بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

لیزر Nd:YAG توان بالا با یک هد دمش جانبی دیودی با کاواک دمش بازتابی

محمد آقایی، مجتبی مصلحیان، حسین بازیار، مهدی رجایی جعفر آبادی، محمد مهدی مجیداف و علی مدیری

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران

چکیده – در این مقاله طراحی و ساخت لیزر *Nd:YAG* توان بالا با یک سامانه دمش جانبی دیودی گزارش شده که از یک کاواک بازتابنده برای سامانه دمش استفاده شده است. با استفاده از روش تعقیب هندسی پرتو و روش مونت کارلو یکنواختی توزیع دمش و بازده جذب در میله لیزری محاسبه شده است. سیستم دمش در رزوناتور خطی با طول ۱۴۰ میلیمتر و با آینه های تخت و آینه خروجی با بازتابندگی بهینهٔ ۸۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت و لیزر با توان ۵۸۸ وات بدست آمد. این توان معرف یک بازده اپتیکی-اپتیکی ۳۲.۹ درصدی با شیب بازدهی ۴۷.۷ درصد برای این لیزر می‌باشد. لیزر ساخته شده در مدت ۱۰۰ ساعت بطور پیوسته کار کرده و افت توانی مشاهده نشده است.

کلید واژه- لیزر Nd:YAG دمش از پهلو ،کاواک بازتابنده اپتیکی ، لیزر پر توان، دمش دیودی

High power single head diode-side pumped Nd:YAG laser with reflective pumping cavity

Mohammad Aghaie, Mojtaba Moslehian, Hossein Bazyar, Mahdi Rajaei Jafarabadi, Mohammad Mahdi Majidof and Ali modiri

Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran

Abstract- We designed a high power diode-side-pumped single head Nd:YAG laser. Utilizing a reflective optical cavity we enhanced the pumping system. Using ray tracing and Monte Carlo methods, the absorbed power distribution and absorption efficiency were investigated and the best configuration for the head module including reflector dimension and rod diameter were studied. Regarding to obtained parameters, an output power of 588 w were acquired for the plane-parallel resonator of length 140mm and optimum output coupler reflectivity of 80%.This correspond to the optical-optical efficiency of 32.9% and slope efficiency of 47.7% for our designed pumping system. The laser was operated for 100 hours and no degradation was observed for the output power.

Keywords: side-pumped Nd:YAG laser , reflective optical cavity , high power laser, diode pumped

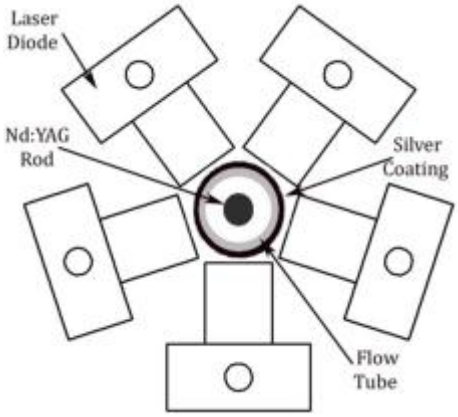
[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

