(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
2022 年 1 月 6 日 (06.01.2022)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2022/002182 A1

(51) 国际专利分类号:
G03F 7/20 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/103935

(22) 国际申请日: 2021 年 7 月 1 日 (01.07.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010636098.5 2020年7月3日 (03.07.2020) 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: 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)。 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)。 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)。 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)。 杨月舳 (YANG, Yuezhu); 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)。 杨开明 (YANG,

WO 2022/002182 A1

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR REGULATING AND CONTROLLING INCIDENT ANGLE OF LIGHT BEAM IN LASER INTERFERENCE LITHOGRAPHY

(54) **发明名称:** 激光干涉光刻中光束入射角的调控装置及方法

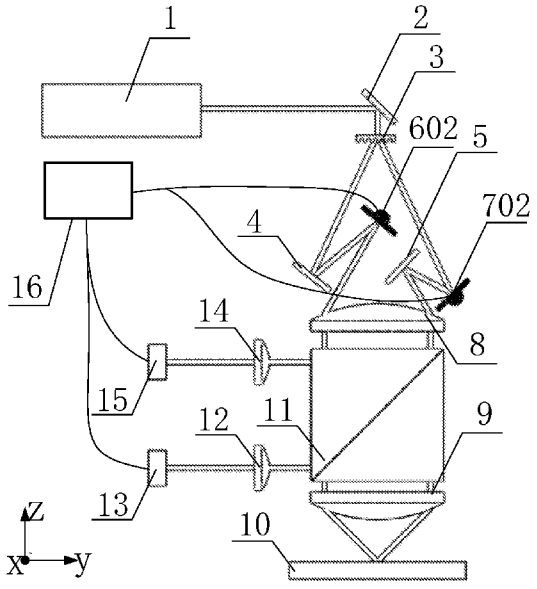

图 3

(57) **Abstract:** A device and method for regulating and controlling an incident angle of a light beam in laser interference lithography. The device comprises: a beam splitter prism (11), a first decoupling lens (12), a first position detector (13) and a feedback control system (16), wherein the beam splitter prism (11) is located between a first lens (8) and a second lens (9); the first decoupling lens (12) is located between the first position detector (13) and the beam splitter prism (11); the feedback control system (16) is connected to the

[见续页]

Kaiming)；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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))。

first position detector (13) and a first universal reflecting mirror (602); the beam splitter prism (11) is used for reflecting first incident light that passes through the first universal reflecting mirror (602); the first decoupling lens (12) is used for enabling first reflected light of the beam splitter prism (11) to be incident to the first position detector (13); the first position detector (13) is used for measuring the position of a light beam and transmitting a measurement result to the feedback control system (16); and the feedback control system (16) is used for outputting a control instruction according to the measurement result, and for adjusting a mirror base of the first universal reflecting mirror (602), thereby regulating and controlling an incident angle of an exposure light beam. The incident angle of a light beam can thus be accurately regulated and controlled.

(57) 摘要：一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置及方法，装置包括：分光棱镜（11）、第一解耦透镜（12）、第一位置检测器（13）和反馈控制系统（16），其中，分光棱镜（11）位于第一透镜（8）和第二透镜（9）之间；第一解耦透镜（12）位于第一位置检测器（13）与分光棱镜（11）之间，反馈控制系统（16）与第一位置检测器（13）和第一万向反射镜（602）连接；分光棱镜（11）用于对经第一万向反射镜（602）的第一入射光进行反射，第一解耦透镜（12）用于将分光棱镜（11）的第一反射光入射至第一位置检测器（13），第一位置检测器（13）用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统（16），反馈控制系统（16）根据测量结果输出控制指令，调整第一万向反射镜（602）的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。可以对光束入射角度进行精确调控。

激光干涉光刻中光束入射角的调控装置及方法

本申请要求于2020年7月3日提交中国专利局、申请号为2020106360985，发明名称为“激光干涉光刻中光束入射角的调控装置及方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明属于光刻技术领域，具体地，涉及一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置及方法。

背景技术

激光干涉光刻技术为利用光的干涉和衍射特性通过光束组合的方式控制干涉图形，在微电子、亚波长光栅、微透镜阵列、及纳米图形制造等领域有着广阔的应用前景。干涉光栅图形周期截距由曝光光路入射角直接决定，在制作变周期光栅的双光束激光扫描干涉光刻中，对曝光光路入射角的精密测量及调控尤为重要。

公开号为 US6,882,477B1 的美国专利公开了一种在激光干涉光刻系统中对曝光光束入射角度的测量及调控方案，该方案为通过两个位置敏感探测器的八个信号源解算出单束曝光光路在曝光基底的光斑位置及入射角度，每个光路依次经过两个两轴驱动反射镜反射后入射至基底，通过四个驱动调整可以控制光路包括位置和角度的四个自由度。虽然利用该装置可对曝光光路的位姿进行精确的测量及调控，但其装置结构较为复杂，需通过两个驱动反射镜进行调整，且光路结构无法应用至用于制作变周期光栅的激光干涉光刻系统中。

发明内容

鉴于以上问题，本发明的目的是提供一种激光干涉光刻中光束入射角度

的调控装置及方法，以实现在变周期光栅干涉光刻系统中对曝光光路入射角度的精确测量及调控。

为了实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

本发明的一个方面是提供一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，应用于激光干涉光刻系统中，所述激光干涉光刻系统包括基底，相对设置的第一透镜和第二透镜，以及位于所述第一透镜焦点处的第一万向反射镜，

所述调控装置包括：分光棱镜、第一解耦透镜、第一位置检测器和反馈控制系统，

其中，所述分光棱镜位于所述第一透镜和所述第二透镜之间；所述第一解耦透镜位于所述第一位置检测器与所述分光棱镜之间，所述反馈控制系统与所述第一位置检测器和所述第一万向反射镜连接；

