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 لیزر تصادفی بر پایه‌ی نوار چسب و محلول رنگ رودامین ۶G

عباس قاسم پور اردکانی[۱]، پیمانه رفیعی پور[۱]

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

چکیده - در این مقاله، یک لیزر تصادفی بر پایه‌ی نوار چسب به عنوان محیط پراکننده و همچنین محلول رنگ رودامین ۶G به عنوان محیط فعال ساخته می‌شود. به صورت تجربی امکان گسیل نور لیزر تصادفی را از این نمونه بررسی می‌کنیم. ارزان و در دسترس بودن نوار چسب موجب می شود که این ماده گزینه ی مناسبی برای ساخت لیزرهای تصادفی باشد. تا جایی که اطلاع داریم، ساخت لیزر تصادفی بر پایه‌ی نوار چسب برای اولین بار در این مقاله گزارش می‌شود. حفره‌ها و برآمدگی‌هایی که بر روی سطح نوار چسب وجود دارد باعث چند پراکندگی نور شده و بازخورد نوری لازم را برای تابش لیزری تصادفی تأمین می‌کند. در این‌جا، بهره‌ی نوری توسط محلول رنگ رودامین ۶G از طریق فرایند گسیل القایی تأمین می‌شود. نتایج بررسی‌های تجربی گسیل نور لیزر تصادفی را از نمونه نشان می‌دهند. همچنین مقدار انرژی دمش آستانه را برای آن اندازه می‌گیریم. علاوه بر آن، با افزایش انرژی دمش، طول موج قله‌ی تابشی به سمت طول موج‌های بلندتر جابجا می‌شود. این اثر می‌تواند برای کوک کردن تابش لیزر تصادفی به کار برده شود.

کلید واژه- لیزر تصادفی، چند پراکندگی نور، نوار چسب.

Fabrication of a random laser based on a tape and rhodamine 6G solution

Abbas Ghasempour Ardakani[1], Peymaneh Rafieipour[1]

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

Abstract- In this paper, a random laser is fabricated based on a tape as the scattering medium and rhodamine 6G solution as the gain medium. We experimentally investigate the random lasing emission from this sample. Low cost and availability of the tape causes this material to be a good candidate for fabrication of random lasers. Up to our knowledge, the fabrication of a random laser based on the tape is reported in this paper, for the first time. Holes and bumps which are existed on the surface of the tape lead to the multi-scattering of light and provide the essential optical feedback for random lasing emission. Here, optical gain is provided by rhodamine 6G solution via stimulated emission process. Experimental results demonstrate the random lasing emission from the sample. Also, we measure its threshold pump energy. In addition, the emitted wavelength is red shifted by increasing the pump energy. This effect can be applied for tuning the random lasing emission.

Keywords: random laser, multiple light scattering, tape.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

مقدمه

تقویت نور بر اساس پراکندگی در محیط فعال یکی از جالب‌ترین موضوعات پژوهشی در زمینه‌ی لیزر است. عبارت لیزر تصادفی برای توصیف سیستمی به کار می‌رود که در آن، تولید نور لیزر از یک محیط فعال و بی‌نظم شامل مراکز پراکننده مشاهده می‌شود. لیزرهای تصادفی به دلیل ساده بودن ساخت، کوچک بودن ابعاد و ارزان بودن آن‌ها توجه بسیاری از دانشمندان را به خود معطوف کرده‌اند. امکان تولید نور لیزر با استفاده از پراکندگی نور در یک محیط فعال برای اولین بار توسط لتوخوف در سال ۱۹۶۸ و به صورت تئوری پیش بینی شد [۱]. پس از ساخت اولین لیزر تصادفی در آزمایشگاه در سال ۱۹۹۴ [۲]، این لیزرها به صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفتند. تاکنون انواع گوناگون لیزرهای تصادفی با دمش نوری بر پایه‌ی ذرات نیمه رسانا [۳]، تارهای نوری [۴] و بلورهای مایع [۵] ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن، لیزرهای تصادفی دیودی با دمش الکتریکی نیز ساخته شده‌اند [۶]. از آن‌جایی که بازخورد نوری در لیزرهای تصادفی توسط چند پراکندگی نور تأمین می‌شود، لیزرهای تصادفی به دو نوع لیزرهای تصادفی رزونانسی و غیر رزونانسی تقسیم بندی می‌شوند. زمانی که چند پراکندگی رخ داده برای نور خیلی قوی باشد، لیزر تصادفی از نوع رزونانسی است. در رژیم پراکندگی ضعیف‌تر، لیزر تصادفی از نوع غیر رزونانسی است. نور خروجی از لیزرهای تصادفی ویژگی‌های متمایزی نسبت به لیزرهای معمولی دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان عدم جهتمندی و همدوسی مکانی کم را نام برد. بر این اساس می‌توان از لیزرهای تصادفی به عنوان جایگزین‌های مناسب دیودهای نورتاب در کاربردهایی مانند تصویر برداری‌های زیستی و پزشکی، نشانه‌گذاری، روشنایی و بارکدخوان‌های نوری استفاده کرد.

