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

تحقق نوسان لیزری تصادفی با بازخورد رزونانسی با استفاده از گرافن اکساید به عنوان محیط پراکننده

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، از گرافن اکساید به عنوان محیط پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده می‌کنیم. تقویت نور از طریق فرایند گسیل القایی و توسط محلول رنگدانه‌ی رودامین B فراهم می‌شود. با بررسی وابستگی طیف گسیلی به چگالی انرژی دمش مشاهده می‌کنیم که وقتی چگالی انرژی دمش از یک مقدار آستانه بیش‌تر می‌شود تعدادی قله‌ی باریک با پهنای حدوداً ۱ نانومتر در طیف گسیلی ظاهر می‌شوند. تعداد این قله‌ها با افزایش چگالی انرژی دمش افزایش پیدا می‌کند و یک رقابت قوی بین مدهای لیزری مشاهده می‌شود. علاوه بر آن، چگالی انرژی دمش آستانه را برای نمونه‌ی ساخته شده بر پایه‌ی محلول رنگدانه‌ی رودامین B و گرافن اکساید اندازه می‌گیریم. سپس طیف تابشی محلول رنگدانه‌ی رودامین B و گرافن اکساید را با طیف تابشی محلول رنگدانه‌ی تنها مقایسه می‌کنیم. از آن‌جایی که در طیف تابشی محلول رنگدانه‌ی تنها فقط منحنی پهن گسیل خود به خودی مشاهده می‌شود، بنابراین بازخورد رزونانسی لیزر تصادفی توسط چندپراکندگی نور از گرافن اکساید فراهم می‌شود.

کلید واژه- لیزر تصادفی، بازخورد رزونانسی، چند پراکندگی نور، گرافن اکساید.

Realization of random lasing action with resonant feedback using graphene oxide as the scattering medium

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 use graphene oxide as the scattering medium in random lasers. Light amplification is provided by RhB dye solution via stimulated emission process. By investigating the dependence of the emission spectrum on the pump energy density, we observe that some narrow peaks with linewidth of approximately 1 nm appear in the emission spectrum when pump energy density exceeds a threshold value. The number of these peaks increases by increasing the pump energy density and a strong competition between the lasing modes is observed. Furthermore, we measure the threshold pump energy density for the fabricated sample based on the solution of RhB dye and graphene oxide. Then, we compare the emission spectrum corresponding to the solution of RhB dye and graphene oxide with the emission spectrum corresponding to the solution of dye alone. Since only the broad spontaneous emission spectrum is observed in the emission spectrum of neat dye solution, the resonant feedback of the random laser is then provided by light multi-scattering from graphene oxide.

Keywords: random laser, resonant feedback, multiple light scattering, grapheme oxide.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

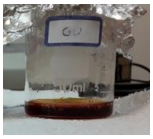
مقدمه

لیزرهای تصادفی با طراحی یا ایجاد بی‌نظمی در محیط فعال ساخته می‌شوند. بر خلاف لیزرهای معمولی که پراکندگی نور باعث افزایش افت و پایین آمدن ضریب کیفیت کاواک می‌شود، هرچه میزان پراکندگی نور در لیزرهای تصادفی بیش‌تر و قوی‌تر باشد بازخورد بهتر و مؤثرتری را برای نور فراهم می‌کند. اساس بازخورد در لیزرهای تصادفی چند پراکندگی نور است. در بی‌نظمی‌های ضعیف، نور مدت زمان بیش‌تری را در محیط بهره سپری می‌کند و بنابراین تقویت لازم برای دست‌یابی به شرط آستانه فراهم می‌شود. در این حالت، لیزر تصادفی فاقد کاواک بوده و آن را لیزر تصادفی با بازخورد غیر رزونانسی می‌نامند [۱]. اما در بی‌نظمی‌های بسیار قوی، نور در حلقه‌های بسته‌ای درون محیط فعال به دام می‌افتد و هر یک از حلقه‌ها به عنوان یک کاواک رزونانسی عمل می‌کند. بنابراین اگر شرط نوسان لیزری فراهم شود، نوسان لیزری تصادفی در مدهای رزونانسی کاواک‌ها آغاز می‌شود و تابش لیزر تصادفی دارای چندین مد تابشی با پهنای بسیار باریک خواهد بود [۲]. ساخت لیزرهای تصادفی بسیار ساده و کم هزینه است به این دلیل که نیازی به طراحی و ساخت کاواک ندرد. از لیزرهای تصادفی می‌توان به عنوان چشمه‌های نوری جدید و جایگزین دیودهای نورتاب در کاربردهایی مانند شناسایی، تصویربرداری، روشنایی و حسگری استفاده کرد [۳].

