

文章编号:1004-4213(2011)01-0083-4

670 nm 电光调 Q 陶瓷激光器

谭雪春, 武志超, 梁柱

(长春理工大学 理学院, 长春 130022)

摘 要:为了进一步研究 Nd:YAG 陶瓷激光器的红光波段,研制了一台重复频率为 1 000 Hz 的 670 nm 电光调 Q Nd:YAG 陶瓷激光器.采用三个激光二极管列阵侧面抽运掺杂浓度为 1.1at%、尺寸为 $\Phi 3 \times 50 \text{ mm}^2$ 的 Nd:YAG 陶瓷晶体,根据实验测量的陶瓷晶体热透镜焦距,优化设计了折叠腔的各个参量,并对陶瓷晶体及倍频晶体热焦距对晶体内光斑半径的影响进行了分析.采用 LN 晶体电光调 Q、KTP 晶体 II 类匹配腔内倍频,实现了 670 nm 的激光输出.当单脉冲抽运能量为 144 mJ 时,获得了能量为 1.48 mJ,脉冲宽度为 35 ns 的红光输出,总的光-光转换效率为 1.03%.

关键词:激光器;Nd:YAG 陶瓷红光激光器;腔内倍频;电光调 Q

中图分类号:TN248.1

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114001.0083

0 引言

近年来,陶瓷激光器以其独特的优势已经成为激光器领域的研究热点.多晶 Nd:YAG 陶瓷材料与单晶 Nd:YAG 材料相比,除了具有相似的热导率、吸收光谱、发射光谱、荧光寿命等特性,还具有容易制造、成本低、大尺寸生长、掺杂浓度高等优点.因此,多晶 Nd:YAG 陶瓷材料在全固态激光器的应用中具有巨大的发展潜力,有望替代单晶材料,成为新一代优质激光工作物质,引领未来固体激光工程的发展方向.虽然陶瓷材料引起了研究人员的广泛关注,相关报道日益增加,但针对 Nd:YAG 陶瓷的研究主要集中在钕离子的 1 064 nm 谱线^[1-7],对陶瓷晶体 1 319 nm 波段的研究比较少^[8-9],目前,基于陶瓷材料的 1 338 nm 谱线倍频调 Q 激光器的研究还未见报道.

本文在国内外研究现状的基础上,对陶瓷材料的 1 338 nm 谱线倍频调 Q 激光器进行了研究.根据 Nd:YAG 陶瓷晶体的热透镜焦距,优化并设计了折叠腔的各个参量,采用 LN 晶体电光调 Q、KTP 晶体 II 类匹配腔内倍频,最终获得了 670 nm 的红光输出,并对实验结果进行了合理的分析.

1 谐振腔参量的优化设计

在激光器谐振腔设计前,首先测量了陶瓷晶体的热透镜焦距^[10].将 Nd:YAG 陶瓷晶体等效成一

透镜并应用直接测定法,测得不同注入电流下的能量与热焦距的关系,结果如表 1.

表 1 陶瓷晶体的热焦距

Table 1 Focus length of the ceramic crystal

Current/A	Power/mJ	Focus length/mm
55	78	1 157
60	90	1 015
65	103	817
70	117	665
75	132	495
78	144	450

在激光器 1 000 Hz 运转时,根据工作物质的热焦距,必须设计适当的腔结构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 $G_1 G_2 = 0.5$;此外在直臂中要尽量扩大光斑半径,提高激光晶体的模体积,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,从而提高倍频效率.因此,对腔参量的设计非常重要^[11-13],依据高斯光束的矩阵变换,使用 Matrixlaser 软件对腔参量进行计算与优化,实验采用的折叠腔及其计算优化的结果如图 1.

图 1 中: $l_1 = l_2 = l_3 = 20 \text{ mm}$; $l_4 = 25 \text{ mm}$; $l_5 = 71 \text{ mm}$; $l_6 = 18 \text{ mm}$; $h_1 = h_2 = 15 \text{ mm}$; $h_3 = 50 \text{ mm}$; $h_4 = 5 \text{ mm}$; M_1 为平面镜; M_2 和 M_3 为平凹镜,曲率半径分别为 $R_2 = 50 \text{ mm}$, $R_3 = 210 \text{ mm}$.

