



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106500602 A

(43)申请公布日 2017. 03. 15

(21)申请号 201610896736.0

(22)申请日 2016.10.13

(71)申请人 南通大学

地址 226000 江苏省南通市崇川区啬园路9号

(72)发明人 邓勇 陈康 汪晨旭 宋健军

(74)专利代理机构 北京志霖恒远知识产权代理有限公司(普通合伙) 11435

代理人 郭栋梁

(51)Int.Cl.

G01B 11/02(2006.01)

H01S 3/07(2006.01)

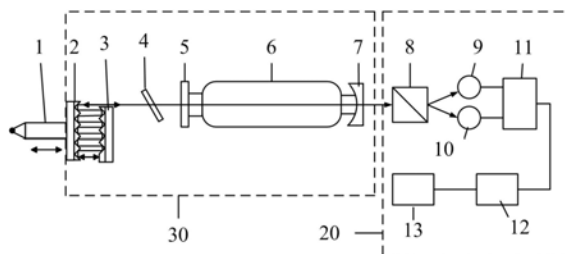
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

氦氖激光器纳米测尺系统

(57)摘要

本申请公开了一种氦氖激光器纳米测尺系统,包括可动测杆、含直角棱镜折叠腔的氦氖激光器以及数据采集处理单元,氦氖激光器包括直角反射棱镜、直角棱镜腔镜、应力双折射元件、激光增益管、增透窗片和凹面输出腔镜,数据采集处理单元包括偏振分光镜、两个光电探测器、光电转换及放大电路、信号处理电路和显示装置。本申请直角棱镜腔镜与凹面输出腔镜为氦氖激光器的谐振腔的两腔镜,这两个腔镜静止固定,不受可动测杆的影响,系统稳定性高;以直角反射棱镜和直角棱镜腔镜构成折叠腔,直角反射棱镜每移动 λ ,激光谐振腔的腔长改变 $N\lambda$,系统的分辨率提高相应的N倍(N为直角反射棱镜中连续的第一反射面的个数,相邻两个第一反射面相垂直)。



1. 氦氖激光器纳米测尺系统,其特征在于,包括可动测杆、含直角棱镜折叠腔的氦氖激光器以及数据采集处理单元;

所述可动测杆,其一端与待测物体接触;

所述氦氖激光器包括:

直角棱镜折叠腔,其用于光线的多次折返并输出单频激光,所述直角棱镜折叠腔包括与所述可动测杆的另一端相连接的直角反射棱镜以及与所述直角反射棱镜平行放置的直角棱镜腔镜,所述直角反射棱镜和所述直角棱镜腔镜的反射面均镀有高反射膜;

应力双折射元件,其位于所述直角棱镜折叠腔的出光侧,并将所述直角棱镜折叠腔输出的单频激光变成具有两个频率的正交偏振光,所述直角棱镜折叠腔位于所述应力双折射元件的一端;

激光增益管,其与所述应力双折射元件同光轴并安装于所述应力双折射元件的另一端;

增透窗片,其沿所述光轴方向安装于所述激光增益管的一端,且位于所述应力双折射元件和所述激光增益管之间;

凹面输出腔镜,其沿所述光轴方向安装于所述激光增益管的另一端,并输出所述两个频率的正交偏振光;

所述数据采集处理单元包括:

偏振分光镜,其位于所述凹面输出腔镜的出光侧,并分离从所述凹面输出腔镜输出共束的两正交偏振光;

两个光电探测器,接受所述偏振分光镜分开的两束频率不同的正交偏振光;

光电转换及放大电路,其两个输入端分别与两个光电探测器的信号输出端相连;

信号处理电路,其输入端与所述光电转换及放大电路的信号输出端相连,完成信号处理功能;

显示装置,其与所述信号处理电路相连。

2. 根据权利要求1所述的氦氖激光器纳米测尺系统,其特征在于,

所述直角反射棱镜包括N个连续的第一反射面,相邻两个所述第一反射面相互垂直,N个所述第一反射面构成N/2个第一凹槽, $N \geq 2$ 且N为偶数;

所述直角棱镜腔镜包括M个连续的第二反射面和与第M个所述第二反射面相连接的第三反射面,相邻两个所述第二反射面相互垂直,M个所述第二反射面构成M/2个第二凹槽,第M个所述第二反射面与所述第三反射面之间呈 135° , $M \geq 2$,M为偶数且 $N/2 - M/2 = 1$;

所述第一反射面、所述第二反射面和所述第三反射面的大小相同,所述直角反射棱镜的第一凹槽和所述直角棱镜腔镜的第二凹槽交错对应;

