



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



## ساخت و مشخصه یابی آشکارساز نوری مبتنی بر صفحات $\text{MoS}_2$

مهسا رشیدی فر<sup>۱</sup>، سارا درباری<sup>۱</sup> و یاسر عبدی<sup>۲</sup>

دانشگاه تربیت مدرس<sup>۱</sup>، دانشگاه تهران<sup>۲</sup>

چکیده - ویژگی های منحصر به فرد الکتریکی و نوری Transition Metal Dichalcogenide (TMD) ها تنها تعداد معدودی از خواص برجسته ی TMD است که منجر به تحقیق و علاقه ی بسیاری در این موضوع شده است. در اینجا ما از  $\text{MoS}_2$  در آشکارساز نوری استفاده کردیم. صفحات  $\text{MoS}_2$  را ابتدا روی بستر  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  به روش CVD رشد و سپس روی الکترود های نیکل به صورت Ni -  $\text{MoS}_2$ -Ni انتقال دادیم. از این ساختار برای آشکار سازی نور سبز استفاده کردیم. برای افزایش حساسیت نوری با توجه به خاصیت پیزوالکتریک  $\text{MoS}_2$  به آن کشش اعمال کردیم و شاهد افزایش حساسیت آشکارساز نوری بودیم.

کلید واژه- مواد دوبعدی، TMD، پیزوالکتریک، انتقال، مولیبدن دی سولفاد

## Fabrication and characterization of $\text{MoS}_2$ sheets for application in photodetector

M. Rashidifar, and S. Darbari\* And Y. Abdi

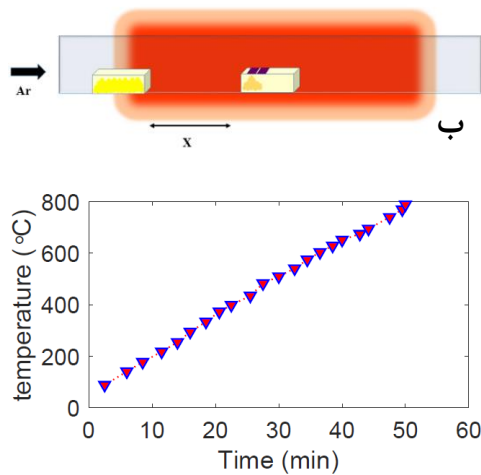
rashidifarmahsa@gmail.com S.darbari@modares.ac.ir

**Abstract-** Electrical and optical properties of Transition Metal Dichalcogenide (TMD)s are just a few among the many extraordinary properties of the TMDs which led to the huge research and interest on this topic. In this paper  $\text{MoS}_2$  is used for fabrication of a photodetector. to Achieve this goal, the  $\text{MoS}_2$  sheets are synthesized on  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  substrate using Chemical Vapor Deposition (CVD) and then the synthesized sheet is transferred subsequently on the prepared nickel electrodes. This structure is utilized for photodetection of green light. Then, to enhance the photodetection efficiency, we have applied an external strain to the  $\text{MoS}_2$  sheets. Owing to the piezoelectric property of the  $\text{MoS}_2$  sheets, we have observed an enhancement in the output sensitivity of the strained structure.

Keywords: two-dimensional materials, piezoelectricity,  $\text{MoS}_2$ , transfer, TMDs

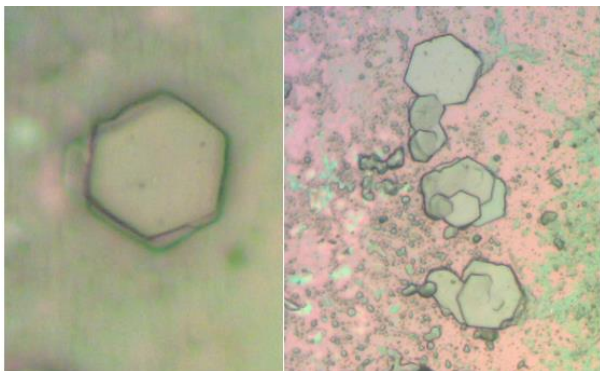
## مقدمه

ی اولیه مولیبدن تری اکسید ( $\text{MoO}_3$ ) و گوگرد (S) به مقدار به ترتیب ۰/۱ گرم و ۰/۷ گرم استفاده می کنیم. در شکل ۱-الف نمای کوره برای رشد نشان داده شده است. به دلیل اختلاف دمای تبخیر بین دو ماده،  $\text{MoO}_3$  را در وسط کوره قرار می دهیم و S را با ۳۰ سانتی متر فاصله از آن قرار می دهیم. ویفر را رو به پایین روی بوته ی سرامیکی و  $\text{MoO}_3$  قرار می دهیم. از گاز بی اثر آرگون به مقدار ۲۰۰ میلی لیتر بر دقیقه، برای حمل بخار گوگرد به سمت بستر استفاده می کنیم.