۱- مقدمه

ساختار سامانه دمش محیط فعال یکی از مهمترین قسمتهای تشکیل‌دهنده یک لیزر است. برای دستیابی به یک لیزر که به طور همزمان دارای بازدهی بالا و کیفیت پرتو خوب باشد، علاوه بر بهینه‌سازی توزیع توان جذب شده در ماده فعال، باید همپوشانی بین مد اصلی دمش و مدهای رزوناتور لیزر در محیط فعال را افزایش داد. دمش دیودی، دارای مزایایی چون بالا بودن بازده کاری، قابلیت اطمینان بالا، قابلیت کوچک سازی سیستم، طول عمر کاری بالا و همچنین پایین بودن اثرات مخرب اپتیکی ناشی از حرارت در ماده فعال لیزر نسبت به دمش لامپی است. سامانه دمش دیودی معمولا به دو روش دمش از انتها و دمش از پهلو برای محیط های فعال میله‌ای طراحی می‌گردد، که بسته به توان خروجی و مشخصه‌های لیزر خروجی، یکی از این دو نوع روش دمش انتخاب می‌شود. به علت محدود بودن مقدار دمش و ایجاد اثرات حرارتی که در توان‌های بالا باعث شکست در ماده فعال می‌شود، لذا این لیزرها قابلیت بالایی برای افزایش توان ندارد[۱]. بنابراین برای دستیابی به توانهای بالا باید از روش دمش از پهلو استفاده کرد. امروزه توان لیزر دیودها بسیار افزایش یافته و روش‌های کاهش اثرات حرارتی در ماده فعال پیشرفت چشم‌گیری داشته است و در نتیجه محققان برای ساخت لیزرها با توان بالا از این روش استفاده می‌کنند. تاکنون گزارش‌های زیادی مبنی بر ثبت توان‌های بالا از یک لیزر Nd:YAG با یک هد ارائه گردیده است [۲-۵]. در این مقاله طراحی و ساخت یک سامانه دمش دیودی برای میله لیزری ND:YAG با ۵ عدد واحد دمش گزارش شده است و در آن نتایج شبیه سازی های مورد نیاز برای بدست آوردن بهینه پارامترهای طراحی جهت حصول بازده جذب بالا و توزیع جذب یکنواخت تر ارائه شده است.

۲- چیدمان آزمایشگاهی

شکل (۱) ساختار سامانه دمش طراحی شده برای میله لیزری Nd:YAG را نشان می دهد. سامانه دمش متشکل از میله لیزری به عنوان محیط فعال، تیوب کوارتز با لایه نشانی نقره و ۵ عدد ماژول لیزر دیود به عنوان منبع نوری دمش است. هر واحد دمش دارای طول پنجرهٔ خروجی $۵۰\ mm$ و توان خروجی ۳۰۰ وات با طول موج $۸۰۸\ nm$ است. ۵ واحد دمش بطور متقارن حول محیط فعال (میله لیزری Nd:YAG) با زاویهٔ ۷۲ درجه نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. توان دمش در واحد طول میله لیزری $۳۰۰\ w/cm$ می باشد. میله لیزری دارای مقدار دوپینگ 0.6% از یون Nd^{+3} است و سطح جانبی آن دارای خاصیت پخش‌کنندگی نور دمش بوده و هر دو سر انتهایی میله لیزری تخت و دارای لایه نشانی ضد بازتابش برای طول موج لیزر ($۱۰۶۴\ nm$) است.

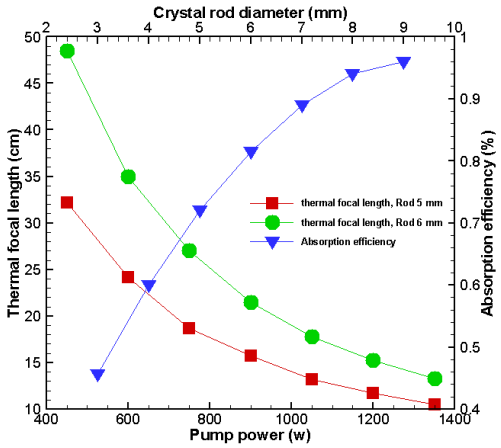


شکل ۱: شمای سامانه دمش جانبی با ۵ لیزر دیود به عنوان واحد-های دمش .

