بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

بهبود عملکرد لیزرهای تصادفی با استفاده از چسب دوطرفه

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

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

چکیده - در این مقاله، یک لیزر تصادفی بر پایه‌ی بستر شیشه به عنوان محیط پراکننده و محلول رنگدانه‌ی رودامین B آلاییده شده با پلیمر SU-8 به عنوان محیط فعال می‌سازیم. سپس امکان گسیل نور لیزر تصادفی را از نمونه‌ی ساخته شده بررسی می‌کنیم. سپس یک چسب دو طرفه را به نمونه می‌چسبانیم تا بازخورد خارجی را برای تابش لیزر تصادفی فراهم کند. با بررسی و مقایسه‌ی طیف‌های تابشی و آستانه‌های لیزری در دو موقعیت مختلف دمش (P1 و P2) برای نمونه‌ی با چسب و بدون چسب به این نتیجه می‌رسیم که فراهم آوردن بازخورد خارجی باعث افزایش قابل ملاحظه‌ی شدت تابشی لیزر تصادفی با ضریب ۱/۵ و ۴/۲۲ به ترتیب در موقعیت‌های دمش P1 و P2 می‌شود. همچنین آستانه‌ی لیزر تصادفی در این دو موقعیت دمش به ترتیب با ضریب ۱/۶ و ۱/۸ کاهش پیدا می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند روشی ساده و کم هزینه را برای بهبود عملکرد لیزرهای تصادفی پیشنهاد دهد.

کلید واژه- لیزر تصادفی، چند پراکندگی نور، بستر شیشه، چسب دو طرفه، بازخورد خارجی.

Improvement of the operation of random lasers by using a double-sided tape

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

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

Abstract- In this paper, we fabricate a random laser based on a glass substrate as the scattering medium and the solution of rhodamine B dye doped SU-8 polymer as the gain medium. Then, we investigate the possibility of the emission of random laser light from the fabricated sample. Then, we stick a double-sided tape to the sample in order to provide the external feedback for random lasing emission. **By the** investigation and comparison of the emission spectra and lasing thresholds at two different pump positions (P1 and P2) corresponding to the sample with and without the tape, we come to this conclusion that providing external feedback results in the considerable increase of the random laser emission intensity by a factor of 1.5 and 4.22 at the pump positions P1 and P2, respectively. Also, the random laser threshold decreases by a factor of 1.6 and 1.8 at these two pump positions, respectively. The results of this study can suggest a simple and inexpensive method for the improvement of the operation of random lasers.

Keywords: random laser, multiple light scattering, glass substrate, double-sided tape, external feedback.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]

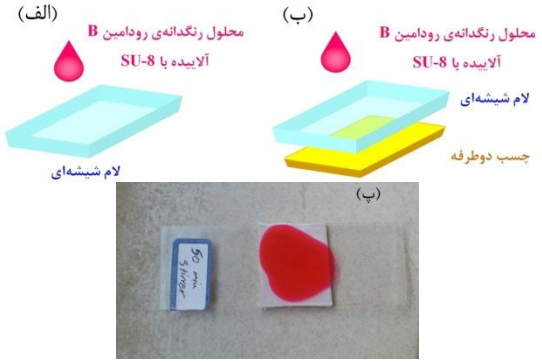
مقدمه

در سال ۱۹۶۸، لتوخوف امکان تولید نور لیزر را بر اساس چند پراکندگی نور در یک محیط فعال به صورت تئوری پیش‌بینی کرد [۱]. این نوع لیزر که بعدها لیزر تصادفی نام گرفت [۲]، برای اولین بار در سال ۱۹۹۴ و بر پایه‌ی ذرات دی اکسید تیتانیوم و رنگ رودامین پرکلریت ۶۴۰ توسط لاواندی و همکاران در آزمایشگاه ساخته شد [۳]. لیزرهای تصادفی مانند لیزرهای معمولی از یک محیط بهره تشکیل شده‌اند که نور را طی فرایند گسیل القایی تقویت می‌کند. اما بر خلاف لیزرهای معمولی، تعداد بسیار زیادی مراکز پراکننده به صورت بی‌نظم و کاتوره‌ای در محیط بهره قرار گرفته‌اند که باعث چند پراکندگی نور می‌شوند. در نتیجه طول پویش و زمان ماندن نور درون محیط بهره را افزایش می‌دهند. بنابراین چند پراکندگی قوی نور بازخورد نوری لازم جهت دست‌یابی به نوسان لیزری را فراهم می‌کند. از ویژگی‌های متمایز لیزرهای تصادفی نسبت به لیزرهای معمولی این است که نور لیزر در تمام زاویه‌ی فضایی 4π استرادیان گسیل می‌شود. همچنین نور تابشی از همدوسی مکانی کمی برخوردار است. بنابراین با توجه به ساخت ساده و بسیار ارزان آن‌ها، لیزرهای تصادفی می‌توانند به عنوان چشمه‌های نوری جدید در کاربردهای روشنایی، شناسایی نظامی و ردیابی، تصویر برداری‌های زیستی و پزشکی و بارکدخوان‌های نوری به کار بروند [۶-۴].

