



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 MoS_2

مهسا رشیدی فر^۱، سارا درباری^۱ و یاسر عبدی^۲

دانشگاه تربیت مدرس^۱، دانشگاه تهران^۲

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 MoS_2 در آشکارساز نوری استفاده کردیم. صفحات MoS_2 را ابتدا روی بستر SiO_2/Si به روش CVD رشد و سپس روی الکترود های نیکل به صورت Ni - MoS_2 -Ni انتقال دادیم. از این ساختار برای آشکار سازی نور سبز استفاده کردیم. برای افزایش حساسیت نوری با توجه به خاصیت پیزوالکتریک 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 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 MoS_2 is used for fabrication of a photodetector. to Achieve this goal, the MoS_2 sheets are synthesized on SiO_2/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 MoS_2 sheets. Owing to the piezoelectric property of the MoS_2 sheets, we have observed an enhancement in the output sensitivity of the strained structure.

Keywords: two-dimensional materials, piezoelectricity, MoS_2 , transfer, TMDs

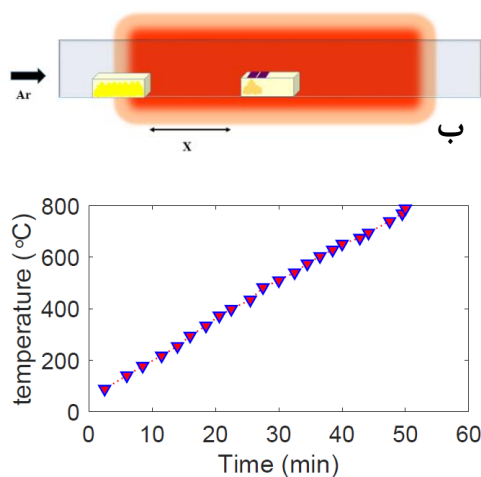
مقدمه

حسگرهای نوری که توانایی تبدیل نور به سیگنال الکتریکی را دارند کاربردهای وسیعی در تصویر برداری، حسگری و ارتباطات دارند. مواد نیمه هادی یکی از مهمترین اجزا برای حسگرهای نوری هستند که دامنه‌ی طیف قابل تشخیص آن‌ها بستگی به گاف انرژی نیمه هادی دارد [۱]. در دهه‌ی اخیر به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد تک لایه‌ی گرافن، مواد دو بعدی در افزاره‌های اکترونیکی و الکترونیک نوری مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲]. در میان نانو ذرات دو بعدی تحقیقات زیادی در مورد Transition Metal Dichalcogenides (TMDs) که پتانسیل استفاده در افزاره‌هایی نظیر فتوولتاژها، آشکارسازهای نوری و ترانزیستورهای اثر میدان را دارند [۳]. مولیبدن دی سولفاد (MoS_2) که زیر مجموعه‌ی TMD ها قرار دارد، شامل سه ساختار مختلف به اسم های 1T، 2H و 3R است که فراوان ترین آن‌ها 2H است. هر لایه‌ی MoS_2 شامل دسته‌هایی از سه اتم S-Mo-S است [۴]. پشته‌ی MoS_2 جزو TMD های غیر مستقیم با گاف انرژی $1/2$ الکترون ولت است در حالیکه تک لایه‌ی MoS_2 جزو TMD های مستقیم با گاف انرژی $1/8$ الکترون ولت است. به دلیل جذب بالا در طیف مرئی، به صورت گسترده‌ای از MoS_2 در کاتالیزگرهای نوری و حسگرهای نوری استفاده می‌کنند [۵]. در این کار ما از روش Chemichal Vapor Deposition (CVD) برای رشد ورقه‌های MoS_2 استفاده کردیم. از MoS_2 به عنوان ماده‌ی حساس به نور در این افزاره استفاده کردیم و حساسیت افزاره را نسبت به توان های مختلف نور مورد بررسی قرار دادیم.

