

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G03F 7/20 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880002851.2

[43] 公开日 2009年11月25日

[11] 公开号 CN 101589342A

[22] 申请日 2008.1.22

[21] 申请号 200880002851.2

[30] 优先权

[32] 2007.1.22 [33] DE [31] 102007004723.3

[86] 国际申请 PCT/EP2008/000459 2008.1.22

[87] 国际公布 WO2008/089953 英 2008.7.31

[85] 进入国家阶段日期 2009.7.22

[71] 申请人 卡尔蔡司 SMT 股份公司

地址 德国上科亨

[72] 发明人 奥拉夫·康拉迪

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
代理人 邱 军

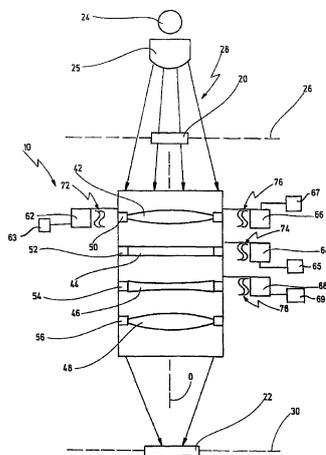
权利要求书 4 页 说明书 13 页 附图 3 页

[54] 发明名称

改善光学系统成像特性的方法以及光学系统

[57] 摘要

描述一种改善光学系统(10)的成像特性的方法且也描述了具有改善的成像特性的该类型的光学系统(10)。所述光学系统(10)具有多个光学元件。为了至少部分地校正至少一成像像差,所述多个光学元件中的至少第一光学元件(42)是借助于机械力作用(72)以及热作用(76)来定位和/或变形的,或者所述至少第一光学元件(42)是借助于机械力作用(72)来定位和/或变形的以及所述多个光学元件的至少第二光学元件(46)是借助于热作用(78)来变形的。



1、一种改善光学系统(10)的成像特性的方法,其中所述光学系统(10)具有多个光学元件,其中,为了至少部分校正至少一成像像差,所述多个光学元件中的至少第一光学元件(42)是借助于机械力作用(72)以及借助于热作用(76)来定位和/或变形的,或者所述至少第一光学元件(42)是借助于机械力作用(72)来定位和/或变形的以及所述多个光学元件中的至少第二光学元件(46)是借助于热作用(78)来变形的。

2、根据权利要求1所述的方法,其中,所述至少第一光学元件(42)是以时间重叠的方式借助于机械力作用(72)以及借助于热作用(76)来定位和/或变形的,或者所述至少第一光学元件(42)是借助于机械力作用(72)来定位和/或变形的,且以时间重叠的方式,所述第二光学元件(46)借助于热作用(74)来变形。

3、根据权利要求1或2之一所述的方法,其中,所述至少第一光学元件(42)是借助于随时间不变的机械力作用(72、74)来定位和/或变形的。

4、依照权利要求1至3中任一权利要求所述的方法,其中,所述至少第一光学元件(42)以及/或所述至少第二光学元件(46)是借助于随时间变化的热作用(76、78)来变形的,例如借助于随时间线性上升的热作用(76、78)。

5、依照权利要求1至4中任一权利要求所述的方法,其中,定位和/或变形所述至少一个光学元件(42)的所述机械力作用在小于1秒、优选地小于500毫秒、更优选地小于100毫秒的时间期间内被调整和/或改变。

6、依照权利要求1至5中任一权利要求所述的方法,其中,定位和/或变形所述第一光学元件(42)的所述机械力作用以时间间隔 Δt_{mech} 来适配。

7、根据权利要求1至6中任一权利要求所述的方法,其中,对所述第一和/或所述第二光学元件(42、46)的热作用是连续地执行的。

8、根据权利要求1至7中任一权利要求所述的方法,其中,对所述第一和/或所述第二光学元件(42、46)的热作用是以时间间隔 Δt_{therm} 驱动的。

9、根据权利要求6以及权利要求8或9所述的方法,其中, $\Delta t_{\text{therm}}/\Delta t_{\text{mech}}$ 是在从0到大约10的范围内。

10、根据权利要求1至9中任一权利要求所述的方法,其中,所述热作

用(76、78)以这样的方式来执行,从而其在所述至少第一光学元件(42)和/或所述至少第二光学元件(46)中产生旋转对称的温度分布。

11、根据权利要求1至9中任一权利要求所述的方法,其中,所述热作用(76、78)以这样的方式来执行,从而其在所述至少第一光学元件(42)和/或所述至少第二光学元件(46)中产生非旋转对称的温度分布。

12、根据权利要求1至11中任一权利要求所述的方法,其中,所述热作用(76、78)以这样的方式来执行,从而其在所述至少第一光学元件(42)和/或所述至少第二光学元件(46)的边缘区域中产生温度变化。

13、根据权利要求1至12中任一权利要求所述的方法,其中,所述机械力作用(72、74)以这样的方式来执行,从而其扩展所述热作用(76、78)的效果范围。

14、根据权利要求1至13中任一权利要求所述的方法,其中,机械力作用(72、74)以及热作用(76、78)以这样的方式来执行,从而它们使得所述至少一成像像差的实际的与期望的校正(84)之间的时间段最小化。

15、根据权利要求1至14中任一权利要求所述的方法,其中,所述至少一成像像差是在所述至少一成像像差的至少部分校正之前被确定的。

16、根据权利要求15所述的方法,其中,所述至少一成像像差是通过波前分布的直接测量来确定的。

17、根据权利要求15或16所述的方法,其中,所述至少一成像像差是通过对所述光学系统(10)中的依赖场角和依赖衍射角的光分布的估计来确定的。

18、根据权利要求15至17中任一权利要求所述的方法,其中,所述至少一成像像差是通过比较所述光学系统(10)中的依赖场角和依赖衍射角的光分布与参考测量结果的依赖场角和依赖衍射角的光分布来确定的。

19、根据权利要求15至18中任一权利要求所述的方法,其中,所述至少一成像像差是通过借助于探测器在所述光学系统(10)的至少一个平面中测量所述依赖场角和衍射角的光分布来确定的。

