

中国激光

国产锥形光纤实现 4.2 kW 近单模窄线宽激光

近年来,高功率窄线宽光纤激光在非线性频率变换、光束合成等领域有广泛的应用需求。受限于非线性效应[受激拉曼散射(SRS)和受激布里渊散射(SBS)]和模式不稳定(TMI)效应等,目前基于常规商用大模场光纤实现了最高 5 kW 级的窄线宽掺镱光纤激光输出。纤芯直径沿光纤纵向变化的锥形光纤逐渐被用于高功率光纤激光器中,在抑制非线性效应、保持光束质量等方面展现了优势。目前,基于锥形光纤实现了最高 5 kW 级的宽谱光纤激光输出。

最近,本课题组基于自研的锥形掺镱光纤,通过抑制非线性效应和 TMI 效应,实现了功率为 3630 W、线宽为 0.21 nm 及功率为 4180 W、线宽为 0.59 nm 的近单模窄线宽光纤激光输出。图 1(a)所示为系统结构示意图。放大器采用主振荡功率放大(MOPA)结构。白噪声信号(WNS)通过电光调制器(EOM)对单频光纤激光器(SFFL)进行调制,产生相位调制单频激光,该激光作为种子源,经过 4 级预放大器(Pre-amplifiers),功率被放大到 50 W。采

用环形器(Circulator)保护前级系统和监测 SBS。前级激光经过模场适配器(MFA)和包层光滤除器(CPS)后注入到主放大器中。主放大器采用双向泵浦结构,泵浦源为 976 nm 半导体激光(LD),增益光纤为本课题组自研的锥形掺镱光纤(Tapered YDF),光纤总长度约为 19 m,按纤芯包层直径可分为三个部分,包括 7.5 m 长的 20 μm /400 μm 部分,5 m 长的 30 μm /600 μm 部分、6.5 m 长的 20 μm /400 μm 渐变到 30 μm /600 μm 的锥区部分。输出激光通过 CPS 滤除剩余包层光,经高功率激光器输出头(QBH)输出。不同泵浦功率下输出前向功率和后向回光功率曲线如图 1(b)所示。放大器的斜率效率约为 78.5%。当泵浦功率为 4624 W 时,输出功率达到 3630 W,此时后向回光功率呈非线性增长,功率提升受限于 SBS。通过展宽种子激光线宽的方式,输出功率提升到 4180 W,对应的光束质量 $M_x^2 = 1.57, M_y^2 = 1.39$,实现了近单模输出。如图 1(c)所示,当输出功率为 3630 W 时,

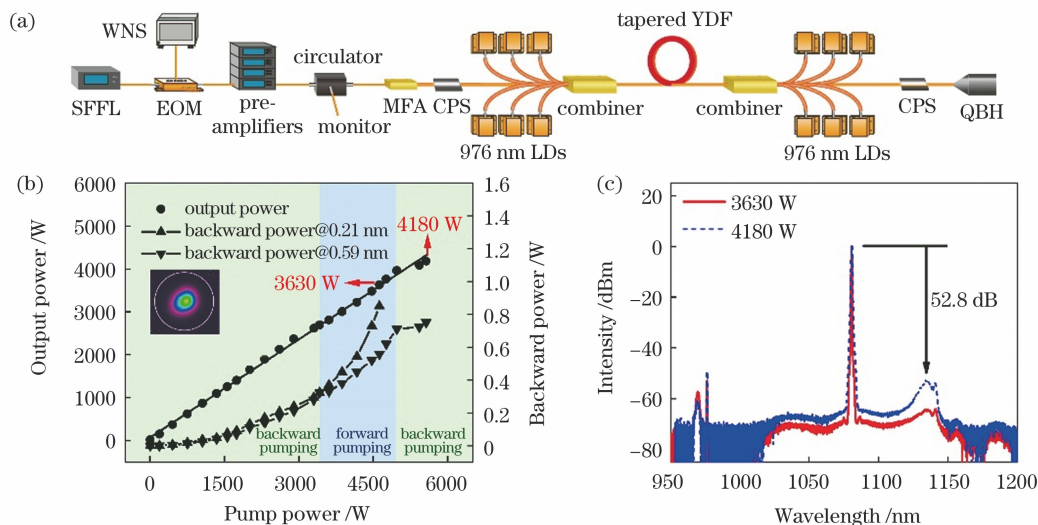


图 1 基于国产锥形光纤的高功率窄线宽掺镱光纤放大器的实验结构及实验结果。(a)实验结构;(b)不同线宽下输出前向功率和后向回光功率随泵浦功率的变化;(c)输出光谱

Fig. 1 Experimental setup and results of high-power narrow-linewidth Yb-doped fiber amplifier based on homemade double-tapered fiber. (a) Experimental setup; (b) forward and backward output powers versus pump power at different linewidths; (c) output spectra

激光 3 dB 线宽为 0.21 nm, 在光谱上观察到 1135 nm 波长附近的拉曼光, 其强度与信号光相差 64.0 dB; 当输出功率达到 4180 W 时, 激光 3 dB 线宽为 0.59 nm, 拉曼光的强度与信号光相差 52.8 dB。

宋家鑫, 任帅, 王广建, 杨欢, 陈益沙, 马鹏飞*, 刘伟, 黄良金, 姚天甫, 潘志勇**, 周朴***

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073

通信作者: *shandapengfei@126.com; **panzy168@163.com; ***zhoupu203@163.com

收稿日期: 2021-11-18; 修回日期: 2021-12-12; 录用日期: 2021-12-22