بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

طراحی و ساخت لیزر پیوسته $Nd:YVO_4$ با خروجی ۵ وات

امید پناهی، علیرضا مجتبی، امین احمدی، علی شیری، سید مهدی موسوی و حمید نادگران

گروه فیزیک دانشگاه شیراز

چکیده - در این مقاله طراحی و ساخت یک لیزر دمش طولی $Nd:YVO_4$ گزارش شده است. در این لیزر محیط فعال کریستال $Nd:YVO_4$ می‌با شد که توسط یک لیزر دیود جفت شده با فیبر که دارای طول موج ۸۰۸ نانومتر است دمش می شود. در طراحی این تشدیدگر تاثیر عدسی گرمایی در توان های بالای پمپ بصورت کامل لحاظ شده است. یک توان خروجی ۵ وات با مد خروجی TEM_{00} در طول موج لیزری ۱۰۶۴ نانومتر به ازای توان پمپ ۱۴،۷ وات از این چیدمان ثبت گردید، که بیانگر بازدهی ۳۶٪ این چیدمان می باشد.

کلید واژه- دمش طولی،.کریستال $Nd:YVO_4$، عدسی گرمایی

Design and Construction of Continuous Wave $Nd:YVO_4$ Laser with 5W Output

Omid Panahi, Alireza Mojtaba, Amin Ahmadi, Ali Shiri, Seyed Mehdi Mousavi and Hamid Nadgaran

Physics Department of Shiraz University

Abstract- This paper reports a longitudinally pumped $Nd:YVO_4$ laser. An a-cut $Nd:YVO_4$ crystal is the active media at this laser, that is pumped by a fiber coupled diode laser at 808nm wavelength. The effect of thermal lensing at high power pumping is considered in resonator designing. By 14.7W input power, the 5W output power and TEM_{00} profile at 1064nm wavelength is achieved. The efficiency of this setup is about 36%.

Keywords: Longitudinal pumping, $Nd:YVO_4$ crystal, Thermal lensing

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

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

۱- مقدمه

لیزرهای حالت جامد دمش از انتها با توان بالا به دلیل دارا بودن باریکه خروجی با کیفیت و در عین حال کوچک و کم حجم، در علم و صنعت کاربردهای فراوانی دارند. در این نوع دمش، لیزرهای دیودی جفت شده با فیبر با پروفایل دایروی و توان بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. به این منظور، باریکه خروجی از فیبر توسط یک سیستم متمرکز کننده اپتیکی روی بلور لیزری کانونی می‌شود. بهینه سازی اندازه لکه مد دمشی در این نوع لیزرها قبلا مورد بررسی قرار گرفته است[1].

در این میان، لیزرهای با محیط فعال آلاییده به یون Nd، مانند لیزرهای Nd:YAG و$Nd:YVO_4$ به دلیل داشتن درجه همپوشانی فضایی بالا بین مدهای لیزری و دمشی، امکان تولید توان خروجی بالا، بازده تبدیل نوری به نوری خوب و عملکرد مناسب در مد TEM_{00} بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند[2]. بلور $Nd:YVO_4$ به دلیل آستانه لیزری پایین، سطح مقطع گسیل القایی بزرگ، ضریب جذب بالا به همراه طیف جذبی پهن و خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی خوب، بیشترین استفاده را دارا است[1].

در لیزرهای حالت جامد دمش از انتها، چون جذب نور دمشی به صورت ناهمگن در طول بلور لیزری صورت می‌گیرد، گرادیان دمایی شدیدی در محیط فعال ایجاد می‌شود. در اثر این گرادیان دما و به دلیل وابستگی ضریب شکست محیط به دما، یک اختلاف راه نوری (OPD) در محیط القا می شود که به عدسی گرمایی موسوم است[5]. این اثرات اپتیکی - گرمایی به همراه تنشهای مکانیکی گرمایی که به بلور اعمال می شود عملکرد لیزر را در توان های بالا به شدت تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. بنابراین اولین مسئله در طراحی یک لیزر حالت جامد دمش از انتها بررسی کامل و جامع اثرات گرمایی و تا حد ممکن از بین بردن این اثرات می‌باشد

