



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106949842 B

(45)授权公告日 2019.10.18

(21)申请号 201710277404.9

(22)申请日 2017.04.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106949842 A

(43)申请公布日 2017.07.14

(73)专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72)发明人 谈宜东 郭波 朱开毅 卢悦越
张书练

(74)专利代理机构 北京华进京联知识产权代理
有限公司 11606

代理人 哈达

(51)Int.Cl.
G01B 11/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 101004346 A,2007.07.25,
CN 102506715 A,2012.06.20,
CN 104807780 A,2015.07.29,
CN 106017307 A,2016.10.12,
CN 104930967 A,2015.09.23,
CN 103234452 A,2013.08.07,
CN 104913733 A,2015.09.16,
EP 1872084 A1,2008.01.02,
EP 1000315 A1,2000.05.17,
曾召利等.《基于激光回馈效应的纳米计量
系统》.《光电子·激光》.2014,
Ling Xu等.《Refractive Index
Measurement of Liquids by Double-Beam
Laser Frequency-Shift Feedback》.《IEEE
PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS》.2016,

审查员 崔涌波

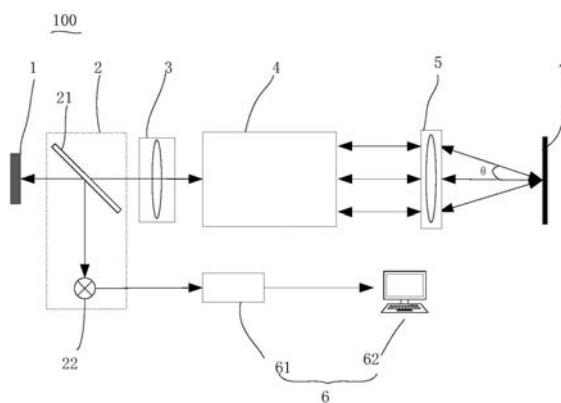
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

二维位移测量装置及测量方法

(57)摘要

本发明涉及一种二维位移测量装置,包括:激光器,用于输出偏振激光;分光移频模块,用于将偏振激光进行分光并实现差动移频,形成至少三束光,且三束光频率不同;汇聚模块,用于对至少三束光进行汇聚后入射至待测目标上,且接收被待测目标散射返回的激光,使返回的激光进入激光器,以对激光器的输出激光的光强进行调制;信号检测模块,设置于从激光器出射的偏振激光的光路上,用于对激光器输出激光的光强进行检测并转换为电信号;信号处理模块,与所述信号检测模块连接,用于对信号检测模块输出的电信号进行处理及计算,获得离面位移及面内位移。本发明还提供一种位移测量方法。本发明提供的二维位移测量装置及方法测量精度高。



1. 一种二维位移测量装置,其特征在于,所述二维位移测量装置包括:

激光器,用于输出偏振激光;

分光移频模块,设置于从激光器出射的偏振激光的光路上,用于将偏振激光进行分光并实现差动移频,形成至少三束光,包括第一光束 I_1 、第二光束 I_2 及第三光束 I_3 ,且三束光频率不同;其中,所述分光移频模块包括分光单元及移频单元,所述分光单元用于对进入分光移频模块的激光进行分光,形成至少三束激光;所述移频单元用于对所述三束激光进行移频,形成频率不同的至少三束光;

汇聚模块,设置于从分光移频模块出射的至少三束光的光路上,用于对至少三束光进行汇聚后入射至待测目标上,且接收被待测目标散射返回的激光,使返回的激光进入激光器,以对激光器的输出激光的光强进行调制;

信号检测模块,设置于从激光器出射的偏振激光的光路上,用于对激光器输出激光的光强进行检测并转换为电信号;

信号处理模块,包括信号处理单元和数据处理单元,所述信号处理单元与所述信号检测模块连接,用于对信号检测模块输出的电信号进行初步处理,所述数据处理单元与所述信号处理单元连接,用于对初步处理后的电信号进行计算,获得离面位移及面内位移。

2. 根据权利要求1所述的二维位移测量装置,其特征在于,所述信号检测模块包括第一分光镜及光电探测器,所述第一分光镜设置于从激光器出射的激光的光路上,用于对激光器出射的激光进行透射及反射,所述光电探测器设置于反射光的光路上,所述透射光入射到分光移频模块。

3. 根据权利要求2所述的二维位移测量装置,其特征在于,所述二维位移测量装置还包括准直模块,所述准直模块设置于从第一分光镜出射的透射光的光路上,用于对透射光进行准直。

4. 根据权利要求1所述的二维位移测量装置,其特征在于,所述分光单元包括第一反射镜、第二反射镜、第二分光镜及第三分光镜;所述移频单元包括第一移频器、第二移频器及第三移频器,所述第一移频器、第二移频器及第三移频器的移频量分别为 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 。

5. 根据权利要求4所述的二维位移测量装置,其特征在于,所述第二分光镜设置于进入分光移频模块的激光的光路上,用于对进入分光移频模块的激光进行分光,形成透射光及反射光;第二移频器设置于从第二分光镜出射的透射光的光路上,用于对透射光进行移频,形成第二束光 I_2 ;所述第一反射镜设置于第二分光镜出射的反射光的光路上,用于对反射光进行反射至第三分光镜;所述第三分光镜用于对入射反射光再次进行分光;所述第三移频器设置在从第三分光器透射的光路上,用于对该透射光进行移频,形成第三束光 I_3 ;所述第二反射镜设置于从第三分光器反射的光路上,用于将第二反射镜反射的激光再次反射到第一移频器,经过第一移频器移频后,从而形成第一束光 I_1 。

6. 根据权利要求4所述的二维位移测量装置,其特征在于,所述第二分光镜设置于入射到所述分光移频模块的激光的光路上,用于对入射到分光移频模块的激光进行分光,形成透射光及反射光;所述第一反射镜设置于反射光的光路上,用于将反射光反射至第三移频器后出射,形成第三光束 I_3 ;第三分光镜设置于从第二分光镜出射的透射光的光路上,用于对透射光再次进行分光;所述第二反射镜设置于从第三分光镜反射的光路上,用于将从第三分光镜出射的反射光反射至第一移频器后出射,形成第一光束 I_1 ;所述第二移频器设置

