

文章编号 1004-924X(2012)01-0109-08

条纹周期动态可调的通用型干涉仪

朱勇建^{1,2}, 那景新^{2*}, 潘卫清³, 李安虎⁴, 尹韶辉¹

(1. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南 长沙 410082;

2. 吉林大学 汽车仿真与控制国家重点实验室, 吉林 长春 130025;

3. 浙江科技学院 理学院, 浙江 杭州 310023; 4. 同济大学 机械工程学院, 上海 200092)

摘要:提出一种新型结构的通用型干涉仪,用于实现不同结构、不同形状的光学透镜、光学晶体等元件的快速目视观察与精确测量。该干涉仪利用可相对旋转的双光楔对条纹周期进行动态调制完成实时检测。以两块雅敏干涉平板为主体结构,在双光路中各自放入一对楔角完全相同的光楔对,建立条纹周期和条纹倾斜方向与光楔对相对旋转角度之间的关系,并采用光学晶体畴反转实时检测验证干涉仪的测量性能。试验结果表明,干涉仪的相位检测精度约为 $0.2 \text{ rad}(\lambda/30)$,条纹周期(一对黑白条纹)为 $0.105\sim 5.993 \text{ mm/pair}$,光路中光楔对的相对转角可在 $0\sim 179^\circ$ 调节。干涉仪具有完全对称的光路结构,由于较高的稳定性和抗干扰能力,可针对不同类型光学元件的结构特点进行条纹周期的实时调制,并可达到较高的检测精度。

关键词:干涉仪;条纹周期;动态调节;光楔

中图分类号:TH744.3 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122001.0109

Universal interferometer based on dynamically-adjusted fringe periods

ZHU Yong-jian^{1,2}, NA Jing-xin^{2*}, PAN Wei-qing³, LI An-hu⁴, YIN Shao-hui¹

(1. *State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China*; 2. *State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130025, China*;

3. *School of Science, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China*; 4. *College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China*)

* *Corresponding author, E-mail: najx@jlu.edu.cn*

Abstract: A universal interferometer is proposed to realize the eyeballed evaluation and accurate measurement of many kinds of optical elements with different structures and shapes, such as lenses and crystals. In the interferometer, a pair of optical wedges are used to adjust the fringe periods dynamically to implement the measurement in real time. The interferometer takes two Jamin glass plates as a main structure, between which two pairs of optical wedges are laid. All wedges are completely identi-

收稿日期:2011-07-25; **修订日期:**2011-08-17.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 51005212); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(No. 200805321035); 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室开放基金资助项目(No. 31075005); 湖南省自然科学基金资助项目(No. 10JJ4030); 中央高校基本科研业务费; 中国博士后科学基金资助项目(No. 2011M500936)

cal in sizes and can be revolved along the axis. The relationship between the relative angle of two wedges and the fringe period is established, and then a real time testing experiment of domain reverse in an optical crystal is introduced to test the performance of the interferometer. The experimental result shows that the measurement accuracy is about 0.2 rad in phase ($\lambda/30$), and the adjustment range of fringe period (white & black fringe) is from 0.105 to 5.993 mm/pair. In the interferometer, the relative angle between the two wedges along the same optical axis can be adjusted from 0° to 179° . The interferometer is characterized by the symmetrical optical structure, so that it has high stability and can endure strong noise and vibration. It can modulate the fringe period in real time to meet requirements of various optical structures and can reach high measurement accuracy.

