



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 تعییب 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 بهینه ۸۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت و لیزر با توان ۵۸۸ وات بدست آمد. این توان معروف یک بازده اپتیکی-اپتیکی ۳۲.۹ درصدی با شبی بازدهی ۴۷.۷ درصد برای این لیزر می باشد. لیزر ساخته شده در مدت ۱۰۰ ساعت بطور بیوسته 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

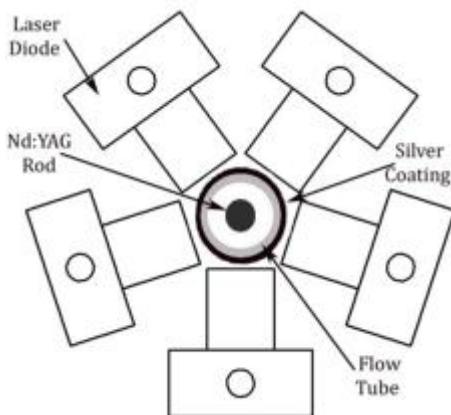
Mohammad Aghaie, Mojtaba Moslehian, Hossein Bazyar, Mahdi Rajaei Jafarabadi, Mohammad Mahdi Majidof and Ali modiri

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

عنوان منبع نوری دمش است. هر واحد دمش دارای طول پنجره خروجی 50 mm و توان خروجی 300 W با طول موج 808 nm است. ۵ واحد دمش بطور متقارن حول محیط فعال (میله لیزری Nd:YAG) با زاویه 72° درجه نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. توان دمش در واحد طول میله لیزری 300 W/cm می‌باشد. میله لیزری دارای مقدار دوینگ 0.6% از یون Nd^{+3} است و سطح جانبی آن دارای خاصیت پخش کنندگی نور دمش بوده و هر دو سر انتهایی میله لیزری تخت و دارای لایه نشانی ضد بازتابش برای طول موج لیزر (1064 nm) است.



شکل ۱: شماتیک سامانه دمش جانبی با ۵ لیزر دیود به عنوان واحد دمش.

میله لیزری با طول 120 mm در داخل تیوب کوارتز قرار دارد و تیوب کوارتز نیز دارای قطر داخلی 15 mm و قطر خارجی 18 mm است. سطح جانبی میله لیزری بطور مستقیم در ارتباط با آب می‌باشد تا حرارت ایجاد شده در میله لیزری پمپ شده توسط آب خارج گردد. لایه نشانی روی سطح تیوب به منظور بازگرداندن دوباره آن بخشه 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 5 mm و 6 mm را

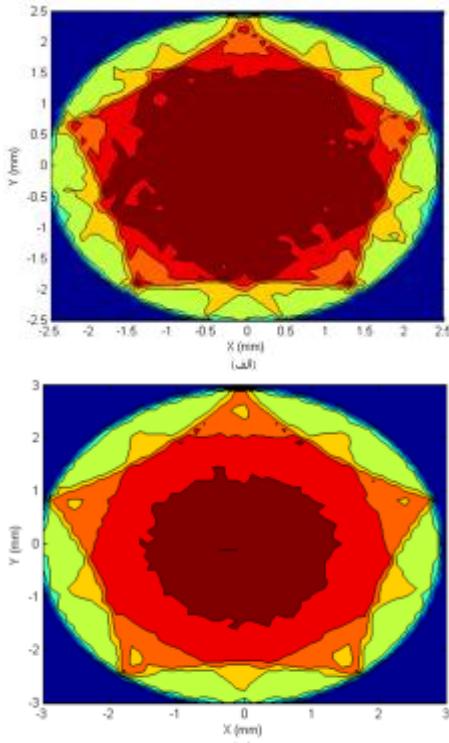
۱- مقدمه

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 ماده 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 معمولاً به دو روش دمش از انتهای دمش از پهلو برای محیط‌های 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 لیزرهای 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 لیزرهای 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 سازی‌های مورد نیاز برای بدست آوردن بهینه پارامترهای طراحی جهت حصول بازده جذب بالا و توزیع جذب یکنواخت‌تر ارائه شده است.

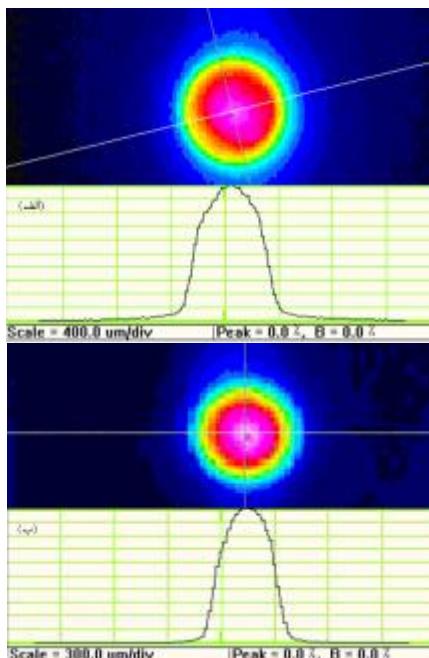
۲- چیدمان آزمایشگاهی

شکل (۱) ساختار سامانه دمش طراحی شده برای میله لیزری Nd:YAG را نشان می‌دهد. سامانه دمش مشتمل از میله لیزری به عنوان محیط فعال، تیوب کوارتز با لایه نشانی نقره و ۵ عدد مازول لیزر دیود به

سازی‌ها نشان می‌دهد که راندمان جذب در میله لیزری با قطر 6 mm تقریباً 9 mm درصد بالاتر 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.

