

文章编号: 1001-4322(2011)12-3317-04

全光纤结构高功率主振荡功率放大型 单频光纤激光器^{*}

穆进峰, 许将明, 肖 虎, 殷 科, 周 朴

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院, 长沙 410073)

摘 要: 研制了一台全光纤结构主振荡功率放大型掺镱单频光纤激光器。该光纤激光器包括种子激光器和级联放大器两部分。种子激光器是自行搭建的环形腔结构的单频窄线宽光纤激光器。在 976 nm 半导体激光器泵浦下,能够输出线宽为 10 MHz 量级、波长为 1 079.88 nm 的单频光,激光功率为 10.02 W,光-光转化效率为 58.9%,斜率效率为 65.3%。

关键词: 光纤激光器; 单频; 级联放大; 环形腔

中图分类号: TN248 **文献标志码:** A **doi:**10.3788/HPLPB20112312.3317

单频光纤激光器以其转换效率高、散热效果好、调谐范围宽、耦合效率高、噪声小、线宽窄、相干长度长、易于集成等优点,能够广泛地应用于非线性过程、量子光学、量子信息、冷原子物理、光学测量等领域^[1]。稳定的单频激光输出的关键是要采取有效措施消除谐振腔中存在的多模振荡,并抑制跳模效应。目前,有几类常见技术方法可以获取性能较好的单频窄线宽光纤激光^[2-5]:一是通过控制腔内相遇两光波的偏振状态来消除驻波引起的空间烧孔,从而抑制多模振荡;二是在腔内采用高精度度的光纤布格光栅作为选频元件,经过窄带滤波而实现单频激光输出;三是采用超短腔法来增大腔内纵模间隔,获取单纵模振荡;四是在腔外加入光纤光栅法布里-珀罗(FBG F-P)标准具选模,达到单频运转;五是在激光谐振腔中加入未泵浦的掺杂光纤作为饱和吸收体,使之在激光振荡中形成动态光栅进行选频,并有效地抑制跳模效应;六是采用布里渊增益谱线宽压缩或外腔注入混频干涉,形成光致折射率光栅与增益光栅选模,从而对光谱线宽进行压缩获得单频窄线宽激光输出。本文采用经济的非全保偏环形腔结构,通过控制腔内相遇两光波的偏振态和加入可饱和吸收体的方法,利用高反射率的光纤光栅作为选频元件,自行搭建了一种高效、稳定的单频窄带宽掺镱光纤种子激光器,其中可饱和吸收体光窄带滤波器的使用有力地压缩了线宽。

1 实验设计

自行搭建的高功率主振荡功率放大(MOPA)型光纤激光器的种子激光器结构如图 1 所示,实验装置采用环形腔结构^[6-9],谐振腔由两段不同掺杂浓度的掺镱光纤(YDF)、光纤布拉格光栅(FBG)、两个偏振控制器(PC)、976/1 064 nm 波分复用器(WDM)、光纤隔离器(ISO)、环形器(Circulator)等组成。增益光纤长度为 25 cm,在 975 nm 的吸收系数为 1 200 dB/m。可饱和吸收体为未泵浦的单模掺镱光纤,长度为 30 cm。FBG 中心波长为 1 080 nm,反射率为 99%。976 nm 半导体激光器(LD)作为泵浦源对环形腔进行泵浦,产生激光振荡。光纤环形器与两个 PC 联合使用,确保环形腔内运转单频激光的稳定性。谐振腔内可饱和吸收体和 FBG 共同作用形成超窄带宽滤波器,进行选模和压缩线宽,输出单频窄线宽种子光。

光纤放大器采用如图 2 所示的 MOPA 型级联放大结构,图 2 中虚线将放大器分隔为四级,通过四级放大可以获得高品质的高功率单频激光输出。一级放大结构包括单包层掺镱光纤,976/1 080 nm WDM 以及 976 nm LD 三个部分,其输出端接隔离器。二级放大结构和一级相似,增益光纤型号与一级相同,长度为 1.2 m,在二级放大输出端接 1 040/1 080 nm WDM,是因为实验中发现它可以有效地导出 1 040 nm 附近的放大自发辐射(ASE)。三级放大器进一步将激光功率放大到百 mW 量级后进入第四级放大。