20、根据权利要求1至19中任一权利要求所述的方法,其中,所述至少一成像像差的时间发展是在已经确定所述至少一成像像差之后且在执行所述至少一成像像差的至少部分校正之前来确定的。

21、根据权利要求20所述的方法,其中,对所述至少一成像像差的知

识被用于确定所述至少一成像像差的时间发展。

22、根据权利要求 1 至 21 中任一权利要求所述的方法，其中，确定可以实现的尽可能佳的校正，以至少部分校正所述至少一成像像差。

23、根据权利要求 1 至 22 中任一权利要求所述的方法，其中，所述至少一种光学元件的定位包括位移所述光学元件、关于所述光学系统 (10) 的光轴 (O) 旋转所述光学元件、以及/或关于所述光轴 (O) 倾斜所述光学元件。

24、一种具有改善的成像特性的光学系统，其中，所述光学系统 (10) 具有多个光学元件，其中所述多个光学元件被分配有多个操纵器，以主动地定位和/或变形所述多个光学元件，其中所述多个操纵器中的至少一个第一操纵器 (62、64) 形成为机械操纵器，以及所述多个操纵器中的至少一个第二操纵器 (66、68) 形成为热操纵器。

25、根据权利要求 24 所述的光学系统，其中，所述机械操纵器 (62、64) 和所述热操纵器 (66、68) 以这样的方式被设计，从而它们可以被用于以时间重叠的方式至少部分地校正至少一成像像差。

26、根据权利要求 24 或 25 所述的光学系统，其中，所述机械操纵器 (62、64) 为光学元件提供不依赖时间的不变的力作用 (72、74)。

27、根据权利要求 24 至 26 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述热操纵器 (66、68) 对所述多个光学元件具有随时间可变的热作用 (76、78)，例如随时间线性上升的热作用 (76、78)。

28、根据权利要求 24 至 27 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述至少一个机械操纵器 (62、64) 被分配有控制器 (63、65)，该控制器 (63、65) 在小于 1 秒、优选地小于 500 毫秒、更优选地小于 100 毫秒的时间期间内驱动所述机械操纵器 (62、64)，以调整和/或改变所述机械力作用。

29、根据权利要求 24 至 28 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述控制器 (63、65) 以时间间隔 Δt_{mech} 驱动所述机械操纵器 (62、64)。

30、根据权利要求 24 至 29 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述至少一个热操纵器 (66、68) 被分配有控制器 (67、69)，该控制器 (67、69) 连续地或以时间间隔 Δt_{therm} 来驱动所述热操纵器 (66、68)。

31、根据权利要求 29 和权利要求 30 所述的光学系统，其中，所述机械操纵器 (62、64) 和所述热操纵器 (66、68) 的时间配合驱动是这样的，

$\Delta t_{\text{therm}}/\Delta t_{\text{mech}}$ 在从 0 到大约 10 的范围内。

32、根据权利要求 24 至 31 中任一权利要求所述的光学系统，其中，通过所述热操纵器（66、68）可以在所述多个光学元件中产生旋转对称的温度分布。

33、根据权利要求 24 至 31 中任一权利要求所述的光学系统，其中，通过所述热操纵器（66、68）可以在所述多个光学元件中产生非旋转对称的温度分布。

34、根据权利要求 24 至 33 中任一权利要求所述的光学系统，其中，通过所述热操纵器（66、68）可以改变所述多个光学元件的边缘区域中的温度分布。

35、根据权利要求 24 至 34 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述热操纵器（66、68）用热源和/或热沉来形成。

36、根据权利要求 24 至 35 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述热操纵器（66、68）形成为热泵。

37、根据权利要求 24 至 36 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述热操纵器（66、68）的效果范围可以通过所述机械操纵器（62、64）来扩展。

38、根据权利要求 24 至 37 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述至少一成像像差的实际的和期望的校正（84）之间的时间段可以通过在时间上重叠使用所述机械操纵器（62、64）和热操纵器（66、68）来最小化。

39、根据权利要求 24 至 38 中任一权利要求所述的光学系统，其中，所述光学系统是用于微光刻的投射物镜。

改善光学系统成像特性的方法以及光学系统

技术领域

本发明涉及改善光学系统成像特性的方法。此外，本发明涉及具有改善的成像特性的光学系统。

背景技术

在制作精细图案部件的半导体光刻中使用了例如投射物镜形式的光学系统。在本说明书中，具体地提及了这种类型的投射物镜。

这种类型的光学系统具有多个光学元件，其可以形成为例如具有各种反射/折射特性的透镜、镜子或平行平板来形成。

投射物镜被用于将掩模（掩模母版）的结构或图案成像到光敏基底上。在这种情况下，置于光学系统物面中的结构被照明光源以及与其相关的照明光学组件来照明。通过该结构传输的光被指引通过该光学系统并曝光置于光学系统像面中的光敏基底。

现今，要被成像到基底上的结构做得越来越小，以便增加日益缩小的部件中的结构的集成密度。因此，存在对于光学系统的增加的需要，以改善它们的成像特性以及它们的分辨力性能，从而增加它们的成像质量。

光学系统的成像质量是由光学系统中发生的成像像差支配的，诸如，例如在由像差产生的区域。这样的成像像差可以是在光学系统工作期间由被加热的且改变光学系统的成像特性的光学系统的至少一个光学元件热引起的。

由于至少一个光学元件的加热，可以出现该至少一个光学元件的材料的不可逆的、由辐射控制的改变。作为示例，材料的密度（致密度）的改变导致光学元件折射率的局部变化。此外，可能的是，以折射率的变化或其他几何变形的形式的光学元件的材料的暂时的、可逆的改变可以发生并影响光学系统的成像特性。

根据光学系统的照明模式，至少一个光学元件的加热可以相对于光学系统的光轴旋转对称的或非旋转对称。非旋转对称的加热是由例如由掩模或照明光学组件中的光栅产生的偶极照明所带来的。

已知，热引起的成像像差可以至少通过光学元件的变形的的方式来部分地校正。通常，这样的变形在光学元件的波前分布中产生特殊的波纹（方位周期性），与波前像差分布对应的波纹至少部分地被校正。波前的波纹（方位周期性）应当被理解为 2π 的角度的整数倍，由此波前在其关于光瞳正中央的方位旋转之后再次并入其自身。

