

文章编号: 1001-4322(2005)07-0976-03

ps 级脉冲光纤放大器和压缩器*

丁广雷^{1,2}, 沈 华^{1,2}, 杨玲珍^{1,2}, 赵 卫¹, 陈国夫¹, 段作梁¹, 程 昭¹

(1. 中国科学院 西安光学精密机械研究所 瞬态光学技术国家重点实验室, 陕西 西安 710068;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 对掺镱双包层脉冲光纤放大器进行实验研究。当用入纤功率为 1.9 W 的半导体激光器激光泵浦 0.5 m 长的双包层掺镱光纤时, 把平均功率为 7 mW、重复频率 25.4 MHz 的激光放大到 505 mW, 相应的单脉冲能量为 19.8 nJ, 经过光栅对压缩后, 得到 2.7 ps 的脉冲激光。

关键词: 光纤激光器; 光纤放大器; 双包层光纤

中图分类号: TN253

文献标识码: A

近年来, 掺镱光纤作为激光器和放大器的增益介质引起人们极大的关注, 成为研究热点。与其它掺稀土光纤相比, 掺镱光纤有着众多优点: 上能级寿命长, 适合用于高功率放大; 能提供较宽的增益带宽(约 40 nm^[1]), 支持约 30 fs 的脉宽, 适合作为一种优良的超短脉冲放大介质; 有很高的光-光转换效率(大于 80%^[2]); 能级结构简单, 不存在对泵浦光和信号光的激发态吸收(ESA); 不存在浓度猝灭效应, 可以有较高的掺杂浓度, 从而在很短的光纤长度内就有很高的增益; 有很宽的吸收光谱, 使泵浦源的选择有更大的灵活性, 包括半导体激光器以及高功率的钕激光器。脉冲光纤激光器在超快过程研究、非线性光学、X 射线光学、物质结构分析技术、纳米技术、光通讯、材料科学以及光生物医学等方面有着极其重要的应用价值。Bulend Ortac 等人用环形腔结构, 以掺镱的双包层光纤作为增益介质, 获得了 4.8 ps 的脉冲^[3], 由光栅对压缩到 90 fs。但是超短脉冲在单模光纤中的放大受到了光纤非线性的限制, 主要是自相位调制(SPM)和受激拉曼散射(SRS)的影响。应用大模场光纤和啁啾脉冲放大技术^[4]能很好地克服这个缺点。基于光纤的啁啾脉冲放大技术已经证明能产生高能量和高平均功率的超短脉冲^[5~12]。本实验采用半导体泵浦的双包层光纤放大压缩系统, 得到了平均功率为 505 mW 的放大脉冲, 其重复频率为 25.4 MHz, 相应的单脉冲能量为 19.8 nJ, 压缩后脉宽为 2.7 ps。

1 实 验

光纤放大压缩系统的实验装置如图 1 所示。由半导体激光器泵浦的环形腔被动锁模光纤激光器, 一个单模掺镱光纤前置放大器, 一个双包层掺镱光纤功率放大器和光栅压缩器组成。种子源是自制的利用非线性偏振旋转锁模的环形腔掺镱光纤激光器, 由于腔内没有加色散补偿, 所以输出的脉冲宽度较宽, 为 56 ps。光纤激光器输出的平均功率为 7 mW, 重复频率为 25.4 MHz, 中心波长为 1 037 nm。激光器的输出脉冲经过一个隔离器后, 大约 4 mW 的激光注入到前置放大器中, 隔离器的作用就是防止放大器对激光器稳定工作的影响。前置放大器的泵浦源为带尾纤的单模半导体激光器, 最大输出功率为 240 mW。用波分复用器(WDM)将泵浦光和种子光耦合到单模掺镱光纤中去。单模掺镱光纤由加拿大 INO 公司生产, 纤芯直径为 4.2 μm , 数值孔径为 0.16, 掺杂质量百分含量为 0.18%。经过前置放大器之后, 激光的平均功率达到了 60 mW, 增益为 11.7 dB。

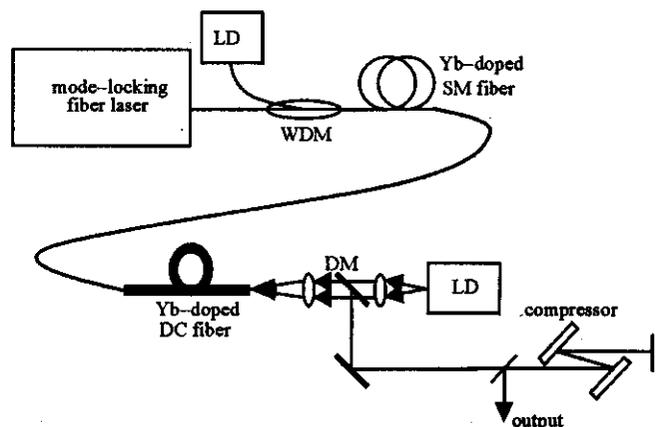


Fig. 1 Experimental setup

图 1 实验装置图

* 收稿日期: 2004-11-30; 修订日期: 2005-04-14

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(10390160, 60137010)

作者简介: 丁广雷(1979—), 男, 浙江人, 博士生, 主要从事光纤激光器和光纤放大器的研究工作; E-mail: glding@163.com.

