بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

بررسی پراکنش ذرات خارجی برروی لیزرهای میکروحلقه

پگاه عیوضی اروانق[۱]، فاطمه مرادیانی[۲]، محمد طالبی خوشمهر[۱]، غلام محمد پارسانسب[۱*]

[۱]دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، p.aivazy@mail.sbu.ac.ir
[۲]دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، f.moradiani@gmail.com
[۱]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، mohammad_talebi95@outlook.com
[۱*]دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، gm_parsanasab@sbu.ac.ir

چکیده – در این مقاله عملکرد لیزرهای میکرو حلقه با استفاده از پلیمر SU-8 با روش نوشتن مستقیم و تحریک نوری گزارش شده است. در ادامه اثر پراکنش ذرات خارجی با مقیاس‌های مختلف بر روی دامنه‌ی طیف خروجی لیزر مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده شده است که وجود ذرات خارجی با مقیاس‌های بسیار ریز بر روی سطح نمونه باعث افزایش شدت دامنه‌ی عبوری به میزان ۶۷٪ و وجود ذرات خارجی بزرگ بر روی آن باعث کاهش شدت دامنه عبوری به میزان ۵۵٪ در مقایسه با نمونه‌ی کاملاً سالم می‌شود. همچنین ضریب کیفیت لیزر میکرو حلقه بدون ذرات خارجی، با ذرات خارجی در مقیاس کوچک و در مقیاس بزرگ به‌ترتیب برابر با ۱۲۱۲/۶۸، ۲۴۱۳/۳۲ و ۱۲۰۴/۴۷ است.

کلید واژه- لیزر، میکرو حلقه، طیف‌سنجی، ذرات خارجی

Investigation of outside unwanted particles diffraction on microring lasers

Pegah Aivazy Arvanagh[1], Fatemeh Moradiani[2], Mohammad Talebi Khoshmehr[1], and Gholam-Mohammad Parsanasab[1*]

[1]Pegah Aivazy Arvanagh, p.aivazy@mail.sbu.ac.ir
[2]Fatemeh Moradiani, f.moradiani@gmail
[1]Mohammad Talebi Khoshmehr, mohammad_talebi95@outlook.com
[1]Gholam-Mohammad Parsanasab, gm_parsanasab@sbu.ac.ir

Abstract- Here, the experimental performance of optically-pumped polymer micro-ring laser fabricated by the direct writing method of SU-8 is reported. Then the effect size of outside unwanted particles (OUP) is investigated on the sample. It has been shown when the size of OUPs are very small, the amplitude of intensity increase by 67%, and for the OUPs with bigger size, this value decrease by 55% in comparison with no OUP sample. The quality factor of samples without OUP, small, and big OUP respectively has been equal to 1212.68, 2413.32, and 1204.47.

Keywords: Laser, Micro-ring, Spectroscopy, outside unwanted particles.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18]

مقدمه

استفاده از مواد آلی به عنوان ماده‌ی پایه در ادوات فوتونیکی یکپارچه به‌دلیل هزینه کم، ساخت آسان، قابلیت تولید انبوه و همچنین سازگاری با مواد زیستی، قابلیت گسترده‌ای در طراحی و ساخت این ادوات ایجاد کرده است [۱]. این دسته از مواد، به‌دلیل امکان مهندسی و دستکاری ساختار مولکولی گزینه‌ی مناسبی برای کاربردهای مختلف هستند [۲]. لیزرهای میکرو حلقه کاندیدای بسیار مناسبی در ساخت ادوات فوتونیکی یکپارچه به‌دلیل توان مصرفی پایین هستند. حجم کاواک کوچک، انتخاب بسیار دقیق طول‌موج، آستانه بسیار کم، پهنای خطی باریک و ابعاد کوچک آنها را گزینه مناسبی به‌جای تقویت‌کننده‌های نوری نیم‌رسانا به عنوان المان فعال کلیدی در یکپارچه‌سازی فوتونیک مقیاس بزرگ ساخته است [۳].

کاواک‌های متعددی که قابلیت گسیل تحریک‌شده به‌عنوان ماده‌ی بهره برپایه‌ی مواد آلی به‌صورت کاواک‌های توری، بلور فوتونی، میکروحلقه و میکروکره پیشنهاد شده است [۴]. عملکرد لیزری این ادوات با درنظر گرفتن ساخت نمونه بدون وجود هیچ نوع آلودگی بر روی ساختار مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله به بررسی عملکرد میکرو حلقه‌ها با در نظر گرفتن پراکنش ذرات خارجی بر روی ساختار و تاثیر آن بر روی عملکرد لیزری مورد بحث قرار گرفته است. نشان داده شده است که وجود ذرات خارجی بر روی نمونه با عرض در حدود عرض نمونه و مقادیر بزرگ‌تر، موجب کاهش دامنه طیف خروجی و وجود ذرات خارجی بسیار ریز بر روی سطح نمونه باعث افزایش چشمگیری در دامنه طیف عبوری لیزر می‌شود.

