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

تأثیر نواحی پمپ نشده محیط‌فعال بر عملکرد یک لیزردمش دیودی Er-Yb:Glass کلیدزنیQ شده با جاذب اشباع‌پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$

مرضیه کارمند، غلامرضا هنرآسا و امیر نوفرستی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده ـ در این مقاله با استفاده از معادلات نرخ، رفتار یک لیزر Er-Yb:Glass کلیدزنیQ شده با بلور جاذب اشباع‌پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ مدل‌سازی شده است. این مدل یک‌بار در حضور درصدی از ماده‌فعال پمپ نشده و برای بار دیگر در حضور ماده‌فعال کاملا پمپ شده مورد بررسی قرار گرفته‌است. پس از تحلیل معادلات نرخ، پهنای پالس و انرژی پالس خروجی محاسبه و در نهایت دو حالت با هم مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد زمان انتشار پالس لیزری در حضور قسمت پمپ نشده در مقایسه با حالت کاملا پمپ شده دیرتر رخ می‌دهد.

کلید واژه- لیزر Er-Yb:Glass، کلیدزنیQ غیرفعال، بلور $Co^{2+}:MgAl_2O_4$، معادلات نرخ

Impact of unpumped regions within active element on operation of a diode pumped Er-Yb:Glass laser Q-switched with $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ saturable absorber

Marzieh karmand, Gholamreza Honarasa, and Amir Noferesti

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- In this paper, The behavior of an Er-Yb:Glass laser Q-switched with $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ saturable absorber is modeled by using the rate equations. This model investigated once in presence of percentage of unpumped active element and once again in presence of completely pumped active element. After analyzing the rate equations, the output pulse width and energy are calculated and finally two cases are compared to each other. The results show that the time of propagation laser pulse in presence of unpumped active element occures later in compare with completely pumped active element.

Keywords: Er-Yb:Glass laser, Passive Q-switch, $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ crystal, Rate equation

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

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

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در زمینه پیشرفت لیزرهای پالسی با طول‌موج چشم-ایمن ۱/۵۴ میکرون وتوان قله خروجی چندین کیلووات صورت گرفته‌است. مقالات زیادی مرتبط با این موضوع با ماده‌فعال و جاذب‌های اشباع‌پذیر متفاوت به‌منظور طراحی و ساخت لیزرهای چشم-ایمن وجود دارند [۱و۲]. عملکرد یک منبع تابش همدوس و پرقدرت در طول‌موج چشم-ایمن ۱/۶-۱/۵ میکرون حائز اهمیت است. به‌طور کلی لیزر اربیم با کلیدزنی غیرفعال برای گسیل نور بسیار پر کاربرد است. از جمله کاربردهای این نمونه لیزر می‌توان به استفاده آن در ابزار پزشکی، مسافت‌یابی و ابزار آشکارکننده انفجاراشاره کرد [۳].

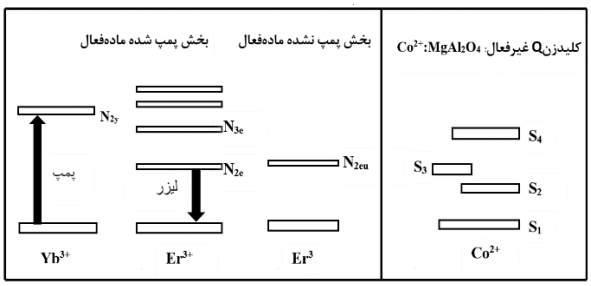
در این مقاله به شبیه‌سازی عملکرد یک لیزر Er-Yb:Glass کلیدزنی Q شده به وسیله جاذب اشباع‌پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ می‌پردازیم و تأثیر بخش‌هایی از محیط‌فعال که تحت تابش پمپ قرار نمی‌گیرند را بر عملکرد لیزر بررسی خواهیم‌کرد.

