

文章编号: 0253-2239(2009)09-2503-03

基于高功率激光输出端相位控制的光纤激光相干合成

周 朴 马阎星 王小林 马浩统 许晓军 刘泽金

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 利用压电陶瓷相位调制器在高功率光纤激光输出端进行相位控制, 实现了两路瓦量级光纤激光相干合成。系统闭环时长曝光图样的条纹可见度为 98%, 峰值强度是开环情形下的 1.87 倍。

关键词 自适应光学; 光纤激光器; 相干合成; 高频抖动法

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092909.2503

Coherent Beam Combination Based on Active Phase Controlling at the High-Power Output Port

Zhou Pu Ma Yanxing Wang Xiaolin Ma Haotong Xu Xiaojun Liu Zejin

(College of Optoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract Two W-level fiber laser beams have been coherently combined by active phase controlling at the high-power output port employing the piezoelectric ceramic transducer phase modulator. The visibility of the long-exposure far-field intensity pattern is 98% and the peak intensity is increased by a factor of 1.87 when the system is in close-loop.

Key words adaptive optics; fiber laser; coherent beam combination; high-frequency dithering technique

1 引 言

光纤激光相干合成是激光技术领域研究热点^[1,2]。迄今为止,最高相干合成功率与参与合成光束数目最多的实验均采用基于主振荡器功率放大(MOPA)结构的主动相位控制方案^[3,4]。在 MOPA 结构中,用于主动相位控制的相位调制器通常由放大器前端的 LiNbO₃ 波导完成。尽管 LiNbO₃ 波导具有快速响应(GHz)、宽动态范围等优势,但是也有其缺陷,如:低破坏阈值(10 mW 量级)、相对较大的插入损耗(典型值为 4 dB)、价格昂贵等。其中低破坏阈值使得 LiNbO₃ 波导通常要放置在系统前端,后端放大器会引入相位起伏使得相位误差不能完全校正,始终存在相位残差;插入损耗使得通过波导后的激光能量非常微弱,放大器需要精心设计以防止自激等破坏性现象发生。因此,基于 LiNbO₃ 波导的相位调制器在使用时存在诸多不便。尽管压电

陶瓷相位调制器^[5]在光纤传感等领域已经得到广泛应用,但由于其响应速度较慢,很少受到关注。PZT 相位调制器本质是一段缠绕在压电陶瓷换能器上的光纤,目前普通商用的压电陶瓷相位调制器工作带宽已经超过 100 kHz^[6],而公开报告的百瓦级光纤放大器相位起伏的特征频率小于 100 Hz^[7],因此 PZT 相位调制器工作带宽已经足够补偿光纤放大器引入的相位起伏。再加上其结构简单、高破坏阈值(全光纤结构)、造价低廉、低插入损耗等优势,在高功率光纤激光相干合成领域有着广阔的应用前景。

2 实 验

实现了高功率激光输出端相位控制的两路光纤激光相干合成,相位控制由 PZT 相位调制器实现,实验系统结构如图 1 所示。主振荡激光器为单频光

收稿日期: 2008-11-20; 收到修改稿日期: 2009-02-27

作者简介: 周 朴(1984—),男,博士研究生,主要从事光纤激光器及光束合成等方面的研究。E-mail: jnck621@163.com

导师简介: 刘泽金(1963—),教授,博士生导师,主要从事高能激光技术等领域的研究。E-mail: zejinliu@vip.sina.com

纤激光器,中心波长为 1083 nm,线宽小于 1 MHz,输出激光为线偏光,最大输出功率小于 200 mW。种子光经放大器后最大输出功率可以超过 1 W。经分光镜后,一部分光束被焦距为 1 m 的透镜聚焦,聚焦后的光束经过一半径为 95 μm 的小孔后照射在光电探测器上;另一部分光束经透镜聚焦后送至光斑分析仪,用于观测相干合成的效果。压电陶瓷相位调制器为实验室自制,测得其截止工作频率为 80 kHz,半波电压 1.7 V。压电陶瓷相位调制器分别与隔离器末端和准直器前端的光纤熔接。

