



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110186390 A

(43)申请公布日 2019.08.30

(21)申请号 201910423482.4

(22)申请日 2019.05.21

(71)申请人 中国计量大学

地址 317523 浙江省台州市温岭市温峤镇  
温岭市科技企业孵化器5幢401室

(72)发明人 王道档 朱其幸 孔明 许新科  
赵军 刘维

(74)专利代理机构 杭州杭诚专利事务所有限公  
司 33109

代理人 尉伟敏

(51)Int.Cl.

G01B 11/24(2006.01)

G01B 9/02(2006.01)

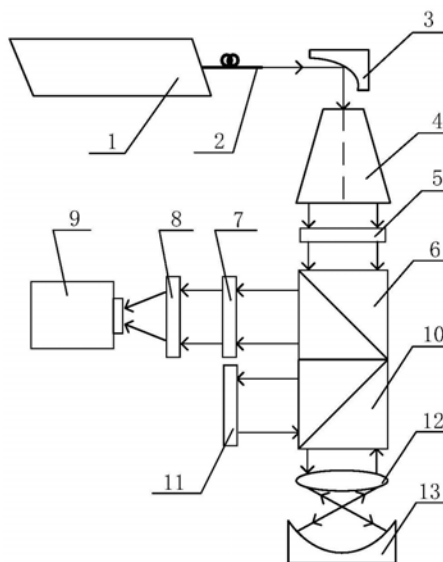
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

紧凑型瞬态多波长移相干涉装置及其测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种紧凑型瞬态多波长移相干涉装置及其测量方法,包括RGB三色激光器、单模光纤、光纤准直器、扩束系统、偏振片、分光棱镜、四分之一波片、成像镜头、彩色偏振相机、偏振分光棱镜、参考镜、标准透镜和被测物;单模光纤的一端与RGB三色激光器相连,单模光纤的另一端与光纤准直器相连;本发明利用彩色偏振相机瞬时获得RGB三个颜色激光分别对应的4幅相位差为90°的移相干涉图,采用四步移相算法获得三个激光波长对应的瞬态相位分布,利用多波长技术测得大动态范围的面形。本发明的有益效果为:结构紧凑,测量速度快,具有很强的抗干扰能力,采取的瞬态多波长干涉技术动态测量范围大,测量精度高。



CN 110186390 A

1. 一种紧凑型瞬态多波长移相干涉装置,其特征在于,包括RGB三色激光器(1)、单模光纤(2)、光纤准直器(3)、扩束系统(4)、偏振片(5)、分光棱镜(6)、四分之一波片(7)、成像镜头(8)、彩色偏振相机(9)、偏振分光棱镜(10)、参考镜(11)、标准透镜(12)和被测物(13);单模光纤的一端与RGB三色激光器相连,单模光纤的另一端与光纤准直器相连。

2. 根据权利要求1所述的紧凑型瞬态多波长移相干涉装置,其特征在于,扩束系统、偏振片、分光棱镜、偏振分光棱镜、标准透镜和被测物依次从上到下位于光纤准直器的下方;四分之一波片、成像镜头和彩色偏振相机依次从右往左位于分光棱镜的左侧;参考镜位于偏振分光棱镜左侧。

3. 根据权利要求1所述的紧凑型瞬态多波长移相干涉装置,其特征在于,所述四分之一波片的快轴方向与四分之一波片的X轴呈 $45^\circ$ 夹角。

4. 一种基于根据权利要求1所述的紧凑型瞬态多波长移相干涉装置的测量方法,其特征在于,包括如下步骤:

(4-1) RGB三色激光器发出 $\lambda_R, \lambda_G$ 和 $\lambda_B$ 三种波长的激光;

(4-2) 三种波长的激光同时耦合入单模光纤,然后由光纤准直器准直;

(4-3) 经过准直后的激光射入扩束系统,扩束后照射至偏振片,再通过分光棱镜进入偏振分光棱镜,将光束分为透射光p和反射光s,透射光p和反射光s分别作为检测偏振光和参考偏振光;

(4-4) 反射光s经过所述的参考镜反射回来为反射光s',透射光p通过标准透镜后经被测物反射回来反射光p';

(4-5) 反射光s'和反射光p'分别再次经过偏振分光棱镜的反射和透射会合,原路返回,被分光棱镜反射后射入四分之一波片,变成两个旋向相反的圆偏振光;

