



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104897272 B

(45)授权公告日 2018.01.05

(21)申请号 201510340553.6

(22)申请日 2015.06.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104897272 A

(43)申请公布日 2015.09.09

(73)专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 谭久彬 何张强 崔俊宁

(51)Int.Cl.
G01H 9/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 104316158 A,2015.01.28,
CN 104061998 A,2014.09.24,
CN 102435421 A,2012.05.02,
CN 103308150 A,2013.09.18,
CN 103308149 A,2013.09.18,
GB 1392395 A,1975.04.30,
US 5469259 A,1995.11.21,

周伦彬.外差式激光干涉振动一次校准.《计量学报》.2003,第24卷(第3期),第211-215页.

Simon Rerucha等.Detection of interference phase by digital computation of quadrature signals in homodyne laser interferometry.《Sensors》.2012,第12卷(第10期),第14095-14112页.

于梅等.两种激光绝对法振动测试技术的对比实验及分析.《现代测量与实验室管理》.2004,第12卷(第6期),第8-11页.

Pengcheng Hu等.DC-offset-free homodyne interferometer and its nonlinearity compensation.《Optics Express》.2015,第23卷(第7期),第8399-8408页.

张大治等.零差激光干涉仪在超低频大振幅振动测量中的应用.《理论与实践》.2008,第28卷(第4期),第16-18、34页.

审查员 伊慧贞

权利要求书1页 说明书8页 附图2页

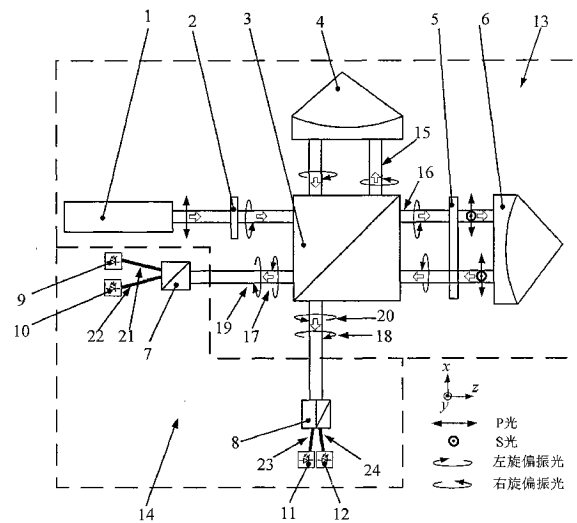
(54)发明名称

双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪

(57)摘要

无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪属于激光干涉测量领域;干涉部分通过两个四分之一波片和消偏振分光镜NBS产生双路偏振方向正交、光路重合的圆偏振参考光和圆偏振测量光,探测部分参考光和测量光通过两个绕光束空间旋转角度成特定关系的渥拉斯特棱镜产生四路相位相差90°的光电信号,从光路结构与原理上具有抑制非线性误差的突出特性;本发明采用较少的光学元件实现四通道零差正交激光干涉测量,可有效解决现有技术中光路存在偏振泄露与偏振混叠,输出信号存在直流偏置误差与非正交误差,测量结果非线性误差显著等问题,在超精密振动测量领

域具有显著的技术优势。



1. 一种无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪, 由干涉部分(13)和探测部分(14)组成, 其特征在于: 所述干涉部分(13)由激光器(1)、第一四分之一波片(2)、第一消偏振分光镜(3)、测量镜(4)、第二四分之一波片(5)、参考镜(6)组成; 激光器(1)发出线偏振光, 经第一四分之一波片(2)后变成圆偏振光, 再经第一消偏振分光镜(3)进行分光, 反射光形成第一光束(15)作为测量光, 透射光形成第二光束(16)作为参考光; 第一光束(15)经测量镜(4)反射后, 再经第一消偏振分光镜(3)反射形成第三光束(17)和透射形成第四光束(18); 第二光束(16)经过第二四分之一波片(5)后变成线偏振光, 经参考镜(6)反射后再次经过第二四分之一波片(5)变成圆偏振光, 然后经第一消偏振分光镜(3)透射形成第五光束(19)和反射形成第六光束(20); 第三光束(17)、第五光束(19)为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光; 第四光束(18)、第六光束(20)为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光; 所述探测部分(14)由第一渥拉斯特棱镜(7)、第二渥拉斯特棱镜(8)、第一光电探测器(9)、第二光电探测器(10)、第三光电探测器(11)和第四光电探测器(12)组成, 第三光束(17)、第五光束(19)经第一渥拉斯特棱镜(7)分成第一o光(21)、第一e光(22), 分别被第一光电探测器(9)、第二光电探测器(10)接收; 第四光束(18)、第六光束(20)经第二渥拉斯特棱镜(8)分成第二o光(23)、第二e光(24), 分别被第三光电探测器(11)、第四光电探测器(12)接收。

