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 ذرات کربن نیترید به عنوان مراکز پراکننده

عباس قاسم پور اردکانی[۱]، پیمانه رفیعی پور[۱]، سیده فاطمه نامی عنا[۲] و جواد تشخوریان[۲]

[۱]ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده‌ی علوم، بخش فیزیک aghasempour@shirazu.ac.ir، [۲]ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده‌ی علوم، بخش شیمی tashkhourian@susc.ac.ir

چکیده - در این مقاله، یک لیزر تصادفی بر پایه‌ی ذرات کربن نیترید به عنوان مراکز پراکننده ساخته می‌شود. به صورت تجربی امکان گسیل نور لیزر تصادفی را از نمونه‌ی ساخته شده بررسی می‌کنیم. تا جایی که اطلاع داریم، ساخت لیزر تصادفی بر پایه‌ی ذرات کربن نیترید تاکنون گزارش داده نشده است. از محلول رنگدانه‌ی آلی رودامین ۶G به عنوان محیط فعال استفاده می‌کنیم. بهره‌ی نوری توسط محلول رنگ رودامین ۶G و از طریق فرایند گسیل القایی تأمین می‌شود. بازخورد نوری لازم برای گسیل نور لیزر تصادفی نیز از طریق چند پراکندگی نور توسط ذرات کربن نیترید فراهم می‌شود. نتایج بررسی‌های تجربی، گسیل نور لیزر تصادفی را از نمونه‌ی ساخته شده نشان می‌دهند. مقدار انرژی دمش آستانه را برای لیزر تصادفی ساخته شده اندازه گرفته و نشان می‌دهیم که حضور ذرات کربن نیترید برای فراهم آوردن بازخورد نوری و گسیل نور لیزر تصادفی لازم است.

کلید واژه- لیزر تصادفی، چند پراکندگی نور، کربن نیترید.

Fabrication of a random laser based on carbon nitride particles as the scattering centers

Abbas Ghasempour Ardakani[1], Peymaneh Rafieipour[1], Sayedeh Fatemeh Nami-Ana[2] and Javad Tashkhourian[2]

[1]Department of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran, aghasempour@shirazu.ac.ir, [2]Department of Chemistry, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran, tashkhourian@susc.ac.ir

Abstract- In this paper, a random laser is fabricated based on carbon nitride particles as the scattering centers. We investigate experimentally the random lasing emission from the fabricated sample. Up to our knowledge, fabrication of random lasers based on carbon nitride particles has not yet been reported. We use rhodamine 6G solution as the gain medium. Optical gain is provided by rhodamine 6G solution via stimulated emission process. Essential optical feedback for random lasing emission is also provided by multiple light scattering from carbon nitride particles. Experimental results demonstrate the random lasing emission from the fabricated sample. We measure the threshold pump energy of the fabricated random laser and show that the presence of carbon nitride particles is essential for providing optical feedback and random lasing emission.