در این مقاله، تحقق نوسان لیزری تصادفی با بازخورد رزونانسی در محلول رنگ رودامین B و صفحات گرافن اکساید گزارش می‌شود. از رنگدانه‌ی رودامین B و گرافن اکساید به ترتیب به عنوان محیط بهره و محیط پراکننده استفاده می‌کنیم. نتایج بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که بازخورد رزونانسی مؤثر توسط چند پراکندگی نور از صفحات گرافن اکساید فراهم شده و تابش لیزری تصادفی در چندین مد لیزری با پهنای تقریباً ۱ نانومتر از محلول رنگدانه‌ی رودامین B و گرافن اکساید به دست می‌آید. علاوه بر آن، رقابت قوی بین مدهای لیزری مشاهده شده و آستانه‌ی نوسان لیزری تصادفی نیز اندازه‌گیری می‌شود.

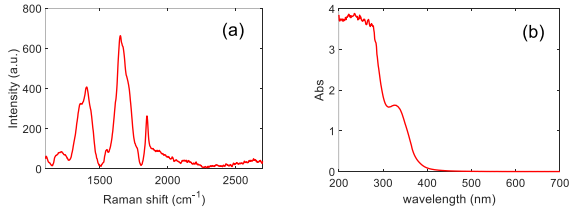
روش تهیه نمونه

گرافن اکساید به روش پیرولیز و با حرارت دادن اسید سیتریک (شرکت مرک) سنتز می‌شود [۴]. به این صورت که بشر محتوی ۹ گرم اسید سیتریک را بر روی هات پلیت قرار داده و تحت دمای ۲۰۵° حرارت می‌دهیم تا زمانی که محلول به رنگ سیاه تغییر رنگ دهد. در این حالت، صفحات گرافن اکساید تشکیل شده‌اند و بنابراین بشر را از روی هات پلیت برمی‌داریم. شکل ۱ تصویر گرافن اکساید سنتز شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱: تصویر گرافن اکساید سنتز شده به روش پیرولیز.

سپس از آنالیزهای رامان و طیف سنجی مرئی-فرابنفش (UV-Vis) برای مشخصه‌یابی ماده سنتز شده استفاده می‌کنیم. نتایج این آنالیزها در شکل ۲ ارائه شده است. طیف رامان تحت برانگیختگی با طول موج ۷۸۵ نانومتر به دست آمده است.



شکل ۲: (الف) طیف رامان و (ب) طیف جذب گرافن اکساید.

در ادامه برای ساخت نمونه‌ی لیزر تصادفی، مقدار ۸/۷۷ میلی مولار محلول رنگ رودامین B را به گرافن اکساید اضافه می‌کنیم و آن‌ها را به مدت ۲ ساعت بر روی دستگاه همزن مغناطیسی قرار می‌دهیم. پس از این‌که به صورت

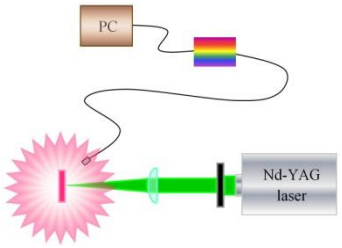
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]

همگن در یکدیگر حل شدند، محلول حاصل را به درون یک کاواک شیشه‌ای منتقل می‌کنیم. یک نمونه محلول ۸/۷۷ mM رنگ تنها نیز به روش مشابه آماده می‌شود.

