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

طراحی و ساخت تقویت کننده میکرولیزر سوئیچ-Q انفعالی به روش جاروب پرتو دمش جذب نشده

سمیرا علیپور*، مریم جندقی، زهرا محمدظاهری، المیرا حاجی‌نیا، سعید سلیمیان ریزی، محمد جوادی داشکسن ، سید حسن نبوی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

*Email:alipour@inlc.ir

چکیده –میکرولیزرها به دلیل ابعاد کوچک تشدیدگر و جذب ناکافی پرتو دمش، راندمان تبدیل نوری پایینی را دارا می‌باشند. در این تحقیق طراحی و ساخت سیستم تقویت‌کننده‌ی میکرولیزر به روش جاروب پرتو دمش جذب نشده در تشدیدگر اولیه انجام شده است. در این روش تقویت انرژی میکرولیزرتا سه برابر انرژی اولیه با یک بار عبور انجام گردیده و بیشترین انرژی بدست آمده پس از تقویت مقدار ۱۹۳μj است. در این روش تقویت میکرولیزر، با کمترین پیچیدگی و هزینه اضافی انجام شده است.

کلید واژه-میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی، تقویت کننده، جاروب پرتو دمش

Design and fabrication of Energy Scavenging amplifier for Passively Q-switched microchip laser

Samira Alipour, Maryam Jandaghi, Zahra Mohammad Zahery, Elmira Haji Nia, Saeed Salimian rizi, Mohammad Javadi Dashkasan, Seyyed Hasan Nabavi

Iranian National Center for Laser Science and Technology, P.O. Box 14665-576, Tehran, Iran

Abstract- Microchip lasers have low optical efficiency because of low absorption of pump light in small cavity. In this study energy scavenging amplifier for passively Q-switched microchip laser is designed and fabricated. The amplifying of energy is done with one pass amplifier in this research higher than 3 and the maximum energy of amplifier is 193**μj** in this microchip laser. Enhance of energy is done with minimal cost and complexity in this method of Microchip laser amplifying.

Keywords: Passively Q-Switched Microchip Laser, Amplifier, Pump Scavenging

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

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

مقدمه

میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی مشخصه‌های بسیار جالب و کاربردهای فراوانی را دارا می‌باشند[۱]. با این حال راندمان نسبتاً پایین آن‌ها مانعی بر سر راه استفاده از این دست از لیزرها در مواردی که نیاز به انرژی بالا است، می‌باشد. راندمان پایین تولید این لیزرهای دمش شده‌ی طولی، ناشی از جذب ناکارآمد پرتو دمش به دلیل طول کوتاه محیط بهره است. این مشکل در میکرولیزرهایی که به منظور تولید تب‌های لیزری بسیار کوتاه طراحی می‌گردند و تشدیدگرهای بسیار کوچکی دارند، بسیار حایز اهمیت است. جاروب نور دمش جذب نشده به منظور دمش یک تقویت کننده در امتداد میکرولیزر، می‌تواند راندمان سیستم را با کمترین هزینه، سایز و پیچیدگی به بیش از ۲ برابر افزایش دهد[۲]. تقویت به روش جاروب پرتو جذب نشده‌ی دمش امکان افزایش انرژی تا ۳ برابر را فراهم می‌نماید. این تقویت اولین بار توسط J. J. Zayhowski در سال ۲۰۰۳ در یک اختراع به شماره‌ی ۶,۵۱۲,۶۳۰ مطرح شد[۳]. به منظور تقویت میکرولیزرها، عموماً از روش‌های متعددی از جمله تقویت با استفاده از لامپ، لیزرهای دیودی و همچنین فیبرهای بلور فوتونی استفاده می‌شود. در تمامی این روش‌ها با اعمال پرتو دمش با توان‌های بالا، می‌توان انرژی اولیه را تا چندصد یا چندین هزار برابر افزایش داد. این روش‌ها از هزینه، حجم و پیچیدگی بالایی برخوردار می‌باشند که در تمامی آن‌ها باید از یک چشمه‌ی دمش دیگر به منظور تقویت میکرولیزر استفاده نمود. با این حال در تمامی این روش‌ها برای به دست آوردن راندمان خروجی قابل قبول، مناسبتر است که انرژی اولیه‌ی لیزر تا آنجا که ممکن است افزایش پیدا کرده باشد. تقویت با استفاده از پرتو دمش جذب نشده، امکان افزایش انرژی میکرولیزرها را با استفاده از منبع دمش متعلق به میکرولیزر فراهم نموده به طوریکه با طراحی مناسب و استفاده از چند قطعه نوری و یک محیط بهره، بتوان انرژی این دسته از لیزرها را تا سه برابر افزایش داد. در میکرولیزرهایی با انرژی تب کوچک، نیاز به تخلیه‌ی انرژی بهینه از محیط بهره‌ی تقویت وجود دارد. بنابراین بلور $Nd:YVO_4$ به دلیل داشتن سطح مقطع جذب بزرگتر و چگالی توان اشباع کوچکتر نسبت به بلور Nd:YAG، گزینه‌ی مناسبتری برای این دسته از میکرولیزرها است.