第一作者:谭雪春(1978—),女,博士研究生,主要研究方向为固体激光技术与光信息传输. Email:tanxc21@126.com

导师:梁柱(1938—),男,教授,博导,主要研究方向为激光理论、技术与应用研究. Email:jgyciom@163.com

收稿日期:2010-06-23;修回日期:2010-08-24

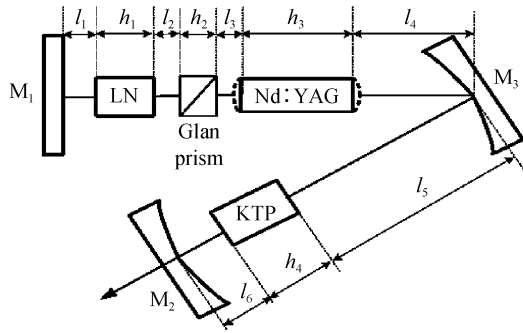


图1 折叠腔参量示意

Fig.1 Schematic diagram of the folded cavity parameters

根据设计的腔参量,分析了陶瓷晶体的热焦距对陶瓷晶体及倍频晶体内部光斑半径的影响,如图2.

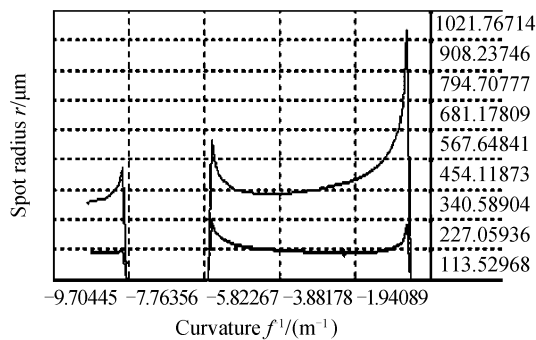


图2 陶瓷晶体及倍频晶体内部光斑半径随热焦距的变化曲线
Fig.2 Variation of the beam radius on the ceramic crystal and frequency doubling crystal with the thermal focal length

从图2中可以看出,谐振腔有两个稳区:第一个稳区范围是 $175\text{ mm} < f < 1\ 915\text{ mm}$,在此稳区内,陶瓷晶体内部光斑半径和倍频晶体内部的光斑半径均随着陶瓷晶体热透镜焦距的减小而呈现先减小后趋于平稳再增加的现象;第二个稳区是从 $f < 126\text{ mm}$ 开始的.实验测得重复频率 $1\ 000\text{ Hz}$ 、注入电流 78 A 时陶瓷晶体的热焦距为 450 mm ,是工作在第一个稳区内,正位于曲线平稳的部分.此时,陶瓷晶体热透镜焦距的波动变化对谐振腔的稳定性影响不大,而且,陶瓷晶体内部光斑半径大于 $300\ \mu\text{m}$,而倍频晶体内部的光斑半径约 $100\ \mu\text{m}$,较好地满足了调Q倍频对折叠腔参量的要求.

由本节分析可知,本实验采用的谐振腔参量较为合理, $G_1 G_2 = 0.491$,陶瓷晶体内部光斑半径大于 $300\ \mu\text{m}$,而倍频晶体内部的光斑半径约 $100\ \mu\text{m}$,相对失调灵敏度 $S/S_0 = 2.57$.

2 实验与结果分析

2.1 实验装置

实验采用的激光晶体为日本 Baikowski 公司生产的 $\Phi 3 \times 50\text{ mm}^2$ 、掺杂 $1.1\text{at}\%$ 的 Nd:YAG 陶瓷晶体,它的两个通光面为平行平面,都镀有 $1\ 338\text{ nm}/$

670 nm 的高透膜 ($T > 95\%$);抽运源由三个中心波长为 808.9 nm 的 LD 列阵组成,每个 LD 列阵的峰值功率为 240 W ,脉冲宽度为 $200\ \mu\text{s}$,重复频率为 $1\ 000\text{ Hz}$;采用东莞泰捷公司生产的激光冷水机对激光器进行准确度优于 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 的温控,并使 LD 发射波长在 Nd:YAG 陶瓷晶体的吸收峰处;调 Q 晶体为 LN 晶体,尺寸为 $4 \times 4 \times 20\text{ mm}^3$,通光面镀 $1\ 338\text{ nm}/670\text{ nm}$ 的高透膜 ($T > 95\%$);倍频晶体 KTP 的尺寸为 $5 \times 5 \times 5\text{ mm}^3$,切割角度为 $\varphi = 0^\circ, \theta = 59.1^\circ$,两面均镀有 $1\ 338\text{ nm}/670\text{ nm}$ 的双色增透膜.实验采用的谐振腔镜片膜系参量如表 2.

