



·强激光物理与技术·研究快报·

大芯径空气包层微结构光纤实现 kW 级激光传输

夏长明, 黄卓元, 刘建涛, 杨家濠, 莫志峰, 侯峙云, 周桂耀

(华南师范大学 信息光电子科技学院, 广州 510006)

摘 要: kW 级高功率激光柔性传输是激光清洗、激光焊接、激光刻蚀等高功率激光加工领域中必备的环节, 而实现高功率激光低损耗传输的光纤是其关键器件。目前高功率激光传输光纤采用大芯径传能光纤, 仍然存在着弯曲损耗大、柔性差等问题, 并且使用过程中要经常维护。华南师范大学特种光纤研究中心提出一种大芯径空气包层微结构光纤, 利用包层的空气孔可以极大降低激光泄露的风险, 降低光纤制备过程中对耐高温涂敷层的严苛要求, 实验结果证实该光纤在室温无制冷条件下可实现 kW 级激光传输, 从而为 10 kW 级高功率激光柔性传输奠定基础。

关键词: 高功率激光传输; 大芯径光纤; 微结构光纤; 激光加工

中图分类号: TN248

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202234.210452

Large core air cladding micro structured optical fiber for kW laser transmission

Xia Changming, Huang Zhuoyuan, Liu Jiantao, Yang Jiahao, Mo Zhifeng, Hou Zhiyun, Zhou Guiyao

(School of Information and Optoelectronic Science and Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Kilowatt high power laser flexible transmission is a necessary link in the field of high power laser processing such as laser cleaning, laser welding, laser etching, and the low loss optical fiber with bend loss is the key device to realize high power laser transmission. At present, high power laser transmission fiber adopts large core diameter fiber, but there are some problems, such as large bending loss, poor flexibility and so on. Therefore, a large core diameter air clad micro structure optical fiber is proposed. The air holes in the fiber cladding can greatly reduce the risk of laser leakage, reduce the strict requirements of high temperature coating in the process of fiber preparation, and achieve kW laser output, thus offer the foundation for the flexible transmission of 10 kW high-power laser.

Key words: high power laser transmission, large core diameter fiber, micro structured optical fiber, laser processing

kW 级高功率激光柔性传输是激光清洗、激光焊接、激光刻蚀等高功率激光加工领域中必备的环节, 而大芯径低损耗传能光纤是实现其柔性传输的关键^[1-3]。目前 Nufern, Thorlabs, Fasten, 长飞等公司市场供应的大芯径低损耗传能光纤大多采用双包层形式^[4-5], 纤芯为高纯石英, 包层为掺氟石英, 利用纤芯与包层间高折射率差提高光纤对高功率激光约束能力, 但此类光纤面临弯曲损耗大等问题, 存在激光容易泄露的风险, 尤其在激光清洗等激光加工领域。同时, 目前大芯径低损耗光纤为了提高光纤包层耐热性能, 涂敷层多为耐高温涂敷层, 涂敷层价格昂贵, 提高了大芯径传能光纤成本。为此, 华南师范大学特种光纤研究中心经过长期探索尝试, 制备出了一系列空气包层大芯径低损耗传能光纤, 如图 1 所示, 包括信能共传微结构光纤、高功率激光传能微结构光纤、空气包层大功率传能微结构光纤等, 满足了市场的不同需求^[6-12]。空气包层的加入有效增加了空气包层与掺氟包层折射率差, 提高了光纤对强激光的强约束能力, 同时空气包层的加入极大降低了光纤散热成本, 降低光纤对光纤涂敷层耐高温的需求, 从而节约了光纤成本。

采用堆积法拉制的大芯径空气包层微结构光纤如图 1 所示, 纤芯数值孔径为 0.19。图 1(a) 为纤芯直径 400 μm

* 收稿日期: 2021-10-26; 修订日期: 2022-03-22

基金项目: 广东重点领域研发计划项目 (2018B010114002); 国家重点研发计划项目 (2018YFB0407403)