2. 根据权利要求1所述的无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪, 其特征在于: 所述激光器(1)为稳频激光器。

3. 根据权利要求1所述的无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪, 其特征在于: 所述测量镜(4)、参考镜(6)为角锥反射镜。

双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪

技术领域

[0001] 本发明属于激光干涉测量领域,主要涉及一种无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪。

背景技术

[0002] 激光测振仪作为能够将振动量值溯源到激光波长的超精密测量仪器,被广泛应用于位移动态测量、振动测量与监测、超精密装备与系统集成、科学研究与实验等领域。基于激光干涉法的激光测振仪按照原理可分为零差和外差两大类,二者在工作原理、光路结构和技术特点上具有显著区别。零差测量法采用单频激光作为光源,基于经典或改进的迈克尔逊激光干涉原理,通过测量干涉条纹的相位变化直接测位移;而外差测量法是采用双频激光作为光源,基于多普勒效应,通过测量多普勒频差测量被测件的运动速度而间接测位移。外差激光测振仪(常称多普勒激光测振仪)其信号处理本质上是进行频率测量,系统本身是动态交流系统,具有抗干扰能力强、测量结果受光强变化影响小等特点,缺点是非线性误差来源较多,修正比较复杂,具有较高的技术复杂度和技术难度。而零差激光测振仪技术则较为成熟,具有结构简单、测量精度高、动态范围宽,非线性易于补偿等优点。尤其近年来,科学研究与实验提出了亚纳米甚至皮米精度的振动测量需求,零差测量法又重新受到了研究人员的关注而成为本领域的研究热点。

[0003] 随着干涉测量技术的发展,目前零差激光测振仪多采用先进的零差正交激光测振方案,利用偏振光移相干涉技术,获得两路正交光电信号,通过反正切计算和连续相位解调,实现振动的高分辨力测量。零差正交激光测振仪输出的两路信号在理想情况下应是等幅值、无直流偏置、相位正交的简谐信号,两路信号的李萨如图应是一标准圆;但实际由于激光功率漂移、光学元器件不理想以及光学元件安装位置误差等因素,尤其是偏振分光镜PBS和偏振片等光学器件存在偏振泄漏,波片器件存在相位延迟误差等因素,导致实际输出的两路正交信号存在直流偏置、不等幅及非正交误差,从而给测量结果带来非线性误差。现有的零差正交激光测振仪非线性误差可达几纳米、甚至几十纳米,虽然可在一定程度上通过数学方法进行修正,但对采样率和数字信号的处理速度提出了很高的要求,且要求两路信号的李萨如图必须为完整的椭圆才能进行修正。修正运算一方面严重影响测量的实时性,另一方面精度和效果也受到限制。因此,如何通过光路结构与原理上的创新,从原理上避免非线性误差产生的因素,是解决零差正交激光测振仪非线性误差问题最有效的方法,也是本领域研究的热点问题。

[0004] 零差正交激光测振仪的光路结构由干涉部分和探测部分两大部分组成。现有技术方案在干涉部分和/或探测部分,受光路结构、原理及光学器件本身特性不理想的限制,存在难以克服的非线性误差。对现有技术方案的优缺点及产生非线性误差的原因分述如下:

[0005] (1) 传统经典的零差正交激光测振仪技术方案中,干涉部分采用偏振分光镜PBS分光,产生P分量的参考光和S分量的测量光;探测部分先经消偏振分光镜NBS分光后一路经偏振片后,被光电探测器接收,另一路先经四分之一波片变成圆偏振光,然后再经偏振片被光

电探测器接收。该技术方案中,干涉部分采用的偏振分光镜PBS和探测部分采用的偏振片消光比低(一般在1000:1量级),存在偏振泄漏现象,导致该光路非线性误差显著。

[0006] (2) 1999年,基于消偏振分光镜NBS和渥拉斯特棱镜分光的零差正交激光测振技术方案,被写入“ISO16063-11激光干涉法振动绝对校准”标准中(ISO16063-41“Methods for the calibration of vibration and shock transducers--Part 41:Calibration of laser vibrometers”).该技术方案中,干涉部分激光光源输出线偏振光,使线偏振光的偏振方向与四分之一波片的快轴方向成 45° 夹角,线偏振光经过四分之一波片后变成圆偏振光,采用消偏振分光镜NBS对圆偏振光进行分光,参考臂上采用偏振片将参考光的偏振态由圆偏振变成线偏振,而测量光始终为圆偏振光;探测部分参考光和测量光经渥拉斯特棱镜分光产生两路正交的干涉信号。由于探测部分采用渥拉斯特棱镜分光,渥拉斯特棱镜利用双折射晶体自身的物理特性分离不同的偏振光,具有较大的消光比(可高于100000:1),因此探测部分可视为不存在偏振混叠现象。该技术方案存在的不足之处在于:1) 参考臂上放置偏振片导致参考光相对于测量光的光强大大降低,引入两路输出信号的不等幅误差;2) 干涉部分采用偏振片产生线偏振光,偏振片消光比低,干涉部分存在偏振混叠而引入非线性误差。

