

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G03F 7/207 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510081963.X

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100524041C

[22] 申请日 2005.7.7

[21] 申请号 200510081963.X

[30] 优先权

[32] 2004.7.8 [33] US [31] 10/886051

[73] 专利权人 ASML 荷兰有限公司

地址 荷兰维尔德霍芬

[72] 发明人 A·B·杰尤宁克 M·阿克萨萨
J·J·M·巴塞曼斯
F·A·C·M·科米斯萨里斯
R·M·范迪克 S·德戈鲁特
W·T·特 A·H·M·范德霍夫
A·范德是塔特

[56] 参考文献

US5801815A 1998.9.1

EP1164436A2 2001.12.19

EP1355140A1 2003.10.22

审查员 王志远

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 王波波

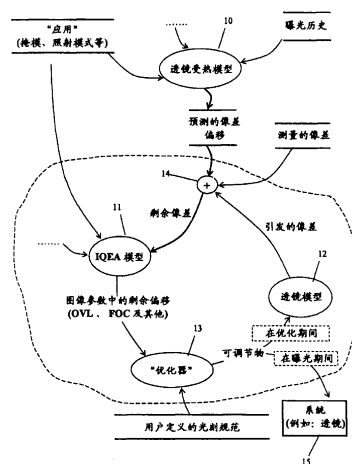
权利要求书 4 页 说明书 31 页 附图 6 页

[54] 发明名称

光刻投射装置及使用这种光刻投射装置的器件制造方法

[57] 摘要

为对特定应用最重要的这些像差要比对特定应用不太重要的像差给予优先补偿，在光刻投射装置中被使用这样一种制造方法。在具有接受图像的目标部分的衬底，按照所要的图案化应用赋予图案的掩模和将选择的辐射束投射在掩模上产生特定要求的图案化束从而在目标部分形成图案的图像的投射系统中，该方法包括：预测投射系统像差随时间变化；确定这样预测的投射系统像差变化相对一些测量的像差值对一些图像参数的应用相关影响；按照投射系统中这种预测的投射系统像差随时间的变化和它们对一些图像参数的应用相关影响产生针对所要求图案化束的控制信号；以及按照控制信号执行图像调节以补偿预测的图像像差变化应用相关影响。



1. 一种光刻投射装置，其中包括：

用以支持将图案赋予投射在其上的辐射束的图案化装置的支持结构；

用以固定衬底的衬底台；

用以将图案化的束投射到衬底的目标部分以在所述目标部分上形成图案化装置的图案的投射系统；

用以按照预测的投射系统像差变化来产生控制信号的控制系统；以及
响应该控制信号的图像调节系统，用于根据所述控制信号执行图案调整；

其特征在于，为了在不同的曝光应用的范围中提供高精度，所述控制系统包括：

用以相对于测量的像差值预测投射系统中像差随时间的变化的预测系统；

一个模型化系统，用以确定所述预测投射系统中像差随时间的变化对所述光刻投射装置中使用的所选择图案化装置的图案的至少一个参数的应用相关影响，以产生一个特别要求的图案束，使得能够对所述图像调节系统施加一个针对所要求的图案束的拉制信号，以补偿所述预测投射系统中像差随时间的变化对所选择的图案化装置的图像的应用相关影响。

2. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：所述控制系统用于产生一个控制信号，所述控制信号按照所选择的具体应用的图案化装置对投射系统像差在两个方向上的已知灵敏度，与图像平面中另一个方向上图像特征的预测变化相比较，优先补偿图像平面中一个方向上的图像特征的预测变化。

3. 如权利要求 2 所述的光刻投射装置，其特征在于：控制系统配置成产生优先补偿在垂直于所述图像平面方向上图像特征的预测变化的控制信号，根据所选择图案化装置对投射系统像差在所述图像平面方向上的已知灵敏度进行这种补偿。

4. 如权利要求 1、2 或 3 所述的光刻投射装置，其特征在于：所述控制系统还用于产生一个控制信号，该控制信号按照所选择的具体应用的图

案化装置对投射系统像差在两个方向上的已知灵敏度和一个定义的优质函数，确定将给予所述投射系统像差对图像的不同参数的影响的相对权重。

5. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：所述预测系统用于基于透镜受热模型确定投射系统像差随时间的变化，所述透镜受热模型预测由于透镜受热或冷却引起的至少一个像差值随时间的变化。

6. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：所述模型化系统配置成根据表示选择的图案化装置和投射系统照射模式设定的数据来确定所述投射系统像差变化的应用相关影响。

7. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：所述控制系统用于根据在调节系统的图像调节变化和所述图像调节系统所补偿的像差变化之间已知的对应产生一个控制信号。

8. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：还包括一个覆盖计量反馈系统，该覆盖计量反馈系统建立并配置成用来校正相对上一层的计量覆盖目标部分所测量的当前层计量覆盖目标部分的移动，所述移动来自所述预测投射系统中像差随时间的变化，和所述图像调节的效果是补偿所述预测射系统中像差随时间的变化相对于在所述图案的某些参数的所测量的像差变化值的应用相关影响，所述校正基于优化程序按照定义的优质函数提供图像最敏感的要被补偿的像差变化。

9. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：还包括一个对准系统，该对准系统建立并配置成补偿为施加在目标部分各层的每一层对准设立各个晶圆对准记号的移动的影响，所述预测投射系统中像差随时间的变化，和所述图像调节的效果是补偿所述预测投射系统中像差随时间的变化相对于在所述图案的某些参数的所测量的像差变化值的应用相关影响，所述补偿基于优化程序按照定义的优质函数提供图像最敏感的要被补偿的像差变化。

10. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置，其特征在于：还包括一个对准系统，该对准系统建立并配置成补偿为使图案化装置相对于所述目标部分对准而设立各个掩模对准记号的移动的影响，所述移动来自所述预测投射系统中像差随时间的变化，和所述图像调节的效果是补偿所述预测投

射系统中像差随时间的变化相对于在所述图案的某些参数的所测量的像差变化值的应用相关影响,所述补偿基于优化程序按照定义的优质函数提供图像最敏感的要被补偿的像差变化。

11. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置,其特征在于:所述控制系统包括一个测量系统,该测量系统建立并配置成在对图像的至少一个参数随时间的预测影响超过对应的阈值时重新测量至少一个像差值。

12. 如权利要求 1 所述的光刻投射装置,其特征在于:为了优化随扫描位置变化的图像,所述图像调节系统还配置成在衬底扫描曝光时在依次扫描位置上执行成像调节,考虑到扫描图像在衬底范围的变化。

13. 一种使用光刻投射装置的器件制造方法,该方法包括以下步骤:
提供具有用于接收图像的目标部分的衬底;
按照所要的图像化应用选择图案化装置;
利用投射系统用辐射束照射该图案化装置,产生所需的图案化辐射束;

将该图案化辐射束投射在目标部分上,在其上形成图像;

根据预测投射系统像差变化产生一个控制信号;以及利用图像调节系统根据所述控制信号进行图像调节;

其特征在于,为了在不同的曝光应用的范围中提供高精度,所述控制信号的产生包括:

相对于测量的像差值预测投射系统中像差随时间的变化;

确定所述预测投射系统中像差随时间的变化对所述光刻投射装置中使用的所选择图案化装置的图案的至少一个参数的应用相关影响,以产生一个特别要求的图案束,使得能够对所述图像调节系统施加一个针对所要求的图案束的控制信号,以补偿所述预测投射系统中像差随时间的变化对所选择的图案化装置的图像的应用相关影响。

14. 如权利要求 13 所述的器件制造方法,其特征在于:所述控制信号根据所选择图案化装置对投射系统像差在两个方向上的已知灵敏度,与图像平面中另一个方向上图像特征的预测变化相比较,优先补偿图像平面中一个方向上的图像特征中的预测变化。

15. 如权利要求 14 所述的器件制造方法,其特征在于:所述控制信

号根据所选择图案化装置对投射系统像差在垂直于图像平面的方向上的已知灵敏度, 优先补偿在垂直于图像平面的方向上的图像特征中的预测变化。

16. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 所述控制信号根据所选择图案化装置对投射系统像差的已知灵敏度和一个定义的优质函数而产生, 所述优质函数确定将给予所述投射系统像差对图像的各个参数的选择效应的相对权重。

17. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 所述预测的投射系统像差随时间的变化是基于透镜受热模型而确定的, 该模型预测由于透镜受热或冷却引起的至少一个像差值随时间的变化。

18. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 所述预测投射系统中像差随时间的变化的应用相关影响基于表示选择图案化装置和所述投射系统的照射模式的数据而确定的。

19. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 所述控制信号是基于调节系统的图像调节变化和由这种图像调节补偿的像差变化之间已知的对应进行生成的。

20. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 还包括校正相对上一层计量覆盖目标部分所测量的当前层计量覆盖目标部分的移动的反馈覆盖计量信息, 作为所述预测投射系统中像差随时间的变化和所述图像调节的结果, 所述图像调节的效果是补偿所述预测投射系统中像差随时间的变化相对于在所述图案的某些参数的所测量的像差变化值的应用相关影响, 所述校正基于优化程序按照定义的优质函数提供图像灵敏度的要被补偿的像差变化。

21. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 还包括当预测的对至少一个图像参数随时间的的影响大于对应阈值时重新测量至少一个像差值的步骤。

22. 如权利要求 13 所述的器件制造方法, 其特征在于: 为允许扫描图像在衬底范围的变化, 为了优化随扫描位置变化的图像, 在衬底扫描曝光时在依次扫描位置上进行所述图像调节。

光刻投射装置及使用这种光刻投射装置的器件制造方法

技术领域

本发明涉及光刻投射装置和使用这种光刻投射装置的器件制造方法。

背景技术

本发明在例如光刻投射装置领域找到应用，光刻投射装置包括提供投射辐射束的辐射系统；用于支持图案化器的支持结构，该图案化器用于按照要求的图案使投射束图案化；用于固定衬底的衬底台；以及用于将图案化的辐射束投射到衬底目标部分的投射系统。

此文所用“图案化器”术语应广义地理解为指赋予入射的辐射束具有与在衬底目标部分将要形成的图案所对应的图案北截面的装置和结构；“光阀”术语在本文中也可使用。一般说，图案对应于在目标部分被形成的器件例如集成电路或其他器件(见下文)的特定功能层。这种图案化器的例子包括如下：

· 掩模

掩模的概念在光刻技术中已众人皆知，它包括例如二元、交变相移和衰减相移的掩模类型以及各种混合掩模类型。在辐射束中放置这种掩模使得入射在掩模上的辐射按照掩模上的图案产生选择性的透射(在透射掩模情况)和反射(在反射掩模情况)。在掩模情况，支持结构一般是掩模台，它确保掩模固定在相对入射辐射束所需的位置，且需要时掩模可以相对于束移动。

· 可编程镜面阵列

这种装置的一个例子是具有粘弹性控制层和反射面的矩阵可寻址表面。这种装置的基本原理是(例如)反射面的寻址区域反射入射光

为衍射光，而非寻址区域反射入射光为非衍射光。使用适当滤光器，非衍射光被从反射束中滤去，此后仅留下衍射光；以这种方式，辐射束就按照矩阵可寻址表面的编址图案成为图案化。可编程镜面阵列的一个供选择的实施例使用微镜面的矩阵结构，通过施加适当的局部电场或使用一个或多个压电执行器可以个别地使每个微镜面沿轴倾斜。这样，镜面就成为矩阵可寻址的，使得寻址镜面以不同于未寻址镜面的方向反射入射的辐射束；以这种方式，反射束就按照矩阵可寻址表面的编址图案被图案化。所需要的矩阵编址可以使用适当的电路完成。在上述二种情况，图案化器可以包含一个或多个可编程镜面阵列。有关此文提及的镜面阵列更多信息可以从例如 US 5296891 和 US 5523193 以及从 WO 98/38597 和 WO 98/33096 中收集(通过参考一起并入本文)。在可编程镜面阵列的场合，支持结构可实施为支架或台面的形式，例如，按需要可为固定或移动的。