于从第三分光镜透射的光路上,用于对从第三分光镜透射的激光进行移频,形成第二光束 I_2 。

7. 根据权利要求4所述的二维位移测量装置,其特征在于,所述第二分光镜设置于入射到分光移频模块的激光的光路上,用于对入射到分光移频模块的激光进行分光,形成透射光及反射光;所述透射光从分光移频模块输出后形成第二光束 I_2 ;所述第一反射镜设置于反射光的光路上,用于将反射光反射至所述第二移频器;所述第三分光镜设置于从第二移频器出射的激光的光路上,用于对所述第二移频器移频后的激光再次分光;所述第三移频器设置于从第三分光镜透射的光路上,用于对从第三分光镜透射的激光再次进行移频,形成第三光束 I_3 ;所述第二反射镜设置于从第三分光镜反射的光路上,用于将从第三分光镜反射的激光再次反射至第一移频器后出射,形成第一光束 I_1 。

8. 一种利用权利要求1-7中任意一项所述的二维位移测量装置测量位移的方法,其特征在于,所述方法包括:

调整二维位移测量装置,使位移装置出射的第一光束 I_1 、第二光束 I_2 及第三光束 I_3 形成的交点位于待测目标表面;

获取待测目标移动引起的第一测量回馈信号 f_1 的相位变化 φ_1 及第二测量回馈信号 f_2 的相位变化 φ_2 ,其中第一测量回馈信号 f_1 的差动移频量为 $|\omega_1 - \omega_2|$,第二测量回馈信号 f_2 的差动移频量为 $|\omega_3 - \omega_2|$;

所述第一测量回馈信号 f_1 使激光器输出强度变化为:

$$\frac{\Delta I(|\omega_1 - \omega_2|)}{I} = G(|\omega_1 - \omega_2|)k \cos((|\omega_1 - \omega_2|)t + \varphi_1 + \varphi_r);$$

所述第二测量回馈信号 f_2 使激光器输出强度变化为:

$$\frac{\Delta I(|\omega_3 - \omega_2|)}{I} = G(|\omega_3 - \omega_2|)k \cos((|\omega_3 - \omega_2|)t + \varphi_2 + \varphi_m);$$

以上两式中, I 为微片激光器的稳态输出功率, G 为激光器对回馈光的放大倍数, k 为光的回馈系数, φ_r 、 φ_m 分别为第一测量回馈信号 f_1 及第二测量回馈信号 f_2 的固定相位偏移;

根据相位变化 φ_1 和 φ_2 计算获得待测目标的离面位移和面内位移:

所述离面位移为:

$$S_{out} = L \cos(\theta_1 + \theta) = \frac{\lambda}{4\pi(1 + \cos\theta)} \cdot (\varphi_1 + \varphi_2);$$

所述面内位移为:

$$S_m = L \sin(\theta_1 + \theta) = \frac{\lambda}{4\pi \sin\theta} \cdot (|\varphi_1 - \varphi_2|);$$

以上两式中, λ 为激光器输出光波长, L 为待测目标离面位移和面内位移的合位移: $S_{out}^2 + S_m^2 = L^2$; θ_1 、 θ_2 为第一光束 I_1 、第二光束 I_3 与待测目标运动方向的夹角; θ 为光束第一光束 I_1 、第三光束 I_3 之间夹角的一半。

9. 根据权利要求8所述的二维位移测量装置测量位移的方法,其特征在于,所述第二光束 I_2 垂直于待测目标的表面入射,第一光束 I_1 和第三光束 I_3 相对于第二光束 I_2 对称入射到待测目标表面。

二维位移测量装置及测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种位移测量装置及测量方法,尤其涉及一种二维位移测量及测量方法,属于激光测量领域。

背景技术

[0002] 激光回馈效应是在激光系统中,激光器输出光被外部物体反射或散射后,部分光回到激光器内与腔内光混合后引起的激光器的输出特性变化的现象。基于激光回馈效应的激光移频回馈技术除了具有结构简单,非接触、无损检测等优点外,还具有灵敏度高,可对粗糙表面进行测量的特点。目前,激光回馈技术已经被应用于精密位移测量、速度测量、形貌测量、振动测量、位相延迟测量等领域。

[0003] 传统的离面位移和面内位移测量技术主要有电子散斑干涉、数字散斑干涉,时间序列散斑法和光栅莫尔条纹法。但是,无论是电子散斑干涉,还是数字散斑干涉,都要求物体的位移量必须大于单个散斑的尺寸,而散斑尺寸一般为微米级,因此这种方法测量的精度只能达到1微米左右,而且也无法进行动态实时测量。而时间序列散斑法,通过拍摄物体位移过程的一系列图样可以实现动态测量,但该方法的测量精度同样不高,而且当物体位移量超过 5λ ,就难以准确测量。光栅莫尔条纹法要求在物体表面复制光栅,在非接触测量的情况下较难应用。

[0004] 传统的离面位移和面内位移测量方法各有特点,但是难以实现非接触情况下的高分辨率的测量。

发明内容

[0005] 综上所述,确有必要提供一种能够在非接触情况下能够精确测量二维位移测量的装置及方法。

[0006] 一种二维位移测量装置,其中,所述二维位移测量装置包括:

[0007] 激光器,用于输出偏振激光;

[0008] 分光移频模块,设置于从激光器出射的偏振激光的光路上,将偏振激光进行分光并实现差动移频,形成至少三束光,且三束光频率不同;

[0009] 该汇聚模块,设置于从分光移频模块出射的至少三束光的光路上,用于对至少三束光进行汇聚后入射至待测目标上,且接收被待测目标散射返回的激光,使返回的激光进入激光器,以对激光器的输出激光的光强进行调制;

[0010] 信号检测模块,设置于从激光器出射的偏振激光的光路上,用于对激光器输出激光的光强进行检测并转换为电信号;

[0011] 信号处理模块,与上述信号检测模块连接,用于对信号检测模块输出的电信号进行处理及计算,获得离面位移及面内位移。

[0012] 上述二维位移测量装置,基于激光移频回馈原理的基础上,通过设置分光移频模块,形成至少三束不同频率的光束聚焦集中于一点用于测量二维位移,提高了测量的精度

和测量的范围,具有非接触、高分辨率、高精度、大量程、实时测量等特点。

[0013] 在其中一个实施例中,所述信号检测模块包括第一分光镜及光电探测器,所述第一分光镜设置于从激光器出射的激光的光路上,用于对激光器出射的激光进行透射及反射,所述第一分光镜设置于反射光的光路上,所述透射光入射到分光移频模块。

