گسیل لیزر تصادفی تک مد حاصل از محلول ذرات اکسید تنگستن پخش شده در رنگدانه‌ی رودامین 6G

عباس قاسم‌پور اردکانی، پیمانه رفیعی پور

ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده‌ی علوم، بخش فیزیک

چکیده – در این مقاله، به صورت تجربی گسیل لیزر تصادفی را از محلول شامل ذرات اکسید تنگستن و رنگدانه‌ی آلی رودامین 6G بررسی می‌کنیم. نظر به اهمیت و کاربرد اکسید تنگستن در حسگرهای گازی، مواد الکتروکرومیک، الکترودهای نوری و سایر ابزارهای اپتوالکتریکی، این ماده را به عنوان مراکز پراکننده در محیط تصادفی انتخاب کردیم. تا جایی که اطلاع داریم، این کار برای اولین بار در این مقاله انجام می‌شود. ذرات اکسید تنگستن بازخورد نوری را از طریق چند پراکندگی نور فراهم می‌کنند. محلول رودامین 6G نیز بهره‌ی نوری را از طریق گسیل القایی تأمین می‌کند. از هماهنگ دوم لیزر ضربانی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر برای برانگیختگی نوری نمونه استفاده می‌کنیم. همچنین اثر تغییر غلظت ذرات WO_3 را بر روی آستانه‌ی لیزری تصادفی بررسی می‌کنیم. نتایج بررسی‌های ما نشان می‌دهند که با افزودن ذرات اکسید تنگستن به محلول رنگدانه‌ی رودامین 6G، تابش لیزری تصادفی تک مد از نمونه به دست می‌آید. همچنین مقدار شدت دمش آستانه را برای هر کدام از نمونه‌های آماده شده شامل غلظت‌های مختلف ذرات WO_3 اندازه می‌گیریم. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که با افزایش غلظت ذرات پراکننده، آستانه‌ی لیزردهی تصادفی کاهش پیدا می‌کند.

کلید واژه- اکسید تنگستن، چند پراکندگی نور، لیزرهای تصادفی.

Single mode random lasing emission from tungsten oxide particles dispersed in Rhodamine 6G solution

Abbas Ghasempour Ardakani, Peymaneh Rafieipour

Physics Department, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract- In this paper, we experimentally investigate the random lasing emission from tungsten oxide particles in Rhodamine 6G solution. Due to the importance and applications of tungsten oxide in gas sensors, electrochromic materials, photoelectrodes and other optoelectrical devices, we choose this material as the scattering centers in random media. Up to our knowledge, it is for the first time that this work is done. Tungsten oxide particles provide optical feedback by multiple light scattering. Optical gain is provided by Rhodamine 6G solution through stimulated emission. For optical excitation of the sample, we use the second harmonic of Nd-YAG pulsed laser with the wavelength of 532 nm. Also we investigate the effect of the variation of WO_3 particle concentrations on random lasing threshold. Our results show that single mode random lasing emission is achieved from the sample, by adding tungsten oxide particles to Rhodamine 6G solution. Also we calculate the threshold pumping energy for each of the prepared samples containing different concentrations of tungsten oxide particles. Calculated results show that by increasing the concentrations of the scattering centers, random lasing threshold is decreased.

Keywords: tungsten oxide, multiple light scattering, random lasers.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

