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

بررسی و تصحیح عدسی گرمایی در حین تقویت میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی به وسیله دو مرحله تقویت کننده‌ی فلش لامپی Nd:YAG

کاشی، پریسا[۱]؛ جندقی، مریم [۲]؛ نحوی فرد،الهه [۱]؛سلیمیان ریزی، سعید[۲]

[۱] بخش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) قزوین

[۲] مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

چکیده - در این مقاله عدسی شدگی گرمایی در حین تقویت میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی به وسیله دو تقویت کننده Nd:YAG دمش شده با لامپ فلش و تصحیح آن، گزارش می‌شود. میکرولیزر مورد استفاده در این پروژه، تپ‌هایی با انرژی ۸ میکروژول و پهنای 800 ps در نرخ تکرار 2KHz و با فاکتور کیفیت باریکه M2<1.3 تولید می کند. تپ‌های خروجی میکرولیزر بوسیله ی دو مرحله تقویت کننده فلش‌لامپی Nd:YAG تا انرژی تپ 12mj و قله توان15MW در نرخ تکرار 1-10 Hz تقویت شده است. در حین تقویت مهم ترین پارامتر مخرب سیگنال موجب کاهش شدت پرتو می‌گردد. نتایج تصحیح تجربی با نتایج شبیه سازی و داده های تئوری به خوبی مطابقت دارد.

کلید واژه- توزیع دما- استرس های گرمایی- اثرات فوتوالاستیکی- عدسی شدگی گرمایی

Investigation and correction of thermal lensing during amplification of passively Q switched micro lasers with two stages flash lamp Nd:YAG amplifier

Kashi, Parisa[1]; Jandaghi, Maryam[2]; Nahvifard, Elahe[1]; Salimian rizi,saeid[2]

[1] Department of Physics, Imam Khomeini international university, Qazvin,

[2] Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran

Abstract- In this paper the effect of thermal lensing during amplifying of passively Q switched micro lasers by two flash lamp side pumped NdYAG is reported. The micro laser generates pulses of 8-μJ energy and 800-ps duration at 2-kHz repetition rate with beam quality factor, M2<1.3. The micro laser pulse was amplified up to 12-mJ energy and 15MW peak power at 1-10 Hz repetition rate in a two-stage flash-pumped Nd:YAG amplifier. During amplification, the most imortant signal distortion parameter will occur and cause to reduce the intensity of the beam. In addition, presented experimental results have a very good concurrence with theoretical data.

Keywords: Temperature distribution, Thermal stresses, Photo-elastic effects, Thermal lensing

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

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

مقدمه

استفاده از میکرو لیزرهای سوئیچ Q انفعالی به دلیل کاربرد گسترده شان در اپتیک غیر خطی، میکروماشین کاری لیزری، جراحی های دقیق و زمینه های دیگر که نیاز به تپ‌های فوق کوتاه با توان قله و نرخ تکرار بالا دارند، رواج یافته است. این میکرولیزرها دارای طرح تشدیدگر بسیار ساده می باشند. با وجود کاربردهای مختلف، این نوع لیزرها دارای محیط بهره کوچکی می باشند که همین عامل سبب تولید انرژی کم و در مرتبه میکروژول است.[1] از روش های مختلفی می توان انرژی خروجی این میکرولیزرها را تقویت نمود. از میان انواع روش ها، تقویت کننده های فلش لامپی علیرغم افزایش انرژی خروجی قابل توجه، معایبی نیز دارند که از آن جمله به تولید گرمای بسیار زیاد می‌توان اشاره کرد. تغییرات دمایی ایجاد شده در کریستال تقویت کننده عواملی را بوجود می آورد که در نهایت منجر به تخریب شکل تپ و یا تضعیف تپ خروجی می‌گردد. در این پروژه برای افزایش انرژی تا ۱۰۰۰ مرتبه بالاتر، از تقویت کننده های فلش لامپی استفاده کرده و نیز تخریب هایی که طی تقویت میکرولیزر رخ می‌دهند، گزارش می‌شود.

