

پوشش دهی نانو ذرات اکسید روی توسط پلی اتیلن گلیکول

غلامرضا نبیونی و منیر سادات سعادت

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اراک

ابوالفضل براتی

گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک

(دریافت مقاله : ۸۹/۰۵/۲۳ - پذیرش مقاله : ۹۰/۰۹/۰۷)

چکیده

جذب سطحی پلیمرها به وسیله نانو ذرات، پایداری سوسپانسیون را در برابر کلوخه شدن بهبود می بخشد. در این مقاله، برای جلوگیری از کلوخه شدن، از نانو ذرات اکسید روی (ZnO) به عنوان اکسید فلزی انتخابی و از پلی اتیلن گلیکول (PEG) به عنوان پلیمر جذب شونده انتخابی استفاده شده است. انجام عمل جذب، توسط طیف سنجی فرو سرخ (IR)، اندازه و ساختار کریستالی نانو ذرات توسط آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، میزان جرم پلیمر پوششی توسط آنالیز گرما وزن سنجی (TGA) و بلاخره میزان کلوخه ای شدن و انباشتگی نانو ذرات توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش جرم مولکولی پلی اتیلن گلیکول سبب افزایش جرم پلیمر جذب شده بر روی نانو ذرات، کوچک شدن اندازه آن ها و کروی تر شدن ذرات شد. نتایج بدست آمده نشان می دهد پس از پوشش دهی، پراکنش نانو ذرات ZnO بیش تر شده و میزان کلوخه ای شدن ذرات کم تر شده است.

واژه های کلیدی: پوشش دهی، نانو ذرات اکسید روی، جذب سطحی، پلی اتیلن گلیکول، کلوخه ای شدن.

Coating of ZnO nanoparticles by polyethylene glycol

Gh. Nabiyouni and M. Saadat

Department of Physics, Faculty of Sciences, Arak University

A. Barati

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University

(Received 13 August 2010, accepted 27 November 2011)

Abstract

Polymer coating is an effective way for modifying the particle surface. Polymer adsorption by nanoparticles improves the stability of the suspension against aggregation. In order to prevent nanoparticles from aggregation, in this work, zinc oxide nanoparticles and polyethylene glycol (PEG) are used as nano-sized metal oxide powder and adsorbed polymer, respectively. The adsorption process is analyzed by the infrared spectroscopy (IR) technique. The size and structure of zinc oxide nanoparticles have been characterized by X-ray diffraction (XRD). The amount of the adsorbed polymer was measured by thermogravimetry analysis (TGA) method. Moreover, the aggregation and accumulation of the nanoparticles was studied using scanning electron microscopy (SEM). We found that, using the polymers with lower average molecular weight made nanoparticles with higher adsorption, lower size, and a more spherical shape. Our results show that the coating process is an effective way of avoiding aggregation, sticking, and clumping of nanoparticles.

Keywords: Coating, Zinc Oxide Nanoparticles, Surface Adsorption, Polyethylene-Glycol, Agglomeration

E-mail of corresponding author: g-nabiyouni@araku.ac.ir

مقدمه

ساختن آب از ماده اولیه استفاده شده است. کارآیی این روش در تحقیقاتی که قبلاً انجام شده به تایید رسیده است [۱۳]. روش دیگر مؤثر برای اصلاح سطح ذرات و جلوگیری از کلوخه ای شدن و انباشتگی نانو ذرات ZnO، استفاده از پوشش دهی آنها توسط پلیمرها است. در مطالعاتی که به وسیله چندین گروه پژوهشی انجام شده است، مطالعه بر روی جذب پلیمرهایی مانند پلی وینیل پیرولیدون (PVP)، پلی اتیلن گلیکول (PEG)، پلی وینیل الکل (PVA)، پلی آکریل آمید (PAM)، پلی اکریلیک اسید (PAA) و پلی اتیلن اکساید (PEO) بر روی سطح پودرهای اکسید فلزی مانند اکسید سریم (CeO₂)، دی اکسید تیتانیوم (TiO₂) اکسید آهن IV (Fe₃O₄) و آلومینا (Al₂O₃)، در سوسپانسیون های آبی بررسی شده است [۱۴-۱۸]. جذب سطحی پلیمرها بر روی سطح اکسیدهای فلزی به ترکیبات شیمیایی و بر هم کنش های الکترواستاتیکی، پیوند هیدروژنی و نیروهای واندروالس نسبت داده می شود. برای پلیمرهای غیر یونی، فرآیند جذب اولیه از طریق پیوند هیدروژنی صورت می گیرد [۱۹]. در این تحقیق، برای جلوگیری از کلوخه شدن نانو ذرات ZnO، از پلی اتیلن گلیکول استفاده شده است و بر روی پارامترهای مهم و مؤثر بر جذب سطحی این پلیمرها، از قبیل وزن ملکولی متوسط پلیمر بحث می گردد.

مواد و روش آزمایش ها

نانوذرات اکسید روی استفاده شده در این تحقیق از شرکت سپاهان روی اصفهان خریداری شده است. نانو ذرات خریداری شده به روش سل - ژل سنتز شده [۱۲] و دارای مساحت سطح ویژه (اندازه گیری شده به روش BET) ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ (Merck) برای جلوگیری از کلوخه ای شدن نانو ذرات ZnO و مطالعه میزان تأثیر آن ها استفاده گردیده است.