Keywords: random laser, multiple light scattering, carbon nitride

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

مقدمه

لیزرهای تصادفی، چشمه‌های نوری جدید و با ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که به عنوان جایگزین مناسب دیودهای نورتاب توجه بسیاری از دانشمندان حوزه‌ی اپتیک و لیزر را به خود جلب کرده‌اند. هرچند کاربردهای پیش‌بینی شده برای آن‌ها معطوف به شاخه‌ی اپتیک و لیزر نمی‌شود. سادگی ساخت، ارزان بودن، ابعاد کوچک، گسیل نور لیزری در تمام زاویه‌ی فضایی 4π استرادیان، تابش در بازه‌ی وسیع فرکانسی و همچنین کوک‌پذیری ساده‌ی نور تابشی از جمله ویژگی‌های برجسته‌ی لیزرهای تصادفی به شمار می‌آید. از این لیزرها می‌توان در شناسایی نظامی، ردیابی، کدگذاری اشیاء، کاربردهای حسگری و همچنین تصویر برداری‌های زیستی و پزشکی استفاده کرد. در لیزرهای تصادفی مانند لیزرهای معمولی از یک محیط فعال برای تقویت نور استفاده می‌شود. اما بر خلاف لیزرهای معمولی، فراهم آوردن بازخورد نوری بدون استفاده از آینه و کاواک فابری پرو انجام می‌شود. این مسأله باعث می‌شود که ساخت این لیزرها بسیار ساده و کم هزینه باشد. در لیزرهای تصادفی وجود یک محیط بی‌نظم با درجه‌ی بالایی از بی‌نظمی می‌تواند بازخورد نوری را تأمین کرده و در نهایت نور لیزر در سیستم لیزری تولید شود. چند پراکندگی نور در یک محیط بی‌نظم، طول پویش نور درون محیط را افزایش می‌دهد. بنابراین نور زمان بیش‌تری درون محیط باقی می‌ماند و بیش‌تر تقویت می‌شود. اولین بار لتوخوف در سال ۱۹۶۸ تقویت نور در محیط بی‌نظم را بر اساس پراکندگی پیش‌بینی کرد [۱]. اولین لیزر تصادفی در آزمایشگاه در سال ۱۹۹۴ ساخته شد [۲]. امروزه دامنه‌ی موادی که به عنوان محیط فعال و محیط پراکننده در لیزرهای تصادفی به کار می‌روند، از ذرات نیمه رسانا [۳] تا تارهای نوری [۴]، کریستال‌های مایع [۵] و نقاط کوانتومی [۶] گسترده شده است.

کربن یکی از فراوان‌ترین عناصر موجود در طبیعت است که گونه‌های مختلف آن مانند نانو لوله‌های کربنی، فولرن، گرافن و انواع نقاط کربنی بسیار مورد توجه محققان و دانشمندان از تمام شاخه‌های علمی قرار گرفته است [۷]. در این مقاله، از ذرات کربن نیترید به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده می‌کنیم. تا جایی که اطلاع داریم تاکنون از ذرات کربن نیترید به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده نشده است. محلول رنگ رودامین 6G نیز به عنوان محیط فعال به کار می‌رود. نشان می‌دهیم که وقتی انرژی دمش از یک حدی بیش‌تر می‌شود، نور لیزر تصادفی از نمونه‌ی ساخته شده تابش می‌شود و با افزایش انرژی دمش، شدت نور تابشی هم افزایش می‌یابد. همچنین مقدار انرژی دمش آستانه را اندازه‌گیری می‌کنیم و نشان می‌دهیم که وجود ذرات پراکننده‌ی کربن نیترید برای گسیل نور لیزر تصادفی لازم است.

روش تهیه‌ی نمونه

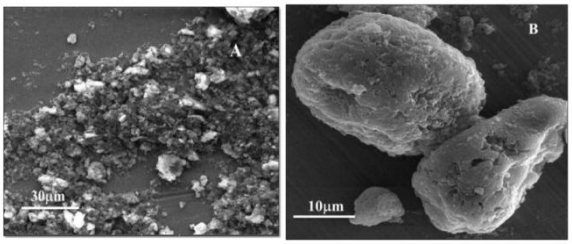
ابتدا ۱۰/۰ میلی‌گرم از پودر ذرات کربن نیترید را درون یک بشر به محلول ۸/۳۵ میلی مولار رنگدانه‌ی رودامین 6G اضافه می‌کنیم. آن را به مدت ۱ ساعت بر روی دستگاه همزن مغناطیسی قرار می‌دهیم. سپس به مدت ۷۵ دقیقه نیز اولتراسونیک می‌کنیم. پس از آماده سازی محلول، مقداری از آن را درون یک سلول قرار می‌دهیم. به این ترتیب، یک نمونه‌ی لیزر تصادفی ساخته می‌شود. یک نمونه‌ی دیگر که فقط حاوی محلول ۸/۳۵ میلی مولار رنگ رودامین 6G باشد نیز به طریق مشابه تهیه می‌شود.

