کلیدزنی Q غیرفعال یک لیزر دمش از پهلوی دیودی Er-Yb:Glass با یک بلور $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ به‌عنوان جاذب اشباع‌پذیر

مرضیه کارمند، غلامرضا هنرآسا، امیر نوفرستی و مهدی بهادران

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده – در این مقاله، طراحی و ساخت یک لیزر دمش دیودی Er-Yb:Glass کلیدزنیQ شده با بلور $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ گزارش شده است. برای طراحی این لیزر از نرم‌افزار LASCAD استفاده شده است و براساس طراحی صورت گرفته یک چیدمان آزمایشگاهی برپاشده است. در نهایت، پالس‌های لیزر با پهنای پالس ۳۰ نانوثانیه و انرژی ۱۵ میلی ژول در توان پمپ ورودی حدود ۲وات به صورت تجربی به‌دست آمده است.

کلید واژه- لیزر **Er-Yb:Glass**، بلور **$Co^{2+}:MgAl_2O_4$**، جاذب اشباع‌پذیر، دمش از پهلو.

Passive Q-Switching of a Diode-Side-Pumped Er-Yb:Glass Laser with a $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ Crystal as a Saturable Absorber

Marziyeh Karmand, Gholamreza Honarasa, Amir Noferesti, and Mahdi Bahadoran

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- In this paper, design and fabrication of a diode pumped Er-Yb:Glass laser Q-switched with $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ crystals was reported. The LASCAD software was used for designing the laser and based on this design; a laboratory layout was set up. Finally, the laser pulses of duration 30 ns and energy 15 mJ at about 2 W of incident pump power was obtained experimentally.

Keywords: Er-Yb:Glass laser, $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ crystals, Saturable absorber, Side pumped.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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

۱- مقدمه

یکی از روش‌های تولید تابش چشم-ایمن استفاده از شیشه آلاییده شده با یون‌های اربیم و ایتربیم به‌عنوان ماده فعال لیزر است [۱]. لیزر حالت جامد Er-Yb:Glass با طول‌موج ۱۵۴۰ نانومتر امروزه به‌دلیل چشم-ایمن بودن و کاربردهای مختلف در صنایع نظامی مورد توجه قرار گرفته است.

در سال ۱۹۶۵، اسنیتزر با ایجاد یک تغییر ساده در اصول اولیه دمش و استفاده از یون‌های ایتربیم به‌عنوان آلاینده موفق به لیزدهی از یک شیشه سیلیکا در دمای اتاق شد [۲]. به‌علت نرخ تکرار بالا در دمش‌های لامپی، در سال ۱۹۹۲ اولین لیزر اربیم با دمش دیودی توسط هاتچنسون گزارش شد [۳] و برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ از لیزرهای اربیم کلیدزنی شده غیرفعال در فاصله‌یابی استفاده شد [۴].

در این مقاله برای اولین بار در ایران از بلور $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ به‌عنوان کلید زن Q در یک لیزر Er-Yb:Glass دمش دیودی استفاده شده است. به منظور ساخت این لیزر، ابتدا در محیط نرم‌افزار LASCAD شبیه‌سازی مورد نیاز انجام شده، سپس چیدمان آزمایشگاهی آن برپا گردیده و لیزر تولید شده بررسی شده است.

۲- لیزر Er-Yb:Glass

لیزر حالت جامد Er-Yb:Glass یک لیزر شبه سه ترازی است. به دلیل جذب ضعیف تابش پمپ توسط یون‌های اربیم، اضافه کردن یک یون نادر خاکی به‌منظور رسیدن به یک بهره رضایت‌بخش ضروری است [۵]. به‌همین علت علاوه بر یون اربیم، یون ایتربیم را در شیشه فسفاته اضافه می‌شود. درصد دوپ‌شدگی اربیم و ایتربیم به‌ترتیب $۲/۶\times۱۰^{۱۶}$ ions/mm^3 و $۲/۱\times۱۰^{۱۸}$ ions/mm^3 هستند. در جدول۱ بخشی از اطلاعات مربوط به ماده فعال مورد نظر نمایش داده شده است.

