بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

ساخت، مشخصه‌یابی و بررسی خواص نوری هیبرید گرافن-دی‌اکسیدتیتانیوم

فرید خلیل پور تیلمی[۱] ، محمد اکبرزاده پاشا[۱،*]

[۱] گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

[*]نویسنده مسئول: محمد اکبرزاده پاشا

Corresponding author email; m.akbarzadeh@umz.ac.ir, faridkh72t@gmail.com

چکیده : در این پژوهش نانو هیبرید اکسیدگرافن-دی‌اکسیدتیتانیوم (GO/TiO_2)، به روش سل-ژل و با استفاده از واکنش اکسید گرافن و تترابوتیل اورتوتیتانیا در حلال آب و اتانول تهیه شد. ابتدا ورق‌های اکسیدگرافن (GO)، با روش هامرز اصلاح شده، سنتز گردید و سپس از سه غلظت مختلف تترابوتیل اورتوتیتانیا و مخلوط آب-اتانول و اکسیدگرافن، جهت سنتز دی‌اکسید تیتانیوم(TiO_2) و تشکیل نانوبلورهای آن برروی اکسیدگرافن، استفاده شد. مشخصه‌یابی هیبرید ها، با استفاده از میکروسکوپ های الکترونی SEM و TEM، پراش پرتو ایکس XRD، طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکسEDX و طیف سنجی فروسرخFTIR و بررسی خواص نوری نانوساختارها با استفاده ازآنالیز UV-Vis انجام شد. مطالعات میکروسکوپی بهمراه آنالیزهای طیف سنجی نشان داد که در تمام غلظت های مورد مطالعه ساختار هیبریدی شکل گرفته است. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم از فاز بلوری آناتاز برخوردارند. آنالیز EDX نشان داد که با افزایش غلظت پیش ماده تیتانیوم، نشست دی‌اکسید تیتانیوم بر روی اکسیدگرافن افزایش یافته است. در آنالیز FTIR قله مربوط به پیوند نانوذرات TiO_2 با اکسید گرافن مشاهده شد. در طیف UV-Vis نیز افزایش طول موج جذب و کاهش گاف انرژی در ساختار هیبریدی در مقایسه با دی اکسید تیتانیوم تنها مشاهده گردید.

کلید واژه: خاصیت اپتیکی، دی اکسید تیتانیوم، گرافن اکساید، هیبرید اکسیدگرافن – دی‌اکسید تیتانیوم

Synthesis, Characterization and optical property of Graphene-TiO_2 hybrid

Farid Khalilpour Tilami[1], Mohammad Akbarzadeh Pasha[1,*]

[1]Department of Solid state physics, Faculty of Basic science, University of Mazandaran, Babolsar

* Corresponding author email; m.akbarzadeh@umz.ac.ir

Abstract: **In this study, grapheme oxide-titanium dioxide (GO-TiO2) hybrid was prepared by sol-gel method via reaction of graphene oxide and tetrabutyl orthotitania in water and ethanol solvents. Graphene oxide (GO) sheets were first synthesized by the modified Hummers method and then three different concentrations of tetrabutyl orthotitania and a mixture of water-ethanol and graphene oxide were used to form TiO_2 nanocrystals on the graphene oxide sheets. The characterization of the hybrids was performed using SEM and TEM electron microscopes, X-ray diffraction(XRD), X-ray energy dispersive spectroscopy(EDX) and infrared spectroscopy(FTIR) and the optical properties of the nanostructures were investigated using UV-Vis analysis. Microscopic and spectroscopic studies showed that a hybrid structure was formed at all concentrations studied. Titanium dioxide nanoparticles have anatase crystalline phase. The EDX analysis showed that as the concentration of titanium precursor increased, the deposition of TiO_2 on graphene oxide increased. In FTIR analysis, the peak of TiO_2 nanoparticles bonded with graphene oxide was observed. The UV-Vis spectra also showed an increase in the absorption wavelength and a decrease in the energy band gap of the hybrid structure compared to titanium dioxide alone.**

Keywords: Optical Property, Titanium Dioxide, Graphene Oxide, Graphene Oxide - Titanium Dioxide Hybrid