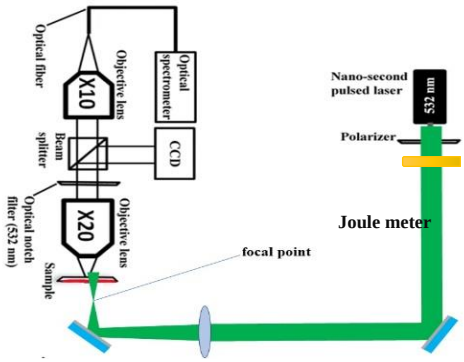
مواد و روش ساخت

برای آماده‌سازی نمونه، در ابتدا بستری از سیلیکا با ضریب شکست ۱/۴۵ تهیه شد. این بستر پس از شستشوی اولیه، به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه آلتراسونیک قرار داده شد تا چربی‌ها و آلودگی‌های احتمالی موجود بر روی سطح آن برداشته شود. نمونه پس از خشک کردن به مدت ۱۵ دقیقه بر روی صفحه داغ در دمای ۹۵ ^{o}C قرار داده شد. سپس نمونه اولیه پس از خنک شدن در دمای اتاق با استفاده از ماده SU-8 که حاوی رنگدانه‌های رودامین-بی به نسبت ۱/۱۰۰۰ بود، لایه‌نشانی شد. پس از لایه‌نشانی، نمونه به مدت ۲ دقیقه در دمای ۹۵ ^{o}C پیش‌پخت گردید. ضخامت لایه به‌دست آمده، ۲/۵μm با ضریب شکست ۱/۵۹۸ در طیف مرئی اندازه‌گیری شد. در طراحی لیزر پیشنهادی در این مقاله از ساختار میکرو حلقه استفاده شده است. پس از طراحی ساختار برای حلقه‌هایی با R =۴۰μm، و نوشتن ساختار بر روی آن، نمونه به مدت ۸ دقیقه در دمای ۹۲ ^{o}C پخته شد.

مشخصه‌یابی و طیف‌سنجی میکرولیزر

پس از طراحی و ساخت میکرو لیزر حلقوی عملکرد لیزری آن مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله برای پمپ میکرولیزر پیشنهادی، از یک پمپ پالسی از نوع Nd-YAG با فرکانس ۱ Hz استفاده شد [4]. در شکل ۱ چیدمان مورد استفاده برای پمپ و طیف‌سنجی ساختار پیشنهادی نشان داده شده است. تابش ایجاد شده در حلقه باعث تحریک مودها در ساختار حلقه می‌شود. تابش ایجادشده در ساختار با استفاده از دوربین CCD قابل مشاهده است. سپس تابش ایجاد شده با استفاده از لنز با بزرگنمایی ۲۰x جمع‌آوری شد. به‌منظور جلوگیری از ورود نور پراکنده‌شده‌ی پمپ به داخل طیف‌سنج، از یک فیلتر ناچ در طول‌موج پمپ بعد از لنز ۲۰x استفاده شد. سپس طیف نور موازی‌شده‌ی لیزر با استفاده از لنز ۱۰x با استفاده از فیبر نوری به طیف‌سنج تزویج شد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18]

