



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113607062 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 09

(21) 申请号 202110882268.2

审查员 丁莹

(22) 申请日 2021.08.02

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113607062 A

(43) 申请公布日 2021.11.05

(73) 专利权人 山东大学

地址 264209 山东省威海市文化西路180号

(72) 发明人 刘维新 唐宁 夏利东 左修辉

(74) 专利代理机构 青岛清泰联信知识产权代理

有限公司 37256

专利代理师 张媛媛

(51) Int. Cl.

G01B 11/02 (2006.01)

G01B 11/26 (2006.01)

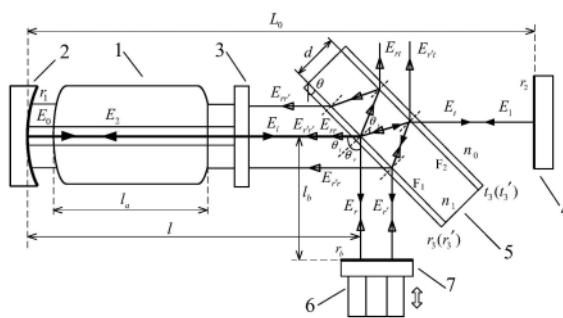
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

微致动器位移及倾角测量装置及方法

(57) 摘要

本发明提出一种微致动器位移及倾角测量装置及方法。激光器谐振腔由固定腔镜和独立腔镜构成，在独立腔镜和激光增益管之间沿激光轴线倾斜放置镀增透膜的玻璃片，其表面反射两弱光束入射到致动器驱动的平面反射镜，折返后耦合回谐振形成分叉腔激光回馈。在致动器运动过程中，通过光电探测器接收并记录激光回馈形成的光强变化条纹，根据回馈条纹周期和包络特性，计算得到致动器的位移与倾角。本发明可以对微位移致动器在线性伸缩过程中的位移量和倾斜角同时进行测量，评估其性能指标。



1. 微致动器位移及倾角测量装置,其特征在于,包括:

激光增益管:一端连接镀高反射膜的固定腔镜,另一端连接镀增透膜的玻璃窗片;

独立腔镜:与激光增益管间隔设置,镀高反膜的一面朝向玻璃窗片一侧,与固定腔镜平行设置构成激光谐振腔,二者间隔即激光谐振腔腔长;

光学玻璃片:设置在激光增益管玻璃窗片与独立腔镜之间,与激光谐振腔内的激光束倾斜成一定角度,包括靠近激光增益管一侧的第一平面,和靠近独立腔镜一侧的第二平面,两个平面镀增透膜;

所述微致动器设置在激光经光学玻璃片的反射光路上,调整为可沿激光束方向产生微位移;

平面反射镜:设置在微致动器朝向光学玻璃片一侧的端面,反射光学玻璃片第一平面和第二平面反射的两束光原路返回激光谐振腔;光学玻璃片与平面反射镜之间形成附属于激光谐振腔的激光分叉腔;

光电探测器:设置在固定腔镜远离独立腔镜的一侧,用于探测从固定腔镜输出的尾光,转变为随时间变化的电信号;

数据处理单元:与光电探测器相连,根据探测到激光分叉腔回馈时光强变化曲线,测得激光回馈条纹,计算微致动器的位移与倾角;

所述位移为微致动器在电源驱动下沿激光分叉腔中激光轴线方向上靠近或远离光学玻璃片的位移,所述倾角为相对激光轴线传播方向的角度变化。

2. 如权利要求1所述的微致动器位移及倾角测量装置,其特征在于:

所述数据处理单元被配置为,按如下方法计算微致动器位移 $\Delta L$ :

$$\Delta L = \lambda / 2 (M + m);$$

其中, $\lambda$ 为激光波长, $M$ 为回馈条纹整数部分, $m$ 为根据光强变化相位得到的回馈条纹小数部分,根据光电探测器探测的光强变化曲线获取;

所述数据处理单元被配置为,按如下方法计算微致动器的倾角 $\theta$ :

$$\theta = \frac{\varepsilon \Delta L}{D} \times \frac{10800}{\pi} = \frac{(M + m) \lambda}{2ND} \times \frac{10800}{\pi};$$

其中: $D$ 为激光束 $E_r$ 和激光束 $E_r'$ 之间的距离, $\varepsilon$ 为微致动器位移和倾角引起的激光分叉腔长差系数, $N$ 为微致动器伸缩过程中光强变化曲线中一个长周期包络下半波长波动的周期数;10800为弧度至角度的变换因子;

$E_r$ 为发射激光经激光增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 反射至平面反射镜后,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光; $E_r'$ 为发射激光经激光增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 折射至第二平面 $F_2$ ,经第二平面 $F_2$ 反射至第一平面 $F_1$ 后,经第一平面 $F_1$ 折射出光学玻璃片,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光。

