

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0421-03

可变形镜在飞秒激光相位补偿中的应用

朋汉林, 唐斌, 冷雨欣, 林礼煌, 李儒新

(中国科学院上海光学精密机械研究所强激光光学重点实验室, 上海 201800)

摘要 在一台 kHz 飞秒激光器中, 引入可变形镜进行相位补偿, 应用 SPIDER 方法和仪器作为测量手段, 建立了一套相位测量补偿系统。实验表明激光脉冲的位相畸变得到较好的补偿, 应用可变形镜是自适应相位补偿的一种有效而简单的方法。

关键词 自适应光学; 可变形镜; SPIDER; kHz 飞秒激光

中图分类号 TN715.2 文献标识码 A

Application of Deformable Mirror in Spectral Phase Compensation of Femtosecond Laser

PENG Han-lin, TANG Bin, LENG Yu-xin, LIN Li-huang, Li Ru-xin

(The Key Laboratory for High Intensity Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Science, Shanghai 201800, China)

Abstract A set of measure and compensation system is built up using a deformable mirror and a spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction (SPIDER) instrument in a kHz Ti:S femtosecond laser. The experiment result shows that the spectral phase aberration of the laser is compensated well, and it is a simple and efficient method in adaptive optics using the deformable mirror to compensate the spectral phase aberration.

Key words adaptive optics; deformable mirror; SPIDER; kHz femtosecond laser

1 引言

自激光发明以来, 对激光束光束质量的研究就一直是激光科学中一个很活跃的领域, 并一直在对激光科学和技术的发展起着十分重要的作用。对于宽带激光而言, 光束质量改善的一个很重要的方面就是对其脉冲色散的补偿, 基本方法包括被动补偿和自适应光学补偿。被动补偿的方法主要是应用光栅对、棱镜对、啁啾镜或这几类的结合使用^[1]。但是这种方法的一个普遍的缺陷就是调节太复杂, 成本高。近年来, 人们都把目光转向于用可变形镜 (Micromachined membrane deformable mirror, MMDM) 来进行波面补偿和脉冲压缩^[2,3]。可变形镜最大的优势就在于它的近似零损失和连续变化特性, 而且易于控制, 成本低。我们在实验室的一台 kHz 飞秒激光器中, 引入可变形镜进行相位补偿, 应用 SPIDER 方法作为测量手段, 建立了一套相位测量补偿系统。

2 可变形镜

可变形镜是一种低损耗、高集成度的波形控制元件。所用的可变形镜结构如图 1 所示, 其典型元件是一块以 PCB 板为衬底的硅片, 硅片上为镀金的氮化硅膜, 同时作为反光膜, 硅片下有驱动电极阵列。当驱动电极加上控制电压后, 电极与膜之间产生静电吸引, 从而改变反光膜的形状。由于可变形镜表面的变形是连续的, 所以它对波形的调制也是连续变化的。膜面的变形量由控制电压决定。每个驱动电极对膜面的变形都有影响, 膜面的整体变形可以看成是所有驱动电极影响函数的线性组合。

实验中使用的可变形镜线性排列着 19 个印刷驱动电极, 相应的将膜面划分为 19 个单元。如图 2 所示。每两个驱动电极中心距离约为 1.25 mm。可变形镜尺寸 8 mm×24 mm, 最大变形量为 8 μm, 对应于 40 π 的相位变化 (@800 nm)。这个相位补偿量对于多数的激光系统都是适用的。

作者简介: 朋汉林(1977-), 男, 中科院上海光机所博士研究生, 主要从事太瓦级飞秒激光光束质量的改善和激光器升级方面的理论和实验研究。E-mail: hanlinpeng@siom.ac.cn.