تئوری

جاروب پرتو دمش جذب نشده در واقع استفاده از پرتو دمش جذب نشده توسط محیط بهره‌ی لیزر است به طوریکه بلافاصله پس از بلور اول با استفاده از سیستم اپتیکی، هر دو پرتو دمش و لیزر که با یکدیگر همراستا نیز می‌باشند درون بلور دیگری به منظور تقویت پرتو لیزر و استفاده از پرتو دمش جذب نشده متمرکز می‌گردند.

پارامترهای موثر در میزان تقویت یک تقویت کننده‌ی پالسی، چگالی انرژی ورودی به تقویت کننده، چگالی انرژی اشباع و بهره‌ی سیگنال کوچک هستند. بهره‌ی سیگنال کوچک یکی از مهمترین پارامترهای توصیف کننده‌ی یک تقویت کننده است که توسط رابطه‌ی زیر توصیف می‌شود[۴]:

$$G_0 = \exp[\sigma_e L \iiint s_l(r,z)\Delta n(r,z)dV] \qquad (۱)$$

به طوریکه در اینجا σ_e سطح مقطع گسیل القایی بلور $Nd:YVO_4$ است که به شدت وابسته به دمای بلور است. L طول هندسی محیط فعال و $s_l(r,z)$ توزیع شدت بهنجار شده پرتو ورودی میکرولیزر در محیط بهره و $\Delta n(r,z)$ توزیع چگالی جمعیت در محیط بهره است که به توزیع شدت لیزر پمپ در محیط بهره که متأثر از پارامترهایی نظیر چگالی یون‌های جایگزیده، کیفیت پرتو M^2 و شعاع در مکان فوکوس لیزر پمپ می‌باشد، وابسته است.

به منظور طراحی تقویت با استفاده از پرتو دمش جذب نشده، از یک میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی متشکل از یک محیط بهره‌ی $Nd^{3+}:YAG$ و یک محیط جاذب $Cr^{4+}:YAG$ که به صورت اتصال نفوذی به یکدیگر متصل شده‌اند، استفاده شده‌است. آیینه‌ی خروجی لیزر به صورت بازتاب نسبی برای طول موج ۱۰۶۴ nm و بیشینه‌ی عبور برای طول موج ۸۰۸nm، لایه‌نشانی شده است به طوریکه امکان پمپ برای محیط تقویت کننده با پرتو دمش جذب

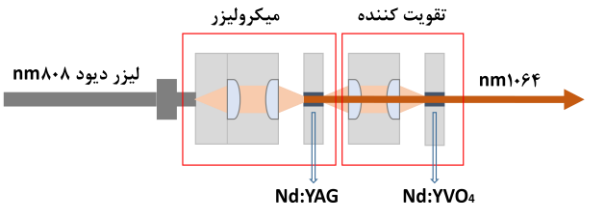
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

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

نشده فراهم گردد. لیزر دیودی استفاده شده برای پمپ این سیستم، یک پرتو شبه پیوسته QCW است که نرخ تکرار و پهنای تب آن جهت بهینه‌سازی عمل تقویت تب‌ها تنظیم می‌شود. همپوشانی نور پمپ و نور لیزر در بلور تقویت و تنظیم مناسب پهنا و نرخ تکرار تب‌های دمش جهت تقویت منظم تب‌های خروجی از میکرو لیزر در تقویت بهینه‌ی خروجی میکرولیزر نقش موثری را ایفا می‌کنند.

مشاهدات تجربی

شکل۱ شماتیکی از جزئیات سیستم تقویت به روش جاروب پمپ جذب نشده را نشان می‌دهد.

