اثر غلظت الکترولیت بر تابش لیزرهای تصادفی ساخته شده بر پایه‌ی نانو صفحات اکسید روی رشد یافته به روش الکتروشیمی

عباس قاسم‌پور اردکانی، پیمانه رفیعی پور

ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده‌ی علوم، بخش فیزیک

چکیده – در این مقاله، به صورت تجربی اثر تغییر غلظت الکترولیت را بر تابش لیزرهای تصادفی ساخته شده بر اساس صفحات اکسید روی بررسی می‌کنیم. صفحات *ZnO* با استفاده از تکنیک لایه نشانی الکتروشیمی بر روی شیشه‌های *FTO* رشد داده می‌شوند. از محلول رنگدانه‌ی رودامین *6G* به عنوان محیط بهره‌ی لیزر تصادفی استفاده می‌کنیم. بازخورد اپتیکی نیز از طریق چند پراکندگی نور توسط صفحات *ZnO* تأمین می‌شود. در این جا نشان داده می‌شود که با تغییر غلظت الکترولیت، اندازه و شکل صفحات و در نتیجه تابش لیزری ناشی از آن‌ها تغییر می‌کند. همچنین نشان داده می‌شود که با افزایش غلظت الکترولیت، در ابتدا شدت قله‌ی تابشی لیزر تصادفی حاصل از صفحات *ZnO* و رنگدانه‌ی آلی افزایش می‌یابد و سپس با افزایش بیش‌تر غلظت، طیف تابشی از حالت تک مدی به دو مدی تبدیل می‌شود. ما در این بررسی، انرژی دمش آستانه را برای هر یک از مدهای لیزری برانگیخته شده در ساختارها اندازه می‌گیریم. نتایج بررسی‌های ما نشان می‌دهد که ابتدا با افزایش غلظت، آستانه‌ی مد لیزری کمتر می‌شود. با افزایش بیش‌تر غلظت، مد جدیدی در طیف تابشی ظاهر می‌شود که باعث افزایش آستانه‌ی مد قدیمی و کاهش شدت آن می‌شود.

کلید واژه- روش رشد الکتروشیمی، لیزرهای تصادفی، صفحات اکسید روی، غلظت الکترولیت.

The effect of electrolyte concentration on random lasers fabricated based on Zinc oxide nanosheets grown by electrochemical deposition

Abbas Ghasempour Ardakani, Peymaneh Rafieipour

Physics Department, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract- In this paper, we investigate experimentally the effects of changing the electrolyte concentration on the emission of random lasers fabricated based on Zinc oxide nanosheets. Zinc oxide sheets are grown on FTO glasses using electrochemical deposition technique. We use Rhodamine 6G solution as the random laser gain medium. Optical feedback is provided by light multi-scattering from ZnO sheets. It is demonstrated here that size and shape of sheets and their related lasing emission change with electrolyte concentration. It is also shown that by increasing the electrolyte concentration, first the intensity of emission peak of the random laser obtained from ZnO sheets and organic dye increases and then by further increase of concentration, the emission spectrum converts from single mode sate to double one. We measure the threshold pumping energy for each of the lasing modes excited in the structure. Our results show that at first the threshold of lasing mode decreases with increase of concentration. With further increase of concentration, a new mode appears in the emission spectrum leading to increase of the threshold of old mode and decrease of its intensity.

Keywords: electrochemical deposition technique, random lasers, Zinc oxide sheets, electrolyte concentration.

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]

۱- مقدمه

تولید نور لیزر از محیطی بی‌نظم توسط لتوخوف و به صورت تئوری در سال ۱۹۶۸ پیش بینی شد [۱]. با این وجود اولین لیزر تصادفی همدوس به صورت تجربی در سال ۱۹۹۸ ساخته شد [۲]. لیزرهای تصادفی دسته‌ی جدیدی از لیزرها هستند که بازخورد اپتیکی در آن‌ها به وسیله‌ی چند پراکندگی نور تأمین می‌شود. لازمه‌ی لیزردهی تصادفی این است که در محیط فعال بی‌نظمی ایجاد شود به گونه‌ای که در اثر پراکندگی‌های متعدد، نور درون محیط به دام بیفتد و تقویت شود. آن‌گاه در صورت فراهم بودن بهره‌ی لازم، لیزردهی تصادفی در مدهای رزونانسی رخ می‌دهد. بنابراین اساس لیزرهای تصادفی بر پراکندگی و جایگزیدگی نور که جایگزیدگی اندرسون نوری نامیده می‌شود، استوار است. شناسایی سلول‌های سرطانی، رمزگزاری بارکدهای فوتونیکی، نمایشگرها و تراشه‌های نوری، حسگرها و... از جمله کاربردهایی است که برای لیزرهای تصادفی پیش بینی شده است [۳].