Key words: interferometer; fringe period; dynamically adjusting; optical wedge

1 引言

干涉仪被广泛用于光学元件表面或内部结构的检测以及光学系统成像质量的评价中^[1]。自从 1881 年 A. A. Michelson 首次发明了迈科尔逊干涉仪以来^[2],干涉仪的应用遍及各个学科领域,同时对干涉测量的要求也越来越高。为方便不同结构、不同面形的光学元件的测量,满足不同精度的要求,国内外学者和商业公司相继开展了一系列干涉仪方面的研究,获得了丰硕的成果^[3-9]。

纵观目前的干涉仪研究成果,为达到较好的处理效果,对条纹图的调节一般均采用倾斜参考镜引入载频来实现,而倾斜参考镜会改变光程差,需要重新调节整个光路,且倾斜参考镜对条纹图的调节范围有限,尤其对于深度非球面测量,条纹过密将导致无法测量,因此需要可大范围调节条纹密度的干涉方法。动态干涉仪尤其需要根据被测面形和结构的特点实时调节条纹频率^[3-4]。非球面测量是干涉测量中较为复杂同时也是非常重要的一项任务,根据非球面特点需要动态调节干涉条纹。文献[8]采用共路干涉仪实现浅度非球面测量,不方便实时调节条纹周期;文献[10-11]分别提出用于非球面测量的剪切干涉仪和用于铌酸锂畴反转检测的雅敏干涉仪,可进行条纹变频调节,这是本文进一步研究的基础。而其他的干涉测量方法^[6-7,9]未对条纹变频进行详加考虑。

如何方便调节条纹密度获取更好的测量效果,只调节参考镜并不是最优的选择。本文在文献[10-11]的基础上进行进一步实验研究,提出可用于多种光学结构测量的简单通用型干涉仪。通

过改变两干涉光束的入射角来实现干涉条纹的动态调节,根据被测结构的特点实现测量结果的目视评估和定量评价。干涉仪主体仅由两块雅敏平板和四块光楔组成,采用完全对称的光路结构,具有很强的抗干扰性。采用对光学铌酸锂晶体进行畴结构的实时检测,可以证明通过选择最佳条纹周期,能够达到良好的测量结果,测量的精度达到 $\lambda/30$ 。其中,条纹周期(一对黑白条纹)的调节范围为 0.105~5.993(mm/pair),可针对不同类型光学元件的结构特点进行条纹的实时调制。

2 干涉仪的原理与结构

图 1 为干涉仪的结构原理图。在传统的雅敏干涉仪的两个光路中间放置旋转双光楔,使得测量时干涉条纹的周期和倾角实时可调。从 He-Ne 激光器出来的单色激光经光束放大系统以与雅敏输入平板前表面成 45° 角入射,经过平板的反射和折反后形成 a、b 两路光,两路光分别通过可旋转双光楔 2、3 与 4、5(两对双光楔可分别绕轴线 o_1-o_2 和 o_3-o_4 旋转,两轴线与光线传播方向平

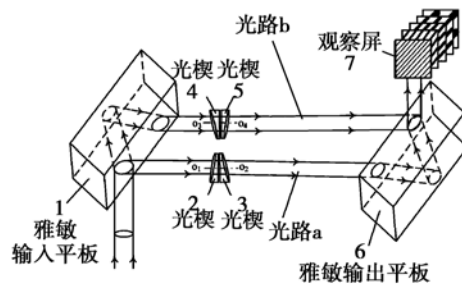


图 1 干涉仪原理图

Fig. 1 Schematic drawings of interferometer

行)。在任一光路中放置待测物体(如光路 b),这样光路 b 经过待测物体的相位调制,入射到雅敏输出平板,经平板前表面反射到观察屏(或 CCD 的光敏面上);而光路 a 则通过雅敏输出平板折反后入射到观察屏上,两路光形成干涉条纹,这时被测元件的相位信息就包含在干涉条纹里。旋转双光楔,就可调节条纹周期和倾斜角以满足检测需要。

在实际设计中,两块雅敏干涉平板长 200 mm,宽 60 mm,厚 d_0 为 95 mm,材料为 K9 玻璃,折射率 n 为 1.52。当光束以与雅敏输入平板前表面成 45° 角入射时,两路光束 a 和 b 的中心距离 ΔS 为

$$\Delta S = d_0 \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}, \quad (1)$$

