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

تولید هماهنگ دوم لیزر $Nd:YVO_4$ در چیدمان یک طرفه حلقوی توسط بلور KTP: بررسی اثرات گرمایی بلور TGG

امین احمدی[۱]، ابوالقاسم عوض‌پور[۱]، حمید نادگران[۲]، مهدی موسوی[۲]، امید پناهی[۳]، علیرضا مجتبی[۳]، مهرداد خیراللهی[۳]

۱- یاسوج، دانشگاه یاسوج، دانشکده علوم، بخش فیزیک

۲- شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده علوم، بخش فیزیک

۳- کارشناس ارشد فیزیک

چکیده – در این مقاله اثرات گرمایی بلورتربیوم گالیوم گارنت (*TGG*) و تاثیر آن بر خصوصیات باریکه لیزر سبز *Nd:YVO4/KTP* یک طرفه حلقوی بررسی شده است. توان خروجی و کیفیت باریکه تحت تاثیر خواص بلور *TGG* قرار گرفتند. در نهایت ۵/۷ وات لیزر سبز با بازده ٪ ۲۲ و پایایی ٪ ۰/۸ در ۳۰ دقیقه و فاکتور M^2 بهتر از ۱/۲ به دست آمد.

کلید واژه- اثرات گرمایی، تربیوم گالیوم گارنت، تولید هماهنگ دوم، لیزر یک طرفه حلقوی

Second harmonic generation of $Nd:YVO_4$ laser in unidirectional ring configuration by KTP: investigation of TGG thermal effects

A. Ahmadi[1], A. Avazpour[1], H. Nadgaran[2], M. Mousavi[2], O. Panahi[3], A. Mojtaba[3], M. Kheirollahi[3]

1- Yasouj, Yasouj university, college of science, physics department

2- Shiraz, Shiraz university, college of science, physics department

3- Master of physics

Abstract- The influence of TGG crystal thermal effects on beam characteristics of a unidirectional ring Nd: YVO_4/KTP green laser is investigated. output power and beam quality factor are under the influence of TGG crystal thermal effects. Finally, 5.7 W green laser with 22% efficiency and 0.8 % power stability for 30 minutes and M^2 factor better than 1.2 is produced.

Keywords: thermal effects, terbium gallium garnet, second harmonic generation, unidirectional ring laser

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-15]

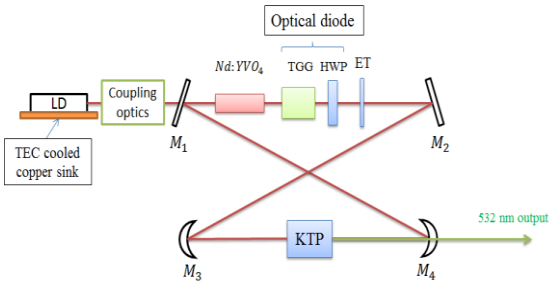
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

تولید هماهنگ دوم درون کاواکی در لیزر وانادیت دمش از انتها توسط بلورهای غیرخطی KTP و LBO یک روش معمول برای تولید لیزرهای سبز موج پیوسته می‌باشد [۱ و ۲]. این لیزرها با نوفه شدت پایین و کیفیت باریکه خوب کاربردهای فراوانی در صنعت و پزشکی دارند [۳]. مهمترین چالش ساخت این نوع لیزرها نیز کاهش نوفه موجود در آن می‌باشد و روش‌های مختلفی برای انجام آن معرفی شده است [۴ و ۵]. استفاده از لیزرهای یک طرفه حلقوی توسط قرار دادن یک دیود نوری متشکل از بلور تربیوم گالیوم گارنت (TGG) و یک تیغه نیم موج نیز یک روش مناسب می‌باشد [۶]. اثبات شده است که عدسی سازی گرمایی بلور TGG بر عملکرد این نوع لیزرها موثر است [۷]. اما اثر خواص گرمایی این بلور بر کارایی لیزر همچنان به عنوان یک مساله باقی مانده است. در این مقاله سعی خواهد شد که این مسئله به صورت تجربی و تئوری مورد بحث قرار گیرد.

