

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 1 月 9 日 (09.01.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/007217 A1

(51) 国际专利分类号:
G01B 11/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/092921

(22) 国际申请日: 2019 年 6 月 26 日 (26.06.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810708633.6 2018年7月2日 (02.07.2018) CN

(71) 申请人: 清华大学(TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。北京华卓精科科技股份有限公司(BEIJING U-PRECISION TECH CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市大兴区

北京经济技术开发区经海四路156号院10号楼4层, Beijing 100176 (CN)。

(72) 发明人: 张鸣(ZHANG, Ming); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。朱煜(ZHU, Yu); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。杨富中(YANG, Fuzhong); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。王磊杰(WANG, Leijie); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。成荣(CHENG, Rong); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。李鑫(LI, Xin); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。叶伟楠(YE, Weinan); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专

(54) Title: FIVE-DEGREE-OF-FREEDOM HETERODYNE GRATING INTERFEROMETRY SYSTEM

(54) 发明名称: 五自由度外差光栅干涉测量系统

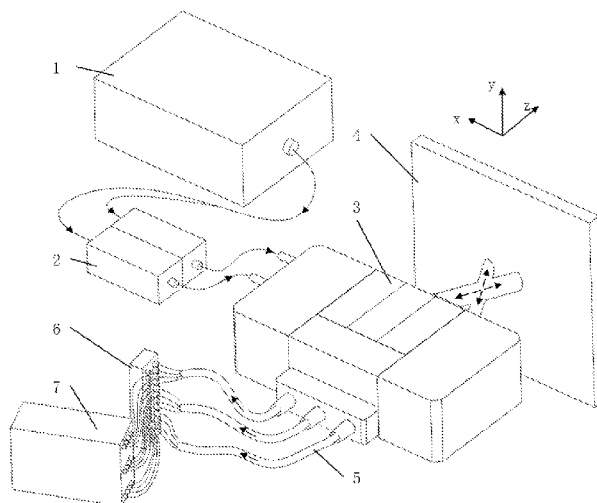


图 1

(57) Abstract: A five-degree-of-freedom heterodyne grating interferometry system comprises: a single-frequency laser (1), used to emit single-frequency laser light, wherein the single-frequency laser light can be split into a reference light beam and a measurement light beam; an interferometer lens set (3) and a measurement grating (4), used to convert the reference light and the measurement light into a reference interference signal and a measurement interference signal; and multiple optical fiber bundles (5), respectively receiving the measurement interference signal and the reference interference signal, wherein each optical fiber bundle (5) has multiple multi-mode optical fibers respectively receiving interference signals at different positions on the same plane. The measurement system is not over-sensitive to the environment, is small and light, and is easy to arrange. Six-degree-of-freedom ultra-precision measurement can be achieved by arranging multiple five-degree-of-freedom interferometry systems and using redundant information, thereby meeting the needs of a lithography machine workpiece table for six-degree-of-freedom position and orientation measurement.

利办公室, Beijing 100084 (CN)。 胡金春 (HU, Jinchun); 中国北京市100084信箱82分箱清华大学专利办公室, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京鸿元知识产权代理有限公司 (GRANDER IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区光华路7号汉威大厦东区18A6室, Beijing 100004 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种五自由度外差光栅干涉测量系统, 包括单频激光器 (1), 用于发出单频激光, 单频激光可分束为一束参考光和一束测量光; 干涉仪镜组 (3) 和测量光栅 (4), 用于将参考光和测量光形成参考干涉信号和测量干涉信号; 多束光纤束 (5), 分别接收测量干涉信号和参考干涉信号, 每束光纤束 (5) 中有多根多模光纤, 分别接收同一平面上不同位置处的干涉信号。该测量系统具有对环境不敏感、体积小、质量轻、便于布置等优点, 采用多个五自由度干涉测量系统布置, 利用冗余信息即可实现六自由度的超精密测量, 适用于光刻机工件台等六自由度位置和姿态测量的需求。

五自由度外差光栅干涉测量系统

技术领域

本发明涉及干涉测量技术领域，更具体地，涉及一种五自由度外差光栅干涉测量系统。

背景技术

干涉测量系统作为一种典型的位移传感器具有对长度的可追溯性、测量精度高、测量范围大、动态测量范围大、易于安装和调试等优点，而被广泛应用于精密和超精密测量领域，常见于精密机械和加工设备中。目前干涉测量系统主要可以分为激光干涉测量系统和光栅干涉测量系统，激光干涉测量系统是基于激光干涉的测量原理，而光栅干涉测量系统基于衍射干涉原理，其测量基准为光栅的栅距，对环境波动的敏感性相对较低，重复测量精度更高。

