بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

ساخت لیزرهای تصادفی با فیدبک رزونانسی بر اساس لایه‌ی نازک شامل نانومیله‌های اکسید مولیبدن رشدیافته به روش الکتروشیمی

عباس قاسم‌پور اردکانی[۱]، نیلوفر صادقی[۱]

[۱]ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده‌ی علوم، بخش فیزیک، aghasempour@shirazu.ac.ir

چکیده –در این مقاله ابتدا لایه‌ای شامل نانومیله‌های اکسید مولیبدن با استفاده از روش الکتروشیمی رشد داده می‌شود. سپس یک لیزر تصادفی بر اساس این نانوساختار و رنگدانه‌ی آلی رودامین بی ساخته می‌شود. همچنین آستانه‌ی دمش را برای این لیزر اندازه گیری می‌کنیم. نتایج تجربی ما نشان می‌دهد که با افزایش انرژی دمش قله‌های بسیار نازکی در طیف گسیلی ظاهر می‌شود و فیدبک لیزر تصادفی پیشنهاد شده از نوع رزونانسی می‌باشد. علاوه بر این، اثر تغییر ناحیه‌ی دمش بر طیف تابشی را مطالعه می‌کنیم.

کلید واژه- لیزرهای تصادفی، اکسید مولیبدن، فیدبک رزونانسی

Fabrication of random lasers with a resonant feedback based on a thin film including Molybdenum Oxide nanorods grown by electrochemical method

Abbas Ghasempour Ardakani[1], Niloufar sadeghi[1]

[1]Physics Department, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran, aghasempour@shirazu.ac.ir

Abstract- In this paper, first a layer of Molybdenum oxide including nanorods is grown using electrochemical method. Then a random laser is fabricated based on this nanostructure and rhodamin B organic dye. Furthermore, we measure the pumping threshold for this laser. Our experimental results show that narrow peaks appear in the emission spectrum with increasing the pumping energy and the feedback of the proposed random laser is resonant. In addition, we study the effect of changing the pumping region on the emission spectrum.

Keywords: random lasers, Molybdenum Oxide, resonant feedback

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱-مقدمه

لیزرهای تصادفی برای اولین بار و بصورت تئوری توسط لتوخوف در سال ۱۹۶۸پیش بینی شد و بعد از آن اولین لیزر تصادفی همدوس بصورت تجربی در سال ۱۹۹۸ توسط کائو و همکارانش مشاهده گردید [۱]. در این لیزرها بازخورد اپتیکی توسط مراکز پراکننده کاتوره‌ای موجود در محیط فعال فراهم می‌شود. به این صورت که فوتون‌ها بعد از وارد شدن در محیط نامنظم، بصورت پی‌درپی توسط این مراکز پراکنده شده و به دلیل وجود محیط فعال، فرآیند تقویت نیز صورت می‌گیرد. این لیزرها از نظر مکانیزم بازخورد به دو دسته‌ی لیزرهای تصادفی همدوس و غیرهمدوس تقسیم می‌شوند. در لیزرهای تصادفی غیرهمدوس، طیف تابشی پهن بوده و در محیط‌هایی که میزان بی‌نظمی ضعیف است رخ می‌دهد. اما در لیزرهای تصادفی همدوس، به دلیل بی‌نظمی بیشتر، نور بعد از چند پراکندگی متعدد به مکان اول خود برگشته، درون محیط جایگزیده شده و به این صورت یک مسیر بسته برای نور درون ساختار تشکیل می‌دهد، که اصطلاحا به آن کاواک لیزری کاتوره‌ای و به این فرآیند جایگزیدگی اندرسون نوری می‌گویند. این لیزرها به دلیل ویژگی‌های ساختاری مناسب مثل امکان ساخت راحت و کم هزینه، ساده و در دسترس بودن، همدوسی مکانی پایین، جهتمند نبودن و غیره، دارای کاربردهای فراوانی در تشخیص سرطان، باتری-های اپتیکی، بارکدهای فوتونیکی، نمایشگرهای کاملا تخت، تراشه‌های نوری، حسگرها و غیره دارند. اکسید فلزات واسطه از جمله موادی هستند که از تنوع ویژگی های قابل توجه برخوردار می‌باشند. از بین آنها اکسید مولیبدن به عنوان یک نیمه رسانای نوع n با گاف پهن، به دلیل داشتن ویژگی‌های الکترونیکی و اپتیکی، مورد توجه زیادی در بسیاری از موضوعات از جمله حسگرهای گازی، باتری‌ها، سیستم‌های الکتروکرومیکی، کاتالیزورها، مواد نگهدارنده و غیره، قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۵، پاتیل و همکارانش، به ساخت و بررسی خواص اپتیکی لایه‌های نازک اکسید مولیبدن پرداختند [۲]. این لایه‌ها را می‌توان به روش‌های مختلفی از جمله اسپاترینگ، تبخیر در خلاء، لایه نشانی بخار شیمیایی و الکتروشیمی تهیه کرد که از بین آنها، روش الکتروشیمی قابلیت کنترل ضخامت لایه‌ها با تغییر بار الکتریکی جابجا شده را دارد و همچنین با این روش می‌توان لایه‌های بزرگ نازک و یکنواختی ساخت که مقرون بصرفه تر نیز می‌باشد.

