

# 中国激光

## 4.45 kW 窄线宽线偏振近单模全光纤激光器

高功率窄线宽光纤激光器在相干合成、光谱合成以及非线性频率变换等领域具有重要作用,近年来受到了研究人员的广泛关注。在非保偏窄线宽光纤激光研究方面,中国工程物理研究院激光聚变中心实现了 5.07 kW、0.37 nm 窄线宽输出(2021 年),国防科技大学实现了 6 kW、0.8 nm 窄线宽输出(2022 年)。然而,不同于非保偏光纤激光器,窄线宽保偏激光器由于非线性效应的偏振依赖特性,非线性阈值更低,要实现高功率输出更为困难。2018 年,美国 IPG 公司实现了 2 kW 线偏振激光输出,线宽为 22 GHz(0.083 nm)。2020 年,中国工程物理研究院应用电子学研究所实现了 2.62 kW 线偏振激光输出,线宽为 30 GHz(0.11 nm)。2021 年,该研究所进一步实现了 3.6 kW 线偏振全光纤激光输出,线宽为 23 GHz(0.086 nm)。2022 年,国防科技大学报道了 3.96 kW 窄线宽线偏振激光器,线宽为 0.62 nm。

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全光纤主振荡功率放大(MOPA)结构实现了 4.45 kW 窄线宽近单模高消光比线偏振输出。实验系统结构如图 1 所示,单频相位调制种子源经多级预放大后通过保偏隔离器(PM-ISO)及耦合器(PM-FC),之后经模场适配(PM-MFA)后耦合至主放大器系统。主放大器泵浦源为 976 nm 半导体激光器(LD),泵浦光通过后向泵浦方

式耦合至大模场保偏掺镱有源光纤(PM-YDF,模场面积约为  $250 \mu\text{m}^2$ )中,保偏包层功率剥离器(PM-CPS)用于去除包层中剩余的泵浦光/激光成分,放大后的激光通过端帽准直输出。基于该结构,中国工程物理研究院应用电子学研究所通过优化单频种子相位调制参数,对光谱特性进行调控,提升了受激布里渊散射(SBS)阈值。同时,通过优化主放大器系统结构,有效抑制了横模不稳定(MI)效应,最终实现了 4.45 kW 窄线宽线偏振近单模全光纤激光输出(3 dB 线宽为 0.08 nm)。图 2(a)显示了保偏光纤放大器回光功率及输出功率随激光功率的变化,从图中可以看出:最大功率下的偏振消光比(PER)为 17.7 dB(98.3%);最大激光功率下的回光功率约为 0.2 W,不到激光功率的 0.1%,这意味着该放大器尚未达到 SBS 阈值。图 2(b)显示了最大激光功率下的输出光谱,从图中可以看出受激拉曼散射(SRS)效应得到了很好的抑制,激光 SRS 峰值信噪比达到了 67 dB。图 2(b)中的插图显示了放大器在最大功率下的光束质量特性,可以看出该功率下的光束质量接近衍射极限, $x$  和  $y$  方向的  $M^2$  因子分别为 1.28 和 1.25( $4\sigma$  法)。目前,该窄线宽保偏光纤激光器功率的继续提升主要受限于泵浦功率。下一步本团队将继续对保偏激光器系统结构进行优化升级,以实现更高功率的高性能窄线宽线偏振光纤激光输出。

