



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103575220 B

(45)授权公告日 2016.09.14

(21)申请号 201310533602.9

(22)申请日 2013.10.31

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103575220 A

(43)申请公布日 2014.02.12

(73)专利权人 中国人民解放军国防科学技术大学

地址 410073 湖南省长沙市砚瓦池正街47号
中国人民解放军国防科学技术大学
机电工程与自动化学院

(72)发明人 颜树华 魏春华 林存宝 王国超
邹鹏飞 罗玉昆 胡青青

(74)专利代理机构 湖南兆弘专利事务所(普通合伙) 43008

代理人 赵洪 周长清

(51)Int.Cl.

G01B 11/02(2006.01)

(56)对比文件

US 2012/257214 A1,2012.10.11,

CN 102944176 A,2013.02.27,

CN 101825432 A,2010.09.08,

CN 102168944 A,2011.08.31,

JP 特开2007-327966 A,2007.12.20,

杨东兴等.一种小型化纳米级单光栅位移测量系统的研制.《红外与激光工程》.2013,第42卷(第4期),

杨东兴.小型化单光栅纳米级位移测量技术的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2012,

审查员 郑俊

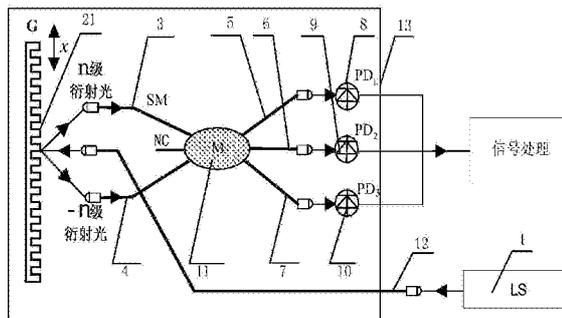
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统及测量方法

(57)摘要

一种基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统及测量方法,该系统包括激光器、用于产生衍射的光栅、光纤耦合器和光电探测器,所述激光器输出的光经光纤传输并入射到光栅上形成各级衍射光;一组对称级次的衍射光通过耦合后进入光纤耦合器;该组衍射光在光纤耦合器中发生干涉后经光纤耦合器输出光干涉场信号,在光纤耦合器输出端设有记录输出光信号的光电探测器,后续电路对接收信号进行处理后得到光栅在某一方向的位移量。该方法为基于上述测量系统所进行的测量方法。本发明具有小型化、一体化、大量程、高精度等优点。



1. 一种基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量方法,其特征在于,包括激光器、用于产生衍射的光栅、光纤耦合器和光电探测器,所述激光器输出的光经光纤传输并入射到光栅上形成各级衍射光;一组对称级次的衍射光通过耦合后进入光纤耦合器;所述一组对称级次的衍射光在光纤耦合器中发生干涉后经光纤耦合器输出光干涉场信号,在光纤耦合器输出端设有记录输出光信号的光电探测器,并对接收信号进行处理后得到光栅在某一方向的位移量;

所述光栅、光纤耦合器和光电探测器封闭在一个小型化测量模块内,所述光电探测器的输出信号经导线由测量模块引出,所述激光器输出的光经光纤传输进入小型化测量模块内;

所述激光器经光纤耦合后进入小型化测量模块内并垂直入射光栅,在入射光两侧形成对称分布的各级次衍射光;

所述光纤耦合器的两个输入端设置在光栅与耦合器之间的衍射光路上,所述光纤耦合器的两个输入端沿入射光路的两侧呈对称放置,将一组对称级次的衍射光耦合进入光纤耦合器;

步骤为:先令激光器输出的光耦合进入光纤,并由光纤传输垂直入射到光栅上;所述经光栅衍射形成各级次的衍射光,将其中的 $\pm n$ 级衍射光分别耦合进入光纤耦合器的两个输入端,两束衍射光经过输入端聚焦透镜耦合进入光纤耦合器并在光纤耦合器中发生干涉;从光纤耦合器的M个输出端输出M路光干涉信号,其中M为2或3;用N个光电探测器对光信号进行接收,将接收到的信号经导线引出封闭测量模块并进行处理,其中 $N \leq M$;当光栅发生位移时,会引起N路探测器接收信号发生变化,使得所述测量光路产生相位相差特定度数的N路信号,信号的周期数与位移量存在对应关系,将待测参量的变化转换为所述光栅的运动;对N路接收信号进行采集并分别同时记录光干涉信号的变化,最后用数字相位测量法再进行高倍数的电子细分,即可精确测量光栅的位移量。

2. 根据权利要求1所述的基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量方法,其特征在于,所述光纤耦合器为 2×1 、 2×2 、 2×3 或 3×3 耦合器。