[0007] (3) 2009年,斯洛文尼亚的G Peter等提出了一种基于消偏振分光镜NBS和八分之一波片的零差正交激光测振仪(1.G Peter,T Pozar,M Janez.“Quadrature phase-shift error analysis using a homodyne laser interferometer”.Optics Express,2009,17(18):16322-16331.2.G Peter,T Pozar,M Janez.“Phase-shift error in quadrature-detection-based interferometers”.Proc.of SPIE,2010,Vol.7726:77260X-1-77260X-10.)。该技术方案中,干涉部分激光光源输出偏振方向为 45° 方向的线偏振光,采用消偏振分光镜NBS进行分光,参考光折返两次经过八分之一波片,偏振态由线偏振变为圆偏振,而测量光偏振方向保持不变;参考光和测量光在探测部分采用偏振分光镜PBS分光产生两路正交的干涉信号。该技术方案的光路较简单,光学元件较少。其存在的不足之处在于:1) 八分之一波片器件精度较差,实际相移小于 45° ,线偏振参考光两次经过八分之一波片实际得到的是椭圆偏振光,导致实际输出的两路信号的非正交相移误差较大;2) 探测部分采用PBS分光,存在偏振泄漏现象,引入较大的非线性误差。

[0008] 该技术方案存在其他两种改进形式:一是韩国的Jeongho Ahn等在G Peter方案光路的基础上,采用角锥棱镜取代G Peter方案中的平面参考镜和测量镜(Jeongho Ahn,“Nonlinear Error Compensation and Alignment Error Insensitive Method for Resolution Enhancement of Precise Displacement Measuring Interferometer”, Doctoral thesis,2010),在参考臂中,采用四分之一波片取代 $\lambda/8$ 波片,由于角锥参考镜反射前、后参考光存在横向位移,因此可使参考光只经过一次四分之一波片,改进后的方案可获得较理想的圆偏振态参考光,但由于参考光的横向位移较小,四分之一波片如采用波片架固定会遮挡相邻光束,因此实际通常是将四分之一波片贴于消偏振分光镜NBS的表面,会导致调整困难。二是匈牙利的Dániel I等采用渥拉斯特棱镜取代了G Peter方案中探测部分的偏振分光镜PBS(Dániel I.“Advanced successive phase unwrapping algorithm for quadrature output Michelson interferometers”.Measurement,2005,37(2):95-102.),仅在一定程度上改善了探测部分的偏振泄漏问题。

[0009] 上述几种零差正交激光测振技术方案在探测部分均采用双通道探测技术,理想情况下输出的是两路相位相差 90° 的正交光电信号,由于输出信号是直流信号,激光的功率漂移及其它共模干扰因素会引起两路正交信号的直流偏置发生变化。根据信号处理的相位解算公式“ $\phi = \tan^{-1}[(I_y - I_0)/(I_x - I_0)]$ ”,其中 I_x 和 I_y 为正交光电信号, I_0 为直流偏置”可知,直流偏置变化会直接影响相位解算结果,从而引入非线性误差。在双通道探测技术方案中,激光功率漂移是非线性误差的一个重要误差源。有学者提出新的四通道探测技术方案,思路是通过偏振移相,获得四路相位分别为 0° 、 90° 、 180° 和 270° 的光电信号,使相位相差 180° 的两个信号相减,可有效消除直流偏置及其他共模干扰因素引入的误差,提高系统的抗干扰能力。

[0010] 探测部分作为零差正交激光测振仪光路的两大组成部分之一,其性能和精度对零差正交激光测振仪的非线性误差大小和测量精度具有举足轻重的作用。针对现有各种可用于零差正交激光测振的四通道探测技术方案,对各自的优缺点及产生非线性误差的原因分述如下:

[0011] (1) 1995年,意大利学者Greco首次提出一种基于四分之一波片移相和偏振分光镜PBS 分光的四通道探测技术方案(Greco V, Molesini G, Quercioli F. "Accurate polarization interferometer". *Review of Scientific Instruments*, 1995, 66(7): 3729-3734.)。该技术方案可用于零差正交激光测振仪的探测部分,如前级光路输出信号形式为两个偏振方向正交的线偏振光,记为P光和S光,使二分之一波片的快轴方向与P光或S光的偏振方向成 22.5° 夹角,则P光、S光经过二分之一波片后变成偏振方向为 45° 方向的两个正交线偏振光,再经消偏振分光镜NBS等比例分光,其中一路直接经偏振分光镜PBS得到两路相位为 0° 和 180° 的干涉信号,另一路先经快轴为 45° 方向的四分之一波片变成圆偏振光,再经偏振分光镜PBS分光得到另外两路相位为 90° 和 270° 的干涉信号,最终得到四路相位相差 90° 的干涉信号。该技术方案存在的不足之处在于:1) 光学元件较多,非线性误差来源较多;2) 采用偏振分光镜PBS分光,存在偏振泄漏现象,导致非线性误差显著。

[0012] (2) 2001年,台湾学者Lee等提出基于空间旋转偏振分光镜PBS的四通道探测技术方案(Lee, J.Y. Su, D.C. "Central fringe identification by phase quadrature interferometric technique and tunable laser-diode". *Optics Communications*, 2001, 198(4-6): 333-337)。该四通道探测技术方案在Greco提出的技术方案的基础上,通过将其中一个偏振分光镜PBS空间旋转 45° ,使得光路减少了一个二分之一波片。但由于PBS不可避免的分光误差,即无法将互相正交的偏振光完全分离,因此也存在较显著的偏振泄漏现象,严重影响各路信号的输出质量。

[0013] (3) 1997年,美国学者Peter提出了一种基于渥拉斯特棱镜分光的四通道探测技术方案(Peter G. "Homodyne interferometric receiver and calibration method having improved accuracy and functionality". US Patent: US5663793)。该技术方案可用于零差正交激光测振仪的探测部分,如前级光路输出两个正交偏振光,通过一种部分偏振分光镜(PPBS)分成两束,一束直接经渥拉斯特棱镜分成两束然后被两个光电探测器接收,另一束先经四分之一波片,再经渥拉斯特棱镜分成两束然后被两个光电探测器接收,最终得到四路相位相差 90° 的干涉信号。该技术方案存在的不足之处在于:1) 探测部分需要额外的四分之一波片才能产生四路相位相差 90° 的光电信号;2) 探测部分光路不对称,易引入

直流偏置、不等幅及非正交误差,从而引入非线性误差。

[0014] (4) 2006年,上海理工大学的王力等提出在Peter的四通道探测技术方案的基础上,将四分之一波片放在分光镜之前,再通过绕光束方向空间旋转其中一个渥拉斯特棱镜 45° 实现四通道探测(王力,侯文玫.“单频激光干涉仪四通道信号接收系统”.计量学报,2006,27(4):313-316)。该技术方案的优点是光路对称性较好,解决了Peter提出的方案的非正交误差问题,其存在的不足之处在于:1)探测部分需要额外的四分之一波片才能产生四路相位相差 90° 的光电信号;2)采用的分光镜为普通分光镜BS,分光效果与入射到四通道探测部分的光偏振态有关,且具有较大的附加相移。

[0015] (5) 2015年,哈尔滨工业大学的胡鹏程等也提出了一种基于空间旋转渥拉斯特棱镜的四通道探测技术方案(Pengcheng Hu,et.al.“DC-offset homodyne interferometer and its nonlinearity compensation”.Optics Express,2015,23(7):8399-8408)。该技术方案中,如干涉部分输出两个偏振方向正交的线偏振光,记为P光和S光,经消偏振分光镜NBS分成两束,一束直接经绕光束方向空间旋转 45° 的渥拉斯特棱镜分成两束,然后被两个光电探测器接收,另一束先经光轴与一个线偏振光的偏振方向一致的四分之一波片,再经另一绕光束方向空间旋转 45° 的渥拉斯特棱镜分成两束,然后被另两个光电探测器接收。最终得到四路相位相差 90° 的干涉信号。该技术方案存在的不足之处在于:1)探测部分需要额外的四分之一波片才能产生四路相位相差 90° 的光电信号;2)探测部分光路不对称,易引入直流偏置、不等幅及非正交误差,从而引入非线性误差。

[0016] 综上,由于激光功率漂移、光学元器件不理想以及光学元件安装误差等因素,尤其是偏振分光镜PBS和偏振片等光学器件的偏振泄漏以及波片器件的相位延迟误差,导致现有零差正交激光测振仪技术方案在干涉部分和/或探测部分,受光路结构、原理及光学器件本身特性不理想的限制,存在难以克服的非线性误差,非线性误差可达几nm甚至几十nm,难以满足实时、高精度测量,尤其是下一代亚纳米甚至皮米级精度、以及纳米级振幅等振动测量需求。因此,如何通过光路结构与原理上的创新,提供一种能从光路结构和原理上抑制非线性误差的零差正交激光测振技术方案,意义十分重大。

