

طراحی و برپایی آزمایشگاهی لیزر Nd:YAG فرکانس بالا با آینه جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا

محمد جواد عشقی^۱، عباس مجدآبادی^۲، عطا کوهیان^۱ و محمود فتحعلیان^۲

^۱دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران، ایران

چکیده - در این مقاله عملکرد لیزر Nd:YAG همراه با یک آینه جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا (SESAM) به عنوان آینه ی عقبی، به صورت تجربی بررسی شده است. ماده فعال بکار رفته بوسیله یک دیود لیزری با توان خروجی بیشینه ۳ وات به صورت طولی دمش می شود. بازده شیب در حالت پیوسته ۳۱ درصد بوده است. با طراحی مناسب تشدیدگر لیزر، قطر لکه بر روی آینه جاذب به مقدار کمینه مورد نظر می رسد و پالس های کوک پذیر با نرخ تکرار از مرتبه کیلو هرتز تولید می شوند. در نهایت با توان دمش ۲.۷ وات، پالس های مدوله کننده ی ۹۲۰ نانوثانیه ای با نرخ تکرار ۴۳ کیلوهرتز تولید شدند.

کلید واژه- لیزر Nd:YAG، سوئیچ Q، قفل شدگی مد، آینه جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا، SESAM

Design and experimental setup of a High repetition rate NdYAG laser by semiconductor saturable absorber mirror

Mohamad Javad Eshghi^{1,2}, Abbas Majdabadi², Ata Koohian¹ and Mahmud Fathalian²

¹Physics department, university of tehran, tehran, iran

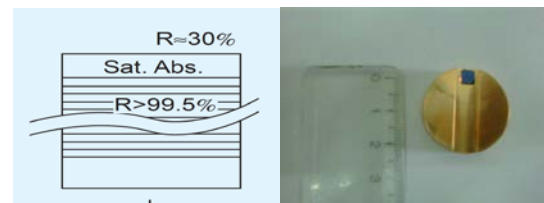
²Laser and optic research center, the nuclear science and technology research institute

Abstract- In this paper, a Nd YAG laser with a semiconductor saturable absorber mirror as back mirror, was studied experimentally. The gain medium was pumped longitudinally by a laser diode which its maximum output power was 3 w. The slope efficiency was %31 in the cw operation. The spot size on the SESAM was minimized by a suitable resonator designing and therefore tunable KHz repetition rate pulses were formed easily. In the pump power 2.7W, the Q switched pulse with pulse width 920 ns and repetition rate 43 KHz was generated.

Keywords: NdYAG laser, Q switching, Mode locking, semiconductor saturable absorber mirror, SESAM

۱- مقدمه

لیزرهای حالت جامد پالسی با پهنای زمانی متفاوت، کاربردهای وسیعی در حوزه های مختلف صنعتی، نظامی و پزشکی دارند. از آنجا که در بسیاری از کاربردها، ویژگی هایی از قبیل حجم کم، سبک و قابل حمل بودن اهمیت بسیاری دارد، توجه به لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. فرآیند تولید پالس های لیزری به دو روش فعال و غیرفعال انجام می شود. در این پژوهش از یک آینه جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا^۱ (SESAM) به عنوان مدوله کننده ی غیرفعال استفاده شده است. ساختار کلی SESAM در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: الف) SESAM استفاده شده در آزمایش ب) نمای کلی ساختار یک آینه جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا [۱]

در واقع SESAM ساختار مشابهی با آینه های براگ دارد. چندین جفت از لایه های براگ ربع موجی که برای طول موج لیزر طراحی شده اند بر روی یک زیرلایه نشاند می شوند. سپس لایه ای از یک چاه کوانتومی به عنوان جاذب اشباع پذیر بر روی لایه های براگ لایه نشانی می شود و در نهایت لایه ای با ضریب بازتاب مشخص بر روی لایه ی جاذب نشاند می شود [۱].

SESAM در تشدیدگر لیزر به عنوان یک مدولاتور شدت غیرفعال عمل می کند. در لیزرهایی که از SESAM به عنوان آینه عقبی لیزر استفاده می شود می توان به ۲ نوع پالس خروجی دست پیدا کرد. این ۲ نوع خروجی عبارتند از:

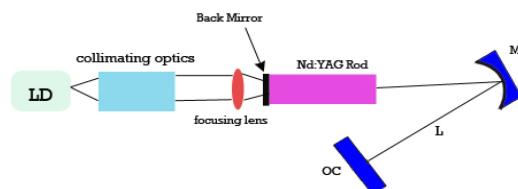
۱. پالس های فوق کوتاه که در حالت قفل شدگی مد پیوسته حاصل می شوند. نرخ تکرار پالس ها در این حالت از مرتبه ی مگاهرتز می باشد [۳ و ۲].

