



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



برپایی آزمایشگاهی و ساخت لیزر حالت جامد دمش جانبی Nd:YAG کلیدزنی Q شده با استفاده از مدولاتور آکستوآپتیکی

محمد فولادی^۱، محمد خانزاده^۱، مراد دیده بان مهر^۲

^۱ گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان

^۲ گروه تحقیقاتی لیزر، شرکت دید افزار جنوب، شیراز

E-mail: mohammadfooladi1370@gmail.com

چکیده - در این پژوهش، یک لیزر پالسی Nd:YAG با طول موج خروجی ۱۰۶۴ nm به صورت آزمایشگاهی بر پا شده است. چیدمان موردنظر یک کاواک خطی به طول ۴۵/۵ cm می باشد که طول کاواک به صورت تجربی به دست آمده است. میله ی لیزری Nd:YAG به صورت جانبی و از سه طرف توسط آرایه های لیزر دیودی GaAlAs با طول موج خروجی ۸۰۸ nm و بیشینه توان خروجی ۸۰ W مورد دمش قرار گرفت. کلیدزنی Q با استفاده از یک مدولاتور آکستوآپتیکی انجام شد و در نهایت کمترین پهنای پالس لیزر در نرخ تکرار ۲ KHz، ۵۰۰ نانوثانیه به دست آمد. در حالت پالسی و در توان دمشی ۸۰ W، بیشترین انرژی در نرخ تکرار ۲ KHz، ۶/۲ mJ و بیشترین توان خروجی در نرخ تکرار ۲۰ KHz، ۱۶/۲ W به دست آمد.

کلید واژه- پهنای پالس لیزر، دمش جانبی، کلیدزنی Q، لیزر دیود GaAlAs، مدولاتور آکستوآپتیکی.

Experimental set up and construction of the solid state side pumped Nd:YAG laser, Q switched by acousto-optic modulator

Mohammad Fooladi 1, Mohammad Khanzadeh 1, Morad Dideh Ban Mehr 2

1 Department of Physics, University of Vali-Asr rafsanjan, Rafsanjan

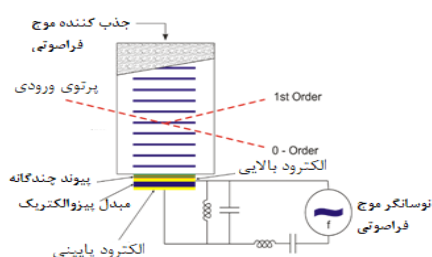
2 Laser Research Group, Did Afzar Jonoub, Shiraz

E-mail: mohammadfooladi1370@gmail.com

Abstract- In this research, The Nd:YAG pulsed laser with 1064 nm output wavelength has been considered experimentally. This setup is a linear cavity with 45.5 cm length that the length of the cavity is experimentally obtained. Nd:YAG laser rod has been sidely pumped and with three sides by GaAlAs diode laser arrays with 80 W maximum output power. The Q-switching was done by an Acousto-Optic Modulator (AOM) and finally, minimum laser pulse width was obtained 500 Nanosecond in 2 KHz repetition rate. In pulse mode and 80 W pumping power, maximum energy was obtained 6.2 mJ in 2 KHz repetition rate and the maximum output power was obtained 16.2 W in 20 KHz repetition rate.

Keywords: Laser pulse width, Side pumping, Q-switching, GaAlAs diode laser, Acousto-optic modulator.

یعنی قسمتی از باریکه‌ی نور از مسیر اولیه‌ی خود منحرف شود. با انتخاب مناسب مشخصه و پارامترها، باریکه‌ی پراشیده شده می‌تواند از کاواک لیزر منحرف شود و بنابراین یک اتلاف در کاواک لیزر ایجاد نماید که برای کلیدزنی Q مناسب است. شکل ۱، نحوه‌ی عملکرد مدولاتور آکستوآپتیکی را نشان می‌دهد. با قطع ولتاژ مبدل پیزوالکتریک، Q ی کاواک، مقدار بالایی می‌گیرد و اتلاف کاهش پیدا می‌کند. بنابراین باریکه نور انحراف یافته، ناپدید می‌شود و پالس لیزر کلیدزنی Q حاصل می‌شود.



شکل ۱: نحوه‌ی عملکرد مدولاتور آکستوآپتیکی [۴].