شکل ۱: الف- نمای کوره برای رشد  $\text{MoS}_2$ ، ب- نمودار تغییرات دما بر حسب زمان در وسط کوره

در شکل ۱-ب تغییرات دما بر حسب زمان برای رشد  $\text{MoS}_2$  نشان داده شده که ده دقیقه ی پایانی زمان نشستن  $\text{MoS}_2$  روی بستر است. شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ نوری از  $\text{MoS}_2$  را نشان می دهد.



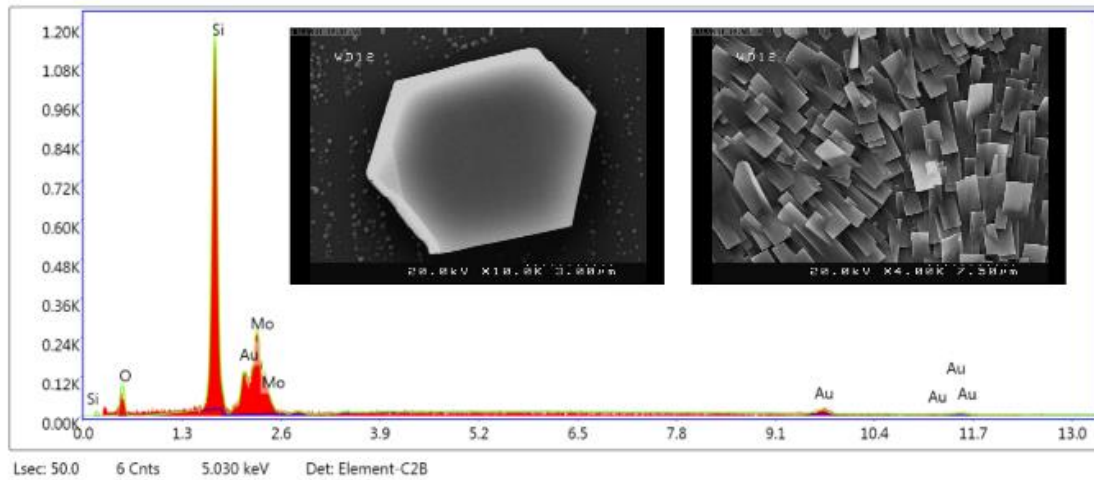
شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ نوری از صفحات  $\text{MoS}_2$

حسگر های نوری که توانایی تبدیل نور به سیگنال الکتریکی را دارند کاربرد های وسیعی در تصویر برداری، حسگری و ارتباطات دارند. مواد نیمه هادی یکی از مهمترین اجزا برای حسگر های نوری هستند که دامنه ی طیف قابل تشخیص آن ها بستگی به گاف انرژی نیمه هادی دارد [۱]. در دهه ی اخیر به دلیل ویژگی های منحصر به فرد تک لایه ی گرافن، مواد دو بعدی در افزاره های الکترونیکی و الکترونیک نوری مورد توجه قرار گرفته اند [۲]. در میان نانو ذرات دو بعدی تحقیقات زیادی در مورد Transition Metal Dichalcogenides (TMDs) که پتانسیل استفاده در افزاره هایی نظیر فتوولتاژها، آشکارساز های نوری و ترانزیستورهای اثر میدان را دارند [۳]. مولیبدن دی سولفاد ( $\text{MoS}_2$ ) که زیر مجموعه ی TMD ها قرار دارد، شامل سه ساختار مختلف به اسم های 1T، 2H و 3R است که فراوان ترین آن ها 2H است. هر لایه ی  $\text{MoS}_2$  شامل دسته هایی از سه اتم S-Mo-S است [۴]. پشته ی  $\text{MoS}_2$  جزو TMD های غیر مستقیم با گاف انرژی ۱/۲ الکترون ولت است در حالیکه تک لایه ی  $\text{MoS}_2$  جزو TMD های مستقیم با گاف انرژی ۱/۸ الکترون ولت است. به دلیل جذب بالا در طیف مرئی، به صورت گسترده ای از  $\text{MoS}_2$  در کاتالیزگر های نوری و حسگر های نوری استفاده می کنند [۵]. در این کار ما از روش Chemical Vapor Deposition (CVD) برای رشد ورقه های  $\text{MoS}_2$  استفاده کردیم. از  $\text{MoS}_2$  به عنوان ماده ی حساس به نور در این افزاره استفاده کردیم و حساسیت افزاره را نسبت به توان های مختلف نور مورد بررسی قرار دادیم.