۲- چیدمان تجربی

شکل (۱) چیدمان لیزر یک طرفه حلقوی $Nd:YVO_4/KTP$ را نشان می‌دهد. منبع دمش، یک لیزر دیودی با طول موج ۸۰۸ نانومتر و توان حداکثر ۴۰ وات است و قطر فیبر آن برابر با ۲۰۰ میکرون است. نور این لیزر توسط یک سیستم جفت کننده متشکل از ۴ عدسی بر روی محیط بهره متمرکز می‌شود. آینه M_1 یک آینه تخت دمشی با پوشش ضد بازتاب (AR) در طول موج ۸۰۸ nm و پوشش بازتاب بالا (HR) در طول موج ۱۰۶۴ nm می‌باشد. آینه M_2 نیز یک آینه تخت با پوشش HR در طول موج ۱۰۶۴ nm می‌باشد. آینه M_3 یک آینه تخت-مقعر با شعاع انحنای R=۱۰۰ mm و پوشش یکسان با آینه M_2 می‌باشد. آینه M_4 نیز آینه خروجی سبز با شعاع انحنای ۱۰۰ mm و پوشش HR در طول موج nm ۱۰۶۴ و پوشش عبور بالا (HT) در طول موج ۵۳۲ nm می‌باشد. محیط بهره نیز بلور وانادیت با ابعاد mm^3 ۶*۳*۳ و درصد آلاییدگی ٪ ۰/۵ می‌باشد که اطراف آن توسط ورق ایندیوم پوشانده شده و در داخل یک سینک گرمایی مسی آب خنک قرار گرفته است.



شکل ۱: چیدمان لیزر یک طرفه حلقوی $Nd:YVO_4/KTP$. LD: دیود لیزری، HWP: تیغه نیم موج، ET: اتالون.

بلور KTP نیز با ابعاد mm^3 ۱۰*۳*۳ در فاصله بین آینه‌های M_3 و M_4 و در محل کمر باریکه قرار گرفته است. این بلور برای نوع II تطابق فاز ($\theta=90^o, \varphi=23.5^o$) برش یافته است. به منظور عملکرد پایای لیزر، بلور KTP نیز توسط ورق ایندیوم پوشانده شده است و در یک سینک مسی که دمای آن توسط ترمو-الکتریک کولر کنترل می‌شود قرار گرفته است. به منظور عملکرد لیزر در حالت تک مد طولی، یک اتالون با ضخامت ۳۰۰ میکرون و بدون پوشش در چیدمان قرار گرفته است.

۳- طراحی چیدمان

رابطه مربوط به توان درون کاواکی در چیدمان توضیح داده شده در قسمت قبل را می‌توان به صورت زیر نوشت [۷]:

$$P = \pi\omega^2 \frac{-\left(\frac{L}{I_0}+K_{NC}\right)+\sqrt{\left(\frac{L}{I_0}+K_{NC}\right)^2-4\frac{K_{NC}}{I_0}\left(L-g_0 l_0\right)}}{2\frac{K_{NC}}{I_0}} \quad (۱)$$

که L افت خطی رفت و برگشت، I_0 شدت اشباع، K_{NC} ضریب تبدیل غیرخطی، g_0 ضریب بهره سیگنال کوچک، l_0 طول محیط بهره می‌باشند. از طرفی، فاصله کانونی عدسی گرمایی یک بلور دمش شده از انتها به صورت زیر نوشته می‌شود [۸]:

$$f = \frac{\pi K_c \omega_T^2}{\eta P \frac{dn}{dT}} \frac{1}{1-\exp(-\alpha l)} \quad (۲)$$

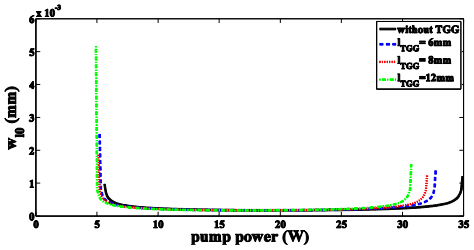
در این رابطه، K_c و $\frac{dn}{dT}$ به ترتیب ضریب هدایت گرمایی و

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-15]

ضریب گرمایی-نوری بلور TGG می‌باشند، η ضریب تبدیل گرمایی است که برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود زیرا تمام توان جذب شده در بلور TGG تبدیل به گرما می‌شود. α و l نیز به ترتیب ضریب جذب و طول بلور TGG می‌باشند.

اثرات گرمایی بلور وانادیت و روند بهینه سازی آن به طور کامل در مقالات بسیاری مورد بحث قرار گرفته است و در اینجا نتایج آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. بعد از انجام بهینه‌سازی‌های مربوطه و در نظر گرفتن بلور TGG به عنوان یک عدسی نازک در محاسبات ABCD، می‌توان چیدمان شکل (۱) را برای سه طول مختلف بلور TGG، ۶، ۸ و ۱۲ میلی‌متر طراحی کرد. نتیجه به دست آمده در شکل (۲) نشان داده شده است. رفتار مجانبی در دو سمت این نمودارها، نشان دهنده خروج لیزر از حالت پایدار می‌باشد. مهمترین تفاوت برای این ۳ بلور، اختلاف در طول بازوی M_3M_4 می‌باشد به طوری که این طول برای بلورهای ۶، ۸ و ۱۲ میلی‌متری برابر با ۸۸، ۸۷ و ۸۴ میلی‌متر می‌باشد. این طول در صورتی که اثرات گرمایی بلور TGG در نظر گرفته نشود برابر با ۹۰ میلی‌متر است.

