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

ساخت لیزر تصادفی کوک‌پذیر بر پایه‌ی محلول رنگ و نقاط کوانتومی سولفید روی آلاییده شده با منگنز

پیمانه رفیعی پور[۱]، عباس قاسم پور اردکانی[۱]، محمد جعفر صمیمی‌پور[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 کوک‌پذیر بر پایه‌ی محلول رنگ رودامین B و نقاط کوانتومی سولفید روی آلاییده شده با منگنز (ZnS:Mn) ساخته می‌شود. محلول رنگ رودامین B نور را از طریق فرایند گسیل القایی تقویت می‌کند. نقاط کوانتومی ZnS:Mn نیز بازخورد نوری را از طریق چند پراکندگی نور تأمین می‌کنند. ابتدا نشان می‌دهیم که طیف گسیل محلول رنگ و نقاط کوانتومی ZnS:Mn در مقایسه با طیف گسیل محلول رنگ تنها بسیار پر شدت و باریک است. سپس آستانه‌ی لیزری را برای نمونه‌ی شامل رنگ و نقاط کوانتومی ZnS:Mn اندازه می‌گیریم. در ادامه، اثر غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn را بر روی طیف تابشی و آستانه‌ی لیزری بررسی می‌کنیم. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn، طول موج تابشی به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر جابجا می‌شود و آستانه‌ی لیزری کاهش می‌یابد. این رهیافت می‌تواند برای کوک کردن تابش لیزر تصادفی استفاده شود.

کلید واژه- لیزر تصادفی، چند پراکندگی نور، کوک پذیری، نقاط کوانتومی ZnS:Mn.

Fabrication of a tunable random laser based on the solution of dye and Mn doped ZnS quantum dots

Peymaneh Rafieipour[1], Abbas Ghasempour Ardakani[1], Mohammad Jaafar Samimipour[2] and Javad Tashkourian[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 tunable** random laser is fabricated based on the solution of rhodamine B dye and Mn doped ZnS (ZnS:Mn) quantum dots. The solution of rhodamine B dye amplifies light via stimulated emission process. ZnS:Mn quantum dots also provide the optical feedback via light multiple scattering. First, we show that the emission spectrum of the solution of dye and ZnS:Mn quantum dots is very intensive and narrow in comparison with the emission spectrum of the solution of dye alone. Then, we measure the lasing threshold for the sample composed of dye and ZnS:Mn quantum dots. In the following, we investigate the effects of the concentration of ZnS:Mn quantum dots on the emission spectrum and lasing threshold. The results show that the emitted wavelength shifts to shorter wavelengths and the lasing threshold decreases by increasing the concentration of ZnS:Mn quantum dots. This procedure can be used for tuning the random laser emission.

Keywords: random laser, multiple light scattering, tunability, ZnS:Mn quantum dots.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

لیزرهای تصادفی[۱] یا لیزرهای بدون آینه[۲] بر اساس چند پراکندگی نور در یک محیط فعال کار می‌کنند. به این صورت که با ایجاد بی‌نظمی در یک محیط تقویت کننده، نور مدت زمان بیشتری درون محیط باقی می‌ماند و در نتیجه طول پویش آن درون محیط افزایش می‌یابد. بنابراین شرط نوسان لیزری برای آن فراهم شده و گسیل نور لیزر از ساختار مشاهده می‌شود. بر خلاف لیزرهای معمولی، هرچه میزان بی‌منظمی در محیط فعال بیش‌تر باشد، بازخورد نوری مؤثرتری فراهم می‌شود، نور بیش‌تر تقویت می‌شود و بنابراین آستانه‌ی لیزری کاهش پیدا می‌کند. یک مثال از ایجاد بی‌نظمی در محیط فعال، اضافه کردن نانو ذرات مختلف درون محیط بهره است [۳-۱]. لیزرهای تصادفی به دلیل سادگی ساخت، ارزان بودن و قابلیت کاربرد در زمینه‌های مختلف، بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. از این لیزرها می‌توان در کاربردهای گسترده‌ای مانند روشنایی، تصویربرداری‌های زیستی و پزشکی، حسگری، شناسایی، ردیابی و... استفاده کرد [۴].