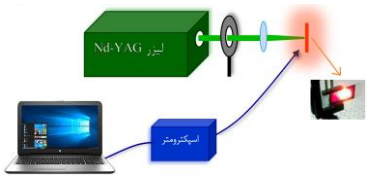
لیزرهای تصادفی، لیزرهای بدون آینه نامیده می‌شوند. به این علت که بر خلاف لیزرهای معمولی، بازخورد نوری در آن‌ها توسط آینه تأمین نمی‌شود. بلکه چند پراکندگی نور درون محیط بهره بازخورد نوری لازم را برای نوسان لیزری تصادفی فراهم می‌کند. لیزرهای تصادفی بر حسب مکانیزم بازخورد به دو دسته‌ی لیزرهای تصادفی همدوس و ناهمدوس تقسیم‌بندی می‌شوند. بازخورد در لیزرهای تصادفی همدوس از نوع تشدیدی و در لیزرهای تصادفی ناهمدوس از نوع غیر تشدیدی است. محیط فعال لیزرهای تصادفی می‌تواند انواع رنگدانه‌های آلی، پودرهای نیمه رسانا، کریستال‌های مایع، نقاط کوانتومی و... باشد [۱]. تولید نور لیزر تصادفی اولین بار به صورت تئوری توسط لتوخوف در سال ۱۹۶۸پیش بینی شد [۲]. اولین تابش لیزری تصادفی همدوس نیز در سال ۱۹۹۸ به صورت تجربی مشاهده گردید [۳]. اکسید تنگستن به دلیل حساسیت بالا به نور، ویژگی‌های خوب انتقال الکترون و پایداری در برابر خوردگی نوری در محلول‌های آبی اسیدی از اهمیت بالقوه‌ای برخوردار است. کاربرد اکسید تنگستن به عنوان نیمه رسانای نوع n در حسگرهای گازی، مواد الکتروکرومیک، الکترودهای نوری و سایر ابزارهای اپتوالکتریکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین ساخت لیزرهای تصادفی بر پایه‌ی اکسید تنگستن می‌تواند دریچه‌ی جدیدی را بر روی کاربردهای لیزرهای تصادفی در این فناوری‌ها باز کند. در این مقاله، گسیل تک مد لیزر تصادفی را از محلول رنگدانه‌ی آلی و ذرات پودری WO_3 گزارش می‌دهیم. تا جایی که اطلاع داریم ساخت لیزر تصادفی بر پایه‌ی ذرات اکسید تنگستن تاکنون در مقالات داخلی و خارجی گزارش نشده است. همچنین اثر افزایش غلظت ذرات WO_3 بر روی آستانه‌ی نوسان لیزری را بررسی می‌کنیم. پژوهشی که در این مقاله انجام می‌دهیم می‌تواند آغازگر سایر تحقیقات در زمینه‌ی لیزرهای تصادفی بر پایه‌ی اکسید تنگستن باشد.

۲- روش آماده سازی مواد و چیدمان آزمایش

از پودر اکسید تنگستن (ultra-pure, Merck) به رنگ زرد کم رنگ استفاده می‌کنیم. همچنین پودر رنگدانه‌ی رودامین ۶G محصول شرکت سیگما آلدریچ، با محتوای رنگ ۹۵٪ و به رنگ قرمز تیره به عنوان محیط بهره در لیزر تصادفی به کار می‌رود. به منظور بررسی اثر تغییر غلظت ذرات پراکننده بر روی آستانه‌ی لیزر تصادفی، سه محلول مجزا از هم شامل غلظت‌های مختلف ۰/۰۰۷۲، ۰/۰۱۴۴ و ۰/۰۲۱۶ مولار از اکسید تنگستن و غلظت ثابت ۰/۰۰۴۸ مولار از رنگدانه‌ی رودامین ۶G در اتانول و اتیلن گلیکول با نسبت حجمی ۲ به ۱ را آماده می‌کنیم. لازم به ذکر است که از اتانول و اتیلن گلیکول به ترتیب با درصدهای خلوص ۹۹/۸٪ و ۹۹/۵٪، تولید شده توسط شرکت‌های کیمیا الکل زنجان و Merck استفاده می‌کنیم. از آن جایی که گرانروی اتیلن گلیکول نسبت به اتانول بیش‌تر است بنابراین مقدار آن را بیش‌تر انتخاب می‌کنیم تا به این ترتیب ذرات WO_3 درون محلول دیرتر ته نشین شوند. برای دست یابی به یک محلول همگن، ابتدا هر یک از آن‌ها را به مدت یک ساعت بر روی دستگاه استیرر (هم زن مغناطیسی) قرار داده و سپس به مدت نیم ساعت نیز اولتراسونیک می‌کنیم. یک نمونه محلول شامل فقط رودامین ۶G با غلظت ۰/۰۰۴۸ مولار نیز آماده می‌شود. پس از آماده سازی محلول‌ها، مقداری از هر کدام از آن‌ها را بین دو لام میکروسکوپ قرار می‌دهیم و به این ترتیب یک سلول لیزر تصادفی آماده می‌شود.

۲-۱- چیدمان آزمایش

در شکل ۱ چیدمان آزمایش را مشاهده می‌کنیم:



شکل ۱: طرحواره‌ای از محل قرارگیری و چیدمان وسایل آزمایش.

