

中国激光

双向级联泵浦部分掺杂光纤实现近 8 kW 高光束质量激光输出

近年来,级联泵浦方案由于泵浦亮度高、量子亏损小、热管理方便等优势,成为了实现高功率光纤激光输出的重要技术手段。当前常用的级联泵浦源工作波长多为 1018 nm,由于掺镱光纤在该波长处的吸收较弱,往往需要使用较长的光纤以实现充分的泵浦吸收,而长光纤导致激光器的受激拉曼散射阈值较低,限制了功率的进一步提升。2021 年,国防科技大学报道了基于前向级联泵浦的部分掺杂光纤(confined-doped fiber, CDF)激光放大器并实现了 7 kW 的高光束质量激光输出,但功率的进一步提升受限于受激拉曼散射效应。已有文献报道表明,在激光二极管泵浦的光纤激光器中,采用双向泵浦方案可显著抑制光纤激光器中的受激拉曼散射等非线性效应并提升模式不稳定效应阈值,然而基于双向级联泵浦的光纤激光器的有关报道并不多见。

近期,为了进一步提升部分掺杂光纤激光放大器的输出功率,国防科技大学基于双向级联泵浦实

现了近 8 kW 的高光束质量光纤激光输出。实验中采用长度为 ~ 38 m 纤芯和包层直径分别为 $40\ \mu\text{m}$ 和 $250\ \mu\text{m}$ 的 CDF,其纤芯中央掺杂区域的直径约为 $30\ \mu\text{m}$,纤芯的数值孔径(NA)为 0.075,在 1018 nm 处的吸收系数约为 0.4 dB/m。实验结构如图 1 所示,种子激光为中心波长为 1080 nm 的光纤激光器,泵浦源为四台 1018 nm 光纤激光模组,信号光以及前向泵浦光通过 $(6+1)\times 1$ 端面泵浦合束器(pump and signal combiner, PSC)注入部分掺杂光纤中,后向泵浦光通过 $(2+1)\times 1$ 侧面泵浦合束器注入,放大后的激光经过包层模滤除器(cladding mode stripper, CMS)后通过端帽(end cap)输出。实验中 大模场无源光纤的纤芯和包层直径分别为 $40\ \mu\text{m}$ 和 $250\ \mu\text{m}$,纤芯 NA 约为 0.08。输出的激光经准直器(collimator, CO)准直后,大部分光经过高反镜(high reflectivity mirror, HR)后进入功率计,少量透过光进入光束质量分析仪(laser quality monitor, LQM)中进行光束质量测量。

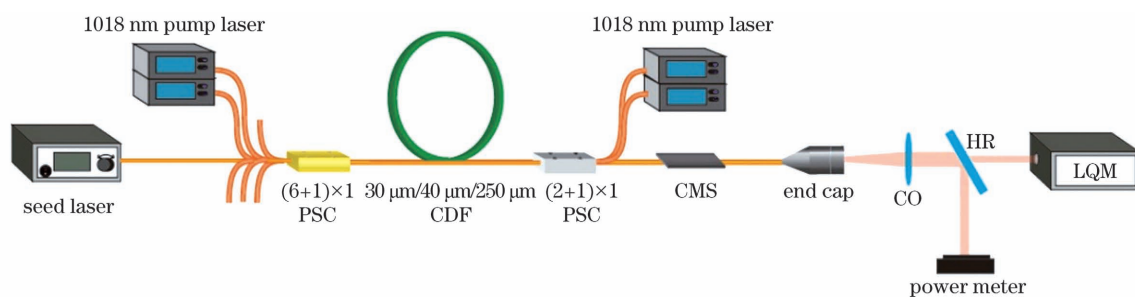


图 1 双向级联泵浦的部分掺杂光纤放大器实验装置图

Fig. 1 Experimental setup of bidirectional tandem pumped confined-doped fiber amplifier

种子信号光注入功率约为 260 W,在泵浦功率为 ~ 8.99 kW 时(前向泵浦功率为 4.17 kW,后向泵浦功率为 4.82 kW),信号光被放大到 ~ 7.88 kW,光光转换效率为 $\sim 84.8\%$,最大功率下输出光谱中信号光与拉曼光之间的信噪比约为 32 dB,不同泵浦功率下的输出功率以及各输出功率下的光谱如图 2

