بهینه سازی ویژگی‌های اپتیکی لیزر تصادفی با فیدبکِ همدوس در محلول حاوی رودامین 6G و ذرات SiO_2

مریم کلانترهرمزی[۱]، فریبا جاپلاقی پریدری[۱]، محمدامین بصام[۲] و بتول سجاد[۱]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده‌ی فیزیک شیمی، دانشگاه الزهرا، تهران
[۲] مجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

چکیده - در این مقاله چگونگی تابش لیزر تصادفی با فیدبک همدوس در محلول حاوی رودامین 6G و ذرات SiO_2 با اندازه کمتر از یک میکرومتر بررسی شده است. به منظور بهینه‌سازی خروجی لیزر، تغییرات طیف تابشی برحسب غلظت محلول رنگ و هم‌چنین چگالی ذرات SiO_2 مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه براین، در شرایط بهینه چگالی محیط فعال، تغییرات شدت طیف گسیلی در انرژی‌های مختلف لیزر دمش مورد بررسی قرار گرفته وآستانه دمش نیز در شرایط متفاوت اندازه‌گیری شده است.

کلید واژه- پراکندگی چندگانه، رودامین6G ، فیدبک همدوس، لیزر تصادفی، میکرو ذرات SiO_2.

Optimization of the optical properties of random laser with coherent feedback in solution containing Rh6G dye and SiO_2 particles

Maryam Kalantarhormozi [1], Fariba Japelaghi paridari [1], Mohammad Amin Bassam[2] and Batool Sajad[1]

[1] Department of physics, Alzahra University of Tehran
[2] Electronic Department, Maleke Ashtar University of Technology, Tehran
(*Corresponding author: bsajad@alzahra.ac.ir)

Abstract- In this paper, random laser emission with coherent feedback from solution containing SiO_2 submicroparticles embedding rhodamine 6G(Rh6G) dye have been investigated. Variations of emitted spectrum with dye concentration and silica particles density have been studied in order to find the optimum condition of laser output. Moreover variations of emission spectrum intensity versus the pump energy in optimum concentration have been investigated and the random laser threshold energy measured in various conditions.

Keywords: Coherent feedback, Multiple scattering, Random laser, Rhodamine 6G, SiO_2 microparticles.

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

۱- مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر بررسی محیط‌های نامنظم رشد چشم‌گیری داشته و بررسی رفتار این محیط‌ها، کاربردهای بسیاری را در زمینه‌های مختلف فراهم آورده است. از جمله‌ی این کاربردها پراکندگی در محیط‌های بهره بی‌نظم است که می‌تواند دست‌یابی به لیزر تصادفی را فراهم آورد.[۱] این پدیده تاکنون در گستره وسیعی از مواد مایع، دی‌الکتریک‌های غیرآلی، نیمه هادی‌ها، و پودرهای کریستالی مشاهده شده است.[۲]

از دیدگاه کاربردی لیزرهای تصادفی به دلیل دارا بودن گستره وسیع طیفی ، عدم نیاز به تشدیدگر خارجی، تهیه سریع و آسان مورد توجه قرار گرفته‌اند. ویژگی‌های تجربی به دست آمده از این محیط‌ها، مانند پهنای طیف گسیلی کم (<۱nm) و وجود آستانه‌ی انرژی برای شروع تقویت نور، سبب می‌شود که بتوان اینگونه محیط‌ها را نوعی لیزر نامید.[۳]

۲- مبانی نظری

در گذشته پراکندگی نور به عنوان یک عامل مزاحم در عملکرد لیزری محسوب می‌شد. اما بعدها معلوم شد که در یک محیط بی‌نظم دارای بهره، پراکندگی اپتیکی نقش مثبتی را ایفا می‌کند. پراکندگی چندگانه طول مسیر یا زمان توقف نور در محیط فعال را افزایش داده و موجب تقویت نور به وسیله تابش تحریک شده می‌شود. پدیده پراکندگی نور و تقویت آن در محیط بی نظم را لیزر تصادفی گویند.[۱,۴]

لیزرهای تصادفی از لحاظ نوع فیدبک با لیزرهای معمول تفاوت دارند. در این لیزرها برخلاف دیگر لیزرها فیدبک، به وسیله‌ی پراکندگی چندگانه در محیط بهره فراهم می‌شود؛ به عبارت دیگر در این لیزرها محیط بهره سبب تقویت نور شده و پدیده پراکندگی چندگانه موجب ایجاد کاواک های محلی در محیط می شود و فیدبک لازم را تأمین می‌کند[۵].