工业应用中普遍采用的干涉仪只能实现单个方向的位移测量，目前现有的商用干涉仪测量精度通常可以达到纳米量级，实现较高的测量精度，但在实际测量过程中，往往会受到如阿贝误差和余弦误差等几何安装误差的影响，造成测量结果的不准确；且在运动过程中，由于振动等引起的微小转角带来的附加位移无法避免。随着精密机械的不断进步，测量精度、测量距离、测量速度等运动指标的不断提高，如在光刻机超精密工件台的位置测量系统中，多自由度测量的需求逐渐提升。

针对上述问题，通常方法是采用多个单自由度激光测量系统组成分布式的多自由度测量系统，如荷兰 ASML 公司美国专利 US 6020964B2(公开日 2000 年 2 月 1 日)、日本 Nikon 公司美国专利 US 6980279B2(公开日 2005 年 12 月 27 日)、美国 Agilent 公司美国专利 US 7355719B2(公开日 2008 年 4 月 8 日)中均采用类似的六自由度测量系统，即水平方向上布置多轴激光干涉仪，利用 45°反射镜将测量光引入 Z 轴，侧面和 Z 向安装反射镜，利用位移差分计算转角，实现六自由度测量，但分布式的干涉测量系统占用空间大、安装调整

困难，难以满足测量需求。光栅干涉测量系统中，常见的为二自由度测量系统如德国 Heidenhain 公司美国专利 US0058173A1(公开日 2007 年 3 月 15 日)，而无法实现更多自由度的同时测量。其他如 Lee 等基于二自由度光栅干涉测量系统，利用 PSD 和特定光路结构提出的一种简单的六自由度同时测量方法 [C. B. Lee, G. H. Kim, and S. K. Lee, “Design and construction of a single unit multi-function optical encoder for a six-degree-of-freedom motion error measurement in an ultra-precision linear stage”, Meas. Sci. Technol, 2011], 但测量系统的结构较复杂，多自由度的测量依赖于特定的光路结构，测量的一致性和稳定性较差，并且测量精度很大程度上受限于探测器性能，一般转角测量精度只能达到角秒量级，位移测量精度只能达到微米量级，难以满足超精密测量系统的性能要求。

发明内容

考虑到上述技术方案的局限，寻求一种精密五自由度外差光栅干涉测量系统，该测量系统具有光学结构简单紧凑，便于实际安装操作，稳定性及经济性均较好等优点。该光栅干涉测量系统能够实现纳米和亚微弧度的分辨率，且能够同时测量两个直线位移和三个较小行程的旋转。该测量系统能够有效的降低分布式干涉测量系统在超精密工件台应用中的不足，使光刻机超精密工件台性能提升。此外，该光栅干涉测量系统还能应用于精密机床、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等需要大行程直线位移和多自由度测量的场合。

本发明所采用的技术方案为：

一种五自由度外差光栅干涉测量系统，包括：单频激光器 1，用于发出单频激光，所述单频激光可分束为一束参考光和一束测量光；干涉仪镜组 3 和测量光栅 4，用于将所述参考光和测量光形成参考干涉信号和测量干涉信号；多束光纤束 5，分别接收所述测量干涉信号和参考干涉信号，每束光纤束 5 中有多根多模光纤，分别接收同一平面上不同位置处的干涉信号。

进一步的，所述参考干涉信号为一路，所述测量干涉信号为两路；所述两路测量干涉信号和一路参考干涉信号，分别经所述光纤束 5 接收，每束光纤束 5 中有四根多模光纤，分别接收同一平面上不同位置处的干涉信号，每

束多模光纤输出四个光信号，共十二路光信号。

进一步的，所述测量光栅 4 可相对于所述干涉仪镜组 3 做水平向和垂向两个自由度的线性运动，以及三个转角运动。

进一步的，所述干涉仪镜组 3 从一侧到另一侧依次包括：反射镜 35、折光元件 33、1/4 波片 34、分光棱镜 31 和偏振分光棱镜 32，其中，所述分光棱镜 31 位于所述偏振分光棱镜 32 之上。

进一步的，所述参考光经过所述分光棱镜 31 后分为三束，并通过所述偏振分光棱镜 32 反射后作为三路干涉信号的参考光；

所述测量光经过所述分光棱镜 31 后分为三束，其中两束测量光经过所述偏振分光棱镜 32 反射后，依次通过所述 1/4 波片 34、所述折光元件 33 后入射至所述测量光栅 4，经光栅衍射后返回，再次经过所述偏振分光棱镜 32 透射后，与所述三路干涉信号的参考光中的两路干涉，形成两路测量干涉信号；

