



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102662309 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 01

(21) 申请号 201210140632. 9

(22) 申请日 2006. 09. 08

(30) 优先权数据

60/719, 837 2005. 09. 09 US

(62) 分案原申请数据

200680041991. 1 2006. 09. 08

(73) 专利权人 ASML 荷兰有限公司

地址 荷兰维德霍温

(72) 发明人 叶军 斯蒂芬·亨斯克

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 王波波

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

G03F 1/36 (2012. 01)

G06F 17/50 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6091845 A, 2000. 07. 18, 全文.

US 2004225488 A1, 2004. 11. 11, 全文.

审查员 黄倩

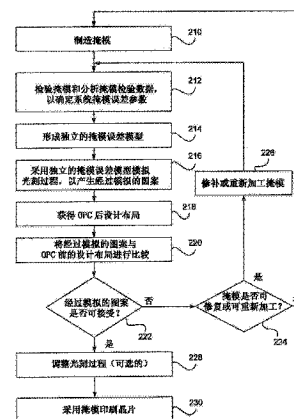
权利要求书2页 说明书18页 附图16页

(54) 发明名称

采用独立掩模误差模型的掩模验证系统和方
法

(57) 摘要

本发明公开了系统和方法,所述系统和方法用于检验所制造的光刻掩模;从掩模检验数据中提取物理掩模数据;基于在所述物理掩模数据和掩模布局数据之间的差别确定系统的掩模误差数据;基于所述系统的掩模误差数据生成系统的掩模误差参数;形成具有系统的掩模误差参数的独立的掩模误差模型;采用特定的掩模和/或特定的投影系统预期光刻过程的图案化性能;以及预期工艺修正,所述工艺修正优化图案化性能并由此优化最终器件产量。



1. 一种方法,包括步骤:
 - 为第一曝光工具选择第一光学模型;
 - 为第二曝光工具选择第二光学模型;
 - 采用所述第一光学模型和掩模的独立的掩模误差模型来模拟所述第一曝光工具的操作,以产生第一模拟结果;
 - 采用所述第二光学模型和所述独立的掩模误差模型来模拟所述第二曝光工具的操作,以产生第二模拟结果;
 - 将所述第一模拟结果与设计目标进行比较;
 - 将所述第二模拟结果与所述设计目标进行比较;以及
 - 基于所述比较对比所述第一曝光工具和所述第二曝光工具的性能。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述独立的掩模误差模型包括系统掩模误差参数,所述系统掩模误差参数根据所述掩模的检验确定。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括步骤:选择所述第一曝光工具或所述第二曝光工具中的一个对于采用所述掩模的产品晶片进行曝光。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述独立的掩模误差模型通过以下步骤形成:
 - 从所述掩模获得掩模检验数据,其中所述掩模采用掩模布局数据制造;
 - 确定在所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的差别;
 - 基于在所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的所述差别以生成系统掩模误差数据;以及
 - 基于所述系统掩模误差数据以生成用于所述独立的掩模误差模型的系统掩模误差参数。
5. 一种方法,包括步骤:
 - 选择光刻过程模型,所述模型包括曝光工具的光学模型和抗蚀剂模型;
 - 形成独立的掩模误差模型,所述掩模误差模型用于采用掩模布局数据制造的掩模;
 - 采用所述光刻过程模型和独立的掩模误差模型模拟光刻过程,以产生经过模拟的图案;
 - 确定所述经过模拟的图案和设计目标之间的差别;以及
 - 基于所述经过模拟的图案和所述设计目标之间的所述差别修改曝光工具的设置。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中所述独立的掩模误差模型包括系统掩模误差参数,所述系统掩模误差参数根据所述掩模的检验确定。
7. 根据权利要求5所述的方法,其中所述曝光工具的设置选自自由焦点、曝光剂量、数值孔径、相干性、透镜像差和照射位移组成的组。
8. 根据权利要求5所述的方法,其中在所述经过模拟的图案和所述设计目标之间的所述差别选自自由临界尺寸、线端拉回和拐角的倒圆角组成的组。
9. 根据权利要求5所述的方法,其中所述形成独立的掩模误差模型的步骤包括:
 - 从所述掩模获得掩模检验数据;
 - 确定在所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的差别;
 - 基于在所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的所述差别生成系统掩模误差数据;

基于所述系统掩模误差数据生成用于所述独立的掩模误差模型的系统掩模误差参数。

10. 一种方法,包括步骤:

为多个曝光工具选择多个光学模型,其中每一个光学模型表示独立的曝光工具;

针对多个光学模型中的每一个,采用所述光学模型和针对掩模的独立的掩模误差模型来模拟光刻过程,以产生模拟结果;以及

针对多个光学模型中的每一个评估所述模拟结果,以确定多个曝光工具中哪一个与所述掩模实现最佳匹配。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述独立的掩模误差模型包括系统掩模误差参数,其中所述系统掩模误差参数根据所述掩模的检验确定。

12. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述针对多个光学模型中的每一个评估模拟结果的步骤包括将所述模拟结果与设计目标进行对比。

13. 根据权利要求 10 所述的方法,还包括步骤:

选择用于晶片生产的曝光工具和掩模的最佳匹配。

14. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述独立的掩模误差模型通过以下步骤形成:

从所述掩模获得掩模检验数据,其中所述掩模采用掩模布局数据制造;

确定在所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的差别;

基于在所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的所述差别生成系统掩模误差数据;以及

基于所述系统掩模误差数据生成用于所述独立的掩模误差模型的系统掩模误差参数。

采用独立掩模误差模型的掩模验证系统和方法

[0001] 交叉引用

[0002] 本申请要求发明名称为“System and Methods for Model-Based Mask Verification”的美国临时专利申请 No. 60/719, 837 的优先权, 所述相关申请的主题以引用的方式整体并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明主要涉及光学光刻, 而更具体地涉及采用独立掩模误差模型的掩模验证。

背景技术

[0004] 集成电路工业从一开始就通过以更低的成本驱动增长的器件功能而维持了很高的成长速率。如今, 上升沿器件仅以原来成本的几分之一提供曾经占据整个房间的计算机的计算功能。今天的许多低成本的消费类装置包括仅仅在几年前还无法以任何成本实现的功能, 例如视频手机、超便携式媒体播放器、以及无线或超宽带互联网装置。这种增长的主要能动因素之一是光学光刻过程能稳定地减小最小特征尺寸的能力, 所述最小特征尺寸可以作为集成电路图案的一部分被图案化。这种在每个电路上印刷更多特征的同时实现的特征尺寸和成本的稳步降低通常被称为“摩尔定律”或光刻“路线图 (roadmap)”。

[0005] 光刻过程涉及在掩模上形成母图像, 然后将该图案正确无误地复制到器件晶片上。在设计规范内母图案被成功复制的次数越多, 每个成品器件或“芯片”的成本就越低。直到最近, 除掩模水平面的图案比晶片水平面的图案大许多倍的情况之外, 掩模图案已经与晶片水平面上的所需图案完全相同。然后, 该缩放因子在晶片曝光过程中通过曝光工具的缩减比例而被修正。掩模图案典型地通过将光吸收材料在石英或其他透射式衬底上淀积和形成图案而被形成。然后, 所述掩模被置于称为“步进机”或“扫描器”的曝光工具中, 在所述曝光工具中, 具有特定曝光波长的光通过掩模被引导到器件晶片上。光透射通过掩模的空白区域, 并在被吸收层覆盖的区域上以所期望的量 (通常在 90% 和 100% 之间) 被衰减。通过掩模的一些区域的光也可以以所需的相位角 (典型地为 180 度的整数倍数) 产生相移。在被曝光工具收集之后, 得到的空间图像图案被聚焦到器件晶片上。沉积在晶片表面上的光敏感材料与光相互作用, 以在晶片上形成所需的图案, 且然后, 所述图案被转移到晶片上的下层中, 以根据公知的过程形成功能性的电子电路。

[0006] 近年来, 被图案化的特征尺寸已经明显地小于用于转移图案的光的波长。这种朝向“亚波长光刻”的趋势已经导致在光刻过程中维持足够的工艺裕量的困难增大。随着特征尺寸与波长的比例的降低, 由掩模和曝光工具形成的空间图像丧失了对比度和锐度。所述比例由 k_1 因子量化, 被定义为曝光工具的数值孔径乘以最小特征尺寸, 再被波长除。当前, 选择曝光波长的实际自由度有限, 且曝光工具的数值孔径接近物理极限。结果, 器件特征尺寸的持续减小需要在光刻过程中越来越显著地减小 k_1 因子, 即在光学成像系统的经典分辨率极限处或所述极限以下成像。

