

ساخت آشکارساز نور بر پایه لایه دوبعدی سولفید قلع

سیدعلی حسینی^۱، اعظم ایرجی زاد*^{۱،۲}، سیدمحمد مهدوی^{۱،۲}

^۱پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

^۲دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چکیده

امروزه مواد دوبعدی جزء جذابترین موضوعات پژوهشی هستند. این مواد ویژگی‌های مثبتی برای کاربرد در حوزه‌های متفاوتی همچون الکترونیک، فوتونیک و انرژی از خود نشان داده‌اند. به دلیل حساسیت زیاد این مواد به نور کاربردهای فوتونیک همچون آشکارسازهای نور، بخش مهمی از پژوهش را شامل می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از لایه دوبعدی سولفید قلع، آشکارساز نوری حساس در گستره مرئی ساخته شده و خواص نوری آن بررسی شده‌است. این آشکارساز در گستره وسیعی از نور از طول موج 460 nm تا 740 nm حساسیت خوبی از خود نشان داده و همچنین، پاسخ سریعی در حدود 30 μ s داشته است.

واژه‌های کلیدی: ماده دوبعدی، فوتونیک، آشکارساز نور، سولفید قلع

ایمیل نویسنده مسئول: iraji@sharif.edu

۱-مقدمه

آشکارسازهای نور یکی از ادوات پر کاربرد در صنایع متفاوت همچون حسگرهای تصویر، تجهیزات دید در شب، حسگرهای موقعیت، ادوات پزشکی و ... هستند [۱]. عموم آشکارسازها از موادی همچون سیلیکون و نیمه‌رساناهای مرکب خانواده III-V ساخته می‌شوند که در گستره تمام بازه نور محدودیت دارند به همین دلیل نیاز به مواد جدیدی که در طول موج‌های متفاوت با کارایی بهتر کار کنند هر روز بیشتر جلوه می‌کند [۲]. پس از کشف گرافن، توجه‌های زیادی به مواد دوبعدی شبه گرافن شده است [۳]. ساختار الکترونیکی ویژه، نسبت سطح به حجم زیاد، اثرات محدودیت کوانتومی و ... مسیر جدیدی را برای ساخت ادوات نوین الکترونیکی و نوری گشوده است [۴]. گرافن به عنوان اولین ماده این دسته علی‌رغم کاربردهای گوناگون به دلیل نداشتن گاف انرژی، محدودیت‌های گسترده‌ای در کاربرد دارد. از همین رو توجه به مواد دوبعدی نیمه‌رسانا افزایش یافته است [۵]. از مهمترین مواد دوبعدی پس از گرافن می‌توان به MoS_2 ، WS_2 اشاره کرد که به سرعت شهرت پیدا کرده اند [۶-۷]. این مواد برای کاربردهای متنوعی از جمله ادوات [۸]، نوری [۹]، حسگری [۱۰]، مکانیکی [۱۱] و ... پیشنهاد شده‌اند که پژوهش‌های در این زمینه‌ها گسترش یافته است. در کنار موادی همچون MoS_2 و WS_2 مواد دوبعدی دیگری نیز متناسب با ویژگی‌های خود مطرح شده‌اند که یکی از این دسته، مواد دوبعدی بر پایه قلع است. از مهمترین مزایای مواد برپایه قلع، فراوانی و قیمت پایین قلع است. همچنین قلع جزء مواد به نسبت ایمن برای سلامتی انسان و محیط زیست است [۱۲]. ساخت آشکارساز نور برپایه قلع می‌تواند پنجره ورود به ساخت آشکارسازهای ارزان و دوست‌دار محیط زیست باشد.

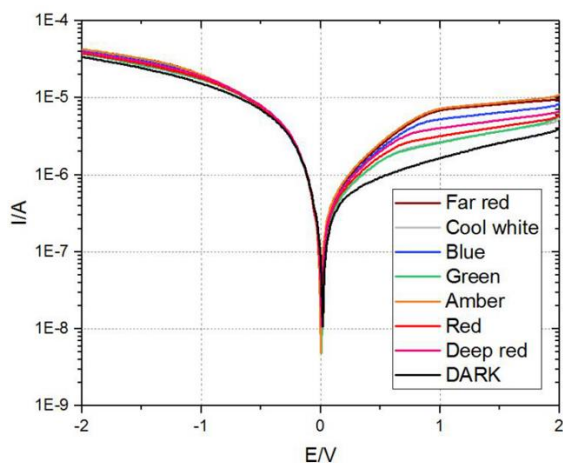
۲- بخش تجربی

کریستال SnS_2 به روش انتقال در فاز بخار (CVT)^۱ رشد داده شده است. برای این منظور قلع و پودر سولفور به نسبت استوکیومتری در یک آمپول کوآرتز قرار می‌گیرد و به مدت ۳ هفته در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک کوره استوانه‌ای قرار می‌گیرد. با استفاده از روش تورق مکانیکی نانوصفات از کریستال به دست می‌آید. برای ساخت قطعه از الکتروهای آماده با فاصله ۵ میکرومتری استفاده شد. با انتقال نانوصفات بین دو الکترو، آشکارساز ساخته شده و توسط دستگاه پتانسیواستات مدل IVIUM Stat خواص نوری آن بررسی می‌شود. این دستگاه مجموعه‌ای از منابع نوری در طول موج‌های متفاوت دارد که امکان بررسی ویژگی نوری ادوات را فراهم کرده است.