四级放大结构为主放大结构,它采用 5 m 双包层光纤作为增益介质,纤芯直径为 15 μm ,975 nm 的峰值吸收系数为 6 dB/m。泵浦源为两台 9 W 级 LD,通过(2+1) $\times$ 1 光纤合束器进入双包层光纤,放大器输出端接高

^{*} 收稿日期:2011-06-20; 修订日期:2011-09-17

作者简介:穆进峰(1989—),男,硕士研究生,从事光电仪器与测控技术研究;jinfeng.mu@gmail.com。

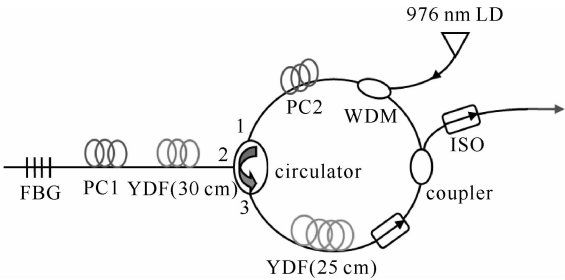


Fig. 1 Schematic diagram of single-frequency seed laser

图 1 单频种子激光器的结构示意图

功率隔离器防止回光损坏器件。

2 实验结果与分析

实验中,泵浦源 LD 的输出光功率达到 120 mW 时,种子激光器开始起振,单纵模振荡调节如下:首先,调节 LD 使输出泵浦光功率 177 mW,调节 PC1 和 PC2 改变谐振腔中激光的偏振态,获得具有两个或三个不稳定的模式振荡,再微调 PC1 和 PC2,充分利用可饱和吸收体与 FBG 共同作用所组成的超窄带宽滤波器,实现谐振腔中多纵模激光振荡的筛选和线宽的压缩,输出单频种子光精细光谱如图 3 所示,测得波长为 1 079.88 nm。

所建立的稳定的单频振荡如图 4(a)所示,跳模得到较好的抑制。对种子激光器的泵浦功率进行调节,最大输出功率达 8.2 mW。激光的线宽采用 Topica 公司的 Miniscan 102 型 F-P 干涉扫描仪(自由光谱范围 4 GHz)进行测量,所得结果如中 4(b)所示。通过计算得单频种子线宽约为 10 MHz。

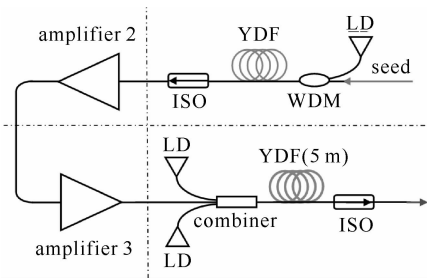


Fig. 2 Schematic diagram of amplifier chain

图 2 级联放大器部分的结构示意图

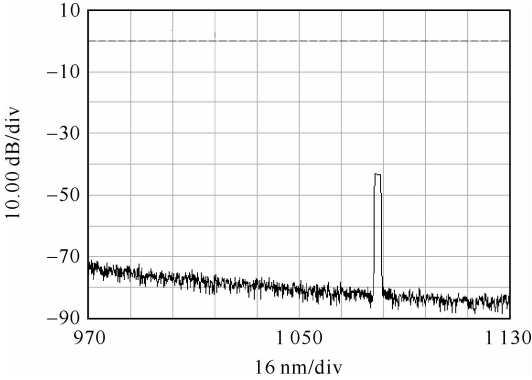


Fig. 3 Seed laser spectrum

图 3 种子激光器输出光谱图

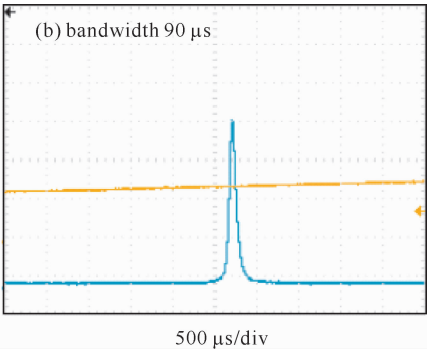
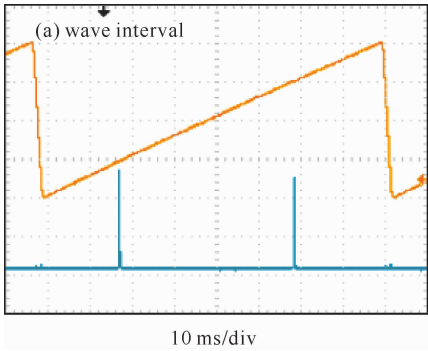