表 2 谐振腔镜片膜系参量

Table 2 Film parameters of the resonant cavity reflectors

Mirrors	1 338 nm	670 nm	1 064 nm	1 319 nm
Rear mirror	$R > 99.8\%$	$R > 99.8\%$	$T > 85\%$	$T > 9\%$
Folded mirror	$R > 97\%$	$R > 97\%$	$T > 85\%$	$T > 9\%$
Output coupler	$R > 99.5\%$	$T > 95\%$	$T > 60\%$	$T > 9\%$

2.2 实验结果

采用优化后的折叠腔,当重复频率 $1\ 000\text{ Hz}$ 时,不同注入电流测得的红光输出能量曲线如图 3.由图 3 可见输出功率随着注入能量的增加而升高,当电流达到 78 A 时,获得了 1.48 mJ 的 670 nm 红光输出,总的光光转换效率为 1.03% .

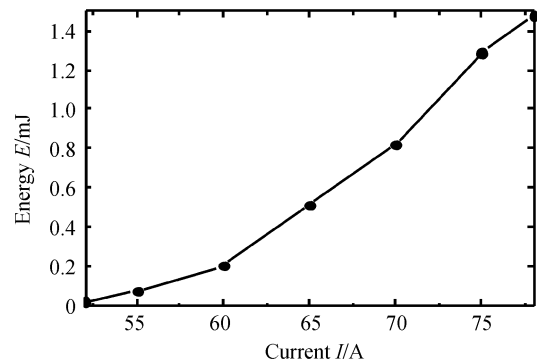


图3 红光输出能量与抽运电流关系曲线

Fig.3 The red laser output power versus the pump current

图 4 是光谱仪测得的红光输出光谱,谱线宽度约为 4 nm ,中心谱线为 670 nm ,未见其它谱线的振荡.

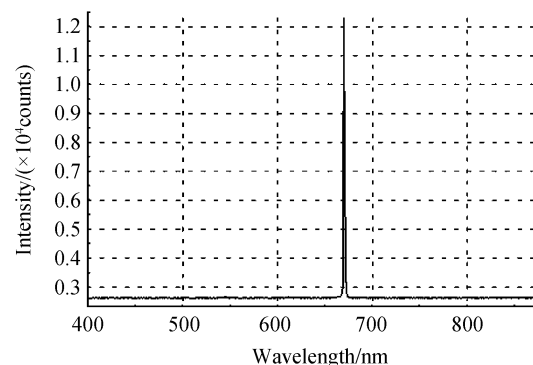


图4 红光光谱

Fig.4 The spectrum of the red laser

图 5 为激光二极管阵列抽运电流为 78 A 时陶瓷激光器输出红光脉冲的波形,脉冲宽度约为 35 ns. 实验中也观察到,在其它条件不变的情况下,随着抽运电流的提高,激光输出的脉冲宽度不断变窄,如果电源抽运能力能够进一步增强,也必将进一步缩窄激光输出脉宽;实验中也观察到了输出激光的脉宽随着重复频率的增加而变窄的现象.

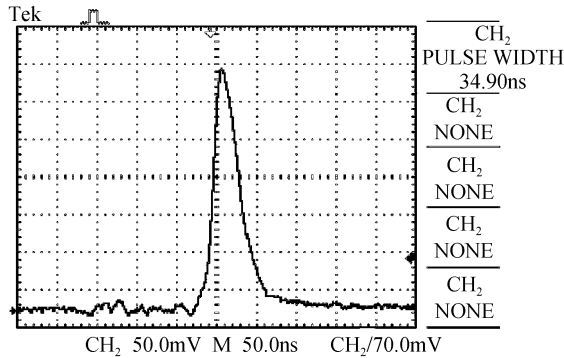


图 5 调 Q 脉冲红光激光波形图

Fig. 5 Q-Switch pulse laser waveform of the red laser

图 5 中的脉宽不够理想,是因为基频光的脉宽较宽,此外由于陶瓷材料内部的微气孔、晶界和微米量级的无晶态颗粒簇对激光脉冲的散射造成的基频光脉冲后沿时间展宽.

图 6 为输出最高能量时拍摄的近场红光光斑照片,光斑近似为圆,亮度较高.

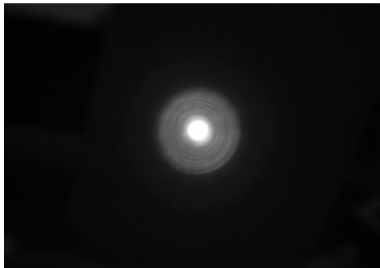


图 6 近场红光光斑照片

Fig. 6 The near field photograph of red light

3 结论

本文根据 Nd : YAG 陶瓷晶体的热透镜焦距设计了折叠腔的各个参量,采用 LN 晶体电光调 Q、KTP 晶体 II 类匹配腔内倍频获得了 670 nm 的红光输出. 在单脉冲抽运能量 144 mJ、重复频率 1 000 Hz 时,获得了 1.48 mJ、脉宽 35 ns 的 670 nm 红光输出,总的光-光转换效率为 1.03%. 本文研究了 Nd : YAG 陶瓷激光器的新波段,并对其进行了调 Q 技术研究,为进一步获得该波段的窄脉宽、高效率 Nd : YAG 陶瓷激光器奠定了基础.