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

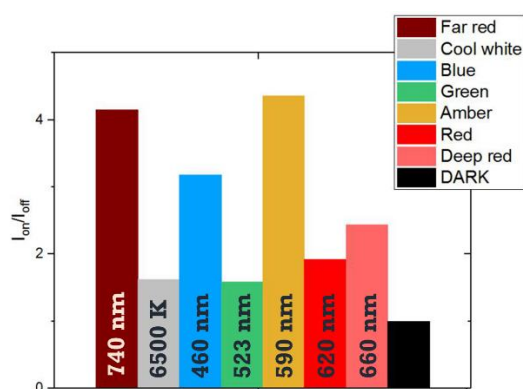
۳-۱- رشد کریستال و ساخت نانوصفات

پس از رشد کریستال، با استفاده از آنالیز طیف پرتو ایکس (X-ray powder diffraction) کیفیت کریستال بررسی شده است. در شکل ۱ طیف کریستال نشان داده شده که کیفیت خوب کریستال رشد یافته را نشان می‌دهد.



شکل ۳. پاسخ آشکارساز به طول موج‌های گوناگون نور

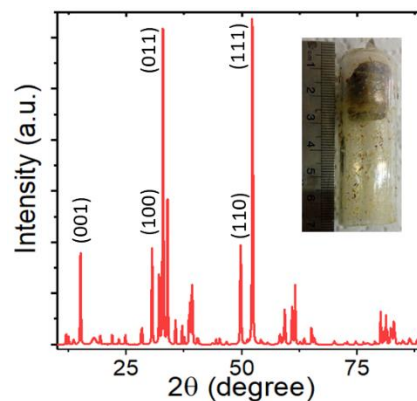
از بررسی داده‌های شکل ۳ نسبت جریان روشن به خاموش این قطعه بدست می‌آید. هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، کارایی آشکارساز بالاتر است. در شکل ۴ نسبت جریان روشن به خاموش برای طول موج‌های متفاوت محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین تغییر در نور نارنجی و کمترین تغییر در نور سبز بوده است.



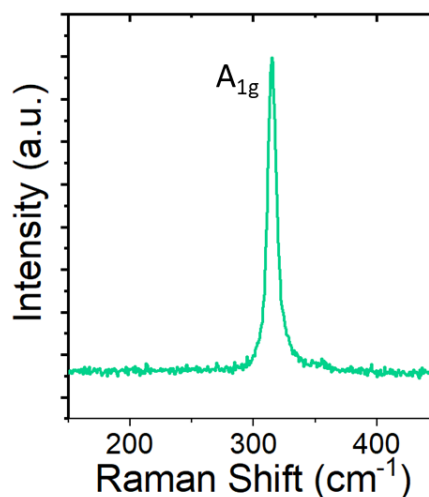
شکل ۴. نسبت جریان روشن به خاموش در طول موج‌های گوناگون نور

۳-۳- سرعت پاسخ نوری آشکارساز

یکی از مهمترین مشخصه‌های آشکارسازهای نوری زمانی که در معرض تابش نور متناوب قرار می‌گیرند، زمان صعود و سقوط است. در اینجا، زمان صعود به معنای زمان رسیدن جریان از کمینه به ۹۰٪ بیشینه و زمان سقوط به معنای زمان رسیدن بیشینه جریان به ۱۰٪ جریان است. در شکل ۵ داده نمونه برای این آشکارساز نشان داده شده است.



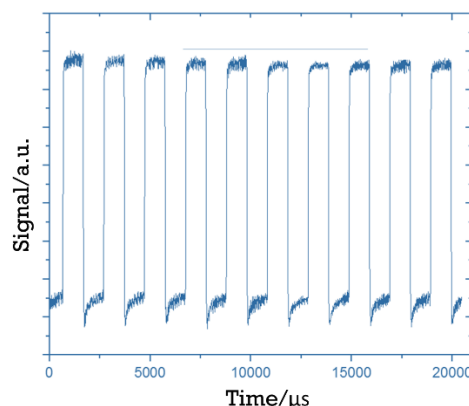
شکل ۱. طیف پرتو ایکس از کریستال SnS_2 به همراه آمپول رشد کریستال پس از رشد کریستال، به وسیله روش تورق مکانیکی نانوصفحات ساخته شدند. با استفاده از آنالیز رامان کیفیت لایه‌های دوبعدی SnS_2 هم بررسی شد. مطابق طیف رامان نشان داده شده در شکل ۲، پیک مشخصه SnS_2 به خوبی مشاهده می‌شود.