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

مقدمه

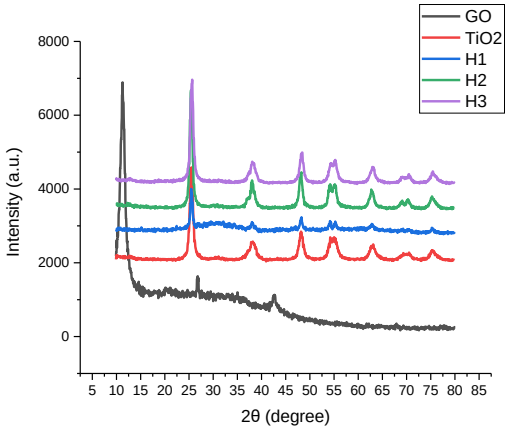
افزایش دمای زمین و آلودگی هوا دو مورد از نتایج زیست محیطی مرتبط با پیشرفت فناوری و تغییرات صنعتی در زندگی بشر هستند. ساخت و توسعه فتوکاتالیست‌های کارآمد و ارزان یکی از روش‌های ممکن برای حل این معضلات زیست محیطی است. در این زمینه دی‌اکسیدتیتانیوم یکی از متداولترین فتوکاتالیست-های مطالعه شده است اما مشکل استفاده از TiO_2 خالص بعنوان یک فتوکاتالیست؛ بازده کم و محدوده‌ی پاسخ نوری باریک آن است. دی‌اکسیدتیتانیوم در محدوده‌ی نور فرابنفش فعال است اما این بخش، تنها ۴٪ از نور خورشید را که به زمین می‌رسد شامل می‌شود[۱]. اگر بتوان شکاف انرژی TiO_2 را کاهش داد یا آن‌را به ماده‌ای با شکاف انرژی کوچک‌تر ترکیب کرد، این ماده در ناحیه نور مرئی فعال شده و مقدار بیشتری از انرژی خورشید جذب می‌کند[۲]. هیبریدسازی با ساختارهای گرافنی، یک ایده-ی جالب برای ایجاد مواد مرکب با سطوح جذب اپتیکی بالا است. در پژوهش حاضر ما بدنبال ترکیب دی‌اکسیدتیتانیوم با گرافن و ساخت هیبرید اکسید گرافن-دی‌اکسیدتیتانیوم و بررسی اثر افزایش غلظت پیش ماده تیتانیوم در ساختار و مورفولوژی هیبرید و خواص نوری آن هستیم.

جزئیات آزمایش

برای سنتز هیبرید GO/TiO_2 ابتدا ۱۸۰ میلی گرم اکسیدگرافن را در ۵۶ میلی‌لیتر اتانول توسط التراسونیک به مدت ۳۰ دقیقه پخش می‌کنیم. سپس ۶ میلی‌لیتر بنزیل الکل و ۱ میلی‌لیتر آب دیونیزه را به محلول اضافه می‌کنیم و برای ۲ ساعت در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به کمک همزن مغناطیسی بهم می‌زنیم. در طول این مدت به کمک هیدروکسید سدیم pH سوسپانسیون در حال همزنی را روی ۱۰ کنترل می‌کنیم. در مرحله بعد برای بررسی اثر غلظت دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب ۲ میلی لیتر، ۴ میلی‌لیتر و ۸ میلی لیتر تترابوتیل‌اورتوتیتانیا را در ۱۲ میلی لیتر اتانول حل کرده و آن را آرام و قطره وار به محلول در حال همزنی اضافه می‌کنیم و به مدت ۱ ساعت در دمای صفر درجه سلسیوس به هم زدن ادامه می‌دهیم. برای جداسازی رسوبات حاصل سوسپانسیون تهیه شده را سانتریفیوژ کرده و برای حذف ناخالصی‌ها سه مرتبه با اتانول شست و شو می‌دهیم. رسوبات به دست آمده را به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک کرده و سپس در کوره‌ای با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه می‌کنیم. نانوساختارهای هیبریدی حاصل را براساس افزایش غلظت پیش ماده تیتانیوم H1، H2 و H3 (بترتیب متناظر با افزودن ۲، ۴ و ۸ میلی لیتر تترابوتیل-اورتوتیتانیا) می‌نامیم. بطور مشابه و با حذف اکسیدگرافن نانوذرات TiO_2خالص را نیز سنتز می‌کنیم.