所示,输出功率的进一步提升受限于受激拉曼散射效应。图 3(a)所示的时序及频谱表明,系统未出现模式不稳定现象。光束质量测量仪测得的最大输出功率下的光斑形态如图 3(b)所示,此时测得光束质量为 1.97。

目前放大器功率的提升主要受限于受激拉曼散

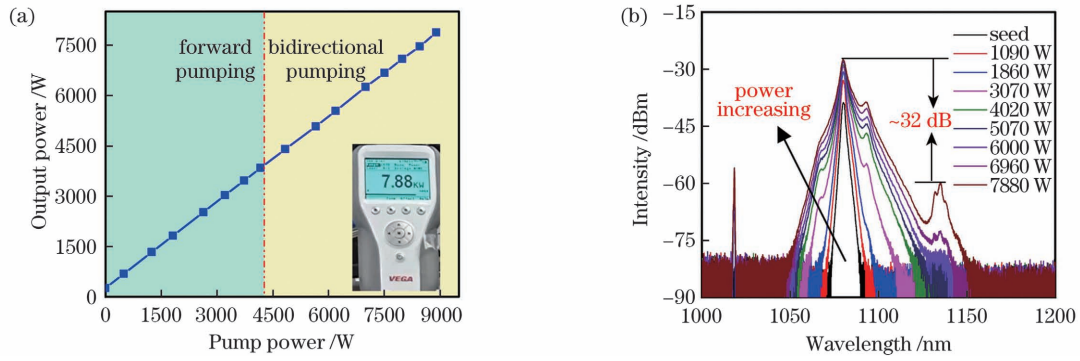


图 2 激光输出特性。(a)输出功率随泵浦功率的变化曲线;(b)不同功率下的输出光谱

Fig. 2 Properties of output laser. (a) Output power versus pump power; (b) output spectra at different powers

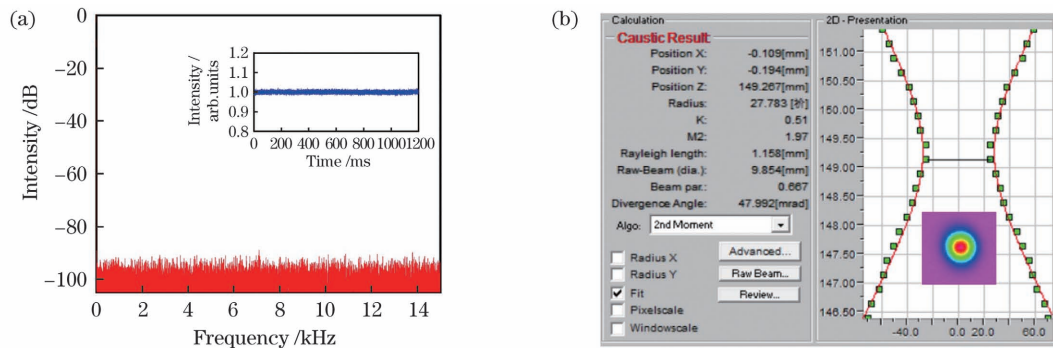


图 3 最高输出功率下的激光特性。(a)放大器时序以及频谱;(b)光束质量

Fig. 3 Properties of laser under maximum output power. (a) Temporal trace and frequency spectrum of amplifier; (b) beam quality

射效应,通过提高部分掺杂光纤的吸收系数以缩短光纤长度、增大部分掺杂光纤的有效模场面积及提高后向泵浦功率等方式,有望进一步提升输出功率。

通过进一步优化增益光纤和无源光纤的折射率匹配,有望实现更好的光束质量。

吴函烁, 李瑞显, 肖虎*, 黄良金, 冷进勇, 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: *xhwise@163.com; **zhoupu203@163.com

收稿日期: 2021-11-17; 修回日期: 2021-12-07; 录用日期: 2021-12-22