



·强激光物理与技术·研究快报·

一体化光纤滤除器和端帽实现 20 kW 激光输出*

袁伟仪¹, 付 敏¹, 李智贤¹, 王泽锋^{1,2,3}, 陈子伦^{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. 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 长沙 410073)

摘 要: 在高功率光纤激光系统中, 包层光滤除器能将光纤中包层光滤除以保证输出激光光束质量, 光纤端帽通过对输出激光扩束降低输出光纤端面的光功率密度, 从而保护光纤端面不受损坏, 两者都是高功率光纤激光系统稳定运行的重要核心器件。将包层光滤除器和光纤端帽进行一体化设计, 制备了一体化高功率光纤包层光滤除器和光纤端帽并分别应用于 20 kW 合束系统和单纤系统中, 输出功率达到 20 kW 时, 端帽的最高温度约为 40 °C, 温升速率约为 0.8 °C/kW。

关键词: 光纤激光器; 高功率; 包层光滤除器; 光纤端帽

中图分类号: TN248

文献标志码: A doi: 10.11884/HPLPB202234.220221

Integrated fiber cladding power stripper and end-cap with 20 kW output power

Yuan Weiyi¹, Fu Min¹, Li Zhixian¹, Wang Zefeng^{1,2,3}, Chen Zilun^{1,2,3}

(1. College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. Nanhu Laser Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
3. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In high power fiber laser system, the cladding power stripper can remove cladding light to ensure the quality of the output laser beam. The fiber end-cap reduces the optical power density of the output fiber end by expanding the output laser beam, so as to protect the fiber end face. Both of them are important core devices for stable operation of high power fiber laser system. In this paper, the integrated design of cladding power stripper and fiber end-cap is carried out. The integrated high power cladding power stripper and fiber end-cap is applied to a 20 kW beam combination system and a single fiber system. When the output power is 20 kW, the maximum temperature of the end-cap is about 40 °C and the temperature rise rate is about 0.8 °C/kW.

Key words: fiber laser, high power, cladding power stripper, fiber end-cap

光纤激光器以光束质量好、易于实现高功率和高效率等特点,吸引了研究学者极大的关注^[1]。在光纤激光系统中,光纤包层中的光(即包层光)不仅会导致输出激光的光束质量变差,还会增加激光输出系统,如光纤端帽和输出准直聚焦系统等损伤的风险^[2],目前主要通过包层光滤除器来解决这一问题。包层光滤除器通过破坏光纤包层外边界的全反射条件,使包层光通过折射或者散射传输到包层外,从而实现包层光的滤除。在高功率光纤激光器中,光纤输出端纤芯中光的功率密度很高,光纤端面很容易损伤,同时端面反射的回光也会给激光输出系统的稳定性带来严峻考验,目前解决这一问题主要是通过熔接可承载高功率激光输出的光纤端帽^[3]。光纤端帽是在石英光纤输出端熔接一段玻璃棒,通过扩大光场分布面积,降低输出端面功率密度和采用增透膜提高激光透过率来解决输出端的热负载问题。在同一根光纤上制备包层光滤除器和光纤端帽,进行一体化设计,可以减少常规光纤激光系统中的一个光纤熔点,有利于提高光纤激光器系统的功率稳定性和光束质量。

国防科技大学高能激光团队大功率光纤激光技术课题组基于光纤端帽制备及熔接工艺,研制了可承载高功率

* 收稿日期:2022-07-11; 修订日期:2022-09-13

基金项目:国家自然科学基金项目(11974427);湖南省自然科学基金杰出青年科学基金项目(2019JJ20023)

联系方式:袁伟仪, 18810506618@163.com。

通信作者:陈子伦, zilun2003@163.com。

激光输出的光纤端帽,在2015年基于高功率光纤端帽实现了单模光纤端帽3 kW、多模光纤端帽6 kW的激光输出^[4]。结合包层光滤除器制备工艺,优化设计光纤包层光滤除器分段腐蚀滤除结构,细化滤除工艺,提高了包层光滤除器的滤除能力,研制了一体化高功率光纤包层光滤除器和光纤端帽。

研制的一体化高功率光纤包层光滤除器和光纤端帽分别在20 kW级合束系统和单路光纤放大器中得到了应用。实验装置及结果如图1所示,其中图1(a)为应用于合束系统,图1(b)为应用于单路光纤放大器,测试过程中在利用功率计测量输出功率时,同时利用红外热像仪检测一体化光纤包层光滤除器和光纤端帽的温度随功率的变化。

