لیزر پالسی، تک مد عرضی، توان بالا و قطبیده بلور $YVO_4/Nd:YVO_4$ گوه‌ای شکل تحت دمش ۸۸۸ نانومتر توسط مدولاتور آکوستو-اپتیکی

علی اسکندری[۱]، امین احمدی[۲]، سید مهدی موسوی[۲]، عبدالله علیزاده[۱]، محمد اسدپور[۱]

۱- گروه برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه بناب - بناب ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷- ایران – alizadeh@bonabu.ac.ir

۲- شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده علوم، بخش فیزیک

در این مقاله نتایج حاصل از برپایی یک لیزر توان بالا با نرخ تکرار بالا ارائه شده است. ویژگی بارز این لیزر استفاده از یک بلور مرکب گوه‌ای شکل $Nd:YVO_4$ به عنوان محیط بهره می‌باشد. در حالت عملکرد موج پیوسته، تحت ۵۷ وات دمش در طول موج nm ۸۸۸، مقادیر ۱۹/۵ وات برای عملکرد در حالت‌های TEM_{00} و ۲۳/۴ وات برای حالت چند مد تولید شده است. همچنین با استفاده از مکانیزم کلیدزنی- Q آکوستو -اپتیکی با فرکانس kHz ۲۰۰ ، توان متوسط ۱۹ وات و توان دمشی ۵۷ وات به دست آمده است. فاکتور کیفیت لکه نیز برابر با ۲/۴ در حالت چند مد و کمتر از ۱/۳ در حالت TEM_{00} اندازه‌گیری شد.

کلید واژه- کلیدزنی Q- مدولاتور آکوستو اپتیکی- لیزر دمش از انتها- بلور $Nd:YVO_4$.

Pulsed, single transverse mode, high power and polarized wedge $YVO_4/Nd:YVO_4$ laser pumped at 888 nm with acousto-optic modulator

Ali Eskandari[1], Amin Ahmadi[2], Seyyed Mahdi Mousavi[2], Abdollah Alizadeh[1] , Mohammad Asadpour[1]

1- Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab 5551761167, Iran, email: alizadeh@bonabu.ac.ir

2- Shiraz, Shiraz university, collage of science, physics department

In this paper, the results of a high power and high repetition rate laser have been presented. The significant feature of this laser is a composite and wedge $Nd:YVO_4$ crystal as a gain medium. In continuous wave operation, we obtain 19.5 W and 23.4 W laser under 57 W pump power for TEM_{00} and multimode operation, respectively. Using acousto-optics Q-switching mechanism, 19 W average output power is produced at 200 kHz under 57 W pump power. The beam quality factor is measured to 2.4 and 1.3 for multimode and TEM_{00} operation, respectively.

Keywords: Q-switching- acousto optics modulator- end pumped laser- $Nd:YVO_4$ crystal.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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

۱- مقدمه

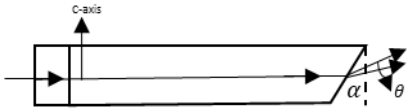
امروزه لیزرهای حالت‌جامد دمش دیودی با نرخ تکرار بالا کاربردهای فراوانی در حوزه‌های صنعت و دانش دارند[۱]. عملکرد در نرخ تکرار بالا را می‌توان از طریق کلید زنی Q خصوصاً روش کلید زنی Q فعال به دلیل انرژی پایدار پالس تولید کرد. در این بین کلید زنی Q آکوستو-اپتیکی بهترین روش برای تولید پالس‌های با نرخ تکرار و توان قله بالا می‌باشد. در این بین روش‌های دمش عرضی در لیزرهای دمش دیودی اکثرا توان قله پایینی دارند و کیفیت باریکه ضعیفی را از خود نشان می‌دهند[۲]. در مقابل سیستم‌های دمش از انتها به دلیل همپوشانی بالا بین مد مرتبه اول (TEM_{00}) و نور دمشی، امکان تولید لیزر با کیفیت لکه عالی را فراهم می‌کند. اما به دلیل تمرکز بالای نور دمشی در سیستم‌های دمش از انتها در یک شعاع لکه کوچک، اثرات گرمایی مانند استرس حرارتی، دو شکستی القایی[1] و اثرات لنز شدگی گرمایی می‌تواند کارایی و بهره لیزر را کاهش دهد و همچنین باعث کاهش کیفیت پرتو لیزری و ناپایداری رزوناتور لیزری شود[۳]. برای رفع این مشکل می‌توان از بلورهای مرکب یا طول موج دمشی متفاوت، خصوصا ۸۸۸ نانومتر برای بلور $Nd:YVO_4$ استفاده کرد[۴].