其中, θ 为入射光束与雅敏干涉平板前表面的夹角。设计中所有光楔尺寸、材料完全一致,其楔角 α 设计为 $10'$, 直径 D 为 50 mm,光楔的厚度最小处为 8 mm,材料同样为 K9 玻璃。图 2 所示为光

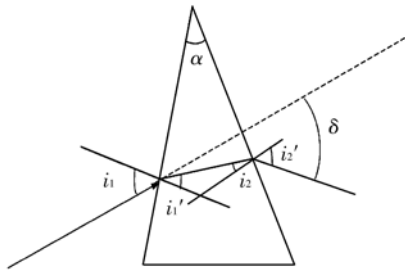


图 2 光线经过棱镜前后的几何关系

Fig. 2 Laser beam going through optical wedge

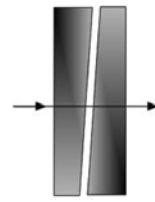
线经过棱镜前后的几何关系,棱镜的顶角为 α ,光线在入射面上的入射角 i_1 ,折射角 i_1' ,在折射面上的入射角 i_2 ,折射角 i_2' ,根据折射定律和图 2 所示的几何关系可得,

$$\sin \frac{\alpha + \delta}{2} n \sin \frac{\alpha \cos[(i_1' + i_2)/2]}{2 \cos[(i_1 + i_2')/2]}, \quad (2)$$

而对于顶角 α 很小的光楔,当光线近乎垂直入射时, $i_1' \approx i_2, i_1 \approx i_2'$,代入(2)式,用弧度表示的偏向角有

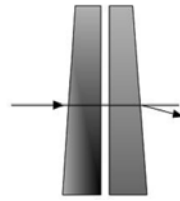
$$\delta = \alpha \left[n \frac{\cos i_1'}{\cos i_1} - 1 \right] \approx \alpha(n-1), \quad (3)$$

图 3 所示为两光楔转动位置示意图,当两光楔转到如图 3(a)所示的位置时,产生 0° 的俯仰角;当两光楔转到如图 3(b)和(c)所示的位置时,产生



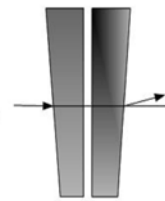
(a) 两光楔楔角端反向放置

(a) Wedge angles opposite to each other



(b) 两光楔楔角端朝上对称放置

(b) Upper symmetry of two wedge angles



(c) 两光楔楔角端朝下对称放置

(c) Down symmetry of two wedge angles

图 3 两光楔转动位置示意图

Fig. 3 Relationship between two optical wedges

最大俯仰角,为两光楔偏向角之和;当两光楔绕光轴相对转动角度分别为 θ_1 和 θ_2 时,总偏向角 δ 为

$$\delta = 2(n-1)\alpha \cos \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}. \quad (4)$$

根据所设计的参数,楔角 α 为 $10'$,折射率 n 为 1.52,相对转动角度 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ 取 $0 \sim 179^\circ$,得到光线偏向角 δ (即光线扫描角度)与双光楔的相对转角之间的关系曲线如图 4 所示。

可以看出,两光楔的相对转角越大,光束扫描范围越小,初始状态时,即两光楔相对转角($\Delta\theta$)为 0° (实验中两光楔如图 3(b)方式放置),其光线扫描角度最大,为 3.03 mrad。方位角 φ 可近似为