可编程 LCD 阵列。这种结构的一个例子在 US 5229872 (通过参考一起并入本文)中给出。同上，支持结构可以实施为支架或台面的形式，例如可按要求为固定或移动的。

为简单起见，本说明书的其余部分专门针对包括掩模和掩模台的例子；然而，在例中讨论的一般原理上应该从上述的图案化器的更广泛的环境去理解。

光刻投射装置可以用于例如集成电路(IC)的制造。在这种情况下，图案化器可以产生对应 IC 个别层的电路图案，并且这图案可以成像在涂有一层辐射敏感材料(光刻胶)的衬底(硅晶片)的目标部分(例如包括一个或多个芯片)上。一般说，单个晶片包括若干个相邻的目标部分，这些目标部分依次并一次一个地受到投射系统的辐射。在现用的使用掩模台上掩模进行图案化的装置中，可在两种不同类型机器之间加以区别。在一种类型的光刻投射装置中，通过将整个掩模图案一次地曝光在目标部分上使每个目标部分受到辐射。这种装置通常称为晶片步进机或步进-重复装置。在通常称为步进-扫描装置

的另一种类型装置中，通过投射束在给定基准方向(“扫描”方向)渐进地扫描掩模图案，而平行或反平行扫描方向同步地扫描衬底台，使每个目标部分受到辐射。因为，通常投射系统具有放大倍数 M (一般为 <1)，衬底台被扫描的速度 V 应是放大倍数 M 乘以掩模台被扫描的速度。有关这种光刻装置的更多信息在 US 6046792 (其内容通过参考一起并入此文)中公开。

在使用光刻投射装置的制造过程中，图案(例如在掩模上)成像在至少部分盖有一层辐射敏感材料(光刻胶)的衬底上。在这成像工序之前衬底可能要经过各种工序，例如涂底漆，涂光刻胶和软烘焙。在曝光后衬底可能要经受其他工序，例如曝光后烘焙(PEB)、显影、硬烘焙和对成像特征的测量/检测。这些处理工序组合用作使例如集成电路(IC)的器件的一个单层图案化。这种经图案化处理的层此后要经历各种处理，例如蚀刻、离子注入(掺杂)、金属化、氧化、化学-机械抛光等，它们全部是对一个单层的完工处理。假如需要几个层，那么整个处理程序或其变形都要对每一个新层重复一遍。最后在衬底(晶片)上产生器件的阵列。之后运用例如切割或锯开的技术将这些器件相互分开，因此单个器件可以安装在基座上并连接到引脚。有关这种处理的更多信息可以参见例如《微晶片制造：半导体处理工艺实用指导》一书(第三版，作者 Peter van Zant, Mc Graw Hill 出版公司，1997 年，ISBN 0-07-067250-4) (“Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing”，Third Edition, by van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4) (通过参考并入本文)。

为简单起见，投射系统在下文可以被称为“透镜”。然而，这术语应该广义地理解为包括各种类型的投射系统，例如包括折射光学系统，反射光学系统和折反射光学系统。辐射系统也可以包括按照任何这些设计类型运行的用于导向、成形和调节投射的辐射束的部件，并且这些部件在下文也可以共同地或单一地被称为“透镜”。

而且，光刻装置可以具有二个或以上衬底台(和/或二个或以上掩模台)的类型。在这种“多级”设备中增加的台可以并列地使用，或者准备工序可以在一个或多个台上进行，而一个或更多其他台被用于曝光。例如，双级光刻投射装置在 US 5969441 和 WO 98140791 中有描述(其内容通过参考并入此文)。

尽管在本技术说明中特别指出本发明装置使用于集成电路的制造，但要清楚地理解这种装置具有许多其他可能的用途。例如，它可以用于制造集成光学系统、磁畴存储器的引导和检测图案、液晶显示屏、薄膜磁头等。本领域专业人士应理解在这些其他用途的场合，在本文中“晶片”或“芯片”术语的任何使用应该认为要被更一般的术语“衬底”和“目标部分”所代替。一般而言，在本技术说明中“掩模”术语的任何使用应该认为包括在术语“母版”使用的范围内。

在本文中，所使用的“辐射”和“投射束”一词包括各种类型的电磁辐射，包括紫外(UV)辐射(例如波长为 365、248、193、157 或 126nm)和远紫外(EUV)辐射(例如波长范围 5-20nm 内)。

在光刻投射装置的投射系统中可能发生透镜受热现象。在曝光时投射透镜受到投射束辐射稍微受热。由于这种受热，折射率发生变化，透镜元件产生一些膨胀，引起这些元件的几何形状的细微变化以及光学特性伴随的变化。这可能造成新的透镜像差的产生或者现有的像差变化。因为这些像差变化的产生取决于例如特定透镜几何形状、透镜材料、投射波长、光源功率、目标部分、晶片反射率、尺寸等，预测这种透镜受热效应的精度会受到限制，尤其在没有任何测量和补偿机制的情况下。

在光刻投射装置中透镜受热总是在一定程度上发生。然而，随着 IC 中集成的电子元件数量不断增加，因而特征更细微，以及为了提高制造能力，已使用例如 EUV 辐射的更短波长的辐射和例如 3-6KW 汞弧灯和功率为 10-20W 的受激准分子激光器，这些又与特征尺寸减

小一起已使透镜受热成为更严重的问题。一般说这问题在扫描机中要比在步进机中更糟,因为在步进机中基本上每个透镜元件的整个(圆形)截面受到辐射,而在扫描机中,一般只有透镜元件的狭缝受到辐射。因此,在扫描机中影响远比在步进机中不均匀,即使在扫描机中透镜像差在扫描方向上被平均;因而造成新的透镜像差发生。

由于这种透镜受热引起的投射系统元件光学特性的变化自然地影响所投射的图像,主要引起图案参数的变化,其中对 XY 平面而言放大倍率尤为重要,对 Z 平面而言焦点尤为重要。然而这种透镜受热的影响可以被校正和很好地补偿,例如在 EP 1164436A 或 US 6563564 中所公开的(其内容通过参考并入本文),通过调节透镜元件位置,补偿投射系统放大倍率或其他图像参数的变化。透镜受热效应取决于透镜特性和曝光的各种参数,例如掩模透射率、曝光量、照射设定值、像场大小和衬底反射率。透镜特性在该装置建造时被校正,此后可以定期地再校正。

在光刻投射装置中进行成像时,尽管投射系统的设计极其周到,系统的制造精度极高,在运行时受到调节,图像仍然可能产生像差,这可能引起图像参数的偏移,例如畸变(例如在图像平面即 XY 平面目标部分上非均匀图像偏移)、横向图像偏移(即在图像平面目标部分均匀图像偏移)、图像旋转和焦点平面变形(例如在 Z 方向非均匀图像偏移,例如场曲率)。要注意,一般而言图像参数偏移不必一定是均匀的,它可能随像场中位置而变化。畸变和焦点平面变形可能导致复盖和焦点误差,例如在不同掩模结构之间的复盖误差和线宽误差。随着被成像的特征尺寸减小,这些误差会变得无法忍受。

因此,希望提供补偿(例如调节投射系统和/或衬底)来校正或至少试图减小这些误差。这就提出首先测量这些误差和然后计算适当补偿的问题。先前,对准系统用于测量对准记号的像场中偏移。然而,对准记号一般由较大的特征(几微米数量级)组成,这使它们对投射系统的特定像差非常敏感。对准记号不能代表实际成像特征,并

且, 由于成像误差尤其取决于特征尺寸, 所测量的偏移和所计算的补偿不一定会对所要求的特征优化图像。

例如由于残留制造误差的原因, 投射系统具有像场上像差不对称变化的特点时, 就产生了另一问题。这些变化会使得像场边缘的像差非常大。

当使用相移型掩模(PSM)时还有一个问题发生。按照惯例, 在这种掩模中相移必须为精确 180° 。相移的控制甚为关键, 偏移 180° 就不合格。PSM 制造成本昂贵, 必须要仔细检查, 相移显著偏移 180° 的任何掩模只能丢弃。这导致掩模价格的增加。

随着对临界尺寸(CD)控制所加的要求不断增加发生又一问题。临界尺寸是制造器件时所容许的最小线宽或两线之间最小间隔。特别是 CD 的均匀性控制(称为 CD 均匀性)是很重要的。在光刻中, 努力达到更好的线宽控制和 CD 均匀性, 近来已导致对曝光和处理时得到的特征中发生的特定误差类型的定义和研究。例如, 这些图像误差类型是在目标部分上的 CD 的非对称分布、相对于散焦的 CD 不对称性(这造成 Bossung 曲线的倾斜)、在包括多个条形(bar)的特征内的 CD 不对称性(通过称为左右不对称)、在包括或者 2 个或 5 个条形的特征内的 CD 不对称性(通常分别称为 L1-L2 和 L1-L5)、基本沿两个互相正交方向指向的图案之间的 CD 差异(例如所谓 H-V 光刻误差)以及例如在沿一条形的一个特征内的 CD 变化(通常称为 C-D)。正如上述的像差, 这些误差在像场上一般是不均匀的。为简单起见, 在下文我们将任何这些误差类型(包括例如畸变、横向图像偏移、图像旋转和焦点平面变形)统称为光刻误差, 即对光刻装置而言相关的特征不足。

光刻误差由光刻投射装置的特定性质引起的。例如, 投射系统的像差或图案化器的缺陷以及图案化器产生的图案缺陷, 或投射束的缺陷均可引起光刻误差。然而, 光刻投射装置的名义性质(即按设计的特性)也可能引起不想要的光刻误差。例如, 作为名义设计的一

部分的残留的透镜像差可能引起光刻误差。在下文，我们把可以引起光刻误差的任何这些性质称为“性质”。

如上所述，图案的成像可能受投射系统的像差的影响。结果得到的 CD 变化(例如，在目标部分内)可以被测量，并随后映射为可以产生所述测定 CD 变化的投射系统的有效像差条件。那么就可以对光刻投射装置提供补偿，从而改善 CD 均匀性。这种 CD 控制方法已在美国专利 US 6115108 中介绍(通过参考而并入本文)。这方法包括将多个测试图案成像在多个场点的每个场点上，随后处理经曝光的衬底和接着对每个已成像的并经处理的测试图案做 CD 测量。因此，该方法耗费时间，不适合现场 CD 控制。随着对生产量(即单位时间内可以处理的衬底数量)以及 CD 均匀性的要求日益增加，光刻误差的控制、补偿和抵消必须改善。因此，存在对性质进行更进一步适当控制的问题。

US 6563564 (P-0190)公开一个透镜受热模型，运用这一模型，借助用于调节投射系统图像参数的图像参数偏移控制信号，以补偿由于这种透镜受热引起像差影响的经计算的变化，使由于透镜受热效应造成的投射系统像差得以校正。在这种情况下，像差影响随时间的变化是根据对应于选择的像差影响所存储的预定参数组决定的，这些参数可以通过校正步骤得到。图像参数偏移可以包括焦点偏移、场曲率、放大倍数偏移、三阶畸变和它们的组合。然而，所需要的理想补偿将取决于特定的应用(特定的图案、照射方式等)，而可以被调节的参数数目一般不会高到足以完全抵消每一像差，因此对特定情况运用的补偿决定始终是一种折衷，所选择的特定折衷取决于所需要的应用。因为传统的透镜受热模型没有考虑特定的应用，由此推出所计算的补偿对每一种特定应用而言并不是最佳的。