[0007] 用于实现低 k_1 光刻的新方法已经在掩模上形成母图案, 所述母图案与最终的晶

片水平面上的图案不完全相同。掩模图案经常在图案尺寸和图案位置作为图案密度或间距的函数的情况下被调整。其他技术涉及在掩模图案（“衬线”、“锤头”或其他图案）上额外增加或减少拐角，甚至涉及将不在晶片上复制的几何尺寸的增加。这些非印刷的“辅助特征”可以包括用于改变背景光强（“灰度调整”）的散射条纹、孔、环、棋盘状条纹或“斑马条纹”，以及在文献中记载的其他结构。所有这些方法经常被统称为“光学邻近校正”或“OPC”。随着 k_1 减小，邻近效应的幅度显著地增加。在当前的高端设计中，越来越多的器件层需要 OPC，且几乎每个特征边缘需要一些调整量，以便确保所印刷的图案将合理地与设计目的相似。这种扩展的 OPC 应用的实现和验证仅仅可能通过详细的整个芯片的计算的光刻过程模型完成，且所述过程通常被称为基于模型的 OPC。（见“Full-Chip Lithography Simulation and Design Analysis—How OPC Is Changing IC Design,” C. Spence, Proc. SPIE, Vol. 5751, pp. 1-14 (2005) and “Exploring New High Speed, Mask Aware RET Verification Flows,” P. Martin et al, Proc. SPIE 5853, pp. 114-123, (2005).）

[0008] 掩模也可以通过增加相移区域来变更，所述相移区域可以或不可以被复制到晶片上。大量的相移技术在文献中详细地被描述，包括交变孔径移相器 (alternate aperture shifter)、双重曝光掩模过程、多相位跳变以及衰减型相移掩模。由所述方法形成的掩模被称为“相移掩模”或“PSM”。所有这些用于在低 k_1 条件下增加图像斜率 (image slope) 的技术（包括 OPC、PSM 及其他）被统称为“分辨率增强技术”，或“RET”。所有这些经常以多种组合形式应用到掩模上的 RET 的结果是在晶片水平面上形成的最终图案不再是掩模水平面的图案的简单复制。实际上，观察掩模图案并简单地确定最终晶片图案被重叠成什么样子是不可能的。这极大地增加了在掩模被制作和晶片被曝光之前验证设计数据的正确性、以及验证 RET 已经被正确地应用且掩模满足其目标规范的难度。

[0009] OPC 和其他 RET 的增值导致多个巨大的挑战。尤其，OPC 后的掩模设计与 OPC 前的设计意图（即预期制造的半导体结构）具有非常有限的相似之处。甚至更大的挑战在于工艺窗口的减小，即工艺过程对于确定的参数（例如曝光剂量和焦点）伴随 k_1 因子的减小而产生的不可预期的变化的容许程度的减小。进而，随着邻近效应越来越明显，在工艺参数的小的改变下的特征的确切行为成为极其非线性的并经常是非直观的。甚至少量的未检测的工艺变化都可能对器件产量产生难以预料的显著的影响。这种产量损失将在设计的“薄弱点”或“热斑”处最可能出现，并因此以量化方式区别于由例如掩模污染物造成的随机的“点缺陷”带来的产量损失。在半导体生产的当前状态下，器件产量越来越受到设计薄弱环节而不是随机缺陷的限制。

[0010] 对于可能将薄弱的设计特征演变成失效的系统工艺变化的主要贡献是掩模自身的确切的物理属性。相关的物理掩模参数可能包括线宽偏离、拐角处的倒圆角、由于掩模刻写或掩模蚀刻的邻近效应而引起的间距依赖性、各向异性、相位误差、偏振、双折射、或通常的“三维掩模效应”。这些参数可能在单个掩模的区域内、在不同时间制造的掩模之间、在不同工具上制造的掩模之间或来自不同掩模车间的掩模之间变化。

[0011] 当 OPC 和掩模设计基于详细的模型时，掩模的实际物理属性可能不同于模型的假设，并由此可能移动工艺窗口和优化工艺条件或造成不期望的产量损失。这种产量损失可能在之前所确定的热斑处出现。然而，物理掩模参数的非预期和未检测的变化也可能很大程度上改变热斑的准确性或甚至导致在名义条件下将不会被确定为“边缘的”（或“薄弱

的”)的图案的失效。(“边缘的”或“薄弱的”图案是容易由于例如制造中的不确定因素或工艺变化而导致失效或产量损失的图案。)

[0012] 传统的掩模检验集中在检测掩模上的独立的点缺陷(例如灰尘颗粒或小孔),并因此不能检测掩模的系统误差以及它们对于与工艺窗口相关的“设计缺陷”或“热斑”的影响。图1是现有技术的制造工艺的方法步骤的流程图,在所述方法中,这种传统的掩模检验出现在步骤120中。在步骤110中,产生用于表示芯片的设计意图的OPC前的设计布局。然后,在步骤112中,采用OPC和其他RET处理OPC前的设计布局,以产生OPC后的掩模布局。在步骤114中,整个芯片采用光刻过程的模型和应用于OPC后的掩模布局的名义上的掩模误差模型进行模拟,以预测所印刷的图案。采用这种光刻过程模型和掩模模型模拟光刻过程的示例在发明名称为“System and Method for Lithography Simulation”的美国专利No. 7,003,758(’758专利)中公开,该专利的主题以引用的方式整体合并入本文中。在步骤116中,OPC前的设计布局(即设计意图)与所预期的印刷图案对比,以确定是否OPC后的掩模布局是否可接受。如果是,所述方法继续步骤118;如果不是,则所述方法回到步骤112,其中所述对比来自步骤116,所述比较将用于调整OPC后的掩模布局,以产生新的OPC后的掩模布局,且然后将重复步骤114和116。一旦所预期的印刷图案被确定为可接受的,则所述方法在步骤118中继续,在所述步骤118中,掩模根据所述可接受的OPC后的掩模布局被制造。然后,在步骤120中,所述掩模被检验以辨别独立的点缺陷,例如灰尘颗粒或小孔。在步骤122中,所辨别的点缺陷被评估以确定是否所制造的掩模是可接受的。如果是,则所述方法继续步骤128;如果不是,则所述方法继续步骤124,在所述步骤124中掩模被评估以确定是否是可修复的。如果掩模是可修复的,则所述方法继续步骤126,在所述步骤126中,所述掩模被修复,且之后所述方法回到步骤120;如果所述掩模是不可修复的,则所述方法回到步骤118,在所述步骤118中,将制造新掩模。在可选的步骤128中,采用来自步骤114的模拟信息调整所述光刻过程。这种信息可能包括用于被目标化的晶片检验或被优化的工艺条件的热斑报告。然而,由于在设计阶段中,模拟基于名义条件(尤其,对于掩模误差模型参数的名义值),所以这种前馈信息的有效性将受到限制。在步骤130中,采用所制造的(也可能是所修复的)掩模印刷晶片。

[0013] 如图1所示,现有技术的器件制造过程从OPC前的设计布局开始,所述OPC前的设计布局通过应用OPC或其他RET限定对于OPC后的掩模布局的所需器件功能。将OPC前的设计布局转换成OPC后的掩模布局的所述过程通常很大程度上依赖于光刻过程的数值模拟(例如基于模型的OPC和基于模型的设计验证)并通常在设计被认为可接受之前可能需要多次迭代。需要整个芯片的模拟以确定所述器件的所有元件将根据需要印刷在晶片上。用于OPC生成和设计验证的模拟可能例如采用如’758专利所述的光刻模拟系统,所述光刻模拟系统能够在考虑投影过程的光学属性以及产品晶片上的抗蚀剂层的属性的情况下,根据掩模布局预测印刷的抗蚀剂或特征轮廓。

[0014] 一旦所述掩模布局被确定为可接受的,则物理掩模将由掩模车间制造并传送给生产设备(fab)。该掩模可以采用现有的掩模检验工具检验,以便检测和在可能情况下修理由于例如在掩模制造工艺中的任何污染造成的任何的点缺陷。随后,所述掩模将被装载入曝光工具以印刷产品晶片。注意到,当详细的模拟模型是掩模设计过程的中心部分时,一旦所述掩模已经被制造,则以传统的方式在整个光刻器件制造过程中没有基于模型的信息被利

