ساخت لیزرهای تصادفی بر پایه‌ی نانو صفحات اکسید روی رشد یافته به روش الکتروشیمیایی

عباس قاسم‌پور اردکانی، پیمانه رفیعی پور

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

چکیده – در این مقاله، یک لیزر تصادفی بر اساس نانو صفحات اکسید روی ساخته می‌شود. نانو صفحات اکسید روی با استفاده از تکنیک لایه نشانی الکتروشیمی بر روی شیشه‌های *FTO* رشد داده می‌شوند. از محلول رنگدانه‌ی رودامین *B* به عنوان محیط بهره‌ی لیزر تصادفی استفاده می‌کنیم. بازخورد اپتیکی از طریق پراکندگی نور توسط نانو صفحات *ZnO* تأمین می‌شود. مشاهده می‌کنیم که تابش لیزری تصادفی حاصل از نانو صفحات *ZnO* و رنگدانه‌ی آلی دارای چند مد است و مدهای مجزا از هم به ازای انرژی‌های دمش بالاتر از انرژی آستانه در طیف تابشی ظاهر می‌شوند. ما در این بررسی، انرژی دمش آستانه را برای هر یک از مدهای لیزری برانگیخته شده در نانو ساختار اندازه می‌گیریم. همچنین نتایج بررسی‌های ما نشان می‌دهند که تابش لیزری تصادفی حاصل از نانو صفحات اکسید روی، جهتمند نیست و همچنین به محلی از نمونه که تحت دمش قرار می‌گیرد؛ وابسته است.

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

Fabrication of Random lasers 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, a random laser is fabricated based on Zinc oxide nanosheets. Zinc oxide nanosheets are grown on FTO glasses using electrochemical deposition technique. We use Rhodamine B solution as the random laser gain medium. Optical feedback is provided by light multi-scattering from ZnO nanosheets. We observe that the random lasing emission from ZnO nanosheets is multi-mode and discrete modes appear in the emission spectrum for pumping energies larger than the threshold pumping energy. In this investigation we measure the threshold pumping energy for each of the lasing modes excited in the nanostructure. Our results also show that the random lasing emission from Zinc oxide nanosheets is not directional and furthermore it depends on the position of the sample which is pumped.

Keywords: electrochemical deposition technique, random lasers, Zinc oxide nanosheets.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

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

۱- مقدمه

در لیزرهای تصادفی بازخورد اپتیکی از طریق چند پراکندگی نور تأمین می‌شود. اگر میزان پراکندگی‌ها ضعیف باشد و نور پس از چند مرتبه پراکندگی از محیط خارج شود، لیزر تصادفی را ناهمدوس می‌نامند. به این علت که مدهای لیزری رزونانسی در طیف تابشی آن‌ها مشاهده نمی‌شود. اما اگر میزان پراکندگی‌ها قوی باشد، آن‌گاه این امکان وجود دارد که نور درون محیط به دام بیفتد. به دام افتادن نور و باقی ماندن آن درون محیط که مستلزم شرط تداخل سازنده است، باعث می‌شود که تعدادی مد لیزری رزونانسی به صورت قله‌های بسیار باریک در طیف تابشی مشاهده شود. این دسته از لیزرهای تصادفی، لیزرهای تصادفی همدوس نامیده می‌شوند. لیزرهای تصادفی می‌توانند در شناسایی سرطان‌ها، تراشه‌های نورتاب، حسگرها و...کاربرد داشته باشند [۱].

در سال ۱۹۶۸ لتوخوف برای اولین بار وجود لیزرهای تصادفی را به صورت تئوری پیش بینی کرد [۲]. در سال ۱۹۹۸ نیز اولین لیزر تصادفی همدوس به صورت تجربی توسط کائو و همکارانش ساخته شد [۳]. در آن بررسی تابش لیزر تصادفی از پودر اکسید روی که هم بهره و هم بازخورد اپتیکی را فراهم می‌کرد مشاهده شد. در سال ۲۰۰۷ نیز تابش لیزری تصادفی از نانو ساختارهای اکسید روی به شکل نانو دیوار که به روش تبخیر حرارتی ساخته شده بودند، به دست آمد [۴]. برانگیختگی اپتیکی نانو ساختارها توسط هارمونیک سوم لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۳۵۵ نانومتر صورت گرفت.

