

مشخصه‌یابی اپتیکی و ساختاری نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن تهیه شده به روش لایه‌برداری مبتنی بر حلال

الهام رحمانیان^۱ | علی ساجدی مقدم^۲ | امیر بیات^۲ | اسماعیل ساعی و ایرانی‌زاد^۲ | رسول ملک‌فر^۱

۱. گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. گروه فیزیک ماده چگال، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده

نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن به دلیل ظهور پدیده‌های جالب فیزیکی و نیز قابلیت استفاده‌ی گسترده در زمینه‌های مختلف همچون ترانزیستورهای اثر میدان، باتری‌های یون لیتیومی و حسگرهای گازی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال، یافتن روش‌هایی به منظور تولید نانوصفحه‌ها در مقیاس گسترده و به صورت ارزان یکی از چالش‌های اساسی در توسعه‌ی هر چه بیشتر این نانو ساختارها محسوب می‌شود. در این تحقیق، رویکرد لایه‌برداری مبتنی بر حلال برای سنتز نانوصفحه‌های دوبعدی دی‌سولفیدمولیبدن به کمک ترکیب حلال‌های آب و اتانول معرفی می‌شود. استفاده از این ترکیب شامل مزیت‌های برجسته‌ای همچون تولید نانوصفحه‌هایی با ضخامتی در ابعاد اتمی، کاهش حضور ماده حلال در نمونه، بازدهی بالا در تولید نانوصفحه‌ها از نمونه توده‌ای و نیز پایداری تعلیق بدست آمده می‌باشد. ساختار فونونی بلوری، گاف انرژی و ریخت‌شناسی نانوصفحه‌های تولید شده به ترتیب با استفاده از پراکندگی رامان، طیف‌سنجی جذبی، و میکروسکوپ نیروی اتمی بررسی و کنترل شد. نسبت حجمی بهینه برای حلال‌های آب و اتانول به ترتیب ۵۵٪ و ۴۵٪ بدست آمد. مشخصه‌یابی اپتیکی این نانوصفحه‌ها به کمک طیف جذبی، گاف انرژی ۱/۷ الکترون ولت رابرای نانوصفحه‌های چندلایه نشان داد. تجزیه و تحلیل داده‌های مذکور موید تولید نانوصفحه‌های چندلایه دی‌سولفیدمولیبدن است.

واژگان کلیدی: دی‌سولفیدمولیبدن، کالکوزن‌های فلزات واسطه، لایه‌برداری مبتنی بر حلال، نانوصفحه‌ها

۱ مقدمه

تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که علاوه بر ترکیب و آرایش اتم‌ها، بعد نیز در تعیین خواص اساسی مواد نقش مهمی را ایفا می‌کند [۱]. این موضوع در چند سال گذشته با یافتن گرافن دو بعدی که پدیده‌های ماده چگالی خاصی از خود بروز می‌دهد، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲]. گرافن، با وجود آن‌که به لحاظ پایه‌ای و فناوری برای گستره‌ای از کاربردها قابل استفاده است، از نظر شیمیایی خنثی بوده و تنها از طریق عامل دار کردن با مولکول‌های مشخصی فعال می‌شود که در عوض برخی از ویژگی‌های خاص آن تغییر خواهد کرد [۳]. علاوه بر این، گرافن یک شبه فلز بدون گاف انرژی بوده و نمی‌توان از آن در صنعت الکترونیک مبتنی بر نیم‌رساناها استفاده کرد.

