بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

# طراحی و ساخت لیزر Nd:YVO4 قفل شده مدی انفعالی 10 ps با مد خروجی TEM00 با استفاده از SESAM

**سعید سلیمیان ریزی ، مریم جندقی ، زهرا محمدظاهری ، سمیرا علیپور، محمد جوادی داشکسن ، المیرا حاجی نیا ، سید حسن نبوی**

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران، ایران، ۵۷۶-۱۴۶۶۵، saeed.op.la.2010@gmail.com

**چکیده - در این مقاله طراحی و ساخت لیزر ۱۰ps قفل شده مدی انفعالی Nd:YVO4 با استفاده از آینه جاذب اشباع پذیر نیمه هادی (SESAM) و با مد خروجی TEM00 گزارش می‌شود. این لیزر با پمپاژ دیودی 3.5 W ، خروجی با توان میانگین 500 mW در نرخ تکرار 82MHz تولید می‌کند. با طراحی‌های به عمل آمده این پالس‌های قفل شده مدی خروجی به صورت پایدار-پیوسته در طول موج 1064 nm انتشار می‌یابند. چیدمان تجربی با کمک پارامترهای طولی محاسبه شده در نرم افزار LASCAD انجام شده‌است.**

کلید واژه- قفل شده مدی، لیزر Nd:YVO4 ، جاذب اشباع پذیر، پیکوثانیه

# Design and fabrication of a 10ps passively mode-locked TEM00 Nd:YVO4 based on a SESAM

**Saeed Salimian Rizi, Maryam Jandaghi, Zahra Mohammad Zaheri, Samira Alipour, Mohammad Javadi Dashkasan, Elmira Hajinia, Seyed Hasan Nabavi**

Iranian National Center for Laser Science and Technology, P.O. Box 14665-576, Tehran, Iran,
saeed.op.la.2010@gmail.com

**Abstract- In this paper design and fabrication of a 10ps passively mode-locked TEM00 Nd:YVO4 based on a semiconductor saturable absorber mirror(SESAM) is reported. When the incident diode pump power was 3.5 W, 500mW average output power at 82 MHz repetition rate is achieved. This design produces stable continuous mode-locked pulses at 1064. In addition, presented experiment is set-up with some data which are obtaind by LASCAD simulation.**

Keywords: Mode locked, Nd:YVO4 laser, Saturable absorber , Picosecond



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

## مقدمه

امروزه پالس‌های با کیفیت و فوق کوتاه لیزرهای قفل شده مدی انفعالی به دلیل داشتن قله توان بالا ، اثرات تخریب دمایی پایین و همچنین نرخ تکرار بالا به طور گسترده در کاربردهای فراوانی نظیر فرآوری مواد با لیزر، تبدیل هارمونیک غیرخطی و ... استفاده می‌شود[1].

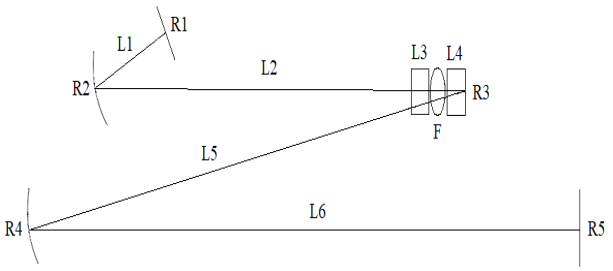
آینه SESAM جاذب اشباع پذیر بسیار خوبی برای تولید این پالس‌های قفل شده مدی است زیرا تمامی پارامترهای جذبی اشباعی را می‌توان در آن به دقت کنترل و تولید کرد و همچنین می‌توان در شدت‌های پایین نیز این نوع آینه را اشباع کرد[2-3]. از این آینه غالبا به عنوان آینه انتهایی امواج ایستاده در کاواک استفاده می‌شود. با استفاده از چیدمان‌های مختلف رزوناتور مثل کاواک‌های تا شده، پرتو خروجی دو بار از محیط فعال عبور می‌کند. کریستال Nd:YVO4 که دارای سطح مقطع گسیل القایی بزرگ و همچنین ضریب جذب پمپاژ بالا در طول موج پمپاژ دیود است، به عنوان کریستال لیزر استفاده شده‌است[4].

