- [19] Wang, Y.; Ke, Y.; Li, J.; Du, S.; Xia, Y. "Dispersion behavior of core-shell silica- polymer nanoparticles" *China Particuology*, 5, 300-304 (2007).
- [20] Liu, X.; Wu, H.; Ren, F.; Qiu, G.; Tang, M. "Controllable fabrication of SiO₂/polypyrrole core-shell particles and polypyrrole hollow spheres" *Materials Chemistry and Physics*, 109, 5-9 (2009).
- [21] Wang, P.; Wang, D.; Xie, T.; Li, H.; Yang, M.; Wei, X. "Preparation of monodisperse Ag/anatase TiO₂ core-shell nanoparticles" *Materials Chemistry and Physics*, 109, 181-183 (2008).
- [22] Chuang, F.; Yang, S. "Cerium dioxide/polyaniline core-shell nanocomposites" *Journal of Colloid and Interface Science*, 320, 194-201 (2008).
- [23] Gao, J.; Zou, J.; Tan, X.; Wang, Y. "Surface modification of TiO₂ nanoparticles by polyaniline" *Applied Surface Science*, 217, 16-22 (2003).
- [24] Chuang, F.; Yang, S. "Titanium Oxide and polyaniline core-shell nanocomposites" *Synthetic Metals*, 152, 361-364 (2005).
- [25] Wang, D. P.; Zeng, H. C. "Nanocomposites of anatase polyaniline prepared via self-assembly" *Journal of Physical Chemistry*, 113, 8097-8106 (2009).
- [26] Xia, H.; Wang, Q. "Ultrasonic irradiation: a novel approach to prepare conductive polyaniline/nanocrystalline titanium oxide composites" *Chemistry of Materials*, 14, 2158-2165 (2002).
- [27] Sathiyarayanan, S.; Syed Azim, S.; Venkatachari, G. "A new corrosion protection coating with polyaniline-TiO₂ composite for steel" *Electrochimica Acta*, 52, 2068-2074 (2007).
- [28] Radhakrishnan, S.; Siju, C. R.; Mahanta, D.; Patil, S.; Madras, G. "Conducting polyaniline-nanoTiO₂ composites for smart corrosion resistant coatings" *Electrochimica Acta*, 541, 249-1254 (2009).
- [29] Sathiyarayanan, S.; Syed Azim, S.; Venkatachari, G. "Preparation of polyaniline-TiO₂ composite and its comparative corrosion protection performance with polyaniline" *Synthetic Metals*, 157, 205-213 (2007).
- [30] Ferreira, C. A.; Domenech, S. C.; Lacaze, P. C. "Synthesis and characterization of polypyrrole/TiO₂ composites on mild steel" *Journal of Applied Electrochemistry*, 31, 49-56 (2001).
- [31] Kwong, C.Y.; Choy, W. C. H.; Djuricic, A. B.; Chui, P. C.; Cheng, K. W. "Poly (3-hexylthiophene): TiO₂ nanocomposites for solar cell applications" *Nanotechnology*, 15, 1156-1161 (2004).
- [32] Geng, H.; Peng, R.; Han, S.; Gu, X.; Wang, M. "Surface- modified titania nanoparticles with conjugated polymer for hybrid photovoltaic devices" *Journal of Electronic Materials*, 39, 2346-2351 (2010).
- [33] Liu, Z.; Zhou, J.; Xue, H.; Shen, L.; Zang, H.; Chen, W. "Polyaniline/TiO₂ solar cells" *Synthetic Metals*, 156, 721-723 (2006).
- [34] Bhongale, C. J.; Thelakkat, M. "Efficient hybrid polymer/titania solar cells sensitized with carboxylated polymer dye" *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94, 817-822 (2010).
- [35] Han, Z.; Zhang, J.; Yang, X.; Zhu, H.; Cao, W.

- "Synthesis and application in solar cell of poly (3-octylthiophene)/titania nanotubes composite" *Organic Electronics*, 11, 1449- 1460 (2010).
- [36] Kashyout, A. B.; Soliman, M.; Fathy, M. "Effect of preparation parameters on the properties of TiO₂ nanoparticles for dye sensitized solar cells" *Renewable Energy*, 35, 2914-2920 (2010).
- [37] Dziejowski, P.; Grzeszczuk, M. "Towards TiO₂-conducting polymer hybrid materials for lithium ion batteries" *Electrochimica Acta*, 55, 3336-3347 (2010).
- [38] Lai, C.; Li, G. R.; Dou, Y. Y; Gao, X.P. "Mesoporous polyaniline or polypyrrole/anatase TiO₂ nanocomposites as anode materials for lithium-ion batteries" *Electrochimica Acta*, 55, 4567-4572 (2010).
- [39] Lin, C. W.; Hung, C. L.; Venkates Warlu, M.; Hwang, B. J. "Influence of TiO₂ nano- particles on the transport properties of composite polymer electrolyte for lithium-ion batteries" *Journal of Power Sources*, 146, 397-401 (2005).
- [40] Ganesan, R.; Gedanken, A. "Organic-inorganic hybrid materials based on polyaniline/TiO₂ nanocomposites for ascorbic acid fuel cell systems" *Nanotechnology*, 19, 435709-14 (2008).
- [41] Kalappa, P.; Heelee, J. "Proton conducting membranes based on sulfonated poly (ether ether ketone)/TiO₂ nanocomposites for a direct methanol fuel cell" *Polymer International*, 56, 371- 375 (2007).
- [42] Kim, S. H.; Kwak, S.; Suzuki, T. "Photocatalytic degradation of flexible PVC/TiO₂ nanohybrid as an eco-friendly alternative to the current waste landfill and dioxin-emitting incineration of post-use PVC" *Polymer*, 47, 3005-3016 (2006).
- [43] Cho, S.; Choi, W. "Solid-phase photocatalytic degradation of PVC-TiO₂ polymer composites" *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 143, 221-228 (2001).
- [44] Shang, J.; Chai, M.; Zhu, Y. "Solid-phase photocatalytic degradation of polystyrene plastic with TiO₂ as photocatalyst" *Journal of Solid State Chemistry*, 174, 104-107 (2003).
- [45] Ram, M. K.; Yavuz, O.; Lahsangah, V.; Aldissi, M. "CO gas sensing from ultrathin nano-composite conducting polymer film" *Sensors and Actuators B*, 106, 750-757 (2005).
- [46] Su, P.; Huang, L. "Humidity sensors based on TiO₂ nanoparticles/polypyrrole composite thin films" *Sensors and Actuators B*, 123, 501-507 (2007).
- [47] Elim, H.; cai, B.; Kurata, Y.; Sugihara, O.; Kaino, T.; Adschiri, T.; Chu, A.; Kambe, N. "Refractive index control and rayleigh scattering properties of transparent TiO₂ nanohybrid polymer" *Journal of Physical Chemistry B*, 113, 10143-10148 (2009).
- [48] Mo, T.; Wang, H.; Chen, S.; Yeh, Y. "Synthesis and dielectric properties of polyaniline/titanium dioxide nanocomposites" *Ceramic International*, 34, 1767-1771 (2008).