



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117804364 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 02

(21) 申请号 202311569443.8

(22) 申请日 2023.11.23

(71) 申请人 贵州大学

地址 550025 贵州省贵阳市花溪区

(72) 发明人 钟浩男 李帅 任佳龙 吴鹏

(74) 专利代理机构 重庆志一加诚专利代理事务

所(普通合伙) 50278

专利代理师 邓波

(51) Int. Cl.

G01B 11/16 (2006.01)

权利要求书2页 说明书9页 附图3页

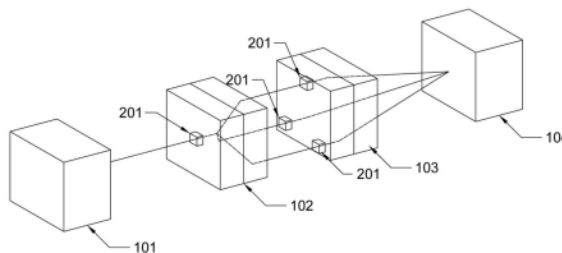
(54) 发明名称

一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法

方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及应变测量技术领域,具体涉及一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法及系统。本发明通过将测量激光按照预定光路偏转后,再分别移频,控制其以固定的入射角度照射至待测物的目标点位,进而通过移频后的相位信息和入射角度获取目标点位的应变结果,解决了对非配合目标的非接触测量,同时基于激光回馈效应,本发明拥有高精度、高分辨率和高灵敏度的特性,且基于激光的相干长度很长,能够达到很长的测量距离。



1. 一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法,其特征在于,所述方法包括:
向第一偏转单元(102)发射激光光束;

所述第一偏转单元(102)移频所述激光光束形成第一激光,再沿第一光路、第二光路以及第三光路偏转所述第一激光,向第二偏转单元(103)出射,分别形成第二激光、第三激光以及第四激光;

所述第二偏转单元(103)分别移频所述第二激光、第三激光以及第四激光后,沿预设角度向待测物(104)的目标点位偏转并出射,分别形成以所述预设角度入射的第五激光、第六激光以及第七激光;

所述待测物(104)向谐振腔单元反射部分所述第五激光、第六激光以及第七激光,形成第八激光;

所述第八激光用于获取待测物(104)体的位移信息;

所述谐振腔单元解调所述第八激光获取相位信息;

结合所述相位信息、位移信息以及预设角度对所述目标点位进行应变计算;

其中,所述第一偏转单元(102)包括一个声光调制器(201),所述第二偏转单元(103)包括三个声光调制器(201),四个声光调制器(201)构成正四面体结构,所述第一光路、第二光路以及第三光路分别垂直入射所述第二偏转单元(103)中的声光调制器(201)。

2. 根据权利要求1所述的一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法,其特征在于,所述相位信息通过分别解调所述第五激光、第六激光以及第七激光的移频量和所述第一激光的移频量之间的差值,获取所述第五激光、第六激光以及第七激光的相位。

3. 根据权利要求1-2任一项所述的一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法,其特征在于,所述应变计算具体包括:

根据所述相位信息对获取二维位移,关系式如下:

$$\frac{\Delta I_i(\Delta\Omega)}{I_s} = k_i G(\Delta\Omega) \cos(\Omega_i t + \phi_i + \Phi_i),$$

其中, ΔI_i 为第*i*束激光的强度调制, I_s 为激光输出功率, k_i 为第*i*束激光的反馈强度系数, G 为放大系数, Φ_i 为第*i*束激光的固定相位, ϕ_i 为第*i*束激光的外腔长度相关相位;

通过选择不同的任一两束所述第五激光、第六激光以及第七激光所在平面,并重复投影所述第八激光,利用多普勒移频公式获取三维位移,关系式如下:

$$S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta) - \phi_2(1 + \cos \theta')}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta) - \phi_3(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2},$$

其中,所述 λ 为常数, ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 为回馈信号的相位变化, θ 、 θ' 为所述平面内投影激光间的夹角, θ_2 为所述第八激光与所述平面的夹角。

4. 一种应变检测系统,其特征在于,所述系统包括:

激光发射单元(101),用于向第一偏转单元(102)发射激光光束;

第一偏转单元(102),用于移频所述激光光束形成第一激光,再沿第一光路、第二光路

以及第三光路偏转所述第一激光,向第二偏转模块出射,分别形成第二激光、第三激光以及第四激光;

第二偏转单元(103),用于分别移频所述第二激光、第三激光以及第四激光后,沿预设角度向待测物(104)的目标点位偏转并出射,分别形成以所述预设角度入射的第五激光、第六激光以及第七激光;所述待测物(104)向谐振腔单元反射部分所述第五激光、第六激光以及第七激光,形成第八激光,所述第八激光用于获取待测物(104)体的位移信息;

谐振腔单元:用于解调所述第八激光获取相位信息;

计算单元,用于结合所述相位信息、位移信息和预设角度对所述目标点位进行应变计算;

其中,所述第一偏转单元(102)包括一个声光调制器(201),所述第二偏转单元(103)包括三个声光调制器(201),四个声光调制器(201)构成正四面体结构,所述第一光路、第二光路以及第三光路分别垂直入射所述第二偏转单元(103)中的声光调制器(201)。

5.根据权利要求4所述的一种应变检测系统,其特征在于,所述谐振腔单元通过分别解调所述第五激光、第六激光以及第七激光的移频量和所述第一激光的移频量之间的差值,获取所述第五激光、第六激光以及第七激光的相位。

