

文章编号:1004-4213(2010)05-0785-4

高重频电光调 Q Nd:YAP 红光激光器

武志超¹, 凌铭¹, 王福荣², 梁柱¹

(1 长春理工大学 理学院, 长春 130022)

(2 中日联谊医院, 长春 130031)

摘要:研制了一台基于 Nd:YAP 晶体线偏振激光输出特性而省略起偏器方式的电光调 Q 高重频 Nd:YAP 红光激光器. 通过对 Nd:YAP 晶体的热透镜焦距的实验测量, 优化设计了三镜折叠腔的各个参量, 采用 LN 晶体电光调 Q、KTP 晶体 II 类匹配腔内倍频, 最终获得 670 nm 红光输出. 在重复频率 1 000 Hz、抽运电流 75 A 时, 获得了峰值功率 28.3 kW、脉宽 76 ns 的偏振红光输出, 倍频效率为 37.1%.

关键词:激光技术; 折叠腔; 电光调 Q; 腔内倍频

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103905.0785

0 引言

近年来, 利用非线性光学晶体对 1.3 μm 波段激光变频获得红光成为了研究的热点, Nd:YVO₄ 晶体是近几年受到重视的激光晶体^[1], 但由于该晶体的热导率较小及低掺杂晶体生长不稳定等原因, 获得大功率的红光输出较为困难. 而 Nd:YAP 晶体不但具有接近于 Nd:YAG 晶体的热导率和光学机械性能, 而且其⁴F_{3/2}-⁴I_{13/2}跃迁的受激发射截面是 Nd:YAG、Nd:YLF 等晶体同一跃迁受激辐射截面的 2.4 倍以上, 仅次于 Nd:YVO₄ 晶体, 再加上它也是光学各向异性晶体, 能够实现线偏振激光输出, 因此, Nd:YAP 晶体也是获得较高功率红光输出的一条行之有效的途径^[2-4]. 对 Nd:YAP 的 1 341.4 nm 谱线研究始于 1971 年^[5], 随后, 各国科学家又对 Nd:YAP 折射率温度系数、调 Q 运转等进行了一系列研究^[6-8]. 以往对调 Q 方面的研究大都采用声光的方法, 而且抽运源是闪光灯的居多, 而 LD 抽运 Nd:YAP 晶体电光调 Q 方面的研究很少, LD 抽运的高重频电光调 Q Nd:YAP 红光激光器的研究则更少.

本文通过对 Nd:YAP 晶体热透镜焦距的测量设计了三镜折叠腔的各个参量, 基于 Nd:YAP 晶体线偏振激光输出的特性, 首次采用了省略起偏器方式的电光调 Q 技术, 通过 LN 晶体高重频电光调 Q 与 KTP 晶体 II 类匹配腔内倍频, 最终获得了重频为 1 000 Hz 的 670 nm 红光输出, 并对其输出特性

进行了实验研究.

1 实验装置与腔结构分析

1.1 实验装置

实验中, 选用掺杂为 1.0at%、尺寸为 $\Phi 3 \times 50$ mm、b 轴方向切割的 YAP 晶体作为激光晶体, 晶体两端镀 1 341.4 nm 和 1 079.5 nm 的高透膜 ($T > 95\%$). 抽运源为美国进口的半导体列阵, 由三个中心波长为 808.9 nm 的 LD 列阵组成, 每个 LD 列阵的峰值功率为 240 W. 采用多通道并联层流水冷方式对 LD 进行温控, 将其发射波长调到 Nd:YAP 晶体的吸收峰 803 nm 处. 为了增大激光晶体的基模体积, 充分的利用 YAP 晶体, 同时提高倍频晶体内的功率密度, 提高倍频效率, 实验选用 V 型折叠谐振腔, 实验装置结构如图 1.