从 WO 99/67683 已知，置于光学系统中的支架中的透镜可以借助于操纵器来机械地变形。在这种情况下，操纵器具有一个或多个驱动器，其作用于近似垂直于光轴的透镜并在其上产生偏离径向的非旋转对称的力。由于建立的该透镜畸变，可以引起补偿整个系统的成像像差的成像像差，使得该光学系统的成像像差以指定的方式最小化。

但是，在使用机械操纵器的日常的实践中已经发现，仅简单的，即低阶波前像差的分布可以通过光学元件的变形来校正。如果光学元件具有复杂的波前像差分布，则光学元件需要以更高阶的方式被变形。这样的变形仅以机械地方式实现则非常复杂。另外，光学元件内以及光学元件与其支架之间的两者中均发生了可以损害光学元件以及其支架的机械应力。这个就极大地限制了校正成像像差的机械操纵器的使用范围。

EP 0 678 768 B1 公开了包括多个光学元件的透射曝光装置。光学元件被分配有热操纵器，所述热操纵器在光学元件处以周边分布的方式布置。该热操纵器通过冷却或加热光学元件的局部区域来抵消非旋转对称的温度分布，这减小了投射曝光装置的成像能力。考虑到光学元件的温度的变化，它们的材料特性，诸如，例如它们的热膨胀系数和它们的折射率以及它们的几何形状改变。

此外，可以通过布置，即移位、倾斜和/或旋转光学元件来减少成像像差。

另外，US 6, 198, 579 B1 公开了一种光学系统，其中至少一个透镜被分配有多个热操纵器。所述操纵器在透镜处以周边分布的方式布置，并被设计以通过冷却或加热所述透镜来改变所述透镜的温度分布以及几何形状。光学元件的成像像差可以至少由该方式被部分地校正。所述操纵器被形成为珀耳帖（Peltier）元件。

热操纵器的一个不足在于，光学系统的热支配的最佳变形仅以延迟方式发生。这是基于事实，即期望的温度分布必须首先通过加热/冷却光学元件而被设置在光学元件中。从处理要被热变形的光学元件的日常的的经验中可知，

热操纵器的启动与光学元件期望的变形之间的时间可以累计到数分钟，例如高达 10 分钟。结果，在光学系统的使用中会发生相当可观的延迟。

校正成像像差的热操纵器的另一个不足产生自光学元件的成像特性的变化要以复杂的方式来计算，考虑到引起的温度变化。如果光学元件以温度控制的方式变形，则光学元件的成像特性，例如折射率，也随着温度变化。为了获得成像像差的尽可能最佳的校正，必须相应地考虑以及非常精确地控制光学元件的温度控制的变形。

US 2006/0244940 A1 公开了一种微光刻的投射物镜，其不开机械操纵器也包括热操纵器。热操纵器由红外光发射器的排列组成，红外光发射器对光学元件之一加热，从而非旋转对称的温度分布被变换成旋转对称的温度分布。采用机械操纵器来校正在热校正之后残留的旋转对称的成像像差，机械操纵器借助于机械力作用定位一个或几个光学元件。

另外，US 2006/014662 A1 公开了一种光学浸没系统 (optical immersion system)，其中光学元件被机械地以及热地变形以校正像差。

还存在对改善光学系统的成像特性的方法的需要，使用该方法，光学系统的成像像差可以在短时间内有效地减少。

发明内容

因此，本发明的一个目的提供这样的一种方法。

本发明的另一个目的提供一种光学系统，其就成像特性而言被改善。

依照本发明，借助于改善光学系统成像特性的方法达到该目的，其中，该光学系统具有多个光学元件，其中，为了至少部分地校正至少一成像像差，多个光学元件中的至少第一光学元件借助于机械力作用以及热作用被定位和/或变形，或者该至少第一光学元件借助于机械力作用被定位和/或变形以及多个光学元件中的至少第二光学元件借助于热作用被变形。

此外，依照本发明，借助于具有改善的成像特性的光学系统来达到该目的，其中，该光学系统具有多个光学元件，其中该多个光学元件被分配有多个操纵器，用于定位和/或用于主动地变形多个光学元件，其中，多个操纵器中的至少一个第一操纵器被形成为机械操纵器以及多个操纵器中的至少一个第二操纵器被形成为热操纵器。

依照本发明的方法和依照本发明的光学系统依靠光学系统中所容纳的

至少第一光学元件来改善光学系统的成像特性,所述至少第一光学元件借助于机械力作用和热作用被定位和/或变形。作为替代,该至少第一光学元件借助于机械力作用来定位和/或变形以及光学系统中所容纳的至少第二元件是借助于热作用来变形。机械力作用以及热作用分别借助于机械操纵器和热操纵器来产生。

至少第一和/或至少第二光学元件的机械定位和/或变形以及热变形导致光学系统波前分布的变化,从而至少一成像像差可以借助于该方式至少被部分地校正。

依照本发明,光学元件的机械/热变形应当被理解为其特性的光学变化,具体地为其几何形状和/或诸如例如折射率、热膨胀系数等等的其材料特性的光学变化。

光学元件的机械定位被理解为沿光轴或横过光轴的位移、关于光轴的旋转和/或倾斜。

光学元件可以形成为例如具有各种折射以及反射特性的透镜、镜子或平行平板。

借助于机械力作用的光学元件的定位和/或变形以及借助于热作用的变形有利地导致校正光学系统的成像像差的基阶和较高阶的两种不同的可能性。对光学元件进行变形或定位的两种方法均是充分已知的,且可以以非常可控且指定的方式来使用,以校正光学系统的波前像差分布。

另一优点是基于事实:当机械变形将导致损伤该光学元件或其支架时,可以使用光学元件的热变形。光学元件的热变形从而使能够校正不被简单的机械变形所允许的成像像差。

另外,同时地执行光学元件的机械定位和/或变形以及热变形减少成像像差的校正所需要的时间。

在一个优选的配置中,以时间上重叠的方式,借助于机械力作用定位和/或变形以及借助于热作用变形该至少第一光学元件,或者借助于机械力作用定位和/或变形该至少第一光学元件以及,以时间上重叠的方式,借助于热作用变形该至少第二光学元件。

