



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109916313 B

(45) 授权公告日 2021.01.19

(21) 申请号 201910356249.9

(22) 申请日 2019.04.29

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109916313 A

(43) 申请公布日 2019.06.21

(73) 专利权人 西安交通大学  
地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 叶国永 刘辉 刘红忠 李烜  
雷彪 赵国博 李映江

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200  
代理人 徐文权

(51) Int.Cl.  
G01B 11/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103673892 A, 2014.03.26

CN 206618387 U, 2017.11.07

CN 103759654 A, 2014.04.30

CN 104729402 A, 2015.06.24

CN 102003939 A, 2011.04.06

CN 104634254 A, 2015.05.20

CN 104949616 A, 2015.09.30

CN 103759655 A, 2014.04.30

WO 2017076690 A1, 2017.05.11

US 6166817 A, 2000.12.26

周维来. 光栅干涉仪在高精密测量中的技术和应用.《工具技术》.1994,第28卷(第1期),第37-42页.

审查员 陆颖莹

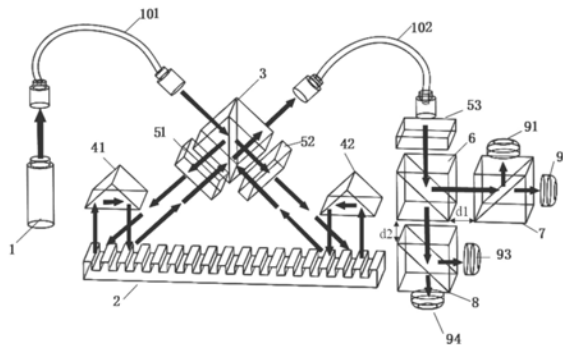
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,该光栅位移传感器包括:激光器、光栅、偏振分光镜、四分之一波片、后向反射镜、分束器、光电探测器和光纤等。本发明采用二次衍射偏振光干涉的方法,使得系统的分辨率提高两倍,提高测量精度;采用对称共光路的结构,两束相干光的光程差为零,减少了外界环境对系统的影响;运用偏振光学特性,提高光的应用效率,改善系统的可靠性。该发明在提高光栅位移传感器测量分辨力和实际使用精度中具有重要价值。



1. 一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,其特征在于,包括光路模块和后处理模块,所述光路模块包括激光器(1)、第一偏振分光镜(3)、平面光栅(2)、第一后向反射镜(41)、第二后向反射镜(42)和第三四分之一波片(53),所述激光器(1)用于发射光线,所述第一偏振分光镜(3)用于将激光器(1)发射的光线分束为线偏振p光和线偏振s光,所述第一偏振分光镜(3)的两个偏振面处分别设置有第一四分之一波片(51)和第二四分之一波片(52),所述平面光栅(2)设置在线偏振p光和线偏振s光的光路上,所述第一后向反射镜(41)和第二后向反射镜(42)关于第一偏振分光镜(3)的半透面所在的平面对称设置在第一偏振分光镜(3)两侧;所述后处理模块用于接收光路模块的输出光线,并根据输出光线得到平面光栅(2)移动的距离;

所述后处理模块包括第三四分之一波片(53),所述第三四分之一波片(53)用于接收光路模块的输出光线并将接收到的光线转化成圆偏振光,所述第三四分之一波片(53)的出射光的光路上设置有分束器(6),所述分束器(6)的两个出射光方向分别设置有第二偏振分光镜(7)和第三偏振分光镜(8),所述第二偏振分光镜(7)的两个出射光方向分别设置有第一光电探测器(91)和第二光电探测器(92),第三偏振分光镜(8)的两个出射光方向分别设置有第三光电探测器(93)和第四光电探测器(94);

还包括第一光纤(101)和第二光纤(102),所述第一光纤(101)用于接收激光器(1)发出的光线,并将接收到的光线传递至第一偏振分光镜(3),所述第二光纤(102)用于接收第一偏振分光镜(3)的出射光,并将接收到的光传递至第三四分之一波片(53)。

2. 根据权利要求1所述的一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,其特征在于,所述第一四分之一波片(51)垂直于线偏振s光,所述第二四分之一波片(52)垂直于线偏振p光。

3. 根据权利要求1所述的一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,其特征在于,所述第二偏振分光镜(7)和分束器(6)的间距d1与第三偏振分光镜(8)和分束器(6)的间距d2相等。

