



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111148964 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 12

(21) 申请号 201880063801.9

(22) 申请日 2018.09.04

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111148964 A

(43) 申请公布日 2020.05.12

(30) 优先权数据  
102017217371.8 2017.09.29 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.03.30

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2018/073703 2018.09.04

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/063247 DE 2019.04.04

(73) 专利权人 卡尔蔡司SMT有限责任公司  
地址 德国上科亨

(72) 发明人 F.里彭豪森 M.施罗特

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所  
11105

代理人 王蕊瑞

(51) Int.Cl.  
G01B 9/02015 (2022.01)  
G01B 11/24 (2006.01)  
G01M 11/00 (2006.01)  
G01M 11/02 (2006.01)  
G03F 7/20 (2006.01)  
G06T 7/55 (2017.01)

(56) 对比文件  
CN 101709955 A, 2010.05.19  
CN 102645181 A, 2012.08.22  
US 2003117632 A1, 2003.06.26  
US 2009251702 A1, 2009.10.08  
US 2011119011 A1, 2011.05.19  
US 5416586 A, 1995.05.16  
CN 106030410 A, 2016.10.12

审查员 杨华荣

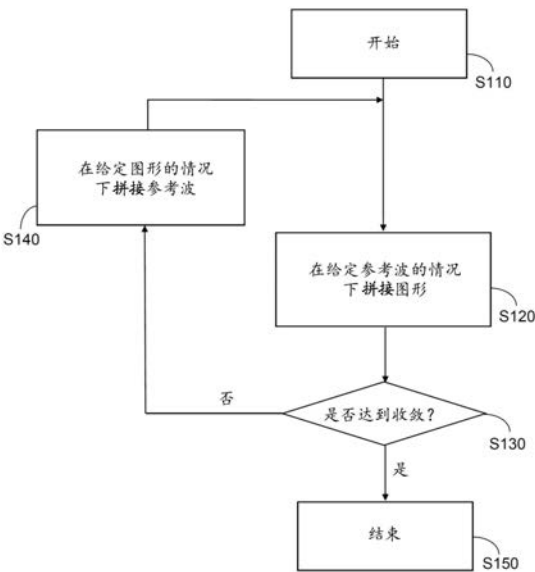
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

表征光学元件的表面形状的方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种提供表征光学元件的表面形状的方法和装置,该光学元件特别是微光刻投射曝光系统的反射镜或透镜。根据本发明的方法包括以下步骤:实行多个干涉式测量,其中记录在来自光学元件的相应部分的测试波与参考波之间的相应的干涉图,其中在这些测量之间,光学元件的位置相对于测试波更改;以及基于这些测量计算与光学元件的目标形状的偏差,其中该计算迭代地发生为使得在多个迭代步骤中,与光学元件的目标形状的偏差通过实行正演计算来确定,其中这些迭代步骤中的每一个迭代步骤基于以前次迭代步骤为基础来调整的相应的参考波。



1. 一种表征光学元件的表面面形的方法,所述方法包括以下步骤:

实行多个干涉式测量,在所述多个干涉式测量中的每一个干涉式测量中,在各个情况下记录从所述光学元件的一部分发出的测试波与参考波之间的干涉图,在这些测量之间,所述光学元件相对于所述测试波的位置更改;以及

基于这些测量计算所述光学元件的图形;

其中该计算迭代地实行,使得在多个迭代步骤中,所述光学元件的图形在各个情况下通过实行正演计算来确定,这些迭代步骤中的每一个步骤在各个情况下是基于参考波,该参考波以前次迭代步骤为基础来调整;

其中通过实行反向计算确定相应调整的参考波;以及

其中实行所述反向计算包括通过计算从相应测量数据移除所述图形。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,实行所述干涉式测量包括子孔径的记录,所述子孔径中没有有一个覆盖反射镜的整个表面。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在各个情况下实行所述反向计算包括从在实行所述干涉式测量时所用的测量设置的第一坐标系到所述光学元件的第二坐标系的栅格变换或变换。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在各个情况下实行所述反向计算包括从所述光学元件的第二坐标系到在实行所述干涉式测量时所用的测量设置的第一坐标系的栅格变换或变换。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,实行迭代计算,直到满足预先确定的收敛准则为止。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,实行迭代计算达迭代步骤的预先确定数目。

7. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,更改所述光学元件的位置实现为使得所述光学元件的曲率中心保持原位。

8. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述光学元件是反射镜或透镜元件。

9. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述光学元件是微光刻投射曝光设备的光学元件。

10. 一种表征光学元件的表面面形的设备,其特征在于,所述设备设计为实行如前述权利要求中任一项所述的方法。

## 表征光学元件的表面形状的方法及装置

[0001] 本申请要求2017年9月29日提交的德国专利申请DE 10 2017 217371.8的优先权。该德国申请的全部内容通过引用还并入本申请文本中。

[0002] 发明背景

### 技术领域

[0003] 本发明涉及表征光学元件的表面面形的方法及装置,该光学元件特别是微光刻投射曝光设备的反射镜或透镜元件。

### 背景技术

[0004] 微光刻用于制造例如集成电路或LCD的微结构部件。在所谓的投射曝光设备中进行微光刻工艺,该投射曝光设备包括照明装置和投射镜头。通过照明装置照明的掩模(=掩模母版)的像,在这种情况下,通过投射镜头被投射到涂有感光层(光刻胶)且布置在投射镜头的像平面中的基板(例如硅晶片)上,以便将掩模结构转印至基板的感光涂层。