EP 1251402 A1 (P-0244)公开了根据衬底、衬底上辐射敏感层、投射束、图案化器和投射系统的特性之间关系来补偿投射系统像差的一种结构和引起投射图案畸变的光刻误差。控制系统确定权衡和

集合光刻误差的优质函数，计算适用于衬底、投射束、图案化器和投射系统中至少一个的补偿，从而将该优质函数优化。尽管采用这种优质函数使得被施加的补偿就图像优化而言能达到合理的折衷，但发现因为这种优化倾向于从整个图像的图像质量方面提供最好的折衷，但在图像的各部分或在特定应用中图像质量可能会相对差些。

可以提供一种控制系统用于补偿例如由于透镜受热引起的投射系统放大倍率变化的光刻投射装置的一个性质随时间变化的影响，其中控制信号是按照该性质中随时间的预测变化产生的，比较器将一个基于预测变化的值与阈值作比较，并在该值大于阈值时产生触发信号，而对准系统响应该触发信号进行对准。这种结构在预测的校正大于所需的最大值时触发所谓的“重对准”。该系统因此可预测在进行一系列曝光时会发生的受热效应，当对应的阈值被超过时在做曝光之前先施以适当的校正。这一方法确保只有当误差超出一定范围时才发生重对准，并避免不必要的重对准，从而避免曝光工序中通过量的减少。在一些应用中预测校正中的误差可能造成不必要的额外对准步骤，也减少了通过量，因为重对准的优化时间不是根据特定应用计算的。实践中，这可能意味着由于对特定应用重对准被触发太迟，图像性能要比在特定的系列曝光中所预期的更差，或者由于重对准执行得早于系列曝光中所需的时间，使通过量比预期的少。

发明内容

本发明的一个目的是实现对光刻投射装置投射系统的调节，以补偿透镜像差影响，以这种方式提供对特定应用，即掩模(例如产品图案)和照射方式的特定组合的最佳图像质量。

依照本发明提供光刻投射装置，它包括提供辐射束的辐射系统；用以支持将图案赋予辐射束的图案化器的支持结构；用以固定衬底的衬底台；用以将图案化的辐射束投射到衬底目标部分从而在目标

部分产生图案化器的图像的投射系统；用以相对测量的像差值预测投射系统像差随时间变化的预测系统；用以确定所述预测投射系统像差变化对于一个被选图案化器的某些图像参数的应用相关影响的模型化系统，所述被选图案化器用于在所述装置中产生一特定的所需图案化辐射束；用以按照所述预测投射系统像差变化和它们对一些图像参数的应用相关影响来产生针对所需图案化辐射束的控制信号的控制系统；以及用以根据控制信号执行图像调节以补偿所述预测投射系统像差变化对于该被选图案化器的图像的应用相关影响的调节系统。

在本说明书中“应用”一词用以指图案化器(掩模)和照射方式的组合。在这点上图案化器可以是传统掩模或母版或相移掩模(PSM)，可以用图案化器在产品上产生的图案的特征尺寸、定位、密度等表征。照射方式可以用数值孔径(NA)、 σ 内/ σ 外，衍射光学元件(DOE)等表征。

这使像差被补偿时对特定应用(特定图案，照射方式等)最重要的像差优先于对特定应用不太重要的像差被补偿。一些适合于特定应用的补偿像差的适当调节，能够以最适合特定应用的消除像差影响的方式被确定和施加。例如，当产品图案或部分产品图案只有水平线作为要用光刻曝光精确限定的特征被光刻曝光时，这样的配置就可确保投射系统像差影响仅对这水平线而不是对垂直线被优化地消除。在本例中，就假设的垂直线而言，其像差影响未被优化地补偿那是无关紧要的，因为没有这种垂直线需要在产品中或产品相关部分中精确限定。

调节系统可以由任何适当的补偿方案构成以补偿像差变化影响。适用于光刻投射装置的像差补偿方法，例如有：固定图案化器的支架精细位置的调节(X、Y、Z 平移和沿 X、Y、Z 轴旋转)，类似的衬底台的精细定位，光学元件的移动或变形(特别地使用投射系统光学元件的 X、Y、Z 平移/旋转的精细定位)，以及例如改变投射在

目标部分上辐射能量的方法和装置。然而，适当的补偿并不限于这些例子。例如，改变辐射束波长的方法、对成像的图案的改变、改变投射束穿过的充气空间的折射率以及改变辐射束强度的空间分布也可以实现所需的补偿。

调节系统可适合调节以下各项中的至少一个选择项：支持结构沿投射系统光轴的位置，支持结构的转动方向，衬底台沿所述光轴的位置，衬底台的转动方向，在所述投射系统中一个或多个可移动透镜元件沿所述光轴的位置，在所述投射系统中一个或多个可移动透镜元件相对所述光轴的偏心度，投射束的中心波长或在使用边缘执行器（edge actuator）的所述投射系统中一个或多个透镜元件的马鞍形变形。

在本发明一实施例中，预测系统配置成根据透镜受热模型决定预测的投射系统像差随时间的变化，透镜受热模型预测由于透镜受热或冷却引起的至少一个像差值随时间的变化。使用适当的透镜受热模型，可预测相应的像差漂移，因此这些像差漂移可用以决定图案参数偏移，图像参数偏移又可用以为给定的应用算出并从而施加适当的(相对一确定的优质函数被优化的)调节。

在本发明另一实施例中，模型化系统配置成根据表示被选图案化器和投射系统照射方式的数据确定所述所述投射系统像差变化的应用相关影响。

所述控制系统可以使用有关投射系统像差的信息修改投射系统的设定，使得图像的一些畸变被优化地抵消。低阶像差引起与形成图像的透镜系统中光路无关的图像畸变影响，高阶透镜像差与取决于透镜系统中实际使用光路的畸变影响有关，无论是低阶像差还是高阶像差都可以运用这种配置加以校正。

控制系统可配置成按照所选择图案化器对投射系统像差在两个方向上的已知灵敏度产生一个控制信号，与对图像平面另一方向上图像特征中的预测变化的补偿相比，该控制信号优先补偿图像平面

一个方向上的一些图像特征中的预测变化。

再有，控制系统可配置成按照被选图案化器对投射系统像差在垂直图像平面方向上已知灵敏度产生控制信号，该信号优先补偿在该方向上图像特征中的预测变化。控制信号可按照一个定义的优质函数产生，该优质函数按照用户定义的规格（user-defined specification）确定在特定实施例中给予投射系统像差对各个图像参数的影响的相对权重。

控制系统可配置成根据调节系统图像调节的变化和由这种图像调节所补偿的像差变化之间已知的对应来产生控制信号。此外，控制系统可配置成当预测的图像参数随时间变化超过阈值时产生触发信号，对测量系统的测量和调节系统响应这种测量进行的调节进行触发。

本发明一个实施例还包括一个覆盖计量反馈装置，用以校正相对于前一层计量覆盖目标部分测量的当前层计量覆盖目标部分中的位移，所述位移是由所述预测投射系统像差变化和为补偿相对测量像差值所述预测投射系统像差变化对一些图像参数的应用相关影响所执行的图像调节产生的，该校正基于一个为要按照一个定义的优质函数进行补偿的对于图像最敏感的像差中的变化而准备的优化程序。

本发明另一实施例还包括一个晶片对准系统，用以补偿为要加到目标部分上的图像的连续层中的每一层的对准而设定的各个晶片对准记号的位移，所述位移由所述预测投射系统像差变化和为补偿相对测量像差值所述预测投射系统像差变化而对一些图像参数的应用相关影响所执行的图像调节产生，该补偿基于一个为要按照一个定义的优质函数进行补偿的对于图像最敏感的像差中的变化而准备的优化程序。

本发明另一实施例还包括一个掩模对准系统，用以补偿为图案化器为相对于目标部分的对准而设定的掩模对准记号的图像中的位

移, 所述位移由所述预测投射系统像差变化和为补偿相对测量像差值所述预测投射系统像差变化而对一些图像参数的应用相关影响所执行的图像调节产生, 该补偿基于一个为要按照一个定义的优质函数进行补偿的对于图像最敏感的像差中的变化而准备的优化程序。

在一实施例中, 所述控制系统包含一个重对准控制器, 当对一个或多个图像参数的随时间预测的影响大于对应的(例如用户定义的)阈值时, 所述重对准控制器重新测量至少一个像差值。光刻参数阈值的使用意味着只有当超过这些阈值时才进行相应的重新调整, 因此对通过量的影响减至最小, 同时仍然保持良好图像性能。

在本发明的改进中, 调节系统配置成在衬底扫描曝光时在逐次的扫描位置上执行图像调节, 以顾及扫描图像在衬底范围上变化, 优化随扫描位置变化的图像。这使优化的投射系统调节在曝光扫描时按照扫描位置(例如扫描机的 Y 方向)变化而变化, 从而使得图像质量在整个扫描上被优化, 补偿在扫描方向上图像结构(例如在所扫描产品第一部分水平线和在所扫描产品的随后部分的垂直线)的变化。

本发明还提供了一种采用光刻投射装置的器件制造方法, 该方法包括如下步骤: 提供具有接受图像的目标部分的衬底; 按照所需的图案化应用选择图案化器; 使用投射系统将选择的辐射束投射在图案化器上, 产生特定要求的图案化辐射束, 从而在目标部分上形成图案化器的图像; 对于被测量的像差值, 预测投射系统像差随时间的变化; 确定所述预测投射系统像差变化对于要在所述装置中使用的用以产生特定要求图案化辐射束的选择的图案化器的一些图像参数的应用相关影响; 按照所述预测投射系统像差变化和它们对一些图像参数的应用相关影响, 产生针对所需图案化辐射束的控制信号, 并依据控制信号执行图像调节, 以补偿像差中的所述预测变化对选择的图案化器的图像的应用相关影响。

本发明实施例的另一方面提供包含控制使用光刻投射装置的器件制造方法的电脑程序的数据载体。该装置包括提供投射辐射束的

辐射系统，支持将图案赋予投射束的图案化器的支持结构，固定衬底的衬底台和将图案化辐射束投射在衬底目标部分上从而在目标部分上形成图案化器的图像的可调节投射系统。电脑程序配置成实现一种方法，这种方法包括如下步骤：相对测量的像差值预测投射系统像差随时间的变化；确定所述预测投射系统的像差变化对于在该装置中使用的用以产生特定要求图案化辐射束的选择的图案化器的一些图像参数的应用相关影响；按照所述预测投射系统的像差变化和它们对一些图像参数的应用相关影响产生针对所需图案化辐射束的控制信号，并依据控制信号执行图像调节，以补偿像差中的所述预测变化对选择的图案化器的图像的应用相关影响。

附图说明

以下结合附图仅用举例说明本发明的实施例，附图如下：

图 1 表示实施本发明的光刻投射装置；

图 2 是表示透镜受热模型和 IQEA 模型之间关系的说明图；

图 3 和 3a 是说明本发明二个实际实施方式的说明图；以及

图 4 和 5 是在电脑系统中实现特定实施例时执行的控制步骤的流程图。

具体实施方式

图 1 表示本发明实施例的包括至少一个记号结构的光刻投射装置。该装置包括如下：

- 用以提供投射的辐射束 PB (例如 UV 或 EUV 辐射)的照射系统 IL。在这特定场合，辐射系统也包括辐射源 SO；
- 用以支持图案化器 MA (例如掩模)并与第一定位器(未示出)连接的第一支持结构 MT (例如掩模台)，将图案化器相对于 PL 精确定位；
- 用以固定衬底 W (例如涂有光刻胶的硅晶片)并与第二定位器

