

·激光技术·

1.89 μm Tm:YLF 激光器输出特性分析

丁宇, 闫秀生

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 天津 300308)

摘要:介绍了利用激光二极管双端泵浦高功率 1.89 μm Tm:YLF 激光器, 其线宽小于 0.1 nm。腔内以 Brewster 角插入 0.05 mm YAG F-P 标准具强制起偏, 获得 1.89 μm 的水平偏振光, 再依次加入 0.05 mm 和 0.3 mm YAG F-P 标准具稳定输出波长, 实现窄线宽激光输出。当注入泵浦功率为 137 W 时, 获得了输出波长为 1 889.3 nm 46 W 的连续输出功率, 其斜率效率为 45.1%。随着泵浦功率由 20 W 增加到 137 W, 输出波长仅漂移了 0.12 nm。当激光输出功率为 15 W 和 30 W 时, 对应的光束质量分别为 1.7 和 2.2。

关键词: F-P 标准具; Tm:YLF; 窄线宽

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-05-0024-03

Characteristic Analysis of 1.89 μm Tm:YLF Laser

DING Yu, YAN Xiu-sheng

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Tianjin 300308, China)

Abstract: A high power diode-pumped Tm:YLF laser operating at 1.89 μm with FWHM line width less than 0.1 nm is introduced. The YAG Fabry-Perot etalons of 0.05 mm is inserted to polarize at Brewster angle in laser cavity, and 1.89 μm horizontal polarized light is obtained. Two Fabry-Perot etalons with 0.05 mm and 0.3 mm YAG are inserted successively for spectral narrowing and laser stabilization. Under incident pump power of 137 W, 46 W continuous output power with 1 889.3 nm output wavelength and 45.1% slope efficiency is achieved. The laser wavelength shift of only 0.12 nm with the incident pump power from 20 W to 137 W is observed. The beam quality factors at output power of 15 W and 30 W are 1.7 and 2.2 respectively.

Key words: Fabry-Perot etalon; Tm:YLF; narrow line width

2 μm 波段的激光在激光雷达、遥感、医学等领域具有广泛的应用前景。在激光雷达方面, 与长波 CO₂ 激光器相比, 2 μm 激光具有大气消光比低的优点^[1]。在遥感探测方面, 2 μm 波段处于很多大气分子的吸收峰, 因而可以广泛应用于大气探测系统^[2-3]。在医学方面, 由于 2 μm 激光在生物组织穿透能力较小, 具有简单方便、手术创面小、术后交叉感染小、易愈合等特点, 是医疗领域的理想光源^[4-5]。

由于掺 Tm³⁺ 的氟化物晶体生长技术比较成熟, 具有良好的物理特性和机械性能, 因此许多研究者对掺铥的氟化物激光器进行了广泛而深入的研

究^[6]。2010年, W Hoen 等人在端面泵浦 Tm:YLF 板条激光器中通过腔内插入布儒斯特片实现了 π 偏振的 1.89 μm 激光输出, 斜效率为 38%^[7]。2012年, Strauss 等人利用体光栅的选支作用, 实现 1 890 nm 80 W 激光输出, 光束质量约为 182^[8]。但是目前都是利用 LD 阵列作为泵浦源, 使得输出激光的光束质量较差, 限制其适用范围。介绍了利用激光二极管双端泵浦高功率 1.89 μm Tm:YLF 激光器, 其线宽小于 0.1 nm。腔内以 Brewster 角插入 0.05 mm YAG F-P 标准具强制起偏, 获得 1.89 μm 的水平偏振光, 再依次加入 0.05 mm 和 0.3 mm YAG F-P 标准具稳

