

文章编号: 0258-7025(2009)07-1732-03

全固态高功率连续单频稳频 1053-nm Nd:YLF 激光器

刘国宏 李永民* 王焱廷 李渊骥 张宽收

(山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西 太原 030006)

摘要 报道了激光二极管(LD)端面抽运的 1053 nm 全固态连续单频稳频 Nd:YLF 环形激光器的设计及实验结果。为克服 Nd:YLF 晶体应力裂纹极限小的缺点,采用了较长的、低掺杂的沿 *c* 轴切割的 Nd:YLF 晶体。激光器的阈值抽运功率为 4.7 W,当抽运光功率为 17.9 W 时,单频输出功率可达 4.21 W,长期功率稳定性为 $\pm 0.8\%$ (4.75 h),自由运转频率波动为 ± 10 MHz/min。为了改善激光器的频率稳定性,利用电子伺服系统将激光器的频率锁定在共聚焦布里-珀罗(F-P)腔的共振透射峰上,锁定后,激光器的频率波动降低为 ± 1.7 MHz/min。

关键词 激光器; 单频; 激光二极管端面抽运; 稳频

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093607.1732

All Solid State Continuous Wave Stabilized Single Frequency 1053-nm Nd:YLF Laser

Liu Guohong Li Yongmin Wang Yaoting Li Yuanji Zhang Kuanshou

(State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices, Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract A laser diode end-pumped 1053-nm all solid state continuous wave single frequency Nd:YLF laser is designed and demonstrated experimentally. In order to overcome the low fracture limit, a long and low concentration Nd:YLF is used in the experiment. The threshold power of the laser is 4.7 W and the single frequency output power is 4.21 W at pump power of 17.9 W. The long term power fluctuation is less than $\pm 0.8\%$ (4.75 h) and the free running frequency stability is ± 10 MHz/min. To improve the frequency stability, the laser is locked to a Fabry-Perot cavity resonance, then the measured frequency stability is less than ± 1.7 MHz/min.

Key words lasers; single frequency; laser diode end-pumped; frequency stabilized

1 引言

与其他激光晶体相比,掺钕离子的氟化钇锂(Nd:YLF)晶体具有一些独特的优势。它具有较长的荧光寿命,从而使它可以在相同的抽运条件下存储较多的能量;自然双折射远超过热致双折射,从而抑制了热退偏问题;负的折射率梯度引起的负透

镜效应和端面突起引起的正透镜效应之间有一定的抵消,使得它的热效应相对较弱。Nd:YLF晶体的这些特点引起了人们对 Nd:YLF 激光器的广泛关注和研究^[1~10]。特别是 Nd:YLF 固态激光器可以产生 1053 nm 波长的激光,该波长与掺钕的磷酸盐玻璃峰值增益相匹配,因而可以用于这类玻璃放

收稿日期: 2008-11-14; 收到修改稿日期: 2009-02-12

基金项目: 国家自然科学基金(60527003, 60608011 和 60878003)、国家 973 计划前期研究专项(2007CB316501)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0265)和高等学校博士学科点专项科研基金(20060108005)资助项目。

作者简介: 刘国宏(1981-),男,硕士研究生,主要从事激光技术、量子光学等方面的研究。E-mail: ghliu@email.sxu.cn

导师简介: 张宽收(1965-),男,教授,博士生导师,主要从事量子光学与激光技术等方面的研究。

E-mail: kuanshou@sxu.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: yongmin@sxu.edu.cn

大器链的主振荡器等。本文报道了激光二极管 (LD) 端面抽运的 1053 nm 全固态连续单频稳频 Nd:YLF 环形激光器的设计及实验结果。激光器的单频输出功率可达 4.21 W, 长期功率稳定性为 $\pm 0.8\%$, 稳频后激光的频率波动为 ± 1.7 MHz/min。

2 实验与结果

图 1 是实验装置示意图。抽运源采用光纤耦合输出的 797 nm 激光二极管, 经焦距为 30 mm 和 50 mm 两个透镜准直和聚焦后, 入射到激光晶体中心, 聚焦后的抽运激光半径约为 $330 \mu\text{m}$ 。激光谐振腔由 4 个平面镜和 2 个凹面镜组成, 凹面镜的曲率半径为 100 mm, 输出耦合镜的透射率为 13.5% (其余腔镜均为全反镜)。谐振腔中的 TGG ($\text{Tb}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) 晶体和半波片 (HWP) 构成光学单向器。图 2 是利用 ABCD 矩阵法计算得到的晶体内部振荡激光腰斑半径随着 2 个凹面镜之间距离的变化曲线。根据理论计算结果, 实验中选取凹面镜之间的距离约为 109 mm, 相应的振荡激光腰斑半径为 $270 \mu\text{m}$, 和抽运激光的模式可以较好地匹配, 同时, 激光器位于稳区中心附近, $(A+D)/2$ 为 0.26。由于 Nd:YLF 晶体热效应非常小, 所以在设计腔型时没有考虑补偿热透镜效应。