入射光线与第一个第一反射面的法线之间的夹角为 45° ,入射光线经第一个第一反射面反射到第二个第一反射面,经第二个第一反射面反射到第二个第二反射面,经第二个第二反射面反射到第三个第一反射面,依此规律进行,经第N-1个第二反射面反射到第N个第一反射面反射,再经第N个第一反射面反射后垂直入射到所述第三反射面上,所述第三反射面将光线沿原路折返,经所述直角棱镜折叠腔输出所述单频激光。

3. 根据权利要求1或2所述的氦氖激光器纳米测尺系统,其特征在于,所述应力双折射元件的光轴呈水平;所述直角棱镜腔镜的顶部低于所述应力双折射元件的光轴所在的水平

面。

4. 根据权利要求1所述的氦氖激光器纳米测尺系统, 其特征在于, 所述直角反射棱镜和所述直角棱镜腔镜的反射面均镀有反射率超过99.99%的高反射膜。

5. 根据权利要求1、2或4任一项所述的氦氖激光器纳米测尺系统, 其特征在于,
N=10, 所述直角反射棱镜包括10个连续的第一反射面, 相邻两个所述第一反射面相互垂直, 10个所述第一反射面构成5个第一凹槽;

M=8, 所述直角棱镜腔镜包括8个连续的第二反射面和与第8个所述第二反射面相连接的第三反射面, 8个所述第二反射面构成4个第二凹槽。

氦氖激光器纳米测尺系统

技术领域

[0001] 本公开涉及激光位移传感技术领域,尤其涉及一种氦氖激光器纳米测尺系统。

背景技术

[0002] 中国专利“位移自传感氦氖激光器系统及其实现方法”(ZL 99103514.3)综合利用激光频率分裂、激光模竞争、激光功率调谐等多种激光物理现象,将一只普通氦氖激光器改造成一种不利用干涉现象但具有自标定功能又相对简单的位移传感器。该方法具有 $\lambda/8$ 的位移测量分辨率(对于波长为632.8nm的氦氖激光器, $\lambda/8$ 为79nm)。这一发明的主体结构是一只普通的半外腔氦氖激光器,其两个反射腔镜之一作为动静固连在一直线导轨(测杆)上以便可沿激光器光轴做轴向移动。中国专利“以猫眼作腔镜的位移自传感HeNe激光器系统”(申请号:200310115540.6)对此系统进行了改进,将猫眼逆向器作为腔镜与直线导轨固连,提高系统的稳定性,拓宽了应用领域。中国专利“纳米激光器测尺及实现纳米测量的细分方法”(申请号:200410088819.4)利用系统可溯源到光波长的特性和自校准能力,采用计大数、测小数的方法,通过增加一个精密微位移传感器压电陶瓷(PZT)和适当的信号处理电路,将系统的分辨率提高到10nm,理论测量范围提高到50mm。但是若要求分辨率进一步提高,以精密微位移传感器压电陶瓷(PZT)和适当的信号处理电路是很难达到的,因为其计大数所用的半波长为316.4nm,精密的微位移压电传感器(PZT)存在迟滞和非线性等特点,上述缺点限制了该系统分辨率的提高,所以很难再提高该系统的分辨率。

发明内容

[0003] 鉴于现有技术中的上述缺陷或不足,做出了本发明。

[0004] 本发明提供了一种氦氖激光器纳米测尺系统,包括可动测杆、含直角棱镜折叠腔的氦氖激光器以及数据采集处理单元;

[0005] 所述可动测杆,其一端与待测物体接触;

[0006] 所述氦氖激光器包括:

[0007] 直角棱镜折叠腔,其用于光线的多次折返并输出单频激光,所述直角棱镜折叠腔包括与所述可动测杆的另一端相连接的直角反射棱镜以及与所述直角反射棱镜平行放置的直角棱镜腔镜,所述直角反射棱镜和所述直角棱镜腔镜的反射面均镀有高反射膜;

[0008] 应力双折射元件,其位于所述直角棱镜折叠腔的出光侧,并将所述直角棱镜折叠腔输出的单频激光变成具有两个频率的正交偏振光,所述直角棱镜折叠腔位于所述应力双折射元件的一端;

[0009] 激光增益管,其与所述应力双折射元件同光轴并安装于所述应力双折射元件的另一端;

[0010] 增透窗片,其沿所述光轴方向安装于所述激光增益管的一端,且位于所述应力双折射元件和所述激光增益管之间;