رشد سریع روش‌های توسعه یافته برای تولید لایه‌های بسیار نازک گرافن منجر به بررسی سایر مواد دوبعدی نیز شده است. به طور خاص، دی‌کالکوزن‌های فلزات واسطه با ساختار لایه‌ای گرافیت‌گونه (با فرمول کلی MX_2 ، که در آن M فلز واسطه‌ی گروه‌های ۴ تا ۱۰ جدول تناوبی و X یک کالکوزن است)، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. لایه‌برداری این مواد به یک یا چندلایه، ویژگی‌های آن‌ها را به مقدار زیادی حفظ کرده و مشخصه‌های جدیدی ناشی از اثرات محدودیت کوانتومی در نانوصفحه‌ها بروز می‌کنند [۴]. این دسته از مواد، برخلاف گرافن، ویژگی‌های الکترونیکی متنوعی ارائه می‌دهند. به عنوان مثال، فلزات واسطه گروه ۶ همچون مولیبدن و تنگستن در ترکیب با کالکوزن‌ها، نیم‌رساناهایی با گاف انرژی قابل ملاحظه تشکیل می‌دهند [۵]. دی‌سولفیدمولیبدن به عنوان مشهورترین عضو خانواده‌ی دی‌کالکوزن‌های فلزات واسطه، در حالت دوبعدی،

۲ بخش تجربی

ابتدا ۷۵ میلی گرم پودر دی سولفیدمولیبدن (علاالدین، خلوص ۹۹٪) به ۱۰۰ میلی لیتر ترکیب حلال های آب دی یونیزه و اتانول (مرک، خلوص ۹۹٪) با نسبت های حجمی به ترتیب ۵۵٪ و ۴۵٪ اضافه شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفت تا دی سولفیدمولیبدن به خوبی در حلال پخش شود. برای جداسازی لایه های دی سولفیدمولیبدن، محلول فوق به مدت ۸ و ۱۲ ساعت در حمام فراصوت (WiseClean WUC-A22H) با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز قرار گرفت. در ادامه، تعلیق بدست آمده به منظور جداسازی جرمی به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (Hettich Universal 320R/320) شد. در انتها، مایع سطحی حاصل از سانتریفیوژ جمع آوری شد.

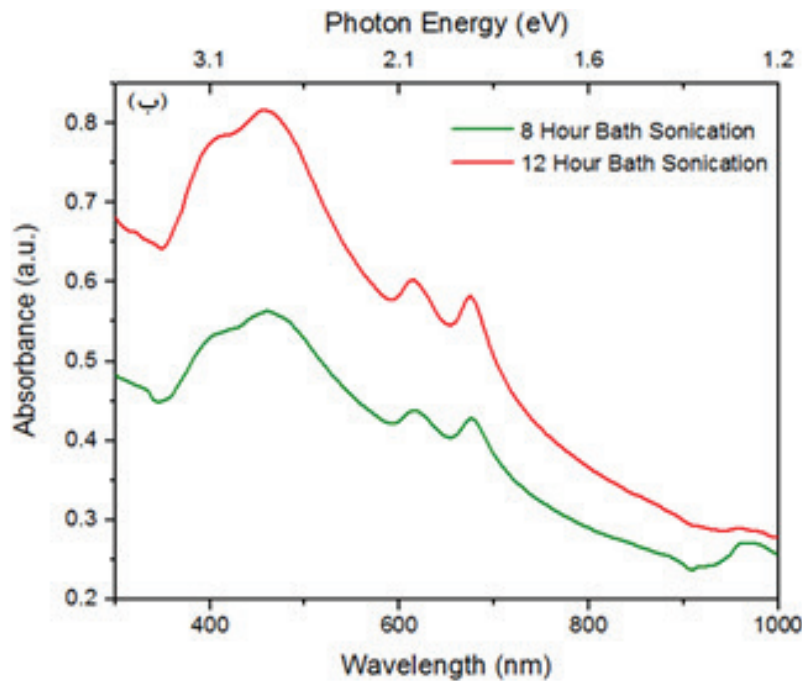
طیف جذبی نمونه های سنتز شده در محدوده نور مرئی و فرابنفش (UV-Vis Spectrophotometer-Unico 4802) اندازه گیری شد. جهت بررسی ساختار بلوری از طیف سنجی رامان (Bruker-Senterra) استفاده شد. طول موج لیزر ۷۸۵ نانومتر بوده و به منظور جلوگیری از آسیب دیدگی ناشی از حرارت، شدت نور فرودی روی ۱ میلی وات تنظیم شد. چند قطره از تعلیق بدست آمده بر روی زیرلایه سیلیکونی نهشت داده شده و پس از تبخیر حلال، طیف رامان از نواحی مختلف نمونه گرفته شد. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی با استفاده از دستگاه (DME DS 95 Series) ثبت شد. به دلیل یکنواختی بسیار بالایی سطح، از صفحه های میکا به عنوان زیرلایه استفاده شد. به منظور تفکیک و جداسازی نانوصفحه ها بر روی زیرلایه میکا، محلول اولیه شامل نانوصفحه های دی سولفیدمولیبدن به اندازه یک دهم غلظت اولیه رقیق و سپس با روش لایه نشانی چرخان بر روی زیرلایه میکا نهشته شد.