4. 根据权利要求1所述的一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,其特征在于,所述激光器(1)为正交偏振的激光器。

5. 根据权利要求1所述的一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,其特征在于,所述平面光栅(2)为反射式全息衍射光栅。

6. 根据权利要求1所述的一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,其特征在于,所述第一后向反射镜(41)和第二后向反射镜(42)为角锥棱镜。

## 一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器

### 技术领域

[0001] 本发明属于精密位移传感器技术领域,具体涉及一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器。

### 背景技术

[0002] 由于精密及高精密制造工艺技术的发展,高档数控机床与基础装备、精密和智能仪器仪表与试验设备的核心零件尺寸不断被突破,测量精度的要求也随之提高。传统的激光干涉测量系统以光的波长为测量基准,测量精度容易受外界环境的干扰,相比之下,基于干涉测量原理的光栅式位移传感器由于其测量标准量为光栅栅距而对环境要求低,因此更受青睐。自1987年德国海德汉公司开发干涉型光栅尺进行纳米级测量以来,包括索尼、佳能等一批国际上的厂家和研究机构进行了光栅位移测量系统的研究,且成果丰硕。国内针对该技术的研究与国外相比仍然存在较大差距,或者仅针对测量系统的后期细分处理技术进行研究。

[0003] 尽管光栅位移测量系统因其良好的环境适应性、紧凑的系统结构、较低的价格成本等优势,已成为超精密工程中颇具活力和备受关注的跨尺度纳米测量技术,但其结构设计还存在很大的改善空间。目前,电子细分是提高测量分辨力的有效途径,但光栅信号质量等问题引入非线性细分误差,限制了有效细分倍数,因此优化设计具有光学倍频功能的光栅光路结构,将是设计高精度光栅位移传感器的重要手段之一;同时,安装容差较小的问题,成为限制光栅传感器实际使用精度的重要因素,降低系统的装配公差和对位公差的要求、提高系统的稳定性是高精度光栅位移传感器设计中必不可少的一环。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明提供了一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,本发明设计合理。

[0005] 为达到上述目的,本发明通过对称性光路结构实现测量光的二次衍射,保证相干光同光程,既具备光学倍频的功能,又提高了测量系统的稳定性,同时具备较好的容差性能,减少了外界环境的干扰。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器,包括激光器、平面光栅、第一偏振分光镜、后向反射镜、四分之一波片、分束器、第二偏振分光镜、第三偏振分光镜、光电探测器和光纤;其特征在于:四分之一波片分别与偏振分光镜的偏振面两边的侧面平行,后向反射镜分别等距放置在两侧,第二偏振分光镜和第三偏振分光镜分别放置在分束器的一侧,光电探测器分别放置在第二偏振分光镜和第三偏振分光镜的一侧;激光器出射的激光通过光纤传输进入第一偏振分光镜分光后形成线偏振p光和s光,并在二次衍射后通过光纤传输进入四分之一波片进行后处理;

[0008] 线偏振p光和线偏振s光分别经四分之一波片后,形成圆偏振光,在平面光栅上发

生第一次衍射进入后向反射镜,在后向反射镜内发生两次反射后,与入射光平行的路径返回平面光栅发生第二次衍射;二次衍射后的两束圆偏振光,再次经过四分之一波片后变成包含二次衍射信息的线偏振s光和线偏振p光,经过第一偏振分光镜后以相同路径进入光纤;

[0009] 包含二次衍射信息的线偏振s光和线偏振p光,经四分之一波片转化成圆偏振光后发生干涉,含有干涉信息的光信号经过分束器分束后分别进入第二偏振分光镜和第三偏振分光镜,经分光后形成四路光信号分别被光电探测器接收;

[0010] 上述技术方案中,激光器为单频激光器,平面光栅为反射式全息衍射光栅。

[0011] 本发明另一技术方案是:激光器双频正交偏振的激光器。

[0012] 本发明另一技术方案是后向反射镜用角锥棱镜或直角拼装的平面镜替代。

[0013] 与现有技术相比,本发明至少具有以下有益的技术效果,以光栅衍射原理和后向反射镜准直反射特性为基础,通过衍射光栅和后向反射镜的配合实现一次衍射光的自准直返回光栅达到二次衍射的目的。二次衍射实现光学倍频,以优化光路结构的方式提高了测量的分辨率,可靠性优于电子细分;采用对称性共光路原则,两束相干光沿着相同路径,结构上对称,光程差为零,减少甚至消除外界环境对传感器的影响;运用偏振光学特性,光的应用效率较高,避免了普通分光棱镜分光时导致的光损失,也减少了杂散光对传感器的影响。