所述分光棱镜用于对经第一万向反射镜的第一入射光进行反射，所述第一解耦透镜用于将所述分光棱镜的第一反射光入射至所述第一位置检测器，所述第一位置检测器用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至所述反馈控制系统，所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控，

其中，在基底的干涉条纹的偏转量为θ_e时，第一位置检测器对光束位置的测量结果为：

$$\Delta Lx = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}(1 - cos\theta_e)$$

$$\Delta Ly = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}sin\theta_e$$

其中，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

可选地，所述激光干涉光刻系统还包括位于第一透镜焦点处的第二万向反射镜，所述调控装置还包括：第二解耦透镜和第二位置检测器，其中，所述第二解耦透镜位于所述第二位置检测器与所述分光棱镜之间，所述反馈控

制系统还与所述第二位置检测器和所述第二万向反射镜连接，所述分光棱镜还用于对经所述第二万向反射镜的第二入射光进行反射，所述第二解耦透镜用于将所述分光棱镜的第二反射光入射至所述第二位置检测器，所述第二位置检测器用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至所述反馈控制系统，所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第二万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

可选地，所述反馈控制系统包括：信号接收器、驱动器和相位卡，所述信号接收器用于接收所述第一位置检测器的测量结果，所述相位卡用于对所述测量结果进行解算，所述驱动器用于根据解算结果发出控制指令驱动所述第一万向反射镜的镜座运动。

可选地，根据测量结果对所述第一万向反射镜的镜座的调节量为：

$$\Delta\theta_x = arctan\left(\frac{f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_t}\right)\right) - \Delta Lx}{f_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_t}\right)$$

$$\Delta\theta_y = arctan\left(\frac{\Delta Ly}{f_1}\right)$$

其中，$\Delta\theta_x$表示 x 方向的调节量，$\Delta\theta_y$表示 y 方向的调节量，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_1表示第一透镜的焦距，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

可选地，在基底的干涉条纹的目标周期截距为P_1时，第一位置检测器的测量结果为：

$$\Delta L = f_2 tan\left(\arcsin\left(\frac{\lambda}{P_1}\right)\right) - f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{P_0}\right)\right)$$

其中，ΔL表示光束的偏移量，P_1表示目标周期截距，P_0表示初始周期截距，f_2表示第二透镜的焦距，λ表示激光波长。

可选地，根据测量结果对所述第一万向反射镜的镜座的调节量为：

$$\Delta\theta_x = arctan\left(\frac{f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_1}\right)\right) - \Delta L}{f_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_1}\right)$$

其中，$\Delta\theta_x$表示镜座 x 方向的调节量，f_1表示第一透镜的焦距，f_2表示第二透镜的焦距，P_1表示目标周期截距，ΔL表示光束的偏移量，λ表示激光波长。

本发明还提供一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控方法，包括以下步骤：

通过分光棱镜对经第一万向反射镜的第一入射光进行反射；

通过第一解耦透镜将所述分光棱镜的第一反射光入射至第一位置检测器；

通过所述第一位置检测器对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统；

通过所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控，

其中，在基底的干涉条纹的偏转量为θ_e时，第一位置检测器对光束位置的测量结果为：

$$\Delta Lx = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}(1 - cos\theta_e)$$

$$\Delta Ly = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}} sin\theta_e$$

其中，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

可选地，所述方法还包括：

通过分光棱镜对经第二万向反射镜的第二入射光进行反射；

通过第二解耦透镜将所述分光棱镜的第二反射光入射至第二位置检测器；

通过所述第二位置检测器对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统；

通过所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第二万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

可选地，通过所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜的镜座的步骤包括：

通过信号接收器接收第一位置检测器的测量结果，通过相位卡对所述测量结果进行解算，通过驱动器根据解算结果发出控制指令，驱动第一万向反射镜的镜座运动。

与现有技术相比，本发明具有以下优点和有益效果：

本发明根据第一位置检测器的测量结果解算并发出控制指令调控第一万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行精密调控，使得可以在基底产生干涉曝光并形成理想的干涉图形。

并且，本发明可实现在变周期光栅干涉光刻系统中对曝光光路入射角度的精确调控。

附图说明

图 1a 为标准入射角下双光束干涉理想图形的示意图；

图 1b 为入射角存在绕 x 轴角度偏差、条纹截距偏离理想值的图形示意图；

图 1c 为入射角存在绕 y 轴角度偏差、条纹方向偏离理想方向的图形示意图；

图 2 为常规激光干涉光刻系统的示意图；

图 3 为本发明中激光干涉光刻系统的示意图；

图 4 为本发明在激光干涉光刻系统中对曝光光束入射角度的调控原理图。

图中：1-激光器，2-第一反射镜，3-光栅分束器，4-第二反射镜，5-第三反射镜，601-第四反射镜，602-第一万向反射镜，701-第五反射镜，702-第二万向反射镜，8-第一透镜，9-第二透镜，10-基底，11-分光棱镜，12-第一解耦透镜，13-第一位置检测器，14-第二解耦透镜，15-第二位置检测器，16-反馈控制系统。

具体实施方式

下面将参考附图来描述本发明所述的实施例。本领域的普通技术人员可以认识到，在不偏离本发明的精神和范围的情况下，可以用各种不同的方式或其组合对所描述的实施例进行修正。因此，附图和描述在本质上是说明性的，而不是用于限制权利要求的保护范围。此外，在本说明书中，附图未按比例画出，并且相同的附图标记表示相同的部分。