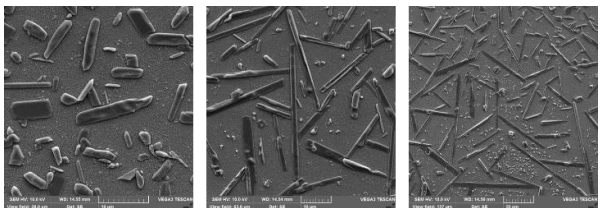
۲-روش رشد الکتروشیمیایی لایه‌ی نازک شامل نانومیله‌ها

در این آزمایش، با استفاده از یک دستگاه پتانسیواستات، لایه نشانی به روش الکتروشیمیایی انجام شد. این دستگاه دارای یک سلول سه الکترودی با آلیاژ Ag/AgCl به عنوان الکترود مرجع، یک سیم پلاتین به عنوان الکترود شمارشگر و یک شیشه لایه نشانی شده‌ی نازک با قلع آلاییده به فلور (FTO) به عنوان الکترود کار می‌باشد. درون سلول از ۱۰ میلی‌لیتر محلول الکترولیت شامل نمک های Na_2MoO_4 با غلظت ۲/۰ مولار، Na_2So_4 با غلظت ۱/۰ مولار و آب دیونیزه، استفاده شد. لایه نشانی با ولتاژ ۱/۱- ولت، دمای ۶۸درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۱۲۰ ثانیه صورت گرفت و در آخر نمونه‌ی بدست آمده به مدت ۲ ساعت، در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت.در شکل ۱، تصویر میکروسکوب الکترونی روبشی (SEM) گرفته شده از لایه‌ی نازک اکسید مولیبدن را نشان می‌دهد که در آن رشد نانومیله‌ها بصورت کاملا کاتوره‌ای و با اندازه‌های متفاوت قابل مشاهده است. در این شکل قطر متوسط نانو میله ها حدوداً ۱ میکرون است. لازم به ذکر است که ابعاد و شکل این نانو میله ها وابسته به مدت زمان لایه نشانی و میزان غلظت محلول الکترولیت به-کار رفته می‌باشد. با توجه به نتایج گزارش شده در مرجع [۶]، نانوساختارهای اکسید مولیبدن تولید شده به روش بالا دارای گاف نواری حدودا ۶۵/۳ الکترون‌ولت هستند بنابراین این نانوساختارها در ناحیه‌ی مرئی دارای جذب ناچیزی بوده و بنابراین می‌توانند به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی مورد استفاده قرار گیرند. گاف نواری بدست آمده نسبت به مقادیر ذکر شده برای لایه‌ی نازک اکسید مولیبدن بیشتر است [۴]. با توجه به آنکه نانومیله‌های قرار گرفته بر

