بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

شبیه‌سازی کلید Q الکترو اپتیک در یک لیزر دایود پمپ $Er^{+3}:Yb^{+3}:Glass$

نسترن شمس الدینی، غلامرضا هنرآسا و امیر نوفرستی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده – در این مقاله به شبیه‌سازی کلید زنی Q به روش الکترواپتیک در یک لیزر Er:Yb:Glass می‌پردازیم. به این منظور با استفاده از حل عددی معادلات نرخ وابسته به زمان تعداد فوتون‌های درون کاواک و جمعیت ترازها را محاسبه می‌کنیم. سپس با استفاده از تابع عبور مناسب برای بلور الکترواپتیک، توان خروجی لیزر را به‌دست می‌آوریم. نتایج نشان می‌دهد می‌توان به انرژی پالس ۱۰ میکرو ژول، توان قله ۵۷۶ وات و پهنای پالس ۱۷ نانوثانیه دست یافت.

کلید واژه-معادلات نرخ، کلید زنی Q بلور الکترو اپتیک، لیزر Er:Yb:Glass، پهنای پالس

Simulation of Electro-Optic Q-switch in a Diode Pumped Er^{+3}: Yb^{+3}:Glass Laser

Nastaran Shamsodini, Gholamreza Honarasa, Amir Noferesti

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract- In this paper, electro-optic Q-switching in an Er:Yb:Glass laser is simulated. For this purpose, the photon number in the cavity and level populations are calculated using numerical solution of time dependent rate Equations. Then, the laser output power is obtained using proper transmission function of the electro-optic crystal. The results show that pulse Energy 10 µj, peak power 576 W and pulse duration 17ns can be achievd.

Keywords: Rate Equations, Electro Optic Q -Switched, Er:Yb:Glass Laser, Pulse Duration

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

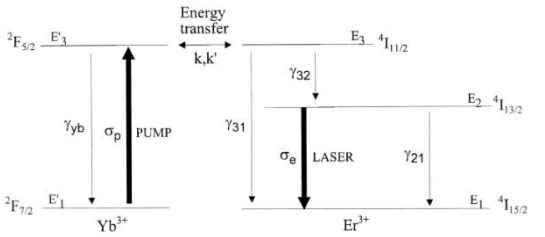
۱- مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۸۰ با پیشرفت دایود لیزرها ی توان بالا، تحقیق در زمینه‌ی لیزرهای دایود-پمپ حالت جامد مورد توجه قرار گرفت. ازمزایای این نوع لیزرهای پالسی، داشتن پیکربندی کوچک و همچنین خروجی با پهنای پالس نانو ثانیه می‌باشد[۱]. لیزر اربیوم-ایتربیوم آلاییده‌شده با شیشه از جمله لیزر های حالت جامد سه ترازه در ناحیه چشم ایمن است و با طول موج ۱۵۴۰ نانومتر است[۲].

کلید زنی Q به روش الکترواپتیک به دلیل سرعت بالا و کنترل خوب روی عمل کلیدزنی یکی از پرکاربردترین روش‌های کلیدزنی Q است. کلیدزنی Q با استفاده از دو ولتاژ $\lambda/2$ و $\lambda/4$ انجام می‌شود که در آنها به ترتیب بلور الکترواپتیک به تیغه $\lambda/2$ و تیغه $\lambda/4$ تبدیل می‌شود[۳]. در کار حاضر از ولتاژ $\lambda/2$ استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از معادلات نرخ و تخمین عبور بلور الکترواپتیک مدلی برای شبیه سازی انرژی و پهنای پالس پرتو خروجی ارائه می‌دهیم.