该方法具有优点:光学系统的复杂的波前像差分布可以以光学元件的机械以及热引起的操纵的相互作用而被最佳地校正。

在另一个优选的配置中,该至少第一光学元件借助于随时间不变的机械

力作用来定位和/或变形。

该方法具有优点：可以以简单和容易可控制的方式提供机械力作用。对光学元件随时间不变的机械力作用的校正效果是充分已知的且因此被良好地预测。另外，对产生随时间不变的机械力作用的机械操纵器所要求的技术需求与那些产生随时间可变的机械力作用的操纵器的情况相比比较不苛刻。

在进一步优选的配置中，该至少第一光学元件和/或该至少第二光学元件借助于随时间可变的热作用来变形，例如借助于随时间线性上升的热作用。

该方法具有优点：热作用可以最优地适配于光学系统的随时间变化的波前像差分布。光学系统的成像像差可以通过该方式尤其良好地被校正。

在进一步优选的配置中，用于定位和/或变形第一光学元件的机械力作用在小于1秒、优选地小于500毫秒、更优选地小于100毫秒的时间期间内，被调整和/或改变。

在光学系统中，该至少一个机械操纵器被分配有控制器，该控制器在小于1秒、优选地小于500毫秒、更优选地小于100毫秒的时间期间内驱动机械操纵器，以调整和/或改变机械力作用。在每一个这样的时间期间之后，操纵器处于休息状态。

因而，该至少一个机械操纵器被触发仅持续最小的时间期间，以便调整期望的力的作用，例如，以便定位和/或变形第一光学元件，以及恰在其后，机械操纵器的驱动作用被中断，从而达到调整的机械力作用。该调整的机械力作用是不变的以及可以具有大于零或近似等于零的值。机械操纵器的这些短时间的驱动具有下述优点：由机械操纵器的驱动所产生的振荡和振动可以在光学系统、特别地在微光刻的投射物镜被用于曝光基底之前可以衰减。基底（也被称作为晶片）被划分成多个被称作“管芯（die）”的单个区域。每一个管芯通常相继地独立地被曝光。前述的方法确保由机械操纵器的驱动所产生的振荡在管芯曝光开始之前被衰减。

在进一步优选的配置中，定位和/或变形第一光学元件的机械力作用以时间间隔 Δt_{mech} 被适配。

这个配置代表以时间间隔对第一光学元件的机械力作用调整和/或改变的情况。时间间隔 Δt_{mech} 优选地适配于单个管芯的曝光的时间间隔。

换句话说，机械操纵器被逐管芯地触发，以便使第一光学元件的位置和/或变形适配于由于系统的光学元件的加热所需要的成像校正。

在光学系统中，前述的控制器相应地以时间间隔 Δt_{mech} 驱动该至少一个机械操纵器。触发或驱动机械操纵器的时间间隔 Δt_{mech} 因而大于驱动本身的持续时间，且平均而言例如在1至5秒的范围内，对应于每一单个管芯的单次曝光的时间间隔。

在进一步优选的配置中，对第一和/或第二光学元件的热作用是连续地执行的。

不同于机械操纵器，热操纵器不遭受振荡或振动的问题。热操纵器从而可以被连续驱动，以便缩短热的时间常数。

但是，即使在热操纵器的情况中，如果对第一和/或第二光学元件的热驱动可以以时间间隔 Δt_{therm} 来执行，其可以是优选的。

在光学系统中，该至少一个热操纵器也被相应地分配有控制器，其连续地或以时间间隔 Δt_{therm} 驱动该热操纵器。

优选地，选择机械力作用和热作用的驱动的时间间隔 Δt_{therm} 和 Δt_{mech} ，从而比率 $\Delta t_{\text{therm}}/\Delta t_{\text{mech}}$ 在0至大约10的范围内。0值意味着该热操作器的连续驱动。大约1的值意味着以相等的时间间隔驱动机械操纵器和热操纵器，例如逐管芯地。例如7至10的大于1的值意味着热操作器被驱动持续全部的晶片曝光的时间期间，即，在单个管芯的每一单个曝光之后不中断热操纵器的驱动，而这对于机械操纵器也是如此。

在进一步优选的配置中，以这样的方式执行热作用，从而在该至少第一光学元件中和/或在至少第二光学元件中产生旋转对称的温度分布。

该方法具有优点：由于在光学元件中建立旋转对称的温度分布，基于光学元件的旋转对称加热的光学系统的成像像差被校正。

在进一步优选的配置中，以这样的方式执行热作用，从而在该至少第一光学元件中和/或该至少第二光学元件中产生非旋转对称的温度分布。

该方法具有优点：基于光学元件的非旋转对称加热的成像像差，诸如，例如由照明极所产生的，可以借助于在光学元件中引起的非旋转对称的温度分布来校正。

在进一步优选的配置中，以这样的方式执行热作用，从而在该至少第一光学元件和/或该至少第二光学元件的边缘区域中产生温度变化。

该方法具有优点：在光学元件的光学上未使用的区域中提供温度变化。由边缘区域开始进行，所引起的温度变化可以在整个光学元件上扩展。

在进一步优选的配置中，以这样的方式执行机械力作用，从而其扩展热作用的效果的范围。

该方法具有优点：相比光学元件的仅机械产生的或仅热产生的变形，实现了更大的变形。

在进一步优选的配置中，以这样的方式执行机械力作用和热作用，从而它们最小化至少一成像像差的实际的和期望的校正之间的时间段。

该方法具有优点：该至少一成像像差的至少部分的校正是快速有效的。这个优点减少在光学系统的操作期间的维护时间。

在进一步优选的配置中，该至少一成像像差在该至少一成像像差的至少部分的校正之前被确定。

该方法具有优点：成像像差可以基于所述成像像差的知识来最优地改善。

在进一步优选的配置中，通过波前分布的直接测量来确定该至少一成像像差。

该方法具有优点：成像像差可以以简单的方式被确定而没有更多的技术花费。

在进一步优选的配置中，通过估计光学系统中依赖场角和衍射角的光分布来确定该至少一成像像差。

该方法具有优点：其提供确定该至少一成像像差进一步的方法，该方法可以以简单的方式执行。光学系统中光分布的估计利用光学元件的层和体积的吸收系数的知识。光学元件中所吸收的强度以及光学元件的温度分布是基于照明光源和照明光学组件的结构照明模式来确定的。从此可以计算光学元件的热膨胀系数以及折射率，以便推导光学系统的波前像差的分布。