另一束测量光经过所述偏振分光棱镜 32 反射后，先通过所述 1/4 波片 34，然后经所述反射镜 35 反射后沿原光路返回，再次经过所述 1/4 波片 34、经所述偏振分光棱镜 32 透射后与与所述三路干涉信号的参考光中的另一路干涉，形成一路参考干涉信号。

进一步的，所述干涉仪镜组 3 中各组件之间紧密邻接固定，集成为一体化结构。

进一步的，所述折光元件 33 截面为等腰梯形，所述测量光经梯形两侧透射时发生折射，经梯形顶部透射时发生反射。

进一步的，所述其中两束测量光经所述折光元件 33 后，以特定角度的入射光路至所述测量光栅 4，所述特定角度使得衍射光路与所述入射光路重合，所述衍射光路经过所述折光元件 33 与所述三路干涉信号的参考光中的两路平行干涉，形成两路测量干涉信号。

进一步的，所述干涉测量系统还包括声光调制器 2，所述声光调制器 2 用于对分束后的所述单频激光进行移频。

进一步的，所述干涉测量系统还包括光电转换单元 6 和电子信号处理部件 7，其中：所述光电转换单元 6 用于接收所述多模光纤 5 传输的光信号并转换为电信号，以输入至所述电子信号处理部件 7；

所述电子信号处理部件 7 接收所述电信号，用以解算所述测量光栅 4 的

线性位移和/或转角运动。

与现有技术相比，本发明所提供的五自由度外差光栅干涉测量系统，具有以下优点：

(1) 本发明的测量系统能够实现包括两个平动位移和三个转角在内的五自由度同时测量，极大提高测量效率的同时，环境敏感度低，测量信号易于处理，分辨率与精度可达纳米甚至更高。

(2) 本发明测量系统的体积小，集成度高，有效地提高了空间利用率和整个应用系统的集成度。

(3) 本发明测量系统对比以往的多自由干涉测量系统，在满足测量精度要求的基础上，可有效的避免了单自由度测量时存在的由于干涉仪和运动单元间几何安装误差对测量精度的影响。

附图说明

通过参考以下具体实施方式及权利要求书的内容并且结合附图，本发明的其它目的及结果将更加明白且易于理解。在附图中：

图 1 为本发明所述五自由度外差光栅干涉测量系统的示意图；

图 2 为本发明所述干涉仪镜组的结构示意图；

图 3 为本发明所述光纤束的示意图；

图 4 为本发明图 3 的 A 向示意图。

图中，1—单频激光器，2—声光调制器，3—干涉仪镜组，4—测量光栅，5—光纤束，6—光电转换单元，7—电子信号处理部件；31—分光棱镜，32—偏振分光棱镜，33—折光元件，34—1/4 波片，35—反射镜。

具体实施方式

下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

在本发明的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“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”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

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，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

图 1 为本发明所述五自由度外差光栅干涉测量系统的示意图，如图 1 所示，所述五自由度外差光栅干涉测量系统包括单频激光器 1、声光调制器 2、干涉仪镜组 3、测量光栅 4、光纤束 5、光电转换单元 6 和电子信号处理部件 7。优选地，所述测量光栅 4 为一维反射型光栅。

图 2 为本发明所述干涉仪镜组的结构示意图，如图 2 所示，干涉仪镜组 3 从一侧到另一侧（图 2 中从左侧到右侧，或从靠近测量光栅 4 的一侧到另一侧）依次包括：反射镜 35、折光元件 33、1/4 波片 34、分光棱镜 31 和偏振分光棱镜 32，所述分光棱镜 31 位于所述偏振分光棱镜 32 之上，也就是说，分光棱镜 31 位于干涉仪镜组上层，偏振分光棱镜 32 位于干涉仪镜组下层，折光元件 33 位于干涉仪镜组一侧顶端附近（图 2 中左侧顶端附近），为实现高度一体化集成，优选地将干涉仪镜组 3 中各组件之间紧密邻接固定，集成为一体化结构，更为优选地，各组件之间均采用粘接的方式固定。

图 3 为本发明所述光纤束的截面示意图，图 4 为本发明图 3 的 A 向示意图，如图 3 和 4 所示，每束光纤束 5 包括四根多模光纤。位于同一平面内的不同位置，用于接收不同空间位置处的干涉信号，经光纤传输后产生四个独立的光信号。

结合图 1 和图 2 详细说明光栅干涉测量系统的原理，具体地：

单频激光器 1 出射单频光，经光纤耦合、光线分束器分束后入射至声光调制器 2 移频，并经格林透镜准直后得到两路带有频差的偏振光 s 光，其中一路作为参考光，一路作为测量光。