为了减小自发辐射,在功率放大器中采用反向泵浦的方式。通过焊接的方式把前置放大后的脉冲激光注入到功率放大器增益光纤中,增益光纤是加拿大 INO 公司生产的掺镱双包层 D 型光纤,纤芯为圆形,直径为 $20\ \mu\text{m}$,纤芯数值孔径为 0.14,内包层为 $215/250\ \mu\text{m}$,内包层数值孔径为 0.40,掺杂质量分数为 2.53%。由于两种光纤的差异,在焊接时不可避免地有较大的损耗,经过 2.5 m 长的双包层光纤后,在没有加泵浦时只剩下 29 mW 的种子光功率。泵浦源是相干公司生产的带尾纤的半导体激光器,尾纤的直径为 $800\ \mu\text{m}$,数值孔径为 0.22,中心波长为 980 nm,最大输出功率为 12 W。泵浦光经过一个 10 倍的平场消色差显微物镜准直,再通过一个 20 倍的显微物镜聚焦到双包层光纤中去。两个显微物镜之间的双色镜是作为输出镜用的,在 45° 放置时,对 980 nm 激光的透过率为 94%,对 1 040 nm 激光的反射率为 90%。

在实验中选用了 3 种不同长度的光纤,分别为 2.5、1.0 和 0.5 m。由于泵浦源的尾纤与增益光纤的不匹配,导致了耦合效率很低,通过截断法测量的最大入纤功率只有 1.9 W。在这种情况下,得到不同长度下放大后激光平均功率与入纤功率的关系,如图 2 所示。由图可知,在光纤长度为 0.5 m 时所获得的激光功率最高,最大输出功率为 505 mW,增益为 12.4 dB,斜效率为 34%,光-光转换效率为 26.5%;但对于增益光纤长度为 2.5 m 和 1.0 m 时,放大后信号光功率都比 0.5 m 时的要小,最大输出功率分别约为 300 mW 和 460 mW。这是因为光纤长度太长,放大的信号光功率由于光纤的损耗而逐渐减小。

我们测量了增益光纤为 0.5 m 时放大后的光谱,振荡器与放大器的光谱如图 3(a) 和图 3(b) 所示。由图可知,放大后的中心波长与振荡器相比没有变化,只是在 1 035 nm 处得到了很高的增益,这是因为掺镱光纤在 1 035 nm 处有最大的发射截面。

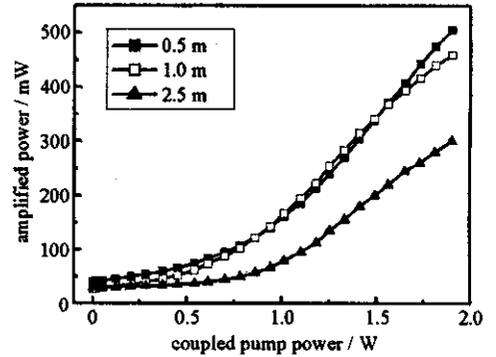


Fig. 2 Amplified power vs coupled pump power

图 2 放大后功率与入纤功率关系

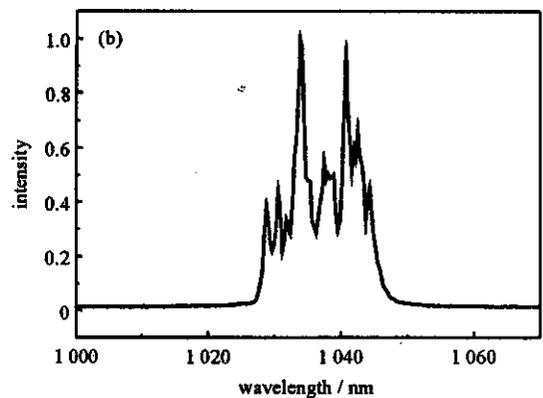
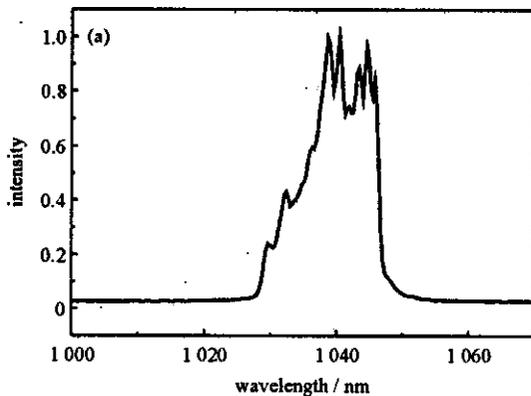


Fig. 3 Spectrum of the laser(a) and the amplified signal(b)

图 3 激光光谱(a)和放大后光谱(b)

