

جداسازی لایه‌های MoS_2 با استفاده از سانتریفیوژ آبشاری و بررسی خواص اپتیکی و

الکتروشیمیایی آنها

فربد، منصور^۱؛ کجباغ‌والا، مرضیه^۱^۱ گروه فیزیک، دانشگاه شهید چمران، اهواز

چکیده

در این تحقیق با استفاده از امواج فراصوت پودر حجیم MoS_2 لایه لایه شد. سپس با استفاده از سانتریفیوژ آبشاری دو بازه توزیع باریک از ضخامت بدست آمد. برای نشان دادن کاهش تعداد لایه‌ها از الگوی پراش اشعه ایکس و تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد که این موضوع توسط هر دو آنالیز به خوبی تأیید شد. برای مقایسه خواص اپتیکی و الکتروشیمیایی آنها نیز از هر دو بازه ضخامت به ترتیب طیف جذب UV-Vis و امپدانس الکتروشیمیایی تهیه گردید.

Separation of the MoS_2 layers by cascaded centrifugation and investigation of the optical and electrochemical propertiesFarbod, Mansoor¹; Kajbafvala, Marzieh¹¹ Department of Physics, Shahid Chamran University, Ahvaz

Abstract

In this study, MoS_2 bulk powder was exfoliated by ultrasound waves. Then, a narrow distribution range of thickness was obtained via cascaded centrifugation. To confirm the reduction of layers number, X-Ray diffraction (XRD) and atomic force microscopy (AFM) was used. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and UV-Vis absorbance spectroscopy was used for comparison of optical and electrochemical properties of two obtained individual thicknesses.

PACS No. 81.05

داده‌اند. دی‌سولفید مولیبدن (MoS_2) از این خانواده است که در آن گذار از گاف نواری غیر مستقیم در حالت حجیم به گاف نواری مستقیم در حالت تک‌لایه مشاهده شده است. بسیاری خواص دیگر گزارش شده برای این دسته مواد نیز به مانند گاف انرژی به تعداد لایه‌ها وابسته‌اند [۱-۳]. از این رو در این تحقیق سعی شد دو بازه توزیع باریک از ضخامت بدست آید و خواص اپتیکی و الکتروشیمیایی آنها مورد مطالعه قرار گیرد.

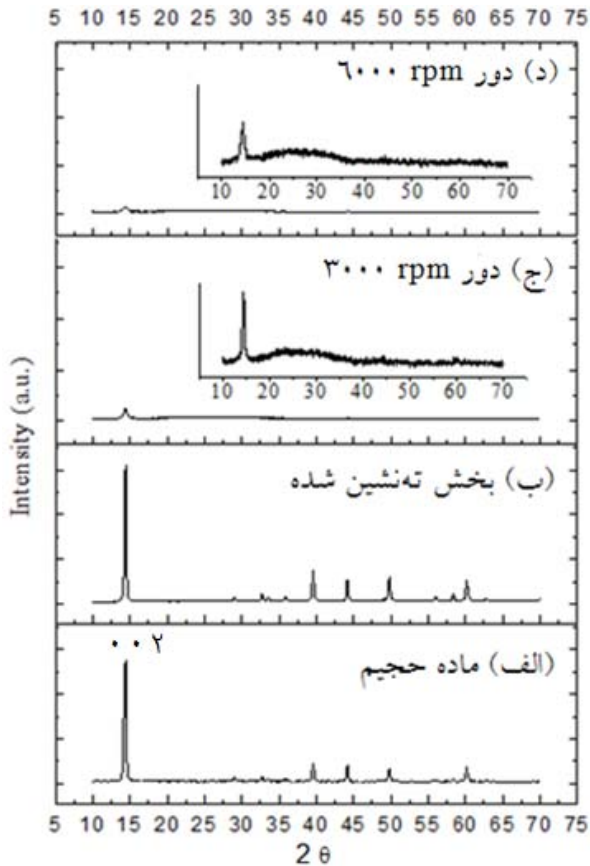
شرح کار

مواد مورد استفاده در این تحقیق عبارت‌اند از: MoS_2 و Sodium cholate (SC) که بالافاصله پس از تهیه مورد استفاده

مقدمه

در طبیعت مواد متعددی به شکل حجیم وجود دارند که به دلیل دارا بودن ساختار لایه‌ای قابلیت تبدیل شدن به مواد دو بعدی را دارند. این مواد از لایه‌هایی با پیوندهای درون صفحه‌ای قوی که با جاذبه بین لایه‌ای ضعیف بر هم انباشته شده‌اند، تشکیل شده‌اند. این وضعیت امکان ورقه‌ورقه‌کردن و تبدیل این مواد را به لایه‌های نازک اتمی و مجزا فراهم می‌سازد. علاوه بر گرافن، مواد دو بعدی لایه‌ای بسیاری شناخته شده‌اند. در این میان، دی‌کالکوژناید‌های عناصر واسطه (TMDCs^1)، بازه‌ی وسیعی از ویژگی‌های الکترونیکی، اپتیکی، مکانیکی، شیمیایی و حرارتی را از خود نشان