۲- مدل‌سازی لیزر

در شبیه سازی انجام شده، ماده‌فعال مکعب مستطیلی شکل از دو طرف توسط آرایه‌های لیزر دیودی به صورت عرضی در محدوده طیفی ۹۶۰-۹۴۰ نانومتر در معرض دمش قرار می‌گیرد. ابعاد ماده‌فعال ۳۲*۲*۲ میلی‌متر در نظر گرفته‌شده‌است. کاواک لیزر شامل دو آینه تخت است. بلور جاذب‌اشباع پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ به عنوان کلیدزن Q غیرفعال بین ماده‌فعال و آینه خروجی قرار می‌گیرد.

برانگیختگی نوری در سه قسمت کاواک لیزر صورت گرفته و شامل محیط پمپ شده، محیط پمپ نشده و بلور کلیدزن Q غیرفعال است. نمودار تراز انرژی برای نواحی پمپ شده و پمپ نشده بلور Er-Yb:Glass و بلور جاذب اشباع‌پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ در شکل۱ نشان داده شده‌است [۳و۴] . در شبیه‌سازی عبور اولیه (T_0) ۰/۸۶ و ضخامت جاذب اشباع‌پذیر (L_c) در نظر گرفته‌شده‌است.

مدل لیزری شامل فرآیندهای مختلف نوری است که بین ترازهای انرژی نشان داده شده در شکل۱ صورت می‌پذیرد [۳-۵].



شکل ۱: نمودار تراز انرژی برای Er-Yb:Phosphate glass (نواحی پمپ شده و پمپ نشده) و جاذب اشباع‌پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$

در ابتدا تابش پمپ توسط یون‌های تراز پایه Yb^{3+} جذب شده و جمعیت را به تراز دوم آن می‌رساند. با ضرایب انتقال انرژی k_1 و k_2 به‌ترتیب انرژی به ترازهای دوم و سوم Er^{3+} منتقل و باعث برانگیختگی الکترون‌های تراز اول و دوم می‌شود. سپس گسیل‌های خودبه‌خودی خیلی سریع از ترازهای بالا به سمت تراز سوم اربیم صورت می‌گیرد وبا زمان تقریبی ۱۰ میکروثانیه تراز لیزری (تراز دوم) از جمعیت پر می‌شود. پس از پر شدن تراز دوم با ایجاد گسیل القایی، الکترون‌ها به تراز پایه اربیم بر می‌گردند و نور لیزر تولید می‌شود. انتقالات ناحیه پمپ نشده ماده‌فعال که در شکل۱ نشان داده شده‌است مشابه حالت پمپ شده انجام می‌شود با این تفاوت که در این قسمت تابش لیزری ایجاد شده در بخش پمپ شده، سبب برانگیزش الکترون‌ها شده‌است.

در محیط کلیدزن Q الکترون‌های تراز پایه با جذب فوتون‌ها برانگیخته می‌شوند. با گذشت زمان بلور به حالت اشباع رسیده و ضریب جذب کم، بلور شفاف شده و نور عبور می‌کند. مدت زمان شفاف بودن بلور جاذب اشباع‌پذیر به‌اندازه طول‌عمر تراز S_2است [۶].

فرآیندهای صورت گرفته با استفاده از مجموعه معادلات دیفرانسیل جفت‌شده مرتبه اول زیر در حضور قسمت پمپ نشده ماده‌فعال تحلیل می‌شوند:

$$\frac{dN_{2y}}{dt} = W_P(N_y - N_{2y}) - k_1 N_{2y}(N_e - N_{2e} - N_{3e}) - A_{21y}N_{2y} - k_2 N_{2y}N_{2e} \quad (۱)$$

$$\frac{dN_{2e}}{dt} = Q_{las}\frac{c_0}{s_e L_0}[\sigma_e^{ab}(N_e - N_{2e} - N_{3e}) - \sigma_e^{em}N_{2e}] - A_{21e}N_{2e} + A_{32e}N_{3e} - 2CN_{2e}N_{2e} - k_2 N_{2y}N_{2e} \quad (۲)$$