در این مقاله، یک لیزر تصادفی بر پایه‌ی بستر شیشه (لام میکروسکوپ) به عنوان محیط پراکننده و محلول رنگدانه‌ی رودامین B آلاییده شده با پلیمر SU-8 به عنوان محیط فعال ساخته می‌شود. پیش‌تر نشان داده شده است که زبری سطح شیشه با ایجاد چند پراکندگی نور، بازخورد نوری لازم جهت دست‌یابی به نوسان لیزری تصادفی را فراهم می‌کند [۷]. در این‌جا پس از به دست آوردن نوسان لیزری تصادفی از نمونه‌ی ساخته شده، نشان می‌دهیم که وجود یک چسب دو طرفه با فراهم آوردن بازخورد خارجی برای نمونه‌ی لیزر تصادفی باعث تقویت قابل ملاحظه‌ی نور تابشی و کاهش آستانه‌ی لیزر تصادفی می‌شود.

روش تهیه نمونه

مشابه با روش توصیف شده در مرجع [۶]، ماده‌ی فعال را با حل کردن رنگدانه‌ی رودامین B در محلول پلیمر آماده می‌کنیم. پس از آماده سازی ماده‌ی فعال، مقداری از آن را بر روی یک بستر شیشه قرار می‌دهیم و یک نمونه‌ی لیزر تصادفی که آن را S1 نام‌گذاری می‌کنیم، ساخته می‌شود. طرح واره‌ای از فرایند آماده سازی نمونه در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. سپس به منظور استفاده از چسب دو طرفه برای ایجاد بازخورد خارجی و بررسی اثرات آن در تابش لیزر تصادفی، یک چسب دو طرفه را در زیر نمونه قرار داده و با اعمال فشار، آن را به سطح لام شیشه‌ای می‌چسبانیم (شکل ۱(ب)). لازم به ذکر است که در مرجع [۸] توضیحاتی راجع به چسب دوطرفه و همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح چسب داده شده است. نمونه را در این حالت S2 می‌نامیم. تصویر ۱ (پ) نمونه‌ی S2 را پس از آماده‌سازی نشان می‌دهد.



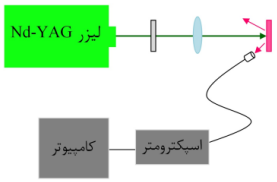
شکل ۱: طرح‌واره‌ای از روش آماده سازی نمونه: الف) S1 و ب) S2، (پ) تصویر نمونه‌ی S2 پس از آماده‌سازی.

چیدمان آزمایش

نمونه‌ی S1 و سپس S2 را پس از آماده سازی در مقابل لیزر پالسی Nd-YAG (پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز) قرار می‌دهیم و توسط هارمونیک دوم لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر پمپ می‌کنیم. طرح‌واره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش را در شکل ۲ مشاهده می‌کنیم.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]

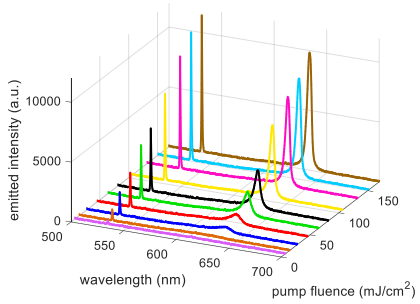


شکل ۲: طرح‌واره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش.

لیزر Nd-YAG، روزنه، عدسی و نمونه به ترتیب روبروی یکدیگر قرار می‌گیرند. نور خروجی از لیزر، از روزنه عبور می‌کند و توسط عدسی بر روی نمونه متمرکز می‌شود. نمونه بر روی یک جابجاگر سه بعدی قرار دارد تا به این ترتیب امکان جابجایی دقیق نمونه و پمپ کردن نقاط مختلف از سطح آن فراهم شود. نور تابش شده از نمونه نیز توسط یک جفت کننده‌ی نور به یک تار نوری جفت می‌شود و سپس به یک طیف سنج هدایت می‌شود. به این ترتیب، طیف نور تابشی با استفاده از کامپیوتری که به طیف سنج متصل است ثبت می‌شود.