最后用光栅对压缩 0.5 m 增益光纤放大后的输出脉冲,选用的光栅对常数为 $1\ 200\ 1/\text{mm}$,其闪耀波长为 1 050 nm,以偏离 Littrow 角 10° 为入射角,单个光栅的最大衍射效率为 75%,当光栅距离为 38.5 cm 时的压缩效果最好。用德国 APE 公司生产的自相关仪进行测量,图 4 给出了压缩后的自相关曲线。自相关曲线的半高全宽度为 5.4 ps,与洛伦兹曲线相吻合,相应的实际脉宽约为 2.7 ps。用 407 A 功率计测得功率为 160 mW,压缩器总的效率约为 31.6%。在 25.4 MHz 的重复频率下,相应的单脉冲能量约为 6.3 nJ,其峰值功率为 2.3 kW。

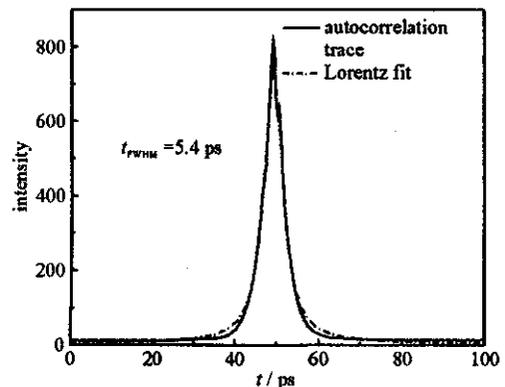


Fig. 4 Autocorrelation trace of the compressed pulse

图 4 压缩后脉冲的自相关曲线

2 结 论

实验研究了脉冲光纤放大系统,用自制的 ps 量级全光纤振荡器作为种子源,用双包层掺镜光纤作为增益介质,获得了最高平均功率为 505 mW 的激光脉冲,相应的单脉冲能量为 19.8 nJ,最后用光栅对压缩,得到了平均功率为 160 mW 的 2.7 ps 的激光脉冲。

参考文献:

- [1] Goldberg L, Koplow J P, Moeller R P, et al. High-power superfluorescent source with a side-pumped Yb-doped double-cladding fiber[J]. *Opt Lett*, 1998, **23**(13):1037—1039.
- [2] Goldberg L, Koplow J P, Kliner D A V, et al. Highly efficient 4 W Yb-doped fiber amplifier pumped by a broad-stripe laser diode[J]. *Opt Lett*, 1999, **24**(10):673—675.
- [3] Ortac B, Hideur A, Chartier T, et al. 90 fs stretched-pulse ytterbium-doped double-clad fiber laser[J]. *Opt Lett*, 2003, **28**(15):1305—1307.
- [4] Strickland D, Mourou G. Compression of amplified chirped optical pulses[J]. *Opt Commun*, 1985, **56**(3):219—221.
- [5] Minelly J D, Galvanauskas A, Fermann M E, et al. Femtosecond pulse amplification in cladding-pumped fibers[J]. *Opt Lett*, 1995, **20**(17):1797—1799.
- [6] Fermann M E, Galvanauskas A, Stock M L, et al. Ultrawide tunable Er soliton fiber laser amplified in Yb-doped fiber[J]. *Opt Lett*, 1999, **24**(20):1428—1430.
- [7] Liem A, Nickel D, Limpert J, et al. High average power ultra-fast fiber chirped pulse amplification system[J]. *Appl Phys B*, 2000, **71**:889—891.
- [8] Cho G C, Galvanauskas A, Fermann M E, et al. 100 μ J and 5.5 W Yb-fiber femtosecond chirped pulse amplifier system[A]. Conference on Lasers and Electro-Optics[C]. San Francisco, California, 2000.
- [9] Limpert J, Liem A, Gabler T, et al. High-average-power picosecond Yb-doped fiber amplifier[J]. *Opt Lett*, 2001, **26**(23):1849—1851.
- [10] Limpert J, Schreiber T, Clausnitzer T, et al. High-power femtosecond Yb-doped fiber amplifier[J]. *Opt Express*, 2002, **10**(14):628—638.
- [11] Limpert J, Clausnitzer T, Liem A, et al. High-average-power femtosecond fiber chirped-pulse amplification system[J]. *Opt Lett*, 2003, **28**(20):1984—1986.
- [12] Limpert J, Schreiber T, Nolte S, et al. All fiber chirped-pulse amplification system based on compression in aer-guiding photonic bandgap fiber[J]. *Opt Express*, 2003, **11**(24):3332—3337.

ps fiber amplifier and gratings compressor

DING Guang-lei^{1,2}, SHEN Hua^{1,2}, YANG Ling-zhen^{1,2}, ZHAO Wei¹,
CHEN Guo-fu¹, DUAN Zuo-liang¹, CHENG Zhao¹

(1. State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 80, Xian 710068, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Experiment of the double-clad Yb-doped fiber amplifiers is discussed. The signal with 7 mW average power at 25.4 MHz repetition rate is amplified to 505 mW by using 0.5 m length of double-clad Yb-doped fiber when launched pumping power is 1.9 W, corresponding to a pulse energy of 19.8 nJ. The width of the pulses is compressed to about 2.7 ps by grating pair compressor.

Key words: Fiber lasers; Fiber amplifiers; Double-clad fiber