[0005] 在针对EUV范围(即例如约13nm或约7nm的波长处)设计的投射镜头中,由于缺少合适可用的光透射折射材料而使用反射镜作为成像过程的光学部件。例如从US 2016/0085061 A1已知的针对EUV设计的典型投射镜头可以例如具有 $NA=0.55$ 的范围中的像侧数值孔径(NA),且将(例如环形分段形状的)物场成像到像平面或晶片平面中。

[0006] 像侧数值孔径(NA)的增加会典型地伴随在投射曝光设备中所用的反射镜中的所需反射镜区域的扩大。这继而意味着,除制造外,测试反射镜的表面面形同样是艰巨的挑战。

[0007] 图2a示出了解释用于测试反射镜201的可能常规干涉式测试布置的工作原理的示意图。根据图2a,在参考表面210(“Fizeau板”)处反射的参考光(下面称为“参考波”)和在反射镜201处反射的测量光(下面也称为“测试波”)之间的干涉图在Fizeau布置中产生。在此,图2a的示例中,由计算机生成全息图(CGH)220将测量光形成为非球面波前,所述波前在预期的距离处在数学上恰好对应于“测试物面形”(即,相关反射镜201的面形)。其一由参考表面210反射的波前和其二由相关反射镜201或测试物反射的波前在干涉仪205(该干涉仪205在其总体设计方面作为示例示意性地在图3中示出)中相互干涉,其中准直器309、分束板308、光阑307、目镜306和CCD相机304以及干涉仪205的光源303被描绘在图3中。相应的反射镜的干涉图通过CCD相机304记录。如图2a由双向箭头所示,在多个测量步骤中将反射镜201移动到不同位置中,其中仅示意性说明了两个不同位置“A”和“B”。

[0008] 在反射镜201的不同位置中实行多个测量步骤特别是用于从所谓的“子孔径”的多个重叠干涉式单独测量中将反射镜201的表面(例如,该反射镜201的表面在单次干涉式测量中不可能作为整体被捕获)拼凑在一起,多个重叠干涉式单独测量中没有一个能分别覆盖整个表面。图2b以示例性方式示出了相对大的反射镜的测量的几百子孔径中的某些子孔径的位置。在此,最终要确定的反射镜或测试物的图形(即与表面的预先确定的期望形式的偏离)可以从单独子孔径重构,其中以本身已知的方式首先在考虑测试物的相应位置时将

子孔径变换到测试物上的公共栅格中,其次使用所谓的补偿器或灵敏度使子孔径相互适配(以便获得单独变换的子孔径在它们的重叠区域中的最大可能的对应度)。如上所描述的构思有时还被称为“拼接”。

[0009] 然而,实际上在这种情况下产生的问题在于,干涉式测量设置自身或位于其中的光学部件继而具有与完美表面面形的偏差。然而,与此相关联的参考波的误差在上所述的方法中没有被考虑或仅没有被充分考虑,这继而导致图形重构不正确且因此最终导致讨论中的光学元件或反射镜的表征不准确。

[0010] 关于现有技术,例如作为示例仅参考US 6,956,657 B2。

## 发明内容

[0011] 针对上述背景,本发明的目的是提供表征光学元件的表面形式的方法和设备,该光学元件特别是微光刻投射曝光设备的反射镜或透镜元件,这促进对表面面形的可靠表征,同时至少部分地避免上述问题。

[0012] 该目的由根据下文所述的特征的方法以及根据下文所述的特征的设备来实现。

[0013] 根据本发明的表征光学元件的表面面形的方法,包括以下步骤:

[0014] -实行多个干涉式测量,在每个干涉式测量中,在各个情况下记录从光学元件的一部分中发出的测试波与参考波之间的干涉图,在这些测量之间,光学元件相对于测试波的位置更改;

[0015] -基于这些测量计算光学元件的图形;

[0016] -其中该计算迭代地实行,使得在多个迭代步骤中光学元件的图形在各个情况下通过实行正演计算来确定,这些迭代步骤中的每一个步骤在各个情况下是基于以前次迭代步骤为基础来调整的参考波。

[0017] 特别地,本发明是基于以下构思:当基于实行多个干涉式测量计算光学元件的图形时,参考波不被认为是恒定的,因为例如忽略或仅实行对干涉式测量设置或位于其中的光学部件的前述误差的单个的不适当近似;代替地,所述参考波被认为是可变参数,因为在迭代方法中交替地确定其一光学元件的图形和其二参考波——同时考虑在相应的前次迭代步骤中所获得的信息。在此,迭代步骤的数目可以取决于达到例如预先确定的收敛准则,或者还可以被预先确定。

[0018] 具体而言,根据本发明可以使用如在本文开始所提及和下文更详细描述“拼接方法”首次确定图形,该方法通过首先指定特定的参考波,接着——例如使用反向计算而且使用拼接方法——考虑到确定的图形全新地确定参考波。关于以这种方式获得的参考波的更精确的信息然后可以用于下一个迭代步骤,以改进图形的确定等。