میله لیزری با طول $۱۲۰\ mm$ در داخل تیوب کوارتز قرار دارد و تیوب کوارتز نیز دارای قطر داخلی $۱۵\ mm$ و قطر خارجی $۱۸\ mm$ است. سطح جانبی میله لیزری بطور مستقیم در ارتباط با آب می باشد تا حرارت ایجاد شده در میله لیزری پمپ شده توسط آب خارج گردد. لایه نشانی روی سطح تیوب به منظور بازگرداندن دوبارهٔ آن بخشی از توان دمش به داخل محیط فعال است که توسط محیط فعال جذب نشده و از آن عبور کرده است، و این موضوع سبب توزیع یکنواخت‌تر دمش در محیط فعال شده و سبب کاهش تلفات دمش می‌گردد. تابش دمش بطور مستقیم از سطح کوارتز به داخل محیط فعال کوپل شده است. گرادیان دمایی شعاعی ایجاد شده در محیط فعال سبب می‌شود که میله لیزری به صورت یک محیط لنزگونه رفتار کند. شکل (۲) فاصله کانونی لنز حرارتی اندازه‌گیری شده با روش CCD متحرک[۶] برای میله لیزری با قطر $۵\ mm$ و $۶\ mm$ را

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

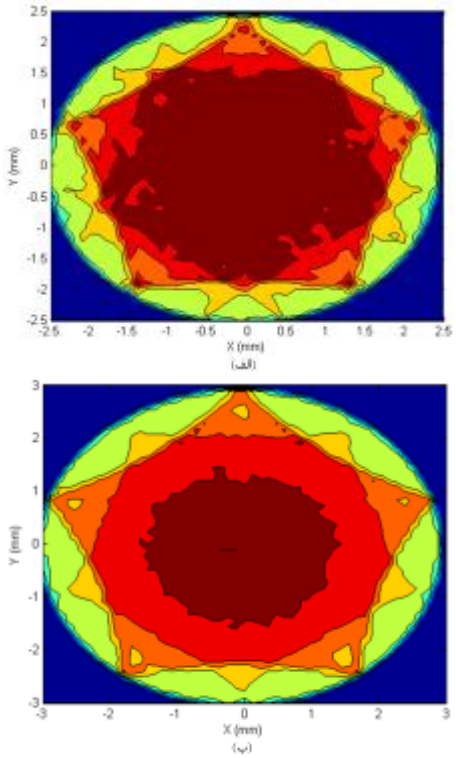
نشان می‌دهد. با پیدا کردن کوچکترین قطر لکه باریکه پراب، فاصله کانونی محیط لنز گونه برابر با فاصله بین محل کوچکترین قطر لکهٔ پیدا شده تا صفحه اصلی میله لیزری لنزگونه است.



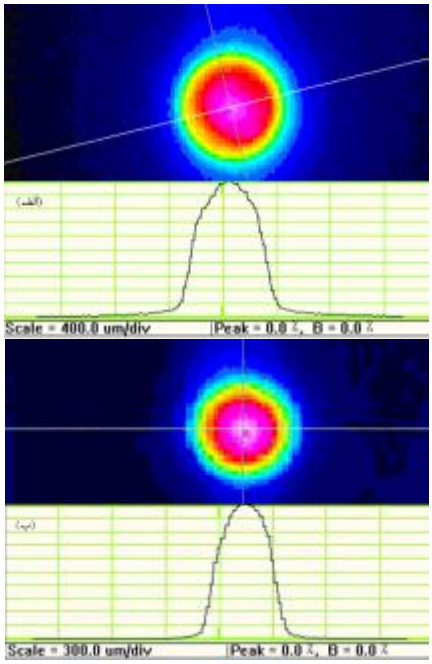
شکل۲ : فاصله کانونی اندازه‌گیری شده برای میله لیزری با قطر ۵mm (■) و ۶mm (●) ، بازده جذب محاسبه شده برای میله لیزری با قطر های مختلف (▼).