(4-6) 两个旋向相反的圆偏振光经过成像镜头,在彩色偏振相机上获得干涉条纹;通过彩色偏振相机瞬时获得RGB三个颜色激光波长分别对应的4幅相位差为 $\pi/2$ 的移相干涉图,采用四步移相算法获得RGB三色激光器三个激光波长 $\lambda_i$ 对应的瞬态相位分布 $\phi_i$ ( $i=R, G, B$ ),即

$$\phi_i = \frac{OPD \cdot 2\pi}{\lambda_i},$$

其中,OPD为两个旋向相反的圆偏振光的光程差值;

(4-7) 利用多波长技术实现大动态范围的面形测量,根据面形光程差恢复被测物面形。

5. 根据权利要求1所述的紧凑型瞬态多波长移相干涉装置,其特征在于,步骤(4-7)中面形光程差H的计算公式为

$$H = \frac{\phi'}{2\pi} \cdot \Lambda_{RGB},$$

其中, $\phi' = \phi_R + \phi_B - 2\phi_G$ ;  $\Lambda_{RGB}$ 为 $\lambda_R, \lambda_G$ 和 $\lambda_B$ 的等效波长, $\Lambda_{RGB} = \frac{\Lambda_{RG}\Lambda_{GB}}{|\Lambda_{RG} - \Lambda_{GB}|}$ ;  $\Lambda_{RG}$ 和 $\Lambda_{GB}$ 分别是 $\lambda_R$ 与 $\lambda_G, \lambda_G$ 与 $\lambda_B$ 的等效波长, $\Lambda_{RG} = \frac{\lambda_R\lambda_G}{|\lambda_R - \lambda_G|}$ ,  $\Lambda_{GB} = \frac{\lambda_G\lambda_B}{|\lambda_G - \lambda_B|}$ ,  $\lambda_R > \lambda_G > \lambda_B$ 。

## 紧凑型瞬态多波长移相干涉装置及其测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学测量技术领域,尤其是涉及一种结构紧凑,测量速度快,测量精度高,测量范围广,抗干扰能力强的紧凑型瞬态多波长移相干涉装置及其测量方法。

### 背景技术

[0002] 随着现代精密测量技术的发展,光干涉测量技术受到了广泛的应用。目前对三维面形检测系统的测量速度和测量范围要求也越来越高。传统的单波长移相干涉技术虽然能够实现高精度,但是要求两个相邻像素之间的最大相位差小于 $\pi$ ,即连续采样点之间的测试表面最大实际高度差小于 $\lambda/4$  ( $\lambda$ 为激光波长),否则, $2\pi$ 模糊的问题可能会破坏测量结果,因此,其可测面形动态范围小,从而限制了应用范围。多波长干涉测量法通过使用两个或多个波长多次测量获得等效波长以此来扩大测量范围,是解决单波长干涉测量问题的一种较好的方法,但传统多波长干涉测量需要分别在每个波长处采集一系列移相干涉图,采图过程耗时,且对环境敏感,不适合实时动态测量。为了提高测量速度,完成实时测量,现已开发了一种具有多个掩模偏振相机的并行移相干涉测量法,可以通过高速偏振相机顺序获得多波长数据。但是由于使用了多个CCD探测器,因此增加了校准难度和成本,而且复杂的系统布置很容易受到热和机械漂移的影响,不适合在线测量。

### 发明内容

[0003] 本发明为了克服现有技术中存在的可测面形动态范围小,对环境敏感,不适合实时在线动态测量的不足,提供了一种结构紧凑,测量速度快,测量精度高,测量范围广,抗干扰能力强的紧凑型瞬态多波长移相干涉装置及其测量方法。

[0004] 为了实现上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0005] 一种紧凑型瞬态多波长移相干涉装置,包括RGB三色激光器、单模光纤、光纤准直器、扩束系统、偏振片、分光棱镜、四分之一波片、成像镜头、彩色偏振相机、偏振分光棱镜、参考镜、标准透镜和被测物;单模光纤的一端与RGB三色激光器相连,单模光纤的另一端与光纤准直器相连。

[0006] 本发明利用彩色偏振相机瞬时获得RGB三个颜色激光分别对应的4幅相位差为 $90^\circ$ 的移相干涉图,采用四步移相算法获得三个激光波长对应的瞬态相位分布,利用多波长技术测得大动态范围的面形,最后恢复出被测物面形。

[0007] 作为优选,扩束系统、偏振片、分光棱镜、偏振分光棱镜、标准透镜和被测物依次从上到下位于光纤准直器的下方;四分之一波片、成像镜头和彩色偏振相机依次从右往左位于分光棱镜的左侧;参考镜位于偏振分光棱镜左侧。