چیدمان آزمایش

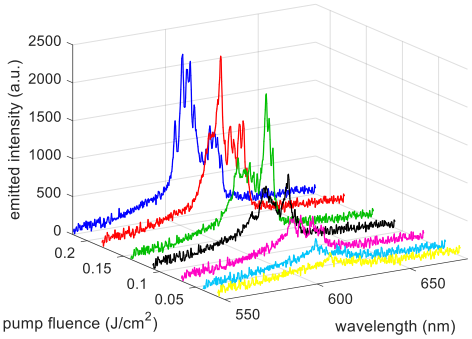
طرح‌واره‌ای از چیدمان آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است. دمش نوری نمونه توسط هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG با پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز انجام می‌شود. روزنه، عدسی و نمونه به ترتیب روبروی لیزر قرار می‌گیرند. همچنین از یک تار نوری برای جمع‌آوری نور تابش شده از نمونه و انتقال آن به اسپکترومتر استفاده می‌شود. طیف نور تابشی با استفاده از کامپیوتری که به طیف سنج متصل است ثبت می‌شود.



شکل ۳: طرح‌واره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش.

نتایج و جمع‌بندی

ابتدا طیف تابشی حاصل از نمونه را در چگالی انرژی‌های مختلف دمش ثبت می‌کنیم. تغییر طیف تابشی بر حسب چگالی انرژی دمش در شکل ۴ نشان داده شده است.



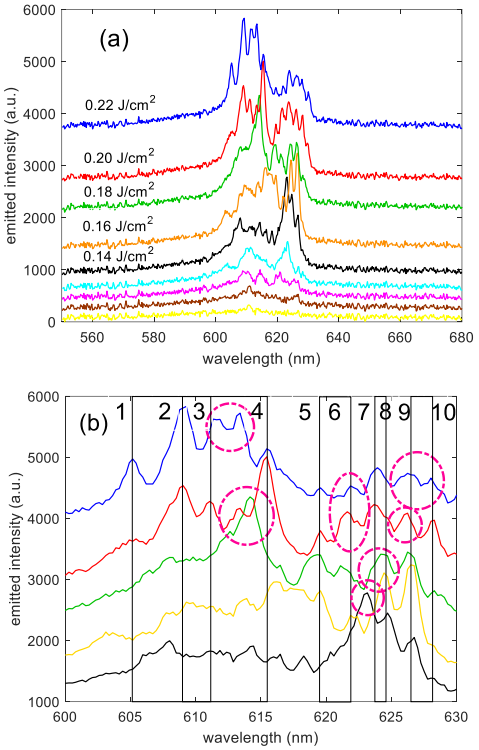
شکل ۴: تغییر طیف گسیل بر حسب طول موج با افزایش چگالی انرژی دمش.

مشاهده می‌کنیم که در چگالی انرژی‌های کم فقط گسیل خود به خودی در نمونه اتفاق می‌افتد و طیف تابشی بسیار پهن است و شدت کمی دارد. علت آن این است که میزان بهره بسیار کم است و شرط نوسان لیزری برای مدهای رزونانسی برآورده نمی‌شود. اما در مقادیر بالای چگالی انرژی دمش، تعداد زیادی قله‌ی باریک با پهنای تقریباً ۱ نانومتر در طیف گسیلی ظاهر می‌شوند که بر تعداد آن‌ها با افزایش چگالی انرژی دمش افزوده می‌شود. هر کدام از قله‌ها یک مد رزونانسی متناظر با یک کاواک یا چندین کاواک تصادفی است که شرط نوسان لیزری برای آن برآورده شده است. هرچه چگالی انرژی دمش بیش‌تر شود، بهره‌ی بیش‌تری فراهم می‌شود و بنابراین مدهایی که افت بیش‌تری دارند نیز می‌توانند نوسان کنند. در نتیجه بر تعداد مدهای لیزری افزوده می‌شود [۲].

علاوه بر این، مشاهده می‌کنیم که مدهای لیزری برای دریافت بهره‌ی بیش‌تر و رسیدن به شرط نوسان لیزری با یکدیگر رقابت می‌کنند. همان‌گونه که در شکل ۵ (الف) نشان داده شده است، به دلیل اثرات رقابت بین مدها و اشباع متقابل بهره، همپوشانی زیادی بین مدها به ازای چگالی‌های انرژی دمش ۰/۱۴ J/cm^2 و ۰/۱۶ وجود دارد. اما در چگالی‌های انرژی بیش‌تر، افزایش میزان بهره باعث می‌شود که مدهایی که افت کمتری دارند، در رقابت پیروز شوند و نوسان کنند. برای نمایش بهتر رقابت بین مدها، خطوطی از شماره‌ی ۱ تا ۱۰ به صورت عمودی در شکل ۵ (ب) رسم شده است. مشاهده می‌کنیم که برخی از مدها فقط در چگالی انرژی‌های بالا ظاهر می‌شوند. در مقابل برخی از مدها نیز در چگالی انرژی‌های بالا حذف می‌شوند. همچنین تعداد کمی از مدها نیز به صورت پایدار نوسان می‌کنند. بنابراین نتیجه می‌گیریم که تابش لیزر تصادفی ازمحلول گرافن اکساید و رنگ رودامین B از نوع رزونانسی است و رقابت شدیدی بین مدهای لیزری وجود دارد.