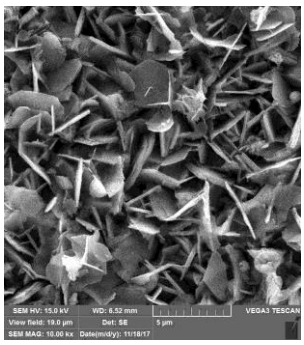
در این مقاله، از نانو صفحات اکسید روی که به روش الکتروشیمی رشد داده شده‌اند برای ساخت لیزرهای تصادفی استفاده می‌کنیم. ضخامت صفحات ZnO در ابعاد نانومتر است. از آن‌جایی که نانو صفحات رشد یافته‌ی اکسید روی، شکل و اندازه‌ی نامنظم و کاتوره‌ای دارند، بنابراین انتظار داریم که این نانو صفحات بتوانند به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده شوند. محلول رنگدانه‌ی رودامین B را به نانو ساختار رشد داده شده اضافه می‌کنیم تا به عنوان محیط فعال لیزر عمل کند. از هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر، پهنای زمانی ۱۰ نانو ثانیه و نرخ تکرار ۵ هرتز برای دمش اپتیکی نمونه‌ها استفاده می‌کنیم.

۲- روش آماده سازی مواد و چیدمان آزمایش

محلولی شامل غلظت ۰/۰۰۷۳ مولار از رنگدانه‌ی رودامین B را در اتانول و اتیلن گلیکول با نسبت حجمی برابر آماده می‌کنیم. برای دست یابی به یک محلول همگن، نمونه را به مدت ۳۰ دقیقه بر روی دستگاه استیرر (هم زن مغناطیسی) قرار می‌دهیم.

۲-۱- رشد نانو صفحات اکسید روی

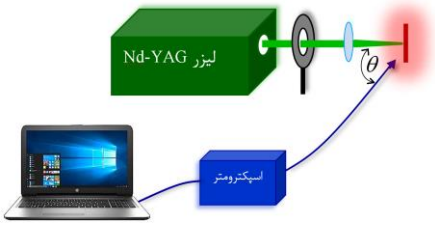
لایه نشانی الکتروشیمی در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتیگراد و پتانسیل ۱/۱- ولت نسبت به پتانسیل الکترود کلرید جیوه اشباع انجام شده است. از یک شیشه که بر روی آن لایه‌ی نازک اکسید قلع آلاییده به فلور (FTO) لایه نشانی شده است، به عنوان الکترود کار و شمارنده در یک سلول سه الکترودی استفاده می‌کنیم. در این سلول، از ۲۰ میلی‌لیتر محلول آبی ۰/۱ مولار کلرید پتاسیم و ۰/۰۸ مولار نیترات روی به عنوان الکترولیت استفاده می‌کنیم. زمان لایه نشانی دو دقیقه است و توسط دستگاه پتانسیو استات انجام می‌شود. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در هوا در دمای ۲۰۰ درجه‌ی سانتیگراد حرارت داده می‌شوند. در شکل۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نانو صفحات ZnO رشد یافته نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM از نانو صفحات ZnO.

۲-۲- چیدمان آزمایش

در شکل ۲ چیدمان آزمایش را مشاهده می‌کنیم:



شکل ۲: طرحواره‌ای از چیدمان آزمایش.

از چپ به راست، به ترتیب لیزر پالسی Nd-YAG، دیافراگم، عدسی و نمونه روبروی یک‌دیگر قرار گرفته‌اند.

