بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

افزایش جذب و یکنواخت‌سازی دمش در لیزر Nd:YAG با ساختار دمش از پهلوی دیودی یک طرفه.

مریم، زاوش[۱]، پگاه، غرقی [۲].

[۲] پژوهشکده مکانیک، پژوهشگاه فضایی ایران.

[1] mzavoosh@yahoo.com, [2] pegah.gharghi@gmail.com.

چکیده - در این مقاله، راه‌های متفاوتی برای دستیابی به دمش یکنواخت و افزایش چگالی جذب در لیزر Nd:YAG در ساختار دمش از پهلوی دیودی یک طرفه بررسی شد. در اولین پیشنهاد، تیغه‌ی لیزر از سه طرف لایه‌نشانی و از یک بازتابنده اضافی در ورودی کاواک و یک روزنه جهت ورود تابش دمش استفاده گردید. در طرح دیگر، ترکیب دوتایی بهینه‌ای از میکروعدسی‌های واگرا کننده را طراحی و در جلوی دیود قرار دادیم تا با افزایش زاویه واگرایی موجب یکنواخت سازی دمش گردد. در نهایت نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت.

کلید واژه- چگالی جذب، دمش از یک طرف ، لیزر Nd:YAG، میکروعدسی واگرا کننده، یکنواخت سازی دمش.

Increasing the Absorption and Uniformity of Pumping on the Nd:YAG Laser with Single Side Diode Pumping Structure.

Maryam Zavosh[1], Pegah Gharghi[2].

[2] Mechanics Institute, Iranian Space Research Center.

[1]mzavoosh@yahoo.com, [2]pegah.gharghi@gmail.com.

Abstract- In this paper, different ways to get uniform and increased absorption flux of Nd:YAG laser with single-side diode pumping geometry were investigated. In the first suggestion, the slab laser is coated from three sides and use an additional reflector at the entrance to the cavity with a slit for injection of the pumping radiation. In the other suggestion, we designed the optimal dual composition of divergent arrays micro lens and placed in front of the diode that by increasing the divergence angle makes the uniformity of pumping. The results of each simulation are compared and analyzed.

Keywords: Absorption Flux, Single Side Pump, Nd:YAG Laser, Divergent Micro Lens, Uniformity of Pumping.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-19]

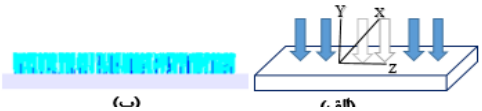
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

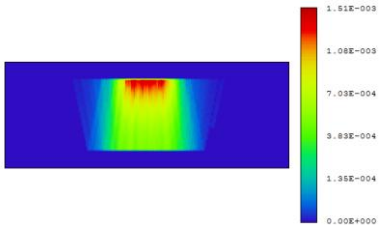
دستیابی به توزیع یکنواخت پرتو دمش در سطح مقطع محیط فعال به دلیل افزایش چگالی نوری و یکنواخت‌سازی توزیع جذب در دمش‌های دیودی از اهمیت زیادی برخوردار است[۱]. علیرغم سادگی و کاهش هزینه در دمش از یک طرف، عدم یکنواختی دمش در محیط فعال چنین سیستم‌هایی مشکلات زیادی را در خروجی لیزر به دنبال [۲] و از دغدغه‌های اصلی طراحان لیزری است [۳-۱]. هدف از این مقاله، افزایش یکنواختی دمش در تیغه‌ی لیزری Nd:YAG در یک ساختار دمش از پهلوی تک دیودی است. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MATLAB و ZEMAX صورت گرفته است.