在进一步优选的配置中，通过将光学系统中的依赖场角和依赖衍射角的光分布与参考测量结果的依赖场角和依赖衍射角的光分布相比较来确定该至少一成像像差。

该方法具有优点：提供确定成像像差的又一种可能性，其可以以简单的方式来执行。由于已知参考光分布的成像像差，光学系统的该至少一成像像差可以直接地被推导。

在进一步优选的配置中，通过借助于探测器测量光学系统的至少一个平面中的依赖场角和依赖衍射角的光分布来确定该至少一成像像差。

该方法还提供用于确定光学系统的成像像差的另一可能性，其可以以简单的方式来执行。光分布的测量优选在基底曝光之前执行，其中使用诸如例如 CCD 相机的探测器。光分布可以在例如光学系统的平面中来测量，该平面是靠近光瞳的平面、靠近场的平面和/或中间平面。

在进一步优选的配置中，在已经确定该至少一种像差之后且在执行该至少一种像差的至少部分校正之前，探测该至少一种像差的在时间上的发展。

该方法使得能够基于将来发生的成像像差的知识来最佳地校正成像像差。

在进一步优选的配置中，该至少一成像像差的知识被用于确定该至少一成像像差的在时间上的发展。

该方法具有优势：基于现有的成像像差可以非常精确地预测成像像差的将来时间的发展。此外，可以在该至少一成像像差的时间发展的预测中及时附加地考虑在较早时间点处已经发生的成像像差，从而可以甚至更精确地预测该时间发展。

在进一步优选的配置中，可以实现的尽可能最佳的校正被确定，以至少部分地校正该至少一成像像差。

该方法使成像像差能够被最佳地校正，其包括了可以执行的全部可行的校正。

在依照本发明的光学系统的情况中，与在权利要求书中所指明的光学系统的优选配置相一致，可以应用上述方法以改善光学系统的成像特性。

附图说明

从下面的描述以及附图，更多的优点和特征将变得明了。

不言而喻，上面所提及的特征以及那些更要在下面解释的特征可以不仅在所指明的组合中使用，也可以在其它的组合中使用或由它们自己来使用，而不脱离本发明的范围。

基于与附图相关联的一些选择的示范性实施例，下面更具体地解释和描述本发明，其中：

图 1 示出基底曝光期间光学系统的示意图示；

图 2 示出至少一成像像差的至少部分校正的示意图示；以及

图 3 示出依照改善光学系统的成像特性的本发明的方法的流程图。

具体实施方式

图 1 示出一种光学系统，为其提供总的参考符号 10，且其允许将结构 20 或掩模（掩模母版）的图案成像到光敏基底 22 上。

该类型的光学系统 10 可以被用作在微光刻中制作精细构图的部件的投射物镜。

被分配有照明光学组件 25 的光源 24 照明置于光学系统 10 的物面 26 中的结构 20。光束 28 被传输通过结构 20 的部分区域并进入光学系统 10。光学系统 10 以缩小的方式将结构 20 成像到置于光学系统 10 的像面 30 中的光敏基底 22 上。

光学系统 10 具有多个光学元件，在示意图示中，为 4 个光学元件 42-48，其可以形成为具有各种折射以及反射特性的透镜、镜子或的平行平板来形成。在光学系统 10 中，每一个光学元件 42-48 被收纳在各个支架 50-56 中。

在光学系统 10 的操作期间，作为加热一个或多个光学元件 42-48 的结果，可以产生至少一成像像差。由于加热，光学元件 42-48 的材料特性以辐射控制的方式不可逆地变化。作为示例，光学元件 42-48 的密度可以变化（致密度，纯净度），从而由此光学元件 42-48 的折射率或热膨胀系数被改变。另外，光学元件 42-48 的加热可以导致几何形状和材料特性的暂时的改变。

加热光学元件 42-48 可以相对于光学系统 10 的光轴 O 旋转对称或非旋转对称的来产生。非旋转对称的加热的例子例如通过掩模或照明光学组件 25 中的光栅引起，其中因而产生光学系统的照明极。

依照本发明的方法通过校正光学系统 10 的至少一成像像差用来改善光学系统 10 的成像特性。

为此，光学系统 10 具有多个操纵器，在示意图示中为 4 个操纵器 62-68，其被分配给多个光学元件。操纵器 62-68 可以形成为机械操纵器 62-64 或形成为热操纵器 66-68。

作为示例，光学元件 42 可分配有至少一个机械操纵器 62 和至少一个热操纵器 66。此外，针对每一情况可行的是，至少一个机械操纵器 64 或至少一个热操纵器 68 将被分配给各光学元件 44、46 且作用于光学元件 44、46。

操纵器 62-68 用作至少部分校正光学系统 10 的至少一成像像差。每一个机械操纵器 62、64 可以具有一个以上的驱动器，所述驱动器作用于光学

元件 42、44 并对光学元件 42、44 产生机械力作用 72、74。光学元件 42、44 从而被定位或机械地变形，其中，就变形而言，所述元件就其特性而被光学地改变，尤其是其几何形状和/或其材料特性，诸如例如折射率等等。光学元件 42、44 的定位不导致光学元件 42、44 的几何形状或材料特性的改变，但这里定位意味着在光轴 O 的方向或横过光轴 O 的方向上的光学元件 42、44 的位移，关于光轴 O 的光学元件 42、44 的旋转和/或关于垂直于光轴 O 的轴的光学元件 42、44 的倾斜。