定输出波长,实现窄线宽激光输出,其斜率效率为45.1%。当激光输出功率为15 W和30 W时,对应的光束质量分别为1.7和2.2。

1 实验装置

实验装置如图1所示。

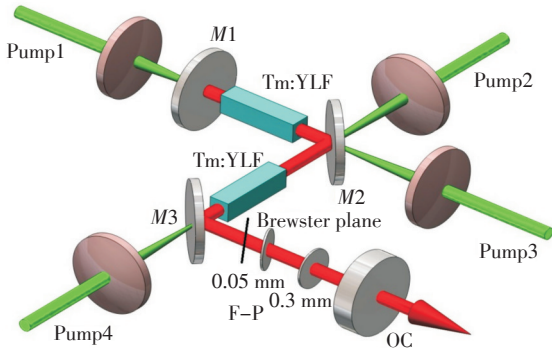


图1 Tm:YLF激光器实验装置图

采用了两块晶体串联、四个400 μm芯径的光纤耦合半导体激光器同时泵浦激光晶体的方式增大激光晶体对泵浦光的吸收;采用平凹的腔型结构,M2,M3均为45°对泵浦光高透,振荡光高反的平面镜,M1为0°对泵浦光高透,振荡光高反的平面镜,输出镜为R=150 mm,T=40%的凹透镜。晶体温度通过热电制冷方式控制在20 °C,腔长约为124 mm。自由振荡的是1.91 μm的垂直偏振光,腔内以Brewster角(约60°)插入0.05 mm YAG F-P标准具以强制起偏,获得1.89 μm的水平偏振光,再利用0.3 mm和0.05 mm的F-P标准具作为波长选择元件,实现窄线宽的激光输出。

2 实验设计与分析

法布里-帕罗(fabry-perot简称F-P)标准具一般由两块平行放置的平面玻璃板或者石英板组成的,常在其内表面镀以银膜、铝膜或多层介质膜来提高内表面反射率。腔内加入F-P标准具后,腔内振荡频率与F-P标准具的最大透过率吻合,损耗很小;如果激光振荡器的其他频率通过F-P标准具,损耗很大。单个F-P标准具很难实现激光高功率运转情况下的激光波长的稳定控制,所以选择两个

厚度不同的F-P标准具作为波长选择元件。厚度较小的F-P标准具的自由光谱区范围会较宽,对于Tm:YLF固体激光器而言,起到一个初步控制激光振荡波长范围的作用,再用自由光谱区较窄的薄F-P标准具把激光波长控制在1 889 nm附近,两个F-P标准具的透过率函数可以表示为

$$T(\lambda) = T_1(\lambda)T_2(\lambda) = \left(1 - \frac{A_1}{1-R_1}\right)^2 \times \frac{1}{1 + F_1 \sin^2\left(\frac{2\pi n_1 d_1 \cdot \cos\alpha_1}{\lambda}\right)} \times \left(1 - \frac{A_2}{1-R_2}\right)^2 \frac{1}{1 + F_2 \sin^2\left(\frac{2\pi n_2 d_2 \cdot \cos\alpha_2}{\lambda}\right)} \quad (1)$$

其中,R为标准具各面反射率;A为法布里-帕罗标准具对激光的损耗(A=1-R-T);T代表标准具的透过率(一般情况下,忽略F-P损耗,假设A=0);F为标准具的精细度(F=4R/(1-R)²);λ为激光波长;n为标准具材料的折射率;d为标准具厚度,实验中采用的分别是0.3 mm和0.05 mm,α为激光进入标准具后的折射角。经计算后可以得出,0.05 mm厚度的F-P折射角度为45.9°,0.3 mm厚度的F-P折射角度为0.9°。图2是运用0.3 mm和0.05 mm的石英F-P标准具同时作用时对波长的透过率图。