3. 一种微致动器位移及倾角测量方法,采用权利要求2中所述的测量装置,其特征在于,包括以下步骤:

计算微致动器位移 $\Delta L$ 步骤:根据光电探测器图像获取激光回馈条纹的整数部分 $M$ 和小数部分 $m$ ;

$$\Delta L = \lambda / 2 (M + m);$$

计算微致动器的倾角 $\theta$ 步骤:

$$\vartheta = \frac{\varepsilon \Delta L}{D} \times \frac{10800}{\pi} = \frac{(M+m)\lambda}{2ND} \times \frac{10800}{\pi}, ;$$

其中:D为激光束 $E_r$ 和激光束 $E_r$ 之间的距离, $\varepsilon$ 为微致动器位移和倾角引起的激光分叉腔长差系数,N为微致动器伸缩过程中光强变化曲线中一个长周期包络下半波长波动的周期数;10800为弧度至角度的变换因子;

$E_r$ 为发射激光经增激光益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 反射至平面反射镜后,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光; $E_r$ 为发射激光经激光增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 折射至第二平面 $F_2$ ,经第二平面 $F_2$ 反射至第一平面 $F_1$ 后,经第一平面 $F_1$ 折射出光学玻璃片,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光。

4.如权利要求3所述的微致动器位移及倾角测量方法,其特征在于,所述方法进一步包括:

在第一个角度计算获得第一组微致动器的倾角数据;

将微致动器旋转90度,重复微致动器倾角的计算步骤;

在第二个角度计算获得第二组微致动器的倾角数据;

结合第一组倾角数据和第二组倾角数据,获得微致动器位移过程中实际倾角和倾斜方向。

## 微致动器位移及倾角测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学测量技术领域,具体涉及一种微致动器位移及倾角测量装置。

### 背景技术

[0002] 精密可控的线性位移在制造、材料、科研等诸多领域都有重要应用。随着对位移精度要求的不断提高,逐步发展出由步进电机或伺服电机、压电陶瓷、音圈电机等驱动的微位移致动器,其性能指标会决定加工或测量精度。

[0003] 致动器在电源驱动下,除了沿轴线的线性伸长外,还可能存在相对于轴线的偏摆角,这主要是由于材料和结构的不均匀性,已经驱动电压差异所造成的。因此,致动器在工作过程中,一方面要求位移量随驱动源(如电压信号)变化的分辨率高,线性度好,尽量减小位移滞回;另一方面要求位移过程中方向性好,尽量减小相对于轴线的倾角。

[0004] 为了测试不同种类致动器的位移性能和倾角大小,一般采用精度更高且能够溯源到激光波长的干涉仪。不过在干涉仪光路中,测量位移和测量倾角的组件是分别独立,即只能对二者之一进行测量,而实际应用中,如压电陶瓷致动器需要同时测试伸长过程中的倾角大小,则无法通过干涉仪进行测量。另外,激光干涉仪的位移和倾角测量组件尺寸和重量大,由微位移致动器驱动过程中,会显著改变其受力状态,给测量带来系统误差。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于解决上述技术问题之一,提供一种可同时测量微致动器微小倾角和位移变化的装置。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0007] 微致动器位移及倾角测量装置,包括:

[0008] 激光增益管:一端连接镀高反射膜的固定腔镜,一端连接镀增透膜的玻璃窗片;

[0009] 独立腔镜:与激光增益管镜间隔设置,镀高反膜的一面朝向玻璃窗片一侧,与固定腔镜平行设置构成激光谐振腔,二者间隔即谐振腔腔长;

[0010] 光学玻璃片:设置在增益管玻璃窗片与独立腔镜之间,与谐振腔内的激光束倾斜成一定角度,包括靠近增益管一侧的第一平面,和靠近独立腔镜一侧的第二平面,两个平面镀增透膜;

[0011] 所述致动器设置在激光经光学玻璃片的反射光路上,调整为可沿激光光束方向产生微位移;

[0012] 平面反射镜:设置在致动器朝向光学玻璃片一侧的端面,反射光学玻璃片第一平面和第二平面反射的两束光原路返回激光谐振腔;光学玻璃片与平面反射镜之间形成附属于激光谐振腔的分叉腔;

[0013] 光电探测器:设置在固定腔镜远离独立腔镜的一侧,用于探测从固定腔镜输出的尾光,转变为随时间变化的电信号;

[0014] 数据处理单元:与光电探测器相连,根据探测到激光分叉腔回馈时光强变化曲线,

测得激光回馈条纹,计算致动器的位移与倾角;