نانو ذرات ZnO به دلیل دارا بودن گاف نواری نسبتاً پهن (۳/۳۷ev)، انرژی تحریک زیاد (۶۰mev) و گسیل نزدیک به فرابنفش، دارای پتانسیل بسیار زیادی برای ساخت قطعات و دستگاه های الکترونیکی است. از جمله این قطعات می توان به سلول های خورشیدی [۱]، حسگرهای گازی [۲]، جذب کننده های شیمیایی [۳]، وریستورها [۶]، دستگاه های الکتریکی و نوری [۵]، پوشش های اتلافی الکترواستاتیک [۶]، کاتالیست های هیدروژناسیون فاز مایع [۷]، کاتالیست های نورتخریبی [۸]، تجهیزات پیزوالکتریک، نمایش گره های گسیل میدانی، مواد محافظ در برابر تابش فرابنفش [۹]، تجهیزات الکترو لومینسانس، دیوده های لیزر فرابنفش [۱۰]، فوتوکاتالیست ها [۱۱] اشاره کرد. کنترل خواص کلئیدی و پایداری توزیع ذرات ZnO در ساخت محصولات صنعتی با کیفیت مناسب، مانند سرامیک ها، پوشش های کاغذی، وسایل آرایشی، رنگ ها، لاستیک و پلاستیک نقش مهمی برعهده دارد [۱۲]. تحقیقات فراوانی برای یافتن روش های جدید تولید این ماده و بر طرف ساختن مشکلات موجود در مسیر تولید آن انجام شده است. با توجه به این که یکی از عوامل اصلی در کیفیت ذرات اکسید روی کوچک بودن اندازه ذرات آن هاست، لذا فرآیند تولید باید به گونه ای طراحی شود که این ذرات به هم نچسبند و به اصطلاح کلوخه نشوند. به هم چسبیدن و کلوخه ای شدن نانو ذرات ZnO را می تون به عوامل زیر نسبت داد:

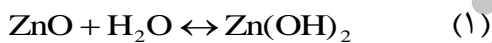
- ۱- نانو ذرات ZnO مانند دیگر نانو ذرات وقتی در محلول ها و ماتریس های آلی پراکنده می شوند، به علت انرژی سطحی زیاد، تمایل به انباشتگی و کلوخه شدن دارند.
 - ۲- تشکیل پیوند Zn-O-Zn به دلیل وجود آب، باعث ایجاد کلوخه های سخت و مقاوم می گردد و مانع از پخش همگن نانو ذرات ZnO در زمینه (ماتریس) مربوطه می شود.
- بنابراین خارج کردن آب از ماده اولیه، یک فرآیند کلیدی برای کاهش تولید کلوخه های مقاوم است. روش های متعددی مانند شستشو توسط یک حلال آلی برای خارج

ZnO توسط آنالیز پراش اشعه ایکس ($\lambda = 1/54 \text{ \AA}$) بررسی و میزان درصد جرم مولی پلیمر جذب شده توسط آنالیز گرما وزن سنجی (مدل Perkin Elmer Diamond TG/DTA) اندازه گیری گردید و کلوخه ای شدن و انباشتگی نانو ذرات ZnO، توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل Philips XL30)، مورد بررسی قرار گرفت.

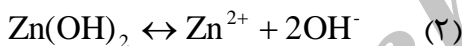
نتایج تجربی

نتایج pH

جدول ۱ نتایج pH سنجی را نشان می دهد. با اضافه کردن آب، pH محلول افزایش می یابد که نتیجه انجام واکنش های (۱) و (۲) در محیط است [۲۰]. انجام این واکنش ها مطلوب است و نشان می دهد در محیط آبی بین نانو ذرات ZnO و ماکروملکول PEG به علت پیوند هیدروژنی شکل (۱) و جاذبه یونی شکل (۲)، پیوند هایی به صورت زیر ایجاد می شود:



و در محیط آبی



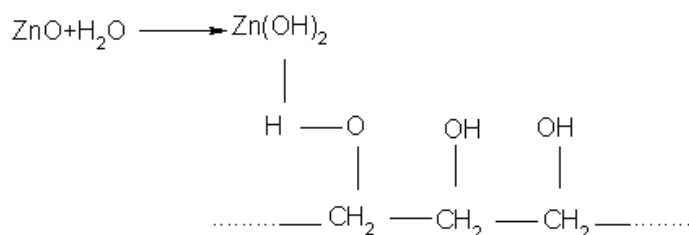
جذب PEG بر روی نانو ذرات ZnO

۱/۵ g نانو ذره اکسید روی در 50 cm^3 آب مقطر مخلوط می شود. pH مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه، به فاصله زمانی ۵ دقیقه، اندازه گیری می گردد. ۱۰g پلی اتیلن گلیکول با وزن ملکولی ۱۰۰۰ در 90 cm^3 آب مقطر حل شده سپس به سوسپانسیون نانو ذرات ZnO اضافه می شود. مخلوط در دمای اتاق توسط همزن مغناطیسی با دور متوسط به مدت ۴۸ ساعت همزده می شود تا جذب صورت پذیرد. سپس ذرات PEG که در آب حل شده اند و جذب نانو ذرات ZnO نشده اند، از ذرات PEG که جذب نانو ذرات ZnO شده اند توسط دستگاه سانتریفیوژ از هم جدا می شوند و طی چند مرحله، با آب مقطر شسته می شوند. پودر حاصل در آن و در دمای حدوداً ۸۰ تا ۹۰ درجه به مدت ۸ ساعت گذاشته می شود تا خشک شود [۲۴]. تمامی مراحل بالا برای PEG با وزن ملکولی ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ تکرار می شود. هر کدام از آزمایشهای بالا در جهت کاهش خطای اندازه گیری سه بار تکرار می شود. نتایج گزارش شده متوسط عددی نتایج بدست آمده از آزمایشهای تکرار است.