نتایج

جهت بررسی نوع و فاز بلوری نانوساختارهای GO، TiO_2و هیبرید$GO-TiO_2$، از پراش اشعه ایکس استفاده شد که شکل ۱نتیجه آن را نشان می‌دهد. قله پراش در$2\theta=12^0$ مربوط به صفحات گرافن و دو قله ضعیف پراش در زوایای $2\theta=27^0$ و 43^0 ساختار گرافیتی را نشان می‌دهد [۳]. سایر قله های پراکندگی در نمونه های هیبریدی در زاویه های $۲۵/۳^0$، $۳۷/۹^0$، $۴۸/۱^0$، ۵۴^0، ۶۳^0، $۷۰/۱^0$و ۷۱^0 به ترتیب مربوط به صفحات (۱۰۱)، (۰۰۴)، (۲۰۰)، (۱۰۵)، (۲۱۱)، (۲۰۴)، (۲۲۰) و (۲۱۵) نقشه‌های بلور شناسی فاز آناتاز دی اکسید تیتانیوم می‌باشد [۴]. در الگوی پراش هیبریدها قله ی مربوط به GO مشاهده نمی‌شود که این امرناشی از رسوب شدید و تراکم ذراتTiO_2 بر بدنه GO در نمونه‌های هیبریدی است.



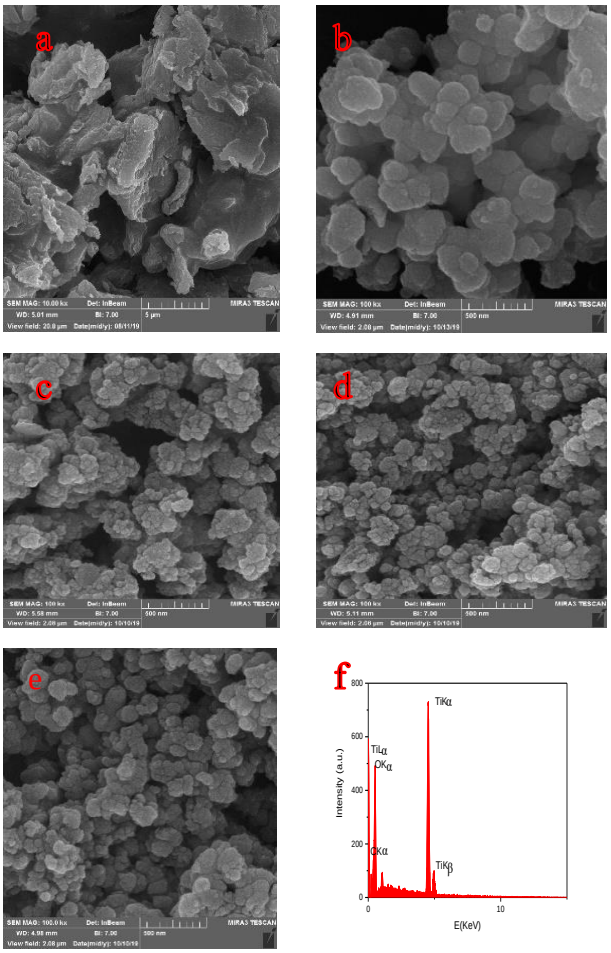
شکل ۱: الگوی پراش XRD از GO، TiO_2، H1، H2، H3.

شکل۲ تصاویر SEM اکسیدگرافن، دی‌اکسیدتیتانیوم و نمودار EDX هیبرید H2 را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل پیداست در تمام نمونه‌های هیبریدی دی‌اکسیدتیتانیوم بخوبی روی گرافن نشست کرده و با افزایش غلظت پیش ماده دی اکسید تیتانیوم تجمع ذرات بیشترشده و تمایل به کلوخه‌ای شدن افزایش یافته است. بر اساس آنالیز EDX (که در اینجا برای اختصار تنها نمودار H2 ارائه شده است) میزان درصد وزنی تیتانیوم نشست کرده در ساختارهای هیبریدی H1، H2و H3 بترتیب برابر ۳۵,۱۵، ۳۷,۲۸، ۴۰,۲۴٪ است که نشان میدهد با افزایش غلظت پیش ماده تیتانیوم در فرآیند ساخت هیبرید

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

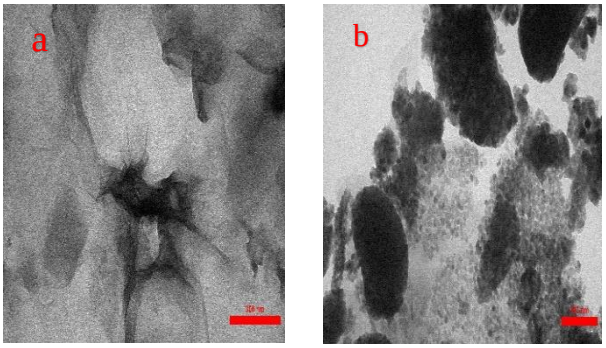
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

میزان نشست نانوذرات تیتانیا بر صفحات اکسید گرافن افزایش می یابد.