[0014] 在其中一个实施例中,所述二维位移测量装置还包括准直模块,所述准直模块设置于从第一分光镜出射的透射光的光路上,用于对透射光进行准直。

[0015] 在其中一个实施例中,所述分光移频模块包括分光单元及移频单元,所述分光单元用于对进入分光移频模块的激光进行分光,形成至少三束激光;所述移频单元用于对所述三束激光进行移频,形成频率不同的至少三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 。

[0016] 在其中一个实施例中,所述分光单元包括第一反射镜、第二反射镜、第二分光镜及第三分光镜;所述移频单元包括第一移频器、第二移频器及第三移频器,所述第一移频器、第二移频器及第三移频器的移频量分别为 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 。

[0017] 在其中一个实施例中,所述第二分光镜设置于进入分光移频模块的激光的光路上,用于对进入分光移频模块的激光进行分光,形成透射光及反射光;第二移频器设置于从第二分光镜出射的透射光的光路上,用于对透射光进行移频,形成第二束光 I_2 ;所述第一反射镜设置于第二分光镜出射的反射光的光路上,用于对反射光进行反射至第三分光镜;所述第三分光镜用于对入射反射光再次进行分光;所述第三移频器设置在从第三分光器透射的光路上,用于对该透射光进行移频,形成第三束光 I_3 ;所述第二反射镜设置于从第三分光器反射的光路上,用于将第二反射镜反射的激光再次反射到第一移频器,经过第一移频器移频后,从而形成第一束光 I_1 。

[0018] 在其中一个实施例中,所述第二分光镜设置于入射到所述分光移频模块的激光的光路上,用于对入射到分光移频模块的激光进行分光,形成透射光及反射光;所述第一反射镜设置于反射光的光路上,用于将反射光反射至第三移频器后出射,形成第三光束 I_3 ;第三分光镜设置于从第二分光镜出射的透射光的光路上,用于对透射光再次进行分光;所述第二反射镜设置于从第三分光镜反射的光路上,用于将从第三分光镜出射的反射光反射至第一移频器后出射,形成第一光束 I_1 ;所述第二移频器设置于从第三分光镜透射的光路上,用于对从第三分光镜透射的激光进行移频,形成第二光束 I_2 。

[0019] 在其中一个实施例中,所述第二分光镜设置于入射到分光移频模块的激光的光路上,用于对入射到分光移频模块的激光进行分光,形成透射光及反射光;所述透射光从分光移频模块输出后形成第二光束 I_2 ;所述第一反射镜设置于反射光的光路上,用于将反射光反射至所述第二移频器;所述第三分光镜设置于从第二移频器出射的激光的光路上,用于对所述第二移频器移频后的激光再次分光;所述第三移频器设置于从第三分光镜透射的光路上,用于对从第三分光镜透射的激光再次进行移频,形成第三光束 I_3 ;所述第二反射镜设置于从第三分光镜反射的光路上,用于将从第三分光镜反射的激光再次反射至第一移频器后出射,形成第一光束 I_1 。

[0020] 一种利用上述的二维位移测量装置测量位移的方法,其中,所述方法包括:

[0021] 调整二维位移测量装置,使位移装置出射的第一光束 I_1 、第二光束 I_2 及第三光束 I_3 形成的交点位于待测目标表面;

[0022] 使第一光束 I_1 沿第二光束 I_2 的入射光路返回激光器,以及第二光束 I_2 沿光束 I_1 的

入射光路返回激光器中,返回激光器的所述第一光束 I_1 及第二光束 I_2 被第二移频器、第一移频器移频 $|\omega_1 - \omega_2|$,作为第一测量回馈信号 f_1 ;使第三光束 I_3 沿第二光束 I_2 的入射光路返回激光器,以及使第二光束 I_2 沿第三光束 I_3 的入射光路返回激光器中,返回激光器的所述第二光束 I_2 及第三光束 I_3 被第二移频器、第三移频器移频 $|\omega_3 - \omega_2|$ 后,作为第二测量回馈信号 f_2 ;

[0023] 获取待测目标移动引起的第一测量回馈信号 f_1 的相位变化 φ_1 及第二测量回馈信号 f_2 的相位变化 φ_2 ;

[0024] 根据相位变化 φ_1 和 φ_2 计算获得待测目标的离面位移和面内位移。

[0025] 上述位移测量方法,基于激光移频回馈原理的基础上,通过至少三束不同频率的光束用于测量二维位移,提高了测量的精度和测量的范围,具有非接触、高分辨率、高精度、大量程、实时测量等特点。

[0026] 在其中一个实施例中,所述第二光束 I_2 垂直于待测目标的表面入射,第一光束 I_1 和第三光束 I_3 相对于第二光束 I_2 对称入射到待测目标表面。

[0027] 在其中一个实施例中,所述第一测量回馈信号 f_1 使激光器输出强度变化为:

$$[0028] \quad \frac{\Delta I(|\omega_1 - \omega_2|)}{I} = G(|\omega_1 - \omega_2|) \kappa \cos((|\omega_1 - \omega_2|)t + \varphi_1 + \varphi_r);$$

[0029] 第二测量回馈信号 f_2 使激光器输出强度变化为:

$$[0030] \quad \frac{\Delta I(|\omega_3 - \omega_2|)}{I} = G(|\omega_3 - \omega_2|) \kappa \cos((|\omega_3 - \omega_2|)t + \varphi_2 + \varphi_m);$$

[0031] 上两式中, I 为微片激光器的稳态输出功率; G 为激光器对回馈光的放大倍数; κ 为光的回馈系数; φ_r 、 φ_m 分别为第一测量回馈信号 f_1 及第二测量回馈信号 f_2 的固定相位偏移。

[0032] 在其中一个实施例中,通过 φ_1 和 φ_2 计算得到离面位移和面内位移信息:

$$[0033] \quad \text{离面位移: } S_{out} = L \cos(\theta_1 + \theta) = \frac{\lambda}{4\pi(1 + \cos\theta)} \cdot (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$[0034] \quad \text{面内位移: } S_{in} = L \sin(\theta_1 + \theta) = \frac{\lambda}{4\pi \sin\theta} \cdot (|\varphi_1 - \varphi_2|);$$

[0035] 其中, λ 为激光器输出光波长, L 为待测目标离面位移和面内位移的合位移: $S_{out}^2 + S_{in}^2 = L^2$; θ_1 、 θ_2 为光束 I_1 、 I_3 与待测目标运动方向的夹角; θ 为光束 I_1 、 I_3 之间夹角的一半。

附图说明

[0036] 图1为本发明实施例提供的二维位移测量装置的结构示意图;

[0037] 图2为本发明另一实施例提供的二维位移测量装置中移频单元的结构示意图;

