

文章编号: 0258-7025(2008)01-0003-03

高效高功率侧面抽运腔内倍频连续绿光激光器

张会云¹ 张玉萍² 钟 凯² 王 鹏¹ 李喜福¹ 姚建铨¹

(¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院激光与光电子研究所光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072)
² 山东科技大学理学院, 山东 青岛 266510)

摘要 激光二极管(LD)侧面抽运的内腔倍频激光器技术是实现高功率、高稳定且低成本连续绿光激光器的有效方法。为满足激光彩色显示、激光加工、数据存储、医疗卫生和科研等领域对连续绿光激光器的需求,研制了一台高效、高功率侧面抽运腔内倍频 Nd:YAG/KTP 连续绿光激光器。采用优化的平-凹-平三镜折叠腔结构,Ⅱ类相位匹配 KTP 晶体内腔倍频,当 808 nm 激光二极管抽运功率约为 180 W 时,得到最高 18.7 W 的连续绿光激光输出,对应的光-光转换效率为 10.4%。在输出功率 15.4 W 时测量激光功率稳定性,其功率不稳定性小于 0.5%。输出光束平滑,远场为类高斯分布,用刀口法测量了激光器不同输出功率时的光束质量,光束传输因子 M^2 小于 7。

关键词 激光器;侧面抽运;连续波;腔内倍频

中图分类号 TN 248.1+3 **文献标识码** A

Efficient High Power Diode-Side-Pumped Intracavity-Doubled Continuous Wave Green Laser

Zhang Huiyun¹ Zhang Yuping² Zhong Kai² Wang Peng¹ Li Xifu¹ Yao Jianquan¹

¹ Key Laboratory of Optoelectronics Information Science and Technology, Ministry of Education, Institute of Laser and Optoelectronics, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China
² College of Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China

Abstract Laser diode (LD) side-pumping and intracavity-doubling technology is an available method to achieve high power, high stability and low cost continuous wave (CW) green laser. To meet the demand in the fields of laser color display, laser processing, optical data storage, laser medical and scientific research, an efficient high power diode-side-pumped intracavity-doubled CW green Nd:YAG/KTP laser has been developed successfully. By using plane-concave-plane resonator of three mirrors, and KTP of Ⅱ-type phase-matching for frequency doubling, a maximum of 18.7 W CW 532 nm green laser is obtained when the 808 nm pump laser power is 180 W, and the optical-to-optical conversion efficiency is 10.4%. The power stability of the laser is measured at output power of 15.4 W. During an hour measurement time, the output power instability is less than 0.5%. The output beam exhibits a smooth Gaussian-like profile in the far field and the beam transfer factor is measured to be less than 7 measured by knife-edge method at different output power.

Key words lasers; laser diode-side-pumped; continuous wave; intracavity-doubled

1 引 言

激光二极管(LD)抽运内腔倍频高功率全固态绿光激光器具有效率高、体积小、稳定性好和寿命长等优点^[1~3],在激光彩色显示、激光加工、数据存储、

医疗卫生和科研等领域有重要的应用。因此,激光二极管抽运全固态连续绿光激光器成为国际上近年来的研究热点^[4~10]。其中,激光二极管侧面抽运的内腔倍频激光器技术是实现高功率、高稳定且低成

收稿日期:2007-06-22;收到修改稿日期:2007-08-06

基金项目:天津市科技型中小企业技术创新资金(CHX05-Y-1-064)资助项目。

作者简介:张会云(1974—),男,山东人,博士研究生,目前研究方向为全固态激光器。

E-mail: huiyunzhang1019@yahoo.com.cn

导师简介:姚建铨(1939—),男,上海人,中国科学院院士,教授,博士生导师,目前研究方向为全固态激光器、太赫兹科学技术。E-mail:jqyao@tju.edu.cn

本连续绿光激光器的有效方法。P. K. Mukhopadhyay 等^[9]报道的侧面抽运内腔倍频绿光激光器的最大功率为30.5 W,但其光束传输因子 M^2 值约为20,这在一定程度上限制了其应用范围。Kojima 等^[10]报道了侧面抽运内腔倍频连续 Nd:YAG 激光器的最大绿光输出功率为27 W,对应的光束传输因子 $M^2 = 8$,光-光转换效率为8.2%;当输出为基模时,输出功率为16 W,对应的光束传输因子 $M^2 = 1.2$,光-光转换效率为4.8%,但他们使用了两个抽运源串接,这在一定程度上使系统的复杂性和成本增加,且不利于产品化。

本文通过优化设计,使用国产的激光二极管侧面抽运模块,实现了18 W高效、高稳定、高光束质量的连续绿光激光器。激光输出功率为18 W时,对应的光-光转换效率达到10.4%。当输出功率为15.4 W时,测量了输出激光稳定性,其功率不稳定性为0.482%。并在多个激光输出功率处测量了激光器的光束传输因子, $M^2 < 7$ 。

