

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0057-03

光纤激光器的相干输出

王 蓓¹ 刘 洋² 蔡红星¹ 郑 峰¹ 王国政¹ 金光勇¹ 张喜和¹

(¹长春理工大学理学院, 吉林 长春 130022; ²武汉军械士官学校光电研究所, 湖北 武汉 430075)

摘要 研究了两路光纤激光的相位锁定和相干输出, 用融锥光纤耦合器实现了两路高掺铒光纤激光之间的相互耦合。提出了在激光器高反射率前腔镜的前面加融锥光纤耦合器的方法构成简单的共振腔, 从而实现两路光纤激光的相干叠加。开展了基于融锥光纤耦合器互注入锁相的两路光纤激光器的相干合成实验, 成功实现了两路光纤激光器的注入锁定, 观察到了波长锁定(中心波长稳定在 1549.8 nm, 线宽为 0.08 nm)、远场干涉条纹和线宽压缩现象。分析了单个激光器和激光器阵列的斜率效率, 当反射率为 70%, 抽运功率均为 145 mW 时, 获得最大合成功率率为 127 mW。

关键词 激光器; 光纤激光器; 激光相干合成; 相位锁定; 互注入

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0057

Coherent Output of Fiber Lasers

Wang Ji Liu Yang² Cai Hongxing¹ Zheng Feng¹

Wang Guozheng¹ Jin Guangyong¹ Zhang Xihe¹

(¹ College of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China;
² Opto-Electronics Facility, Wuhan Ordnance Non-Commissioned Officers Academy, Wuhan, Hubei 430075, China)

Abstract In this paper, phase-locking and coherent output of two fiber lasers is studied. Two Er³⁺ high-doped fiber lasers are coupled using fused fiber coupler each other. The idea to fabricate a simple resonant cavity by coupled with fused fiber coupler in front of high-reflectivity front surface reflector of fiber lasers is proposed, thus to realize the coherent beam combining of two fiber laser. The mutual-injection phase-locking coherent combing experiment of two fiber lasers was demonstrated, in which the locked wavelength (center wavelength is 1549.8nm, line-width is 0.08 nm), the steady interference strips and the line-width of compression were experimentally observed. The slope efficiencies of the individual laser and the laser array. When reflectivity is 70% and pump power of two fiber lasers is 145mW, the maximum combined output power of 127mW is obtained.

Key words lasers; fiber lasers; laser coherent combining; phase-locking; mutual-injection

1 引 言

基于包层抽运技术的双包层光纤激光器克服了低空间相干性强抽运光(半导体激光器, LD)与单个空间模的激光波导之间耦合效率低的困难, 将大功率的 LD 抽运光耦合进双包层光纤的内包层, 从而实现高功率激光输出。双包层光纤激光器具有散热性能好、转换效率高、抽运阈值低、输出功率高和光束质量极佳等优点而受到广泛的重视^[1], 目前已达到了传统的灯抽运和 LD 抽运固体激光器的功率水平, 并且大有替代它们的趋势^[2~4]。

由于非线性、热破坏等效应的限制, 单根光纤激光的输出功率有限, 将多个高功率光纤激光器的输出光束进行组合可有效提升系统总的输出功率。从光束组束的原理上, 可大体分为非相干组束和相干组束二种。光纤激光的非相干组束就是将各个光纤激光的输出通过一些光学元件组合为一束, 由于各个光纤激光器之间没有相位上的联系, 是非相干的, 因而这种系统虽然可使总的激光输出功率得到大幅度提升, 但输出光束质量相对于单根光纤激光却变差很多, 故而激光的亮度并没有本质上的提高。为

基金项目: 吉林省青年基金(20080171)资助项目。

作者简介: 王 蓓(1978—), 女, 博士, 讲师, 主要从事光纤激光器及放大器方面的研究。E-mail: jijj_w@163.com

了是提高总的激光输出功率的同时,保持光纤激光系统良好的光束质量,提出了发展高功率光纤激光的相干组束技术^[5~11]。本文研究了基于融锥光纤合束器的互注入式光纤激光系统,实现了两束光纤激光的相位锁定和相干输出。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,单个光纤激光器由 LD,波分复用(WDM),前光纤布拉格光栅,高掺铒光纤,后光纤布拉格光栅,光纤准直镜组成。LD 输出经波分复用器注入到高掺铒光纤中,一个高反射率的前光栅和反射率为 15% 的后光栅构成了激光器谐振腔。两路光纤激光共用一个前光栅,一段 3 m 长的高掺铒光纤作为增益介质,激光输出采用光纤准直镜进行准直。两个结构完全相同的光纤激光器用融锥光纤耦合器连接到一起,实现了两路光纤激光互相注入,从而实现了相位锁定。