بررسی نظری

اثرات شش گانه مخرب فضایی شامل دمش انفعالی غیر یکنواخت، غیر یکنواختی ماده فعال، اشباع محیط بهره، اثرات پراش، شاخص غیر خطی و انحراف های گرمایی مهم ترین نقش را در ایجاد اثرات تخریبی تپ دارند. انحراف های گرمایی و در واقع توزیع دمایی درون ماده فعال هر تقویت کننده موجب می شود تا پرتوهای عبوری از این ماده مسیرهای نوری متفاوتی را طی کنند در نتیجه ماده فعال، خود مانند یک عدسی رفتار می کند و پرتوهای نوری را درون خود همگرا کرده و نور خروجی از تقویت کننده عملا شدت کمتری خواهد داشت. فرآیندهایی که موجب ایجاد عدسی شدگی گرمایی می شوند، عبارتند از: وابستگی ضریب شکست محیط ماده فعال به دما، استرس مکانیکی در سطح ماده و اثرات فوتوالاستیکی می‌شود که در نهایت این اثرات فاصله کانونی عدسی گرمایی ایجاد شده را تعیین می‌کنند. بنابراین فاصله کانونی برابر خواهد بود با :

$$f = \frac{KA}{P_h}\left(\frac{1}{2}\frac{dn}{dT} + \alpha C_{r,\varphi} n_0^3 + \frac{\alpha r_0 (n_0-1)}{l}\right)^{-1} \quad (۱)$$

که K رسانش گرمایی، A مساحت راد، Ph گرمای تلف شده در کریستال تقویت کننده، dn/dT توزیع دما، α ضریب انبساط گرمایی، $n0$ ضریب شکست، $r0$ شعاع کریستال و در نهایت $C\varphi$ و Cr ضرایب فوتوالاستیکی راستای شعاعی و مماسی نور قطبیده می‌باشد. بنابراین ماده فعال تقویت کننده بصورت یک عدسی دو کانونی عمل می کند و برای پرتوهای نوری با قطبش هایی در راستای شعاعی و مماسی فاصله کانونی های متفاوتی ایجاد می شود. نسبت این دو فاصله کانونی برای کریستال $Nd:YAG$ برابر ۱,۲= $\frac{f_\varphi}{f_r}$ می‌باشد. [2] جهت حصول مقدار فاصله کانونی میبایست هر یک از سه ترم معادله ۱ محاسبه گردد. اولین ترم معادله که مربوط به وابستگی ضریب شکست محیط ماده فعال به دما است، که بیشترین نقش را در تعیین مقدار فاصله کانونی عدسی شدگی گرمایی دارد. برای دستیابی به مقدار آن، باید معادله گرمایی برای کاواک تقویت کننده حل شود. مقدار گرمای تلف شده با حل معادله گرما بدست می‌آید. معادله گرمایی در مختصات استوانه‌ای برابر خواهد بود با:

$$K\nabla^2 T(\vec{r}\times t) - \rho c\frac{\partial T(\vec{r}\times t)}{\partial t} = Q(\vec{r}\times t) \quad (۲)$$

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

در این معادله K رسانش گرمایی کریستال، ρ چگالی و C ظرفیت گرمای ویژه و Q گرمای ایجاد شده می‌باشد. [4] برای حل معادله ۲ در حالت ناپایدار، باید شرایط مرزی را در نظر گرفت که بتوان ضریب انتقال گرما، دما در دیواره های میله و دمای محیط را اعمال کرد. معادله شرط مرزی به این صورت است که:

$$-K\vec{n}.\nabla\vec{T})_{boundry} = h(T_W - T_\infty) + \varepsilon\sigma(T_W^4 - T_S^4) \qquad (۳)$$

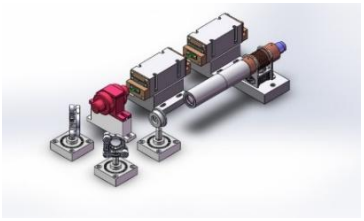
که در این معادله n بردار نرمال، $h(W/m^2K)$ ضریب انتقال گرما، ε ضریب گسیلنده از سطح و σ ثابت بولتزمن می باشد. T_s و T_w دمای سیال دور محیط،دمای دور و دمای سطح دیواره های میله هستند.[4,5] با اعمال شرایط مرزی و حل معادله گرما، توضیع دمایی بدست میاید که با استفاده از آن می توان اختلاف فاز تزیع دمایی وابسته ب ضریب شکست را طبق فرمول زیر تعیین و سپس فاصله کانونی ناشی از وابستگی ضریب شکست به محیط ماده فعال تقویت کننده بدست آید.[5,6]