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

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

$$\frac{dN_{3e}}{dt} = k_1 N_{2y}(N_e - N_{2e} - N_{3e}) - A_{32e}N_{3e} + k_2 N_{2y}N_{2e} + CN_{2e}N_{2e} \quad (۳)$$

$$\frac{dN_{2eu}}{dt} = Q_{las}\frac{c_0}{s_e L_0}[\sigma_e^{ab}(N_e - N_{2eu}) - \sigma_e^{em}N_{2eu}] - A_{21e}N_{2eu} \quad (۴)$$

$$\frac{dN_{2c}}{dt} = Q_{las}\frac{c_0}{s_c L_0}\sigma_c^{gsa}(N_c - N_{2c}) - A_{21c}N_{2c} \quad (۵)$$

$$\frac{dQ_{las}}{dt} = Q_{las}\{\frac{c_0 L_{eu}}{L_0}[\sigma_e^{em}N_{2e} - \sigma_e^{ab}(N_e - N_{2eu})] - \frac{c_0 L_c}{L_0}[\sigma_c^{gsa}(N_c - N_{2c}) - \sigma_c^{esa}N_{2c}] - \frac{1}{\tau}\} + \delta_{las}s_e L_e A_{21e}N_{2e} + \delta_{las}s_e L_{eu}A_{21e}N_{2eu}. \quad (۶)$$

در اینجا t زمان، $W_P = P_{abs}/[N_y V_p(hc_0/\lambda_p)]$ ضریب مشخصه نرخ پمپ، $V_p = s_e L_e$ حجم پمپ ماده‌فعال، $L_0 = L_{cav} + L_{AE}(n_{AE} - 1) + L_c(n_c - 1)$، $\frac{1}{\tau} = (\frac{c_0}{L_0})\ln[\frac{1}{1-\rho}] + (\frac{c_0}{2L_0})\ln(\frac{1}{R})$ که τ طول‌عمر فوتون در کاواک لیزر، ρ افت کاواک و R ضریب بازتاب آینه خروجی است. λ_p طول‌موج تابش پمپ و c_0 سرعت نور است. در مجموعه معادلات بالا Q_{las} و N_{2c} به‌ترتیب تعداد فوتون لیزری و چگالی جمعیت تراز انرژی S_2 کبالت را معرفی می‌کنند. جمعیت کلی برای ایتربیم، اربیم و کبالت به‌ترتیب $۲*۱۰^{۲۷}m^{-3}$، $۳*۱۰^{۲۵}$ m^{-3}، $۱/۷۳*۱۰^{۲۴}$ m^{-3}، در نظر گرفته‌شده‌است. همچنین $\sigma_c^{esa}, \sigma_c^{gsa}, \sigma_e^{em}, \sigma_e^{ab}$ به‌ترتیب سطح مقطع جذب اربیم، سطح مقطع گسیل اربیم، سطح مقطع جذب تراز پایه کبالت و سطح مقطع تراز برانگیخته کبالت در طول‌موج لیزری هستند. s_c و s_e به‌ترتیب سطح مقطع مد لیزری بیرون و درون ماده‌فعال هستند. پارامتر L_c با رابطه $T_0 = \exp(-N_c\sigma_c^{gsa}L_c)$ به ضریب عبور اولیه کلیدزن Q وابسته است. توان پالس خروجی لیزر با رابطه $P(t) = (c_0/2L_0)\ln(1/R)Q_{las}(t)hc_0/\lambda_{las}$ تعیین می‌شود.

