



·强激光物理与技术·研究快报·

双端输出全光纤振荡器突破 8 kW 高功率输出*

刘佳琪¹, 曾令筏¹, 史 尘^{1,2,3}, 吴函烁^{1,2,3}, 王 鹏^{1,2,3}, 奚小明^{1,2,3},
张汉伟^{1,2,3}, 王小林^{1,2,3}, 习锋杰^{1,2,3}

(1. 国防科技大学 前沿交叉学科学院, 长沙 410073; 2. 国防科技大学 南湖之光实验室, 长沙 410073;
3. 国防科技大学 高能激光技术湖南省重点实验室, 长沙 410073)

摘 要: 双端输出光纤激光振荡器可以通过一个单谐振腔结构实现两路激光输出, 能够减少高功率光纤激光系统的体积和成本, 在工业领域有着很好的应用前景。基于双端泵浦谐振腔结构, 采用稳波长 981 nm 光纤耦合半导体激光器 (LD) 泵浦纤芯/包层直径为 30/400 μm 的双包层掺镱光纤, 首次实现了总功率大于 8 kW 的双端输出光纤激光振荡器。在总最高泵浦功率为 10.951 kW 时, A 端输出功率为 3769 W, B 端输出功率为 4400 W, 总功率为 8169 W, 激光器光-光转换效率 74.6%, A、B 端激光光束质量 M^2 因子分别约 2.13 和 2.36。在最高输出功率时, 两端输出激光中均未观察到动态模式不稳定效应 (TMI) 和受激拉曼散射 (SRS), 通过进一步增加泵浦功率, 有望实现更高功率的激光输出。

关键词: 光纤激光器; 双端输出光纤激光振荡器; 受激拉曼散射; 模式不稳定效应; 光纤盘绕

中图分类号: TN242

文献标志码: A doi: 10.11884/HPLPB202335.230201

A bidirectional output all-fiber laser oscillator with record output power of 8 kW

Liu Jiaqi¹, Zeng Lingfa¹, Shi Chen^{1,2,3}, Wu Hanshuo^{1,2,3}, Wang Peng^{1,2,3}, Xi Xiaoming^{1,2,3},
Zhang Hanwei^{1,2,3}, Wang Xiaolin^{1,2,3}, Xi Fengjie^{1,2,3}

(1. College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. Nan Hu Laser Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
3. Hunan Provincial Key Laboratory of High Energy Laser Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The bidirectional output fiber laser can achieve two laser outputs through a resonant cavity structure, which can reduce the volume and cost of high-power fiber laser systems and has good application prospects in the industrial field. Based on the oscillator with bidirectional pumping, employing the double cladding ytterbium-doped fiber (DCYDF) with a core/cladding diameter of 30/400 μm which was pumped by the wavelength-stabilized 981 nm laser diodes (LDs), a bidirectional output fiber laser oscillator with a total output power of greater than 8 kW was achieved experimentally for the first time. With the total bidirectional pump power of 10.951 kW, a total output power of 8169 W with 3769 W at end A and 4400 W at end B were achieved, with an O-O efficiency of 74.6%. No TMI or SRS were observed at both ends, and higher laser output power can be expected by further increasing the pumping power.

Key words: fiber laser, bidirectional output fiber laser, stimulated Raman scattering, transverse mode instability, fiber coiling

光纤振荡器具有结构简单、成本低廉、抗回光能力强等优点, 在工业领域广受青睐^[1-2]。一般而言, 传统的光纤激光振荡器主要是由一个高反射率光纤光栅 (HRFBG) 和一个低反射率光纤光栅 (OCFBG) 配对的单端输出结构^[3]。关于双端输出的光纤激光器鲜有报道, 且多集中于基于环形腔的光纤激光器结构^[4-6]。2018 年, 本课题组提出了一

* 收稿日期: 2023-06-29; 修订日期: 2023-07-22

基金项目: 湖南省杰出青年基金项目 (2023JJ10057); 长沙市杰出创新青年培养计划项目 (kq2206006); 基础科学研究项目 (JCKY2021525B015)

