

文章编号: 0258-7025(2009)03-640-03

全光纤结构的两级分布式窄线宽双包层光纤放大器

段云锋 张 鹏 黄榜才 潘 蓉 宁 鼎

(中国电子科技集团公司第四十六研究所, 天津 300220)

摘要 利用主振荡-功率放大(MOPA)技术,实验研究了两级级联、全光纤结构的窄线宽连续激光放大器。其中,以 20 dB 光谱线宽 0.078 nm 的窄线宽光纤激光器为信号光源,两个放大级中分别采用光纤侧面耦合器、 $(6+1) \times 1$ 光纤合束器实现抽运光功率的耦合,以及使用 1053 nm 单模纤芯的双包层掺镱光纤、大模场面积的掺镱双包层光纤作为增益光纤。在全光纤结构放大器中,对第二级放大级中 $(6+1) \times 1$ 抽运光注入端的反向传输光的光谱和功率进行了监测和分析。通过优化增益光纤的长度,抑制了掺镱光纤中自发辐射光的自生激光振荡。在窄线宽激光放大过程中实现了中心波长 1053 nm,总放大增益 27.6 dB,功率 16.09 W 的稳定激光输出,没有发现受激布里渊散射和受激拉曼散射等非线性效应。

关键词 激光器;光纤放大器;窄线宽;全光纤结构;高功率

中图分类号 TN248.1;TN253 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093603.0640

Dual-Stages All-Fiber Narrow-Linewidth Fiber Amplifier

Duan Yunfeng Zhang Peng Huang Bangcai Pan Rong Ning Ding

(Research Institute 46 of China Electronic Technology Group Company, Tianjin 300220, China)

Abstract Using the master oscillation power amplification (MOPA) technology, the dual-stages narrow linewidth fiber amplifier with all-fiber structure is experimentally studied. In the fiber amplifier, the narrow linewidth fiber laser with 20 dB spectral width of 0.078 nm is used as the seeding signal, and the side pumped coupler that is made from the fused tapered fiber, and the $(6+1) \times 1$ multimode fiber combiner are used as the pump power coupling components, and the Yb-doped double cladding fiber with single mode core in the wavelength of 1053 nm, the large mode area Yb-doped double cladding fiber are used as the gain fibers in the two fiber stages, respectively. In the second fiber amplification stage, the back propagation light in the pump input end of the $(6+1) \times 1$ multimode fiber combiner is monitored and analyzed, which are including the spectra component and the light power. In order to suppress the spurious lasing of the amplification stimulation emission light, the length of the gain fiber is optimized experimentally. At last, the characters of the stable amplification output laser are the peak wavelength 1053 nm, total gain 27.6 dB, output power 16.09 W, and the nonlinear effects are not observed.

Key words lasers; optical fiber amplifiers; narrow linewidth; all fiber structure; high power

1 引 言

窄线宽光纤激光器由于光谱线宽窄,相干时间长,在相干通信、激光雷达和激光测距等领域具有广泛的应用前景^[1]。特别是在作为频率转换的抽运光源和相干重力波检测的光源等领域,要求窄线宽激光具有很高的功率输出。目前,主要利用高稳定的窄线宽激光为信号光源,通过主振荡-功率放大

(MOPA)技术来获得^[2~4]。2003年,德国 A. Liem 等^[2]利用大模场面积双包层光纤,实现了线宽 1.6 kHz,功率 100 W 的连续放大激光输出。2005年,南安普敦大学利用四级主振荡功率放大结构,实现了功率 264 W,线宽 60 kHz, $M^2 = 1.1$ 的单偏振窄线宽激光输出^[3]。北京理工大学以单频固体激光器为信号光源,在掺镱双包层光纤中通过透镜耦合

收稿日期: 2008-08-16;收到修改稿日期: 2008-10-20

作者简介: 段云锋(1980—),男,四川人,助理工程师,硕士,主要从事光纤激光器、放大器及相关技术的研究工作。

E-mail: duan1208@hotmail.com

的光纤放大器实现了功率 6.65 W, 波长 1064 nm 的单频激光输出^[4]。这些都是采用透镜耦合的分立元器件结构, 不便于实际使用。

本文主要对两级级联分布的全光纤结构光纤放大器进行了实验研究, 以低功率的窄线宽光纤激光器为信号光源, 通过全光纤结构的分布增益放大器, 获得了中心波长 1053 nm, 功率 16.09 W, 窄线宽的连续激光输出。