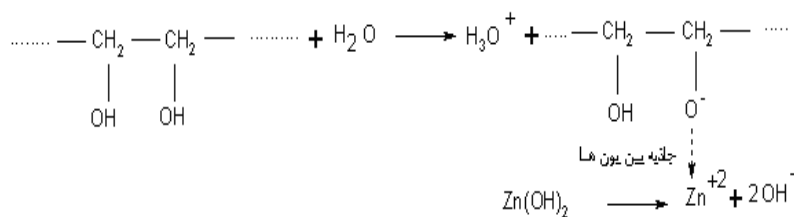
آنالیز IR به وسیله طیف سنج FTIR (مدل Galaxy ۵۰۰۰ series FTIR)، برای مشخص کردن ترکیبات بین سطح ZnO/PEG انجام شد. اندازه و ساختار کریستالی نانو ذرات

جدول ۱. مقادیر pH محلول آبی متشکل از نانو ذرات ZnO و ماکروملکول PEG

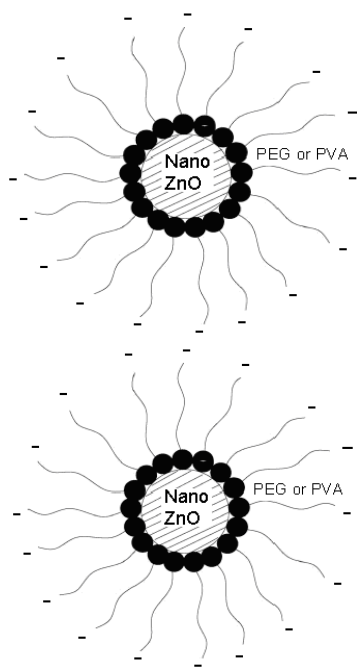
افزایش زمان	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	زمان (دقیقه)
ثابت	۷٫۳۶	۷٫۳۴	۷٫۳۳	۷٫۲۸	۷٫۲۰	۷٫۱۹	pH



شکل ۱. پیوند ایجاد شده بین نانو ذرات ZnO و ماکروملکول PEG به علت پیوند هیدروژنی [۱۵].



شکل ۲. پیوند ایجاد شده بین نانو ذرات ZnO و ماکروملکول PEG به علت جاذبه یونی [۱۵].

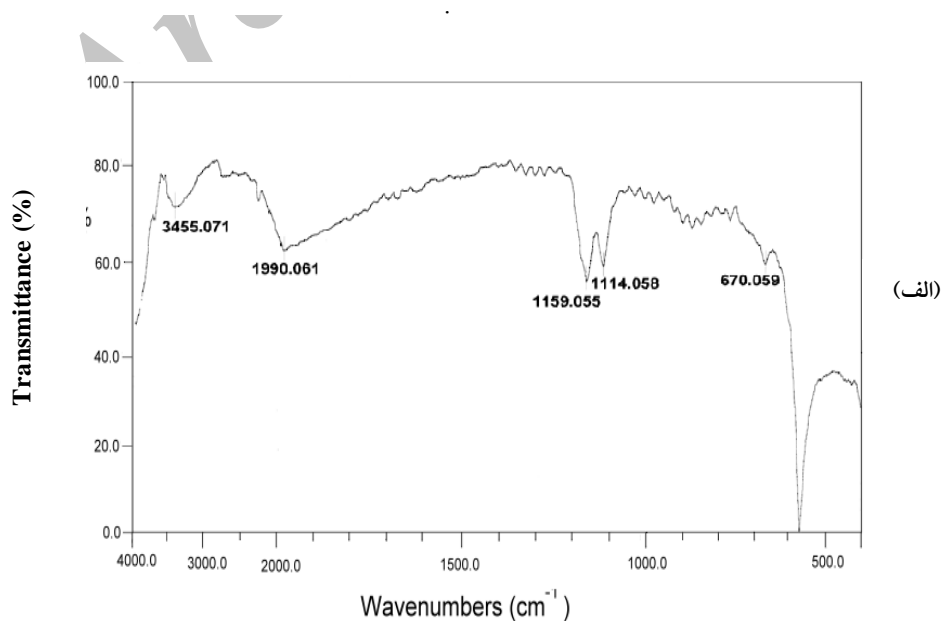


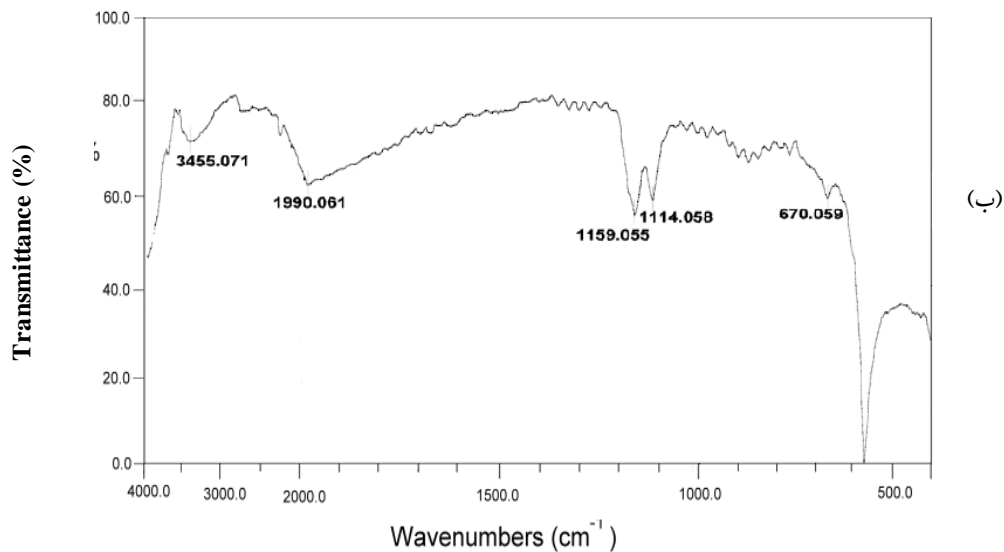
شکل ۳. مدل پیشنهادی برای دافعه الکترواستاتیکی به وجود آمده بین پلیمر های پوشش داده شده

به دلیل دافعه الکترواستاتیکی به وجود آمده بین زنجیره های هیدرولیز شده پلیمری که بر روی سطح نانو ذرات پوشش داده شده است، از به هم چسبیدن و کلوخه شدن نانو ذرات جلوگیری می شود (شکل ۳).