از چپ به راست، به ترتیب لیزر ضربانی Nd-YAG، روزنه، عدسی و نمونه را روبروی یکدیگر قرار می‌دهیم. از روزنه برای تنظیم اندازه‌ی لکه‌ی دمش بر روی نمونه استفاده می‌کنیم. عدسی نور لیزر دمش را بر روی نمونه متمرکز می‌کند. یک تار نوری (قطر مغزی ۲۰۰ میکرون و نوع UV-VIS) تابش لیزر تصادفی گسیل شده از نمونه را جمع‌آوری کرده و به یک بیناب سنج (HR-2000 Ocean Optics) با دقت ۰/۰۵ نانومتر منتقل می‌کند. تزویج تابش گسیلی به تار نوری توسط یک جفت کننده‌ی تار انجام می‌شود. سپس با استفاده از کامپیوتری که به بیناب سنج متصل است، طیف تابشی را ثبت می‌کنیم. به منظور اندازه‌گیری شدت تابش لیزر دمش بر روی نمونه نیز از یک دستگاه ژول‌متر با دقت ۱ میکرو ژول و ساخت شرکت Gentec استفاده

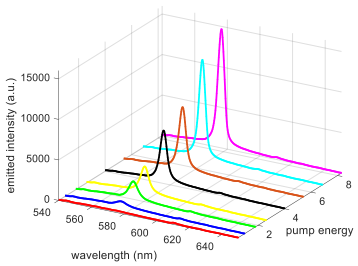
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

می‌شود. برای انتقال نور به ژول متر از یک تقسیم کننده‌ی باریکه استفاده می‌شود.

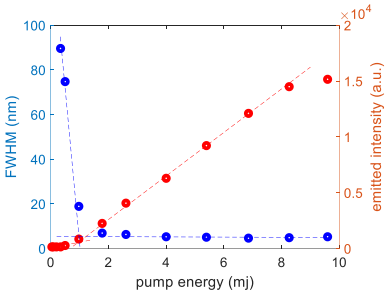
۲-۲- بحث و نتایج آزمایش

ما ابتدا محلول ۰/۰۲۱۶ مولار اکسید تنگستن را در برابر تابش هماهنگ دوم لیزر ضربانی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر، پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز قرار می‌دهیم و اثر افزایش انرژی دمش را بر روی طیف تابشی آن بررسی می‌کنیم. نتیجه به ازای انرژی‌های دمش ۰/۵، ۰/۹۸، ۱/۸، ۲/۶، ۴، ۵/۴، ۶/۸۵ و ۸/۲۷ میلی ژول بر ضربان در شکل ۲ نشان داده شده است:



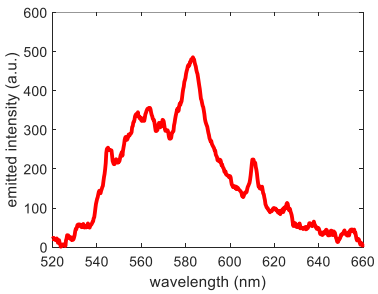
شکل ۲: تحول طیف گسیل بر حسب طول موج با افزایش انرژی دمش برای محلول ۰/۰۲۱۶ مولار WO_3.

مشاهده می‌کنیم در انرژی‌های دمش کم، طیف تابشی بسیار پهن و فاقد قله‌ی تابشی است. با افزایش انرژی دمش، منحنی تابشی به طرف قله‌ی مرکزی محیط فعال باریک شده و گسیل خود به خودی تقویت شده اتفاق می‌افتد. زمانی که انرژی دمش از مقدار آستانه بیش‌تر شود، آن‌گاه یک قله‌ی تابشی با پهنای کم در طیف گسیلی ظاهر می‌شود که شدت آن با افزایش انرژی دمش، بیش‌تر می‌شود. طول موج مرکزی آن به ازای انرژی دمش ۴ میلی‌ژول بر ضربان، برابر با ۵۷۶ نانومتر و پهنا در نصف بیشینه (FWHM) برابر با ۵/۵ نانومتر می‌باشد.



شکل ۳: منحنی شدت بیشینه و پهنا در نصف بیشینه‌ی قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر ضربان دمش، برای محلول ۰/۰۲۱۶ مولار WO_3.