[0015] 所述位移为致动器在电源驱动下沿分叉腔中激光轴线方向上靠近或远离光学玻璃片的位移,所述倾角为相对激光轴线传播方向的角度变化。

[0016] 本发明一些实施例中,所述数据处理单元被配置为,按如下方法计算致动器位移  $\Delta L$ :

$$[0017] \quad \Delta L = \lambda / 2 (M + m);$$

[0018] 其中, $\lambda$ 为激光波长, $M$ 为回馈条纹整数部分, $m$ 为根据光强变化相位得到的回馈条纹小数部分,根据光电探测器探测的光强变化曲线获取;

[0019] 所述数据处理单元被配置为,按如下方法计算致动器的倾角  $\vartheta$ :

$$[0020] \quad \vartheta = \frac{\varepsilon \Delta L}{D} \times \frac{10800}{\pi} = \frac{(M + m) \lambda}{2ND} \times \frac{10800}{\pi} (^\circ);$$

[0021] 其中: $D$ 为光束 $E_r$ 和光束 $E_r$ 之间的距离, $\varepsilon$ 为微致动器位移和倾角引起的分叉腔长差系数, $N$ 为致动器伸缩过程中光强变化曲线中一个长周期包络下半波长波动的周期数;10800为弧度至角度的变换因子;

[0022]  $E_r$ 为发射激光经增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 反射至平面反射镜后,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光; $E_r$ 为发射激光经增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 折射至第二平面 $F_2$ ,经第二平面 $F_2$ 反射至第一平面 $F_1$ 后,经第一平面 $F_1$ 折射出光学玻璃片,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回谐振腔的光。

[0023] 本发明一些实施例中,进一步提供一种微致动器位移及倾角测量方法,采用前述的测试装置,包括以下步骤:

[0024] 计算致动器位移  $\Delta L$ 步骤:根据光电探测器图像获取激光回馈条纹的整数部分 $M$ 和小数部分 $m$ ;

$$[0025] \quad \Delta L = \lambda / 2 (M + m);$$

[0026] 计算致动器的倾角  $\vartheta$ 步骤:

$$[0027] \quad \vartheta = \frac{\varepsilon \Delta L}{D} \times \frac{10800}{\pi} = \frac{(M + m) \lambda}{2ND} \times \frac{10800}{\pi} (^\circ);$$

[0028] 其中: $D$ 为光束 $E_r$ 和光束 $E_r$ 之间的距离, $\varepsilon$ 为微致动器位移和倾角引起的分叉腔长差系数, $N$ 为致动器伸缩过程中光强变化曲线中一个长周期包络下半波长波动的周期数;10800为弧度至角度的变换因子;

[0029]  $E_r$ 为发射激光经增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 反射至平面反射镜后,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光; $E_r$ 为发射激光经增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 折射至第二平面 $F_2$ ,经第二平面 $F_2$ 反射至第一平面 $F_1$ 后,经第一平面 $F_1$ 折射出光学玻璃片,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回谐振腔的光。

[0030] 本发明一些实施例中,所述方法进一步包括:

[0031] 在第一个角度计算获得第一组致动器的倾角数据;

[0032] 将致动器旋转90度,重复致动器倾角的计算步骤;

[0033] 在第二个角度计算获得第二组致动器的倾角数据;

[0034] 结合第一组倾角数据和第二组倾角数据,获得致动器位移过程中实际倾角和倾斜方向。

[0035] 与现有技术相比,本发明的优点和积极效果在于:

[0036] (1) 本发明可以对微位移致动器在线性伸长过程中的位移量和倾斜角同时进行测量,评估致动的性能指标。

[0037] (2) 本发明可在测量过程中通过计算回馈条纹数目计算得到致动器位移和倾角,线性度高;可以将致动器位移和倾角的量值与激光波长关联起来,使测量能够溯源到长度的基准——激光波长。

#### 附图说明

[0038] 图1为本发明致动器位移及倾角测量装置结构示意图;

[0039] 图2为本发明致动器位移及倾角测量装置光路原理图;

[0040] 图3为致动器未发生位移时状态图;

[0041] 图4为致动器发生位移伴随倾角时状态图;

[0042] 图5为致动器沿激光轴线位移伴随倾角状态激光光强变化曲线。

[0043] 以上各图中:

[0044] 1.激光增益管,2.固定腔镜,3.增透窗片,4.独立腔镜,5.玻璃片,6.致动器,7.平面反射镜,8.光电探测器,9.数据处理单元。

#### 具体实施方式

[0045] 下面,通过示例性的实施方式对本发明进行具体描述。然而应当理解,在没有进一步叙述的情况下,一个实施方式中的元件、结构和特征也可以有益地结合到其他实施方式中。