۳- برپایی آزمایشگاهی و نتایج تجربی

میله‌ی لیزری Nd:YAG، با قطر ۳ و طول ۶۵ میلی-متر که هر دو سطح آن به صورت تخت است به عنوان محیط فعال لیزر استفاده شده است. همچنین میزان آلاییدگی میزبان YAG به یون Nd^{3+} ، ۱٪ می‌باشد. به منظور دمش تمام سطح مقطع میله‌ی لیزر و برای دستیابی به یک هم‌پوشانی فضایی بالا بین تابش گسیلی منبع دمش و مدهای کاواک لیزر از یک ساختار دمش از پهلوی استفاده شده است. دمش از سه طرف و با زاویه‌ی ۱۲۰ درجه بر روی میله‌ی لیزر انجام می‌شود که در هر ردیف ۳ عدد بار دیودی با طول‌موج خروجی ۸۰۸ نانومتر در کنار هم به طور موازی قرار گرفته‌اند و جمعاً ۹ بار دیودی در دمش شرکت دارند. برای انتقال پرتوی منبع دمش به محیط فعال، روش جفت‌شدگی نزدیک مورد استفاده قرار گرفت. در این روش بدون دخالت قطعات اپتیکی

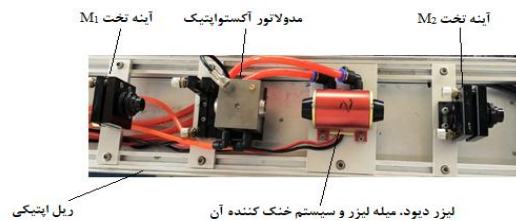
۱- مقدمه

تولید لیزر با گستره‌ی طول‌موجی وسیع، از موضوعات مورد علاقه‌ی محققان بوده است. یک منبع لیزری با طول‌موج قابل تنظیم ابزار مفید و ایده‌آلی برای زمینه‌های مختلف پژوهشی و کاربردی می‌باشد. از لیزرهایی که قابلیت تنظیم‌پذیری بالایی دارند، می‌توان به لیزرهای حالت جامد اشاره کرد [۱]. لیزرهای حالت جامد پالسی با پهنای زمانی متفاوت، کاربردهای وسیعی در زمینه‌های مختلف پژوهشی و کاربردی از جمله در سامانه‌های بیناب‌نمایی، فاصله‌یابی، حسگر از راه دور، علم پزشکی و اپتیک غیرخطی ایفا می‌کند [۲ و ۱]. فرآیند تولید پالس‌های لیزری به دو روش فعال و غیرفعال انجام می‌شود. کلیدزنی Q آکستوآپتیکی یکی از روش‌های کلیدزنی Q فعال است که همواره مورد توجه بوده است [۳]. در این پژوهش، ابتدا یک چیدمان لیزر پیوسته Nd:YAG برپا گردید. سپس با استفاده از یک مدولاتور آکستوآپتیکی عمل کلیدزنی Q انجام شد.

۲- نظریه‌ی کلیدزنی Q فعال آکستوآپتیکی

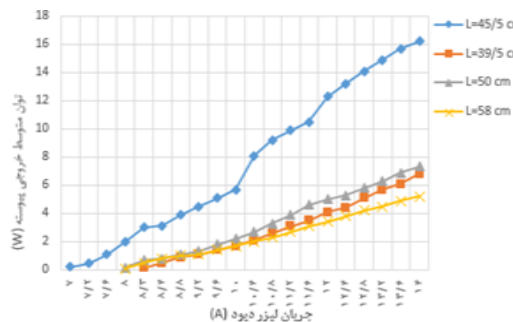
در اثر آکستوآپتیک، ضریب شکست ماده در اثر برهمکنش با موج فراصوتی به صورت تناوبی تغییر می‌کند، این تغییرات با طول‌موج صوت برابر است. اثر این امواج صوتی، مانند یک توری پراش است که پرتوی نور را پراکنده می‌کند. یک سلول آکستوآپتیکی متشکل از یک قطعه ماده‌ی شفاف اپتیکی است. با اعمال یک موج فراصوتی توسط یک مبدل پیزوالکتریک به سلول آکستوآپتیکی، توری دارای تناوبی برابر با طول‌موج آکوستیکی و دامنه‌ای متناسب با دامنه‌ی موج صوتی است. باریکه‌ی نوری که روی چنین توری بتابد، می‌تواند پراشیده شود،

اول (M_1) به صورت ۱۰۰٪ بازتابنده و آینه‌ی دوم (M_2) که آینه‌ی خروجی لیزر نیز می‌باشد ۸۰٪ بازتاب و ۲۰٪ عبور در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر دارند.



