

混合增益 2 kW 输出随机光纤激光器

叶俊, 张扬, 梁峻锐, 马小雅, 许将明*, 周朴*

(国防科技大学 前沿交叉学科学院, 湖南长沙 410073)

中图分类号: TN248 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA20220453

随机光纤激光器利用光纤中固有的瑞利散射提供激光振荡所需的反馈, 不需要传统激光器中的谐振腔结构, 具有结构简单和波长灵活等优点, 近年来受到国内外研究人员的广泛关注。高功率输出是随机光纤激光的重要研究方向之一。自 2013 年以来, 通过缩短光纤长度、增大模场面积和采用时域稳定的泵浦源等方式有效抑制了高阶拉曼光的产生, 随机光纤激光器的输出功率不断提高, 已实现 1.57 kW 高功率输出。但进一步的功率提升却面临新的挑战, 以前报道的千瓦级随机光纤激光器为例, 由于光谱展宽超过了高反光栅的反射带宽, 一部分回光泄漏到泵浦源中并被放大, 产生了数十瓦的高功率后向回光。该现象一方面限制了单向随机激光的输出功率和效率, 另一方面也对系统的安全运行构成了威胁。

最近, 笔者课题组通过对随机光纤激光的系统结构进行优化设计, 提出了基于混合增益实现高功率随机激光输出的新方案, 解决了传统基于单一拉曼增益的千瓦级随机激光中的后向回光功率高的问题, 实现了 2 kW 级高功率随机激光输出。图 1 所示为搭建的半开腔结构随机光纤激光器。采用一支 20/400 μm 的 1130 nm 高反光栅 (FBG) 提供点反馈, 其反射带宽为 2.78 nm, 反射率约为 99%。选用一段 25 m 长的掺镱光纤 (YDF) 和一段 35 m 长的被动光纤 (GDF) 提供随机分布式反馈和混合增益, 两种光纤的尺寸均为 20/400 μm , 数值孔径为 0.06。其中掺镱光纤采用

21 支 976 nm 高功率 LD 提供后向泵浦, 为了滤除包层中的剩余泵浦光, 在高反光栅和掺镱光纤之间熔接了一支包层光剥除器 (CLS)。采用一台光谱中心波长与线宽均可调谐的超荧光光纤光源 (SFS) 作为拉曼泵浦源, 其最大功率约为 40 W, 输出尾纤的尺寸为 10/125 μm 。超荧光光纤光源之后熔接一支相同尾纤的环形器 (Circulator), 环形器的输出端接一支模场适配器 (MFA), 其输入纤和输出纤的尺寸分别为 10/125 μm 和 20/400 μm 。最后, 采用一个石英输出头 (QBH) 将高功率随机激光输出到自由空间。

通过优化研究, 选定泵浦中心波长为 1075 nm、线宽为 12 nm。图 2(a) 所示为最高功率下的输出光谱, 其中 1130 nm 随机激光的光谱纯度 (功率占比) 约为 98.1%, 剩余拉曼泵浦光 (1075 nm) 和二阶拉曼光 (1188 nm) 的抑制比分别为 20.2 和 34.1 dB。图 2(b) 所示为不同成分的输出功率随 LD 泵浦功率的演化, 其中 1130 nm 随机激光的出光阈值约为 1460 W。在 2881 W 的 LD 泵浦功率下, 随机激光的最高输出功率为 1972 W, 对应的光-光转换效率约为 68.4%, 此时 1188 nm 二阶拉曼光的输出功率为 0.7 W。此外, 最高功率下从环形器 3 端测得的后向回光功率仅为 0.12 W, 证明该结构具有良好的后向回光抑制能力。图 2(c) 所示为最高功率下的输出时序, 其归一化标准差约为 0.48%, 表明输出的随机激光具有非常稳定的时序。

收稿日期: 2022-06-25; 修订日期: 2022-08-05

基金项目: 国家自然科学基金 (62061136013, 61905284); 脉冲功率激光技术国家重点实验室主任基金项目 (SKL2019ZR01)