[0008] 作为优选,所述四分之一波片的快轴方向与四分之一波片的X轴呈 $45^\circ$ 夹角;四分之一波片的快轴方向与四分之一波片的X轴呈 $45^\circ$ 夹角,使得检测偏振光p与参考偏振光s经过四分之一波片形为两个旋向相反的圆偏振光,能够满足彩色偏振相机中的偏振移相干涉要求。

[0009] 一种紧凑型瞬态多波长移相干涉装置的测量方法,包括如下步骤:

[0010] (4-1) RGB三色激光器发出 $\lambda_R$ ,  $\lambda_G$ 和 $\lambda_B$ 三种波长的激光;

[0011] (4-2) 三种波长的激光同时耦合入单模光纤,然后由光纤准直器准直;

[0012] (4-3) 经过准直后的激光射入扩束系统,扩束后照射至偏振片,再通过分光棱镜进入偏振分光棱镜,将光束分为透射光p和反射光s,透射光p和反射光s分别作为检测偏振光和参考偏振光;

[0013] (4-4) 反射光s经过所述的参考镜反射回来为反射光s',透射光p通过标准透镜后经被测物反射回来反射光p' ;

[0014] (4-5) 反射光s' 和反射光p' 分别再次经过偏振分光棱镜的反射和透射会合,原路返回,被分光棱镜反射后射入四分之一波片,变成两个旋向相反的圆偏振光;

[0015] (4-6) 两个旋向相反的圆偏振光经过成像镜头,在彩色偏振相机上获得干涉条纹;通过彩色偏振相机瞬时获得RGB三个颜色激光波长分别对应的4幅相位差为 $\pi/2$ 的移相干涉图,采用四步移相算法获得RGB三色激光器三个激光波长 $\lambda_i$ 对应的瞬态相位分布 $\phi_i$  ( $i=R, G, B$ ),即

$$[0016] \quad \phi_i = \frac{OPD \cdot 2\pi}{\lambda_i},$$

[0017] 其中,OPD为两个旋向相反的圆偏振光的光程差值;

[0018] (4-7) 利用多波长技术实现大动态范围的面形测量,根据面形光程差恢复被测物面形。

[0019] 作为优选,步骤(4-7)中面形光程差H的计算公式为

$$[0020] \quad H = \frac{\phi'}{2\pi} \cdot \Lambda_{RGB},$$

[0021] 其中, $\phi' = \phi_R + \phi_B - 2\phi_G$ ;  $\Lambda_{RGB}$ 为 $\lambda_R$ ,  $\lambda_G$ 和 $\lambda_B$ 的等效波长,  $\Lambda_{RGB} = \frac{\Lambda_{RG}\Lambda_{GB}}{|\Lambda_{RG} - \Lambda_{GB}|}$ ;  $\Lambda_{RG}$

和 $\Lambda_{GB}$ 分别是 $\lambda_R$ 与 $\lambda_G$ ,  $\lambda_G$ 与 $\lambda_B$ 的等效波长,  $\Lambda_{RG} = \frac{\lambda_R\lambda_G}{|\lambda_R - \lambda_G|}$ ,  $\Lambda_{GB} = \frac{\lambda_G\lambda_B}{|\lambda_G - \lambda_B|}$ ,  $\lambda_R > \lambda_G > \lambda_B$ 。

[0022] 因此,本发明具有如下有益效果:(1) 采用彩色偏振相机完成RGB三通道的分离和提取以实现色彩灵敏度,同时利用相机中的 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、和 $135^\circ$ 的四个相邻的微偏振片阵列对各个通道的干涉图实现步长为 $\pi/2$ 的四步移相;(2) 本发明无需压电陶瓷堆PZT来实现微位移,反射光s直接作为参考波照射参考面,透射光p通过标准物镜照射被测物后,沿原路返回,降低了检测系统元件的复杂程度,光路简单,结构更为紧凑;(3) 彩色偏振相机的单次采图即可分别获得RGB三通道的四幅瞬态移相干涉图,具有很强的抗干扰能力,测量速度更快。

## 附图说明

[0023] 图1是本发明的一种结构示意图;

[0024] 图2是本发明的猜的偏振相机单次彩图的R通道、G通道以及B通道对应的移相干涉图;

[0025] 图3是本发明实施例1恢复出的被测物表面示意图。

[0026] 图中:RGB三色激光器1、单模光纤2、光纤准直器3、扩束系统4、偏振片5、分光棱镜6、四分之一波片7、成像镜头8、彩色偏振相机9、偏振分光棱镜10、参考镜11、标准透镜12、被测物13。

### 具体实施方式

[0027] 下面结合附图与具体实施方式对本发明做进一步描述:

[0028] 如图1所示的实施例是一种紧凑型瞬态多波长移相干涉装置,包括RGB三色激光器1、单模光纤2、光纤准直器3、扩束系统4、偏振片5、分光棱镜6、四分之一波片7、成像镜头8、彩色偏振相机9、偏振分光棱镜10、参考镜11、标准透镜12和被测物13;扩束系统、偏振片、分光棱镜、偏振分光棱镜、标准透镜和被测物依次从上到下位于光纤准直器的下方;四分之一波片、成像镜头和彩色偏振相机依次从右往左位于分光棱镜的左侧;参考镜位于偏振分光棱镜左侧;单模光纤的一端与RGB三色激光器相连,单模光纤的另一端与光纤准直器相连;其中,四分之一波片的快轴方向与四分之一波片的X轴呈45°夹角。

[0029] 彩色偏振相机实现了对RGB三波长通道同时进行分离和提取,彩色偏振相机单次采图即可获得与RGB三波长通道分别对应的四幅相位差为90°的干涉图,从而对面形的瞬态多波长移相干涉测量;同时使用彩色偏振相机采集干涉图,免去了常规干涉装置中的移相器,且经过偏振分光棱镜后产生的反射偏振光s,可直接作为参考波照射参考镜,无需经其他光学器件,透射偏振光p作为检测光通过标准物镜照射被测物后,它们分别沿原路返回,光路精简,结构紧凑。

[0030] 一种紧凑型瞬态多波长移相干涉装置的测量方法,包括如下步骤:RGB三色激光器发出 $\lambda_R$ 、 $\lambda_G$ 和 $\lambda_B$ 三种波长的激光,其中 $\lambda_R=632.8\text{nm}$ 、 $\lambda_G=543\text{nm}$ 和 $\lambda_B=488\text{nm}$ ;三种波长的激光同时耦合入单模光纤,然后由光纤准直器准直;经过准直后的激光射入扩束系统,扩束后照射至偏振片,再通过分光棱镜进入偏振分光棱镜,将光束分为透射光p和反射光s,透射光p和反射光s分别作为检测偏振光和参考偏振光;反射光s经过参考镜反射回来为反射光s',透射光p通过标准透镜后经被测物反射回来为反射光p';反射光s'和反射光p'分别再次经过偏振分光棱镜的反射和透射会合,原路返回,被分光棱镜反射后射入四分之一波片,变成两个旋向相反的圆偏振光;两个旋向相反的圆偏振光经过成像镜头,在彩色偏振相机上获得干涉条纹;通过彩色偏振相机瞬时获得RGB三个颜色激光波长分别对应的4幅相位差为 $\pi/2$ 的移相干涉图,其中,采集到的R通道对应的其中一幅干涉图,采集到的G通道对应的其中一幅干涉图以及采集到的B通道对应的其中一幅干涉图如图2所示,接着采用四步移相算法获得RGB三色激光器三个激光波长 $\lambda_i$ 对应的瞬态相位分布 $\phi_i$  ( $i=R,G,B$ ),即

$$[0031] \quad \phi_i = \frac{OPD \cdot 2\pi}{\lambda_i},$$

[0032] 其中,OPD为两个旋向相反的圆偏振光的光程差值;最后,利用多波长技术实现大动态范围的面形测量,根据面形光程差恢复被测物面形。其中,面形光程差H的计算公式为

$$[0033] \quad H = \frac{\phi'}{2\pi} \cdot \Lambda_{RGB},$$

[0034] 其中,  $\phi' = \phi_R + \phi_B - 2\phi_G$ ;  $\Lambda_{RGB}$  为  $\lambda_R$ 、 $\lambda_G$  和  $\lambda_B$  的等效波长,  $\Lambda_{RGB} = \frac{\Lambda_{RG}\Lambda_{GB}}{|\Lambda_{RG} - \Lambda_{GB}|}$ ;  $\Lambda_{RG}$

和  $\Lambda_{GB}$  分别是  $\lambda_R$  与  $\lambda_G$ 、 $\lambda_G$  与  $\lambda_B$  的等效波长,  $\Lambda_{RG} = \frac{\lambda_R\lambda_G}{|\lambda_R - \lambda_G|}$ ,  $\Lambda_{GB} = \frac{\lambda_G\lambda_B}{|\lambda_G - \lambda_B|}$ ,  $\lambda_R > \lambda_G > \lambda_B$ ; 根据