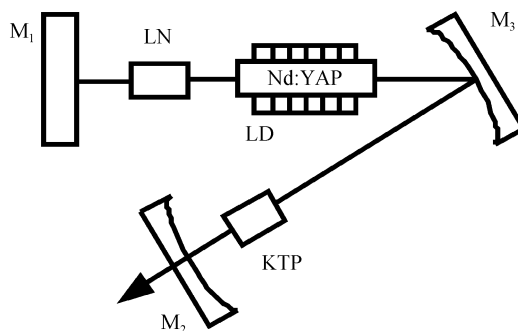


图 1 腔内倍频红光激光器

Fig. 1 Schematic of intracavity-doubled red laser

图 1 中, M₁ 为平面反射镜, 镀 1 341.4 nm 和 670.7 nm 的高反膜 ($R = 99.9\%$); M₃ 凹面反射镜, 曲率半径 280 mm, 镀 1 341.4 nm 和 670.7 nm 的高反膜 ($R = 99.9\%$); M₂ 输出凹面镜, 曲率半径 50 mm, 镀 1 341.4 nm 高反膜 ($R = 99.9\%$) 和

670.7 nm高透膜($T>95\%$). 以上腔镜均镀1 079.5 nm增透膜($T>95\%$),以抑制1 079.5 nm的起振.

调Q晶体LN的尺寸为 $4 \times 4 \times 20 \text{ mm}^3$,通光面镀1 341 nm、1 079.5 nm和670.7 nm的高透膜($T>95\%$);倍频晶体KTP的尺寸为 $3 \times 3 \times 10 \text{ mm}^3$,两端镀1 341.4 nm和670.7 nm的高透膜($T>95\%$).

1.2 谐振腔结构分析

在设计激光器谐振腔前,首先必须研究Nd:YAP晶体的热透镜效应,因为在强抽运、高重频情况下,热效应对激光输出的光束质量影响是致命的.把YAP晶体等效成一透镜并应用直接测定法,不同注入能量的热焦距的测量结果如图2.

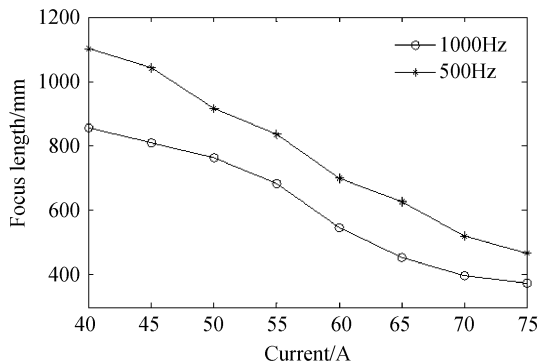


图2 抽运电流与热透镜焦距关系曲线

Fig.2 Focus length versus the pump current for different repetition frequency

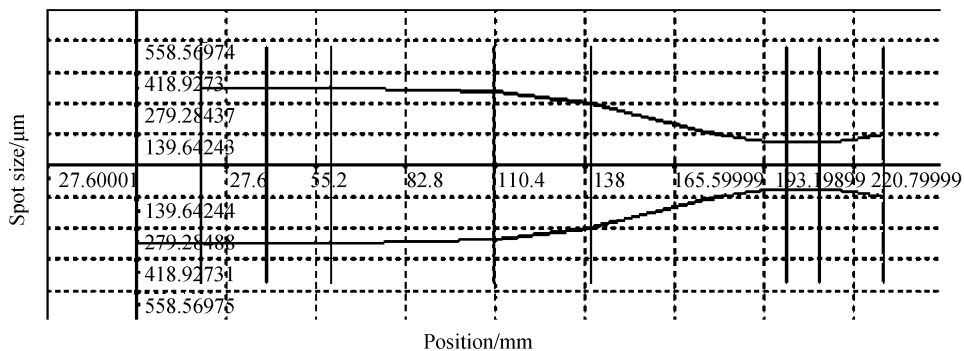


图4 腔内的光束半径与位置关系

Fig.4 The beam radius versus the position in the resonator

2 实验结果与分析

Nd:YAP晶体是各向异性的,具有天然的双折射性质,输出为偏振光,这对克服热退偏现象十分有利,同时对电光调Q具有重要意义.实验所用的Nd:YAP晶体消光比约为500:1,选用LN作为电光调Q晶体,直接对YAP输出的偏振光进行调Q,省去了传统电光调Q中的起偏器件带来的插入损耗,使器件结构更加紧凑,同时降低了成本,但由于不插入格兰棱镜,在未调Q时由全反镜反射回来