[0038] 图3为本发明另一实施例提供的二维位移测量装置中移频单元的结构示意图;

[0039] 图4为本发明另一实施例提供的二维位移测量装置中移频单元的结构示意图;

[0040] 图5为本发明实施例提供的位移测量方法的流程示意图。

[0041] 主要元件符号说明

[0042]	激光器	1
	信号检测模块	2
	第一分光镜	21
	光电探测器	22
	准直模块	3
	分光移频模块	4
	第二分光镜	41
	第一反射镜	42
	第三分光镜	43
	第二反射镜	44
	第一移频器	45
	第二移频器	46
	第三移频器	47
	汇聚模块	5
	信号处理模块	6
信号处理单元	61	
[0043]	数据处理单元	62
	待测目标	7

具体实施方式

[0044] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0045] 可以理解,本发明所使用的术语“第一”、“第二”等可在本文中用于描述各种元件,但这些元件不受这些术语限制。这些术语仅用于将第一个元件与另一个元件区分。

[0046] 请一并参阅图1,本发明提供的二维二维位移测量装置100包括激光器1、信号检测模块2、分光移频模块4、汇聚模块5及信号处理模块6。

[0047] 该激光器1用于输出偏振激光,模式可为基横模和单纵模;信号检测模块2设置于从激光器1出射的偏振激光的光路上,用于对激光器1输出激光的光强进行检测并转换为电信号;信号处理模块6,与所述信号检测模块2连接,用于对信号检测模块2输出的电信号进

行处理及计算,获得离面位移及面内位移;该分光移频模块4设置于从激光器1出射的偏振激光的光路上,将偏振激光进行分光并实现差动移频,形成至少三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 用于测量,且三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 频率不同;该汇聚模块5,设置于从分光移频模块出射的至少三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 的光路上,用于对至少三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 进行汇聚至待测目标7上,且接收被待测目标7散射的 I_1 、 I_2 、 I_3 光,使从待测目标返回的三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 沿不同于入射光路的光路返回激光器1。

[0048] 具体地,该激光器1可为固体激光器、光纤激光器或半导体激光器,该激光器1输出偏振光,且输出模式可为基横模和单纵模。该激光器1可为单端出光或两端出光。

[0049] 该信号检测模块2可包括第一分光镜21及光电探测器22,该第一分光镜21设置在从激光器1出射的激光的光路上,用于对激光器1出射的激光进行分光,形成反射光及透射光;该光电探测器22可设置于从第一分光镜21反射的光路上,对第一分光镜21反射的光强信号进行探测,并转换为电信号。

[0050] 另外,当所述激光器1为两端出光时,该信号检测模块2与分光移频模块5可分别设置于激光器1的两端,此时该信号检测模块2可无需第一分光镜21,该光电探测器22直接设置于从激光器1出射的激光的光路上,用以探测从激光器1出射的激光的光强。

[0051] 该信号处理模块6可包括信号处理单元61及数据处理单元62,该信号处理单元61可与所述光电探测器22电连接,用于对光电探测器22产生的电信号进行初步处理以及同步相位解调;该数据处理单元62与所述信号处理单元61输出端相连,对解调出的相位进行数据处理,计算并实时显示离面位移和面内位移。

[0052] 进一步,该二维位移测量装置100还可包括准直模块3,该准直模块3可设置于入射到分光移频模块4的光路上,用于对入射到分光移频模块4的光进行准直。本实施例中,该准直模块3设置于从第一分光镜21透射的光路上,用于对透射光进行准直后,入射到分光移频模块4。

[0053] 该汇聚模块5,可为汇聚透镜,也可以是一个反射镜,或是多个光学元件组成的镜组,使光束相交于一点,同时收集被目标散射的光。

[0054] 实施例1

[0055] 请一并参阅图2,本发明其中一个实施例提供的二维位移测量装置100中,该分光移频模块4可包括分光单元及移频单元,该分光单元用于对进入分光移频模块4的激光进行分光,形成至少三束激光;该移频单元用于对三束激光进行移频,该分光单元与移频单元相互配合,形成至少三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 用于测量,且三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 频率不同。

[0056] 该分光单元可包括第二分光镜41、第一反射镜42、第三分光镜43、第二反射镜44;该移频单元可包括第一移频器45、第二移频器46和第三移频器47,该分光移频模块4对进入该分光移频模块4的光束进行分光并实现差动移频,形成三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 用于测量,这三束光被三个移频器分别移频 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 。可以理解,该第一移频器45、第二移频器46和第三移频器47可为声光调制器,也可以是电光调制器,或者光栅中的任意一种,能够实现对光的移频即可。

[0057] 具体地,第二分光镜41设置于从准直模块3出射的激光的光路上,用于对进入分光移频模块4的激光进行分光,形成透射光及反射光;第二移频器46设置于该透射光的光路上,用于对透射光进行移频,形成第二束光 I_2 ;第一反射镜42设置于第二分光镜41出射的反射光的光路上,用于对反射光进行反射;第三分光镜43用于对反射光再次进行分光,形成透

射光及反射光;第三移频器47设置在从第三分光器43透射的光路上,用于对该透射光进行移频,形成第三束光 I_3 ;从第三分光镜43反射的光经过第二反射镜44反射后,入射到第一移频器45,经过第一移频器45移频后,从而形成第一束光 I_1 。

[0058] 具体地,该实施例中,该第一移频器的移频量为 ω_1 ,该第二移频器的移频量为 ω_2 ;第三移频器的移频量为 ω_3 。进入分光移频模块4的光束首先经过第二分光镜41,透过第二分光镜41的透射光通过第二移频器46后被分开为0级衍射光和一级衍射光,频率分别为 ω 和 $\omega - \omega_2$ (或 $\omega + \omega_2$),使频率为 $\omega - \omega_2$ (或 $\omega + \omega_2$)的一级衍射光作为第二光束 I_2 ;被第二分光镜41反射的光被第一反射镜42再次反射后经过第三分光镜43,透过第三分光镜43的透射光通过第三移频器47后被分开为0级衍射光和一级衍射级光,频率分别为 ω 和 $\omega + \omega_3$ (或 $\omega - \omega_3$),使频率为 $\omega + \omega_3$ (或 $\omega - \omega_3$)的一级衍射作为第三光束 I_3 ;被第三分光镜43反射的光被第二反射镜44再次反射后,通过第一移频器45后也被分开为0级衍射光和一级衍射光,频率分别为 ω 和 $\omega + \omega_1$ (或 $\omega - \omega_1$),使频率为 $\omega + \omega_1$ (或 $\omega - \omega_1$)的一级衍射光作为第一光束 I_1 。从分光移频模块4出射的光束 I_1 、 I_2 、 I_3 通过汇聚模块5后,入射到待测目标7表面,用于测量待测目标7的离面位移及面内位移。