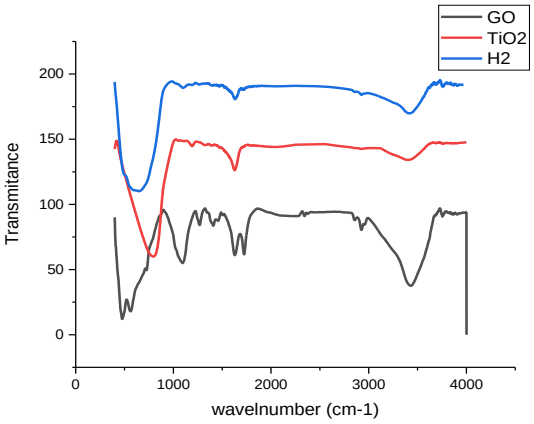
شکل ۲: تصاویر SEM از a) GO، b) TiO_2، c) H1، d) H2، e) H3 و f) نمودار EDX هیبرید H2.

شکل۳ تصویر TEM اکسید گرافن تنها و هیبرید H2 را نشان می‌دهد که در آن بوضوح شکل گیری صفحات گرافنی و نشست نانوذرات تیتانیا روی این صفحات دیده میشود.



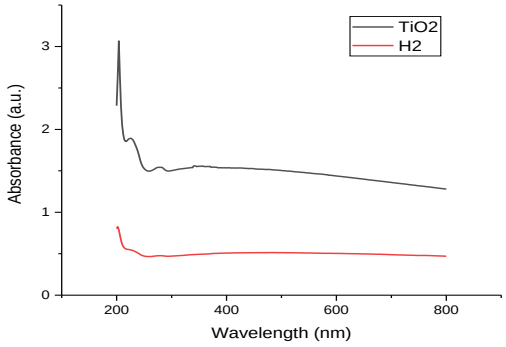
شکل ۳ : تصاویر TEM a) GO و b) هیبرید H2 . خط مقیاس در a برابر با ۳۰۰nm و در b برابر با ۱۰۰nm می‌باشد .

با استفاده از مشخصه‌یابی FTIR نمونه ها می‌توان نوع پیوند بین نانوذرات و شیمی سطح نمونه‌های ساخته شده را بررسی کرد. شکل ۴ طیف FTIR اکسیدگرافن، TiO_2 و هیبرید H_2 را نشان می‌دهد. در طیف اکسیدگرافن، قله جذب در ۳۴۰۰cm^{-1} نشان دهنده ارتعاشات پیوند گروه هیدروکسیل (O-H)، قله در cm^{-1} ۱۷۳۴ ناشی از ارتعاش پیوندC=O گروه‌کربوکسیل (C=O-OH) قله ۱۶۲۷ cm^{-1} نشان دهنده پیوند C=C و قله های ظاهر شده در بازه ۱۲۵۰ cm^{-1}- ۱۰۰۰ مبین ارتعاشات پیوند C-O-C گروه اپوکسی و پیوند C-O گروه کربونیل است. قله‌های جذبی زیر ۱۰۰۰ cm^{-1} در طیف TiO_2 تنها و طیف هیبریدها معرف ترکیب موثر هر دو پیوند Ti-O و Ti-O-C است و قله‌ی ۱۶۲۹ cm^{-1} مربوط به ارتعاش پیوندهای H-O در TiO_2 است [۵].



شکل ۴ : طیف FTIR از GO، TiO_2 و H2.

شکل ۵ طیف UV-Vis نانوذرات TiO_2 تنها و هیبرید H2 را نشان می‌دهد. طبق این شکل، طول موج جذب هیبرید در حدود ۳۰۰nm است که نسبت به TiO_2 تنها با طول موج جذب تقریبا ۲۰۰nm افزایش داشته است. لذا لبه‌ی جذب با افزودن گرافن افزایش یافته که نشان دهنده‌ی کوچک‌تر شدن گاف نواری TiO_2 خالص با افزودن اکسیدگرافن است.