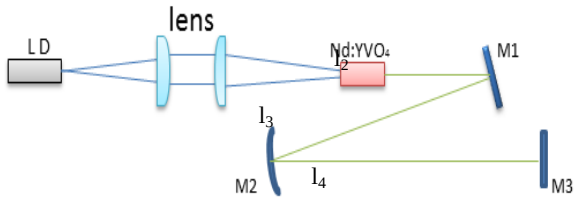
۲- معرفی کریستال $Nd:YVO_4$

محیط فعال در این مقاله کریستال $Nd:YVO_4$ می باشد. طول عمر تراز لیزری برای این کریستال ۹۰ میکروثانیه و سطح مقطع گسیل القایی برای حالت a-cut برابر $25 * 10^{-19}$ سانتیمتر مربع می باشد (چهار برابر کریستال Nd:YAG) و بیشینه جذب کریستال در طول موج ۸۰۸ نانومتر قرار دارد[1]. طیف جذبی و سطح مقطع گسیل القایی این کریستال به مراتب از کریستال Nd:YAG پهن‌تر و بزرگتر است که از جمله مزایای استفاده از این محیط لیزری نسبت به رقیب خود می‌باشد. هدایت گرمایی کریستال $Nd:YVO_4$ (۵W/m.K) در مقایسه با کریستال Nd:YAG (۱۴W/m.K) ضعیف می باشد که باعث می شود کریستال بعنوان یک عدسی گرمایی عمل کند، که این موضوع در ادامه بصورت کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- اثرات عدسی گرمایی

چیدمان برپا شده در این مقاله در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به اثرات عدسی گرمایی و وابستگی آن به توان پمپ، لازم است مشدد به گونه ای طراحی شود که در تمامی توان های پمپ (تا رسیدن به توان پمپ بیشینه) در ناحیه پایداری قرار داشته باشد. بدین منظور پایداری مشدد بر حسب عدسی گرمایی و فاصله ی بین آینه های M_2 و M_3 بهینه می شود. از این رو ماتریس ABCD را می توان در یک رفت و برگشت بصورت زیر نوشت[4] (کمیت ها در شکل (۱) نشان داده شده اند و l_1 فاصله بین نقطه کانونی شده پمپ در محیط فعال تا سطح وانادیت می‌باشد که در این چیدمان برابر با ۵ میلیمتر می‌باشد):

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/f_T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/f_T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

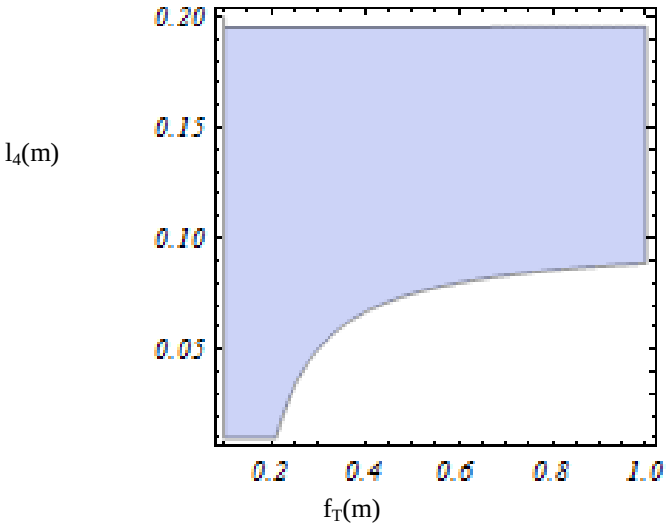


شکل ۱: چیدمان لیزر دمش از انتها $Nd:YVO_4$

با انتخاب آینه های M_1 و M_3 بصورت تخت ($R_1=\infty$ و $R_3=\infty$) و قرار دادن مقادیر $l_1=0.5cm$ ، $l_2=5.5cm$، $l_3=15cm$ و $R_2=20cm$ و در نظر گرفتن شرط پایداری $|A+D| \leq 2$ ، ناحیه پایداری بر

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

حسب طول l_4 و فاصله کانونی عدسی گرمایی بصورت زیر رسم شده است:

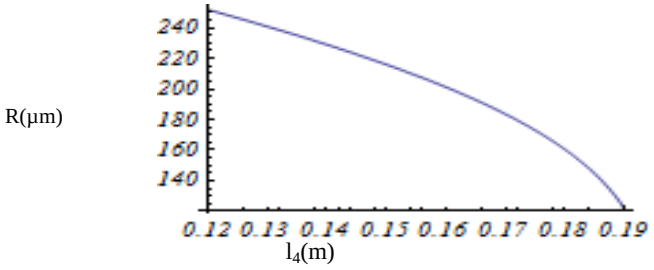


شکل ۲: طول بازوی l_4 بر حسب فاصله کانونی عدسی گرمایی با شرط پایداری مشدد لیزر

با توجه به نتایج شبیه سازی شده در مرجع [۶]، فاصله کانونی عدسی گرمایی کریستال استفاده شده در این چیدمان از رابطه (۲) به دست می‌آید و برای توان دمشی ۱ وات تا ۲۰ وات مقداری بین ۱ متر تا ۱۲۰ میلیمتر را داراست:

$$f_T = \frac{\pi K_c \omega_p^2}{P_{in}(dn/dT)} \frac{1}{1-exp(-\alpha l)} \qquad (2)$$

که K_c رسانندگی گرمایی، ω_p شعاع لکه پمپ، P_{in} توان پمپ، dn/dT آهنگ تغییرات دمایی ضریب شکست، α ضریب جذب در طول موج پمپ و l طول کریستال می‌باشد که برابر با ۱۰ میلیمتر است. همانطور که از شکل (۲) مشاهده می شود المان ها و فواصل به گونه ای انتخاب شده اند که در صورت انتخاب بازوی l_4 در محدوده ۸ تا ۱۹ سانتی متر مشدد برای عدسی گرمایی با فواصل کانونی مختلف (توان های پمپ مختلف) در ناحیه پایداری قرار می-گیرد. حال با توجه به این موضوع که قطر لکه لیزر به قطر لکه پمپ در محیط فعال لیزری می بایستی کمیتی نزدیک به واحد باشد[4] (تا بیشینه ی بازدهی حاصل شود) ، طول بازوی l_4 تعیین می شود. برای این منظور شعاع لکه لیزر درون کریستال واناداید بر حسب طول بازوی l_4 در شکل (۳) رسم شده است.



شکل ۳: شعاع لکه لیزری درون کریستال بر حسب l_4

با توجه به شکل (۳) و اینکه شعاع پرتو لیزر درون کریستال باید بیشترین همپوشانی را با ناحیه پمپ شده داشته باشد (از طریق شبیه سازی با نرم افزار زیمکس شعاع کمر پمپ درون کریستال برابر با ۲۵۰ میکرومتر به دست آمد) طول بازوی l_4، 16 سانتی متر انتخاب می شود.

۳- ۱- چیدمان تجربی

با توجه به کمیت های بدست آمده از نتایج تئوری، چیدمان آزمایشگاهی مطابق شکل (۱) برپا شد. مقادیر کمیت های تجربی در زیر نمایش داده شده اند:

l_1=5mm	l_2=55mm	l_3=150mm	l_4=160mm
R_1= ∞	R_2=200mm	R_3= ∞	

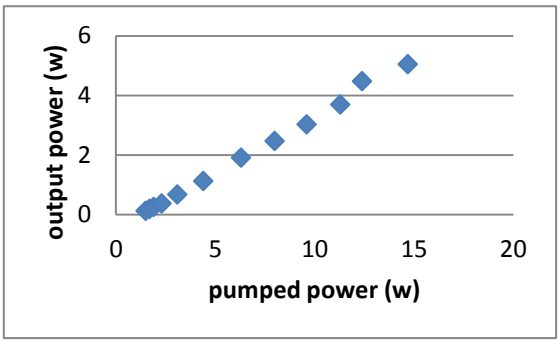
همانطور که از شکل (۱) مشاهده می شود نور لیزر دیود جفت شده با فیبر توسط یک مجموعه متمرکز کننده بر روی کریستال Nd:YVO_4 کانونی می شود. با توجه به اینکه بیشینه ی جذب کریستال واناداید در طول موج ۸۰۸ نانومتر می‌باشد و اینکه طول موج لیزر دیود به ازائ هر ۳ درجه سلسیوس ۱ نانومتر به سمت طول موج های بلند جابجا می‌شود می بایست دمای لیزر دیود توسط یک خنک ساز در دمای ثابت نگه داشته شود. کریستال واناداید بکار رفته در این چیدمان از یک سطح دارای لایه نشانی بازتاب کامل در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر و عبور بالا در طول موج پمپ ۸۰۸ نانومتر می باشد و سطح دیگر دارای لایه نشانی ضد بازتاب در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر می‌باشد. همچنین در این چیدمان از آینه خروجی ۲۰ درصد عبور استفاده شده است.