[0059] 进一步,作为第一光束 I_1 及第三光束 I_3 的一级衍射光均和作为第二光束 I_2 所选择的一级衍射光衍射级次相反,以使 I_1 与 I_2 之间,以及 I_3 与 I_2 之间能够形成差动移频。本实施例中,第二光束 I_2 为负一级衍射光($\omega - \omega_2$),而 I_1 及 I_3 为正一级衍射光($\omega + \omega_1$ 、 $\omega + \omega_3$)。可以理解,当第二光束 I_2 为正一级衍射光时,而 I_1 及 I_3 为负一级衍射光。

[0060] 从分光移频模块4出射的光束 I_1 、 I_2 、 I_3 通过汇聚模块5后,在待测目标7表面相交于一点,即形成单点,用于测量待测目标的位移,且光束 I_2 可垂直于待测目标7的表面入射,以测量离面位移;同时光束 I_1 、 I_3 的入射角可相同,然后光束 I_1 、 I_2 、 I_3 在待测目标表面发生散射,光束 I_1 、 I_3 的散射光沿光束 I_2 的光路回到激光器1内,与激光器1的光相互作用,调制激光器的输出光强。同样光束 I_2 的散射光也分别沿光束 I_1 、 I_3 的光路回到激光器1内,与激光器1的光相互作用,调制激光器的输出光强。光束 I_1 沿光束 I_2 的入射光路返回激光器1,以及光束 I_2 沿光束 I_1 的入射光路返回激光器1中时,来回一次被第二移频器45、第一移频器46移频 $|\omega_1 - \omega_2|$,构成第一测量回馈信号 f_1 ;类似的,光束 I_3 沿 I_2 的入射光路返回激光器1,以及光束 I_2 沿 I_3 的入射光路返回激光器1中时,被第二移频器45、第三移频器47移频 $|\omega_3 - \omega_2|$ 后,构成第二测量回馈信号 f_2 。

[0061] 该二维位移测量装置100用于测量位移时,待测目标运动,引起第一测量回馈信号 f_1 和第二测量回馈信号的相位变化 f_2 。光电探测器22通过第一分光镜21的反射光探测激光器的输出强度,并送至信号处理单元61,对信号进行同步处理、解调,得到反映待测目标运动的相位信息。数据处理单元62读取信号处理单元输出的相位信息,计算出待测目标的位移信息。

[0062] 实施例2

[0063] 请一并参阅图3,该实施例中的二维位移测量装置与实施例1基本相同,其不同在于,该实施例中的分光移频模块4与实施例1不同。该分光移频模块4同样包括第二分光镜41、第一反射镜42、第三分光镜43、第二反射镜44、第一移频器45、第二移频器46和第三移频器47,该分光移频模块4对进入该分光移频模块4的光束进行分光并实现差动移频,形成三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 用于测量,这三束光被三个移频器分别移频 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 。该第二分光镜41、第

一反射镜42、第三分光镜43、第二反射镜44、第一移频器45、第二移频器46和第三移频器47形成的光路与实施例1不同。

[0064] 具体地,该第二分光镜41可设置于准直模块3出射的激光的光路上,用于对入射到分光移频模块4的激光进行分光,形成透射光及反射光;该第一反射镜42设置于反射光的光路上,用于将反射光反射至第三移频器47后出射,形成第三光束 I_3 ;第三分光镜43设置于从第二分光镜41出射的透射光的光路上,用于对透射光再次进行反射和透射,形成透射光及反射光;第二反射镜44设置于反射光的光路上,用于将从第三分光镜43出射的反射光反射至第一移频器45后出射,形成第一光束 I_1 ;第二移频器46设置于从第三分光镜43透射光的光路上,用于对透射光进行移频,形成第二光束 I_2 。

[0065] 该实施例中,该第一移频器的移频量为 ω_1 ,该第二移频器的移频量为 ω_2 ;第三移频器的移频量为 ω_3 。进入分光移频模块的光束首先经过第二分光镜,反射光被第一反射镜反射后通过第三移频器后被分开为0级衍射光和+1(或-1)衍射级光,频率分别为 ω 和 $\omega + \omega_3$ (或 $\omega - \omega_3$),使频率为 $\omega + \omega_3$ (或 $\omega - \omega_3$)的+1(或-1)级衍射作为光束 I_3 ;透射光通过第三分光镜后被分为两束光,反射光被第二反射镜反射后,通过第一移频器后也被分开为0级衍射光和+1(或-1)级衍射光,频率分别为 ω 和 $\omega + \omega_1$ (或 $\omega - \omega_1$),使频率为 $\omega + \omega_1$ (或 $\omega - \omega_1$)的+1(或-1)级衍射光作为光束 I_1 ,透射光通过第二移频器后被分开为0级衍射光和-1(或+1)级衍射光,频率分别为 ω 和 $\omega - \omega_2$ (或 $\omega + \omega_2$),使频率为 $\omega - \omega_2$ (或 $\omega + \omega_2$)的-1(或+1)级衍射光作为光束 I_2 。

[0066] 同样的,从分光移频模块4出射的光束 I_1 、 I_2 、 I_3 通过汇聚模块5后,在待测目标7表面相交于一点;光束 I_1 、 I_2 、 I_3 在待测目标表面发生散射,光束 I_1 、 I_3 的散射光沿光束 I_2 的光路回到激光器1内,与激光器1的光相互作用,调制激光器的输出光强。同样光束 I_2 的散射光也分别沿光束 I_1 、 I_3 的光路回到激光器1内,与激光器1的光相互作用,调制激光器的输出光强。光束 I_1 沿光束 I_2 的入射光路返回激光器1,以及光束 I_2 沿光束 I_1 的入射光路返回激光器1中时,来回一次被第二移频器45、第一移频器46移频 $|\omega_1 - \omega_2|$,构成第一测量回馈信号 f_1 ;类似的,光束 I_3 沿 I_2 的入射光路返回激光器1,以及光束 I_2 沿 I_3 的入射光路返回激光器1中时,被第二移频器45、第三移频器47移频 $|\omega_3 - \omega_2|$ 后,构成第二测量回馈信号 f_2 。

