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

افزایش توان میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی تا ۰/۵ مگاوات با تغییر مشخصه-های نوسانگر لیزر و سیستم دمش

زهرامحمدظاهری، مریم جندقی ، سمیراعلیپور، المیراحاجی‌نیا، سعید سلیمیان ریزی، محمد جوادی داشکسن، سیدحسن نبوی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

Email:zaheri@inlc.ir

چکیده - میکرولیزرهای سوئچ Q انفعالی منابع لیزری ساده و مقرون به صرفه برای تولید پالس‌های با قلهٔ توان چند کیلووات، با همدوسی بالا و پهنای پالس کمتر از ۱ نانوثانیه در نرخ تکرار بالا می‌باشند. در این تحقیق نشان داده شده است که با تغییر مشخصه-های تشدیدگر و دمش میکرولیزر به انرژی ۲۵۰ میکروژول و پهنای پالس ۵۰۰ پیکوثانیه (قلهٔ توان حدود ۰/۵ مگاوات) در نرخ تکرار ۱ کیلوهرتز دست پیدا می‌کنیم. علاوه براین تأثیر مشخصات زمانی دمش بر توان خروجی از لیزر مورد بررسی قرار گرفته است. چنین میزانی از انرژی پالس در تولید هماهنگ‌های دوم، سوم و چهارم بسیار مفید خواهد بود و همچنین در سیستم‌های تقویت میکرولیزر، در دست داشتن چنین انرژی اولیه‌ای می‌تواند بازده تولید پالس‌های پر انرژی را به نحو مطلوبی افزایش دهد.

کلید واژه- لیزر حالت جامد، میکرولیزر توان بالا، پالس پیکوثانیه، لیزر دمش دیودی.

Increasing the power of passively Q-switched microchip lasers to 0.5**MW** by modification of the cavity characteristics and pumping system

Zahra Mohammadzahery, Maryam Jandaghi, Samira Alipour, Elmira Hajinia, Saeed Salimian rizi, Mohammad dashkasan, Seyyed Hasan Nabavi.

Abstract- Passively Q-switched microchip lasers are robust, compact and inexpensive sources of several kilowatts, coherent sub-nanosecond pulses at high repetition rates. In this paper it is demonstrated that by modification of the crystal characteristics and pump power we can reach to the 250µJ pulse energy and 450ps pulse duration at 1kHz repetition rate. In addition the effect of some properties of pumping system on pulse energy is demonstrated. High-power microchip lasers are suitable for second, third and forth harmonic generation because of their short pulse duration and high peak power. Moreover, relatively high energy of pulses can increase the efficiency of amplifier systems effectively.

Keywords: Solid state laser, High power microchip-laser, Sub nanosecond pulse, Diode pump laser.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-13]

مقدمه

میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی منابع ساده، کم حجم و قوی برای تولید تابش لیزری پالس کوتاه با توان قلهٔ بالا و کیفیت مد تقریباً ایده‌آل می‌باشند. این لیزرها توانایی تولید پالس های کوتاه با نرخ تکرار بالا و قله توانی در حد چند صد کیلووات را دارند. نمونه‌های دمش دیودی میکرولیزرها در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته اند[۱]. به عنوان مثال استفاده از این لیزرها، در فاصله-یابی، عکس برداری سه بعدی، فوتوگرافی با سرعت بالا و آزمایشات خاصی از نوع تحریک و شناسایی، وضوح فضایی و زمانی را افزایش می‌دهد. میکرولیزرها عمدتاً با پولیش کردن یک ویفر محیط بهره حالت جامد ساخته می‌شوند، بطوریکه دو طرف ویفر تخت و موازی باشد. ضخامت ویفر معادل با طول نوسانگر لیزر است. سطوح پولیش شده با استفاده از دی‌الکتریک لایه نشانی می‌شوند تا آینه‌هایی برای ایجاد امواج ایستاده در نوسانگر را ایجاد کنند. میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی، در تولید پالس‌های چند صد پیکو ثانیه و پالس‌های تک فرکانس، پیش گام می باشند اما از آنجایی که به طورمعمول با توان کم (از ۱ تا ۴ وات) دمش می‌شوند، دارای انرژی پالس کمی هستند. طبق گزارشات، بیشترین انرژی پالسی که از یک میکرولیزر سوئیچ Q با توان دمش پایین و یک کاواک آینهٔ تخت به دست آمده، از چند ده میکروژول تجاوز نمی-کند[۲و۳]. به منظور افزایش انرژی این میکرولیزرها در حد چندصد میکروژول، طراحی جدیدی برای این سیستم‌ها صورت گرفته است که انرژی این لیزرها را تا بیشتر از صد میکروژول افزایش می‌دهد [۴]. در این تحقیق نشان داده شده است که با تغییراتی که در ساختار نوسانگر میکرولیزرهای توان پایین که توسط همین گروه طراحی و ساخته شده و همین طور بهینه سازی شرایط دمش توانستیم از یک سیستم لیزری بسیار ساده و کم حجم به پالس‌هایی با پهنای زمانی ۰/۵ نانوثانیه با انرژی ۲۵۰ میکروژول (قلهٔ توان ۰/۵ مگاوات) دست پیدا کنیم. شایان ذکر است که خروجی مادون قرمز لیزر مذکور می تواند برای تولید هماهنگ دوم و چهارم با بازدهی مناسب، استفاده گردد. در این تحقیق به بررسی مشخصات پرتو خروجی از میکرولیزر توان بالای مذکور با تغییر مشخصه-های زمانی دمش از قبیل نرخ تکرار و مدت زمان دمش در هر سیکل پرداخته شده است. از آنجایی که فرآیند دمش و در حالت شبه پیوسته و توان ۲۰ وات انجام می‌شود، تعیین مشخصات زمانی دمش در حصول انرژی و مشخصات زمانی مورد نظر برای پالس خروجی از میکرولیزر بسیار با اهمیت می‌باشد.

