

基于简单 MOPA 结构实现 3.78 kW 全光纤窄线宽激光输出

高功率窄线宽光纤激光器在非线性能率转换、光谱合成、相干合成等方面有着重要的应用前景。但与宽谱光纤激光器相比,在功率放大过程中,窄线宽光纤激光器的受激拉曼散射(SRS)、受激布里渊散射(SBS)以及横模不稳定(transverse mode instability, TMI)等非线性效应的阈值更低,这些效应的影响也更大。目前,窄线宽光纤激光功率放大主要有两种方案:单频相位调制种子放大和单级振荡器种子放大。单频相位调制种子放大结构中种子激光的时域特性及其在放大过程中的线宽保持较好,是目前的主流方案。但其多级放大结构和复杂的相位调制系统导致其性价比和鲁棒性欠佳。单级振荡器种子放大为简单的主振荡功率放大(master oscillator power amplification, MOPA)结构,具有更高的性价比和鲁棒性。

2021 年 11 月,国防科技大学高能激光技术研究所利用单级振荡器种子放大方案实现了 3.78 kW 全光纤窄线宽激光输出。如图 1 所示,该放大器包含一个光纤振荡器种子和一个双向泵浦放大级,是

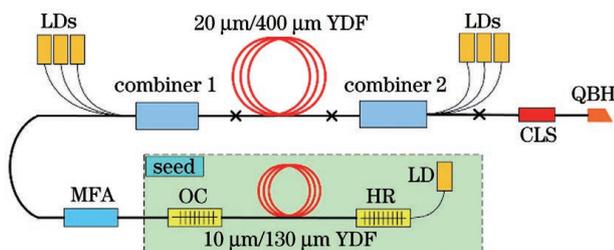


图 1 基于光纤振荡器种子的窄线宽单级 MOPA 结构激光系统示意图

Fig. 1 Schematic of narrow-linewidth one-stage MOPA laser system based on fiber oscillator seed

典型的单级 MOPA 结构,其中 OC 为输出耦合光栅。种子激光采用自研的光纤布拉格光栅搭建,高反(HR)和低反光栅的中心波长约为 1080 nm,3 dB 带宽分别为 1 nm 和 0.06 nm,反射率分别为 99% 和 10%。输出功率在 20 W 时种子激光的 3 dB 线宽约为 0.05 nm。种子激光经过模场匹配器(MFA)后注入到放大级中进行放大。放大级采用 20 μm/400 μm 双包层掺镱光纤(YDF)作为增益介质,稳波长半导体激光器(LD)输出的 976 nm 泵浦光通过前向和后向泵浦/信号合束器注入到 YDF 中,光纤长度约为 12 m。输出激光经包层光滤波器(CLS)净化后由光纤端帽(QBH)输出。为了抑制 SRS 效应,后向合束器及其之后的器件均采用纤芯直径为 25 μm 的传能光纤。

在实验中,通过优化种子激光的时域特性以及放大级的结构盘绕方式,提升了放大器中 TMI 效应和 SRS 的阈值,最终在泵浦功率约为 4.88 kW 时实现了最高输出功率为 3.78 kW 的激光输出,对应的斜率效率约为 77.5%。如图 2 所示,在最高功率时,信号光的中心波长为 1079.14 nm,3 dB 带宽约为 0.42 nm,此时的拉曼抑制比~24 dB。在放大过程中,输出激光的光束质量因子(M^2)稳定在 1.4~1.6。继续增加功率,激光器的光束质量出现了退化,此时通过光电探测器观察到了激光在时序上的明显波动,表明 TMI 的出现引起了光束质量退化,该放大器功率的进一步提升受限于 TMI 效应。下一步我们将继续优化种子激光的时域特性以及放大器的结构,实现激光器输出功率和光束质量的进一步提升。

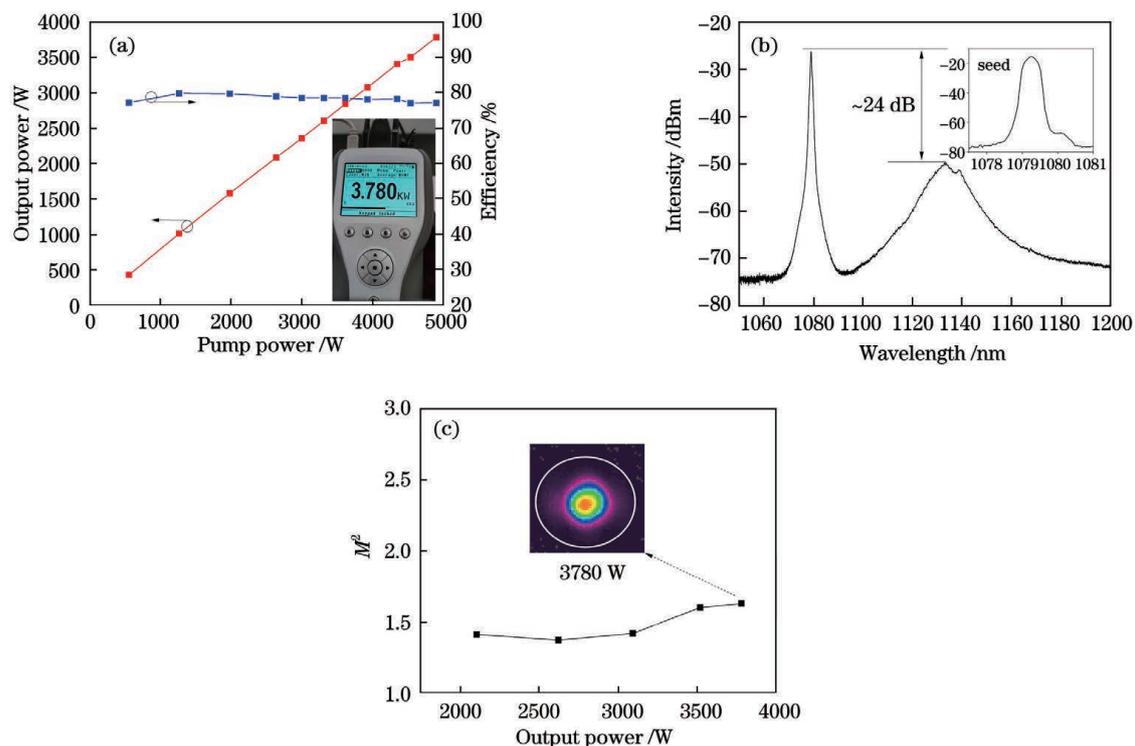


图 2 全光纤窄线宽放大器实验结果。(a)输出功率和光光效率;(b)输出光谱;(c)光束质量的演化
 Fig. 2 Experimental results of all-fiber narrow-linewidth amplifier. (a) Output power and optical efficiency;
 (b) output spectra; (c) evolution of beam quality

王蒙^{1,2}, 田鑫^{1,2}, 赵晓帆^{1,2}, 饶斌裕^{1,2}, 奚小明^{1,2*}, 李昊^{1,2}, 王泽锋^{1,2**}

¹国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073;

²脉冲功率激光技术国家重点实验室, 湖南 长沙 410073

通信作者: *exixiaoming@163.com; **zefengwang_nudt@163.com

收稿日期: 2021-11-08; 修回日期: 2021-12-14; 录用日期: 2021-12-22