[0046] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“上”、“下”、“前”、“后”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0047] 需要说明的是,当元件被称为“设置在”,“连接”,“固定于”另一个元件,它可以直接在另一个元件上或者间接在该另一个元件上。当一个元件被称为是“连接于”另一个元件,它可以是直接连接到另一个元件或间接连接至该另一个元件上。此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0048] 本发明提供一种微致动器位移及倾角测量装置,例如可以为压电陶瓷、音圈电机等微位移致动器。

[0049] 参考图3和图4,图示从左至右的激光传播的方向设置,定义此方向为激光初始传播方向,此处所述的位移,是指致动器6在电源驱动下沿分叉腔中激光轴线方向上靠近或远离光学玻璃片的位移,表现为图3所示向上或向下的方向;此处所述的倾角,是指致动器相对激光轴线传播方向的角度变化,表现为图4所示的摆动方向。其中,致动器产生位移和倾角的原因在于:致动器6施加电压后,其各端面将产生伸长,这种伸长运动是向靠近激光初始传播方向进行的;但致动器6材料、结构的不均匀性,致动器6产生的伸长运动是不均匀的,因此,会产生倾角。

[0050] 测量装置的结构参考图1,包括:

[0051] 激光增益管1:一端连接镀高反射膜的固定腔镜2,一端连接镀增透膜的玻璃窗片3;其出光方向朝向独立腔镜4;增益管1中的毛细管直径很小,偏离毛细管直径范围外的光不能经增益管1返回;

[0052] 独立腔镜4:与激光增益管1间隔设置,镀高反膜的一面朝向玻璃窗片一侧,与固定腔镜2平行设置构成激光谐振腔,二者间隔为 $L_0$ ,二者间隔即谐振腔腔长;

[0053] 光学玻璃片5:设置在增益管玻璃窗片3与独立腔镜4之间,与谐振腔内的激光束倾斜成一定角度,具体的,其法线方向相对增益管出光方向呈 $\theta$ 角,其厚度为 $d$ ,包括靠近增益管1一侧的第一平面 $F_1$ ,和靠近独立腔镜一侧的第二平面 $F_2$ ,两个平面镀增透膜;激光射至光学玻璃片3后,被反射,致动器6设置在激光经光学玻璃片的反射光路上;在一些实施方式中,光学玻璃片3的两侧可设置增透膜,设置了增透膜后,可减小光的反射系数,减小光经光学玻璃片3后的反射量;光学玻璃片5位于谐振腔内,其与激光呈 $\theta$ 角,该角度可根据需要选择,例如,可设定为 $45^\circ$ ;

[0054] 致动器6设置在激光经光学玻璃片的反射光路上,调整为可沿激光光束方向产生微位移;

[0055] 平面反射镜7:设置在致动器朝向光学玻璃片5一侧的端面,平行激光的初始传播的方向设置;反射光学玻璃片第一平面 $F_1$ 和第二平面 $F_2$ 反射的两束光原路返回激光谐振腔;光学玻璃片5与平面反射镜7之间形成附属于激光谐振腔的分叉腔,分叉腔的长度为 $l_b$ ,该长度定义为激光由增益管1端入射至光学玻璃片5上的入射点到平面反射镜7之间的距离;当致动器6发生转动后,分叉腔的长度会发生变化;激光经光学玻璃片3反射至平面反射镜7的方向为激光轴线传播方向;

[0056] 光电探测器8:设置在固定腔镜远离独立腔镜的一侧,用于探测从固定腔镜输出的尾光,转变为随时间变化的电信号;

[0057] 数据处理单元9:与光电探测器8相连,根据探测到激光分叉腔回馈时光强变化曲线,测得激光回馈条纹,计算致动器6的位移与倾角。

[0058] 数据处理单元基于如下方法,计算致动器6的位移 $\Delta L$ :

[0059]  $\Delta L = \lambda/2 (M+m)$ ;

[0060] 其中, $\lambda$ 为激光波长, $M$ 为回馈条纹整数部分, $m$ 为根据光强变化相位得到的回馈条纹小数部分,根据光电探测器探测的光强变化曲线获取;

[0061] 所述数据处理单元被配置为,按如下方法计算致动器的倾角 $\vartheta$ :

[0062] 
$$\vartheta = \frac{\varepsilon \Delta L}{D} \times \frac{10800}{\pi} = \frac{(M+m)\lambda}{2ND} \times \frac{10800}{\pi} (^\circ)$$
;

[0063] 其中: $D$ 为光束 $E_r$ 和光束 $E_r'$ 之间的距离, $\varepsilon$ 为微致动器位移和倾角引起的分叉腔长差系数,是由致动器倾角 $\vartheta$ 以及位移量 $\Delta L$ 决定的小量, $N$ 为致动器伸缩过程中光强变化曲线中一个长周期包络下半波长波动的周期数;10800为弧度变换至以分为单位的角度的变换因子;

