



·强激光物理与技术·研究快报·

自研 20 μm /400 μm 保偏光纤基于振荡器种子实现 4 kW 突破*

廖世彪, 罗涛, 肖润珩, 程俊杰, 舒畅, 李海清,
邢颖滨, 戴能利, 李进延

(华中科技大学 武汉光电国家研究中心, 武汉 430074)

摘要: 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转换等领域发挥了重要的作用,吸引了大量国内外研究人员的广泛关注。近年来,华中科技大学武汉光电国家研究中心光纤激光技术团队持续进行优秀的国产化高功率窄线宽线偏振光纤激光技术的研究工作,2022年,课题组采用基于振荡器的种子源加自研的保偏掺镱光纤先后实现单正向 1.2 kW 和单反向 3.2 kW 的线偏振窄线宽光纤激光输出。近期,课题组进一步优化保偏掺镱光纤的掺杂组分,并改良振荡器种子源设计来抑制窄线宽保偏放大过程中的 TMI 和受激布里渊散射(SBS)效应,最终实现了输出功率 4.1 kW 的窄线宽线偏振全光纤激光输出。

关键词: 掺镱保偏光纤;高功率窄线宽线偏振光纤放大器;振荡器种子源

中图分类号: TN248

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202335.230258

Breakthrough of 4 kW narrow linewidth linearly polarized laser based on a fiber oscillator laser and a homemade Yb-doped fiber

Liao Shibiao, Luo Tao, Xiao Runheng, Cheng Junjie, Shu Chang, Li Haiqing,
Xing Yingbin, Dai Nengli, Li Jinyan

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: High-power narrow linewidth fiber lasers have played an important role in the fields of coherent synthesis, spectral synthesis, and nonlinear frequency conversion, attracting extensive attention from domestic and foreign researchers. In recent years, the fiber laser technology group (FLTG) of Wuhan National Laboratory for Optoelectronics (WNLO) at Huazhong University of Science and Technology has been conducting excellent research on domestically manufactured high-power narrow-linewidth linearly polarized fiber laser technology. In 2022, the research team achieved a 1.2 kW narrow linewidth linearly polarized fiber laser output based on a forward-pumping structure and a 3.2 kW narrow linewidth linearly polarized fiber laser output based on a counter-pumping structure, respectively, adopting a fiber oscillator laser (FOL) seed and the homemade polarization-maintaining Yb-doped fibers (PMYDF). Recently, the research team achieved a 4.1 kW narrow linewidth linearly polarized fiber laser output by applying the combination of an optimizing doped component PMYDF and an improved FOL seed for suppressing the TMI and stimulated Brillouin scattering (SBS) effects during the power scaling.

Key words: polarization maintaining Yb-doped fiber, high power narrow linewidth linearly polarized fiber amplifier, fiber oscillator laser seed

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转换等领域发挥了重要的作用,吸引了大量国内外研究人员的广泛关注。目前,在非保偏窄线宽光纤激光器的研究领域,国内相关研究人员取得了较多优异的研究成果,例如:2022年,中国工程物理研究院激光聚变中心团队实现了 5.07 kW、0.37 nm,光束质量 $M_x^2=1.252$ 、

* 收稿日期:2023-08-10; 修订日期:2023-08-20

基金项目:国家自然科学基金项目(61975061,61735007)

联系方式:廖世彪, d202080955@hust.edu.cn.

通信作者:李进延, ljy@mail.hust.edu.cn.

$M_y^2=1.322$ 的激光光束输出^[1]; 2022年, 国防科技大学团队实现了 6 kW、0.78 nm 的近单模输出^[2]; 2023年, 国防科技大学团队再次突破功率输出, 实现了 7.03 kW、0.76 nm 的近单模输出^[3]。同时, 在保偏窄线宽光纤激光器研究领域, 由于非线性效应对于偏振的依赖特性, 其非线性阈值较非保偏激光系统会更低, 要实现高功率输出更为困难, 因此保偏窄线宽光纤激光器的输出功率较非保偏低。2018年, 美国 IPG 公司实现了 2 kW 的线偏振激光输出, 线宽为 0.083 nm^[4]。2022年, 中国工程物理研究院应用电子学研究所通过优化调节的相位调制系统先后报道了 4.45 kW 和 5 kW 级近衍射极限的窄线宽线偏振光纤激光输出^[5-6]。同年, 国防科技大学通过优化模式不稳定(TMI)抑制技术, 也先后实现了 4 kW 和 4.5 kW 的窄线宽线偏振光纤激光输出^[7-8]。近年来, 华中科技大学武汉光电国家研究中心光纤激光技术团队持续进行优秀的国产化高功率窄线宽线偏振光纤激光技术的研究工作, 2022年, 课题组采用基于振荡器的种子源加自研的保偏掺镱光纤先后实现单正向 1.2 kW 和单反向 3.2 kW 的线偏振窄线宽光纤激光输出^[9-10]。