[0067] 实施例3

[0068] 请一并参阅图4,该实施例中的二维位移测量装置与实施例1基本相同,其不同在于,该实施例中的分光移频模块4与实施例1不同。该分光移频模块4同样包括第二分光镜41、第一反射镜42、第三分光镜43、第二反射镜44、第一移频器45、第二移频器46和第三移频器47,该分光移频模块4对进入该分光移频模块4的光束进行分光并实现差动移频,使出射光中的三束光 I_1 、 I_2 、 I_3 用于测量,这三束光被三个移频器分别移频 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 。该第二分光镜41、第一反射镜42、第三分光镜43、第二反射镜44、第一移频器45、第二移频器46和第三移频器47形成的光路与实施例1不同。

[0069] 具体地,该第二分光镜41可设置于入射到分光移频模块4的激光的光路上,用于对入射到分光移频模块4的激光进行分光,形成透射光及反射光;该透射光从分光移频模块4输出后作为第二光束 I_2 ;该第一反射镜42设置于反射光的光路上,用于将反射光反射至第二移频器46;第三分光镜43设置于从第二移频器46出射的激光的光路上,用于对第二移频器46移频后的光再次分为反射光及透射光;第三移频器47设置于从第三分光镜43出射的透

射光的光路上,用于对该透射光再次进行移频,形成第三光束 I_3 ;第二反射镜44设置于反射光的光路上,用于将从第三分光镜43出射的反射光反射至第一移频器45后出射,形成第一光束 I_1 。

[0070] 该实施例中,该第一移频器的移频量为 ω_1 ,该第二移频器的移频量为 ω_2 ;第三移频器的移频量为 ω_3 。光束 I_1 和光束 I_3 被三个移频器分别移频 $\omega_1-\omega_2$ 、 $\omega_3-\omega_2$ 、光束 I_2 没有移频。

[0071] 光束 I_1 沿光束 I_2 的入射光路返回激光器1,以及光束 I_2 沿光束 I_1 的入射光路返回激光器1中时,来回一次被第二移频器45、第一移频器46移频 $|\omega_1-\omega_2|$,构成第一测量回馈信号 f_1 ;类似的,光束 I_3 沿 I_2 的入射光路返回激光器1,以及光束 I_2 沿 I_3 的入射光路返回激光器1中时,被第二移频器45、第三移频器47移频 $|\omega_3-\omega_2|$ 后,构成第二测量回馈信号 f_2 。

[0072] 上述实施例提供的二维位移测量装置,基于激光移频回馈原理的基础上,通过至少三束不同频率的光束进行差动移频后,集中于待测目标中的一点,用于测量二维位移,提高了测量的精度和测量的范围,具有非接触、高分辨率、高精度、大量程、实时测量等特点。

[0073] 请一并参阅图5,本发明实施例进一步提供一种应用上述二维位移测量装置测量二维微位移的测量方法,包括:

[0074] 步骤S10,调整二维位移测量装置,使所述装置出射的光束 I_1 、 I_2 、 I_3 形成的交点位于待测目标表面;

[0075] 步骤S20,获取待测目标移动引起的第一测量回馈信号 f_1 及第二测量回馈信号 f_2 的相位变化 φ_1 和 φ_2 ,其中第一测量回馈信号 f_1 的差动移频量为 $|\omega_1-\omega_2|$,第二测量回馈信号 f_2 的差动移频量为 $|\omega_3-\omega_2|$;

[0076] 步骤S30,根据相位变化 φ_1 和 φ_2 计算获得待测目标的离面位移和面内位移。

[0077] 在步骤S10中,所述的光束 I_1 和光束 I_3 可以对称入射到待测目标表面,也可以非对称入射到待测目标表面;另外,所述光束 I_2 可垂直于待测目标的表面入射,以更加方面的测量待测目标的里面位移。优选的,光束 I_1 和光束 I_3 可以相对于光束 I_2 对称入射到待测目标表面,以减少后续计算的难度及额外的光程差带来的影响。

[0078] 在步骤S20中,第一测量回馈信号 f_1 的差动移频量与第二测量回馈信号 f_2 的差动移频量不同。具体的,可使光束 I_1 沿光束 I_2 的入射光路返回激光器1,或使光束 I_2 沿光束 I_1 的入射光路返回激光器1中,光束 I_1 及光束 I_2 来回一次被第二移频器45、第一移频器46移频 $|\omega_1-\omega_2|$,可将移频 $|\omega_1-\omega_2|$ 后的光束 I_1 及光束 I_2 作为第一测量回馈信号 f_1 ;同时,可使光束 I_3 沿 I_2 的入射光路返回激光器1,或使光束 I_2 沿 I_3 的入射光路返回激光器1中时,被第二移频器45、第三移频器47移频 $|\omega_3-\omega_2|$ 后,作为第二测量回馈信号 f_2 。由此,由于光路可逆,移频量为 $|\omega_1-\omega_2|$ 有两束光,包括沿光束 I_2 的光路返回激光器的光束 I_1 ,以及沿光束 I_1 的光路返回激光器的光束 I_2 ,因此后续计算时,可选择至少一束移频量为 $|\omega_1-\omega_2|$ 的光作为第一测量回馈信号 f_1 ;同时,移频量为 $\omega_3-\omega_2$ 的光束也有两束,包括沿光束 I_2 的光路返回激光器的光束 I_3 ,以及沿光束 I_3 的光路返回激光器的光束 I_2 。因此,可选择至少一束移频量 $|\omega_3-\omega_2|$ 的光作为第二测量回馈信号 f_2 。

[0079] 在步骤S30中,第一测量回馈信号 f_1 使激光器输出强度变化为:

$$[0080] \quad \frac{\Delta I(|\omega_1-\omega_2|)}{I} = G(|\omega_1-\omega_2|) \kappa \cos((|\omega_1-\omega_2|)t + \varphi_1 + \varphi_r);$$

[0081] 第二测量回馈信号 f_2 使激光器输出强度变化为:

$$[0082] \quad \frac{\Delta I(|\omega_3 - \omega_2|)}{I} = G(|\omega_3 - \omega_2|) \kappa \cos((|\omega_3 - \omega_2|)t + \varphi_2 + \varphi_m);$$