在本发明中，对光束入射角的调控装置应用于激光干涉光刻系统。图 2 为常规激光干涉光刻系统的示意图，如图 2 所示，所述激光干涉光刻系统包括：激光器 1、第一反射镜 2、光栅分束器 3、第二反射镜 4、第三反射镜 5、第四反射镜 601、第五反射镜 701、第一透镜 8、第二透镜 9、基底 10，其中，激光器 1 出射光源经第一反射镜 2 入射至光栅分束器 3 后分为两束曝光光路，第一条曝光光路依次经过第二反射镜 4、第四反射镜 601、第一透镜 8、第二透镜 9 后入射至基底 10 形成第一条入射光，第二条曝光光路依次经过第五反射镜 701、第三反射镜 5、第一透镜 8、第二透镜 9 后入射至基底 10 形成第二条入射光。图 2 中显示的激光干涉光刻系统未与入射角调控装置结合，无法对曝光光路入射角度进行精确测量和调控。

本发明中，对常规的激光干涉光刻系统进行改进，所述激光干涉光刻系统至少包括基底 10，相对设置的第一透镜 8 和第二透镜 9，以及位于所述第一透镜 8 焦点处的第一万向反射镜 602。图 3 为本发明中激光干涉光刻系统的示意图，如图 3 所示，所述激光干涉光刻系统包括：激光器 1、第一反射镜 2、光栅分束器 3、第二反射镜 4、第三反射镜 5、第一万向反射镜 602、第二万向反射镜 702、第一透镜 8、第二透镜 9、基底 10，其中，第一万向反射镜 602 和第二万向反射镜 702 位于第一透镜 8 的焦点处，基底 10 位于第二透镜 9 的焦点处，激光器 1 出射光源经第一反射镜 2 入射至光栅分束器 3 后分为两束曝光光路，第一条曝光光路依次经过第二反射镜 4、第一万向反射镜 602、第一透镜 8、第二透镜 9 后入射至基底 10 形成第一条入射光，第二条曝光光路依次经过第二万向反射镜 702、第三反射镜 5、第一透镜 8、第二透镜 9 后入射至基底 10 形成第二条入射光，曝光点位于第二透镜 9 的焦点处。其中，第

一万向反射镜 602 和第二万向反射镜 702 分别安装在各自的镜座上，通过调整镜座的角度就可以调整经第一万向反射镜 602 和第二万向反射镜 702 的光路位置，从而可以调整在基底 10 形成的干涉条纹的图形。

图 3 中还示出了本发明中对光束入射角的调控装置，与激光干涉光刻系统相结合。其中，调控装置包括：分光棱镜 11、第一解耦透镜 12、第一位置检测器 13（PSD，Position Sensitive Detector）和反馈控制系统 16，其中，所述分光棱镜 11 位于所述第一透镜 8 和所述第二透镜 9 之间；所述第一解耦透镜 12 位于所述第一位置检测器 13 与所述分光棱镜 11 之间，所述反馈控制系统 16 与所述第一位置检测器 13 和所述第一万向反射镜 602 连接；所述分光棱镜 11 用于对经第一万向反射镜 602 的第一入射光进行反射，所述第一解耦透镜 12 用于将所述分光棱镜 11 的第一反射光入射至所述第一位置检测器 13，所述第一位置检测器 13 用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至所述反馈控制系统 16，所述反馈控制系统 16 根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜 602 的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。其中，第一条曝光光路依次经过第二反射镜 4、第一万向反射镜 602、第一透镜 8、分光棱镜 11、第二透镜 9 后入射至基底 10 形成第一条入射光，在经过分光棱镜 11 时，通过分光棱镜 11 将光束反射至第一解耦透镜 12，经第一位置检测器 13 反馈至反馈控制系统 16。

本发明根据第一位置检测器 13 的测量结果解算并发出控制指令调控第一万向反射镜 602 的镜座，使得可以在基底 10 产生干涉曝光并形成理想的干涉图形。

本发明的一个实施例中，所述调控装置还包括：第二解耦透镜 14 和第二位置检测器 15，其中，所述第二解耦透镜 14 位于所述第二位置检测器 15 与所述分光棱镜 11 之间，所述反馈控制系统 16 还与所述第二位置检测器 15 和所述第二万向反射镜 702 连接，所述分光棱镜 11 还用于对经所述第二万向反射镜 702 的第二入射光进行反射，所述第二解耦透镜 14 用于将所述分光棱镜 11 的第二反射光入射至所述第二位置检测器 15，所述第二位置检测器 15 用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至所述反馈控制系统 16，所述反

馈控制系统 16 根据测量结果输出控制指令，调整所述第二万向反射镜 702 的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

在一个实施例中，第一透镜 8 和第二透镜 9 均是凸透镜。第一解耦透镜 12、第二解耦透镜 14 均是凸透镜。

在一个实施例中，所述反馈控制系统 16 包括：信号接收器、驱动器和相位卡，所述信号接收器用于接收所述第一位置检测器 13 或第二位置检测器 15 的测量结果，所述相位卡用于对所述测量结果进行解算，所述驱动器用于根据解算结果发出控制指令驱动所述第一万向反射镜 602 或第二万向反射镜 702 的镜座运动。

需要说明的是，本发明中，第一位置检测器 13 与第二位置检测器 15 对光束位置的测量方法相同，反馈控制系统 16 对测量结果的解算方式也相同。

下面以单光束为例，进一步说明本发明实施例。

图 4 为本发明在激光干涉光刻系统中对曝光光束入射角度的调控原理图，如图 4 所示，以第一条曝光光路的调整为例进行说明，第一万向反射镜 602 位于第一透镜 8 的焦点处，基底 10 位于第二透镜 9 的焦点处，从而使对曝光光束入射角的测量与调控转换为对第一透镜 8 与第二透镜 9 之间光路位置的测量调控。其中，图 4 中左下方为干涉条纹的坐标系，左上方为对第一万向反射镜 602 的镜座调节的坐标系。