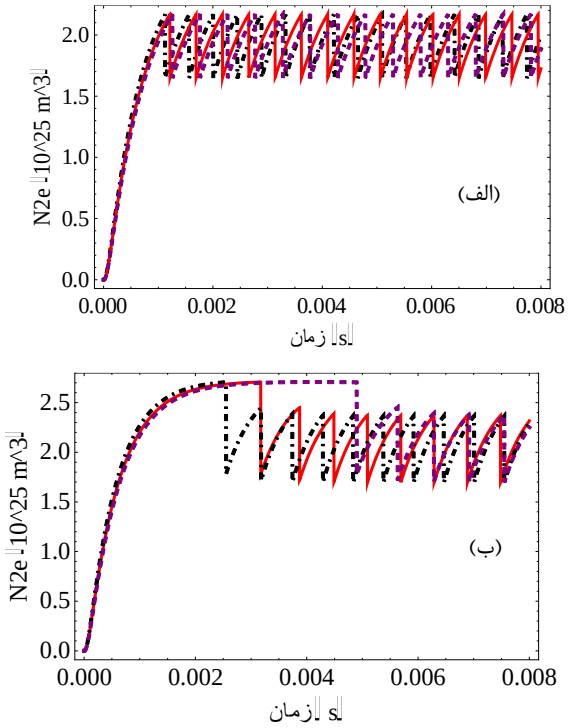
در معادلات نرخ جفت‌شده برای زمانی که تمام ماده‌فعال تحت تاثیر دمش قرار گرفته شده‌است تغییراتی ایجاد می‌شود. در این حالت معادله(۴) که نمایانگر انتقالات ایجاد شده در بین ترازهای انرژی اربیم در حضور قسمت پمپ نشده ماده‌فعال است، به‌طور کامل حذف شده و معادله(۶) به شکل زیر تغییر خواهدکرد:

$$\frac{dQ_{las}}{dt} = Q_{las}\{-\frac{c_0 L_c}{L_0}[\sigma_c^{gsa}(N_c - N_{2c}) - \sigma_c^{esa}N_{2c}] - \frac{1}{\tau}\} + \delta_{las}s_e L_e A_{21e}N_{2e} \quad (۷)$$

برای بار دیگر معادلات نرخ برای زمانی که طول ماده‌فعال کاملا پمپ شده‌است محاسبه می‌گردد. با حل عددی این معادلات جفت‌شده پهنای پالس و انرژی پالس را بدست آورده و با جواب بدست آمده از حل مجموعه معادلات در حضور قسمت پمپ نشده مقایسه می‌شود.

۳- بحث و نتیجه

نتایج حاصل از مدل‌سازی معادلات نرخ در نمودارهای زیر نمایان است. شکل۲ نمودار جمعیت تراز دوم اربیم (تراز لیزری) برحسب زمان به ازای سه توان پمپ (P_{abs}) مختلف را نشان می‌دهد. در قسمت (الف) ماده‌فعال کاملا پمپ شده و در قسمت (ب) بخشی از ماده‌فعال پمپ نشده است. نسبت طول بخش پمپ نشده (L_{eu}) به طول کل محیط‌فعال ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

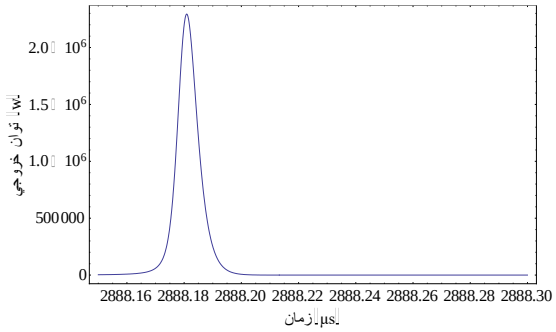


شکل ۲: چگالی جمعیت Er^{3+} برای تراز دوم انرژی (الف) حالت کاملا پمپ شده (ب) در حضور قسمت پمپ نشده به ازای $P_{abs} = 294W$ (منحنی خط-نقطه)، $P_{abs} = 274W$ (خط توپر) و $P_{abs} = 264W$ (منحنی خط چین).

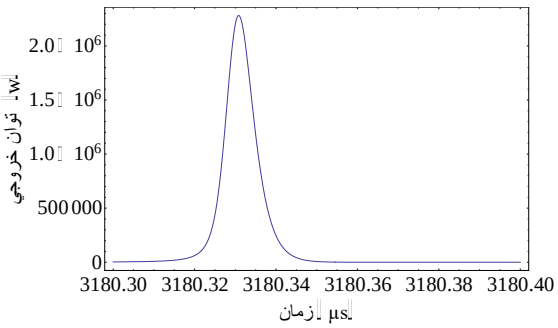
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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