طیف سنجی فروسرخ (IR)

از طیف سنجی IR می توان اطلاعات مفیدی در مورد ماکرو ملکول PEG که بر روی نانو ذرات ZnO جذب شده و با آن جاذبه واندروالسی یا یونی برقرار کرده اند را بدست آورد. شکل ۴ طیف IR نانو ذرات ZnO را در غیاب و حضور PEG جذب شده با وزن ملکولی ۲۰۰۰ مقایسه می کند. با توجه به شکل ۴ (الف)، پیکی که در 3455 cm^{-1} ملاحظه می شود، مربوط به گروه هیدروکسیل می باشد، که مشخصه ماکرومولکول PEG است.





شکل ۴. طیف IR (الف) نانو ذرات ZnO، (ب) نانو ذرات ZnO+PEG₂₀₀₀

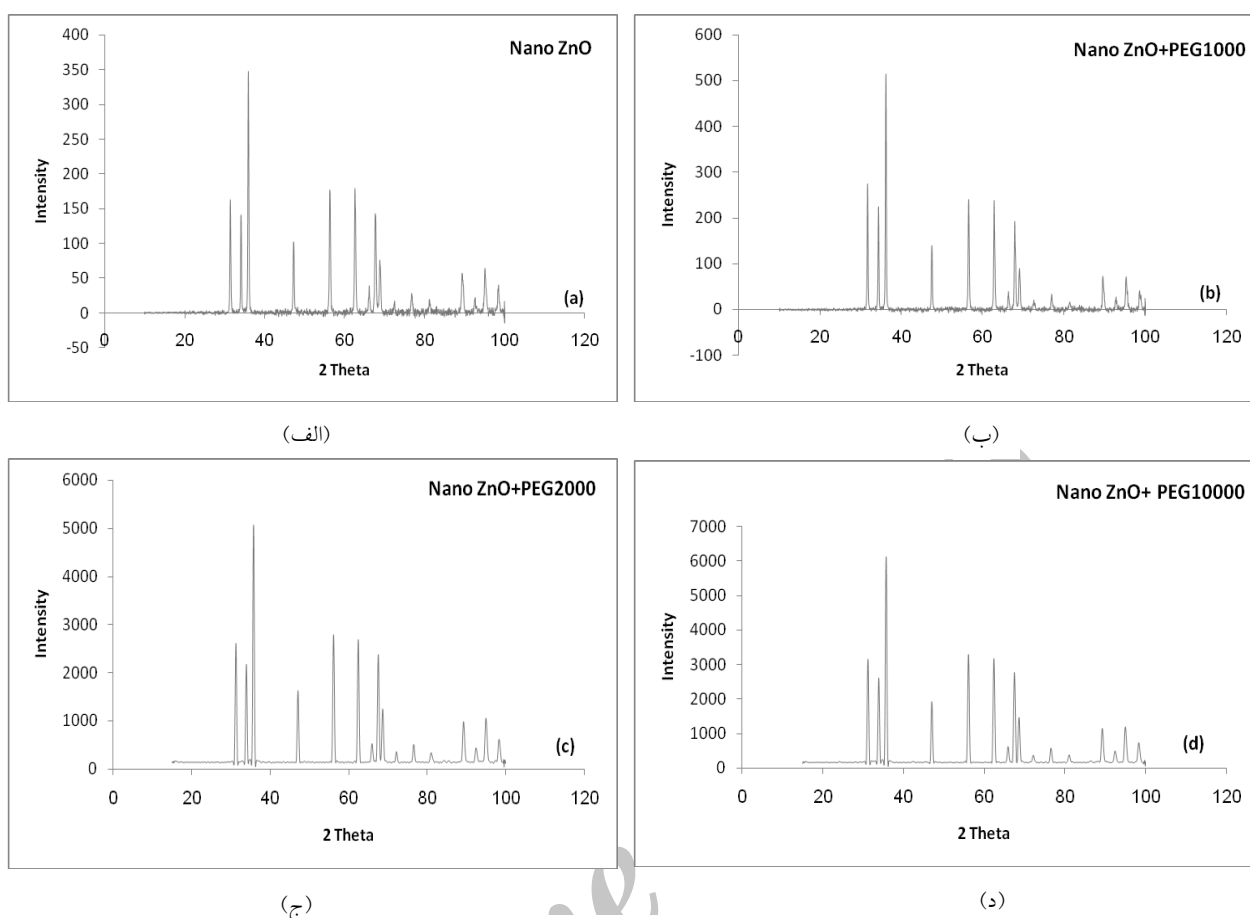
$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، K ثابت شرر است که مساوی یک در نظر گرفته می شود، λ طول موج پرتو ایکس مساوی 1.54 \AA ، β پهناي پیک در نصف ارتفاع ماکزیمم بر حسب رادیان و θ زاویه مرتبط به پیک ماکزیمم پراش براگ است. اندازه نانو ذرات به دست آمده تقریباً مساوی $44/2 \text{ nm}$ است. با مقایسه نقش پراش نانو ذرات ZnO (شکل ۵-الف) و نانو ذرات ZnO پوشش دار شده با PEG₁₀₀₀ (شکل ۵-ب)، PEG₂₀₀₀ (شکل ۵-ج) و PEG₁₀₀₀₀ (شکل ۵-د) مشاهده می شود که نقش پراش نمونه های پوشش داده شده، مشابه با نانو ذرات ZnO است. این مطلب نشان می دهد که جذب PEG با وزن های ملکولی مختلف بر روی سطح ZnO، ساختار کریستالی نانو ذرات ZnO را تغییر نمی دهد. هم چنین وجود پیک های تیز در تمام نمونه ها پوشش داده شده بیان گر ساختار بلوری نمونه ها است [۲۲]. اندازه دانه های حاصل از پوشش دهی نانو ذرات ZnO توسط PEG با وزن های مولکولی مختلف در جدول (۲) آورده شده است.