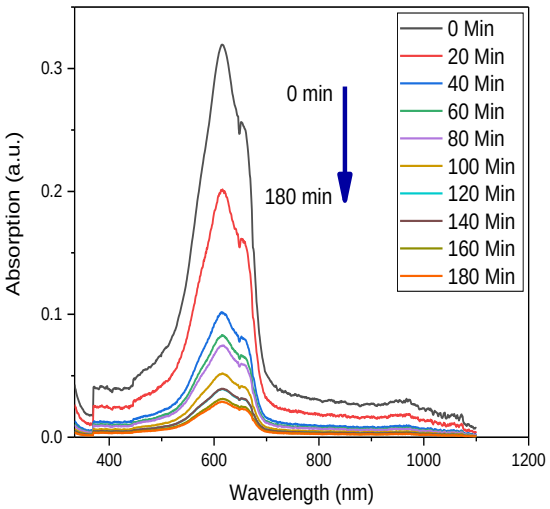


شکل ۵ : طیف جذب UV-Vis مربوط به TiO_2 و هیبرید H2.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

از نانوذرات تیتانیا و ساختارهای هیبریدی سنتز شده برای تجزیه فتوکاتالیستی رنگ متیلن آبی تحت نور مرئی استفاده شد. شکل ۶ نمودار جذب محلول آبی متیلن آبی را با غلظت اولیه ۱۰ ppm در حضور هیبرید H3 نشان می‌دهد. در اینجا برای اختصار از درج نمودار بقیه ساختارها صرف‌نظر شده است. این نمودار کاهش شدید جذب که نشان‌دهنده کاهش غلظت رنگ و تجزیه آن به‌مرور زمان است را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که راندمان تجزیه فتوکاتالیستی رنگ توسط ساختارهای هیبریدی بسیار بیشتر از TiO_2 تنهاست که این نتیجه ناشی از اثرات هم افزاینده گرافن و تیتانیا در ساختار هیبریدی و کاهش گاف انرژی تیتانیا در اثر هیبرید شدن است.



شکل ۶: تغییرات جذب محلول آبی متیلن آبی در حضور فتوکاتالیست H3 .

نتیجه گیری

در این پژوهش ابتدا اکسید گرافن به‌روش هامرز اصلاح شده، سنتز و سپس نانوذرات TiO_2 به روش سل-ژل برروی آن رشد داده شد. تصاویر SEM و آنالیز XRD نشان می‌دهند که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در فاز آناتاز بر روی صفحات اکسید گرافن نشست کرده و ساختار هیبریدی اکسید گرافن- دی اکسید تیتانیوم شکل گرفته است. افزایش غلظت پیش ماده تیتانیوم در فرآیند ساخت هیبرید منجر به افزایش نشست نانوذرات تیتانیا بر صفحات اکسید گرافن میشود. در طیف FTIR نیز تشکیل پیوند Ti-O-C در هیبرید تایید شد. آنالیز UV-Vis نیز افزایش طول موج جذب و کاهش گاف انرژی هیبرید را در مقایسه با دی اکسید تیتانیوم تنها نشان داد که مبین بهبود خاصیت نوری ذرات تیتانیا در اثر هیبریدشدن با گرافن می‌باشد.

مرجع‌ها

[۱]. Adan-Mas, A., Wei, D. (2013). Photoelectrochemical properties of graphene and its derivatives. Nanomaterials, vol.3(no. 3), 325-356.

[۲]. Qiu, J., Zhang, P., Ling, M., Li, S., Liu, P., Zhao, H., &Zhang, S. (2012). Photocatalytic of TiO_2 and reduced graphene oxide nanocomposite for lithium ion battery. ACS Appl. Mater, 3636-3642.

[۳]. Nethravathi, C., Nisha, T., Ravishankar, N., Shivakumara, C., & Rajamathi, M. (2009). Graphene–nanocrystalline metal sulphide composites produced by a one-pot reaction starting from graphite oxide. *Carbon*, *47*(8), 2054-2059.

[۴]. Lim S.P., Pandikumar A., Lim H.N., Ramaraj R., Huang N.M., (2015). Boosting photovoltaic performance of Dey-Sensitized solar cells using silver Nanoparticle-Decorated N,S-co-doped-TiO_2 Photoanod. SCIENTIFIC REPORTS. 5:11922.

[۵]. Chen, Y., Crittenden, J. C., Hackney, S., Sutter, L., & Hand, D. W. (2005). Preparation of a novel TiO2-based p-n junction nanotube photocatalyst. *Environmental science & technology*, *39*(5), 1201-1208.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]