

# 窄线宽光纤激光器在 1 030 nm 波段实现 3 kW 近衍射极限输出\*

楚秋慧, 舒 强, 林宏奂, 陶汝茂, 颜冬林, 王建军, 景 峰

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 基于大模场面积掺镱光纤搭建了全光纤 1 030 nm 高功率窄线宽光纤激光主振荡功率放大系统, 实现了 3 004 W 的最高功率输出, 斜率效率 69.27%, 是目前报道的输出功率最高的 1 030 nm 波段近衍射极限光纤激光器。最高输出功率时,  $x, y$  方向的光束质量因子分别为 1.169, 1.174, 3 dB 光谱宽度为 0.18 nm, 放大自发辐射抑制比达到 37 dB。

**关键词:** 窄线宽激光器; 掺镱激光器; 单模激光器; 放大自发辐射

中图分类号: O439

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202032.190463

## All-fiber narrow linewidth fiber laser achieved 3 kW near diffraction limited output at 1 030 nm

Chu Qiuhui, Shu Qiang, Lin Honghuan, Tao Rumao, Yan Donglin, Wang Jianjun, Jing Feng

(Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 919-988, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** In this paper, we demonstrate an all-fiber high-power Yb-doped 1 030 nm fiber laser based on master oscillator power amplifier structure. The record output power at 1 030 nm up to 3 004 W was achieved, along with a slope efficiency of 69.27%, which is the highest output power for 1030 nm near diffraction limited beam quality fiber laser. The beam quality factor is  $M_x^2 = 1.169$ ,  $M_y^2 = 1.174$ , and full width at half maximum is 0.18 nm at maximum power level. The amplified spontaneous emission (ASE) suppression ratio reaches up to 37 dB.

**Key words:** narrow linewidth fiber laser; ytterbium doped fiber laser; single mode fiber laser; amplified spontaneous emission

光谱合成技术是目前提升光纤激光器输出功率的有效方式, 发展 1 030 nm 波段的窄线宽光纤激光器可以拓宽光谱合成的光谱范围, 增加合成子束的数量, 从而提升光谱合成的输出功率<sup>[1]</sup>。1 030 nm 波段的光纤激光器可以用于频率变换, 实现 515 nm 波段的可见光输出; 1 030 nm 波段光纤激光器还可以作为激光雷达的光源<sup>[2]</sup>; 另外 1 030 nm 波段光纤激光器还被应用于医学领域。相较于掺镱光纤的传统波段(1 060~1 080 nm), 1 030 nm 波段的发射截面比较大, 可以有效抑制模式不稳定效应<sup>[3]</sup>, 但是掺镱光纤对 1 030 nm 波段激光的吸收较强, 使 1 030 nm 的激光很容易被光纤重吸收, 使激光器产生放大自发辐射(ASE)效应<sup>[4]</sup>, 限制了 1 030 nm 波段激光器的输出功率提升<sup>[5]</sup>。因此, 虽然传统波段光纤激光器的输出功率已经达到数 kW 甚至万 W 输出<sup>[6-7]</sup>, 但是 1 030 nm 波段光纤激光器由于受 ASE 的影响输出功率依然被限制在 2.2 kW 以内<sup>[8-9]</sup>。

最近, 基于光谱操控、放大级系统参数优化和模式控制等关键技术, 搭建了 1 030 nm 窄线宽光纤激光系统, 大幅提升了 1 030 nm 波段的近衍射极限输出水平, 最终得到了 3 kW 激光输出。图 1(a)为光纤激光器中放大级的输出功率曲线, 在激光器的放大过程中, 随着泵浦功率的增长, 信号激光功率线性增加。当放大器泵浦功率为 4 315 W 时, 激光输出功率达到 3 004 W, 斜率效率约为 69.27%, 回光功率约为 2 W, 进一步的功率提升受限于泵浦功率。图 1(b)为光纤激光器在不同输出功率下的输出光谱(分辨率 0.02 nm)。从输出光谱上看, 激光器的 ASE 成分随着输出功

\* 收稿日期: 2019-11-25; 修订日期: 2019-12-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB1104401)

作者简介: 楚秋慧(1992—), 女, 博士, 主要从事高功率光纤激光技术研究; [chuqiuhui@163.com](mailto:chuqiuhui@163.com)。

通信作者: 颜冬林(1990—), 男, 博士, 主要从事高功率光纤激光技术研究; [ydlly10000@live.com](mailto:ydlly10000@live.com)。

