

# 基于简单 MOPA 结构实现 3.08 kW 全光纤 窄线宽线偏振激光输出\*

王岩山<sup>1,2,3</sup>, 王 珏<sup>1,2</sup>, 常 哲<sup>1,2,3</sup>, 彭万敬<sup>1,2</sup>, 孙殷宏<sup>1,2</sup>,  
马 毅<sup>1,2</sup>, 高清松<sup>1,2</sup>, 张 凯<sup>1,2</sup>, 唐 淳<sup>1,2</sup>

(1. 中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900;

2. 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;

3. 中国工程物理研究院 研究生部, 北京 100088)

**摘 要:** 基于简单的主振荡功率放大结构, 演示了一种高功率窄线宽线性偏振全光纤激光器, 其最大输出功率为 3.08 kW, 3 dB 线宽为 0.2 nm。在整个功率缩放过程中, 偏振消光比约为 94%, 光束质量  $M^2$  约为 1.4。这是国内外首次实现 3 kW 全保偏光纤激光输出, 与基于相位调制的窄线宽激光器相比, 该激光器可实现近似的线宽, 同时具有受激布里渊散射阈值高、系统结构简单、成本低等特点。

**关键词:** 全光纤激光器; 主振荡功率放大; 窄线宽; 线偏振

中图分类号: TN248; O439

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202032.200004

## Output of 3.08 kW narrow linewidth linearly polarized all-fiber laser based on a simple MOPA structure

Wang Yanshan<sup>1,2,3</sup>, Wang Jue<sup>1,2</sup>, Chang Zhe<sup>1,2,3</sup>, Peng Wanjing<sup>1,2</sup>, Sun Yinong<sup>1,2</sup>,  
Ma Yi<sup>1,2</sup>, Gao Qingsong<sup>1,2</sup>, Zhang Kai<sup>1,2</sup>, Tang Chun<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Applied Electronics, CAEP, Mianyang 621900, China;

2. The Key Laboratory of Science and Technology on High Energy Laser, CAEP, Mianyang 621900, China;

3. Graduate School of CAEP, Beijing 100088, China)

**Abstract:** We demonstrated a narrow linewidth linearly polarized all-fiber laser operating at maximum output power of 3.08 kW with a 3 dB linewidth of 0.2 nm based on a simple master oscillator power amplifier (MOPA) structure. The polarization extinction ratio (PER) is about 94% and the  $M^2$  is about 1.4 along the whole power scaling process. This is the first demonstration of a 3 kW linearly polarized all-fiber laser output. Compared with the narrow linewidth fiber amplifier based on phase modulation, this system can achieve a nearly same linewidth. Meanwhile, it has the characteristics of high stimulated Brillouin scattering (SBS) threshold, simple structure, and low cost, etc.

**Key words:** all-fiber laser; master oscillator power amplifier; narrow linewidth; linear polarization

高功率窄线宽线偏振光纤激光器在非线性和频率转换, 光谱合成及相干合成等领域有着重要的作用。但是, 非线性效应(NLE), 如受激布里渊散射(SBS)<sup>[1]</sup>、四波混频(FWM)<sup>[2]</sup>、模式不稳定性(MI)<sup>[3]</sup>等限制了其功率缩放。此外, 由于较高的布里渊增益和泵浦吸收系数, 保偏光纤激光器中的 NLE 和 MI 抑制更具挑战性。到目前为止, 全光纤窄线宽非保偏光纤激光器(基于白噪声(WNS)相位调制)的输出功率已达到 3.7 kW, 线宽为 0.3 nm<sup>[4]</sup>。但是, 全光纤窄线宽保偏光纤激光器的输出功率仍小于 3 kW。2017 年, 国防科技大学基于 WNS 相位调制技术实现了 2.43 kW 的全光纤窄线宽线偏振激光输出, 线宽为 0.255 nm<sup>[5]</sup>。2018 年, IPG 公司基于相位调制技术实现了 2 kW, 30 GHz (0.11 nm) 保偏窄线宽激光输出, 但功率继续提升受限于 MI 效应<sup>[6]</sup>。2019 年, 中国工程物理研究院应用电子学研究

\* 收稿日期: 2019-11-22; 修订日期: 2019-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(61605191); 中国工程物理研究院院长基金项目(YZJLX2016011)

作者简介: 王岩山(1985—), 男, 硕士, 主要从事高功率光纤激光技术研究; wangyanshande@163.com;

孙殷宏(1983—), 男, 博士, 主要从事光纤激光技术研究; sunyinhong@caep.cn;

马 毅(1977—), 男, 硕士, 主要从事光纤激光及固体激光技术研究; rufinecn@163.com。

所采用 WNS 相位调制实现了 2.62 kW 全光纤窄线宽线偏振激光输出, 线宽 0.12 nm, 功率继续提升受限于 MI 效应<sup>[7]</sup>。可以看出一方面窄线宽保偏激光器相对于非保偏光纤激光器更难实现高功率输出; 另一方面, 目前高功率窄线宽光纤激光器多基于相位调制种子放大结构, 该方案有诸多优点, 如种子激光在放大过程中线宽保持不变、受激拉曼散射 (SRS) 阈值高等, 但多级放大结构及一套复杂的电调制器件导致其系统非常复杂。