机械力作用 72、74 可以在光学元件 42、44 的任何期望的区域内作用。此外，其在机械操纵器 62、64 启动之后立刻开始，且在驱动之后以随时间不变的方式作用，其中机械力作用则可以具有大于零或近似等于零的值。

机械操纵器 62、64 可以包括可变形的透镜元件的驱动器，以便校正具有二阶波纹的成像像差，或者包括定位光学元件 42、44 的驱动器。

机械操纵器 62、64 可以仅在短时间期间被驱动，从而调整和/或改变期望的机械力作用。该时间期间在小于大约 1 秒、优选地小于 500 毫秒、更优选地小于 100 毫秒的范围内。该时间期间是足够的，因为机械操纵器 62、64 即时地作用，即调整和/或改变期望的机械力作用的其时间常数是最小的。

每当基底 22 的曝光恰好中断时，优选地驱动或触发机械操纵器 62、64。基底 22（也称作为晶片，在其要被曝光的表面上）被划分成多个管芯，其被逐个曝光，以及机械操纵器 62、64 优选地在一个管芯的曝光完成以及在下一个管芯的曝光开始之前的时刻被触发。机械操纵器 62、64 从而以时间间隔 Δt_{mech} 被触发，以便调整和/或改变在光学元件 42、44 上的各期望的机械力作用，其中这些时间间隔优选地对应于后续管芯之间曝光的时间间隔。时间间隔 Δt_{mech} 可以在 1 至 5 秒的范围内，以及可以是例如大约 2 秒。

在示例中，机械操纵器 62、64 被分配有控制器 63、65，该控制器 63、65 以定时的方式控制机械操纵器 62、64 的驱动。控制器 63、65 仅以短的时间期间以时间间隔 Δt_{mech} 来驱动机械操纵器 62、64，如前所述。

热操纵器 66、68 在光学元件 42、46 上产生热作用 76、78。光学元件 42、46 从而通过它的局部区域的加热/冷却被热变形。依照本发明，光学元件 42、46 的热引起的变形应当被理解为意味着其特性的由温度控制的改变，具体地在其几何形状和/其诸如例如其热膨胀系数以及其折射率的材料特性中的变化。

在一个优选配置中，热操纵器 66、68 可以形成为加热线、珀耳帖元件或根据加热泵的原理来形成。热操纵器 66、68 可以以这样一种方式来设计，从而它们引起光学元件 42、46 的温度分布，所产生的该温度分布可以由热源和热沉来提供。

热操纵器 66、68 还被分配有控制器 67、69。

另外，每一操纵器 62-68 可以在每一情况中独立地被驱动。同样可行的是，全部的操纵器 62-68 被共同地驱动或以不同的相互组合驱动。

在一个优选的配置中，机械操纵器 62 和热操纵器 66 以时间上重叠的方式被使用，从而机械力作用 72 和热作用 76 以时间上重叠的方式对光学元件 42 产生作用。同样可行的是，被分配给不同光学元件 44、46 的机械操纵器 64 和热操纵器 68 将以时间上重叠的方式来使用，从而机械力作用 74 和热作用 78 同时地对光学元件 44、46 产生作用。因此，各光学元件 42-46 的机械的定位和/或变形以及由热引起的变形同时地发生并改变所述光学元件的成像特性。因为机械操纵器 62、64 的效果范围被添加到热操纵器 66、68 的效果范围，这扩展了热操纵器 66、68 的效果范围。

热操纵器 66、68 可以以连续的方式或以时间间隔 Δt_{therm} 由控制器 67、69 来触发，时间间隔 Δt_{therm} 可以近似地相应于时间间隔 Δt_{mech} 或者其可以为 Δt_{mech} 大约 10 倍大。通常，热操纵器 66、68 以及机械操纵器 62、64 以时间间隔 Δt_{mech} 和 t_{therm} 来触发，从而比率 $t_{\text{therm}}/\Delta t_{\text{mech}}$ 在从 0 到大约 10 的范围内，其中值 0 意味着热操纵器 66、68 的连续地触发。 $t_{\text{therm}}/\Delta t_{\text{mech}} \approx 1$ 的值意味着以逐一执行地单个管芯曝光的时间间隔触发热操纵器 66、68，该比率的值大于 1 至向上到大约 10 的值意味着驱动热操纵器 66、68 持续基底 22 的完整的曝光时间期间，即逐晶片地驱动热操纵器 66、68。

如果机械操纵器 62、64 以及热操纵器 66、68 同时作用于光学元件 42-48，接着，至少一成像像差的实际的校正与期望的校正 84 之间的时间段被减少。光学元件 42、44 的机械地引起的定位和/或变形被添加到光学元件 42、46 的热引起的变形，从而相比于热操纵器 66、68 的单一效果，光学元件 42、46 的可获得的需要的变形可以较小以及更快速地获得。

图 2 示出光学系统 10 的至少一成像像差的至少部分校正的时间分布的示例，其中由机械操纵器 62、64 引起的或由热操纵器 66、68 引起的成像像差是相对时间绘制的。引起的成像像差至少部分地补偿光学系统 10 的至少

一成像像差。

光学系统 10 的至少一成像像差的意欲的期望校正 84 是通过校正 86 和校正 88 获得的。校正 86 产生自借助于机械操纵器 62、64 的光学元件 42、44 的定位和/或变形。校正 88 产生自借助于热操纵器 66、68 的光学元件 42、46 的变形。

校正 86 在机械操纵器 62、64 启动之后立刻开始，并且它是随时间不变的，直到机械操纵器又被触发。至少一成像像差的校正 88 随时间线性地增加。期望的校正 84 产生自校正 86、88 彼此相结合，其由箭头 90 所指示。

至少一成像像差的至少部分校正是在方法 100 的期间执行的，以改善光学系统 10 的成像特性（参看图 3）。方法 100 具有方法步骤 102-108：确定至少一成像像差、确定至少一成像像差的时间发展、确定尽可能最佳的校正以及至少部分校正至少一成像像差。

方法 100 的单独的方法步骤 102-108 在个情形中可以单独地或以不同的相互组合来执行。

方法步骤 102，确定至少一成像像差，可以借助于子步骤 110-116 来执行，其中后者也可以以组合来使用。子步骤 110 是基于至少一成像像差的直接测量。为此，可以使用诸如例如在 EP 1 231 517 A1、US 5 978 085 A1、US 5 392 119 A1 或者 US 5 828 455 A1 中所说明的波前探测器。