لیزرهای تصادفی با توجه به نوع فیدبک، به دو دسته تقسیم می شوند:۱) لیزر تصادفی با فیدبک ناهمدوس یا فیدبک شدت و۲) لیزر تصادفی با فیدبک همدوس یا فیدبک دامنه.[۶]

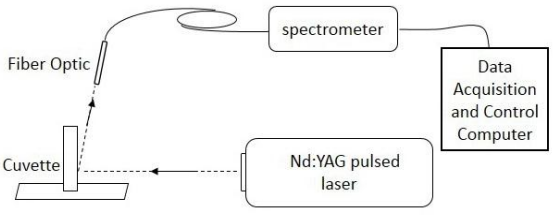
در فیدبک ناهمدوس، نور پس از چند رخداد پراکندگی از محیط بهره خارج شده و طی این فرآیند تنها شدت نور تقویت می‌گردد. در لیزر تصادفی با فیدبک همدوس، نور پس از پراکندگی‌های متعدد به نقطه اولیه خود بازگشته و یک حلقه بسته را تشکیل می‌دهد. دراین حالت نور به ازای فرکانس‌های خاصی که منجر به تداخلِ سازنده می‌شوند، در داخل این ساختارها به دام افتاده و شرط تشدید و نوسان لیزری را فراهم می‌آورد[۳]. این کاواک های تشدیدی، مدهای نوسان لیزری را تعیین خواهند کرد.

گسیل ناهمدوس و همدوس از محلول حاوی رودامین6G و ذرات سیلیکا به ترتیب در مراجع [۷] و [۸] گزارش شده است.

در این پژوهش، غلظت‌های مختلف دای و ذرات پراکنده کننده برای بدست آوردن غلظت بهینه‌ی محیطِ فعالِ لیزرتصادفی، تهیه شده و ویژگی‌های اپتیکی همانند پهنای طیف گسیلی، آستانه گسیل لیزرتصادفی همدوس و همچنین رفتار شدت گسیلی با تغییر غلظت دای و ذرات پراکنده کننده مورد مطالعه قرار گرفته است.

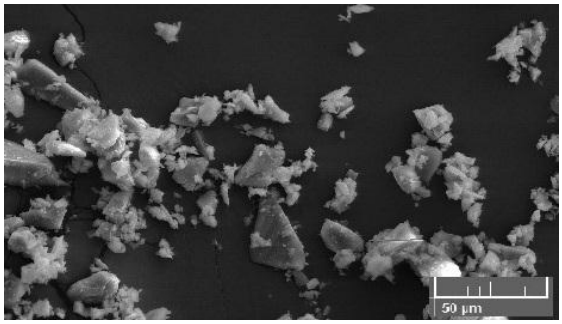
۳- چیدمان آزمایشگاهی

طرحواره چیدمان آزمایشگاهی این پژوهش در شکل(۱) نشان داده شده است. محلول حاوی رودامین6G و ذرات SiO_2 توسط هارمونیک دوم (λ=۵۳۲nm) لیزر پالسی Q سوئیچ Nd:YAG با عرض پالس۱۰nsو نرخ تکرار۱۰-۱ هرتز پرتودهی شده است. تابش برآمده از محلول، توسط یک فیبر نوری جمع‌آوری و سپس با انتقال به اسپکترومتر آشکار می‌گردد.