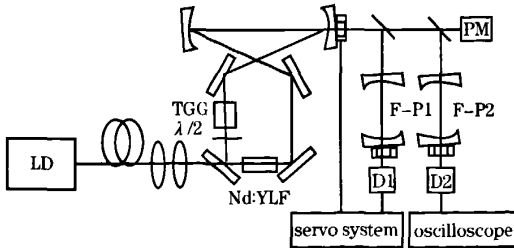


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of the experimental setup

为了产生所需要的 1053 nm 激光而抑制不需要的 1047 nm 激光, Nd:YLF 激光晶体选用 *c* 轴切割方式。Nd:YLF 晶体产生的 1047 nm 光场的电场方向与 *c* 轴方向平行, 而 1053 nm 光场的电场方向与 *c* 轴方向垂直, 所以产生的 1047 nm 光场将沿着垂直于谐振腔内光路的方向传播, 从而不能被有效地放大振荡而形成激光。由于 Nd:YLF 晶体的应力裂纹极限比较小, 在实验中采用掺杂浓度较小 (Nd^{3+} 掺杂原子数分数为 0.5%)、较长的晶体 (15 mm), 这样晶体可以在较长的范围内吸收抽运光, 减弱晶体前半部分受到的热应力。晶体的双端面镀 1053/797 nm 双减反膜, 并用铝箔包裹置于紫

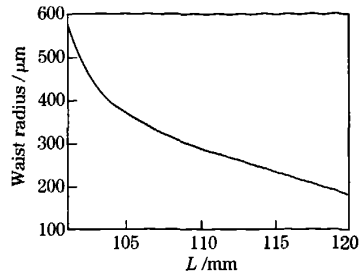


图 2 晶体中振荡激光腰斑半径随凹面镜之间距离的变化关系

Fig. 2 Waist radius of the laser versus the distance between two curved mirrors

铜材料做成的晶体炉中, 晶体炉被精确控温在 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 附近。

为了获得激光器单向运转, 必须对 1053 nm 激光的偏振方向进行选择控制。在腔内插入布儒斯特窗片起偏是一种比较常见的方法, 但是会引入一定的插入损耗。在实验中, 通过利用 4 个平面全反射镜对 s 偏振光和 p 偏振光的反射率差异 (4 个平面全反射镜对 s 偏振光的反射率大于对 p 偏振光的反射率 $\sim 3\%$) 而使得激光以 s 偏振光在腔内振荡。图 3 是利用美国相干公司 FieldMaster 功率计 (PM) 测量到的 1053 nm 单频激光输出功率随抽运光功率的变化关系。可以看出, 激光器的阈值抽运功率为 4.7 W, 当抽运光功率为 17.9 W 时, 单频输出功率可达 4.21 W。图 4 是测量得到的激光输出功率的长期稳定性曲线, 在 4.75 h 内激光器输出功率稳定性为 $\pm 0.8\%$ 。

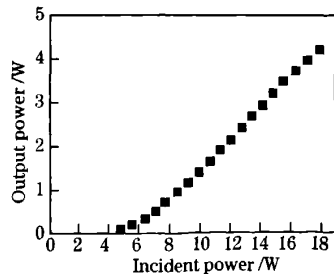


图 3 1053 nm 单频激光输出功率随抽运光功率的变化关系

Fig. 3 1053 nm single frequency laser output power versus the incident pump power

当激光器自由运转时, 外界的机械振动、晶体温度波动等因素对激光谐振腔腔长的扰动会导致输出激光频率的漂移和波动, 实验测量到相应的频率波动为 ± 10 MHz/min。为了改善激光器的频率稳定性, 利用电子伺服系统将激光器的频率锁定在无源

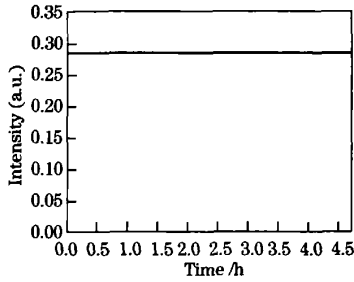


图4 激光输出功率的长期波动曲线

Fig. 4 Long-term power fluctuations of the output laser

共聚焦布里-珀罗(F-P)腔(F-P1,自由光谱范围为750 MHz,精细度为110)的共振透射峰上。图5是扫描共聚焦布里-珀罗腔(F-P2,自由光谱范围为750 MHz)测量到的激光器单频运转模式曲线(a)及锁定激光器后的频率稳定性曲线(b)。