发明内容

[0017] 本发明的目的是针对现有零差正交激光测振技术方案在光路结构和原理上存在的非线性误差问题,提供一种无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪,通过光路结构与原理的创新,采用较少的光学元件实现四通道零差正交激光干涉测量,从原理上消除了各种非线性误差的来源,从光路结构与原理上获得抑制非线性误差的显著特性,可有效解决现有技术方案中光路存在偏振泄露与偏振混叠、输出信号存在直流偏置与非正交误差,测量结果非线性误差显著的问题。

[0018] 本发明的技术解决方案是:

[0019] 一种无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪,由干涉部分和探测部分组成,所述干涉部分由激光器、第一四分之一波片、第一消偏振分光镜、测量镜、第二四分之一波片、参考镜组成;激光器发出线偏振光,经第一四分之一波片后变成圆偏振光,再经第一消偏振分光镜进行分光,反射光形成第一光束作为测量光,透射光形成第二光束作为参考光;第一光束经测量镜反射后,再经第一消偏振分光镜反射形成第

三光束和透射形成第四光束；第二光束经过第二四分之一波片后变成线偏振光，经参考镜反射后再次经过第二四分之一波片变成圆偏振光，然后经第一消偏振分光镜透射形成第五光束和反射形成第六光束；第三光束、第五光束为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光；第四光束、第六光束为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光；所述探测部分由第一渥拉斯特棱镜、第二渥拉斯特棱镜、第一光电探测器、第二光电探测器、第三光电探测器和第四光电探测器组成，第三光束、第五光束经第一渥拉斯特棱镜分成第一o光、第一e光，分别被第一光电探测器、第二光电探测器接收；第四光束、第六光束经第二渥拉斯特棱镜分成第二o光、第二e光，分别被第三光电探测器、第四光电探测器接收。

[0020] 所述激光器为稳频激光器。

[0021] 所述测量镜、参考镜为角锥反射镜。

[0022] 本发明的技术创新性及产生的良好效果在于：

[0023] (1) 本发明提出一种从原理上抑制非线性误差的四通道零差正交激光测振仪技术方案。该技术方案光路简单，元器件少，减少了非线性误差产生的环节；利用渥拉斯特棱镜双折射晶体自身的物理特性分光，可获得极高的消光比（可高于100000:1），采用消偏振分光镜NBS 进行等比例分光，分光特性与入射光的偏振态无关，从而可从原理上抑制偏振泄露与混叠；四通道探测部分无波片器件，具有高对称性，可有效抑制激光功率漂移、共模干扰等因素引起的直流偏置和非正交误差，是能够抑制非线性误差的最优探测技术方案。通过上述技术创新，有效解决了现有技术方案光路存在严重偏振泄露与偏振混叠，输出信号存在直流偏置与非正交误差，测量结果非线性误差显著的问题。

[0024] (2) 本发明通过旋转两个渥拉斯特棱镜和两个四分之一波片的安装角度，可补偿光源不理想（椭圆极化等）、光学元件不理想（波片延迟误差、消偏振分光镜的附加相移等）导致输出正交信号存在的直流偏置、非正交误差问题；同时消偏振分光镜NBS的分光特性具有非常好的稳定性；获得的正交信号在进行振幅修正后，能获得中心在原点的理想圆形式的李萨如图，非线性误差可低至皮米量级。解决了现有技术方案非线性误差大，修正复杂困难，修正运算耗时，修正精度低的问题，能够满足下一代实时、亚纳米甚至皮米级精度、纳米级振幅等振动测量需求。

[0025] (3) 本发明干涉部分产生的是两路偏振方向相互正交的圆偏振测量光和参考光，由于圆偏振光的特殊性，参考臂上的四分之一波片理想上其快轴可为任意角度；而探测部分无需额外的四分之一波片或二分之一波片，只需调整渥拉斯特棱镜的安装角度，即可容易获得四路相位相差 90° 的干涉信号，光路调整十分简便。解决了现有技术方案光路调整不便，调整环节易引入误差的问题。

[0026] (4) 本发明干涉部分产生两路干涉光，因此探测部分不需要再增加消偏振分光镜进行分光，激光光源利用率为100%，且光学元件少，集成度较高。

附图说明

[0027] 图1为本发明的无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪的光路原理图的一个实施例；