۲. پالس های فوق کوتاه (از مرتبه ی پیکوثانیه) که درون یک پوش پالس سوئیچ Q شده قرار دارند [۴ و ۵]. نرخ تکرار پالس های مدوله شده از مرتبه ی مگاهرتز بوده که ناشی از فرایند قفل شدگی مد می باشند. همچنین فرکانس پالس های مدوله کننده از مرتبه ی کیلوهرتز می باشد.

لازم به ذکر است که برای دستیابی به هر یک از این ۲ حالت، پارامترهای لیزر نظیر طول تشدیدگر لیزر، دمش شده و مقدار متفاوتی را به خود خواهد گرفت. هدف از این پژوهش، دستیابی به پالس های فوق کوتاه مدوله شده بوسیله ی پالس های سوئیچ Q شده با نرخ تکرار چند کیلوهرتز می باشد.

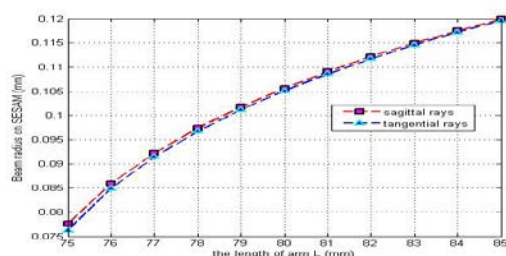
۲- طراحی تشدیدگر لیزر

جهت دستیابی به خروجی پالسی لیزر باید بتوان SESAM را اشباع نمود. SESAM استفاده شده دارای شار اشباع، عمق مدولاسیون، اتلاف های غیراشباع و زمان بازیابی $70 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ، 0.6%، 0.4% و 1 پیکوثانیه می باشد. برای دستیابی به چنین شاری باید توان درون تشدیدگر لیزر افزایش یابد که برای این کار باید توان پمپ را افزایش دهیم. یکی دیگر از راه های افزایش شار فرودی روی SESAM به این صورت است که شعاع پرتو روی SESAM به حداقل مقدار ممکن برسد. در این حالت نیز با توجه به تعریف شار (انرژی بر واحد سطح) می توان شار مورد نیاز را ایجاد کرد. مقدار پیشنهاد شده برای شعاع لکه لیزر 50-100 μm می باشد [۶]. به منظور ایجاد چنین اندازه ی لکه ای از یک تشدیدگر لیزر V شکل مطابق زیر استفاده کردیم.



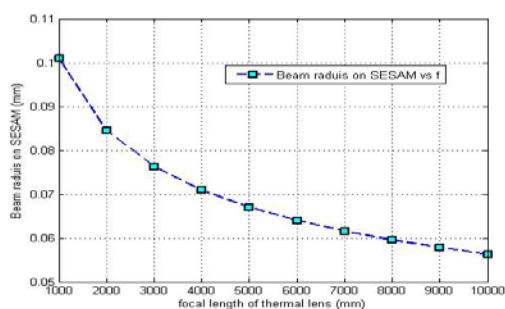
شکل ۲: نمای لیزر ساخته شده، شعاع آینه M، 15 cm می باشد. شعاع پرتو پمپ بر روی محیط فعال 200 μm می باشد. L فاصله ی آینه M تا آینه تخت خروجی می باشد.

^۱ Semiconductor Saturable Absorber Mirror



شکل ۴: شعاع لکه بر روی SESAM بر حسب فاصله آینه تخت خروجی تا آینه M (برای توان دمشی (وات) برای پرتوهای عمودی و مماسی

با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی، طول بازوی $L = 75\text{mm}$ انتخاب می شود. در این حالت قطر لکه روی آینه خروجی حدود $76\mu\text{m}$ می باشد. همچنین در توان های دمش مختلف، فاصله ی کانونی عدسی گرمایی مقادیر مختلفی را به خود می گیرد. لذا باید وابستگی شعاع لکه روی SESAM به فاصله کانونی عدسی گرمایی تعیین شود. این وابستگی در شکل ۵ مشخص شده است.