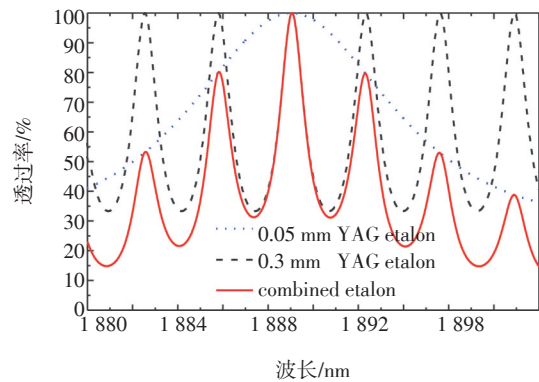


图2 双F-P标准具对波长的透过率图

3 输出特性分析

实验中选用的键和晶体尺寸为3×3×18 mm³(其中掺杂部分为12 mm),掺杂浓度为3.5%。利用F-P强制起偏后,激光自由振荡的输出光谱图如图3所示。

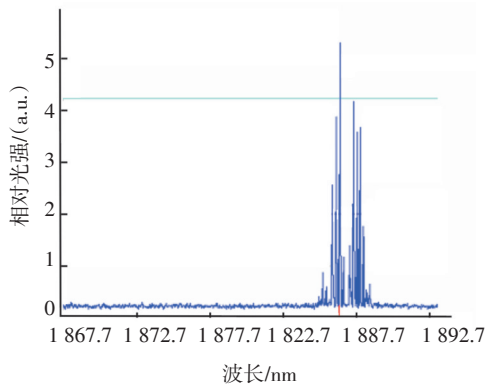


图3 1.89 μm自由振荡输出光谱图

当采用厚度为0.3 mm和0.05 mm的F-P标准具时,即可把波长限制在1 889.3 nm附近,线宽为0.1 nm,如图4所示。

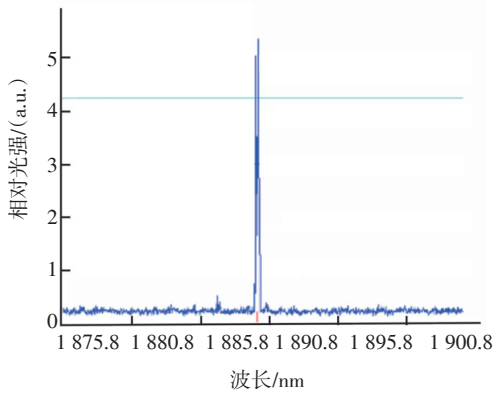


图4 三片F-P精确控制1.89 μm输出光谱图

随着泵浦功率的增加,波长偏移幅度也很小,泵浦功率由20 W增加到137 W,输出波长仅漂移了0.12 nm,其关系如图5所示。

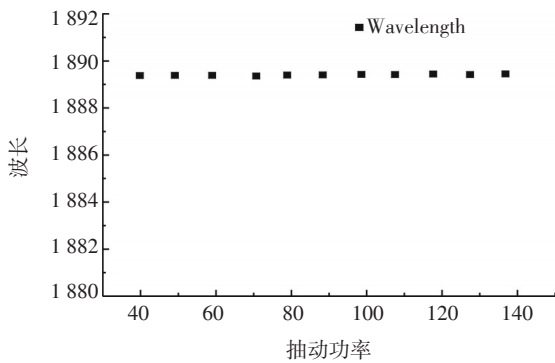


图5 输出波长与输出功率的关系

当晶体温度控制在20°,抽运功率为137 W时,

获得了47 W的连续输出功率,斜率效率为42.5%,相应的光-光转换效率为33.7%,如图6所示。

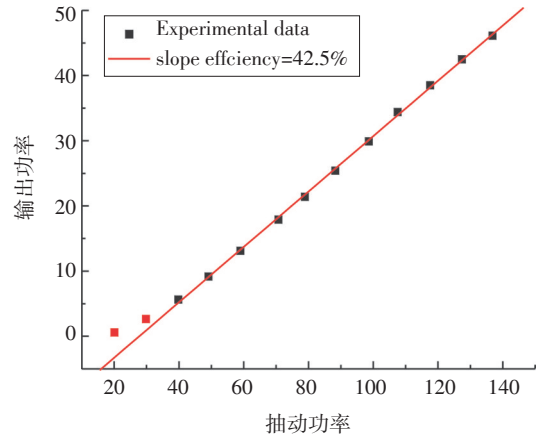


图6 Tm:YLF激光器输出功率特性

在输出镜后放置 $f=150$ mm,利用刀口法测量了输出功率分别为15 W和30 W的光斑半径,如图7所示。

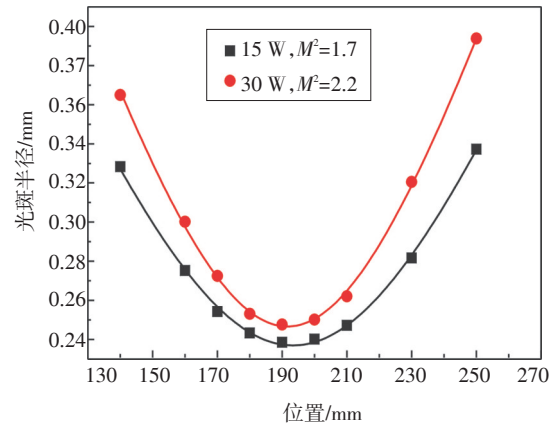


图7 Tm:YLF激光器输出的光束质量

当输出功率为15 W时,拟合得到 M^2 因子为1.7,输出功率为30 W时,拟合得到 M^2 因子为2.2。

4 结论

介绍了利用激光二极管双端泵浦高功率1.89 μm Tm:YLF激光器,其线宽小于0.1 nm。腔内以 Brewster角插入0.05 mm YAG F-P标准具强制起偏,获得1.89 μm的水平偏振光,再依次加入0.05 mm和0.3 mm YAG F-P标准具稳定输出波长,实现窄线宽