用。在实际中,所述情况经常使得掩模制造工艺对于大量的不确定性开放(例如 OPC 是否已经被正确地实际掩模上实现)。对于任何的新掩模,也可能存在以经验为依据地(主要通过试验-错误)调整工艺参数、以生产例如足够接近设计目标的印刷线宽的需要。结果,如果任何系统掩模误差已经在掩模制造工艺中产生,则可能需要很长时间和大量的印刷晶片才能明确地检测和修正这种误差。

[0015] 因此,存在对于一定的系统和方法的强烈需求,所述系统和方法在考虑设计意图的情况下,验证实际的光刻掩模的物理属性和它们对于图案印刷过程的影响。这种方法将能够在对任意晶片曝光之前对掩模进行预测式的和提前的资格鉴定,并也将能够进行调整或工艺修正,以对于给定的物理掩模优化所印刷的器件产量。这种工艺修正可以通过精确地建模而确定,并可以例如涉及曝光剂量、焦点偏移、数值孔径(NA)-sigma 设定的调整,在不同的曝光工具之间选择,且当系统的掩模误差修复技术是可行的时,对于掩模制造工艺进行反馈,以修复系统的掩模误差。

发明内容

[0016] 公开了一种系统和方法,所述系统和方法用于检验制得的光刻掩模;从掩模的检验数据中提取物理掩模数据;采用物理掩模数据生成系统掩模误差数据;基于所述系统掩模误差数据形成具有系统掩模误差参数的独立的掩模误差模型;验证掩模和 OPC 质量;采用特定的掩模和/或特定的投影系统预测光刻过程的图案化性能;以及预期工艺修正,所述工艺修正优化图案化性能以及最终器件产量。

[0017] 在一个实施例中,用于形成独立的掩模误差模型的方法包括:从采用掩模布局数据制造的掩模获得掩模检验数据;确定所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的差别;基于所述掩模检验数据和所述掩模布局数据之间的差别生成系统掩模误差;以及基于所述系统掩模误差数据为独立的掩模误差模型生成系统掩模误差参数。

[0018] 在一个实施例中,用于形成独立的掩模误差模型的系统包括:掩模检验工具,所述掩模检验工具配置用于产生掩模检验数据;以及基于模型的掩模数据分析系统,所述基于模型的掩模数据分析系统配置用于从所述掩模检验数据中提取物理掩模数据,以基于所提取的物理掩模数据和掩模布局数据之间的差别确定系统掩模误差数据,并配置用于采用所述系统掩模误差数据为独立的掩模误差模型生成系统掩模误差参数。

[0019] 在一个实施例中,方法包括:选择光刻过程模型,所述光刻过程模型包括曝光工具的光学模型和抗蚀剂模型;形成独立的掩模误差模型,所述掩模误差模型表示采用掩模布局数据制造的掩模;采用所述光刻过程模型和独立的掩模误差模型模拟光刻过程,以产生经过模拟的图案;确定所述经过模拟的图案和设计目标之间的差别;以及基于所述经过模拟的图案和所述设计目标之间的差别优化曝光工具的设定。

[0020] 在一个实施例中,方法包括:为多个曝光工具选择多个光学模型,其中每一个光学模型表示独立的曝光工具;针对多个光学模型中的每一个,采用所述光学模型和针对掩模的独立的掩模误差模型模拟光刻过程,以产生模拟结果;针对多个光学模型中的每一个,评估模拟结果,以确定多个曝光工具中哪些与所述掩模实现最佳匹配;以及选择最匹配的曝光工具和用于晶片生产的掩模。

附图说明

[0021] 图 1 是现有技术的光刻设计和制造过程的流程图；

[0022] 图 2A 是根据本发明的一个实施例的采用独立的掩模误差模型的掩模验证方法步骤的流程图；

[0023] 图 2B 是根据本发明的另一个实施例的采用独立的掩模误差模型的掩模验证方法步骤的流程图；

[0024] 图 2C 是根据本发明的另一个实施例的采用独立的掩模误差模型的掩模验证方法步骤的流程图；

[0025] 图 3A 是根据本发明的一个实施例的采用独立的掩模误差模型的模拟光刻过程的方法步骤的流程图；

[0026] 图 3B 是根据本发明的一个实施例的用于形成独立的掩模误差模型的方法步骤的流程图；

[0027] 图 4 是根据本发明的另一个实施例的采用掩模检验数据在多个采样位置上形成独立的掩模误差模型的方法步骤的流程图；

[0028] 图 5A 是根据本发明的一个实施例的用于在掩模车间形成独立的掩模误差模型的基于模型的掩模数据分析系统的图；

[0029] 图 5B 是根据本发明的一个实施例的用于在生产设备中形成独立的掩模误差模型的基于模型的掩模数据分析系统的图；

[0030] 图 6 是根据本发明的一个实施例的用于生成用于检验掩模的采样方案的方法步骤的流程图；

[0031] 图 7A 是根据本发明的一个实施例的采用掩模临界尺寸 (CD) 的用于形成独立的掩模误差模型和验证掩模的方法步骤的流程图；

[0032] 图 7B 是根据本发明的一个实施例的采用空间图像测量形成独立的掩模误差模型和验证掩模的方法步骤的流程图；

[0033] 图 7C 是根据本发明的一个实施例的采用光学掩模检验工具形成独立的掩模误差模型和验证掩模的方法步骤的流程图；

[0034] 图 8 是根据本发明的一个实施例的用于验证掩模的方法步骤的流程图；

[0035] 图 9 是根据本发明的一个实施例的用于形成掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的方法步骤的流程图；

[0036] 图 10A 是根据本发明的另一个实施例的用于形成掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的方法步骤的流程图；

[0037] 图 10B 是根据本发明的另一个实施例的用于形成掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的方法步骤的流程图。

具体实施方式

[0038] 在实际中,由于掩模制造工具的缺陷和掩模制造工艺的变化,误差(或缺陷,此后“缺陷”与“误差”可交替使用)在从 OPC 后的掩模布局到掩模上的实际图案的图案转移过程中总是被引入到最终制造的掩模中。掩模误差是所制造的掩模图案和打算在所述掩模上制造的理想的 OPC 后掩模布局之间的差别。通常,掩模误差分为两类:随机掩模误差和系

统掩模误差。随机掩模误差是不能用模型来描述而是在制造的掩模上随机地和以统计规律出现的误差,例如过多的颗粒和小孔。系统掩模误差是可以模型描述的误差,其中,所述模型依赖于图案环境(例如局部图案密度、图案尺寸、图案间隔和图案取向)和/或掩模上的图案位置。对于图案环境的依赖性由例如掩模刻写器电子束邻近效应、电子束模糊效应(fogging effect)、蚀刻负载效应和电子束感生衬底加热效应造成。对于图案位置的依赖性由例如掩模刻写器在掩模刻写过程中的慢漂移和曝光后烘烤温度的不均匀性造成。描述所述系统掩模误差的模型称为“掩模误差模型”或有时简称为“掩模模型”。所述掩模误差模型接受图案环境和掩模上的图案位置作为输入,并输出掩模误差值,例如,CD误差、线边缘的粗糙度、位置误差、蚀刻深度误差和相移掩模的侧壁夹角误差等。CD误差是在所制造的掩模图案和理想的OPC后的掩模布局之间的线宽差。所述定位误差是在所制造的掩模图案和理想的OPC后的掩模布局图案之间的图案中心位置差。蚀刻深度误差是在所制造的相移掩模图案和希望进入掩模衬底的设计沟槽深度之间的深度差,所述掩模衬底在当光束通过掩模时提供必需的相移。所述线边缘的粗糙度是线边缘与光滑的理想形状的偏差。所述侧壁夹角误差是在所制造的掩模的线边缘轮廓和理想的垂直线边缘轮廓之间的角度差。掩模制造工艺具有名义上的掩模误差模型,所述名义上的掩模误差模型描述由工艺引起的平均掩模误差,例如拐角的倒圆角和图案的偏斜。每个独立的物理掩模的系统误差与名义上的掩模误差模型存在偏离。如在此所公开的,独立的掩模的系统误差由独立的掩模误差模型描述。在一个实施例中,独立的掩模误差模型以经验为依据建立,例如通过将实验测量的拐角倒圆角和偏斜相对所述图案环境和图案位置进行适配来实现。在另一个实施例中,独立的掩模误差模型采用所述掩模制造工艺的第一主要物理过程模拟而建立,例如模拟掩模衬底内部的电子轨迹,模拟抗蚀剂与电子的相互作用以及模拟在抗蚀剂显影过程中的抗蚀剂的化学过程。