近期中国工程物理研究院应用电子学研究所基于一个简单的主振荡功率放大 (MOPA) 结构实现了 3 kW 高功率线偏振全光纤激光输出。其实验结构如图 1 所示, 种子源采用一对光纤光栅 (FBG) 作为谐振腔, 并采用短腔长来抑制光谱展宽效应进而实现窄线宽输出<sup>[2, 8]</sup>; 放大器采用双向泵浦以抑制 MI 效应。

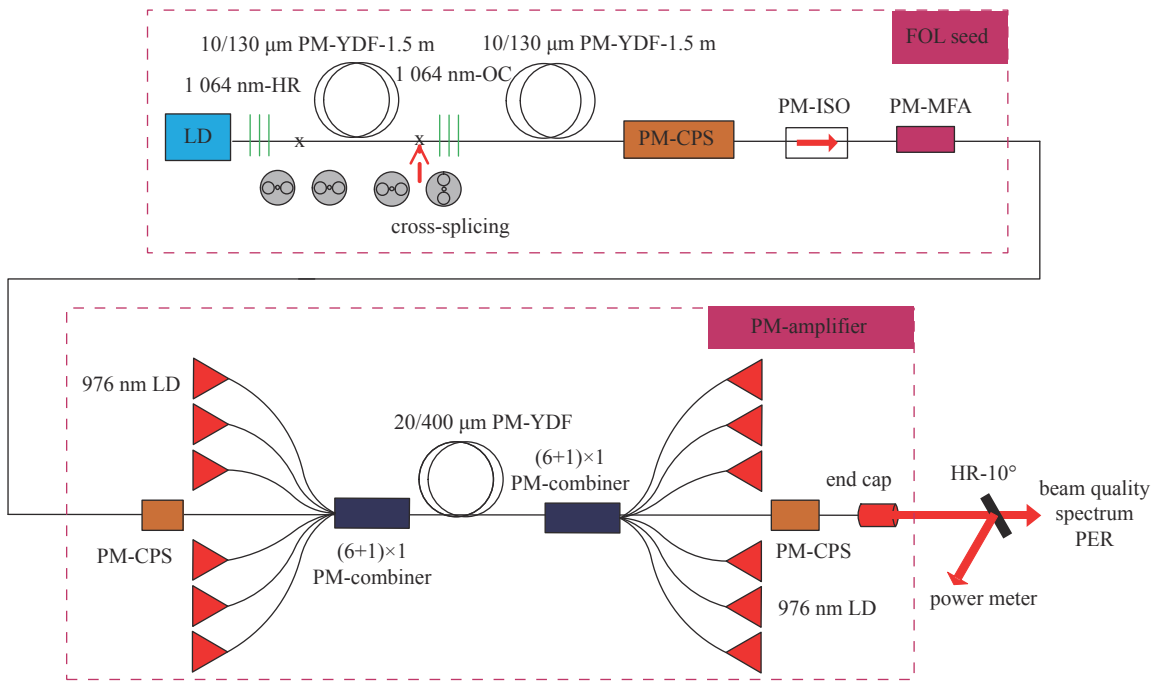


Fig. 1 Experimental setup  
图 1 实验结构

基于此, 我们采用前向泵浦实现了 1.05 kW, 0.124 nm; 采用后向泵浦实现了 2.05 kW, 0.115 nm; 采用双向实现了 3.08 kW, 0.2 nm 的窄线宽线偏振光纤激光器输出, 不同泵浦方式下测量的光谱如图 2 所示。图 3 显示了在最大输出功率下的 SRS 光谱, 结果表明, 激光与 SRS 峰峰强度比为 20 dB。这表明, SRS 效应将是该保偏窄线宽光纤放大器功率进一步缩放的重要限制。光束质量  $M^2$  因子及偏振消光比 (PER) 随激光功率的变化关系如图 4 所示, 功率缩放过程中,  $M^2$  和 PER 基本保持不变,  $M^2$  约为 1.4, PER 约为 94%。目前为止, 这是国内外首次实现了 3 kW 全保偏窄线宽光纤激光输出。进一步优化种子源及放大器结构以实现具有高 SRS 阈值的窄线宽线偏振激光输出将是我们下一步工作的重要部分。

