



·强激光物理与技术·研究快报·

(1+1) 型长距离侧面泵浦光纤实现 17.4 kW 激光输出

高 聪¹, 刘 念¹, 李峰云¹, 刘 琦¹, 代江云¹, 沈昌乐¹, 贺红磊¹, 吕嘉坤¹,
李 芳¹, 张立华¹, 李雨薇¹, 姜 蕾¹, 郭 超¹, 陶汝茂¹,
柯伟伟², 张昊宇¹, 王建军¹, 林宏奐¹, 景 峰¹

(1. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900; 2. 北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100094)

摘 要: 长距离侧面泵浦激光光纤在泵浦光注入、热管理、非线性抑制等方面具有天然优势, 是实现高功率激光输出的有效途径。研制了(1+1)型长距离侧面泵浦激光光纤, 采用 1018 nm 同带泵浦反向注入方式实现了 17.4 kW 激光输出, 斜率效率为 82.1%, 3 dB 线宽为 1.3 nm, 拉曼抑制比为 37.8 dB。研究结果展示了长距离侧面泵浦光纤作为数十千瓦光纤激光放大器增益介质的巨大应用潜力。

关键词: 光纤激光器; 光纤放大器; 同带泵浦; 侧面泵浦; 激光光纤

中图分类号: TN244; O439

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202234.220070

17.4 kW (1+1) long distance side-pumped laser fiber

Gao Cong¹, Liu Nian¹, Li Fengyun¹, Liu Yu¹, Dai Jiangyun¹, Shen Changle¹, He Hongle¹,
Lü Jiakun¹, Li Fang¹, Zhang Lihua¹, Li Yuwei¹, Jiang Lei¹, Guo Chao¹, Tao Rumao¹,
Ke Weiwei², Zhang Haoyu¹, Wang Jianjun¹, Lin Honghuan¹, Jing Feng¹

(1. Laser Fusion Research Center, CAEP, Mianyang 621900, China;

2. Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China)

Abstract: The long distance side-pumped laser fiber (LDSPF) is characterized by its ability for high power pump power coupling, heat management and nonlinear effect suppressing, which is quite potential for high power fiber laser application. A (1+1) LDSPF for tandem pumping was fabricated and tested. Pumped by 1018 nm fiber lasers, 17.4 kW laser output at 1080 nm with a slope efficiency of 82.1% was achieved with this fiber amplifier with backward pumping technique. Linewidth at 3 dB of the laser is 1.3 nm and the ratio of signal light to SRS is around 37.8 dB at the maximum power. The results demonstrate great potential of LDSPF as power amplifier for tens of kilowatts fiber laser.

Key words: fiber laser, fiber amplifier, tandem pump, side-pump, laser fiber

长距离侧面泵浦光纤(LDSPF)通常由一根有源信号纤和至少一根无源泵浦纤紧密贴合共同被聚合物包层包覆而成,它是集泵浦注入、增益放大、热管理于一体的复合功能光纤。LDSPF 光纤集中体现了长距离分布式侧面泵浦技术的优势,是 10 kW 激光输出的有效技术途径。与 LDSPF 类似的光纤还被称为 GTWave^[1-3], DSCCP^[4], PIFL 光纤^[5]等。2000 年,英国南安普顿大学的研究团队率先开展了 LDSPF 光纤的研究工作^[6]。2009 年,美国 IPG 公司基于 1 根信号纤和 1 根泵浦纤组成的(1+1)型 LDSPF 光纤采用同带泵浦方式实现了单纤单模 10 kW 激光输出^[7],成为光纤激光发展史上的里程碑事件。鉴于 LDSPF 光纤在泵浦光耦合、热管理、非线性抑制等方面的独特优势,近年来中国工程物理研究院、国防科技大学、中国电子科技集团公司第四十六研究所和第二十三研究所等国内单位也相继开展了 LDSPF 光纤理论设计和制备技术方面的研究工作。

从 2014 年开始,中国工程物理研究院激光聚变研究中心在 LDSPF 光纤的研制和集成技术上取得了持续进步,于 2018 年研制了(8+1)型 LDSPF 光纤,采用 976 nm LD 泵浦方式实现 11.23 kW 激光功率输出。为了进一步提升泵