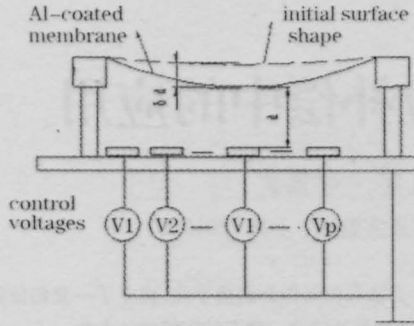


图1 可变形镜结构示意图
Fig.1 Structure of deformable mirror

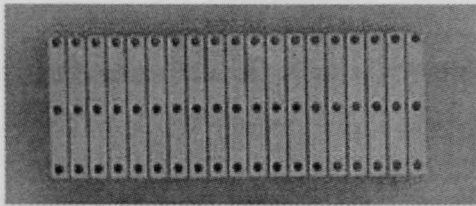


图2 可变形镜膜面驱动电极排列图
Fig.2 Array of actuator connections of 19 channel MMDM

3 SPIDER 方法

SPIDER (Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-field Reconstruction) 方法原理如图3所示,待测的脉冲进入装置后,首先被分束器分为两束,一束进入展宽器中展宽为啁啾脉冲,另一束经迈克尔逊干涉仪分为两个具有时间延迟的相同脉冲对。它们与另外一束的啁啾脉冲在BBO晶体中进行频率上转换。由于两脉冲在时间上的走离,在和频之后它们的中心频率就出现了微小的差别,这个频率差称为光谱剪裁或频率剪裁(Spectral shear)^[4]。和频后的脉冲对经过光谱仪记录下光谱相干的干涉条纹,将干涉条纹输入到计算机中并用SPIDER的反演算法处理就可以得到入射脉冲的位相。它克服了数据采集量大的缺点,仅需要一维的数据采集,而且基于傅里叶变换的算法也非常简单,

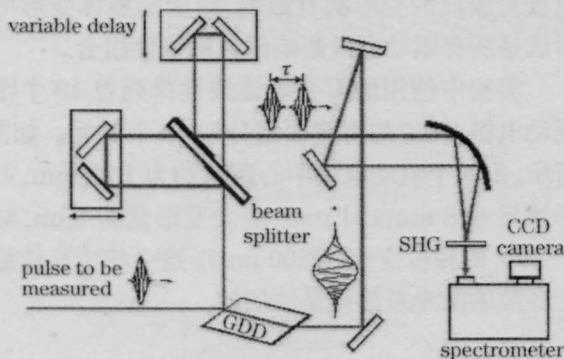


图3 SPIDER 原理示意图
Fig.3 Schematic of the SPIDER

适合进行脉冲相位的实时测量。

4 实验装置和实验原理

如图4所示,用一块800 line/mm的闪耀光栅和一块焦距为35 mm的凸透镜及可变形镜搭建了一个4f的零色散展宽器来实现相位整形,可变形镜被放置在透镜的傅里叶平面上。从kHz激光系统输出的约80 fs超短脉冲光被闪耀光栅散开,发散光束经过凸透镜会聚成平行光,光谱中不同的频率成分在空间展开,投射到可变形镜上。通过改变控制电极电压来改变镜面变形,进而改变变形区域内的频谱成分的相位。

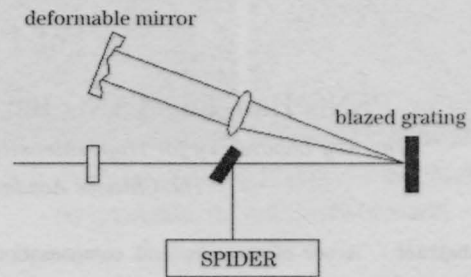


图4 可变形镜实验光路图
Fig.4 Experimental setup of deformable mirror

5 实验结果和讨论

先用平面镜代替光路中的可变形镜,将光路调整到零色散,用SPIDER测量下这时的相位,作为参考的标准相位。然后在平面镜的位置换上可变形镜,测量各驱动电极电压为零时的相位,并将其设为本底相位。接着,依次在每个驱动电极上施加从0 V到200 V变化的控制电压,同时保持其余控制电极上的驱动电压为零。每次测到的相位与本底相位之差值即是该驱动电极在该电压下的响应。测得所有19个驱动电极在不同控制电压下的相应后,就能利用这个结果进行相位补偿。