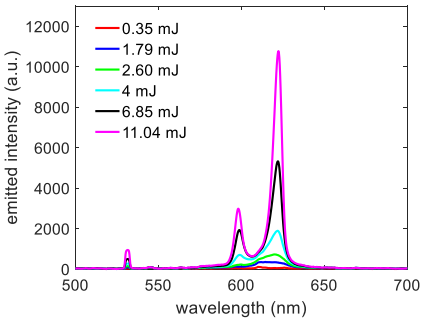
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

از دیافراگم برای تنظیم اندازه‌ی لکه‌ی پمپ بر روی نمونه استفاده می‌کنیم. عدسی نیز نور لیزر پمپ را بر روی نمونه متمرکز می‌کند. با استفاده از یک فیبر نوری که در زاویه‌ی θ نسبت به راستای فرودی لیزر پمپ قرار گرفته است، تابش لیزر تصادفی گسیل شده از نمونه را جمع‌آوری کرده و به طیف سنج منتقل می‌کنیم. طیف تابشی نیز با استفاده از یک کامپیوتر ثبت می‌شود.

۳-۲- بحث و نتایج آزمایش

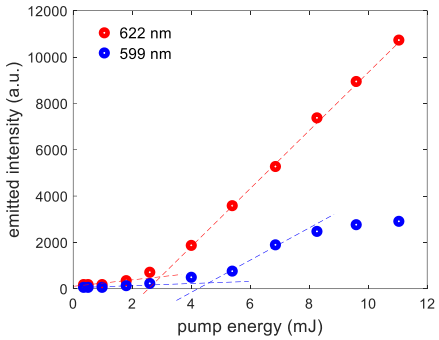
ابتدا مقداری از رنگدانه‌ی رودامین B را بر روی ساختار رشد داده شده، لایه نشانی غوطه وری می‌کنیم. سپس نمونه‌ی آماده شده را در مقابل تابش هارمونیک دوم لیزر پالسی Nd-YAG قرار می‌دهیم. طیف تابشی از نمونه به ازای انرژی‌های مختلف پالس پمپ در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: تغییر طیف تابشی با افزایش انرژی دمش بر حسب میلی ژول بر پالس.

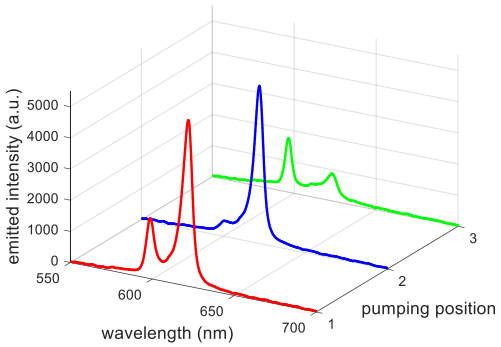
مشاهده می‌کنیم که در انرژی‌های دمش بالا، دو قله در طیف تابشی ظاهر می‌شود. اولین قله از سمت چپ در طول موج ۵۳۲ نانومتر، مربوط به موج پمپ است که برای دمش اپتیکی ساختار به کار رفته است. قله‌ی دوم از سمت چپ را مد تابشی اول می‌نامیم. طول موج مرکزی و پهنای آن به ازای انرژی دمش ۶/۸۵ میلی‌ژول بر پالس، به ترتیب برابر با ۵۹۹ و ۶ نانومتر است. قله‌ی سوم از سمت چپ را مد تابشی دوم می‌نامیم. طول موج مرکزی و پهنای آن به ترتیب برابر با ۶۲۲ و ۷/۵ نانومتر می‌باشد. اختلاف طول موجی این دو مد برابر با ۲۳ نانومتر است.