系统开环时远场光斑长曝光图样如图 2(a)所示

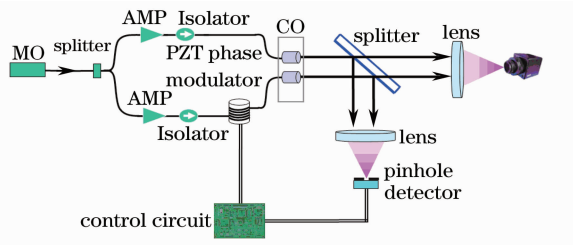


图 1 高功率激光输出端相位控制的两路
光纤激光相干合成系统示意图

Fig. 1 Coherent combination of two channel beamlets with active phase controlling at the high-power output port

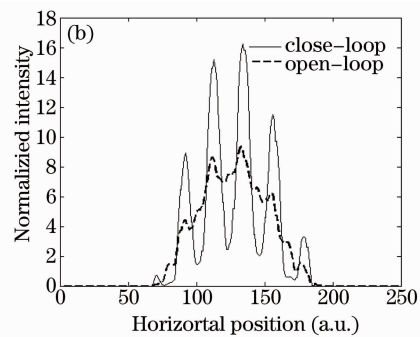
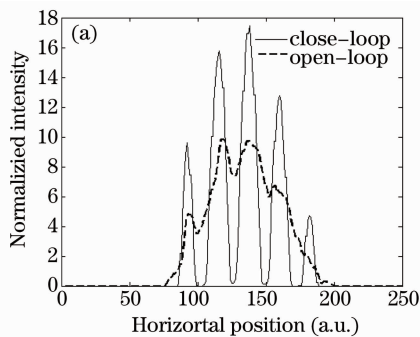


图 3 系统开环和闭环时水平方向光强分布

Fig. 3 The intensity distribution along the horizontal direction in open-loop and close-loop

将压电陶瓷相位调制器放置在放大器前端进行闭环控制,实验结果如图 3(b)所示。此时远场光斑长曝光图样的条纹可见度为 90%。系统闭环时峰值强度是开环情形下的 1.76 倍。比较两种情形下的实验结果可得,压电陶瓷相位调制器放置在系统输出端,能更有效地控制各路光束的相位起伏,减小相位控制残差。

3 结 论

报道了利用压电陶瓷相位调制器在高功率光纤激光输出端进行相位控制的相干合成实验。结果表明,普通压电陶瓷相位调制器可以有效控制光纤放

示。系统闭环控制由高频抖动法实现,高频调制信号为 60 kHz,幅度为 80 mV,积分时间为 100 μs 。相位控制电路从光电探测器探测到的电信号和本地高频调制信号中解算出两路光束的相位差,并反馈给压电陶瓷相位调制器,完成系统闭环。闭环时远场光斑长曝光图样如图 2(b)所示。将 PZT 相位调制器放置在放大器输出端进行闭环控制,得到了开环和闭环时沿水平方向的光强分布对比,如图 3(a)所示。定义光斑可见度

$$V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}), \quad (1)$$

其中 I_{\max} 为光强极大值, I_{\min} 为 I_{\max} 的临近极小值,算得此时长曝光图样的条纹可见度为 98%。系统闭环时峰值强度是开环情形下的 1.87 倍。

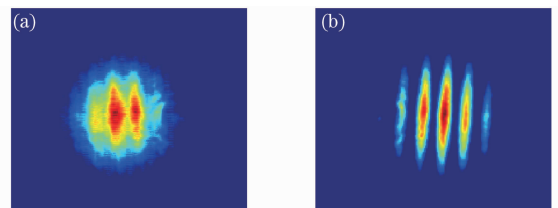


图 2 开环和闭环时远场光斑强度长曝光图样

Fig. 2 Long-exposure far-field intensity profile in open-loop and close-loop

大器引入的相位起伏,并且由于其全光纤结构、高损伤阈值的特点,可以放置在高功率输出端进行相位控制,与前端相位控制系统实验结果相比,系统闭环控制残差更小,峰值强度得到了进一步提高。系统闭环时长曝光图样的条纹可见度为 98%,峰值强度是开环情形下的 1.87 倍。压电陶瓷相位调制器成本相对低廉,因此有望在将来的高功率、多路数光纤激光相干合成系统中得到进一步广泛运用。