在激光器高重频运转时,必须设计适当的腔结构以克服热效应对激光输出的影响,即G因子应尽量满足由J. Steffen提出的热不灵敏条件 $G_1G_2=0.5$,此外在直臂中要尽量扩大光斑半径,以提高激光晶体的基模体积,增加基频光的输出;同时又要压缩折叠臂中的光斑尺寸,提高非线性晶体中的功率密度,提高倍频效率.因此,对腔参量进行数值计算与优化非常重要^[9-10],腔参量的设计如图3.

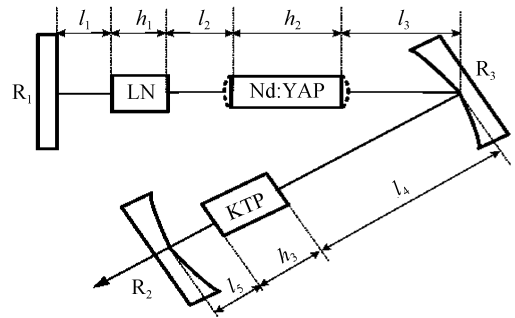


图3 折叠腔参量

Fig.3 The schematic of folded cavity parameters

图3中, $l_1=20 \text{ mm}$; $l_2=20 \text{ mm}$; $l_3=30 \text{ mm}$; $l_4=60 \text{ mm}$; $l_5=20 \text{ mm}$; $h_1=20 \text{ mm}$; $h_2=50 \text{ mm}$; $h_3=10 \text{ mm}$,依据高斯光束的矩阵变换和ABCD定律^[11],使用Matrixlaser软件^[12]对以上腔参量进行计算得到, $G_1G_2=0.497$,主臂腔内的光斑半径约为 $300 \mu\text{m}$,折叠臂腔内的光斑半径约为 $99 \mu\text{m}$,相对失调灵敏度 $S/S_0=2.4$,腔内的光束半径与位置关系图如图4.

的光几乎都被YAP晶体吸收,致使晶体热效应更加严重,因此水冷系统温控和腔型设计尤为重要.实验表明,在低增益情况下,不插入格兰棱镜而直接进行调Q,激光器输出单脉冲能量大约提高20%.

采用优化后的折叠腔,当重复频率1 000 Hz时,不同抽运电流测量的红光输出能量曲线如图5.由图5可见输出功率随着抽运功率的增加而升高,抽运电流达到75 A时,即抽运光峰值功率为463.5 W时,获得了2.15 mJ、脉宽为76 ns的670.7 nm红光输出,总的光光转换效率为2.32%,倍频效率为37.1%.