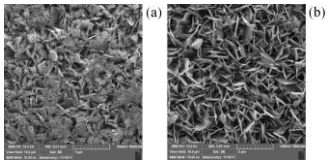
در این مقاله، از نانو صفحات اکسید روی و رنگدانه‌ی آلی رودامین ۶G برای ساخت لیزرهای تصادفی استفاده می‌کنیم. در این‌جا نشان می‌دهیم که با تغییر میزان غلظت الکترولیت که برای رشد صفحات استفاده می‌شود، به راحتی می‌توان شکل و اندازه‌ی صفحات را تغییر داد. در نتیجه تغییر غلظت موجب تغییر طیف تابشی و آستانه‌ی لیزر تصادفی خواهد شد. صفحات ZnO با اندازه و جهت گیری‌های تصادفی بر روی زیر لایه رشد می‌کنند. به این دلیل می‌توان از آن‌ها به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده کرد. از هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر، پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز برای دمش اپتیکی نمونه‌ها استفاده می‌شود.

۲- روش آماده سازی مواد و چیدمان آزمایش

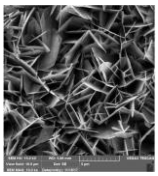
محلولی شامل غلظت ۰/۰۱۰۵ مولار از رنگدانه‌ی رودامین ۶G را در اتانول و اتیلن گلیکول با نسبت حجمی برابر آماده می‌کنیم. سپس به منظور دست یابی به یک محلول همگن، نمونه را به مدت ۲ ساعت بر روی دستگاه استیرر (هم زن مغناطیسی) قرار می‌دهیم.

۲-۱- رشد نانو صفحات اکسید روی

لایه نشانی الکتروشیمی در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتیگراد و پتانسیل ۱/۱- ولت نسبت به پتانسیل الکترود کلرید جیوه اشباع انجام می‌شود. از یک شیشه که بر روی آن لایه‌ی نازک اکسید قلع آلاییده به فلور (FTO) لایه نشانی شده است، به عنوان الکترود کار و شمارنده در یک سلول سه الکترودی استفاده می‌کنیم. بسته به زمان رشد و غلظت محلول نیترات روی، اندازه و شکل این صفحات تغییر می‌کند. در این مقاله، زمان رشد را ثابت و برابر با ۳ دقیقه در نظر می‌گیریم ولی مقدار غلظت محلول نیترات روی را تغییر می‌دهیم. از ۲۰ میلی‌لیتر محلول آبی ۰/۱ مولار کلرید پتاسیم و غلظت‌های متفاوت ۰/۰۶، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ مولار نیترات روی به عنوان الکترولیت در سلول سه الکترودی استفاده می‌کنیم. لایه نشانی توسط دستگاه پتانسیو استات انجام می‌شود. سپس سه نمونه‌ی آماده شده را به مدت یک ساعت در هوا در دمای ۲۰۰ درجه‌ی سانتیگراد حرارت می‌دهیم. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) مربوط به سه ساختار رشد یافته را در شکل‌های ۱و ۲ مشاهده می‌کنیم.



شکل ۱: تصویر SEM از نانو صفحات ZnO رشد یافته با غلظت: (a) ۰/۰۶ و (b) ۰/۰۸ مولار نیترات روی. خط مقیاس ۵ میکرون است.



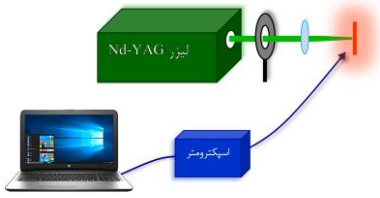
شکل ۲: تصویر SEM از نانو صفحات ZnO رشد یافته با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی. خط مقیاس ۵ میکرون است.

۲-۲- چیدمان آزمایش

به ترتیب لیزر پالسی Nd-YAG، دیافراگم، عدسی و نمونه را روبروی یک‌دیگر قرار می‌دهیم. از دیافراگم برای تغییر سطح ناحیه‌ی برانگیختگی و در نتیجه تنظیم اندازه‌ی لکه‌ی پمپ بر روی نمونه استفاده می‌کنیم. عدسی نیز نور لیزر پمپ را بر روی نمونه متمرکز می‌کند. طرح‌واره‌ای از چیدمان آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است:

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]

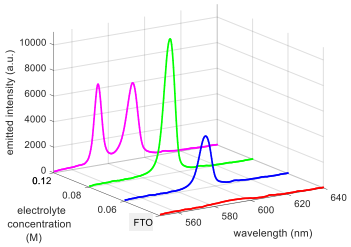


شکل ۳: طرح شماتیک از چیدمان آزمایش.