جدول۱: اطلاعات مربوط به بلور Er-Yb:Glass

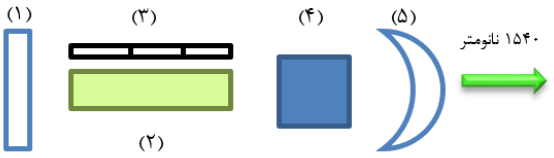
ظرفیت گرمایی	۰/۰۰۰۷ W/mmK
ضریب توان حرارتی	$۸/۷\times۱۰^{-۶}$ 1/K
مدول الاستیک	۶۷۰۰۰N/mm^2
ضریب شکست	۱/۵۲۴
نسبت پواسون	۰/۲۴

سیستم دمش در این نوع لیزرها به دو روش لامپی و دیودی انجام می‌شود. استفاده از لیزر دیودها برای دمش لیزرهای اربیوم اساسا باعث تقلیل اثرات گرمایی در مقایسه با دمش لامپی می‌شود. افزایش بازده لیزر، افزایش توان متوسط خروجی و طراحی سیستمی فشرده‌تر، از دیگر مزایای دمش دیودی نسبت به دمش لامپی است [۶].

۳- شبیه‌سازی لیزر

در این شبیه‌سازی یک ماده فعال میله‌ای با طول ۳۰ میلی‌متر و شعاع ۲/۲ میلی‌متر از یک طرف در معرض دمش عرضی لیزر دیود ۹۴۰ نانومتر با توان میانگین پمپ حدود ۲ وات قرار گرفته است.

ادوات اپتیکی موجود در کاواک لیزر به‌نحوی که در شکل۱ نمایش داده شده است در کنار هم قرار گرفته اند.



شکل ۱: چیدمان ادوات اپتیکی در کاواک لیزر، (۱) آینه پشتی، (۲) میله لیزری، (۳): لیزر دیود سه بار، (۴) بلور جاذب اشباع‌پذیر، (۵) آینه خروجی

در این شبیه‌سازی طول کاواک لیزر با احتساب طول ادوات اپتیکی موجود در کاواک حدود ۱۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در این شبیه‌سازی از یک بلور مکعبی

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

$Co^{2+}:MgAl_2O_4$ به‌عنوان کلیدزن Q به ضخامت ۱/۰۳ استفاده شد. بر اساس طراحی صورت گرفته، شعاع انحنای آینه پشتی و جلویی لیزر به‌ترتیب برابر با بی‌نهایت و ۱۵۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در لیزرهایی با کلیدزنی غیرفعال به‌دلیل کم بودن آستانه تحمل انرژی بر واحد سطح بلورهای جاذب اشباع‌پذیر، استفاده از آینه‌هایی با شعاع انحنا کمتر و ضریب بازتابندگی بیشتر مطلوب‌تر است. در این شبیه‌سازی پس از وارد کردن تمام داده‌ها در نرم‌افزار LASCAD و انجام محاسبات مربوط به عدسی حرارتی درون ماده فعال پایداری مشدد بررسی شد. پس از حاصل شدن اطمینان از پایداری مشدد محاسبات دینامیکی به کمک نرم‌افزار انجام گردید. در جدول۲ نتایج مهم حاصل از شبیه‌سازی لیزر مورد نظر با نرم‌افزار LASCAD نمایش داده شده است.

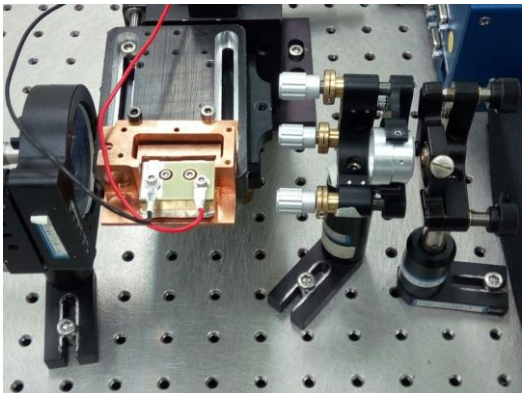
جدول۲: نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای یک لیزر Er-Yb:Glass کلیدزنی Q شده توسط $Co^{2+}:MgAl_2O_4$

توان خروجی میانگین (mW)	۲۹/64
انرژی پالس (mj)	۱۴/۸۲
پهنای پالس (ns)	۲۶/۶
توان قله (KW)	557/14

نکته حائز اهمیت در بلورهای جاذب اشباع‌پذیر میزان درصد عبور اولیه است که با ضخامت بلور رابطه عکس دارد. در این شبیه‌سازی درصد عبور اولیه ۹۰ در نظر گرفته شده است.