[0064]  $E_r$ 为激光经增益管,在光学玻璃片第一平面 $F_1$ 反射至平面反射镜后,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回激光谐振腔的光; $E_r'$ 为发射激光经增益管,在光学玻璃片5第一平面 $F_1$ 折射至第二平面 $F_2$ ,经第二平面 $F_2$ 反射至第一平面 $F_1$ 后,经第一平面 $F_1$ 折射出光学玻璃片,传播至平面反射镜处,再经过平面反射镜反射回谐振腔的光。

[0065] 以下,详细阐述本发明的计算原理。

[0066] 驻波激光器的谐振腔由固定腔镜2和独立腔镜4组成,振荡光场满足谐振条件。当输出激光被谐振腔外部的光学表面反射后,再返回谐振腔,与振荡光场相互叠加形成干涉,即激光回馈或自混合干涉。当外部光学反射面(通常为特定反射率的反射镜)发生变化,相应改变返回谐振腔的回馈光相位,可引起激光光强改变形成回馈条纹。

[0067] 在激光谐振腔内放入光学玻璃片5,其沿激光轴线倾斜会使部分腔内光反射到激光器外,在反射光路径上设置平面反射镜7使其沿原路再入射回谐振腔,同样形成激光回馈,使激光光强产生变化。

[0068] 由于腔内光学玻璃片5与腔外平面反射镜7形成独立于激光谐振腔的分叉腔结构,元件表面反射率低,分叉腔形成的两束再入射光不会影响激光振荡,但会使输出光强变化,产生激光回馈效应。当腔外平面反射镜7沿着激光方向位移时,光强会发生周期性变化。根据激光物理,分叉腔平面反射镜7每移动光波长的二分之一,激光光强变化一个周期,即形成一个回馈条纹。反射镜由线性位移的致动器驱动时,测量回馈条纹数,可以得到微致动器的位移量。

[0069] 具体的,激光经过致动器位移及倾角测量装置后的光路传播示意参考图2。以下,将结合该附图,来说明采用本发明提供的装置测量微致动器倾角和位移的方法。

[0070] 固定腔镜2发出的初始光波向图示右侧方向传播,初始光波的电场矢量复振幅为 $E_0$ ,在谐振腔内向右传播为正方向,经激光增益管1放大和增透窗片3 衰减后,电场矢量复振幅变为 $E_i$ 。

[0071] 由于腔内光学玻璃片5前后两个表面都可以反射激光,实际上分叉腔有两束平行激光:

[0072] 一束为 $E_r$ ,为增益管1发射激光 $E_i$ 经光学玻璃片5第一平面 $F_1$ 反射至平面反射镜7后,传播至平面反射镜7处,再经过平面反射镜7折射回的光;

[0073] 一束为 $E_{r'}$ ,为增益管1发射激光 $E_i$ 经光学玻璃片5第一平面 $F_1$ 折射至第二平面 $F_2$ ,经第二平面 $F_2$ 反射至第一平面 $F_1$ 后,经第一平面 $F_1$ 折射出光学玻璃片5,传播至平面反射镜7处,再经过平面反射镜7折射回的光。

[0074] 反射光 $E_r$ 和 $E_{r'}$ 被平面反射镜7反射后原路返回,再在第一平面 $F_1$ 和第二平面 $F_2$ 折反射一次后各产生三路光束:

[0075]  $E_r$ :被第一平面 $F_1$ 反射,形成反射光 $E_{rr}$ ,该反射光沿毛细增益管返回;沿第一平面 $F_1$ 折射,并进一步沿第二平面 $F_2$ 折射,并经第二平面 $F_2$ 穿出,形成折射光 $E_{rt}$ ;被第一平面 $F_1$ 折射,并进一步沿第二平面 $F_2$ 反射,再被第一平面 $F_1$ 折射,并经第一平面 $F_1$ 穿出,形成折返光 $E_{rr'}$ ;

[0076]  $E_{r'}$ :被第一平面 $F_1$ 反射,形成反射光 $E_{r'r}$ ;沿第一平面 $F_1$ 折射,并进一步沿第二平面 $F_2$ 折射,并经第二平面 $F_2$ 穿出,形成折射光 $E_{r't}$ ;被第一平面 $F_1$ 折射,并进一步沿第二平面 $F_2$ 反射,再被第一平面 $F_1$ 折射,并经第一平面 $F_1$ 穿出,形成折返光 $E_{r'r'}$ ,该反射光沿毛细增益管返回。

[0077] 由于增益管1中的毛细管直径很小,前述 $E_{rr}$ 、 $E_{r't}$ 不返回增益腔。同时,光学玻璃片5的表面镀增透膜,反射系数很小,因此只考虑在光学玻璃片5两表面的两次及以下反射光,高次反射光强度太小可以忽略,因此,仅考虑 $E_{rr'}$ 、 $E_{r'r'}$ 返回增益腔。