¹ Transition metal dichalcogenides (TMDCs)



شکل ۱. الگوی پراش اشعه ایکس (الف) مربوط به پودر حجیم MoS_2 . (ب) بخش ته نشین شده بعد از ۲۴ ساعت استراحت، بخش جدا شده از سوسپانسیون با سانتریفیوژ آبشاری ته نشین شده با دور 3000 rpm (ج) و (د) 6000 rpm .

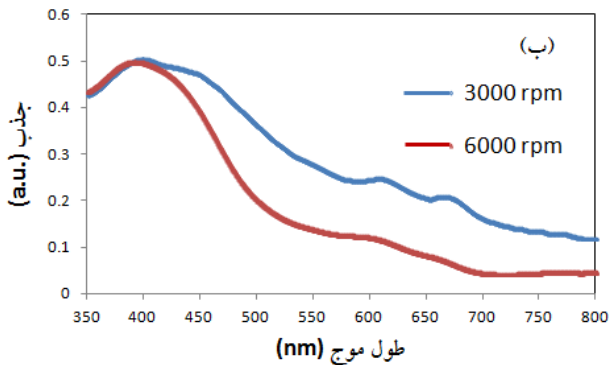
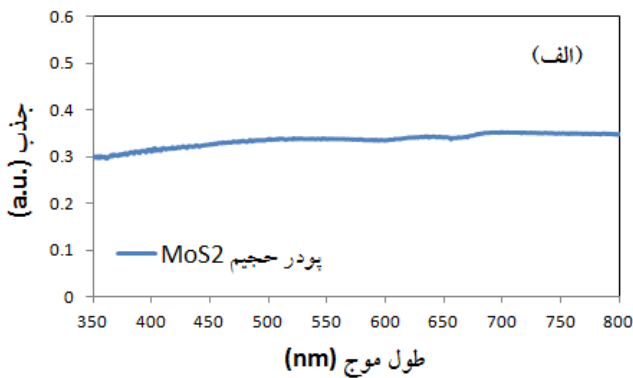
میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM): شکل ۲ تصویرهای مربوط به میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) را نشان می‌دهد. در سمت راست، تصویر و در سمت چپ، نمودار ضخامت مربوط به صفحاتی که در شکل مربوطه با پیکان نشان داده شده‌اند قرار دارد. برای تعیین اندازه بازه توزیع ضخامت و دستیابی به یک مقدار میانگین، تقریباً بر روی تمام لایه‌های مشاهده شده در تصویر اندازه‌گیری انجام شده و این نمودارهای ضخامت به عنوان نمونه در شکل ارائه شده‌اند. شکل‌های ۲-الف-۱ و ۲-الف-۲ مربوط به لایه‌های جدا شده با دور 6000 rpm می‌باشند. برای این نمونه بازه توزیع ضخامت $4-6 \text{ nm}$ بدست آمد. شکل‌های ۲-ب-۱ و ۲-ب-۲

قرار گرفتند. ابتدا مقدار مد نظر از SC (به نسبت یک سوم پودر MoS_2) به 100 ml آب دو بار یونزدایی شده اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی استیرر هم خورد تا کاملاً حل شود. سپس 50 mg پودر MoS_2 نیز به آن اضافه گردید و ۳۰ دقیقه دیگر بر روی استیرر هم خورد. پس از آن به مدت ۱۰ ساعت تحت امواج فراصوت در حمام التراسونیک قرار گرفت. بعد از اتمام فرآیند، سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۴ ساعت ثابت نگه داشته شد تا ذرات سنگین‌تر که متورق نشده‌اند ته نشین شوند. بعد از این مرحله سوسپانسیونی که پس از ۲۴ ساعت همچنان پایدار بود به منظور جداسازی لایه‌های MoS_2 جدا گشته و در ادامه تحت آزمایش سانتریفیوژ آبشاری قرار گرفت [۳-۴]. در این تحقیق سعی شد دو بازه توزیع نسبتاً باریک از ضخامت لایه‌ها بدست آید که بدین منظور دو دور 3000 rpm و 6000 rpm برای انجام سانتریفیوژ انتخاب گردید.