参考光经过上层分光棱镜 31 两次分光后得到三束激光，向下入射经过偏振分光棱镜反射后作为三路干涉信号的参考光。

测量光经过分光棱镜 31 分光后同样得到三束激光向下入射，其中两路经过偏振分光棱镜 32 反射后，依次通过 1/4 波片 34，折光元件 33 偏转后入射至测量光栅 4，经光栅衍射后， ± 1 级衍射光中包含光栅的转角和位移信息，沿原光路返回，再次经过 1/4 波片 34，偏振分光棱镜 32 透射后与参考光干涉，形成两路测量干涉信号；另一路测量光经过偏振分光棱镜 32 反射，依次通过 1/4 波片 34，反射镜 35 反射后沿原光路返回，再次经过 1/4 波片 34，偏振分光棱镜 32 透射后与参考光干涉，形成参考干涉信号。

优选地，本发明光路采用利特罗式布置，即所述测量光经折光元件 33 后偏转后，测量光以特定角度入射至测量光栅 4，使得衍射光路与入射光路重合，衍射光路经过折光元件 33 形成与参考光平行的测量光，再次通过 1/4 波片 34，偏振分光棱镜 32 透射后与参考光干涉，形成两路测量信号。

所述两路测量干涉信号和一路参考干涉信号，分别经三束光纤束 5 接收，每束光纤束内部含有四根多模光纤，采集同一干涉信号不同空间位置处的光信号，一共有十二根光纤，共形成十二路信号，传输至光电转换单元 6 转换为电信号，并输入至电子信号处理部件 7 进行处理，利用得到的相位信息，基于差分波前原理即可解算出光栅的转角信息，同时实现三个转动角度的测量；根据所得转角对附加位移引起的相位进行补偿，解算二自由度线性运动。所述测量光栅 4 相对于干涉仪镜组 3 做水平向和垂向两个自由度的线性运动，和三个转角运动时，电子信号处理部件 7 将输出二自由度线性位移和转角运动。

五自由度运动解算的表达式为

$$\theta_x = \frac{(\phi_1 + \phi_2 + \phi_5 + \phi_6) - (\phi_3 + \phi_4 + \phi_7 + \phi_8)}{\Gamma_x}$$

$$\theta_y = \frac{(\phi_1 + \phi_3 + \phi_5 + \phi_7) - (\phi_2 + \phi_4 + \phi_6 + \phi_8)}{\Gamma_y}$$

$$\theta_z = \frac{(\phi_1 + \phi_2 + \phi_7 + \phi_8) - (\phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6)}{\Gamma_z}$$

$$x = \left[\frac{(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) - (\phi_5 + \phi_6 + \phi_7 + \phi_8)}{4} + \phi_{x0} \right] \times \frac{p}{4\pi}$$

$$z = \left[\frac{(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) + (\phi_5 + \phi_6 + \phi_7 + \phi_8)}{4} + \phi_{z0} \right] \times \frac{\lambda}{8\pi \cos \theta}$$

式中, $\theta_{x,y,z}$ 为光栅转角, x,z 为光栅位移, $\phi_{1,2,3,4,5,6,7,8}$ 为电子信号处理卡读数, $\Gamma_{x,y,z}$ 为标定常数, $\phi_{x\theta,z\theta}$ 为附加位移补偿相位, p 为光栅的栅距, λ 为激光波长, θ 为利特罗角。

上述实施方式中给出的测量系统及结构方案能够实现三个转动自由度和两个线性自由度的同时测量, 且系统测量光路短, 受环境影响很小, 测量系统采用光纤束可有效的减少系统部件数量, 提高系统的抗干扰能力和系统集成性, 测量信号易于处理, 转角的测量分辨率可达微弧度, 线性位移的测量分辨率可达 nm 级; 同时该光栅干涉仪测量系统还具有结构简单, 体积小, 质量轻, 易于安装和布置, 应用方便等优点。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。该五自由度外差光栅干涉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。采用多个五自由度干涉测量系统布置, 利用冗余信息即可实现六自由度的超精密测量, 适用于光刻机工件台等六自由度位置和姿态测量的需求。

尽管前面公开的内容示出了本发明的示例性实施例, 但是应当注意, 在不背离权利要求限定的范围的前提下, 可以进行多种改变和修改。此外, 尽管本发明的元素可以以个体形式描述或要求, 但是也可以设想具有多个元素, 除非明确限制为单个元素。

权 利 要 求 书

1.一种五自由度外差光栅干涉测量系统，包括：单频激光器（1），用于发出单频激光，所述单频激光分束为一束参考光和一束测量光；干涉仪镜组（3）和测量光栅（4），用于将所述参考光和测量光形成参考干涉信号和测量干涉信号，其特征在于，还包括：多束光纤束（5），分别接收所述测量干涉信号和参考干涉信号，每束光纤束（5）中有多根多模光纤，分别接收同一平面上不同位置处的干涉信号。