[0019] 替代地实行如上所述的用于确定图形的正演计算和用于确定参考波的反向计算导致参考波在迭代过程中还以像素分辨的方式来确定,所以可以总体上实现更准确图形确定。

[0020] 应该注意到,实行如上所描述的迭代方法需要在其一测试物的像素栅格或坐标系和其二测量设置的像素栅格或坐标系之间的计算的“栅格变换”或变换。这样的已经在常规(即,非迭代)拼接方法中所需的栅格变换或变换在根据本发明的方法中是需要的,其不仅从测量设置的坐标系变换到测试物的坐标系,而且以反向方向变换,因为在一个迭代步骤

中已经确定图形之后对参考波的随后确定再次需要通过计算从相应的原始测量数据(即,测量设置的坐标系中)中移除图形。

[0021] 换言之,在一个迭代步骤中相应地确定的图形被反向计算到对应的原始数据图像上并且然后通过计算被减去或移除,以用于拼接参考波。此外,根据本发明的迭代方法还促成对多个干涉式测量中记录的干涉图的正确处理或评估,在干涉图中只有一部分参考波对相应的测量结果有贡献,或是在由测试物的相应位置引起的相应的干涉图中是“可见的”。这借助于以下来实现,根据本发明的方法中在本文开始所提及且下文更详细描述“拼接”不仅在确定测试物的图形时被使用,而且在单独迭代步骤中重构参考波时被使用。

[0022] 原理上,可以以任何适当的方式选择起始参考波,通常相应选择仅影响迭代方法的收敛速度。在示例性实施例中,在各个情况下具有子孔径的完整填充的全部测量的平均值、在前次测量或评估期间在各个情况下确定的参考波、或者“零波前”可以被选为起始参考波。

[0023] 根据一个实施例,实行干涉式测量包括子孔径的记录,没有一个子孔径覆盖反射镜的整个表面。

[0024] 根据一个实施例,通过实现反向计算确定相应适配的参考波。

[0025] 根据一个实施例,实行反向计算包括通过计算从相应测量数据移除图形。

[0026] 根据一个实施例,在各个情况下实行反向计算包括从在实行干涉式测量时所用的测量设置的第一坐标系到光学元件的第二坐标系的栅格变换或变换。

[0027] 根据一个实施例,在各个情况下实行反向计算包括从光学元件的第二坐标系到在实行干涉式测量时所用的测量设置的第一坐标系的栅格变换或变换。

[0028] 根据一个实施例,实行迭代计算直到满足预先确定的收敛准则。

[0029] 根据一个实施例,实行迭代计算达迭代步骤的预先确定数目。

[0030] 根据一个实施例,更改光学元件的位置实现为使得光学元件的曲率中心保持原位。

[0031] 在实施例中,测试物可以绕旋转轴承上的轴线旋转且当实行多个干涉式测量时在多个旋转位置中被测量,其中这些旋转位置可以均匀分布或不规则地布置。

[0032] 实行多个干涉式测量时的示例性情景包括:

[0033] -在具有旋转轴承的测试站上测量旋转对称的平坦表面、非球面表面或球面表面,子孔径至少从测试物的边缘延伸到测试物的中心且旋转轴承轴线实质上与测试物的对称轴重合。测试物的位置可以通过移位旋转轴承来更改。

[0034] -在具有保持件的测试站上测量球面表面,该保持件允许球面绕多于一个轴线旋转。结合迭代拼接,以这种方式可以实现绝对校准测量方法。

[0035] -以大量子孔径扫描表面(其可以是平坦表面、球面表面、非球面表面或自由形式表面),其中可以规则或不规则地布置栅格。在此,根据本发明的迭代拼接还可以用于实现绝对校准方法。

[0036] 根据一个实施例,光学元件是反射镜或透镜元件。

[0037] 根据一个实施例,光学元件是微光刻投射曝光设备的光学元件。

[0038] 另外,本发明涉及表征光学元件的表面面形的设备,该设备设计为实行具有上述特征的方法。关于该设备的优点和优选的配置,参考与根据本发明的方法关联的上述解释。

[0039] 可以从说明书获得本发明的其他配置。

[0040] 下面基于附图中所示的示例性实施例更详细地解释本发明。

## 附图说明

[0041] 附图中：

[0042] 图1示出了解释根据本发明的示例性实施例的方法的方法步骤的流程图；

[0043] 图2-3示出了解释在本发明的范围内能够使用的干涉式测试布置的可能设置的示意图；以及

[0044] 图4示出了设计为在EUV中操作的投射曝光设备的示意图。

## 具体实施方式

[0045] 图4示出了示例性投射曝光设备的示意图，其设计为在EUV中操作并且包括通过根据本发明的方法可测试的反射镜。

[0046] 根据图4，针对EUV所设计的投射曝光设备410中的照明装置包括场分面反射镜403和光瞳分面反射镜404。来自包括等离子体光源401和集光器反射镜402的光源单元的光被指引到场分面反射镜403上。第一望远镜反射镜405和第二望远镜反射镜406布置在光瞳分面反射镜404下游的光路径中。偏转反射镜407布置在光路径的下游，偏转反射镜将其上入射的辐射指引到包括六个反射镜421-426的投射镜头的物平面中的物场上。在物场的位置处，反射式结构承载的掩模431布置在掩模台430上，借助于投射镜头将所述掩模成像到像平面中，其中涂有感光层（光刻胶）的基板441位于晶片台440上。