در این مقاله ابتدا با انتخاب یک بلور وانادیت[2] با شرایط خاص، امکان تولید لیزر کاملا قطبیده و همچنین کاهش قابل توجه اثرات گرمایی مورد بررسی قرار گرفته است. چیدمان آزمایشگاهی با طراحی مناسب تشدیدگر با استفاده از روش ماتریس ABCD، برپا شده است و نتایج به دست آمده ارائه شده است.

۲- تئوری

۲-۱- عملکرد قطبیده

به منظور قطبیده بودن کامل خروجی لیزر می‌توان از یک بلور گوه‌ای مانند شکل (۱) استفاده کرد. در این حالت به دلیل آنکه ضریب شکست این بلور در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر در راستاهای عادی و غیرعادی به ترتیب برابر ۱/۹۵۷۳ و ۲/۱۶۵۹ می‌باشد، مطابق شکل (۱)، قطبش-های π و σ سطح مقطع گسیل القایی و جهت انتشار متفاوتی را تجربه می‌کنند. این امر باعث می‌شود که با هم‌راستاسازی جهت آینه خروجی با پرتو مورد نظر، یک قطبش کاملا از بین برود و قطبش دیگر را به طور کامل حفظ کرد. بنابراین سیستم کاملا قطبیده عمل می‌کند. در این حالت اگر قطبش π انتخاب شود، نسبت قطبش بزرگتر از ۱۰۰:۱ می‌شود. مطابق معادلات، کمترین زاویه α به منظور برآورده کردن این شرط ۱/۵ درجه خواهد شد[۴].



شکل ۱- شماتیک بلور $Nd:YVO_4$

۲-۲- آنالیز حرارتی

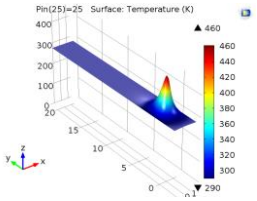
در این مقاله از یک بلور مرکب $Nd:YVO_4/YVO_4$ با ابعاد mm (20+3)×3×3 و درصد آلاییدگی ۰/۸٪ استفاده شده است. معادلات مربوط به توزیع دما در یک بلور مکعبی شکل و تحت دمش توسط نور لیزر دیودی را می‌توان در منابع زیادی پیدا کرد[۳]. جهت بیان اثرات گرمایی، توزیع دما در داخل بلور در دو طول موج دمشی ۸۰۸nm و ۸۸۸nm با استفاده از نرم افزار کامسول و روش المان محدود بررسی شده است و نتایج در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. در این شکل توان دمشی برابر با ۲۵ وات و شعاع لکه دمشی ۵۶۰ میکرومتر می‌باشد. پارامترهای مورد استفاده از منبع[۳] آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، انتخاب طول موج ۸۸۸nm نسبت به ۸۰۸nm به دو دلیل برتری دارد: ۱- نقص کوانتومی از ۲۴/۱٪ برای دمش ۸۰۸nm به ۱۶/۵٪ برای دمش ۸۸۸nm کاهش می‌یابد[۳] که باعث کاهش اثرات حرارتی محیط بهره می‌شود. ۲- ضریب جذب کمتر در طول موج ۸۸۸nm باعث توزیع دما به صورت متقارن‌تر در طول بلور می‌شود. حداکثر دما در طول موج های دمشی ۸۰۸nm و ۸۸۸nm به ترتیب برابر با ۴۶۰ و ۳۲۵ درجه کلوین می‌باشد. مطابق انتظار به دلیل کاهش قابل توجه گرادیان‌های دمایی عرضی و طولی در حالت دمش ۸۸۸nm، فاصله کانونی عدسی گرمایی نسبت به دمش ۸۰۸nm بسیار بلندتر می‌شود. این فاصله کانونی بلندتر باعث راحتی

1- Birefringence
2 $Nd:YVO_4$

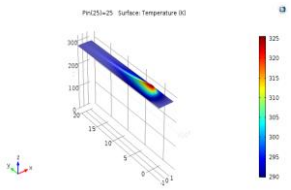
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

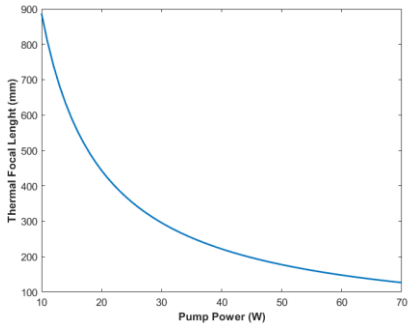
طراحی تشدیدگر لیزر و عملکرد پایا در حد توان‌های دمشی بالا و در نتیجه بازده بالا و کیفیت لکه عالی می‌شود. شکل (۳) فاصله کانونی عدسی گرمایی بلور مورد نظر تحت دمش ۸۸۸nm را بر حسب توان دمشی نشان می‌دهد.