3. 根据权利要求2所述的基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量方法,其特征在于,所述光纤耦合器工作波长应与激光器输出光波长一致,耦合比均匀。

4. 根据权利要求1所述的基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量方法,其特征在于,所述光栅为反射光栅或透射光栅。

5. 根据权利要求4所述的基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量方法,其特征在于,所述光栅为低热膨胀系数的石英或零膨胀玻璃材料制作的光栅。

基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统及测量方法

技术领域

[0001] 本发明主要涉及到测量仪器设备领域,特指一种基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统及测量方法。

背景技术

[0002] 纳米测量是先进制造业发展的关键技术,也是整个纳米科技领域的先导和基础。随着超精密加工和超微细加工技术的发展,行程达100毫米量级、运动分辨率达到纳米级的超精密和超微细加工设备,对大量程、纳米级高精度的测试手段提出了迫切需求。在众多纳米测量仪器中,光栅测量仪器具有测量范围大、测量分辨率高等特点。而光纤干涉仪由于体积小、重量轻、抗电磁干扰、能波分复用、高度集成和价格低廉等优点被广泛应用于精密测量领域,对位移、振动、速度、加速度、应变以及温度等参量进行测量。

[0003] 光栅测量仪器将栅距周期内的绝对式测量和周期外的增量式测量结合起来,测量基准是光栅的栅距而不是光波的波长。测量精度主要取决于光栅的刻制精度,受入射光波长变化的影响相对较小。目前,光栅测量仪器虽然可以得到较高的测量分辨率,但其测量精度受到了较多因素的限制,尚未达到应有的纳米级水平。首先,传统的光栅干涉测量都是将两束衍射光经过一定的光路系统在空气中发生干涉,一方面光路结构较为复杂、工作人员调试起来相对困难;另一方面光路系统随着时间的变化会发生缓慢微小的偏移、光路相对结构发生了变化,影响测量结果。其次,随着激光器的老化、大气湍流引起的光束偏转及波面变形、外界振动等因素都有可能造成光强的波动。尤其是对于传统的干涉测量,干涉场在普通的大气环境下,空气扰动、大气湍流引起的测量误差尤为突出。而在现有测量位移的光纤干涉测量系统中,为了提高测量精度,需要对环境干扰引起的相位的随机变化进行补偿。利用共路干涉的方法抑制环境干扰对测量系统的影响,但测量量程很小。

[0004] 因此,现有光栅测量仪器虽然能够得到纳米级的测量分辨率,但测量精度尚未达到纳米级水平;且目前传统的光栅干涉测量系统与光纤干涉测量结合并不紧密。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题就在于:针对现有技术存在的技术问题,本发明提供一种小型化、一体化、大量程、高精度的基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统及测量方法。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统,包括激光器、用于产生衍射的光栅、光纤耦合器和光电探测器,所述激光器输出的光经光纤传输并入射到光栅上形成各级衍射光;一组对称级次的衍射光通过耦合后进入光纤耦合器;该组衍射光在光纤耦合器中发生干涉后经光纤耦合器输出光干涉场信号,在光纤耦合器输出端设有记录输出光信号的光电探测器,并对接收信号进行处理后得到光栅在某一方向的位移量。

[0008] 作为本发明测量系统的进一步改进:

[0009] 所述光栅、光纤耦合器和光电探测器封闭在一个小型化测量模块内,所述光电探测器的输出信号经导线由测量模块引出,所述激光器输出的光经光纤传输进入小型化测量模块内。

[0010] 所述激光器经光纤耦合后进入小型化测量模块内并垂直入射光栅,在入射光两侧形成对称分布的各级次衍射光。

[0011] 所述光纤耦合器的两个输入端设置在光栅与耦合器之间的衍射光光路上,所述光纤耦合器的两个输入端沿入射光路的两侧呈对称放置,将一组对称级次的衍射光耦合进入光纤耦合器。