[0047] 在本发明范围内的在光学元件的表面形状或图形方面进行检查的光学元件可以是例如投射曝光设备410中的任何反射镜，如投射镜头在像平面侧的（相对大的）最后一个反射镜426。在其他应用中，光学元件还可以是针对DUV（例如在小于250nm、特别是小于200nm的波长）中操作所设计的投射曝光设备的透镜元件。

[0048] 根据本发明的方法在下文基于参考图1所示的流程图的实施例来描述。

[0049] 在此，假设出于表征反射镜的图形的目的，在各个情况下用测试物的不同定位在单独干涉式测量中记录多个（例如五十个）子孔径。特别地，术语“子孔径”旨在于表达，为记录子孔径而实行的干涉式测量在各个情况下不覆盖反射镜的整个表面。

[0050] 在此，在示例性实施例中假设非球面反射镜，其中再次参考图2a，其中示出的反射镜201的位置的变化实现为使得曲率中心在各个情况下保持原位。在其他实施例中，反射镜201还可以是实质上平坦的反射镜，该反射镜在单独干涉式测量之间在平行于反射镜表面的方向上以平移方式移位。

[0051] 此外，在本发明的实施例中可以选择单独测量位置的对称破坏的布置。它的优点在于，单独子孔径测量中所获得的测量结果可以明确地被划分为图形分量和参考波分量。

[0052] 现在为了从所述测量的子孔径中确定反射镜的总图形或“拼凑在一起的”图形，本发明基于本身已知的“拼接方法”，然而该方法——如下面参考图1的流程图所描述的——被修改。

[0053] 根据图1，在方法开始（步骤S110）之后，最初存在具有指定的参考波的规范的图形的首次计算。在此，外部确定的起始值或零函数尤其可以被指定用于参考波。特别地，该图

形的首次计算还包括上述的从测量设置的坐标系到测试物或反射镜201的坐标系的栅格变换或变换。在给定参考波“拼接”图形的步骤在图1中标记为“S120”，并且通过求解以下的最小值问题(其生成线性方程组)来实现：

$$[0054] \quad \min_{f, P_n} \sum_{i=1}^m \int_{x,y} \left[ w_{x,y}^{\text{PRF}} \cdot T_{i,x,y}^{\text{CCD} \rightarrow \text{PRF}} (w_i^S) \cdot \left( T_{i,x,y}^{\text{CCD} \rightarrow \text{PRF}} (S_i - I_{n-1}) - \sum_k f_{ik} F_{k,x,y} - P_{n,x,y} \right) \right]^2 dx dy \quad (1)$$

[0055] 在此和下文中,使用以下缩写和变量:

[0056]  $P_n$ : 光学元件或测试物的图形的迭代n。

[0057]  $I_n$ : 参考波的迭代n。 $I_0$ 是外部确定的起始值或零函数。

[0058]  $S_i$ : 第i个子孔径测量。

[0059] m: 子孔径的测量的数目。

[0060]  $F_k$ : 补偿器/灵敏度,其振幅应该变化。

[0061]  $f_{ik}$ : 子孔径i的灵敏度k的振幅。

[0062]  $w_i^S$ : 子孔径i的子孔径掩模/权重函数。

[0063]  $w^{\text{PRF}}$ : 图形掩模/权重函数。

[0064]  $T_i^{\text{CCD} \rightarrow \text{PRF}}$ : 将第i个测量的测量栅格上限定的函数变换到测试物栅格的函数。

[0065] 与常规(非迭代)方法相比,现在基于关于光学元件或反射镜的图形所接收的信息根据本发明“拼接”参考波,特别地,这包括将图形向测量设置的坐标系的反变换。在此考虑先前确定的图形来实现的反向计算导致关于参考波的更加精确或改进的信息,对应步骤(即,在给定图形的情况下的参考波的“拼接”)在图1中表示为“S140”。

[0066] 在给定图形 $P_n$ 的情况下的参考波 $I_n$ 的“拼接”通过求解以下最小值问题(其同样生成线性方程组)来实现:

$$[0067] \quad \min_{f, I_n} \sum_{i=1}^m \int_{x,y} \left[ w_{x,y}^{\text{PRF}} \cdot T_{i,x,y}^{\text{CCD} \rightarrow \text{PRF}} (w_i^S) \cdot \left( T_{i,x,y}^{\text{CCD} \rightarrow \text{PRF}} (S_i - I_n) - \sum_k f_{ik} F_{k,x,y} - P_{n,x,y} \right) \right]^2 dx dy \quad (2)$$

[0068] 在实施例(例如,限制计算时间和/或存储器需求)中,参考波的“拼接”还可以仅使用像素的一部分或像素的选择来实行。

[0069] 根据图1,基于关于因此获得的参考波的改进的或更加精确的信息在下一次迭代步骤实现新的正演计算,对应于图形的更新的“拼接”等。

[0070] 在本发明的实施例中,子孔径掩模/权重函数或图形掩模/权重函数可以是掩模函数(函数值为0或1),其在每个测量中将有效区域与无效区域分离开。在其他实施例中,子孔径掩模/权重函数或图形掩模/权重函数还可以是“真实”权重函数(函数值 $\geq 0$ ),其从局部测量误差计算出。