$$\Delta\phi(r,t)_T = K\int_0^l \Delta n(r,T)_T dz \qquad (۴)$$

$$f = -\frac{Kr^2}{2\Delta\phi} \qquad (۵)$$

چیدمان تجربی

میکرو لیزر استفاده شده در این پروژه میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی است که از طریق جاذب اشباع پذیر تپی شده، باریکه خروجی میکرولیزر که دارای انرژی ۸ میکروژول و پهنای زمانی ۸۰۰ پیکوثانیه است توسط یک پرتو گستر پهن می‌شود تا همپوشانی آن با محیط بهره افزایش یابد. سپس این باریکه که دارای قطبش خطی نیز می‌باشد، از یک تیغه‌ی نیم موج عبور می‌کند تا محور قطبشش منطبق با محور قطبش ورودی جداساز شود. این میکرولیزر تپ‌هایی با انرژی ۸ میکروژول و پهنای تپ ۸۰۰ پیکوثانیه در نرخ تکرار۲کیلوهرتز و با کیفیت باریکهٔ M^2 کمتر از ۱,۳ تولید می‌کند.

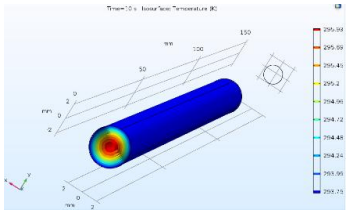


شکل۱: چیدمان سیستم تقویت کننده فلش‌لامپ میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود برای تقویت این میکرولیزرها تا مرتبه میلی ژول از دو طبقه تقویت کننده استفاده شده که هریک، از یک میله Nd:YAG ۱,۱ درصد اتمی با قطر ۵ میلی‌متر و طول ۱۲۰ میلی‌متر که توسط یک لامپ زنون به طول آرک ۹۶ میلی‌متر و قطر بور ۵ میلی‌متر از کنار دمش می‌شوند و در یک محفظه‌ای از جنس سرامیک (بازتابنده پخشی) قرارگرفته، تشکیل شده است. برای جلوگیری از اثرات گرمایی ناشی از این دو تقویت کننده و ضعیف کردن عدسی ایجاد شده راهکارهای مختلفی وجود دارد که از جمله آن می توان به روش پایین نگه داشتن دمای کار با استفاده از خنک کننده کننده، عدسی واگرا کننده و المانی با dn/dT منفی استفاده کرد. در این چیدمان به دلیل بالا بودن توان تقویت کننده ها از موثر ترین روش یعنی خنک سازی با چیلرآبی استفاده می‌شود. بدین صورت که خنک کننده ای با حداکثر توان ۱,۵ کیلو وات قرار می‌دهیم. جریان آب با دمای ۱۹ درجه سانتی گراد منجر به گرادیان دمایی حداکثر ۴ درجه ای بین مرکز تا سطح راد می‌گردد که عدسی گرمایی ضعیفی را بوجود می‌آورد. با توجه به این مساله که در این چیدمان در هر ثانیه ۴۰ ژول انرژی تولید می شود و سیستم بسیار سریع داغ می شود، نمی توان آن را بدون اعمال راهکار خنک سازی روشن نمود، بنابراین محاسبات عدم اعمال و نیز اعمال راهکار خنک سازی ابتدا در شبیه سازی و با شرط مرزی نویمن انجام می گردد. در شکل زیر مشاهده می گردد که با اعمال خنک سازی در حین دمش توزیع دمایی صورت گرفته از مرکز تا سطح کریستال نهایتا ۴ درجه سانتی گراد خواهد بود.

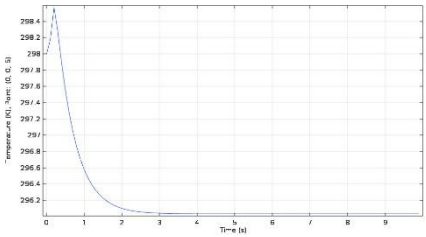
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]



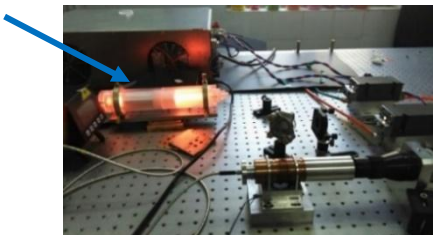
شکل۲: شبیه سازی توزیع دمایی در میله تقویت کننده Nd:YAG با اعمال خنک ساز.