پیک جذب شده در عدد موج 2850 cm^{-1} ، در شکل ۴، نشان دهنده ارتعاشات کششی گروه CH مربوط به PEG است و جذب ملکول های PEG₂₀₀₀ توسط نانو ذرات ZnO را اثبات می کند. همچنین در شکل ۴، پیک مشاهده شده در عدد موج 3410 cm^{-1} مربوط به گروه هیدوکسیل است که نسبت به پیک OH مربوط به نانو ذرات ZnO یعنی پیک موجود در عدد موج 3455 cm^{-1} به سمت اعداد موج کمتر جابجا شده است و پیوند هیدروژنی به وجود آمده بین PEG با نانو ذرات ZnO را تأیید می کند [۲۱].

پراش پرتوهای ایکس (XRD)

به منظور بررسی اندازه و ساختار نانو ذرات ZnO (بدون پوشش و با پوشش زنجیره های پلیمری) از آنالیز XRD استفاده شد. شکل ۵-الف طیف XRD از نانو ذرات خالص ZnO را نشان می دهد. تقریباً تمامی پیک های استاندارد ZnO بدون پوشش پلیمری با نمونه های پوشش داده شده منطبق اند. پیک های تیز مبین ساختار بلوری نمونه مورد مطالعه است. برای اندازه گیری و محاسبه اندازه نانو ذرات از رابطه دبی - شرر استفاده می شود.



شکل ۴. نقش پراش پرتوهای ایکس (الف) نانو ذرات ZnO پوشش داده نشده، (ب) ZnO+PEG₁₀₀₀، (ج) ZnO+PEG₂₀₀₀، (د) ZnO+PEG₁₀₀₀₀

افزایش اندازه ذرات نسبت به قبل به دلیل افزایش حجم مولکولی PEG در اثر افزایش وزن مولکولی پلیمر است که باعث می شود مولکولی بزرگ تر روی نانو ذرات بنشینند. با این حال نتایج حاصل نشان دهنده اثر پلیمر بر ممانعت از کلوخه ای شدن نانو ذرات ZnO است.