[0028] 图2为第一渥拉斯特棱镜安装角度的一个实施例；

[0029] 图3为第二渥拉斯特棱镜安装角度的一个实施例；

[0030] 图中,1激光器、2第一四分之一波片、3第一消偏振分光镜、4测量镜、5第二四分之一波片、6参考镜、7第一渥拉斯特棱镜、8第二渥拉斯特棱镜、9第一光电探测器、10第二光电探测器、11第三光电探测器、12第四光电探测器、13干涉部分、14探测部分、15第一光束、16第二光束、17第三光束、18第四光束、19第五光束、20第六光束、21第一o光、22第一e光、23第二o光、24第二e光。

具体实施方式

[0031] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明,并给出实施例。

[0032] 一种无正交误差的双路圆偏振干涉和双渥拉斯特棱镜分光式零差激光测振仪,由干涉部分13和探测部分14组成,所述干涉部分13由激光器1、第一四分之一波片2、第一消偏振分光镜3、测量镜4、第二四分之一波片5、参考镜6组成;激光器1发出线偏振光,经第一四分之一波片2后变成圆偏振光,再经第一消偏振分光镜3进行分光,反射光形成第一光束15作为测量光,透射光形成第二光束16作为参考光;第一光束15经测量镜4反射后,再经第一消偏振分光镜3反射形成第三光束17和透射形成第四光束18;第二光束16经过第二四分之一波片5后变成线偏振光,经参考镜6反射后再次经过第二四分之一波片5变成圆偏振光,然后经第一消偏振分光镜3透射形成第五光束19和反射形成第六光束20;第三光束17、第五光束19为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光;第四光束18、第六光束20为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光;所述探测部分14由第一渥拉斯特棱镜7、第二渥拉斯特棱镜8、第一光电探测器9、第二光电探测器10、第三光电探测器11和第四光电探测器12组成,第三光束17、第五光束19经第一渥拉斯特棱镜7分成第一o光21、第一e光22,分别被第一光电探测器9、第二光电探测器10接收;第四光束18、第六光束20经第二渥拉斯特棱镜8分成第二o光23、第二e光24,分别被第三光电探测器11、第四光电探测器12接收。

[0033] 所述激光器1为稳频激光器。

[0034] 所述测量镜4、参考镜6为角锥反射镜

[0035] 图1给为本发明的一个实施例。本实施例中,激光器1采用经过稳频的He-Ne激光器,波长为632.8nm,噪声 $<0.05\%$ rms,输出功率为1mW,偏振化为1000:1,在空间坐标系xyz

内,激光器1发出线偏振光,偏振方向为x轴,即为P光,因此其琼斯矢量表达式为 $E_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ 但

具有一定极化角。第一四分之一波片2放置在xy平面内,其存在的相位延迟误差为 $\pi/250$,通过旋转第一四分之一波片2,理想情况下,当第一四分之一波片2快轴与x轴成 45° 时,P光变成右旋偏振光。经第一消偏振分光镜3等比例分光,反射光形成作为测量光的右旋偏振的第一光束15,透射光形成作为参考光的右旋偏振的第二光束16。根据反射镜的琼斯矩阵表达

式 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$,可得,反射光相对入射光沿y轴振动方向具有 180° 的相移,因此在测量臂上,右

旋偏振态的第一光束15经测量镜4反射后变成左旋偏振光,然后经第一消偏振分光镜3反射形成第三光束17和透射形成第四光束18。在参考臂上,第二四分之一波片5放置在xy平面内,第二光束16先经过第二四分之一波片变成线偏振光,经参考镜6反射后,再经第二四分之一波片变成右旋偏振光,然后经第一消偏振分光镜3透射形成第五光束19和反射形成第

六光束20。由于圆偏振光的特殊性,第二四分之一波片5的快轴与x轴成任意角度,右旋偏振态的第二光束16折返两次第二四分之一波片后仍为右旋偏振光。第三、五光束17、19为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光,第四、六光束18、20为光路重合、且偏振方向正交的圆偏振光。在探测部分14,第三光束17和第五光束19被第一渥拉斯特棱镜7分成第一o光21和第一e光22,分别被第一、二光电探测器9、10接收,第四光束18和第六光束20被第二渥拉斯特棱镜8分成第二o光23和第二e光24,分别被第一、二光电探测器11、12接收。消偏振分光镜并不能保证严格意义上的按50:50分光,其透射率一般略大于反射率。

[0036] 本实施例中,光电探测器采用Si PIN类型的二象限光电探测器,光敏区大小为10mm×10mm,灵敏度为0.45A/W($\lambda=632.8\text{nm}$),二象限光电探测器的两个象限分别作为第一、二光电探测器9、10;同理,采用另一个二象限光电探测器的两个象限作为第三、四光电探测器11、12。