6.根据权利要求4-5任一项所述的一种应变检测系统,其特征在于,所述应变计算具体包括:根据所述相位信息对获取二维位移,关系式如下:

$$\frac{\Delta I_i(\Delta\Omega)}{I_s} = k_i G(\Delta\Omega) \cos(\Omega_i t + \phi_i + \Phi_i),$$

其中, ΔI_i 为第*i*束激光的强度调制, I_s 为激光输出功率, k_i 为第*i*束激光的反馈强度系数, G 为放大系数, Φ_i 为第*i*束激光的固定相位, ϕ_i 为第*i*束激光的外腔长度相关相位;

通过选择不同的任一两束所述第五激光、第六激光以及第七激光所在平面,并重复投影所述第八激光,利用多普勒移频公式获取三维位移,关系式如下:

$$S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_2(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_3(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2},$$

其中,所述 λ 为常数, ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 为所述第五激光、第六激光以及第七激光的相位变化, θ 、 θ' 为所述平面内投影激光间的夹角, θ_2 为所述第八激光与所述平面的夹角。

7.根据权利要求4所述的一种应变检测系统,其特征在于,所述第一偏转单元(102)还用于将所述激光光束反射部分至光电探测单元形成电信号。

8.根据权利要求4所述的一种应变检测系统,其特征在于,所述第一偏转单元(102)还包括分光镜以及反光镜。

9.根据权利要求4所述的一种应变检测系统,其特征在于,所述第二偏转单元(103)还包括反光镜。

10.根据权利要求4所述的一种应变检测系统,其特征在于,所述激光发射单元采用固体微片激光器。

一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及应变测量技术领域,特别涉及一种利用激光回馈效应设计的应变检测系统及方法,用于组织结构应变实时检测。

背景技术

[0002] 组织结构的应力应变特性是组织工程学的重要研究内容之一,也是衡量其机械、力学、材料特性的重要指标。应变测量也广泛应用于机械工程、桥梁建筑、组织结构等在工作状态的受力、变形等特性的分析与监测,通过测量应变后进行相应的计算,可以得到组织构件的拉应力、压应力、扭矩、弯矩等信息,为结构设计的校准和构件破坏的预测提供相应的数据。

[0003] 在CN116697878A中,公开了一种动态高频RFID无线传感系统及动态应变检测方法,该方法需要在被测物体表面粘贴应变片,当测量目标的工作环境不能够很容易的在其表面进行额外处理,该方法就不能够使用,产生了局限性,做不到对非配合目标的非接触测量。

[0004] 在CN116124213A中,公开了一种GIL设备温度、应变特性光学检测系统,该系统利用光纤传感的光测法来测量应变,该方法也存在同样的问题,需要将LPG与FBG混和传感器安装在出线套管上、GIL管体焊点处和GIL管体法兰处等GIL设备外部关键位置,同样也做不到对非配合目标的非接触测量。

[0005] 在CN113513997A中,公开了一种光源、光路系统、单目采集系统、传感器及应变检测系统,该系统利用两路CCD相机和光源进行应变测量,能够做到对非配合目标的非接触测量,但此方法依赖于CCD相机的本身的性能,在测量精度、灵敏度和分辨率上有很大的局限性,对于一些精度要求很高的场合此方法就不适合用,除此之外,该方法的测量距离有限,当距离较远就无法进行测量。

[0006] 因此,亟需一种能够对非配合目标进行远距离非接触测量的应变检测方法及系统。

发明内容

[0007] 为了克服现有应变检测方法中不能远距离对非配合目标进行非接触测量的问题,提供一种拥有高精度、高灵敏度和高分辨率的基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法及系统。

[0008] 为了实现上述发明目的,本发明提供了以下技术方案:

[0009] 第一方面,本发明提供了一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法,所述方法包括:

[0010] 向第一偏转单元发射激光光束;

[0011] 所述第一偏转单元移频所述激光光束形成第一激光,再沿第一光路、第二光路以及第三光路偏转所述第一激光,向第二偏转单元出射,分别形成第二激光、第三激光以及第

四激光；

[0012] 所述第二偏转单元分别移频所述第二激光、第三激光以及第四激光后,沿预设角度向待测物的目标点位偏转并出射,分别形成以所述预设角度入射的第五激光、第六激光以及第七激光；

[0013] 所述待测物向谐振腔单元反射部分所述第五激光、第六激光以及第七激光,形成第八激光；

[0014] 所述第八激光用于获取待测物体的位移信息；

[0015] 所述谐振腔单元解调所述第八激光获取相位信息；

[0016] 结合所述相位信息、位移信息以及预设角度对所述目标点位进行应变计算；

[0017] 其中,所述第一偏转单元包括一个声光调制器,所述第二偏转单元包括三个声光调制器,四个声光调制器构成正四面体结构,所述第一光路、第二光路以及第三光路分别垂直入射所述第二偏转单元中的声光调制器。

[0018] 根据一种具体的实施方式,上述检测方法中,所述相位信息通过分别解调所述第五激光、第六激光以及第七激光的移频量和所述第一激光的移频量之间的差值,获取所述第五激光、第六激光以及第七激光的相位。

[0019] 根据一种具体的实施方式,上述检测方法中,所述应变计算具体包括：

[0020] 根据所述相位信息对获取二维位移,关系式如下：

$$[0021] \quad \frac{\Delta I_i(\Delta\Omega)}{I_s} = k_i G(\Delta\Omega) \cos(\Omega_i t + \phi_i + \Phi_i),$$