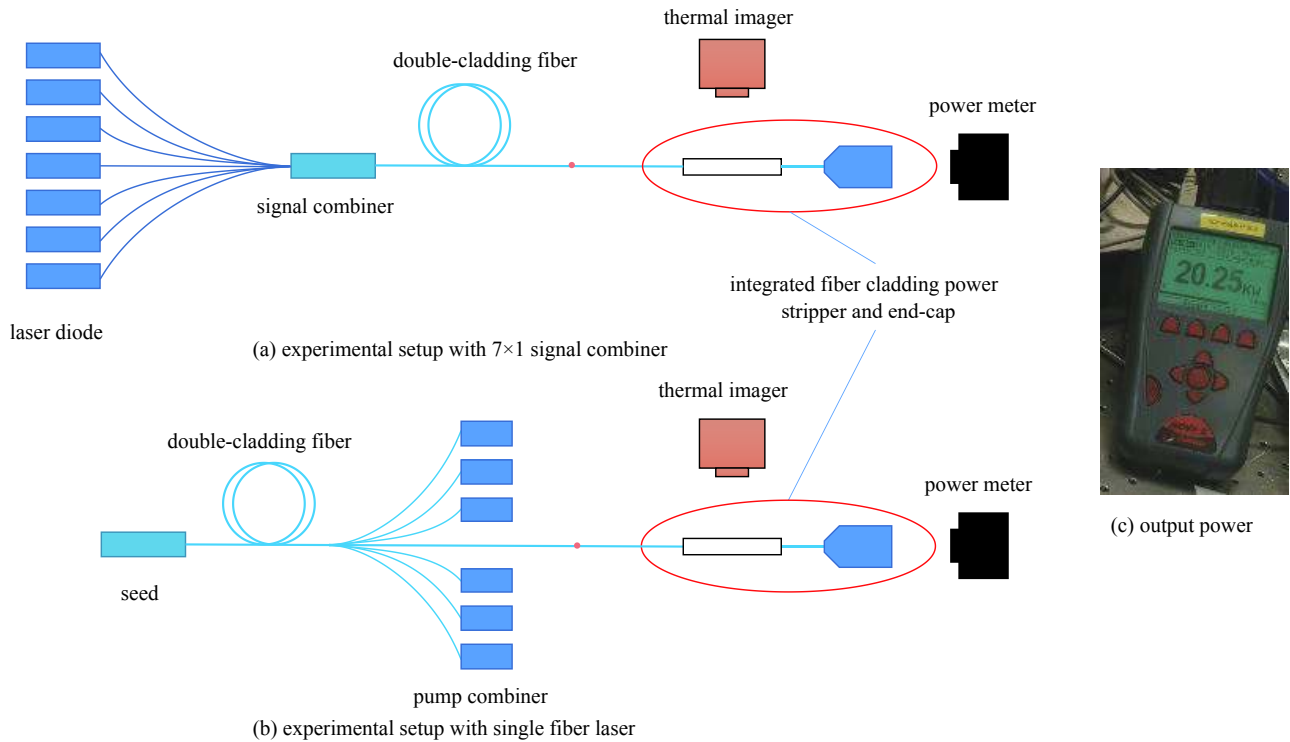


Fig. 1 Experimental setup and measurement results

图1 实验装置示意图及输出测试结果

如图1(a)所示,采用实验室自研的7×1的光纤功率合束器^[5]将7个功率均为3 kW的激光光源进行合束,一体化器件作为合束系统中包层光的滤除和激光的输出器件,输出功率为20.17 kW时,端帽最高温度为40.1 ℃(环境温度为24 ℃),温升速率为0.8 ℃/kW。如图1(b)所示,光纤放大器系统采用反向同带泵浦结构,一体化器件作为光纤放大系统中包层光的滤除和激光的输出器件,输出功率为20.25 kW时,实验结果如图1(c)所示,端帽最高温度为39.3 ℃。两个实验中一体化器件所采用的光纤均为50/400 μm(纤芯数值孔径 $NA=0.12$)的双包层光纤,其中滤除器可实现2 kW包层光的滤除,滤除率大于20 dB。一体化高功率包层光滤除器和光纤端帽的研制,可为高功率光纤激光器系统提供重要的器件支撑。

致谢 感谢实验员蒋恋周、孙杨梅、谢忆娥给予的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 来文昌, 马鹏飞, 肖虎, 等. 高功率窄线宽光纤激光技术[J]. 强激光与粒子束, 2020, 32: 121001. (Lai Wenchang, Ma Pengfei, Xiao Hu, et al. High-power narrow-linewidth fiber laser technology[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2020, 32: 121001)
- [2] 刘珂, 李敏, 黄珊, 等. 大于500 W非水冷光纤包层光剥离器[J]. 强激光与粒子束, 2021, 33: 021005. (Liu Yu, Li Min, Huang Shan, et al. >500 W passively-cooled fiber cladding light stripper[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2021, 33: 021005)
- [3] Böehme S, Fabian S, Schreiber T, et al. End cap splicing of photonic crystal fibers with outstanding quality for high-power applications[C]//Proceedings of SPIE 8244, Laser-based Micro- and Nanopackaging and Assembly VI. 2012: 824406.
- [4] 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)
- [5] 陈子伦, 雷成敏, 王泽锋, 等. 基于输出光纤为50 μm的7×1光纤功率合束器实现大于14 kW的高光束质量光纤激光合成[J]. 中国激光, 2018, 45: 0415001. (Chen Zilun, Lei Chengmin, Wang Zefeng, et al. Fiber laser synthesis with high beam quality larger than 14kW is realized based on a 7×1 fiber signal combiner with output fiber of 50 μm[J]. Chinese Journal of Lasers, 2018, 45: 0415001)