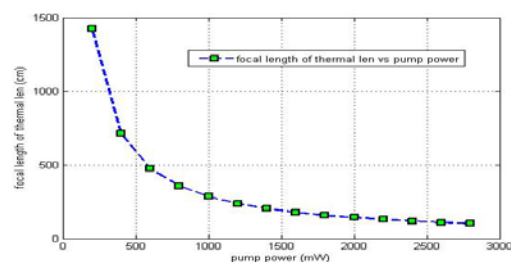
شکل ۵: وابستگی شعاع لکه لیزر به فاصله ی کانونی عدسی گرمایی

بنابراین همانطور که از نمودار فوق نیز بر می آید با انتخاب $L=75\text{mm}$ شعاع لکه ی لیزر در سرتاسر توان دمش شده مقادیر کمتر از $100\mu\text{m}$ خواهد بود.

۳- برپایی آزمایشگاهی

با توجه به مقدار بدست آمده برای طول بازوی L ، اقدام به برپایی آزمایشگاهی تشدیدگر لیزر V شکل نمودیم. با استفاده از یک آینه تخت با ضریب عبوردهی $T=7\%$ توانستیم به بیشینه خروجی 650mw در حالت پیوسته دست یابیم. بازده نوری به نوری در این حالت 31% بوده است. نمودار توان خروجی بر حسب توان دمش در زیر آمده است.

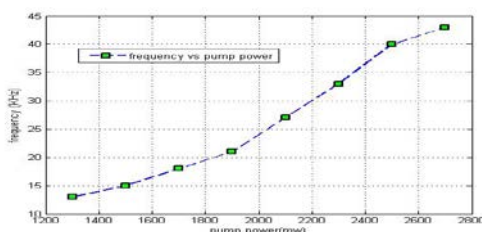
پرتو خروجی از دیود لیزری بوسیله یک سامانه ی اپتیکی در دو راستا موازی می شود و سپس بوسیله یک عدسی بر روی محیط فعال کانونی می شود. دیود لیزر استفاده شده دارای توان بیشینه ۳ وات در طول موج 808nm است که جابجایی طیفی آن 0.3nm/c می باشد. جهت تنظیم کردن طول موج لیزر، از یک خنک ساز الکتریکی peltier استفاده می شود. محیط فعال Nd:YAG استوانه ای شکل و دارای قطر 5mm و طول 10mm می باشد. سطح انتهایی محیط فعال به گونه ای لایه نشانی شده است که نسبت به طول موج 808nm دارای ضریب عبور 99% و نسبت به طول موج 1064nm دارای بازتاب کامل می باشد. این سطح به عنوان آینه عقبی لیزر عمل می کند. آینه تخت استفاده شده دارای ضریب عبور $T=7\%$ می باشد. یکی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در شعاع لکه ی لیزر فاصله ی کانونی عدسی گرمایی می باشد. وابستگی فاصله ی کانونی عدسی گرمایی به توان دمش در شکل ۳ شبیه سازی شده است.



شکل ۳: وابستگی فاصله ی کانونی عدسی گرمایی به توان دمش

با توجه به اصول نظری ماتریسی ABCD که برای تشدیدگرهای شامل SESAM هم صادق است [8]، شعاع لکه روی آینه خروجی بر حسب L ، برای پرتوهای مماسی و عمودی شبیه سازی می شود که نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است. به منظور کاهش آستیگماتیسم، زاویه فرود پرتو بر روی آینه M، کمتر از 10° درجه تنظیم شده است. برابر بودن شعاع پرتوهای مماسی و عمودی نشان از ناچیز بودن ابیراهی آستیگماتیسم در این بازو می باشد.

زیر نشان دهنده آن می باشد.



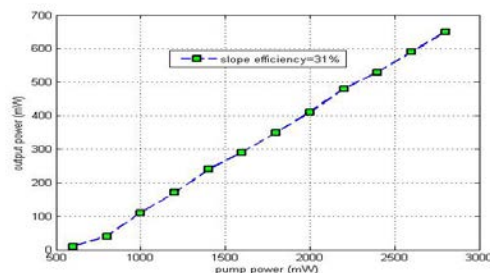
شکل ۹: وابستگی نرخ تکرار به توان دمش

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای اولین بار در ایران یک لیزر Nd:YAG دمش از انتها بوسیله ی یک آینه جاذب اشباع پذیر نیمه رسانا مورد تحلیل و بررسی تجربی قرار گرفت. در نهایت با توان دمش ۲.۷ وات، پالس های ۹۲۰ نانوثانیه با نرخ تکرار ۴۳ کیلوهرتز تولید شدند.