$$\varphi = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}, \quad (5)$$

在光路图 1 中,两光路中的光线传播方向都是平行于双光楔的光轴,因此入射角 θ 可以认为是 0° ,那么光线通过双光楔后产生的侧向偏移量

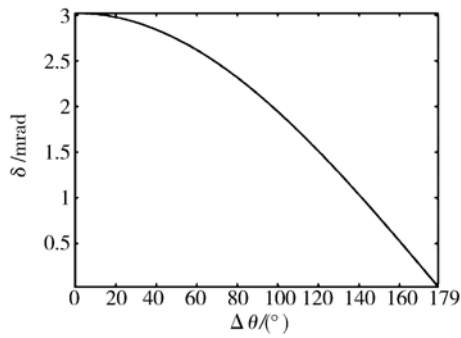


图 4 两光楔相对转角与光线扫描范围之间的关系, δ : 单路光线扫描角度范围; $\Delta\theta$: 两光楔的相对转角

Fig. 4 Relationship between relative angle of two wedges and laser-beam scanning range, δ : scanning angle range of one arm; $\Delta\theta$: relative rotating angle between two wedges

s 为 0, 也就是说剪切量为 0, 所得到的干涉图仅是背景条纹(即两个倾斜平面波的相干条纹), 其条纹周期 T (干涉条纹宽度)与光线偏向角 δ 的关系可表示为

$$T = \frac{\lambda}{2\sin\delta} \approx \frac{\lambda}{2\delta} = \frac{\lambda}{4(n-1)\alpha\cos[(\theta_1 - \theta_2)/2]}, \quad (6)$$

其中 λ 为光波长。关系曲线如图 5 所示, 这里 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, 相对转动角度取 $0 \sim 179^\circ$ 。条纹周期最大为 5.993 mm/pair , 最小为 0.105 mm/pair , 随着两光楔相对转角增大, 条纹变得稀疏。

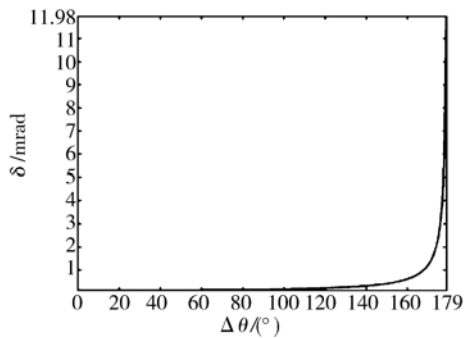


图 5 两光楔的相对转角与条纹周期之间的关系, T : 条纹周期; $\Delta\theta$: 两光楔的相对转角

Fig. 5 Relationship between relative angle of two wedges and fringe period, T : fringe period; $\Delta\theta$: relative rotating angle between two wedges

3 实验

利用干涉测量法对铁电晶体畴反转进行实时检测是目前最为常用的方法^[12-13]。在外加高压电源作用下, 铁电晶体如铌酸锂、钽酸锂会引起内部结构产生畴反转, 通过检测畴反转前后的相位差便可获得畴反转的反转深度^[14]。采用本文提出的新型干涉仪可实时量化的获得晶体畴反转的相位信息, 其检测方案是在图 1 中的光路 b 中放置被测钽酸锂晶体, b 光路通过晶体后与 a 光路产生干涉, 包含晶体相位信息的干涉图由 CCD 相机接收并输入到计算机中进行处理。实验采用的钽酸锂样品是 \approx 切近化学计量比钽酸锂晶体, 晶体置于电解液中, 与水的接触面积为 $6.5 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$, 电解液两端接直流高压电源 ($0 \sim 4.0 \text{ kV}$), 图 6 为实验装置图。实验分 3 方面进行:

(1) 分别调节 a、b 光路中的双光楔, 获取倾斜的稀疏条纹, 用以目视判断畴反转的深度信息。实验中条纹周期调节到 0.923 mm/pair , 然后固定双光楔; 电压从 0 kV 开始, 加载的增量步长为 0.5 kV , 最后的加载电压是 4.0 kV 。

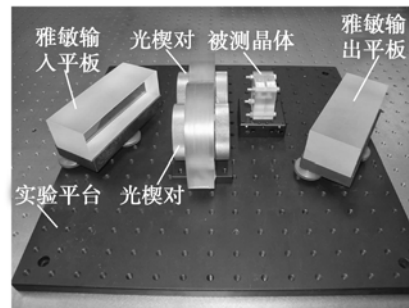


图 6 实验装置图(被测晶体放置在光路中)