[0022] 其中, ΔI_i 为第 i 束激光的强度调制, I_s 为激光输出功率, k_i 为第 i 束激光的反馈强度系数, G 为放大系数, Φ_i 为第 i 束激光的固定相位, ϕ_i 为第 i 束激光的外腔长度相关相位；

[0023] 通过选择不同的任一两束所述第五激光、第六激光以及第七激光所在平面,并重复投影所述第八激光,利用多普勒移频公式获取三维位移,关系式如下：

$$[0024] \quad S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta) - \phi_2(1 + \cos \theta')}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$[0025] \quad S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta) - \phi_3(1 + \cos \theta')}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$[0026] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta'}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2},$$

[0027] 其中,所述 λ 为常数, ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 为回馈信号的相位变化, θ 、 θ' 为所述平面内投影激光间的夹角, θ_2 为所述第八激光与所述平面的夹角。

[0028] 第二方面,本发明提供了一种应变检测系统,所述系统包括：

[0029] 激光发射单元,用于向第一偏转单元发射激光光束；

[0030] 第一偏转单元,用于移频所述激光光束形成第一激光,再沿第一光路、第二光路以及第三光路偏转所述第一激光,向第二偏转模块出射,分别形成第二激光、第三激光以及第四激光；

[0031] 第二偏转单元,用于分别移频所述第二激光、第三激光以及第四激光后,沿预设角度向待测物的目标点位偏转并出射,分别形成以所述预设角度入射的第五激光、第六激光以及第七激光；所述待测物向谐振腔单元反射部分所述第五激光、第六激光以及第七激光,形成第八激光,所述第八激光用于获取待测物体的位移信息；

[0032] 谐振腔单元:用于解调所述第八激光获取相位信息;

[0033] 计算单元,用于结合所述相位信息、位移信息和预设角度对所述目标点位进行应变计算;

[0034] 其中,所述第一偏转单元包括一个声光调制器,所述第二偏转单元包括三个声光调制器,四个声光调制器构成正四面体结构,所述第一光路、第二光路以及第三光路分别垂直入射所述第二偏转单元中的声光调制器。

[0035] 根据一种具体的实施方式,上述检测系统中,所述谐振腔单元通过分别解调所述第五激光、第六激光以及第七激光的移频量和所述第一激光的移频量之间的差值,获取所述第五激光、第六激光以及第七激光的相位。

[0036] 根据一种具体的实施方式,上述检测系统中,所述应变计算具体包括:

[0037] 根据所述相位信息对获取二维位移,关系式如下:

$$[0038] \quad \frac{\Delta I_i(\Delta\Omega)}{I_s} = k_i G(\Delta\Omega) \cos(\Omega_i t + \phi_i + \Phi_i),$$

[0039] 其中, ΔI_i 为第 i 束激光的强度调制, I_s 为激光输出功率, k_i 为第 i 束激光的反馈强度系数, G 为放大系数, Φ_i 为第 i 束激光的固定相位, ϕ_i 为第 i 束激光的外腔长度相关相位;

[0040] 通过选择不同的任一两束所述第五激光、第六激光以及第七激光所在平面,并重复投影所述第八激光,利用多普勒移频公式获取三维位移,关系式如下:

$$[0041] \quad S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_2(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$[0042] \quad S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_3(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$[0043] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2},$$

[0044] 其中,所述 λ 为常数, ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 为回馈信号的相位变化, θ 、 θ' 为所述平面内投影激光间的夹角, θ_2 为所述第八激光与所述平面的夹角。

[0045] 根据一种具体的实施方式,上述检测系统中,所述第一偏转单元还用于将所述激光光束反射部分至光电探测单元形成电信号。

[0046] 根据一种具体的实施方式,上述检测系统中,所述第一偏转单元还包括分光镜以及反光镜。

[0047] 根据一种具体的实施方式,上述检测系统中,所述第二偏转单元还包括反光镜。

[0048] 根据一种具体的实施方式,上述检测系统中,所述激光发射单元采用固体微片激光器。

[0049] 与现有技术相比,本发明的有益效果:

[0050] 本发明通过将测量激光按照预定光路偏转后,再分别移频,控制其以固定的入射角度照射至待测物的目标点位,进而通过移频后的相位信息和入射角度获取目标点位的应变结果,解决了对非配合目标的非接触测量,同时基于激光回馈效应,本发明拥有高精度、高分辨率和高灵敏度的特性,且基于激光的相干长度很长,能够达到很长的测量距离。

附图说明

[0051] 图1为本发明实施例提供的一种应变检测系统的结构示意图;

- [0052] 图2为本发明实施例提供的激光回馈效应原理图；
- [0053] 图3为本发明另一实施例提供的一种应变测量系统的原理框图；
- [0054] 图4为本发明另一实施例提供的一种激光测量系统正向结构示意图；
- [0055] 图5为本发明另一实施例提供的一种激光测量系统反向结构示意图；
- [0056] 图6为本发明另一实施例提供的待测物目标点位激光入射及反射示意图；
- [0057] 图7为本发明另一实施例提供的光路投影示意图。
- [0058] 图中标记:101-激光发射单元,102-第一偏转单元,103-第二偏转单元,104-待测物,201-声光调制器。

具体实施方式

[0059] 下面结合试验例及具体实施方式对本发明作进一步的详细描述。但不应将此理解为本发明上述主题的范围仅限于以下的实施例,凡基于本发明内容所实现的技术均属于本发明的范围。

