

基于纺锤形光纤的振荡放大一体化激光器 实现 6 kW 输出

振荡放大一体化光纤激光器具有激光效率高、抗反射能力强等优点,在工业加工等领域得到了广泛的应用。2018 年,伊朗科技大学利用该结构将普通振荡器的模式不稳定阈值从不到 1 kW 提升到 1.6 kW。同年,中国工程物理研究院基于该结构实现了 2 kW 激光输出。2021 年,本课题组基于该结构获得了 5 kW 激光输出,并验证了其控制逻辑的可靠性:无论种子部分和放大部分的泵浦源开关时序如何,该激光器都能够正常工作且不会烧毁。然而,由于受到非线性效应和模式不稳定效应的限制,该激光器在 5 kW 时光束质量(M^2)退化到 3 左右。

利用本课题组提出的纺锤形增益光纤和 981 nm 稳波长泵浦源,本文提出了基于平衡非线性效应与模式不稳定效应的新方案,并构建了振荡放大一体化激光器,最终实现了功率为 6.02 kW、 M^2 约为 1.8 的激

光输出。激光器的结构如图 1 所示,包括振荡部分(oscillating section)和放大部分(amplifying section)。振荡部分的谐振腔由 7.2 m 长的 22 $\mu\text{m}/400 \mu\text{m}$ 掺镱光纤(YDF1)、高反射光纤光栅(HRFBG)、低反射光纤光栅(OCFBG)构成,通过(6+1) \times 1 前向泵浦信号合束器(FPSC)将 6 组中心波长为 981 nm 的泵浦源注入到谐振腔中。振荡部分输出的激光和残余泵浦光直接进入放大部分的增益光纤中。放大部分采用纺锤形增益光纤(SPYDF)作为增益介质,通过(6+1) \times 1 后向泵浦信号合束器(BPSC)将 6 组中心波长为 981 nm 的泵浦源注入到纺锤形增益光纤中,输出激光经过包层光滤除器(CLS)后,由光纤端帽(EC)和准直器(CO)输出。实验中,SPYDF 为自研的大模场双包层纺锤形掺镱光纤,其几何尺寸如图 1 所示。如图 2(a)所示,在总泵浦功率为 7.15 kW 时,激光器的输出功率为

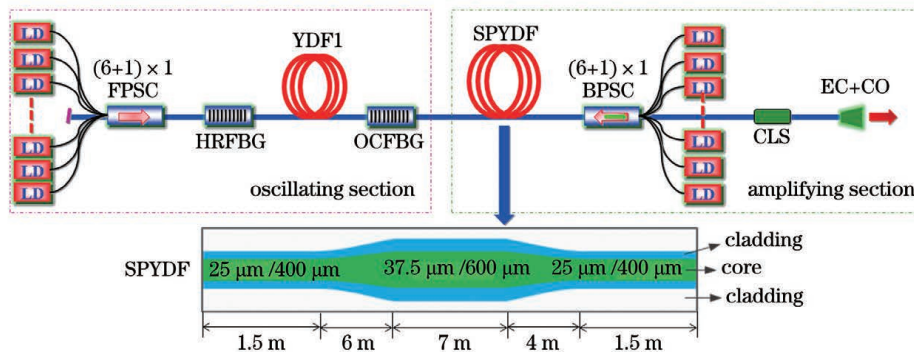


图 1 基于纺锤形掺镱光纤的 6 kW 振荡放大一体化激光器的结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of 6 kW oscillating-amplifying integrated laser based on spindle-shaped Yb-doped fiber

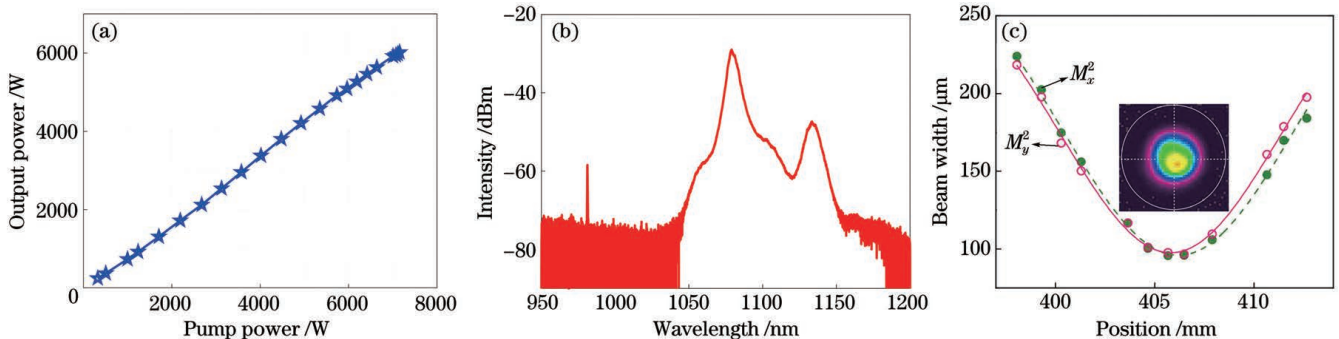


图 2 基于纺锤形光纤的 6 kW 振荡放大一体化激光器的实验结果。(a)输出功率与泵浦功率关系;(b)最高功率时的输出光谱;(c)最高功率时的光束质量与光斑特性

Fig. 2 Experimental results of 6 kW oscillating-amplifying integrated laser based on spindle-shaped Yb-doped fiber. (a) Output power versus pump power; (b) spectrum at the highest power; (c) beam quality and beam profile at the highest power

6.02 kW, 光光效率为 84.1%。在激光器的输出功率为 6.02 kW 时, 激光光谱中受激拉曼散射光强度比信号光强度低 18.2 dB, M^2 约为 1.8, 如图 2(b)、(c) 所示, 其中

M_x^2 、 M_y^2 分别为 x 、 y 方向的光束质量。当前激光功率的提升主要受限于受激拉曼散射, 后续将通过对纺锤形掺镱光纤和激光器结构的优化, 进一步提升激光性能。

奚小明, 曾令筏, 杨欢, 张汉伟, 闫志平, 杨保来, 黄良金, 王鹏, 陈子伦, 王小林*, 潘志勇**,
王泽锋, 许晓军

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南长沙 410073

通信作者: *chinaphotonics@163.com; **panzy168@163.com

收稿日期: 2022-05-05; 修回日期: 2022-06-08; 录用日期: 2022-06-09