PW 连接的第二支持结构 WT (例如晶片台), 将衬底相对于 PL 精确定位; 以及

· 用以将由图案化器 MA 赋予投射束 PB 的图案成像在衬底 W 的目标部分 C (例如包含一个或多个芯片)上的投射系统 PL (例如一个反射投射透镜)。

投射系统 PL 设有用以调整系统的光学设定的执行器 AD。光学设定的调整操作将在下文详细说明。

正如图中所示, 所述装置是透射型的(即具有透射掩模)。然而, 所述装置也可以是反射型的(具有反射掩模)。或者所述装置可以使用其他种类的图案化器, 例如上文提到的可编程镜面阵列类型。

源 SO (例如汞灯或受激准分子激光器)产生辐射束。该辐射束或者直接地或者经过例如光束扩展器 Ex 的光束调节装置进入照射系统(照射器) IL。照射系统 IL 可以包括可调节光学元件 AM, 用以设定辐射束 PB 的强度分布的外和/或内径向范围(通常分别称之为 σ -外和 σ -内)。此外, 它一般包括其他各种部件, 例如积分器 IN 和聚光器 CO。这样, 入射在掩模 MA 上的辐射束 PB 在其截面上具有所要的均匀性和强度分布。

关于图 1 要注意, 源 SO 可以装在光刻投射装置的机壳内(当源 SO 是汞灯时就是这种情况), 但是源 SO 也可以与光刻投射装置分开, 它产生的辐射束可被导入装置(例如借助适当的导向反射镜)。当源 SO 是受激准分子激光器时就是这样。本发明适用以上述两种情况。

辐射束 PB 入射到固定在掩模台 MT 上的掩模 MA 上。辐射束 PB 穿过掩模 MA 后, 经过透镜 PL, 透镜 PL 将辐射束 PB 会聚到衬底 W 的目标部分 C 上。利用第二定位器 PW 和干涉仪 IF, 衬底台 WT 可以精确位移, 例如将不同目标部分 C 定位在辐射束 PB 的路径上。同样, 第一定位器(在掩模台 MT 上动作)可以使用以例如从掩模库中以机械方式取出掩模 MA 后或在扫描时将掩模 MA 精确定位在辐射束 PB 的路径上。总之, 利用长行程组件(粗定位)和短行程组件(细定

位), 可以实现载物台 MT 和 WT 的移动, 这两个组件在图 1 中没有示出。然而, 在步进机的场合(与扫描机正相反), 掩模台 MT 可只与短行程执行器相连接, 或者被固定。可以使用掩模对准记号 M1、M2 和衬底对准记号 P1、P2 对准掩模 MA 和衬底 W。

所描述的装置可用于以下列二种不同模式:

1. 在步进模式中, 掩模台 MT 和衬底台 WT 基本保持静止, 而传递给投射束的整个图案一次地投射到目标部分 C 上(即单次曝光)。然后衬底台 WT 在 X 和 Y 方向位移, 以使不同的目标部分 C 曝光。

2. 在扫描模式中, 除了给定的目标部分 C 不是在单次“闪光”中曝光之外, 基本相同的概况适用。代之以, 掩模台 MT 在给定方向(所谓“扫描方向”, 例如 Y 方向)以速度 v 可位移的, 因此使投射束 PB 在掩模图像上扫描; 同时, 衬底台 WT 同步地沿相同或相反方向以速度 $V-Mv$ 位移, 其中 M 是透镜 PL 的放大倍数(一般, $M=1/4$ 或 $1/5$)。这样, 可以曝光较大的目标部分 C, 而不必牺牲分辨率。

3. 在另一模式中, 掩模台 MT 基本上保持不动, 其上固定一个可编程图案化器, 在传递给辐射束上的图案被投射在目标部分 C 的同时, 衬底台 WT 被位移或扫描。在该模式中, 一般使用脉冲辐射源, 在衬底台 WT 每次位移之后, 或在扫描时两个依次辐射脉冲之间按需要更新可编程图案化器。这种操作模式可以方便地用于利用可编程图案化器的无掩模光刻, 例如上文提及的可编程镜面阵列类型的无掩模光刻。

也可采用上述模式的组合和/或变形, 或使用完全不同的模式。

在一个未图示的变形实施例中, 该衬底台替换为包含两个被加载晶片的衬底台的双级配置, 而其中一个芯片以上述不同模式中一种或另一种模式被曝光, 另一个芯片正在接受在曝光前要进行的必要测量, 其目的在于减少每个芯片在曝光区内所待的时间, 从而增加所述装置的通过量。

所述干涉仪一般地包括例如一个激光器(未示出)的光源和一个或

多个干涉仪,用以确定例如衬底或载物台的要测量物体的一些信息(例如位置、对准等)。图1中只示意地示出单个干涉仪IF。光源(激光器)产生计量辐射束MB,计量辐射束MB由一个或多个束操作器发送至干涉仪IF。在存在一个以上干涉仪时,通过光学装置将计量辐射束分为针对不同干涉仪的几束,该计量辐射束由这些干涉仪共用。

在靠近台WT的典型位置示意地示出用以对准台WT上衬底和掩模台MT上掩模的衬底对准系统MS,它包括产生瞄准衬底W上记号结构的光束的至少一个光源和从该记号结构检测光学信号的至少一个传感器装置。要注意,该衬底对准系统MS的位置取决于可随光刻投射装置的实际类型而变的设计条件。

再有,所述光刻投射装置包括一个计算机装置形式的电子控制系统,它能控制和调节在使用通用掩模处理大量芯片时、执行一系列成像和曝光步骤时的机器参数。本发明实施例中使用的计算机装置包括与存储指令和数据的存储器连接的主处理器,一个或多个例如读取CD ROM的读取单元,例如键盘和鼠标的输入装置,以及例如显示器和打印机的输出装置。还有一个输入/输出(I/O)装置与光刻投射装置相连,用以处理一些发送给和接收自参与控制本发明投射系统PL的执行器和传感器的控制信号。

如前所述,当投射束辐射PB通过投射透镜系统PL时,部分辐射被透镜元件和涂层材料吸收。这部分的吸收引起透镜元件整体和局部的温度和折射率变化。这会造成可称为透镜像差的透镜光学性能变化。总像差可以分解为若干个不同类型的像差,例如球面像差、像散,等等。总像差是这些不同的像差之和,每种像差具有由一系数给定的特定大小。像差造成波前变形,而不同类型像差表示使波前变形的不同函数。这些函数可以采用径向位置 r 的多项式与 $\sin m\theta$ 或 $\cos m\theta$ 的三角函数的乘积的形式,其中 r 和 θ 是极坐标, m 是整数。一个这样的函数展开式是Zernike展开式,其中每项Zernike多项式表示一种不同类型的像差,而每种像差的贡献由Zernike系数给出,

这将在下文详述。

例如焦点偏移的特定类型像差和变量为 $m\theta$ 的三角函数中 m 为偶数值(或 $m=0$)的像差可以通过图像参数以在垂直(Z)方向位移投射图像的方式实现对装置的调节而补偿。如彗差等其他像差和 m 为奇数值的像差可以通过图像参数以在水平面(XY 平面)产生图像位置横向位移的方式实现对装置的调节而补偿。

图像有最佳聚焦(BF)位置即 z -位置可用实际的光刻投射装置测量。所述最佳聚焦位置是当该位置被从散焦位移通过聚焦又到散焦时具有最大对比度的 z -位置, 例如该位置由拟合对比度-位置曲线的六阶多项式的最大值所确定。最佳聚焦可以使用例如称为“FOCAL”(如下述)的已知方法实验地确定; 或者, 例如可通过使用透射图像传感器(TIS)(如下述)或商用的聚焦监视器直接测量空中图像(aerial image)。

FOCAL 是 focus calibration by using alignment (使用对准的焦点校正)的缩写词。FOCAL 是使用光刻装置的对准系统完全确定有关焦点平面信息的最佳聚焦测量技术。一个特殊的、非对称地分段的对准记号, 通过焦点成像在涂有光刻胶的晶片上。该成像的记号位置(潜在或显影的)可以用对准系统测量。由于不对称地分段, 由该对准系统测得的位置取决于在曝光时所用的散焦, 这样容许确定最佳聚焦位置。通过将这些记号分布在整个像场上并使用分段的不同取向, 可以测量对若干结构取向的完全焦点平面。这个方法在 US 5674650 中有详细叙述(通过参考并入本文)。

一个或多个透射图像传感器(TIS)可用来确定从掩模来的投射的图像在投射透镜之下的横向位置和最佳聚焦位置(即水平和垂直位置)。一个透射图像传感器(TIS)嵌入与衬底台(WT)关联的实际参考平面。为确定焦平面的位置, 投射透镜将掩模 MA 上(或在掩模台基准板上)的图案的图像投射到空间, 该图像有对比的亮区和暗区。那么在水平方向(在一个或可能二个方向、例如 x 和 y 方向上)和垂直方向

扫描衬底台,使 TIS 开孔穿过空中图像预期所在的空间。当 TIS 开孔通过 TIS 图案的图像的亮和暗的部分时,光电探测器的输出就会波动(莫尔效应)。光电探测器输出幅度变化率最高的垂直位置表示在此位置 TIS 图案的图像有最大对比度,因此该位置指示最佳焦平面。在所述水平扫描时光电探测器输出幅度变化率最高的 x, y 位置就指示图像的空中横向位置。这种 TIS 检测结构的例子在 US 4540277 中有详细介绍(通过参考并入本文)。

其他图像参数的测量在 US 6563564 中叙述。

也可用其他一些方法分析图像。例如,可以使用在 WO 01/63233 中介绍的所谓 ILIAS 检测结构。

从这些图像位置的测量,可能获得不同形式像差的 Zernike 系数。例如在欧洲专利申请 No. EP 1128217 A2 中有充分的解释(通过参考并入本文)。

一般说,透镜受热效应也取决于例如照射设定、掩模透射率、掩模结构、像场大小和形状、光强度、晶片反射率和晶片布局的参数,因此很难从基本原理计算,而是完全根据经验的。透镜受热效应也随时间动态地变化,因此为了校正这种透镜受热效应,本实施例使用基于先前测量的透镜受热效应的模型,使用断续测量可自由选择地校正和微调该模型,并对光刻投射装置进行调节,以保持光刻参数在它们各自的公差内。

考虑由透镜受热引起的称为焦点偏移的像差,在此第一实施例中使用的模型如下式:

$$F(t)=A_1(1 - e^{-t/\tau_1})+A_2(1 - e^{-t/\tau_2})$$

这样偏移 F 作为时间 t 的函数,即相对在 t=0 位置在 z 方向最佳聚焦位置的变化由两个指数函数表示,而已经证明这是一个好模型。每个指数函数分别有时间常数 τ_1 、 τ_2 和幅度 A_1 、 A_2 。幅度和时间常数的值至少取决于照射设定、掩模透射率、掩模结构、像场大小和形状、辐射强度、晶片反射率和晶片布局等一个分组的参数。本实

施例的模型还假定幅度线性依赖于这些参数中一些参数（尤其正比于入射在透镜上的功率），例如光强度、像场大小、掩模透射率和晶片反射率，这样幅度可以写为：

$$A_1 = \mu_1 \cdot T_r \cdot S \cdot I \cdot W_{\text{refl}}$$

$$A_2 = \mu_2 \cdot T_r \cdot S \cdot I \cdot W_{\text{refl}}$$

式中 I 是曝光强度(W/m^2)， S 是在晶片层上的像场大小或掩蔽面积(m^2)， T_r 是掩模透射率， W_{refl} 是晶片反射率(纯反射部分或百分比)，而 $\mu_{1,2}$ 是所谓换算因子，它们是唯象的并取决于影响透镜受热但还没有明确包括在内的所有其他参数。

这样，建立一个透镜受热数据库，该数据库存储因透镜受热而需校正的图像参数值，在本实施例中由二个时间常数(τ_1 和 τ_2)和二一个换算因子(μ_1 和 μ_2)组成。可为每个所关注的掩模和照射设定存储一组这些图像参数。