[0012] 所述光纤耦合器优为 2×1 、 2×2 、 2×3 或 3×3 耦合器。

[0013] 所述光纤耦合器工作波长应与激光器输出光波长一致,耦合比均匀。

[0014] 所述光栅优为反射光栅或透射光栅。

[0015] 所述光栅为低热膨胀系数的石英或零膨胀玻璃材料制作的光栅。

[0016] 本发明进一步提供一种基于上述测量系统的测量方法,其步骤为:先令激光器输出的光耦合进入光纤,并由光纤传输垂直入射到光栅上;所述经光栅衍射形成各级次的衍射光,将其中的 $\pm n$ 级衍射光分别耦合进入光纤耦合器的两个输入端,两束衍射光经过输入端聚焦透镜耦合进入光纤耦合器并在光纤耦合器中发生干涉;从光纤耦合器的M个输出端输出M路光干涉信号,其中M为2或3;用N个光电探测器对光信号进行接收,将接收到的信号经导线引出封闭测量模块并进行处理,其中 $N \leq M$;当光栅发生位移时,会引起N路探测器接收信号发生变化,使得所述测量光路产生相位相差特定度数的N路信号,信号的周期数与位移量存在对应关系,将待测参量的变化转换为所述光栅的运动;对N路接收信号进行采集并分别同时记录光干涉信号的变化,最后用数字相位测量法再进行高倍数的电子细分,即可精确测量光栅的位移量。

[0017] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0018] 1、本发明首次将实物光栅、光纤耦合器两者结合,构造干涉测量系统,不仅利用了实物光栅测量基准可靠、零漂小的特点,同时结合了光纤耦合器结构简单、性能稳定、调试方便的特点。

[0019] 2、本发明将光栅、光纤耦合器,光电探测器等均放置于一封闭的小型化测量模块内,光源耦合进入光纤、并通过光纤进入模块,光电探测器的输出电信号由导线从测量模块中引出。整个系统除光源和电路检测系统外均布置于一小型的测量模块内,实现了测试系统小型化、一体化的特点。

[0020] 3、本发明采用功率稳定的激光器,并将衍射光耦合进入光纤,在光纤耦合器中发生干涉,与普通的光栅干涉测量方法相比光纤耦合器结构简单、光路调节方便、抗干扰能力强,而且由于干涉场在光纤耦合器中,与普通的光栅干涉测量相比,空气扰动、大气湍流引起的测量误差可全部消除;

[0021] 4、本发明采用光栅实物形式提供测量基准,当采用低热膨胀系数的石英(其热膨胀系数小于 $6 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)或零膨胀系数的玻璃等制作光栅时,其测量基准稳定可靠、零点漂移极小,并可减小温度对测量精度的影响,提高测量系统对环境的适应能力。

[0022] 5、本发明采用光栅衍射所产生的对称高级次衍射光(比如 ± 3 级、 ± 5 级)形成干涉条纹,通过设计对称衍射光路来产生双倍的多普勒频移量,在同等条件下使理论分辨率提

高了一倍,得到高倍数的光学细分,产生微米或亚微米级的条纹信号;

[0023] 6、本发明采用基于反正切变换的三路信号高精度细分方法和DSP数字信号处理技术相结合,利用反正切变换的信号高倍细分、双向鉴相等方法,实现了干涉信号大量程相位信息的准确测量及小数相位的高倍细分,有效地将光栅测量的分辨率提高到纳米量级,进而实现100毫米量级范围的纳米级精度测量(采用数字相位测量方法得到高倍数电子细分,可有效地将光栅测量的分辨率提高到纳米量级,并实现100毫米量级范围的纳米级精度测量)。

[0024] 综上所述,本发明利用光纤耦合器和激光器构造小型化、一体化、大量程、高精度的单光栅零差干涉位移测量系统,增强了光栅测量系统的抗干扰能力和稳定性,提高了其对外部环境的适应能力,可实现100毫米量级范围的纳米级精度测量,能够满足微光机电、集成电路芯片制造、超精密加工、超微细加工、生物工程、航空航天及新材料等领域所涉及的大量程纳米级测量定位要求。本发明形成了新的大量程、抗干扰性强的纳米测量原理与技术原型,其量程主要取决于所采用光栅的长度,大大提高了我国中低价位纳米级测量仪器的自主研制能力,对进一步推动先进制造技术的发展具有重要的现实意义。

附图说明

[0025] 图1是本发明在具体应用实施例1(基于 3×3 光纤耦合器)中的结构原理示意图。

[0026] 图2是本发明在具体应用实施例2(基于 3×3 光纤耦合器)中的结构原理示意图。

[0027] 图3是本发明在具体应用实施例3(基于 2×2 光纤耦合器)中的结构原理示意图。

[0028] 图4是本发明在具体应用实施例4(基于 2×2 光纤耦合器)中的结构原理示意图。

[0029] 图5是本发明方法的流程示意图。

[0030] 图例说明:

[0031] 1、激光器;21、反射光栅;22、透射光栅;3、第一输入端;4、第二输入端;5、第一输出端;6、第二输出端;7、第三输出端;8、第一光电探测器;9、第二光电探测器;10、第三光电探测器;11、光纤耦合器;12、单模光纤;13、小型化测量模块。