[0011] 凹面输出腔镜,其沿所述光轴方向安装于所述激光增益管的另一端,并输出所述

两个频率的正交偏振光；

[0012] 所述数据采集处理单元包括：

[0013] 偏振分光镜，其位于所述凹面输出腔镜的出光侧，并分离从所述凹面输出腔镜输出共束的两正交偏振光；

[0014] 两个光电探测器，接受所述偏振分光镜分开的两束频率不同的正交偏振光；

[0015] 光电转换及放大电路，其两个输入端分别与两个光电探测器的信号输出端相连；

[0016] 信号处理电路，其输入端与所述光电转换及放大电路的信号输出端相连，完成信号处理功能；

[0017] 显示装置，其与所述信号处理电路相连。

[0018] 优选的，所述直角反射棱镜包括N个连续的第一反射面，相邻两个所述第一反射面相互垂直，N个所述第一反射面构成N/2个第一凹槽， $N \geq 2$ 且N为偶数；

[0019] 所述直角棱镜腔镜包括M个连续的第二反射面和与第M个所述第二反射面相连接的第三反射面，相邻两个所述第二反射面相互垂直，M个所述第二反射面构成M/2个第二凹槽，第M个所述第二反射面与所述第三反射面之间呈 135° ， $M \geq 2$ ，M为偶数且 $N/2 - M/2 = 1$ ；

[0020] 所述第一反射面、所述第二反射面和所述第三反射面的大小相同，所述直角反射棱镜的第一凹槽和所述直角棱镜腔镜的第二凹槽交错对应；

[0021] 入射光线与第一个第一反射面的法线之间的夹角为 45° ，入射光线经第一个第一反射面反射到第二个第一反射面，经第二个第一反射面反射到第二个第二反射面，经第二个第二反射面反射到第三个第一反射面，依此规律进行，经第N-1个第二反射面反射到第N个第一反射面反射，再经第N个第一反射面反射后垂直入射到所述第三反射面上，所述第三反射面将光线沿原路折返，经所述直角棱镜折叠腔输出所述单频激光。

[0022] 优选的，所述应力双折射元件的光轴呈水平；所述直角棱镜腔镜的顶部低于所述应力双折射元件的光轴所在的水平面。

[0023] 优选的，所述直角反射棱镜和所述直角棱镜腔镜的反射面均镀有反射率超过99.99%的高反射膜。

[0024] 优选的， $N=10$ ，所述直角反射棱镜包括10个连续的第一反射面，相邻两个所述第一反射面相互垂直，10个所述第一反射面构成5个第一凹槽；

[0025] $M=8$ ，所述直角棱镜腔镜包括8个连续的第二反射面和与第8个所述第二反射面相连接的第三反射面，8个所述第二反射面构成4个第二凹槽。

[0026] 与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：直角棱镜腔镜与凹面输出腔镜为氦氖激光器的谐振腔的两腔镜，这两个腔镜静止固定，不受可动测杆的影响，系统稳定性高；谐振腔采用直角反射棱镜和直角棱镜腔镜构成的折叠腔，直角反射棱镜每移动 λ ，激光谐振腔的腔长改变 $N\lambda$ ，系统的分辨率提高相应的N倍（其中N为直角反射棱镜的连续的第一反射面的个数，相邻两个第一反射面相互垂直）。

附图说明

[0027] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述，本申请的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

[0028] 图1为本发明的提供的氦氖激光器纳米测尺系统的结构示意图；

- [0029] 图2为本发明提供的氦氖激光器纳米测尺系统的折叠腔的结构示意图；
- [0030] 图3为本发明提供的氦氖激光器纳米测尺系统折叠腔中的光路图；
- [0031] 图4为本发明一实施例提供的氦氖激光器纳米测尺系统的折叠腔的结构示意图；
- [0032] 图5为本发明一实施例提供的氦氖激光器纳米测尺系统中直角反射棱镜的结构示意图；
- [0033] 图6为本发明一实施例提供的氦氖激光器纳米测尺系统中直角棱镜腔镜的结构示意图；
- [0034] 图7为本发明一实施例提供的氦氖激光器纳米测尺系统折叠腔中的光路图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图和实施例对本申请作进一步的详细说明。可以理解的是,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释相关发明,而非对该发明的限定。另外还需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与发明相关的部分。

[0036] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0037] 本发明基于激光原理:激光谐振腔腔长变化 $\lambda/2$,对应着激光频率变化一个纵模间隔 Δ 。其基本原理为:在驻波激光器中,激光的频率变化和腔长改变满足:

$$[0038] \quad dv = -\frac{v}{L} dL$$

[0039] 其中, v 为激光频率, L 为腔长。通过频率分裂和模竞争,使功率调谐曲线中任意一个纵模间隔 Δ 被平均分成4等份(对应着4种不同的偏振态),故可实现 $\lambda/8$ 分辨率的可判向位移测量。