联系方式: 夏长明, xiacmm@126.com。

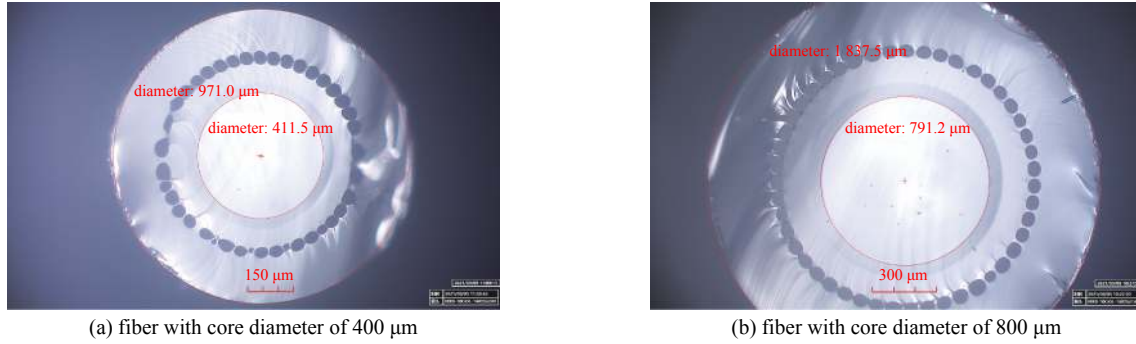


Fig. 1 Large core diameter air clad micro structure optical fiber cross sections

图 1 大芯径空气包层微结构光纤端面图

微结构光纤, 外径为 971 μm , 图 1(b) 为纤芯直径为 800 μm 的微结构光纤, 外径为 1 837.5 μm , 分别标记为光纤 A, 光纤 B。利用 1080 nm 高功率光纤激光器为光源, 采用截断法测试的光纤 A 的损耗为 3.39 dB/km@1080 nm。为了测试大芯径空气包层微结构光纤的传输能力, 搭建了如图 2(a) 所示的实验装置, 其测试原理如图 2(b) 所示, 实验中所用光纤 A 长度为 40 m, 光纤 B 长度为 17 m。实验中所用的大功率光纤激光器为国防科技大学自制的 1080 nm 光纤激光器, 输出功率可达 2500 W, 采用 QBH 准直头输出, 输出光斑直径为 12 mm。实验采用空间耦合的方式将大功率激光耦合到大芯径空气包层微结构光纤, 耦合聚焦透镜焦距为 125 mm, 为了增加透镜的透过率镀有 1080 nm 增透膜。采用 OPHIR5000W 高功率功率计记录光纤输出功率, 采用 THORLABSS302C 功率计调节光纤小功率条件下的耦合效率。实验过程中, 耦合进入光纤 A 的耦合效率约为 90%, 如图 3(a) 所示, 红色线为拟合线。图 3(b) 为光纤传输功率实际测试图。随着耦合进入光纤激光功率的增加, 大芯径光纤输出功率也在不断增加, 如图 3(c) 所示。在现有实验条件, 大芯径光纤 A 的最大输出功率为 1.702 kW, 光纤 B 的最大输出功率为 2.014 kW, 如图 3(d) 所示。

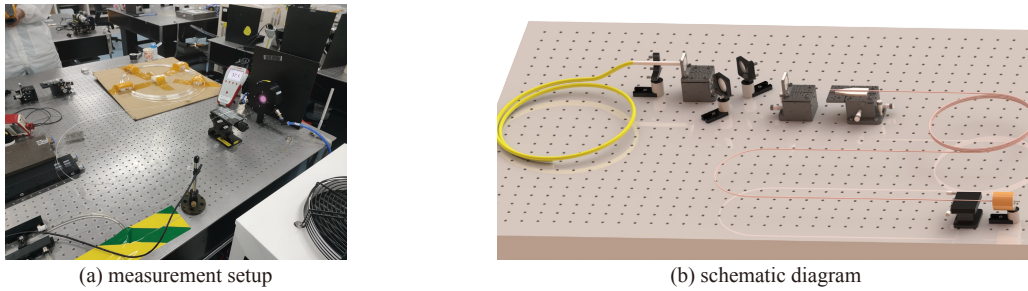
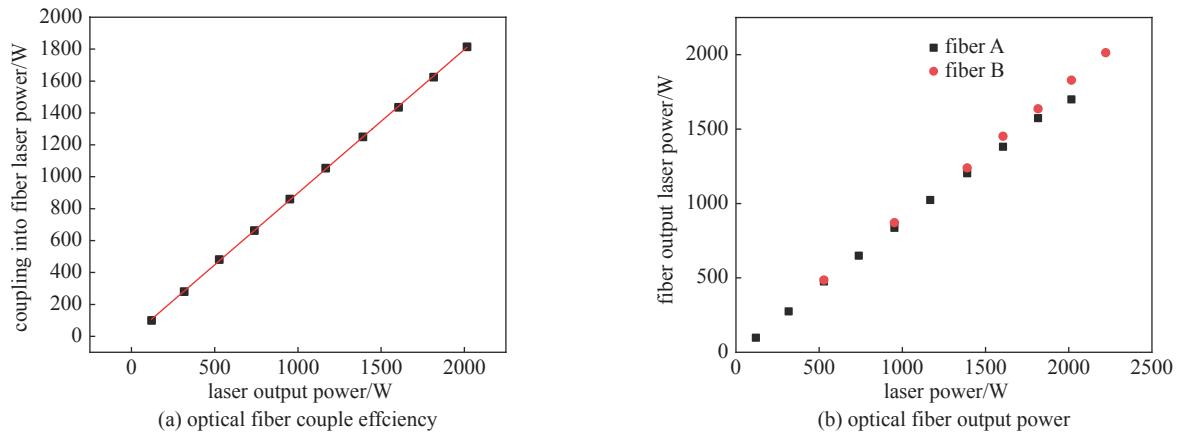