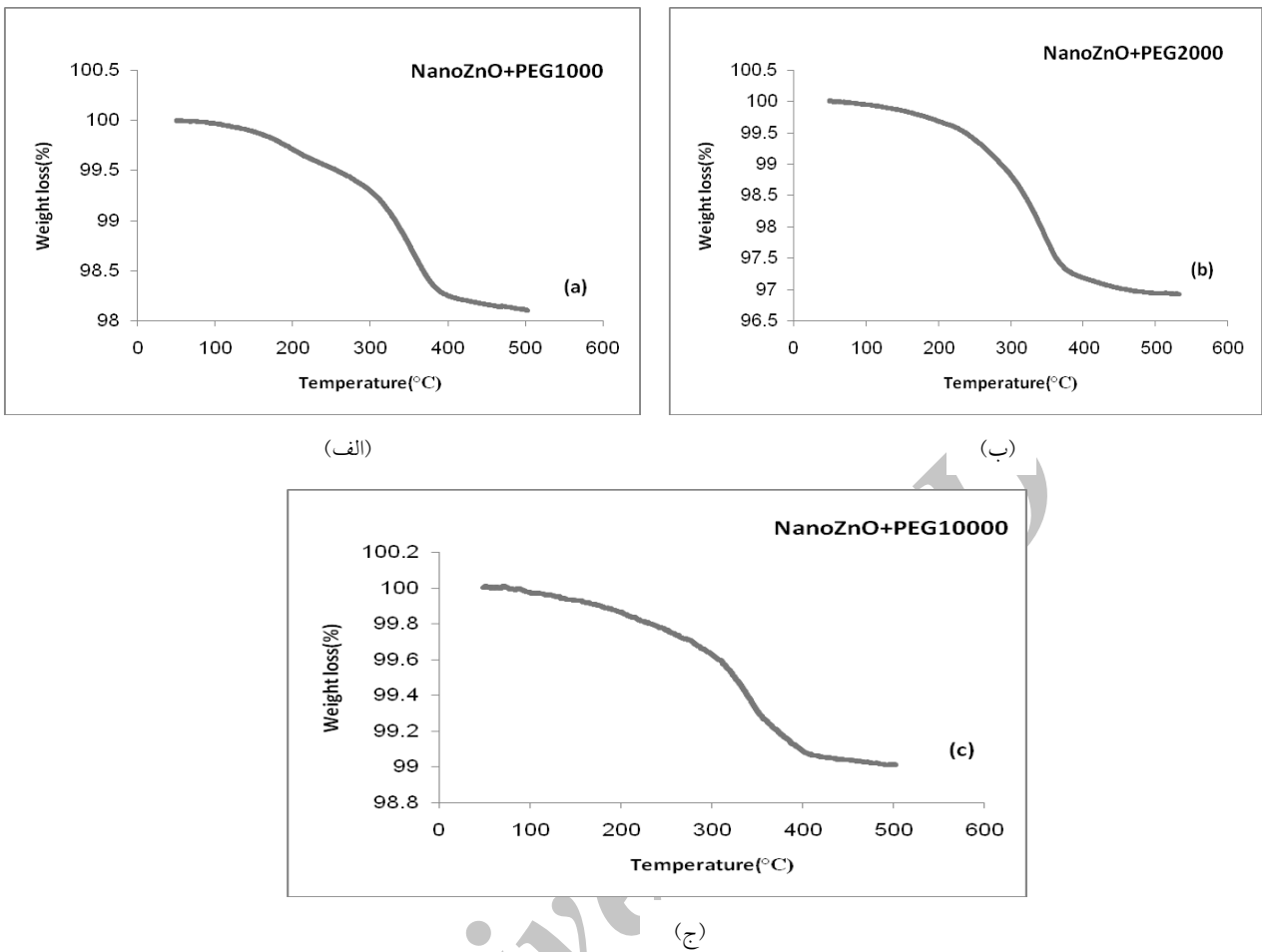
آنالیز TGA

مقدار پلیمر جذب شده بر روی نانو ذرات ZnO، با استفاده از آنالیز گرما وزن سنجی (TGA)، تعیین می شود. منحنی های کاهش جرم مربوط به نانو ذرات ZnO و نانو ذرات ZnO پوشش داده شده با PEG در شکل ۶ نشان داده شده است. در تمام آزمایش های انجام شده، در نمودار های گرما وزن سنجی، کاهش وزنی بر اثر افزایش دما ملاحظه می شود. بررسی کیفی نمودارها نشان می دهد که ملکول های پلیمر بر روی سطح نانو ذرات ZnO جذب شده اند [۲۲].

جدول ۲. اندازه دانه های حاصل از پوشش دهی نانو ذرات ZnO

اندازه دانه (nm)	پلیمر جذب شده روی نانو ذرات ZnO
۳۴٫۰	PEG _{۱۰۰۰}
۴۴٫۲	PEG _{۲۰۰۰}
۴۴٫۲	PEG _{۱۰۰۰۰}

با توجه به اندازه ذرات محاسبه شده برای سه وزن مولکولی مختلف PEG، مشاهده می شود که با کاهش وزن مولکولی اندازه دانه ZnO کاهش پیدا می کند. پلی اتیلن گلیکول با وزن مولکولی پایین باعث جلوگیری از کلوخه ای شدن و به هم چسبیدن نانو ذرات ZnO می شود و در نتیجه اندازه دانه ها کوچکتر از نانو ذرات ZnO پوشش داده نشده است. با رفتن به سمت وزن های مولکولی بالاتر، اندازه دانه ها نسبت به نانو ذرات ZnO پوشش داده نشده، تغییر زیادی نمی کند.



شکل (۶) نمودارهای گرما وزن سنجی از نمونه های (الف) NanoZnO+PEG1000، (ب) NanoZnO+PEG2000 و (ج) NanoZnO+PEG10000

جدول ۳. درصد جرمی پلی (اتیلن گلیکول) جذب شده بر نانو ذرات ZnO

پلیمر جذب شده روی نانو ذرات ZnO	W_i (%)	W_f (%)	T_f (°C)	$\Delta W(\%) = W_f - W_i$	$\Delta W_{mol}(\%) = \frac{\Delta W(\%)}{Mw}$
PEG1000	100	98.104	500	1.896	1.896×10^{-3}
PEG2000	100	96.936	500	3.064	1.535×10^{-3}
PEG10000	100	99.560	500	0.44	0.44×10^{-3}

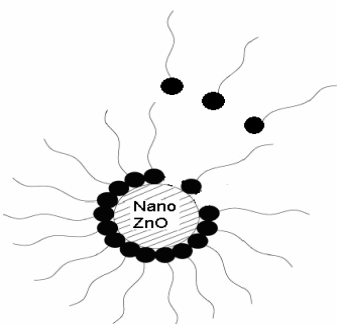
هیدروژنی برقرار می کند، دنباله زنجیره پلیمری در فضا حرکات براونی کرده و مانع از جذب زنجیر های پلیمری دیگر به نانو ذرات می شود. هرچه وزن ملکولی پلیمر کم تر باشد، با طول زنجیره کوتاه تر، این ممانعت فضایی کم تر و در نتیجه مقدار وزنی پلیمر جذب شده روی سطح بیش تر

با توجه به اعداد جدول (۳)، درصد جرمی پلیمر جذب شده بر روی نانو ذرات ZnO نشاندهنده آن است که با افزایش وزن ملکولی میزان جذب پلیمر بر روی نانو ذرات کاهش می یابد. با افزایش وزن ملکولی، طول زنجیر پلیمر افزایش می یابد. وقتی پلیمر مورد نظر با نانو ذرات ZnO پیوند

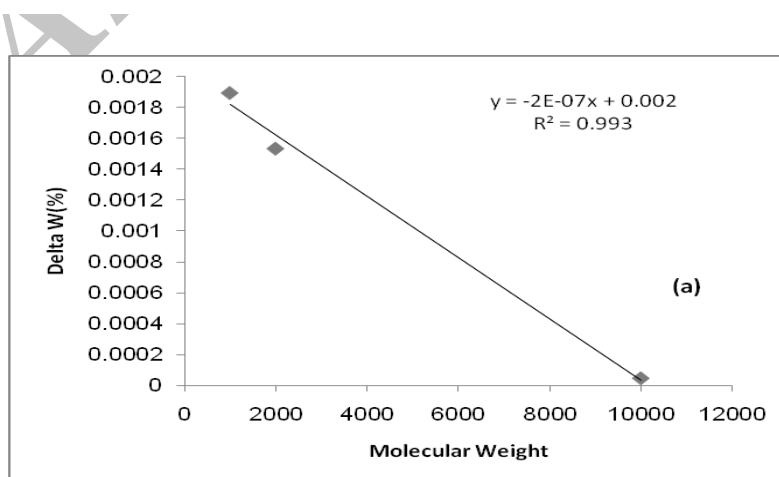
تصاویر SEM

تصاویر SEM نانو ذرات ZnO پوشش داده نشده و نانو ذرات پوشش داده شده، در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به تصاویر، مشاهده می شود که تصاویر SEM مربوط به ZnO پوشش داده نشده کلوخگی و انباشتگی بیشتری را نسبت به نمونه پوشش داده شده نشان می دهد. (شکل ۹-الف تا د) [۲۳]. همچنین از این تصاویر مشخص می شود که برای کم ترین وزن ملکولی از پلیمر پوششی، در هر نمونه آزمایشی، این پراکنش بیشتر است. کلوخگی کمتر که در نتیجه پوشش دهی پلیمر بر روی نانو ذرات ZnO حادث می شود باعث کاهش اندازه ذرات می شود. نتایج XRD و SEM در توافق با یکدیگرند.

