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

طراحی تشدیدگر تلسکوپی کاو-کوژ جهت بهبود کیفیت باریکه لیزر حالت جامد Nd:YAG

مریم گلی حسنلو[۱]، مهدی شایگان منش [۱]،داوود رزاقی[۲]

[۱] دانشکده فیزیک. دانشگاه علم و صنعت ایران. نارمک. تهران. ایران

[۲] پژوهشکده فتونیک و فن آوری های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، صندوق پستی،11155-3486

چکیده – در این مقاله طراحی تشدیدگر تلسکوپی به منظور ایجاد حجم مدی بالا معرفی شده است. ما طراحی تشدیدگر را به کمک معادلات باریکه گاوسی به گونه‌ای انجام داده‌ایم که تغییرات فاصله کانونی میله لیزر ناشی از گرمای ناخواسته کمترین تأثیر را در حجم مد TEM_{00} داشته باشد. ما ویژگی‌های تشدیدگر تلسکوپی در لیزر Nd:YAG را بررسی کرده و طراحی لازم جهت بیشینه کردن مد TEM_{00} را انجام داده‌ایم، نتایج نشان می‌دهد برای حالتی که $g_1{}^* \times g_2{}^* = \frac{1}{2}$ است، قطر لکه مستقل از شعاع انحنای آینه‌ها است. سپس به کمک روش ماتریس ABCD حجم مد را محاسبه کردیم.

کلید واژه- تشدیدگر پایدار تلسکوپی، لنز حرارتی، لیزر Nd:YAG، ماتریس ABCD،حجم مدTEM_{00}

Stable telescopic resonator convex-concav for improvement of Nd:YAG solid-state laser beam quality

[1]Goli Hasanlo Maryam ,[1]Shayganmanesh Mahdi، [2]Razzaghi Davood

[1]Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran Iran

[2]Photonics and Quantum Technologies Research School, NSTRI, 11155-3486, Tehran, Iran

Abstract– - In this paper, telescopic resonator is introduced which is a valuable design due to creating a high mode volume. We designed the resonator based on the Gaussian beam theory in such a way that the change in focal length of the laser rod due to unwanted heat and telescope defocusing have the least effect on the TEM_{00} mode volume. we properties of the telescopic resonator in a Nd:YAG laser has been investigated and the TEM_{00} mode is maximized. the results show that for $g_1{}^* \times g_2{}^* = \frac{1}{2}$, the spot size is independent of the mirrors'curvature radius.We calculated with ABCD matrix in order to achieve the mode volume.

Keywords: Stable telescopic resonator, thermal lensing, Nd:YAG laser, ABCD matrix, volume mode TEM_{00}

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]

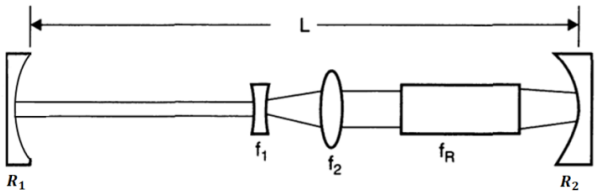
مقدمه

یکی از روش‌های پرکاربرد در طراحی تشدیدگر روش ماتریس ABCD است[۱]. در این روش ویژگی‌المان‌های اپتیکی به صورت ماتریس نشان داده می‌شود[2]. طراحی تشدیدگر به گونه‌ای انجام می‌شود که تاثیر تغییرات حرارتی فاصله کانونی میله لیزر را کاهش دهد[3] . در روش ABCD در تشدیدگر تلسکوپی با استفاده از تقریب لنز نازک برای عدسی‌ها [4] و با توجه به اثرات گرمایی ناخواسته محیط فعال [5] ماتریس انتقال تمام عناصر اپتیکی محاسبه شده و تشدیدگر تلسکوپی طراحی و تحلیل شده است و نتایج با تشدیدگر بدون تلسکوپ مقایسه شده است[6].در سال ۱۹۶۹ برای اولین بار Krupke و Sooy مطالعاتی در رابطه با تشدیدگر تلسکوپی انجام دادند، در سال ۱۹۸۱ Hanna در رابطه با این تشدیدگر بیان کرد که این تشدیدگر به‌دلیل قابلیت تنظیم تلسکوپ، برای افزایش قطر لکه TEM_{00} عملکرد خوبی دارد [۲]. در سال Sarkies۱۹۷۹ انرژی خروجی تشدیدگر تلسکوپی را محاسبه کرده و با تشدیدگر بدون تلسکوپ مقایسه کرد و نشان داد می‌توان با تنظیم تلسکوپ میزان انرژی تشدیدگر را افزایش داد[۷].