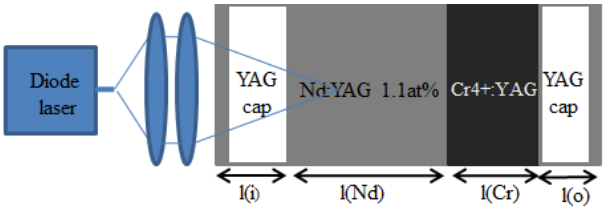
روش انجام آزمایش

برای افزایش انرژی پالس میکرولیزرها تا چند صدکیلووات، باید دمش با توان بیش از ۱۰ وات صورت گیرد. بدین منظور طراحی سیستم جدید جهت جلوگیری از آسیب-های حرارتی ایجاد شده، مورد نیاز است. برای دستیابی به این هدف، بلورهای اتصال نفوذی در سیستم‌های توان بالا به کار برده می شوند که علاوه بر محیط بهره و جاذب اشباع‌پذیر، یک پوشش انتهایی شامل بلور YAG خالص، در دو طرف نوسانگر قرار می‌گیرد. این نوع نوسانگر در شکل ۱ قابل مشاهده است. پوشش‌های انتهایی، موجب افزایش طول نوسانگر می‌شوند. کاواک‌های بلندتر دارای مدهای نوسان کننده با قطری بزرگتر بوده و درنتیجه می-توانند پرتو پمپاژ را با بازدهی بیشتری مورد استفاده قرار دهند. افزایش طول نوسانگر همچنین طول زمانی پالس را افزایش داده و کاهش شدت قله توان را به مقادیری کمتر از آستانهٔ تخریب مواد مورد استفاده موجب می شود. پوشش‌های انتهایی YAG خالص همچنین موجب خروج گرما از ناحیهٔ فعال محیط بهره می‌شود که این امر گرادیان دمایی را کاهش داده و اجازه می‌دهد سیستم‌های پالس

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-13]

کوتاه با نرخ تکرار بالاتری عمل کنند. در نهایت این پوشش‌های انتهایی موجب کاهش استرس‌های گرمایی روی آینه‌های دی‌الکتریک شده و نیز خروج گرما از سطوح تماس با هوا



شکل(۱): شمایی از سیستم میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی توان بالا با دمش دیودی

باعث افزایش آستانهٔ تخریب این میکرولیزرها می‌گردد. بلورها در یک سطح مقطع ۲*۲ میلیمتری برش داده شده و در قسمت پائینی بوسیلهٔ فویل ایندیوم به یک heat-sink مسی بدون اکسیژن متصل می‌گردند. در حالت دمش با توان‌های بالاتر از ۱۰ وات، لازم است خنک سازی همزمان از قسمت بالایی بلورها نیز صورت گیرد تا حالت تقارنی در پروفایل دما ایجاد شود. اصول عملکرد لیزر سوئیچ Q انفعالی، قرار گرفتن یک بلور جاذب اشباع پذیر پس از بلور بهره می باشد که برای عبور فوتون های لیزری از آن، می بایست وارونگی جمعیت لیزر درون نوسانگر به اندازه‌ای بزرگ باشد که بر اتلاف جاذب غلبه نماید. با عبور فوتون های لیزر از محیط جاذب، این بلور از حالت اشباع خارج شده و پس از مدت زمان معینی، پهنای پالس لیزر، اصطلاحاً دریچه جاذب بسته شده و تا رسیدن مجدد وارونگی جمعیت به شرایط آستانه، بسته می ماند.

