

# 中国激光

## 自研 20 $\mu\text{m}$ /400 $\mu\text{m}$ 光纤实现 0.3 nm 4.8 kW 单模激光输出

高功率窄线宽光纤激光器除具备光束质量好、光电转换效率高、结构紧凑等优点外,还具有相干性好的特点,可作为光束合成的子束,从而突破单纤功率限制,进一步提升光纤激光的输出功率。目前,国防科技大学研究人员在窄线宽光纤激光器中已实现 6.12 kW 的激光输出,其 3 dB 线宽为 0.8 nm,光束质量为  $M_x^2=1.43$ ,  $M_y^2=1.36$ 。该系统中用作激光增益介质的是普通阶跃型 20  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$  双包层掺镱光纤(YDF)。

鉴于普通阶跃型 20  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$  双包层 YDF 在光纤激光系统中的优异表现及在工业领域中的广泛应用,中国工程物理研究院激光聚变研究中心开展了该规格光纤的研制,采用整合物全气相制备工艺制备出阶跃型光纤预制棒,经过套棒、加工及拉丝后成功制备出纤芯直径为 19.5  $\mu\text{m}$ 、数值孔径(NA)为 0.064 的 20  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$  双包层 YDF。

基于主振荡功率放大结构搭建了 1064 nm 窄线宽光纤激光系统,种子源采用单频激光器,通过白噪声信号进行相位调制,将光谱展宽至 0.3 nm,通过两级预放大级将种子功率提升至 20 W。在预放大级与主放大级之间通过模场适配器来保证光束质量,使用啁啾倾斜布拉格光栅抑制种子光中的受激拉曼散射信号,采用包层光滤除器(CPS)滤除可能未被主放大级增益光纤充分吸收的反向泵浦光以确保种子源及预放大级的安全。主放大级采用锁波长为 976 nm 的激光二极管(LD)双向泵浦,正向集束器信号纤规格为 20  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$ ,反向集束器信号纤规格为 25  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$ ,输出尾纤规格为 25  $\mu\text{m}$ /250  $\mu\text{m}$ ,从反向集束器输出的激光经过 CPS 后通过尾纤为 25  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$  的石英端帽(QBH)输出。将 15 m 长的自研 20  $\mu\text{m}$ /400  $\mu\text{m}$  双包层 YDF 作为主放大级增益光纤,系统成功实现了 4815 W 激光输出,其 3 dB 线宽为 0.3 nm,光束质量为  $M_x^2=1.27$ ,  $M_y^2=1.28$ 。图 1 是窄线宽激光系统输出功率及光束质量随注入泵浦功率变化的曲线。从图 1 可以看出:系统输出功率与注入泵浦功率呈线性增长关系,当注入泵浦功率为 6027 W 时,系统输出功率达到 4815 W,斜率效率约为 80%。由于系统测试时先注入反向 5.1 kW 泵浦光,后注入正向泵浦光,因此可以看到,当泵浦光功率大于 5.1 kW 时光光效率出现明显的下降,导致系统斜率效率从只有反向泵浦光注入时的

