



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 207487599 U

(45)授权公告日 2018.06.12

(21)申请号 201721512274.4

G01D 5/26(2006.01)

(22)申请日 2017.11.13

G01D 5/38(2006.01)

(73)专利权人 清华大学

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

地址 100084 北京市海淀区100084信箱82
分箱清华大学专利办公室

专利权人 北京华卓精科科技股份有限公司

(72)发明人 朱煜 王磊杰 张鸣 夏野 成荣
叶伟楠 杨开明 倪畅 丁思齐
贾喆 李情情 王雨竹

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 邸更岩

(51)Int.Cl.

G01B 11/02(2006.01)

G01B 9/02(2006.01)

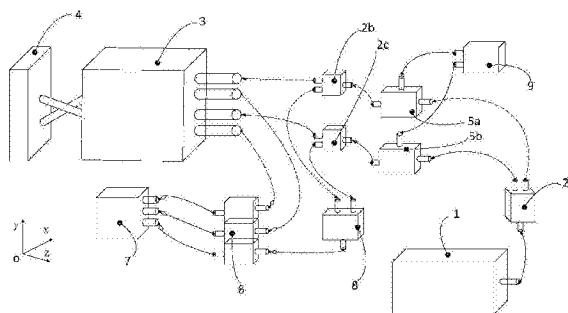
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54)实用新型名称

一种平面光栅干涉仪位移测量系统

(57)摘要

一种平面光栅干涉仪位移测量系统,包括单频激光器、分束器、声光调制器、光栅干涉仪、平面光栅、接收器、电子信号处理部件、光纤耦合器和频率合成器;光栅干涉仪包括偏振分光镜、折光元件,直角棱镜和四分之一波片;该测量系统基于光栅衍射、光学多普勒效应和光学拍频原理实现位移测量。当光栅干涉仪与平面光栅做二自由度线性相对运动时,系统可输出二个线性位移。该测量系统能够实现亚纳米甚至更高分辨率及精度,且能够同时测量二个线性位移;该测量系统具有测量精度高、结构简单优点,作为光刻机超精密工件台位置测量系统可提升工件台综合性能。



1. 一种平面光栅干涉仪位移测量系统,包括单频激光器(1)、分束器(2a、2b、2c)、光栅干涉仪(3)、平面光栅(4)、声光调制器(5a、5b)、接收器(6)、电子信号处理部件(7)、光纤耦合器(8)和频率合成器(9);其特征在于:光栅干涉仪(3)包括偏振分光镜(31)、折光元件(32)、第一直角棱镜(33)、第二直角棱镜(34)和第三直角棱镜(35)、四分之一波片(36);其中第一直角棱镜(33)位于偏振分光镜(31)顶端,第二直角棱镜(34)与第三直角棱镜(35)并排放置在偏振分光镜(31)的底端;单频激光器(1)出射的单频激光经分束器(2a)分光后,分别经过由频率合成器(9)供源的第一声光调制器(5a)和第二声光调制器(5b)进行调制后,分别经第二分束器(2b)和第三分束器(2c)分光后,其中,经第二分束器(2b)分出的一束激光和第三分束器(2c)分出的一束激光经光纤耦合器(8)进行干涉后,作为补偿轴信号输入至接收器(6),处理后形成一路电信号输入至电子信号处理部件(7);另外两束激光则入射至偏振分光镜(31)后分光,两束反射光为参考光,两束透射光为测量光;

所述两束测量光第一次经四分之一波片(36)和折光元件(32)后以利特罗角入射至平面光栅(4),反射后第二次经折光元件(32)和四分之一波片(36)入射至偏振分光镜(31),反射后两束测量光分别经过第二直角棱镜(34)和第三直角棱镜(35),回射至偏振分光镜(31),再次反射后经折光元件(32)和四分之一波片(36)后再次以利特罗角入射至平面光栅(4),反射后再次经折光元件(32)和四分之一波片(36)后入射至偏振分光镜,透射后两束测量光平行出射;

所述两束参考光经第一直角棱镜(33)后回射至偏振分光镜(31),反射后两束参考光平行出射;

其中一束参考光和一束测量光干涉形成一路干涉光信号,另一束参考光和另一束测量光干涉形成另一路干涉光信号,两路干涉光信号分别经光纤传输至接收器(6)进行处理分别形成两路测量电信号,两路测量电信号输入至电子信号处理部件(7)进行处理。