همانطور که از شکل مشخص است با کاهش توان پمپ ورودی زمان خارج شدن اولین پالس لیزری افزایش می‌یابد. همچنین نوسانات ایجاد شده در نمودار به‌دلیل وجود بلور جاذب اشباع‌پذیر است. شکل ۳ توان خروجی لیزر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان پهنای پالس و انرژی پالس خروجی را محاسبه کرد. بر این اساس برای حالتی که ماده فعال به صورت کامل پمپ شده توان قله ۲/۲۸MW، پهنای پالس ۸ns وانرژی۱۸/۲۵ mJ و در حضور قسمت پمپ نشده توان قله ۲/۲۹MW، پهنای پالس۸ns وانرژی۱۸/۳۳mJ به دست آمده است.



(الف)



(ب)

شکل ۳: توان خروجی لیزر (الف) حالت کاملا پمپ شده و (ب) در حضور قسمت پمپ نشده

همچنین با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که انرژی، پهنا و توان قله پالس خروجی در هر دو حالت مقادیر تقریبا یکسانی دارند اما زمان انتشار پالس لیزری در حضور قسمت پمپ نشده نسبت به حالت کاملا پمپ شده دیرتر اتفاق می‌افتد و با توجه به این نکته می‌توان زمان خروج پالس را مدیریت کرد.

۴-نتیجه گیری

مدل‌سازی انجام شده انتقالات لیزری برای لیزر Er-Yb:Glass با کلیدزنی Q که دمش آن به صورت عرضی صورت گرفته‌است را نشان می‌دهد. در این‌جا معادلات نرخ با شرایط اولیه مدل‌سازی و نتایج حاصل از حل دو مجموعه معادلات نرخ برای حالت کاملا پمپ شده و در حضور قسمت پمپ نشده ماده‌فعال با هم مقایسه شده‌است. به‌عنوان یک نتیجه مطلوب از این مقاله می‌توان به پهنای پالس حدود ۹-۸ نانوثانیه و توان قله ۲/۳ مگاوات برای هر دو حالت توجه کرد، از طرف دیگر برای کاواک با طول ۰/۰۶ متر و ماده‌فعال مکعب مستطیلی با طول ۳۲ میلی‌متر به همراه بلور $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ به‌عنوان کلیدزنQ غیرفعال با عبور ۰/۸۶ و آینه خروجی با بازتاب ۰/۷ به بیشترین انرژی پالس خروجی حدود ۱۸/۳ میلی‌ژول می‌رسیم.

مراجع

[1] J. Mlynczak, K. Kopczynski, J. Mierczyk, A. Bajor, “Development and saturation investigation of MALO saturable absorber” Prz. Elektrotechniczny., Vol. 90, No. 12, pp. 59-63, 2014.

[2] L.I. Burov, L. G. Krylova, “Optimization of Yb-Er microchip laser parameters” J. Appl. Spectrosc., Vol. 79, No. 3, pp. 376-381, 2012.

[3] G.I. Ryabtsev,·T.V. Bezyazychnaya, M.V. Bogdanovich,·A.V. Grigor’ev,·V.V. Kabanov, Y.V. Lebiadok,·A.G. Ryabtsev,·M.A. Shchemelev, “Optimized diode-pumped passive Q-switched ytterbium–erbium glass laser”, Appl. Phys. B , Vol. 108, No. 2, pp. 283-288, 2012.

[4] J. B. Gruber; A S. Nijjar; V S. Nijjar; S. R. Chinn, M. S. Bowers, B. Zandi, “Modeling a diode pumped Er:Yb:glass laser with Co2+:spinel as a passive Q-switch”, Proc. Of SPIE, Vol. 5792, pp. 183-193, 2005.

[5] S. Liu, F. Song, H. Cai, T. Li, X. Zhang, Z. Wu, J. Tian, “Investigation of the roundtrip cavity loss in laser diode pumped erbium:ytterbium-phosphate glass microchip lasers” J. Appl. Phys ,Vol. 102, No. 10, pp. , 2007.

[6] R. S. Quimby, *Photonics and Laser*, p.395, Wiley-Interscience, Canada, 2006.

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

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