参 考 文 献

- 1 Cheng Yong, Liu Yang, Xu Lixin *et al.*. Mutual-injection phase-locking fiber laser with corner-cube cavity [J]. *Chinese J. Lasers*, 36(1): 77~81

程 勇,刘 洋,许立新等.角锥腔互注入锁相光纤激光器[J].中国激光,2009,36(1):77~81

2 Li Jianfeng, Duan Kailiang, Wang Jianmin *et al.*. Experiment on coherent-locking of two photonics crystal fiber lasers [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(5): 923~926

李剑峰,段开棕,王建明等.两光子晶体光纤激光器相干锁定的实验研究[J].光学学报,2008,28(5):923~926

3 G. D. Goodno, H. Komine, S. J. McNaught *et al.*. Coherent combination of high-power, zigzag slab lasers[J]. *Opt. Lett.*, 2006, 31(9): 1247~1249

4 Jan E. Kinsky, Charles X. Yu, Daniel V. Murphy *et al.*. Beam

control of a 2D polarization maintaining fiber optic phased array with high-fiber count[C]. *SPIE*, 2006, 6306. 63060G-1~11

5 Yi Yao, Shi Kun, Lu Weidong *et al.*. Phase modulation spectroscopy using an all-fiber piezoelectric transducer modulator for a resonator fiber-optic gyroscope[J]. *Appl. Opt.*, 1995, 34(31): 7383~7386

6 www. shconnet. com. cn

7 D. C. Jones, C. D. Stacey, A. M. Scott. Phase stabilization of a large-mode-area ytterbium-doped fiber amplifier [J]. *Opt. Lett.*, 2007, 32(5): 466~468



为了进一步提高我国光学期刊的学术水平和论文质量,吸引和催生优秀稿件,鼓励和培育优秀作者,促进我国光学、激光科技事业发展,《光学学报》《中国激光》《中国光学快报》(英文版)特发起“光学期刊优秀论文评选活动”。在光学泰斗王大珩先生的支持下,本活动特命名为光学前沿——“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动。

光学前沿——首届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选结果在中国光学学会 2008 年学术年会上隆重公布。中国光学学会秘书长倪国强宣读了入选论文名单,中国光学学会理事长周炳琨院士、副理事长徐至展院士等为上海光机所周军等入选论文的作者代表颁发了证书和奖金。

根据“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动评选办法,光学前沿——第二届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动即将开始,欢迎广大作者提交论文信息,参与评选。评选规则请参考“大珩杯”光学期刊优秀论文评选办法。

编辑部将在 2009 年年底,对获奖作者进行表彰,并颁发证书和奖金。

主办单位:中国科学院上海光学精密机械研究所

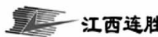
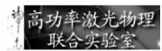
联合主办单位:相干(北京)商业有限公司

上海瀚宇光纤通讯技术有限公司

协办单位:高功率激光物理联合实验室

江西连胜实验装备有限公司

普爱纳米位移技术有限公司



时间安排:参评论文统计截止时间:2009 年 8 月 30 日。

论文作者提交申请材料时间:2009 年 7 月 1 日~9 月 30 日(论文被引的材料和论文所在项目或课题获奖的证明),请在中国光学期刊网上提交。

审核时间:2009 年 10 月 8 日~10 月 30 日。

详情请浏览:<http://www.opticsjournal.net/Daheng.htm>

咨询电话:021-69918426 段家喜 编辑 duanjiaxi@siom.ac.cn

光学期刊联合编辑部

2009-5-1