Fig. 6 Experimental setup with optical crystal

从图 7 所示的条纹图可以看出, 晶体内部出现六边形畴反转区域, 区域内的条纹移动并错开, 相位出现反转。根据加压 4 kV 时的条纹图可以目测出畴反转区域内的条纹错开量约为 0.4 个周期, 即两者的相位差约为 2.513 rad 。

(2) 分别调节 a、b 光路中的双光楔, 获取倾斜的密条纹, 利用计算机软件进行处理, 获取准确的畴反转相位变化值。实验中条纹周期调节到 0.105 mm/pair , 然后固定双光楔; 同样, 电压从 0 kV 开始, 加载的增量步长为 0.5 kV , 最后的加

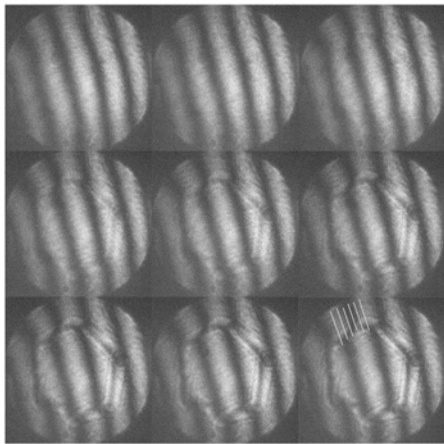


图 7 条纹周期为 0.923 mm/pair 时的条纹图(从左至右,从上至下,在晶体上依次所加电压为 0 kV 到 4 kV,增量为 0.5 kV)

Fig. 7 Fringe pattern with period of 0.923 mm/pair (from left to right, from top to bottom, the voltage on crystal is from 0 kV to 4 kV with increment of 0.5 kV)

载电压是 4.0 kV。

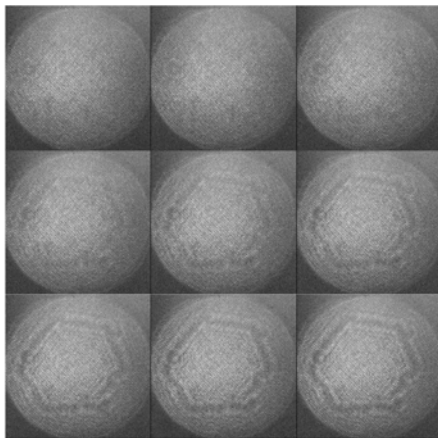


图 8 条纹周期为 0.105 mm/pair 时的条纹图(从左至右,从上至下,在晶体上依次所加电压为 0 kV 到 4 kV,增量为 0.5 kV)

Fig. 8 Fringe pattern with period of 0.105 mm/pair (from left to right, from top to bottom, the voltage on crystal is from 0 kV to 4 kV with increment of 0.5 kV)

根据图 8 所示的条纹图,采用文献[15]所述的干涉图像处理方法,对电压为 0 kV 和 4 kV 时的干涉图(即图 8 所示的左上角第一幅图与右下角最后一幅图)进行处理,获得的相位图如图 9 所示,此相位图表示电压为 4 kV 时晶体畴反转结

构相对于未加电压(0 kV)时的相位差值,六边形内部为发生畴反转区域,六边形外为未发生畴反转区域,两区域的相位差值表示畴反转相位信息。由于从图 7 中可以估计出相位变化未超过一个条纹周期,因此图 9 所示的相位图便是最终的连续相位图,无须解包裹处理^[16]。