具体实施方式

[0032] 以下将结合说明书附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明。

[0033] 本发明的一种基于光纤耦合器的小型化单光栅干涉测量系统,包括激光器1、用于产生衍射的光栅、光电探测器和光纤耦合器11,激光器1输出的光经光纤传输并入射到光栅上形成各级衍射光,在衍射光路上,一组对称级次的衍射光通过耦合后进入光纤耦合器11;衍射光在光纤耦合器11中发生干涉后经光纤耦合器11输出光干涉场信号,在光纤耦合器11输出端的输出光路通过光电探测器记录输出光信号。

[0034] 在具体应用实例中,当光栅静止时,由光栅衍射产生的对称两级衍射光,进入光纤耦合器11形成干涉场,输出的干涉场信号保持静止;当光栅运动时,对称两级衍射光将产生大小相等、符号相反的多普勒频移量,使得测量光路产生相位相差特定度数的若干路信号。最后,由光电探测器接收测量光路的干涉场信号,并对接收信号进行处理后,可精确测量光栅在某一方向的位移量。

[0035] 进一步,将光栅、光纤耦合器11和光电探测器封闭在一个小型化测量模块13内,光

电探测器的输出信号经导线由测量模块引出,激光器1输出的光经光纤传输进入小型化测量模块13内。

[0036] 进一步,激光器1也可以经光纤耦合后进入小型化测量模块13内,并垂直入射光栅。

[0037] 进一步,激光器1输出的光垂直入射光栅后,在入射光两侧形成对称分布的各级次衍射光。

[0038] 进一步,光纤耦合器11的两个输入端聚焦透镜设置在光栅与光纤耦合器11之间的衍射光路上。光纤耦合器11的两个输入端沿入射光路的两侧呈对称放置,经光栅衍射后产生对称分布的各级次衍射光,分别通过耦合后进入光纤耦合器11, $\pm n$ 级衍射光的干涉在光纤耦合器11中发生。

[0039] 进一步,本发明中的光纤耦合器11优为 2×1 、 2×2 、 2×3 或 3×3 耦合器;光纤耦合器11的工作波长应与激光器1输出波长一致,耦合比均匀。

[0040] 进一步,本发明中的光栅优选为反射光栅21或透射光栅22。在上述的光栅干涉测量系统中,光栅优选为低热膨胀系数的石英或零膨胀玻璃材料制作的光栅,这样可以更好地保证测量基准稳定可靠、零点漂移极小,并可减小温度对测量精度的影响,提高本发明干涉测量方法对环境的适应能力。

[0041] 具体应用实例1:如图1所示,本发明的测量系统包括激光器1、反射光栅21和用于两束衍射光发生干涉的光纤耦合器11,其中反射光栅21、光纤耦合器11、第一光电探测器8、第二光电探测器9、第三光电探测器10均位于小型化测量模块13内。激光器1输出的光经耦合进入单模光纤12,并由单模光纤12传输进入小型化测量模块13,垂直入射到反射光栅21上。经反射光栅21衍射形成各级次的衍射光,将其中的 $\pm n$ 级衍射光分别经聚焦透镜耦合进入第一输入端3和第二输入端4,两束衍射光经过两输入端后进入光纤耦合器11,并在光纤耦合器11中发生干涉。而后从光纤耦合器11的第一输出端5、第二输出端6、第三输出端7输出三路相位相差约 120° 的光干涉信号,输出端透镜进行准直扩束,由第一光电探测器8、第二光电探测器9、第三光电探测器10分别记录光干涉信号的变化。光电探测器所产生的电信号由三根导线经小型化测量模块13引出。当反射光栅21在x方向上发生位移时,会引起三路探测器接收信号发生变化,通过对三路接收信号进行处理,可精确测量反射光栅21在x方向的位移量。

[0042] 具体应用实例2:如图2所示,该测量系统包括激光器1、透射光栅22和用于两束衍射光发生干涉的光纤耦合器11,其中透射光栅22、光纤耦合器11、第一光电探测器8、第二光电探测器9、第三光电探测器10均位于小型化测量模块13内。激光器1输出的光经耦合进入单模光纤12,并由单模光纤12传输进入小型化测量模块13,垂直入射到透射光栅22上。经透射光栅22衍射形成各级次的衍射光,将其中的 $\pm n$ 级衍射光分别经聚焦透镜耦合进入第一输入端3和第二输入端4,两束衍射光经过两输入端进入光纤耦合器11,并在光纤耦合器11中发生干涉。而后从光纤耦合器11的第一输出端5、第二输出端6、第三输出端7输出三路相位相差约 120° 的光干涉信号,输出端透镜进行准直扩束,由第一光电探测器8、第二光电探测器9、第三光电探测器10分别记录光干涉信号的变化。光电探测器产生的电信号由三根导线经小型化测量模块13引出。当透射光栅22在x方向上发生位移时,会引起三路探测器接收信号发生变化,通过对三路接收信号进行处理,可精确测量透射光栅22在x方向的位移量。