## ساخت و مشخصه یابی حسگر

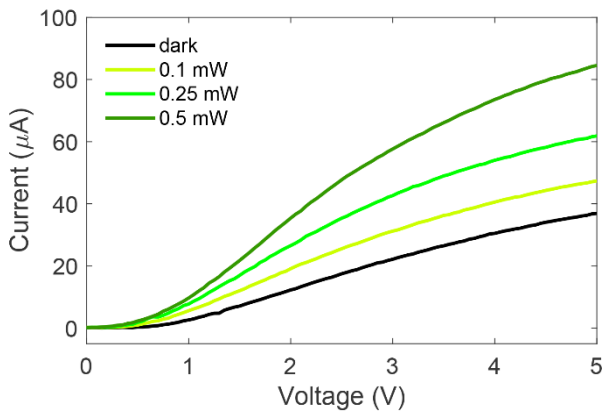
برای رشد  $\text{MoS}_2$  از روش CVD استفاده می کنیم. ابتدا ویفر  $\text{SiO}_2 / \text{Si}$  با روش RCA تمیز می کنیم. از دو ماده

استفاده کردیم. با اعمال ولتاژ بایاس ۳. ولت به دو سر



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپ روبشی و EDX از ورقه های MoS<sub>2</sub>

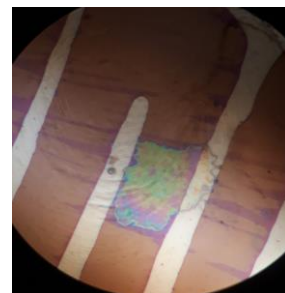
الکترودهی های شانه ای، در شکل ۵ نمودار تغییرات جریان بر حسب تغییرات ولتاژ نشان داده شده است. برای تاباندن نور سبز از دیود نوری استفاده کردیم. همانطور که مشخص است با افزایش توان تابشی نور، به دلیل تولید بیشتر حامل ها به ازای ولتاژهای ثابت، جریان بیشتر می شود. وقتی نمونه در معرض تابش نور قرار می گیرد، نمودار جریان ولتاژش از حالت تاریکی فاصله می گیرد.



شکل ۵: نمودار تغییرات جریان بر حسب تغییرات ولتاژ در حضور توان های مختلف طول موج ۵۲۵ نانومتر

در شکل ۶ مقدار جریان نمونه را برای دو حالتی که به ترتیب نور تابشی وصل و قطع است اندازه گیری شده است. با توجه به شکل هرچه توان نوری بیشتر می شود، اختلاف جریان نسبت به حالت تاریکی نیز بیشتر می شود.

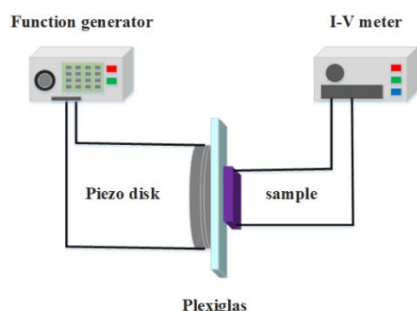
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ روبشی را برای ساختار رشد پیدا کرده را نشان می دهد. از روش طرح نگاری نوری برای الگو دهی الکترودهی های شانه ای از جنس نیکل روی بستر SiO<sub>2</sub> / Si استفاده می کنیم. برای انتقال MoS<sub>2</sub> از روی بستر رشد یافته به روی الکترودها، ابتدا ویفر را داخل بشری که مقدار یک میلی لیتر اتانول دارد قرار می دهیم و سپس آن را در حمام آلتروسونیک قرار داده و بعد به روش غوطه ور کردن ویفری که الکترودهی شانه ای دارد داخل اتانول فرو کرده و بعد بیرون می آوریم. شکل ۴ تصویر میکروسکوپی انتقال MoS<sub>2</sub> بر روی الکترودهی شانه ای را نشان می دهد.



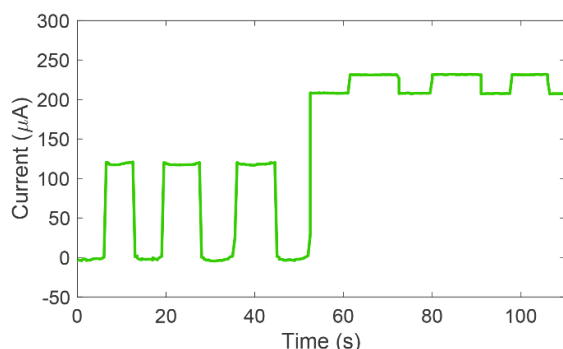
شکل ۴: تصویر میکروسکوپ لایه MoS<sub>2</sub> بین الکترودهی نیکل