Fig. 2 Measurement setup for high power of large core diameter air clad microstructure optical fiber

图 2 大芯径空气包层微结构光纤激光传输实验测试装置及原理图

大芯径空气包层微结构光纤在传输高功率激光的过程中, 除耦合光纤头温度比较高外, 光纤外涂敷层的温度始终保持在一个稳定值。图 3(e) 为大芯径空气包层微结构光纤在传输 512 W 1080 nm 波长激光时的温度情况, 光纤最高温度为 29.5 $^{\circ}\text{C}$, 最低为 25 $^{\circ}\text{C}$, 中值为 27.5 $^{\circ}\text{C}$, 从而验证大芯径光纤加入空气包层可有效降低包层温度, 降



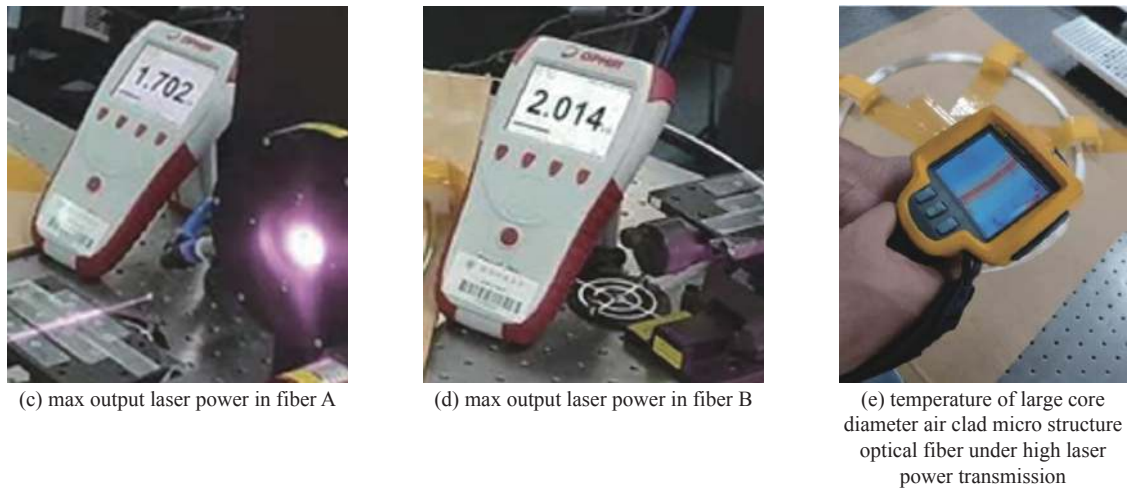


Fig. 3 Measurement results of large core diameter air clad micro structure optical fiber under high laser power transmission