2 实验装置

图1为激光谐振腔示意图。激光谐振腔为三镜V型折叠腔,具有以下优点:模参数调整灵活、腔内模体积大,在倍频晶体所在的折叠臂可以获得较小的光腰半径,从而获得较大的基频光功率密度和倍频转换效率,提高激光器对抽运光的利用率;将基频光和倍频光分开,减少了激光晶体对倍频光的吸收。

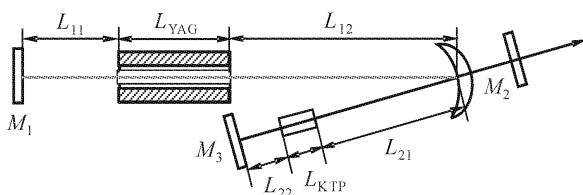


图1 激光谐振腔示意图

Fig. 1 Schematic diagram of laser cavity configuration

抽运源为北京国科世纪激光公司的 GKPM-50 型侧面抽运模块。在输出镜透射率为20%的条件下,用腔长为150 mm的平-平测试腔对 GKPM-50 模块进行测试,阈值电流为9.5 A,当工作电流为25 A时,1064 nm输出功率为60 W,激光二极管808 nm的输出功率为180 W。激光棒为普通的 Nd:YAG 棒,掺杂原子数分数为0.6%,尺寸为 $\phi 3 \text{ mm} \times 89 \text{ mm}$ 。用循环水冷却模块和 YAG 棒,冷却水的温度为 $22.6 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

倍频晶体为普通的 KTP 晶体,II类相位匹配切割, $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 23.5^\circ$, 尺寸为 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times$

10 mm,双面镀1064 nm,532 nm增透膜。KTP 晶体用铜片包裹置于紫铜热沉中,保持良好的热接触。紫铜热沉用循环水冷却,冷却温度设置为 $19.4 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

M_1 为平-平镜,面向腔内的一面镀1064 nm全反膜,反射率大于99.9%; M^2 为新月型凸凹镜,焦距 f 为150 mm,凹面曲率半径 R 为250 mm,凹面镀1064 nm高反,532 nm增透膜,对1064 nm反射率大于99.8%,对532 nm透射率大于90%,凸面镀532 nm增透膜,透射率大于99.9%; M_3 为平-平镜,面向腔内的一面镀1064 nm和532 nm双色全反膜,对1064 nm反射率大于99.7%,对532 nm反射率大于95%,折叠半角约为 10° 。

抽运模块置于 M_1 镜与 M_2 镜之间,KTP 置于 M_2 与 M_3 之间, M_1 到抽运模块之间的距离 L_{11} 为125 mm,抽运模块与 M_2 之间的距离 L_{12} 为116 mm, M_2 与 KTP 晶体之间的距离 L_{21} 为116 mm,KTP 晶体与 M_3 之间的距离 L_{22} 为9 mm。

倍频激光经 M_2 耦合输出,输出激光再经滤波镜以滤掉其中的基频光成分。用 OPHIR 公司 Nova II 功率计(探头为1Z01550)测量绿光激光输出功率。

3 实验结果

图2为激光二极管抽运电流与输出绿光之间的输入输出曲线。在抽运电流为25 A时得到18.7 W的连续绿光激光输出,对应的光-光转换效率为10.4%。

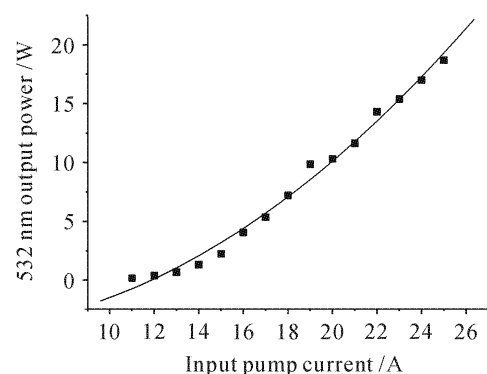


图2 激光二极管抽运电流与输出绿光之间的输入输出曲线

Fig. 2 Output power as a function of laser diode pump current

图3为在15.4 W附近测量的532 nm激光功率稳定性,每隔2 min从功率计上读取一个数据,共测量30组数。1 h内其输出功率不稳定性为

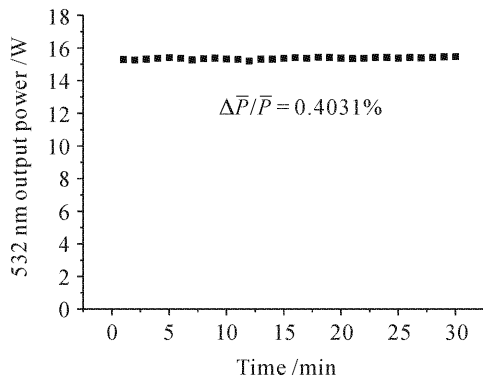


图3 输出功率 15.4 W 附近的功率稳定性

Fig. 3 Power stability of laser at output power of about 15.4 W

$$\Delta\bar{P}/\bar{P} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n} \right]^{1/2} \cdot \frac{1}{\bar{P}} \approx 0.4031\% < 1\%.$$