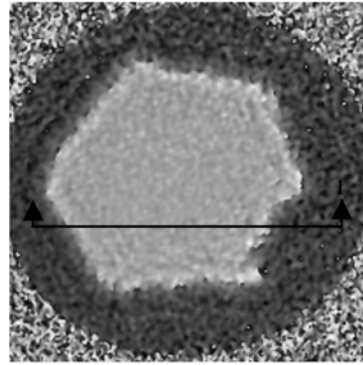


图 9 电压为 4 kV 时晶体畴结构变化相位图

Fig. 9 Phase map of domain structure with voltage of 4 kV

图 10 为 A-B 截面线,横坐标为被测晶体的尺寸(以 mm 为单位),纵向坐标为相位变化值(以 rad 为单位)。根据计算,发生畴反转区域与未发生畴反转区域的相位差值为 2.399 6 rad,而根据理论计算公式^[10]获得的相位值为 2.602 rad,而目视测量获得的相位值为 2.513 rad。实验处理得到的数据与理论数据相差 0.202 rad,约 8%左右,由此判断,干涉仪的相位测量误差约为 0.2 rad,折算波长为 $\lambda/30$,具有较高的测量精度。

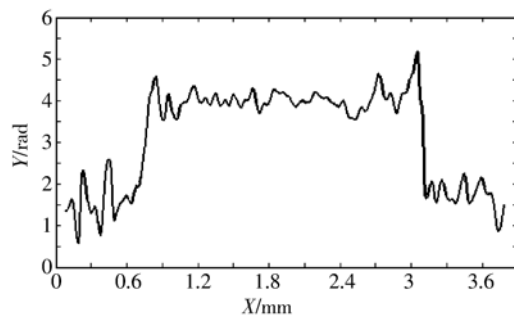


图 10 A-B 截面线

Fig. 10 A-B section line

(3)在晶体所加电压为 3 kV 条件下,调节双光楔的相对转角,获取不同频率的干涉条纹。图 11 显示了条纹周期从疏到密的变化过程,条纹周

期依次为 2.865, 1.433, 0.44, 0.237 和 0.105mm/pair。

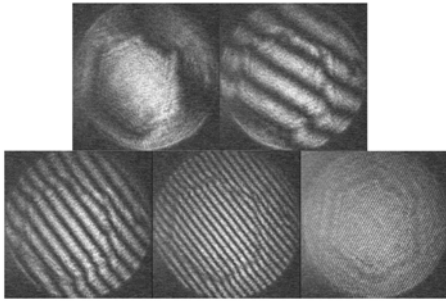


图 11 条纹周期从稀到密变化(条纹周期依次为 2.865 mm/pair, 1.433 mm/pair, 0.44 mm/pair, 0.237 mm/pair 和 0.105 mm/pair)

Fig. 11 Fringe period varied sparsely or densely (2.865 mm/pair, 1.433 mm/pair, 0.44 mm/pair, 0.237 mm/pair and 0.105 mm/pair, respectively)

实际测量中,有时需要锁定条纹的倾斜方向后,规律性的改变条纹周期,此时可让双光楔同步反向旋转。为此,本文设计了一种简便型手动调节机构,如图 12 所示。通过两反向缠绕的弹簧实现同步反向旋转,旋转的精度和速度可由手动控制或步进电机控制,光楔分别套入两个相对独立的套筒中。此方案设计简单,成本低廉,而控制精度可进一步精确实现。

误差来源分析:干涉仪的误差来源有两雅敏光学平板的加工误差,两光路中光楔对的角度误差,但由于在加工光学平板和光楔时通常是先加工一整块平板或玻璃圆柱,然后通过切割一分为二或一分为四,这样在对称的光路中误差就可减少到最小;主要的误差来源在于光楔相对旋转

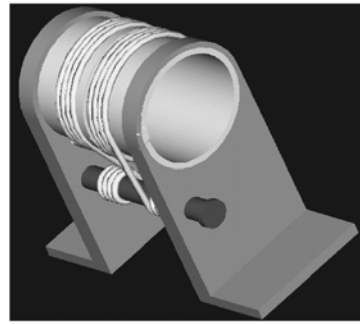


图 12 双光楔同步反向旋转方案设计

Fig. 12 Design for synchronous rotation of two optical wedges in opposite direction

