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

تاثیر پارامترهای دمش بر عملکرد یک لیزر کلیدزنی Q شده و قفل شده مد Nd:GdVO4

سید حسام رجائی، غلامرضا هنرآسا و علیرضا کشاورز

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز
H.Rajae@sutech.ac.ir

چکیده – در این مقاله با استفاده از معادلات نرخ جفت شده، رفتار یک لیزر $Nd:GdVO_4$ کلید زنی Q و قفل شده مد با جاذب اشباع پذیر Cr^{4+}:YAG شبیه سازی شده است. به این منظور معادلات نرخ از رهیافت افت وخیز حل و توان متوسط و انرژی تپ خروجی محاسبه شده است. همچنین تاثیر توان دمش و پهنای میانگین پرتو دمش بر عملکرد لیزر بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش توان دمش و پهنای میانگین پرتو دمش، انرژی تپ خروجی افزایش می‌یابد.

کلید واژه- لیزر $Nd:GdVO_4$، جاذب اشباع پذیر Cr^{+4}:YAG، قفل شدگی مد، کلیدزنی Q،

The Effect of Pump parameters on the performance of a Nd:GdVO4 Q-Switched and Mode-Locked Laser

Seyed Hessam Rajaee, Gholamreza Honarasa and Alireza Keshavarz

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract-In this paper, the behavior of a Q-switched and mode-locked $Nd:GdVO_4$ laser with Cr^{4+}:YAG saturable absorber is simulated by using the coupled rate equations. For this purpose, the rate equations are solved by fluctuation mechanism and the average output power and pulse energy are calculated. Also, the impact of the incident pump power and average radius of the pump beam on the performance of the laser is investigated. The results show that as the incident pump power and average radius of the pump beam are increased, the pulse energy is increased.

Keywords: $Nd:GdVO_4$ Laser, Cr^{+4}:YAG Saturable absorber, Mode locking, Q-switching

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

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

مقدمه

استفاده همزمان از کلیدزنی Q و قفل شدگی مد می‌تواند تپ های لیزر با توان قله‌ی بالا و پهنای تپ فوق کوتاه (پیکو ثانیه‌ای) که برای کاربردهای زیادی مورد نیاز است را فراهم کند و باعث می‌شود یکی از موضوعات مورد توجه در زمینه لیزر باشد. کلیدزنی Q و قفل شدگی مد هم زمان یک راه ساده را برای افزایش توان قله در مقایسه با روش قفل شدگی مد موج پیوسته فراهم می‌کند[۱]. با استفاده از این روش می‌توان برای لیزرهای حالت جامد پر کاربرد ناخالصی سازی شده با یون نئودیوم و لیزر های حالت جامد فرکانس دو برابر شده درون کاواک با مدت زمان تپ فوق سریع و توان قله بالا استفاده کرد. از جمله کاربردهای این لیزرها می‌توان به پردازش مواد، میکرو ماشین، سنجش از راه دور، چشم پزشکی، ذخیره‌سازی اطلاعات، ارتباطات همدوس تشخیص های پزشکی، هولوگرافی و صنعت اشاره کرد[۲].

بلور $Nd:GdVO_4$ یک ایزوتوپ $Nd:YVO_4$ است و به عنوان ماده فعال در لیزر های دمش دیودی استفاده می‌شود. بلور $Nd:GdVO_4$ دارای پهنای باند بالا و هدایت گرمایی بالا است و مناسب تر از بلور $Nd:YVO_4$ برای عملکرد در حالت قفل شدگی مد است[۱].