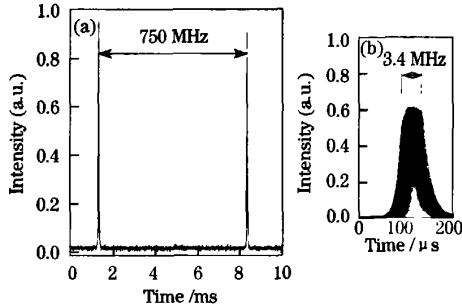


图5 利用扫描共聚焦布里-珀罗腔测量到的激光器单频模式(a)及锁定激光器后激光的频率波动(b)

Fig. 5 Single frequency operation (a) and frequency fluctuation (b) curves of the laser locked by scanning a confocal F-P cavity

当激光器的频率锁定后,频率稳定性得到明显改善,降低为 ± 1.7 MHz/min。实验中发现锁定后激光器的频率波动主要受限于频率的参考标准——F-P2共振频率的变化,因为其腔长随环境温度会发生漂移,相应会引起共振频率的变化。如果对共聚焦布里-珀罗腔进行精确控温,激光器的频率波动就可以进一步降低到 ± 0.5 MHz/min以下。

3 结 论

设计并实验实现了输出功率达4.21 W的

1053 nm全固态连续单频稳频Nd:YLF激光器,激光器的长期功率稳定性为 $\pm 0.8\%$ 。为克服Nd:YLF晶体应力裂纹极限小的缺点,采用了较长的、低掺杂的沿c轴切割的Nd:YLF晶体,并利用激光谐振腔的平面反射镜对s偏振光和p偏振光反射率的差异特性实现了激光器线偏振光输出。为了改善激光器的频率稳定性,将激光器的频率锁定在共聚焦布里-珀罗腔的共振透射峰上,相应的频率波动为 ± 1.7 MHz/min。

参 考 文 献

- 1 T. M. Pollak, W. F. Wing, R. J. Grasso *et al.*. CW laser operation of Nd:YLF[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1982, **QE-18**(2):159~162
- 2 J. M. Auerbach, R. L. Schmitt. Diode laser pumped monolithic Nd:YLF laser operating at 1.053 μm [J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(15):1171~1173
- 3 G. Cerulla, S. De Silvest, V. Magni. High efficiency 40 W cw Nd:YLF laser with large TEM₀₀ mode[J]. *Opt. Commun.*, 1992, **93**(1-2):77~81
- 4 Huo Yujing, Zhang Qinqing, Zhou Bingkun *et al.*. Nd:YLF laser and frequency-doubled laser pumped by diode laser[J]. *Laser & Infrared*, 1992, **22**(3):37~40
- 5 霍玉晶,张沁馨,周炳琨等. LD泵浦的Nd:YLF激光器及倍频激光器[J]. *激光与红外*, 1992, **22**(3):37~40
- 6 B. Frei, J. E. Balmer. 1053 nm wavelength selection in a diode laser pumped Nd:YLF laser[J]. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(30):6942~6946
- 7 Wang Chun, Hu Wentao, Chen Shaohu *et al.*. Unidirectional operation of LDA side-pumped Nd:YLF ring laser via acousto-optic effect[J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(6):656~660
- 8 王春,胡文涛,陈绍和等. 二极管侧面泵浦声光诱导单向运转的Nd:YLF环形腔激光器[J]. *光学学报*, 1997, **17**(6):656~660
- 9 W. A. Clarkson, P. J. Hardman, D. C. Hanna. High power diode-bar end-pumped Nd:YLF laser at 1.053 μm [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(17):1363~1365
- 10 P. J. Hardman, W. A. Clarkson, D. C. Hanna. High-power diode-bar-pumped intracavity frequency doubled Nd:YLF ring laser[J]. *Opt. Commun.*, 1998, **156**(1-3):49~52
- 11 Peng Xiaoyuan, Xu Lei, Anand Asundi. High-power efficient continuous-wave TEM₀₀ intracavity frequency-doubled diode-pumped Nd:YLF laser[J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(10):800~807
- 12 Shudi Pan, Kezhen Han, Hongmei Wang *et al.*. Diode-pumped passively Q-switched and mode-locked Nd:YLF laser with Cr⁴⁺:YAG saturable absorber[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(7):407~409

作者: [刘国宏](#), [李永民](#), [王垚廷](#), [李渊骥](#), [张宽收](#), [Liu Guohong](#), [Li Yongmin](#), [Wang Yaoting](#), [Li Yuanji](#), [Zhang Kuanshou](#)
作者单位: [山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西, 太原, 030006](#)
刊名: [中国激光](#) [ISTIC](#) [EI](#) [PKU](#)
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF LASERS](#)
年, 卷(期): 2009, 36(7)

参考文献(10条)