2. 根据权利要求1所述的一种平面光栅干涉仪位移测量系统,其特征在于:平面光栅(4)采用二维反射型光栅。

3. 根据权利要求1所述的一种平面光栅干涉仪位移测量系统,其特征在于:折光元件采用截面为等腰梯形的折射镜(32a)。

4. 根据权利要求1所述的一种平面光栅干涉仪位移测量系统,其特征在于:折光元件采用两个反射镜(32b)。

5. 根据权利要求1所述的一种平面光栅干涉仪位移测量系统,其特征在于:折光元件采用透镜(32c)。

6. 根据权利要求1所述的一种平面光栅干涉仪位移测量系统,其特征在于:第二直角棱镜(34)和第三直角棱镜(35)采用平行并列布置。

一种平面光栅干涉仪位移测量系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种平面光栅干涉仪位移测量系统,特别涉及一种用于光刻机工件台位移测量的平面光栅干涉仪位移测量系统。

背景技术

[0002] 光栅测量系统作为一种典型的位移传感器广泛应用于众多机电设备。光栅测量系统的测量原理主要基于莫尔条纹原理和衍射干涉原理。基于莫尔条纹原理的光栅测量系统作为一种发展成熟的位移传感器以其测距长、成本低、易于装调等众多优点成为众多机电设备位移测量的首选,但精度通常在微米量级,常见于一般工业应用。

[0003] 半导体制造装备中的光刻机是半导体芯片制作中的关键设备。超精密工件台是光刻机的核心子系统,用于承载掩模板和硅片完成高速超精密步进扫描运动。超精密工件台以其高速、高加速、大行程、超精密、多自由度等运动特点成为超精密运动系统中最具代表性的一类系统。为实现上述运动,超精密工件台通常采用双频激光干涉仪测量系统测量超精密工件台多自由度位移。然而随着测量精度、测量距离、测量速度等运动指标的不断提高,双频激光干涉仪以环境敏感性、测量速度难以提高、占用空间大、价格昂贵、测量目标工件台动态特性差等存在的一系列问题,从而难以满足更高的测量需求。

[0004] 针对上述问题,世界上超精密测量领域的各大公司及研究机构展开了一系列的研究,研究主要集中于基于衍射干涉原理的光栅测量系统,研究成果在诸多专利论文中均有揭露。

[0005] 美国专利文献公开号US2011/0255096 A1(公开日2011年10月20日)公开了一种应用于光刻机超精密工件台的光栅测量系统,该测量系统采用一维或二维光栅配合特定的读数头实现位移测量,可同时进行水平向和垂向位移测量,但结构复杂;美国专利文献公开号US2011/0096334 A1(公开日2011年4月28日)公开了一种外差干涉仪,该干涉仪中采用光栅作为目标镜,但该干涉仪仅能实现一维测量。美国专利文献公开号US2013/0114087 A1(公开日2013年5月9日)公开了一种应用于光刻机超精密工件台的干涉测量系统,该测量系统采用一个光栅干涉仪和一个激光干涉仪结合的方式,但该方案结构过于复杂,光路长,对于集成小型化难度大。美国专利文献公开号US2016/0102999 AL(公开日2016年4月12日)公开了一种应用于光刻机超精密工件台的光栅测量系统,该测量系统采用一维或二维光栅配合读数头实现位移测量,但干涉仪结构采用双频激光器以及双频共轴传光,极易出现偏振混叠现象,测量误差大。日本学者GAOWEI在研究论文“Design and construction of a two-degree-of-freedom linear encoder for nanometric measurement of stage position and straightness.Precision Engineering 34(2010)145-155”中提出了一种利用衍射干涉原理的单频二维光栅测量系统,该光栅测量系统可同时实现水平和垂直向的位移测量,但由于采用单频激光,测量信号易受干扰,精度难以保证。中国专利文献申请号201210449244.9(申请日2012年11月09日)及201210448734.7(申请日2012年11月09日)分别公开了一种外差光栅干涉仪测量系统,两种干涉仪测量系统中的读数头结构中均采用了

四分之一波片用于改变光束的偏振态,光学结构复杂,同时光学元件的非理想性将导致测量误差。

实用新型内容

[0006] 考虑到上述技术方案的局限,本实用新型的目的是提供一种平面光栅干涉仪位移测量系统,使其不仅具有测量精度高、结构简单和便于小型化集成等优点,而且可实现亚纳米甚至更高分辨率及精度,且能够同时测量二个线性位移,进而可提升工件台综合性能。

[0007] 本实用新型的技术方案如下:

[0008] 一种平面光栅干涉仪位移测量系统,包括单频激光器、分束器、光栅干涉仪、平面光栅、声光调制器、接收器、电子信号处理部件、光纤耦合器和频率合成器;其特征在于:光栅干涉仪包括偏振分光镜、折光元件、第一直角棱镜、第二直角棱镜和第三直角棱镜、四分之一波片;其中第一直角棱镜位于偏振分光镜顶端,第二直角棱镜与第三直角棱镜并排放置在偏振分光镜的底端;单频激光器出射的单频激光经分束器分光后,分别经过由频率合成器供源的声光调制器进行调制,分别经两个分束器分光后,其中两束激光经光纤耦合器进行干涉后,作为补偿轴信号输入至接收器,处理后形成一路电信号输入至电子信号处理部件;另两束激光则入射至偏振分光镜后分光,两束反射光为参考光,两束透射光为测量光;

[0009] 所述两束测量光第一次经四分之一波片和折光元件后以利特罗角入射至平面光栅,反射后第二次经折光元件和四分之一波片入射至偏振分光镜,反射后两束测量光分别经过第二直角棱镜和第三直角棱镜,回射至偏振分光镜,再次反射后经折光元件和四分之一波片后再次以利特罗角入射至平面光栅,反射后再次经折光元件和四分之一波片后入射至偏振分光镜,透射后两束测量光平行出射;

[0010] 所述两束参考光经第一直角棱镜后回射至偏振分光镜,反射后两束参考光平行出射;

[0011] 其中一束参考光和一束测量光干涉形成一路干涉光信号,另一束参考光和另一束测量光干涉形成另一路干涉光信号,两路干涉光信号分别经光纤传输至接收器进行处理分别形成两路测量电信号,两路测量电信号输入至电子信号处理部件进行处理;

[0012] 上述技术方案中,所述的平面光栅采用二维反射型光栅,所述的折光元件采用截面为等腰梯形的折射镜,所述的第二直角棱镜和第三直角棱镜采用平行并列布置。

[0013] 本实用新型另一技术方案是:所述的折光元件采用两个反射镜组成。

[0014] 本实用新型另一技术方案是:所述的折光元件采用透镜。

[0015] 本实用新型具有以下优点及突出性技术效果:该测量系统利用单频激光器和光纤分离传光,并且干涉仪采用了特殊的结构,因此抑制了偏振混叠误差,提高了测量精度;干涉仪采用直角棱镜后能实现大范围的转角测量,并且实现了光路对称;平面光栅采用二维反射型光栅,利用利特罗结构实现系统的二自由度测量及Z向运动不敏感;干涉仪结构使用光学器件少,结构简单,便于小型化集成。

附图说明

[0016] 图1为本实用新型一种平面光栅干涉仪位移测量系统示意图。

- [0017] 图2为本实用新型光栅干涉仪光路图。
- [0018] 图3为本实用新型光栅干涉仪两路参考光光路图。
- [0019] 图4为本实用新型光栅干涉仪一路测量光光路图。
- [0020] 图5为本实用新型光栅干涉仪另一路测量光光路图。
- [0021] 图6为本实用新型第一种光栅干涉仪内部结构示意图。
- [0022] 图7为本实用新型第二种光栅干涉仪内部结构示意图。
- [0023] 图8为本实用新型第三种光栅干涉仪内部结构示意图。
- [0024] 图中,1—单频激光器,2a—第一分束器,2b—第二分束器;2c—第三分束器;3—光栅干涉仪,4—平面光栅,5a—第一声光调制器,5b—第二声光调制器;6—接收器;7—电子信号处理部件;31—偏振分光镜,32—折光元件;32a—折射镜;32b—反射镜;32c—透镜;33—第一直角棱镜;34—第二直角棱镜;35—第三直角棱镜;36—四分之一波片。

具体实施方式

- [0025] 下面结合附图对本实用新型的结构、原理和具体实施方式作进一步地详细描述。
- [0026] 请参考图1,该平面光栅干涉仪位移测量系统包括单频激光器1、分束器、光栅干涉仪3、平面光栅4、声光调制器、接收器6和电子信号处理部件7,平面光栅4为二维反射型光栅。
- [0027] 请参考图2,所述的光栅干涉仪3包括偏振分光镜31、折光元件32、第一直角棱镜33、第二直角棱镜34和第三直角棱镜35、四分之一波片36,折光元件32,其中第一直角棱镜33位于偏振分光镜顶端,第二直角棱镜34与第三直角棱镜35并排放置在偏振分光镜的底端。
- [0028] 请参考图1、图2,单频激光器1出射的单频激光经第一分束器2a分光后,分别经过由频率合成器9供源的第一声光调制器5a和第二声光调制器5b进行调制后,分别经第二分束器2b和第三分束器2c进行分光,其中,经第二分束器2b分出的一束激光和第三分束器2c分出的一束激光经光纤耦合器8进行干涉后,作为补偿轴信号输入至接收器6,处理后形成一路电信号输入至电子信号处理部件7;另外两束激光则入射至偏振分光镜31后分光,两束反射光为参考光,两束透射光为测量光;
- [0029] 请参考图2、图3,所述两束参考光经第一直角棱镜33后回射至偏振分光镜31,反射后两束参考光平行出射。
- [0030] 请参考图2、图4、图5,所述两束测量光第一次经四分之一波片36和折光元件32后以利特罗角入射至平面光栅4,反射后第二次经折光元件32和四分之一波片36入射至偏振分光镜31,反射后两束测量光分别经过第二直角棱镜34和第三直角棱镜35,回射至偏振分光镜31,再次反射后经折光元件32和四分之一波片36后再次以利特罗角入射至平面光栅4,反射后再次经折光元件32和四分之一波片36后入射至偏振分光镜31,透射后两束测量光平行出射。
- [0031] 其中一束参考光和一束测量光干涉形成一路干涉光信号,另一束参考光和另一束测量光干涉形成另一路干涉光信号,两路干涉光信号分别经光纤传输至接收器6进行处理分别形成两路测量电信号,两路测量电信号输入至电子信号处理部件7进行处理。
- [0032] 一般的双频激光干涉仪通常存在偏振混叠现象,其原因有双频激光器不理想导致