2 实验装置及结果

两级结构、窄线宽光纤放大器的实验装置如图 1 所示。所有的元器件均采用光纤焊接的方式进行连接。

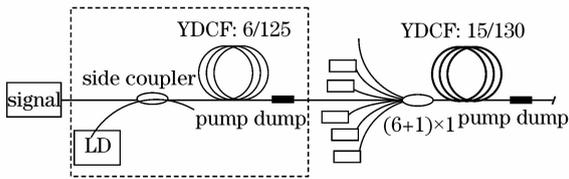


图 1 两级、全光纤结构窄线宽放大器

Fig. 1 Setup of the dual-stages all-fiber narrow-linewidth fiber amplifier

其中, 信号光源为分布布拉格反射 (DBR) 结构的窄线宽光纤激光器, 中心波长为 1053 nm, 20 dB 光谱宽度为 0.078 nm^[5]。第一放大级为图 1 中虚线框部分, 采用熔融拉锥的侧面光纤耦合器, 实现信号和抽运光的注入, 其中抽运光的耦合效率为 60%^[6]; 抽运光源为单发射体结构的半导体激光器 (LD), 中心波长 915 nm, 最大功率为 6.5 W; 增益光纤为双包层结构的掺镱光纤 (YDCF), 内包层形状为八边形, 纤芯直径 5.5 μm , 纤芯数值孔径 0.13, 976 nm 的内包层吸收系数为 9.1 dB/m。

第二放大级中采用 $(6+1) \times 1$ 多模光纤合束器实现抽运光功率耦合, 抽运的半导体激光器与第一级的相同, 数量为五只, 其中一个剩余的抽运光注入端用来监测反向传输光的光谱成分和功率; 双包层掺镱光纤的内包层形状为八边形, 纤芯直径 15 μm , 纤芯数值孔径 0.08, 915 nm 波长处的内包层吸收系数为 1.8 dB/m。在两个放大级的末端都插入抽运光滤除装置 (pump dump), 用来滤除光纤内包层中的剩余抽运光, 提高输出激光的光束质量, 并在光纤输出端处理为斜角。由于掺镱光纤在 915 nm 波长的宽带平坦的吸收特性, 因此整个放大器只需简单的风冷, 就能实现掺镱光纤放大器的稳定运行。

对第一放大级进行实验优化后, 在信号光源的

注入功率为 28 mW, 增益光纤长度为 5.0 m, 抽运光源的功率为 3.0 W 时, 能够获得信号增益 15.5 dB, 功率 1.07 W 的放大激光输出。在进行第二级光纤放大时, 由于在两个放大级中间没有插入光隔离器, 为了抑制光纤中的自生激光振荡和受激布里渊散射的作用, 把第一放大级的增益光纤减短为 2.8 m, 光纤长度的减少, 降低了放大器的斜率效率和增益, 相应的放大输出激光功率减少为 0.78 W, 再作为第二放大级的注入信号光功率。

在第二放大级的增益光纤长度为 3.95 m 时, 测量了两级级联、全光纤结构的窄线宽激光的放大输出功率, 如图 2 所示, 其中空心正方形为放大输出功率随抽运光功率的关系曲线。在第二放大级的总抽运光功率为 30 W 时, 获得了最大的放大输出功率为 16.09 W, 对应的放大增益为 13.1 dB。放大的输出功率随抽运光功率成线性变化, 没有饱和现象, 斜率效率为 50.3%。由于掺镱光纤的使用长度较短, 没有达到最优的光纤长度, 注入的抽运光未被完全吸收, 所以斜率效率和输出功率都较低。

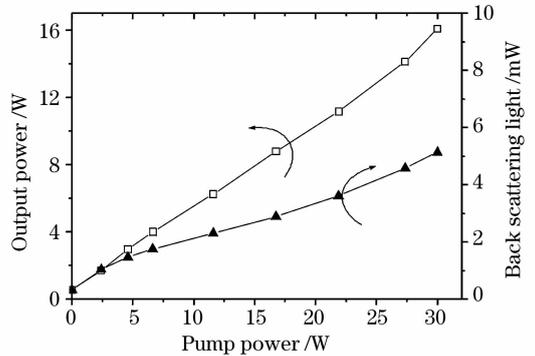


图 2 放大激光功率和监测的反向传输功率随抽运光功率的变化

Fig. 2 Output laser power and the power of the counter propagation light versus pump power

在第二放大级中合束器的剩余抽运光注入端, 分别用光功率计和光谱分析仪测量了放大过程中反向传输的光功率和光谱成分。其中, 反向输出的光功率随放大抽运光功率的关系如图 2 中实心三角所示。随着抽运光功率和放大输出激光功率的增大, 反向传输的光功率也在线性增加。在放大输出的激光功率为 16.09 W 时, 最大的反向传输光功率仅为 5.14 mW。

再用光谱分析仪测得反向传输光的光谱特性, 如图 3 所示。输出光谱包括 915 nm 的抽运光, 975 nm、1030 nm 和 1070 nm 的自发辐射光, 以及 1053 nm 的放大信号激光。其中最强部分为 1053 nm 的信号激光波长, 这主要是在瑞利散射和光纤熔接点

散射的作用下,把一定的放大信号激光反射回去,沿光纤反向传输并获得增益,最终返回到合束器的注入光纤中。反向传输的 1053 nm 光主要与光纤的瑞利散射系数和光纤熔接点的散射有关,并且近似与放大输出端信号激光功率成正比。