的角度误差,被测量元件本身的制造误差和图像的背景噪声、环境噪声以及 CCD 本身的噪声源,还有图像处理误差等等。光楔相对旋转的角度误差可以通过上述同步调节方案最小化,其他噪声引起的误差可以通过软件算法来减少或抑制。

4 结 论

针对光学元件结构特点,提出了一种简便型干涉仪,其基于雅敏干涉平板结构,利用可旋转双光楔实现条纹周期的动态调制,可满足光学元件实时检测的需求。双光楔的设计楔角为 $10'$,因此干涉仪的条纹周期可在 $0.105 \sim 5.993$ mm/pair,调节条纹倾斜度可任意调节。实验中对钽酸锂晶体在高压下发生畴反转现象进行检测,获得了约 $\lambda/30$ 的检测精度,基本满足一般光学元件的实时检测要求。为进一步实现高精度实时检测,方便调节干涉条纹周期,提出了一种简便的双光楔同步反向旋转方案。

参考文献:

- [1] 吴栋,朱日宏,陈磊. 移相式激光干涉仪抗振技术的研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2004, 41(6): 25-29.
WU D, ZHU R H, CHEN L. Advances in vibration-resistant techniques of phase-shift laser interferometer [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2004, 41(6): 25-29. (in Chinese)
- [2] 张以谟,井文才,张红霞,等. 数字化白光扫描干涉

仪的研究[J]. 光学精密工程, 2004, 12(6): 560-565.

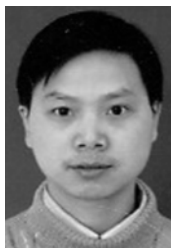
ZHANG Y M, JING W C, ZHANG H X, *et al.*. Computerized white light scanning interferometer and the application [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(6): 560-565. (in Chinese)

[3] NEAL B, JOHN H, BRAD K, *et al.*. Dynamic interferometry [C]. *Proc. SPIE, Bellingham WA*, 2005, 5875: 58750F-1-10.

[4] BABAK N S, JAMES M, RITVA K K, *et al.*. Instantaneous phase-shifted speckle interferometer for

- measurement of large structures [J]. *SPIE*, 2004, 5494:152-162.
- [5] DANIEL M. *Optical Shop Testing* [M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- [6] 邵晶, 马冬梅. 点衍射干涉仪基准波前测试技术研究[J]. *中国激光*, 2011, 38(5):0508003-1-6.
SHAO J MA D M. Testing the criterion wavefront diffracted by point diffraction interferomete [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2011, 38(5): 0508003-1-6. (in Chinese)
- [7] 王孝坤, 王丽辉, 张学军. 子孔径拼接干涉法检测非球面[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(2): 192-198.
WANG X K, WANG L H, ZHANG X J. Testing asphere by subaperture stitching interferometric method [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 192-198. (in Chinese)
- [8] 王孝坤, 王丽辉, 张学军. 干涉法实时测量浅度非球面技术[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(2): 184-189.
WANG X K, WANG L H, ZHANG X J. Testing of weak aspheric surface by real-time interferometry [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008 16(2): 184-189. (in Chinese)
- [9] 贺俊, 陈磊. 使用红外干涉仪测量非球面面形[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(1): 69-74.
HE J, CHEN L. Measurement of aspheric surfaces by infrared interferometer [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(1): 69-74. (in Chinese)
- [10] 朱勇建, 尹韶辉, 盛晓敏, 等. 两种非球面面形的光学测量方法研究[J]. *中国机械工程*, 2009, 20(3): 271-275.
ZHU Y J, YIN S H, SHENG X M, *et al.*. Research on two optical methods for aspheric measurement [J]. *China Mechanical Engineering*, 2009, 20(3): 271-275. (in Chinese)
- [11] 朱勇建, 刘立人, 栗竹, 等. 检测铌酸锂晶体极化畴反转的装置: 中国, CN1869657A[P]. 2006.
ZHU Y J, LIU L R, LUAN Z, *et al.*. Detection setup of domain reverse inside LiNiO₃: China, CN1869657A[P]. 2006. (in Chinese)
- [12] QU W J, LIU D A, ZHI Y N, *et al.*. Quantitative measurement of domain inversion in RuO₂: LiNbO₃ crystal by digital holographic interferometry [J]. *Journal of Applied Physics*, 2006, 100(054108):1-6.
- [13] ZHI Y N, LIU D A, QU W J, *et al.*. Investigation of effective internal field in congruent lithium niobate crystal by digital holographic interferometry [J], *Applied Physics Letters*, 2007, 90(3): 032903-032905.
- [14] ZHI Y N, QU W J, LIU D A, *et al.*. Ridge-shape phase distribution adjacent to 180° domain wall in congruent LiNbO₃ crystal [J]. *Applied Physics Letters*, 2006, 89(11):112912-112914.
- [15] ANGELIS M D, NICOLA S D, FERRARO P. Interferometric analysis of a lithium niobate with engineering reversed domains [C]. *Proc. SPIE, San Diego, U. S.*, 2003, 5144: 745-752.
- [16] GHIGLIA D C, PRITT M D. *Two-Dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms, and Software* [M]. New York: Wiley, 1998.