[0039] 为了确定掩模误差并形成独立的掩模误差模型,每个所制造的掩模通过检验工具或量测工具进行测量,以获得掩模检验数据。然而,所述掩模检验数据不一定准确地表示确定掩模误差所需要的所制造的物理掩模数据。误差和变形由检验工具或量测工具引入掩模检验数据,这是由于所述工具的非理想的测量传递函数。因此,为了精确地预期或测量所制造的掩模上的物理掩模数据,在一个实施例中,所述检验工具或量测工具的经过校准的模型,例如用于光学检验工具的光学模型,被应用于从所述检验工具或量测工具的输出中提取所制造的掩模的物理掩模数据。在从所述掩模检验数据和OPC后的掩模布局数据中所提取的物理掩模数据之间的差别被表示为系统掩模误差数据。在一个实施例中,所述系统掩模误差参数之后通过将所述系统掩模误差数据与所述掩模误差模型的输入变量(例如图案环境和掩模上的图案位置)进行适配来生成。独立的掩模误差模型最终通过将所述系统掩模误差参数应用于所述掩模误差模型来形成。

[0040] 图2A是根据本发明的一个实施例的采用独立的掩模误差模型的掩模验证方法步骤的流程图。在步骤210中,掩模根据可接受的OPC后的掩模布局制造。在步骤212中,所述掩模采用多个可能的量测工具中的任意工具(如下文所更详细地讨论的)被检验,以产生掩模检验数据。所述掩模检验数据被分析用于提取针对所述掩模的系统掩模误差数据,且系统掩模误差参数之后根据所述系统掩模误差数据确定。在步骤214中,独立的掩模误差模型针对被检验的具体的掩模而形成。所述独立的掩模误差模型包括基于所提取的系

统掩模误差数据的系统掩模误差参数。用于形成所述独立的掩模误差模型的方法的一个实施例在下文中结合图 3B 进行讨论。在步骤 216 中,光刻过程采用所述独立的掩模误差模型和光刻过程的预校准模型(包括例如光学模型和抗蚀剂模型)针对完整的器件设计进行模拟、以产生经过模拟的图案。在一个实施例中,光刻过程的所述预校准模型是在发明名称为“System and Method for Creating a Focus-Exposure Model of a Lithography Process”的美国专利申请 No. 11/461,994 中公开的聚焦曝光模型,所述专利申请的主题以引用的方式整体并入本文中。在步骤 218 中,获得 OPC 前的设计布局。所述 OPC 前的设计布局用于产生被用于制造掩模的 OPC 后的布局。在步骤 220 中,所述经过模拟的图案与 OPC 前的设计布局相比,以确定是否所制造的掩模将在对任何晶片曝光之前呈现所需的图案化性能,即不需要昂贵的曝光和晶片量测工具时间,且不会导致产品晶片由于系统掩模误差而在之后被遗弃的结果。如果,在步骤 222 中,所制造的掩模被确定以能够呈现所需的图案化性能,则所述方法继续步骤 228; 如果否,则所述方法继续步骤 224, 在步骤 224 中,所述掩模被评估以确定是否其是可修复的或可重新加工的。如果所述掩模是可修复的或可重新加工的,则所述方法继续步骤 226, 在步骤 226 中,所述掩模基于采用独立的掩模误差模型所产生的经过模拟的图案被修复或重新加工,并且所述方法返回步骤 212, 在步骤 212 中,检验所述经过修复或经过重新加工的掩模。采用独立的掩模误差模型产生的所述经过模拟的图案将重要的信息提供给掩模修复工具。例如,场内的 CD 变化可以通过采用快速脉冲激光技术而被修正,所述快速脉冲激光技术采用得自所述经过模拟的图案的场内 CD 均匀分布,所述经过模拟的图案采用独立的掩模误差模型。(见“CD Variations Correction by Local Transmission Control of Photomasks Done with a Novel Laser Based Process,” E. Zait, et al., Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XX, Chas N. Archie, Editor, Proc. SPIE, Vol. 6152, (2006))。如果所述掩模是不可修复的或不可重新加工的,则所述方法返回步骤 210, 在步骤 210 中,将制造新掩模。

[0041] 能够将确定的前馈信息从所述经过模拟的图案提供给晶片生产过程。在图 2A 中,该前馈可能性如可选的步骤 228 所示,在所述步骤 228 中,所述曝光工具的工艺调节参数采用来自所述经过模拟的图案的信息而被调整。在步骤 230 中,晶片采用所述掩模而被印刷。

[0042] 图 2A 的方法的一部分(步骤 210-226)可以在将掩模传送给生产设备之前在掩模车间中进行,而图 2A 的方法的另一部分(步骤 212-222)可以在所述生产设备中进行,以便对输入的掩模进行量化。由于不需要对实际晶片进行曝光、显影和量测,所以采用利用独立的掩模误差模型生成的经过模拟的图案的掩模验证导致显著的时间和成本节约。这也为掩模和 OPC 质量控制以及提前预期工艺修正的能力提供可量化的基础,所述工艺修正将针对所使用的特定的掩模优化器件设计的公共工艺窗口。例如,采用独立的掩模误差模型生成的经过模拟的图案可以被用于为所述特定的掩模、从多个可行的曝光工具中选择出优化曝光工具,所述选择通过检查哪个曝光工具的光学模型在与掩模的独立的掩模误差模型结合时形成优化的经过模拟的图案而被进行。在另一个示例中,所述曝光工具的设定可以通过检查何种设定将在与掩模的独立的掩模误差模型结合时产生优化的经过模拟的图案而被优化。

[0043] 图 2B 是根据本发明的另一个实施例的采用独立的掩模误差模型的用于掩模验证的方法步骤的流程图。在步骤 240 中,掩模根据可接受的 OPC 后的掩模布局制造。在步骤

242 中,所述掩模采用多个可能的量测工具中的任意工具(如下文所更详细地讨论的)被检验,以产生掩模检验数据。所述掩模检验数据被分析用于提取针对所述掩模的系统掩模误差数据,且系统掩模误差参数根据所述系统掩模误差数据确定。在步骤 244 中,独立的掩模误差模型针对被检验的具体的掩模而形成。所述独立的掩模误差模型包括基于所提取的系统掩模误差数据的系统掩模误差参数。用于形成所述独立的掩模误差模型的方法的一个实施例在下文中结合图 3B 进行讨论。在步骤 246 中,光刻过程采用所述独立的掩模误差模型和光刻过程的预校准模型(包括例如光学模型和抗蚀剂模型)针对完整的器件设计进行模拟以产生经过模拟的图案。在一个实施例中,光刻过程的所述预校准模型是在发明名称为“System and Method for Creating a Focus-Exposure Model of a Lithography Process”的美国专利申请 No. 11/461,994 中公开的聚焦曝光模型,所述专利申请的主题以引用的方式整体并入本文中。在步骤 248 中,光刻过程采用名义上的掩模误差模型和光刻过程的模型被模拟,以产生名义上的经过模拟的图案。所述名义上的掩模误差模型包括模型参数,所述模型参数表示工艺引起的平均掩模误差,并且在下文中还将结合图 9-10B 进行描述。所述名义上的掩模误差模型不基于所述独立的掩模的掩模检验数据,而是可以采用测试掩模进行独立地校准,或者可以通过对多个之前检验的掩模的独立的掩模误差模型进行平均而获得。名义上的掩模误差模型可能已经作为在针对所述独立的掩模的 OPC 修正中使用的光刻过程模型的一部分而被包括,如以上结合图 1 和美国专利 No. 11/461,994 所讨论的。在步骤 250 中,所述经过模拟的图案与所述名义上的经过模拟的图案相比,以确定是否所制造的掩模将在对任何晶片曝光之前呈现所需的图案化性能,即,不需要昂贵的曝光和晶片量测工具时间,且不会导致由于系统掩模误差而使产品晶片在以后被遗弃的结果。如果,在步骤 252 中,所制造的掩模被确定以能够呈现所需的图案化性能,则所述方法继续步骤 258;如果否,则所述方法继续步骤 254,在步骤 254 中,所述掩模被评估以确定是否其是可修复的或可重新加工的。如果所述掩模是可修复的或可重新加工的,则所述方法继续步骤 256,在步骤 256 中,所述掩模基于采用独立的掩模误差模型所产生的经过模拟的图案被修复或重新加工,并且所述方法返回步骤 242,在步骤 242 中,检验所述经过修复或经过重新加工的掩模。如果所述掩模是不可修复的或不可重新加工的,则所述方法返回步骤 240,在步骤 240 中,将制造新掩模。