图 1a 为标准入射角下双光束干涉理想图形的示意图，图 1c 为入射角存在绕 y 轴角度偏差、条纹方向偏离理想方向的图形示意图，如图 1a 和图 1c 所示，在基底 10 的干涉条纹的偏转量为θ_e时，第一位置检测器 13 对光束位置的测量结果为：

$$\Delta Lx = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}(1 - cos\theta_e)$$

$$\Delta Ly = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}sin\theta_e$$

其中，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，

f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

进一步地，根据测量结果对所述第一万向反射镜 602 的镜座的调节量为：

$$\Delta\theta_x = arctan\left(\frac{f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_t}\right)\right) - \Delta Lx}{f_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_t}\right)$$

$$\Delta\theta_y = arctan\left(\frac{\Delta Ly}{f_1}\right)$$

其中，$\Delta\theta_x$表示 x 方向的调节量，$\Delta\theta_y$表示 y 方向的调节量，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_1表示第一透镜的焦距，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

通过调整第一万向反射镜 602 的镜座可以使得干涉条纹的方向与理想中干涉条纹的方向相同。

在制作渐变周期光栅的双光束激光干涉光刻系统中，曝光光束入射方向的偏差会造成干涉图形偏离理想图形。图 1a 为标准入射角下双光束干涉理想图形的示意图，图 1b 为入射角存在绕 x 轴角度偏差、条纹截距偏离理想值的图形示意图，如图 1a 和图 1b 所示，在基底 10 形成的干涉条纹的周期截距偏离理想状态下的周期截距。在一个实施例中，在基底 10 的干涉条纹的目标周期截距为P_1（理想周期截距）时，第一位置检测器 13 的测量结果为：

$$\Delta L = f_2 tan\left(\arcsin\left(\frac{\lambda}{P_1}\right)\right) - f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{P_0}\right)\right)$$

其中，ΔL表示光束的偏移量，P_1表示目标周期截距，P_0表示初始周期截距（实际形成的偏离理想状态的周期截距），f_2表示第二透镜的焦距，λ表示激光波长。

进一步地，根据测量结果对所述第一万向反射镜 602 的镜座的调节量为：

$$\Delta\theta_x = arctan\left(\frac{f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_1}\right)\right) - \Delta L}{f_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_1}\right)$$

其中，$\Delta\theta_x$表示镜座 x 方向的调节量，f_1表示第一透镜的焦距，f_2表示第二透镜的焦距，P_1表示目标周期截距，ΔL表示光束的偏移量，λ表示激光波长。

需要说明的是，第一位置检测器 13 的测量结果公式以及对第一万向反射镜 602 的镜座的调节量计算公式中，采用的各个变量均是矢量表示，条纹偏转方向以及对镜座的调节方向均包含在内，以便于根据条纹偏转方向准确调节镜座。

需要说明的是，当采用多光束进行干涉时，第二位置检测器 15、第二万向反射镜 702 的镜座的测量结果或调节量的计算公式与上述相同。

获取第一万向反射镜 602 的镜座调节量之后，反馈控制系统 16 中由相位卡对第一位置检测器 13 的测量结果进行解算，根据解算结果通过 VME 机箱背板链接的驱动器发出控制指令，驱动第一万向反射镜 602 的镜座对光束入射角度进行精密调控，从而形成理想的干涉图形。

下面详细描述使用本发明的调控装置对激光干涉光刻系统的光束入射角度进行调控的效果。在激光干涉光刻系统中对光束入射角度测量结果误差影响最大的因素为 PSD 电子噪声导致的测量误差。由 PSD 电子噪声引起的误差体现为 PSD 的最小测量分辨率。以选用信欧光电型号为 psd9 产品为例，其感光芯片测量行程为 9mm，在入射光波长为 633nm、功率 3mW 状态下其分辨率可达 1.5μm，可知此时信噪比为 6e+3；实验条件为光波长 355nm、功率 0.1mW，该型号产品在 633nm 及 355nm 波长敏感度分别为 38.5%、16.3%。则实验条件下，信噪比为 6e+3*（16.3%*0.5）/（38.5%*3）=84.68，根据总量程 9mm 计算得当前分辨率为 21.26μm。

PSD 测量位移 s 与光束偏移 δL 之间关系为：

$$s = (1 - \mathrm{L}_1/f_3)\delta L$$

式中，L_1为 PSD 距解耦透镜的距离参数，在进行条纹方向补偿过程中，PSD 的测量误差会导致由测量结果（即光束偏移信息）解算得到的电机驱动角度调节量（$\delta\theta y$）不准确；f_3表示解耦透镜的焦距（此处解耦透镜具体可以是系统中的第一解耦透镜或第二解耦透镜）。

条纹方向转角δθ与光束偏移 δL 之间关系为：

$$\delta\theta = \mathrm{asin}\left(\frac{tan(2 * \delta\theta y) * f_1}{\mathrm{L}}\right)$$

$$\delta\theta y = -\left(\frac{atan\left(\frac{\delta \mathrm{L}}{f_1}\right)}{2}\right)$$

其中，L 表示光束中心距第一透镜光轴的距离，$atan$为反正切函数$arctan$的简写，f_1表示第一透镜的焦距，$\delta\theta y$为电机驱动角度调节量。

由 PSD 测量误差 ε 引起的条纹方向转角误差et为：

$$\mathrm{et} = \delta\theta \mathrm{y}(s + \varepsilon) - \delta\theta \mathrm{y}(s)$$

其中，ε为 PSD 的测量误差参数，由仿真计算得条纹方向的转角误差为 54.55urad；s 为 PSD 的测量位移；$\delta\theta y$为电机驱动角度调节量。

条纹周期截距 P 与光束偏移 δL 之间关系为：

$$\mathrm{P} = \frac{\lambda}{2\, sin(atan\,(\frac{\delta \mathrm{L} + f_2 tan\theta}{f_2}))}$$