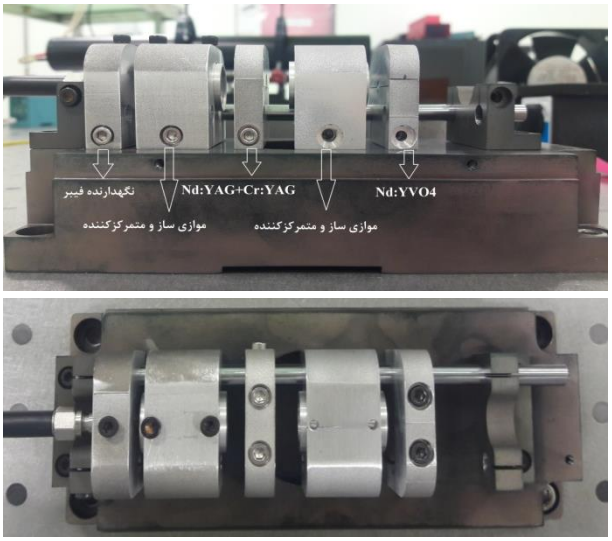


شکل۱- شماتیک سیستم تقویت به روش جاروب پمپ جذب نشده

میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی که متشکل از یک محیط بهره‌ی Nd^{3+}:YAG به طول ۱ میلیمتر با چگالی یون‌های جایگزیده شده ۱٫۱٪ اتمی و یک محیط جاذب Cr^{4+}:YAG به طول ۱ میلیمتر که به صورت اتصال نفوذی به یکدیگر متصل شده‌اند می‌باشد، استفاده شده است. همچنین دو لایه‌ی YAG خالص به طول ۰٫۵ میلیمتر در ورودی و خروجی تشدیدگر به صورت اتصال نفوذی قرار داده شده‌است تا به کاهش تنش‌های حرارتی و مکانیکی کمک نماید. آیینه‌ی خروجی لیزر به صورت بازتاب نسبی R=۵۵% برای طول موج ۱۰۶۴nm و بیشینه‌ی عبور برای طول موج ۸۰۸nm، لایه نشانی گردیده‌است. همینطور عبور اولیه برای پرتو لیزر از بلور جاذب T_0=۵۵% است.

لیزر دیود استفاده شده برای پمپ این سیستم، یک دیود متصل شده به فیبر با قطر ۲۰۰ میکرومتر و NA=۰٫۲۲ است که قابلیت عملکرد شبه پیوسته QCW را نیز دارا می‌باشد. نرخ تکرار و پهنای تب این لیزر جهت بهینه سازی عمل تقویت تب‌ها قابلیت تنظیم داشته و توان بیشینه ۳۰W را در خروجی بدست می‌دهد.

بلور محیط تقویت $Nd:YVO_4$ به طول ۵ میلیمتر با چگالی یون‌های جایگزیده شده‌ی ۱٪ اتمی و ورودی ۳×۳ میلیمتر مربع است. به منظور موازی سازی و متمرکز نمودن پرتو دمش در هر دو مرحله نوسانگر اولیه (میکرولیزر) و تقویت از دو لنز مشابه با فاصله‌ی کانونی یکسان f=۱۸mm و بزرگنمایی ۱ به ۱ استفاده گردیده‌است. شکل زیر نمایی از میکرولیزر تقویت شده به روش جاروب پمپ جذب نشده را نشان می‌دهد. خنکسازی این لیزر به روش هوا خنک انجام می‌شود.

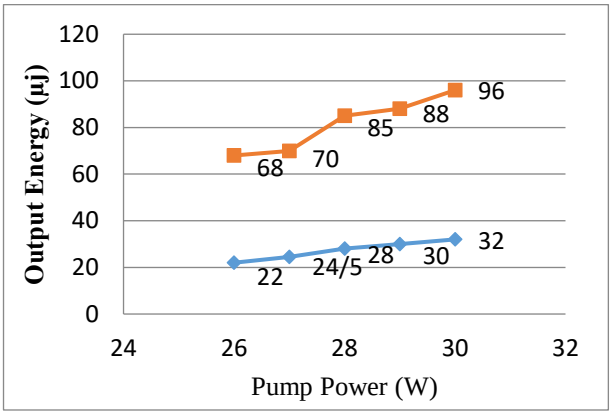


شکل۲- میکرو لیزر تقویت شده به روش جاروب پرتو دمش جذب نشده.

پهنای تب بدست آمده از این لیزر ۷۰۰ پیکوثانیه می‌باشد. شکل ۳ انرژی خروجی از میکرولیزر و انرژی پس از تقویت را در توان‌های دمش ۲۶-۳۰W و پهنای زمانی دمش ۵۰μs را نشان می‌دهد. خروجی در هرحالت با بهینه سازی بزرگنمایی لنزها به دست آمده است. بهره‌ی بدست آمده در این آزمایش‌ها از ۲٫۹۳ تا ۳٫۰۹ متغیر می‌باشد.