شکل ۲-الف توزیع دما در بلور $Nd:YVO_4$ برای دمش ۸۰۸ نانومتر



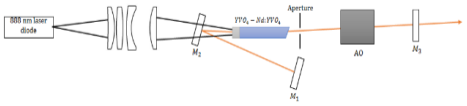
شکل ۲-ب توزیع دما در بلور Nd:YVO4 برای دمش ۸۸۸ نانومتر



شکل ۳- طول عدسی گرمایی بر حسب توان دمشی لیزر دیود

۳- چیدمان تجربی

چیدمان لیزر به صورت شماتیک در شکل (۴) نشان داده شده است. نور یک لیزر دیودی با بیشینه توان ۶۰ وات و قطر فیبر ۴۰۰ میکرومتر از طریق سیستم اپتیکی متشکل از چهار عدسی بر روی بلور وانادیت متمرکز می شود. قطر لکه دمشی بر روی محیط بهره برابر با ۱۱۲۰ میکرومتر است. تشدیدگر طراحی شده، یک تشدیدگر V شکل است. آینه M_1 یک آینه تخت با پوشش AR در ۸۸۸nm و HR در ۱۰۶۴nm می‌باشد. آینه M_2 نیز یک آینه تخت با پوشش HR در ۱۰۶۴nm می‌باشد. از یک آینه تخت با ۳۰٪ عبور به عنوان آینه خروجی لیزر استفاده شده است.

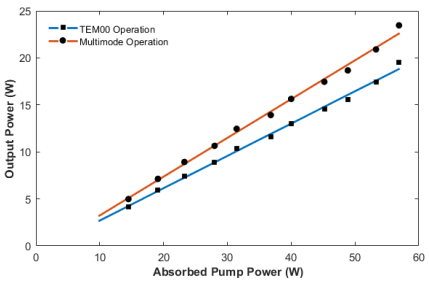


شکل ۴ - چیدمان آزمایشگاهی لیزر مورد استفاده

از آنجا که به منظور عملکرد بهینه لیزر در مد TEM00، نسبت شعاع لیزری به شعاع دمشی باید برابر با ۰/۷ باشد، فاصله آینه M_1 تا ابتدای بلور (l_1) برابر با ۱۲ سانتیمتر و از انتهای بلور تا آینه M3 (l_2) برابر با ۱۳/۴ سانتیمتر انتخاب شده است. با توجه به محاسبات ABCD برای آنکه بتوان به عملکرد TEM00 رسید، یک شکاف با قطر ۶۰۰ میکرومتر و در فاصله ۲ سانتی‌متری از انتهای بلور در داخل چیدمان قرار داده شده است. به منظور تولید پالس های کوتاه نیز یک Q-Switch آکوستو اپتیکی با فرکانس ۲۴ مگاهرتز در چیدمان قرار داده شده است.

۳-۱- عملکرد لیزر در حالت پیوسته

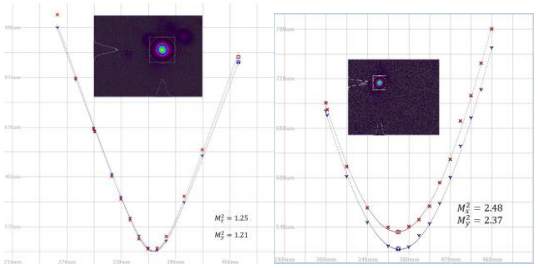
شکل (۵) توان خروجی لیزر بر حسب توان جذب شده را برای دو حالت با حضور و عدم حضور شکاف نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، قرار دادن شکاف باعث افت توان در حدود ۲۰ درصد شده است. در توان دمشی ۵۷ وات، توان خروجی در حالت چند مدی برابر با ۱۹/۵۵ و در حالت TEM_{00} برابر با ۲۳/۴۶ اندازه‌گیری شده است، که متناظر با بازدهی در حدود ۳۵ و ۴۱ درصد می‌شود. اگرچه حضور شکاف باعث افت توان شده است اما همانطور که از شکل (۶) می‌توان دید، کیفیت لکه به میزان قابل توجهی بهبود یافته است و از مقادیر $M_x^2 = 2.48,\ M_y^2 = 2.37$ به مقادیر $M_x^2 = 1.21,\ M_y^2 = 1.21$ رسیده است. نتیجه این قسمت را می توان لیزر TEM_{00} با توان بیشینه ۱۹/۵۵ و کیفیت لکه ۱,۲ دانست.