以上仅以焦点偏移为例作为一种类型的图像参数来说明本方法。几组图像参数也可被建立和存储在数据库中，它们表征例如像散和彗差的不同像差随透镜受热（时间）的变化。这些像差非常依赖于被曝光的特定掩模结构，因此可使用特定的掩模进行微调测量，从而在使用该掩模曝光特定批次的晶片之前获得这些对于不同像差的图像参数值。任何与掩模有关的掩模受热效应也包含在该模型中。

在获得并建立了限定透镜受热效应的参数数据库后，在一前馈技术中使用软件预测需要做的必要的校正，以克服对按照本模型计算的像差的图像参数的影响。每一次曝光都如此，可在每次临曝光之前进行对补偿经计算得到的需校正的图像参数偏移的实际调节。

为了补偿不同掩模之间和不同照射设定之间受热效应的变化，对此并不一定要获得微调参数，可以在一批测量中断续地进行临时测量来动态调节该模型。在每次新测量后可以根据例如残数 R 的最小化，计算新的优化的时间常数和/或换算因子参数。而且，当在没有可供使用的参数值的设定上进行曝光时，可采用对已知参数进

行内插或外插的方法，给出对用于新设定的参数值最佳估计。

在特定时间，对每种类型像差影响的计算将给予由于透镜受热造成的像差影响超过透镜任何固有像差影响即默认值的预测附加量。在用调节信号对装置进行调节以进一步地补偿透镜受热效应的方面，对光刻投射装置所作的校正如下所示地取决于每一特定类型的像差或图像参数：

焦点偏移 - 调节衬底台高度

场曲率 - 沿光轴移动一个或多个可移动透镜元件

放大倍数偏移 - 沿光轴移动一个或多个可移动的透镜元件并沿光轴调节掩模轴向位置

三阶畸变 - 沿光轴调节掩模轴向位置并沿光轴移动一个或多个可移动的透镜元件

球面像差 - 沿光轴移动一个或多个可移动的透镜元件

彗差 - 移动曝光辐射中心波长和相对于一个或多个可移动透镜元件的光轴调节偏心度。

要注意在像差和对光刻投射装置所需要的调节之间的关系对不同类型的透镜可以是不同的。

基于列表或计算的图像参数值，将像差影响的幅度与必须的机械调整大小建立关系，该校正可以由机器自动实现。对特定像差要校正的一个或多个透镜元件的马鞍状变形例如在 WO 99/67683 中介绍(通过参考并入本文)。

每种像差影响的贡献取决于被曝光的掩模和照射设定。因此对每次曝光和许多次曝光并不总是必须对所有这些像差影响进行调节。

投射系统 PL 具有执行器 AD，它能按照计算的图像参数运用加在投射系统 PL 内光学元件上的调节信号来调整投射系统的光学设定。执行器 AD 具有与计算机装置互换控制信号的输入和输出端口。

如图 2 的数据流程图所示，计算机装置使用透镜受热模型 10 和

IQEA 模型 11 (IQEA 是 image quality effects of aberrations 的缩写词) 的组合处理数据。透镜受热模型(可为例如 US 6563564 中介绍的)是动态模型, 它预测像差即像差漂移数据由于透镜受热随时间的变化。该模型接收指示例如产品图案、投射模式等特定应用的输入数据以及曝光历史记录数据即在该批中先前已做的每次曝光的时间标记、剂量、图像尺寸、母版透射率等和当前时间。透镜受热模型提供像差漂移输出信号(以 Zernikes 表示)。IQEA 模型也接收指示特定应用(产品图案、投射模式)和用户定义的光刻技术规范的数据以及从透镜受热模型来的指示预测的像差变化的像差漂移数据, 并提供指示例如 X-Y 平面畸变、Z 平面偏移的图像参数偏移和例如像散等其他图像参数偏移的输出信号。这些图像参数偏移输出信号实现所需的调节, 以补偿与特定应用最为相关的像差, 这种调节取决于要补偿的像差, 通过加在投射系统的一个或多个透镜和/或所述装置例如衬底台的其他可调节部分的调节信号实现, 以优化光刻投射装置的覆盖和图像性能。由于透镜受热模型输出的像差值随时间变化, 所以这些图像参数偏移输出信号也随时间变化, 可以用作调节 XY 平面畸变, 垂直于 XY 平面的 Z 平面偏移或调节例如轴上像散的更一般图像参数偏移。其他图像参数输出信号可用来调节例如 CD 或 L1L2。

如图 3 的数据流程图所示, 在另一实施例中透镜受热模型 10 和 IQEA 模型 11 相组合, 具有透镜模型 12 和优化器 13。透镜模型 12 (不要与透镜受热模型 10 混淆)给出关于各透镜调节元件设定的指示, 对所使用的特定透镜配置给予最佳光刻性能(在下详细叙述)。透镜模型 12 可以与 IQEA 模型(和从透镜受热模型预测的像差漂移)一起使用, 在一批晶片曝光时优化光刻装置的覆盖和图像性能。为此, 从 IQEA 模型 11 来的预测图像参数偏移(覆盖、焦点等)被送至优化器 13, 优化器 13 按照用户定义的光刻技术规范确定使图像参数中剩余偏移为最小的调节信号(这包括分配给覆盖误差和焦点误差的相对权重, 与在狭缝上焦点误差(dF)的最大容许值相比, 例如运用表示最佳图像质

量的优质函数计算, 确定狭缝上覆盖误差(dX)最大容许值可到什么范围)。透镜模型 12 的参数是离线校准的。

在优化相位时, 调节信号由优化器 13 送至透镜模型 12, 透镜模型 12 确定若这样的调节信号加在透镜上将会在透镜中引入的像差。这些引入的像差与透镜受热模型 10 预测的像差漂移和任何测量的像差值一起送至加法器 14, 使得只有剩余像差反馈到 IQEA 模型 11。测量像差值作为前面谈到的在该批开始时测量的结果被提供, 而相对最近测量值的像差漂移由透镜受热模型 10 预测。跟随图像参数的这种优化之后, 合成的调节信号加在透镜 15 或其他可调节元件上, 在晶片曝光之前实现必要的补偿调节。

图 3a 的数据流程图是对上一实施方式的修改, 其中提供透镜模型和线性化 IQEA 模型的组合 17, 使得按照用户定义的光刻技术规范 的调节信号优化能在一次运行中实现(而不是对每一个要优化的图像参数必须进行分别运行)。线性化 IQEA 模型从 IQEA 模型 11 推导出来, 下面就两种可能的组合透镜模型和线性化 IQEA 模型的方法作详细介绍。这时, 优化的调节信号直接加在透镜 15 和其他可调节部件上, 在晶片曝光之前实现必要的补偿调节, 而不必以上述方式将对应于调节信号的引入像差值反馈。

总像差可以分解为若干个不同类型的像差, 例如球面像差, 像散等等。总像差是这些不同像差之和, 每种像差具有由一系数给定的特定大小。像差造成波前变形, 而不同类型像差表示使波前变形的不同函数。这些函数可以采用径向位置 r 的多项式与 $\sin m\theta$ 或 $\cos m\theta$ 的三角函数的乘积的形式, 其中 r 和 θ 是极坐标, m 是整数。一个这样的函数展开式是 Zernike 展开式, 其中每项 Zernike 多项式表示一种不同类型的像差, 而每种像差的贡献由 Zernike 系数给出:

$$W(\rho, \theta) = \sum_{n=0}^N \sum_{\substack{l=-n \\ \text{step } 2}}^n A_{n,l} \cdot R_n^l(\rho) \cdot e^{il\theta} \quad (1)$$

其中

W 是在光瞳平面中相位分布, 它是光瞳中位置的函数[nm]

$A_{n,l}$ 是像差即 Zernike 系数[nm]

R_n^l 是 n 阶的依赖于 l 的多项式

ρ 是光瞳平面中半径[NA 单位]

θ 是光瞳中的角度[rad]

n 是 ρ 的幂($0 \leq n \leq N$)

N 是光瞳展开式的阶次

l 是 θ 的次序($n+1=\text{偶数}, -n \leq l \leq 1$)

像差系数 $A_{n,l}$ 通常写为 Zernike 系数 Z_i 表示:

$$A_{n,l} = a_i \cdot Z_i, \quad (2)$$

式中,

a_i 是比例因数

i 是 $n^2+n+l+1$

像差也就是 Zernike 系数是图像平面中位置的函数 $Z_i = Z_i(X, Y)$ 。

然而, 在扫描机中 Y 方向像差在扫描曝光时被平均, 因此 $Z_i(X, Y)$ 变成 $Z_i(X)$ (通常就写为 $Z_i(X)$)。

在图像平面上像差函数(Zernike 系数)又可以运用简单的级数展开表示:

$$Z_i(X) = Z_{i_0} + Z_{i_1} \cdot X + Z_{i_2} \cdot X^2 + Z_{i_3} \cdot X^3 + Z_{i_{\text{res}}}(X), \quad (3)$$

其中 $Z_i(X)$ 表示为常数项(具有系数 Z_{i_0}), 线性项(具有系数 Z_{i_1})和其余项或剩余部分 $Z_{i_{\text{res}}}$ 的和。

低阶奇数像差的线性和三阶项(Z_{2_1}, Z_{2_3})称为放大倍率和三阶畸变。然而, 也有例如高阶奇数像差的线性项(例如 Z_{7_1} 即彗差倾斜)具有放大影响(但取决于所曝光的图像, 照射设定和掩模类型)。低阶偶数像差的二阶项(Z_{4_2})通常称为场曲率。

用以计算透镜设定(可调节的透镜元件位置和倾斜)的透镜模型给

出优化的光刻性能。例如一个特定系统的透镜能调节下列参数: Z_{2_1} , Z_{2_3} , Z_{4_2} , Z_{7_1} , Z_{9_0} , Z_{14_1} , Z_{16_0} 。

下列方程表示一个简化的透镜模型例子:

$$\begin{aligned} Z_{2_1} &= A * E1 + B * E2 + C * E3 \\ Z_{7_1} &= D * E1 + F * E2 + G * E3 \\ Z_{9_0} &= H * E1 + K * E2 + N * E3 \\ Z_{14_1} &= P * E1 + Q * E2 + R * E3 \end{aligned} \quad (4)$$

或用矩阵形式表示:

$$\bar{Z}_{adj} = \begin{pmatrix} Z_{2_1} \\ Z_{7_1} \\ Z_{9_0} \\ Z_{14_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B & C \\ D & F & G \\ H & K & N \\ P & Q & R \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E1 \\ E2 \\ E3 \end{pmatrix} = M \cdot \bar{E} \quad (5)$$

式中 M 是从属性矩阵, E 是透镜元件矢量

模拟器使用 IQEA 模型从产品特征和所使用的照射方式的特性确定不同像差系数(Z_i)的所谓灵敏度(S_i), 而这些灵敏度构成线性化 IQEA 模型。这是通过使用例如 Prolith, Solid-C 或 Lithocruiser (from ASML Masktools)的商用程序包完成的, 它们能根据特征、照射装置、透镜类型和像差计算投射的空中图像。从空中图像可以计算相关的光刻误差, 例如 X-移动(X-和 Y-移动误差分布通常称为畸变)、Z-移动(称为散焦和 Z-移动误差分布通常称为焦点平面偏移)、C-D 差别(对于砖墙 (brick-wall) 特征的临界尺寸差别)、左右不对称、H-V 光刻误差等。将算出的误差除以输入模拟器的像差量来计算灵敏度。对于所有相关的光刻误差和像差(以 Zernike 表示)进行以上操作。

通过将算出的灵敏度乘以透镜的像差, 就得到图像场(扫描器狭缝)上系统的光刻误差。例如, 覆盖误差是 X-畸变(dx), 用一定照射设定曝光的一些特征的 X-畸变就成为:

$$dx(X) = \sum_i Z_i(X) \cdot S_i \quad (i=2,7,10,14,19,23,26,30 \text{ and } 34). \quad (6)$$