۳ نتایج و بحث

تعلیق های مربوط به سنتز نانوصفحه های دوبعدی دی سولفیدمولیبدن در شکل ۱-الف نشان داده شده اند. تصویر نمونه ها دو هفته پس از سنتز گرفته شده است. ثبات رنگ و عدم ته نشینی پس از گذشت این مدت، قابلیت ترکیب آب و اتانول به عنوان حلالی مناسب در تهیه تعلیق های پایدار از نانوصفحه های دی سولفیدمولیبدن را نشان می دهد.

کاربردهای گسترده ای در زمینه های متعددی همچون زیست پزشکی [۶]، حسگری [۷]، کاتالیستی [۸] و ترانزیستورهای اثر میدان [۹] پیدا کرده است. با این حال، معرفی روش های جدید برای سنتز نانوصفحه های دوبعدی دی سولفیدمولیبدن و نیز بهبود روش های سنتز موجود به عنوان یکی از چالش های اساسی مورد توجه است.

نانوصفحه های دوبعدی دی سولفیدمولیبدن می توانند با استفاده از روش های لایه برداری مکانیکی و شیمیایی از نمونه های توده ای و یا مستقیماً به روش نهشت شیمیایی بخار تولید شوند [۱۰]. علی رغم موفقیت های به دست آمده در سنتز تک لایه های با کیفیت بالا به روش لایه برداری مکانیکی، امکان تولید انبوه نانوصفحه ها با استفاده از این روش وجود ندارد. روش های لایه برداری در فاز مایع می توانند برای تولید نانوصفحه های دی سولفیدمولیبدن در مقیاس انبوه به کار روند [۱۱، ۱۲]. با استفاده از اندرهلش یون های فلزات قلیایی همچون لیتیم در فواصل بین لایه ای، می توان نمونه های تک یا چند لایه ای از دی سولفیدمولیبدن تولید کرد [۱۱] با این حال، به دلیل غیرقابل کنترل بودن میزان لیتیم اندرهلش شده و زمان بردن این روش، شیوه های جدیدتری برای لایه برداری در فاز مایع مبتنی بر استفاده از حلال های آلی همچون متیل پیرولیدون و دی متیل فرم آمید پیشنهاد شده است [۱۲]. علی رغم اینکه با به کار بردن این حلال ها، سنتز نانوصفحه ها با بازدهی بالایی انجام می پذیرد، به دلیل نقطه جوش بالا و نیز کشش سطحی زیاد، اغلب مقداری از حلال، در نمونه باقی می ماند. ناپایداری ذاتی این حلال ها، موجب می شود که فرآیند حذف آن ها به سختی صورت گیرد زیرا این حلال ها در دماهای بالا تحت امواج فراصوت پلیمریزه می شوند. حلال باقی مانده در نمونه ها، خواص الکتریکی، حسگری و کاتالیستی نانوصفحه های سنتز شده را تحت تاثیر قرار داده و کاربردهای آن ها را محدود خواهد کرد. بنابراین تلاش برای یافتن حلال های جدید برای رفع موانع موجود مورد توجه می باشد. هدف از این پژوهش، معرفی ترکیب آب و اتانول به عنوان یک حلال جایگزین در سنتز نانوصفحه های دوبعدی دی سولفیدمولیبدن می باشد.