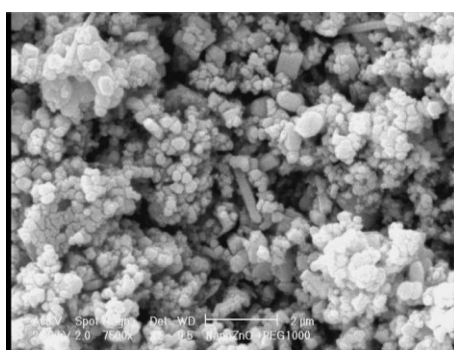
می شود. مدل پیشنهادی برای جذب پلیمر توسط نانو ذرات ZnO در شکل ۷ نشان داده شده است. مشاهده شد در نمونه هایی که پوشش دهی نانو ذرات ZnO به وسیله پلیمرهای با وزن ملکولی کمتر انجام شد، مقدار پلیمر جذب شده بیش تر گردید. با توجه به این که نانو ذرات پوشش داده شده با PEG دارای وزن مولکولی کمتر، پراکنندگی بیشتری نسبت به نمونه های پوشش داده نشده ذرات ZnO نشان می دهند، بنابراین نانو ذرات پوشش داده شده قطر کمتری نسبت به نمونه پوشش داده نشده دارند. نتایج حاصل توسط آنالیز XRD تأیید می شود. شکل (۸) رابطه بین وزن ملکولی و میزان درصد جرم پلیمر جذب شده برای نمونه های پوشش داده شده با PEG را نشان می دهد. تغییرات درصد جرم جذب شده با وزن ملکولی تقریباً خطی است.



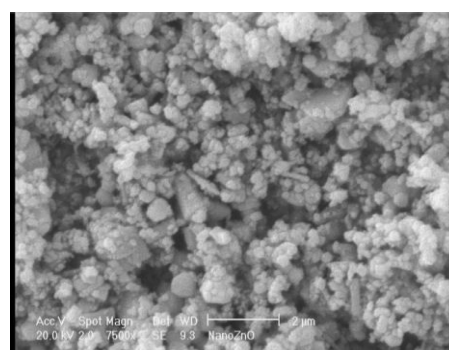
شکل ۷. مدل پیشنهادی برای پلیمر پوشش داده شده بر روی نانو ذرات ZnO



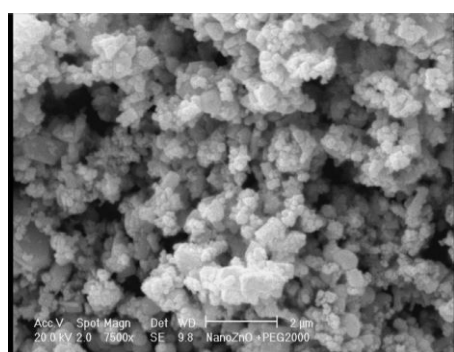
شکل ۸. نمودار تغییرات درصد جرم پوششی بر حسب وزن ملکولی برای نمونه های پوشش داده شده با PEG



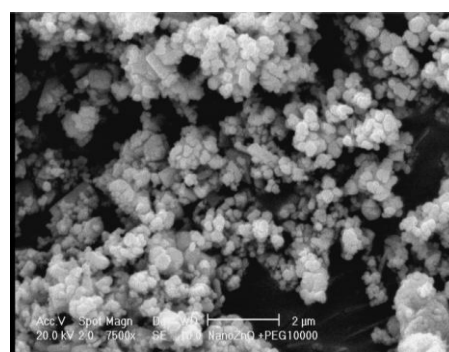
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۹. تصاویر SEM با بزرگنمایی ۷۵۰۰ برابر (الف) نانو ذرات ZnO پوشش داده نشده، (ب) ZnO + PEG۱۰۰۰، (ج) ZnO + PEG۲۰۰۰ و (د) نانو ذرات ZnO + PEG۱۰۰۰۰

رابطه ای تقریباً خطی بین وزن ملکولی و درصد جرم پلیمر جذب شده برقرار است. با توجه به تصاویر SEM، برای وزن های ملکولی کمتر، پراکنش نانو ذرات ZnO، بیش تر است و ذرات کم تر کلوخه ای می شوند.

منابع

1. Z. S. Wang, C. H. Huang, Y. Y. Huang, Y. J. Hou, P.H.Xie, B. W. Zhang and H. M. Cheng, *A highly efficient solar cell made from a dye-modified ZnO-covered TiO₂ nanoporous electrode*, Chemistry of Materials 13(2001).
2. J. Q. Xu, Q. Y. Pan, Y. A. Shun and Z. Z. Tian, *Grain size control and gas sensing properties of ZnO gas sensor*, Sensors and Actuators B: Chemical66(2000)277-279.
3. I. Rosso, C. Galletti, M. Bizzi, G. Saracco and V. Specchia, *Zinc oxide sorbents for the removal of hydrogen sulfide from syngas*, Industrial & Engineering Chemistry Research 42(2003)1688-1697
4. M. Singhal, V. Chhabra, P. Kang and D. O. Shah, *Synthesis of ZnO nanoparticles for varistors application using Zn-substituted*

نتیجه گیری

در این تحقیق پلی اتیلن گلیکول بر روی نانوذرات ZnO پوشش دهی شد. نتایج نشان می دهد که با جذب PEG بر روی نانو ذرات ZnO، از کلوخه شدن و به هم پیوستن آن ها به صورت قابل توجهی جلوگیری بعمل می آید.