[0014] 进一步的,后处理模块包括第三四分之一波片,所述第三四分之一波片用于接收光路模块的输出光线并将接收到的光线转化成圆偏振光,所述第三四分之一波片的出射光的光路上设置有分束器,所述分束器的两个出射光方向分别设置有第二偏振分光镜和第三偏振分光镜,所述第二偏振分光镜的两个出射光方向分别设置有第一光电探测器和第二光电探测器,第三偏振分光镜的两个出射光方向分别设置有第三光电探测器和第四光电探测器,包含二次衍射信息的线偏振s光和线偏振p光,经第三四分之一波片转化成圆偏振光后发生干涉,含有干涉信息的光信号经过分束器分束后分别进入第二偏振分光镜和第三偏振分光镜,经分光后形成个干涉区域内的光干涉信号,且相位依次相差 $90^\circ$ ,4个干涉区域内的光干涉信号分别被第一至第四光电探测器接收。光电探测器检测干涉条纹的强度变化并转化成电信号,因此获得弦波变化规律的相差 $90^\circ$ 的四路电信号,经滤波处理获得相差 $90^\circ$ 的方波信号,最后经辨向计数就可以获得光栅位移和方向信息。即可同时测量光栅的移动距离和移动方向。

[0015] 进一步的,还包括第一光纤和第二光纤,第一光纤用于接收激光器发出的光并出传递至第一偏振分光镜,所述第二光纤用于接收第一偏振分光镜的出射光,并将接收到的光传递至第三四分之一波片,光纤传输有效地避免了激光的热影响,同时减少了空气湍流的影响。

[0016] 进一步的,第一四分之一波片垂直于线偏振s光,所述第二四分之一波片垂直于线偏振p光,测量精度更高。

[0017] 进一步的,第二偏振分光镜和分束器的间距d1与第三偏振分光镜和分束器的间距d2相等,保持空气中的光程一致,使信号质量相同,避免外界环境带来的信号差异性,从而避免对所测位移的影响,提高测量精度。

[0018] 进一步的,激光器为正交偏振的激光器,保证正交方向上光强的一致性,避免分光

产生的测量光光强差异影响干涉条纹的质量。

[0019] 进一步的,平面光栅为反射式全息衍射光栅,全息衍射光栅的性能基本不受入射角的影响,杂散光低,并有效地减少周期性误差比如重影,有利于提高传感器的信噪比。

[0020] 进一步的,后向反射镜用角锥棱镜,角锥棱镜具有三个全内反射面,即使是比较大的入射角也可以精密对准和回射,因此回射性能不受棱镜方向的影响,在空间中更容易对准和安装。

[0021] 本发明优良的容差性能体现在:(1)通过衍射光栅和后向反射镜的配合实现了光路的自准直,减少了光栅偏转对测量结果的影响;(2)严格的对称结构和偏振特性保证了测量光光程的一致性,减少环境因素的影响;(3)光纤传输便于安装和调整入射光的角度,有效地避免光源角度偏差的影响。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明一种基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器示意图;

[0023] 图2为本发明线偏振p光示意图;

[0024] 图3为本发明线偏振s光示意图。

[0025] 图中,1—激光器,2—平面光栅,3—第一偏振分光镜,41—第一后向反射镜,42—第二后向反射镜,51—第一四分之一波片,52—第二四分之一波片,53—第三四分之一波片,6—分束器,7—第二偏振分光镜,8—第三偏振分光镜,91—第一光电探测器,92—第二光电探测器,93—第三光电探测器,94—第四光电探测器,101—第一光纤102—第二光纤。

## 具体实施方式

[0026] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0027] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,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。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或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0028] 请参考图1,以标准波长590nm的稳频激光器光源为例,该基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器由激光器1、平面光栅2、第一偏振分光镜3、第一后向反射镜41、第二后向反射镜42、第一至第三四分之一波片、分束器6、第二偏振分光镜7、第三偏振分光镜8、第一至第四光电探测器和第一光纤101以及第二光纤102组成。