其中，P 为条纹周期截距，δL 为光束偏移，λ为激光波长，f_2为第二透镜的焦距。

由 PSD 测量误差 ε 引起的条纹周期截距误差ep为：

$$\mathrm{ep} = \mathrm{P}(s + \varepsilon) - \delta\theta \mathrm{y}(s)$$

其中，P 为条纹周期截距，s 为 PSD 的测量位移，ε为 PSD 的测量误差参数，$\delta\theta y$为电机驱动角度调节量。

由于周期误差为累计误差，在步进后期误差值相对较大，设定周期范围为 500nm-2500nm，周期步进间隔为 10nm，在基板边缘周期误差约为 22nm，即与标准值 2500nm 相差 22nm。

本发明还提供一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控方法，应用于激光干涉光刻系统中，对光束入射角度进行调控，包括以下步骤：

通过分光棱镜 11 对经第一万向反射镜 602 的第一入射光进行反射；

通过第一解耦透镜 12 将所述分光棱镜 11 的第一反射光入射至第一位置

检测器 13；

通过所述第一位置检测器 13 对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统 16；

通过所述反馈控制系统 16 根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜 602 的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

在一个实施例中，所述方法还包括：

通过分光棱镜 11 对经第二万向反射镜 702 的第二入射光进行反射；

通过第二解耦透镜 14 将所述分光棱镜 11 的第二反射光入射至第二位置检测器 15；

通过所述第二位置检测器 15 对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统 16；

通过所述反馈控制系统 16 根据测量结果输出控制指令，调整所述第二万向反射镜 702 的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

本发明通过分光棱镜 11 对光束进行反射，通过第一位置检测器 13、第二位置检测器 15 对光束位置测量并反馈至反馈控制系统 16，通过反馈控制系统 16 对镜座进行调节，从而可以对光束入射角度进行精确调控。

在一个实施例中，通过所述反馈控制系统 16 根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜 602 的镜座的步骤包括：

通过信号接收器接收第一位置检测器 13 的测量结果，通过相位卡对所述测量结果进行解算，通过驱动器根据解算结果发出控制指令，驱动第一万向反射镜 602 的镜座运动。

需要说明的是，本发明之激光干涉光刻中光束入射角度的调控方法的具体实施方式与上述调控装置的具体实施方式大致相同，在此不再赘述。

以上所述仅为本发明的优选实施例，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，应用于激光干涉光刻系统中，所述激光干涉光刻系统包括基底，相对设置的第一透镜和第二透镜，以及位于所述第一透镜焦点处的第一万向反射镜，其特征在于，

所述调控装置包括：分光棱镜、第一解耦透镜、第一位置检测器和反馈控制系统，

其中，所述分光棱镜位于所述第一透镜和所述第二透镜之间；所述第一解耦透镜位于所述第一位置检测器与所述分光棱镜之间，所述反馈控制系统与所述第一位置检测器和所述第一万向反射镜连接；

所述分光棱镜用于对经第一万向反射镜的第一入射光进行反射，所述第一解耦透镜用于将所述分光棱镜的第一反射光入射至所述第一位置检测器，所述第一位置检测器用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至所述反馈控制系统，所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控，

其中，在基底的干涉条纹的偏转量为θ_e时，第一位置检测器对光束位置的测量结果为：

$$\Delta Lx = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}(1 - cos\theta_e)$$

$$\Delta Ly = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}sin\theta_e$$

其中，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

2.根据权利要求 1 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，其特征在于，所述激光干涉光刻系统还包括位于第一透镜焦点处的第二万向反射镜，所述调控装置还包括：第二解耦透镜和第二位置检测器，其中，所述第二解耦透镜位于所述第二位置检测器与所述分光棱镜之间，所述反馈控制系

统还与所述第二位置检测器和所述第二万向反射镜连接，所述分光棱镜还用于对经所述第二万向反射镜的第二入射光进行反射，所述第二解耦透镜用于将所述分光棱镜的第二反射光入射至所述第二位置检测器，所述第二位置检测器用于对光束位置进行测量，并将测量结果传输至所述反馈控制系统，所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第二万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

3.根据权利要求 1 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，其特征在于，所述反馈控制系统包括：信号接收器、驱动器和相位卡，所述信号接收器用于接收所述第一位置检测器的测量结果，所述相位卡用于对所述测量结果进行解算，所述驱动器用于根据解算结果发出控制指令驱动所述第一万向反射镜的镜座运动。

4.根据权利要求 1 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，其特征在于，根据测量结果对所述第一万向反射镜的镜座的调节量为：

$$\Delta\theta_x = arctan\left(\frac{f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_t}\right)\right) - \Delta Lx}{f_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_t}\right)$$

$$\Delta\theta_y = arctan\left(\frac{\Delta Ly}{f_1}\right)$$

其中，$\Delta\theta_x$表示 x 方向的调节量，$\Delta\theta_y$表示 y 方向的调节量，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_1表示第一透镜的焦距，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

5.根据权利要求 1 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，其特征在于，在基底的干涉条纹的目标周期截距为P_1时，第一位置检测器的测量结果为：

$$\Delta L = f_2 tan\left(\arcsin\left(\frac{\lambda}{P_1}\right)\right) - f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{P_0}\right)\right)$$

其中，ΔL表示光束的偏移量，P_1表示目标周期截距，P_0表示初始周期截

距，f_2表示第二透镜的焦距，λ表示激光波长。

6.根据权利要求 5 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控装置，其特征在于，根据测量结果对所述第一万向反射镜的镜座的调节量为：

$$\Delta\theta_x = arctan\left(\frac{f_2 tan\left(arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_1}\right)\right) - \Delta L}{f_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\lambda}{2P_1}\right)$$

