

中国激光

全光纤线偏振飞秒光纤放大器实现 440 W 功率输出

高功率超快光纤激光在高能物理、先进制造、非线性频率转换、材料加工、粒子加速等基础科学和工业领域都具有广泛应用。基于啁啾脉冲放大(CPA)技术,单路超短脉冲光纤激光器在平均功率方面已经实现了 830 W 输出,在单脉冲能量方面已经实现了 2.2 mJ 输出,对应的峰值功率为 3.8 GW。上述结果均是以大模场棒状光子晶体光纤为增益介质,结合空间耦合及准直实现的,这会导致系统的稳定性和鲁棒性变差,在一定程度上削弱了光纤激光器灵活、紧凑、可柔性操作的优点。目前,对于全光纤高功率 CPA 系统的研究相对较少。2016 年,本课题组采用纤芯/包层直径为 $30\ \mu\text{m}/250\ \mu\text{m}$ 的光纤作为增益介质,实现了 300 W 的全光纤线偏振超快激光输出,但功率的进一步提升受限于模式的退化。

最近,本课题组采用级联啁啾光纤布拉格光栅(CFBG)的方法,将 6 ps 超快激光种子源在时域上展宽到全宽 2 ns,有效降低了脉冲放大过程中的受激拉

曼散射效应(SRS)和非线性相移累积。整个系统的实验装置如图 1 所示,种子的中心波长为 1030 nm,输出功率为 76 mW,重复频率为 80 MHz,展宽后的脉冲经过两级预放大器将功率放大到约 10 W。预放大后的脉冲经过滤波器和环形器注入主放大器。主放大器采用的是一段 4.5 m 长、纤芯/包层直径为 $20\ \mu\text{m}/400\ \mu\text{m}$ 的高掺杂双包层保偏掺镱光纤(YDF),其吸收系数在 976 nm 处为 2.6 dB/m,纤芯和包层的数值孔径分别为 0.07 和 0.48。放大后的激光经准直器输出到自由空间,并用衍射光栅对脉宽进行压缩。如图 2 所示,在 903 W 泵浦功率下得到最大输出功率为 612 W,放大器的斜效率约为 68%。进一步增大泵浦功率,由于增益饱和和效应的限制,输出功率增长放缓。图 2(a)中的插图是输出功率在 434 W 时的输出光斑,对应的光束质量 M^2 约为 1.17。实验中发现,受高重复频率脉冲激光导致的非线性热量累积的影响,常规高功率准直器输出的光斑在功率进

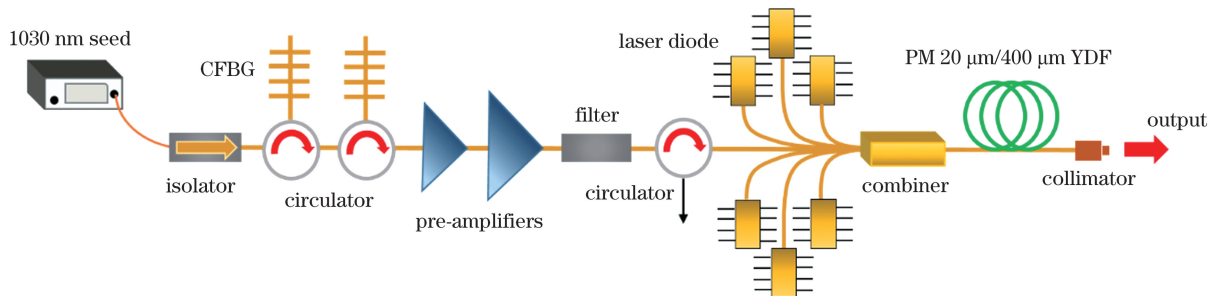


图 1 实验装置图

Fig. 1 Experimental setup

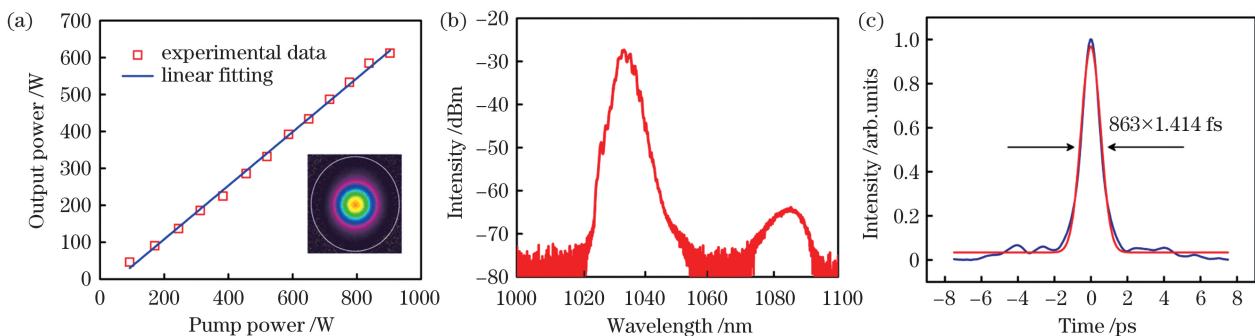


图 2 实验结果。(a)输出功率随泵浦功率的变化,插图为 434 W 下的输出光斑;(b)最高功率下的输出光谱;(c)最高功率下脉冲经压缩后的自相关曲线

Fig. 2 Experimental results. (a) Output power versus pump power, where the inset shows output spot at 434 W; (b) output spectrum at the maximum power; (c) autocorrelation trace of compressed pulse at the maximum power

一步提高时发生了热畸变,导致光束质量劣化。在最高输出功率时,光谱的 10 dB 线宽约为 9 nm,拉曼抑制比大于 36 dB。放大后的脉冲被一对线密度为 1740 line/mm 的衍射光栅压缩,在最高功率下可压缩至 863 fs。脉冲压缩系统的效率为 72%,压缩后的脉冲最大功率为 440.6 W,峰值功率约为 6 MW。在放

大过程中没有观察到模式不稳定现象,功率的提升受限于 SRS 效应和增益饱和效应。下一步工作拟考虑采用更大模场面积的光纤,以进一步提升非线性效应阈值,同时引入脉冲预整形来缓解增益窄化效应,实现全光纤结构的更高功率、更窄脉宽线偏振超快激光输出。

王涛,李灿*,任博,郭琨,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:*lc0616@163.com; **zhoupu203@163.com

收稿日期:2022-04-27;修回日期:2022-05-19;录用日期:2022-05-25