با استفاده از یک فیبر نوری تابش لیزر تصادفی گسیل شده از نمونه جمع‌آوری شده و به یک طیف سنج منتقل می‌شود. به این ترتیب، طیف تابشی را با استفاده از یک کامپیوتر ثبت می‌کنیم.

۳-۲- بحث و نتایج آزمایش

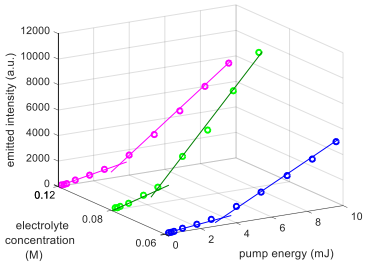
ابتدا مقداری از رنگدانه‌ی رودامین 6G را بر روی ساختارهای رشد داده شده با غلظت‌های مختلف الکترولیت و همچنین زیر لایه‌ی FTO به تنهایی، لایه نشانی غوطه وری می‌کنیم. سپس نمونه‌های آماده شده را به ترتیب در مقابل تابش هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG قرار می‌دهیم و طیف تابشی حاصل از نمونه‌ها را ثبت می‌کنیم. تفاوت در طیف تابشی متناظر با نمونه‌های مختلف به ازای انرژی دمش ثابت ۸/۲۷ میلی‌ژول بر پالس در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: طیف گسیلی لیزر تصادفی به ازای انرژی پمپ ۸/۲۷ میلی‌ژول بر پالس متناظر با FTO و نمونه‌های رشد داده شده با غلظت‌های متفاوت ۰/۰۶، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ مولار نیترات روی.

مشاهده می‌کنیم که طیف تابشی حاصل از FTO بسیار پهن و فاقد قله‌های رزونانسی است. طول موج مرکزی آن برابر با ۵۸۷ نانومتر و پهنا در نصف بیشینه متناظر با آن نیز تقریباً ۴۵ نانومتر است. این امر نشان می‌دهد که قله‌های تابشی ظاهر شده در طیف گسیلی نمونه‌های رشد داده شده با غلظت‌های متفاوت الکترولیت، تابش لیزری تصادفی حاصل از پراکندگی نور از ساختارهای ZnO است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که با افزایش غلظت الکترولیت، ابتدا شدت قله‌ی تابشی، افزایش یافته و سپس با افزایش بیش‌تر غلظت؛ قله‌ی دومی در طیف تابشی ظاهر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم در طیف تابشی نمونه‌های رشد داده شده با غلظت‌های ۰/۰۶ و ۰/۰۸ مولار نیترات روی، تنها یک قله ظاهر شده است. طول موج مرکزی آن به ترتیب برابر با ۵۹۳ و ۵۹۴ نانومتر است. پهنا در نصف بیشینه متناظر با آن نیز به ترتیب برابر با ۷/۵ و ۶/۷ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود. همچنین مشاهده می‌کنیم که در طیف تابشی نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی، دو قله ظاهر شده است. طول موج مرکزی مد اول (قله‌ی اول از سمت راست) و مد دوم (قله‌ی دوم از سمت راست) به ترتیب برابر با ۵۹۳ و ۵۷۴ نانومتر و پهنای آن‌ها نیز به ترتیب ۶/۷ و ۴/۴ نانومتر است. اختلاف طول موجی بین دو قله‌ی ظاهر شده در طیف برای نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی، برابر با ۱۹ نانومتر است. بنابراین نتیجه می‌گیریم که وقتی غلظت محلول الکترولیت از یک مقداری بیش‌تر می‌شود، تعداد قله‌های ظاهر شده در طیف گسیلی نیز افزایش پیدا می‌کند.

برای اندازه‌گیری انرژی دمش آستانه برای مدهای تابشی متناظر با نمونه‌های مختلف، منحنی بیشینه‌ی شدت تابشی بر حسب انرژی دمش را در شکل ۵ رسم می‌کنیم:

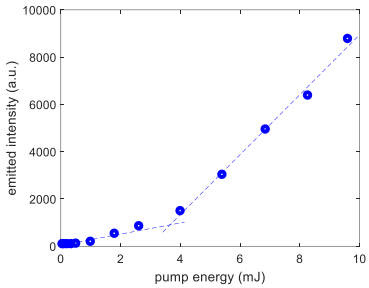


شکل ۵: منحنی شدت قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر پالس پمپ برای نمونه‌های رشد داده شده با غلظت‌های متفاوت ۰/۰۶، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ مولار نیترات روی.

با استفاده از شکل ۵، مقادیر انرژی آستانه برای نمونه‌های رشد داده شده با غلظت‌های متفاوت الکترولیت؛ به ترتیب تقریباً برابر با ۳/۲، ۲/۷ و ۳/۵ میلی‌ژول بر پالس به دست می‌آید. منحنی بیشینه‌ی شدت تابشی بر حسب انرژی دمش، متناظر با مد تابشی دوم برای نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی نیز در شکل ۶ نشان داده شده است. از روی شکل ۶، شدت دمش آستانه برای مد دوم در نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی تقریباً برابر با ۳/۷ میلی‌ژول بر پالس به دست می‌آید.