[0060] 请参考图1,其示出了本发明实施例所涉及的应用环境的结构示意图,该应用环境包括激光发射单元101、第一偏转单元102、第二偏转单元103和待测物104。其中,所述激光发射单元101还构成谐振腔,取得光经过待测物104反射又回到所述激光发射单元101。

[0061] 优选地,本发明实施例所采用的激光发射单元101为固体微片激光器。

[0062] 本发明实施例中涉及的“至少一个”是指一个或者多个,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”,描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A和/或B,可以表示:单独存在A,同时存在A和B,单独存在B的情况,其中A,B可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达,是指的这些项中的任意组合,包括单项(个)或复数项(个)的任意组合。例如,a,b,或c中的至少一项(个),可以表示:a,b,c,a-b,a-c,b-c,或a-b-c,其中a,b,c可以是单个,也可以是多个。

[0063] 以及,除非有相反的说明,本发明实施例提及“第一”、“第二”等序数词是用于对多个对象进行区分,不用于限定多个对象的顺序、时序、优先级或者重要程度。例如,第一信息和第二信息,只是为了区分不同的信息,而并不是表示这两种信息的内容、优先级、发送顺序或者重要程度等的不同。

[0064] 下面,通过几个具体的实施例对本发明实施例提供的基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法及系统进行详细的介绍和说明。

[0065] 实施例1

[0066] 本发明实施例提供了一种基于激光回馈效应的组织结构应变检测方法,所述方法包括:

[0067] 向第一偏转单元102发射激光光束;

[0068] 所述第一偏转单元102移频所述激光光束形成第一激光,再沿第一光路、第二光路以及第三光路偏转所述第一激光,向第二偏转单元103出射,分别形成第二激光、第三激光以及第四激光;

[0069] 所述第二偏转单元103分别移频所述第二激光、第三激光以及第四激光后,沿预设角度向待测物104的目标点位偏转并出射,分别形成以所述预设角度入射的第五激光、第六激光以及第七激光;

[0070] 所述待测物104向谐振腔单元反射部分所述第五激光、第六激光以及第七激光,形成第八激光;

[0071] 所述第八激光用于获取待测物104体的位移信息;

[0072] 所述谐振腔单元解调所述第八激光获取相位信息;

[0073] 结合所述相位信息、位移信息以及预设角度对所述目标点位进行应变计算;

[0074] 其中,所述第一偏转单元102包括一个声光调制器201,所述第二偏转单元103包括三个声光调制器201,四个声光调制器201构成正四面体结构,所述第一光路、第二光路以及第三光路分别垂直入射所述第二偏转单元103中的声光调制器201。

[0075] 本发明通过将测量激光按照预定光路偏转后,再分别移频,控制其以固定的入射角度照射至待测物104的目标点位,进而通过移频后的相位信息和入射角度获取目标点位的应变结果,解决了对非配合目标的非接触测量,同时基于激光回馈效应,本发明拥有高精度、高分辨率和高灵敏度的特性,且基于激光的相干长度很长,能够达到很长的测量距离。

[0076] 实施例2

[0077] 请参考图1,其示出了本发明实施例提供的一种应变检测系统的结构示意图。该系统包括:

[0078] 激光发射单元101,用于向第一偏转单元102发射激光光束。

[0079] 第一偏转单元102,用于移频所述激光光束形成第一激光,再沿第一光路、第二光路以及第三光路偏转所述第一激光,向第二偏转模块出射,分别形成第二激光、第三激光以及第四激光。

[0080] 其中,根据一种具体的实施方式,第一偏转单元102还用于将所述激光光束反射部分至光电探测单元形成电信号。

[0081] 其中,根据一种具体的实施方式,第一偏转单元102包括一个声光移频器,分光镜以及反光镜。

[0082] 第二偏转单元103,用于分别移频所述第二激光、第三激光以及第四激光后,沿预设角度向待测物104的目标点位偏转并出射,分别形成以所述预设角度入射的第五激光、第六激光以及第七激光;所述待测物104向谐振腔单元反射部分所述第五激光、第六激光以及第七激光,形成第八激光,所述第八激光用于获取待测物104体的位移信息。

[0083] 其中,根据一种具体的实施方式,所述第二偏转单元103包括三个声光移频器以及反光镜。

[0084] 谐振腔单元:用于解调所述第八激光获取相位信息。

[0085] 其中,根据一种具体的实施方式,所述谐振腔单元通过分别解调所述第五激光、第六激光以及第七激光的移频量和所述第一激光的移频量之间的差值,获取所述第五激光、第六激光以及第七激光的相位。

[0086] 计算单元,用于结合所述相位信息、位移信息和预设角度对所述目标点位进行应变计算。

[0087] 其中,根据一种具体的实施方式,所述应变计算具体包括:

[0088] 根据所述相位信息对获取二维位移,关系式如下:

$$[0089] \quad \frac{\Delta I_i(\Delta\Omega)}{I_s} = k_i G(\Delta\Omega) \cos(\Omega_i t + \phi_i + \Phi_i),$$

[0090] 其中, ΔI_i 为第 i 束激光的强度调制, I_s 为激光输出功率, k_i 为第 i 束激光的反馈强度系数, G 为放大系数, Φ_i 为第 i 束激光的固定相位, φ_i 为第 i 束激光的外腔长度相关相位;

[0091] 通过选择不同的任一两束所述第五激光、第六激光以及第七激光所在平面, 并重复投影所述第八激光, 利用多普勒移频公式获取三维位移, 关系式如下:

$$[0092] \quad S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_2(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$[0093] \quad S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_3(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')},$$

$$[0094] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2},$$

[0095] 其中, 所述 λ 为常数, φ_1 、 φ_2 、 φ_3 为回馈信号的相位变化, θ 、 θ' 为所述平面内投影激光间的夹角, θ_2 为所述第八激光与所述平面的夹角。