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

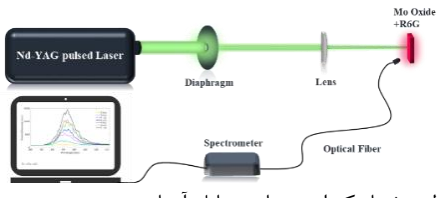
روی سطح تخت زیر لایه دارای یک ضخامت مشخص هستند، امکان تشکیل مسیرهای بسته‌ی موازی سطح زیر لایه برای فوتون‌ها در اثر پراکندگی وجود دارد.



شکل۱: تصویر SEM از لایه‌ی نازک اکسید مولیبدن رشد یافته با استفاده از روش الکتروشیمی. خط مقیاس به ترتیب از سمت چپ، ۱۰،۱۰ و ۲۰ میکرون است.

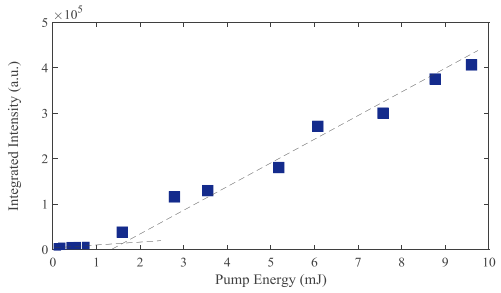
۳-بحث و نتایج

در شکل ۲ طرح واره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش مشاهده می‌شود. در آن از هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر و پهنای زمانی ۱۰ نانوثانیه و نرخ تکرار ۱۰هرتز استفاده کردیم. با قرار دادن یک دیافراگم بعد از لیزر، اندازه‌ی لکه پمپ بر روی نمونه و سطح ناحیهٔ برانگیختگی را کنترل کرده و سپس پرتو لیزر توسط عدسی بر روی نمونه متمرکز شده است. در اینجا لایه‌ی نازک رشد داده شده توسط محلولی ارغوانی رنگ شامل ۷ میلی گرم رنگدانه‌ی رودامین B و ۲ سی‌سی اتیلن گلیکول،پوشیده می‌شود. سپس نمونه‌ی ساخته شده را مقابل هارمونیک دوم لیزر Nd-YAG قرار داده و طیف تابشی آن توسط یک فیبر نوری به اسپکترومتر منتقل شده و در نهایت طیف حاصل از آن را توسط کامپیوتر ثبت کردیم. در اینجا از لایه اکسید مولیبدن به عنوان مراکز پراکننده و از رنگدانه‌ی رودامین B به عنوان ماده بهره استفاده می‌کنیم.



شکل۲: طرح شماتیک ازچیدمان وسایل آزمایش.

به منظور محاسبه انرژی دمش آستانه، گسیل حاصل از نمونه به ازای انرژی دمش‌های متفاوت ثبت شده و سپس منحنی انتگرال شدت بر حسب انرژی دمش رسم شده و در شکل ۳ نشان داده شده است.



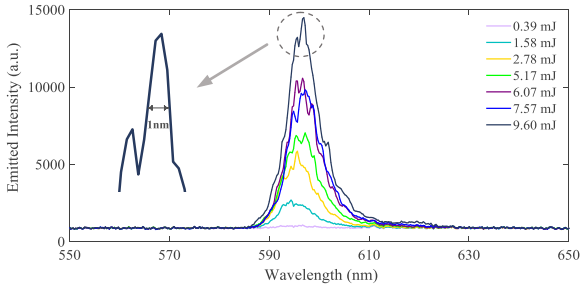
شکل۳: منحنی انتگرال شدت بر حسب انرژی دمش.

همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش انرژی دمش به حالتی می‌رسیم که ناگهان از انرژی مشخصی به بعد، انتگرال شدت با شیب بیشتری افزایش خواهد یافت که به آن انرژی دمش آستانه گفته می‌شود و مقدار آن ۳/۱ میلی ژول بدست آمده است. این مقدار آستانه با مقادیر گزارش شده در مقالات منتشر شده با در نظر گرفتن میزان غلظت رنگدانه قابل مقایسه است [۵]. در این حالت می‌توان گفت که به دلیل تأمین شدن بهره‌ی کافی در محیط، شرط نوسان لیزری برآورده می شود. منحنی طیف تابشی حاصل از نمونه بر حسب طول موج به ازای انرژی‌های مختلف دمش بدست آمده و در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به منحنی مشاهده می‌شود که با افزایش انرژی دمش، شدت قله‌های تابشی افزایش می‌یابد. کاهش شدت تابشی با تغییر انرژی پمپ از ۰۷/۶ میلی ژول به ۵۷/۷ میلی ژول می‌تواند به علت اثر اشباع بهره و رقابت بین مدها باشد. همچنین با افزایش انرژی پمپ، قله‌های باریکی با پهنای حدود یک نانومتر در طیف تابشی ظاهر می‌شود. لازم به ذکر است که قبلا لایه - FTO آغشته به این محلول نیز بررسی شده و طیف گسیلی حاصل از آن پهن و فاقد قله رزونانسی بوده است [۳]. لذا وجود لایه‌ی نازک اکسید مولیبدن باعث ظاهر شدن قله‌های تابشی و تولید نوسان لیزری شده است. نکتهٔ قابل توجه آن است که، در لیزرهای تصادفی همدوس، در صورت کافی بودن بهره در محیط، گسیل القایی و لیزردهی در مدهای رزونانسی صورت گرفته و در نتیجه قله‌های بسیار باریکی ناشی از این مدها در طیف تابشی بوجود می‌آیند که این پدیده در شکل ۴ به وضوح قابل مشاهده است. درنتیجه دراینجا می‌توان گفت که، در لیزر تصادفی ساخته شده بر

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

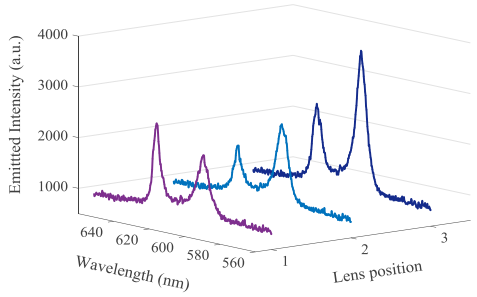
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

اساس لایه‌ی نازک اکسید مولیبدن، نوع فیدبک رزونانسی است. در این لیزرها هرچه میزان بی‌نظمی بیشتر باشد ضریب کیفیت کاواک‌های محلی تشکیل شده بیشتر بوده و آستانه‌ی لیزردهی کمتر می‌باشد. با تنظیم پارامترهای موجود در رشد الکتروشیمیایی، می‌توان میزان بی‌نظمی در ساختارهای اکسید مولیبدن تولید شده را کنترل کرد. علت رزونانسی بودن فیدبک فراهم شده توسط نانومیله‌های اکسید مولیبدن، تباین ضریب شکستی بالای بین این نانوساختارها و حلال رنگدانه از یک طرف، و سطع مقطع پراکندگی بالای آن‌ها از طرف دیگر می‌باشد.



شکل۴: طیف گسیل تابشی بر حسب طول موج به ازای انرژی دمش‌های متفاوت.