ما در این مقاله با محاسبه حجم مد تشدیدگر تلسکوپی برحسب مقدار غیرکانونی تلسکوپ، افزایش حجم مد را در اثر حضور تلسکوپ در تشدیدگر نشان می‌دهیم.

معرفی تشدیدگر تلسکوپی

از دلایل به‌کارگیری تلسکوپ در تشدیدگر می‌توان به دو ویژگی آن اشاره کرد:۱) تنظیمات تلسکوپ این اجازه را به ما می‌دهد که به راحتی اثرات لنز حرارتی را کنترل کنیم. ۲) لکه روی میله لیزری را بزرگ کرده و در عین حال از تشکیل لکه خیلی کوچک بر آینه جلوگیری می‌کند که عملکرد خوب لیزر را بیان می‌کند. سیستم لیزری مورد نظر شامل دو آینه کاو و کوژ، تلسکوپ عبوری و محیط فعال Nd:YAG به صورت میله است که در شکل (۱) آمده است.



شکل۱ : چیدمان ازمایشگاهی تشدیدگر تلسکوپی[2],[5],[۶]

عدسی‌های تلسکوپ با فاصله کانونی f_1 و f_2 با فاصله $d+\delta$ ($d=f_1+f_2$و δ مقدار غیرکانونی تلسکوپ) از هم قرار دارند[۶].

برای میله لیزر Nd:YAG به طولده سانتی‌متر و شعاع سه میلی‌متر ،مقدار فاصله کانونی را محاسبه کردیم.با رسم نمودار تغییرات قطر لکه در مرکز میله لیزر نقطه پایدار دینامیکی در نزدیکی فاصله ۴۰ سانتی‌متری بدست آمد که اگر فاصله کانونی به کم‌تر از ۲۰ سانتی‌متر برسد،تشدیدگر ناپایدار خواهد شد.

تئوری تشدیدگر تلسکوپی

با در نظر گرفتن تلسکوپ به‌عنوان دو عدسی با فاصله $d+\delta$، ماتریس تلسکوپ را به صورت زیر می نویسیم.[1]

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{f1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d+\delta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{f2} & 1 \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

با ضرب ماتریس‌های انتقال پرتو قطعات اپتیکی تشدیدگر، ماتریس یک رفت و برگشت کامل تشدیدگر حاصل می‌شود که به کمک مولفه‌های آن، طبق رابطه (۲) شرط پایداری بیان می‌شود [5]:

$$-1 < \frac{A+D}{2} < 1 \qquad (۲)$$

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]

در تشدیدگرهای فعال شامل لنز حرارتی رابطه (3) به صورت رابطه (۳) بیان می شود که g_1^* و g_2^* پارامترهای تعمیم یافته g_1 و g_2 هستند[6]:

$$0 < g_1^* g_2^* < 1 \qquad (۳)$$

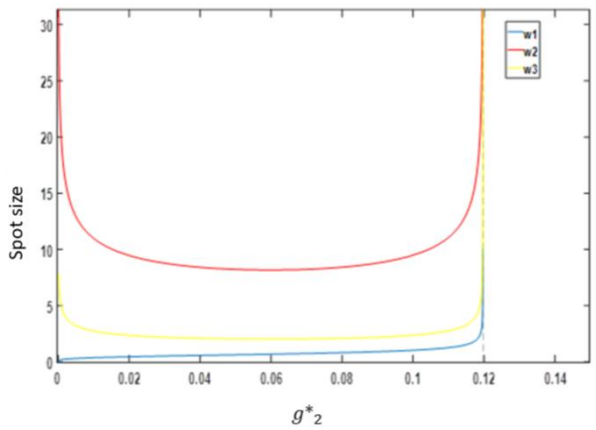
Hanna به کمک دو پارامتر g_1^* و g_2^* محاسبات تئوری تشدیدگر را انجام داد.در تشدیدگر خطی شعاع باریکه ω_2 برحسب g_1^* و g_2^* به صورت زیر است[5],[6] :

$$\frac{\pi\omega_2^2}{\lambda} = L\left(\frac{g_1^*}{g_2^*(1-g_1^* g_2^*)}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۴)$$