[0096] 其中, 所述第一偏转单元 102 的一个声光调制器 201 与所述第二偏转单元 103 的三个声光调制器 201 构成正四面体结构, 所述第一光路、第二光路以及第三光路分别垂直入射所述第二偏转单元 103 中的声光调制器 201。

[0097] 基于本发明实施例提供的一种应变检测系统, 通过将测量激光按照预定光路偏转后, 再分别移频, 控制其以固定的入射角度照射至待测物 104 的目标点位, 进而通过移频后的相位信息和入射角度获取目标点位的应变结果, 解决了对非配合目标的非接触测量, 同时基于激光回馈效应, 本发明拥有高精度、高分辨率和高灵敏度的特性, 且基于激光的相干长度很长, 能够达到很长的测量距离。

[0098] 实施例 3

[0099] 下面结合一种具体的实施方式, 对本发明进行详细的介绍和说明。

[0100] 激光回馈 (Laser feedback) 也称为激光自混合干涉 (Self-mixing interference, SMI), 如图 2 所示为激光回馈效应原理图, 由激光器发射的激光, 在到达外腔反射体后被反射, 并有部分返回激光的谐振腔内, 与谐振腔内原来的光场发生干涉, 从而使激光器的功率、频率等物理参数发生调制的现象。由于回馈光中包含了目标物体的位移等信息, 通过对回馈光信号的解调, 可以计算得到目标物体的位移、形貌等特征参数。

[0101] 本发明实施例的主要内容是利用激光回馈效应设计一套应变检测系统, 用于组织结构的应变检测, 实现组织结构应变的实时检测。图 3 示出了本发明实施例提供的所述应变检测系统的原理框图。

[0102] 本发明实施例利用激光回馈效应, 设计一套组织结构的应变检测系统, 来对不同载荷下组织结构的应变进行实时检测。由于应变测量的实质是目标的微位移测量, 因此本发明提出三维微位移的检测方法, 并构建相应的激光应变检测系统。

[0103] 根据一种具体的实施方式, 图 4 和图 5 示出了本发明实施例提供的应变检测系统结构图。

[0104] 其中, 激光发射单元 101 采用固体微片激光器 ML, 光电探测单元采用一种光电探测器 PD。

[0105] 根据一种具体的实施方式, 如图 4、5 所示, 第一偏转单元 102 沿光路具体设置为一个凸透镜 L, 一个声光调制器 201AOM1, 以及, 沿第一光路设置的分光镜 BS2、反光镜 R2、反光

镜R4、分光镜BS4;以及,沿第二光路设置的分光镜BS2、分光镜BS3、反光镜R3;以及,沿第三光路设置的分光镜BS2、反光镜R2、反光镜R4、分光镜BS4、反光镜R1。

[0106] 根据一种具体的实施方式,如图4、5所示,第二偏转单元103沿光路具体设置为:沿第一光路设置的一个声光调制器201AOM3第、反光镜R5;以及,沿第二光路设置的一个声光调制器201AOM4第、反光镜R6;以及,沿第三光路设置的一个声光调制器201AOM2、反光镜R7。

[0107] 根据一种具体的实施方式,下面结合激光路线作各部件具体的说明和介绍。四个声光移频器的频率为 Ω_1 、 Ω_2 、 Ω_3 、 Ω_4 。由固体微片激光器ML发出的光在经过分光镜BS1后分为了两束光,反射光被光电探测器PD捕获后转变为电信号,透射光经过凸透镜L进行聚焦后,再经过声光调制器201AOM1会形成3束测量光。透射光经过AOM1后,依次经过分光镜BS2反射、分光镜BS4反射和声光调制器201AOM2,形成测量光照射在目标上,用B2光路表示,最后经过目标反射回到激光器谐振腔内形成回馈干涉;类似地,透射光经过AOM1后,依次经过分光镜BS2反射、分光镜BS4透射和声光调制器201AOM3,形成测量光照射在目标上,用B1光路表示,最后经过目标反射回到激光器谐振腔内形成回馈干涉;透射光经过AOM1后,依次经过分光镜BS2透射、分光镜BS3反射和声光调制器201AOM4,形成测量光照射在目标上,用B3光路表示,最后经过目标反射回到激光器谐振腔内形成回馈干涉。三束光分别经过目标物体被目标物体散射后,沿着B4光路,携带相应的信息回到谐振腔内,期间三束光都分别被两个声光移频器移频,最后得到的移频量分别为: $|\Omega_2 - \Omega_1|$ 、 $|\Omega_3 - \Omega_1|$ 、 $|\Omega_4 - \Omega_1|$,然后对三个信号进行解调得到相位变化,即可得到每个信号所对应的位移。

[0108] 本发明实施例根据一种具体的实施方式,利用分光镜、反射镜等光学器件,设计出三条光路,在三组声光调制器的调制下,测出目标物体的三个维度上的位移。其中,将AOM₁、AOM₂、AOM₃、AOM₄布置成正四面体结构,以便于三维信号的解调和计算。

[0109] 需要指出的是,在上述实施例中,应该理解到,所揭露的系统,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的系统实施例仅仅是示意性的,例如,所述单元的划分,仅仅为一种功能实现的划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个组件可以结合或者可以改变摆放位置,或增加减少组件,或一些特征可以忽略,或不执行,以实现上述应变检测系统的功能。