 شکل ۲. طیف رامان از نانوصفحات SnS_2

۳-۲- اثر نور با طول موج‌های متفاوت

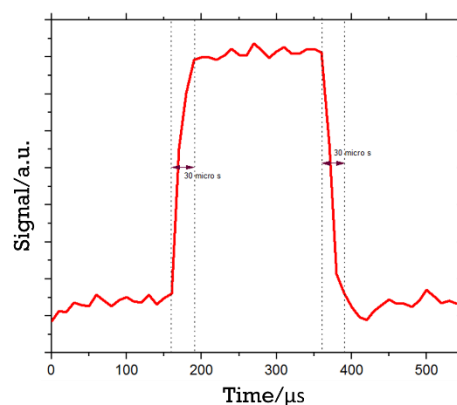
پس از انتقال نانوصفحه بین دو الکترود فلزی، آشکارساز آماده اندازه‌گیری می‌شود، در این مرحله تحت اثر نور با طول موج‌های متفاوت، تغییرات جریان قطعه نسبت به ولتاژهای گوناگون اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۳ این نمودارها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با وجود حساسیت کم آشکارساز در ولتاژهای منفی، پاسخ نوری مناسبی در ولتاژهای مثبت مشاهده می‌شود.

- [3] K.S. Novoselov *et al.*, "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films," 12, 35-43, (2012)
- [4] K.S. Novoselov, V. I. Fal9ko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab, and & K. Kim, "A roadmap for graphene," *nature.com*, 31, 46-53, (2012).
- [5] R. Mas-Balleste, C. Gomez-Navarro, J.G.H.- "2D materials: to graphene and beyond," *Nanoscale*, 12, 23-29, (2011).
- [6] M. Chhowalla, Z. Liu, and H. Zhang, "Two-dimensional transition metal dichalcogenide (TMD) nanosheets," *Chemical Society Reviews*, 44, 2584-2586, (2015).
- [7] S. Manzeli, D. Ovchinnikov, D. Pasquier, O. V. Yazyev, and A. Kis, "2D transition metal dichalcogenides," *Nature Reviews Materials*, 2, 1-15, (2017).
- [8] M. Chhowalla, D. Jena, and H. Zhang, "Two-dimensional semiconductors for transistors," *Nature Reviews Materials*, 1, 1-15, (2016).
- [9] F. Xia, H. Wang, D. Xiao, M. Dubey, and A. Ramasubramaniam, "Two-dimensional material nanophotonics," *Nat. Photonics*, 8, 899-907, (2014).
- [10] S. Yang, C. Jiang, and S. huai Wei, "Gas sensing in 2D materials," *Applied Physics Reviews*, 4, 021304-021314, (2017).
- [11] D. Akinwande *et al.*, "A review on mechanics and mechanical properties of 2D materials—Graphene and beyond," *Extreme Mechanics Letters*, 13, 42-77, (2017).
- [12] X. Zhou, Q. Zhang, L. Gan, H. Li, J. Xiong, and T. Zhai, "Booming development of group IV-VI semiconductors: Fresh blood of 2D family," *Advanced Science*, 3, 13-21, (2016).



شکل ۵. پاسخ آشکارساز به نور پالسی

برای محاسبه زمان صعود و سقوط آشکارساز یکی از پالس‌ها با دقت بیشتری بررسی شد که در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، زمان صعود و سقوط این آشکارساز در حدود ۳۰ میکروثانیه است که سرعت بالای آن را نشان می‌دهد.



شکل ۶. محاسبه زمان صعود و سقوط آشکارساز

۴. نتیجه گیری

آشکارساز ساخته شده بر پایه لایه دوبعدی SnS_2 سرعت بالایی دارد و پاسخی مناسبی در تمام طول موج‌های نور مرئی از 460 nm تا 740 nm خود نشان می‌دهد. همچنین جریان حالت روشن نسبت به خاموش تا ۴ برابر می‌رشد. این موارد نشان می‌دهد که مواد دوبعدی برپایه قلع به عنوان موادی ارزان که براحتی قابل استفاده‌اند، پتانسیل مناسبی برای ساخت ادوات نوری تجاری دارند.

۵. مراجع

- [1] I. Yun, *Photodiodes - From Fundamentals to Applications*. InTech, (2012).
- [2] A. Rogalski, "New material systems for third generation infrared photodetectors," *Opto-electronics Rev.*, 16, 458-482, (2008).