[0083] 上两式中, I 为微片激光器的稳态输出功率; G 为激光器对回馈光的放大倍数,它与光束移频量相关,数值可达 10^6 ,弱散射表面散射的微弱回馈光可以被极大放大; κ 为光的回馈系数,它与待测物体的反射率有关; φ_r 、 φ_m 分别为第一测量回馈信号 f_1 及第二测量回馈信号 f_2 的固定相位偏移; φ_1 为待测目标位移引起的第一测量回馈光 f_1 的相位变化量; φ_2 为待测目标位移引起的第二测量回馈光 f_2 的相位变化量。

[0084] 激光器的输出强度被光电探测器22探测转为电信号后,输入与该光电探测器22相连的信号处理模块6,就可以得到待测目标7位移引起的相位变化 φ_1 和 φ_2 。

[0085] 具体地,通过相位变化信息 φ_1 和 φ_2 计算即可得到离面位移和面内位移信息。计算方法为:

$$[0086] \quad \text{离面位移: } S_{out} = L \cos(\theta_1 + \theta) = \frac{\lambda}{4\pi(1 + \cos\theta)} \cdot (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$[0087] \quad \text{面内位移: } S_{in} = L \sin(\theta_1 + \theta) = \frac{\lambda}{4\pi \sin\theta} \cdot (|\varphi_1 - \varphi_2|);$$

[0088] 其中, λ 为激光器输出光波长, L 为待测目标离面位移和面内位移的合位移: $S_{out}^2 + S_{in}^2 = L^2$; θ_1 、 θ_2 为光束 I_1 、 I_3 与待测目标运动方向的夹角; θ 为光束 I_1 、 I_3 之间夹角的一半,为一常数。

[0089] 上述实施例提供的位移测量方法,基于激光移频回馈原理的基础上,通过至少三束不同频率的光束用于测量二维位移,提高了测量的精度和测量的范围,具有非接触、高分辨率、高精度、大量程、实时测量等特点。