的双频激光在光源处发生偏振混叠,以及在使用共轴光路传光时同样也可能发生偏振混叠。而该平面光栅干涉仪测量系统使用了单频激光器1,并用声光调制器5进行频率调制,这样就避免了光源处易产生偏振混叠,并且,该测量系统采用两个频率激光用光纤分离传光。在光栅干涉仪内部,参考图3,两束参考光为s偏振光,经第一直角棱镜33和偏振分光镜31后出射,自由空间光路中未出现偏振泄漏;参考图4和图5,两束测量光分别经第二直角棱镜34和第三直角棱镜35后,由于直角棱镜的退偏效应,在经过偏振分光镜31时,会产生部分偏振泄漏,但经过分析,该部分的偏振漏光造成的误差在皮米量级,可以认为该结构有效抑制了偏振混叠误差。综上所述,该平面光栅测量系统抑制了偏振混叠,有效降低了测量误差。

[0033] 干涉仪结构中使用了三个直角棱镜,其中两路参考光经过第一直角棱镜33,两路测量光分别经过第二直角棱镜34和第三直角棱镜35,由于直角棱镜的后向反射特性,光栅转角偏差造成的光路夹角转变为光束分离,因此增大了转角测量范围,并且实现了光路的对称。

[0034] 平面光栅4采用二维反射型光栅,利用利特罗结构使测量光两次从平面光栅4反射,基于光栅多普勒效应实现了二自由度位移测量及Z向运动不敏感。

[0035] 当平面光栅4相对于光栅干涉仪3做水平向和垂向(其中垂向运动为微小运动,运动范围为 $\pm 1\text{mm}$)两个自由度的线性运动时,电子信号处理部件5将输出二自由度线性位移。二自由度运动位移的表达式为 $x = p * (\alpha + \beta) / 8\pi$, $z = (\alpha - \beta) / 16\pi * \cos\theta$, 式中 α 、 β 为电子信号处理卡的读数值, p 为光栅常数, θ 为光栅衍射角,取 $p = 0.833\mu\text{m}$,光栅干涉仪的 x 、 z 的测量分辨率分别为 0.415nm 、 0.22nm 。

[0036] 请参考图6,图6为本实用新型第一种光栅干涉仪内部结构示意图。如图6所示,光栅干涉仪内部结构中的折光元件采用折射镜32a。

[0037] 请参考图7,图7为本实用新型第二种光栅干涉仪内部结构示意图。如图7所示,光栅干涉仪内部结构中的折光元件采用两个反射镜32b组成。对比采用折射镜32a方案,该方案可消除折射镜折射率不均匀引起的光束误差,但反射镜的安装占据更大的空间。

[0038] 请参考图8,图8为本实用新型第三种光栅干涉仪内部结构示意图。如图8所示,光栅干涉仪内部结构中的折光元件采用透镜32c实现光束偏转,对比反射镜32b,采用透镜32c,占用空间小,可使干涉仪结构更加紧凑、简洁、便于安装。

[0039] 上述实施方式中给出的测量系统及结构方案能够实现二个线性自由度位移的同时测量;同时抑制了偏振混叠误差;实现大范围的转角测量,并且实现了光路对称;实现了二自由度测量及Z向运动不敏感;并且干涉仪结构简单,便于小型化集成。应用于光刻机超精密工件台的位移测量,对比激光干涉仪测量系统,在满足测量需求的基础上,可有效的降低工件台体积、质量,大大提高工件台的动态性能,使工件台整体性能综合提高。该平面光栅干涉仪位移测量系统还可应用于精密机床、三坐标测量机、半导体检测设备等的工件台多自由度位移的精密测量中。