نتایج و بحث:

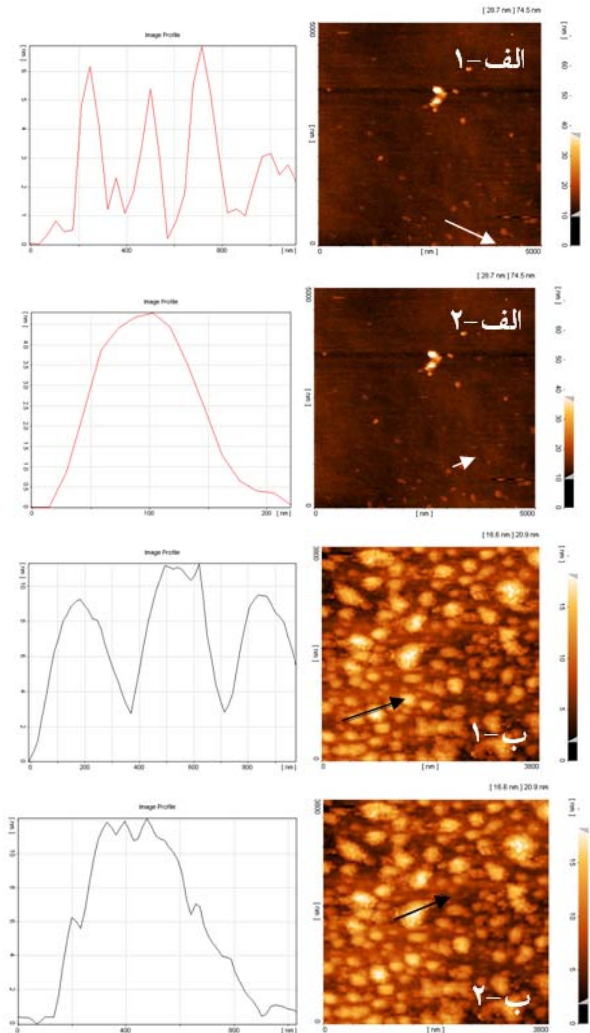
الگوی پراش اشعه ایکس: شکل ۱-الف الگوی پراش اشعه ایکس پودر حجیم MoS_2 را نشان می‌دهد. این الگو منطبق بر کارت استاندارد 00-006-0097 می‌باشد که مربوط به فاز 2H MoS_2 با ساختار شبکه شش‌گوشی است. در شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به بخش ته نشین شده بعد از عملیات متورق سازی (شکل ۱-ب) و لایه‌های MoS_2 با دو بازه ضخامت مختلف (شکل ۱-ج و د) نیز با هم مقایسه شده‌اند. کاهش شدت قله (۰۰۲) و حذف بقیه قله‌ها (شکل ۱-ج و د) نشان از تبدیل پودر حجیم به ساختار لایه‌ای با همان ساختار شبکه شش‌گوشی در فاز 2H است. در شکل ۱-ج و ۱-د برای تشخیص بهتر قله (۰۰۲)، نمودار باز شده این الگو درون شکل اصلی نشان داده شده است.

با دور ۳۰۰۰ rpm می‌باشد. در این طیف دو قله مشخص مربوط به جذب اکسایتونی در طول موج‌های ۶۱۰ و ۶۶۳ nm ظاهر شده- اند که مربوط به گذارهای ناشی از شکافتگی اسپین-مدار در نقطه K از سلول واحد فاز 2H می‌باشند. قله‌های جذب که به ترتیب در طول موج‌های ۴۴۲ و ۳۹۵ nm ظاهر شده‌اند مربوط به گذارهای عمیق بین چگالی حالت‌های الکترونی در تراز ظرفیت و هدایت هستند. منحنی قرمز رنگ پایینی مربوط به لایه‌های سانتریفیوژ آبخاری شده با دور ۶۰۰۰ rpm می‌باشد که ضخامت آن‌ها کاهش پیدا کرده است. همان طور که مشاهده می‌شود مکان قله‌های ذکر شده به طول موج‌های کوچک‌تر انتقال یافته است.



شکل ۳. طیف جذب UV-Vis مربوط به (الف) پودر حجیم MoS₂ و (ب) بخش جدا شده از سوسپانسیون با سانتریفیوژ آبخاری با دور rpm ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰.

۲ نیز مربوط به لایه‌های جدا شده با دور ۳۰۰۰ rpm می‌باشند. برای این نمونه بازه توزیع ضخامت ۸-۱۲ nm بدست آمد.



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مربوط به بخش جدا شده از سوسپانسیون با سانتریفیوژ آبخاری با دور (الف-۱ و ۲) ۶۰۰۰ rpm و (ب-۱ و ۲) ۳۰۰۰ rpm.