حال انرژی دمش آستانه را برای هر یک از دو مد تابشی اندازه‌گیری می‌کنیم. برای این منظور، منحنی بیشینه‌ی شدت تابشی بر حسب انرژی دمش را برای هر کدام از دو مد در شکل ۴ رسم می‌کنیم. از روی شکل، انرژی دمش آستانه برای مد اول و دوم به ترتیب برابر با ۴/۵ و ۳ میلی ژول است. بنابراین آستانه‌ی مد دوم نسبت به مد اول کمتر است. دلیل این امر آن است که ضریب کیفیت کاواک تصادفی مد دوم نسبت به مد اول بیش‌تر می‌باشد.



شکل ۴: منحنی شدت قله‌ی تابشی بر حسب انرژی هر پالس پمپ برای دو مد تابشی با طول موج‌های ۵۹۹ و ۶۲۲ نانومتر.

در مرحله‌ی بعدی از بررسی‌ها موقعیت لکه‌ی پمپ بر روی نمونه را تغییر می‌دهیم و مشاهده می‌کنیم که طیف تابشی نیز تغییر می‌کند (شکل ۵):



شکل ۵: تغییر طیف گسیل بر حسب طول موج با تغییر موقعیت لکه‌ی پمپ بر روی نمونه.

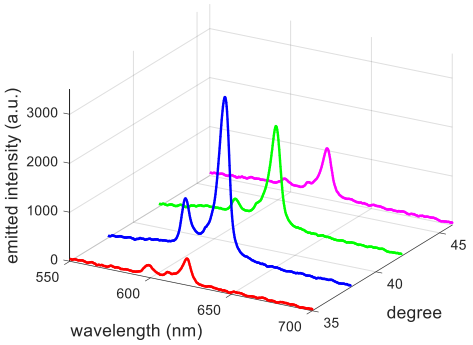
در شکل ۵، مکان‌های مختلف لکه‌ی پمپ را با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ از یکدیگر متمایز کرده‌ایم. انرژی دمش در تمام حالت‌ها برابر با ۶/۸۵ میلی‌ژول بر پالس است. مشاهده می‌کنیم زمانی که موقعیت شماره‌ی ۱ از نمونه پمپ شود، هر دو مد در ساختار برانگیخته می‌شوند. همچنین در موقعیت ۲ فقط مد با طول موج ۶۲۲ نانومتر برانگیخته شده است. بنابراین با تغییر محل پمپ می‌توانیم تنها یکی از مدهای لیزری را تحریک کنیم. در موقعیت ۳ مشاهده می‌کنیم که شدت تابشی مد اول نسبت به مد دوم بیش‌تر شده که بر خلاف موقعیت ۱ است. بنابراین با تغییر مکانی از نمونه که تحت دمش قرار می‌گیرد، می‌توانیم طیف تابشی و شدت مدهای تحریک شده در ساختار را کنترل کنیم. این نتایج به صورت تجربی تأیید می‌کنند که طیف

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

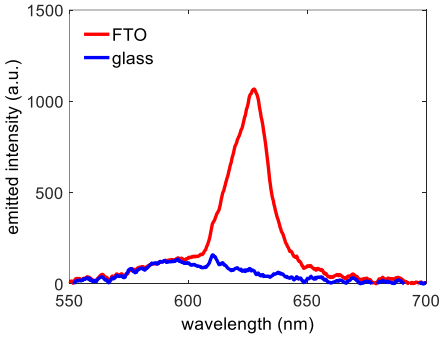
تابشی لیزرهای تصادفی به محلی از نمونه که در آن دمش صورت می‌گیرد وابسته است. این ویژگی پیش از این به صورت تئوری و با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان نشان داده شده است [۵].

یکی از ویژگی‌های تابشی لیزرهای تصادفی، جهت‌مند نبودن آن است. ما برای تحقیق این ویژگی، فیبر نوری را در زاویه‌های ۳۵°، ۳۸°، ۴۲° و ۴۶° نسبت به خط عمود بر نمونه قرار می‌دهیم و تغییر طیف تابشی را با تغییر زاویه‌ی فیبر ثبت می‌کنیم (شکل ۷). نتیجه‌ی به دست آمده نشان می‌دهد که تابش حاصل از ساختار، تابش لیزری تصادفی است.