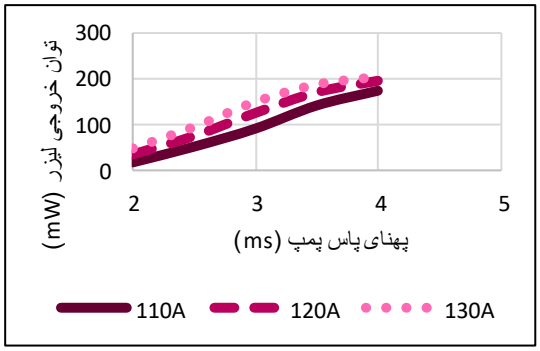
۴- چیدمان آزمایشگاهی

بر اساس شبیه سازی انجام شده چیدمان آزمایشگاهی برپا گردید. شکل۲ نمایی از این چیدمان را نمایش می‌دهد. برای تنظیم بهتر چیدمان لیزر از نگهدارنده‌های قابل تنظیم برای آینه‌ها و کلید زن Q استفاده شد. همچنین به منظور ایمنی و مراقبت از چشم در این آزمایش باید حتما از عینک مخصوص استفاده شود. لیزر Er-Yb:Glass را یک نوع لیزر چشم- ایمن می‌نامند اما تابش‌های ناشی از دیود لیزر به چشم آسیب می‌رسانند.



شکل۲: نمایی از چیدمان آزمایشگاهی لیزر Er-Yb:Glass دمش دیودی از پهلو با استفاده از کلیدزنQ غیرفعال

پس از برپایی چیدمان ابتدا عملکرد لیزر را بدون قرار دادن بلور کلیدزنQ بررسی کردیم و سعی شد در این حالت به بیشینه توان میانگین خروجی مقدار توان خروجی لیزر دست یابیم. در این حالت بیشینه خروجی لیزر گرفته شده حدود ۷۰ میلی‌وات بود. یکی از پارامترهای مهم در عملکرد لیزرهای پالسی، پهنای پالس پمپ است. در شکل۳ نمودار توان خروجی لیزر بر حسب پهنای پالس پمپ برای سه جریان متفاوت پمپ (جریان اعمال شده به دیود لیزر) رسم شده است.



شکل۳: نمودار توان خروجی لیزر بدون بلور کلیدزن بر حسب پهنای پالس پمپ

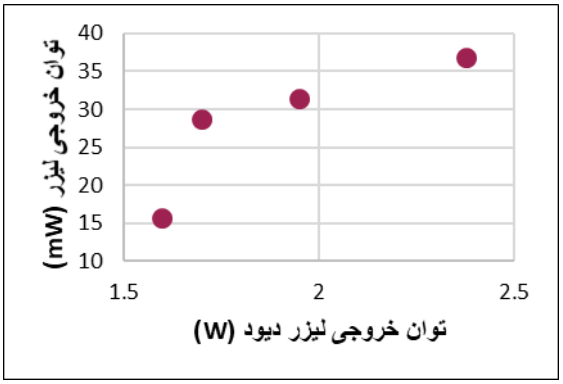
پس از اطمینان حاصل شدن از عملکرد بهینه لیزر در این شرایط بلور کلیدزنQ را به چیدمان افزودیم. همان طور که در بخش شبیه‌سازی بیان کردیم توان میانگین دمش پمپ حدود ۲ وات تنظیم شده است، بدیهی است که با افزایش توان پمپ می‌توان به پالسی با پهنای کمتر، انرژی بیشتر، واگرایی کمتر و فاکتور کیفیت مناسب‌تر دست یافت. در چیدمان مورد نظر با همین مقدار توان ورودی

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

توانستیم به خروجی مطلوب انرژی حدود ۱۵/۷ میلی‌ژول و پهنای پالس ۳۰ نانوثانیه دست یابیم.