از معادله (۴) مشخص است که شعاع باریکه ω_2 به پارامتر g_1^* و g_2^* وابسته است. از رابطه (۴) تغییرات $\frac{dw_2}{w_2}$ نسبت به $\frac{dg_2{}^*}{g_2{}^*}$ را محاسبه کرده و استنباط شد که اگر حاصل‌ضرب $g_1{}^* g_2{}^*$ برابر $\frac{1}{2}$ شود، شعاع باریکه ω_2 نسبت به نوسانات $g_2{}^*$ مستقل می‌شود.

Hanna به کمک معادله(۴) منحنی شعاع انحنای باریکه ω_2 را در ناحیه پایداری رسم کرده و ناحیه‌ای که شعاع انحنای باریکه ω_2 حساسیت کمتری نسبت به پارامترهای تشدیدگر دارد را به‌دست آورد،نتایج نشان داد در ناحیه‌ای که $g_1^* > 1$ است، شعاع باریکه ω_2 نسبت به تغییرات g_1^* و g_2^* حساسیت کمتری دارد[۶].برای اینکه $g_1^* > 1$ باشد لازم شد R_1 منفی باشد، یعنی به کارگیری آینه محدب و از اینرو برای حفظ شرط $g_1^* \times g_2^* = \frac{1}{2}$، g_2^* باید کوچک‌تر از یک، یعنی باید R_2 مثبت و آینه مقعر باشد[۵ و۶].

دو شرط اساسی که برای طراحی تشدیدگر تلسکوپی در این تحقیق بیان شد: ۱) بررسی شرط پایداری که نتیجه آن $g_1^* \times g_2^* = \frac{1}{2}$ بود ۲) $g_1^* > 1$ و $g_2^* < 1$. توسط کدنویسی در MATLAB مولفه‌های ماتریس انتقال پرتو را به‌دست آورده و شرایط مذکور را بر مؤلفه‌ها اعمال کردیم. شعاع انحنای آینه ها و فاصله قطعات اپتیکی از هم در تشدیدگر تلسکوپی را به کمک دو شرط بالا در ناحیه پایداری بدست آوردیم و شعاع باریکه ω_1 روی آینه اول، شعاع باریکه ω_2 روی آینه دوم و شعاع باریکه ω_3 روی عدسی شیء تلسکوپ را با ثابت درنظر گرفتن شعاع انحنای آینه اول و بزرگنمایی تلسکوپ به صورت شکل(۲) برحسب میلی‌متر به دست آوردیم.



شکل ۲ : رسم شعاع انحنای باریکه ω_1, ω_2, ω_3 بر حسب g_2^*

محاسبه حجم مد در تشدیدگر تلسکوپی

از پارامترهای تعیین‌کننده در توان خروجی تشدیدگر، حجمی از محیط فعال است که توسط مد TEM_{00} پر می‌شود.در ابتدا به کمک رابطه (۵) شعاع باریکه ω_2 را به کمک مولفه‌های ماتریس بر حسب پارامترهای f_{th}، δ و z نوشته و سپس حجم مد را طبق رابطه (۶) بر حسب پارامترهای f_{th} و δ به دست آوردیم[۵]،[۸]:

$$\omega^2 = \left(\frac{2\lambda B}{\pi}\right) / \sqrt{4-(A+D)^2} \qquad (۵)$$

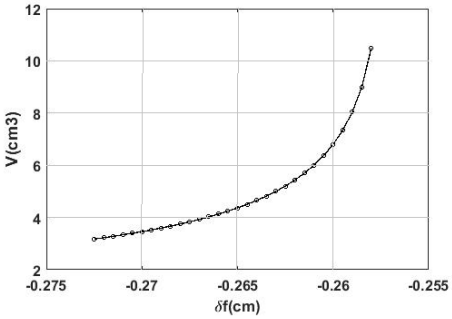
$$V_{00} = \iint_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} e^{\frac{-2r^2}{w^2(z)}} 2\pi r dr dz \qquad (۶)$$