联系方式: 刘佳琪, liujiaqi@nudt.edu.cn。

通信作者: 王小林, chinaphotonics@163.com;

习锋杰, xifengjie@163.com。

种线性腔全光纤双端输出光纤激光器结构^[7]。2022年,采用两个OCFBG组成谐振腔,实现基于一个谐振腔的两路激光输出^[8]。与单端输出的光纤激光振荡器相比,在相同的总输出功率水平下,双端输出光纤激光振荡器能够减少光纤器件的数量(光纤光栅、增益光纤),降低系统成本,同时简化了激光器的冷却系统、电源模块和控制系统,压缩了系统的体积重量,采用一台激光器实现两台单向输出激光器的功率指标,在工业领域无疑具有广阔的应用前景。然而,由于泵浦功率和SRS的限制,目前基于该结构的光纤激光器报道的最高输出功率仍停留在 2×2 kW的水平^[8]。

本文基于纤芯/内包层直径为 $30/400$ μm 的大模场面积增益光纤、采用具有较宽3 dB带宽的光纤光栅以及波长优化的泵浦源提升SRS和TMI阈值,在双端泵浦的方式下实现了A端3769 W、B端4400 W、总功率8169 W、光束质量 M^2 分别约为2.13和2.36的激光输出。双端输出光纤激光振荡器实验结构如图1所示,两个输出耦合光纤光栅(FBG1, FBG2)和一段长度为18 m的增益光纤(DCYDF)组成谐振腔,两端分别熔接参数基本一致的后向泵浦合束器(BPSC1, BPSC2)、稳波长981 nm泵浦源(981 nm LDs)、包层光滤除器(CLS1, CLS2)和输出光纤端帽(QBH1, QBH2)。光纤光栅的中心波长为1070 nm,其中A端输出对应的低反射率光栅FBG1的反射率为11%, 3 dB带宽为2.07 nm; B端输出对应的低反射率光栅FBG2的反射率为9.1%, 3 dB带宽为2.02 nm。谐振腔内产生的激光经过两端低反射率光栅的透射后输出,经过包层光滤除器后,由光纤端帽扩束输出。

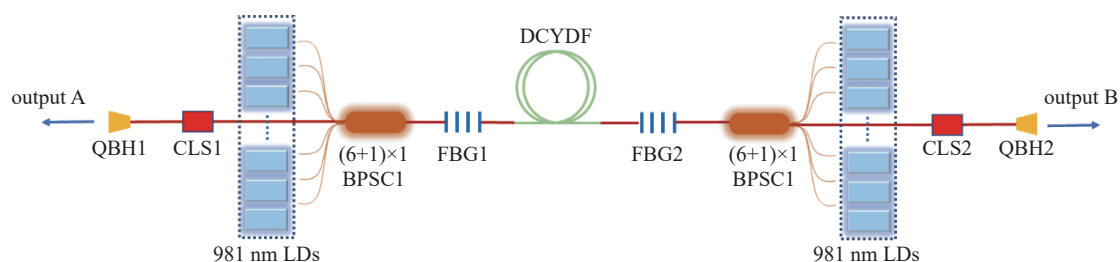


Fig. 1 Experimental schematic of bidirectional fiber laser oscillator system

图1 双端输出光纤激光振荡器实验结构

实验中,输出功率随着泵浦功率的增加而提升,在总泵浦功率为10.951 kW时,激光器A端的输出功率为3769 W, B端为4400 W,总输出功率为8169 W,光光效率为74.6%,如图2(a)所示。在最高输出功率时,激光器两端的时频域均保持稳定,不存在TMI特征;光谱中没有明显的SRS现象, B端输出激光光谱上存在少量残余泵浦光,如图2(b)所示。最高输出功率时两端输出激光的光束质量 M^2 分别约为2.13、2.36,其中A端的光斑形态如图2(c)所示。