برای اندازه‌گیری شدت دمش آستانه متناظر با قله‌ی تابشی ظاهر شده، منحنی شدت بیشینه‌ی تابشی را بر حسب انرژی دمش رسم می‌کنیم (شکل۳). همچنین، پهنای قله‌ی تابشی بر حسب انرژی ضربان دمش را در شکل ۳ نشان داده‌ایم. دایره‌ها متناظر با داده‌های حاصل از آزمایش و خط چین نیز برازش نمودار به داده‌های تجربی است. مشاهده می‌کنیم که روند افزایش شدت تابشی با افزایش انرژی دمش، از یک انرژی دمش مشخص به بعد، ناگهان با شیب بیش‌تری اتفاق می‌افتد. این انرژی دمش، انرژی دمش آستانه نام دارد و مقداری از انرژی دمش است که به ازای آن، بهره‌ی لازم فراهم شده و نوسان لیزری برای مد تشدیدی رخ می‌دهد. ما شدت دمش آستانه را تقریباً برابر با ۰/۸ میلی ژول بر ضربان به دست می‌آوریم. همچنین مشاهده می‌کنیم که در انرژی دمش آستانه، پهنای قله‌ی تابشی خیلی سریع کاهش می‌یابد. همان‌گونه که می‌دانیم افزایش ناگهانی در شدت و کاهش سریع در پهنای قله‌ی تابشی دو مشخصه از رخدادن نوسان لیزری هستند. بنابراین ما نتیجه می‌گیریم که در نمونه‌ی مورد بررسی که حاوی غلظت ۰/۰۲۱۶ مولار از WO_3 است، نوسان لیزری تصادفی اتفاق افتاده است. همچنین آستانه‌ی به دست آمده از هر دو منحنی در شکل ۳ بر هم منطبق است. در مرحله‌ی بعد نمونه‌ی ۰/۰۰۴۸ مولار رودامین 6G و فاقد ذرات WO_3 را تحت دمش قرار می‌دهیم و تابش فلوئورسانس حاصل را به ازای انرژی دمش ۴ میلی‌ژول بر ضربان ثبت می‌کنیم (شکل۴):



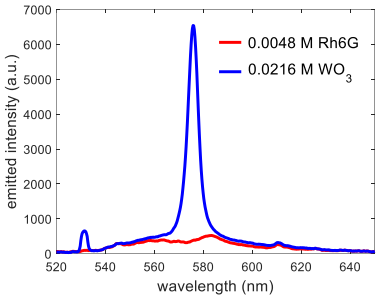
شکل ۴: طیف گسیل بر حسب طول موج برای محلول ۰/۰۰۴۸ مولار فقط رنگدانه‌ی آلی و به ازای انرژی دمش ۴ میلی‌ژول بر ضربان.

پهنا در نصف بیشینه برای تابش فلوئورسانس تقریباً برابر با ۵۶/۵ نانومتر و طول موج مرکزی نیز ۵۷۰ نانومتر می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند زمانی که ذرات WO_3 درون محلول حاوی رنگدانه‌ی آلی وجود داشته باشند، پهنای قله‌ی تابشی بسیار باریک و شدت آن نیز بسیار زیاد می‌شود. به عبارت دیگر با افزودن ذرات WO_3 به محلول، شدت تابشی ۱۳ برابر افزایش و پهنا در نصف بیشینه نیز تقریباً ۱۱ برابر کاهش پیدا می‌کند. این افزایش در شدت

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

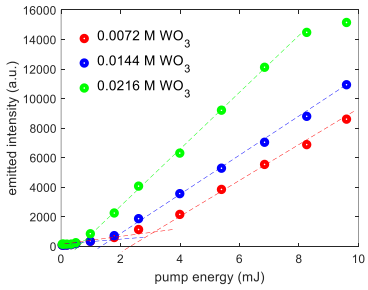
[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

و کاهش در پهنا در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل، قله‌ی مشاهده شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر مربوط به موج دمش است که برای دمش نوری ساختار به کار رفته است.



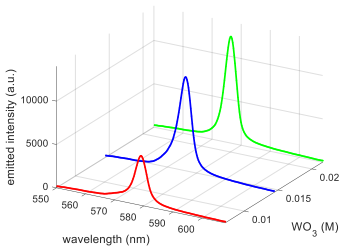
شکل ۵: طیف گسیل بر حسب طول موج به ازای انرژی دمش ۴ میلی‌ژول بر ضربان برای محلول رنگدانه‌ی حاوی ذرات WO_3 (منحنی آبی) و فاقد آن‌ها (منحنی قرمز).