近期, 课题组进一步优化保偏掺镱光纤的掺杂组分, 并改良振荡器种子源设计来抑制窄线宽保偏放大过程中的 TMI 和受激布里渊散射(SBS)效应, 最终实现了输出功率 4.1 kW 的窄线宽线偏振全光纤激光输出。系统结构如图 1 所示。种子源(seed)由基于振荡器结构的窄线宽线偏振激光经 200 m 长的无源保偏光纤光谱展宽后产生, 其 3 dB 线宽约为 0.09 nm; 窄线宽线偏振种子经过保偏隔离器(PM-ISO)、保偏模场适配器(PM-MFA)和保偏包层光滤除器(PM-CPS)后注入到自制的 20 $\mu\text{m}/400 \mu\text{m}$ 掺镱保偏光纤(PMYDF)中, 其中 PM-ISO 可以将放大过程中的后向回光导出, 达到同时保护种子和观测 SBS 效应的作用。中心波长为 976 nm 的半导体激光器(LDs)通过(6+1) \times 1 泵浦信号合束器注入 PMYDF, 实现功率放大, 其长度约为 11 m, 它通过弯曲增加高阶模相对损耗与反向泵浦相结合的方式抑制 TMI 效应。包层激光通过 PM-CPS 滤除, 放大的激光由保偏准直器(collimator)输出。

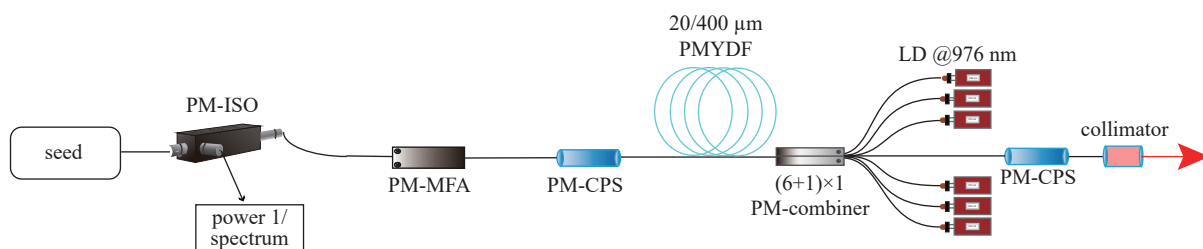


Fig. 1 Experimental setup

图 1 实验装置结构图

图 2(a) 为输出功率和回光功率随着泵浦光功率变化的增长曲线, 当泵浦光功率 5.15 kW 时, 激光输出功率达到 4.1 kW, 系统整体的线性拟合效率为 79.5%; 此时回光功率仅为 400 mW, SBS 效应被有效抑制。图 2(b) 为输出激光的偏振消光比(PER)随着功率增长的变化曲线, 可以看到, PER 在功率放大过程中基本保持稳定, 一直维持在 15 dB 以上。图 2(c) 为最高输出功率时的光谱特性, 受激拉曼散射(SRS)信噪比大于 26 dB。