此外，借助于子步骤 112，光学系统 10 中依赖场角和依赖衍射角的光分布可以基于照明光源 24 以及照明光学组件 25 的结构 20 的照明模式来估计。在这种情况下，光学元件 42-48 所吸收的强度，也就是说其温度分布是借助于对光学元件 42-48 的层和体积的吸收系数的知识来确定。由此可以计算光学元件 42-48 的所得的热膨胀系数或折射率上所得的依赖温度的变化以及光学系统 10 的整体波前上的其效果。

确定成像像差的子步骤 114 借助于将光学系统中的依赖场角和依赖衍射角的光分布与参考测量结果中的依赖场角和依赖衍射角的光分布做比较来实现。

另外，确定成像像差的方法步骤 102 可以借助于子步骤 116 来执行，即例如在基底曝光之前，测量光学系统 10 的一个或多个平面中的光分布。在一个优选配置中，光分布的测量是借助于例如 CCD 照相机的探测器来执行的。依照子步骤 112，光学系统 10 的成像像差可以借助于测量的光分布来推

导。光分布的测量可以在靠近光学系统 10 的光瞳处和/或靠近光学系统 10 的场 (field) 以及/或光学系统 10 的中间位置处来实现。

在方法步骤 102 (确定至少一成像像差) 之后, 执行方法步骤 104, 计算至少一成像像差的时间发展。该方法步骤 104 可以包括对在前时间点处的至少一成像像差的知识。优选地, 至少一成像像差的时间发展可以高达预先数个小时来计算。

方法步骤 106 (计算光学系统 10 的至少一成像像差的尽可能佳的校正) 考虑了光学系统 10 的最少一种成像像差旨在被至少部分地校正的持续时间。在这种情况下, 可以实现的最佳校正可以借助于在不同时间点处的不同的成像像差的二次范数的优化来进行, 借助于即不同时间点处的积分值的优化来进行, 诸如例如波前的 rms 值, 或者借助于相应的最大范数的优化来进行。