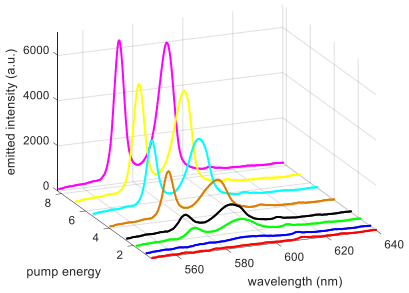
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

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



شکل ۶: منحنی شدت قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر پالس پمپ متناظر با مد تابشی اول مربوط به نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی.

همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود با افزایش غلظت الکترولیت، آستانه‌ی نوسان لیزری تصادفی در نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۸ مولار نیترات روی نسبت به نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۶ مولار نیترات روی کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۱ مشاهده می‌کنیم که در نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۸ مولار نیترات روی نسبت به نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۶ مولار نیترات روی، اندازه‌ی صفحات بزرگ‌تر و حجم حفره‌های خالی تشکیل شده در بین صفحات ZnO بیش‌تر می‌شود. در نتیجه با افزایش پراکندگی و افزایش حجم رنگدانه‌ی قرار گرفته درون حفره‌ها، به ترتیب میزان ضریب کیفیت و بهره‌ی کاواک‌های تصادفی بیش‌تر می‌شود. متناظر با هر کاواک لیزری تصادفی نیز مدهای رزونانسی وجود دارند که در صورت فراهم شدن شرط نوسان لیزری، لیزردهی تصادفی در طول موج رزونانسی اتفاق می‌افتد. بنابراین انتظار داریم که مقدار آستانه در نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۸ مولار نیترات روی نسبت به نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۶ مولار نیترات روی کم‌تر باشد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهند در طیف تابشی نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی (شکل ۴)، دو قله‌ی تابشی ظاهر شده است که شدت آن‌ها نسبت به تک قله‌ی تابشی در طیف نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۰۸ مولار نیترات روی کم‌تر است. علت آن اشباع متقابل بین دو مد ظاهر شده در طیف تابشی نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی است. همچنین مشاهده می‌کنیم که آستانه‌ی نوسان لیزری مد اول برای نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی در شکل ۵، نسبت به سایر نمونه‌ها بیش‌تر است. علت آن به اثر اشباع متقابل و رقابت بین مدها بر می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌کنیم انرژی دمش آستانه برای مد دوم در نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی برابر با ۳/۷ میلی‌ژول بر پالس است که تقریباً با آستانه‌ی مد اول مساوی است. در شکل ۷، تحول طیف تابشی به ازای انرژی‌های دمش مختلف ۰/۵، ۰/۹۸، ۱/۸، ۲/۶، ۴، ۵/۴، ۶/۸۵ و ۸/۲۷ میلی ژول بر پالس نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌کنیم که مد دوم به ازای انرژی‌های دمش کم همراه با مد اول در ساختار برانگیخته می‌شود. بنابراین اشباع مد اول توسط مد دوم، باعث زیاد بودن آستانه‌ی این مد در نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی نسبت به بقیه‌ی نمونه‌ها می‌شود.



شکل ۷: تغییر طیف تابشی با افزایش انرژی دمش بر حسب میلی ژول بر پالس مربوط به نمونه‌ی رشد داده شده با غلظت ۰/۱۲ مولار نیترات روی.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر تغییر غلظت الکترولیت را بر روی طیف تابشی و آستانه‌ی لیزردهی لیزر تصادفی ساخته شده بر اساس نانو صفحات ZnO بررسی کردیم. صفحات اکسید روی به روش الکتروشیمی بر روی شیشه‌های FTO رشد داده شدند. از صفحات ZnO به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده کردیم. محلول رنگدانه‌ی رودامین 6G نیز به عنوان محیط بهره به کار رفت. مشاهده کردیم که طیف تابشی و آستانه‌ی مدها به غلظت الکترولیت کاملاً وابسته است. دلیل این اثر وابسته بودن شکل و اندازه‌ی صفحات به غلظت الکترولیت است.

سپاسگزاری

از خانم‌ها نیلوفر صادقی و پریا کشاورز که در انجام پژوهش حاضر ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌کنیم.

مراجع

[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] H. Cao, Y. G. Zhao, S. T. Ho, E. W. Seelig, Q. H. Wang, R. P. T. Chang, “Random Laser Action in Semiconductor Powder”, Phys. Rev. Lett., Vol. 82, pp. 2278-2281, 1998.

[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.

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]