کربن نیترید با حرارت دادن یک ترکیب نیتروژن دار از جنس اوره تهیه می‌شود. به این صورت که ترکیب را درون کوره قرار می‌دهیم تا به مدت ۲ ساعت در دمای $550^{\circ}C$ حرارت ببینند. سپس به مدت دو ساعت دیگر نیز در این دما نگه داشته می‌شود. پس از خنک شدن کوره، پودر

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

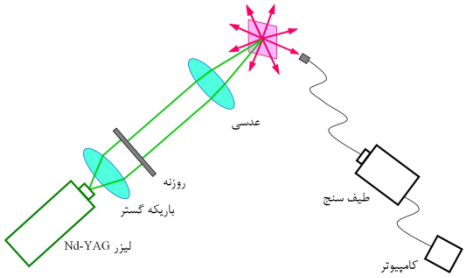
حاصل را جمع آوری می‌کنیم. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ذرات کربن نیترید با دو مقیاس بزرگ نمایی مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. اندازه‌ی یک ذره‌ی نوعی در تصویر ۱ (ب)، تقریباً ۳۰ میکرون است.



شکل ۱: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ذرات کربن نیترید.

چیدمان آزمایش

در شکل ۲ چیدمان آزمایش به صورت طرحوار نشان داده شده است.

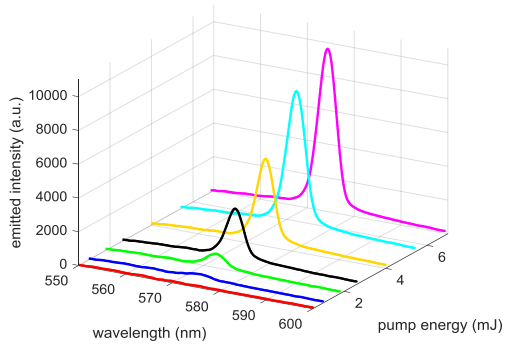


شکل ۲: طرحواره‌ای از چیدمان آزمایش.

هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر، پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز توسط باریکه گستر موازی می‌شود. سپس از یک روزنه عبور کرده و با استفاده از یک عدسی بر روی نمونه‌ی آزمایش متمرکز می‌شود. از روزنه برای تنظیم مساحت ناحیه‌ی دمش بر روی نمونه استفاده می‌کنیم. پس از دمش نمونه، نور تابش شده با استفاده از جفت کننده‌ی نور به یک تار نوری جفت شده و به یک طیف سنج هدایت می‌شود. سپس طیف نور تابشی را با استفاده از کامپیوتری که به طیف سنج متصل است رسم می‌کنیم.

نتایج و جمع بندی

ما ابتدا نمونه‌ی محتوی ۱۰/۰ میلی گرم ذرات کربن نیترید را به ازای انرژی‌های دمش ۰/۵، ۰/۹۸، ۱/۸، ۲/۶، ۴، ۵/۴ و ۶/۸۵ میلی ژول بر پالس تحت دمش قرار داده و طیف‌های تابشی به دست آمده را ثبت می‌کنیم. شکل ۳ طیف‌های تابشی حاصل را در انرژی‌های دمش مختلف نشان می‌دهد:



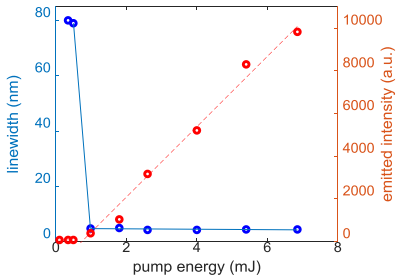
شکل ۳: طیف تابشی بر حسب طول موج متناظر با انرژی‌های دمش مختلف.

مشاهده می‌کنیم که در انرژی‌های دمش کم، منحنی پهن گسیل خود به خودی مربوط به محیط فعال در طیف تابشی ظاهر می‌شود. با افزایش انرژی دمش، این منحنی به طرف بیشینه‌ی بهره‌ی محیط فعال باریک شده و افزایشی نیز در شدت تابشی آن مشاهده می‌شود. در انرژی‌های دمش بالا یک قله‌ی بسیار باریک با شدت قابل توجه در طیف گسیلی دیده می‌شود. پهنای قله‌ی تابشی در انرژی دمش ۶/۸۵ میلی ژول بر پالس برابر با ۴/۴ نانومتر است. در حالی که مقدار پهنا در انرژی دمش ۰/۵ میلی‌ژول بر پالس تقریباً برابر با ۷۹ نانومتر می‌باشد. بنابراین افزایش انرژی دمش باعث کاهش پهنای طیف گسیلی و افزایش شدت آن می‌شود. در شکل ۴ روند تغییرات بیشینه‌ی شدت قله‌ی تابشی و پهنا در نصف بیشینه‌ی آن را بر حسب انرژی دمش مشاهده می‌کنیم. نکته‌ی جالب توجه در این شکل این است که به ترتیب، روند افزایشی و کاهشی شدت و پهنای قله‌ی تابشی از یک