توصیف ساختار کلی نحوه دمش

در این ساختار ماده‌ی فعال متشکل از یک تیغه‌ی لیزری Nd:YAG (٪۱) با ابعاد ۲×۶×۶۵ mm است. در تعیین هندسه و ابعاد ماده‌ی فعال پارامترهایی از جمله مزایای ترمو اپتیکی بهتر[۲]، نسبت ظاهری[۴] و ساختار دیود در نظر گرفته شده‌است. دمش با استفاده از یک لیزر دیود و از سطح بالایی تیغه صورت می‌گیرد. سطح مقابل دمش جهت برگشت پرتوهای جذب نشده به درون ماده‌ی فعال با بازتابندگی بالا لایه‌نشانی شده است (شکل۱). لیزر دیودی استک متشکل از ۵ بار هر کدام به طول ۱۰ mm است. هر بار شامل ۷ لیزر دیودی است که در فاصله ۱/۲ mm نسبت به هم قرار دارند. طول موج متناظر با دمش (۸۰۸ nm) و زوایای واگرایی ۳۵×۱۰° است. لیزر دیودی در فاصله ۳ mm از سطح دمش تیغه قرار دارد. زاویه‌ی واگرایی تند دیود در راستای پهنای تیغه است. با توجه به ضرایب شکست و و جذب، ماده فعال به عنوان یک ماده‌ی جدید در نرم‌افزار ZEMAX مدل‌سازی شده است. در شکل ۲ پروفایل جذب در سطح مقطع تیغه قابل مشاهده است که به دلیل عدم یکنواختی دمش جذب تنها در بخش کوچکی از پهنای تیغه متمرکز و در بیش از نیمی از آن جذبی صورت نمی‌گیرد. این نتیجه علاوه بر کاهش انرژی خروجی، به دلیل تمرکز دمش در یک ناحیه، احتمال ذوب شدگی و ظهور اثرات گرمایی نامطلوب را افزایش می‌دهد.



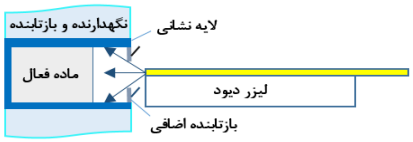
شکل ۱: طرحی از تیغه لیزر الف: بدون بازتابنده ب: با بازتابنده.



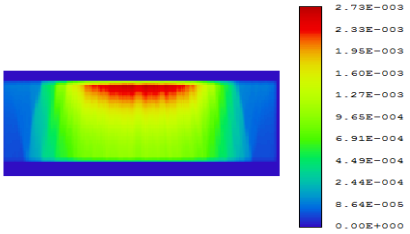
شکل ۲: پروفایل جذب در سطح مقطع تیغه‌ی لیزر.

یکنواخت سازی و افزایش جذب

شکل ۳ طرح پیشنهادی در [۱] به منظور یکنواخت‌سازی دمش را نشان می‌دهد که در آن تیغه بین دو نگهدارنده به عنوان بازتابنده و گرماگیر قرار گرفته و از سه طرف لایه‌نشانی شده است. ورود تابش به تیغه از طریق روزنه‌ای تعبیه شده در ورودی کاواک، با محصور کردن سطح مقطع دمش، توزیع یکنواختی را در محیط فعال ایجاد می‌کند. لیزر دیود در فاصله ۲/۳mm از روزنه قرار داده شده است. جهت محصورسازی پرتوها در فاصله‌ی بین ماده فعال و لایه‌نشانی‌های سطوح، روزنه‌ای با ابعاد ۱/۶mm × ۵۱ در فاصله ۳/۷mm از تیغه قرار گرفت. شکل ۴ افزایش یکنواختی جذب در سطح مقطع تیغه را نشان می‌دهد.



شکل ۳: طرحی از تیغه‌ی لیزر با لایه‌نشانی از سه طرف و روزنه دمش.

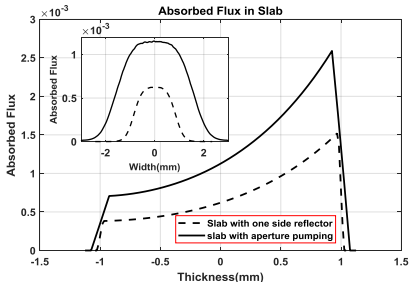


شکل ۴: پروفایل جذب در سطح مقطع تیغه با روزنه دمش.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-19]