۳- نتایج تجربی

با استفاده از روش ردیابی پرتو و روش مونت کارلو، یکنواختی و راندمان جذب مطالعه شده است. شکل (۲) بازده جذب تابش دمش در میله لیزری با قطرهای مختلف را نشان می‌دهد که با افزایش قطر میله لیزری بازده جذب افزایش می‌یابد ولی متعاقباً یکنواختی توزیع تابش دمش کاهش خواهد یافت. شکلهای (۳الف) و (۳ب) به ترتیب توزیع توان جذب شده در میله لیزری با قطر $5\,mm$ و $6\,mm$ را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش قطر میله لیزری تعداد پرتوهای دمشی که به ناحیهٔ لایه‌نشانی شده از کاواک تیوب کوارتز می‌رسد کاهش می‌یابد لذا، متعاقبا تعداد پرتوهای بازتابی از تیوب کوارتز کاهش یافته و یکنواختی توزیع پرتو دمش حول میله لیزری نیز کاهش می‌یابد. پروفایل توزیع فلورسانس اندازه‌گیری شده برای محیط فعال با قطرهای $5\,mm$ و $6\,mm$ در شکل‌های (۴الف) و (۴ب) نشان داده شده است که حاکی از توزیع یکنواخت تابش دمش در سطح مقطع میله لیزری با قطر $5\,mm$ نسبت میله لیزری با قطر $6\,mm$ است که نتایج حاصل شده از شبیه سازی جذب تابش دمش توسط میله کریستالی را تایید می کند. نتایج شبیه-سازی‌ها نشان می‌دهد که راندمان جذب در میله لیزری با قطر $6\,mm$ تقریبا ۹ درصد بالا تر از راندمان جذب در میله لیزر با قطر $5\,mm$ است اما توزیع دمش در میله لیزری با قطر $5\,mm$ بسیار یکنواخت‌تر از میله لیزری با قطر $6\,mm$ است.

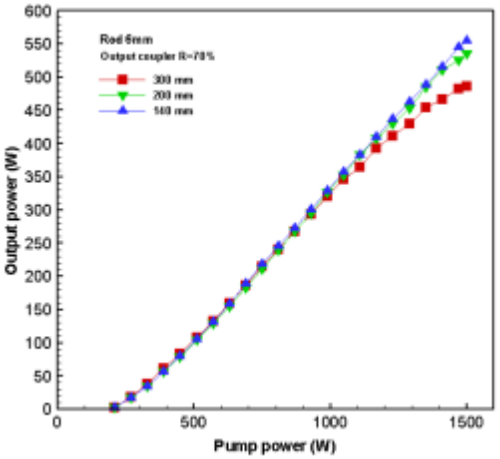


شکل ۳ : توزیع توان دمش محاسبه‌شده برای میله لیزری با قطر a) ۵mm b) ۶mm .



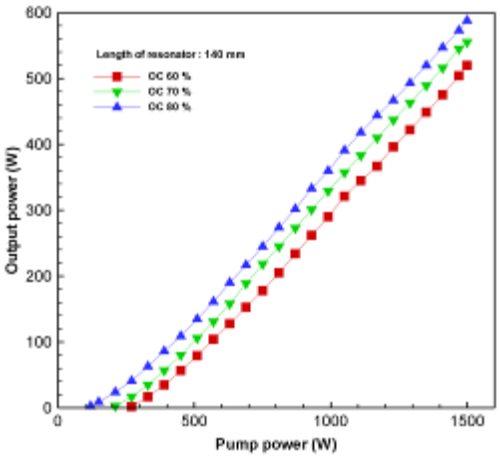
شکل ۴ : توزیع فلورسانس اندازه‌گیری شده برای میله لیزری با قطر a) ۵mm b) ۶mm .

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]



شکل ۵ : توان خروجی برای رزوناتور با آینه‌های تخت، و آینه خروجی ٪۷۰ با طول رزوناتور ۱۴۰mm، ۲۰۰mm، ۳۰۰mm و a) میله لیزری با قطر ۵mm b) میله لیزری با قطر ۶mm