نتایج و جمع‌بندی

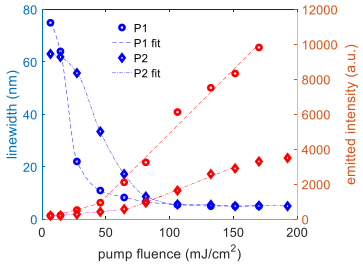
ابتدا طیف تابشی حاصل از نمونه‌ی S1 را به ازای مقادیر مختلف چگالی انرژی دمش ثبت کرده و اثر افزایش چگالی انرژی دمش را بر روی آن بررسی می‌کنیم. شکل ۳ تغییر طیف تابشی S1 را بر حسب چگالی انرژی دمش نشان می‌دهد. قله‌ی مشاهده شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر مربوط به موج پمپ است که برای دمش نوری نمونه در یک موقعیت دلخواه به نام P1 به کار رفته است. قله‌ی مربوط به تابش لیزری نیز در طول موج تقریباً ۶۳۳ نانومتر مشاهده می‌شود.



شکل ۳: تغییر طیف گسیل بر حسب طول موج با افزایش چگالی انرژی دمش، متناظر با نمونه‌ی S1 هنگامی که موقعیت دلخواه P1 پمپ شود.

با افزایش چگالی انرژی دمش، بهره‌ی بیش‌تری برای نور فراهم شده که باعث تقویت بیش‌تر آن می‌شود. در نتیجه، منحنی پهن گسیل خود به خودی که در انرژی‌های دمش کم مشاهده می‌شود، به طرف بیشینه‌ی منحنی بهره باریک می‌شود. از طرف دیگر، وجود بی‌نظمی در محیط بهره نیز طول پویش نور و زمان ماندگاری آن را درون محیط فعال افزایش می‌دهد. بنابراین نور بیش‌تر تقویت می‌شود. اگر بهره‌ی دریافتی توسط نور به اندازه‌ی کافی افزایش یابد که بر افت‌ها غلبه کند، آن‌گاه تابش لیزری در طول موج مربوط به بیشینه‌ی منحنی بهره آغاز می‌شود.

برای اندازه‌گیری چگالی انرژی دمش آستانه، منحنی‌های شدت بیشینه و پهنای قله‌ی تابشی را بر حسب چگالی انرژی دمش رسم می‌کنیم. این منحنی‌ها در حالتی که دو موقعیت مختلف از نمونه مانند P1 و P2 تحت دمش قرار می‌گیرند، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: منحنی‌های شدت بیشینه و پهنای قله‌ی تابشی بر حسب چگالی انرژی دمش متناظر با موقعیت‌های مختلف P1 و P2.

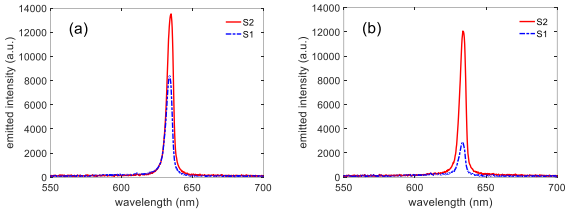
همان‌طور که مشاهده می‌شود، شدت تابشی و آستانه‌ی لیزری به محلی از نمونه که پمپ می‌شود وابسته است. دلیل آن متفاوت بودن زبری سطح لام در نقاط مختلف آن و همچنین یکسان نبودن غلظت رنگ در این دو موقعیت است. در چگالی انرژی دمش آستانه، پهنای طیف تابشی ناگهان باریک می‌شود و شدت تابشی نیز با شیب بسیار سریع‌تری افزایش پیدا می‌کند. مقدار پهنا در چگالی انرژی‌های دمش بالا به مقدار ۵/۱ نانومتر کاهش پیدا می‌کند. مقادیر چگالی انرژی دمش آستانه را از روی شکل تقریباً برابر با ۴۵/۷ mJ/cm^2 برای P1 و ۶۸ mJ/cm^2 برای P2 به دست می‌آوریم. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]

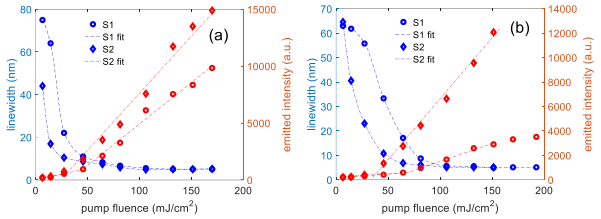
که تابش لیزری تصادفی از لام شیشه‌ای به دست می‌آید و بازخورد نوری لازم نیز توسط چند پراکندگی نور از زبری‌های سطح شیشه تأمین می‌شود.