用刀口法测量了不同抽运电流和输出功率情况下的 M^2 值, 如表 1 所示。

表 1 不同抽运电流和输出功率情况下的 M^2 值Table 1 M^2 values at different pump current and output power

Pump current /A	Green laser output power /W	Beam transfer factor M^2
16	4.04	3.9
18	7.20	5.8
20	10.32	5.6
22	14.32	5.1
24	17.01	6.7

在实验结果的基础上, 实现了 10 W 级全固态连续绿光激光器的产品化。图 4 是产品化样机图片和样机输出的远场激光光斑, 激光远场为类高斯分布, 激光器的功率稳定性和激光输出功率都达到了实用化水平。

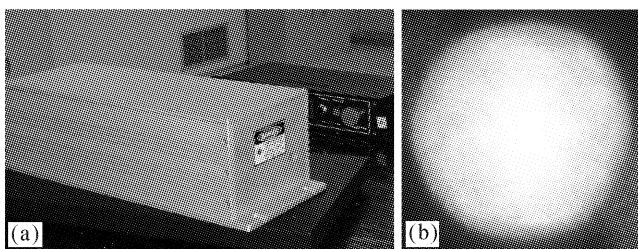


图 4 产品化样机图片(a)和样机输出的激光远场光斑照片(b)

Fig. 4 Photographs of the prototype laser (a) and the far-field mode profile of the prototype laser (b)

4 结 论

采用一个 180 W 的国产 808 nm 激光二极管侧面抽运模块作抽运源, 侧面抽运 Nd:YAG 晶体, II 类相位匹配 KTP 晶体腔内倍频, 通过合理的腔型及参数设计获得了高效率、高功率、高稳定的 532 nm 连续波绿光激光输出。在激光二极管总抽运功率为 180 W 的情况下, 激光器绿光稳定输出 18.7 W; 在输出激光为 15.4 W 时测得 1 h 功率不稳定性小于 0.5%; 测得不同抽运电流和输出功率情况下光束传输因子 M^2 小于 7。在此基础上实现了一台连续输出功率 12 W 的绿光激光器样机。该高功率连续绿光激光器具有低成本生产和高性能运转等优势, 良好的产业化前景。

参 考 文 献

- Yao Zhenyu, Jiang Jianfeng, Tu Bo *et al.*. 162 W laser diode pumped Nd:YAG intracavity doubled laser [J]. *Chinese J. Laser*, 2005, **32**(11):1459~1462
姚震宇, 蒋建锋, 涂波等. 162 W 激光二极管抽运 Nd:YAG 腔内倍频激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(11):1459~1462
- Degang Xu, Jianquan Yao, Baigang Zhang *et al.*. Influence of the KTP crystal boundary temperature on conversion efficiency in high power green laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(2): 85~88
- Xu Degan, Yao Jianquan, Guo Li *et al.*. 104 W laser diode-pump intracavity frequency doubled Nd:YAG green light laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(7):925~928
徐德刚, 姚建铨, 郭丽等. 104 W 内腔倍频全固态 Nd:YAG 绿光激光器[J]. *光学学报*, 2004, **24**(7):925~928
- Xiaoyuan Peng, Lei Xu, Anand Asundi. High-power efficient continuous-wave TEM₀₀ intracavity frequency-doubled diode-pumped Nd:YLF laser [J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(5):800~807
- He Jingliang, Hou Wei, Zhang Hengli *et al.*. 8.8 W green laser by intracavity frequency doubling of an LD pumped Nd:YVO₄ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(6):481~484
何京良, 侯玮, 张恒利等. LD 抽运 Nd:YVO₄ 腔内倍频连续波 8.8 W 绿光激光器[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(6):481~484
- Bai Yang, Li Long, Chen Haowei *et al.*. Continuous-wave green laser of 9.9 W by intracavity frequency doubling in laser-diode single-end-pumped Nd:YVO₄/LBO [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2004, **21**(8):1532~1534
- Jintao Bai, Guofu Chen. Continuous-wave diode-laser end-pumped Nd:YVO₄/KTP high-power solid-state green laser [J]. *Optics and Laser Technology*, 2002, **34**(4):333~336
- Louis McDonagh, Richard Wallenstein. Low-noise 62 W CW intracavity-doubled TEM₀₀ Nd:YVO₄ green laser pumped at 888 nm [J]. *Opt. Lett.*, 2007, **32**(7):802~804
- P. K. Mukhopadhyay, S. K. Sharma, K. Ranganathan *et al.*. Efficient and high-power intracavity frequency doubled diode-side-pumped Nd:YAG/KTP continuous wave (CW) green laser [J]. *Opt. Commun.*, 2006, **259**:805~811
- Tetsuo Kojima, Shuichi Fujikawa, Koji Yasui. Stabilization of a high-power diode-side-pumped intracavity-frequency-doubled CW Nd:YAG laser by compensating for thermal lensing of a KTP crystal and Nd:YAG rods [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(3):377~380