[0040] 如图1至图3所示,本发明提供了一种氦氖激光器纳米测尺系统,包括可动测杆1、含直角棱镜折叠腔的氦氖激光器30以及数据采集处理单元20。含直角棱镜折叠腔的氦氖激光器30包括直角反射棱镜2、直角棱镜腔镜3、应力双折射元件4、增透窗片5、激光增益管6和凹面输出腔镜7,直角棱镜腔镜3、凹面输出腔镜7为氦氖激光器30的谐振腔的两腔镜,氦氖激光器30为一个半外腔氦氖激光器;数据采集处理单元20包括偏振分光镜8、两个光电探测器(第一光电探测器9、第二光电探测器10)、光电转换及放大电路11、信号处理电路12和显示装置13。

[0041] 直角反射棱镜2和直角棱镜腔镜3平行放置构成直角棱镜折叠腔,直角反射棱镜和直角棱镜腔镜的反射面均镀有高反射膜,以对进入直角棱镜折叠腔的光线进行高效率的反射。

[0042] 可动测杆1的一端与待测物体接触,另一端与直角反射棱镜2相连接;

[0043] 直角棱镜折叠腔用于光线的多次折返,直角反射棱镜2与可动测杆1的另一端相连接,直角反射棱镜2可随可动测杆1移动,直角棱镜腔镜3相对于系统是静止固定的;

[0044] 应力双折射元件4,其位于直角棱镜折叠腔的出光侧,并将直角棱镜折叠腔输出的单频激光变成具有两个频率的正交偏振光,直角棱镜折叠腔位于应力双折射元件的一端;

[0045] 激光增益管6,其与应力双折射元件同光轴并安装于应力双折射元件4的另一端;

[0046] 增透窗片5,其沿光轴方向安装于激光增益管6的一端,且位于应力双折射元件和

激光增益管之间；

[0047] 凹面输出腔镜7,其沿光轴方向安装于激光增益管6的另一端,并输出两个频率的正交偏振光,凹面输出腔镜7相对于系统是静止固定的；

[0048] 偏振分光镜8,其位于凹面输出腔镜7的出光侧,并分离从凹面输出腔镜7输出共束的两正交偏振光；

[0049] 两个光电探测器,即第一光电探测器9和第二光电探测器10,接受偏振分光镜分开的两束频率不同的正交偏振光；

[0050] 光电转换及放大电路11,其两个输入端分别与两个光电探测器的信号输出端相连；

[0051] 信号处理电路12,其输入端与光电转换及放大电路11的信号输出端相连,完成信号处理功能；

[0052] 显示装置13,其与信号处理电路12相连。

[0053] 其中,氦氖激光器30中应力双折射元件4、增透窗片5、激光增益管6和凹面输出腔镜7共光轴,氦氖激光器通过振荡产生激光,双折射元件4将激光由单频激光变成正交偏振的双频激光,凹面输出腔镜7输出产生的正交偏振光。直角棱镜腔镜3和凹面输出腔镜7为激光谐振腔的两腔镜,该两腔镜均静止固定,不受可动测杆1移动的影响,从而解决了系统的稳定性问题。

[0054] 数据采集处理单元20接受输入的正交偏振光,通过偏振分光镜8将其分成两束光,由第一光电探测器9、第二光电探测器10分别接受,再输入到光电转换及放大电路11进行光电转换及信号放大,产生的电信号输入到信号处理电路12进行信号处理,信号处理电路12再将处理好的数据输入到显示装置13,最终由显示装置13显示结果。

[0055] 进一步地,直角反射棱镜包括N个连续的第一反射面20,相邻两个第一反射面20相互垂直,N个第一反射面20构成N/2个第一凹槽21, $N \geq 2$ 且N为偶数,直角反射棱镜2中由上至下的反射面依次为第一个第一反射面、第二个第一反射面、第三个第一反射面……第N个第一反射面；

[0056] 直角棱镜腔镜包括M个连续的第二反射面30和与第M个第二反射面相连接的第三反射面31,相邻两个第二反射面30相互垂直,M个第二反射面30构成M/2个第二凹槽32,第M个第二反射面与第三反射面32之间呈 135° , $M \geq 2$,M为偶数且 $N/2 - M/2 = 1$,直角棱镜腔镜3中由上至下的反射面依次为第一个第二反射面、第二个第二反射面、第三个第二反射面……第M个第二反射面、第三反射面；