منحنی دو بعدی چگالی جذب در راستای پهنا و ضخامت تیغه با حالتی که سطح مقابل دمش لایه‌نشانی شده باشد، در شکل ۵ مقایسه شده است. در توان دمش یکسان (۲۵۰W)، با استفاده از طرح شکل ۳ نتایج بیانگر افزایشی بیش از ۱/۷ برابر از چگالی جذب در راستای ضخامت بود. حضور بازتابنده‌ی اضافی برگشت پرتوهای جذب نشده با یکبار عبور به درون تیغه را موجب می‌گردد. در راستای پهنا افزایش توزیع یکنواختی جذب در سطح بیشتری از پهنای تیغه (در مقایسه با حالت قبل ۱۳/۴٪ بیشتر) بیانگر توزیع گسترده‌تری از پرتوهاست. بهبود یکنواختی جذب و عدم تمرکز آن در یک ناحیه محدود تائیدی بر افزایش یکنواخت‌سازی دمش است.

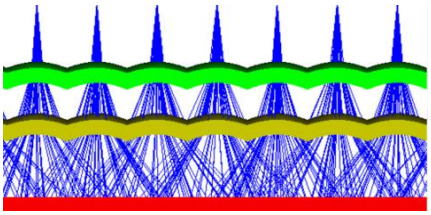


شکل ۵: منحنی دو بعدی چگالی جذب در راستای پهنا و ضخامت.

اگر ماده‌ی فعال از جذب پایینی برخوردار باشد (نظیر لیزرهای اربیوم) دمش با استفاده از روش جفت‌شدگی نزدیک و لیزر دیود در فاصله‌ی بسیار کمی از ماده فعال قرار می‌گیرد[۲]. این راهکار افزایش جذب موجب انبساط ضخامت در ناحیه‌ی دمش و مشکلاتی را در ظاهر تیغه ایجاد می‌کند که رفع آن مستلزم استفاده از توان‌های دمشی کمتر است. استفاده از طرح شکل۳ به دلیل دمش غیر مستقیم تیغه امکان دمش در توان‌های بالاتر را میسر، تاثیر نامطلوب بر ظاهر تیغه را مرتفع و توزیع جذب یکنواختی را موجب می‌گردد. در ادامه، نتایج به ازای توان‌های بالاتری از دمش بررسی و در توان دمش یکسان (۴۸۰W) با مرجع [۵] مقدار جذب چهار برابر بیشتر به دست آمد. در طرح دیگر، آرایه‌ای از ترکیبات دوتایی میکروعدسی‌های واگراکننده، هر ترکیب شامل دو عدسی غیرکروی، به طور افقی و موازی با لیزر دیود استک قرار داده شد که افزایش پخش‌شدگی پرتو در سطح دمش را موجب گردید. در این ترکیبات دوتایی وظیفه سطح اول عدسی، موازی سازی پرتوها در دو جهت تند و کند است. پرتوهای موازی به سطح دوم که سطحی استوانه‌ای است و نقش تغییر نمایه از بیضوی به متقارن دایره‌ای را دارد برخورد می‌کنند. در این حالت انتشار پرتو تند بدون شکست و موازی با محور و پرتو کند به اندازه‌ای واگرا شده که قطر هر دو پرتو یکسان گردد. پرتوهای دایره‌ای با برخورد به سطح استوانه‌ای سوم، موازی و به صورت واگرا از سطح چهارم خارج می‌شوند. محاسبات اولیه بر اساس اصل فرما صورت گرفت. با به کار بردن روابط اپتیکی حاکم بر عدسی‌ها[۶] و معادلات مثلثاتی، عبارتی برای شعاع انحنا به صورت $R_i = f_i(n-1)$ به دست آمد که i شماره سطوح، f_i فاصله‌ی کانونی هر سطح و n ضریب شکست است. ثابت مخروطی K در هر سطح با خروج از مرکز (e) از رابطه‌ی $k = -e^2$ محاسبه که با توجه به معادلات استاندارد و روابط حاکم بر مقاطع مخروطی پس از ساده‌سازی $k = -n^2$ به دست آمد. شکل۶ شبیه‌سازی مطابق با پارامترهای محاسبه شده در جدول ۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۱: پارامترهای محاسبه شده در شبیه‌سازی.