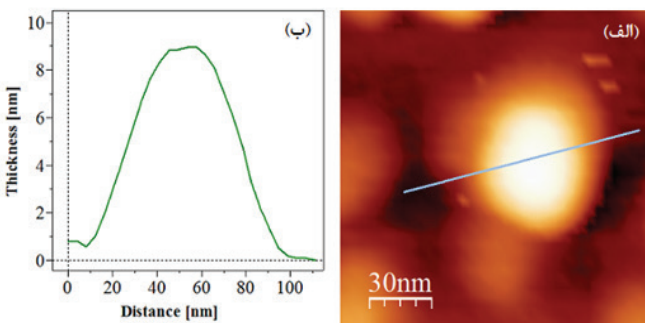
شکل ۱ الف ۴ تصویر تعلیق‌های نانوصفحه‌های دی‌سولفید مولیبدن که به مدت ۸ ساعت (سمت راست) و ۱۲ ساعت (سمت چپ) در معرض امواج فراصوت قرار گرفته‌اند. ب: طیف جذبی نانوصفحه‌ها در محدوده نور مرئی و فرابنفش

است که پهنای گاف انرژی نانوصفحه‌ها در حدود $1/2$ الکترون ولت است و از آن جایی که پهنای گاف انرژی دی‌سولفیدمولیبدن در حالت توده‌ای $1/2$ الکترون ولت [۱۵] و در حالت تک لایه $1/9$ الکترون ولت [۱۵] می‌باشد، مشخص می‌شود که نمونه‌های سنتز شده به صورت نانوصفحه‌های چندلایه می‌باشند.

طیف رامان نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن در شکل ۲ نشان داده شده‌است. قله‌های مربوط به ارتعاشات درون صفحه‌ای E_{2g}^l در 388 cm^{-1} و ارتعاشات برون صفحه‌ای A_{1g} در 412 cm^{-1} مشاهده می‌شود. شدت مد ارتعاشی A_{1g} نسبت به مد ارتعاشی E_{2g}^l کمتر می‌باشد. این در حالی است که در مقادیر گزارش شده توسط لیو و دیگران برای لیزرهای با طول موج‌های ۵۳۲ نانومتر و ۴۸۸ نانومتر هر دو مد E_{2g}^l و A_{1g} دارای شدت‌های قابل توجهی می‌باشند [۱۶]. از آنجا که طول موج لیزر استفاده شده ۷۸۵ نانومتر ($1/58$ الکترون ولت) می‌باشد و این مقدار کمتر از انرژی گاف انرژی مربوط به نانوصفحه‌های چندلایه دی‌سولفید مولیبدن است، انتظار هیچگونه برانگیختگی الکترونی نمی‌رود. بنابراین طیف پراکندگی رامان برای این لیزر یک فرآیند غیر تشدید می‌باشد و انتظار نمی‌رود قله‌های تشدید دوگانه مشاهده شود.

طیف جذبی نانوصفحه‌های دی‌سولفید مولیبدن در محدوده نور مرئی و فرابنفش، مربوط به دو نمونه که به مدت ۸ و ۱۲ ساعت در معرض امواج فراصوت قرار گرفته بودند، در شکل ۱-ب نشان داده شده‌است. طیف حاصل، شامل چندین قله‌ی جذبی است که مشخصه‌ی نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن می‌باشد. اولین قله در ناحیه‌ی مادون قرمز نزدیک و در طول موج حدود ۹۷۰ نانومتر رخ می‌دهد. این قله جذب ضعیفی ناشی از گذار غیر مستقیم از نقطه‌ی Γ به نقطه‌ای مابین Γ و K در منطقه اول بریلوئن نسبت داده می‌شود [۱۳]. دومین آستانه‌ی جذب، مربوط به گذارهای اکسایتونی مستقیم A_1 و B_1 در طول موج‌های ۶۷۵ و ۶۱۵ نانومتر می‌باشد که جدایی انرژی این دو قله، ناشی از شکافتگی اسپین-مدار در بالای نوار ظرفیت در نقطه K است [۱۴]. سومین آستانه به صورت یک قله‌ی پهن در طول موج حدود ۴۸۰ نانومتر ظاهر می‌شود که ناشی از گذار مستقیم از نواحی پایین نوار ظرفیت به نوار رسانش است [۱۳]. همان گونه که در شکل ۱-ب دیده می‌شود، قله‌های جذبی مربوط به نمونه‌ای که به مدت ۱۲ ساعت در معرض امواج فراصوت قرار گرفته بود، شدت بالاتری دارند که این موضوع ناشی از تراکم بیشتر نانوصفحه‌ها می‌باشد. با توجه به طیف جذبی به دست آمده، از طیف جذبی کاملاً مشخص