در این مقاله، از نقاط کوانتومی سولفید روی آلاییده با منگنز (ZnS:Mn) به عنوان محیط پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده می‌کنیم. نقاط کوانتومی به دلیل بازدهی کوانتومی بالا، کوک پذیری فلوئورسانس و طیف پهن برانگیختگی در کاربردهایی مانند حسگری، تصویربرداری زیستی، کدگذاری اشیاء و نمایشگرها به کار می‌روند. نقاط کوانتومی ZnS:Mn در مقایسه با سایر نقاط کوانتومی از سمّیت کم‌تر، شیفت استوکس بزرگ‌تر، طول عمر برانگیختگی طولانی‌تر و پایداری حرارتی و زیستی بیش‌تری برخوردارند. در کنار نقاط کوانتومی ZnS:Mn، از محلول رنگ رودامین B برای تقویت نور استفاده می‌کنیم. نشان می‌دهیم که گسیل حاصل از محلول رنگ و نقاط کوانتومی ZnS:Mn در مقایسه با محلول رنگ تنها بسیار پرشدت و باریک است. همچنین رفتار آستانه برای محلول شامل رنگ رودامین B و نقاط کوانتومی ZnS:Mn مشاهده می‌شود. با اندازه‌گیری آستانه، حداقل انرژی لازم برای گسیل نور لیزر تصادفی از نمونه را به دست می‌آوریم. در ادامه با بررسی اثر افزایش غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn، مشاهده می‌کنیم که افزایش غلظت آن‌ها باعث کاهش آستانه‌ی لیزر تصادفی و جابجایی آبی طول موج گسیلی می‌شود. از این رهیافت می‌توان برای کوک کردن تابش لیزرهای تصادفی استفاده کرد.

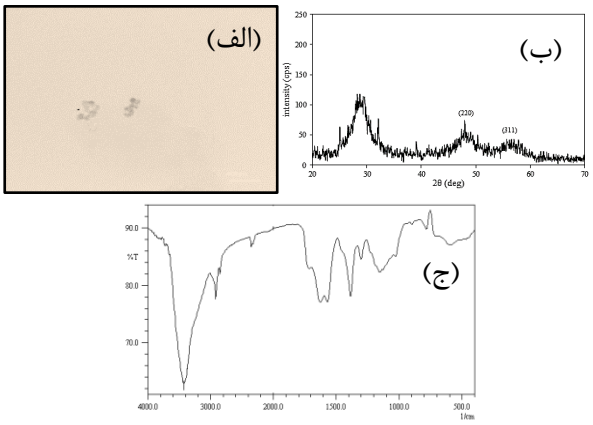
روش تهیه نمونه

برای سنتز نقاط کوانتومی ZnS:Mn، ۵ میلی‌لیتر $Zn(CH_3COO)_2$، ۲۰ میلی‌لیتر اسید $C_2H_4O_2S$ و ۱/۵ میلی‌لیتر $Mn(CH_3COO)_2$ را در یک فلاسک به یکدیگر اضافه و حل می‌کنیم. سپس حجم محلول را با استفاده از آب دیونیزه به ۵۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم. PH محلول نیز با اضافه کردن NaOH بر روی مقدار ۱۰/۵ ثابت می‌شود. برای حذف اکسیژن، گاز نیتروژن را به مدت ۳۰ دقیقه از محلول عبور می‌دهیم. بلافاصله ۵ میلی‌لیتر N_2S را در حالتی که محلول به مدت ۱۵ دقیقه و تحت گاز نیتروژن استیرر می‌شود، به محلول اضافه می‌کنیم. در پایان، محلول را در هوا و در دمای $50^{\circ}C$ به مدت ۲ ساعت نگه داشته و با اتانول رسوب می‌دهیم. رسوب حاصل نیز پس از سانتریفیوژ کردن و شستشو با اتانول، در خلاء خشک می‌شود. به این ترتیب، نقاط کوانتومی ZnS:Mn به دست می‌آید. شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، طرح پراش الکترون (XRD) و طیف تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) مربوط به نقاط کوانتومی ZnS:Mn را نشان می‌دهد. خط مقیاس در شکل ۱ (الف) برابر با ۴۰ نانومتر و قطر نقاط کوانتومی ZnS:Mn تقریباً ۶/۱۵ نانومتر است. طرح پراش نقاط کوانتومی ZnS:Mn نیز منطبق بر کارت استاندارد (PDF−card5−566) است.