بلور Cr^{+4}:YAG به علت خصوصیات گرمایی و مکانیکی مناسب، به طور گسترده به عنوان جاذب اشباع پذیر برای تولید تپ های کلید زنی Q و قفل شده مد استفاده می‌شود. زمانی که شدت درون کاواک لیزر کم باشد بیشتر یون‌های Cr^{+4} در Cr^{+4}:YAG در تراز پایه قرار دارند و جذب تراز برانگیخته ناچیز است. در این حالت Cr^{+4}:YAG می‌تواند لیزر های ناخالصی سازی شده با Nd^{+3} را کلید زنی Q کند اما در این حالت از قفل شدگی مد جلوگیری می‌شود. اما اگر شدت درون کاواک به اندازه کافی باشد، تمام یون‌های Cr^{+4} به سرعت به اولین تراز برانگیخته می‌روند و برانگیختگی بیشتر به وسیله‌ی جذب تراز برانگیخته قوی باعث تجمع یون های Cr^{+4} در ترازهای مجازی بالاتر می‌شود. از آنجا که زمان استراحت ترازهای بالای مجازی تا اولین تراز برانگیخته زیر نانوثانیه است، این امکان وجود دارد که تپ‌های کلید زنی Q و قفل شده مد همزمان دریافت شود به شرطی که شدت درون کاواک لیزر به اندازه کافی برای اشباع جذب تراز برانگیخته بزرگ باشد. بنابراین جذب تراز برانگیخته اشباع شده‌ی قوی بلور Cr^{+4}:YAG به عنوان مکانیزم فیزیکی تولید تپ‌های قفل شده مد در نظر گرفته شده است[۳].

مبانی نظری

از رهیافت افت و خیز برای توصیف تپ‌های پیکوثانیه ای در لیزر کلید زنی Q و قفل شده مد همزمان با یک جاذب اشباع پذیر استفاده می شود. بر اساس این رهیافت، دو مرحله برای تشکیل تپ فوق کوتاه وجود دارد: مرحله خطی و مرحله غیر خطی. در حالی که مرحله غیر خطی شامل جذب غیر خطی و تقویت غیر خطی می شود. در مرحله‌ی خطی، نوسانات شدت به علت تداخل تعداد زیادی از مدها که دارای توزیع فاز تصادفی هستند به وجود می‌آید. بنابراین تابش متشکل از یک مجموعه بی نظم از قله های فوق کوتاه است. در مرحله غیرخطی، قله های نوسان قوی‌تر، سریعتر از قله های ضعیف‌تر، فشرده و تقویت می‌شوند[۴].

با استفاده از رهیافت افت و خیز و در نظر گرفتن توزیع فضایی گاوسی فوتون‌های درون کاواک، شکل شدت میانگین فوتون ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود[۱]:

$$\phi(r,t)=\sum_{k=0}\phi_k f(t-t_k)\exp(-\frac{2r^2}{\omega_l^2}) \qquad (۱)$$

که در آن r مختصات شعاعی، ϕ_k شدت در k امین رفت و برگشت، t_k زمان رفت و برگشت کاواک، ω_l شعاع عرضی میانگین مد TEM_{00} در کاواک و $f(t)$ تپ های قفل شده

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

مد تکامل یافته از نویز است که برای بازسازی تپ‌های قفل شده مد در زیر پوشش کلید زنی Q شده به کار گرفته شده است. تابع $f(t)$ معمولا به صورت زیر تعریف می‌شود[۱]:

$$f(t)=\frac{1}{2\sigma c\tau_p}\sec h^2(\frac{t}{\tau_p}) \qquad (۲)$$

که در آن c سرعت نور، σ سطح مقطع گسیل القایی ماده فعال، τ_p وابسته به FWHM مدت زمان تپ قفل شده مد τ در طول موج پایه است $\tau=1.76\tau_p$ است. بنابراین شکل گاوسی شدت میانگین فوتون ها در رفت و برگشت k ام به صورت زیر خواهد بود[۱]:

$$\phi_k(r,t)=\phi_k f(t)\exp(-\frac{2r^2}{w_l^2}) \qquad (۳)$$

معادلات نرخ

معادلات نرخ لیزر، کلیدزنی Q و قفل شده مد همزمان با در نظر گرفتن توزیع فضایی گاوسی شدت فوتون درون کاواک، به صورت زیر است[۵]:

$$\begin{aligned}\frac{d\phi}{dt}=\frac{2}{\pi\omega_l^2}\int_0^\infty\frac{1}{t_r}\{&2\sigma n(r,t)l\varphi_g(r,t)\\&-2\sigma_g n_{s1}(r,t)l_s\phi_s(r,t)\\&-2\sigma_e[n_{s0}-n_{s1}(r,t)]l_s\varphi_s(r,t)\\&-[L+\ln(\frac{1}{R})]\varphi(r,t)\}2\pi dr\end{aligned} \qquad (۴)$$

$$\frac{dn(r,t)}{dt}=R_{in}(r)-\sigma cn(r,t)\phi_g(r,t)-\frac{n(r,t)}{\tau} \qquad (۵)$$

$$\frac{dn_{s1}(r,t)}{dt}=\frac{n_{s0}-n_{s1}(r,t)}{\tau_s}-\sigma_g cn_{s1}(r,t)\phi_s(r,t) \qquad (۶)$$