ما در این مقاله، امکان گسیل نور لیزر تصادفی را که بر پایه‌ی نوار چسب و محلول رنگ رودامین 6G ساخته شده است، بررسی می‌کنیم. از نوار چسب به عنوان محیط پراکننده‌ی لیزر تصادفی برای فراهم آوردن بازخورد نوری و از محلول رنگدانه‌ی آلی نیز به عنوان محیط فعال برای تقویت نور استفاده می‌کنیم. نتایج اندازه‌گیری‌های تجربی و مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهند که تابش لیزری تصادفی از نمونه‌ی ساخته شده به دست می‌آید. کاهش قابل توجه پهنا و افزایش سریع شدت تابشی، زمانی که شرط آستانه‌ی لیزری برآورده می‌شود، نشان‌دهنده‌ی رفتار آستانه و نوسان لیزری تصادفی در ساختار است. تا جایی که اطلاع داریم ساخت لیزر تصادفی بر پایه‌ی نوار چسب در مقالات داخلی و خارجی گزارش داده نشده است. علاوه بر آن، نشان می‌دهیم که افزایش انرژی دمش باعث جابجایی قرمز طول موج گسیلی می‌شود.

روش تهیه نمونه

محلولی با غلظت ۱۰/۴ میلی مولار از رنگدانه‌ی رودامین 6G در اتیلن گلیکول را درون یک بشر آماده می‌کنیم. سپس بشر محتوی محلول را به مدت ۳۰ دقیقه بر روی دستگاه استیرر قرار می‌دهیم تا یک محلول همگن به دست آید. پس از آماده سازی محیط فعال، یک قطره از آن را بر روی یک نوار چسب قرار می‌دهیم و به این ترتیب یک نمونه‌ی لیزر تصادفی ساخته می‌شود.

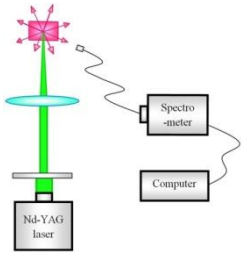
چیدمان آزمایش

نور خروجی از لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر، پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز از یک روزنه عبور کرده و با استفاده از یک عدسی کروی بر روی نمونه متمرکز می‌شود. از روزنه برای تنظیم مساحت لکه‌ی پمپ بر روی نمونه استفاده می‌کنیم. نور تابش شده از نمونه توسط یک جفت کننده‌ی نور به یک تار نوری جفت شده و به یک طیف سنج هدایت می‌شود. آن‌گاه با

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

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

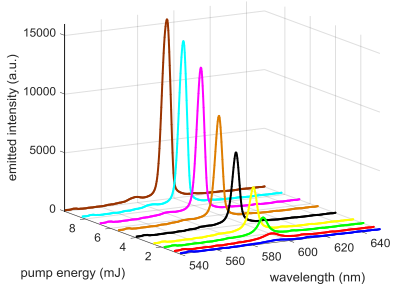
استفاده از کامپیوتری که به طیف سنج متصل است، طیف نور تابشی را ثبت می‌کنیم (شکل ۱):



شکل ۱: طرحواره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش.