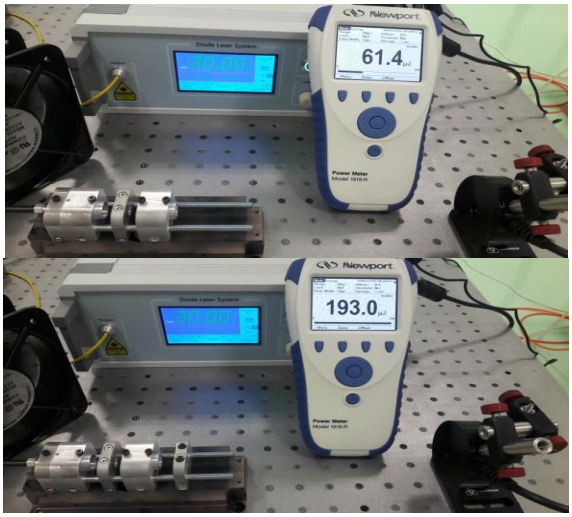
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

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



شکل۳-انرژی خروجی از میکرولیزر (نقاط آبی) و تقویت کننده (نقاط نارنجی) برحسب توان دمش در پهنای زمانی ۵۰µs

بیشترین انرژی خروجی بدست آمده از این میکرولیزر در توان دمش ۳۰W و پهنای تب ۱۰۰µs بدست می‌آید که مقدار ۶۱,۴µj و ۱۹۳µjبه ترتیب قبل و پس از تقویت است (شکل ۴). بهره‌ی بدست آمده در این شرایط ۳,۱۴ می‌باشد که بیشترین مقدار تقویت به این روش است.



شکل۴-چیدمان آزمایشگاهی میکرولیزر تقویت شده به روش جاروب پمپ جذب نشده و انرژی خروجی از میکرولیزر(شکل بالا) و تقویت کننده (شکل پایین)

تقویت به روش جاروب پمپ جذب نشده در میکرولیزرها قابلیت افزایش انرژی نوسانگر اولیه را تا بیش از ۳ برابر فراهم می‌نماید. این قابلیت، افزایش انرژی میکرولیزرهای توان بالا را تا ۰,۵mj و بالاتر، بدون استفاده از دمش اضافی و بزرگ شدن سیستم امکان پذیر می‌نماید که قدم بزرگی در راستای کارآمدی این نوع از لیزرها و استفاده‌ی هرچه بیشتر از آن‌ها در صنعت خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تقویت انرژی میکرولیزرها به روش جاروب پرتو دمش جذب نشده در میکرولیزر بررسی شده‌است. بدین منظور سیستم لیزری و تقویت کننده‌ای متشکل از بلور YAG/Nd^{3+}:YAG/Cr^{4+}:YAG/YAG و $Nd:YVO_4$ طراحی و ساخته شد. از آنجاییکه میکرولیزرها راندمان تبدیل نسبتاً پایینی را دارا می‌باشند، استفاده از این روش راندمان تبدیل نوری این دسته از لیزرها را تا بیش از ۳ برابر افزایش می‌دهد. بیشینه انرژی بدست آمده از این نوع میکرولیزر ۶۱,۴µj بوده است که پس از تقویت تا مقدار ۱۹۳µj افزایش پیدا کرده است. این روش قابلیت استفاده در تمامی میکرولیزرها را داشته، به طوریکه بدون بالا رفتن جذب در تشدیدگر اولیه و افزایش پیچیدگی و هزینه‌ی لیزر، انرژی لیزر تا بیش از ۳ برابر افزایش پیدا می‌کند.

مرجع‌ها

[1] J. J. Zayhowski and C. Dill, “Diode-pumped passively Q-switched picoseconds microchip lasers”, Opt. Lett. 19, No.18, 1994.
[2] J. J. Zayhowski and A. I. Wilson, ”Energy Scavenging amplifiers for miniature solid state lasers” Opt. Lett. Vol. 20, No.11, 2004.
[3] J. J. Zayhowski, “Miniature Lasers/Amplifier system”, US Patent, Patent No.: US 6,512,630 B1, 2003
[4] M. Nie, Q. Liu, et al. “Design of High Gain single stage and single pass Nd:YVO4 amplifier pumped by fiber coupled laser diodes: simulation and experiment”, IEEE j. Quant. Elec. Vol. 52, No. 8, 2016

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

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