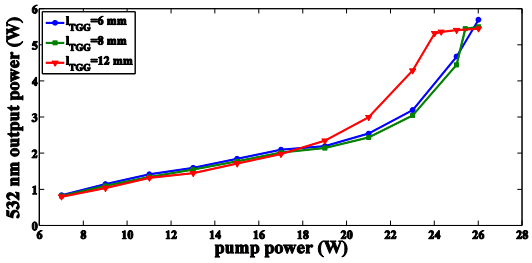


شکل ۲: شعاع لکه لیزری در محیط بهره بر حسب توان پمپ با و بدون در نظر گرفتن اثرات گرمایی بلور TGG برای سه طول متفاوت این بلور.

مطابق با این شکل، توان آستانه برای هر سه ساختار حدودا یکسان و برابر با ۵ وات می‌باشد. اما توان دمشی بهینه برای سه ساختار متفاوت و به ترتیب برای بلورهای ۶، ۸ و ۱۲ میلی‌متری مقادیری برابر با ۲۶/۵، ۲۶ و ۲۴/۹ وات را داراست.

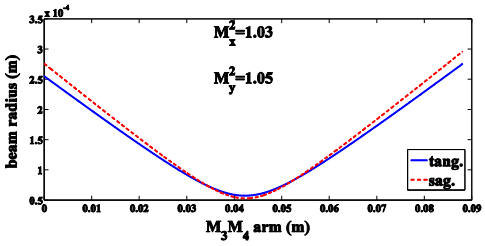
۴- نتایج تجربی

شکل (۳) توان خروجی تجربی به دست آمده را بر حسب توان دمشی را برای سه ساختار نشان می‌دهد. در توان‌های دمشی پایین، هر سه ساختار رفتار یکسانی را دارند و توان خروجی یکسان با بازده پایین دارند. نکته مهم در این شکل، جابجایی در توان دمشی بهینه به اندازه ۱ وات می‌باشد که ما دلیل آن را اثرات گرمایی بلور KTP می‌دانیم. در نزدیکی توان دمشی بهینه، توان خروجی به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و به حدود ۵/۷ وات و بازده تقریبی ٪ ۲۲ می‌رسد. بعد از توان دمشی بهینه نیز، نرخ افزایش توان به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد.

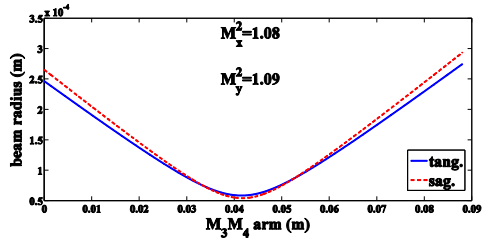


شکل ۳: توان خروجی لیزر در طول موج ۵۳۲ nm بر حسب توان دمشی برای سه طول متفاوت بلور TGG

از نقطه نظر کیفیت باریکه و اثر طول بلور TGG بر روی آن، فاکتور M^2 برای هر سه حالت به صورت تئوری محاسبه و در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) رسم شده است. اختلاف کم بین M_x^2 و M_y^2 ناشی از آستیگماتیسم موجود در سیستم می‌باشد. از طرفی بلور با طول کوتاهتر کیفیت باریکه بهتری دارد. این مسئله را می‌توان به خاطر اثرات گرمایی قوی‌تر در بلور TGG بلندتر دانست [۱۰]. در شکل (۱۰) نیز یک نمونه از پروفایل لیزر به عنوان مثال آورده شده است. فاکتور M^2 در همه مراحل آزمایش کمتر از ۱/۲ بود.