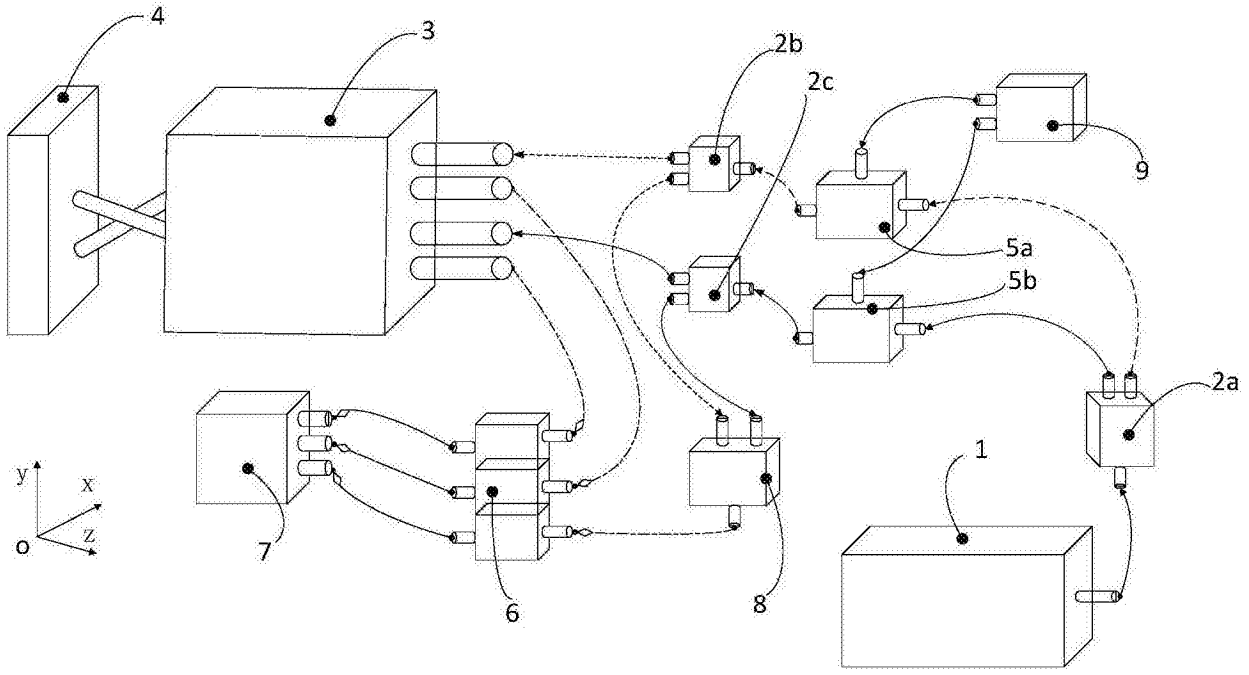


图1

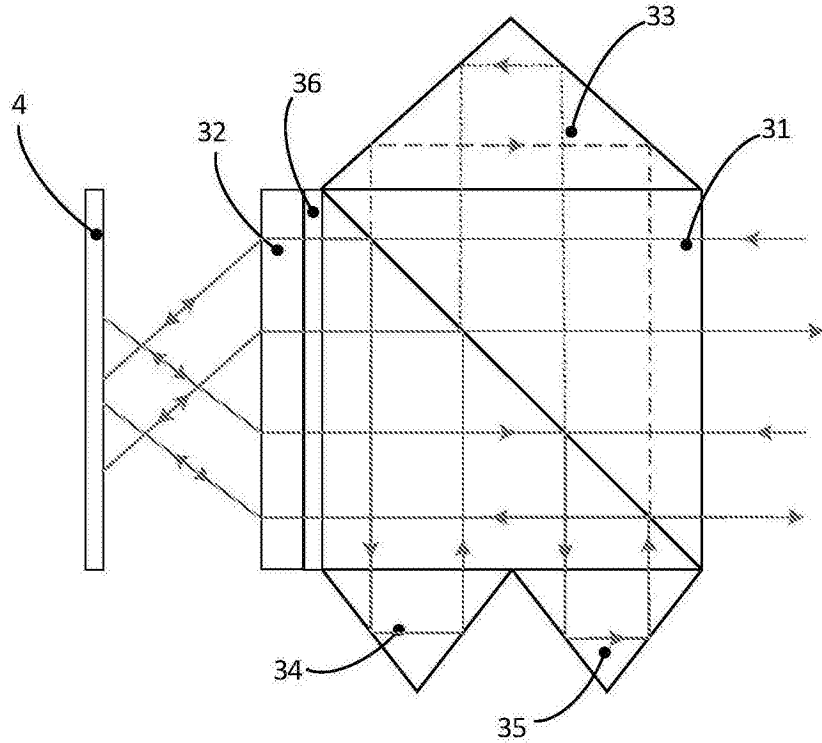


图2