[0071] 在本发明的实施例中,相对小的权重或甚至零权重可以用于具有相对大测量误差的图像区域。此外,可以在迭代方法的过程中动态地改善权重。

[0072] 原理上,测量位置的数目可以如预期地适当选择,该数目至少为两个。

[0073] 代替使模型与真实测量的偏差最小化,在重叠区域中两个测量之间的差异还可以以类似方式最小化。这样的过程提供相似的解决方案且在权重  $w_i^s$  的选择上有区别。

[0074] 可以基于特别是关于测试物(即,适配于特定拼接问题)的指定环境选择栅格变换函数T。在此,特别地,可以在测试物上存在变换成笛卡尔栅格的栅格变换。

[0075] 测试物上跨越的像素栅格(其用在“拼接”图形)可以在像素的总数目方面且在栅格的失真方面变化。

[0076] 在图1的示例性实施例中,一旦步骤S130中根据查询已经达到预先确定的收敛准则,则该迭代方法结束(步骤S150)。在其他实施例中,还可以预先定义迭代步骤的预先确定数目,一旦已经达到该数目,则该迭代终止且输出最后确定的图形。

[0077] 尽管已经基于特定实施例描述了本发明,但是例如通过组合和/或交换各个实施例的特征,许多的变型和替代性实施例对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,对于本领域技术人员不言而喻的,本发明附随地涵盖这样的变型和替代性实施例,并且本发明的范围仅受限于所附的专利权利要求及其等同物的含义内。