图5显示了对第1个控制电极施加不同控制电压时由SPIDER仪器测得的相位变化。从图中我们可以明显看出:可变形镜对脉冲相位有明显的整形作用。

为了实际测试可变形镜对脉冲的整形效果,在光路上放置了一片0.3mm厚的K9玻璃薄片,利用SPIDER测量脉冲频谱相位的变化情况。然后根据SPIDER的结果,给可变形镜控制电极手动施加不同的控制电压来补偿相位变化。图6显示了脉冲通过K9玻璃后经过可变形镜整形前后的频谱相位(与初始相位比较)。初始脉冲经过1 kHz激光系统

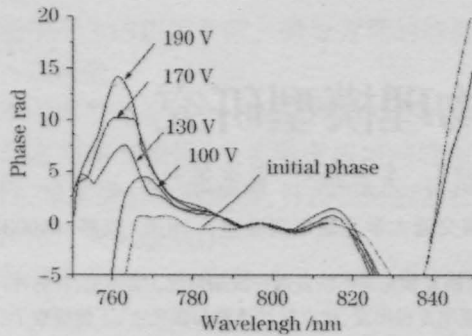


图5 可变形镜的整形效果

Fig.5 Phase change due to different volts applied to channel 1 of the MMDM

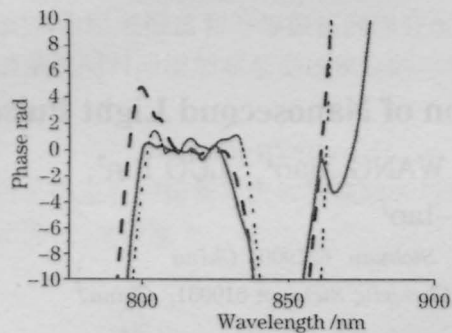


图6 可变形镜的脉冲相位补偿效果。图中点划线是脉冲的初始相位;短划线为脉冲传输后的相位;实线表示校正后的相位

Fig.6 Spectral phase correction by deformable mirror. The dotted line is the phase of the original pulse. The dashed line is the phase of the pulse propagating through the K9 glass plate. The solid line is the corrected phase

的放大器后,由于在光路中经过了许多光学元件,因此可以从频谱相位中出现高阶色散,系统输出的超短脉冲宽度为 88 fs(FWHM)。经过 K9 玻璃薄片后,可以很明显地看出频谱相位中加入了二阶和三阶相位成分,脉冲宽度也展宽到 113 fs。

用实验验证了用可变形镜进行相位校正的方法,得到了很满意的结果。这种方法的主要思想就是将相位补偿转换为空间的光程控制,由于空间的特性总是比较容易控制些,因此这种方法具有很大的发展前景。如果再采用计算机闭环控制,可变形镜方法将会是自适应光学中一种非常有效的手段。

参考文献

- 1 R. L. Fork, C. H. Brito cruz, P. C. Becher *et al.*. Compression of optical pulses to six femtoseconds by using cubic phase compensation [J]. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(7): 483-485
- 2 Lijun Zhu, Pang-chen Sun, Dirk-Uwe Bartsch *et al.*. Adaptive Control of a Micromachined continuous -membrane deformable mirror for aberration compensation [J]. *Appl. Opt.*; 1999, **38**(1): 168-176
- 3 E. Zeek, K. Maginnis, S. Backus, U. Russek, M. Murnane *et al.*. Pulse compression by use of deformable mirrors [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(7): 493-495
- 4 C.Iaconis, I.A.Walmsley. Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction of ultrashort optical pulses [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(10): 792-794
- 5 Bin Tang, Yuxin Leng, Hanlin Peng *et al.*. The deformable mirror method of adaptive phase correction. *Chinese Optics Letters*, 2003, **1**(7): 432-434