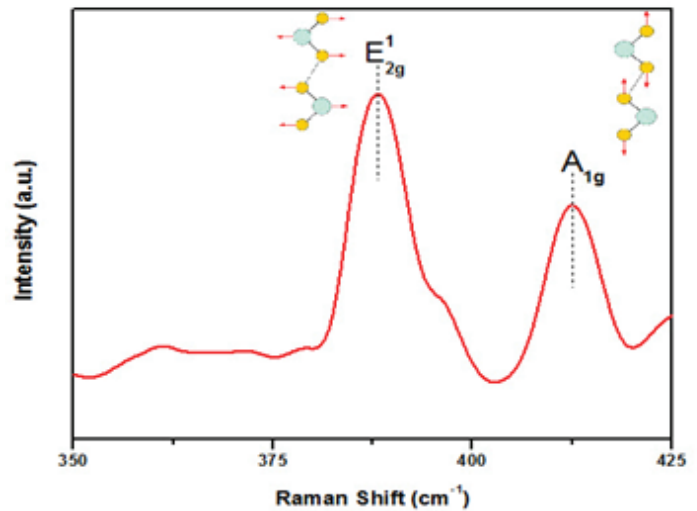
میکروسکوپ نیروی اتمی برای تخمین ابعاد افقی و نیز ضخامت لایه‌های دی‌سولفیدمولیبدن دوبعدی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۴-ب یک نانوصفحه نوعی از دی‌سولفیدمولیبدن سنتز شده با استفاده از لایه‌برداری مبتنی بر حلال را نشان می‌دهد. این نانوصفحه دارای ضخامت تقریباً ۹ نانومتری می‌باشد (مربوط به ۱۲-۱۳ تک‌لایه از دی‌سولفیدمولیبدن). ابعاد افقی این نانوصفحه‌ی نوعی در حدود ۹۰ نانومتر است. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی به خوبی گویای حضور نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن بر روی زیرلایه‌ی میکا می‌باشد. این نانوصفحه‌ها به دلیل نسبت سطح به حجم می‌توانند در کاربردهای کاتالیستی مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۴ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی یکی از نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن از نمونه‌ای که ۸ ساعت در معرض امواج فراصوت قرار گرفته و تعلیق بدست آمده روی زیرلایه‌ی میکا نهشته شده است. ب: چارچوب (پروفایل) ضخامت نانوصفحه‌ی نشان داده شده در قسمت الف.

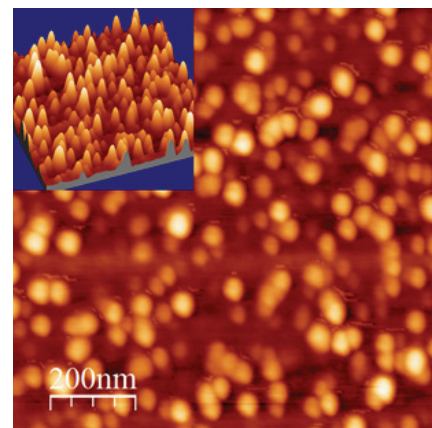
۴ نتیجه‌گیری

تعلیق‌های نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن با استفاده از روش لایه‌برداری مایع به کمک ترکیب حلال‌های آب و اتانول با نسبت‌های حجمی به ترتیب ۵۵٪ و ۴۵٪ تهیه گردیدند. تعلیق‌های به دست آمده به مدت چند هفته پایدار بودند. مشخصه‌یابی اپتیکی این نانوصفحه‌ها به کمک اندازه‌گیری طیف جذبی در محدوده نور مرئی و فرابنفش گاف انرژی ۱/۷ الکترون ولتی به عنوان مشخصه نانوصفحه‌های چندلایه را نشان داد. با تحلیل طیف مربوط به پراکندگی رامان و محاسبه تفاضل بین دو مدارتعاشی A_{1g} و E_{2g}^1 ، ساختار چندلایه‌ای نانوصفحه‌ها مورد تایید قرار گرفت. تحلیل تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی نیز با بررسی ضخامت نانوصفحه‌ها، ماهیت دوبعدی و چندلایه‌ای آن‌ها را تایید نمود. تحلیل‌های صورت گرفته به خوبی نشان می‌دهند که ترکیب حلال آب و اتانول به نسبت حجمی مشخص، سنتز نانوصفحه‌های دوبعدی دی‌سولفیدمولیبدن را فراهم می‌سازد.