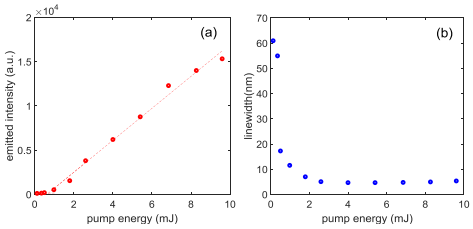
نتایج و جمع‌بندی

نمونه‌ی آماده شده را در مقابل تابش هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG قرار می‌دهیم و طیف تابشی حاصل را به ازای انرژی‌های دمش مختلف ثبت می‌کنیم. شکل ۲ اثر افزایش انرژی دمش را بر روی طیف تابشی حاصل از نمونه نشان می‌دهد:



شکل ۲: تغییر طیف گسیل بر حسب طول موج با افزایش انرژی دمش.

به ازای انرژی دمش خیلی کم، یک منحنی بسیار پهن و با شدت کم که نشان دهنده‌ی گسیل خود به خودی محیط فعال است، در طیف تابشی ظاهر می‌شود. در این حالت، آن‌چه مشاهده می‌شود طیف فلورسانس محیط فعال است. مشاهده می‌کنیم که با افزایش انرژی دمش، شدت تابشی به تدریج زیاد و منحنی گسیل خود به خودی نیز به طرف قله‌ی مرکزی محیط فعال باریک می‌شود که نشان دهنده‌ی گسیل خود به خودی تقویت شده است. بنابراین افزایش انرژی دمش باعث افزایش قابل توجه شدت قله‌ی تابشی و کاهش پهنای آن می‌شود. به منظور درک بهتر تغییرات پهنا و شدت قله‌ی تابشی با افزایش انرژی دمش، پهنا در نصف بیشینه‌ی قله‌ی تابشی و بیشینه‌ی شدت خروجی آن را به ازای انرژی‌های دمش مختلف اندازه‌گیری می‌کنیم و منحنی‌های شدت خروجی بر حسب انرژی دمش و پهنای قله‌ی تابشی بر حسب انرژی دمش را رسم می‌کنیم. نتیجه در شکل ۳ نشان داده شده است:



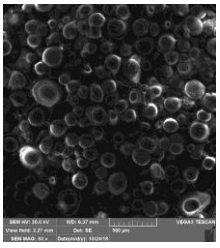
شکل ۳: (a) منحنی شدت بیشینه‌ی قله‌ی تابشی و (b) پهنای قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر پالس دمش.

مشاهده می‌کنیم که به ازای یک انرژی دمش مشخص، افزایش شدت تابشی و کاهش پهنای قله‌ی ظاهر شده در طیف گسیلی با شیب بسیار تندتری ادامه پیدا می‌کند. این رفتار آستانه، حکایت از رخ دادن یک تابش لیزری در سیستم دارد. انرژی دمش آستانه برای ظاهر شدن قله‌ی لیزری در طیف تابشی نیز همان انرژی دمشی است که به ازای آن، شدت تابشی افزایش ناگهانی و پهنای قله نیز کاهش ناگهانی پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل ۳ (a) نشان داده است، به منظور اندازه‌گیری انرژی دمش آستانه، خطی را بر داده‌های تجربی برازش می‌کنیم. محل تقاطع این خط چین با محور انرژی دمش، مقدار انرژی دمش آستانه را به دست می‌دهد. مقدار انرژی دمش آستانه از روی شکل تقریباً برابر با ۰/۷ میلی ژول بر پالس به دست می‌آید. در انرژی دمش آستانه، بهره‌ی دریافتی توسط نور بر افت‌های سیستم غلبه می‌کند و آن‌گاه نوسان لیزری تصادفی آغاز می‌شود. آغاز نوسان لیزری همراه با ظاهر شدن یک قله‌ی بسیار باریک بر روی طیف پهن منحنی گسیل خود به خودی است. شدت این قله‌ی بسیار باریک نیز با افزایش بیش‌تر انرژی دمش، خیلی سریع افزایش می‌یابد. نتایج حاصل نشان می‌دهند که نوسان لیزری

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

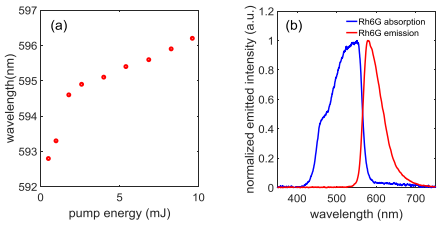
[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

تصادفی در نمونه‌ی چسب اتفاق افتاده است. برای یافتن علت آن، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی چسب در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌کنیم که سطح چسب دارای برآمدگی‌هایی در موقعیت‌های تصادفی است. بنابراین نور در محل برآمدگی‌ها پراکنده می‌شود. چند پراکندگی نور در محل برآمدگی‌ها نیز باعث افزایش زمان ماندگاری نور درون محیط فعال و تقویت بیش‌تر آن می‌شود. به این ترتیب، بازخورد نوری لازم برای نوسان لیزری تأمین شده و تابش لیزری به دست می‌آید.