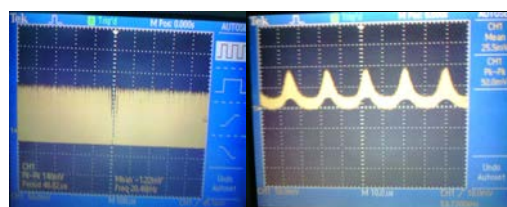
مراجع

- [1] U. Keller, K. Weingarten and et al, "Semiconductor Saturable Absorber Mirrors (SESAM's) for Femtosecond to Nanosecond Pulse Generation in Solid-State Lasers ", JSTQE, Vol. 2, No. 3, pp. 8-26, 1996.
- [2] G. Lin, H. Wie and et al, " Diode-end-pumped passively mode-locked ceramic Nd:YAG Laser with a semiconductor saturable mirror ", OPTICS EXPRESS, Vol. 13, No. 11, pp. 485-490, 2005.
- [3] Y. Yang, J. Hou and et al, " Diode-pumped passively mode-locked Nd:YAG laser at 1338 nm with a semiconductor saturable absorber mirror ", APPLIED OPTICS, Vol. 50, No. 36, pp. 6713-6718, 2011.
- [4] L. Qin, D. Tang and et al, " Diode-end-pumped passively mode-locked Nd:GGG laser with a semiconductor saturable mirror ", Optics Communications, Vol. 281, pp. 4762-4764, 2008.
- [5] J. Spuhler, U. Keller, and et al, " Diode-pumped passively mode-locked Nd:YAG laser with 10-W average power in a diffraction-limited beam ", OPTICS LETTERS, Vol. 24, No. 8, pp. 528-531, 1999.
- [6] J. Li, H. Luo, and et al, " Semiconductor saturable absorber mirror passively Q-switched 2.97 μm fluoride fiber laser ", Laser Phys. Lett, Vol. 11, No. 6, pp. 5102-5106, 2014.
- [7] W. Yang, J. Huo, and et al, " Semiconductor saturable absorber mirror passively Q-switched fiber laser near 2 μm ", APPLIED OPTICS, Vol. 51, No. 23, pp. 5664-5668, 2012.
- [8] R. Peng, L. Tang, and et al, " Picosecond laser oscillator with a cavity design for stable CW mode-locking operation ", Optics & Laser Technology, Vol. 42, pp. 1282-1285, 2010.



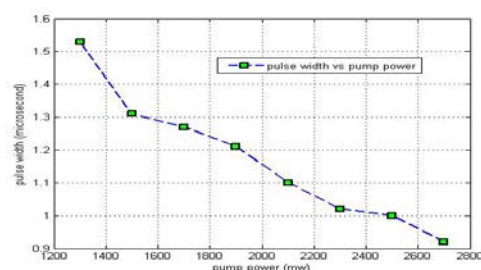
شکل ۶: نمودار توان خروجی بر حسب توان دمش

به منظور دستیابی به پالس های فوق کوتاه مدوله شده با پالس های سوئیچ Q شده، SESAM را جایگزین آینه تخت کردیم. همچنین از یک آینه ۱۵ سانتی با عبوردهی $T=1\%$ استفاده کردیم. در این حالت توان آستانه لیزر 720 mw بوده است ولیکن تا توان 950mw لیزر در حالت پیوسته عمل می کرد. با افزایش توان پالس های سوئیچ Q شده شکل می گیرند. برای توان های بیش از ۱.۲ وات پالس های فوق کوتاه مدوله شده با پالس های سوئیچ Q شده، پایدار شده و دارای تغییرات کمتر از ۲ درصد می باشند. قطار پالس های روی اسکوپ در شکل ۷ نشان داده شده اند.



شکل ۷: الف (نمایش قطار پالس ها ب) نمایش پالس های فوق کوتاه که با پوش پالس های سوئیچ Q شده مدوله شده اند.

با افزایش توان دمش، پهنای پالس های سوئیچ Q شده کاهش یافته که این وابستگی در شکل ۸ رسم شده است.



شکل ۸: وابستگی پهنای پالس به توان دمش

همچنین مشاهده شد که با افزایش توان دمش نرخ تکرار پالس های سوئیچ Q شده، نیز افزایش می یابد که نمودار