* 收稿日期:2022-03-14; 修订日期:2022-04-05

联系方式:高 聪, gckwdx@163.com。

通信作者:王建军, wjjcaep@caep.cn;

林宏奐, happylin2003@yeah.net。

浦光亮度、简化系统结构, 2019年, 中国工程物理研究院激光聚变研究中心成功研制出 10 kW 级同带泵浦单纤^[8], 通过实验验证了所设计掺镱纤的吸收和负载能力。为进一步突破泵浦光注入能力限制, 研究团队将工作重点转向同带泵浦 LDSPF 光纤, 于 2021 年 5 月在国内率先成功研制了 10 kW 同带泵浦 (1+1) 型 LDSPF 光纤^[9]。近期, 研究团队进一步改进了 LDSPF 光纤结构及配套泵浦合束器制备工艺, 显著提升了泵浦光注入与耦合能力, 使用 (1+1) 型 LDSPF 光纤实现同带泵浦 17.4 kW 激光输出, 刷新了国内长距离侧面泵浦激光光纤的最高输出纪录。样品结构示意图如图 1 所示。该样品包含一根纤芯直径和包层直径分别为 310 μm 和 341 μm 的泵浦纤和一根纤芯直径和包层直径分别为 50 μm 和 300 μm 的信号纤, 泵浦光耦合长度为 35 m。使用该样品作为放大级搭建了 MOPA 全光纤激光系统并开展了激光输出实验, 结果如图 2 所示。激光测试时 LDSPF 光纤的弯曲直径为 55 cm 左右, 种子光注入功率为 98.7 W, 采用反向泵浦方式从泵浦纤单端注入 21.6 kW 1018 nm 泵浦激光, 信号纤输出功率为 17.4 kW, 斜率效率 82.1%, 中心波长为 1080.28 nm, 3 dB 带宽为 1.3 nm。从光谱图可以看出信号纤输出信号光高于残余泵浦 38.8 dB; 非线性效应得到了较好的抑制, SRS 抑制能力优于 37.8 dB, 光谱测试结果表明所研制的 (1+1) LDSPF 光纤具有较好的 1018 nm 同带泵浦激光耦合和吸收能力, 同时展示出了优异的非线性抑制水平。