1. [T M Pollak;W F Wing;R J Grasso](#) [CW laser operation of Nd:YLF](#)[外文期刊] 1982(02)
2. [J M Auerbach;R L Schmitt](#) [Diode laser pumped monolithic Nd:YLF laser operating at 1.053 \$\mu\text{m}\$](#) [外文期刊] 1991(15)
3. [G Cerulla;S De Silvest;V Magni](#) [High efficiency 40 W cw Nd:YLF laser with large TEM00 mode](#)[外文期刊] 1992(1-2)
4. [霍玉晶;张沁馨;周炳琨](#) [LD泵浦的Nd:YLF激光器及倍频激光器](#)[期刊论文]-[激光与红外](#) 1992(03)
5. [B Frei;J E Balmer](#) [1053 nm wavelength selection in a diode laser pumped Nd:YLF laser](#)[外文期刊] 1994(30)
6. [王春;胡文涛;陈绍和](#) [二极管侧面泵浦声光诱导单向运转的Nd:YLF环形腔激光器](#)[期刊论文]-[光学学报](#) 1997(06)
7. [W A Clarkson;P J Hardman;D C Hanna](#) [High power diode-bar end-pumped Nd:YLF laser at 1.053 \$\mu\text{m}\$](#) [外文期刊] 1998(17)
8. [P J Hardman;W A Clarkson;D C Hanna](#) [High-power diode-bar-pumped intracavity frequency doubled Nd:YLF ring laser](#)[外文期刊] 1998(1-3)
9. [Peng Xiaoyuan;Xu Lei;Anand Asundi](#) [High-power efficient continuous-wave TEM00 intracavity frequency-doubled diodepumped Nd:YLF laser](#)[外文期刊] 2005(10)
10. [Shudi Pan;Kezhen Han;Hongmei Wang](#) [Diode-pumped passively Q-switched and mode-locked Nd:YLF laser with Cr4+:YAG saturable absorber](#)[期刊论文]-[Chinese Optics of Letters](#) 2006(07)

本文读者也读过(10条)

1. [刘泊. 郑洁. LIU Bo. ZHENG Jie](#) [基于ARM7激光频率稳定度检测的研究](#)[期刊论文]-[哈尔滨理工大学学报](#) 2009, 14(z1)
2. [王海波. 马艳. 翟泽辉. 郜江瑞. 彭堃堃](#) [LD端面抽运1.5 W单频稳频绿光激光器](#)[期刊论文]-[中国激光](#)2002, 29(2)
3. [雷仕湛. 薛慧彬](#) [中国激光技术领域的丰碑](#)[期刊论文]-[科学\(上海\)](#) 2009, 61(2)
4. [蔡鹏. 周肇飞. 张涛. 谢驰. CAI Peng. ZHOU Zhao-Fei. ZHANG Tao. XIE Chi](#) [双纵模热稳频激光源的模糊PID控制研究](#)[期刊论文]-[四川大学学报\(工程科学版\)](#) 2006, 38(1)
5. [李新华. 徐家跃. 陈红兵. 范世\(马岩\)](#) [固体可调谐氟化物激光晶体的生长与性能](#)[会议论文]-2006
6. [舒俊. 马晓明. 王永国. 徐学珍. 桂尤喜](#) [提拉法生长大尺寸Nd:YLF晶体的研究](#)[期刊论文]-[中国激光](#)2004, 31(z1)
7. [李坚. 白晓东. 沈乃澂. 臧二军. 曹建平](#) [碘分子532nm激光稳频系统的参数优化](#)[期刊论文]-[激光技术](#)2003, 27(1)
8. [王江峰. 朱海东. 李学春. 朱健强. Wang Jiangfeng. Zhu Haidong. Li Xuechun. Zhu Jianqiang](#) [高稳定激光二极管抽运Nd:YLF再生放大器](#)[期刊论文]-[中国激光](#)2008, 35(2)
9. [杨海菁. 王彦华. 张天才. 王军民. YANG Hai-jing. WANG Yan-hua. ZHANG Tian-cai. WANG Jun-min](#) [基于共焦法布里-珀罗腔的无调制激光频率锁定](#)[期刊论文]-[中国激光](#)2006, 33(3)
10. [崔英云. 王海波. 马艳. 郜江瑞](#) [激光二极管抽运的高输出单频稳频Nd:YVO4激光器](#)[期刊论文]-[光学学报](#)

2001, 21(3)

引用本文格式：[刘国宏](#), [李永民](#), [王垚廷](#), [李渊骥](#), [张宽收](#), [Liu Guohong](#), [Li Yongmin](#), [Wang Yaoting](#), [Li Yuanji](#).

[Zhang Kuanshou](#) [全固态高功率连续单频稳频1053-nmNd:YLF激光器](#)[期刊论文]-[中国激光](#) 2009(7)