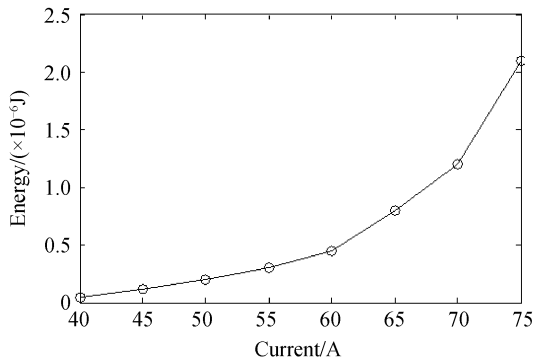


图5 红光输出能量与抽运电流关系曲线

Fig. 5 Red laser output power versus the pump current

图6为脉冲红光的波形图,可以看出,脉冲红光波形光滑,脉宽较窄,调Q效果明显,这也说明了采用Nd:YAP代替格兰棱镜的调Q方式可行。

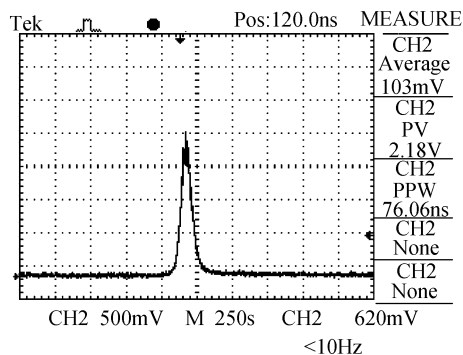


图6 调Q脉冲红光激光波形

Fig. 6 Q-Switch pulse laser waveform of red laser

图7为三镜折叠腔在最高输出时拍摄的近场红光的光斑照片,倍频红光光斑较圆,亮度较高。



图7 近场红光光斑照片

Fig. 7 Near field photograph of red light

图8为光强三维分布图,可以看出,三维光强幅度变化较为平缓,近似高斯分布,倍频效果较好。

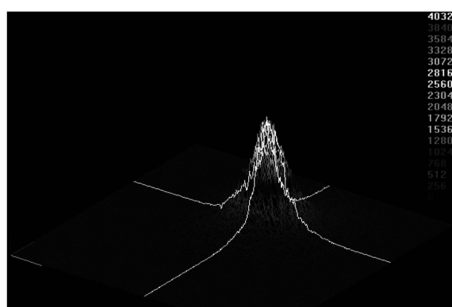


图8 红光的光强分布

Fig. 8 Intensity distribution of red laser's output beam

实验装置还存在很多需要改进的地方.比如再进一步优化抽运结构,改善水冷系统的控温准确度以及解决试验中出现的反射镜有漏光的现象,必将进一步提高激光输出能量及倍频效率。

3 结论

本文采用基于Nd:YAP线偏振输出特性而省略起偏器方式的电光调Q技术,选用LN晶体、使用三镜折叠腔对Nd:YAP晶体四能级跃迁产生1341.7 nm激光进行了电光调Q,经KTP晶体II类匹配腔内倍频,最终在注入电流为75 A,重复频率1000 Hz下,获得了峰值功率28.3 kW,脉宽76 ns的670 nm红光输出,倍频效率为37.1%。本文为进一步研究大功率、高效率的YAP红光输出及获得高效率的YAP蓝光输出奠定了基础。

参考文献

- [1] SONG Biao, LI Chuan-qi, XIE Ai-gen, *et al.* Output characteristics of LD end-pumping Nd:YVO₄ laser with pulse repetition rates up to 1 kHz[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(10):2473-2475.
宋标,李传起,谢爱根,等. LD 端面抽运 1 KHz 电光调 Q Nd:YVO₄ 激光器输出功率特性研究[J]. *光子学报*, 2009, **38**(10):2473-2475.
- [2] ZHANG Ge, SHEN Hong-yuan, ZENG Rui-rong, *et al.* The study of 1341.4 nm Nd:YAlO₃ laser intracavity frequency doubling by LiB₃O₅[J]. *Opt Comm*, 2000, **183**(5-6):461-466.
- [3] ZHANG Ge, SHEN Hong-yuan, ZENG Rui-rong, *et al.* 670 nm Intracavity-doubled Nd:YAlO₃/LBO laser[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, **2**(28):105-108.
张戈,沈鸿元,曾瑞荣,等. 670 nm Nd:YAlO₃/LBO 腔内倍频激光器[J]. *中国激光*, 2001, **2**(28):105-108.
- [4] CHEN Zhen-qiang, ZHANG Ge, SHEN Hong-yuan. High power red laser from intracavity-doubled Nd:YAlO₃/LBO laser[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, **30**(30):873-876.
陈振强,张戈,沈鸿元. Nd:YAP/LBO 腔内倍频高功率红光激光器[J]. *中国激光*, 2003, **10**(30):873-876.
- [5] WEBER M J, VARITIMOS T E. Optical spectra and intensities of Nd³⁺ in YAlO₃[J]. *J Appl Phys*, 1971, **42**(12):4996-5005.
- [6] HUANG Cheng-hui, ZHANG Ge, WEI Yong, *et al.* 1.341 μm Nd:YAP pulse laser in Q-switched mode [J]. *Optics Communications*, 2006, **260**(1):248-250.
- [7] HUANG Cheng-hui, ZHANG Ge, WEI Yong, *et al.* 1.341 4 μm Nd:YAlO₃ Q-switched pulse laser[J]. *Laser Journal*, 2006, **27**(2):26-27.
黄呈辉,张戈,魏勇,黄凌雄. 1.341 4 μm Nd:YAlO₃ 电光 Q 开关脉冲激光器[J]. *激光杂志*, 2006, **27**(2):26-27.
- [8] LI Ai-hong, ZHU Hai-yong, ZHANG Ge, *et al.* Diode side-pumped 1.341 4 μm Nd:YAP laser in Q-switched mode[J]. *Applied Optics*, 2007, **46**(33):8002-8006.
- [9] WANG Juan-juan, WANG Jia-xian. LD-pumped Nd:YVO₄/KTP frequency-doubled red laser with folded resonator[J].