n =۱/۷۸۸۰	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
شعاع انحنا	۱/۱۷mm	۰/۲۷ mm	۱/۰۶ mm	۰/۳ mm
نوع سطح	غیر کروی	غیر کروی	غیر کروی	غیر کروی
ثابت مخروطی	-۳/۱۸	-۳/۱۲	-۳/۱۰	-۳/۱۴
β	۱۲۷۲۸/۲۸	۲۷۴۹/۳۰	۱۳۷۴۶/۵۴	۲۹۳۲/۵۹
ضخامت	۰/۲۰ mm		۰/۲۱ mm	



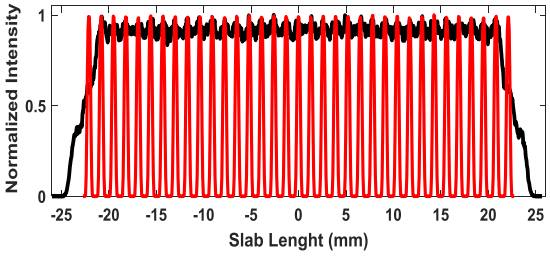
شکل ۶: نمای کلی از شبیه سازی آرایه‌ای از میکرو عدسی‌ها.

طراحی به روش اپتیک هندسی صورت گرفت، از آنجایی که تعیین کیفیت روش طراحی با استفاده از پارامتر β صورت می‌گیرد و با توجه به اینکه $\beta \rangle 32$ به دست آمد، درستی روش انجام کار تایید شد. از جمله دلایل عدم یکنواختی و کاهش جذب، یکسان نبودن توزیع شدت دیود در دو محور تند و کند (بیضوی بودن نمایه خروجی از لیزر دیود) است که عدم پیوستگی در نمایه‌ی شدت لیزر دیودها را ایجاد می‌کند. مطابق با شکل ۷ استفاده از میکروعدسی‌ها (از جنس S-LAH46) با تغییر توزیع شدت لیزر دیودها، پیوستگی و یکنواخت‌سازی توزیع پرتوها بر روی طول سطح دمش را موجب شده است. در مقایسه با لایه‌نشانی سطح مقابل دمش (شکل۵)، شکل۸ نشان می‌دهد بیشینه‌ی جذب در ضخامت (در توان دمش یکسان)، افزایشی ده برابر داشته است. در این حالت توزیع جذب در بیش از نیمی از پهنای تیغه یکنواخت (۴۸/۴٪ بیشتر) و بیشینه مقدار آن در این راستا ۷/۸ برابر گردید. این توزیع یکنواخت

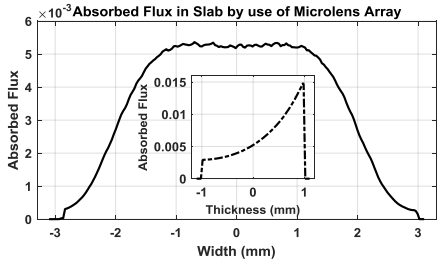
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-19]

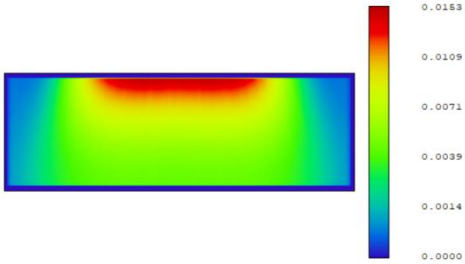
جذب به همراه افزایش بازده دو فاکتور بسیار مهم در طراحی لیزرهای پر توان با کیفیت پرتوی خوب هستند. شکل۹ جذب یکنواخت در سطح مقطع تیغه لیزر را نشان می‌دهد.



شکل ۷: توزیع شدت در سطح دمش با (منحنی سیاه رنگ) و بدون (منحنی قرمز رنگ) میکروعدسی.

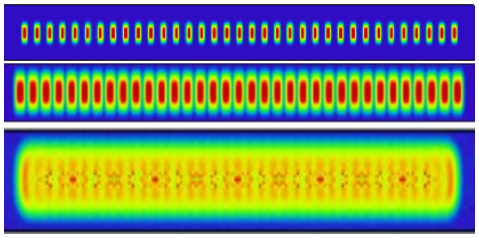


شکل ۸: منحنی دو بعدی جذب در دمش با استفاده از میکروعدسی.