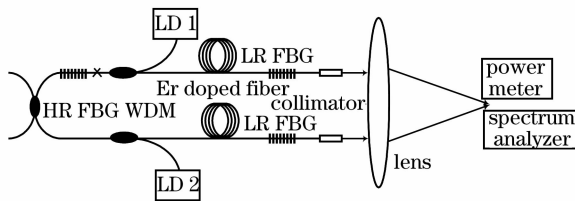


图 1 光纤激光器实验装置

Fig. 1 Experimental setup of fiber laser

两路光纤激光的输出经过光纤准直镜后,由聚焦透镜汇聚,在焦点处测量了激光功率和光束质量。为了保证两路光纤激光相干效率最高,在经聚焦透镜汇聚前先将两路激光分别调平行,然后利用五维精密调节架,精密调节两路激光的准直器位置,使其在焦点处完全重叠。实验过程中,选择反射率为 70% 和 80% 的前光栅,测量了不同前光栅反射率时的激光光谱和激光功率。

3 实验结果与讨论

首先,选择前光栅反射率为 80%,在 LD1 单独工作时,测得激光光谱中心波长 $\lambda_1 = 1549.96$ nm,线宽为 0.1 nm。如图 1,将光栅从交叉点处断开,在 LD2 单独工作时,测得激光光谱中心波长 $\lambda_2 = 1549.82$ nm,线宽为 0.1 nm。同时打开 LD1 和 LD2,输出的光谱中心波长为 1549.8 nm,线宽为 0.08 nm,如图 2 所示,在长时间的观察下,其波长无跳变现象发生。这一结果表明,用融锥光纤合束器将两路原本各自独立工作的光纤激光器相连时,

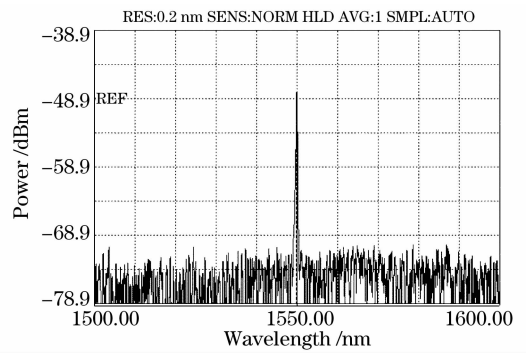


图 2 相干后的输出光谱

Fig. 2 Spectrum of the combined output

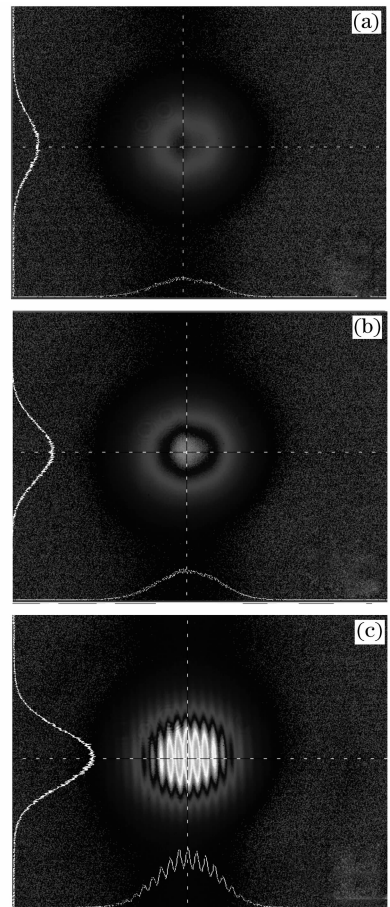


图 3 激光光斑。(a) LD1;(b) LD2;(c) 相干后

Fig. 3 Laser beam patterns

(a) LD1;(b) LD2;(c) after combination

由于前光栅反射率没有达到 100%,两路激光互相注入,使得它们之间的振荡模式相互关联,相互影响,从而达到共同的工作状态,以相同的光谱输出,即实现了波长的锁定。

当前光栅反射率为 80%,在两路激光单独工作时,用光束质量分析仪测量了激光光斑,如图 3(a), (b)所示。随后,在如图 1 所示的结构中使两路激光同时工作,并保证两路激光输出功率相同,均为

15 mW,此时在聚焦透镜焦点处用功率计测量了激光功率,用光束质量分析仪测量了激光光斑如图 3(c)所示,可见清晰的干涉条纹。为了保护光束质量分析仪,在聚焦透镜前加了衰减片。通过对合成前每个光纤激光器的输出功率的测量与合成后总体输出功率的比较,可求出相干效率,相干后的激光功率为 27 mW,相干效率达 90%。