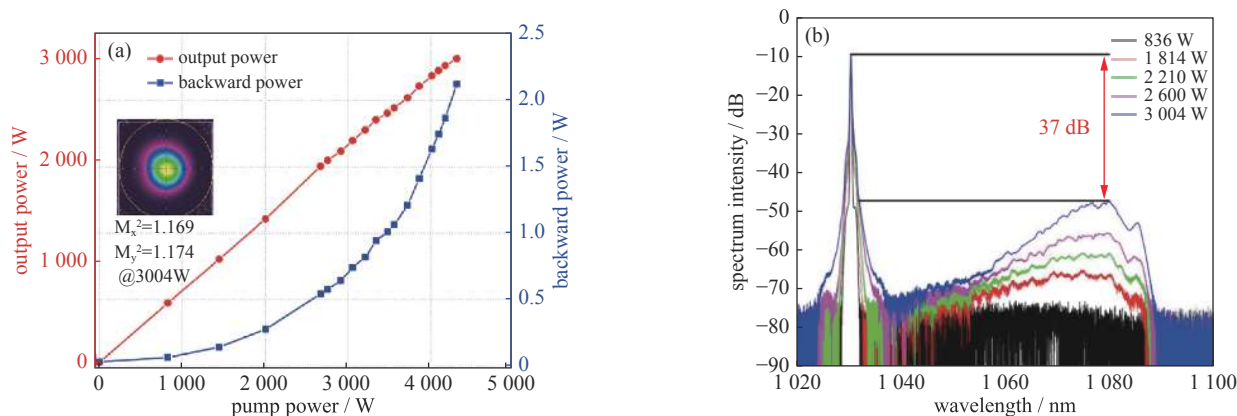


Fig. 1 Output of fiber laser and (a) output power of amplifier stage, (b) Spectra of various output power

图 1 (a) 光纤激光器中放大级的功率输出曲线和 (b) 不同输出功率下的输出光谱

率的增加不断增多, 在 3 004 W 输出时, ASE 的抑制比达 37 dB, 输出光中 ASE 的功率占比为 0.75%, 表明放大器的 ASE 得到了较好的抑制, 还有进一步功率提升的空间。

图 2 为光纤激光器在不同输出功率下的光束质量。在输出功率不断增加过程中, 光纤激光器保持接近衍射极限的光束质量, 没有发生模式不稳定效应。在 3 004 W 输出功率下, 光束质量为  $M_x^2 = 1.169$ ,  $M_y^2 = 1.174$ 。

本文所实现的 3 kW 级 1 030 nm 窄线宽单模光纤激光器是目前文献报道的最高功率水平。进一步减小 1 030 nm 波段光纤激光器的光谱线宽, 提升输出功率, 是本课题组下一步工作的一项重要研究内容。

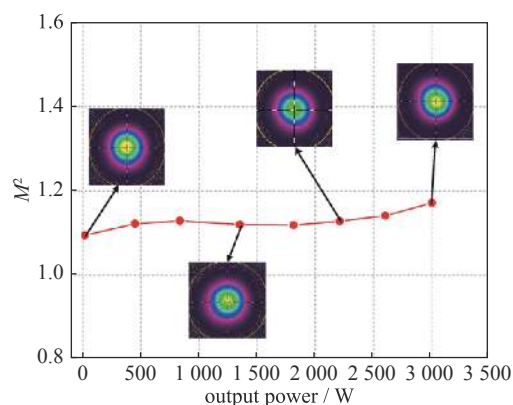


Fig. 2 Beam quality varies with output power for the 1030 nm narrow linewidth fiber laser

图 2 1 030 nm 窄线宽光纤激光器不同输出功率下的光束质量

#### 参考文献:

- [1] 周翠云, 刘源, 杜松涛, 等. 1 030 nm 高重复频率纳秒脉冲全光纤放大器[J]. 中国激光, 2011, 38: 0802010. (Zhou Cuiyun, Liu Yuan, Du Songtao, et al. 1 030 nm high repetition rate nanosecond pulse all fiber amplifier[J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 38: 0802010)
- [2] Tao R M, Ma P F, Wang X L, et al. Study of wavelength dependence of mode instability based on a semi-analytical model[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2015, 51(8): 1-6.
- [3] 孙殷宏, 柯伟伟, 冯昱骏, 等. 1 030 nm 千瓦级掺镱光纤窄线宽激光放大器[J]. 中国激光, 2016, 43: 0601003. (Sun Yinhong, Ke Weiwei, Feng Yujun, et al. 1 030 nm kilowatt-level ytterbium-doped narrow linewidth fiber amplifier[J]. Chinese Journal of Lasers, 2016, 43: 0601003)
- [4] Naderi A N, Dajani I, Flores A. High-efficiency, kilowatt 1 034 nm all-fiber amplifier operating at 11 pm linewidth[J]. Optics Letters, 2016, 41(5): 1018-1021.
- [5] Stiles E. New developments in IPG fiber laser technology[C]//5th International Workshop on Fiber Lasers. 2009.
- [6] Tao R M, Wang X L, Zhou P, et al. Comprehensive theoretical study of mode instability in high power fiber lasers by employing a universal model and its implications[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2018, 24: 0903319.
- [7] Zhou P, Xiao H, Leng J Y, et al. High-power fiber lasers based on tandem pumping[J]. Journal of the Optical Society of America B, 2017, 34(3): A29.
- [8] Huang Y, Edgecumbe J, Ding J, et al. Performance of kW class fiber amplifiers spanning a broad range of wavelengths: 1 028-1 100 nm[C]//Fiber Lasers XI: Technology, Systems, and Applications. 2014.
- [9] Yagodkin R, Platonov N, Yusim A, et al. >1.5 kW narrow linewidth CW diffraction-limited fiber amplifier with 40 nm bandwidth[C]//Fiber Lasers XIII: Technology, Systems, and Applications. 2016.