جدول(۱): مشخصات مربوط به بلورهای تشکیل دهندهٔ دمش لیزر

Device	$l_{(i)}$(mm)	$l_{(Nd)}$(mm)	$l_{(Cr)}$(mm)	$l_{(o)}$(mm)	T_0(%)
1	1	3	2.5	1	25.9
2	1	4	2.5	3	25.9

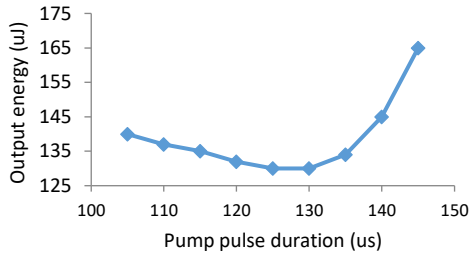
نتایج

در آزمایشات انجام شده از دو ترکیب متفاوت از بلورها برای تشکیل کاواک میکرولیزر توان بالا استفاده شده که مشخصات آنها در جدول (۱) قابل مشاهده است. در اینجا T_0 ضریب عبور جاذب است و در هر دو نوسانگر ضریب عبور آینهٔ خروجی ۲۶ درصد می‌باشد. و برای پمپاژ این میکرولیزرها، پرتو لیزر دیود با استفاده از یک فیبر با قطر هستهٔ ۲۰۰ میکرومتر توسط دو عدد لنز کروی روی بلور بهره به صورت یک به یک تصویر می‌شود. بلور شماره۱ را با توان پمپاژ ۳۰ وات و زمان پالس دیوی ۱۴۵ میکروثانیه پمپ می‌کنیم و پرتو خروجی از لیزر دارای انرژی ۱۶۵ میکروژول در نرخ تکرار ۱ کیلوهرتز می‌باشد. بلور شماره ۲ با توان پمپاژ ۳۰ وات و زمان پالس دیودی ۱۶۰ میکروثانیه پالس لیزری با انرژی ۲۵۰ میکروژول و نرخ تکرار ۱ کیلوهرتز بدست می‌دهد. پهنای زمانی پالس لیزر با استفاده از سیستم اتوکرولاتور مبتنی بر تداخل سنج مایکلسون اندازه‌گیری شد. برای بلور اول پهنای زمانی ۴۵۰ پیکوثانیه و برای بلور دوم ۵۴۰ پیکوثانیه محاسبه شد. از آنجایی که دمش این سیستم‌ها به شکل شبه پیوسته انجام می‌شود، لازم است مدت زمان دمش در هر سیکل و نیز نرخ تکرار پمپ به شکل بهینه انجام شود تا پالس‌های لیزری با ویژگی‌های مورد نظر تولید گردد. به همین منظور در اینجا به بررسی تأثیر این پارامترها روی خروجی میکرولیزر شماره ۱ پرداخته شده است. روند کار به این ترتیب می‌باشد که ابتدا شرایط آستانهٔ تولید لیزر را تعیین می‌کنیم و سپس با تغییر مشخصات دمش تغییرات حاصل ثبت می‌شود. آستانهٔ تولید لیز در میکرولیزر توان بالای شمارهٔ ۱ در پالس دیود ۱۰۵ میکروثانیه و در توان ۳۰ وات اتفاق می‌افتد در حالیکه این آستانه برای میکرولیزر توان بالای شماره۲ در مدت زمان پالس دیود ۱۳۵ میکروثانیه رخ می‌دهد. با استفاده هم زمان از اوسیلوسکوپ از تک پالسی بودن در نرخ تکرار مورد نظر مطمئن می‌شویم. با افزایش زمان پالس دیود از مقدار ۱۶۰ میکروثانیه در مورد لیزر شماره ۱مشاهده می‌شود که در هر سیکل دو یا چند پالس تشکیل می‌شود، بنابراین مدت زمان دمش برای اینکه لیزر در حالت تک پالسی عمل کند نباید از این مقدار (۱۶۰میکروثانیه) تجاوز کند. نمودار شکل (۲) تغییرات انرژی پالس خروجی از میکرولیزر توان بالای شماره ۱ در نرخ تکرار ۱ کیلوهرتز و توان ۳۰ وات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، با تغییر زمان دمش در هر سیکل از ۱۰۵ (آستانهٔ تولید

