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

مقایسه اثرات حرارتی مواد فعال لیزری جامد در میزبان‌های مایع و جامد

سیداحمد پورهاشمی[۱]، جواد خلیل‌زاده[۲]، محمدرضا کریمی[۳]

۱-گروه مهندسی فوتونیک دانشکده فیزیک دانشگاه امیرکبیر و مرکز علم و فناوری لیزر اپتیک دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۲و۳- مرکز علم و فناوری لیزر اپتیک دانشگاه جامع امام حسین(ع)

1-Hashemi_64@aut.ac.ir, 2- jkhalil@ihu.ac.ir, 3- kpmrkarimi@ihu.ac.ir

چکیده - در لیزرهای پرتوان حالت‌جامد، اثرات گرمایی با ایجاد ناهمگنی و اعوجاج در ماده فعال باعث کاهش کیفیت باریکه خروجی شـــده و حتی می‌تواند باعث آســـیب به محیط فعال شـــود. این عیب باعث ایجاد محدودیت در حصـــول حداکثر توان از لیزرهای حالت‌جامد می شود. محیط فعال لیزری مایع حاوی ذرات جامد در ابعاد نانو یا میکرو به شکل محلول کلوئیدی یا مخلوطی از پودر و مایع نامزد جایگزین مواد حالت جامد برای رفع مشـــکلات گرمایی لیزرهای پرتوان حالت‌جامد اســـت. در این پژوهش رفتار گرمایی محیط لیزری با ذرات فعال یک سان در دو میزبان جامد و مایع مقایسه شده است. برای این کار یک کاواک لیزری با ۴ لامپ دمش تو سط نرم‌افزار Zemax طراحی و توزیع گرمایی آن تو سط نرم‌افزار LASCAD شبیه سازی گردید. نتایج نشان‌دهنده انتقال گرمای خوب، گرادیان شعاعی کمتر دما و برطرف شدن مشکل گرمایی در لیزرهای پرتوان با محیط فعال لیزری مایع می‌باشد.

کلیدواژه- محیط فعال لیزری حالت‌جامد، محیط فعال لیزری مایع، دمش لامپی، عدسی شدگی گرمایی.

Comparison of Thermal Effects of Solid Laser Active Materials in Solid and Liquid Hosts

S. A. Pourhashemi[1], J. Khalilzadeh[2], and M. R. Karimi[3]
1. Photonics Engineering Department, Physics Faculty, A. U. T. Univ. & Laser-Optics Research center of I. H. Univ., 2,3. Laser-Optics Research center of I. H. Univ.

Abstract- The thermal effects in high power solid state lasers, causing heterogeneity and distortion in the active material, reduce the output beam quality and can even cause damage to the active medium. This failure generates a limitation of the maximum power attainment from lasers. A Liquid laser active medium containing solid particles in the form of nano- or micro-sized colloidal solutions, or a mixture of powder and liquid, replaces solid state material to eliminate the thermal problems of high-power lasers. In this study, the thermal behavior of the laser medium with identical active particles in two solid and liquid hosts has been compared. For this purpose, a laser cavity with four flash lamps was designed by Zemax software, and its thermal distribution was simulated by LASCAD software. The results indicate good heat transfer, lower radial temperature gradient, and removal of the heat problem in high power lasers with the fluid active laser medium.

Keywords: Solid state laser active medium, Liquid laser active medium, Flash lamp pumping, thermal lensing.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]