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

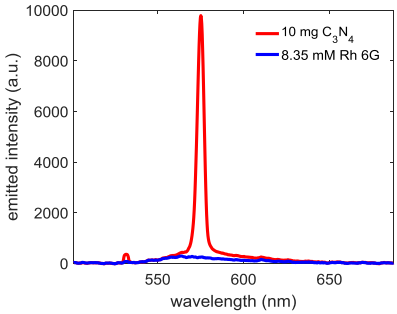
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

انرژی دمش مشخص به بعد با شیب بسیار تندتری اتفاق می‌افتد. این رفتار آستانه، نشان دهنده‌ی رخ دادن نوسان لیزری در نمونه است:



شکل ۴: منحنی شدت بیشینه و پهنای قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر پالس دمش.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تابش لیزری تصادفی در نمونه‌ی ساخته شده به ازای یک انرژی دمش آستانه آغاز می‌شود. در انرژی دمش آستانه، پهنا کاهش ناگهانی و شدت تابشی نیز افزایش ناگهانی پیدا می‌کند. مقدار انرژی دمش آستانه را از روی شکل ۴ تقریباً برابر با ۰/۹ میلی ژول بر پالس به دست می‌آوریم. شکل ۵ طیف‌های تابشی بر حسب طول موج متناظر با نمونه‌ی محتوی فقط ماده‌ی فعال و نمونه‌ی شامل ذرات کربن نیترید را به ازای انرژی دمش ۶/۸۵ میلی ژول بر پالس نشان می‌دهد:



شکل ۵: مقایسه‌ی طیف گسیل بر حسب طول موج متناظر با نمونه‌ی محتوی فقط ماده‌ی فعال و نمونه‌ی شامل ذرات کربن نیترید.

قله‌ی نشان داده شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر مربوط به نور پمپ است. مشاهده می‌کنیم که وجود ذرات کربن نیترید برای گسیل نور لیزر تصادفی لازم است. علت آن این است که نور درون محیط فعال در برخورد با ذرات کربن نیترید پراکنده می‌شود. چند پراکندگی رخ داده برای نور نیز بازخورد نوری لازم را برای گسیل نور لیزر تصادفی فراهم می‌کند. زمانی که بهره‌ی دریافتی توسط نور بر افت‌های سیستم غلبه کند، آن‌گاه نوسان لیزر تصادفی در طول موج ۵۷۵ نانومتر آغاز می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله امکان گسیل نور لیزر تصادفی از یک نمونه‌ی آزمایشگاهی ساخته شده بر پایه‌ی ذرات کربن نیترید بررسی شد. از محلول رنگ رودامین ۶G به عنوان محیط فعال لیزر استفاده کردیم. نتایج بررسی‌ها نشان می‌داد که به ازای انرژی‌های دمش بزرگ‌تر از آستانه، تابش لیزری تصادفی از نمونه گسیل می‌شود. مقدار انرژی دمش آستانه را اندازه‌گیری کردیم و نشان دادیم که وجود ذرات پراکننده‌ی کربن نیترید برای تولید نور لیزر تصادفی لازم است.

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] C. Yujie, J. Herrnsdorf, B. Guilhabert, Y. Zhang, I. M. Watson, E. Gu, N. Laurand, M. D. Dawson, “Colloidal quantum dot random laser”, Opt. Exp., Vol. 19, pp. 2996-3003, 2011.

[7] P. Miao, K. Han, Y. Tang, B. Wang, T. Lin, W. Cheng, “Recent advances in carbon nanodots: synthesis, properties and biomedical applications”, Nanoscale, Vol. 7, pp. 1586-1595, 2015.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]