[۱] Random lasers
[۲] Mirror-less lasers

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

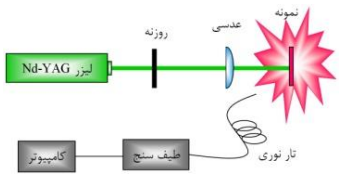


شکل ۱: (الف) تصویر TEM، (ب) طرح XRD و (ج) طیف FTIR از نقاط کوانتومی ZnS:Mn.

قله‌های مشاهده شده در طیف FTIR به ترتیب از چپ به راست مربوط به پیوندهای O-H، C-H، C=O، CH2، C-O و Zn-S هستند. از محلول ۱۰/۴۴ میلی‌مولار رودامین B به عنوان محیط بهره استفاده می‌کنیم. نمونه‌ی لیزر تصادفی با حل کردن نقاط کوانتومی ZnS:Mn در محلول رنگ به دست می‌آید. نمونه‌های مختلف شامل غلظت‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ mg/ml نقاط کوانتومی ZnS:Mn با استیرر کردن محلول‌های مربوطه به مدت ۹۰ دقیقه و سپس اولتراسونیک کردن آن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه آماده می‌شود.

چیدمان آزمایش

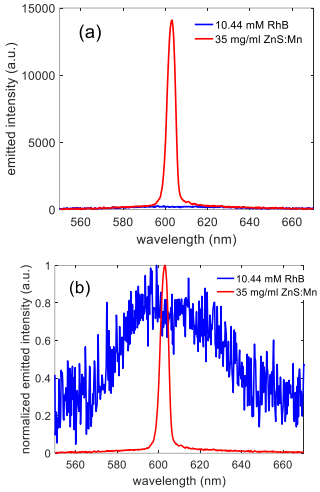
سلول محتوی نمونه را در مقابل لیزر پالسی Nd-YAG، بعد از یک روزنه و عدسی قرار می‌دهیم. نمونه توسط هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر پمپ می‌شود. همچنین از یک تار نوری برای جمع آوری نور تابش شده از نمونه و انتقال آن به یک طیف سنج استفاده می‌کنیم. طیف نور تابشی با استفاده از یک کامپیوتر ثبت می‌شود. طرح‌واره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: طرح‌واره‌ای از چیدمان وسایل آزمایش.

نتایج و جمع‌بندی

ابتدا طیف‌های گسیل نمونه‌ی شامل ۳۵ mg/ml نقاط کوانتومی ZnS:Mn در محلول رنگ رودامین B و نمونه‌ی شامل محلول رنگ تنها را به ازای چگالی انرژی دمش ۲۸/۱ mJ/cm^2 ثبت می‌کنیم. در شکل ۳ (الف) مشاهده می‌کنیم که طیف تابشی نمونه‌ی شامل نقاط کوانتومی ZnS:Mn از شدت قابل توجهی (تقریباً ۵۰ برابر بیش‌تر) در مقایسه با طیف تابشی نمونه‌ی رنگ تنها برخوردار است. علاوه بر آن، شکل ۳ (ب) نشان می‌دهد که پهنای قله‌ی تابشی مربوط به نمونه‌ی شامل نقاط کوانتومی ZnS:Mn بسیار باریک‌تر است. مقدار پهنای تابشی برای این نمونه تقریباً ۴/۵ نانومتر و برای نمونه‌ی شامل رنگ تنها برابر با ۶۵ نانومتر است.



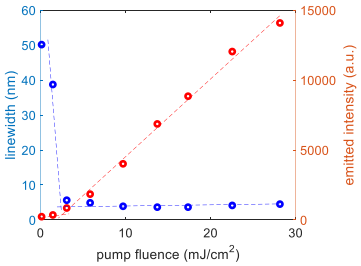
شکل ۳: (الف) طیف گسیل و (ب) طیف گسیل بهنجار بر حسب طول موج متناظر با نمونه‌های رنگ و رنگ همراه با نقاط کوانتومی ZnS:Mn.

بنابراین وجود نقاط کوانتومی ZnS:Mn در محلول رنگ تنها منجر به تغییرات قابل ملاحظه‌ای در طیف تابشی آن می‌شود. پهنای زیاد و شدت کم طیف گسیل نمونه‌ی رنگ تنها حتی در انرژی‌های دمش خیلی زیاد، نشان دهنده‌ی گسیل خود به خودی است. اما پهنای خیلی کم و شدت بسیار زیاد طیف گسیلی مربوط به نمونه‌ی شامل رنگ و نقاط کوانتومی ZnS:Mn از مشخصات طیف تابشی لیزر تصادفی است.