شکل ۴: چیدمان خطی لیزر Nd:YAG، به ترتیب از چپ به راست، آینه‌ی M_1 ، مدولاتور آکستوآپتیک، لیزر دیود و میله‌ی لیزری به همراه خنک‌کننده‌ی آب و آینه‌ی M_2 .

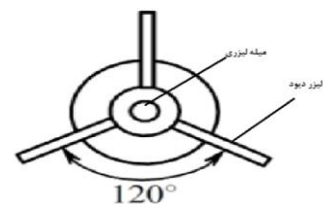
برای به دست آوردن طول بهینه‌ی کاواک لیزر، طول کاواک را از ۳۵ تا ۵۸ سانتی‌متر تغییر دادیم و توان خروجی لیزر در طول‌های مختلف کاواک را ثبت کردیم. شکل ۵ توان خروجی لیزر در حالت پیوسته برای چهار طول مختلف کاواک در دمای بهینه‌ی 20°C را نشان می‌دهد. بیشترین توان خروجی در طول ۴۵/۵ سانتی‌متر به دست آمد.



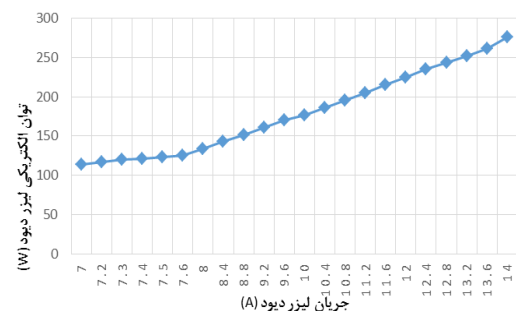
شکل ۵: توان خروجی پیوسته لیزر برای سه طول کاواک ۴۵/۵، ۳۹/۵ و ۵۰ سانتی‌متر در دمای بهینه 20°C .

شکل ۶، توان خروجی لیزر در حالت پیوسته و در نرخ تکرارهای مختلف کلیدزنی Q را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش نرخ تکرار کلیدزنی Q ، توان خروجی نیز افزایش می‌یابد. با توجه به توان خروجی ۱۶/۲ وات نسبت به توان دمشی ۸۰ وات، بازدهی خروجی لیزر در حالت پالسی برابر با ۲۰/۵٪ می‌باشد.

و با نزدیک کردن لیزر دیود به میله‌ی لیزر، پرتوی دمش به محیط فعال انتقال می‌یابد [۵]. جریان لیزر دیود از ۰ تا ۱۴ آمپر تغییر می‌کند و بیشینه توان خروجی لیزر دیود در جریان ۱۴ آمپر برابر ۸۰ وات است. شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب، شماتیک نحوه‌ی دمش میله‌ی لیزر و زاویه‌ی قرار گرفتن لیزر دیودها و توان الکتریکی مصرفی لیزر دیود بر حسب جریان را در دمای بهینه‌ی 20°C نشان می‌دهد. طول موج خروجی لیزر دیودها به ازای هر 1°C ، تقریباً ۰/۲۵ nm به سمت طول موج‌های بلند جابجا می‌شود [۲]. به همین منظور از سیستم خنک‌کننده‌ی آب برای تنظیم دمای لیزر دیودها و میله‌ی لیزر استفاده شد.

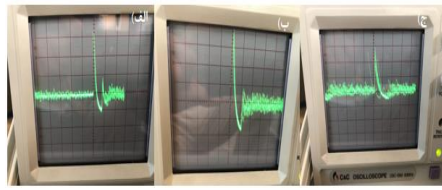


شکل ۲: شماتیک قرار گرفتن لیزر دیودها با زاویه‌ی 120° درجه و دمش میله‌ی لیزر Nd:YAG.



شکل ۳: توان الکتریکی مصرفی لیزر دیود بر حسب جریان در دمای بهینه 20°C .

در این پژوهش از یک مدولاتور آکستوآپتیک با فرکانس ۲۷/۱۲ MHz استفاده شده است. این نمونه مدولاتور استفاده شده نیز، همانند میله‌ی لیزر و لیزر دیودها با استفاده از سیستم گردش آب خنک می‌شود. چیدمان کاواک لیزر در شکل ۴ نشان داده شده است. کاواک خطی متشکل از دو آینه‌ی تخت است که آینه‌ی



