

中国激光

自研光纤实现高 SRS 抑制 21.39 kW 激光输出

受限于半导体激光的低亮度特性,以半导体作为泵浦源的单路光纤激光输出功率在 10 kW 之后面临泵浦注入瓶颈,输出功率难以进一步提升。同带泵浦技术以高亮度光纤激光作为泵浦源,大幅提升了光纤可注入功率上限和激光输出潜力。由于镱离子对泵浦激光的吸收截面在波长 1018 nm 处比在 976 nm 处低一个数量级,为了达到相同吸收强度,需要提升镱离子的掺杂浓度,以避免过长光纤引起的严重受激拉曼散射(SRS)效应,同时还需要将光纤损耗控制在较低水平,这给材料制备带来了巨大挑战。我单位长期研究发现,稀土离子螯合物全气相掺杂技术和改进的化学气相沉积(MCVD)工艺是制备高性能掺杂光纤的有效途径,通过改进预制棒沉积工艺和缩棒工艺,大幅度提升了镱离子的掺杂浓度,同时将损耗保持在较低水平,在总吸收不变的前提下进一步缩短了光纤长度,这有利于抑制高功率

下的 SRS 效应。

光纤测试实验采用主振荡功率放大结构设计,光学示意图如图 1 所示。振荡器产生的种子激光的功率为 152 W,中心波长为 1080.16 nm,3 dB 线宽为 0.5 nm。在振荡器和放大器之间插入一组由多个自研倾斜斜光纤光栅组成的级联阵列,该阵列对 1120~1140 nm 和 1140~1155 nm 波段的拉曼噪声的抑制水平分别达到 55 dB 和 25 dB 以上。增益介质为 20 m 长的纤芯/包层尺寸为 60 μm /400 μm 的自研大模场掺镱增益光纤,对 1018 nm 波长光的吸收强度为 0.84 dB/m。通过 19 \times 1 合束器将 300 W 级 1018 nm 泵浦源子束进行合束,实现了单路 5 kW 高功率输出。子束为单谐振腔结构,输出光纤的纤芯/包层尺寸为 20 μm /130 μm ,合束至 5 kW 量级后被 135 μm /155 μm 多模光纤连接至(6+1) \times 1 泵浦信号合束器上。

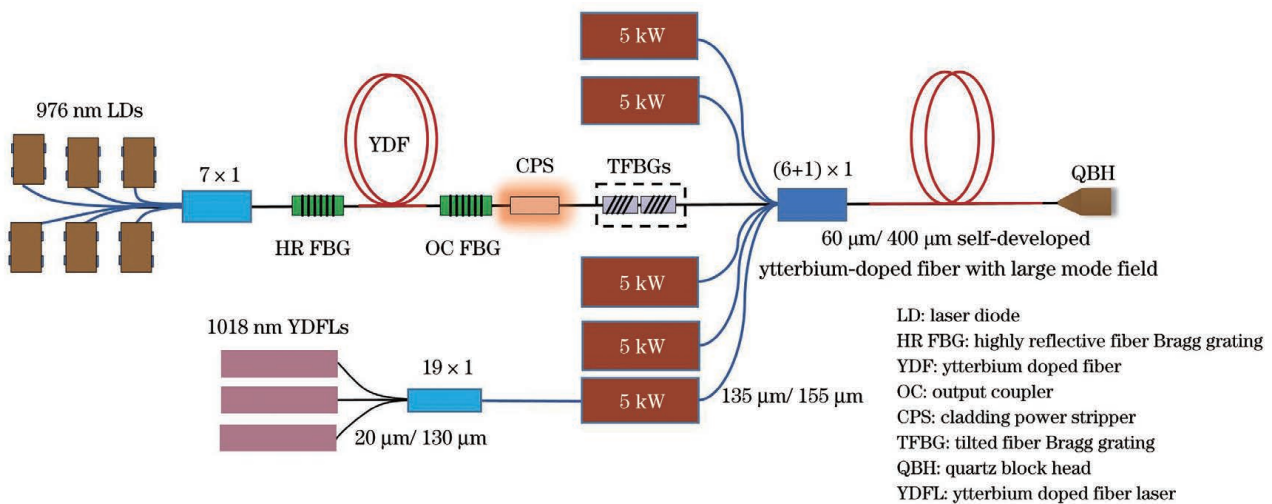


图 1 光纤激光器的结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of fiber laser

注入 26.01 kW 泵浦激光后,光纤输出功率为 21.39 kW,如图 2 所示。得益于较短的光纤长度、较大的模场面积和倾斜光栅优异的滤波效果,SRS 的抑制效果明显,最大功率时光谱 SRS 抑制比高达 31.7 dB,如图 3 所示,信号峰 3 dB 线宽为 1.4 nm,残余泵浦占比为 2.6%,扣除残余泵浦后系统斜率效率为 79.0%。在输出功率达到最大时通过测量激光发

散角与 LP₀₁ 模发散角之比,得到光束质量因子(β_{FL})为 3.86。

本次实验基于自研掺镱光纤实现了 21.39 kW 激光输出,同时 SRS 抑制比高达 31.7 dB,据我们所知,这是目前同水平下的国内最高指标。该结果也标志着中国工程物理研究院激光聚变研究中心在光纤材料研制和高功率 SRS 抑制研究方面取得了新的突破性成就。

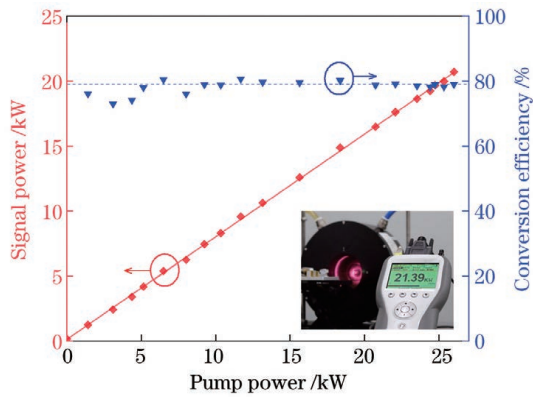


图 2 功率和转换效率随泵浦功率的变化

Fig. 2 Power and conversion efficiency versus pump power

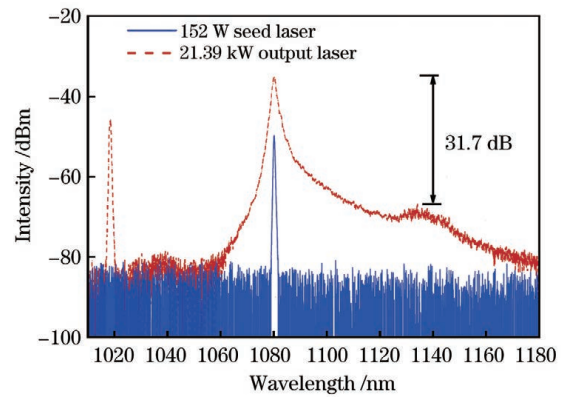


图 3 输出激光光谱

Fig. 3 Output laser spectrum

李峰云^{*}, 代江云, 刘念, 高聪, 沈昌乐, 贺红磊, 李芳, 姜蕾, 张立华, 吕嘉坤, 陈艺, 张昊宇, 刘琦,
楚秋慧, 史仪, 林宏奂, 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 621900

通信作者: *lify@pku.edu.cn; **wjcaep@caep.cn

收稿日期: 2022-07-25; 修回日期: 2022-08-07; 录用日期: 2022-08-17