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

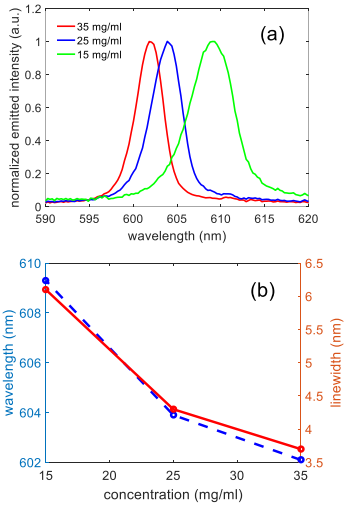
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

به منظور اندازه‌گیری چگالی انرژی دمش آستانه، طیف تابشی را در چگالی انرژی‌های مختلف دمش ثبت می‌کنیم. سپس منحنی پهنا و بیشینه‌ی شدت گسیلی را بر حسب چگالی انرژی دمش رسم می‌کنیم. در شکل ۴، آستانه‌ی لیزر از روی هر دو منحنی تقریباً ۲/۸ mJ/cm^2 است.



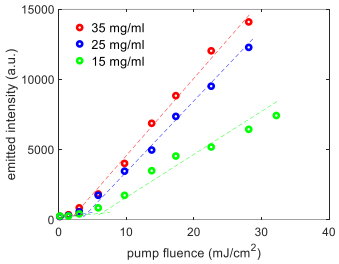
شکل ۴: منحنی‌های شدت بیشینه و پهنای قله‌ی تابشی بر حسب چگالی انرژی دمش متناظر با نمونه‌ی شامل رنگ و ZnS:Mn QD.

سپس اثر افزایش غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn را بر روی طیف تابشی بررسی می‌کنیم. نتیجه به ازای انرژی دمش ۱۷/۳ mJ/cm^2 در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: (الف) طیف گسیل بهنجار برای نمونه‌های شامل غلظت‌های مختلف نقاط کوانتومی ZnS:Mn، ب) جابجایی آبی طول موج و کاهش پهنا با افزایش غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn.

مشاهده می‌کنیم که افزایش غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn باعث جابجایی آبی طول موج تابشی به اندازه‌ی تقریباً ۷ نانومتر و کاهش پهنا به اندازه‌ی ۲/۳ نانومتر می‌شود. علت آن بزرگ شدن سطح مقطع پراکندگی با افزایش غلظت نقاط کوانتومی ZnS:Mn است که در نتیجه به هم چسبیدن آن‌ها در غلظت‌های زیاد اتفاق می‌افتد. از آن‌جایی که سطح مقطع پراکندگی با طول موج نسبت عکس دارد، بنابراین در غلظت‌های بالا احتمال پراکندگی در طول موج‌های کوتاه‌تر افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، غلظت‌های زیاد از نانو ذرات پراکننده باعث افزایش چند پراکندگی نور می‌شود. در نتیجه آستانه‌ی لیزر تصادفی کاهش پیدا می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، مقادیر چگالی انرژی دمش آستانه به ترتیب ۲/۸ mJ/cm^2، ۴ mJ/cm^2 و ۶/۲ mJ/cm^2 برای غلظت‌های ۳۵، ۲۵ و ۱۵ mg/ml نقاط کوانتومی ZnS:Mn است.



شکل ۶: منحنی‌های شدت تابشی بر حسب چگالی انرژی دمش.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک لیزر تصادفی کوک‌پذیر بر اساس نقاط کوانتومی ZnS:Mn و محلول رنگ رودامین B ساختیم. نشان دادیم که طیف تابشی نمونه بسیار پرشدت و باریک است. همچنین چگالی انرژی دمش آستانه اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن، نشان دادیم که طول موج تابشی با افزایش غلظت نقاط کوانتومی به طرف طول موج‌های کوتاه‌تر جابجا می‌شود و آستانه‌ی لیزر تصادفی کاهش می‌یابد.

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] A. G. Ardakani, P. Rafieipour, “Random lasing emission from WO_3 particles dispersed in Rh6G solution”, Physica b: condensed matter, Vol. 546, pp. 49-53, 2018.
[3] Y. Chen, 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.
[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.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]