[0057] 第一反射面、第二反射面和第三反射面的大小相同,直角反射棱镜2的第一凹槽21和直角棱镜腔镜3的第二凹槽32交错对应；

[0058] 如图3所示,入射光线与第一个第一反射面的法线之间的夹角为 45° ,每个第一反射面和每个第二反射面上接收到的光线的方向均与各自的法线呈 45° ,第三反射面为平面反射镜,第三反射面与第M个第二反射面成 135° ,为一竖直反射面,以保证光线垂直入射到第三反射面上。入射光线经第一个第一反射面反射到第二个第一反射面,经第二个第一反射面反射到第二个第二反射面,经第二个第二反射面反射到第三个第一反射面,依此规律进行,经第N-1个第二反射面反射到第N个第一反射面反射,再经第N个第一反射面反射后垂直入射到第三反射面上,第三反射面将光线沿原路折返,经直角棱镜折叠腔输出单频激光。

[0059] 进一步地,应力双折射元件的光轴呈水平；直角棱镜腔镜的顶部低于应力双折射

元件的光轴所在的水平面。这样确保毛细管射出的激光能够到达第一个第一反射面,并且经第一个第一反射面出射的光线能够进入应力双折射元件。

[0060] 进一步地,为了保证对进入直角棱镜折叠腔的入射光线进行高效率的反射,直角反射棱镜和直角棱镜腔镜的反射面均镀有反射率超过99.99%的高反射膜。

[0061] 激光器中插入了双折射元件4,由于双折射效应,使氦氖激光器的激光频率发生分裂,单频激光变成双频激光,激光器输出两个偏振方向互相垂直的线偏振光,即o光(平行偏振光(//光))和e光(垂直偏振光(\perp 光)),通过改变双折射元件的角度,可以调整两束正交偏振光之间的频差。输出的正交偏振光经偏振分光镜8分光后,分别入射到第一光电探测器9、第二光电探测器10上,之后由光电转换及放大电路11、信号处理电路12处理,最终显示在显示装置13上。

[0062] 测量时,当被测物体移动时推动可动测杆1移动,可动测杆1推动直角反射棱镜2随之移动,激光器的腔长随之改变,激光器输出光的偏振态将周期性改变,即四个偏振态依次周期性出现:只有平行偏振光输出 \rightarrow 平行偏振光和垂直偏振光都输出 \rightarrow 只有垂直偏振光输出 \rightarrow 无光输出。激光束被第一光电探测器9和第二光电探测器10探测,相应的有四个状态依次出现:只有第一光电探测器9被照亮 \rightarrow 第一光电探测器9和第二光电探测器10同时被照亮 \rightarrow 只有第二光电探测器10被照亮 \rightarrow 第一光电探测器9和第二光电探测器10都不被照亮。如此反复循环。每次状态的改变意味着激光腔长改变了 $\lambda/8$ 的位移,由于直角反射棱镜每移动 λ 的位移,激光腔长改变 $N\lambda$ 的位移(N 为直角反射棱镜的连续的第一反射面的个数,相邻两个第一反射面相互垂直),所以每次状态的改变意味着直角反射棱镜改变了 $\lambda/8N$ 的位移,即系统的分辨率为 $\lambda/8N$,四个状态出现的先后顺序可以判断位移的方向。光电转换及放大电路11处理两个光电探测器输出的信号,信号处理电路12处理光电转换及放大电路11的输出信号,并且具有计数、判向等功能,之后将处理好的数据送到显示装置13上进行显示,最终实现测位移的功能。

[0063] 作为一种可选的实施方式,如图4至图7所示,该实例中优选 $N=10$, $M=8$ 。直角反射棱镜2'包括10个连续的第一反射面,相邻两个第一反射面相互垂直,10个第一反射面构成5个第一凹槽;直角棱镜腔镜3'包括8个连续的第二反射面和与第8个第二反射面相连接的第三反射面,8个第二反射面构成4个第二凹槽。5个第一凹槽保证了直角反射棱镜2中10个第一反射面如图3所示,同样的4个第二凹槽保证了直角棱镜腔镜3中8个第二反射面如图4所示的结构。第一反射面、第二反射面和第三反射面的大小相同,直角反射棱镜2的第一凹槽和直角棱镜腔镜3的第二凹槽交错对应,第三反射面为平面反射镜,且第三反射面竖直设置,第三反射面与第八个第二反射面成 135° 。直角反射棱镜和直角棱镜腔镜的反射面均镀有超过99.99%的高反射膜。