Fig. 4 Single-frequency test of seed laser

图 4 种子激光单频性测试

单频种子光经过一级、二级、三级放大至 750 mW 后作为第四级放大器的信号光。利用同一型号的 F-P 扫描干涉仪对输出光单频性进行测试得到结果如图 5 所示,计算得到线宽为 10 MHz 量级,无明显加宽。

当输入的信号光功率约为 750 mW 时,逐渐增加两台 9 W 级泵浦源 LD 的功率,获得泵浦功率和四级放大部分输出功率的关系如图 6 所示。从图中可以看出,当逐渐增加一台泵浦 LD 泵浦功率时,输出光随 LD1 泵浦功率的增加近似线性增加,当 LD1 泵浦功率为 8.86 W 时,可获得功率为 5.16 W 的单频光输出,斜效率为 63.4%,光-光转化效率为 58.2%。此时保持第一台泵浦 LD 泵浦功率 8.86 W,逐渐增加第二台泵浦 LD 泵浦功率,输出光和泵浦功率关系如图 6 中上方曲线所示,得到单频光的最大输出功率为 10.02 W,斜效率为 65.3%,光-光转化效率为 59.6%。

整个四级放大部分的光-光转换效率为 58.9%。输出光光谱测量结果如图 7 所示,其信噪比(SNR)约 28 dB,ASE 得到了很好的抑制。

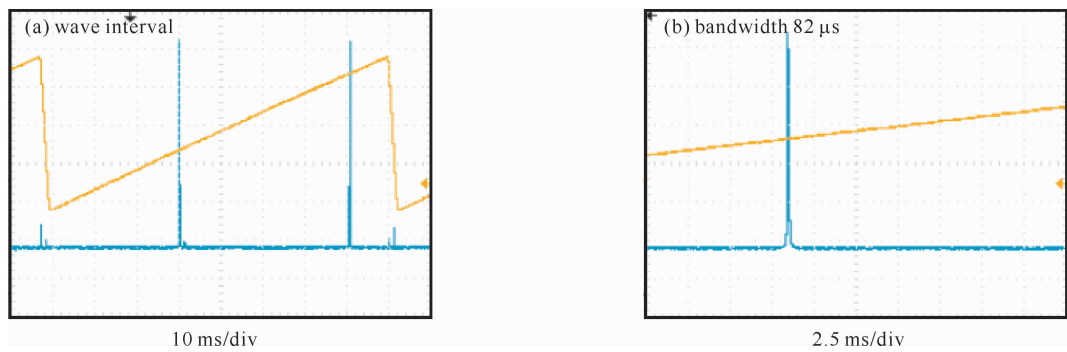


Fig. 5 Single-frequency test of amplified laser

图 5 放大激光单频性测试

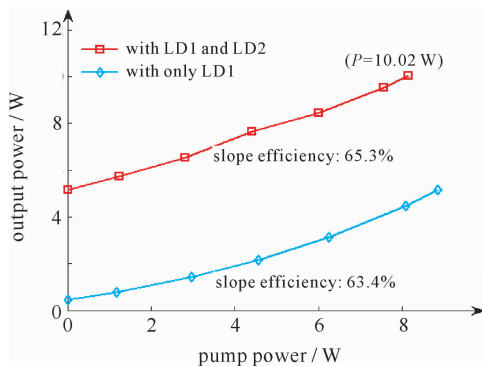


Fig. 6 Relation between output power of forth amplifier and pump power

图 6 四级主放大器输出功率与泵浦功率的关系

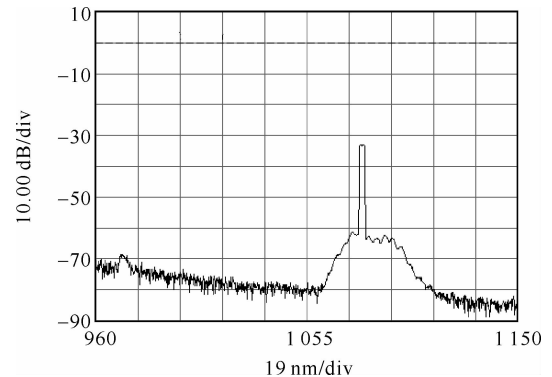


Fig. 7 Laser spectrum of amplifier chain

图 7 放大激光输出光谱图

3 结 论

搭建了全光纤结构高功率 MOPA 型单频光纤激光器, 实现了 10.02 W 的单频激光输出, 光-光转化效率达 59.8%, 信噪比约 28 dB。目前该激光器的输出性能主要受限于饱和和吸收体特性、泵浦功率特性和谐振腔长度等, 选取合适的饱和吸收体和提升泵浦功率可以进一步压缩输出激光的线宽和提高输出激光的功率。