[0029] 其中,激光器1为标准波长590nm的稳频激光器,光束偏振态为两相互垂直的线偏

振模态；平面光栅2为1200线/mm的反射式全息光栅，波长范围为480nm-650nm；分束器、偏振分光镜和后向反射镜均为 $5 \times 5 \times 5$ mm的标准尺寸。根据光栅方程 $d(\sin\alpha + \sin\theta) = m\lambda$ ，式中光栅栅距d为 $1/1200$ mm，衍射级次m取 $\pm 1$ 级，光源波长为590nm，则衍射角 $\theta = 45^\circ$ 。

[0030] 请参考图1，第一四分之一波片51和第二四分之一波片52分别与第一偏振分光镜3的两个偏振面平行，且第一四分之一波片51和第二四分之一波片52关于第一偏振分光镜3的半透面所在的平面对称，第一后向反射镜41和第二后向反射镜42分别设置在第一偏振分光镜3两侧，第一后向反射镜41和第一偏振分光镜3的距离与第二后向反射镜42和第一偏振分光镜3之间的距离相等，第一偏振分光镜3下方设置有平面光栅2，第二光纤102输入端接头用于接收从第一偏振分光镜3射出的光线，输出端接头输出光线，第二光纤102输出端接头正下方自上至下依次设置有第三四分之一波片53、分束器6和第三偏振分光镜8，第二偏振分光镜7设置在分束器6的反射光出光面一侧，第三偏振分光镜8设置在分束器6的透射光出光面的一侧，第二偏振分光镜7的两个光线输出侧分别设置有第一光电探测器91和第二光电探测器92，第三偏振分光镜8的两个光线输出侧分别设置有第三光电探测器93和第四光电探测器94。第二偏振分光镜7和分束器6的间距d1与第三偏振分光镜8和分束器6的间距d2相等。

[0031] 本位移传感器的工作原理如下：

[0032] 请参考图1、图2、图3，激光器1出射的激光通过第一光纤101传输进入第一偏振分光镜3分光后形成线偏振p光和线偏振s光；线偏振p光和线偏振s光经分别第二四分之一波片52和第一四分之一波片51转化为圆偏振光后，在平面光栅2上发生二次衍射，再经过第二四分之一波片52和第一四分之一波片51转化为包含二次衍射信息的线偏振s光和线偏振p光后，以相同路径进入第二光纤102；包含二次衍射信息的线偏振s光和线偏振p光，经第三四分之一波片53转化成圆偏振光后发生干涉，含有干涉信息的光信号经过分束器6分束后分别进入第二偏振分光镜7和第三偏振分光镜8，经分光后形成个干涉区域内的光干涉信号，且相位依次相差 $90^\circ$ ，4个干涉区域内的光干涉信号分别被第一至第四光电探测器接收。光电探测器检测干涉条纹的强度变化并转化成电信号，因此获得弦波变化规律的相差 $90^\circ$ 的四路电信号，经滤波处理获得相差 $90^\circ$ 的方波信号，最后经辨向计数就可以获得光栅位移和方向信息。

[0033] 请参考图2，光纤101传输的激光进入第一偏振分光镜3分光后透射方向的为线偏振p光，经第二四分之一波片52后形成圆偏振光，在平面光栅2上发生第一次衍射进入第二后向反射镜42，在第二后向反射镜42内发生两次反射后，以与入射光平行的路径返回平面光栅2发生第二次衍射；二次衍射后的圆偏振光再次经过第二四分之一波片52后变成包含二次衍射信息的线偏振s光，经过第一偏振分光镜3后发生反射进入第二光纤102。

[0034] 请参考图3，光纤101传输的激光进入第一偏振分光镜3分光后反射方向的为线偏振s光，经第一四分之一波片51后形成圆偏振光，在平面光栅2上发生第一次衍射进入第一后向反射镜41，在第一后向反射镜41内发生两次反射后，以与入射光平行的路径返回平面光栅2发生第二次衍射；二次衍射后的圆偏振光再次经过第一四分之一波片51后变成包含二次衍射信息的线偏振p光，经过第一偏振分光镜3后发生透射与包含二次衍射信息的线偏振s光以相同路径进入第二光纤102。