作者简介: 叶俊, 男, 博士, 主要从事高功率超荧光光纤光源和随机光纤激光器等方面的研究。

通讯作者: 许将明, 男, 副研究员, 硕士生导师, 博士, 主要从事大功率光纤激光方面的应用基础研究工作。

周朴, 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事光纤激光与光束合成等领域的科研、教学和人才培养工作。

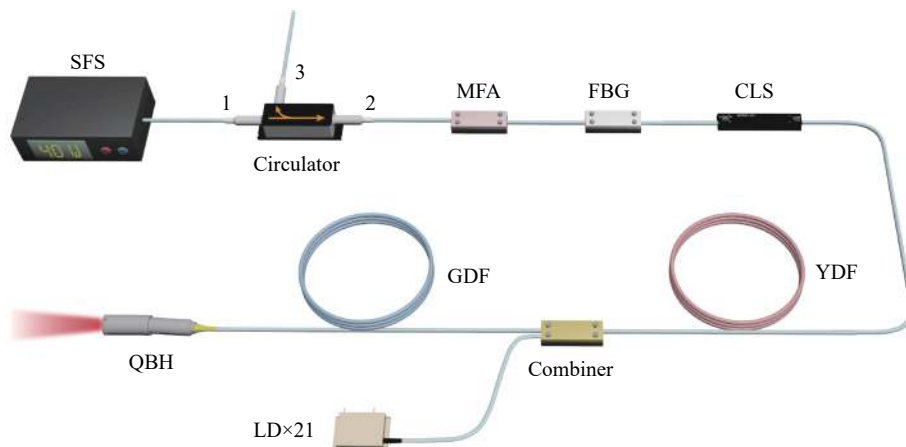


图 1 高功率随机光纤激光器实验结构图

Fig.1 Experimental structure of the high-power random fiber laser

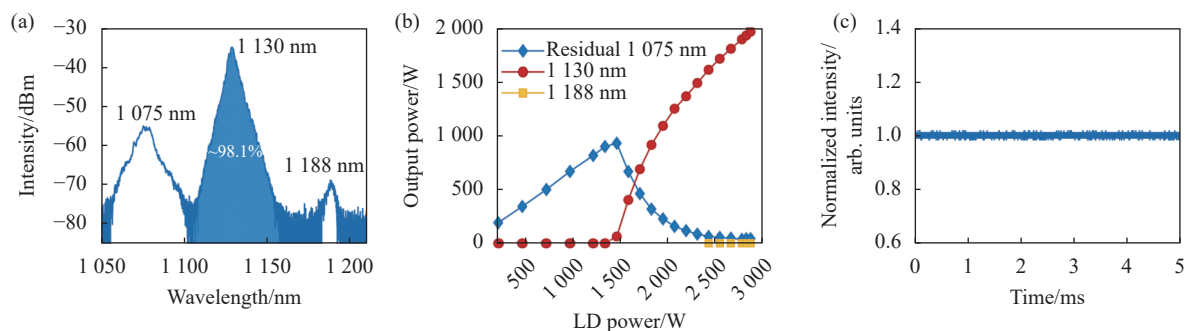


图 2 实验结果。(a) 最大功率下的输出光谱;(b) 输出功率随 LD 泵功率的变化;(c) 随机激光在最大功率下的时序

Fig.2 Experimental results. (a) Output spectrum at the maximum power; (b) Output powers as functions of the LD pump power; (c) Temporal profile of the random lasing at the maximum power

据笔者所知,该结果为当前公开报道的随机光纤激光的最高输出功率。通过提高泵浦功率、优化增益光纤和被动光纤的长度,有望进一步抑制二阶拉曼光

的产生,提高随机光纤激光的输出功率。

致谢 感谢张坤、王涛、任博和李阳等在实验过程中的支持和帮助。