ساخت و مشخصه‌یابی حسگر

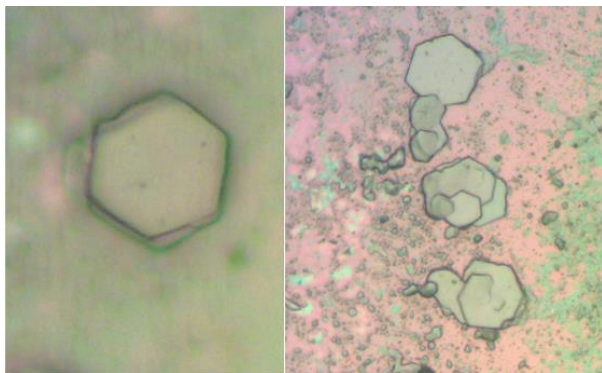
برای رشد MoS_2 از روش CVD استفاده می‌کنیم. ابتدا ویفر SiO_2 / Si با روش RCA تمیز می‌کنیم. از دو ماده

ی اولیه مولیبدن تری اکسید (MoO_3) و گوگرد (S) به مقدار به ترتیب $1/1$ گرم و $7/1$ گرم استفاده می‌کنیم. در شکل ۱-الف نمای کوره برای رشد نشان داده شده است. به دلیل اختلاف دمای تبخیر بین دو ماده، MoO_3 را در وسط کوره قرار می‌دهیم و S را با ۳۰ سانتی متر فاصله از آن قرار می‌دهیم. ویفر را رو به پایین روی بوته‌ی سرامیکی و MoO_3 قرار می‌دهیم. از گاز بی اثر آرگون به مقدار ۲۰۰ میلی لیتر بر دقیقه، برای حمل بخار گوگرد به سمت بستر استفاده می‌کنیم.



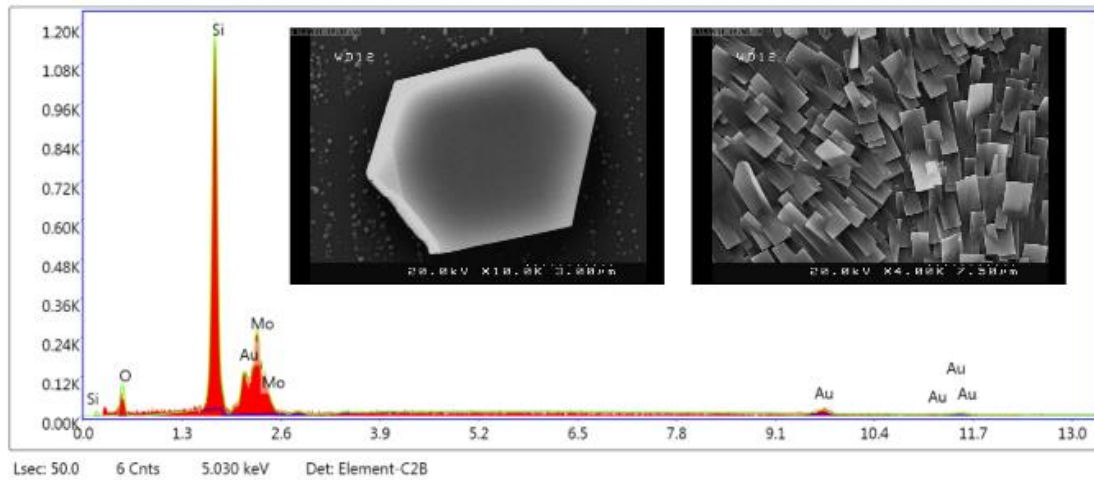
شکل ۱: الف- نمای کوره برای رشد MoS_2 ، ب- نمودار تغییرات دما بر حسب زمان در وسط کوره

در شکل ۱-ب تغییرات دما بر حسب زمان برای رشد MoS_2 نشان داده شده که ده دقیقه‌ی پایانی زمان نشستن MoS_2 روی بستر است. شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ نوری از MoS_2 را نشان می‌دهد.



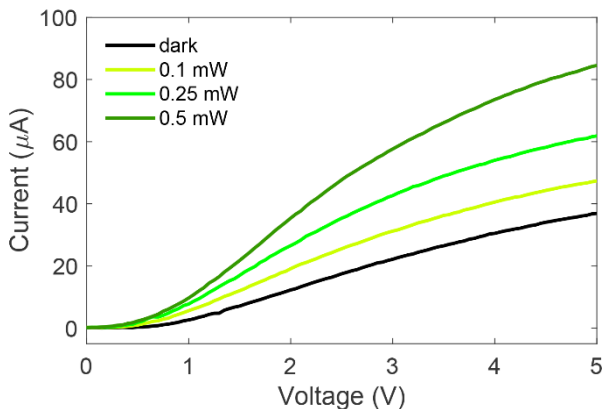
شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ نوری از صفحات MoS_2