۲- حل معادلات نرخ

در کلید زنی Q لیزر اربیوم _ایتربیوم آلاییده با شیشه به روش الکترو اپتیک، می‌توان با ایجاد اتلاف در کاواک، جمعیت معکوس را به میزان زیادی افزایش داد. وقتی جمعیت معکوس به میزان بالایی رسید ناگهان عامل اتلاف درکاواک حذف می شود و نوسانات لیزرآغازمی شود[۴]. با توجه به شکل۱، با تابش پمپ، جمعیت از تراز $^2F_{7/2}$ ایتربیوم به تراز بالایی $^2F_{5/2}$ یون ایتربیوم منتقل می‌شود. سپس با توجه به همپوشانی خوب بین تراز بالایی ایتربیوم و تراز $^4I_{13/2}$ اربیوم، جمعیت پمپ شده از تراز $^2F_{5/2}$ ایتربیوم به تراز $^4I_{13/2}$ اربیوم انتقال می‌یابد. بین تراز $^4I_{13/2}$ و $^4I_{15/2}$، پرتو خروجی لیزر تشکیل می‌شود. با در نظر گرفتن فرضیات زیر معادلات جفت شده را برای جمعیت تراز های مختلف به‌دست می آوریم. اولین فرض به دلیل نیمه عمرکوتاه تراز $^4I_{11/2}$ اربیوم، جمعیت پمپ شده به تراز $^2F_{5/2}$ طی یک فرو افت سریع به تراز $^4I_{13/2}$ انتقال می یابد. بنابراین جمعیت تراز $^4I_{11/2}$ تقریبا ثابت است ($\frac{dN3}{dt}=0$). در فرض دوم از برگشت انتقال انرژی K' از تراز $^4I_{11/2}$ اربیوم به تراز $^2F_{5/2}$ ایتربیوم و همچنین از دمش تراز پایه اربیوم $^4I_{15/2}$ صرف نظر شده است.



شکل۱. تراز های انرژی لیزر Er^{+3}:Yb^{+3}:Glass.

معادله نرخ برای E_2 و E'_3 به صورت زیر نوشته می‌شود [۴ و ۵]:

$$\frac{dN'_3}{dt}=\sigma_p N_{yb}\varphi_p - kN'_3(N_{er}-N_2) - \gamma_{yb}N'_3 \quad (۱)$$

$$\frac{dN_2}{dt}=kN'_3(N_{er}-N_2)-\gamma_{21}N_2 - (2N_2-N_{er})\sigma_e\varphi_l N_L\frac{c_0}{n} \quad (۲)$$

که در آن $N_{yb}=N'1+N'3$ چگالی اتمی یون ایتربیوم، $N_{er}=N1+N2+N3$ چگالی اتمی یون اربیوم و N_L تعداد فوتون های درون کاواک است. همچنین k آهنگ انتقال انرژی از تراز $^2F_{5/2}$ ایتربیوم به تراز $^4I_{13/2}$ اربیوم و σ_p و σ_e به ترتیب سطح مقطع جذب و گسیل هستند. γ_{21} آهنگ فروافت از تراز ۲ به تراز ۱ اربیوم، γ_{yb} آهنگ فروافت تراز بالایی ایتربیوم و c_0 سرعت نور در خلا است. φ_p شار فوتون دمش شده با توزیع یکنواخت که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\varphi_p=\frac{p_p(1-e^{-\alpha l})}{h\nu_p S\alpha l} \quad (۳)$$

که در آن p_p توان پمپ، α ضریب جذب اربیوم- شیشه، l طول ماده فعال و S مساحت پرتو لیزر $S=\pi w_l^2$ است[۴]. حال تعداد فوتون ها را در حجم کاواک V که به وسیله گسیل القایی ایجاد می شود به صورت زیر تعریف می کنیم[۴]:

$$\iint_V \sigma_e(N2-N1)\frac{c_0}{n}N_L(t)\varphi_l(r)dV \quad (۴)$$

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

که در آن $\varphi_l(r)$ شار فوتون لیزر با توزیع یکنواخت از رابطه ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\varphi_l(r)=\frac{n}{L_{opt}S} \qquad (۵)$$

به طوری که $L_{opt}=nl$ است. بنابراین برای تغییرات تعداد فوتون های درون کاواک خواهیم داشت:

$$\frac{dN_L}{dt}=N_L[-\frac{1}{\tau_{cavity}}+\frac{c_0\sigma_e(2N_2-N_{er})}{n}] \qquad (۶)$$

که در آن τ_{cavity} اتلاف درون کاواک است و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\tau_{cavity}=-\frac{2L_{opt}}{\ln[R_1R_2]c_0} \qquad (۷)$$

که R_1 و R_2 بازتاب آینه‌هاست. از سه معادله جفت شده (۱)، (۲) و (۶) می‌توان توان لیزر و نحوه تغییر جمعیت ترازها را بر حسب زمان به دست آورد. برای شبیه سازی لیزر ابتدا محیط فعال را با توان یک وات و به مدت ۸ میلی ثانیه پمپ می‌کنیم. با استفاده از معادلات نرخ در انتهای ۸ میلی ثانیه $N2/N_{er}\approx 1$ و $N_3'/N_{yb}\approx 0.47$ به دست می‌آید.