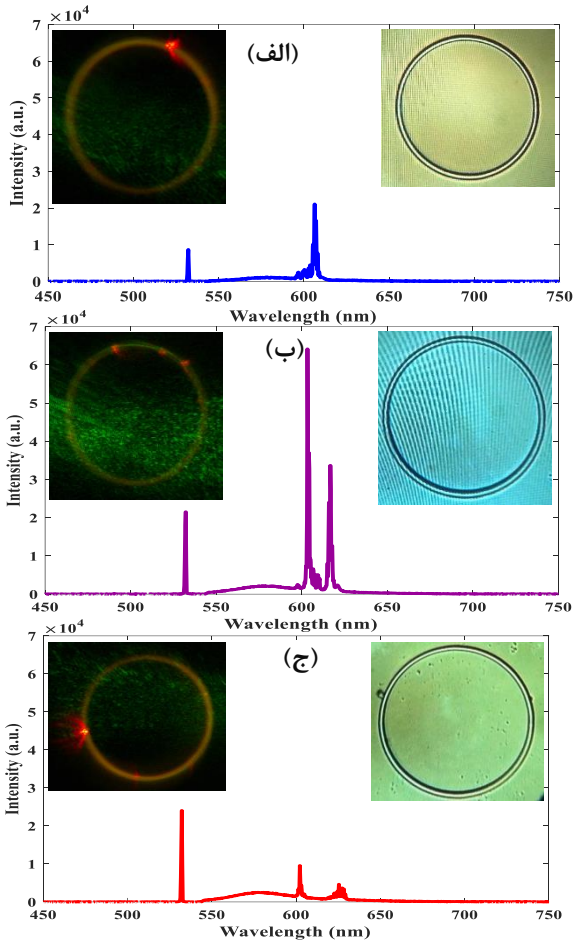


شکل ۱: چیدمان مورد استفاده برای پمپ و طیف‌سنجی ساختار میکرو لیزر پیشنهادی

بحث ونتایج

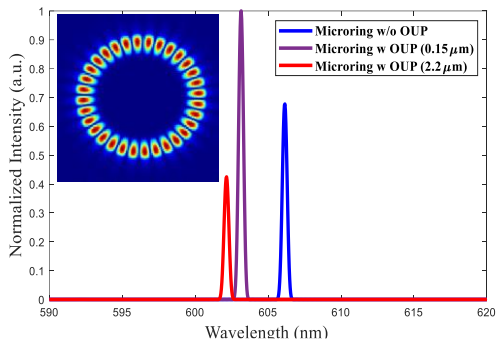
برای بررسی عملکرد لیزری میکرو حلقه‌های ساخته‌شده حدود ۵۰ نمونه با توان‌های بین mW (۰/۴- ۰/۲۵) ساخته شد و عملکرد نمونه‌های سالم، دارای ذرات خارجی با مقیاس بزرگ برروی نمونه و ذرات خارجی بسیار کوچک روی سطح نمونه مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ شدت میدان عبوری برحسب طول‌موج را برای سه حالت میکروحلقه بدون حضور ذرات خارجی، دارای ذرات خارجی بسیار ریز و بزرگ روی میکرو حلقه برای انرژی پمپ ۳۵μJ را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری انرژی پمپ، (شکل ۱) یک ژول‌متر (مستطیل زردرنگ) بعد از قطبش‌گر قرار می‌گیرد. قطبش‌گر برای دو حالت که خروجی ژول‌متر صفر و بیشترین مقدار باشد، تنظیم می‌شود. این مقادیر بسته به قطبش افقی یا عمودی لیزر بین زوایای °۰ و °۹۰ خواهد بود. اگر بیشترین مقدار انرژی اندازه‌گیری‌شده متناسب با w_{max} باشد، سایر مقادیر را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی مالوس به‌صورت $w = \alpha w_{max}.cos^2\theta$ محاسبه نمود که α اتلاف توان در مسیر پمپ تا محل نمونه است. شکل ۲ (الف) طیف عبور لیزر حلقوی بدون وجود آلودگی با شدت دامنه عبوری برابر با ۲۱۰۴۲a.u. در طول‌موج ۶۰۶/۳۳۸nm را نشان می‌دهد. شکل ۳ (ب)، نمودار طیف عبوری لیزر برای حالتی را نشان می‌دهد که ذرات خارجی با قطر بسیار کم بر روی نمونه قرار گرفته‌اند. همان‌طور که از شکل قابل مشاهده است، طیف عبوری برای مود اول جابجایی آبی به‌اندازه‌ی ۳nm با دامنه‌ی بزرگی در حدود ۶۴۱۹۷a.u. را نشان می‌دهد. بررسی‌های بیشتر نشان داده است که وقتی ذرات ناخالصی بسیار ریز با ضخامت ناچیز بر روی میکرو حلقه قرار می‌گیرد، این ذره با مد حلقه از طریق موج میراشونده برهم‌کنش ایجاد می‌کند. برهم‌کنش ایجاد شده منجر به تغییرات جزئی در ضریب شکست حلقه شده و درنتیجه به مقدار بسیار جزئی جابجایی طول‌موجی در طیف خروجی را ایجاد خواهد کرد. علاوه براین، این برهم‌کنش مقداری از انرژی داخل حلقه را به سمت بیرون می‌فرستد که یک میدان دور را در فضای آزاد ایجاد خواهد کرد که این میدان دور ایجادشده در محل لنز جمع‌آوری کننده‌ی انرژی پیک عبوری با دامنه‌ی بزرگی را نشان خواهد. این ویژگی اگر به‌صورت ناخالصی‌های کنترل‌شده با قطر مشخص به نمونه اضافه شود، علاوه بر افزایش ضریب کیفیت لیزر، در کاربردهای حسگری که نیاز به دامنه‌ی بالا با حساسیت و ضریب کیفیت بزرگ دارند می‌تواند بسیار مفید باشد. شکل ۲ (ج) حالتی را نشان می‌دهد که آلودگی با ابعاد بزرگ‌تر در کنار و روی میکرو حلقه قرار گرفته است. این نقاط آلودگی در لیزر همانند نقاط پراکندگی نور عمل کرده و درنتیجه بخش بزرگی از دامنه‌ی مدهای ایجاد شده در لیزر را تلف می‌کنند و بنابراین همان‌طور که انتظار می‌رود دامنه‌ی طیف عبوری لیزر کاهش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. میزان دامنه‌ی عبوری در این حالت برابر ۹۵۷۹a.u. با جابجایی آبی در حدود ۴nm در طول‌موج ۶۰۲/۲۳۵nm را نشان می‌دهد. شکل‌های ضمیمه در شکل ۲ به‌ترتیب تصاویر ثبت شده با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۸۰x (شکل‌های سمت راست) و دوربین CCD (شکل‌های سمت چپ) با اعمال پمپ نانوثانیه و عملکرد لیزری میکرو حلقه‌ها با زمان قرارگیری ۱۰۰ms را نشان می‌دهند. ضریب کیفیت هر کدام از نمودارهای حاصل