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

مقدمه

در لیزر های پرتوان حالت جامد، اثرات حرارتی باعث ناهمگنی و اعوجاج در باریکه خروجی شده و همچنین می‌تواند شکست محیط فعال را سبب شود. این عیب باعث ایجاد محدودیت در به دست آوردن حداکثر توان از لیزر های حالت جامد می‌شود[۱]. امکان جایگزینی میزبانهای بلوری و شیشه‌ای لیزرهای حالت جامد با میزبانهای مایع حاوی ذرات در ابعاد نانو یا میکرو به شکل سوسپانسیون(محلول کلوئیدی) یا دوغاب(مخلوطی از پودر و مایع) که توسط لیزر یا لامپ دمش می شوند اخیراً مورد توجه قرارگرفته است[۱-۲]. در این نوع جدید از محیط های فعال لیزری، خواص اسپکتروسکپی همانند ماده متراکم بوده و خواص مکانیکی و حرارتی آن مشابه با محیط میزبان می‌باشد. در این رهیافت از ذرات جامد بسیار کوچک به‌عنوان ماده لیزده‌نده پخش‌شده در حلال استفاده می‌شود. خواص موردنیاز برای ذرات توزیع شده به‌عنوان محیط فعال لیزری باید شامل چگالی کم، جذب بالای دمش و طول عمر فلورسانس بالا باشد. افزایش سطح ذرات نسبت به حجم آن ها باعث افزایش چشمگیر خنک‌شوندگی شده و افزایش بازدهی خنک سازی را به دنبال دارد، علاوه بر این گرمای به وجود آمده در ذرات می‌تواند با ایجاد یک چرخه بسته به خارج از کاواک منتقل شده و فرآیند خنک سازی در بیرون کاواک صورت گیرد. ذرات پراکنده دارای خواص ویژه‌ای هستند که می‌توانند به‌عنوان محیط فعال لیزری برای لیزرهای پرتوان مورداستفاده قرار گیرند[۲-۵].

در سال ۲۰۱۲، Yitshak Tzuk و همکارانش نانو ذرات Nd_2O_3 را در دی متیل سولفوکسیدd_6[۱]پراکنده کردند. این محیط فعال لیزری توسط یک لیزر با طول‌موج ۸۰۲ نانومتر و پهنای پالس ۷ نانوثانیه دمش شد که نتیجه آن خروجی لیزری ۱۰۵۳ نانومتر،پهنای پالس ۵/۵ نانوثانیه با انرژی خروجی ۲/۷ میلی ژول بود[۶]. این گروه در سال ۲۰۱۵ اولین لیزر با ماده فعال مایع حاوی نانو ذرات که توسط لامپ فلش دمیده می‌شد را گزارش کردند. در این گزارش آمده است که نانو ذرات Nd_2O_3 اصلاح شده با دی متیل دی کلروسیلان (جهت افزایش طول عمر فلورسانس) در دی متیل سولفوکسید d_6 پراکنده شدند. در این مورد Nd^{3+} یک درصد وزنی محیط لیزری را تشکیل می‌دهد. این محلول در داخل استوانه‌ای با قطر ۱ سانتی‌متر و طول ۳۰ سانتی‌متر که پنجره‌های خروجی آن دارای پوشش ضد بازتاب ۱۰۶۴ نانومتر بودند، ریخته شد. این استوانه در داخل کاواکی توسط ۴ عدد فلش لامپ زنون (11 mm bore,110 mm length) با بیشینه انرژی ۴۵۰J/lamp دمش شد. بیشینه انرژی ۴/۳ ژول با پهنای پالس ۲۰۰ میکروثانیه با آینه خروجی ۴۰ درصد به دست آمد[۱].

ما در این کار قابلیت رسانندگی حرارتی را دو نوع لیزر حالت جامد یکی با میزبان بلور یاگ و دیگری با میزبان مایع دی متیل سولفوکسید d6 را برای حالت بدون چرخش مایع شبیه سازی و مقایسه کرده‌ایم.

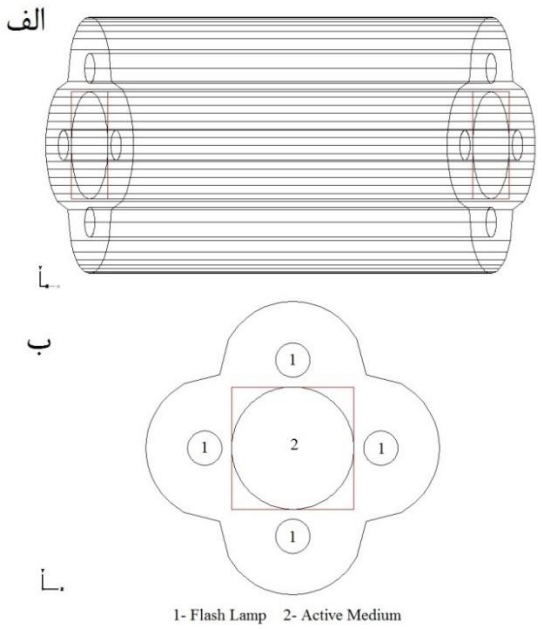
بخش تجربی

جهت مقایسه بهبود عملکرد انتقال حرارت محیط فعال لیزری مایع در مقایسه با محیط فعال لیزری حالت‌جامد، لیزری با محیط فعال به‌قطر ۲۵mm و طول ۱۰۰ mm که توسط ۴ لامپ فلش با قطر ۹ mm و طول۱۰۰ mm باانرژی ۷۰۰ w/lamp دمش می‌شود، توسط نرم‌افزار Zemax شبیه‌سازی شد. نمای جانبی و طولی کاواک شبیه‌سازی‌شده در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