[0064] 该实施例中,定义图3中直角反射棱镜2'由上至下的10个第一反射面依次为第一棱镜反射面201、第二棱镜反射面202、第三棱镜反射面203、第四棱镜反射面204、第五棱镜反射面205、第六棱镜反射面206、第七棱镜反射面207、第八棱镜反射面208、第九棱镜反射面209、第十棱镜反射面210;定义图4中直角棱镜腔镜3'由上至下的8个第二反射面依次为第一腔镜反射面301、第二腔镜反射面302、第三腔镜反射面303、第四腔镜反射面304、第五腔镜反射面305、第六腔镜反射面306、第七腔镜反射面307、第八腔镜反射面308,定义与第八腔镜反射面308连接的第三反射面为第九腔镜反射面309,第九腔镜反射面309和第八腔

镜反射面308之间成 135° ,第九腔镜反射面309为竖直平面。

[0065] 其中,入射光线与第一棱镜反射面201的法线之间的夹角为 45° ,如图5所示,具体的光线方向为:入射光线从毛细管射到第一棱镜反射面201上,经第二棱镜反射面202反射到第一腔镜反射面301上,再反射到第二腔镜反射面302上,接着反射到第三棱镜反射面203上,依次反射下去,直到光线由棱镜第十反射面210反射到第九腔镜反射面309上,完成光线的入射;根据图2-图5中所示的直角棱镜折叠腔的结构,光线垂直射到第九腔镜反射面309上后,第九腔镜反射面309反射光线,激光入射光路与反射光路重合,之后光线按照原路返回,再经过折叠腔的多次反射回到毛细管,最终到达凹面输出腔镜7形成激光振荡。直角棱镜折叠腔实现光线的折返。

[0066] 从图5中可以清晰的看到光线的前进路线,看出光线从激光增益管内出发经过18次反射最终到达第九腔镜反射面309,由第九腔镜反射面309反射后按照原路返回,再进入激光增益管中,形成激光振荡,从而产生激光。由于是折叠腔结构,经过折返后与入射光线平行的共有十条光线,因此,直角反射棱镜2' 每移动 λ 的位移,激光腔长将改变 10λ 的位移,对应着激光频率将改变20个纵模间隔,即20个纵模间隔被分成80等份,所以四种偏振态的每次改变意味着直角反射棱镜2移动了 $\lambda/80$ 的位移,即系统的分辨率为 $\lambda/80$,四个状态出现的先后顺序可以判断位移的方向,并且分辨率比非折叠腔的结构提高了十倍。对波长 λ 为632.8nm的氦氖激光器而言,此系统的分辨率为7.9nm,从而成为一个不需要经过电细分的高分辨率位移传感仪器,具有非常广阔的应用前景。

[0067] 以上描述仅为本申请的较佳实施例以及对所运用技术原理的说明。本领域技术人员应当理解,本申请中所涉及的发明范围,并不限于上述技术特征的特定组合而成的技术方案,同时也应涵盖在不脱离所述发明构思的情况下,由上述技术特征或其等同特征进行任意组合而形成的其它技术方案。例如上述特征与本申请中公开的(但不限于)具有类似功能的技术特征进行互相替换而形成的技术方案。