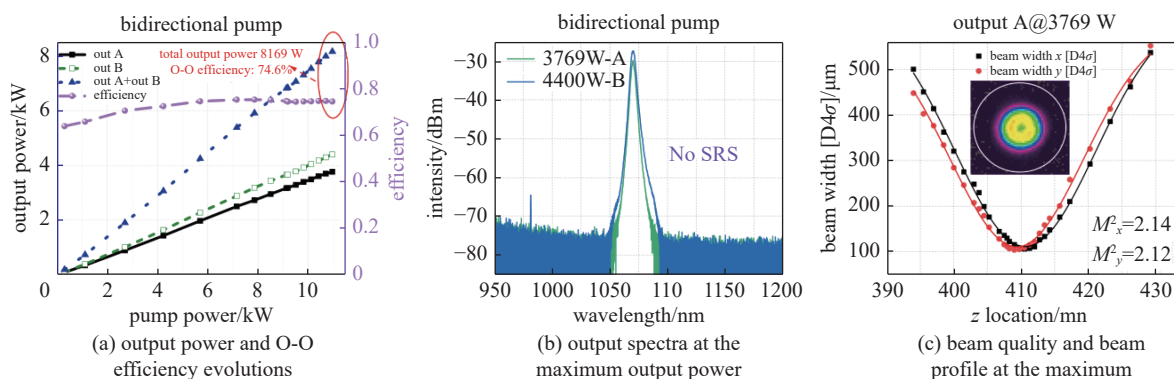


Fig. 2 Experimental results of the 2×4 kW fiber laser

图2 2×4 kW 光纤激光器实验结果

本文基于双端输出光纤激光振荡器结构,首次实现了双端4 kW量级、总输出功率大于8 kW的高功率激光输出,在最高输出功率时没有观察到SRS和TMI现象,当前输出功率受限于总泵浦功率。下一步可以从增加泵浦功率、优化器件性能以及光纤模式控制入手,实现更高光束质量、更高功率的激光输出。

参考文献:

- [1] Richardson D J, Nilsson J, Clarkson W A. High power fiber lasers: current status and future perspectives [J]. *Journal of the Optical Society of America B*, 2010, 27(11): B63-B92.

- [2] Nilsson J, Payne D N. High-power fiber lasers[J]. *Science*, 2011, 332(6032): 921-922.
- [3] 王小林, 张汉伟, 杨保来, 等. 高功率掺镱光纤振荡器: 研究现状与发展趋势[J]. *中国激光*, 2021, 48: 0401004. (Wang Xiaolin, Zhang Hanwei, Yang Baolai, et al. High-power ytterbium-doped fiber laser oscillator: current situation and future developments[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2021, 48: 0401004)
- [4] Jiang Jiamin, Chen Xuanjuan, Gao Yuxin, et al. Bidirectional ultrahigh-repetition-rate ultrafast fiber laser[J]. *Optics & Laser Technology*, 2021, 142: 107196.
- [5] Cui Wenxiang, Zhou Xuefang, Bi Meihua, et al. Switchable generation of multi-wavelength continuous wave and square-wave pulses in a bidirectional Erbium-doped fiber laser[J]. *Optics & Laser Technology*, 2021, 143: 107302.
- [6] Hu Guoqing, Dong Mingli, Chen Kai, et al. Tunable multidimensional multiplexed Q-switched pulse outputs from a linear fiber laser with a bidirectional loop[J]. *Optics & Laser Technology*, 2021, 141: 107138.
- [7] 王小林, 叶云, 奚小明, 等. 一种双端输出的线性腔全光纤激光振荡器: CN201821644646.3 [P]. 2018-10-11. (Wang Xiaolin, Ye Yun, Xi Xiaoming, et al. A bidirectional output linear cavity all-fiber laser oscillator: CN201821644646.3 [P]. 2018-10-11)
- [8] Zhong Penglin, Wang Li, Yang Baolai, et al. 2×2 kW near-single-mode bidirectional high-power output from a single-cavity monolithic fiber laser[J]. *Optics Letters*, 2022, 47(11): 2806-2809.