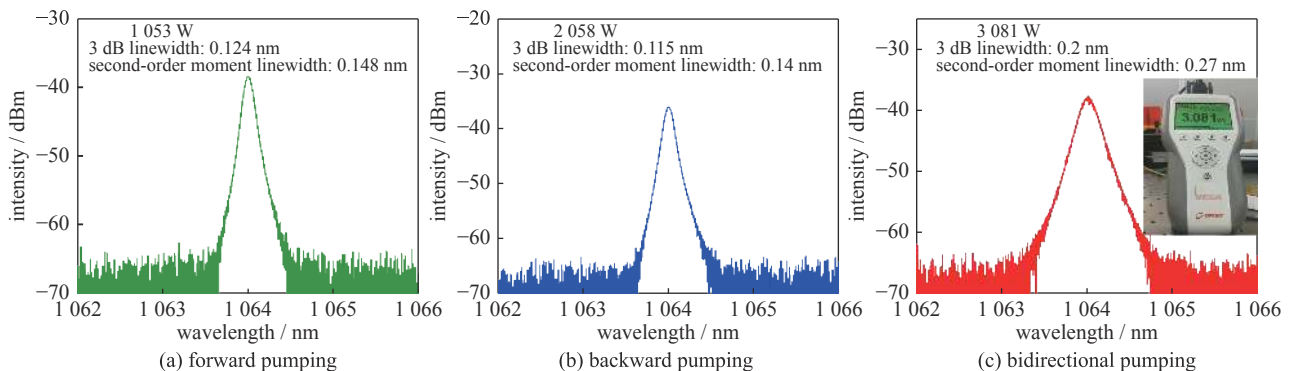


Fig. 2 Measured spectra of the amplifier in cases of (a) forward pumping, (b) backword counter pumping, (c) bidirectional bi-pumping  
图 2 放大器分别在前向、后向、双向泵浦情况下测量的光谱图

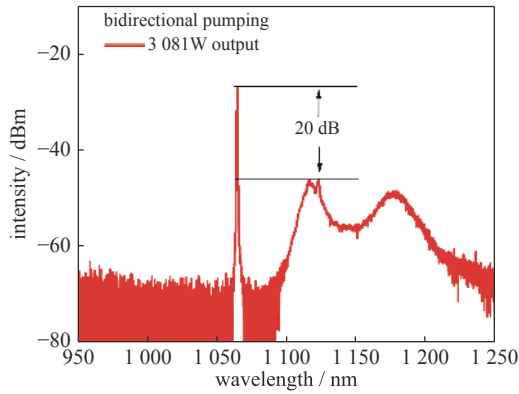


Fig. 3 SRS spectrum at the maximum laser power  
图 3 最大激光功率时的拉曼光谱

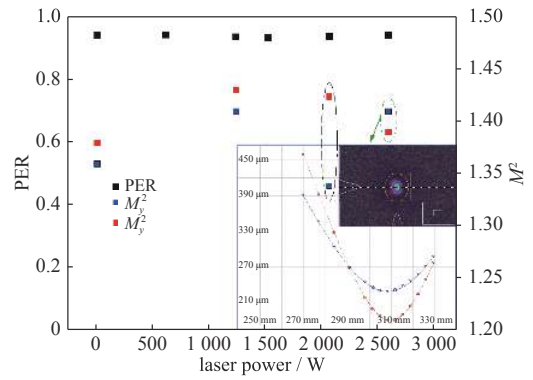


Fig. 4 Polarization extinction ratio and  $M^2$  vs laser power  
图 4 偏振消光比及光束质量随激光功率的变化关系

参考文献：

[1] Anderson B, Flores A, Holten R, et al. Beam combining and SBS suppression in white noise and pseudo-random modulated amplifiers[C]//Proc of SPIE. 2015: 93441U.

[2] Wang Y, Peng W, Sun Y, et al. Effect of the number of longitudinal modes on spectral broadening in a high power fiber amplifier[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2018, 30(12): 1107-1110.

[3] Tao R, Wang X, Zhou P. Comprehensive theoretical study of mode instability in high power fiber lasers by employing a universal model and its implications[J]. *IEEE J Sel Top Quantum Electron*, 2018, 24: 0903319.

[4] Lin H, Tao R, Li C, et al. 3.7 kW monolithic narrow linewidth single mode fiber laser through simultaneously suppressing nonlinear effects and mode instability[J]. *Opt Express*, 2019, 27(7): 9716-9724.

[5] Su R, Tao R, Wang X, et al. 2.43 kW narrow linewidth linearly polarized all-fiber amplifier based on mode instability suppression[J]. *Laser Phys Lett*, 2017, 14: 085102.

[6] Platonov N, Yagodkin R, Cruz J, 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]//Proc of SPIE. 2018: 105120E.

[7] 王岩山, 马毅, 孙殷宏, 等. 2.62 kW, 30 GHz窄线宽线偏振近衍射极限全光纤激光器[J]. *中国激光*, 2019, 46: 1215001. (Wang Yanshan, Ma Yi, Sun Yinhong, et al. 2.62 kW, 30 GHz linearly polarized all-fiber laser with narrow linewidth and near-diffraction-limit beam quality[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2019, 46: 1215001)

[8] Wang Y, Ma Y, Peng W, et al. 2.4 kW, narrow-linewidth, near-diffraction-limited all-fiber laser based on a one-stage master oscillator power amplifier[J]. *Laser Phys Lett*, 2020, 17: 015102.