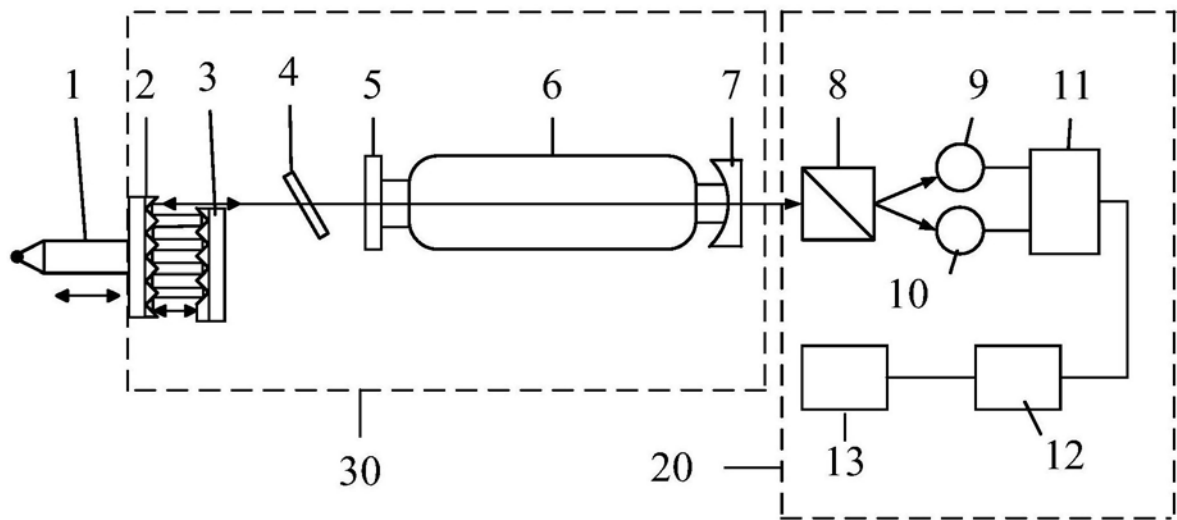


图1

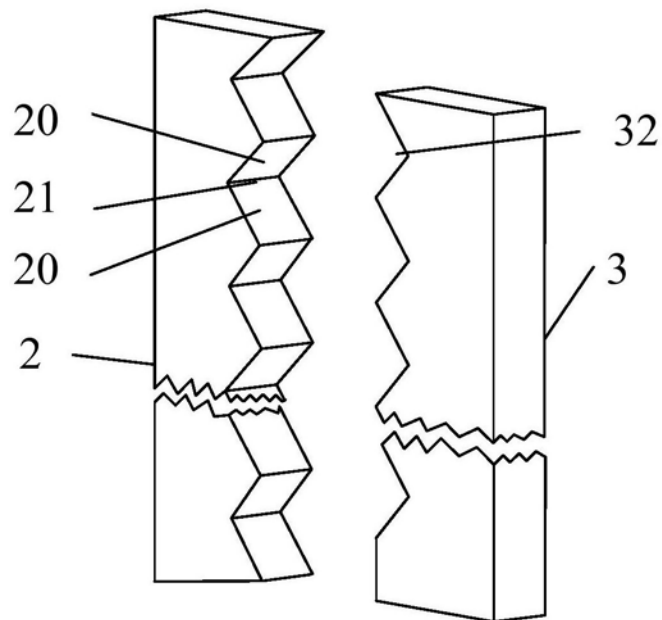


图2

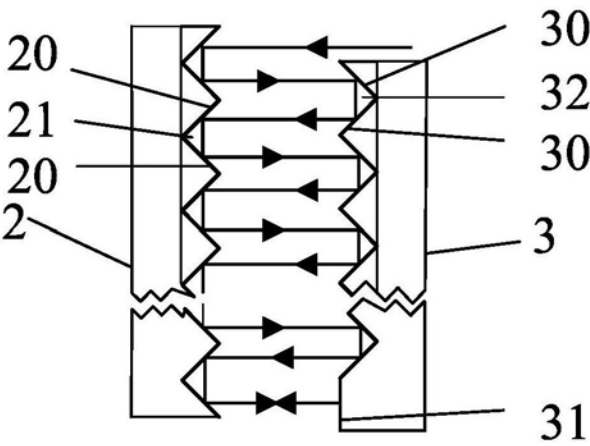


图3

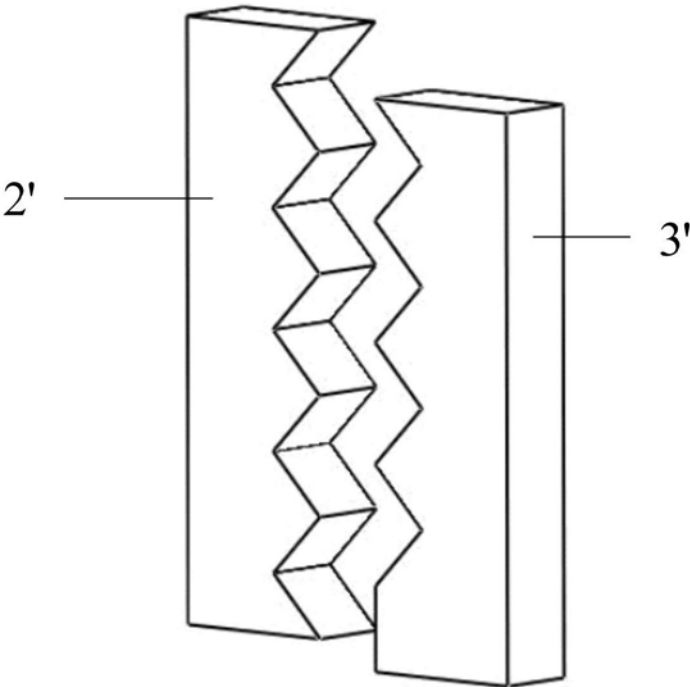