شکل ۵ - نمودار توان خروجی لیزر بر حسب توان جذب شده در محیط بهره در دوحالت چند مد و TEM00

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

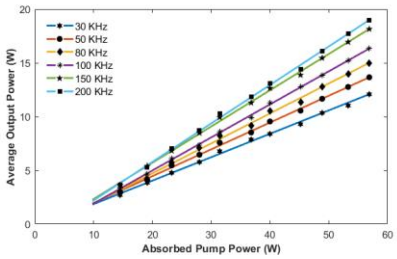
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]



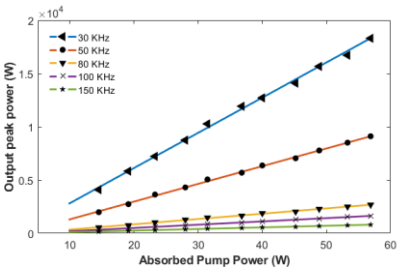
شکل ۶ - کیفیت پرتو در دوحالت چند مد و TEM00

۲-۳- عملکرد پالسی

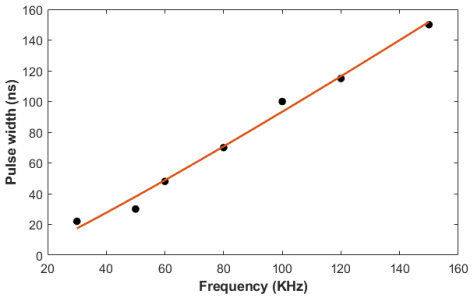
شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب توان متوسط خروجی و توان قله لیزر را برای چند فرکانس متفاوت نشان می‌دهند. توان متوسط لیزر با کاهش فرکانس کاهش می‌یابد و به عنوان مثال از مقدار ۱۹ در ۲۰۰ کیلوهرتز به مقدار ۱۲/۰۸ در ۳۰ کیلوهرتز می‌رسد. در مقابل با کاهش فرکانس توان قله افزایش می‌یابد. دلیل این امر کاهش قابل توجه پهنای پالس لیزر با کاهش فرکانس می‌باشد. این کاهش پهنای پالس در فرکانس‌های مختلف در شکل (۹) نشان داده شده است. همچنین شکل (۱۰) نشان دهنده پهنای پالس و شکل پالس خروجی لیزر در فرکاس ۳۰ کیلوهرتز می‌باشد، که در فرکانس مذکور پهنای پالس لیزر برابر با ۲۲ نانوثانیه و توان قله خروجی برابر با ۱۸ کیلووات بدست آمده است.



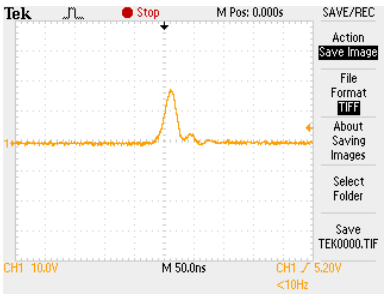
شکل ۷ - نمودار توان متوسط خروجی لیزر در فرکانس‌های مختلف بر حسب توان جذب شده در محیط بهره



شکل ۸ - نمودار توان قله خروجی لیزر در فرکانس‌های مختلف بر حسب توان جذب شده در محیط بهره



شکل ۹ - نمودار پهنای پالس لیزر در فرکانس‌های مختلف



شکل ۱۰ - شکل پالس خروجی لیزر در فرکانس ۳۰ کیلوهرتز

۴- نتایج

جهت پالسی کردن لیزر، از یک Q-Switch آکوستواپتیکی 24MHz استفاده شده است که اغلب در طراحی لیزرهای حکاکی و صنعتی از این نوع سوییچ‌ها استفاده می‌شود. با توجه به نتایج عملی بدست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که با قرار دادن یک شکاف در فاصله مشخص در طول چیدمان با استفاده از ماتریس‌های ABCD می‌توان کیفیت پرتو لیزری را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش داد و با توجه به شکل‌های (۸) و (۹) قابل مشاهده است که با کاهش فرکانس لیزر، علی‌رغم کاهش توان متوسط خروجی لیزر، به دلیل کاهش پهنای پالس لیزر توان قله به میزان زیادی افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] N. Hodgson, et al., “Diode-pumped TEM00 mode solid state lasers and their micromachining applications,” in *Proc. SPIE–Int. Soc. Opt. Eng. (USA)*, Vol. 4977, pp. 281–294.(2014)

[2] X. Yan, et al., “2 MHz AO Q-switched TEM00 grazing incidence laser with 3 at.% neodymium doped Nd:YVO4,” IEEE. J. Quantum. Elect., Vol. **44**, pp. 1164–1170, (2008).

[3] Z. Xiong, et al., “Detailed investigation of thermal effects in longitudinally diode-pumped Nd: YVO4 lasers,” IEEE. J. Quantum. Elect., Vol. 39, pp. 979-986, (2008).

[4] Zheng, et al., "High-stability single-frequency green laser with a wedge Nd: YVO 4 as a polarizing beam splitter." Optics Communications 283, no. 2 (2010): 309-312.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]