صورت پذیرفتن عمل جذب، بر روی نانو ذرات ZnO، توسط طیف سنجی فرو سرخ، تأیید می شود. با مشاهده نتایج بدست آمده از اندازه گیری pH سوسپانسیون مشخص گردید که پلی اتیلن گلیکول از طریق پیوند هیدروژنی با سطح نانو ذرات ZnO پیوند برقرار کرده است. با توجه به نتایج حاصل از XRD، عمل پوشش دهی ساختار کریستالی نانو ذرات ZnO را تغییر نمی دهد و می توان نتیجه گرفت خصوصیات از نانو ZnO که وابسته به ساختار کریستالی هستند بدون تغییر می مانند. برای وزن های ملکولی کم از PEG، قطر متوسط دانه های ZnO پوشش داده شده، کوچک تر است. با توجه به نتایج آنالیز گرما وزن سنجی، مشخص شد که مقدار پلیمر جذب شده بر روی نانو ذرات ZnO برای وزن های ملکولی پایین بیش تر است و برعکس. همچنین

- CeO₂ particles*, Journal of Materials Science, 34(1999)3909-3912.
16. Y. Lin, L. Wang and J. G. Lin, *Preparation and properties of polyacrylic acid stabilized magnetic nanoparticles*, Synth. Met.135-136 (2003)769-770.
 17. S. Chibowski, *Investigation of the mechanism of polymer adsorption on a metal oxide/water solution interface*, Adsorption Science & Technology, 14 (1996)179-188.
 18. S. Chibowski, M. Paszkiewicz and M. Krupa, *Investigation of the influence of the polyvinyl alcohol adsorption on the electrical properties of Al₂O₃-solution interface, thickness of the adsorption layers of PVA*, Powder Technology, 107 (2000)251-255.
 19. S. Chibowski and M. Paszkiewicz, *Studies of some properties and the structure of polyethylene glycol (PEG) macromolecules adsorbed on a TiO₂ surface*, Adsorption Science & Technology, 19(2001)397-407.
 20. Y. W. Zhang, M. Tang and X. Jin, *Polymeric adsorption behavior of nanoparticulate yttria stabilized zirconia and the deposition of asformed suspensions on dense α -Al₂O₃ substrates*, Solid State Sciences, 5(2003)435-440.
 21. M. Nagao, *Physisortion of water on zinc oxide surface*, The Journal of Physical Chemistry, 75(1971) 3822-3828.
 22. X. H. Liu, J. Yang and L. Wang, *An improvement on sol-gel method for preparing ultrafine and crystallized titania powder*, Materials Science and Engineering, 289(2000)241-245.
 23. E. Tang, G. Cheng and X. Ma, *Preparation of nano-ZnO/PMMA composite particles via grafting of the copolymer onto the surface of zinc oxide nanoparticles*, Powder Technology, 161(2006)209-214.
 24. R. Hong, T. Pan, J. Qian and H. Li, *Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles*, Chemical engineering J. 119(2006)71-81.
 5. R. Wu and C. S. Xie, *Formation of tetrapod ZnO nanowhiskers and its optical properties*, Materials Research Bulletin, 39(2004)637-645.
 6. M. Kitano and M. Shiojiri, *Benard convection ZnO/resin lacquer coating a new approach to electrostatic dissipative coating*, Powder Technology, 93(1997)267-273.
 7. G. M. Hamminga, G. Mul and J. A. Moulijn, *Real-time in situ ATR-FTIR analysis of liquid phase hydrogenation of γ -butyrolactone over Cu-ZnO catalysts: a mechanistic study by varying lactone ring size*, Chemical Engineering Science, 59(22-23)(2004) 5479-5485.
 8. M. L. Curridal, R. Comparelli, P. D. Cozzli, G. Mascolo and A. Agostiano, *Colloidal oxide nanoparticles for the photocatalytic degradation of organic dye*, Materials Science and Engineering, C23 (2003)285-289.
 9. J. C. Johnson, H. Yan, R. D. Schaller, L. H. Haber, R. J. Saykally and P. Yang, *Single nanowire lasers*, Journal of Physical Chemistry B, 105(2001)11387-11390.
 10. X. T. Zhang, L. G. Liu, L. G. Zhang, Y. M. Zhang, M. Lu and Z. Shen, *Structure and optically pumped lasing from nanocrystalline ZnO thin films prepared by thermal oxidation of ZnS thin films*, Journal of Applied Physics, 92(2002)3293-3298.
 11. P. Duran, F. Capel, J. Tartaj and C. Moure, *A strategic two-stage low temperature thermal processing leading to fully dense and fine grained doped-ZnO varistors*, Advanced Materials, 14(2002)137-141.
 12. R. Seema, S. Poonam, P. K. Shishodia and R. M. Mehraa, *Synthesis of nanocrystalline ZnO powder via sol-gel route for dye-sensitized solar cells*, Solar Energy Materials & Solar Cells, 92(2008)1639-1645.
 13. S. J. Chen, L. H. Lia, X. T. Chen, Z. L. Xue, J. M. Hong and X. Z. You, *Preparation and characterization of nanocrystalline zinc oxide by a novel solvothermal oxidation route*, Journal of Crystal Growth, 252(2003)184-189.
 14. R. Y. Hong, L. P. Xu, Z. Q. Ren, X. Li and H. Z. Li, *Nanosized ZnO prepared by Homogeneous precipitation and its photocatalytic property*, Chemical Engineering Environ. Protect, 25 (3)(2005)231-234.
 15. S. Lakhwani and M. N. Rahaman, *Adsorption of polyvinylpyrrolidone (PVP) and its effect on the consolidation of suspensions of nano crystalline aerosol of microemulsion*, Materials Research Bulletin, 32(1997)239-274.