2.根据权利要求1所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述参考干涉信号为一路，所述测量干涉信号为两路，所述两路测量干涉信号和一路参考干涉信号分别经所述光纤束（5）接收，每束光纤束（5）中有四根多模光纤，分别接收同一平面上不同位置处的干涉信号，每束多模光纤输出四个光信号，共十二路光信号。

3.根据权利要求1所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述测量光栅（4）相对于所述干涉仪镜组（3）做水平向和垂向两个自由度的线性运动，以及三个转角运动。

4.根据权利要求2所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述测量光栅（4）相对于所述干涉仪镜组（3）做水平向和垂向两个自由度的线性运动，以及三个转角运动。

5.根据权利要求1所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述干涉仪镜组（3）从一侧到另一侧依次包括：反射镜（35）、折光元件（33）、1/4 波片（34）、分光棱镜（31）和偏振分光棱镜（32），其中，所述分光棱镜（31）位于所述偏振分光棱镜（32）之上。

6.根据权利要求5所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述参考光经过所述分光棱镜（31）后分为三束，并通过所述偏振分光棱镜（32）反射后作为三路干涉信号的参考光；

所述测量光经过所述分光棱镜（31）后分为三束，其中两束测量光经过所述偏振分光棱镜（32）反射后，依次通过所述 1/4 波片（34）、所述折光元件（33）后入射至所述测量光栅（4），经光栅衍射后返回，再次经过所述偏振分光棱镜（32）透射后，与所述三路干涉信号的参考光中的两路干涉，形成两路测量干涉信号；

另一束测量光经过所述偏振分光棱镜（32）反射后，先通过所述 1/4 波片（34），然后经所述反射镜（35）反射后沿原光路返回，再次经过所述 1/4 波片（34）、经所述偏振分光棱镜（32）透射后与所述三路干涉信号的参考光中的另一路干涉，形成一路参考干涉信号。

7.根据权利要求5所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述干涉仪镜组（3）中各组件之间邻接固定，集成一体化结构。

8.根据权利要求5所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述折光元件

(33) 截面为等腰梯形，所述测量光经梯形两侧透射时发生折射，经梯形顶部透射时发生反射。

9.根据权利要求 6 所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述其中两束测量光经所述折光元件(33)后，以特定角度的入射光路至所述测量光栅(4)，所述特定角度使得衍射光路与所述入射光路重合，所述衍射光路经过所述折光元件(33)与所述三路干涉信号的参考光中的两路平行干涉，形成两路测量干涉信号。

10.根据权利要求 1 所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述干涉测量系统还包括声光调制器(2)，用于对分束后的所述单频激光进行移频。