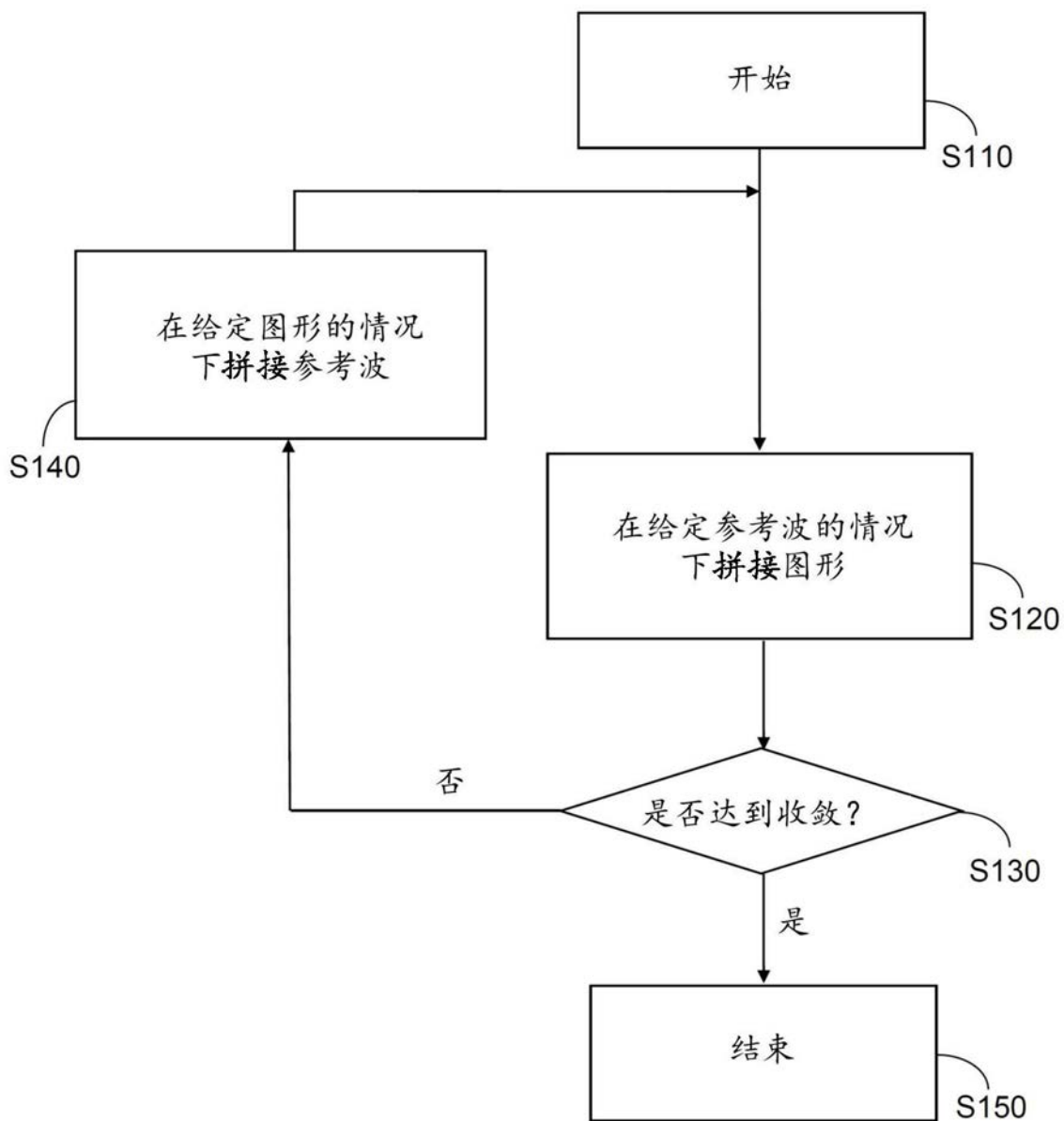


图1

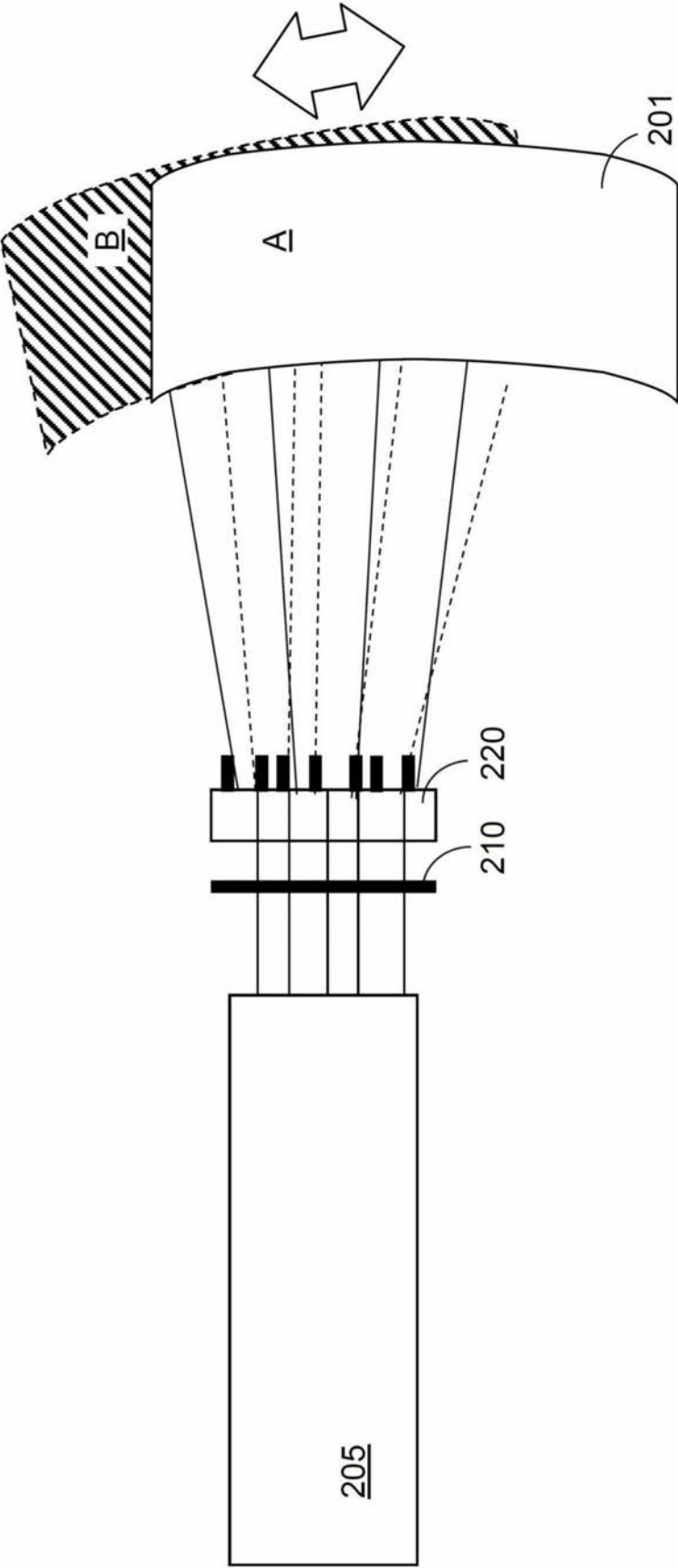