图 3 大芯径空气包层微结构光纤激光传输实验测试结果

低涂敷层的温度,从而降低对光纤涂敷材料的耐高温需求。

本文采用堆积法制备了大芯径空气包层微结构光纤,光纤在无制冷的条件下实现了 kW 级的激光传输。纤芯 400 μm 的光纤在现有测试条件下实现了 1.702 kW 的激光传输,纤芯为 800 μm 的光纤实现了 2.014 kW 的激光传输。实验过程中未发现光纤包层出现过热情况,从而验证空气包层加入可以有效降低光纤对耐高温涂敷层的要求。该实验研究成果为大芯径空气包层微结构光纤传输 10 kW 级激光应用奠定基础。

致 谢 感谢国防科技大学陈子伦研究员、刘鹏、崔宇龙博士在微结构光纤大功率激光传输实验给予的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 焦彦平, 陈宏伟. 一种千瓦级大功率可移动式激光清洗系统: CN109822221A[P]. 2019-05-31. (Jiao Yanping, Chen Hongwei. Kilowatt-grade high-power movable type laser washing system: CN109822221A[P]. 2019-05-31)
- [2] 张志研, 林学春, 梁浩, 等. 激光清洗用高功率脉冲光纤激光器: CN107248694A[P]. 2017-10-13. (Zhang Zhiyan, Lin Xuechun, Liang Hao, et al. High-power pulse fiber laser for laser cleaning: CN107248694A[P]. 2017-10-13)
- [3] 孙文, 周钢. 大功率光纤传输连续激光焊接系统[J]. 中国机械工程, 2002, 13(21): 1834-1837. (Sun Wen, Zhou Gang. High power laser welding system with beam guiding by fiber[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(21): 1834-1837)
- [4] 张志研. 高峰值功率准连续激光清洗工艺及光纤传输关键技术研究[D]. 成都: 中国科学院光电技术研究所, 2018. (Zhang Zhiyan. Research on high peak power quasi-continuous wave laser cleaning technology and the key technology of fiber transmission[D]. Chengdu: Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, 2018)
- [5] Thomes W J Jr, Ott M N, Chuska R F, et al. Fiber optic cables for transmission of high-power laser pulses[C]//Proceedings of SPIE 8164, Nanophotonics and Macrophotonics for Space Environments V. 2011: 81640F.
- [6] 周旋风, 陈子伦, 侯静, 等. 高功率光纤端帽实现6 kW激光输出[J]. 强激光与粒子束, 2015, 27: 120101. (Zhou Xuanfeng, Chen Zilun, Hou Jing, et al. High power fiber end-cap with 6 kW output power[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2015, 27: 120101)
- [7] 周旋风. 大功率光纤端帽和光纤功率合束器研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2016. (Zhou Xuanfeng. Study on high-power fiber end-cap and all-fiber signal combiner[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2016)
- [8] 李伟, 陈曦, 武子淳, 等. 大功率光纤激光合成功率突破3 kW[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(2): 242. (Li Wei, Chen Xi, Wu Zichun, et al. The power of high-power fiber laser synthesis broke through 3 kW[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(2): 242)
- [9] 陈晓龙, 楼风光, 何宇, 等. 高效率国产化10 kW光纤激光器[J]. 光学学报, 2019, 39: 0336001. (Chen Xiaolong, Lou Fengguang, He Yu, et al. Home-made 10kW fiber laser with high efficiency[J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39: 0336001)
- [10] 曹润秋, 陈毛妮, 刘爱民, 等. 自主研发的976 nm波段光纤激光器实现500 W量级功率输出[J]. 强激光与粒子束, 2021, 33: 071002. (Cao Jianqiu, Chen Maoni, Liu Aimin, et al. 500W output power of fiber laser at 976nm[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2021, 33: 071002)
- [11] 谷炎然, 冷进勇, 肖虎, 等. 5kW全光纤结构1018nm激光合成[J]. 强激光与粒子束, 2017, 29: 120101. (Gu Yanran, Leng Jinyong, Xiao Hu, et al. 5kW all-fiber 1018nm laser combining[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2017, 29: 120101)
- [12] 刘泽金, 肖虎, 周朴, 等. 309W全光纤结构1018 nm掺镱光纤激光器[J]. 中国激光, 2013, 40: 0205001. (Liu Zejin, Xiao Hu, Zhou Pu, et al. 309 W all fiber 1018 nm ytterbium fiber laser[J]. Chinese Journal of Lasers, 2013, 40: 0205001)