بازه انتگرال روی محیط فعال گرفته می‌شود. برای تشدیدگر شکل (۱) در محیط فعال محل z=0 را مشخص کرده و براساس این مکان، ماتریس‌های انتقال پرتو را برحسب z می‌نویسیم [۱].برای مقدار معین فاصله کانونی لنز حرارتی، انتگرال معادله (۶) برحسب δ حل می‌شود که

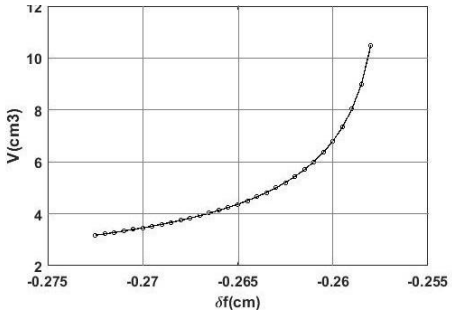
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]

نتایج آن را بـرای فاصـله کـانونی بـا دو مقـدار ۴۰۰و ۴۵۰ سانتی‌متر در دو نمودار (۳) و (۴) آورده‌ایم.



شکل ۳ : نمودار حجم مد برحسب δ برای فاصله کانونی لنز حرارتی ۴۰۰ سانتی متر



شکل ٤ : نمودار حجم مد برحسب δ برای فاصله کانونی لنز حرارتی ۴۵۰ سانتی متر

نتیجه‌گیری

طبق نمودارهای حجم مد بر حسب مقدار δ که برای فاصله‌های کانونی متفاوت لنز حرارتی رسم شد، با افزایش فاصله کانونی لنز حرارتی و کاهش مقدار δ می‌توان به بیشینه حجم مد رسید. در واقع رابطه بین فاصله کانونی لنز حرارتی و δ به‌صورت تابع هموگرافیک است. طراحی ما به گونه‌ای بوده که به ازای ماکسیمم و مینیمم مقدار غیرکانونی تلسکوپ، پایداری تشدیدگر نیز حفظ شود.

مرجع‌ها

[1] Verdeyen, J.T., *Laser electronics.* Laser electronics/۲nd edition/, by JT Verdeyen, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, ۱۹۸۹, ۶۴۰p., .۱۹۸۹

[2] Hanna, D., C. Sawyers, and M. Yuratich, *Large volume TEM ۰۰mode operation of Nd: YAG lasers.* Optics Communications, ۱۹۸۱. ۳۷(۵): p. ۳۶۲-۳۵۹.

[3] Iffländer, R., *Solid-state lasers for materials processing: fundamental relations and technical realizations*. Vol. ۷۷. ۲۰۱۲: Springer.

[4] TAŞAL, E. and M.S. KILIÇKAYA, *Relations for Different Resonators of Nd: Glass and Nd: YAG Lasers.* Turkish Journal of Physics, ۲۰۰۲. ۲۶(۲): p. .۱۲۰-۱۰۹

[5] Koechner, W. and M. Bass, *Solid-State Lasers: A Graduate Text*. ۲۰۰۶: Springer Science & Business Media.pp.

[6] Hanna, D., C. Sawyers, and M. Yuratich, *Telescopic resonators for large-volume TEM۰۰-mode operation.* Optical and Quantum Electronics , :(۶)۱۳ .۱۹۸۱p. .۵۰۷-۴۹۳

[7] Sarkies, P., A stable YAG resonator yielding a beam of very low divergence and high output energy. Optics Communications, ۱۹۷۹. ۳۱(۲): p. .۱۹۲-۱۸۹

[8] Hodgson, N. and H. Weber, *Laser Resonators and Beam Propagation: Fundamentals, Advanced Concepts, Applications*. Vol. ۱۰۸. ۲۰۰۵: Springer

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-08-01]