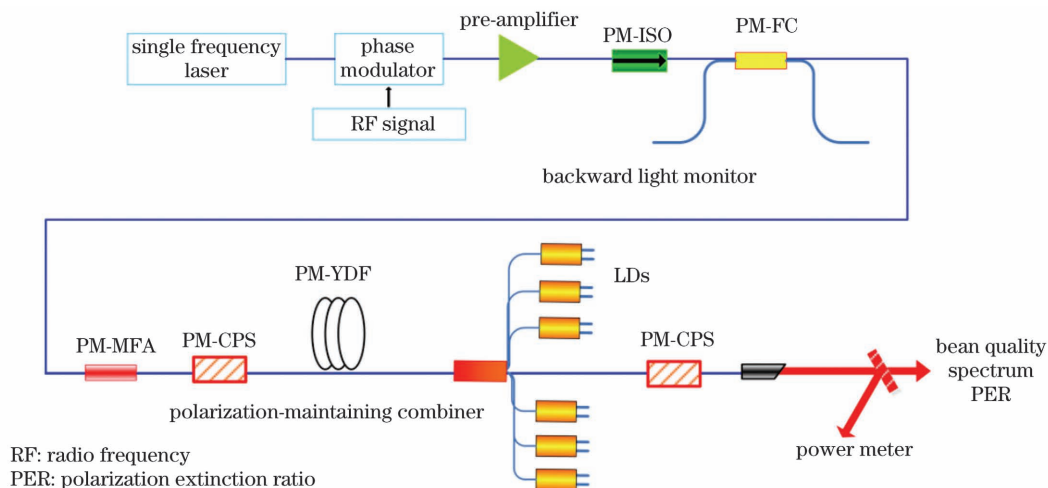


图 1 实验系统结构

Fig. 1 Experimental system structure

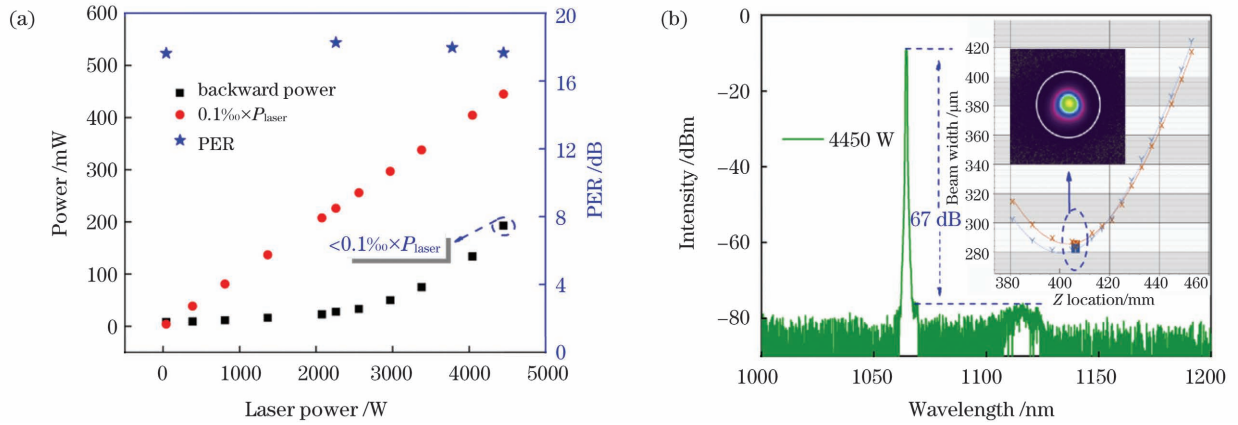


图 2 输出特性。(a) 回光功率及偏振消光比随激光功率的变化；(b) 最大功率下的输出光谱，插图为最大输出功率下的光束质量特性

Fig. 2 Output characteristics. (a) Backward power and polarization extinction ratio (PER) varied with output laser power; (b) output spectrum at the maximum laser power, where the illustration shows beam quality at the maximum laser power

王岩山<sup>1,2</sup>, 彭万敬<sup>1,2</sup>, 王珏<sup>1,2</sup>, 杨小波<sup>1,2</sup>, 孙殷宏<sup>1,2\*</sup>, 冯昱骏<sup>1,2\*\*</sup>,

王尧<sup>1,2</sup>, 李腾龙<sup>1,2</sup>, 马毅<sup>1,2</sup>, 高清松<sup>1,2</sup>, 唐淳<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900;

<sup>2</sup>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

通信作者: \*sunyinhong@caep.cn; \*\*fabius769@163.com

基金项目: 中物院创新发展基金(C-2021-CX20210047)

收稿日期: 2022-06-06; 修回日期: 2022-06-29; 录用日期: 2022-07-10