[0037] 理想情况下,第一、二、三、四光电探测器9、10、11、12接收的干涉信号 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 表达式为:

$$\begin{aligned}
 [0038] \quad E_1 &= \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2}e^{-i\phi_r} + \frac{\sqrt{2}}{2}e^{-i\phi_m} \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2}(e^{-i(\phi_r-\pi)} + e^{-i\phi_m}) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 [0039] \quad E_2 &= \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{2}ie^{-i\phi_r} + \frac{\sqrt{2}}{2}ie^{-i\phi_m} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2}(e^{-i(\phi_r-\pi/4)} + e^{-i(\phi_m-\pi/4)}) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 [0040] \quad E_3 &= \begin{bmatrix} (-\frac{\sqrt{2}}{4} - \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_r} + (\frac{\sqrt{2}}{4} - \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_m} \\ (-\frac{\sqrt{2}}{4} - \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_r} + (\frac{\sqrt{2}}{4} - \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_m} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2}(e^{-i(\phi_r+3\pi/4)} + e^{-i(\phi_m+\pi/4)}) \cdot \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \quad (1) \\
 [0041] \quad E_4 &= \begin{bmatrix} (-\frac{\sqrt{2}}{4} + \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_r} + (\frac{\sqrt{2}}{4} + \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_m} \\ (\frac{\sqrt{2}}{4} - \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_r} + (-\frac{\sqrt{2}}{4} - \frac{\sqrt{2}}{4}i)e^{-i\phi_m} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2}(e^{-i(\phi_r-3\pi/4)} + e^{-i(\phi_m-\pi/4)}) \cdot \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

[0042] 其中 ϕ_r 、 ϕ_m 分别为参考臂和测量臂的光程引入的相位变化。

[0043] 四路干涉信号的的光强表达式为:

$$[0044] \quad I_1 = E_1 \cdot E_1^* = 1 + \cos(\phi_r - \pi - \phi_m) = 1 - \cos(\phi_r - \phi_m)$$

$$[0045] \quad I_2 = E_2 \cdot E_2^* = 1 + \cos(\phi_r - \pi/4 - \phi_m + \pi/4) = 1 + \cos(\phi_r - \phi_m)$$

$$[0046] \quad I_3 = E_3 \cdot E_3^* = 1 + \cos(\phi_r + 3\pi/4 - \phi_m - \pi/4) = 1 - \sin(\phi_r - \phi_m) \quad (2)$$

$$[0047] \quad I_4 = E_4 \cdot E_4^* = 1 + \cos(\phi_r - 3\pi/4 - \phi_m + \pi/4) = 1 + \sin(\phi_r - \phi_m)$$

$$[0048] \quad I_4 = E_4 \cdot E_4^* = 1 + \cos(\phi_r - 3\pi/4 - \phi_m + \pi/4) = 1 + \sin(\phi_r - \phi_m)$$

[0049] 因此由第一、三、二、四光电探测器9、11、10、12接收到的干涉信号的相位相对关系分别为 0° 、 90° 、 180° 和 270° 。

[0050] 本实施例中,第一渥拉斯特棱镜7水平放置在xz平面内,通过调整第一四分之一波片2和第二四分之一波片5的快轴与x轴的角度,以及绕x轴旋转第二渥拉斯特棱镜8的空间

角度,可使第一、三、二、四光电探测器9、11、10、12接收到的干涉信号的相位相对关系分别为 0° 、 90° 、 180° 和 270° ,同时使第一、二光电探测器9、10接收到的干涉信号的直流偏置相等、第三、四光电探测器11、12接收到的干涉信号的直流偏置相等。由于消偏振分光镜3的透射率略微大于其反射率,因此第一、二光电探测器9、10接收到的干涉信号的交流振幅略小于第三、四光电探测器11、12的交流振幅。因此,当第一、二光电探测器9、10接收到的干涉信号相减、第三、四光电探测器11、12接收到的干涉信号相减后,可获得两路无直流偏置、无正交误差的正交信号,在振幅修正后,最终得到两路正交信号的李萨如图为一理想的中心在原点的标准圆。

[0051] 图2和图3为第一、二渥拉斯特棱镜安装角度的实施例。第三、五光束17、19垂直入射到第一渥拉斯特棱镜7的第一块棱镜,第一块棱镜的光轴平行于x轴,由于第二块棱镜的光轴相对于第一块棱镜转过了 90° ,因此光束在第一块棱镜与第二块棱镜的截面处,o光和e光的传播方向发生了改变。第四、六光束18、20垂直入射到第二渥拉斯特棱镜8的第一块棱镜,本实施例,理想上,第二渥拉斯特棱镜8绕x轴旋转了 45° 。