بنابراین نتیجه می‌گیریم که تابش لیزری تصادفی به دست آمده از محلول ۰/۰۲۱۶ مولار WO_3 به دلیل وجود ذرات WO_3 اتفاق می‌افتد. علت فیزیکی این پدیده آن است که وجود ذرات WO_3 در محیط بهره باعث چند پراکندگی نور می‌شود. هرچه میزان بی‌نظمی در ساختار تصادفی و کاتوره‌ای بیش‌تر باشد، نور نیز بیش‌تر پراکنده شده و بنابراین زمان بیش‌تری را درون محیط بهره باقی می‌ماند. در نتیجه بیش‌تر تقویت می‌شود. میزان بی‌نظمی ساختار تصادفی وابسته به میزان و موقعیت ذرات WO_3 درون محیط بهره است. بنابراین نوری که وارد یک ساختار تصادفی با بی‌نظمی زیاد می‌شود، ممکن است در برخی نواحی دورن محیط جایگزیده شود و به دام بیفتد. این نواحی را اصطلاحاً کاواک لیزری تصادفی می‌نامند. متناظر با هر کاواک تصادفی، تعدادی مد تشدیدی برای ساختار تصادفی وجود دارد و اگر بهره به اندازه‌ی کافی زیاد شود که بر افت‌های متناظر با کاواک‌ها غلبه کند، آن‌گاه گسیل لیزر تصادفی در فرکانس‌های رزونانسی اتفاق می‌افتد.



شکل ۶: منحنی شدت قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر ضربان دمش برای محلول‌های ۰/۰۰۷۲، ۰/۰۱۴۴ و ۰/۰۲۱۶ مولار WO_3.

ما در بخش بعدی از بررسی‌ها، اثر تغییر غلظت WO_3 را بر روی آستانه‌ی گسیل لیزر تصادفی بررسی می‌کنیم (شکل ۶). مشاهده می‌کنیم که افزایش غلظت WO_3 باعث کاهش آستانه می‌شود. آستانه‌ی اندازه‌گیری شده به ترتیب برای محلول‌های ۰/۰۰۷۲، ۰/۰۱۴۴ و ۰/۰۲۱۶ مولار WO_3 برابر با ۳/۲، ۱/۸ و ۰/۸ میلی‌ژول بر ضربان است. هرچه غلظت ذرات WO_3 درون محیط بهره بیش‌تر باشد، نور بیش‌تر پراکنده می‌شود و به این ترتیب ضریب کیفیت کاواک‌های تصادفی شکل گرفته نیز افزایش پیدا می‌کند. بنابراین در صورت فراهم شدن بهره‌ی لازم، آستانه‌ی گسیل لیزر تصادفی نیز کاهش پیدا می‌کند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب کیفیت مد تشدیدی در نمونه‌ی ۰/۰۲۱۶ مولار WO_3 نسبت به سایر نمونه‌ها بیش‌تر است. بنابراین انتظار داریم که شدت قله‌ی تابشی آن نیز در یک انرژی دمش ثابت (بهره‌ی ثابت و معین)، نسبت به قله‌ی تابشی متناظر با نمونه‌های ۰/۰۰۷۲ و ۰/۰۱۴۴ مولار WO_3 بیش‌تر باشد. این نتیجه را در شکل ۸ به خوبی می‌توانیم مشاهده کنیم:



شکل ۸: طیف گسیل بر حسب طول موج به ازای انرژی دمش ۶/۸۵ میلی‌ژول بر ضربان، حاصل از محلول‌های با غلظت‌های مختلف WO_3.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک لیزر تصادفی بر پایه‌ی ذرات پودری WO_3 ساخته شد. از هماهنگ دوم لیزر ضربانی Nd-YAG برای دمش نوری ساختار استفاده کردیم. نتایج بررسی‌های ما گسیل تک مد تابش لیزری تصادفی را از محلول‌های حاوی ذرات WO_3 و رنگدانه‌ی رودامین 6G نشان می‌داد. همچنین مشاهده کردیم که افزایش غلظت ذرات پراکننده آستانه‌ی نوسان لیزری تصادفی را کاهش می‌دهد.

مراجع

[1] F. Luan, B. Gu, A. S. L. Gomes, K. Yong, Sh. Wen, P. N. Prasad, "Lasing in nanocomposite random media", Nano Today, Vol. 10, pp. 168-192, 2015.

[2] V. S. Letokhov, "Generation of light by a scattering medium with negative resonance absorption", Sov. Phys. JETP., Vol. 26, pp. 835-840, 1968.

[3] 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.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]