[0044] 能够将确定的前馈信息从所述经过模拟的图案提供给晶片生产过程。在图 2B 中,该前馈可能性如可选的步骤 258 所示,在所述步骤 258 中,所述曝光工具的工艺调节参数采用来自所述经过模拟的图案的信息而被调整。在步骤 260 中,晶片采用所述掩模而被印刷。

[0045] 图 2C 是根据本发明的另一个实施例的采用独立的掩模误差模型的用于掩模验证的方法步骤的流程图。在步骤 270 中,掩模根据可接受的 OPC 后的掩模布局制造。在步骤 272 中,所述掩模采用多个可能的量测工具中的任意工具(如下文所更详细地讨论的)被检验,以产生掩模检验数据。所述掩模检验数据被分析用于提取针对所述掩模的系统掩模误差数据,且系统掩模误差参数根据所述系统掩模误差数据生成。在步骤 274 中,独立的掩模误差模型针对被检验的具体的掩模而形成。所述独立的掩模误差模型包括采用所提取的系统掩模误差数据而形成的系统掩模误差参数。用于形成所述独立的掩模误差模型的方法的一个实施例在下文中结合图 3B 进行讨论。在步骤 276 中,光刻过程采用所述独立的掩模误差模型和光刻过程的预校准模型(包括例如光学模型和抗蚀剂模型)针对完整的器件设计

进行模拟,以产生经过模拟的图案。在一个实施例中,光刻过程的所述预校准模型是在发明名称为“System and Method for Creating a Focus-Exposure Model of a Lithography Process”的美国专利申请 No. 11/461,994 中公开的聚焦曝光模型,所述专利申请的主题以引用的方式整体并入本文中。在步骤 278 中,光刻过程采用 OPC 后的掩模布局和光刻过程的模型被直接模拟,以产生理想的经过模拟的图案。所述 OPC 后的掩模布局表示无误差的“完美的”掩模。在步骤 280 中,所述经过模拟的图案与所述理想的经过模拟的图案相比,以确定是否所制造的掩模将在对任何晶片曝光之前呈现所需的图案化性能,即,不需要昂贵的曝光和晶片量测工具时间,且不会导致由于系统掩模误差而使产品晶片在以后被遗弃的结果。如果,在步骤 282 中,所制造的掩模被确定以能够呈现所需的图案化性能,则所述方法继续步骤 288; 如果否,则所述方法继续步骤 284, 在步骤 284 中,所述掩模被评估以确定是否其是可修复的或可重新加工的。如果所述掩模是可修复的或可重新加工的,则所述方法继续步骤 286, 在步骤 286 中,所述掩模基于采用独立的掩模误差模型所产生的经过模拟的图案被修复或重新加工,并且所述方法返回步骤 272, 在步骤 272 中,检验所述经过修复或经过重新加工的掩模。如果所述掩模是不可修复的或不可重新加工的,则所述方法返回步骤 270, 在步骤 270 中,将制造新掩模。

[0046] 能够将确定的前馈信息从所述经过模拟的图案提供给晶片生产过程。在图 2C 中,该前馈可能性如可选的步骤 288 所示,在所述步骤 288 中,所述曝光工具的工艺调节参数采用来自所述经过模拟的图案的信息而被调整。在步骤 290 中,晶片采用所述掩模而被印刷。

[0047] 多种不同的量测工具可以被用于检验掩模以产生掩模检验数据,所述掩模检验数据将被分析用于提取系统掩模误差数据,所述系统掩模误差数据用于为所述独立的掩模误差模型生成所述系统掩模误差参数。这些量测工具包括,但不限于常规的光学掩模检验工具、临界尺寸扫描电子显微镜 (CD-SEM) 或成像扫描电子显微镜 (SEM)、原子力显微镜 (AFM) 或散射仪系统、或者空间图像测量系统 (AIMS) 工具。在一个实施例中,包括图像传感器阵列的传感器晶片被用于测量空间图像,所述空间图像从掩模原位投影,即在实际的照射和投影条件下在曝光工具的晶片平面上以正确的曝光波长,以验证和能够不仅优化掩模的性能而且优化在晶片生产过程中使用的掩模曝光工具组合。用于测量由曝光工具所产生的空间图像的图像传感器阵列的一个实施例在发明名称为“System and Method for Lithography Process Monitoring and Control”的美国专利 No. 6,803,554 中公开,所述专利的主题以引用的方式整体并入本文中。

[0048] 用于提取用于生成系统掩模误差参数的掩模的系统掩模误差数据的任何掩模量测技术通常将不需要掩模的全曝光场检验,而是可以基于有限数量的样本。所述与传统的掩模检验的量化差别需要全曝光场检验以辨别点缺陷,所述量化差别是采用多种检验工具中的任何工具从所述系统掩模误差数据中提取系统掩模误差数据和生成系统掩模误差参数的过程具有很大灵活性的原因。在本发明的一个实施例中,在曝光场内的合适的采样位置通过软件工具自动地辨别,所述软件工具可以基于被检验的掩模的 OPC 后的布局信息与光刻模拟系统集成。

[0049] 同时,当优选地所述系统掩模误差参数针对在光刻过程模拟中使用的独立的掩模误差模型而被明确地生成时,掩模质量也通过采用光刻模拟系统被检测和验证,以通过对模拟和实际测量之间的吻合度的量测进行量化和 / 或通过为所述量测制定合适的边界作

为通过 / 不通过的标准,来“向前”计算每个量测工具上的掩模测量的期望的结果(例如,在扫描仪中被图像传感器阵列测量的图像)。

[0050] 另外,当采用独立的掩模误差模型模拟光刻过程适合于对独立的制造的掩模进行特征化时,采用名义上的掩模工艺模型模拟光刻过程也可以被用于对具体的掩模制造工艺或特定的掩模制造工具而不是独立的掩模进行特征化。在优选实施例中,具有明确定义的图案变化的具体的测试掩模被检验以产生针对掩模制造过程而不是产品掩模的名义上的掩模工艺模型,所述图案变化完全覆盖系统掩模误差参数的相关参数空间。针对掩模制造工艺的所述名义上的掩模工艺模型还将在下文结合图 9-10B 进行描述。

[0051] 在另一个实施例中,对于针对掩模制造工艺系统的名义上的掩模工艺模型的系统掩模误差参数根据所述掩模制造工艺的经验模型或第一原理模型确定。所述掩模制造工艺通常采用与晶片印刷工艺相类似的技术,即通过刻写工具对抗蚀剂进行曝光、抗蚀剂的显影、和掩模衬底的后续蚀刻。在掩模制造工艺参数的合适的校准之后,类似于用于光刻过程模拟的模拟系统的模拟系统可以被用于提取系统掩模误差数据,并然后生成系统掩模误差参数。

[0052] 下面,将提供关于本发明的一定的方面和具体实施例的更多细节。这些具体的实施例的任意描述被作为用于示出主要原理的示例,而不是将本发明限制于这些特定的实施例。