طیف جذب UV-Vis: شکل ۳-الف مربوط به طیف جذب UV-Vis پودر حجیم MoS₂ است. همان طور که مشاهده می‌شود هیچ قله جذب مشخصی در بازه طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ nm وجود ندارد. در شکل ۳-ب طیف جذب UV-Vis مربوط به لایه‌های جدا شده با دورهای ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ nm با هم مقایسه شده است. منحنی آبی رنگ بالایی مربوط به لایه‌های سانتریفیوژ آبخاری شده

نتیجه گیری

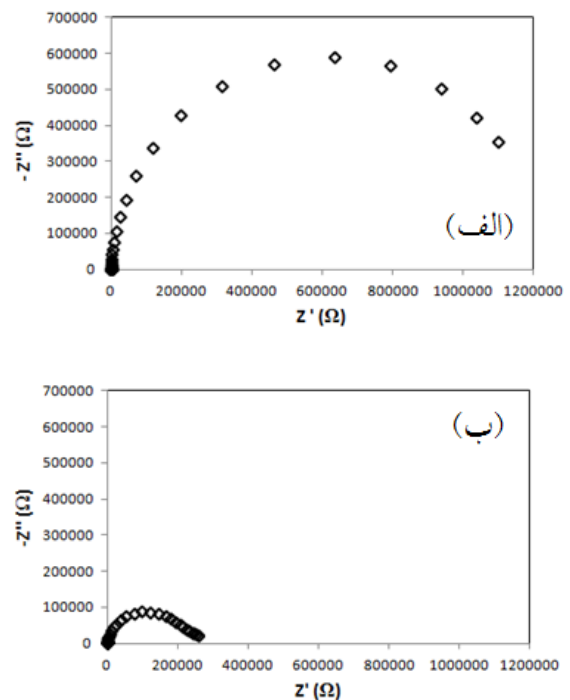
نتایج بدست آمده به خوبی تأیید می کنند که روش سانتریفیوژ آبخاری در جداسازی لایه های MoS_2 مؤثر بوده است. همچنین با توجه به نتایج حاصل از طیف های جذب UV-Vis و امپدانس الکتروشیمیایی وابستگی خواص اپتیکی و الکتروشیمیایی MoS_2 به تعداد لایه ها به خوبی مشخص است.

مرجع ها

- [1] Qing Hua Wang; "Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides"; *Nature nanotechnology* **7**, (2012) 699-712.
- [2] A. Gupta, T. Sakthivel and S. Seal; "Recent Development in 2D Materials Beyond Graphene"; *Progress in Materials Science* **73** (2015) 44-126.
- [3] Jonathan N. coleman; "Two-Dimensional Nanosheets Produced by Liquid Exfoliation of Layered Materials"; *Science* **331**, (2011) 568-571.
- [4] Yu-Xiang Chen; "Large-Scale Production of Large-Size Atomically Thin Semiconducting Molybdenum Dichalcogenide Sheets in Water and Its Application for Supercapacitor"; *Scientific reports* **6**, (2016) 26660-26668.

طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS^2): برای انجام مشخصه یابی EIS لایه های از سوسپانسیون حاصل بر روی زیرلایه FTO قرار گرفت. این لایه به عنوان الکتروود کار در یک سلول سه الکتروودی واقع شد. در این سلول از الکتروود پلاتین به عنوان الکتروود شمارنده و از الکتروود Ag/AgCl به عنوان الکتروود مرجع استفاده شد. محلول نیم مولار NaOH نیز به عنوان الکتروولیت درون سلول قرار گرفت. اندازه گیری ها در ولتاژ مدار باز در بازه فرکانس ۰.۰۱ Hz تا ۱۰۰۰۰۰ Hz انجام شد.

شکل ۵ نمودار نایکوئیست طیف های امپدانس الکتروشیمیایی را نشان می دهد. شکل ۵-الف مربوط به لایه های جدا شده با دور ۳۰۰۰ rpm (دارای ضخامت ۸-۱۲ nm) و شکل ۵-ب مربوط به لایه های جدا شده با دور ۶۰۰۰ rpm (دارای ضخامت ۴-۶ nm) می باشد. همان طور که مشاهده می شود، با کاهش تعداد لایه ها، در شکل ۵-ب مقاومت انتقال بار کاهش یافته است.



شکل ۵. نمودار نایکوئیست طیف های امپدانس الکتروشیمیایی در بازه فرکانس ۰.۰۱ تا ۱۰۰۰۰۰ Hz مربوط به لایه های جدا شده با سانتریفیوژ دور (الف) ۳۰۰۰ rpm و (ب) ۶۰۰۰ rpm.

² Electrochemical impedance spectroscopy (EIS)