其中，$\Delta\theta_x$表示镜座 x 方向的调节量，f_1表示第一透镜的焦距，f_2表示第二透镜的焦距，P_1表示目标周期截距，ΔL表示光束的偏移量，λ表示激光波长。

7.一种激光干涉光刻中光束入射角度的调控方法，其特征在于，包括以下步骤：

通过分光棱镜对经第一万向反射镜的第一入射光进行反射；

通过第一解耦透镜将所述分光棱镜的第一反射光入射至第一位置检测器；

通过所述第一位置检测器对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统；

通过所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控，

其中，在基底的干涉条纹的偏转量为θ_e时，第一位置检测器对光束位置的测量结果为：

$$\Delta Lx = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}}(1 - cos\theta_e)$$

$$\Delta Ly = \frac{f_2\lambda}{\sqrt{4{P_t}^2 - \lambda^2}} sin\theta_e$$

其中，ΔLx表示光束在 x 方向的偏移量，ΔLy表示光束在 y 方向的偏移量，f_2表示第二透镜的焦距，P_t表示 t 时刻的干涉条纹截距，λ表示激光波长。

8.根据权利要求 7 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控方法，其特征在于，所述方法还包括：

通过分光棱镜对经第二万向反射镜的第二入射光进行反射；

通过第二解耦透镜将所述分光棱镜的第二反射光入射至第二位置检测器；

通过所述第二位置检测器对光束位置进行测量，并将测量结果传输至反馈控制系统；

通过所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第二万向反射镜的镜座，从而对曝光光束的入射角度进行调控。

9. 根据权利要求 7 或 8 所述的激光干涉光刻中光束入射角度的调控方法，其特征在于，通过所述反馈控制系统根据测量结果输出控制指令，调整所述第一万向反射镜的镜座的步骤包括：