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18]



شکل ۳: طیف عبوری میکرو لیزر پیشنهادی برحسب طول‌موج برای میکروحلقه الف) بدون آلودگی ب) با آلودگی بسیار ریز ج) با آلودگی بزرگ. تصویرهای ضمیمه‌ی هر حالت در سمت راست تصویری از ساخت نمونه با بزرگ‌نمایی ۸۰x و تصویرهای سمت چپ عملکرد لیزری میکرو حلقه‌های ساخته شده در هنگام تحریک با پمپ نانوثانیه را نشان می‌دهد.

از شکل ۳ به‌ترتیب برابر با ۱۲۱۲/۶۸، ۲۴۱۳/۳۲ و ۱۲۰۴/۴۷ محاسبه شده است. به‌منظور بررسی بیشتر نتایج پیشنهادی، عملکرد لیزر میکرو حلقه تحت شرایط مختلف به‌صورت عددی نیز مورد بررسی قرار گرفت. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار لومریکال و برای همان ابعاد لیزر ساخته‌شده و برای ذرات ناخواسته با قطرهای ۲/۲μm و ۰/۱۵μm انجام شد. شکل ۵، نتایج این شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی عددی نیز صحت نتایج تجربی را تایید می‌کند.



شکل ۵: شبیه‌سازی عددی طیف عبوری نرمالیزه‌شده میکرو لیزر پیشنهادی

نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از پلیمر آلی SU-8 عملکرد لیزری میکرو حلقه‌های بدون وجود ذرات خارجی و با ذرات خارجی با قطرهای مختلف بر روی سطح نمونه به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد که وجود آلودگی با قطرهای کوچک می‌توانند باعث افزایش شدت دامنه‌ی طیف لیزری شود. شدت دامنه‌ی طیف عبوری برای لیزرهای میکرو حلقه با شعاع ۴۰ μm و انرژی پمپ ۳۵ μJ برای سه حالت نمونه بدون آلودگی، دارای آلودگی در مقیاس بسیار ریز و دارای آلودگی با قطر بزرگ به ترتیب برابر با ۲۱۰۴۲، ۶۴۱۹۷ و ۹۵۷۹ برای مد مرتبه اول تحریک‌شده در داخل میکروکاواک است. همچنین عملکرد لیزر به‌صورت عددی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی عددی نیز توافق بسیار مطلوبی با نتایج تجربی نشان داده است.

مرجع‌ها

1. Gourdon, F., et al. "Optically pumped lasing from organic two-dimensional planar photonic crystal microcavity." *Applied Physics Letters* 100.21 (2012): 117.
2. Yang, Guojian, et al. "Lasing characteristic of organic octagonal quasicrystal slabs with single-defect microcavity at low-index contrast." *Optics express* 21.9 (2013): 11457-11464.
3. Moreno-Dominguez, David. *Semiconductor micro-ring laser model for all-optical signal processing applications*. Diss. Faculty of Electrical Engineering, Eindhoven University of Technology Eindhoven, The Netherlands, 2008.
4. Parsanasab, Gholam-Mohammad, Mojtaba Moshkani, and Alireza Gharavi. "Femtosecond laser direct writing of single mode polymer micro ring laser with high stability and low pumping threshold." *Optics express* 23.7 (2015): 8310-8316.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18]