شکل ۲ طیف رامان نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن از نمونه‌ای که ۸ ساعت در معرض امواج فراصوت قرار گرفته و تعلیق بدست آمده بر روی زیرلایه‌ی سیلیکونی نهشته شده است.

تحقیقات انجام شده توسط لی و دیگران نشان می‌دهد که با کاهش ضخامت از حالت توده‌ای به حالت چندلایه و در نهایت تک‌لایه، تفاضل مربوط به دو مدارتعاشی A_{1g} و E_{2g}^1 کاهش می‌یابد. در حالت توده‌ای این اختلاف $\Delta = 26 \text{ cm}^{-1}$ بوده که با کاهش تعداد لایه‌ها برای دی‌سولفیدمولیبدن تک‌لایه به $\Delta = 19 \text{ cm}^{-1}$ می‌رسد [۱۵]. این اختلاف در طیف رامان بدست آمده برابر $\Delta = 24 \text{ cm}^{-1}$ می‌باشد که حالتی بینابین وضعیت توده و تک‌لایه بوده و مربوط به نانوصفحه‌های چندلایه دی‌سولفیدمولیبدن می‌باشد. شکل ۳ تصویر نانوصفحه‌های دی‌سولفیدمولیبدن نهشته شده بر روی زیرلایه میکا را نشان می‌دهد. در کادر کوچک سمت چپ و بالای تصویر می‌توان نانوصفحه‌های نهشته شده را به صورت سه‌بعدی مشاهده کرد.



شکل ۳ تصویر AFM از نانوصفحه‌های دوبعدی دی‌سولفیدمولیبدن از نمونه‌ای که ۸ ساعت در معرض امواج فراصوت قرار گرفته و تعلیق بدست آمده روی زیرلایه‌ی میکا نهشته شده است. (کادر کوچک سمت چپ و بالا نشان دهنده‌ی تصویر سه بعدی نمونه می‌باشد).