۳- شبیه‌سازی کلیدزنی Q

در کلید زنی Q به روش الکترو اپتیک از یک سلول پاکلز با تیغه $\frac{\lambda}{4}$ استفاده می‌شود. وقتی نور قطبیده تخت به بلور الکترو اپتیک وارد می‌شود، می توانیم با اعمال ولتاژ مناسب از مرتبه کیلوولت، برای تولید میدان در امتداد پرتو عبوری، صفحه قطبش را ۹۰ درجه بچرخانیم. در نتیجه نور بازتابیده از آینه طی یک رفت و برگشت از بلور بار دیگر قادر به عبوراز قطبنده نخواهد بود. این کار باعث ایجاد اتلاف درون کاواک، برای افزایش جمعیت معکوس بیشتر خواهد بود[۱و۶]. در این حالت τ_{cavity} را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\tau_{cavity}=-\frac{2L_{opt}}{\ln[R1R2T^2]c_0} \qquad (۸)$$

که در آن T میزان عبور از بلور الکترواپتیک را نشان می‌دهد.

به منظور شبیه سازی کلیدزنی به روش الکترواپتیک تابع عبور برای سلول الکترو اپتیک را به صورت زیر تعریف می‌کنیم[۲]:

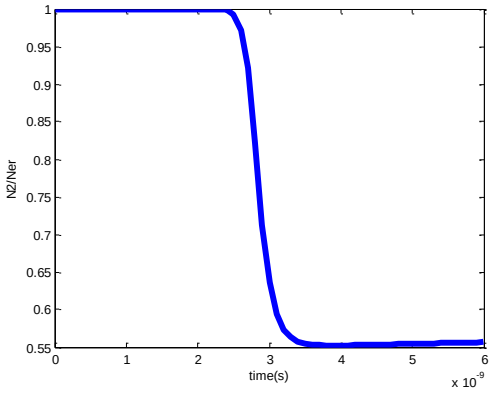
$$T=T_0Sin^2(\frac{\pi}{2}\frac{V}{V_{\lambda/4}}) \qquad (۹)$$

که V ولتاژ وابسته به زمان برای کلید زنی Q الکترو اپتیک اثر پاکلز با تیغه $\frac{\lambda}{4}$ و T_0 ماکزیمم عبورسلول الکترواپتیک است. وابستگی ولتاژ به زمان را به شکل یک تابع شبه سرتخت به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$V=V_{\frac{\lambda}{4}}\exp[-2(\frac{t-t_0}{w_t})^{2N}] \qquad (۱۰)$$

که در آن N یک عدد صحیح و w_t پهنای تابع است و به ترتیب مقادیر ۳ و ۱۶ میکرو ثانیه را برای آنها انتخاب می‌کنیم.

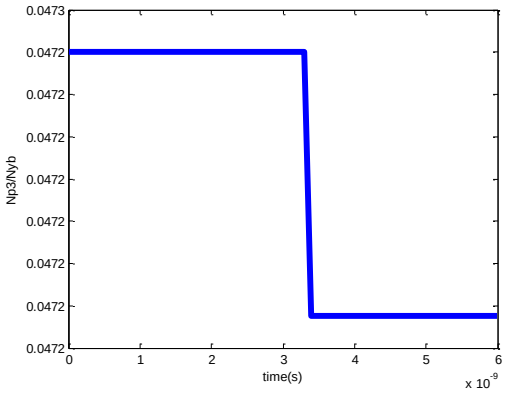
شکل‌های ۲ و ۳ نسبت جمعیت N_2/Ner و N'_3/Nyb را برحسب زمان نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، مشاهده می‌شود که N_2 کاهش یافته اما N'_3 با افت کمی توام است و تقریبا ثابت باقی می‌ماند. زمان نشان داده شده در شکل‌ها مربوط به زمان بعد از پمپ (بعد از ۸ میلی ثانیه) است.



شکل ۲: نسبت جمعیت تراز E_2 به چگالی اتمی یون اربیوم N_2/N_{er} برحسب زمان.