参考文献:

- [1] 郑耀辉, 李风琴, 张宽收, 等. 全固态单频激光器研究进展[J]. 中国激光, 2009, **36**(7):1635-1642. (Zheng Yaohui, Li Fengqin, Zhang Kuan-shou, et al. Progress of all-solid-state single-frequency lasers. *Chin J Lasers*, 2009, **36**(7):1635-1642)
- [2] 郝二娟, 李特, 檀慧明, 等. LD 泵浦的全固态激光器的单频实现方法[J]. 激光杂志, 2006, **27**(2):14-15. (Hao Erjuan, Li Te, Tan Huiming, et al. Methods of obtaining single-frequency of all-solid-state lasers intracavity frequency doubling in diode-pumped. *Laser Journal*, 2006, **27**(2):14-15)
- [3] 张明, 陈淑芬, 付雷, 等. 掺铒光纤激光器线宽压缩技术的研究[J]. 北京理工大学学报, 2008, **28**(10):894-897. (Zhang Ming, Chen Shufen, Fu Lei, et al. A study of line-width compression for an Er-doped optical fiber laser. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2008, **28**(10):894-897)
- [4] Geng Jihong, Staines S, Wang Zuolan, et al. Highly stable low-noise Brillouin fiber laser with ultranarrow spectral linewidth[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2006, **18**(17):1813-1815.
- [5] 代志勇, 张晓霞, 彭增寿, 等. 一种新颖的自反馈光注入单频窄线宽光纤激光器[J]. 光电子·激光, 2010, **17**(11):1311-1314. (Dai Zhiyong, Zhang Xiaoxia, Peng Zengshou, et al. A novel single-frequency narrow linewidth fiber laser based on self-feedback light injection. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2010, **17**(11):1311-1314)
- [6] 伍波, 杜伟敏, 候天晋, 等. 高功率窄线宽光纤放大器及放大线宽特性[J]. 中国激光, 2009, **36**(7):1866-1869. (Wu Bo, Du Weimin, Hou Tianjin, et al. High power linewidth fiber amplifier and laser linewidth. *Chin J Lasers*, 2009, **36**(7):1866-1869)
- [7] Liu J, Yao J P, Yao J, et al. Single-longitudinal-mode multiwavelength fiber ring laser[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2004, **16**(4):1020-1022.
- [8] Zhou Meng, Stewart G, Whitenett G. Stable single-mode operation of a narrow-linewidth, linearly polarized, erbium-fiber ring laser using a saturable absorber[J]. *Lightwave Technology*, 2006, **24**(5):2180-2181.

[9] Horiuchi R, Sunaga H, Tei K, et al. High-peak-power pulse amplification using Yb doped double clad fiber[C]//Proc of SPIE. 2007, **64** (53):251-259.

[10] Liem A, Limepert J. 100 W single-frequency master-oscillator fiber power amplifier[J]. *Opt Lett*, 2003, **28**(17):1537-1539.

[11] Becker M, Bergmann J, Bruckner S, et al. Fiber Bragg grating inscription with DUV femtosecond exposure and two beam interference [C]//Proc of SPIE. 2009;**7386**2Y.

**All-fiber master oscillator power amplifier
structured single-frequency fiber laser**

Mu Jinfeng, Xu Jiangming, Xiao Hu, Yin Ke, Zhou Pu

(College of Opto-electric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: An all-fiber master oscillator power amplifier(MOPA) structured single-frequency fiber laser is demonstrated. The seed laser is a self - designed ring cavity structure which outputs a single - frequency laser beam . The 10 MHz linewidth, 1 079.88 nm MOPA laser has a output power of 10.02 W, when pumped by a diode laser at 976 nm. The signal-to-noise is about 30 dB, the slope efficiency is 65.3% and the optical-optical conversion efficiency is 58.9%.

Key words: fiber laser; single-frequency; amplifier chain; ring cavity