[0053] 重要地,注意到,光刻过程的模型包括独立的模块,所述模块表示:掩模属性(掩模模型,例如独立的掩模误差模型);照射和投影系统的光学属性,例如数值孔径、部分相干性、照射分布和像差(光学模型);以及抗蚀剂属性(抗蚀剂模型)。模型的可分离性的重要性已经在别处进行了详细的讨论;简言之,简化的“集中模型”存在,并可能能够在一定程度上预期光刻过程的性能。然而,光刻过程的分离的模型更接近地反映了物理实际,并导致更精确的和更稳定的鲁棒预期,尤其是在工艺参数(例如在整个工艺窗口上)变化的条件下。获得这种精确预期的系统和方法在发明名称为“System and Method for Creating a Focus-Exposure Model of a Lithography Process”的美国专利申请 No. 11/461,994 中公开。尤其,在美国专利申请 11/461,994 中,公开了用于为光刻过程形成聚焦曝光模型的系统和方法。所述系统和方法采用沿着多维参数变量的校准数据,尤其在曝光离焦工艺窗口空间内。所述系统和方法提供一组统一的模型参数值,所述参数值导致在名义上的工艺条件下更好的模拟精度和鲁棒性,以及在经过整个工艺窗口区域的任何连续点上预期光刻性能的能力,而不需要在不同的设定下重新校准。采用独立的掩模误差模型结合聚焦曝光模型的模拟提供高真实度的经过模拟的图案,所述图案可以被用于精确地预期晶片印刷工艺的性能。

[0054] 图 3A 是根据本发明的一个实施例的用于采用独立的掩模误差模型模拟光刻过程的方法步骤的流程图。在步骤 310 中,获得用于示出器件的设计意图的 OPC 前的设计布局。然后,在步骤 312 中,获得 OPC 后的掩模布局。通过将 OPC 和其他 RET 应用于所述 OPC 前的设计布局形成 OPC 后的掩模布局。在步骤 314 中,形成采用 OPC 后的掩模布局制造的掩模的独立的掩模误差模型。用于形成独立的掩模误差模型的方法的一个实施例在下文中结合图 3B 讨论。然后,在步骤 316 中,采用曝光工具的独立的掩模误差模型和光学模型(例如在美国专利申请 No. 11/461,994 中公开的聚焦曝光模型的光学模型)模拟曝光过程,以

产生经过模拟的空间图像,即被投影到涂覆有抗蚀剂的晶片上的经过模拟的图案。在步骤 318 中,采用经过模拟的空间图像和抗蚀剂模型模拟在抗蚀剂层中的图案的形成,以产生经过模拟的图案。然后,在步骤 320 中,所述经过模拟的图案被分析用于确定抗蚀剂中的所印刷的图案的预期临界尺寸和轮廓。

[0055] 模型分离性意味着光刻过程模型的分离模块可以被独立地校准、调谐或调整,以便反映由所述模型分量所描述的物理实体的属性或变化。例如,如果已知的掩模被用在不同的曝光工具上或以不同的光学设定(例如数值孔径或 σ) 使用,则不同的光学模型可以被结合相同的独立的掩模误差模型使用。采用相同的独立的掩模误差模型以及不同的曝光工具的不同光学模型的光刻模拟可以被用于辨别曝光工具,所述曝光工具将采用由独立的掩模误差模型所表示的掩模提供最佳的性能。清楚地,独立的掩模误差模型被要求用于正确地描述所述掩模的物理类型,即,衰减和相移水平。所述独立的掩模误差模型也明确地考虑与掩模制造工艺相关的系统变化或缺陷。这些变化或缺陷可能包括实际掩模线宽对所设计的线宽的整体偏离;这种偏离在掩模区域上的空间变化;这种偏离随着间距、图案密度或取向的变化。除去偏离之外,由独立的掩模误差模型所描述的系统掩模误差还可以包括拐角倒圆角的半径或线边缘的粗糙度。所述独立的掩模误差模型也可以采用在光和掩模结构之间相互作用的更详细的三维建模。

[0056] 图 3B 是根据本发明的一个实施例的用于形成独立的掩模误差模型的方法步骤的流程图。在步骤 330 中,获得 OPC 后的掩模布局,通常为 GDSII 格式的 CAD 文件,并形成用于 OPC 后的掩模布局的名义上的掩模误差模型。在步骤 332 中,获得采用 OPC 后的掩模布局制造的掩模。在步骤 334 中,所述掩模以合适的检验工具进行检验,以产生掩模检验数据。在步骤 336 中,所述掩模检验数据被分析用于辨别全局的线宽偏离,且所述全局的线宽偏离被应用于名义上的掩模误差模型,产生经过更新的掩模误差模型。当在掩模上形成的线宽系统地区别于所有线宽的设计值时,出现全局的线宽偏离。在可选的步骤 338 中,所述掩模检验数据被分析用于辨别全局的相位偏离,且所述全局的相位偏离被应用于经过更新的掩模误差模型。对于相移掩模,可能在所设计的和所制造的相位阶跃之间出现全局的偏置。仅仅当所制造的掩模是相移掩模时,将应用可选的步骤 338。在步骤 340 中,所述掩模检验数据被分析用于辨别依赖于图案的线宽或偏离的变化,且这些变化被应用于所述经过更新的掩模误差模型。这些变化可能包括依赖于图案取向的变化、依赖于图案密度的变化(例如对于密集的线图案的间距依赖性)、或在所述掩模的区域上的临界尺寸的系统变化。在步骤 342 中,所述掩模检验数据被分析用于辨别拐角的倒圆角效应,且所述拐角的倒圆角效应被应用于经过更新的掩模误差模型。所述拐角的倒圆角效应可以通过在图像处理中公知的形态学操作或低通滤波或与例如二维高斯函数的卷积而被建模。在步骤 344 中,所述掩模检验数据被分析用于辨别其他的系统掩模误差参数,以精确地描述所述掩模的特征,且这些系统掩模误差参数被应用于经过更新的掩模误差模型。在步骤 346 中,采用所有的系统掩模误差参数进行更新的掩模误差模型被表示为独立的掩模误差模型。所述独立的掩模误差模型反映了修改原有的 OPC 后的设计布局的操作以及这些操作的特定参数组。

[0057] 提取用于形成独立的掩模误差模型的系统掩模误差参数通常将不需要全场掩模检验。这种提取可能基于来自在掩模中代表性的位置的合适的经过选择的采样的掩模检验数据。图 4 是根据本发明的另一个实施例的用于采用来自多个采样位置的掩模检验数据形

成独立的掩模误差模型的方法步骤的流程图。在步骤 410 中,产生示出器件的设计意图的 OPC 前的设计布局。在步骤 412 中,采用 OPC 和其他 RET 处理 OPC 前设计布局,以产生 OPC 后的掩模布局,且形成用于 OPC 后的掩模布局的名义上的掩模误差模型。在步骤 414 中,采用光刻过程的模型(包括例如光学模型和抗蚀剂模型)和名义上的掩模误差模型对光刻过程进行模拟,以产生初始的经过模拟的图案。在步骤 416 中,生成用于检验采用 OPC 后的掩模布局制造的掩模的采样方案。所述采样方案包括采样位置,在所述采样位置上,所述掩模将通过量测工具和检验处方而被检验。在一个实施例中,通过与光刻模拟系统集成的软件,从初始的经过模拟的图案中确定所述采样位置。所述 OPC 后的掩模布局能够用于光刻模拟系统,因此所述光刻模拟系统可以辨别对于特定掩模的采样位置和测量选项。采样位置应当被选择用于覆盖尽可能宽范围的参数空间,所述参数空间影响系统的模误差,例如图案密度、图案取向、图案间距、图案尺寸、图案极性、不同取向和极性的拐角、间隔变化的线端以及位于在掩模区域(例如,3x3 位置矩阵)上的多个位置等。形成采样方案还在下文结合图 6 进行讨论。

[0058] 在步骤 418 中,掩模根据 OPC 后的掩模布局而制造。在步骤 420 中,所述制造的掩模根据采样方案在量测工具中被检验,以生产掩模检验数据。在步骤 422 中,数据拟合过程通过使系统掩模误差数据适配于所述掩模误差模型的输入变量(例如图案环境和掩模上的图案位置)确定独立的掩模误差模型的系统掩模误差参数的优化值,其中所述系统掩模误差数据基于在从掩模检验数据中所提取的物理掩模数据和 OPC 后的掩模布局数据之间的差别。所述数据拟合过程采用系统掩模误差参数作为拟合参数,所述拟合参数被优化以便提供在掩模检验数据和 OPC 后掩模布局之间的最佳吻合度。所述数据拟合过程可以是用于设计验证的相同的光刻模拟系统的集成部分,或者其可以是独立的光刻模拟和数据分析系统的一部分,所述系统可能具有用于上述光刻模拟系统的数据接口,以将采样信息与系统掩模误差参数进行通信。最终,在步骤 424 中,采用系统掩模误差参数的优化值形成独立的掩模误差模型。

