

中国激光

全国产光纤材料器件实现高 SRS 抑制比 20.88 kW 输出

数万瓦级光纤激光器研究主要面临半导体激光器(LD)亮度不足、非线性效应和热效应严重等问题,其涉及光学系统设计、光纤材料研究和光纤器件制备等多个领域,目前并没有成熟的系统性解决方案,国内鲜有相关公开实验报道。近期,中国工程物理研究院激光聚变研究中心在同带泵浦技术、大模场光纤和倾斜光栅等方向开展了联合研究,在单纤激光输出方面取得重大进展。

光纤激光亮度较 LD 高约 2 个量级,1018 nm 激光同带泵浦成为当前万瓦级以上实验的主流方案,但镱离子对 1018 nm 波段的吸收极弱,为达到一定的吸收强度,需延长增益光纤,这将会导致严重的受激拉曼散射效应(SRS)。本单位将系统设计和光纤材料两方面综合考虑,采用了纤芯和包层直径分别为 47 μm 和 400 μm 的大模场掺镱增益光纤,有效缓解了纤芯功率密度过高和非线性效应严重等问题。光纤样品由中国电子科技集团公司第四十六研究所研制提供,通过优化组分实现高浓度镱离子的均匀掺杂,在 1018 nm 处吸收系数达到 0.72 dB/m,纤芯直径和数值孔径分别为 47.3 μm 和 0.07。

激光实验采用主振荡功率放大结构,光学系统设计如图 1 所示,泵浦源由 5 组 5 kW、1018 nm 激光器组成,每组通过多台数百瓦输出功率子束合束而成。子束方案克服了镱离子自发辐射引起的增益竞争难题,可实现稳定输出,由本单位自主设计完成。振荡器和放大器之间为自主研制的通过串联刻写实现带阻滤波的倾斜光栅阵列,其对 1120 ~ 1150 nm 拉曼频段的峰值抑制比可达 40 dB 以上,通过降低种子激光中的拉曼频段噪声来改善系统 SRS 抑制效果。放大器所用的增益光纤长度为 33 m 左右,信号光的插入损耗为 0.5 dB,将功率为 24.56 kW、波长为 1018 nm 的泵浦激光注入增益光纤后,实现了 20.88 kW 的功率输出,如图 2 所示。此时拉曼频段并未出现典型的斯托克斯峰,拉曼抑制比达到 18.6 dB,如图 3 所示,光谱信号的中心波长为 1080 nm,3 dB 处线宽为 2.1 nm,扣除残余泵浦功率后系统斜率效率为 82.7%。在最大输出功率时测量了输出激光发散角,通过计算其与理想 LP₀₁ 模远场发散角之比,得到光束质量因子 β_{FL} 为 2.96,在高功率时光束质量保持稳定,随功率的提升未出现明显退化。

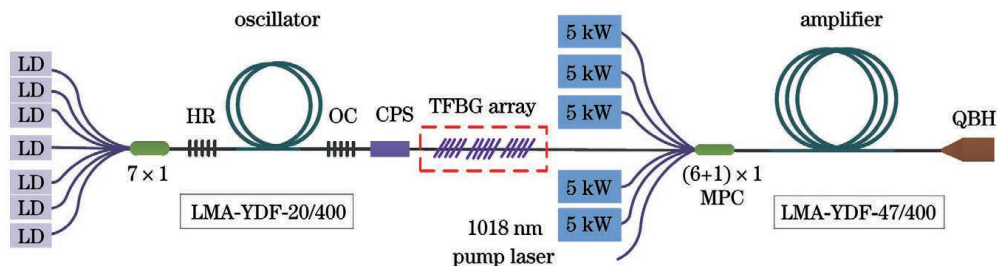


图 1 单纤激光系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of single-fiber laser system

此次实验实现的 20.88 kW 输出功率为目前国内单纤最高功率水平,也是倾斜光栅首次应用于数万级单纤激光实验,并取得 SRS 抑制方面的突出效

果,这标志着中国工程物理研究院激光聚变研究中心在单纤激光集成技术研究和光纤材料器件研制方面取得了突破性成果。

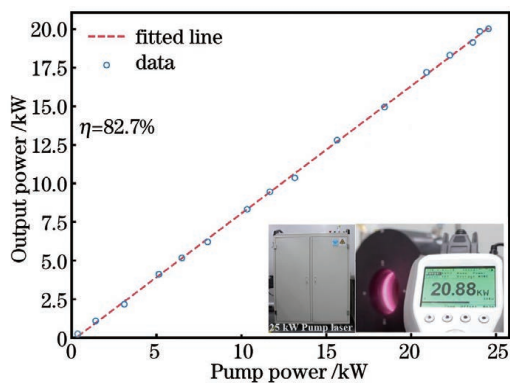


图 2 输出功率随泵浦功率的变化

Fig. 2 Output power varying with pump power

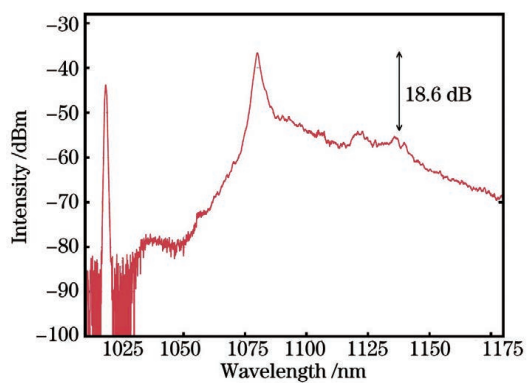


图 3 最大输出功率时的激光光谱

Fig. 3 Optical spectrum at maximum output power

李峰云^{1*}, 黎玥¹, 宋华青¹, 衣永青², 楚秋慧¹, 张昊宇¹, 黄珊¹, 郭超¹, 舒强¹, 颜冬林¹, 陶汝茂¹,
 黄智蒙¹, 庞璐², 沈一泽², 史仪¹, 高聪¹, 刘念¹, 贺红磊¹, 李雨薇¹, 刘珣¹, 吴文杰¹,
 王旗华¹, 温静¹, 汪卓¹, 林宏奂¹, 王建军^{1**}, 景峰¹

¹中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900;

²中国电子科技集团公司第四十六研究所, 天津 300220

通信作者: *lify@caep.cn; **wjcaep@caep.cn

收稿日期: 2021-05-17; 修回日期: 2021-06-10; 录用日期: 2021-07-06