[0043] 具体应用实例3:如图3所示,本发明的测量系统包括激光器1、反射光栅21和用于两束衍射光发生干涉的光纤耦合器11,其中反射光栅21、光纤耦合器11、第一光电探测器8、第二光电探测器9、第三光电探测器10均位于小型化测量模块13内。激光器1输出的光经耦合进入单模光纤12,并由单模光纤12传输进入小型化测量模块13,垂直入射到反射光栅21上。经反射光栅21衍射形成各级次的衍射光,将其中的 $\pm n$ 级衍射光分别经聚焦透镜耦合进入第一输入端3和第二输入端4,两束衍射光经过两输入端进入光纤耦合器11,并在光纤耦合器11中发生干涉。而后从光纤耦合器11的第一输出端5、第三输出端7输出两路相位不同(90° 或 180°)的光干涉信号,输出端透镜进行准直扩束,由第一光电探测器8、第三光电探测器10分别记录光干涉信号的变化。光电探测器产生的电信号由三根导线经小型化测量模块13引出。当反射光栅21在x方向上发生位移时,会引起两路探测器接收信号发生变化,通过对两路接收信号进行处理,可精确测量反射光栅21在x方向的位移量。

[0044] 具体应用实例4:如图4所示,该测量系统包括激光器1、透射光栅22和用于两束衍射光发生干涉的光纤耦合器11,其中透射光栅22、光纤耦合器11、第一光电探测器8、第二光电探测器9、第三光电探测器10均位于小型化测量模块13内。激光器1输出的光经耦合进入单模光纤12,并由单模光纤12传输进入小型化测量模块13,垂直入射到透射光栅22上。经透射光栅22衍射形成各级次的衍射光,将其中的 $\pm n$ 级衍射光分别经聚焦透镜耦合进入第一输入端3和第二输入端4,两束衍射光经过两输入端进入光纤耦合器11,并在光纤耦合器11中发生干涉。而后从光纤耦合器11的第一输出端5、第三输出端7输出两路相位不同(90° 或 180°)的光干涉信号,输出端透镜进行准直扩束,由第一光电探测器8、第三光电探测器10分别记录光干涉信号的变化,光电探测器产生的电信号由三根导线经小型化测量模块13引出。当透射光栅22在x方向上发生位移时,会引起两路探测器接收信号发生变化,通过对两路接收信号进行处理,可精确测量透射光栅22在x方向的位移量。

[0045] 如图5所示,基于上述测量系统,本发明进一步提供了一种基于光纤耦合器的单光栅零差干涉位移测量方法,具体步骤为:

[0046] 先令激光器1输出的光耦合进入光纤,并由光纤传输进入小型化测量模块13内并垂直入射到光栅上。经光栅衍射形成各级次的衍射光,将其中的一组对称级次衍射光(± 3 级、 ± 5 级等)分别经聚焦透镜耦合进入光纤耦合器11的两个输入端,两束衍射光经过输入端进入光纤耦合器11,并在光纤耦合器11中发生干涉。而后从光纤耦合器11的M(M为2或3)个输出端输出M路光干涉信号,用N($N \leq M$)个光电探测器对光信号进行接收,将接收到的信号经导线引出封闭测量模块、并由后续电子学系统进行处理。

[0047] 当光栅发生位移时,会引起N路探测器接收信号发生变化,使得所述测量光路产生相位相差特定度数的N路信号,信号的周期数与位移量存在对应关系,实现了将待测参量的变化转换为所述光栅的运动。对N路接收信号进行采集并分别同时记录光干涉信号的变化,最后用数字相位测量法再进行高倍数的电子细分,即可精确测量光栅的位移量。

[0048] 上述的光栅干涉测量方法中,光栅优选为低热膨胀系数的石英或零膨胀玻璃材料制作的光栅,这样可以更好地保证测量基准稳定可靠、零点漂移极小,并可减小温度对测量精度的影响,提高本发明干涉测量方法对环境的适应能力。