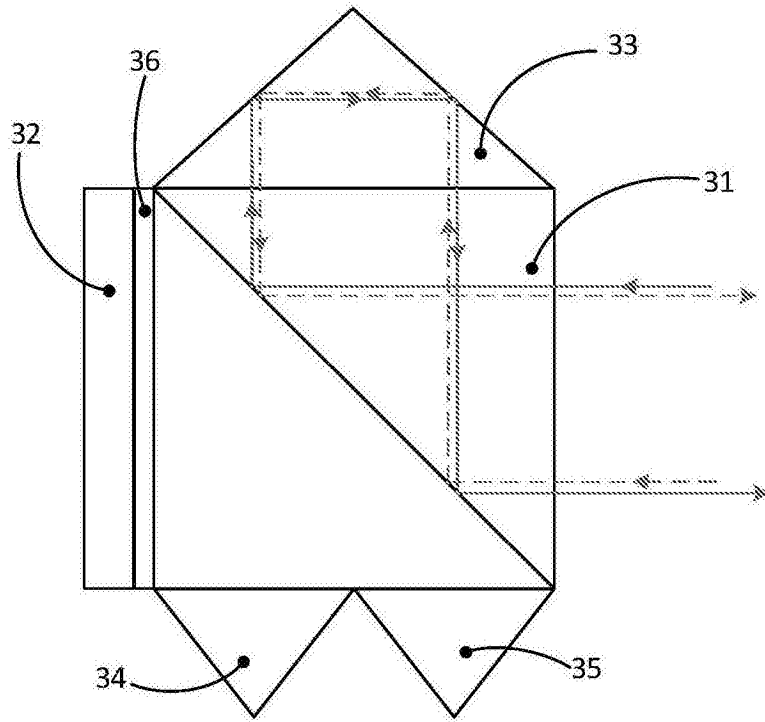


图3

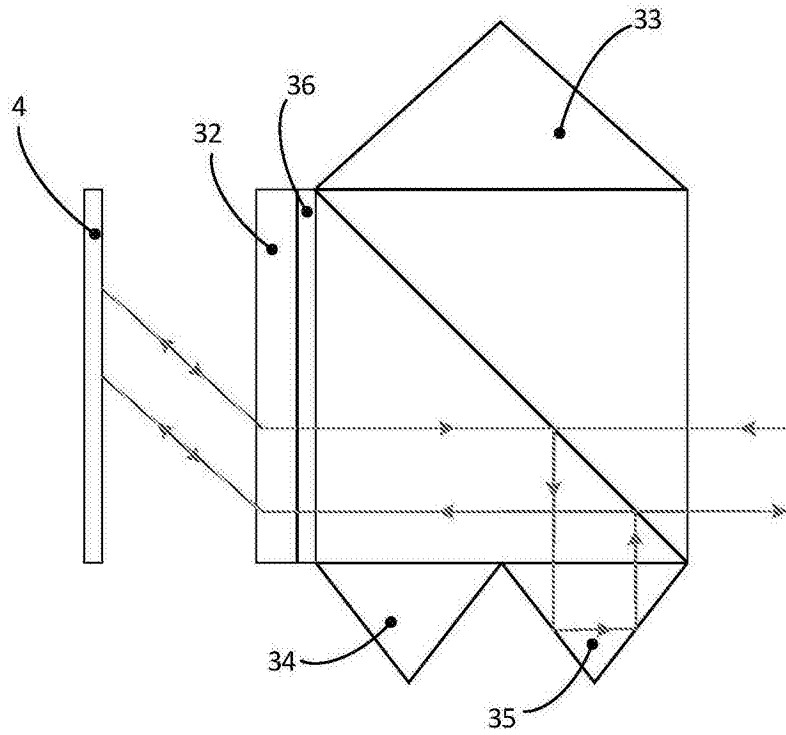


图4