شکل ۹: پروفایل جذب در تیغه در دمش با استفاده میکروعدسی.

قابل توجه است که اگر تنها سطح مقابل دمش لایه نشانی شده باشد به دلیل دستیابی به جذب کافی و انرژی بیشتر لیزر دیود باید در فاصله کمی از ماده فعال قرار گیرد (۳mm). شکل ۱۰-الف توزیع شدت پرتوها را در فاصله مذکور نشان می‌دهد. افزایش فاصله لیزر دیود از ماده فعال(۶mm) همپوشانی بیشتر پرتوها، ناشی از واگرایی، را موجب می‌شود که در شکل ۱۰-ب نشان داده شده است. اما این افزایش فاصله کاهش ۱/۵ برابری جذب را به دنبال خواهد داشت که مطلوب نیست. در حالت دوم که به دلیل استفاده از روزنه و سطوح لایه نشانی شده فاصله دیود از ماده فعال می‌تواند افزایش یابد لیزر دیود در فاصله ۶mm قرار گرفت که در این حالت محصور شدن پرتوها عامل مهم دیگری در افزایش همپوشانی و دستیابی به جذب بالاتر بوده است. در حالت سوم علیرغم یکسان بودن فاصله دیود از ماده فعال (۶mm) استفاده از میکروعدسی‌ها همپوشانی بیشتر پرتوهای واگرا شده را موجب شده است(شکل ۱۰-ج).



شکل ۱۰: توزیع شدت لیزر دیود از ماده فعال در فاصله الف) ۳mm ب)۶ mm ج) ۶mm و استفاده از میکرو عدسی های واگرا کننده.

نتیجه‌گیری

دو راهکار جهت دستیابی به دمش یکنواخت و افزایش جذب مورد بررسی قرار گرفت. در طرح اول با لایه‌نشانی تیغه‌ی لیزر از سه طرف از یک روزنه جهت ورود تابش به درون ماده فعال استفاده شد. این طرح به دلیل طراحی خاص و امکان دمش در توان‌های بیشتر حتی در لیزرهایی با جذب کم یکنواخت‌سازی و افزایش جذب را موجب می‌گردد. در طرح دوم از آرایه‌ای از میکروعدسی‌های واگرا کننده در جلوی لیزر دیود استفاده شد. مقدار چگالی جذب در این حالت علیرغم استفاده از توان دمش بسیار کمتر نسبت به [۵] حدود ۱۲/۳ برابر به دست آمد.

مرجع‌ها

[1] A. Levoshkin, J. E. Montagne, "Efficient diode pumping for Q-switched Yb: Er: glass lasers", *Applied optics*., Vol. 40, No. 18. pp. 3023-3032, 2001.

[۲] زاوش، مریم، حاتمی، محسن، نوفرستی، امیر، یزدانی، علی، حسینی، امین، مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی لیزر Er:Yb:glass دمش دیودی هواخنک با دو هندسه‌ی استوانه‌ای و تیغه‌ای توسط نرم افزار LASCAD، چهارمین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران، اصفهان، ص ۳۲-۲۹، ۱۳۹۴.

[3] K. Lee, Y. Kim, H. C. Lee, J. Y. Cho, J. C. Lee, Y. G. Jeon, J. Yi, "Optimization of reflector design for diode-pumped Nd: YAG laser with single-side pumping geometry", *High-Power Lasers and Applications*., Vol. 7843, pp. 78431W, 2010.

[4] W. Koechner, Solid-State Laser Engineering, Springer, New York, 2006.

[5] M. H. Dindarlu, G. Solookinejad, H. Izadneshan, M. Jabbari, M. Nafar, "Precise simulation of thermal effects in side diode-pumped laser slab", *Optoelectronics And Advanced Materials*., Vol. 18, No. 11-12, pp. 938-942, 2016.

[6] Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., Introduction to Optics, Second edition, Prentice Hall International Inc, New Jersey, 2000.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-19]