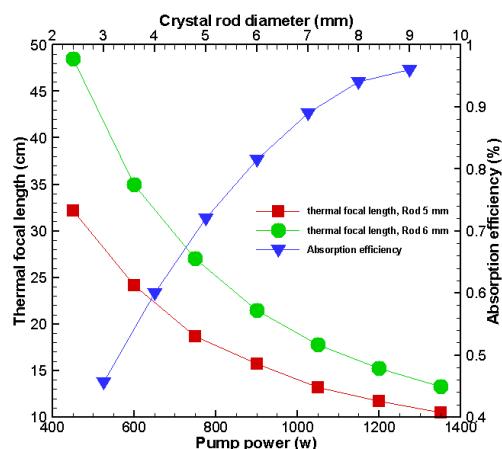


شکل ۳ : توزیع توان دمش محاسبه شده برای میله لیزری با قطر 5 mm (a) و 6 mm (b).



شکل ۴ : توزیع فلورسانس اندازه‌گیری شده برای میله لیزری با قطر 5 mm (a) و 6 mm (b).

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



شکل ۲ : فاصله کانونی اندازه‌گیری شده برای میله لیزری با قطر 5 mm (■) و 6 mm (●) ، بازده جذب محاسبه شده برای میله لیزری با قطرهای مختلف (▼).

۳- نتایج تجربی

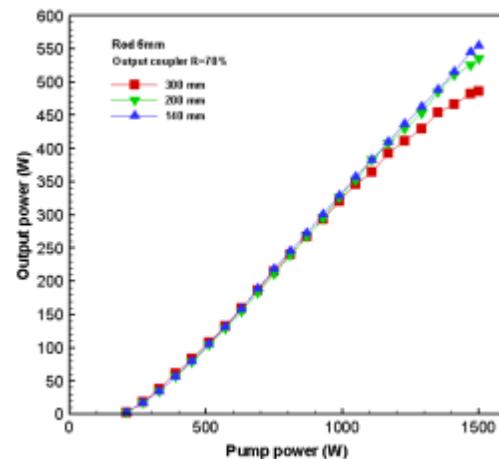
با استفاده از روش ریدیابی پرتو و روش مونت کارلو، یکنواختی و راندمان جذب مطالعه شده است. شکل (۲) بازده جذب تابش دمش در میله لیزری با قطرهای مختلف را نشان می‌دهد که با افزایش قطر میله لیزری بازده جذب افزایش می‌یابد ولی متعاقباً یکنواختی توزیع تابش دمش کاهش خواهد یافت. شکل‌های (۳(الف)) و (۳(ب)) به ترتیب 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 ناحیه لایه‌نشانی شده از کاوک تیوب کوارتز می‌رسد کاهش می‌یابد لذا، متعاقباً 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 فعل با قطرهای 5 mm و 6 mm در شکل‌های (۴(الف)) و (۴(ب)) 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 می‌کند. نتایج شبیه-

۴- نتیجه‌گیری

لیزر Nd:YAG پمپ شده جانبی با منبع دمش لیزر دیود با کاواک دمش از نوع بازتابشی طراحی و ساخته شده است. در آن از ۵ واحد دمش با ماکریم 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 ۰.۶٪ از یون Nd^{+3} محاسبه شده است. با استفاده از میله لیزری با قطر ۶ mm لیزر با ماکریم 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 شبیه بازده ۴۷.۷٪. می باشد.

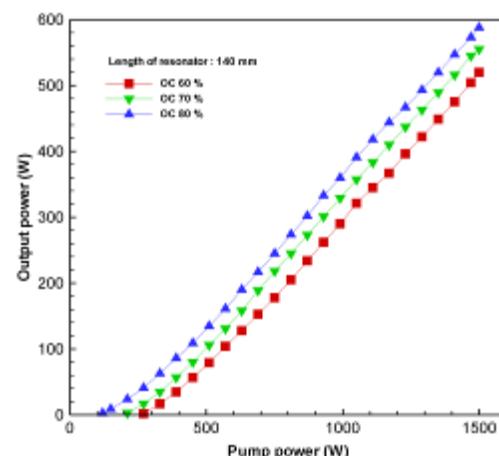
مراجع

- [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"



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

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. ماکریم 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. ماکریم توان خروجی ۵۸۸ وات برای آینه خروجی ۸۰٪ بدست آمده است. در این طراحی بازده لیزر تبدیل اپتیکی - اپتیکی ۳۲.۹٪ و شبیه بازده 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 ۱۴۰ mm با آینه خروجی ۶۰٪، ۷۰٪ و ۸۰٪.