

中国激光

10 GHz 窄线宽线偏振近单模全光纤激光器实现 5 kW 功率输出

受非线性效应、热透镜、材料损伤等各种物理因素的限制,近单模光纤激光器的输出功率存在物理极限。自美国 IPG 公司 2013 年实现 20 kW 近单模光纤激光输出以来,功率没有进一步提升。多路近单模光纤激光的相干合成是提升其输出功率的一种有效技术途径,同时还可以保持良好的光束质量。但相干合成系统需要单路光纤激光具有窄线宽、线偏振、高光束质量等特性。除了相干合成外,窄线宽线偏振激光器还在光谱合成、非线性频率变换、引力波测量等领域中具有重要应用。近年来,窄线宽线偏振光纤激光器发展迅速。2022 年,国防科技大学报道了 4.5 kW 的线偏振激光器,线宽为 87 GHz,偏振消光比(PER)为 10.3 dB。同年,中国工程物理研究院激光聚变研究中心实现了 3 kW 线偏振输出,线宽为 10.6 GHz,PER 为 14 dB。2023 年,韩国国防发展局地面技术研究所实现了 2 kW 线偏振输出,线宽为 8 GHz,PER 为 15 dB。本单位近年来也在保偏窄线宽光纤激光方面取得了不错的进展,2021 年,团队实现了 3.6 kW 的线偏振输出,线宽为 23 GHz,PER 为 15 dB。2022 年,团队进一步实现了 5 kW 窄线宽线偏振输出,线宽为 50 GHz,PER 为

16.5 dB。虽然目前窄线宽线偏振光纤激光输出已突破 5 kW 功率水平,然而大部分报道中的线宽均超过了 10 GHz,线宽过宽会降低相干长度,在相干合成时需要对光程进行精密控制,这增加了相干合成系统的复杂性。

最近,中国工程物理研究院应用电子学研究所基于单频相位调制种子的大模场全光纤保偏主振荡功率放大技术,10 GHz 线宽下线偏振近单模光纤激光的输出功率突破了 5 kW。实验结构如图 1 所示,利用优化算法对单频相位调制种子光谱进行精确调控后,再通过多级预放大将功率放大至 30 W 左右。之后激光经保偏隔离(PM-ISO)、耦合器(PM-FC)、模场适配器(PM-MFA)注入至主放大器系统中进行高功率放大。泵浦源(LD)的输出通过后向合束器(PM combiner)耦合到大模场保偏掺镱有源光纤(PM-LMA-YDF)中,保偏包层功率剥离器(PM-CPS)用于去除包层光。图 2(a)显示了放大过程中不同功率下的消光比特性,种子在放大过程中的消光比始终大于 16.5 dB,最大功率下的消光比达到了 20 dB。图 2(b)显示了最大激光功率下的输出光谱特性,在输出光谱中未发现拉曼成分,信噪比达到了 57 dB。图 2(b)中的插图显示了最

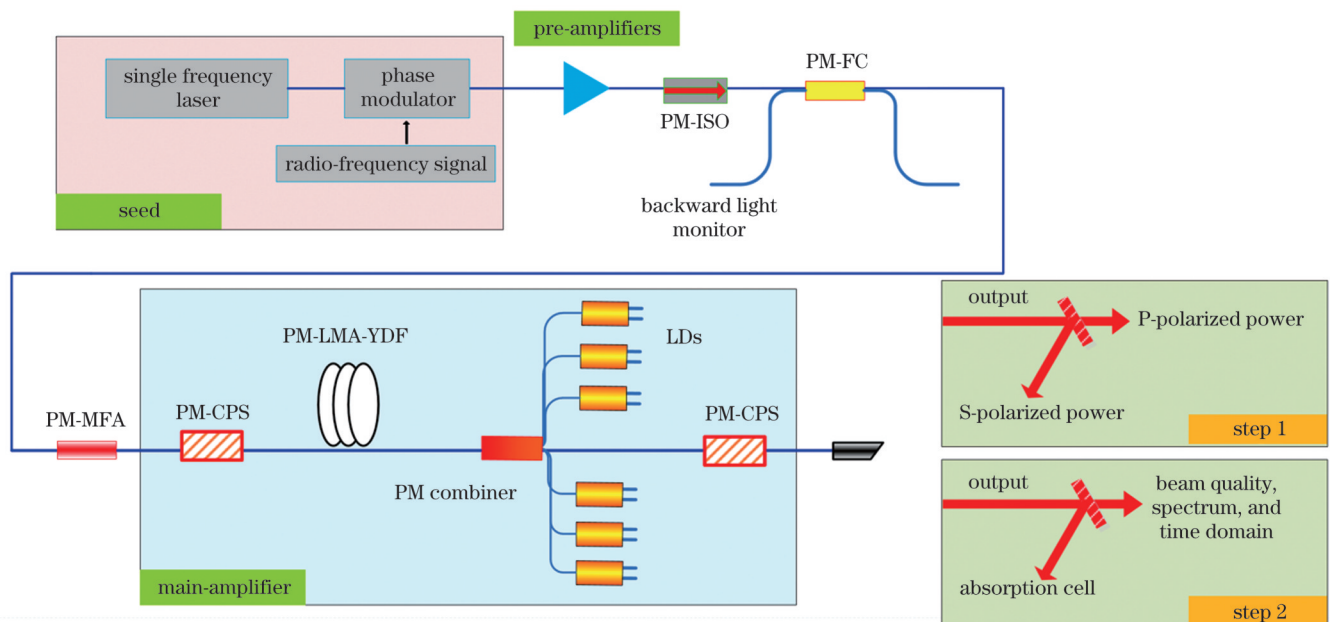


图 1 实验结构

Fig. 1 Experimental structure

大功率下的精细光谱特性,测得 20 dB 二阶矩线宽为 9.93 GHz。图 2(c)给出了窄线宽保偏光纤放大器最大输出功率下的前向输出时域特性。可以看出,该放大器在最大功率下还尚未达到模式不稳定阈值。图 2(c)中的插图显示了最大功率下的光束质量特性,测得横向和纵向光束质量因子分别为 $M_x^2=1.28$ 和