通过信号接收器接收第一位置检测器的测量结果，通过相位卡对所述测量结果进行解算，通过驱动器根据解算结果发出控制指令，驱动第一万向反射镜的镜座运动。

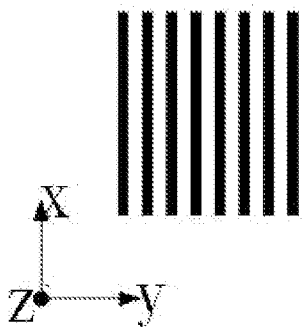

图 1a

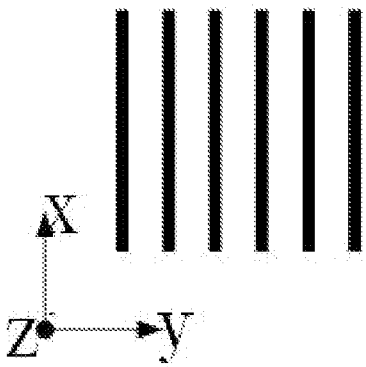

图 1b

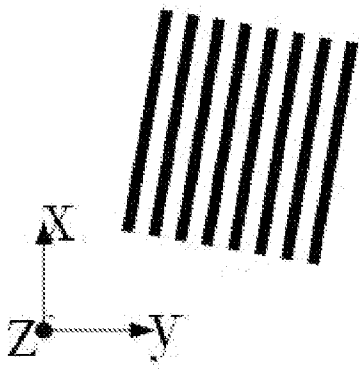

图 1c

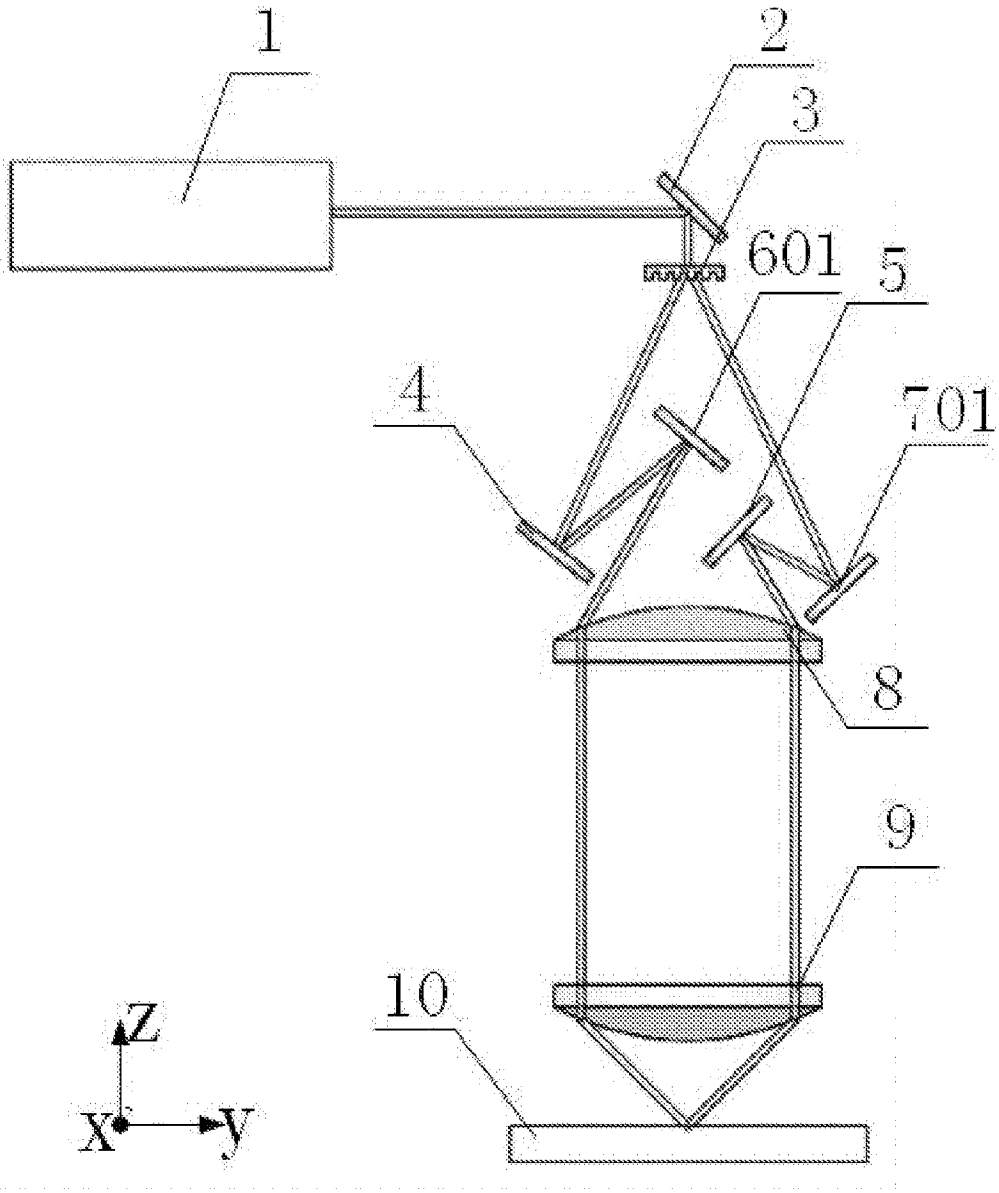

图 2

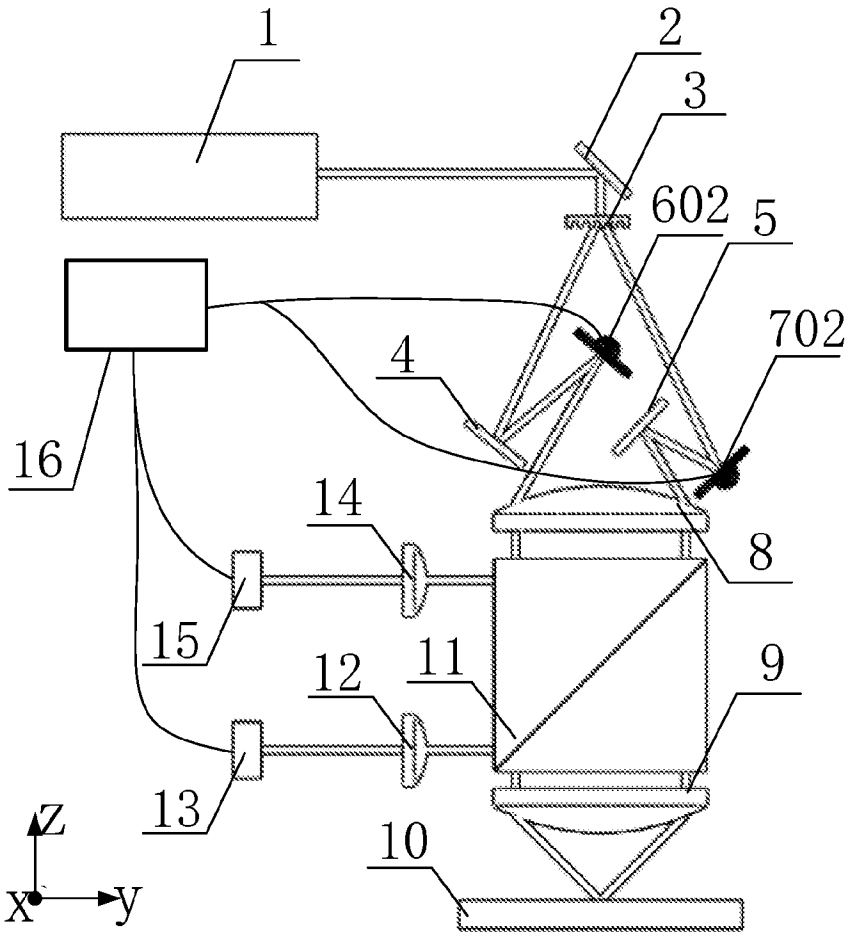

图 3

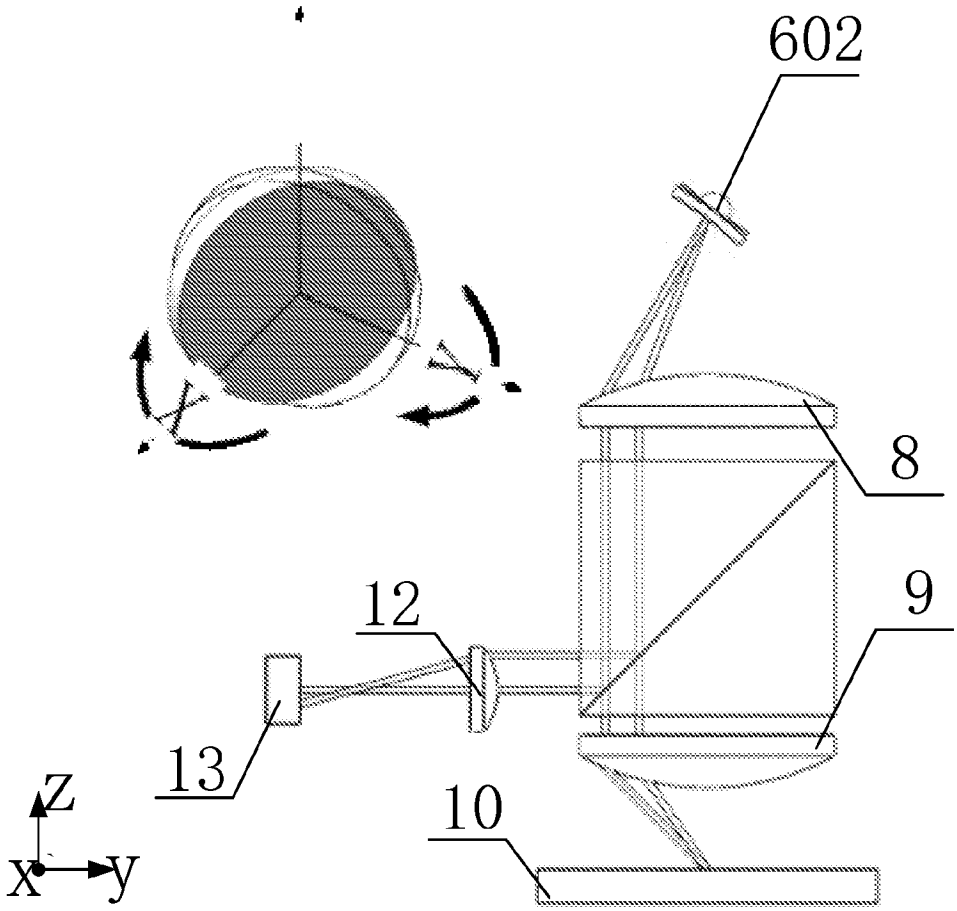

图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/103935

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F 7/20(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)

G03F

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)

CNPAT; EPODOC; WPI; CNKI: 激光, 干涉, 光刻, 分光, 棱镜, 反射镜, 调, 万向, 解耦透镜, 位置, 检测, 测量, 反馈, 控制, laser, interference, lithography, dispersion, prism, reflector, adjust+, universal, decoupling lens, position, detect+, feedback, control

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111812948 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 23 October 2020 (2020-10-23) claims 1-10	1-9
Y	CN 110806680 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 18 February 2020 (2020-02-18) description paragraph [0035] - paragraph [0055], figures 2-5	1-9
Y	宋莹 (SONG, Ying). "“全息光栅曝光系统干涉条纹静态及动态相位锁定技术” (Research on the Interference Fringe Static and Dynamic Phase-locking Technology in the Lithography System of the Holographic Grating)" *《中国博士学位论文全文数据库 基础科学辑》 (《Medicine & Public Health, China Doctoral Dissertations Full-Text Database, Basic Sciences》),* No. 5, 15 May 2015 (2015-05-15), ISSN: 1674-022X, pages 31-32, and figure 15	1-9
A	CN 110837214 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 25 February 2020 (2020-02-25) entire document	1-9
A	CN 103235489 A (INSTITUTE OF OPTICS AND ELECTRONICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 07 August 2013 (2013-08-07) entire document	1-9

☑ 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	Date of mailing of the international search report
06 September 2021	**28 September 2021**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105242499 A (XI'AN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY) 13 January 2016 (2016-01-13) entire document	1-9
A	US 5771098 A (FED CORP.) 23 June 1998 (1998-06-23) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2021/103935