而在狭缝上散焦(dF)(对于垂直特征)就成为:

$$dF(X) = \sum_i Z_i(X) \cdot S_i \quad (i=4,5,9,12,16,17,21,25,28,32 \text{ and } 36) \quad (7)$$

取决于用户定义的光刻技术规范, 还需要考虑其他光刻误差。
一般说, 大多数光刻误差可以写为:

$$E(X) = \sum_i Z_i(X) \cdot S_i \quad (i=2,3,\dots,36). \quad (8)$$

假如使用透镜模型而不运用 IQEA 模型, 所有像差(在这例中 Z_{2_1} , Z_{7_1} , Z_{9_0} 和 Z_{14_1})同时被优化。因为要调节的透镜元件数比要优化的参数数目少, 总系统可能处于最佳状态, 但单个的图像参数对特定的应用可能不是最佳。而且, 所有可调整参数一起的最佳状态可能并不给出最佳性能。

通过将 IQEA 模型与透镜模型组合, 能够使校正方法更为灵活和有效(能够针对特定应用被优化)。

以下讨论两上可能的将透镜模型与 IQEA 模型组合的方法: 组合这两个模型的最简单方法是在透镜模型中使用从 IQEA 模型算出的灵敏度(S_i):

$$\bar{Z}_{adj} = \begin{pmatrix} Z'_{2_1} \\ Z'_{7_1} \\ Z'_{9_0} \\ Z'_{14_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{2_1} \cdot S_2 \\ Z_{7_1} \cdot S_7 \\ Z_{9_0} \cdot S_9 \\ Z_{14_1} \cdot S_{14} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \cdot S_2 & B \cdot S_2 & C \cdot S_2 \\ D \cdot S_7 & F \cdot S_7 & G \cdot S_7 \\ H \cdot S_9 & K \cdot S_9 & N \cdot S_9 \\ P \cdot S_{14} & Q \cdot S_{14} & R \cdot S_{14} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E1 \\ E2 \\ E3 \end{pmatrix} = M' \cdot \bar{E} \quad (9)$$

假如例如 $S_{14}=0$, 该方程就变得准确可求解的。然而, 即使没有任一灵敏度为零, 最高的那些灵敏度会在最后解中得到较大的权重, 结果获得一个对特定应用最佳的系统状态。

组合这两个模型的第二个方法是对一个或多个光刻性能指标优化该系统。在一个可能的例中该系统对于性能指标 X-畸变(dx)被优

化，这时该指标的 IQEA 模型方程可以写为下列形式：

$$\begin{aligned}
 dx(X) &= \sum_i Z_i(X) \cdot S_i \\
 &= \sum_i (Z_{i_0} + Z_{i_1} \cdot X + Z_{i_res}(X)) \cdot S_i \\
 &= \sum_i Z_{i_1} \cdot S_i \cdot X + \sum_i (Z_{i_0} + Z_{i_res}(X)) \cdot S_i \\
 &= (Z_{2_1} \cdot S_2 + Z_{7_1} \cdot S_7 + Z_{14_1} \cdot S_{14}) \cdot X + \sum_i Z_{i_1} \cdot S_i \cdot X + \sum_i (Z_{i_0} + Z_{i_res}(X)) \cdot S_i \\
 &= (Z_{2_1} \cdot S_2 + Z_{7_1} \cdot S_7 + Z_{14_1} \cdot S_{14}) \cdot X + \text{其余项}
 \end{aligned} \tag{10}$$

式中， $i = 2, 7, 10, 14, 19, 23, 26, 30$ 和 34 ， $r = 10, 19, 23, 26, 30$ 和 34

若将透镜调节的表达式用于该方程中的三个线性像差项(Z_{2_1} , Z_{7_1} , Z_{14_1})，该方程成为：

$$\begin{aligned}
 dx(X) &= (Z_{2_1} \cdot S_2 + Z_{7_1} \cdot S_7 + Z_{14_1} \cdot S_{14}) \cdot X + \text{其余项} \\
 &= (A \cdot E1 + B \cdot E2 + C \cdot E3) \cdot S_2 + (D \cdot E1 + F \cdot E2 + G \cdot E3) \cdot S_7 + \\
 &\quad + (P \cdot E1 + Q \cdot E2 + R \cdot E3) \cdot S_{14} + \text{其余项}
 \end{aligned} \tag{11}$$

该方程构成需要求解的综合透镜模型方程。事实上会有更多的光刻误差要同时被优化，这使该解更为复杂。例如，假如需要对散焦(dF)优化，要求解的第二方程变成：

$$\begin{aligned}
 dF(X) &= Z_{9_0} \cdot S_9 + \text{其余项} \\
 &= (H \cdot E1 + K \cdot E2 + N \cdot E3) \cdot S_9 + \text{其余项}
 \end{aligned} \tag{12}$$

这时， dx 和 dF 两者均要通过调节透镜元件成为最小化。

在有过多的自由度数目时，使用此方法使个别可调节的像差尽可能地小是敏感的，从而使系统的总性能尽可能地好。

如图 4 的流程图所示，计算机装置以这样一种方式能控制和调节投射系统的设定，使得在一批晶片的多个芯片曝光序列中每次曝光时，由于透镜受热引起的特定应用最为敏感的像差变化对于每个晶片每个接连芯片的曝光被优化。因此，如开始批次框 20 所示在该批次晶片曝光开始时要进行批次校正程序 21，其中在该批的曝光序列之前例如运用 ILIAS 或 TIS 方法测量图像像差，以提供测量的像差数据 22。所得到的像差值送到 IQEA 模型(以下详述)。透镜受热模型用以处理步骤 23，预测对每一连续曝光由于透镜受热引起的像差漂移数据 24，透镜受热模型接收表示曝光历史记录的数据(例如在该

批中早先的曝光次数和它们的时间标记)。根据实际曝光之前最近批次校正中预测像差变化,对该批次中每一连续曝光进行这种像差漂移预测。

在处理步骤 25, IQEA 模型接收在方框 22 中测量的像差数据和在方框 24 中预测的像差漂移数据以及方框 26 的应用数据和方框 28 的用户定义光刻方法规范的数据。所述应用数据就是指示特定应用的数据,例如照射模型(例如数值孔径, σ 内和 σ 外)、在产品中被规定的具有高精度的特征(例如特征尺寸, 密度)、在曝光时所施加的辐射剂量、掩模透射率等。用户定义光刻方法规范规定相对不同像差类型的不同特征的灵敏度。IQEA 模型与适当的优化器一起从这些数据确定模型的图像参数偏移, 调节如覆盖值(X-Y 调节)、焦点值(Z 调节)等的适当设定, 用以优化如下所述的每次曝光的图像性能。那么在处理步骤 30 在晶片上相应芯片用这些设定进行曝光。在步骤 31 确定该图像的最后一个芯片是否被曝光。在该图像的下一芯片的场合, 发送控制信号来启动处理步骤 23。在该图像的所有芯片已被曝光时, 在步骤 32 确定该晶片的最后图像是否被曝光, 对于下一图像的情况发送控制信号来启动 23 序列。在该晶片所有图像已被曝光时, 在步骤 33 确定该批次的最后一个晶片是否被曝光, 如步骤 34 所示, 发送控制信号来指示该批次晶片的曝光结束。

在本实施例的变形中执行重对准程序, 在该程序中检测掩模上的四个对准记号的位置, 在一个或多个图像参数偏移超过阈值时, 例如放大率的一些图像要重新测量, 其结果这些特定图像参数要比在一个批次开始时测量一次更频繁地测量。因为这种重对准是对与产品图案分开的掩模上记号进行的, 需要注意确保在这种重对准时剩余像差不会对记号测量产生不利影响。在这点上, IQEA 模型可以用于预测与掩模记号检测关系最大的图像参数偏移, 以能够使对应像差被补偿, 从而它们不会在重对准时对记号测量产生有害影响。其优点在于, 在控制和调节投射系统中包含这种重对准程序要理解

这种程序的使用是任选的，没有任何重对准程序时，投射系统设定的有效控制和调节也是可能的。

图 5 是控制和调节投射系统设定的一个可供选择方法的流程图。与图 3 的流程图的不同之处以粗线表示。本例中，设有透镜受热反馈系统，其中在处理步骤 35 预测像差漂移数据 24 和应用数据 26 被输入到 IQEA 模型中，因此在晶片的下一图像或下一晶片曝光之前，预测的图像参数偏移在 36 与在 36 保持的阈值数据作比较。在一个或多个图像参数偏移值超过对应阈值时，提供反馈控制信号，引起在下一测量步骤重新测量图像像差，因此这种新测量的像差值取代上次测量的像差值，被用于确定在计算图像参数偏移中使用的总像差值，以控制下一图像或晶片曝光的最佳透镜设定。凡是必须考虑透镜进一步受热的场合，每一晶片上的每一图像的曝光都以最佳透镜设定对每一图像进行调节的相同方式来控制，只在由预测的图像参数偏移超过阈值的情况确定有必要时才发生重对准（通过重新测量像差）。

这样，所述装置的成像和覆盖性能被针对特定应用优化并补偿透镜受热效应，而确保重对准和通过量的后续减少只在必要时才发生。这是通过按照应用、尤其是根据例如晶片前端层中晶体管栅极的产品关键结构特征来控制所加的校正来达到的。

这些计算程序将在下文详述。作为第一步需要介绍对投射系统所测量的透镜像差，例如以 Zernike 系数表示的透镜像差。

使用了一种线性估计计算模型，该模型根据图像对畸变的灵敏度相对所有 Zernike 系数的线性组合用于实施对投射系统设定的调整。基本上，具有给定的理想矩心位置的理想图案特征的畸变将相对地移动矩心位置。对于由 Zernike 系数限定的不同类型的畸变，给定图案特征对畸变的灵敏度是不同的，但是可以根据依赖于基于“逐个坐标 (co-ordinate by co-ordinate)”或“狭缝座标 (slit co-ordinate)”的方法进行计算。

再有，对给定畸变类型的灵敏度随要成像的（基本）图案特征的形状而变化。因此，线性估计计算模型对各种图案特征（形状和尺寸的改变）和投射系统局部透镜像差的组合计算（例如以离线方式）像差引入畸变参数。而且，也考虑照射模式和掩模类型（即光瞳平面充填）。

使用线性估计计算模型，在坐标（x，y）上的畸变（dx，dy）可写完：

$$dx(x, y) = \sum_{i=7,10,14} Z_i(x, y) \cdot S_i$$

$$dy(x, y) = \sum_{i=8,11,15} Z_i(x, y) \cdot S_i$$

式中， Z_i 是次序 i^{th} 的 Zernike 系数， S_i 是对给定 Zernike 系数 Z_i 的灵敏度系数，而 x 畸变和 y 畸变的每个均由一系列 Zernike 系数表示。Zernike 系数取决于 x，y 坐标。灵敏度 S_i 基本上取决于图案和照射模式。

这些方程的计算结果作为图像校正数据存储在一个或多个数据库中的计算机装置 8 的存储器中。图像校正数据可以对图案特征类型和尺寸以及光瞳平面充填的任何给定组合加以确定。一个或多个数据库可以保存随每一个这种组合而变的图像校正数据。

在光刻处理运行时，从存储器取出图像校正数据。按照图案畸变参数组合（即要成像的图案特征的类型和尺寸）、实际透镜像差调整以及该图像特征的实际光瞳平面充填来调整投射系统设定。图像校正数据（基于实际图案畸变参数的组合）可以通过处理运行的工作数据文件中信息从数据库获取，送入在线调整程序进行处理运行。在线调整程序按照对于由方程给定的像差引入畸变的图像校正参数，在处理运行时使用 I/O 装置 31 调整投射系统设定。