در این مقاله ابتدا مروری بر نتایج شبیه‌سازی نرم افزار LASCAD برای شکل گیری رزوناتور پایدار می‌شود سپس نتایج تجربی بدست آمده از این لیزر قفل شده مدی انفعالی که منجر به تولید پالس‌هایی با مشخصات توان میانگین خروجی 500 mW ، پهنای زمانی ۱۰ ps و نرخ تکرار 82 MHz در طول موج 1064nm می‌شود گزارش شده‌است.

## بررسی شبیه‌سازی

نرم افزار LASCAD با استفاده از تحلیل المان محدود و انتشار پرتو گاوسی به صورت ماتریس‌های ABCD و همچنین لحاظ کردن شرایط پایداری $0<g1*g2<1$ ، قابلیت شبیه‌سازی رزوناتور لیزر، تعیین پارامترهای هندسی رزوناتور، تحلیل اثرات گرمایی محیط فعال و همچنین تحلیل پارامترهای خروجی لیزر مورد نظر را به طور همزمان یا مجزا دارد[5].

شکل ۱و ۲ به ترتیب طرحواره‌ای از چیدمان انتخابی و محیط نرم افزار LASCAD که این المان‌ها در آن اعمال شده‌است را به تصویر می‌کشد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود رزوناتور مورد استفاده از ۵ آینه با چیدمان تا شده (انحنا دار)، عدسی بوجود آمده از گرمای پمپاژ و کریستال محیط بهره تشکیل شده‌است. با وارد کردن مشخصات کریستال، شعاع انحنای آینه‌های موجود و در نظر گرفتن کمترین چگالی شدت اعمالی در آینه SESAM به منظور اشباع شدن آن و همچنین در نظر گرفتن شرط پایداری، قطر لکه در المان‌های مختلف بدست می‌آید.




شکل۱: طرحواره‌ای از سیستم ساده شده لیزر Nd:YVO4 قفل شده مدی انفعالی.

همانطور که مشاهده می‌کنید محیط فعال و عدسی شدگی بوجود آمده ناشی از پمپاژ از انتها را می‌توان معادل یک عدسی نازک با کانون f که متناظر با معادله (۱) می‌باشد در نظر گرفت که بین دو ماده با ضریب شکست n0 و طول $l/2$ ساندویچ شده‌است[6-7].

$$f = \frac{r^2}{2\,{dn}/{dT}\,[T(0) - T(r)l]} \qquad ۱$$

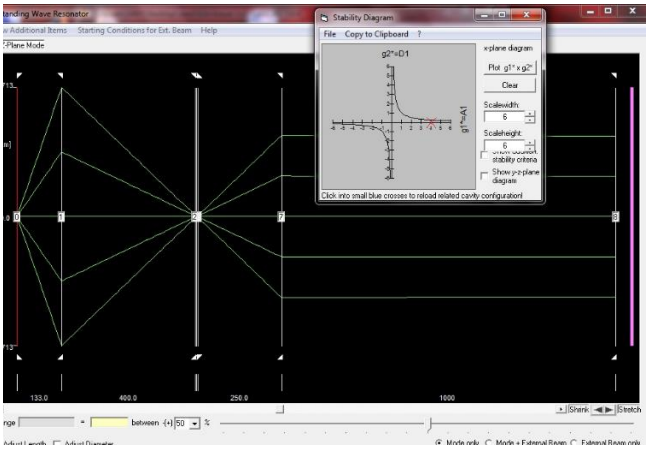
در این معادله، ${dn}/{dT}$ ضریب ترمواپتیک، r شعاع ناحیه پمپاژ و $l$ طول کریستال ماده فعال می‌باشد. در شبیه‌سازی صورت گرفته شده سعی شده‌است که شرط پایداری برای عدسی شدگی‌های متفاوت یعنی بیشترین و کمترین حالت پمپاژ ( حالت پمپاژ خاموش) تغییر نکند.

بدین منظور فاصله‌های L1-L6 در این قسمت بدست می‌آید.