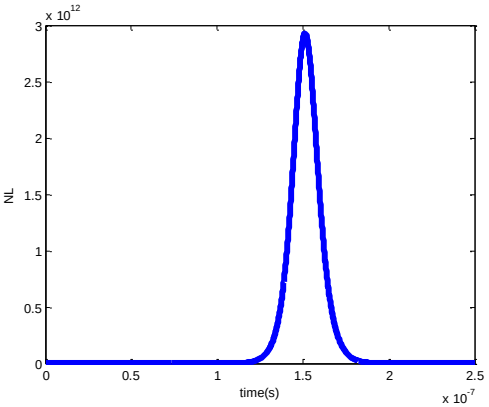
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]



شکل۳: نسبت جمیعت تراز E'_3 به چگالی اتمی یون ایتربیوم N'_3 / N_{yb} برحسب زمان.

شکل ۴ توزیع فوتون‌های درون کاواک را نشان می‌دهد که نشان دهنده یک قله شدید با پهنای نانو ثانیه است.

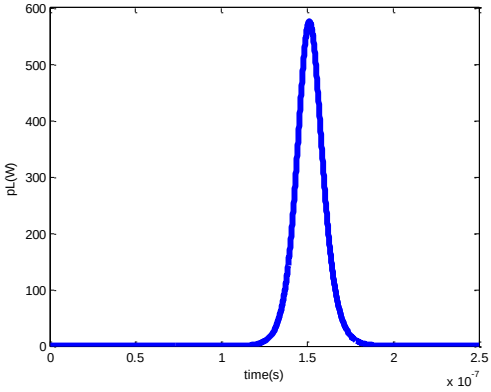


شکل ۴: منحنی فوتون های درون کاواک وقتی کلید Q فعال است.

توان خروجی لیزر وقتی کلیدQ فعال است از رابطه زیر محاسبه می شود[۴]:

$$P_L(t) = h\nu_l N_L(t) / \tau_{cavity} \qquad (۱۰)$$

که در آن $h\nu_l$ انرژی فوتون‌های لیزر است. نمودار توان خروجی لیزر برحسب زمان در شکل ۵ رسم شده است. مقدار توان قله با توجه به شکل ۵، ۵۷۶ وات است. همچنین بامحاسبه‌ی پهنا در نصف مقدار ماکزیمم توان، پهنای پالس ۱۷ نانو ثانیه به‌دست می‌آید. بنابراین انرژی هر پالس تقریبا برابر با ۱۰ میلی ژول به‌دست می‌آید.



شکل ۵: توان خروجی لیزر برحسب زمان.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با حل معادلات نرخ و با استفاده از یک تابع عبور مناسب برای بلور الکترواپتیک، کلیدزنی Q را در لیزر Er:Yb:Glass شبیه سازی کردیم. نتایج نشان می‌دهد با انتخاب پهنای مناسب (حدود ۱۶ میکروثانیه) برای ولتاژ اعمالی به بلور الکترواپتیک می‌توان به پهنای پالسی درحدود ۱۷ نانو ثانیه با انرژی پالس تقریبا ۱۰میکرو ژول و توان قله ۵۷۶ دست یافت.

مراجع

[1] E. Tanguy, C. Larat, J. P. Pocholle, “Modelling of the erbium–ytterbium laser”, Opt. Commun., Vol. 153, pp. 172-183, 1998.
[2] W. Koechner, M. Bass , *Solid-State Lasers :A Graduate Text*, Springer Verlag , New York, 2003.
[3] J. Guang-Yong, W. Chun-Ting, C. Xin-Yu, Y. Yong-Ji and W. Chao, “An Innovative Electro-Optic Q-Switch Technology in 1064nm and 1319nm Dual-Wavelength Operation of a Nd:YAG Laser”, Chin. Phys. Lett., Vol. 30, No. 3, pp. 034209, 2013.
[4] X . Zhang , S . Zhao, Q. Wang, B. Ozygus, H. Weber, “Modeling of diode-pumped actively Q-switched lasers”, IEEE J. Quant. Electron., Vol .35, No. 12, pp. 1912-1918, 1999.
[5] D. Shen, J. Sahu and W.Clarkson, “ Electro-optically Q-switched Er:YAG Laser In-bandPumped by an Er,Yb Fiber Laser”, Advanced Solid-State Photonics, WD4, 2006.
[6] W. Zendzian, J. K. Jabczynski, J. Kwiatkowski and K. Kopczynski, “300-kW, Eye-Safe Intracavity OPO Transmitter”, Proc. of SPIE, Vol. 6952, pp. 69520U, 2008.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]