[0078] 由固定腔镜2至独立腔镜4光路的折返情况如下。

[0079]  $E_i$ 从光学玻璃片5的透射光 $E_t$ 传播到独立腔镜4后被反射,电场矢量复振幅变为 $E_{r1}$ ,原路返回再次经过光学玻璃片5,被两表面反射透射后,一次反射光将分别沿原来 $E_{rt}$ 和 $E_{r't}$ , $E_{rr}$ 的方向,不能进入激光增益管1中,只有透射光 $E_2$ 可以经过毛细管返回固定腔镜2。

[0080] 综上,光路中,返回谐振腔的光包括: $E_{rr}$ 、 $E_{r'r}$ 、 $E_2$ 。

[0081] 计算微致动器位移和倾角的推算原理具体如下。

[0082] 已知:空气的折射率为 $n_0$ ,玻璃的折射率为 $n_1$ ,谐振腔中激光到达光学玻璃片5的入射角为 $\theta_i = \theta$ ,反射角 $\theta_r = \theta$ ,折射角为:

[0083]  $\theta_t = \arcsin(n_0/n_1 \cdot \sin\theta)$ 。

[0084] 可根据前述指标,计算 $E_r$ 和 $E_{r'}$ 至平面反射镜7的光程差:

[0085]  $\Delta l = 2d\sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta}$ ; (1)

[0086] 则 $E_{rr}$ 、 $E_{r'r}$ 返回入射点的光程差为: $2\Delta l$ 。

[0087] 则 $E_{rr}$ 、 $E_{r'r}$ 的相位延迟量为: $2\Delta\phi = 4\pi\Delta l/\lambda$ 。

[0088] 进一步可计算经独立腔镜4、光学玻璃片5和平面反射镜7后,返回谐振腔内各光的电场矢量复振幅:

$$\begin{aligned} E_2 &= E_0 r_1 r_2 t_3^2 t_3'^2 e^{-i2kL'} e^{2gL_a} \\ [0089] \quad E_{rr} &= E_0 r_1 r_3^2 r_b e^{-i2k(l+l_b)} e^{2gL_a} \quad ; \quad (2) \\ E_{r'r'} &= E_0 r_1 r_3'^2 r_b t_3^2 t_3'^2 e^{-i2k(l+l_b+\Delta l)} e^{2gL_a} \end{aligned}$$

[0090] 其中, $g$ 为激活介质的增益系数, $l_a$ 为激活介质(He-Ne激光毛细增益管)有效长度, $gl_a$ 为激光在谐振腔内经过增益管一次获得的单程增益, $L'$ 为激光谐振腔的等效物理腔长度, $k$ 为波矢: $k = 2\pi/\lambda$ 。

[0091] 在计算激光谐振腔的等效物理腔长度的过程中,考虑激光增益介质和增透窗片3、光学玻璃片5的折射率,得:

$$[0092] \quad L' = L + n_3 d (n_3 - n_0) / \sqrt{n_3^2 - n_0^2 \sin^2 \theta}。$$

[0093] 则根据自洽条件,从固定腔镜2出发的光场在腔内往返一周,回到固定腔镜2后应与初始状态保持一致,则有:

$$[0094] \quad E_0 = E_2 + E_{rr} + E_{r'r} ;$$

[0095] 即:

$$[0096] \quad E_0 = E_0 \left[ r_1 r_2 t_3^2 t_3'^2 + r_1 r_3^2 r_b e^{-i2k(l+l_b-L')} + r_1 r_3'^2 r_b t_3^2 t_3'^2 e^{-i2k(l+l_b+\Delta l-L')} \right] e^{-i2kL'} e^{2gL_a} ; \quad (3)$$

[0097] 同时,对于表面镀增透膜的光学玻璃片7,其反射率远小于1,而透射率近似等于1。对式(3)化简并舍去高阶小量,可以得到激光增益的表达式为:

$$[0098] \quad gL_a = -\frac{1}{2} \ln \left[ (B \sin 2kl_1 + C \sin 2kl_2)^2 + (A + B \cos 2kl_1 + C \cos 2kl_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} ; \quad (4)$$

[0099] 其中:

$$[0100] \quad A = r_1 r_2 t_3^2 t_3'^2, \quad B = r_1 r_3^2 r_b, \quad C = r_1 r_3'^2 r_b t_3^2 t_3'^2 ;$$

$$[0101] \quad l_1 = l + l_b - L', \quad l_2 = l + l_b + \Delta l - L'。$$

[0102] 当分叉腔长 $l_b$ 改变,激光光强产生周期为 $\lambda/2$ 的正弦调制,即当平面反射镜7由致动器驱动,每产生 $\lambda/2$ 位移,激光光强变化一个周期(回馈条纹),则致动器的总位移量 $\Delta L$ (线性伸长量)为:

$$[0103] \quad \Delta L = \lambda/2 (M+m); \quad (5)$$

[0104] 其中, $M$ 为回馈条纹整数部分, $m$ 为根据光强变化相位得到的回馈条纹小数部分。可通过数据处理单元9获得,参考检测获得的光波图像,整周期数即为 $M$ ,不到一个周期的部分,按相位折算成小数部分 $m$ 。