[0090] 可以理解,通过对上述二维位移测量装置及测量方法获得的位移进行微分计算,还可用于获得待测目标的移动速率,在此不再赘述。

[0091] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

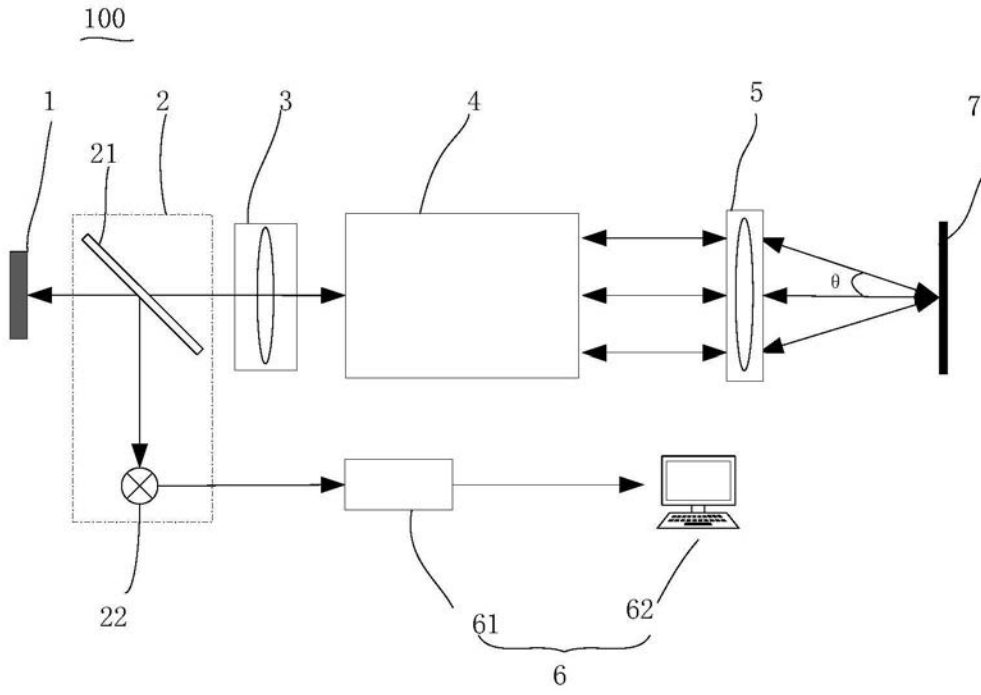


图1

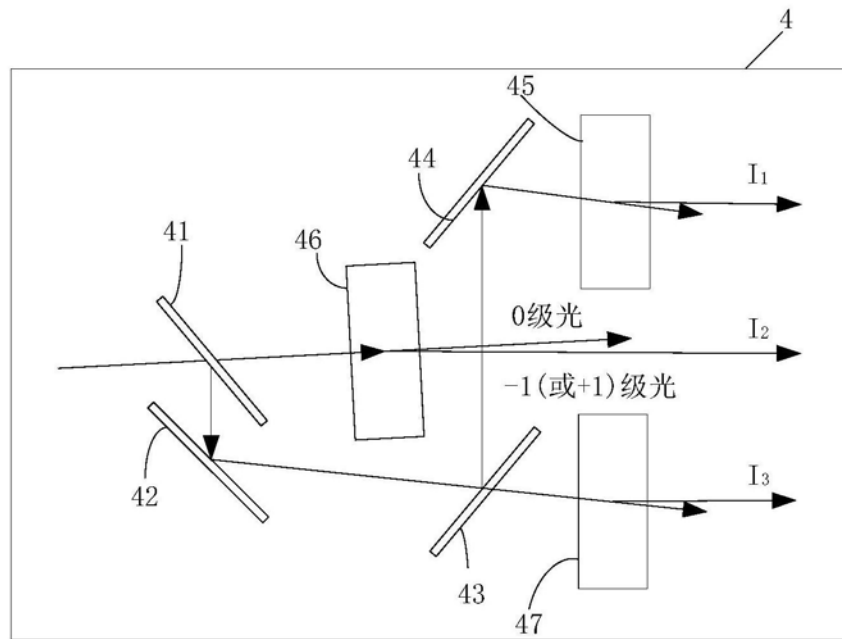


图2

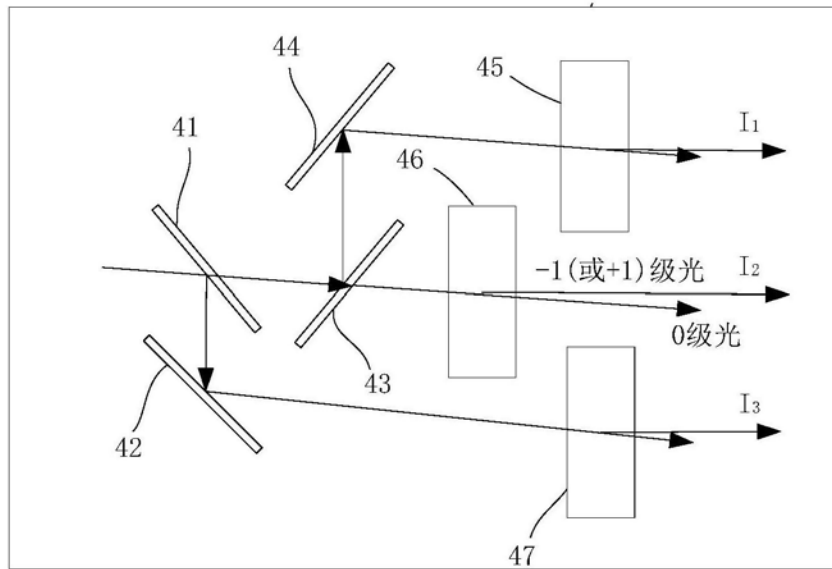


图3

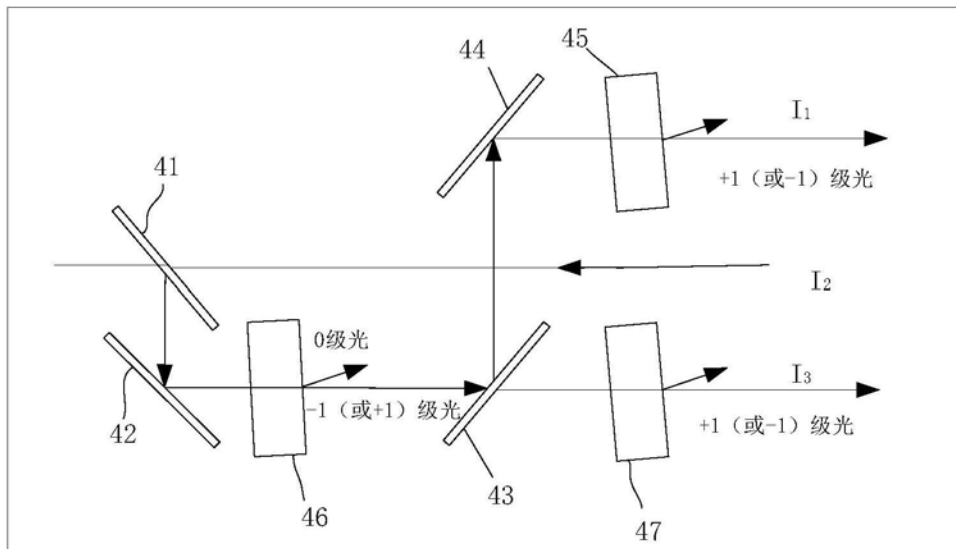


图4

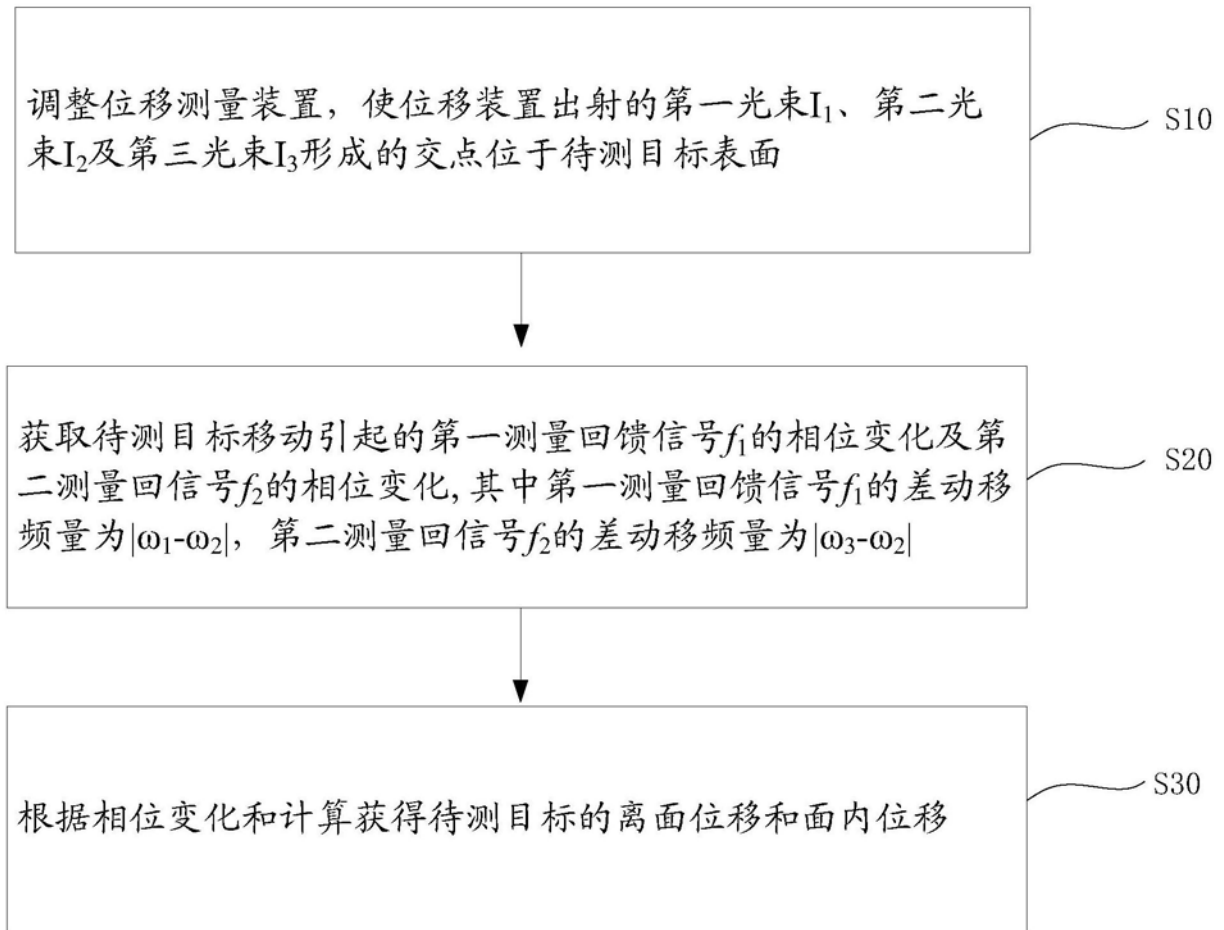


图5