[0049] 以上仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的

普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,应视为本发明的保护范围。

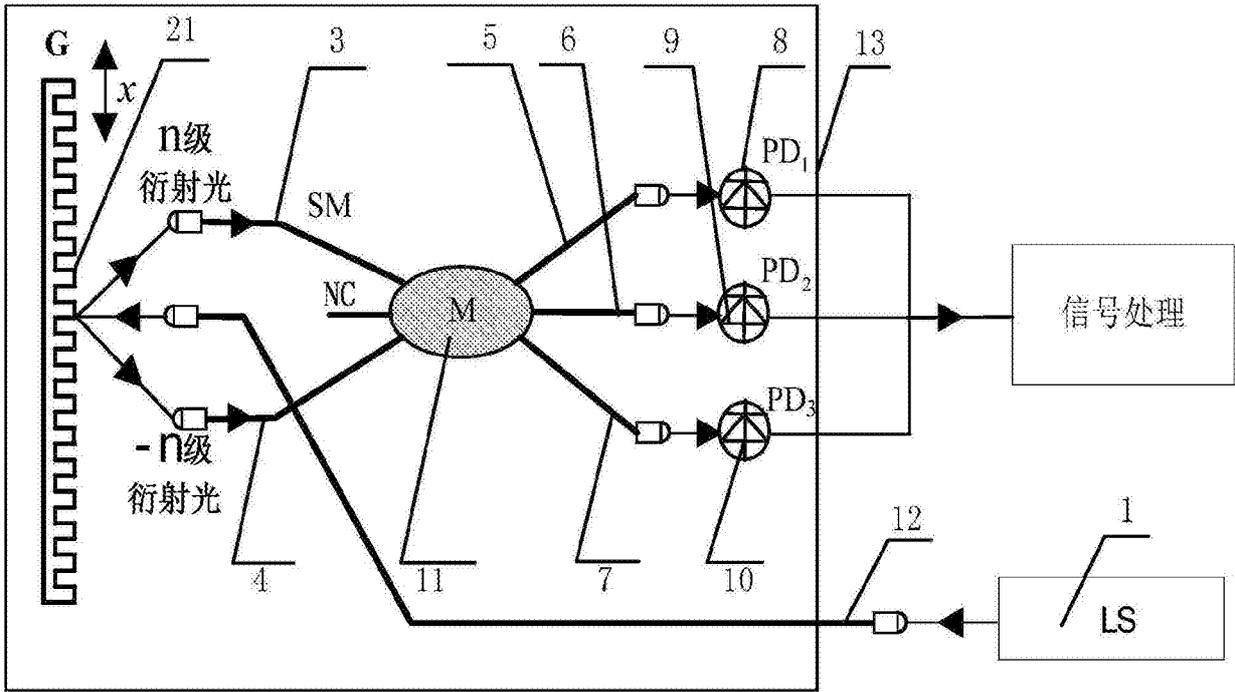


图1

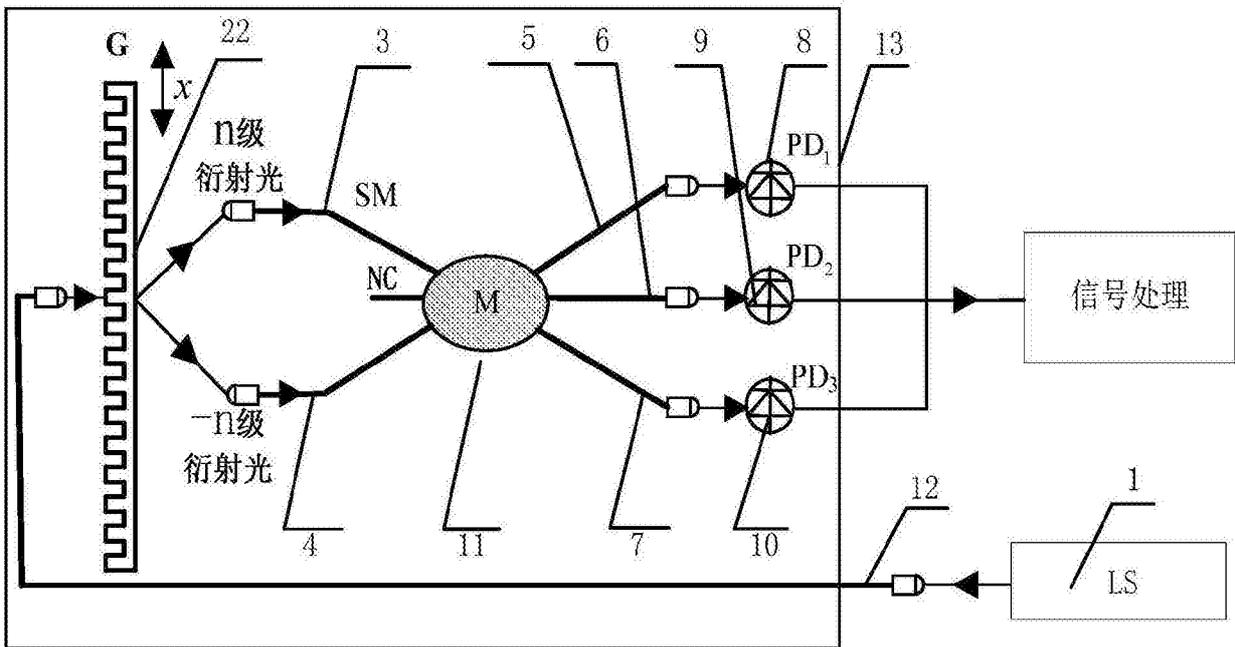


图2