۳-۲- نتایج تجربی

در این لیزر که بصورت دمش از انتها پمپ شد توان پمپ آستانه ۱،۵ وات می باشد که به ازائ آن یک خروجی ۱۲۵ میلی وات بدست آمد. با افزایش توان پمپ تا ۱۴،۷ وات یک خروجی ۵ وات ثبت گردید که حاکی از بازدهی ۳۶ درصدی لیزر می‌باشد. نمودار

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

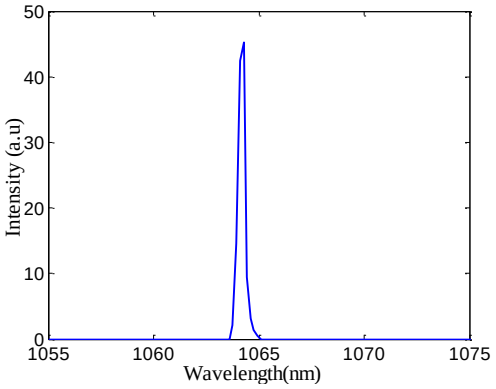
توان خروجی بر حسب توان پمپ ورودی در شکل (۴) رسم شده است:



شکل ۴: توان خروجی بر حسب توان پمپ ورودی

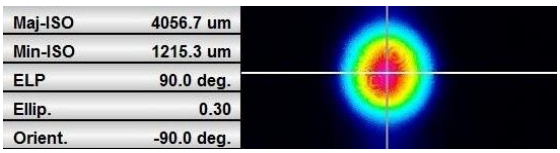
همانطور که در شکل (۴) مشاهده می شود به ازائ توان های پمپ مختلف (عدسی گرمایی متفاوت) مشدد بصورت کامل پایدار می باشد.

طیف خروجی این لیزر در شکل (۵) نمایش داده شده است:



شکل ۵: طیف خروجی لیزر

به دلیل اینکه پمپ بصورت طولی توسط یک لیزر دیود پیوسته که بشدت روی کریستال کانونی میشود صورت می‌گیرد، پروفایل مد خروجی این چیدمان TEM_{00} می‌باشد[3]. پروفایل این لیزر در شکل (۶) نشان داده شده است:



شکل ۶: پروفایل پرتو لیزر

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک لیزر دمش از انتهای $Nd:YVO_4$ که توسط یک لیزر دیود پیوسته پمپ شده است گزارش شد. در قسمت تئوری، اثرات عدسی گرمایی کریستال وانادایت در طراحی لیزر بصورت کامل لحاظ شد تا با افزایش توان پمپ، مشدد لیزری همچنان در ناحیه پایداری قرار داشته باشد. یک خروجی با مد TEM_{00} و توان خروجی ۵ وات به ازای توان پمپ ۱۴,۷ وات بدست آمد که بیانگر بازدهی ۳۶ درصدی لیزر می باشد.

مراجع

[1] Chen, Y., Xiong, Z., Lim, G. C., Zheng, H., & Peng, X. (1999, November). High-efficiency Nd: YVO_4 laser end-pumped with a diode laser bar. InInternational Symposium on Photonics and Applications (pp. 148-155). International Society for Optics and Photonics.

[2] Jing-liang.,zhang H, continuous wave output of 5.5 w at 532 nm by interacavity frequency doubling of an *Nd:YVO4* laser, chin.phys.lett,15 (1998) 418-419.

[3] G. Feugnet, C. Bussac, C. Larat, M. Schwarz, and J. P. Pocholle, High-efficiency TEM_{00} Nd:YVO_4 Laser longitudinally pumped by a high-power array , Optics Letters, Vol. 20, No. 2, pp. 157-159, 1995.

[4] W. Koechner, Solid-state laser engineering, 3rd edition, Spronge-Verlag, pp. 381-413, 1992.

[5] A. S. Asundi, Pen Xioayuan, Chen Yihong, Xiong Zhengjun, G. C. Lim, and Zheng Hong Yu, Study of the thermal effects of diode end-pumped Nd:YVO_4 solid-state laser , Proc. of SPIE, Vol. 3898, 1999.

[6] F. Song, Ch. Zhang, X. Ding, J. Xu, and G. Zhang Determination of thermal focal length and pumping radius in gain medium in laser-diode-pumped Nd:YVO4 lasers , APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol. 81, 2002.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]