图2a

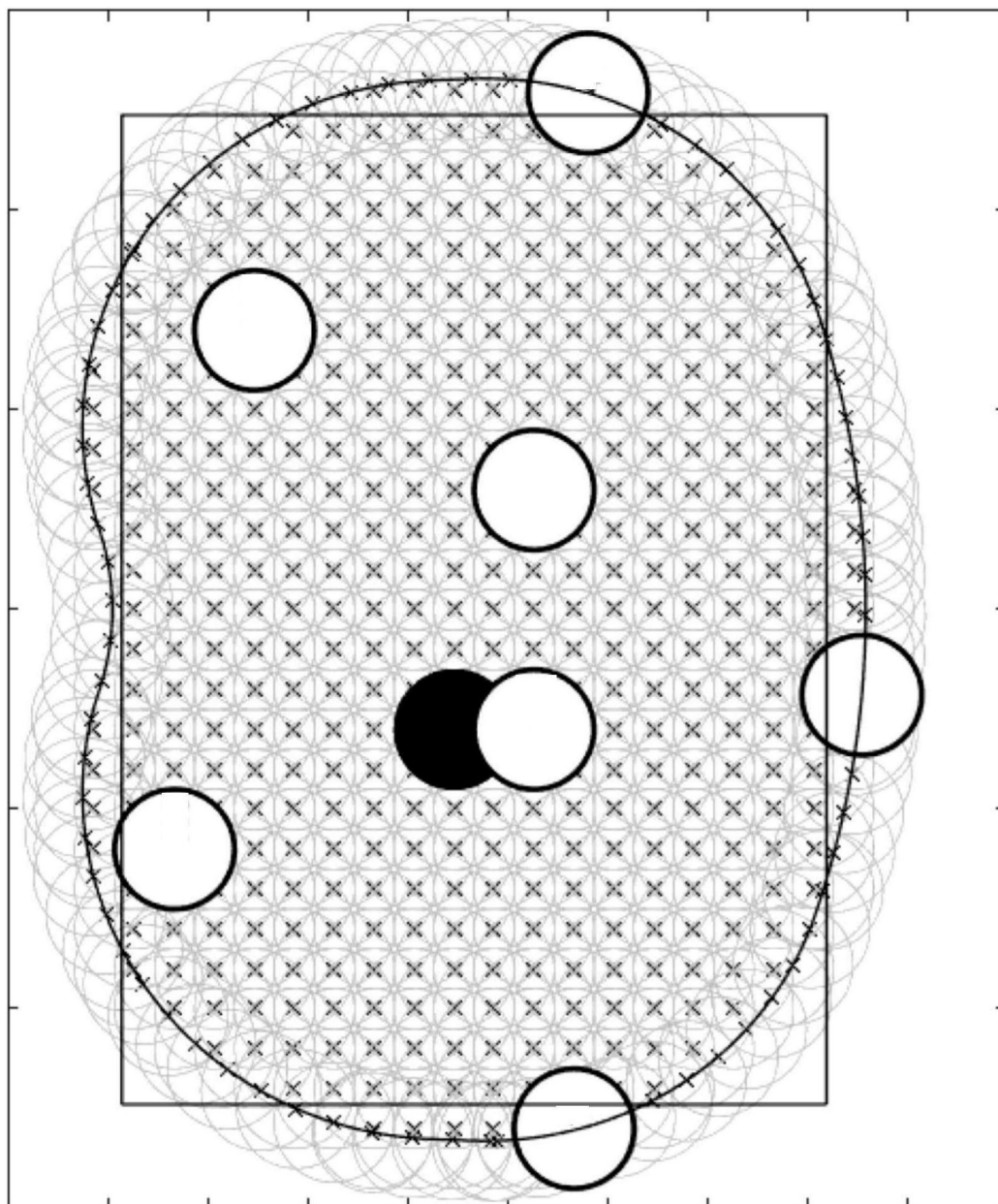


图2b

现有技术