方法步骤 108, 至少部分校正至少一成像像差, 可以如上所解释的来执行, 借助于机械力作用 72、74 以及热作用 76-78。

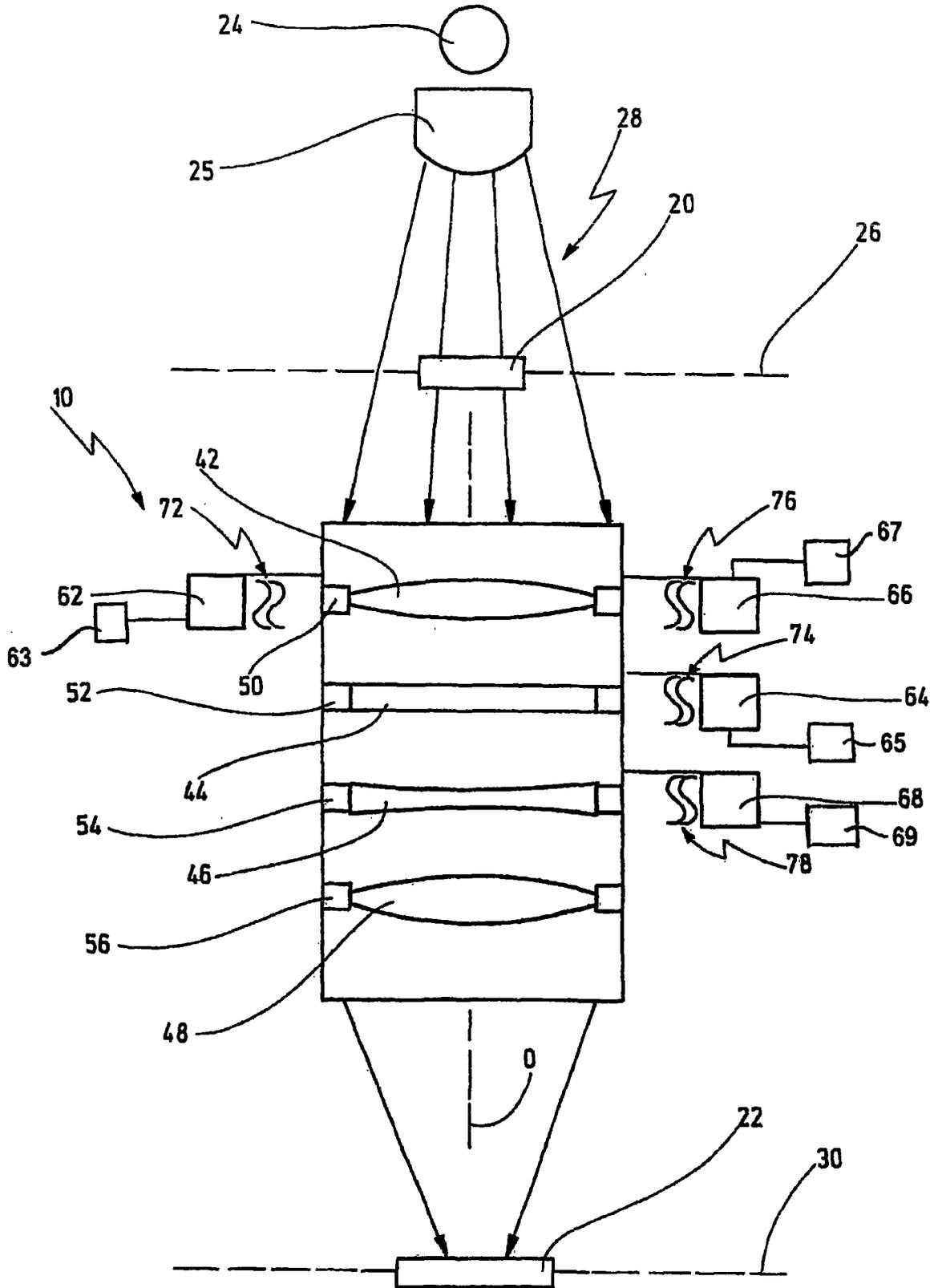


图 1

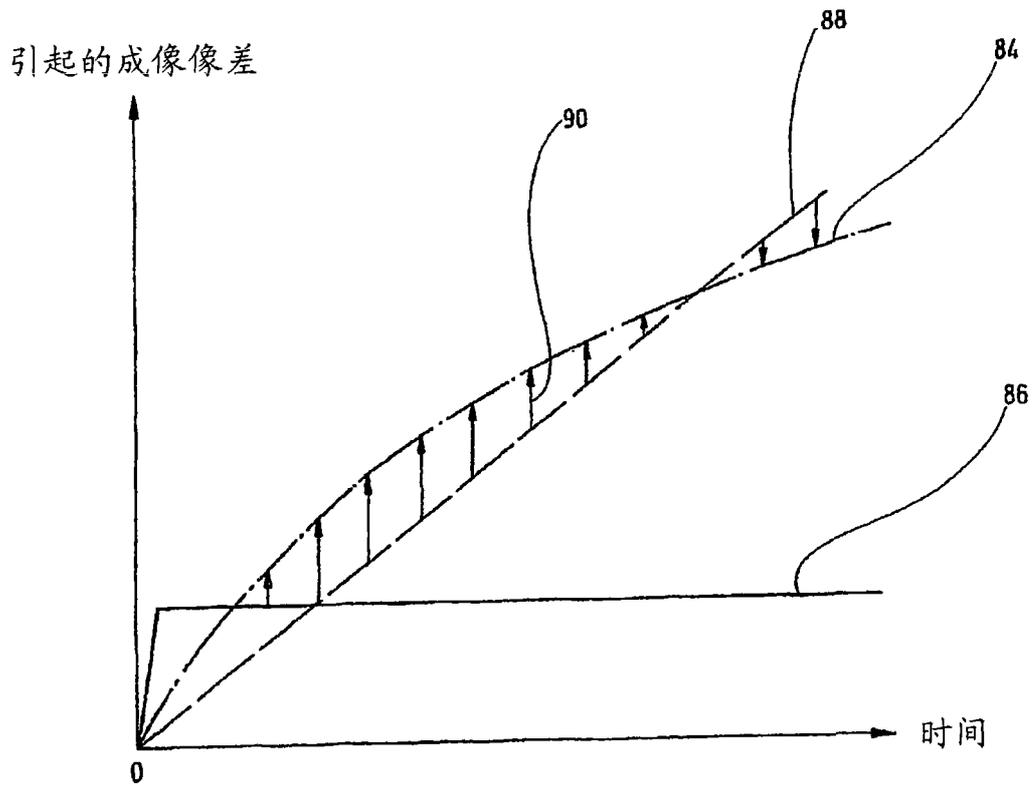


图 2

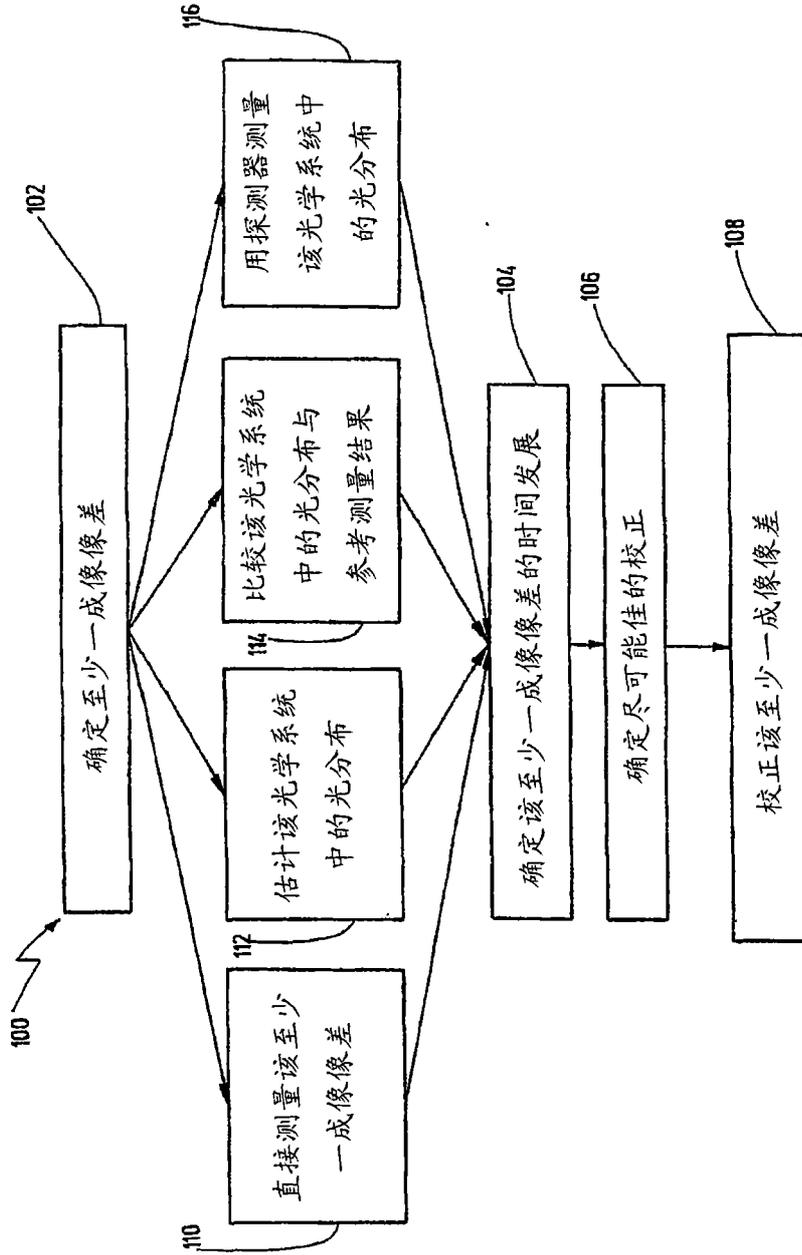


图 3