[0105] 对致动器6施加电压后其端面上各点的伸长量不一致,使平面反射镜7相对于面法线有很小的偏摆角 $\vartheta$ 。经反射镜7后两光束沿各自轴线方向的位移量不相等,相互之间有位差。则根据式(4)中 $l_1$ 和 $l_2$ 变为:

$$[0106] \quad l_1' = 1 + (1 - \varepsilon/2) l_b - \Delta L - L', l_2' = 1 + (1 + \varepsilon/2) l_b - \Delta L + \Delta l - L'; \quad (6)$$

[0107] 将式(6)代入式(4),可以计算致动器6位移过程中形成的激光光强变化曲线如图5所示。

[0108] 可以看出,随着致动器6发生位移,分叉腔长 $l_b$ 改变,在周期为 $\lambda/2$ 的光强波动曲线上出现了长周期包络。则致动器6的平均位移可以根据光强波动周期,代入式(5)得到。而致动器6伸长过程中的偏摆角大小根据光强曲线中一个长周期包络下的半波长波动周期数 $N$ 进行计算:

$$[0109] \quad \vartheta = \frac{\varepsilon \Delta L}{D} \times \frac{10800}{\pi} = \frac{(M+m)\lambda}{2ND} \times \frac{10800}{\pi}; \quad (7)$$

[0110] 由此,可以同时得到致动器6的线性伸长 $\Delta L$ 和沿 $x$ 轴方向的偏摆角 $\vartheta$ 。

[0111] 在第一个角度计算获得第一组致动器的倾角数据;

[0112] 将致动器旋转90度,重复致动器倾角的计算步骤;

[0113] 在第二个角度计算获得第二组致动器的倾角数据;

[0114] 结合第一组倾角数据和第二组倾角数据,获得致动器位移过程中实际倾角和倾斜方向。

[0115] 例如,可将致动器6相对激光轴线转动 $90^\circ$ ,继续上面的测试,可以得到沿 $y$ 轴方向的俯仰角 $\zeta$ 。综合两个倾角 $\vartheta$ 和 $\zeta$ ,可以得到致动器6在伸长过程中的实际倾斜角和倾斜方向。

[0116] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非是对本发明作其它形式的限制,任何熟悉本专业的技术人员可能利用上述揭示的技术内容加以变更或改型为等同变化的等效实施例应用于其它领域,但是凡是未脱离本发明技术方案内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与改型,仍属于本发明技术方案的保护范围。