## بررسی و نتایج

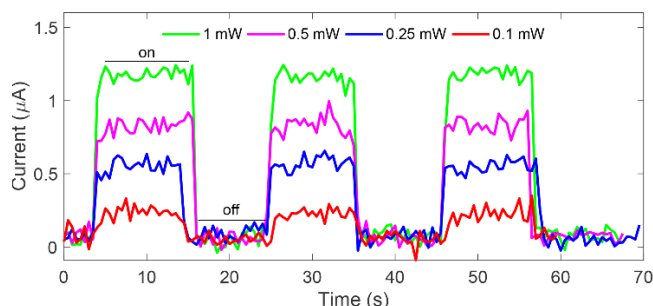
برای دیدن مشخصات پاسخ آشکارساز مبتنی بر MoS<sub>2</sub>، از توان های مختلف طول موج نوری ۵۲۵ نانومتر (نور سبز)



شکل ۷: نمای ساختار برای اعمال کشش به لایه ی MoS<sub>2</sub>



شکل ۸: تغییرات جریان با تابش نور سبز با توان ۳/۵ میلی وات برای دو حالت دیسک پیزو روشن و خاموش



شکل ۶: نمودار تغییرات جریان بر حسب زمان در حضور و عدم حضور توان های مختلف طول موج ۵۲۵ نانومتر

یکی دیگر از ویژگی های MoS<sub>2</sub> خاصیت پیزوالکتریک آن است. وقتی ضخامت لایه های MoS<sub>2</sub> کم می شود و به سمت تک لایه ی MoS<sub>2</sub> می رویم، به دلیل آنکه ساختار، عدم تقارن مرکزی پیدا می کند خاصیت پیزوالکتریک قابل توجهی را از خود نشان می دهد [۶]. با اعمال کشش به لایه های MoS<sub>2</sub> به دلیل جاذبه ی نسبی کاتیون ها و آنیون ها از مرکز، دوقطبی تولید می شود، که مقدار پتانسیل پیزوالکتریک بر گرفته از این دوقطبی هاست [۷]. برای بالا بردن حساسیت نوری افزاره از خاصیت پیزوالکتریک MoS<sub>2</sub> استفاده کردیم. مطابق شکل ۷ با نزدیک کردن دیسک پیزو به ویفر در فرکانس ۹۰ کیلو هرتز، به نمونه کشش (۱۲/۰٪) اعمال کرده و در شکل ۸ تغییرات جریان را هنگامی که نور می تابانیم در دو حالت روشن بودن دیسک پیزو و خاموش بودن آن نشان داده است. که در حالتی که روشن است، تغییرات جریان نسبت به نور بیشتر است و حساسیت آشکارساز نوری نیز بیشتر است.

### نتیجه گیری

در این پروژه ما آشکارساز نوری مبتنی بر MoS<sub>2</sub> را با ساختار Ni-MoS<sub>2</sub>-Ni را در دو حالت اعمال کشش و نبودن کشش در معرض تابش نور سبز قرار دادیم. همانطور که در نمودارها مشخص است حساسیت نوری در زمان اعمال کشش بیشتر شده است.

### مرجع ها

- [1] Z. Huang *et al.*, "Amorphous MoS<sub>2</sub> Photodetector with Ultra-Broadband Response," 2019.
- [2] X. Wang *et al.*, "Ultrasensitive and broadband MoS<sub>2</sub> photodetector driven by ferroelectrics," vol. 27, no. 42, pp. 6575-6581, 2015.
- [3] A. Alharbi, P. Zahl, and D. J. A. P. L. Shahrjerdi, "Material and device properties of superacid-treated monolayer molybdenum disulfide," vol. 110, no. 3, p. 033503, 2017.
- [4] I. Song, C. Park, and H. C. J. R. A. Choi, "Synthesis and properties of molybdenum disulphide: from bulk to atomic layers," vol. 5, no. 10, pp. 7495-7514, 2015.
- [5] T.-S. Ko, Y.-J. Huang, D.-Y. Lin, C.-F. Lin, B.-S. Hong, and H.-Z. J. J. J. o. A. P. Chen, "Photoresponse properties of large area MoS<sub>2</sub> metal-semiconductor-metal photodetectors," vol. 57, no. 4S, p. 04FP12, 2018.
- [6] J. Qi *et al.*, "Piezoelectric effect in chemical vapour deposition-grown atomic-monolayer triangular molybdenum disulfide piezotronics," *Nature communications*, vol. 6, p. 7430, 2015.
- [7] Y. Peng *et al.*, "Progress in piezotronic and piezo-phototronic effect of 2D materials," *2D Materials*, vol. 5, no. 4, p. 042003, 2018.