شکل ۴: تصویر SEM از سطح چسب. خط مقیاس ۵۰۰ میکرون است.

شکل ۵ (a) جابجایی قرمز طول موج تابشی را با افزایش انرژی دمش نشان می‌دهد:



شکل ۴۵: (a) منحنی طول موج قله‌ی تابشی بر حسب انرژی دمش، (b) طیف‌های بهنجار جذب و گسیل مربوط به محلول رنگ.

طیف‌های بهنجار جذب و گسیل مربوط به محلول رنگ رودامین ۶G نیز در شکل ۵ (b) نشان داده شده است. ناحیه‌ی همپوشانی آن‌ها نشان دهنده‌ی این است که جذب مجدد طول موج گسیلی درون محیط اتفاق می‌افتد. مشاهده می‌کنیم که سطح مقطع جذب برای طول موج‌های کوتاه‌تر بزرگ‌تر است. بنابراین نور گسیلی با طول موج کوتاه‌تر بیش‌تر جذب می‌شود. در مقابل، سطح مقطع جذب برای نور گسیلی با طول موج بلندتر کوچک‌تر و بنابراین تقویت برای آن بیش‌تر است. بنابراین به ازای یک انرژی دمش مشخص، نور گسیلی با طول موج بلندتر درون محیط بیش‌تر تقویت می‌شود تا این‌که شرط نوسان لیزری برای آن برآورده شده و تابش لیزر تصادفی در آن طول موج اتفاق بیفتد. از طرف دیگر، با افزایش انرژی دمش بهره‌ی بیش‌تری برای نور فراهم می‌شود. بنابراین افزایش انرژی دمش باعث جابجایی قرمز طول موج تابشی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک لیزر تصادفی با استفاده از نوار چسب به عنوان محیط پراکننده ساخته شد. از محلول رنگ رودامین ۶G به عنوان محیط فعال استفاده کردیم. نتایج تجربی نشان می‌داد که به ازای انرژی‌های دمش بالاتر از آستانه، یک قله‌ی باریک در طیف گسیلی ظاهر می‌شود. رفتار آستانه برای این قله‌ی تابشی مشاهده شد که نشان دهنده‌ی رخ دادن نوسان لیزری تصادفی در نمونه است. همچنین نتایج بررسی‌های ما نشان می‌داد که طول موج نور تابشی با افزایش انرژی دمش به سمت طول موج‌های بلندتر جابجا می‌شود.

مرجع‌ها

[1] V. S. Letokhov, “Generation of light by a scattering medium with negative resonance absorption”, Sov. Phys. JETP., Vol. 26, pp. 835-840, 1968.
[2] N. M. Lawandy, R. M. Balachandran, A. S. L. Gomes, E. Sauvain, “Laser action in strongly scattering media”, Nature, Vol. 368, pp. 436-438, 1994.
[3] S. J. Marinho, L. M. Jesus, L. B. Barbosa, D. R. Ardila, M. A. R. C. Alencar, J. J. R. Jr, “Bi-chromatic random laser from alumina porous ceramic infiltrated with rhodamine B”, Lser Phys. Lett., Vol. 12, pp. 055801(1-4), 2015.
[4] D. Xueyuan, H. Zhang, X. Wang, P. Zhou, Z. Liu, “Short cavity-length random fiber laser with record power and ultrahigh efficiency, Opt. lett. Vol. 41, pp. 571-574, 2016.
[5] C. W. Chen, H. C. Jau, C. T. Wang, C. H. Lee, I. C. Khoo, T. H. Lin, “Random lasing in blue phase liquid crystals”, Opt. Exp. Vol. 20, pp. 23978-23984, 2012.
[6] F. Gao, M. M. Morshed, S. B. Bashar, Y. Zheng, Y. Shi, J. Liu, “Electrically pumped random lasing based on an Au-ZnO nanowire Schottky junction”, Nanoscale, Vol. 7, pp. 9505-9509, 2015.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]