$M_y^2=1.25$ 。下一步我们将继续对保偏激光器系统结构进行优化升级,以实现更高功率的窄线宽线偏振光纤激光输出。

致谢 感谢王佳伟、郭佳奇、喻安康、钟敏、栗东红在实验中的帮助。

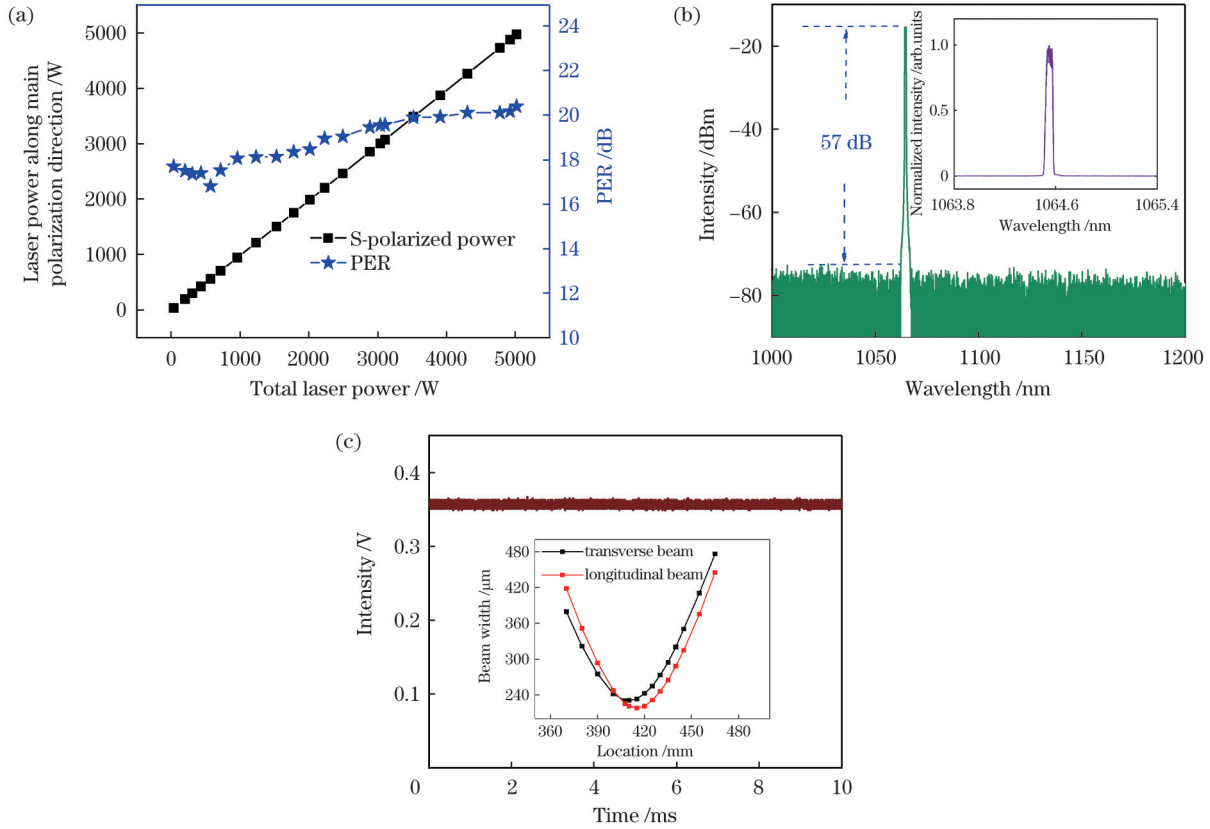


图 2 输出特性。(a) PER 随激光功率的变化;(b) 最大功率下的输出光谱;(c) 最大功率下的前向输出时域特性(插图为光束质量)
Fig.2 Output characteristics. (a) PER versus laser power; (b) output spectrum at maximum laser power; (c) forward output time domain characteristic at maximum laser power with beam quality shown in inset

王岩山^{1,2}, 彭万敬^{1,2}, 王珏^{1,2}, 余鸿铭^{1,2}, 杨小波^{1,2,3}, 林圣淘^{1,2}, 王尧^{1,2}, 李腾龙^{1,2}, 魏江才^{1,2}, 刘航^{1,2,3},
冯昱骏^{1,2*}, 孙殷宏^{1,2**}, 马毅^{1,2}, 高清松^{1,2}, 唐淳^{1,2***}

¹中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900;

²中国工程物理研究院高能激光科学与技术重点实验室, 四川 绵阳 621900;

³中国工程物理研究院研究生部, 北京 100088

通信作者: *fabius769@163.com; **suniyhong@caep.cn; ***tangchun21@caep.cn

收稿日期: 2023-10-09; 修回日期: 2023-10-19; 录用日期: 2023-10-26; 网络首发日期: 2023-11-02

基金项目: 中物院创新发展基金(C-2021-CX20210047)