شکل ۷: تغییر طیف گسیل بر حسب طول موج با تغییر زاویه‌ی قرارگیری فیبر و به ازای انرژی پمپ ۶/۸۵ میلی‌ژول بر پالس.

سپس مقداری از محلول رنگدانه‌ی رودامین B را به ترتیب بر روی یک شیشه‌ی لایه نشانی شده با FTO و سپس یک شیشه‌ی تنها قرار می‌دهیم. طیف تابشی از آن‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: طیف گسیل بر حسب طول موج به ازای انرژی پمپ ۶/۸۵ میلی‌ژول بر پالس.

مشاهده می‌کنیم نه تنها مدهای رزونانسی در طیف ظاهر نشده‌اند، بلکه شدت قله‌ی ظاهر شده نیز بسیار کم‌تر و پهنای آن بیشتر شده است. زمانی که رنگدانه‌ی قرار داده شده بر شیشه‌ی FTO تحت دمش قرار بگیرد، پهنا در نصف بیشینه تقریباً برابر با ۲۰ نانومتر و طول موج مرکزی نیز ۶۲۸ نانومتر است. برای رنگدانه‌ی قرار داده شده بر شیشه‌ی تنها نیز پهنا در نصف بیشینه تقریباً برابر با ۵۵/۵ نانومتر و طول موج مرکزی نیز ۵۹۵ نانومتر به دست می‌آید. بنابراین نتیجه می‌گیریم که تابش لیزری چند مد که پیش از این به دست آوردیم، تابش لیزری تصادفی مربوط به پراکندگی نور از نانو صفحات ZnO است.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، از نانو صفحات اکسید روی به عنوان مراکز پراکننده در لیزرهای تصادفی استفاده شد. نانو صفحات ZnO با استفاده از روش الکتروشیمی بر روی شیشه‌های FTO رشد داده شدند. سپس مقداری از محلول رنگدانه‌ی رودامین B را به عنوان محیط بهره بر روی آن لایه نشانی غوطه‌وری کردیم. با دمش اپتیکی نمونه‌ها مشاهده کردیم که در طیف تابشی لیزر تصادفی حاصل از نانو صفحات ZnO، دو مد مجزا از هم در طول موج‌های ۵۹۹ و ۶۲۲ نانومتر برانگیخته می‌شوند. انرژی دمش آستانه را برای این دو مد اندازه‌گیری کردیم. نتایج بررسی‌ها نشان می‌داد که طیف تابش لیزر تصادفی حاصل از نانو صفحات ZnO جهتمند نیست و با تغییر زاویه‌ی فیبر نسبت به راستای فرودی لیزر پمپ تغییر می‌کند. علاوه بر آن مشاهده کردیم که با تغییر محلی از نمونه که تحت دمش قرار می‌گیرد، طیف تابشی نیز تغییر می‌کند و به این شیوه می‌توانیم تعداد مدهای تحریک شده در ساختار را کنترل کنیم.

سپاسگزاری

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

مراجع

[1] 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.

[2] V. S. Letokhov, “Generation of light by a scattering medium with negative resonance absorption”, Sov. Phys. JETP., Vol. 26, pp. 835-840, 1968.

[3] 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.

[4] L. Miao, S. Tanemura, Y. Ieda, M. Tanemura, Y. Hayashi, H. Y. Yang, S. P. Lau, B. K. Tay, Y. G. Cao, “Synthesis, morphology and random laser action of ZnO nanostructures”, Surface Science, Vol. 601, pp. 2660-2663, 2007.

[5] C. Vanneste, P. Sebbah, “Selective excitation of localized modes in active random media”, Phys. Rev. Lett., Vol. 87, pp. 1839031-1839034, 2001.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]