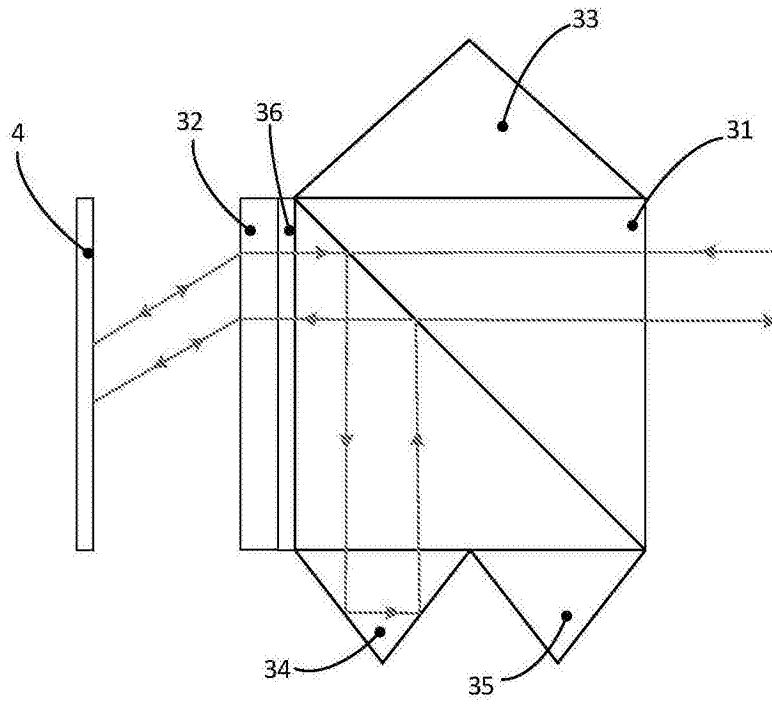


图5

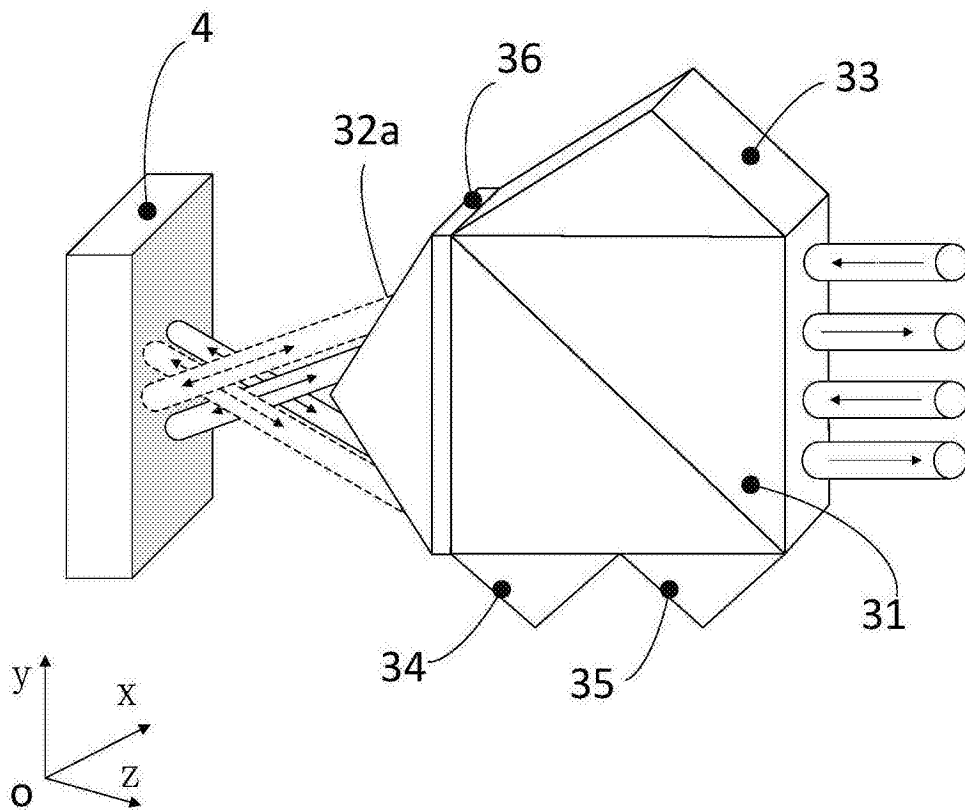


图6