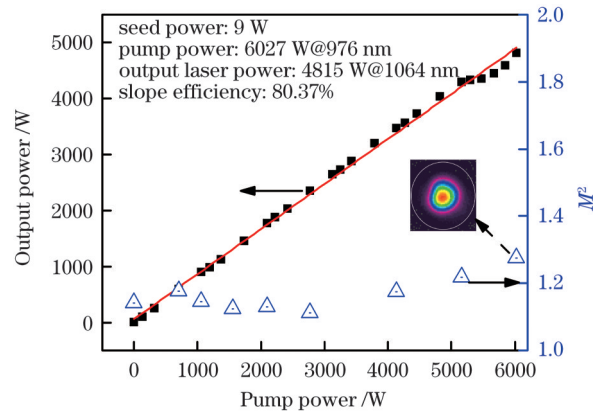


图 1 输出功率及光束质量随泵浦功率变化的曲线

Fig. 1 Output power and beam quality versus pump power

83.99% 下降至 80.37%。输出激光的光束质量因子 ( $M^2$ ) 随泵浦功率的变化较小,当泵浦功率小于 5 kW 时,  $M^2$  始终保持在 1.2 以下,在泵浦功率大于 5 kW 后,  $M^2$  呈现缓慢上升的趋势,在最高泵浦注入功率时接近 1.28,内插图最高输出功率时激光束腰处的光斑。图 2 是输出激光光谱,输出激光中心波长 ( $\lambda_c$ ) 为 1063.7 nm,最高输出功率时 3 dB 线宽 ( $\Delta\lambda_{3\text{dB}}$ ) 为 0.3 nm,光谱中未见残余泵浦光和受激拉曼散射(SRS)特征峰,说明系统中的 SRS 得到了很好的抑制。为防止窄线宽激光系统中可能产生的相对于主激光反向传输的受激布里渊散射(SBS)信号对种子源造成损伤,利用光谱仪对返回光光谱进行了监测。图 3

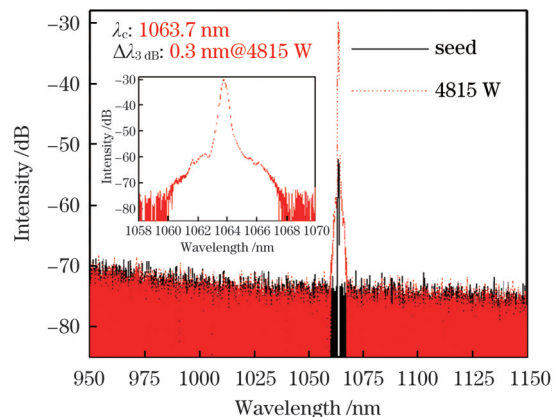


图 2 输出激光光谱

Fig. 2 Spectrum of output laser

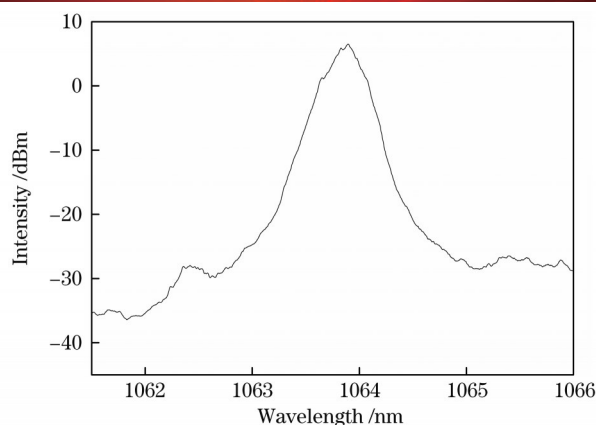


图 3 最高输出功率时返回光光谱

Fig. 3 Spectrum of backward-propagating laser at maximum output power

为最高输出功率时的返回光光谱,光谱中未观察到自脉冲峰,说明该系统中的SBS也得到了很好的抑制。因反向集束器温度过高(达到 $59^{\circ}\text{C}$ ),未开展进一步的功率提升实验及长时间系统功率稳定性考核,后续考虑通过调整反向泵浦功率占比等方式对测试方案进行

优化。

国产 $20\ \mu\text{m}/400\ \mu\text{m}$ 双包层YDF成功应用于窄线宽光纤激光系统,作为放大级增益光纤实现 $4.8\ \text{kW}$ 单模激光输出,对于实现窄线宽高功率光纤激光器中有源光纤国产化具有重要意义。

李芳\*, 代江云, 陈艺, 刘念, 高聪\*\*, 沈昌乐, 姜蕾, 张立华, 吕嘉坤, 张春, 彭章凯,  
林宏旻, 赵龙彪, 王建军, 景峰

中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 6219001

通信作者: \*[lasertweezer@163.com](mailto:lasertweezer@163.com); \*\*[gckwdx@163.com](mailto:gckwdx@163.com)

收稿日期: 2023-03-01; 修回日期: 2023-03-20; 录用日期: 2023-04-06; 网络首发日期: 2023-04-16