همچنین در این آزمایش، با تغییر ناحیه‌ی دمش بر روی نمونه متوجه شدیم که در طیف تابشی دو قله مشاهده می‌شود. علت ظاهر شدن دو قله‌ی لیزری این است که در این ناحیه‌ی خاص که تحت تابش پمپ قرار گرفت است، با توجه به تفاوت ضریب کیفیت کاواک‌های تصادفی موجود، شرط لیزردهی فقط برای دو تا از مدهای رزونانسی برآورده می‌شود. همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، برای موقعیت ۱ هنگامی‌که عدسی در فاصله‌ی معینی نسبت به نمونه قرار دارد دوقله با طول موج‌های مرکزی ۵۹۹ و ۶۲۴ نانومتر در طیف مشاهده می‌شود. حال اثر تغییر فاصله‌ی عدسی نسبت به نمونه را بر روی طیف تابشی بررسی می‌کنیم. با نزدیک کردن عدسی به نمونه (موقعیت ۲ در شکل ۵)، مشاهده می‌شود که طول موج قله‌های تابشی تغییر چندانی نمی‌کند ولی شدت قله با طول موج کمتر، افزایش می‌یابد. دلیل این امر، افزایش شدت موج پمپ بر روی نمونه است. علت کاهش و افزایش قله با طول موج بیشتر، می‌تواند اثر رقابت بین مدی باشد. با نزدیک کردن بیشتر عدسی به نمونه و قرار دادن آن در موقعیت ۳ مطابق شکل ۵، شدت قله‌های تابشی نسبت به موقعیت ۲ بیشتر شده ولی همچنان قله سمت راست دارای شدت بیشتری است. همچنین طول موج قله‌ها در موقعیت ۳ نسبت به موقعیت ۱و ۲ تغییر چندانی نمی‌کند.



شکل۵: طیف گسیل تابشی بر حسب طول موج به ازای موقعیت‌های مکانی متفاوت عدسی.

۴-نتیجه‌گیری

دراینجا لایه‌ای از نانومیله‌های اکسید مولیبدن بر روی FTO با استفاده از روش الکتروشیمی لایه نشانی شد. سپس از این نانو ساختارها به عنوان مراکز پراکننده در یک لیزر تصادفی استفاده شد. در طیف تابشی قله‌هایی با پهنای حدوداً یک نانومتر مشاهده می‌شود که حاکی از رزونانسی بودن فیدبک در لیزر ساخته شده است. همچنین با تغییر ناحیه دمش مشاهده کردیم که طیف تابشی دو قله‌ای می شود و با تغییر فاصله‌ی عدسی از نمونه می‌توان شدت قله ها را کنترل نمود.

مرجع‌ها

[1] H. Cao, Y. G. Zhao, S. T. Ho, E. W. Seelig, Q. H. Wang, R. P. T.Chang, “Random Laser Action in Semiconductor Powder”, Phys.Rev. Lett., Vol. 82, pp. 2278-2281, 1998.

[2] R.S. Patil, M.D. Uplane, and P.S. Patil, “Structural and optical properties of electrodeposited molybdenum oxide thin films”, Appl. Surf. Sci. Vol. 252, No. 23, pp. 8050-8056, 2006.

[3] A. G.Ardakani and P. Rafieipour, “Fabrication of Random lasers based on Zinc oxide nanosheets grown by electrochemical deposition”,24th ICOP & ICPET. pp. 293-296, 2018.

[4] M. Anwar and C.A. Hogarth, “Optical properties of amorphous thin films of MoO3 deposited by vacuum evaporation”, Phys. Status Solidi A, Vol. 109, No. 2, pp. 469-478, 1988.

[5] J. Kitur, G.Zhu, M. Bahoura, and M.A. Noginov, “Dependence of the random laser behavior on the concentrations of dye and scatterers”, J. Opt. Vol. 12, No. 2, pp. 024009, 2010.

[6] عباس قاسم‌پور اردکانی، نیلوفر صادقی، هانیه حقیقی، زهراحسینی. اندازه‌گیری ضرایب اپتیکی خطی و غیرخطی لایه‌ی نازک شامل نانومیله‌های اکسید مولیبدن رشد یافته به روش الکتروشیمی. پذیرفته شده در بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، ۱۳۹۷.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]