استفاده کردیم. با اعمال ولتاژ بایاس ۰.۳ ولت به دو سر



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپ روبشی و EDX از ورقه های MoS₂

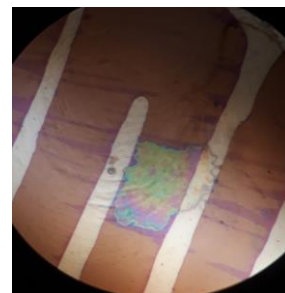
الکترودهی های شانه ای، در شکل ۵ نمودار تغییرات جریان بر حسب تغییرات ولتاژ نشان داده شده است. برای تاباندن نور سبز از دیود نوری استفاده کردیم. همانطور که مشخص است با افزایش توان تابشی نور، به دلیل تولید بیشتر حامل ها به ازای ولتاژهای ثابت، جریان بیشتر می شود. وقتی نمونه در معرض تابش نور قرار می گیرد،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

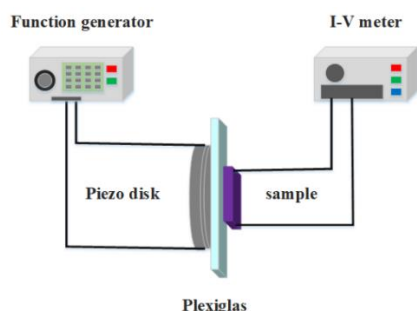
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ روبشی را برای ساختار رشد پیدا کرده را نشان می دهد. از روش طرح نگاری نوری برای الگو دهی الکترودهی های شانه ای از جنس نیکل روی بستر SiO₂ / Si استفاده می کنیم. برای انتقال MoS₂ از روی بستر رشد یافته به روی الکترودها، ابتدا ویفر را داخل بشری که مقدار یک میلی لیتر اتانول دارد قرار می 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 MoS₂ بر روی الکترودهی شانه ای را نشان می دهد.



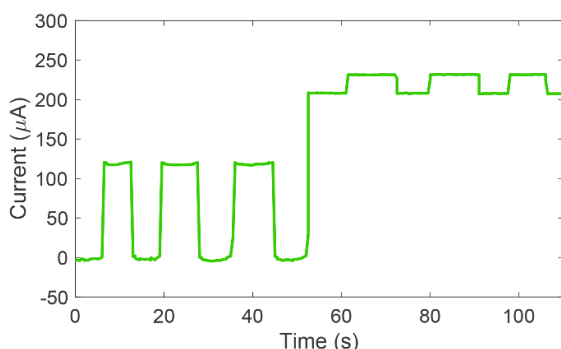
شکل ۴: تصویر میکروسکوپ لایه MoS₂ بین الکترودهی نیکل

بررسی و نتایج

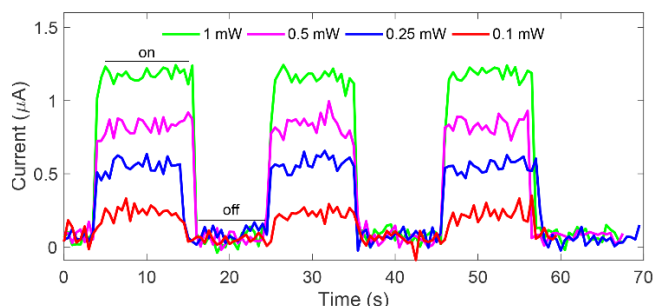
برای دیدن مشخصات پاسخ آشکارساز مبتنی بر MoS₂، از توان های مختلف طول موج نوری ۵۲۵ نانومتر (نور سبز)



شکل ۷: نمای ساختار برای اعمال کشش به لایه ی MoS_2



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_2 خاصیت پیزوالکتریک آن است. وقتی ضخامت لایه های MoS_2 کم می شود و به سمت تک لایه ی MoS_2 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_2 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_2 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_2 را با ساختار $\text{Ni-MoS}_2\text{-Ni}$ 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_2 Photodetector with Ultra-Broadband Response," 2019.
- [2] X. Wang *et al.*, "Ultrasensitive and broadband MoS_2 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_2 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.