再有，在光刻处理运行时，实际图像校正参数组合可以通过处理运行的工作数据文件中的线性从数据库获得，送入在线调整程序。在线调整程序按照对于该方程组给出的像差引入畸变的图像校正参

数在处理运行时调整投射系统设定。

对于图案像差引入畸变的空中图像校正和在线调整程序由计算机执行。处理器进行计算，数据与存储在计算机装置的存储器单元的投射系统的校正数据相关。处理器确定图像校正参数，并指示 I/O 装置将图像校正信号发送到投射系统的执行装置 AD，执行装置 AD 包含传感器和执行器，用以在处理运行时校正图案像差引入畸变。

上文提及使用一个或多个透射图像传感器（TIS）安装在与衬底台（WT）有关的实际基准面内，它可以用于确定掩模（母版）上一个或多个记号位置。就如 US 4540277 中所述，从而调节掩模对准（覆盖）。先进过程控制（APC）系统普遍用于确保良好的覆盖。在一个批次曝光后，运用所谓覆盖计量设备测量该批次的几个晶片的覆盖，所测得的计量覆盖数据送至 APC 系统。APC 系统根据曝光和工艺历史记录计算覆盖校正，而这些校正又被用于调整扫描器使覆盖误差最小。这也称为覆盖计量反馈环路。

然而，因为由于对特定产品应用的补偿后剩余的透镜像差引起的 TIS 和/或覆盖记号的畸变，明显的 X-Y 对准误差可能仍然存在，而假如通过调节使 TIS 和/或覆盖记号误差减小，这对在产品曝光时优化图像性能是不合适的（或者相反地，在进行调节来减小产品曝光误差时提供精确的对准）。

因此，IQEA 模型可适用于确定对于不同特征（即产品特征、TIS 掩模记号、覆盖计量目标和晶片对准记号）的相应的校正和容许的畸变。而且，因为不同特征用于整个光刻控制环路中的不同点，重要的是，所要的误差校正数据被加到正确的位置上。

在这种配置中，IQEA 模型设在用模拟器计算不同特征的灵敏度的环路中。这些灵敏度被输入组合的线性化 IQEA 模型/透镜模型，计算对于产品特征的最佳透镜设定。然后，这些透镜设定被送到透镜驱动器作必要的透镜调节。而且，由该模型计算的 TIS 掩模（或母版）记号偏移被送到计量驱动器来校正这些偏移，因此，正确的

掩模对准参数以无偏移的方式被计算。TIS 记号偏移用于在晶片曝光前校正测量的 TIS 位置，以确保产品特征的位置正确体现。由该模型提供的经曝光的覆盖计量目标补偿和非零晶片对准记号被送往 APC 系统，这些数据在不同的时间和位置使用。计量偏移用于计算覆盖计量反馈偏移，因此被送往将要曝光相同的层的系统。晶片对准记号偏移被送往在前馈配置中将要曝光的下一层。

在透镜受热情况下，数据处理变得更为复杂，因为所有修正和偏取决于系统在透镜受热影响下的像差漂移，因此，在计算中必须考虑由于这种透镜受热的所有不同特征（即产品特征、TIS 掩模记号、覆盖计量目标和晶片对准记号）的偏移。这时，确定产品的 X-Y 坐标位置和每一曝光芯片的 TIS、（离线）覆盖计量和对准特征位置的计算的典型顺序如下：

1. 在曝光前计算 TIS 记号，覆盖计量目标和对准记号的 X-Y 位置相对于产品位置的偏移。
2. 在该晶片上的特定芯片曝光前，用计算的偏移校正经测量的 TIS 记号位置。
3. 对其他芯片和晶片重复透镜受热引起实际像差变化、TIS 记号、覆盖计量目标和对准记号位置相对于产品位置偏移。
4. 将覆盖计量位置偏移存入 APC 系统，使得 APC 反馈环路可对产品覆盖（在一些被测的晶片上覆盖）被优化。要指出，当覆盖计量设备测量覆盖时，对两层的偏移始终是不同的，对两层的偏移在确定计量覆盖目标时要考虑到。例如，在“盒中盒结构”（a box-in-box-structure）的场合，需要对“盒内”（inner-box）的偏移（当曝光该“盒内”时该偏移已被确定，因为它是对产品优化的图像调节被曝光的）和对“盒外”（outer box）的不同偏移（该偏移也已被确定），已获得对真正覆盖可能最好的估计。
5. 当曝光每一晶片上的下一层时，在曝光前运用计算的偏移校正具有测量偏移的对准记号位置。