در شکل۴ توان خروجی لیزر کلیدزنی Q شده بر حسب توان ورودی پمپ برای چهار آزمایش با شرایط کاملا یکسان نمایش داده شده است. در جدول۳ نتایج حاصل از این آزمایش آمده است.



شکل۴: توان خروجی لیزر کلیدزنی شده بر حسب توان خروجی لیزر دیود

جدول۳: نتایج تجربی

توان خروجی لیزر دیود (W)	۱/۶	۱/۷	۱/۹۵	۲/۳۸
توان خروجی لیزر (mW)	۱۵/۶۴	۲۸/۶	۳۱/۴	۳۶/۸
جریان پمپ (A)	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۲۰
پهنای پالس پمپ (ms)	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۳
پهنای پالس لیزر (ns)	۳۱	۳۱/۴	۳۰	۳۱/۳

در این آزمایش بازده اپتیکی لیزر در حالت بدون بلور کلیدزن و در حالت کلیدزنی شده به‌ترتیب حدود ۲۷ درصد و ۱/۶ درصد اندازه‌گیری شد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک لیزر حالت جامد Er-Yb:glass دمش دیودی عرضی یک طرفه کلیدزنی Q شده توسط بلور جاذب اشباع‌پذیر $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ در یک کاواک نوری پایدار طراحی وساخته شد. در این شبیه‌سازی ماده‌فعال میله‌ای با طول ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفتیم و با استفاده از دیود لیزر سه بار در معرض دمش قرار دادیم. پس از دریافت نتایج قابل قبول شبیه‌سازی، چیدمان آزمایشگاهی این لیزر برپا شد. در چیدمان آزمایشگاهی برای رسیدن به بهره مطلوب ادوات را به شکل صحیح تنظیم و با دقت هم‌محور کردیم. زیرا در غیر این صورت آسیب‌هایی بر روی سطوح ادوات به جا می‌ماند که به هیچ نحو قابل جبران نیست.

با انجام تنظیمات دقیق و طاقت‌فرسا به‌ترتیب در پهنای پالس و جریان پمپ ۲/۵ میلی‌ثانیه و ۱۲۰ آمپر لیزر دیود راه‌اندازی شد و خروجی کلیدزنی Q شده لیزر بر روی کارت IR مشاهده شد. در این آزمایش پارامترهای زیادی بر روی خروجی لیزر تأثیر گذارند اما به‌طور میانگین به انرژی کلیدزنی شده حدود ۱۵ میلی‌ژول و پهنای پالس ۳۰ نانوثانیه با پروفایل تک قله‌ای دست یافتیم.

مراجع

[1] J. Mlynczak, K. Kopczynski, Z. Mierczyk, M. Malinowska, P. Osiwianski, "Pulse generation at 1.5-micron wavelength in new EAT14 glasses doped with Er and Yb ions", Opto-Electronic. Rev., Vol. 20, No. 1, PP. 87-90, 2012.
[2] E. Snitzer, R. Woodcock, "Yb^{3+} Er^{3+} Glass Laser", App. Phys. Lett., Vol. 6, pp. 45-46, 1965.
[3] J. Hutchinson, T. Allik, "Diode Array-Pumped Er, Yb: Phosphate Glass Laser", App. Phys. Lett., Vol. 60, pp. 1424-1426, 1992.
[4] B. Galagan, E. Godovikova, B. Denker, M. Meilman, V. Osiko, S. Sverchkov, "Efficient blenchable filter based on $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ crystals for Q-switching of λ=1.54 micron erbium glass laser", Quant. Electron., Vol. 29, pp. 189-190, 1999.
[5] W. Koechner, M. Bass, *Solid state laser engineering*, P. 67 Physics and Astronomy, New York, 2002.
[6] L.V. Shachkin, "Passivly Q-switched Yb, Er: phosphate glass laser", Quant. Electron., Vol. 36, pp. 106-110, 2006.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]