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

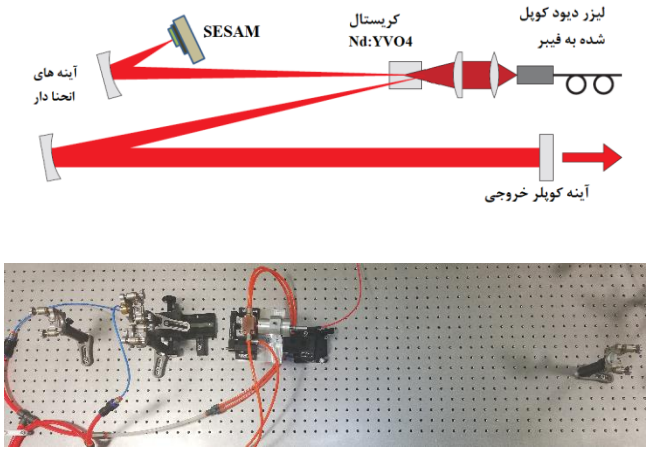
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]



شکل ۲: نمایی از سطوح تعریف شده در نرم افزار LASCAD و منحنی پایداری.

## بررسی تجربی

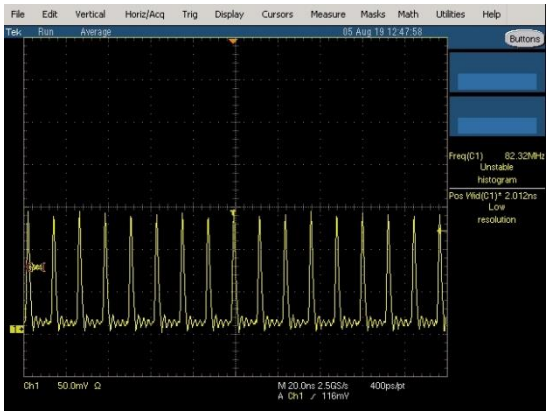
چیدمان تجربی در شکل ۳ نشان داده شده‌است. کریستال Nd:YVO4 استفاده شده در این چیدمان دارای ۰٫۵ درصد اتمی غلظت آلاییدگی $Nd^{3+}$ با ابعاد $3\times3\times9\ mm^3$ است که روی یک سطح آن پوشش ضد بازتابش در طول موج 1064nm و روی سطح دیگر آن یک آینه با بازتابش بالا در طول موج 1064nm و یک لایه ضد بازتابش در طول موج 808nm پوشش داده شده‌است. بلور بهره بوسیله‌ی یک منبع پمپاژ دیودی کوپل شده به فیبر در طول موج 808nm تا 4W پمپاژ می‌شود. فیبر نوری استفاده شده دارای قطر هسته $100\mu m$ و دهانه عددی(NA) ۰٫۲۲ است که به صورت ۱:۱ و با استفاده از دو عدسی تصویرساز بر روی کریستال تصویر می‌شود. شعاع انحنای آینه M2 و M4 به ترتیب ۲۰۰ و ۵۰۰ میلیمتر با بازتابش بالا در 1064nm است. M5 یک آینه تخت است که با عبور T=10% به عنوان کوپلر خروجی در طول موج 1064nm عمل می‌کند. SESAM و کریستال به صورت آب خنک در دمای ۱۵ درجه سلسیوس خنک می‌شوند. فاصله L1، L2، L5 و L6 به ترتیب ۱۳۰، ۴۰۰، ۲۵۰ و ۱۰۰۰ میلیمتر و به کمک نرم افزار LASCAD اتخاذ شده‌است. ضریب جذب و عمق مدولاسیون SESAM به ترتیب ۳% و 1.8% می‌باشد.




شکل۳: طرحواره و چیدمان آزمایشگاهی لیزر Nd:YVO4 قفل شده مدی انفعالی.

از شبیه‌سازی‌ها و آزمایش متوجه شدیم که فاصله L1 برای رسیدن به شرط پایداری و قفل شدگی مد بسیار حیاتی است.

شکل ۴ بیانگر قطار پالس بدست آمده از این لیزر قفل شده مدی انفعالی در حالت پیوسته است. این داده‌ها با دستگاه اسیلوسکوپ دیجیتال با پهنای باند 1GHz و نرخ داده برداری 10GS/s و یک فوتودیود سریع با زمان خیزش ۱۰ پیکوثانیه ثبت شده‌است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود فاصله زمانی بین پالس‌های قفل شده 12ns می‌باشد که به خوبی با زمان عبور یک بار رفت و برگشت پالس از درون کاواک تطابق داشته و متناظر با نرخ تکرار 82.5MHz است. توان میانگین خروجی این لیزر با توان پمپاژ ۳٫۵ وات حدود ۵۰۰ میلی‌وات بوده و در آزمون پایداری توان ۱۰ دقیقه‌ای پایداری 0.5% اندازه‌گیری شد که پایداری بسیار خوبی است.