[۱] dimethylsulfoxide d_6

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

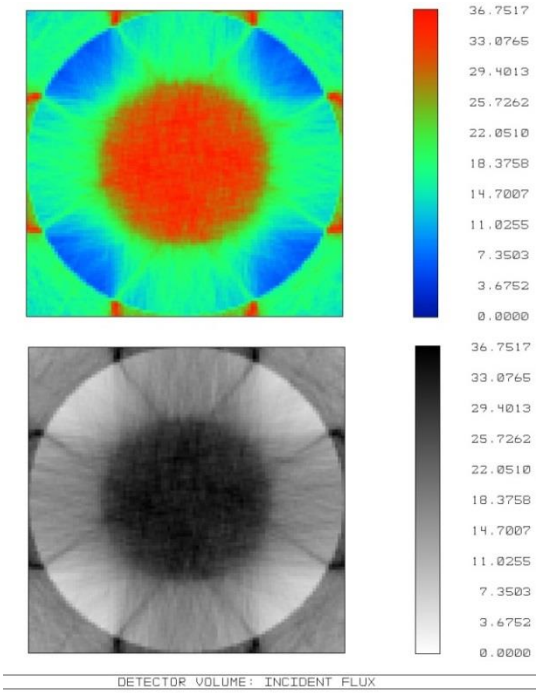
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]



شکل ۱: کاواک لیزری که در آن محیط فعال توسط ۴ فلش لامپ پمپ می‌شود، الف) نمای جانبی ب) نمای طولی.

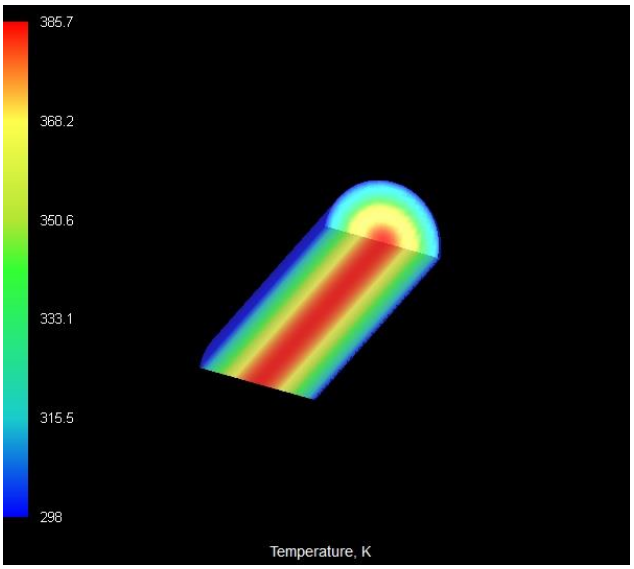
توزیع تابش لامپ در محیط فعال در شکل ۲ نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود شکل هندسی کاواک توزیع متقارنی از تابش لامپ با تمرکز در مرکز محیط فعال را ایجاد می‌کند و محیط فعال به‌طور یکنواخت در طول کاواک دمش می‌شود.

پس از شبیه‌سازی توزیع تابش لامپ در محیط فعال برای بررسی اثرات حرارتی به وجود آمده در محیط فعال حالت‌جامد، محیط فعال Nd:YAG و برای محیط فعال لیزری مایع، محیط فعال همگن بدون چرخه حرکت، حاوی نانو ذرات Nd_2O_3 که در دی متیل سولفوکسید d_6 پراکنده‌شده‌اند را انتخاب کردیم. توزیع حرارتی این دو محیط فعال را در نرم‌افزار LASCAD شبیه‌سازی کردیم، در این شبیه‌سازی دمای اولیه آب در اطراف محیط فعال ۲۹۸ کلوین(۲۵ درجه سانتی‌گراد) فرض شده است.