که در آن φ چگالی فوتون درون کاواک، r مختصات شعاعی، ω_1 شعاع میانگین مد (TEM_{00}) در کاواک، σ سطح مقطع گسیل القایی ماده فعال، σ_g سطح مقطع جذب تراز پایه جاذب اشباع پذیر، σ_e سطح مقطع جذب تراز برانگیخته جاذب اشباع پذیر، t_r زمان رفت و برگشت کاواک، l_s طول جاذب اشباع پذیر، l طول ماده‌ی فعال، $n(r,t)$ چگالی جمعیت وارون میانگین، $n_{s1}(r,t)$ چگالی جمعیت وارون تراز پایه جاذب اشباع پذیر، c سرعت نور، n_{s0} چگالی جمعیت کل جاذب اشباع پذیر، L ضریب اتلاف، R ضریب بازتاب آینه‌ی خروجی لیزر، R_{in} نرخ پمپ، τ طول‌عمر نشر القایی ماده فعال، τ_s طول عمر تراز برانگیخته جاذب اشباع پذیر، $\varphi_g(r,t)$ چگالی فوتون در ماده فعال، $\varphi_s(r,t)$ چگالی فوتون در جاذب اشباع پذیر است.

شبیه سازی

برای شبیه سازی لیزر، معادلات نرخ لیزر کلیدزنی Q و قفل شده مد همزمان به وسیله‌ی جاذب اشباع پذیر را با استفاده از جایگذاری رابطه (۱) درآنها و انتگرال گیری مستقیم حل می کنیم و ϕ_k را به‌دست می‌آوریم و توان خروجی متوسط از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید[۱]:

$$P(t)=\frac{h\nu A}{4\sigma p}\sum_{k=0}^{\infty}\phi_k\sec h^2(\frac{t-t_k}{\tau p}) \qquad (۷)$$

که در آن A سطح مقطع مد، h ثابت پلانک و ν فرکانس لیزر است. همچنین انرژی تپ‌های قفل شده مد و کلید زنی Q شده از رابطه‌ی زیر به‌دست می آید:

$$E=\frac{h\nu A}{4\sigma}\sum_{k=0}^{\infty}\phi_k \qquad (۸)$$

به منظور انجام شبیه‌سازی از مقادیر جدول ۱ استفاده شده است. در شکل ۱ توان خروجی متوسط بر حسب زمان رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود قطار تپ های قفل شده مد در زیر پوش تپ کلیدزنی Q شده

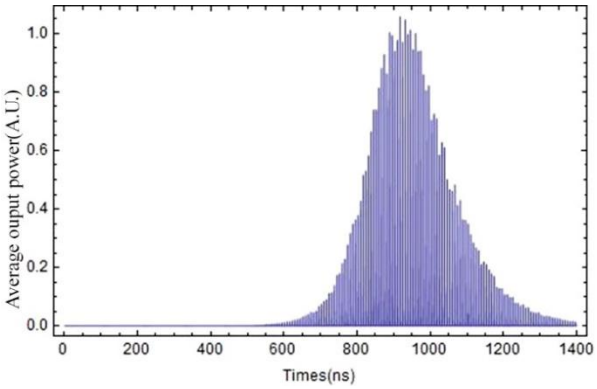
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