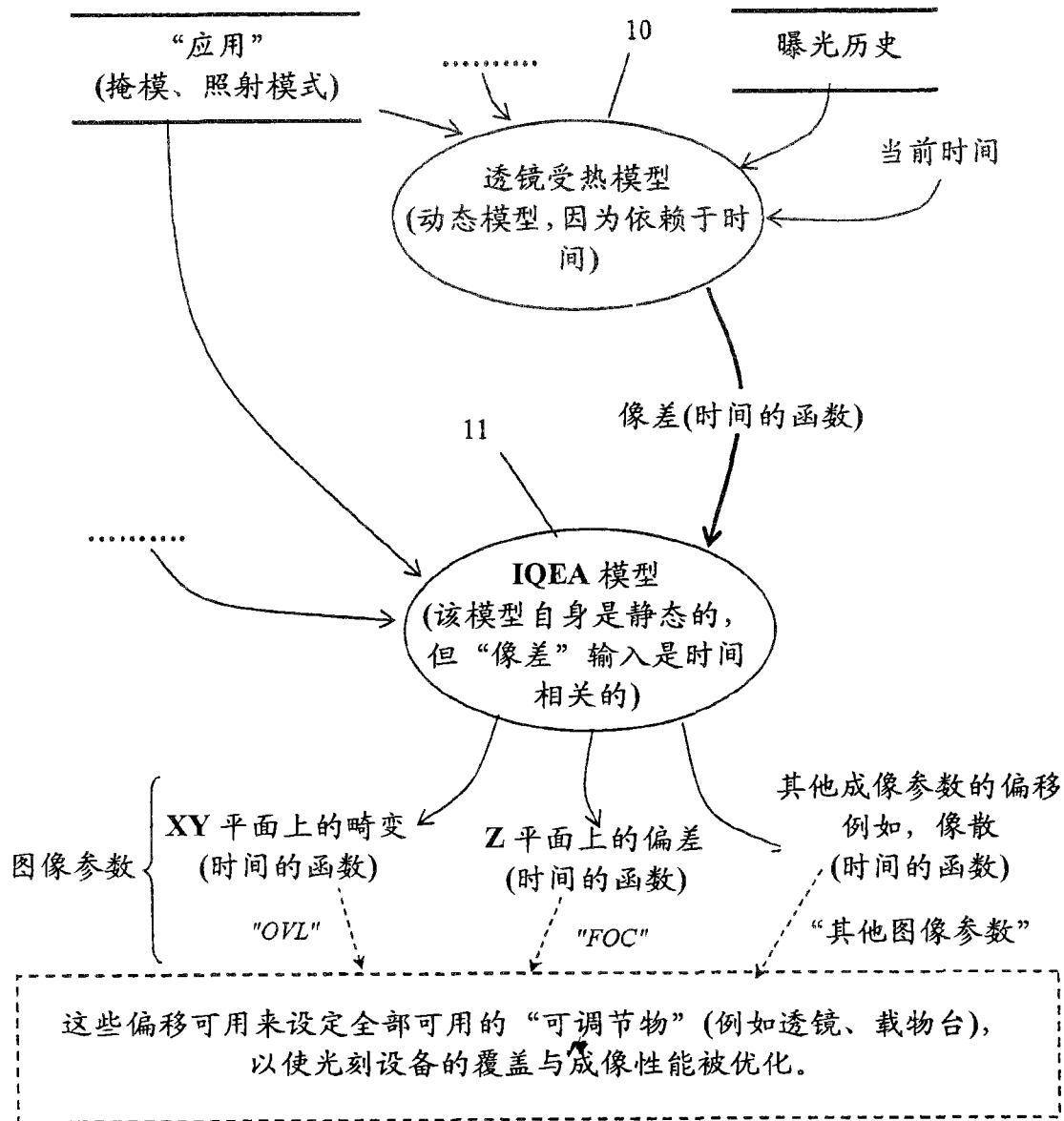


图 2

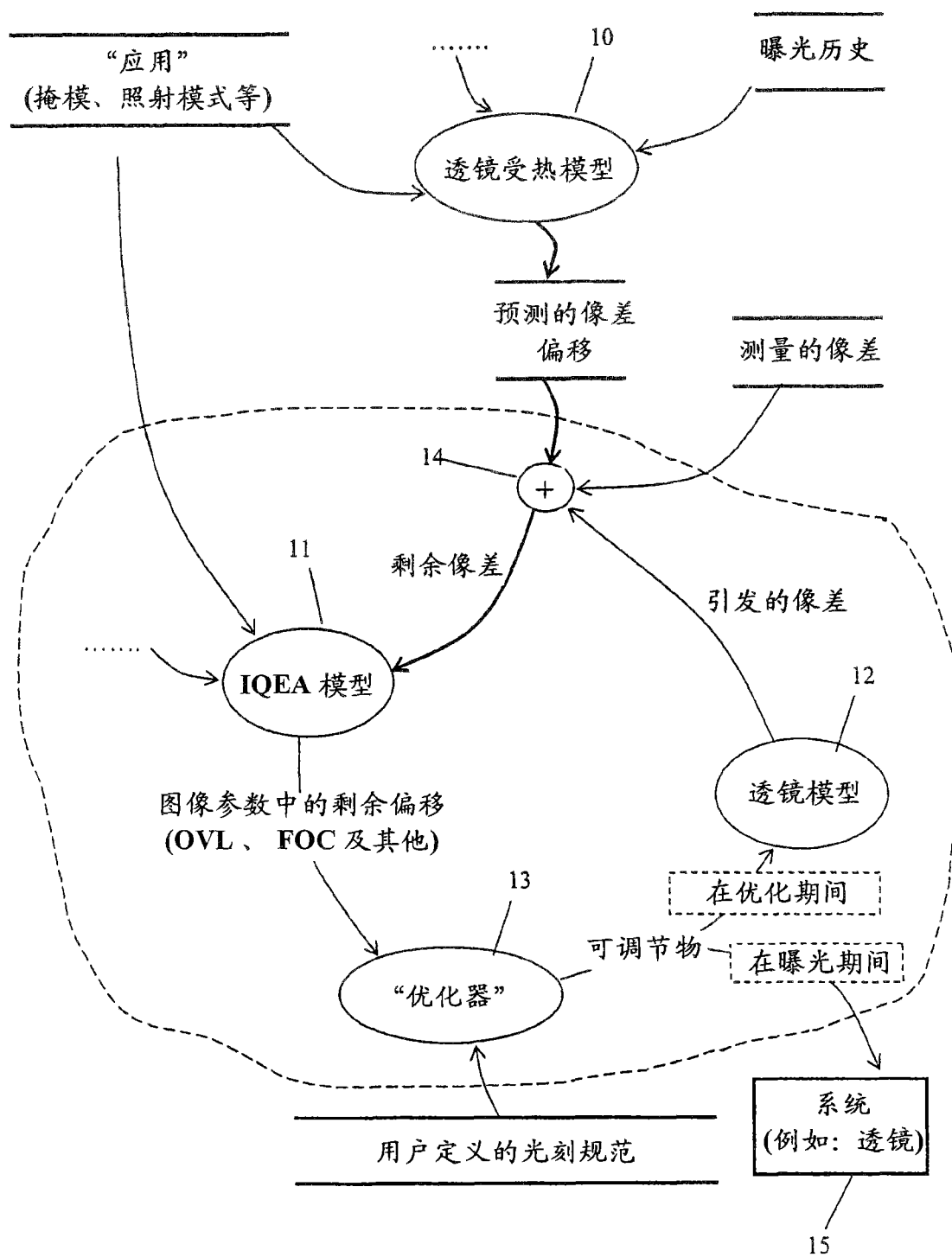


图 3

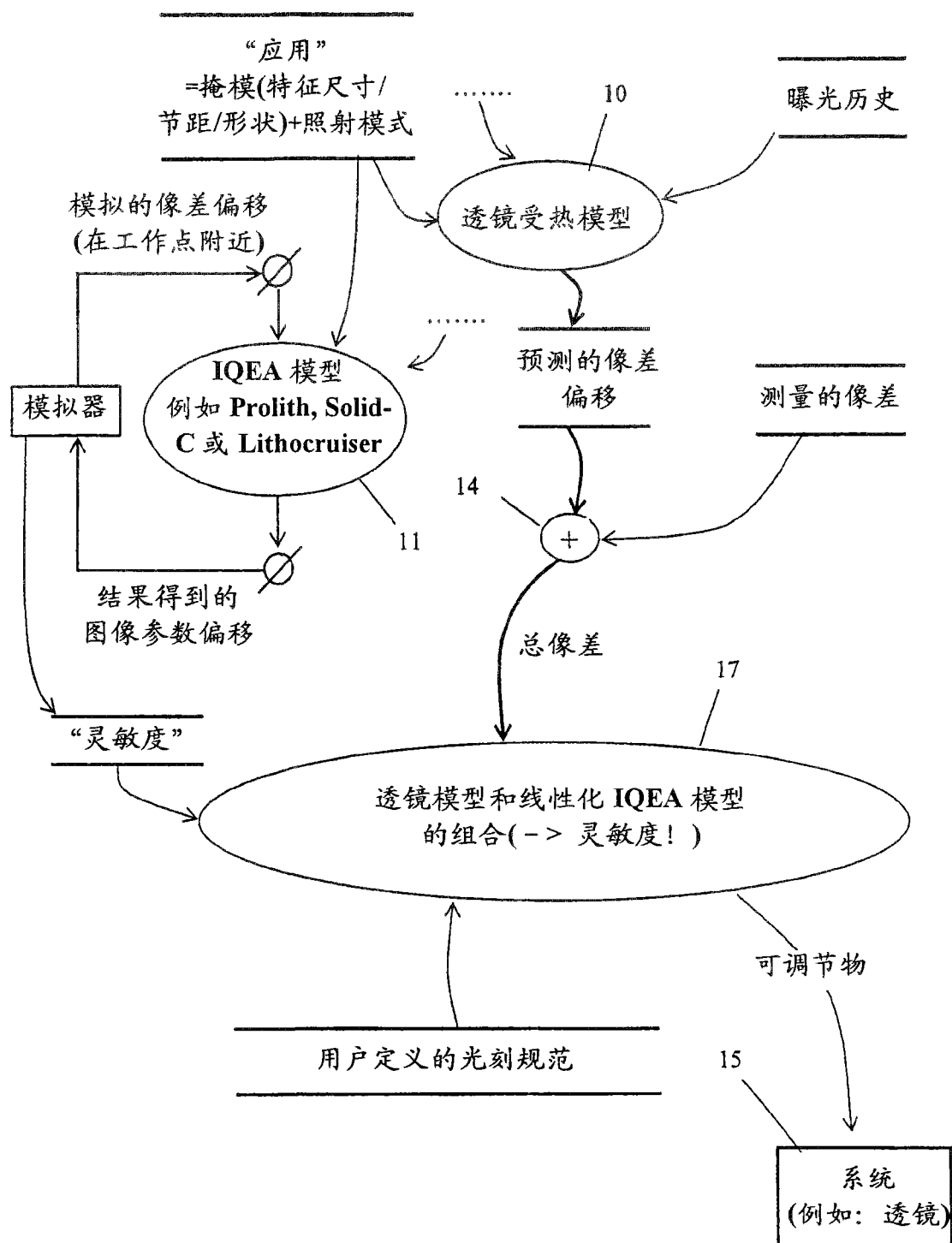


图 3a

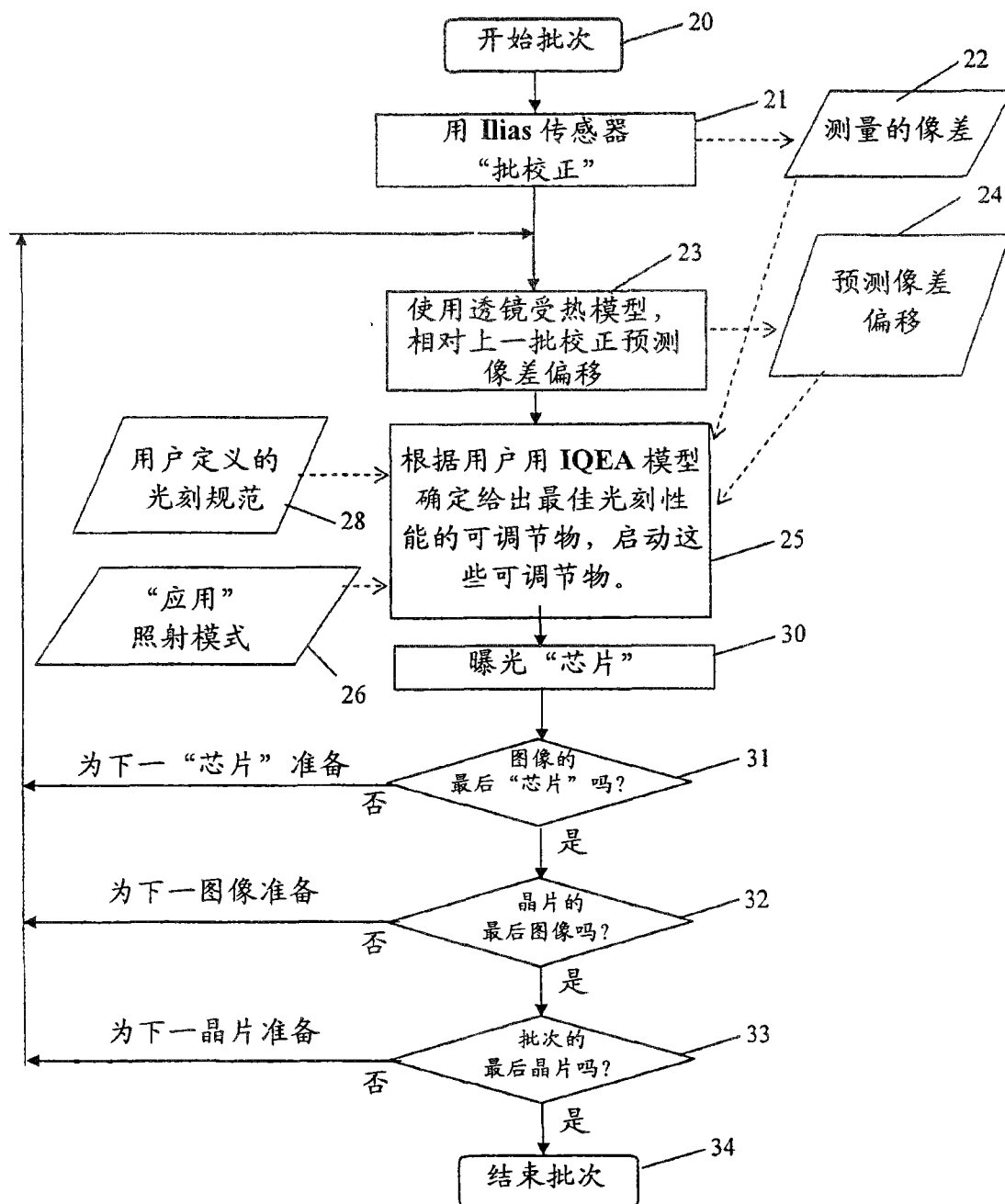


图 4

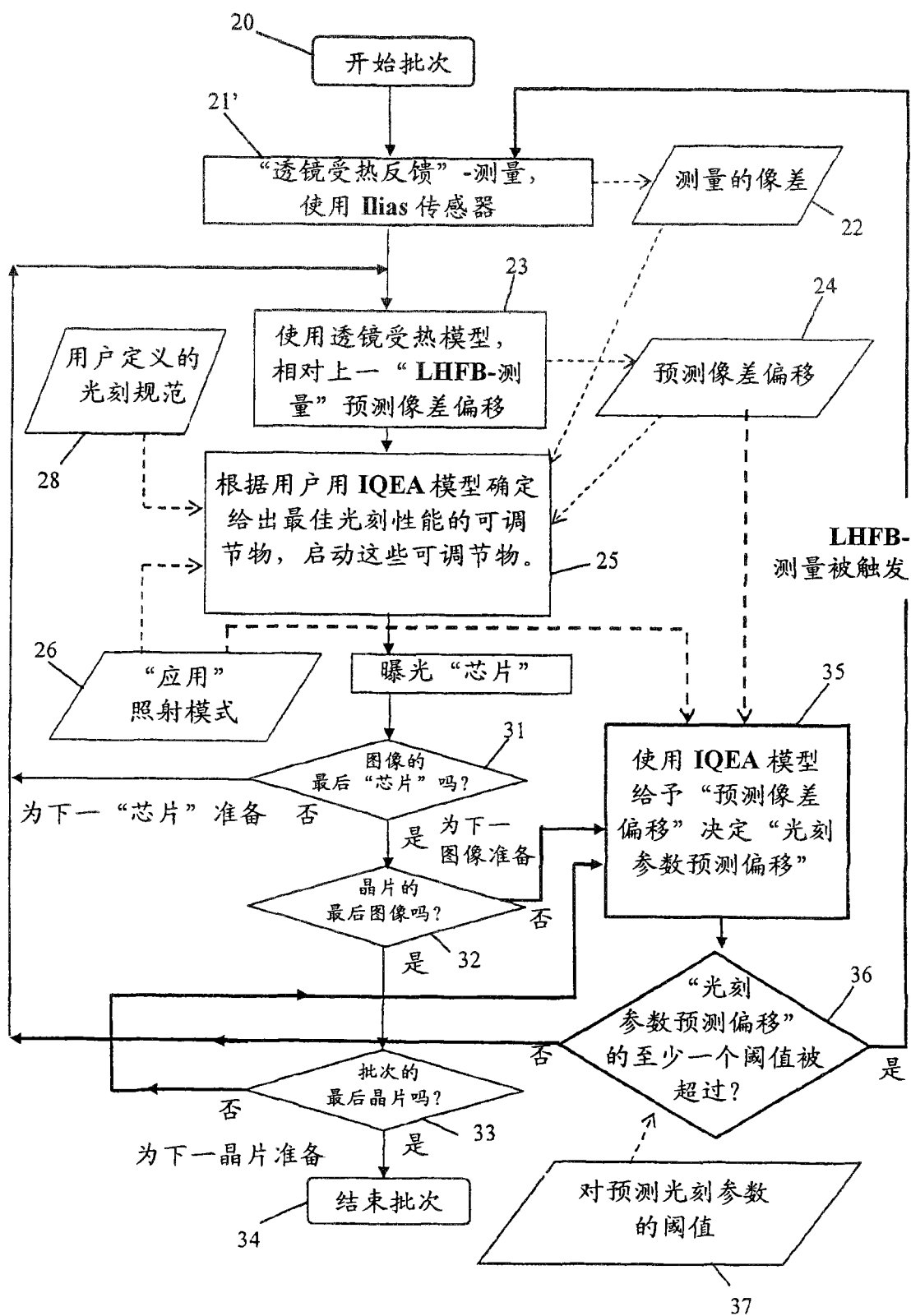


图 5