(下转第36页)

较大或图像分辨率较高时,计算效率过低。文中算法采用简单的代数运算,时间复杂度仅为 $O(2N)$,相比之下,计算效率更高,具有很好的实时性,同时需要选取的参数较少,具有很好的适应性。

5 结 论

提出的低照度彩色图像增强算法融合基于LIP模型的图像增强和CLAHE两种算法的优势,有效地解决了低照度环境引发的彩色图像质量退化问题。对比实验表明,该算法在视觉感受和指标评价上优于其他图像增强算法,在改善图像视觉效果,保持内容真实,表现细节信息,抑制噪声干扰以及提高运算效率等方面具有良好的综合性能,既为低照度环境下的案件分析和取证工作提供一种简单高效的思路,也为微光视频监控系统的研发提供一种切实可行的方案。

参考文献

[1] Sharma S, Mandavgane R N, Bagade A P. Review on efficient contrast enhancement technique for low illumination color Images[J]. International Journal on Recent Trends in

Computing and Communication, 2017, 5(3): 508-511.

- [2] 冯清枝, 虎添翼. 一种基于累积分布的低照度彩色图像增强算法[J]. 光电技术应用, 2017, 32(5): 57-61.
- [3] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Retinex processing for automatic image enhancement[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 100-110.
- [4] 韩希珍, 赵建. 结合偏微分方程增强图像纹理及对比度[J]. 光学·精密工程, 2012, 20(6): 1382-1388.
- [5] Jourlin M, Pinoli J C. A model for logarithmic image processing[J]. Journal of Microscopy, 1988, 149(1): 21-35.
- [6] Pizer S M, Amburn E P. Adaptive histogram equalization and its variations[J]. Computer Vision Graphics & Image Processing, 1987, 39(3): 355-368.
- [7] 胡韦伟, 汪荣贵, 方帅, 等. 基于双边滤波的Retinex图像增强算法[J]. 工程图学学报, 2010, 31(2): 104-109.
- [8] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [9] 万安军, 赵勋杰. 拟合阶次对基于多项式拟合的相位—高度映射关系的影响[J]. 光电技术应用, 2018, 33(3): 29-34.
- [10] 张月, 王睿. 光电探测器脉冲相关噪声增强效应研究[J]. 光电技术应用, 2018, 33(1): 24-29.

(上接第26页)

激光输出。当注入泵浦功率为137 W时,获得了输出波长为1 889.3 nm 46 W的连续输出功率,其斜率效率为45.1%。随着泵浦功率由20 W增加到137 W,输出波长仅漂移了0.12 nm。

参考文献

[1] Hderson S W, Suni P J M, Hale C P, et al. Coherent laser radar at 2 μm using solid-state lasers [C]//Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 1993, 31(1): 4-15.

[2] Humbach O, Fabian H, Grzesik U, et al. Analysis of OH absorption bands in synthetic silica[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1996, 203: 19-26.

[3] Scholle K, Lamrini S, Koopmann P, et al. 2 μm Laser Sources and Their Possible Applications Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics[C] // ISBN: 978-953-7619-82-4, 2010.

[4] Stoneman R C, Esterowitz L. Efficient 1.94- μm Tm:YALO

Laser[J]. IEEE J Sel Top Quantum Electron, 1995, 1(1): 78-81.

- [5] Temel B, Özgür T, Hamit K, et al. Modulated and continuous-wave operations of low-power thulium (Tm:YAP) laser in tissue welding [J]. Journal of Biomedical Optics, 2010, 15(3): 038001.
- [6] Sudesh V, Asai K, Kudou A, et al. Growth and characterization of Tm, Ho-doped LuLiF₄ and YLiF₄ crystals, in growth, fabrication, devices, and applications of laser and nonlinear materials [J]. J W Pierce and K I Schaffers, Editors, 2001: 153-160.
- [7] Koen W, Strauss H, Bollig C, et al. High-power diode-end-pumped Tm: YLF slab laser delivering 189 W at 1890 nm[J]. Laser Technology, 2010.
- [8] Strauss H J, Esser M J D, King G, et al. Tm:YLF slab wavelength-selected laser[J]. Optical Materials Express, 2012, 2(8): 1165-1170.