- Journal of Applied Optics*, 2008, **29**(1):67-71.
- 王娟娟,王加贤. LD 抽运的折叠腔 Nd : YVO₄/KTP 倍频红光激光器[J]. 应用光学, 2008, **29**(1):67-71.
- [10] WANG Peng-fei, LÜ Bai-da. The influence of folded-resonator parameters on the stability of intracavity-frequency-doubled laser[J]. *Laser Technology*, 2003, **27**(4): 328-330.
- 王鹏飞,吕百达. 折叠腔参量对内腔倍频系统稳定性的影响[J]. 激光技术, 2003, **27**(4):328-330.
- [11] WANG Chao, LI Wei-long, TANG Yi-fan, *et al.* Z-scan theory based on ABCD formalism [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(3):444-447.
- 王超,李渭龙,唐铁凡,等. 基于 ABCD 矩阵的 Z-扫描理论[J]. 光子学报, 2007, **36**(3):444-447.
- [12] YU Dian-bao, XUE Jun-wen, GAO Kai. Laser resonator software arithmetic and realization by computer [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(8):2105-2107.
- 于殿宝,薛竣文,高凯. 激光谐振腔设计软件的算法研究与计算机实现[J]. 光子学报, 2009, **38**(8):2105-2107.

High Repetition Electro-optical Q-switched Nd : YAP Red Laser

WU Zhi-chao, LING Ming, WANG Fu-rong, LIANG Zhu

(1 *Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China*)

(2 *Sino-Japanese Friendship Hospital, Changchun 130031, China*)

Abstract: The high repetition electro-optical Q-switched red laser is studied based on the polarized characteristic of Nd : YAP crystal. The parameters of the three-mirror folded are optimized by the thermal focus length of Nd : YAP crystal. The electro-optical Q-switched of LN crystal and type II noncritical phase-matching intracavity frequency-doubling of KTP crystal are adapted. Then the output peak power with 28.3 kW, about 76 ns of pulse duration at 670 nm and the frequency doubling efficiency of 37.1% are obtained in the condition of 75 A pump current and the electro-optical Q-switched repetition rate of 1 kHz.

Key words: Laser technique; Folded cavity; Electro-optical Q-switching; Intracavity frequency-doubling



WU Zhi-chao was born in 1979. Now he is pursuing the Ph. D. degree, and his research interests focus on laser technology and application.



LIANG Zhu was born in 1938. He received the B. S. degree from Department of Physics, Jilin University in 1962. Now he is a professor, and his research interests focus on laser theory, technology and applied research.