[0059] 在一个实施例中,用于形成独立的掩模误差模型的独立的光刻模拟和数据分析系统包括用于从掩模检验数据中提取系统掩模误差数据并从所提取的系统掩模误差数据中生成系统掩模误差参数的计算平台和软件程序。所述系统还包括用于设计模拟系统的数据接口(例如经由局域网或广域网),以使得采样信息或设计信息可以被设置在下游,且经过更新的系统掩模误差参数可以被设置在上游,回到所述设计模拟系统。在另一个实施例中,光刻模拟和数据分析系统被集成在掩模量测工具内,而不是在分离的计算平台上被实现。

[0060] 图 5A 是根据本发明的一个实施例的用于在掩模车间中形成独立的掩模误差模型的基于模型的掩模数据分析系统的图。基于模型的掩模数据分析系统 522 位于掩模车间 520,以辨别掩模的系统掩模误差数据。设计中心 510 提供 OPC 后的掩模布局 512 和用于掩模检验工具的采样方案 514 给基于模型的掩模数据分析系统 522。基于模型的掩模数据分析系统 522 基于采样方案 514 将量测处方 528 提供给量测工具 530。量测工具 530 可能是典型地在掩模车间中发现的任何一种量测工具,例如 CD-SEM。量测工具 530 根据量测处方 528 检验掩模(未示出),并将得到的量测数据 532(例如图像和临界尺寸)提供给基于模型的掩模数据分析系统 522。基于模型的掩模数据分析系统 522 分析量测数据 532 以提取系统掩模误差数据,并根据所提取的系统掩模误差数据生成系统掩模误差参数 524,并形成

独立的掩模误差模型 526。基于模型的掩模数据分析系统 522 还可以更新已有的独立的掩模误差模型,并确定 OPC 后的设计布局验证数据。基于模型的掩模数据分析系统 522 将独立的掩模误差模型 526 发送给设计中心 510,设计中心 510 采用独立的掩模误差模型 526 产生对于 OPC 和 RET 设计验证、工艺窗口和热斑分析的设计模拟 516。基于模型的掩模数据分析系统 522 还将系统掩模误差参数 524 发送给位于生产设备 540 中的生产设备处理控制 542。

[0061] 在生产设备中,除去量测工具之外的其他工具可以被用于掩模检验。图 5B 是根据本发明的一个实施例的用于在生产设备 550 上形成独立的掩模误差模型的基于模型的掩模数据分析系统 560 的图。基于模型的掩模数据分析系统 560 分析掩模检验数据以提取系统掩模误差数据,并根据所提取的系统掩模误差数据生成系统掩模误差参数 564,并形成独立的掩模误差模型 562。设计中心 510 将 OPC 后的掩模布局 512 和采样方案 514 提供给基于模型的掩模数据分析系统 560。基于模型的掩模数据分析系统 560 基于采样方案 514 将量测处方 566 提供给量测工具 570,例如 CD-SEM,所述量测工具 570 根据量测处方 566 测量掩模(未示出)并将得到的量测数据(例如图像和临界尺寸)572 提供给基于模型的掩模数据分析系统 560。基于模型的掩模数据分析系统 560 也可以基于采用方案 514 将曝光处方 568 发送给曝光工具 580,例如扫描器。在曝光工具 580 中,图像传感器阵列 582(例如美国专利 No. 6, 803, 554 的图像传感器阵列)测量采用掩模根据曝光处方 568 产生的空间图像,并将空间图像数据(未示出)发送给基于模型的掩模数据分析系统 560。基于模型的掩模数据分析系统 560 分析量测数据 572 和 / 或空间图像数据以提取系统掩模误差数据,并根据所提取的系统掩模误差数据生成系统掩模误差参数 564,且形成独立的掩模误差模型 562。基于模型的掩模数据分析系统 560 也可以将经过更新的独立的掩模误差模型和 OPC 后的设计布局验证数据提供给设计中心 510,所述设计中心 510 采用所述信息产生用于 OPC 和 RET 设计验证、工艺窗口和热斑分析的设计模拟 516。基于模型的掩模数据分析系统 560 也将系统掩模误差参数 564 发送给生产设备处理控制 552。

[0062] 生成用于从掩模检验数据精确地生成系统掩模误差参数的采样方案的主要目的是通过所选择的采样位置提供系统掩模误差参数空间的充分覆盖。图 6 是根据本发明的一个实施例的用于生成用于检验掩模的采样方案的方法步骤的流程图。在步骤 610 中,采用独立的掩模误差模型、在掩模检验数据和经过模拟的图案之间的数据拟合过程中可能发生改变的系统掩模误差参数在光刻过程模型的情况内定义,所述光刻过程模型包括光学模型、抗蚀剂模型和独立的掩模误差模型。所述系统掩模误差参数包括选择可最显著地变化的掩模误差参数或对图案化性能具有最大影响(可能基于敏感性分析)的掩模误差参数,或者包括宽范围的系统掩模误差参数。然后,在步骤 612 中,相关值的范围对于每个系统掩模误差参数而确定,通常在多维掩模误差参数空间内限定一区域。作为简单的示例,掩模误差参数空间可以包括名义上的线宽变化的图案线,并覆盖间距范围或局部图案密度。在步骤 614 中,合适的采样位置通过搜索算法在 OPC 后的掩模布局内确定,所述搜索算法确定在先前限定的参数空间内具有代表性的值的特征性图案特征。采样位置也可以从 OPC 后的掩模布局直接选择,以覆盖尽可能宽范围的参数空间,所述参数空间影响系统掩模误差,例如图案密度、图案取向、图案间距、图案尺寸、图案极性、不同取向和极性的拐角、间隔变化的线端以及位于在掩模区域(例如,3x3 位置矩阵)上的多个位置等。在步骤 616 中,利

用所确定的采样位置的所述参数空间的覆盖的密度和范围被评估以确定所述参数空间的覆盖是否充分。如果是,则所述方法继续步骤 618; 如果否,则所述方法返回步骤 614, 在步骤 614 中, 搜索算法一直重复到参数空间的覆盖充分。在步骤 618 中, 基于所选择的采样位置生成采样方案。然后, 在步骤 620 中, 所述采样方案被提供给掩模检验工具或量测工具。

[0063] 图 7A 是根据本发明的一个实施例的用于形成独立的掩模误差模型和采用掩模临界尺寸测量验证掩模的方法步骤的流程图。在图 7A 中的实施例中, 为了表示方便, 所述独立的掩模误差模型的特征仅在于掩模临界尺寸的线宽在所述掩模的区域上的掩模临界尺寸线宽的系统变化。可以采用其他的或附加的系统掩模误差参数, 例如拐角倒圆角或线边缘粗糙度。在步骤 710 中, 获得器件的 OPC 后的掩模布局。在步骤 712 中, 确定在 OPC 后的掩模布局中的采样位置。在步骤 714 中, 生成用于检验采用 OPC 后的掩模布局制造的掩模的采样方案。在一个实施例中, 采用图 6 的方法生成所述采样方案。然后, 在步骤 716 中, 获得根据 OPC 后的掩模布局制造的掩模, 且 CD-SEM 工具被用于根据所述采样方案直接测量掩模上的线宽。在另一个实施例中, 成像 SEM 也被用于确定两维的基于图像的掩模误差参数, 例如拐角的倒圆角。在步骤 718 中, 所测量的线宽 (掩模 CD) 与在 OPC 后的掩模布局中的所设计的线宽值 (设计 CD) 相比较 (假定 CD-SEM 工具已经被校准)。例如, 将掩模线宽偏离 (即实际的临界尺寸与设计的临界尺寸的偏差) 与线宽尺寸匹配的过程将对在考虑中的具体掩模的依赖于图案尺寸的偏离的非线性进行特征化。在步骤 720 中, 采用掩模 CD 误差数据针对独立的掩模误差模型生成系统掩模误差参数, 其中所述掩模 CD 误差数据基于在掩模 CD 值和所设计的 CD 值之间的差别。可以采用参数拟合或查表的方法产生系统掩模误差参数。在步骤 722 中, 采用光刻过程的模型 (包括例如光学模型和抗蚀剂模型) 和独立的掩模误差模型模拟光刻过程, 以产生经过模拟的图案。然后, 在步骤 724 中, 经过模拟的图案被分析以确定具体掩模的热斑和其他设计缺陷、工艺修正以及工具匹配信息。所述工艺修正可以包括焦点偏移和对于曝光工具的 NA 和 sigma 设定的改变。经过模拟的图案也可以被用于采用结合图 2A-2C 的任何上述方法验证掩模和 OPC 质量, 并确定光刻过程的工艺窗口。