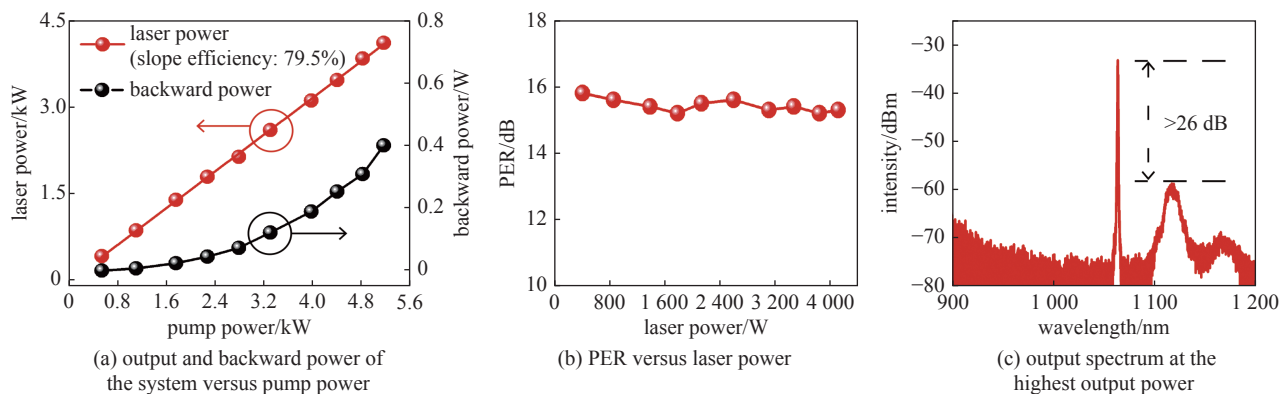


Fig. 2 Typical experimental results

图 2 典型实验结果

下一步, 将继续进行国产化保偏增益光纤掺杂组分的优化, 以更加有效抑制 SBS、SRS、TMI 等效应, 实现国产化更高功率的窄线宽线偏振光纤激光输出。

参考文献:

- [1] Huang Zhimeng, Shu Qiang, Tao Rumao, et al. >5kW record high power narrow linewidth laser from traditional step-index monolithic fiber amplifier[J]. [IEEE Photonics Technology Letters](#), 2021, 33(21): 1181-1184.
- [2] 马鹏飞, 宋家鑫, 王广建, 等. 高功率窄线宽光纤激光突破6 kW级近单模输出[J]. 中国激光, 2022, 49: 0916002. (Ma Pengfei, Song Jiaxin, Wang Guangjian, et al. High-power narrow linewidth fiber laser breaks through 6 kW level near single mode output[J]. Chinese Journal of Lasers, 2022, 49: 0916002)
- [3] Ma Pengfei, Yao Tianfu, Chen Yisha, et al. New progress of high-power narrow-linewidth fiber lasers[C]//Proceedings of SPIE 12310, Advanced Lasers, High-Power Lasers, and Applications XIII. 2022: 123100E.
- [4] PlatonovN, YagodkinR, De La CruzJ, et al. Up to 2.5-kW on non-PM fiber and 2.0-kW linear polarized on PM fiber narrow linewidth CW diffraction-limited fiber amplifiers in all-fiber format[C]//Proceedings of SPIE 10512, Fiber Lasers XV: Technology and Systems. 2018: 105120E.
- [5] 王岩山, 彭万敬, 王珏, 等. 4.45 kW窄线宽线偏振近单模全光纤激光器[J]. 中国激光, 2022, 49: 1816003. (Wang Yanshan, Peng Wanjing, Wang Yu, et al. 4.45 kW narrow linewidth linear polarization near single mode all fiber laser[J]. Chinese Journal of Lasers, 2022, 49: 1816003)
- [6] 王岩山, 冯昱骏, 彭万敬, 等. 近衍射极限高消光比窄线宽保偏光纤激光输出功率突破5 kW[J]. [强激光与粒子束](#), 2022, 34: 112002-6. (Wang Yanshan, Feng Yujun, Peng Wan Jing, et al. 5 kW near diffraction limit high extinction ratio narrow linewidth polarization maintaining fiber laser[J]. [High Power Laser and Particle Beams](#), 2022, 34: 112002-6)
- [7] Ren Shuai, Ma Pengfei, Li Wei, et al. 3.96 kW all-fiberized linearly polarized and narrow linewidth fiber laser with near-diffraction-limited beam quality[J]. [Nanomaterials](#), 2022, 12: 2541.
- [8] 任帅, 马鹏飞, 陈益沙, 等. 国产保偏光纤实现5 kW级窄线宽激光输出[J]. [红外与激光工程](#), 2023, 52: 20220900. (Ren Shuai, Ma Pengfei, Chen Yisha, et al. 5 kW-level narrow linewidth fiber laser output realized by homemade polarization-maintained fiber[J]. [Infrared and Laser Engineering](#), 2023, 52: 20220900)
- [9] Liao Shibiao, Xiao Runheng, Luo Tao, et al. kW-level, narrow-linewidth linearly polarized all-fiber amplifier based on homemade Yb-doped aluminosilicate polarization-maintaining fiber[J]. [Optical Fiber Technology](#), 2023, 75: 103163.
- [10] Liao Shibiao, Luo Tao, Xiao Runheng, et al. 3.2 kW, 0.22 nm narrow-linewidth MOPA configuration fiber laser with a homemade polarization-maintaining Yb-doped fiber[J]. [Frontiers in Physics](#), 2023, 11: 1134745.