图4

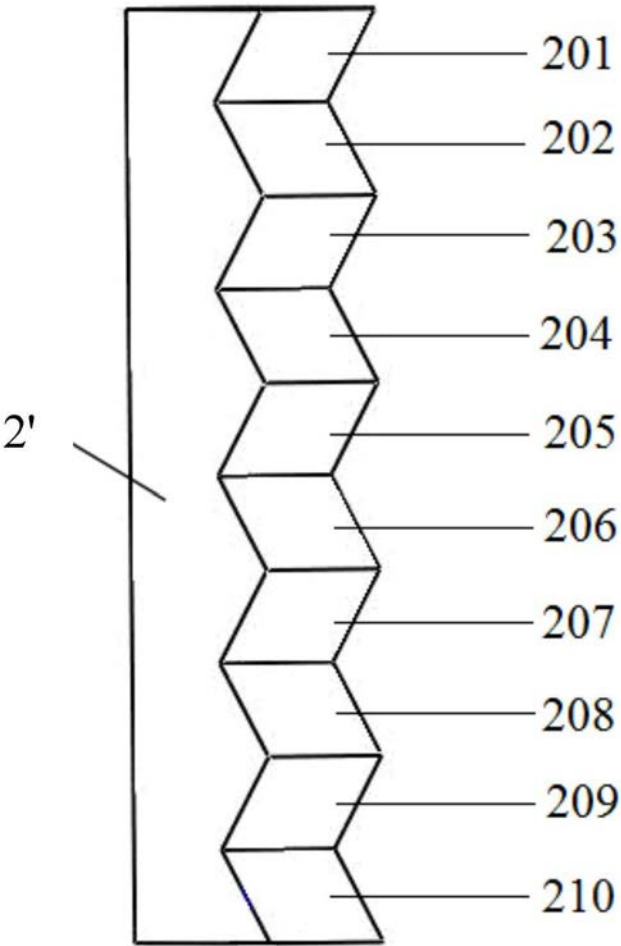


图5

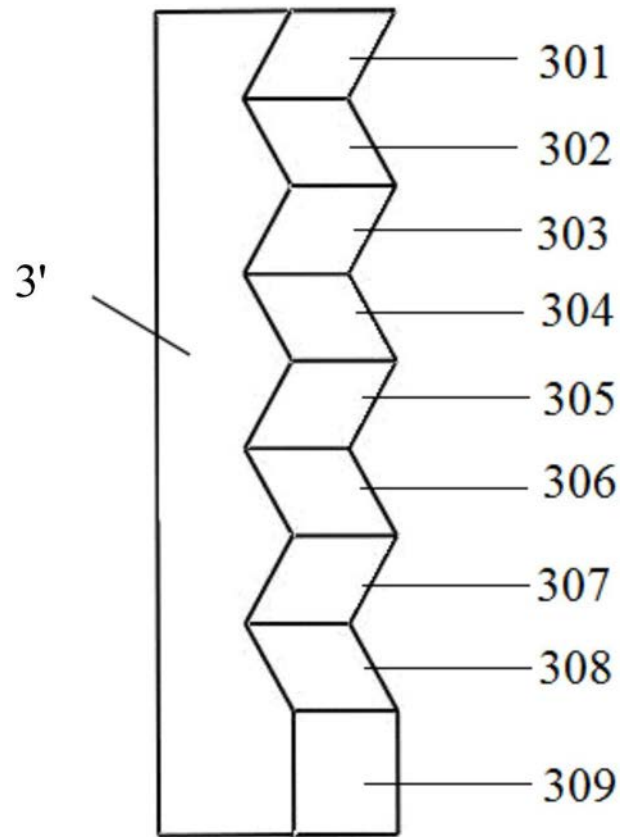


图6

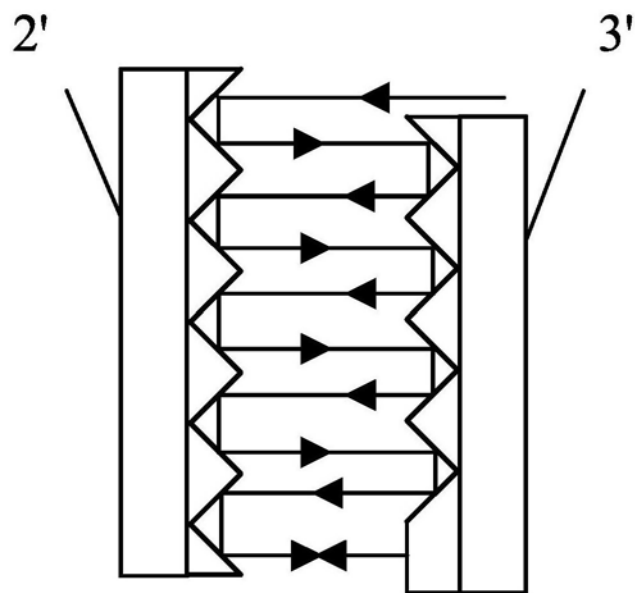


图7