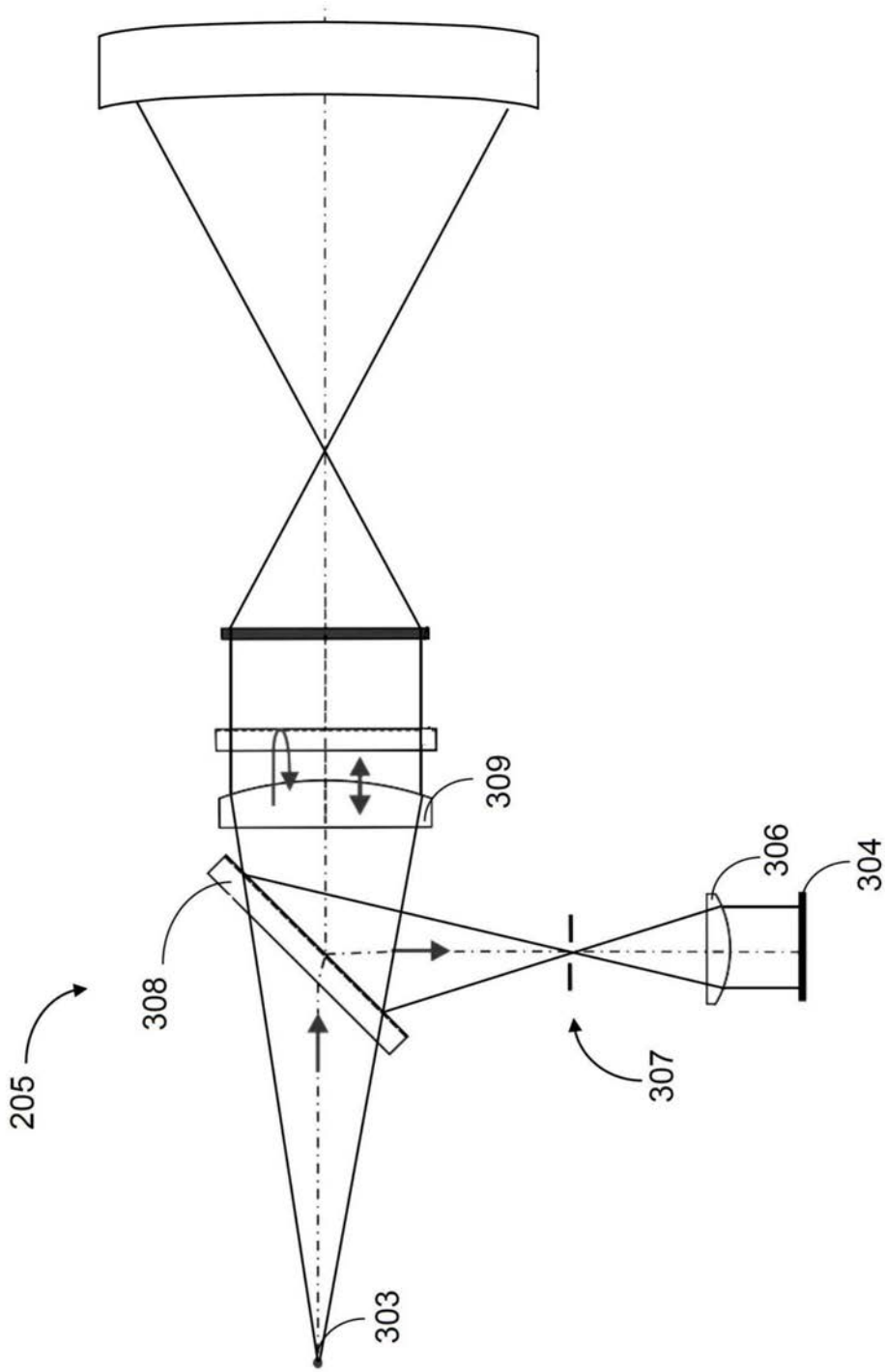


图3

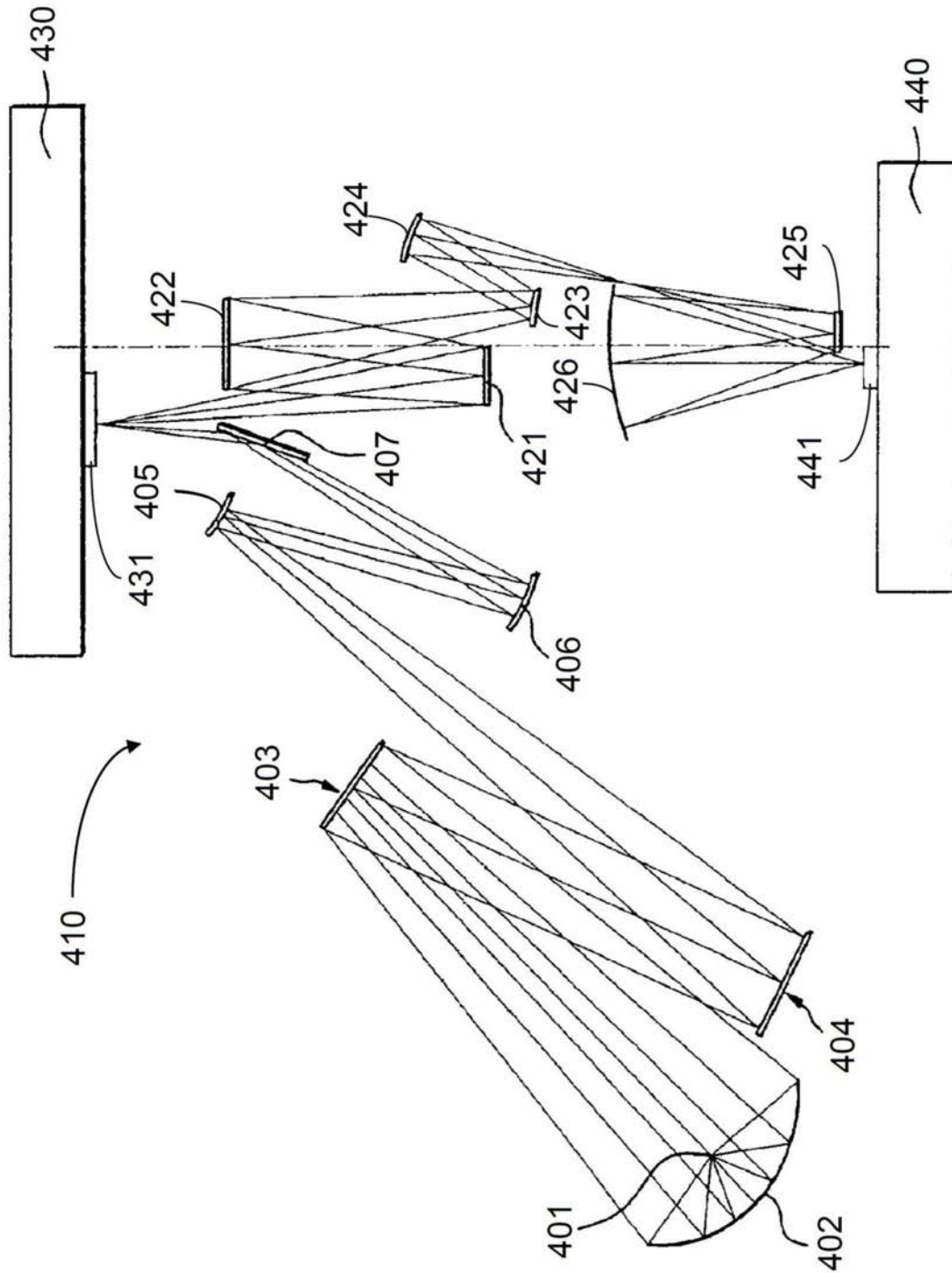


图4