[0035] 上述实施方式中激光器1也可以是正交偏振的激光器；第一和第二后向反射镜41、

42也可以是角锥棱镜或直角拼装的平面反射镜。

[0036] 上述实施方式中给出的基于二次衍射光干涉的光栅位移传感器实现了测量光的二次衍射,达到了细分的目的,提高了测量精度,同时能够一定程度地补偿光栅倾斜和槽型异变的问题;后向反射镜可以减少平面光栅偏转的误差影响,同时保证光路的对称性;光纤传输有效地避免了激光的热影响,同时减少了空气湍流的影响。

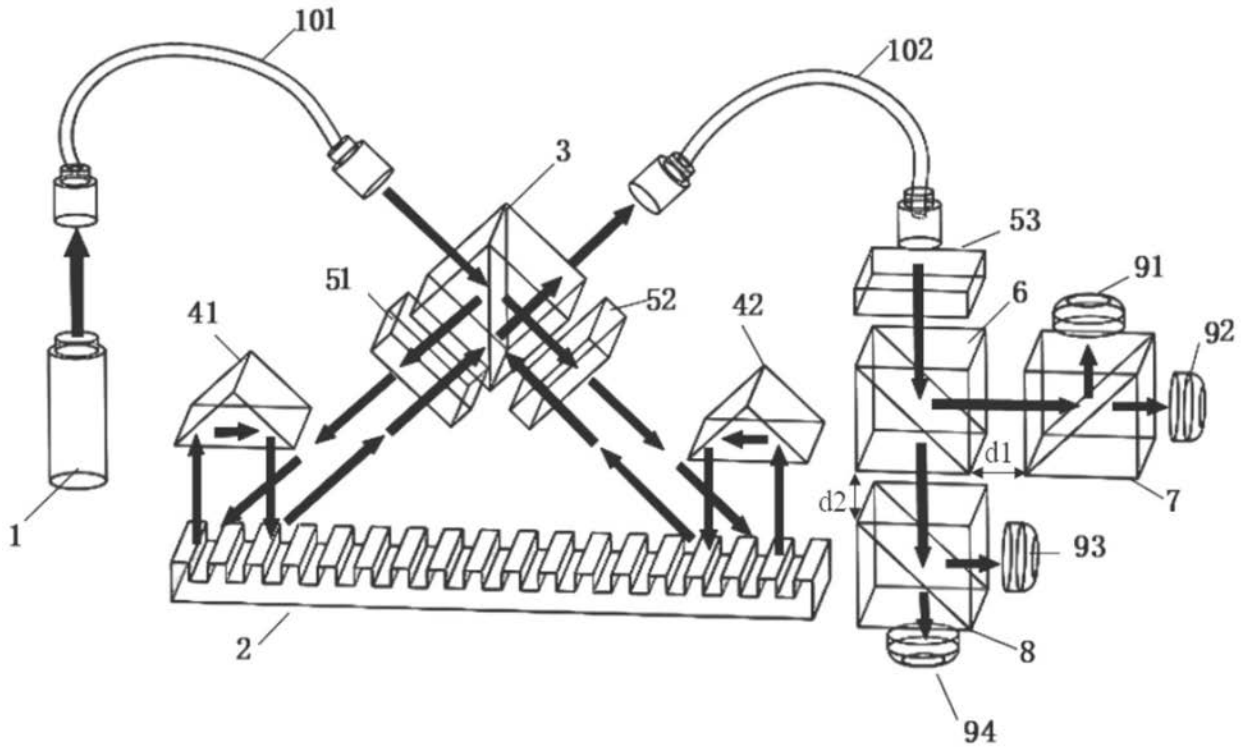


图1

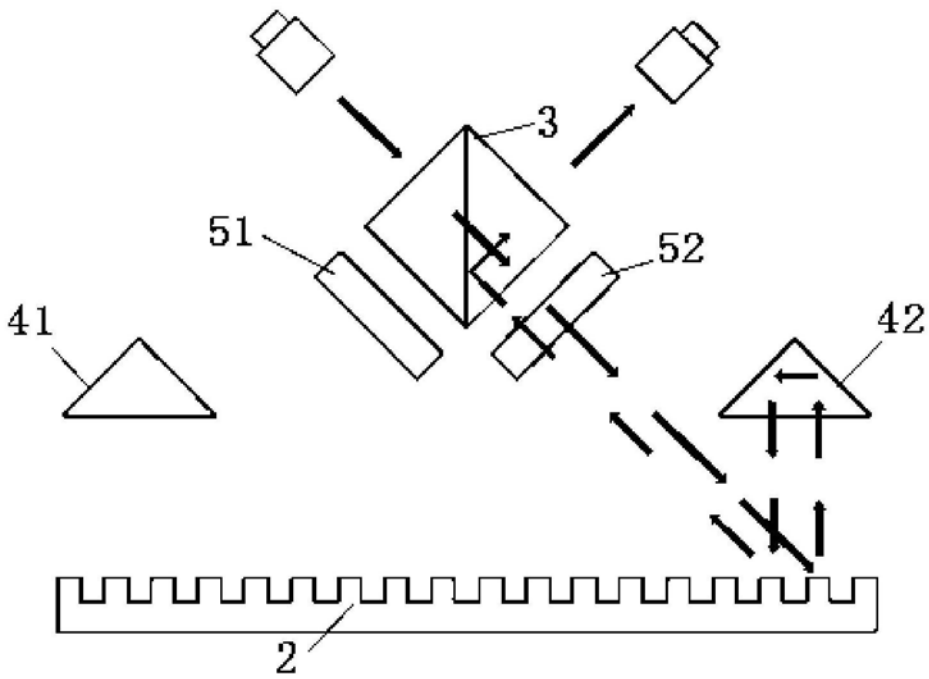


图2



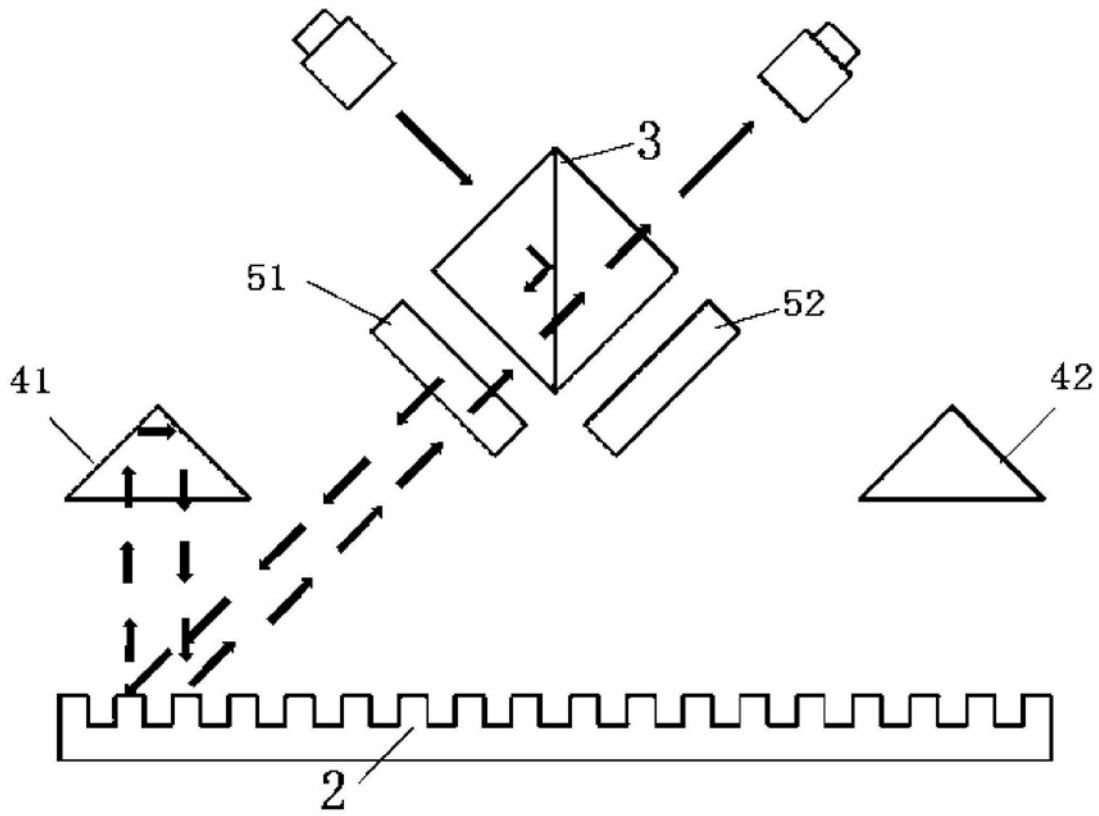


图3