در شکل (۵) نتایج اندازه‌گیری توان خروجی لیزر با رزوناتورهای با طول های ۱۴۰ *mm*، ۲۰۰ *mm* و ۳۰۰ *mm* و میله لیزری با قطر ۶ *mm* با آینه‌های تخت و آینه خروجی ٪۷۰ نشان داده شده است. ماکزیمم توان خروجی لیزر با طول رزوناتور ۱۴۰ *mm* برابر ۵۵۵ وات بدست آمده است. برای انتخاب آینه خروجی بهینه، در شکل (۶) نتایج اندازه‌گیری توان خروجی لیزر با میله لیزری با قطر ۶ *mm* و آینه های خروجی با بازتابندگی ٪۶۰ ، ٪۷۰ و ٪۸۰ و طول رزوناتور ۱۴۰ *mm* نشان داده شده است. ماکزیمم توان خروجی ۵۸۸ وات برای آینه خروجی ٪۸۰ بدست آمده است. در این طراحی بازده تبدیل اپتیکی – اپتیکی ٪۳۲.۹ و شیب بازده لیزر ٪۴۷.۷ است. لیزر به مدت ۱۰۰ ساعت بطور پیوسته کار کرده و در این مدت افت توانی برای توان خروجی مشاهده نشده است.



شکل ۶ : توان خروجی برای رزوناتور با آینه های تخت و طول رزوناتور ۱۴۰mm با آینه خروجی ٪۶۰، ٪۷۰ و ٪۸۰ .

۴- نتیجه‌گیری

لیزر Nd:YAG پمپ شدهٔ جانبی با منبع دمش لیزر دیود با کاواک دمش از نوع بازتابشی طراحی و ساخته شده است. در آن از ۵ واحد دمش با ماکزیمم توان دمش هر یک برابر ۳۰۰ وات استفاده شده که بطور متقارن حول میله لیزری قرار گرفته اند. با استفاده از روش مونت کارلو و روش ردیابی پرتو توزیع توان جذب شده و راندمان جذب توسعه داده شده است. پارامترهای بهینه برای ایجاد یکنواختی در توزیع توان دمش و راندمان جذب بالا در میله لیزری با قطرهای ۵ *mm* و ۶ *mm* با دوپینگ 0.6% از یون Nd^{+3} محاسبه شده است. با استفاده از میله لیزری با قطر ۶ *mm* لیزر با ماکزیمم توان خروجی ۵۸۸ وات تحت رزوناتوری با طول ۱۴۰ *mm* و آینه خروجی بهینه با درصد بازتابندگی ٪۸۰ بدست آمد. سیستم طراحی شده دارای راندمان اپتیکی- اپتیکی ٪۳۲.۹ و شیب بازده ٪۴۷.۷ می باشد.

مراجع

[1] S. C. Tidwell, J. F. Seamans, M. S. Bowers, and A. K. Cousins, “Scaling CW Diode-End-Pumped Nd:YAG Lasers to High Average Powers,” IEEE J. Quantum Electron 28, (1992) 997-1009.

[2] R. Sundar, K. Ranganathan, A.K. Nath, ‘’ Performance studies of diode-side-pumped CW Nd:YAG laser in copper coated optical pump cavity’’, Optics & Laser Technology 39 (2007) 1426–1431.

[3] Hailin Wang, Weiling Huang, Zuoyou Zhou, Hongbin Cao, ‘’ Experimental study of a high power and high efficiency CW diode-side-pumped Nd:YAG laser’’, Optics & Laser Technology 36 (2004) 69 – 73.

[4] Ranganathan Kandasamy, Sundar Raghavachari, Puskar Misra, and Sthanu Nathan. T. P,’’ Highly efficient continuous-wave operation of a Nd:YAG rod laser that is side pumped by p polarized diode laser bars, Apl.opt 43 (2004) 5855-5859.

[5] D.L. Yu, D.Y. Tang,’’ Experimental study of a high-power CW side-pumped Nd:YAG laser, Optics & Laser Technology 35 (2003) 37 – 42.

[6] Sungman Lee, Daewook Choia, Cheol-Jung Kima, Jun Zhou “Highly efficient diode side-pumped Nd:YAG ceramic laser with 210W output power”

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]