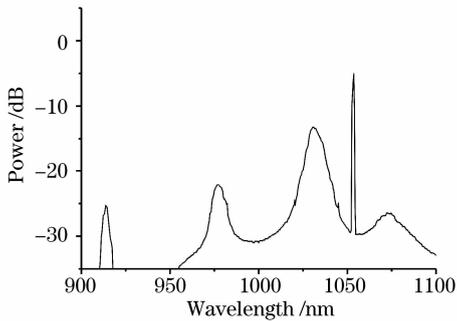


图3 合束器注入端的反向传输光谱

Fig. 3 Spectrum at the input end of the combiner

在图3中,1030 nm的自发辐射光成分也很强。由于放大器的输出端没有发现1030 nm的自发辐射光,表明这部分自发辐射激光存在于增益光纤的内包层中,而在输出端方向,被抽运光滤除装置泄漏掉。如果熔接点质量不高,或者光纤过长,会形成较强的反射和较高的增益,反向传输光中1030 nm的自发辐射光功率都将增大,可能形成自发辐射激光的自生振荡。如果在增益光纤中产生了自生激光振荡,合束器中剩余的抽运光注入端监测到的反向传输功率将迅速增大,同时在阈值附近形成的自生振荡激光,包含了高峰值功率的自脉冲激光^[7]。这些光返回到抽运光源中,将损坏半导体激光器的腔膜,使半导体激光器无法工作。因此,必须抑制这种自生激光振荡。虽然通过减少增益光纤的长度能减少自发辐射光的增益,提高其自生振荡的阈值功率,但是也将降低放大信号激光的功率和增益。最佳的办法是在两个放大级之间插入高功率的光隔离器来提高自发辐射光的自生激光振荡阈值功率。

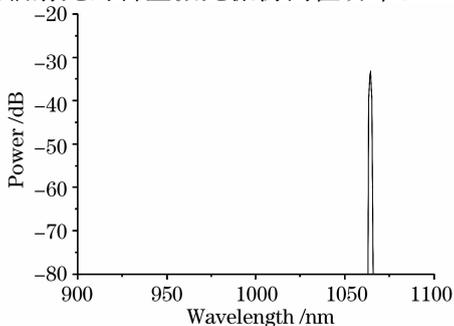


图4 放大器输出激光的光谱

Fig. 4 Spectrum of the output laser

放大输出的窄线宽激光的光谱如图4所示。因为放大器中采用了抽运光滤除装置,输出光谱中没有发现其他波长的光,输出激光的信噪比大于45 dB。否则,由于较短的增益光纤无法完全吸收抽运光功率,输出光谱中将存在较强的915 nm波长的光。同时,较短长度的大模场面积增益光纤的使用,在窄线宽激光放大过程中,没有观察到受激布里渊散射(SBS)等非线性效应。

3 结 论

以连续输出、窄线宽的光纤激光器为信号光源,进行了全光纤结构的两级分布式放大器的实验研究。在全光纤激光放大过程中,对(6+1)×1合束器的抽运光注入端中反向传输光的光谱特性和功率进行了研究,实验发现反向传输光主要为反射回来的放大信号激光和1030 nm的自发辐射光,其光功率与光纤放大器的参数有关。如果光纤放大器中的自发辐射光形成激光振荡时,将导致反射回抽运的半导体激光器中的功率迅速增大,从而烧毁半导体激光器,使光纤放大器无法工作。通过对两级光纤放大器的实验优化,实现了波长1053 nm,放大激光功率达16.09 W,总放大增益27.6 dB,窄线宽的高功率连续激光输出。

参 考 文 献

- John E. Koroshetz. Fiber lasers for lidar[C]. OFC 2005, OFJ4
- A. Liem, J. Limpert, H. Zellmer *et al.*. 100-W single-frequency master-oscillator fiber power amplifier [J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(7): 1537~1539
- Y. Jeong, J. Nilsson, J. K. Sahu. Single-frequency, single-mode, plane-polarized ytterbium-doped fiber master oscillator power amplifier source with 264 W of output power [J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(5): 459~461
- Sun Wenfeng, Zhao Changming, Yang Suhui *et al.*. 6.65 W output of LD pumped double-clad fiber single-frequency amplifier [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2006, **26**(1): 60~62
孙文峰,赵长明,杨苏辉等. 6.65 W输出二极管抽运双包层光纤单频放大器[J]. 北京理工大学学报, 2006, **26**(1): 60~62
- Zhang Peng, Duan Yunfeng, Huang Bangcai *et al.*. Experimental study of the 100 mW narrow-linewidth low noise fiber laser [J]. *Optical Communication Technology*, 2008, **32**(6): 31~33
张鹏,段云锋,黄榜才等. 100 mW窄线宽低噪声光纤激光器的实验研究[J]. 光通信技术, 2008, **32**(6): 31~33
- Duan Yunfeng, Huang Bangcai, Zhang Peng *et al.*. All-fiber pulse fiber amplifier [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(10): 1379~1382
段云锋,黄榜才,张鹏等. 全光纤结构的脉冲光纤放大器[J]. 中国激光, 2007, **34**(10): 1379~1382
- Zhang Shumin, Lü Fuyun, Xie Chunxia *et al.*. Temporal and spectral characteristic of a Yb-doped double-clad fiber laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2): 187~190
张书敏,吕福云,谢春霞等. 掺Yb双包层光纤激光器的时域特性和光谱特性研究[J]. 光子学报, 2005, **34**(2): 187~190