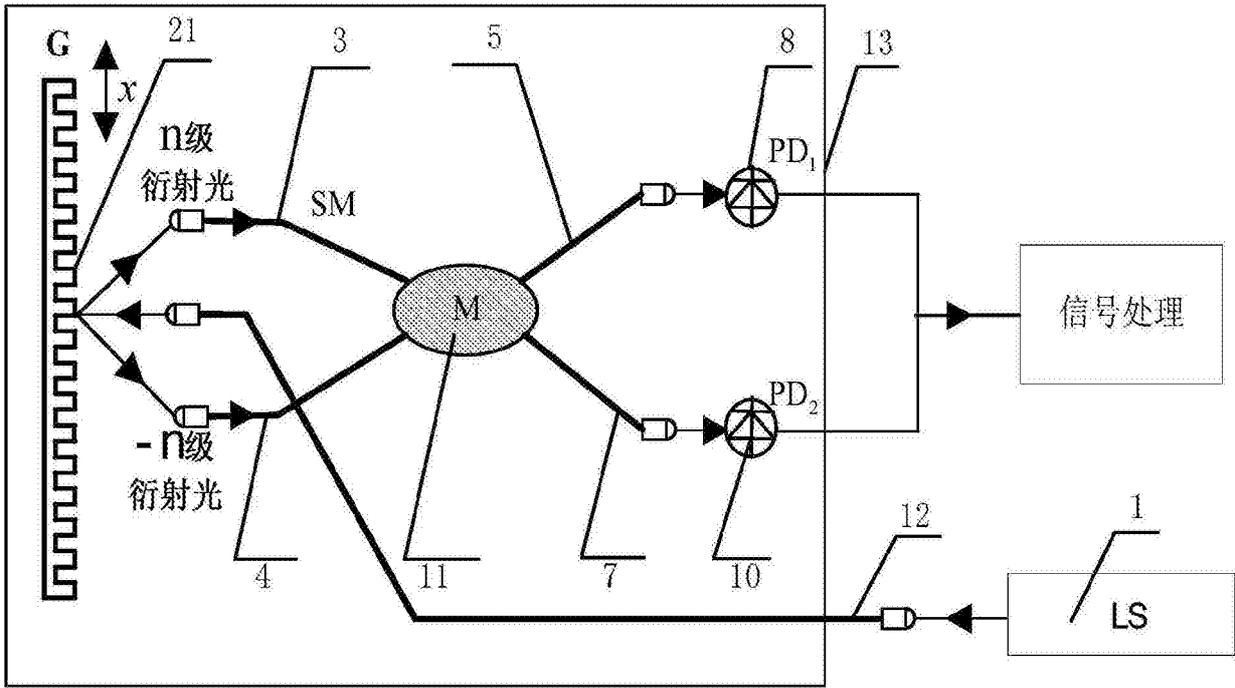


图3

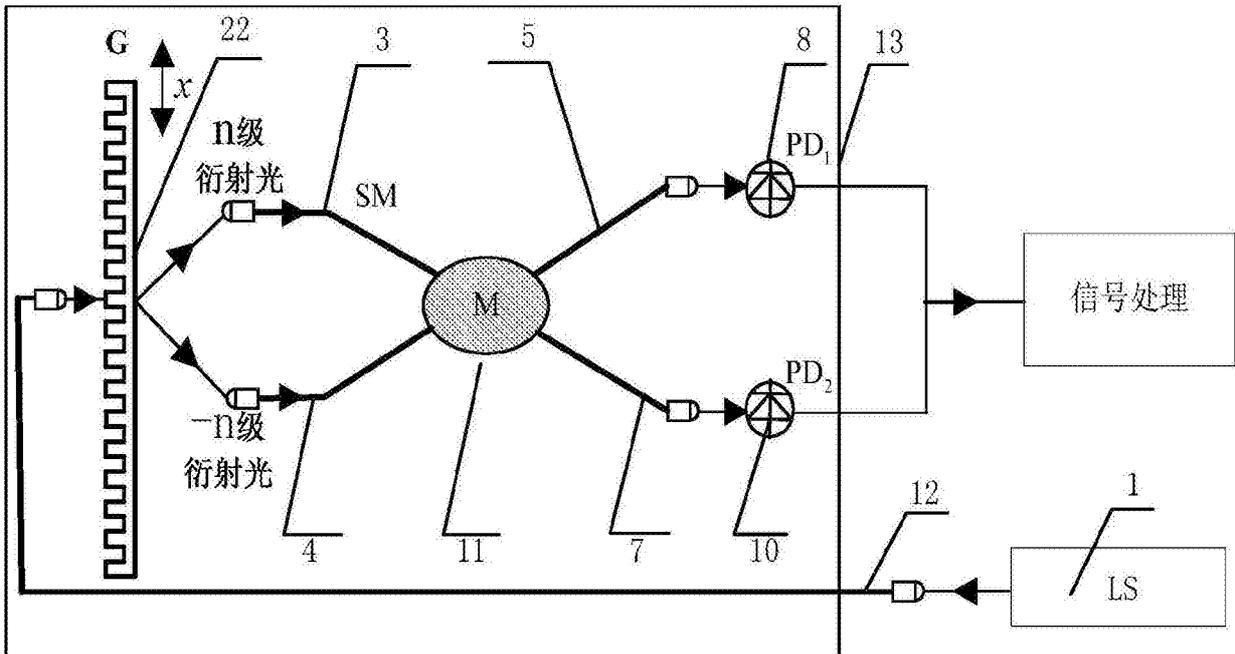


图4

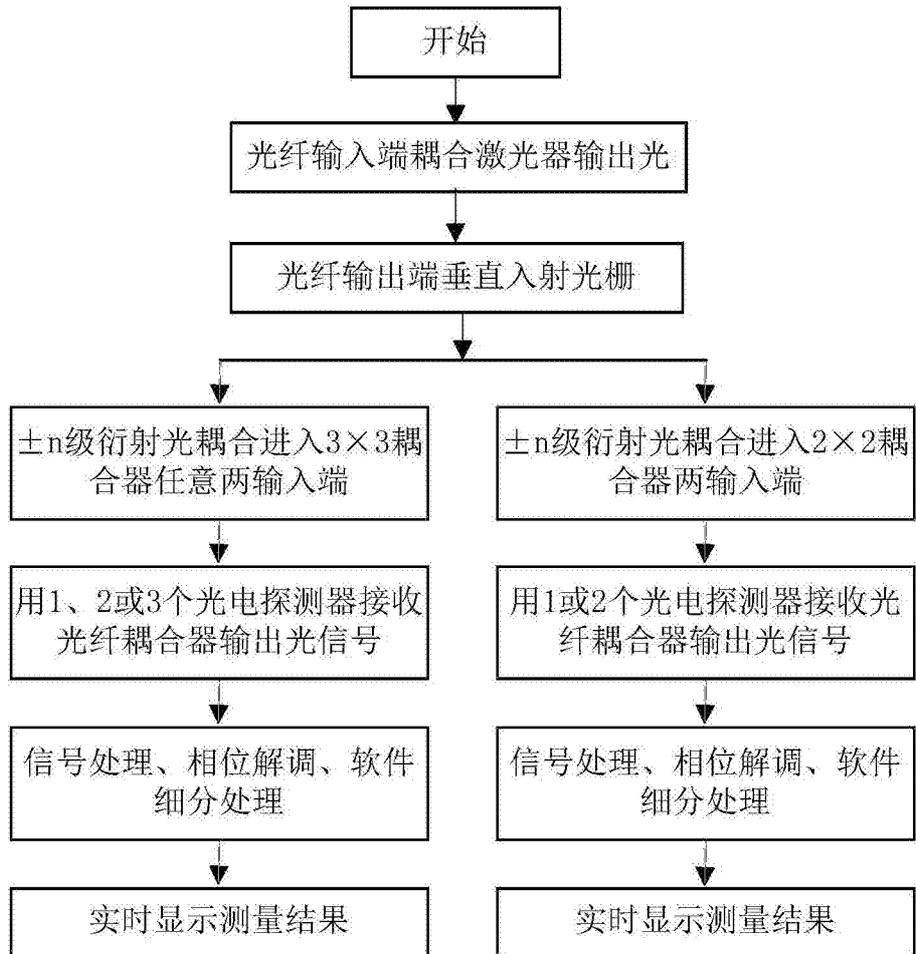


图5