参考文献

- [1] LEE S, CHOI A, KIM C H, *et al.* Highly efficient diode side pumped Nd : YAG ceramic laser with 210W output power[J]. *Optics & Laser Technology*, 2007, **39**(4): 705-709.
- [2] QI Yun-feng, LOU Qi-hong, MA Hai-xia, *et al.* High efficient Nd : YAG ceramic CW laser with 59.8 slope efficiency[J]. *Chinese Optics Letters*, 2005, **3**(2): 89-91.
- [3] GUO Lin, HOU Wei, ZHANG Yong-bo, *et al.* Diode-end-pumped passively mode-locked ceramic Nd : YAG laser with a semiconductor saturable mirror[J]. *Optics Express*, 2005, **13**(11): 4085-4089.
- [4] QI Yun-feng, ZHU Xiao-lei, LOU Qi-hong, *et al.* High-energy LDA side-pumped electro-optical Q-switched Nd : YAG ceramic laser[J]. *JOSA B*, 2007, **24**(5): 1042-1045.
- [5] OMATSU T, ISOGAMI T, MINASSIAN A, *et al.* > 100 kHz Q-switched operation in transversely diode-pumped ceramic Nd³⁺ : YAG laser in bounce geometry[J]. *Optics Communications*, 2005, **249**(4-6): 531-537.
- [6] OMATSU T, NAWATA K, SAUDER D, *et al.* Over 40W diffraction-limited Q-switched output from neodymium doped YAG ceramic bounce amplifiers[J]. *Optics Express*, 2006, **14**(18): 8198-8204.
- [7] XU De-gang, WANG Yu-ye, LI Hai-feng, *et al.* 104 W high stability green laser generation by using diode laser pumped intracavity frequency-doubling Q-switched composite ceramic Nd : YAG laser[J]. *Optics Express*, 2007, **15**(7): 3991-3997.
- [8] ZHANG C, ZHANG X Y, WANG Q P, *et al.* Diode-pumped Q-switched 946 nm Nd : YAG ceramic laser[J]. *Laser Physics Letters*, 2009, **6**(7): 521-525.
- [9] LU Jun-hua, LU Jian-ren, MURAI T, *et al.* 36 W diode-pumped continuous-wave 1 319 nm Nd : YAG ceramic laser[J]. *Optics Letters*, 2002, **27**(13): 1120-1122.
- [10] YANG Yong-ming, WEN Jian-guo, WANG Shi-yu, *et al.* The thermal lens focus of the end-pumped Nd : YAG Laser[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(12): 1769-1772.
杨永明, 文建国, 王石语, 等. LD 端面泵浦 Nd : YAG 激光器中的热透镜焦距[J]. *光子学报*, 2005, **34**(12): 1769-1772.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] WU Zhi-chao, LING Ming, WANG Fu-rong, *et al.* High repetition electro-optical Q-switched Nd : YAP red laser[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(5): 785-788.
武志超, 凌铭, 王福荣, 等. 高重复电光调 Q Nd : YAP 红光激光器[J]. *光子学报*, 2010, **39**(5): 785-788.

670 nm Electro-optical Q-switched Nd : YAG Ceramic Laser

TAN Xue-chun, WU Zhi-chao, LIANG Zhu

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

Abstract: To further investigate the red band of Nd : YAG ceramic laser, an electro-optical Q-switched ceramic laser at the wavelength of 670 nm was studied. The Nd : YAG ceramic crystal with 1.1at% Nd doping and dimensions of $\Phi 3 \times 50 \text{ mm}^2$ was side-pumped by three laser diodes positioned with 120° respectively. The folding cavity parameters based on the ceramic thermal focal length were designed. The influences of thermal focal length in ceramic crystal and frequency crystal on spot radius were discussed. The LN crystal to electro-optical Q-switched and KTP crystal type II phase matching for intracavity frequency-doubling were used to realize the laser. Under repetition rate of 1 000 Hz and single pulse pumped energy of 144 mJ, the output energy of 1.48 mJ and pulse width of 35 ns were obtained at 670 nm, and the optic-optic efficiency was 1.03%.

Key words: Laser; Nd : YAG ceramic red laser; Intracavity frequency-doubling; Electro-optical Q-switching