11.根据权利要求 2 所述的光栅干涉测量系统，其特征在于，所述干涉测量系统还包括光电转换单元(6)和电子信号处理部件(7)，其中：

所述光电转换单元(6)用于接收所述光纤束(5)传输的光信号并转换为电信号，以输入至所述电子信号处理部件(7)；

所述电子信号处理部件(7)接收所述电信号，用以解算所述测量光栅(4)的线性位移和/或转角运动。

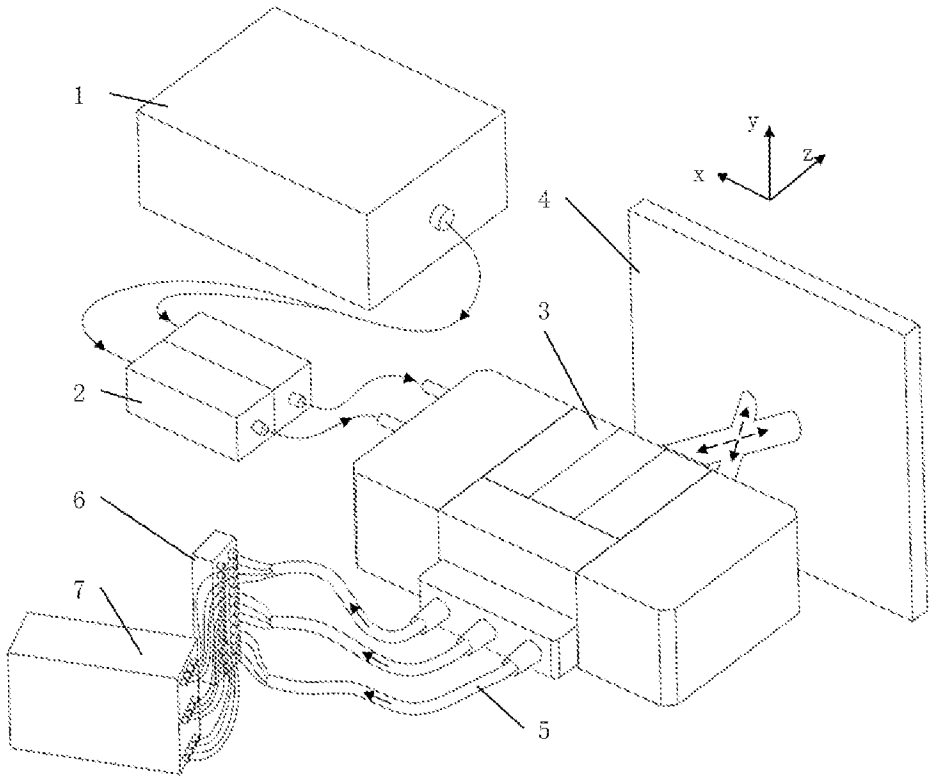


图 1

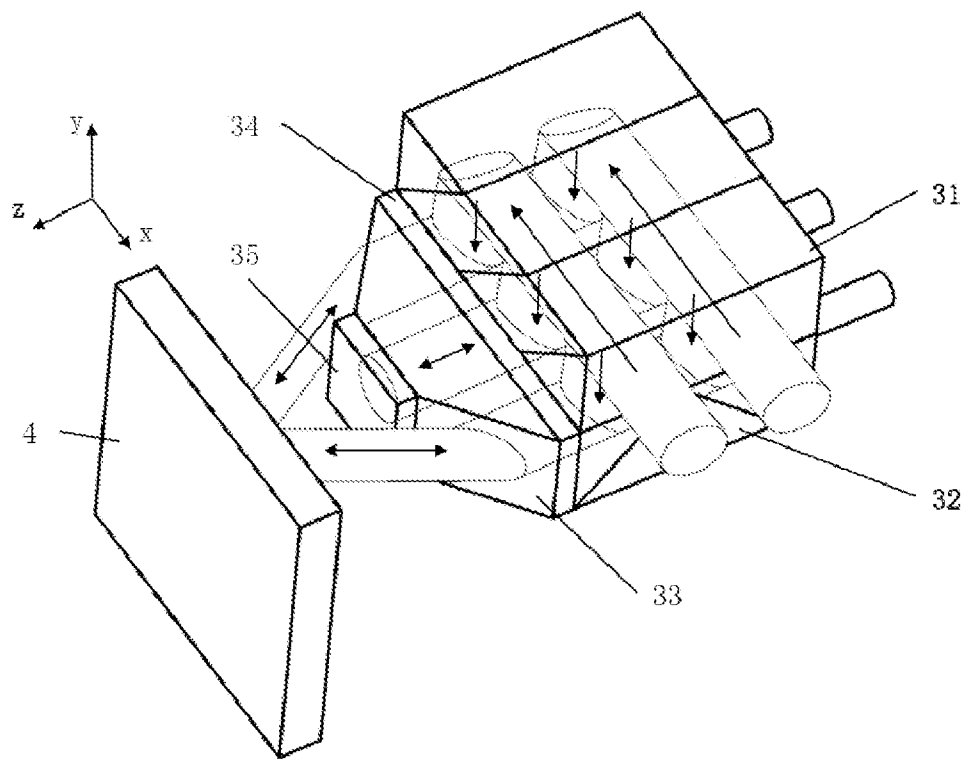


图 2

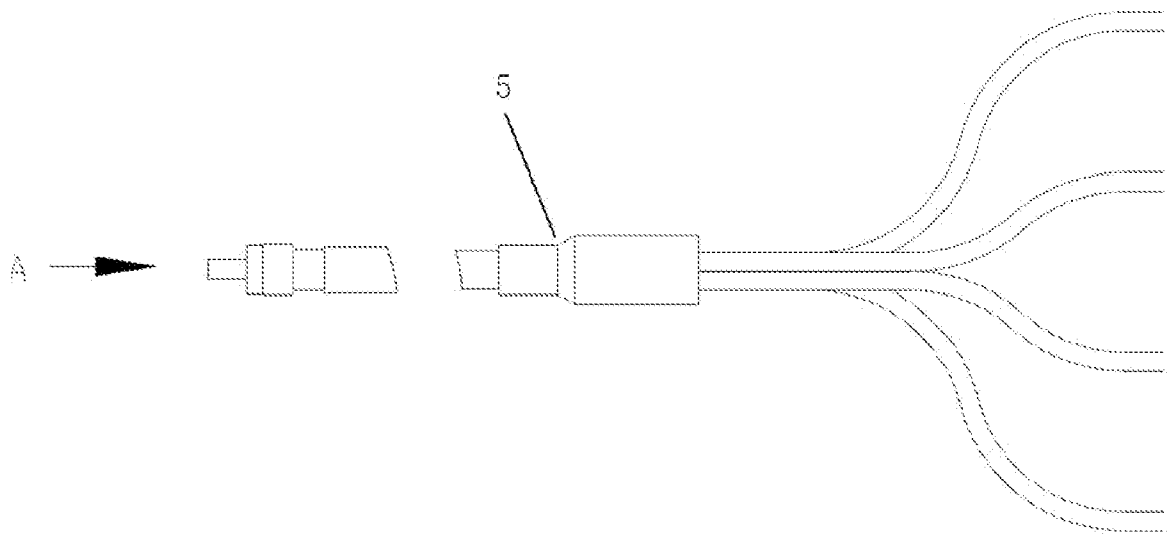


图 3

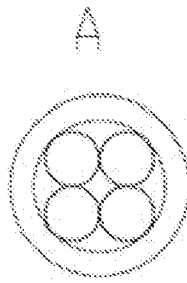


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/092921

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNKI, VEN, CNTXT: 五自由度, 外差, 光栅, 干涉, 激光器, 参考, 测量, 多模, 光纤, 信号, 线性, 转角, 镜, 分光, 反射, 衍射, 透射, degree, freedom, grat+, interferenc+, heterodyne, laser, reference, measur+, multimode, fiber, fibre, signal, lineal, angle, corner, lens+, mirror, prism, spectrum, splitter, spectroscopy, reflect+, transmi+, diffract+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 108627099 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 09 October 2018 (2018-10-09) claims 1-10, description, paragraphs 0005-0049, and figures 1-4	1-11
Y	CN 207487599 U (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 12 June 2018 (2018-06-12) description, paragraphs 0015-0039; and figures 1-8	1-4, 10, 11
Y	CN 106813578 A (SHANGHAI MICRO ELECTRONICS EQUIPMENT CO., LTD.) 09 June 2017 (2017-06-09) description, paragraphs 0007-0026; and figures 1-4	1-4, 10, 11
A	CN 108106536 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 01 June 2018 (2018-06-01) entire document	1-11
A	CN 106091940 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-11
A	CN 103630077 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 12 March 2014 (2014-03-12) entire document	1-11
A	CN 103673899 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 26 March 2014 (2014-03-26) entire document	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 September 2019

