

## 近衍射极限 4 kW 级线偏振窄线宽光纤放大器

任 帅, 马鹏飞\*, 李 魏, 王广建, 陈益沙, 宋家鑫, 刘 伟, 周 朴\*

(国防科技大学 前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073)

中图分类号: TN248 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA20220032

高光束质量窄线宽、线偏振光纤激光广泛应用于相干合成、非线性频率变换、高次谐波产生等领域。受激布里渊散射 (SBS)、受激拉曼散射 (SRS)、热致模式不稳定 (TMI) 是限制窄线宽、线偏振光纤激光输出功率提升和光束质量保持的主要物理诱因。目前, 国内外多家单位已实现了 kW 级以上高功率窄线宽线偏振光纤激光输出, 但最高输出功率仍然停留在 3 kW 量级。早在 2016 年, 笔者所在课题组 (以下简称课题组) 就报道了基于级联相位调制的 1.89 kW 窄线宽、线偏振光纤激光。2017 年, 通过调制信号优化进一步将输出功率提升至 2.43 kW。2019 年, 课题组实现了 kW 级、线宽~1.8 GHz 近衍射极限线偏振光纤激光输出。2020 年, 课题组开发了多项编码的相位调制方法, 实现了 3.06 kW 高功率窄线宽线偏振光纤激光输出, 斜率效率 75.6%, 光束质量  $M^2 \sim 1.18$ 。

最近, 课题组实现了 4 kW 级近衍射极限窄线宽、线偏振高功率激光输出。系统结构如图 1(a) 所示, 窄线宽种子 (Seed) 由单频激光经过相位调制展宽实现, 中心波长为~1064 nm、输出功率为 28 mW。种子激光首先经过两级保偏预放大器 (PM-AMPs) 预放

大到~20 W, 随后经过保偏环形器 (PM circulator) 和模场适配器 (PM MFA) 后注入到主放大器。保偏环形器将放大过程中的后向回光导出, 达到监测 SBS 效应和保护前级系统的目的; 主放大器采用双端泵浦方式实现, 中心波长为 976 nm 的泵浦源 (LDs) 通过保偏泵浦-信号合束器 (PM(6+1)×1 Combiner) 抽运 20/400  $\mu\text{m}$  的大模场保偏掺镱光纤 (PM-YDF)。主放大器前后向残余的包层光通过滤除器 (PM CPS) 滤除; 放大输出的激光通过光纤端帽和准直器 (Endcap+CO) 输出, 避免发生光学放电。图 1(b) 为输出功率增长曲线, 当泵浦功率为 5.02 kW 时, 输出激光达 3.96 kW, 斜率效率为~79.5%。满功率运行时光束质量 ( $M^2$  因子) 测量值为  $M_x^2 \sim 1.31$ 、 $M_y^2 \sim 1.41$ , 偏振消光比测量值为 12.5 dB。最高输出功率下的光谱测量结果如图 1(c) 所示, 3 dB 线宽为~0.62 nm, 受激拉曼散射抑制比为 49 dB。下一步将基于上述放大平台开展新型调制信号的研究, 压窄输出激光线宽。

**致谢:** 感谢实验员肖亮、周聪、宋涛等对论文实验的帮助。

收稿日期: 2022-01-11; 修订日期: 2022-02-22

基金项目: 国家自然科学基金 (61705264, 62005313); 湖南省创新研究群体基金 (2019 JJ1005)

作者简介: 任帅, 男, 博士生, 主要从事高功率窄线宽光纤激光方面的研究。

通讯作者: 马鹏飞, 男, 副研究员, 博士, 主要从事高功率窄线宽光纤激光及其合成方面的研究。

周朴, 男, 研究员, 博士, 主要从事大功率光纤激光、光束合成等方面的研究。

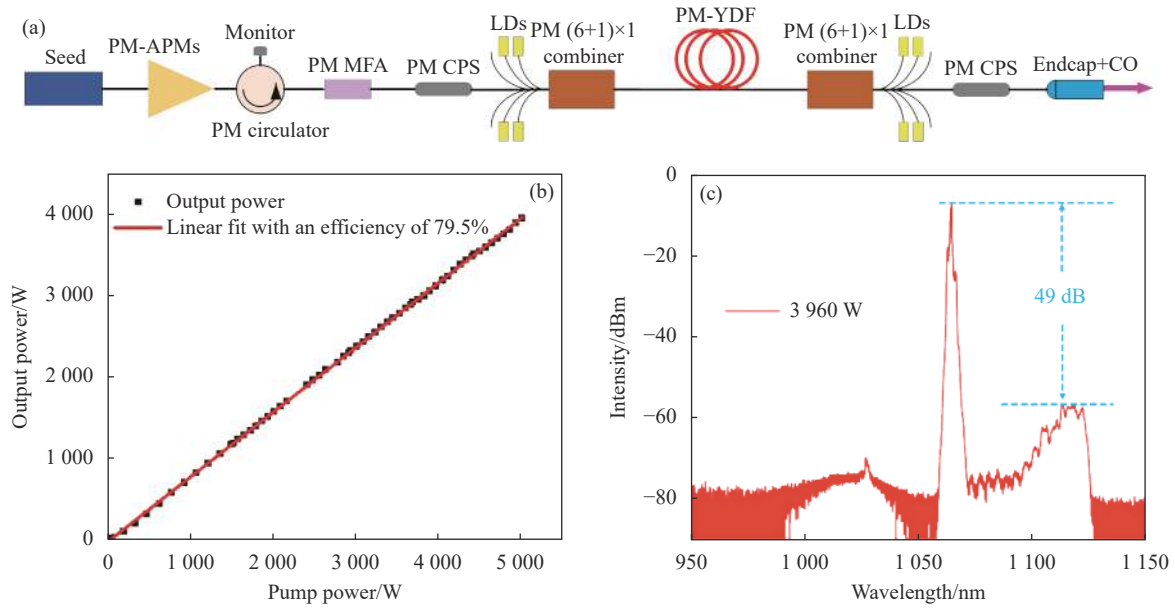


图 1 4 kW 级窄线宽、线偏振光纤放大器实验结构及结果。(a) 结构示意图; (b) 输出功率增长曲线; (c) 最大功率下的输出激光光谱

Fig.1 Experimental setup and results of 4 kW power-level narrow-linewidth and linear-polarized fiber amplifier. (a) Schematic; (b) Output power versus pump power; (c) Output spectrum at maximal power