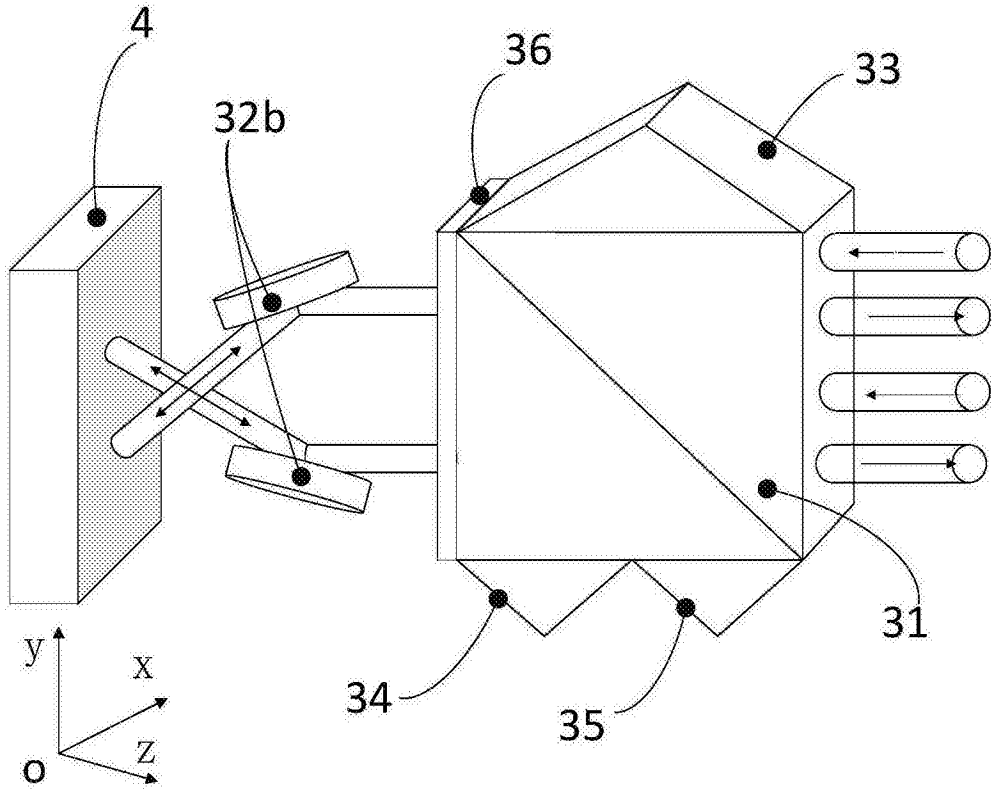


图7

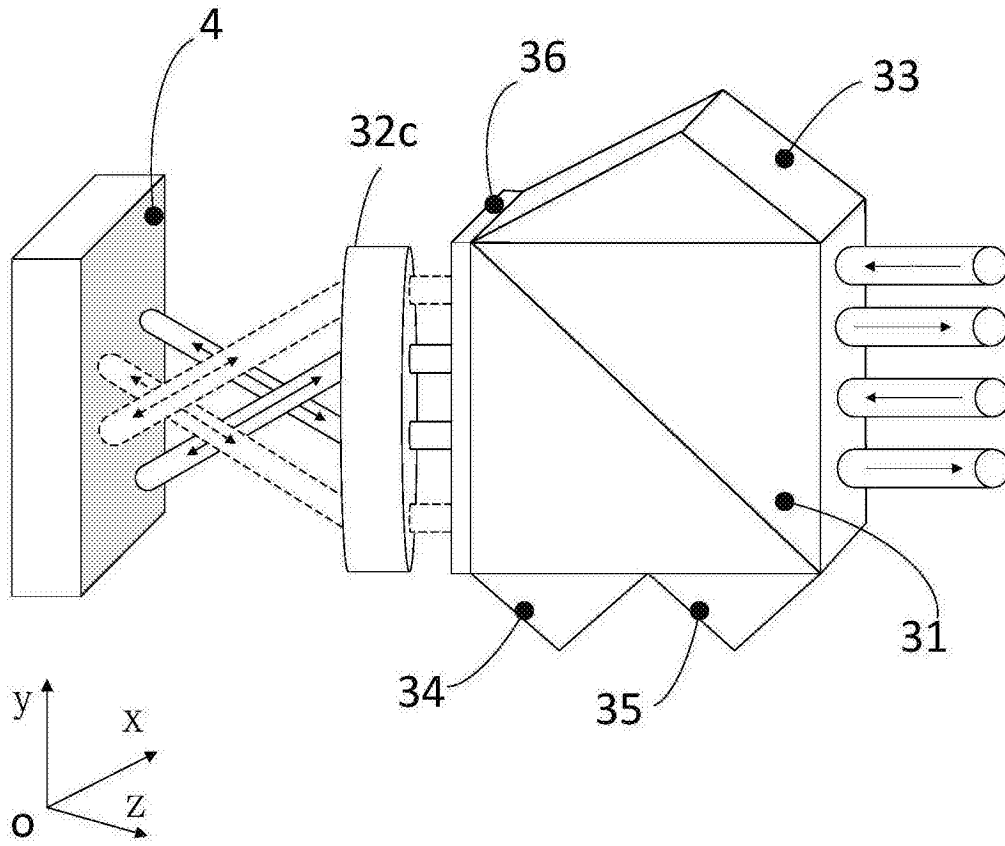


图8