

国产保偏光纤实现 5 kW 级窄线宽激光输出

任 帅^{1,2}, 马鹏飞^{1*}, 陈益沙¹, 李 魏¹, 王广建¹, 刘 伟¹, 黄良金¹, 潘志勇¹, 姚天甫¹, 周 朴^{1*}

(1. 国防科技大学 前沿交叉学科学院, 湖南长沙 410073;
2. 国防科技大学 信息通信学院, 湖北武汉 430035)

中图分类号: TN248 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA20220900

高功率窄线宽线偏振光纤激光器作为一种重要的高亮度光源,在引力波探测、频率转换以及光束合成等领域应用广泛。近年来,通过开发受激布里渊散射(SBS)、受激拉曼散射(SRS)等非线性效应和热致模式不稳定(TMI)的抑制技术,国内外同行在窄线宽线偏振近衍射极限光纤激光的研究方面取得了一系列重要进展。2018年,美国IPG公司基于全保偏光纤结构实现了2 kW窄线宽线偏振激光输出。2022年,中国工程物理研究院先后报道了4.45 kW和5 kW级近衍射极限窄线宽保偏光纤放大器。近年来,国防科技大学持续进行高功率窄线宽线偏振光纤激光的研究工作,2016年,课题组采用级联正弦相位调制技术,实现了1.89 kW的线偏振激光输出;2018年,采用白噪声相位调制并优化放大器结构,线偏振激光输出功率提升至2.43 kW;2020年,基于课题组开发的多项编码相位调制技术,获得了功率为3.06 kW的线偏振激光输出;2022年,课题组通过进一步优化TMI抑制技术,近单模窄线宽线偏振光纤激光输出功率先后突破4 kW和4.5 kW。

近期,课题组基于自研的大模场保偏掺镱光纤搭建放大器,采用时域稳定的单频相位调制种子抑制非线性效应,通过弯曲损耗增加高阶模相对损耗提升TMI阈值,成功实现了最大功率为5 kW的线偏

振窄线宽光纤放大器。基于主振荡功率放大结构搭建实验系统,窄线宽种子由白噪声源驱动电光相位调制器调制中心波长为1064 nm的单频激光器产生,通过保偏预放大器将种子光功率放大至约20 W,然后,种子光通过保偏模式匹配器和保偏(6+1)×1泵浦/信号合束器进入主放大器。主放大器采用双向泵浦结构,泵浦功率由中心波长为976 nm的半导体激光器提供,增益光纤为课题组自研的大模场双包层保偏掺镱光纤,该光纤的纤芯/包层直径为~20/400 μm,长度为14 m。放大后的信号激光经过保偏包层光滤波器后,由高功率保偏光纤端帽输出。图1(a)为功率增长曲线,当泵浦功率为5.94 kW时,激光输出达到5.023 kW,光光转换效率为84.6%;此时回光功率仅为700 mW,SBS效应被有效抑制。图1(b)为测试的偏振消光比(PER),PER在功率放大过程中基本保持稳定,最大功率时的PER为11.8 dB。图1(c)为最大功率时的光谱特性,5.023 kW时的光谱3 dB线宽为0.38 nm,SRS信噪比为31 dB。下一步,将继续针对光纤设计进行迭代优化,以更加有效抑制SBS、SRS、TMI等效应,实现更高功率、更窄线宽的光纤激光输出。

致谢:感谢陈子伦老师和周聪、郝修路、蒋恋周等对文中实验的帮助。

收稿日期:2022-12-27; 修订日期:2023-01-17

基金项目:国家重点研发计划(2022YFB3606000)

作者简介:任帅,男,博士生,主要从事高功率窄线宽光纤激光方面的研究。

导师(通讯作者)简介:周朴,男,研究员,博士,主要从事大功率光纤激光、光束合成等方面的研究。

通讯作者:马鹏飞,男,副研究员,博士,主要从事高功率窄线宽光纤激光及其合成方面的研究。

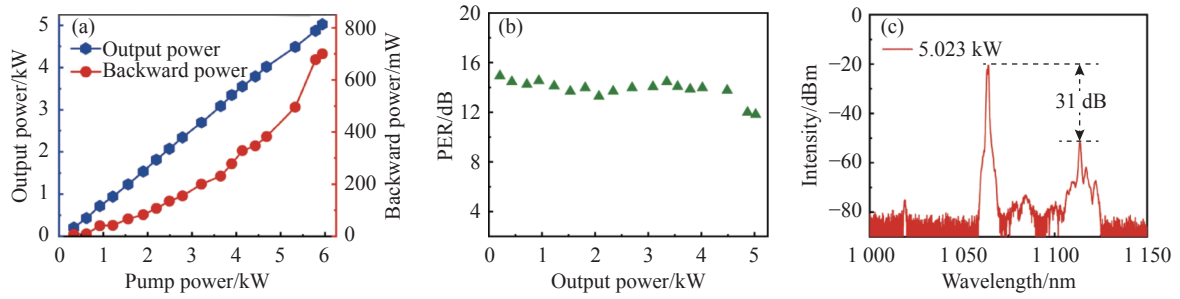


图 1 基于自研保偏光纤的高功率窄线宽光纤激光器实验结果。(a) 输出功率和回光功率曲线; (b) PER; (c) 最高功率时的输出光谱

Fig.1 Experimental results of high-power narrow linewidth fiber laser based on homemade polarization-maintained fiber. (a) Curves of output power and backward power; (b) PER; (c) Output spectrum at maximum power