مراجع

- [1] M. Chhowalla, H. S. Shin, G. Eda, L.-J. Li, K. P. Loh, and H. Zhang, "The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets," *Nat. Chem.*, vol. 5, no. 4, pp. 263–275, 2013.
- [2] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. and Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov, "Electric field effect in atomically thin carbon films," *Science*, vol. 306, no. 5696, pp. 666–669, 2004.
- [3] K. P. Loh, Q. Bao, G. Eda, and M. Chhowalla, "Graphene oxide as a chemically tunable platform for optical applications," *Nat. Chem.*, vol. 2, no. 12, pp. 1015–1024, 2010.
- [4] K. F. Mak, K. He, J. Shan, and T. F. Heinz, "Control of valley polarization in monolayer MoS₂ by optical helicity," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 7, no. 8, pp. 494–498, 2012.
- [5] K. F. Mak, C. Lee, J. Hone, J. Shan, and T. F. Heinz, "Atomically thin MoS₂: a new direct-gap semiconductor," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 105, no. 13, pp. 136805, 2010.
- [6] T. Liu, C. Wang, X. Gu, H. Gong, L. Cheng, X. Shi, L. Feng, B. Sun, and Z. Liu, "Drug Delivery with PEGylated MoS₂ Nano-sheets for Combined Photothermal and Chemotherapy of Cancer," *Adv. Mater.*, vol. 26, no. 21, pp. 3433–3440, 2014.
- [7] F. K. Perkins, A. L. Friedman, E. Cobas, P. M. Campbell, G. G. Jernigan, and B. T. Jonker, "Chemical vapor sensing with monolayer MoS₂," *Nano Lett.*, vol. 13, no. 2, pp. 668–673, 2013.
- [8] D. Voiry, M. Salehi, R. Silva, T. Fujita, M. Chen, T. Asefa, V. B. Shenoy, G. Eda, and M. Chhowalla, "Conducting MoS₂ nanosheets as catalysts for hydrogen evolution reaction," *Nano Lett.*, vol. 13, no. 12, pp. 6222–6227, 2013.
- [9] J. Pu, L.-J. Li, and T. Takenobu, "Flexible and stretchable thin-film transistors based on molybdenum disulphide," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 16, no. 29, pp. 14996–15006, 2014.
- [10] A. Gupta, T. Sakhivel, and S. Seal, "Recent development in 2D materials beyond graphene," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 73, pp. 44–126, 2015.
- [11] H. S. S. Ramakrishna Matte, A. Gomathi, A. K. Manna, D. J. Late, R. Datta, S. K. Pati, and C. N. R. Rao, "MoS₂ and WS₂ analogues of graphene," *Angew. Chemie*, vol. 122, no. 24, pp. 4153–4156, 2010.
- [12] V. Nicolosi, M. Chhowalla, M. G. Kanatzidis, M. S. Strano, and J. N. Coleman, "Liquid exfoliation of layered materials," *Science*, vol. 340, no. 6139, pp. 1226419, 2013.
- [13] J. P. Wilcoxon, P. P. Newcomer, and G. A. Samara, "Synthesis and optical properties of MoS₂ and isomorphous nanoclusters in the quantum confinement regime," *J. Appl. Phys.*, vol. 81, no. 12, pp. 7934–7944, 1997.
- [14] C. N. R. Rao, U. Maitra, and U. V. Waghmare, "Extraordinary attributes of 2-dimensional MoS₂ nanosheets," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 609, pp. 172–183, 2014.
- [15] C. Lee, H. Yan, L. E. Brus, T. F. Heinz, J. Hone, and S. Ryu, "Anomalous lattice vibrations of single- and few-layer MoS₂," *ACS Nano*, vol. 4, no. 5, pp. 2695–2700, 2010.
- [16] H.-L. Liu, H. Guo, T. Yang, Z. Zhang, Y. Kumamoto, C.-C. Shen, Y.-T. Hsu, L.-J. Li, R. Saito, and S. Kawata, "Anomalous lattice vibrations of monolayer MoS₂ probed by ultraviolet Raman scattering," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 17, no. 22, pp. 14561–14568, 2015.

Optical and Structural Characterization of Molybdenum Disulphide Nanoflakes Prepared by Solvent-based Exfoliation

E. Rahmanian¹ | A. Sajedi Moghaddam² | A. Bayat² | E. Saievar-Iranizad² | R. Malekfar^{1*}

1. Atomic and Molecular Physics Group, Physics Department, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Condensed Matter Physics Group, Physics Department, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Two dimensional molybdenum disulfide nanoflakes; due to the emergence of new physical phenomena as well as promising practical applications such as field effect transistors, lithium ion batteries and gas sensors, have attracted considerable attention. However, finding new ways for large-scale production in a cost-effective way is one of the main bottlenecks in the development of these nanostructures. In this study, solvent-based exfoliation approach is introduced for the synthesis of two dimensional molybdenum disulfide nanoflakes by the use of ethanol/water mixture. Using this mixture offers distinct advantages including production of atomic scale nanoflakes, reduced residues of solvent used, high yield and high stability of suspension. Crystal phononic structure, energy gap and morphology of the synthesized nanoflakes have been investigated by using Raman scattering, absorption spectroscopy and atomic force microscopy, respectively. The optimum volume ratio for water and ethanol solvents was obtained equal to 55% and 45%, respectively. Optical characterization using absorption spectrum of the nanoflakes showed an energy gap of 1.7 eV for multilayer nanoflakes. The reported data reveals the production of two dimensional molybdenum disulfide nanoflakes.

Keywords

Molybdenum Disulfide, Transition Metal Chalcogenides, Solvent-Based Exfoliation, Nanosheets.