حال نقش چسب دو طرفه را در فراهم آوردن بازخورد خارجی بررسی می‌کنیم. شکل ۵ طیف تابشی حاصل از نمونه‌های S1 و S2 را با یکدیگر مقایسه می‌کند. چگالی انرژی دمش برابر با مقدار ثابت ۱۵۱/۳ mJ/cm^2 است. لازم به ذکر است که موقعیت دمش P1 یا P2 در آزمایش‌هایی که برای نمونه S2 (نمونه‌ی با چسب) و نمونه‌ی S1 (نمونه بدون چسب) انجام شد، یکسان است.



شکل ۵: طیف گسیل بر حسب طول موج برای نمونه‌های S1 و S2 در موقعیت‌های دمش مختلف: الف) P1 و ب) P2.

مشاهده می‌کنیم که وجود چسب باعث افزایش قابل توجه شدت تابشی لیزر تصادفی در هر دو موقعیت P1 و P2 شده است. به این دلیل که فوتون‌های گسیلی با وجود چسب نمی‌توانند از نمونه عبور کنند و به درون محیط فعال برمی‌گردند. بنابراین نور بیشتر و مؤثرتر تقویت می‌شود و شدت تابشی افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر آن با کم شدن افت (خروج فوتون‌های گسیلی)، انتظار داریم که آستانه‌ی نوسان لیزری تصادفی نیز کاهش پیدا کند. شکل ۶ نشان می‌دهد که آستانه‌ی لیزری در حالتی که بازخورد خارجی توسط چسب برای نمونه فراهم شده است، به میزان زیادی کاهش پیدا می‌کند. چگالی انرژی دمش آستانه در موقعیت P1 از ۴۵/۷ mJ/cm^2 به ۲۷/۵ mJ/cm^2 و در موقعیت P2 از ۶۸ mJ/cm^2 به ۳۸ mJ/cm^2 کاهش پیدا کرده است. بنابراین نتیجه می‌گیریم که وجود چسب در زیر نمونه به عنوان عامل تأمین کننده‌ی بازخورد خارجی می‌تواند تابش لیزر تصادفی را به میزان قابل ملاحظه‌ای تقویت کند.



شکل ۶: مقایسه‌ی رفتار آستانه برای نمونه‌های S1 و S2 مربوط به موقعیت‌های دمش مختلف: الف) P1 و ب) P2.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، از یک چسب دوطرفه به عنوان عامل تأمین کننده‌ی بازخورد خارجی در لیزرهای تصادفی استفاده شد. نشان دادیم که عملکرد یک لیزر تصادفی که بر پایه‌ی بستر شیشه و محلول پلیمر SU-8 آلاییده شده با رنگدانه‌ی رودامین B ساخته شده است، با فراهم آوردن بازخورد خارجی بهبود پیدا می‌کند. به این صورت که وجود چسب با تقویت بیش‌تر نور و کاهش افت، شدت تابشی لیزر تصادفی را به طور متوسط با ضریب ۱/۵ در موقعیت اول (P1) و ضریب ۴/۲۲ در موقعیت دوم (P2) افزایش می‌دهد. آستانه‌ی لیزر تصادفی نیز در این دو موقعیت به ترتیب با ضرایب ۱/۶ و ۱/۸ کاهش می‌یابد.

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] D. S. Wiersma, “The physics and applications of random lasers”, Nature Physics, Vol. 4, pp. 359-367, 2008.
[3] 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.
[4] 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.
[5] S. F. Yu, “Electrically pumped random lasers”, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 48, 483001, 2015.
[6] D. V. Churkin, S. Sugavanam, I. D. Vatnik, Z. Wang, E. V. Podivilov, S. A. Babin, Y. Rao, S. K. Turitsyn, “Recent advances in fundamentals and applications of random fiber lasers”, Adv. Opt. Photon., Vol. 7, pp. 516-569, 2015.
[7] P. Rafieipour, A. G. Ardakani, G. M. Parsanasab, “Random lasing emission from FTO and glass substrates coated with dye doped SU-8 epoxy based polymer”, Opt. and Laser tech., Vol. 119, 105602, 2019.
[8] P. Rafieipour, A. G. Ardakani, “Fabrication of mechanical controllable, sticky and flexible random laser based on double-sided tape”, Physica B: Condensed matter, Vol. 574, 411661, 2019.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]