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 111812948 A	23 October 2020	None	
CN 110806680 A	18 February 2020	WO 2021083046 A1	06 May 2021
		CN 110806680 B	24 November 2020
CN 110837214 A	25 February 2020	CN 110837214 B	08 December 2020
		WO 2021083044 A1	06 May 2021
CN 103235489 A	07 August 2013	CN 103235489 B	07 January 2015
CN 105242499 A	13 January 2016	CN 105242499 B	19 September 2017
US 5771098 A	23 June 1998	WO 9813664 A1	02 April 1998
		US 6166820 A	26 December 2000

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/103935

A. 主题的分类

G03F 7/20(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)

G03F

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））

CNPAT;EPODOC;WPI;CNKI:激光，干涉，光刻，分光，棱镜，反射镜，调，万向，解耦透镜，位置，检测，测量，反馈，控制，laser, interference, lithography, dispersion, prism, reflector, adjust+, universal, decoupling lens, position, detect+, feedback, control

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
PX	CN 111812948 A (清华大学 等) 2020年 10月 23日 (2020-10-23) 权利要求1-10	1-9
Y	CN 110806680 A (清华大学 等) 2020年 2月 18日 (2020-02-18) 说明书第[0035]段-第[0055]段、附图2-5	1-9
Y	宋莹. ″“全息光栅曝光系统干涉条纹静态及动态相位锁定技术”″ 《中国博士学位论文全文数据库 基础科学辑》, 第5期, 2015年 5月 15日 (2015-05-15), ISSN：1674-022X, 第31-32页、图15	1-9
A	CN 110837214 A (清华大学 等) 2020年 2月 25日 (2020-02-25) 全文	1-9
A	CN 103235489 A (中国科学院光电技术研究所) 2013年 8月 7日 (2013-08-07) 全文	1-9
A	CN 105242499 A (西安工业大学) 2016年 1月 13日 (2016-01-13) 全文	1-9

☑ 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	国际检索报告邮寄日期
2021年 9月 6日	2021年 9月 28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	受权官员 陈喜杰 电话号码 86-(10)-53962544

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/103935

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	US 5771098 A (FED CORP.) 1998年 6月 23日 (1998 - 06 - 23) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/103935

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	111812948	A	2020年 10月 23日	无			
CN	110806680	A	2020年 2月 18日	WO	2021083046	A1	2021年 5月 6日
				CN	110806680	B	2020年 11月 24日
CN	110837214	A	2020年 2月 25日	CN	110837214	B	2020年 12月 8日
				WO	2021083044	A1	2021年 5月 6日
CN	103235489	A	2013年 8月 7日	CN	103235489	B	2015年 1月 7日
CN	105242499	A	2016年 1月 13日	CN	105242499	B	2017年 9月 19日
US	5771098	A	1998年 6月 23日	WO	9813664	A1	1998年 4月 2日
				US	6166820	A	2000年 12月 26日