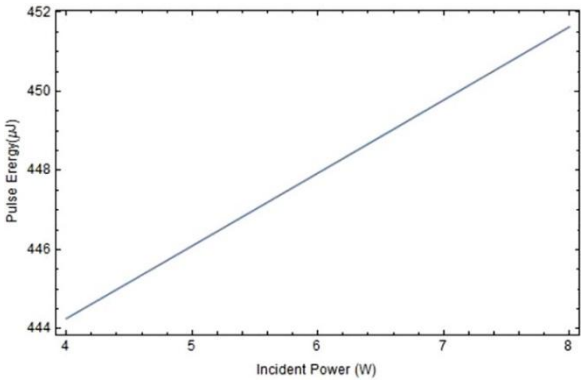
مشاهده می‌شود. در شکل ۲ انرژی تپ برای مقادیر مختلف توان پمپ ورودی رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش توان پمپ انرژی پالس خروجی نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۱: مقادیر استفاده شده در شبیه‌سازی[۱]

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
σ	$1.2\times10^{-19}cm^2$	τ_s	$3.2\mu s$
σ_g	$4.3\times10^{-18}cm^2$	ω_1	$220\mu m$
σ_e	$8.2\times10^{-19}cm^2$	L	0.08
τ	$90\mu s$	R	0.94



شکل ۱: شدت تپ کلید زنی Q شده بر حسب زمان.

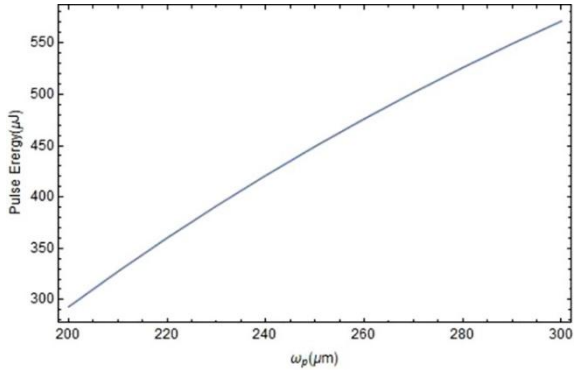


شکل ۲: تغییرات انرژی تپ خروجی برحسب توان پمپ ورودی.

انرژی تپ خروجی برای مقادیر مختلف شعاع میانگین پرتو پمپ در شکل ۳ رسم شده است. در اینجا نیز با افزایش شعاع پرتو پمپ، انرژی تپ خروجی افزایش می یابد.

نتیجه‌گیری

دراین مقاله عملکرد یک لیزر کلیدزنی Q و قفل شده مد Nd:GdVO4 با استفاده از حل معادلات نرخ بررسی شده است. این بررسی نشان می‌دهد که با استفاده از جاذب پذیر مناسب می‌توان به تپ‌های قفل شده مد با پوش تپ کلید زنی Q شده دست یافت. همچنین با افزایش توان دمش و پهنای میانگین پرتو پمپ، انرژی تپ خروجی افزایش می‌یابد.



شکل ۳: تغییرات انرژی تپ خروجی برحسب شعاع میانگین پرتو پمپ.

مرجع‌ها

[1] Li M., Zhao S., Yang K., Li G., Li D., Wang J. and An J., "Diode-Pumped Passively Q-Switched Mode-Locked c-Cut Nd:GdVO4 Laser with Cr:YAG Saturable Absorber" , Jpn. J. Appl. Phys., Vol .45, No. 10A, pp.7713-7718, 2006.

[2] Zhao S. and Li G., "Numerical simulation of dual-loss-modulated Q-switched and mode-locked laser with an acousto-optic and Cr^{+4}:YAG Saturable Absorber" , Appl. Opt., Vol. 49, pp. 1802-1808, 2010

[3] Chen Y.F., Tsai S.W., "Simultaneous Q-Switching and Mode-Locking in a Diode-Pumped Nd :YVO4–Cr^{4+} :YAG Laser" , IEEE. J. Qut. Elc,Vol. 37,No. 4, pp. 580-586, 2001

[4] Kryukov P.G, Letokhov V.S., "Fluctuation Mechanism of Ultrashort Plus Generation by Laser With Saturable Absorber", IEEE. J. Quantum Electron, Vol. Qe-8, No. 10, pp. 766-782, 1972

[5] Li G., Zhao S., Zhao H., Yang K., Ding S., "Rate Equation And Solution of a Laser-Diode-end-pumped passively Q-switched intracaity doubling laser by taking into account spatial distribution" , Opt. Comm. Vol. 347, pp. 321-328, 2004

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]