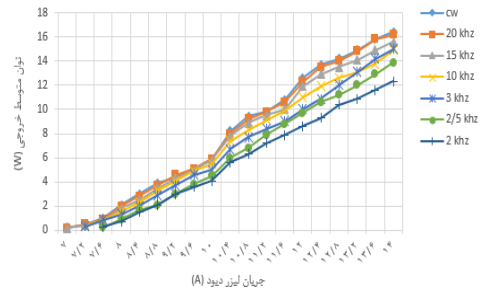
شکل ۹- نمایش پهنای پالس لیزر در نرخ تکرارهای الف- ۲ KHz
ب- ۲/۵ KHz و ج- ۳ KHz.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک لیزر حالت جامد Nd:YAG دمش جانبی به صورت آزمایشگاهی برپا و با استفاده از یک مدلاتور آکستواتیکی با فرکانس MHz ۲۷/۱۲، کلیدزنی Q شد. در نهایت در توان دمشی ۸۰ وات، بیشترین توان خروجی لیزر در حالت پیوسته و در نرخ تکرار ۲۰ KHz به ترتیب ۱۶/۴ W و ۱۶/۲ W به دست آمد. با توجه به نوع اسیلوسکوپ موجود در آزمایشگاه، کمترین پهنای پالس لیزر در نرخ تکرار ۲ KHz کلیدزنی Q، ۵۰۰ نانوثانیه اندازه گیری شد. همچنین بیشترین انرژی در نرخ تکرار ۲ KHz برابر با ۶/۲ mJ محاسبه شد.

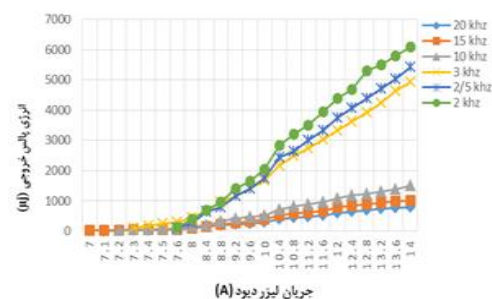
مرجع ها

- [1] W. Koechner, *Solid State Laser Engineering*, 6 th, Springer, New York, 2006.
- [2] T.Y. Fan, "Diode-Pumped Solid State Lasers", *The Lincoln Laboratory Journal*, Vol. 3, No. 3, 413-421, 1996.
- [3] S. C. Tidwell, J. F. Seamans, M. S. Bowers, A. K. Cousins, "Scaling CW Diode-End-Pumped Nd:YAG Lasers to High Average Powers", *Quant. Electron.*, Vol. 28, 997-1009, 1992.
- [4] W. T. Rhodes, B. Raton, *Practical Opto-Electronics*, Springer, USA, 2014.
- [5] Y.F. Chen, S. W. Tsai, "High-power diode-pumped Q-switched and mode-locked Nd:YVO₄ laser with a Cr⁴⁺:YAG saturable absorber", *Optic. Lett.*, Vol. 25, 1442-1444, 2000.



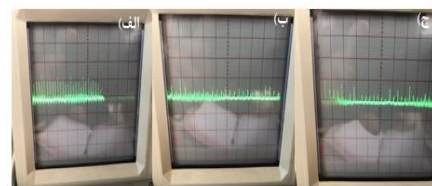
شکل ۶: توان خروجی لیزر در نرخ تکرارهای متفاوت در دمای بهینه ۲۰ °C.

شکل ۷ نیز، انرژی پالس های خروجی لیزر در نرخ تکرارهای مختلف در دمای ۲۰ °C را نشان می دهد.



شکل ۷: انرژی خروجی پالس لیزر در دمای بهینه ۲۰ °C و نرخ تکرارهای متفاوت.

برای اندازه گیری پهنای پالس لیزر از فوتودیود سیلیکون با سرعت بالا، ساخت شرکت تورلب و با مدل 210 DET و اسیلوسکوپ ساخت شرکت cncinst که مدل آن OSC-1060 می باشد، استفاده کردیم. اندازه گیری ها برای سه نرخ تکرار ۲ KHz، ۲/۵ KHz و ۳ KHz صورت گرفته است. شکل ۸ آستانه ی کلیدزنی Q لیزر و شکل ۹، پالس خروجی لیزر را در نرخ تکرارهای ۲ KHz، ۲/۵ KHz و ۳ KHz نمایش می دهند. کمترین پهنای پالس اندازه گیری شده ۵۰۰ نانوثانیه در نرخ تکرار ۲ KHz محاسبه شد.



شکل ۸: جریان آستانه ی کلیدزنی Q در نرخ تکرارهای الف- ۲ KHz
ب- ۲/۵ KHz و ج- ۳ KHz به ترتیب ۷/۱ A، ۷/۲ A و ۷/۶ A.