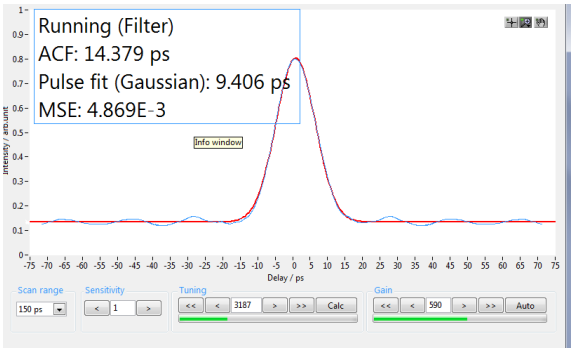
شکل۴: قطار پالس‌های قفل شده مدی در توان پمپاژ 3.5 W.



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

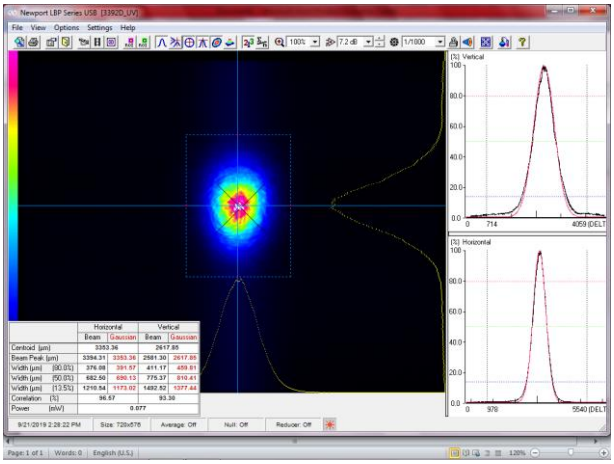
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

پهنای زمانی پالس‌های قفل شده مدی با دستگاه آتوکورلیتور APE اندازه‌گیری شد. شکل ۵ پروفایل زمانی این پالس‌ها را با 9.406 ps FWHM نشان می‌دهد که متناظر با قله توان هر پالس 6KW است.




شکل۵: پروفایل زمانی پالس‌های قفل شده مدی.

شکل ۶ پروفایل فضایی باریکه در توان پمپاژ ۳,۵ وات را نمایش می‌دهد. همانطور که از شکل مشاهده می‌شود مد خروجی گوسی TEM00 بدست آمده است.



شکل۶: پروفایل فضایی لیزر پیکوثانیه قفل شده مدی انفعالی.

## نتیجه‌گیری

در این پروژه طراحی و ساخت یک سیستم لیزری پمپاژ دیودی قفل شده مدی انفعالی با استفاده از آینه جاذب اشباع پذیر نیمه هادی (SESAM) با ماده فعال Nd:YVO4 گزارش شده‌است. طراحی پارامترهای فاصله‌ایی لیزر برای داشتن یک کاواک پایدار توسط نرم افزارLASCAD تعیین گردید و سپس مرحله ساخت این لیزر با پارامترهای بهینه بدست آمده، انجام شد. این لیزر دارای پالس‌هایی با انرژی خروجی 60nJ، نرخ تکرار 82MHz، پهنای زمانی کمتر از 10ps و با شکل عرضی میدان گاوسی با مد TEM00 است.

## مرجع‌ها

**[1]** J. Chen, R. Knappe, and W. Viol, Laser Phys. Lett. 5, 425 (2008).
**[۲]** M. Gong, H. Yu, X. Wushouer, and p.Yan, Laser Phys. Lett. 5, 514 (2008)
**[۳]** Walter Koechner, *" Solid-State Laser Engineering"* Sixth Revised and Updated Edition,springer (2006).
**[٤]** A. Zavadilova, V. Kubecek, and J.-C. Diels, Laser Phys. Lett. 4, 103 (2007).
**[5]** LAS-CAD, Laser Stability Analysis in LASCAD Software, http://www.lascad.com.
**[6]** V, Magni, Appl. Opt. 25, 1, pp. 107-117 (1986).
**[7]** Liang Liu, Xiaobo Wang, Shaofeng Guo, Xiaojun Xu, Qisheng Lu, Optics Communications, 284, 1274-1277 (2011).

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]



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