Date of mailing of the international search report

08 October 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/092921

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103759657 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 30 April 2014 (2014-04-30) entire document	1-11
A	CN 103759656 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 30 April 2014 (2014-04-30) entire document	1-11
A	CN 106152974 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 23 November 2016 (2016-11-23) entire document	1-11
A	CN 106017308 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 12 October 2016 (2016-10-12) entire document	1-11
A	US 6020964 A (ASM LITHOGRAPHY BV) 01 February 2000 (2000-02-01) entire document	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/092921

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108627099	A	09 October 2018	None			
CN	207487599	U	12 June 2018	None			
CN	106813578	A	09 June 2017	CN	106813578	B	22 February 2019
CN	108106536	A	01 June 2018	None			
CN	106091940	A	09 November 2016	None			
CN	103630077	A	12 March 2014	CN	103630077	B	11 May 2016
CN	103673899	A	26 March 2014	CN	103673899	B	17 February 2016
CN	103759657	A	30 April 2014	CN	103759657	B	08 February 2017
CN	103759656	A	30 April 2014	CN	103759656	B	18 January 2017
CN	106152974	A	23 November 2016	None			
CN	106017308	A	12 October 2016	CN	106017308	B	04 January 2019
US	6020964	A	01 February 2000	WO	9928790	A1	10 June 1999
				KR	100542832	B1	11 January 2006
				EP	1347336	A1	24 September 2003
				EP	0956518	B1	02 January 2004
				TW	380202	B	21 January 2000
				JP	2001510577	A	31 July 2001
				DE	69820856	D1	05 February 2004
				EP	0956518	A1	17 November 1999
				DE	69820856	T2	30 December 2004
				KR	20000070669	A	25 November 2000
				JP	4216348	B2	28 January 2009