شکل۱: چیدمان آزمایشگاهی لیزر تصادفی

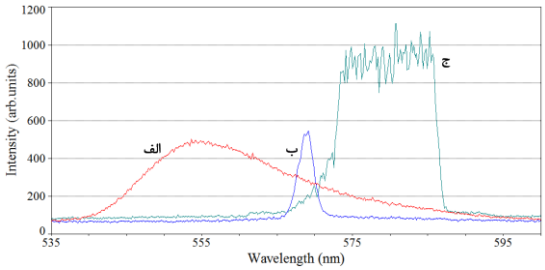
ابعاد ذرات پراکننده در این بررسی، با استفاده از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) کوچک‌تر از μm ۱تخمین زده شده است(شکل(۲)).



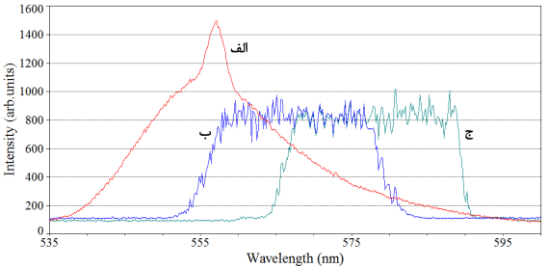
شکل۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات پراکننده

۴- نتایج تجربی

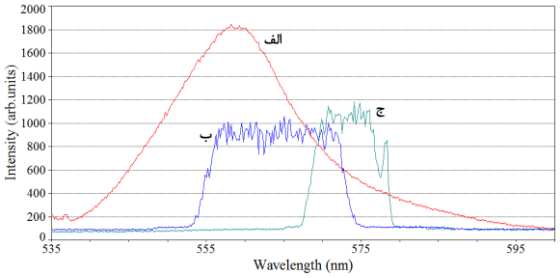
در ابتدا، تغییرات طیف گسیل لیزر تصادفی با تغییر غلظت رودامین در حالتی که انرژی لیزر ۲۰۰mJ/pulse و غلظت ذرات پراکننده ۱mM، ۱۰mMو ۱۰۰mM می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) نمونه‌ای از این طیف‌های تابشی را به ازای غلظت های مختلف رودامین نشان می‌دهند.



شکل۳: طیف تابشی محلول حاوی ذرات SiO_2 با غلظت ۱ mM در غلظت‌های مختلف رودامین: الف) ۰/۱ mM ب) ۱mM ج) ۱۰mM.



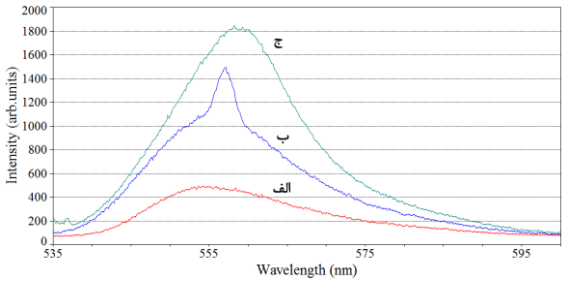
شکل۴: طیف تابشی محلول حاوی ذرات SiO_2 با غلظت ۱۰ mM در غلظت‌های مختلف رودامین:. الف) ۰/۱ mM ب) ۱mM ج) ۱۰mM.



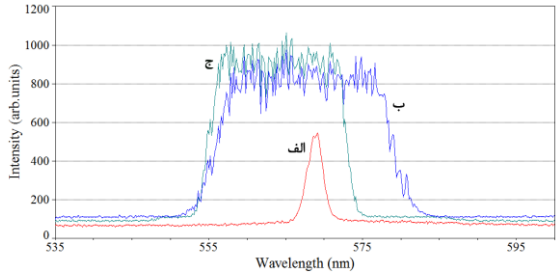
شکل۵: طیف تابشی محلول حاوی ذرات SiO_2 با غلظت ۱۰۰mM در غلظت‌های مختلف رودامین: الف) ۰/۱mM ب) ۱mM ج) ۱۰mM.

همانگونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، در غلظت پایین رودامین، طیف تابشی به صورت طیف فلورسانس می‌باشد. با افزایش غلظت به تدریج قله‌های گسسته‌ی ناشی از نوسان لیزری بر روی طیف پدیدار می‌گردند؛ این قله های گسسته، لیزر تصادفی با فیدبک همدوس نامیده می‌شوند. به عبارت دیگر، با افزایش غلظت رودامین در محلول، تقویت در محیط تصادفی افزایش یافته و منجر به تشکیل کاواک‌های محلی و رخ دادن نوسان لیزری برای مدهای مختلف می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌گردد که بهترین شرایط گسیلی مربوط به محلول رودامین با غلظت ۱۰mM حاوی ذرات SiO_2 با غلظت ۱۰۰ mM می‌باشد.

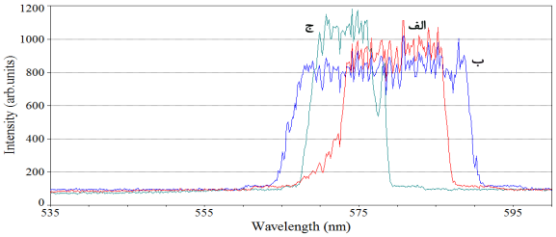
در مرحله‌ی بعد؛ تأثیر تغییرات چگالی ذرات SiO_2 بر طیف تابشی لیزرتصادفی در غلظت‌های ۰/۱mM، ۱mMو ۱۰mM رودامین6G با انرژی فرودی ۲۰۰mJ/pulse مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل‌های (۶)، (۷) و(۸) نمونه ای از این طیف‌های تابشی حاصل را نشان می‌دهند.



شکل۶: طیف تابشی محلول دای ۰/۱ mM حاوی غلظت‌های متفاوت ذرات SiO_2: الف) ۱ mM ب) ۱۰mM ج) ۱۰۰mM.



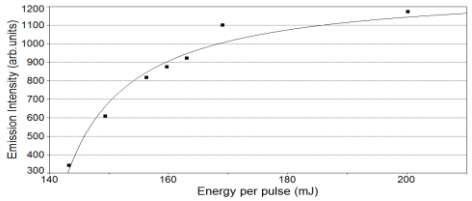
شکل۷: طیف تابشی محلول دای ۱ mM حاوی غلظت‌های متفاوت ذرات SiO_2: الف) ۱ mM ب) ۱۰mM ج) ۱۰۰mM.



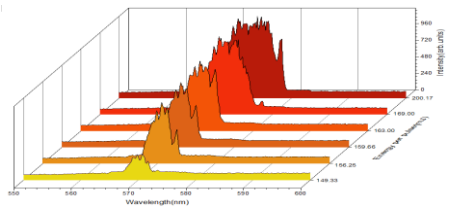
شکل۸: طیف تابشی محلول دای ۱۰ mM حاوی غلظت‌های متفاوت ذرات SiO_2: الف) ۱ mM ب) ۱۰mM ج) ۱۰۰mM.

با توجه به منحنی‌های به‌دست آمده مشاهده می‌گردد که با افزایش غلظت ذرات پراکننده، شدت طیف تابشی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت یک باریک شدگی طیفی در طیف تابشی رخ می‌دهد که ناشی از تقویت بیش تر برخی مدها در محیط فعال است. با بررسی منحنی‌های فوق می‌توان دریافت که بهترین طیف‌ها ناشی از محلول حاوی رودامین6G با غلظت ۱۰mM است که تاییدی بر نتیجه بدست آمده در قسمت قبل می‌باشد.

در ادامه با توجه به غلظت بهینه‌ی به‌دست آمده در مرحله قبل، تغییرات شدت طیف گسیلی با شدت پمپاژ برای محلول حاوی رودامین6G با غلظت ۱۰mM و ذرات SiO_2 با غلظت ۱۰mM بررسی شده است (شکل۹). در شکل(۱۰) نمونه ای از طیف‌های گسیلی با افزایش انرژی پالس فرودی رسم شده است.