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

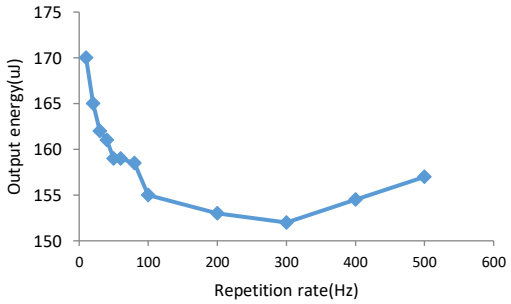
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-13]

پالس) تا ۱۳۰ میکروثانیه، انرژی پالس خروجی به مقدار ۱۵ میکروژول کاهش می‌یابد و با افزایش بیشتر زمان دمش انرژی پالس افزایش یافته تا به مقدار ۱۶۵ میکروژول در ۱۴۵میکروثانیه می‌رسد. این نمودار تقابل اثرات اتلاف گرمایی و افزایش حجم جمعیت معکوس در محیط بهره را به خوبی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر با افزایش زمان نوردهی حجم جمعیت معکوس و همین طور گرمای جایگزیده در بلور بهره افزایش می‌یابد و زمانی این موضوع موجب افزایش توان خروجی می‌شود که تأثیر جمعیت معکوس لیزر بر تأثیرات مخرب گرمایی غلبه کند.



شکل(۲): نمودار انرژی پالس خروجی از میکرولیزر توان بالای شماره۲ با تغییر زمان پالس پمپاژ

در نمودار شکل (۳) تغییرات انرژی پالس را بر حسب تابعی از تغییرات نرخ تکرار دمش نشان داده‌ایم.



شکل(۳): نمودار تغییرات انرژی پالس خروجی از میکرولیزر توان بالای شماره ۲ با تغییر نرخ تکرار پمپاژ در توان پمپ ۳۰ وات

با کاهش نرخ تکرار از ۱۰۰ تا ۱۰ هرتز انرژی خروجی از ۱۵۲ تا ۱۷۰ میکروژول افزایش می‌یابد که علت آن کاهش اثرات مخرب گرمایی به دلیل فرصت بیشتر خنک سازی در بلور بهره می‌باشد. اما در نرخ تکرارهای بالاتر یعنی از ۱۰۰ هرتز تا ۱ کیلوهرتز تغییر چندانی در انرژی خروجی مشاهده نمی‌شود و به نظر می‌رسد که در این نرخ تکرارها اختلاف گرمای ایجاد شده و نرخ کاهش دما در اثر خنکسازی به میزانی رسیده که با تغییر نرخ دمش دمای محیط بهره ثابت باقی می‌ماند.

نتیجه گیری

در این تحقیق فرآیند ساخت میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی توان بالا نشان داده شد. با تغییراتی که در ساختار نوسانگر میکرولیزرهای توان پایین اعمال شد و بهینه سازی شرایط دمش توانستیم از یک سیستم لیزری بسیار ساده و کم حجم به پالس‌هایی با پهنای زمانی ۰/۵ نانوثانیه با انرژی ۲۵۰ میکروژول (قلهٔ توان ۰/۵ مگاوات) دست پیدا کنیم. به این وسیله کاربرد میکرولیزرهای پالسی در زمینه‌های صنعتی و تحقیقاتی به اندازهٔ زیادی گسترش خواهد یافت. در این گزارش همچنین تغییرات مشخصات پرتو خروجی با تغییر شرایط دمش نشان داده شده است.

مرجع‌ها

[1] J. J. Zayhowski, “Passively ß-switched microchip lasers and applications” Rev. Laser Eng. 26, 841 (1998).

[2] F.Chen,X.Yu,C.Wang,R.P.Yan,X.D.Li,J.Gao,Z. H.Zhang,and J. H. Yu “DiodePumped Short Pulse Passively Q-Switched 912 nm Nd:GdVO4/Cr:YAG Laser at High Repetition Rate Operation” Laser Physics, 20. 1275–1278 (2010).

[۳] زهرا محمد ظاهری، مریم جندقی، سیامک دادرسمرنی، سمیرا علیپور "حل عددی معادلات نرخ در لیزر Nd:YAG با سوئیچ Qانفعالی وتخمین شرایط بهینه برای تولید تپ های زمانی فوق کوتاه" هفدهمین کنفرانس انجمن اپتیک و فوتونیک ۱۳۸۹

[4] John J. Zayhowski, Colby Dill III, Chris Cook, and John L. Daneu, “Mid and high power passively Q-switched microchip lasers” Advanced Solid-State Lasers, 26, 182 (1999).

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-13]