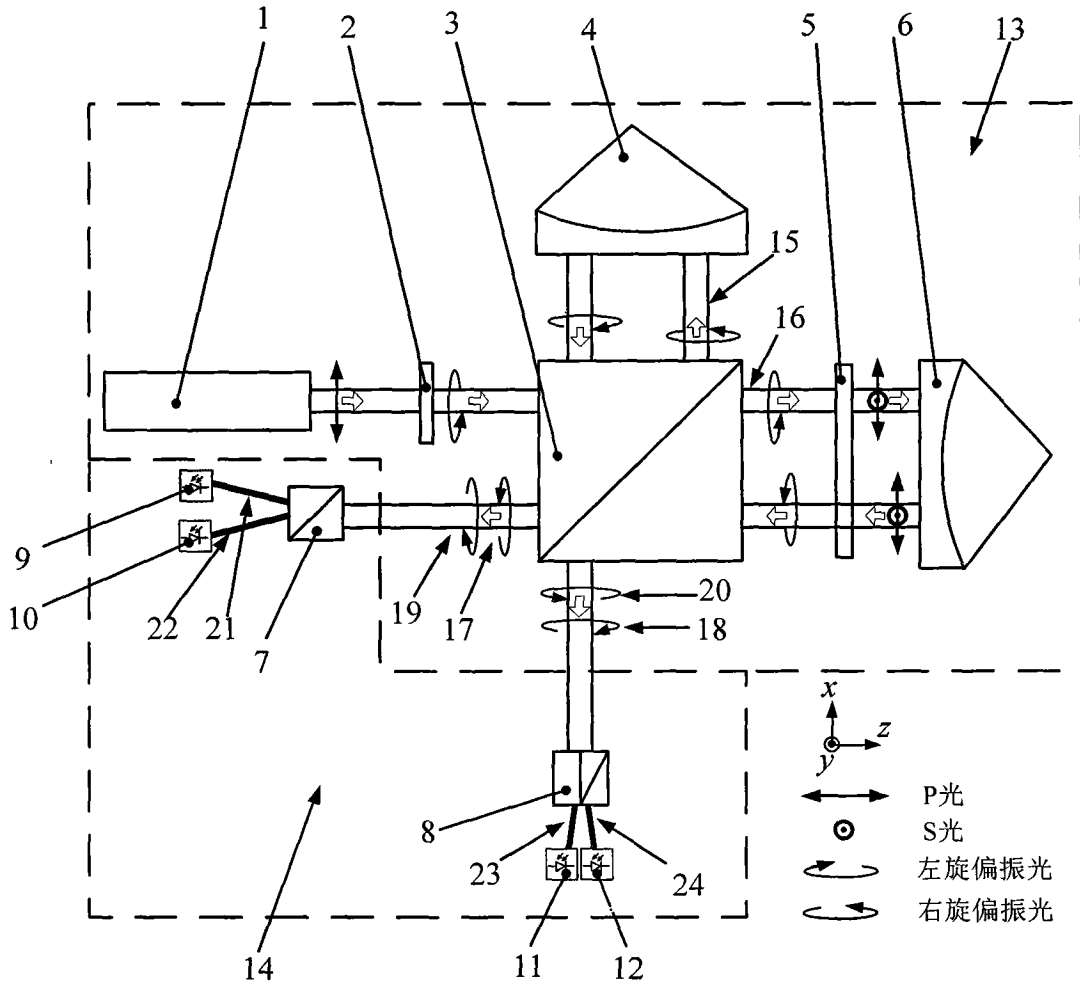


图1

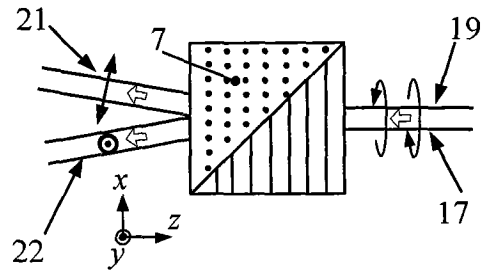


图2

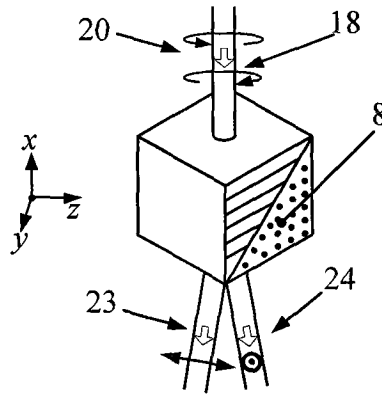


图3