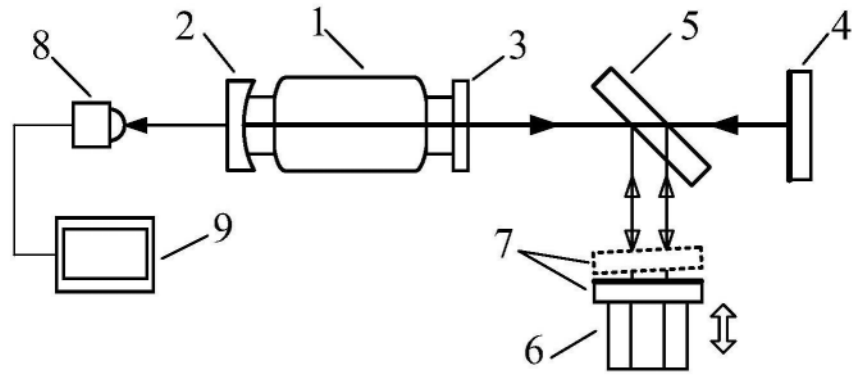


图1

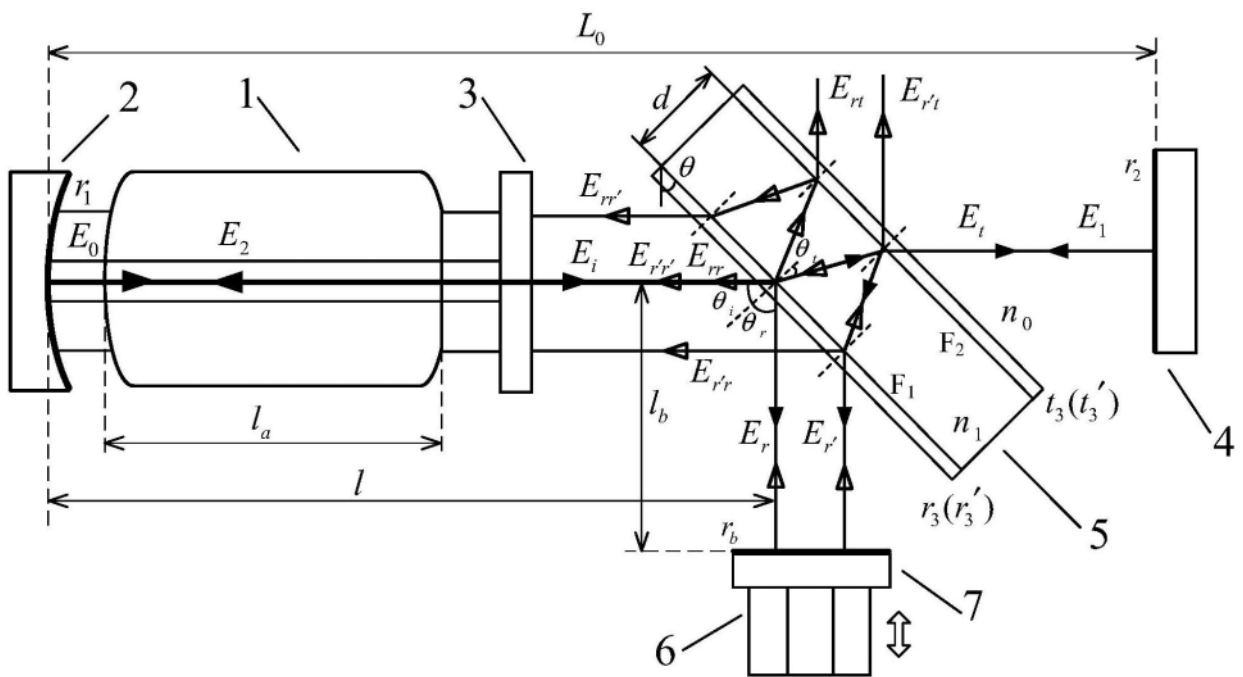


图2

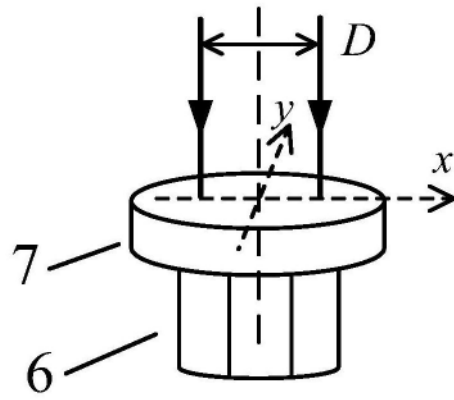


图3

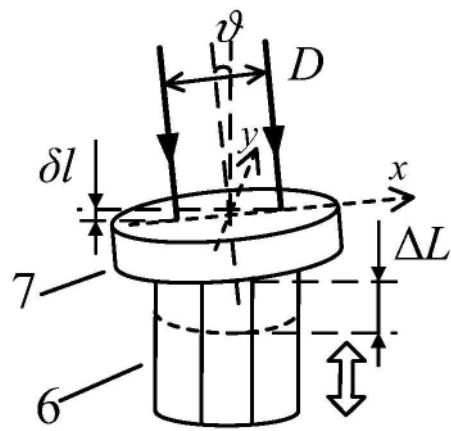


图4

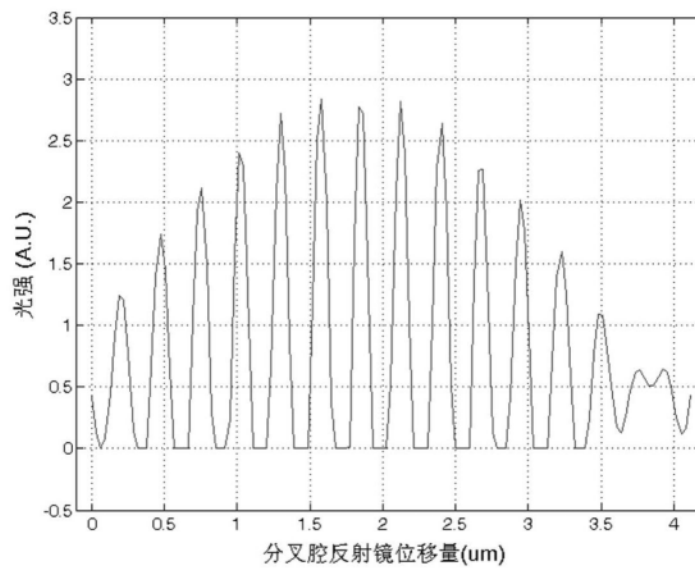


图5