شکل۹: نمودار تغییرات شدت طیف تابشی بر حسب انرژی فرودی



شکل۱۰: نمودار تغییرات طیف تابشی بر حسب طول موج به ازای انرژی های مختلف

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش انرژی پالس لیزر، شدت افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌گردد که افزایش انرژی سبب می‌شود که تعداد قله‌های گسسته در طیف تابشی افزایش یابد. این پدیده نشان دهنده‌ی افزایش تعداد مدهای تشکیل شده در اثر نوسان لیزری است؛ چرا که با افزایش انرژی تعداد فوتون‌ها در ناحیه‌ی تقویت بیش‌تر شده و احتمال گسیل تابشی حاصل از کاواک‌های محلی موجود در این ناحیه افزایش می‌یابد.

در آخرین مرحله رفتار آستانه با توجه به تغییرات غلظت رودامین6G و ذرات سیلیکا مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در جدول(۱) خلاصه شده است.

غلظت دای (mM)	غلظت ذرات (mM)	آستانه تابش (mJ/pulse)
۱	۱	۸۶/۷۵
	۱۰	۷۹/۰۰
	۱۰۰	۱۴۳/۲۵
۱۰	۱	۱۶۹/۰۰
	۱۰	۲۲/۴۷
	۱۰۰	۳۰/۳۴

با توجه به جدول(۱) ، مقدار آستانه با افزایش غلظت ذرات سیلیکا در ابتدا روند کاهشی داشته و پس از گذر از یک مقدار بهینه، روند افزایشی را درپی می‌گیرد. کمینه‌ی انرژی آستانه در آزمایش‌های صورت گرفته در غلظت ۱۰میلی‌مولار ذرات پراکننده‌ی SiO_2 حاصل می‌شود.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، تغییرات طیف گسیلی ناشی از تغییر دانسیته ذرات پراکننده سیلیکا و غلظت رودامین6G مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت رودامین6G در دانسیته ثابت ذرات سیلیکا و همچنین افزایش دانسیته ذرات پراکننده ی سیلیکا در غلظت ثابت رودامین6G؛ سبب بهبود ویژگی‌های طیف گسیلی همانند: کاهش پهنای طیفی، ظهور پیک‌های گسسته بر روی طیف گسیلی و همچنین، کاهش پهنای پیک‌های گسسته‌ی لیزر تصادفی می‌شود. از سوی دیگر افزایش دانسیته پراکننده‌ها در غلظت ثابت رودامین6G، سبب افزایش شدت طیف گسیلی می‌گردد. مقدار کمینه آستانه‌ی لیزرِ تصادفی با فیدبک همدوس در دانسیته‌ی ۱۰ میلی مولار SiO_2، برابر با ۲۲/۴۷ mJ/pulse اندازه‌گیری شده است.

مراجع

[1] Hui Cao.; “Review on latest developments in random lasers with coherent feedback”; J. Phys. A. 38 (2005) 10497–10535.

[2] Wiersma, D. S., “The Physics and Applications of Random Lasers”, Nature Physics, 4 (2008) 3-9

[3] Mikhail A. Noginov; “Solid-State Random Lasers”; Springer, Series in Optical Sciences (2005).

[4] Letokhov, V. S.; “Generation of Light by a Scattering Medium with Negative Resonance Absorption”; Sov. Phys. JETP 26 (1968), 835–840.

[5] Hui Cao; “RandomLASERS Development, Features and Applications”; Optics & Photonics News. January 2005.

[6] Hui Cao; “Lasing in random media”; Waves Random Media (2003) R1–R39.

[۷] فریبا جاپلاقی پریدری، بررسی ویژگی‌های تابشی محیط‌های تصادفی پلیمری آلاییده به رنگ و نانوذرات TiO_2 و ZnO، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهرا، مهر۱۳۹۲.

[۸] کلانترهرمزی، جاپلاقی پریدری، بصام، سجاد؛ " لیزر تصادفی با فیدبک همدوس در محلول حاوی رودامین6G و میکروذرات SiO_2 "؛ کنفرانس مهندسی اپتیک و لیزر ایران؛ شهریور۱۳۹۴