توزیع دما از مرکز تا سطح میله لیزری برای هر تقویت کننده در نمودار زیر برای ۱۰ ثانیه رسم شده است.



شکل۳: اختلاف دمای از مرکز تا سطح راد برای مدت ۱۰ ثانیه .

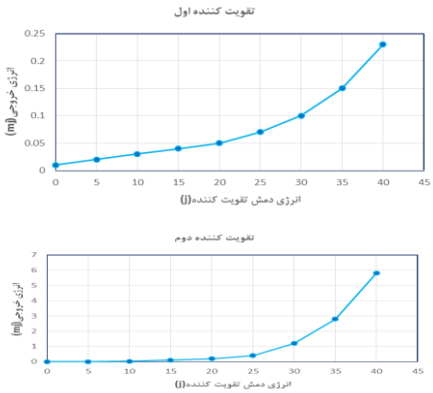
با استفاده از نتایج شبیه سازی عدسی گرمایی و اعمال دو ترم دیگر معادله ۱، فاصله کانونی برابر با ۲,۴متر محاسبه می‌شود. این عدد در واقع میانگین فاصله کانونی ها برای دو قطبش متفاوت است. حال برای بررسی عدسی شدگی بصورت تجربی، لیزر هلیم-نئون را مطابق شکل ۴ در مقابل یک تقویت کننده قرار می‌دهیم. با عبور پرتوی هلیم – نئون، نور در فاصله‌ی حدودا ۲,۶۰ متری از تقویت کننده بر روی صفحه هدف متمرکز شد. برای بررسی دقیق‌تر متمرکز شدن این پرتو، مولفه آن در پرتونگار x و y آن در پرتونگار پروفایل بررسی شد.



شکل۴: تعیین فاصله کانونی توسط لیزر هلیم-نئون

نتیجه‌گیری

اثرات گرمایی در تقویت کننده های لیزری حالت جامد موجب ایجاد اثر تخریبی گرمایی و در نهایت تغییر شکل پروفایل پالس تضعیف پرتو گردد. در این مقاله ضمن بررسی اثراتی که منجر به تولید عدسی گرمایی می‌شوند، فاصله کانونی عدسی گرمایی پس از اعمال راهکار خنک سازی محاسبه شد.همچنین مشخص شد که نتیجه تصحیح تجربی با نتیجه شبیه سازی و داده های تئوری به خوبی مطابقت دارد و در انتها پالس ۸ میکروژولی میکرولیزر با دو مرحله تقویت توسط کریستال های Nd:YAG به۹ میلی ژول می رسد.



شکل۵: مقدار انرژی خروجی پالس تقویت شده در تقویت کننده اول و دوم

سپاسگزاری

از مدیران و همکاران مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران که به هر نحوی مرا در انجام این پژوهش یاری کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می نمایم.

مرجع‌ها

[1]سلیمیان ریزی، سعید. جندقی، مریم. علیپور، سمیرا. محمدظاهری، زهرا(1395)طراحی و ساخت سیستم تقویت کننده میکرولیزر سوییچ Qانفعالی *Nd:YAG/ Cr:YAG*تا قله توان *15MW*"کنفرانس فیزیک،شیراز

[2] Koechner.W,(1970).'Thermal lensing in a Nd:YAG rod'. Journal of applied physics. Vol.9/ No. 11.

[3] Shibib. Kh.S, Minshid.M.A, Alattar.N.E. (2011).'Thermal and stress analysis in Nd:YAG laser rod with different double end pumping methods'.Thermal science,vol.15, suppl.2.pp.399-407.

[4]. Weber.R, Neuenschwander, [4] Weber.H.P (1999),' Thermal effects in solid-state laser materials'. Optical materials 11, 245-254.

[5] Keshavarz.A, Honarsara.G, Alamfard.T, (2011),' Temperature distribution and thermal lensing in a flash lamp pumped Nd:YAG laser'Proc.of SPIE vol.7747 77471A-A

[6]. Koechner.W,(1973).' Transient thermal profile in optically pumped laser rods'.Journal of applied physics. Vol.44/ No.7.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]