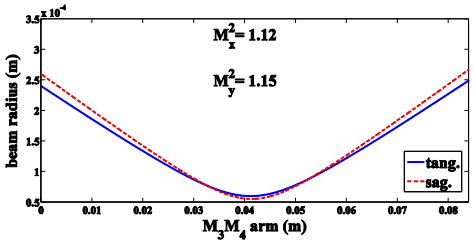
شکل ۴: کیفیت باریکه لیزر خروجی از چیدمان لیزر با طول بلور TGG برابر با ۶ mm



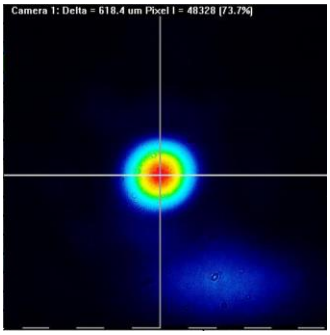
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-15]

شکل ۵: کیفیت باریکه لیزر خروجی از چیدمان لیزر با طول بلور TGG برابر با ۸mm



شکل ۶: کیفیت باریکه لیزر خروجی از چیدمان لیزر با طول بلور TGG برابر با ۱۲mm



شکل ۷: نمونه‌ای از پروفایل لیزر ثبت شده در آزمایشگاه

۵- نتیجه گیری

به طور خلاصه اثر خواص گرمایی بلور TGG بر بهینه‌سازی و پارامترهای باریکه خروجی یک لیزر دمش از انتهای یک طرفه حلقوی $Nd:YVO_4/KTP$ بررسی شده است. سه بلور TGG با طول‌های متفاوت در داخل مشدد با طراحی مربوط به هر بلور، قرار داده شده است. لحاظ کردن اثر گرمایی بلور در روند طراحی، باعث کاهش طول بازوی M_3M_4 از ۹۰ میلی‌متر به ۸۸، ۸۷ و ۸۴ میلی‌متر به ترتیب برای طول‌های ۶، ۸ و ۱۲ میلی‌متر طول بلور می‌شود. در این شرایط، هر سه ساختار توان آستانه تقریبا یکسانی داشتند اما توان دمشی بهینه با افزایش طول بلور کاهش یافت. از نقطه نظر توان خروجی، نزدیک به توان دمشی بهینه یک افزایش ناگهانی مشاهده شد. در بهترین حالت لیزر سبز با توان ۵/۷ وات و بازده ٪ ۲۲ و پایایی ٪ ۰/۸ در مدت ۳۰ دقیقه به دست آمد. از نقطه نظر کیفیت باریکه، مشخص شد که به دلیل اثرات گرمایی قوی‌تر در بلورهای با طول بیشتر، کیفیت باریکه پایین‌تری مشاهده می‌شود. در همه آزمایشات انجام شده نیز کیفیت باریکه مقداری کمتر از ۱/۲ را داشت.

مراجع

[1] Kalachnikov, M. P., Karpov, V., Schönnagel, H., and Sandner, W.,"100-terawatt titanium-sapphire laser system." Laser physics, Vol. 12, No. 2, pp. 368-374, 2002.

[2] Han, X., and Zeng, H.,."Kerr-lens mode-locked Ti:sapphire laser with an additional intra-cavity nonlinear medium." Opt. exp. Vol. 16, No. 23, pp. 18875-1880, 2008.

[3] Nogueira, G. T., Xu, B., Coello, Y., Dantus, M., & Cruz, F. C., "Broadband 2.12 GHz Ti:sapphire laser compressed to 5.9 femtoseconds using MIIPS", Opt. exp. Vol. 16, No. 14, pp.10033-10038, 2008.

[4] Baer, T., "Large-amplitude uctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd : YAG lasers." JOSA B, Vol. 3, No.9, pp. 1175-1180, 1986.

[5] Risk, William Paul, Timothy R. Gosnell, and Arto V. Nurmikko,*Compact blue-green lasers*. Cambridge university press, 2003.

[6] Zheng, Y., Li, F., Wang, Y., Zhang, K., and Peng, K., "High-stability single-frequency green laser with a wedge Nd : YVO4 as a polarizing beam splitter." Opt. Comm. Vol. 283, No. 2, pp. 309-312, 2010.

[7] Yin, Q., Lu, H., and Peng, K., "Investigation of the thermal lens effect of the TGG crystal in high-power frequency-doubled laser with single frequency operation." Opt. exp. Vol. 23, No. 4, pp. 4981-4990, 2015.

[8] W. Koechner and W. Bss, "*solid state lasers: a graduate text*", springer, New York, 2003.

[9] Xiong, Z., Li, Z. G., Moore, N., Huang, W. L., and Lim, G. C., "Detailed investigation of thermal effects in longitudinally diode-pumped Nd : YVO4 lasers." IEEE journal of quantum electronics, Vol. 38, No. 8, pp. 979-986, 2003.

[10] Jalali, A. A., Rybarsyk, J., & Rogers, E., "Thermal lensing analysis of TGG and its effect on beam quality." Opt. Exp., Vol. 21, No. 11, pp. 13741-13747, 2013.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-15]