شکل ۲: توزیع تابش لامپ در محیط فعال شبیه‌سازی‌شده با نرم‌افزار Zemax

شکل ۳ شبیه‌سازی را برای محیط فعال Nd:YAG نشان می‌دهد. در این شبیه‌سازی دمای مرکز محیط فعال ۳۸۵/۵ کلوین به دست آمد که بیانگر اختلاف دمای سطح و مرکز ۸۷/۵ درجه است.

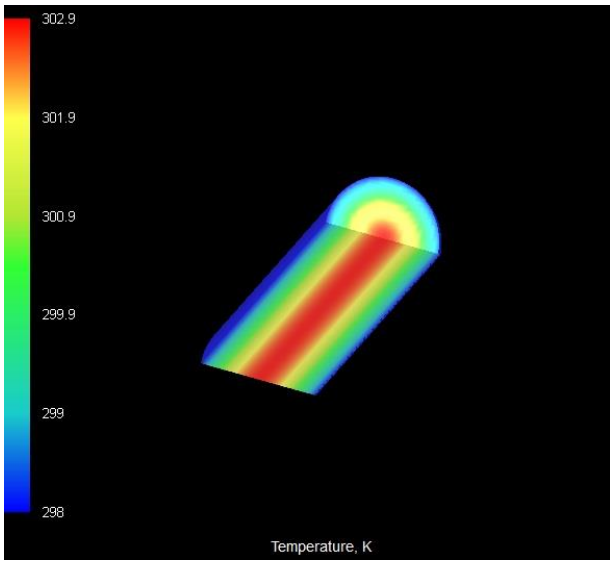


شکل ۳: توزیع حرارتی Nd:YAG شبیه‌سازی‌شده با نرم‌افزار LASCAD

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]

در شکل۴ نتیجه شبیه‌سازی برای محیط فعال مایع نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی دمای مرکز محیط فعال ۳۰۲/۹ کلوین به دست آمد که بیانگر اختلاف دمای سطح و مرکز ۴/۹ درجه است. این نتیجه نشان‌دهنده گرادیان دمایی بسیار پایینتر ناشی از رسانندگی حرارتی بهتر محیط فعال مایع نسبت به Nd:YAG است.



شکل ۴: توزیع حرارتی محیط فعال مایع حاوی نانو ذرات Nd_2O_3، پراکنده‌شده در دی متیل سولفوکسید d_6 با نرم‌افزار LASCAD

نتیجه‌گیری

به کارگیری محیط فعال لیزری مایع تشکیل‌شده از ذرات مواد لیزری حالت‌جامد موضوع جدیدی است که مطالعات پژوهشگران حوزه لیزر را به خود جلب کرده است. در این مقاله انتقال حرارت محیط فعال لیزری مایع و محیط فعال لیزری حالت‌جامد شبیه‌سازی گردید که نشان‌دهنده انتقال حرارت خوب محیط فعال لیزری مایع نسبت به محیط فعال لیزری حالت‌جامد می‌باشد و این محیط می‌تواند به‌عنوان راه‌حل جدیدی برای مشکلات حرارتی لیزرهای پرتوان مطرح گردد.

مرجع‌ها

[1] Y. Tzuk, C. Goren and etal, *Flashlamp-pumped nanoparticle dispersion laser*, Soreq NRC, 2015.

[2] O. A. Burdukova, V. A. Konyshkin, *Laser with the slurry active medium*, Laser Phys, No. 15, 2018.

[3] J. W. Stouwdam, F. Van Veggel, *Near infrared emission of redispersible Er3+, Nd3+ and Ho3+ doped LaF3 nanoparticles*, Nano Lett, No. 2, pp. 733–737, 2002.

[4] R. D. Morgan, J. W. Keto, T. Ditmire, *Colloidal nanoparticles: a promising gainmedium for high average power laser*, J. Opt, No. 11, 2011.

[5] Yu. Rongbiao, Yu. Kehan, *Nd2O3 Nanoparticles Modified with a Silane Coupling Agent as a Liquid Laser Medium*, No. 19, 2007.

[6] Y. Tzuk, C. Goren and etal, *Nanoparticle dispersion laser*, Applied Physics Division, 2012.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-16]