[0110] 下面根据上述光路构成的激光信号进行进一步的计算与说明。

[0111] 三维位移测量的计算是在一维位移计算的基础上进行的,与一维位移的计算方法类似,三束光会分别被两个声光调制器调制后返回谐振腔,并会携带相应信息,先对B1、B2两束光路做分析,做二维位移计算,有如下公式:

$$[0112] \quad \frac{\Delta I_1(\Omega_2 - \Omega_1)}{I_s} = k_1 G(\Omega_2 - \Omega_1) \cos(\Omega_1 t + \phi_1 + \Phi_1) \quad (1)$$

$$[0113] \quad \frac{\Delta I_2(\Omega_3 - \Omega_1)}{I_s} = k_2 G(\Omega_3 - \Omega_1) \cos(\Omega_2 t + \phi_2 + \Phi_2) \quad (2)$$

[0114] 式中I是两个光束的强度调制, I_s 表示固体微片激光器的输出功率, k_1 与 k_2 是两个光束的反馈强度系数,G是放大系数, Φ 是两光束的固定相位, ϕ 为两光束的外腔长度相关相位,即激光器到测量目标之间光传播的路径。

[0115] 公式(1)(2)为对调制后的信号进行解调,以得到光束的相位变化,即 ϕ_1 、 ϕ_1 、 ϕ_3 为回馈信号的相位变化可作为当入射光角度不好得到的时候,作为一个反推光束角度的公式,例如:给测量目标一个已知的固定位移,对信号解调得到相位变化 ϕ ,将相位变化带入

公式上述公式即可得到角度参数 θ 。

[0116] 由于本发明实施例采用了固体微片激光器,其放大系数G可以达到 10^6 ,这就意味着,即使是很低的反馈强度,也可以得到较强的增益,因此,移频激光反馈具有很高的灵敏度,对于检测微弱信号和非配合目标具有明显的优势。

[0117] 如图6所示,由于4个声光调制器设计为正四面体结构,因此,三束光都会以一定的角度射到目标物体的一点,入射的角度均为固定值,以便于后续计算分析。

[0118] 将B4光路投影到B1光路与B2光路所构成的平面内,得到光路角度简图如图7示,B4'光路为投影后光路。

[0119] 平面内位移方向与平面外位移方向为根据B4'光路平行与面外方向和垂直于面内方向,当目标物体以一定速度移动的时候,B1光路与B2光路被目标物体表面散射,根据二维位移的方法利用多普勒移频公式有:

$$[0120] \quad f_1' = f_1 \frac{1 + v/c \cos(\theta_1)}{1 - v/c \cos(\theta_1 + \theta)} \quad (3)$$

$$[0121] \quad f_2' = f_2 \frac{1 + v/c \cos(\theta_1 + \theta + \theta')}{1 - v/c \cos(\theta_1 + \theta)} \quad (4)$$

[0122] 式中 f_1 与 f_2 是两光束的原始频率,c是光速,v是目标速度。 θ 、 θ' 为B1光路、B2光路与B4'光路间的夹角, θ_1 为B1光路与待测物运动方向的夹角。

[0123] 由于目标物体的速度应该远远小于光速,则可以得到:

$$[0124] \quad \Delta f_1 = f_1' - f_1 = f_1 \frac{v}{c} (\cos \theta_1 + \cos(\theta_1 + \theta)) \quad (5)$$

$$[0125] \quad \Delta f_2 = f_2' - f_2 = f_2 \frac{v}{c} ((\cos(\theta_1 + \theta + \theta') + \cos(\theta_1 + \theta))) \quad (6)$$

[0126] 而频率的变化其实就是相位的变化,可以通过对左侧的积分得到:

$$[0127] \quad \int \Delta f_1 dt = \frac{1}{2\pi} \int \Delta \omega_1 dt = \frac{1}{2\pi} \phi_1 \quad (7)$$

$$[0128] \quad \int \Delta f_2 dt = \frac{1}{2\pi} \int \Delta \omega_2 dt = \frac{1}{2\pi} \phi_2 \quad (8)$$

[0129] 对于等式的右侧,可以发现,将速度v积分将得到目标的位移,所以可以得到相位与目标位移的表达式如下:

$$[0130] \quad \phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} S (\cos \theta_1 + \cos(\theta_1 + \theta)) \quad (9)$$

$$[0131] \quad \phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} S (\cos(\theta_1 + \theta + \theta') + \cos(\theta_1 + \theta)) \quad (10)$$

[0132] 由于需要测量目标的三维位移,需要对相关计算进行完善,可以得到如下计算公式:

$$[0133] \quad \int_0^t v dt = S \quad (11)$$

$$[0134] \quad \int_0^t v \sin(\theta_1 + \theta) dt = S_{in} \quad (12)$$

$$[0135] \quad \int_0^t v \cos(\theta_1 + \theta) dt = S_{out} \quad (13)$$

[0136] 把激光回馈光相位的变化与外腔长度的变化联系起来,得到在B4'光路投影面内两个维度位移公式如下:

$$[0137] \quad S_{in1} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_2(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')} \quad (14)$$

$$[0138] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')} \quad (15)$$

[0139] 由于得到的是相对于B4光路投影面内的二维位移公式,把上述正交分解的B4光路合在一起,再除以 \cos 倒推,可得两个维度的位移表达式:

$$[0140] \quad S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_2(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')} \quad (16)$$

$$[0141] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2} \quad (17)$$

[0142] 其中, θ_2 为B4光路与投影平面的夹角。

[0143] 同理将B3光路与B1光路作为参考平面,将B4光路投影上去,也可得到两个维度的位移表达式如下:

$$[0144] \quad S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_3(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')} \quad (18)$$

$$[0145] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_3 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2} \quad (19)$$