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/092921

A. 主题的分类 G01B 11/02 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G01B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS, CNKI, VEN, CNTXT: 五自由度, 外差, 光栅, 干涉, 激光器, 参考, 测量, 多模, 光纤, 信号, 线性, 转角, 镜, 分光, 反射, 衍射, 透射, degree, freedom, grat+, interferenc+, heterodyne, laser, reference, measur+, multimode, fiber, fibre, signal, lineal, angle, corner, lens+, mirror, prism, spectrum, splitter, spectroscope, reflect+, transmi+, diffract+																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 108627099 A (清华大学等) 2018年 10月 9日 (2018 - 10 - 09) 权利要求1-10, 说明书第0005-0049段; 图1-4</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 207487599 U (清华大学等) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 说明书第0015-0039段; 图1-8</td> <td>1-4, 10-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106813578 A (上海微电子装备有限公司) 2017年 6月 9日 (2017 - 06 - 09) 说明书第0007-0026段; 图1-4</td> <td>1-4, 10-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108106536 A (清华大学等) 2018年 6月 1日 (2018 - 06 - 01) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106091940 A (哈尔滨工业大学) 2016年 11月 9日 (2016 - 11 - 09) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103630077 A (哈尔滨工业大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103673899 A (哈尔滨工业大学) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 108627099 A (清华大学等) 2018年 10月 9日 (2018 - 10 - 09) 权利要求1-10, 说明书第0005-0049段; 图1-4	1-11	Y	CN 207487599 U (清华大学等) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 说明书第0015-0039段; 图1-8	1-4, 10-11	Y	CN 106813578 A (上海微电子装备有限公司) 2017年 6月 9日 (2017 - 06 - 09) 说明书第0007-0026段; 图1-4	1-4, 10-11	A	CN 108106536 A (清华大学等) 2018年 6月 1日 (2018 - 06 - 01) 全文	1-11	A	CN 106091940 A (哈尔滨工业大学) 2016年 11月 9日 (2016 - 11 - 09) 全文	1-11	A	CN 103630077 A (哈尔滨工业大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-11	A	CN 103673899 A (哈尔滨工业大学) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-11
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 108627099 A (清华大学等) 2018年 10月 9日 (2018 - 10 - 09) 权利要求1-10, 说明书第0005-0049段; 图1-4	1-11																								
Y	CN 207487599 U (清华大学等) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 说明书第0015-0039段; 图1-8	1-4, 10-11																								
Y	CN 106813578 A (上海微电子装备有限公司) 2017年 6月 9日 (2017 - 06 - 09) 说明书第0007-0026段; 图1-4	1-4, 10-11																								
A	CN 108106536 A (清华大学等) 2018年 6月 1日 (2018 - 06 - 01) 全文	1-11																								
A	CN 106091940 A (哈尔滨工业大学) 2016年 11月 9日 (2016 - 11 - 09) 全文	1-11																								
A	CN 103630077 A (哈尔滨工业大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-11																								
A	CN 103673899 A (哈尔滨工业大学) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-11																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																										
国际检索实际完成的日期 2019年 9月 24日		国际检索报告邮寄日期 2019年 10月 8日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 潘景良 电话号码 8601062089969																								

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103759657 A (清华大学等) 2014年 4月 30日 (2014 - 04 - 30) 全文	1-11
A	CN 103759656 A (清华大学等) 2014年 4月 30日 (2014 - 04 - 30) 全文	1-11
A	CN 106152974 A (哈尔滨工业大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 全文	1-11
A	CN 106017308 A (清华大学等) 2016年 10月 12日 (2016 - 10 - 12) 全文	1-11
A	US 6020964 A (ASM LITHOGRAPHY BV) 2000年 2月 1日 (2000 - 02 - 01) 全文	1-11

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/092921

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	108627099	A	2018年 10月 9日	无	
CN	207487599	U	2018年 6月 12日	无	
CN	106813578	A	2017年 6月 9日	CN 106813578	B 2019年 2月 22日
CN	108106536	A	2018年 6月 1日	无	
CN	106091940	A	2016年 11月 9日	无	
CN	103630077	A	2014年 3月 12日	CN 103630077	B 2016年 5月 11日
CN	103673899	A	2014年 3月 26日	CN 103673899	B 2016年 2月 17日
CN	103759657	A	2014年 4月 30日	CN 103759657	B 2017年 2月 8日
CN	103759656	A	2014年 4月 30日	CN 103759656	B 2017年 1月 18日
CN	106152974	A	2016年 11月 23日	无	
CN	106017308	A	2016年 10月 12日	CN 106017308	B 2019年 1月 4日
US	6020964	A	2000年 2月 1日	WO 9928790	A1 1999年 6月 10日
				KR 100542832	B1 2006年 1月 11日
				EP 1347336	A1 2003年 9月 24日
				EP 0956518	B1 2004年 1月 2日
				TW 380202	B 2000年 1月 21日
				JP 2001510577	A 2001年 7月 31日
				DE 69820856	D1 2004年 2月 5日
				EP 0956518	A1 1999年 11月 17日
				DE 69820856	T2 2004年 12月 30日
				KR 20000070669	A 2000年 11月 25日
				JP 4216348	B2 2009年 1月 28日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)