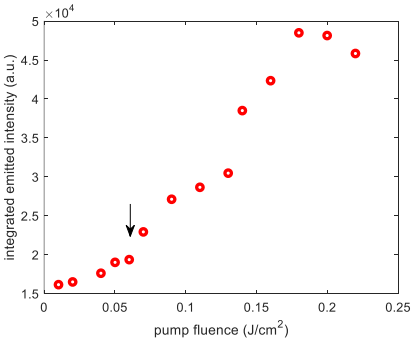
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]



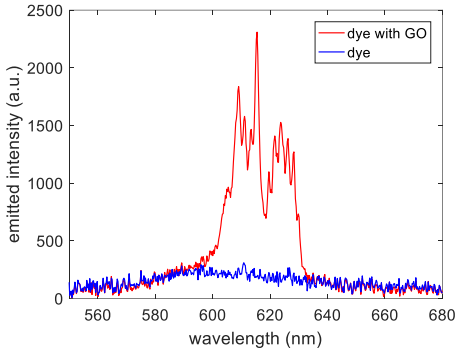
شکل ۵: (الف) و (ب) طیف تابشی در چگالی انرژی‌های مختلف که برای نمایش بهتر به صورت عمودی جابجا شده است.

در شکل ۶ انتگرال شدت تابشی بر حسب چگالی انرژی دمش رسم شده است. مقدار چگالی انرژی آستانه برابر با ۰/۰۶ J/cm^2 به دست می‌آید. علت کاهش انتگرال شدت در چگالی انرژی‌های بالاتر از آستانه، اثر رقابت بین مدها و اشباع متقابل بهره است.



شکل ۶: انتگرال شدت بر حسب چگالی انرژی دمش.

در ادامه طیف تابشی نمونه‌های رنگ فاقد گرافن اکساید و رنگ شامل گرافن اکساید را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. نتیجه در شکل ۷ نشان داده شده است. مشاهده می‌کنیم که طیف رنگ تنها فاقد مؤلفه‌های رزونانسی است. اما در طیف محلول رنگ شامل گرافن اکساید تعداد زیادی مد لیزری وجود دارد. بنابراین بازخورد رزونانسی لیزر تصادفی از چند پراکندگی نور توسط صفحات گرافن اکساید ناشی می‌شود.



شکل ۷: مقایسه‌ی طیف‌های تابشی نمونه‌های رنگ تنها و محلول رنگ و گرافن اکساید در چگالی انرژی دمش ۰/۲۰ J/cm^2.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تابش لیزری تصادفی با بازخورد رزونانسی از محلول رنگ رودامین B و گرافن اکساید به دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در چگالی انرژی‌های دمش بالاتر از آستانه تعداد زیادی مد لیزری با پهنای تقریباً ۱ نانومتر در طیف گسیلی ظاهر می‌شوند و رقابت شدیدی بین آن‌ها وجود دارد. از آن‌جایی که طیف گسیلی نمونه‌ی رنگ تنها فاقد مدهای رزونانسی است، نتیجه گرفتیم که بازخورد رزوناسی لیزر تصادفی از چند پراکندگی نور توسط صفحات گرافن اکساید فراهم می‌شود.

مرجع‌ها

[1] 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.
[2] H. Cao, “Random lasers: development, features and applications”, Optics and photonics news, Vol. 16, pp. 24-29, 2005.
[3] 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.
[4] Y. Dong, J. Shao, C. Chen, H. Li, R. Wang, Y. Chi, X. Lin, G. Chen, “Blue luminescent graphene quantum dots and graphene oxide prepared by tuning the carbonization degree of citric acid”, Carbon, Vol. 50, pp. 4738-4743, 2012.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30]