

# 中国激光

## 采用新型泵浦源抑制 TMI 实现单端泵浦 4 kW 单模光纤激光

目前,模式不稳定(TMI)效应已经成为高功率光纤激光器功率提升的重要限制因素。根据 TMI 的产生机理,主要从以下三个方面对其进行抑制:降低增益光纤的热负荷、降低激光器中高阶模式的比例、消除导致模式耦合的热致长周期光纤光栅。一般而言,通过提高激光器的量子效率可以降低热负荷;在设计激光器时,综合运用高光束质量的种子源、光纤参数选择、光纤缠绕、泵浦方式优化等方式降低高阶模式的比例;通过泵浦电流调制等方式消除热致长周期光纤光栅。

本课题组基于多年对 TMI 的理论和实验研究,认为减小增益光纤的泵浦吸收系数也是降低光纤中热负荷的有效技术方案。基于此,本文提出了一种采用 981 nm 稳波长泵浦源抑制 TMI 的新技术方案。首先,在基于国产光纤的激光振荡器中,采用常规的 976 nm 稳波长泵浦源和 981 nm 稳波长泵浦源对激光器的 TMI 阈值进行对比。结果表明,在后向泵浦情况下,TMI 阈值从 976 nm 泵浦时的 726 W 提升到 981 nm 泵浦时的 2080 W,约提升至原来的 2.8 倍,所提方案为当前公开报道的 TMI 阈值提升倍数最高的单一技术方案。在验证该方案有效性的基础上,搭建了基于后向泵浦主振荡功率放大(MOPA)结构的全光纤放大器,如图 1 所示。主

振荡器(MO)为一个前向泵浦的光纤激光器,采用 976 nm 稳波长泵浦源进行泵浦,输出功率为 100 W。放大器(PA)采用 6 个泵浦源进行后向泵浦,单个泵浦源的功率约为 800 W;采用商用纤芯和包层直径分别为 20  $\mu\text{m}$ 、400  $\mu\text{m}$  的掺镱光纤作为增益介质。图 1 中,LD 为主振荡器的泵浦源,PSC 为泵浦信号合束器,HRFBG 和 OCFBG 分别为主振荡器的高反射光纤光栅和低反射光纤光栅,Pumps 为放大器的泵浦源,BPSC 为后向泵浦合束器,YDF1、YDF2 为增益光纤,CLS1、CLS2 为包层光滤波器,EndCap 为光纤端帽。在最高泵浦功率为 5.06 kW 时,放大器的输出功率为 4.05 kW,光光效率为 78.3%,如图 2(a)所示。在最高输出功率时,光谱中受激拉曼散射峰值比信号激光峰值小 26 dB,激光器的光束质量  $M^2$  为 1.3,没有观察到 TMI 迹象,如图 2(b)、(c)所示。与之相比,采用普通 976 nm 稳波长泵浦源进行泵浦时,该放大器的 TMI 阈值约为 3.2 kW。目前,该放大器的输出功率主要受限于泵浦功率,如果能够提高泵浦功率并结合激光器结构和光纤参数优化,有望将输出功率提升至 5 kW。该方案不仅能够用于宽谱振荡器和放大器中,还可以用于窄线宽放大器中,有望极大地提升窄线宽放大器的 TMI 阈值和输出功率。

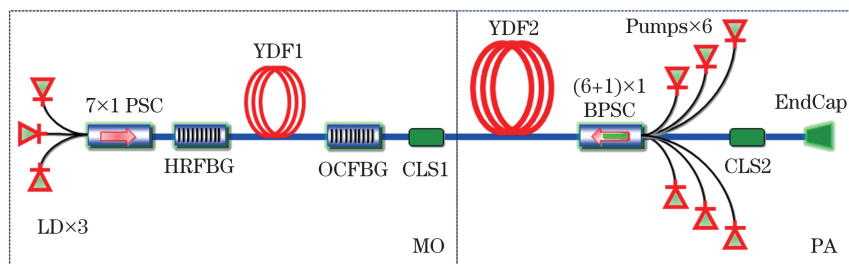


图 1 采用新型泵浦源的后向泵浦 4 kW 全光纤放大器实验结构

Fig. 1 Schematic of 4 kW counter-pumped all-fiber amplifier based on novel pump source

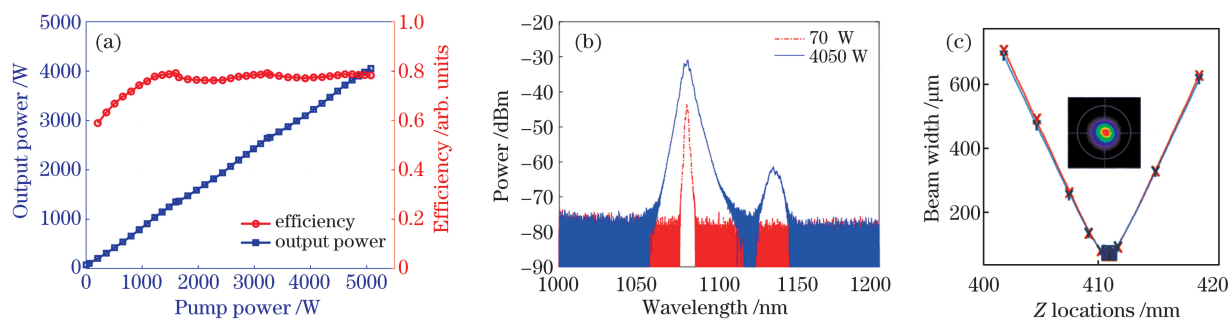


图 2 采用新型泵浦源的后向泵浦 4 kW 全光纤放大器的实验结果。(a)输出功率与光光效率;(b)输出光谱;(c)最高输出功率时的光束质量

Fig. 2 Experimental results of 4 kW counter-pumped all-fiber amplifier based on novel pump source. (a) Output power and optical-to-optical efficiency; (b) output spectra; (c) beam quality at highest output power

王小林\*, 杨保来, 王鹏, 奚小明\*\*, 张汉伟\*\*\*

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073

\*E-mail: chinaphotonics@163.com; \*\*E-mail: exixiaoming@163.com; \*\*\*E-mail: zhanghanwei100@163.com

收稿日期: 2021-01-23; 修回日期: 2021-02-01; 录用日期: 2021-02-22