[0146] 由于两个对于面外的位移都是相等的,所以选取一个作为三维位移计算结构即可,得到三维位移表达式如下:

$$[0147] \quad S_{inx} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_2(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')} \quad (20)$$

$$[0148] \quad S_{inz} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1(1 + \cos \theta') - \phi_3(1 + \cos \theta)}{\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')} \quad (21)$$

$$[0149] \quad S_{out} = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\phi_1 \sin \theta - \phi_2 \sin \theta}{[\sin \theta + \sin \theta' + \sin(\theta + \theta')] \cos \theta_2} \quad (22)$$

[0150] 在上式中,波长 λ 是一个常数,而 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 是对测量信号进行解调得到的相位,而角度参数都是预先设定的,可以根据上述公式来计算三个维度的位移,实现了基于激光回馈效应的三维位移测量。

[0151] 根据上述计算后得到的目标点位的位移量,进行位移与应变转换,得到目标点位的应变值,在此不再赘述。

[0152] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

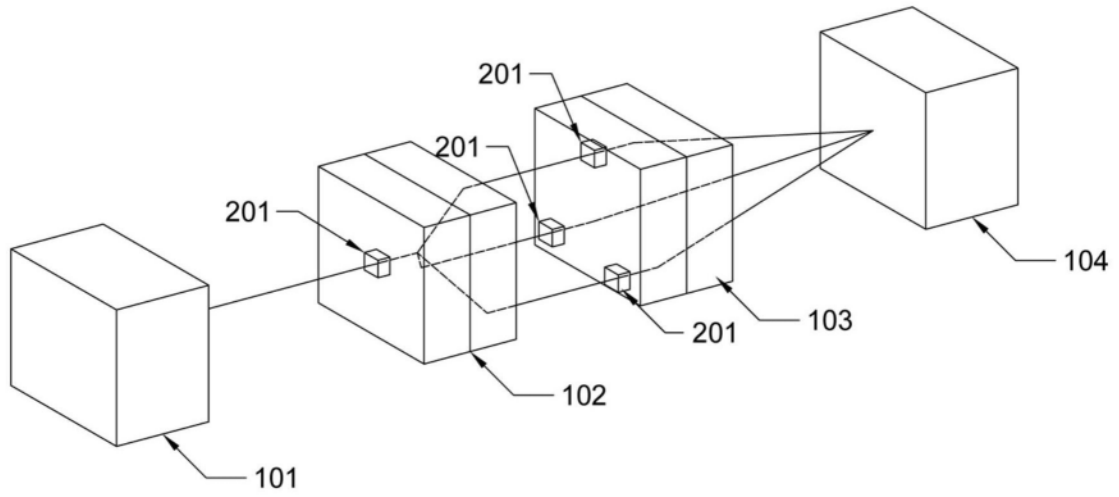


图1

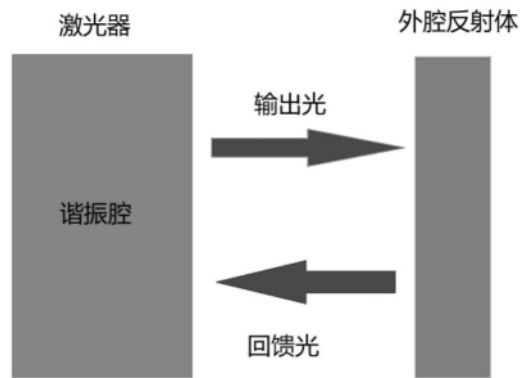


图2

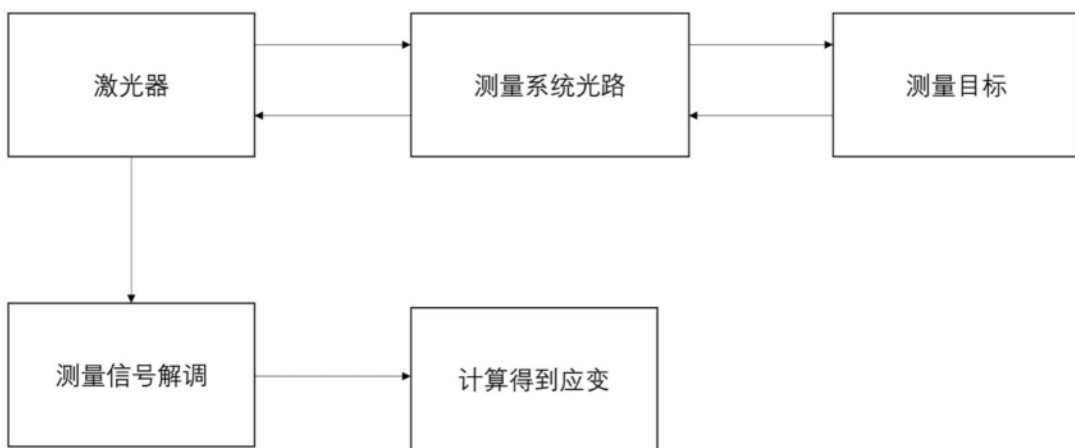


图3

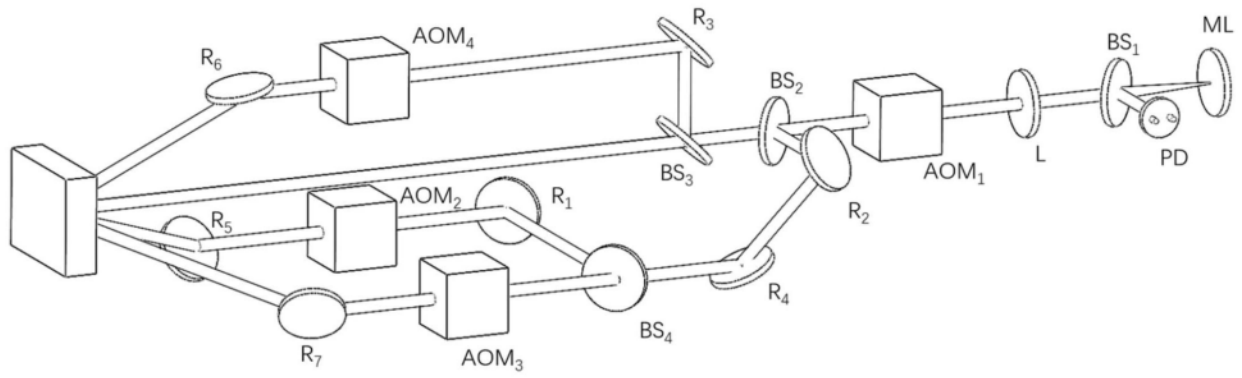


图4

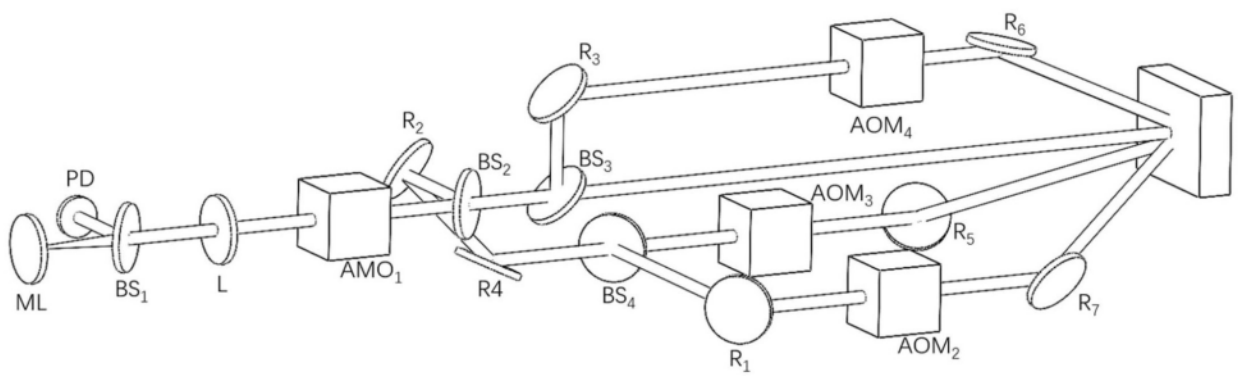


图5

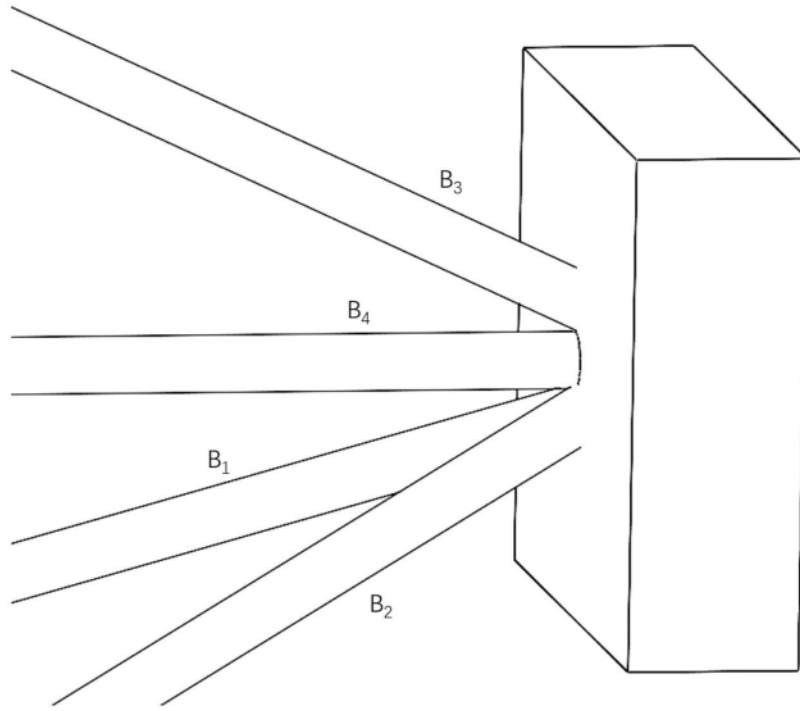


图6

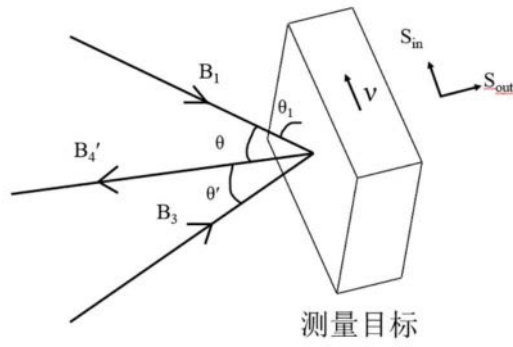


图7