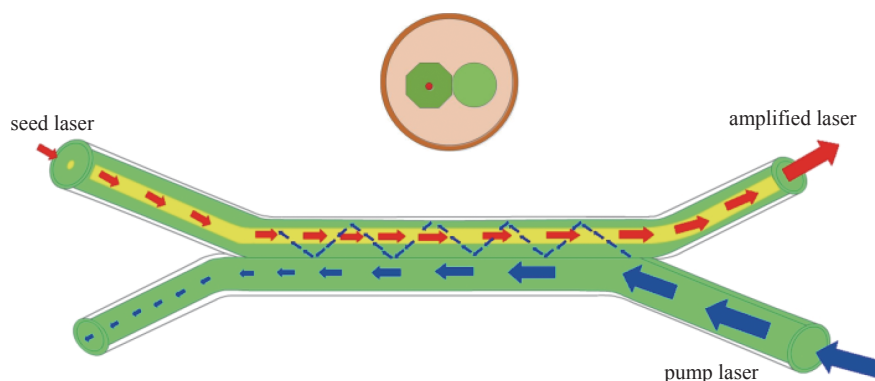


Fig. 1 Schematic diagram of (1+1) LDSPF fiber

图 1 (1+1) LDSPF 光纤结构示意图

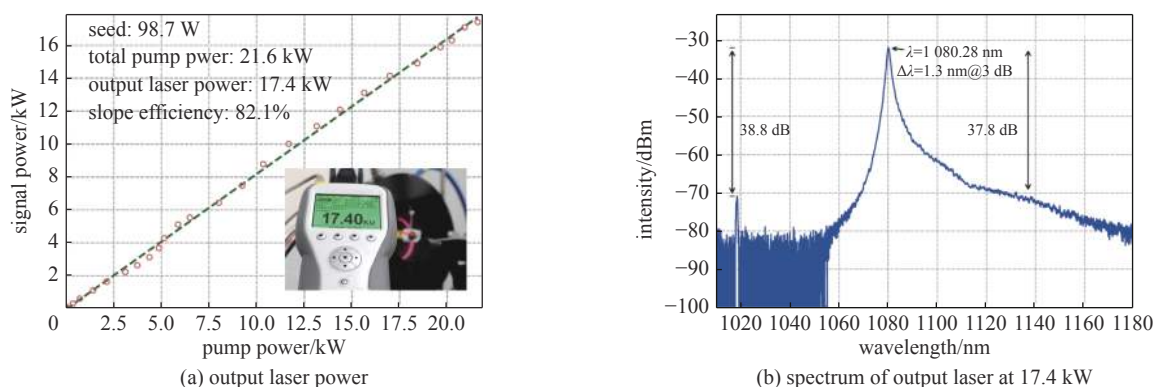


Fig. 2 Output laser power of the (1+1) LDSPF fiber and its spectrum

图 2 (1+1) 型长距离侧面泵浦光纤激光输出功率及光谱图

从光纤结构设计、稀土掺杂光纤预制棒制备、预制棒精密加工、光纤拉制到系统集成的全流程工作均由中国工程物理研究院激光聚变研究中心自主完成。未来研究团队还将在光束质量控制、功率提升等难题上做出更多的努力和突破。

17.4 kW 同带泵浦 LDSPF 光纤的成功研制是我国高功率光纤激光材料领域的重要突破, 也是国产长距离侧面泵浦光纤迈向实用化的重要一步。

参考文献:

- [1] Yla-Jarkko K H, Codemard C, Singleton J, et al. Low-noise intelligent cladding-pumped L-band EDFA[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2003, 15(7): 909-911.
- [2] Zimer H, Kozak M, Liem A, et al. Fibers and fiber-optic components for high-power fiber lasers[C]//Proceedings Volume 7914, Fiber Lasers VIII: Technology, Systems, and Applications. San Francisco, California, United States: SPIE, 2011: 236-252.

- [3] 黄值河, 曹涧秋, 陈金宝. 高功率GTWave光纤激光器研究进展[J]. *中国激光*, 2021, 48: 0401010. (Huang Zhihe, Cao Jianqiu, Chen Jinbao. Research progress on high-power GTWave fiber lasers[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2021, 48: 0401010)
- [4] Huang Zhihe, Cao Jianqiu, Guo Shaofeng, et al. Comparison of fiber lasers based on distributed side-coupled cladding-pumped fibers and double-cladding fibers[J]. *Applied Optics*, 2014, 53(10): 2187-2195.
- [5] 林傲祥, 湛欢, 彭昆, 等. 国产复合功能光纤实现万瓦激光输出[J]. *强激光与粒子束*, 2018, 30: 060101. (Lin Aoxiang, Zhan Huan, Peng Kun, et al. 10 kW-level pump-gain integrated functional laser fiber[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2018, 30: 060101)
- [6] Grudinin A B, Nilsson J, Turner P W. New generation of cladding pumped fibre lasers and amplifiers[C]//Conference Digest. 2000 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe. Nice, France: IEEE, 2000.
- [7] Stiles E. New developments in IPG fiber laser technology[C]//Proceedings of the 5th International Workshop on Fiber Lasers, 2009.
- [8] 高聪, 代江云, 李峰云, 等. 自研万瓦级同带泵浦掺镱石英玻璃光纤[J]. *中国激光*, 2020, 47: 0315001. (Gao Cong, Dai Jiangyun, Li Fengyun, et al. Homemade 10-kW ytterbium-doped aluminophosphosilicate fiber for tandem pumping[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2020, 47: 0315001)
- [9] 代江云, 刘念, 李峰云, 等. ((1+1)型泵浦增益一体化光纤实现同带泵浦万瓦激光输出[J]. *中国激光*, 2021, 48: 1816001. (Dai Jiangyun, Liu Nian, Li Fengyun, et al. 10 kW laser output from a tandem pumped (1+1) pump gain integrated laser fiber[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2021, 48: 1816001)