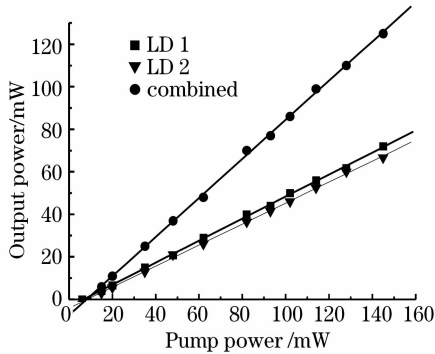


图 4 单个激光器和相干后的激光输出功率曲线

Fig. 4 Output power curve of the individual fiber lasers and combined laser

当前光栅反射率为 80%, LD1 抽运功率为 145 mW 时,测得最大输出功率为 72 mW,当 LD2 抽运功率为 145 mW 时,测得最大输出功率为 67 mW, LD1 和 LD2 的斜率效率分别为 51.7% 和 49.2%,此时最大合成输出功率为 125 mW,相干合成后总斜率效率为 43.1%,如图 4 所示。当前光栅反射率为 70% 时,相同抽运功率下, LD1 和 LD2 的最大输出功率分别为 75 mW 和 71 mW, LD1 和 LD2 的斜率效率分别为 52% 和 51%,最大合成输出功率为 127 mW,总斜率效率为 43.8%。在测量过程中,发现当 LD1 抽运功率增加时, LD2 的输出功率略有增加,说明由于前光栅反射率小于 100%, LD1 的一部分激光注入到了 LD2 中。当前光栅反射率为 80% 时, LD1 输出功率由 15 mW 增加到 36 mW, LD2 的输出功率约增加 2 mW。如果选择更高反射率的光栅,相互注入的功率会更低,可突破融锥光纤合束器承受低功率的限制,可将该技术应

用于高功率光纤激光相干组束系统中。

4 结 论

提出了基于融锥光纤合束器的光纤激光相干组束系统,基于两路光纤激光的互注入,实现了波长和相位锁定。在实验过程中,观察到了波长锁定现象和稳定的干涉条纹。由于选择了高反射率的前光栅,只有少量激光通过融锥光纤合束器进行相互注入耦合,在高功率工作下也可使用该结构。

参 考 文 献

- X. Y. Dong, S. Z. Yuan, G. Y. Kai *et al.*. All-fiber photonic integrated devices and system[J]. *Prog. Phys.*, 2001, **21**(3): 303~316
- H. M. Pask, J. L. Archambault, D. C. Hanna *et al.*. Operation of cladding-pumped Yb³⁺-doped silica fibre lasers in 1 μ m region [J]. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(11):863~865
- V. Dominic, S. MacCormack, R. Waarts *et al.*. 110W fibre laser[J]. *Electron. Lett.*, 2000, **35**(14):1158~1160
- Ou P. Multi-coupler side-pumped Yb-doped double-clad fiber laser[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(5):285~287
- Bing He, Qihong Lou, Jun Zhou *et al.*. 113-W in-phase mode output from two ytterbium-doped large-core double-cladding fiber lasers[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(7):412~414
- Jesse Anderegg, Stephen Brosnan, Mark Weber *et al.*. 8-watt coherently phased 4-element fiber array[C]. *SPIE*, 2003, **4974**: 1~6
- He Bing, Lou Qihong, Zhou Jun *et al.*. Coherent output power of 60 W from two large-core double-cladding fiber lasers[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(8):1279~1280
- 何 兵,楼祺洪,周 军等. 两根大芯径双包层光纤激光器获得 60 W 相干输出[J]. *光学学报*, 2006, **26**(8):1279~1280
- Cheng Yong, Liu Yang, Xu Lixin. Recent progress and development directions of fiber laser combining technology[J]. *Infraed and Laser Engineering*, 2007, **36**(2):163~166
- 程 勇,刘 洋,许立新. 激光相干合成技术研究新动向[J]. *红外与激光工程*, 2007, **36**(2):163~166
- X. J. Jia, Y. G. Liu, F. N. Liu *et al.*. Realization of an all-fibre self-organization intra-cavity coherent erbium-doped fibre laser[J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2007, **24**(10):2842~2845
- Thomas H. Loftus, Anping Liu, R. Paul *et al.*. 258 W of spectrally beam combined power with near-diffraction limited beam quality [J]. *SPIE*, 2006, **6102**: 61020S
- Liu Yang, Cheng Yong, Wang Xiaobing *et al.*. Spatial coherence measurement of multiple coherent lasers combination [C]. *SPIE*, 2007, **6723**: 67232G