作者简介:



朱勇建(1979—),男,江西瑞昌人,副研究员,2000年、2003年于吉林大学分别获得学士学位、硕士学位,2007年于中科院上海光机所获得博士学位,主要从事光学干涉检测、三维测量方面的研究。E-mail: zhuyongjian_hn@yahoo.com.cn



那景新(1957—),男,黑龙江哈尔滨人,吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室教授,博士生导师,研究领域为汽车车身结构轻量化设计与性能分析。E-mail:najx@jlu.edu.cn



潘卫清(1976—),男,浙江临安人,副教授,2006年于中科院上海光机所获得博士学位,主要从事光学全息测量工作。E-mail: pan_weiqing@163.com



尹韶辉(1967—),男,湖南湘潭人,教授,博士生导师,1990年于华中科技大学获得硕士学位,2002年于日本宇都宫大学获博士学位,主要从事光学先进制造方面的工作。E-mail: shyin2000@hotmail.com



李安虎(1974—),男,安徽寿县人,副教授,硕士生导师,2007年于中科院上海光机所获博士学位,主要从事光学测量、光机械设计方面的工作。E-mail: lah@tongji.edu.cn

● 下期预告

潜望式卫星光通信终端 CCD 跟踪算法研究

谭立英,吴世臣,韩琦琦,马 晶

(哈尔滨工业大学 可调谐气体激光器国家级重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150001)

潜望式结构粗瞄机构被广泛采用于小口径、轻小型卫星光通信系统,然而由于潜望镜结构终端光学结构随粗瞄机构姿态变化而发生改变,使得相应的跟踪算法变得较为复杂。为实现潜望镜式光通信粗瞄机构高精度稳定跟踪,对潜望式星间激光通信终端粗跟踪算法进行了研究。利用矩阵光学方法,建立了潜望镜式光通信终端中光学器件的矩阵模型,在获得了 CCD 测角模型后,推导了基于 CCD 测角的粗瞄装置自动跟踪算法模型,实现了潜望镜式光通信终端粗瞄装置对目标光束的快速跟踪,并对模型进行了相应的实验验证。实验结果表明,该 CCD 测角跟踪模型正确反应了实际终端中的光学传递关系,能够正确的对 CCD 图像位置信号进行处理并获得稳定跟踪角度,平均跟踪精度优于 $10 \mu\text{rad}$ 。满足卫星激光通信中稳定可靠、高精度的粗跟踪要求。该方法对类似的光学系统问题具有一定的借鉴意义。