$\lambda_R = 632.8\text{nm}$  和  $\lambda_G = 543\text{nm}$ , 等效波长  $\Lambda_{RG} = 3.8264\mu\text{m}$ ; 根据  $\lambda_G = 543\text{nm}$  和  $\lambda_B = 488\text{nm}$ , 等效波长  $\Lambda_{GB} = 4.8179\mu\text{m}$ ; 根据  $\Lambda_{RG}$  和  $\Lambda_{GB}$ , 等效波长  $\Lambda_{RGB} = 18.5933\mu\text{m}$ ; 最后根据计算得到的值恢复被测物面形, 结果如图3所示。

[0035] 应理解, 本实施例仅用于说明本发明而不适用于限制本发明的范围。此外应理解, 在阅读了本发明讲授的内容之后, 本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改, 这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

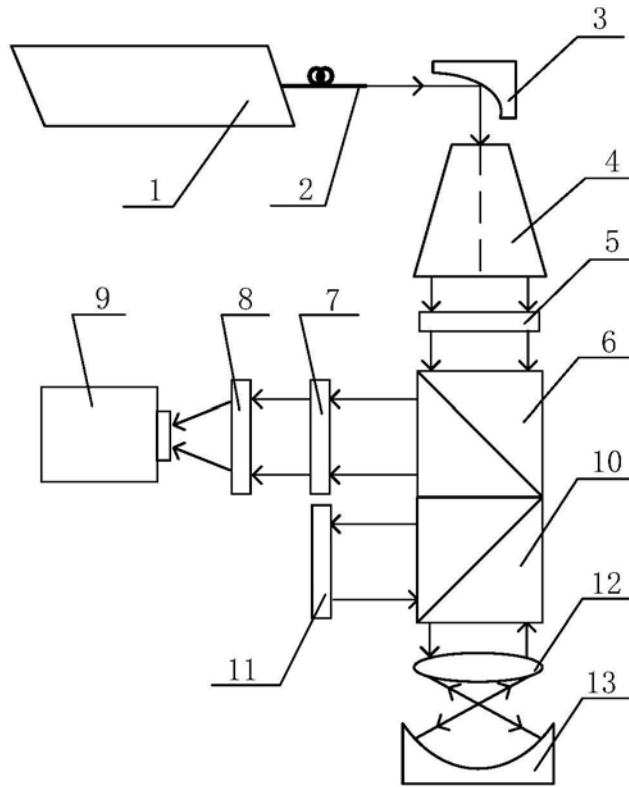


图1

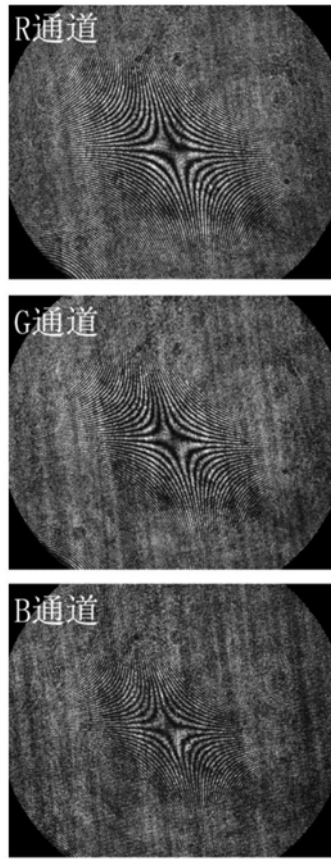


图2

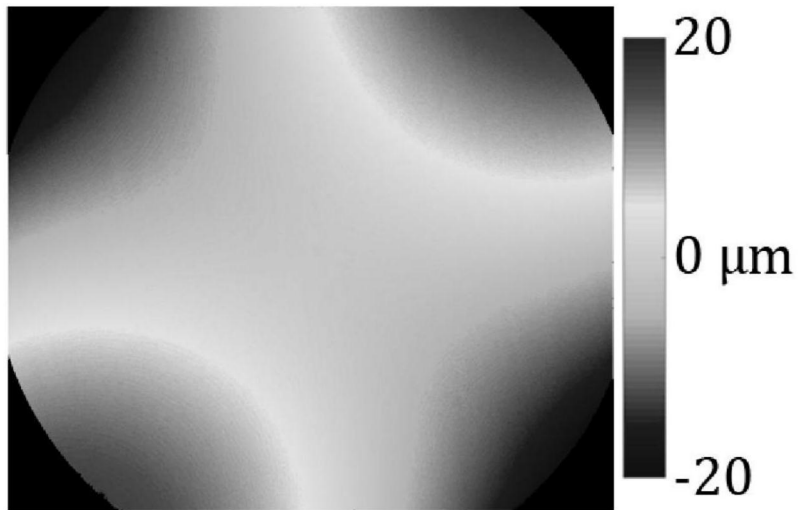


图3