[0064] 图 7B 是根据本发明的另一个实施例的用于形成独立的掩模误差模型和采用空间图像测量验证掩模的方法步骤的流程图。图 7B 的方法类似于图 7A 的方法, 而仅仅是在步骤 736 中, 空间图像传感器 (例如包括图像传感器阵列的传感器晶片) 被用于测量在实际生产的曝光工具中从掩模投影的图像。在一个实施例中, 采用图像传感器阵列测量空间图像根据美国专利 No. 6, 803, 554 的公开内容而被实现。采用 '554 专利的图像传感器阵列测量空间图像的操作提供在所述曝光工具的曝光场上的上百万个采样位置上的高分辨率图像碎片形式的大量数据。尽管所测量的空间图像 (或更精确地说, 传感器图像) 可能不直接地表示线宽和衬底上的其他量测, 但是所测量的空间图像数据的合适的分析和校准可以通过模拟在曝光工具中的空间图像形成过程而被限定。例如, 已知掩模线宽的小改变将首先导致整个信号强度的改变, 所述信号强度可以例如通过在所测量的空间图像中的线的横截面上的综合的信号电平来测量。类似地, 在掩模上总的接触面积或其他小特征可以在图像上被直接测量, 甚至对于太小以至于无法印刷的特征 (例如辅助条纹或其他亚分辨率辅助特征)。根据这种测量, 特征尺寸和特征尺寸随图案密度在场上的变化可以作为系统掩模误差参数明确地被得出。替代地, 独立的掩模误差模型的确定部分可以以更可直接测量

的参数形式表达,例如接触能或相对信号电平。可以进而通过在多种条件下(例如通过焦点)采用多 NA-sigma 设定或不同源的极化获取数据来促进确定的系统掩模误差参数的提取。例如,相移掩模的参数可能具有特征性的通过焦点的行为,以使得在多个聚焦设定下测量的空间图像数据将允许实际的掩模属性的更好特征化。最后,如图 7A 所示,反映实际生产的掩模的物理结构的独立掩模误差模型被用于图案化性能的模拟、掩模验证和工艺修正。

[0065] 在图 7B 的实施例中,为了表示方便,独立的掩模误差模型的特征仅在于在所述掩模的区域上的掩模临界尺寸线宽的系统变化。可以采用其他的或附加的掩模误差参数,例如拐角的倒圆角或线边缘的粗糙度。在步骤 730 中,获得产品的 OPC 后的掩模布局。在步骤 732 中,确定在 OPC 后掩模布局中的采样位置。在步骤 734 中,生成用于检验采用 OPC 后的掩模布局制造的掩模的采样方案。在一个实施例中,采用图 6 所示的方法生成采样方案。在步骤 736 中,获得根据 OPC 后的掩模布局制造的掩模,并根据采样方案采用图像传感器阵列测量由用于曝光工具的掩模产生的空间图像。在步骤 738 中,掩模 CD 值从空间图像测量数据和曝光工具和图像传感器阵列的光学模型提取。在步骤 740 中,所述掩模 CD 值与在 OPC 后的掩模布局中的设计 CD 值相对比,以基于掩模 CD 值和设计 CD 值之间的差别生成掩模 CD 误差数据。在步骤 742 中,对于独立的掩模误差模型从掩模 CD 误差数据生成系统掩模误差参数。可以采用参数拟合或查表的方法生成所述系统掩模误差参数。然后,在步骤 744 中,采用光刻过程的模型(包括例如光学模型和抗蚀剂模型)和独立的掩模误差模型模拟光刻过程,以产生经过模拟的图案。在步骤 746 中,经过模拟的图案被分析以确定具体的掩模的热斑和其他设计缺陷、工艺修正以及工具匹配信息。所述工艺修正可以包括焦点偏移和对于曝光工具的 NA 和 sigma 设定的改变。经过模拟的图案也可以被用于采用上述结合图 2A-2C 的任何方法验证掩模和 OPC 质量,以及确定光刻过程的工艺窗口。

[0066] 图 7C 是根据本发明的另一个实施例的用于形成独立的掩模误差模型和采用光学掩模检验工具验证掩模的方法步骤的流程图。图 7C 的方法类似于图 7A 的方法,而仅仅是在步骤 756 中,光学掩模检验工具(通常用于掩模污染物检验或点缺陷检测)被用于检验掩模。光学掩模检验工具通常设计为完全覆盖整个掩模面积,因此,辨别采样位置和根据 OPC 后的掩模布局生成采样方案的步骤是可选的。全局的或缓慢变化的系统掩模误差参数可以根据光学掩模检验工具而确定,如发明名称为“Apparatus and Methods for Collecting Global Data during a Mask Inspection”的美国专利 No. 6, 516, 085 所述,所述专利的主题以引用的方式整体并入本文中。

[0067] 在图 7C 的实施例中,为了表示方便,独立的掩模误差模型的特征仅在于在所述掩模的区域上的掩模临界尺寸线宽的系统变化。可以采用其他的或附加的掩模误差参数,例如拐角的倒圆角或线边缘的粗糙度。在步骤 750 中,获得产品的 OPC 后的掩模布局。然后,在可选步骤 752 中,识别在 OPC 后掩模布局中的采样位置。在可选步骤 754 中,生成用于检验采用 OPC 后的掩模布局制造的掩模的采样方案。在步骤 756 中,获得根据 OPC 后的掩模布局制造的掩模,并采用光学掩模检验工具检验掩模。如果可行,则这种检验与在步骤 754 中视情况生成的采样方案一致。在步骤 758 中,掩模 CD 值从掩模检验数据和光学掩模检验系统的光学模型提取。在步骤 760 中,所述掩模 CD 值与在 OPC 后的掩模布局中的设计 CD 值相对比,以基于掩模 CD 值和设计 CD 值之间的差别生成掩模 CD 误差数据。在步骤 762 中,

对于独立的掩模误差模型从掩模 CD 误差数据生成系统掩模误差参数。可以采用参数拟合或查表的方法生成所述系统掩模误差参数。然后,在步骤 764 中,经过模拟的图案被分析以确定具体的掩模的热斑和其他设计缺陷、工艺修正以及工具匹配信息。所述工艺修正可以包括焦点偏移和对于曝光工具的 NA 和 sigma 设定的改变。经过模拟的图案也可以被用于采用上述结合图 2A-2C 的任何方法验证掩模和 OPC 质量,以及确定光刻过程的工艺窗口。

[0068] 用于形成独立的掩模误差模型的方法的其他实施例可以根据可选的掩模检验技术(例如原子力显微镜、干涉相位量测法(如“Optical Considerations of High-Resolution Photomask Phase Metrology,”A. J. Merriam and J. J. Jacob, Proc. SPIE, Vol. 5752, 1392 (2005))所述、空间图像量测法(例如采用 AIMS 工具)、散射仪以及偏振光椭圆率测量)生成系统掩模误差参数。

[0069] 在光刻过程的经过校准的聚焦曝光模型的框架内(如美国专利申请 No. 11/461, 994 所公开),也可能从对于所印刷的测试晶片的 SEM 测量获得或验证用于独立的掩模误差模型的系统掩模误差参数。在一个实施例中,通过采用拟合过程和通过随后采用经过校准的独立的掩模误差模型预期具体的掩模热斑或工艺修正来实现所述获得或验证,所述拟合过程允许系统掩模误差参数值变化、同时将其它的(可分离的)模型分量保持为固定的独立确定的值。

[0070] 独立的掩模误差模型可以被用于广泛的各种应用,所述应用超越 OPC 验证或掩模鉴定。例如,独立的掩模误差模型可以被用于预期具体的掩模的 OPC 热斑或薄弱区域,所述热斑或薄弱区域可以被前馈到晶片检验过程以选择性地监测最关键的器件区域。替代地,采用独立的掩模误差模型对光刻过程进行模拟可以确定工艺修正,所述工艺修正可以被前馈到器件处理中。这些工艺修正可以包括在曝光工具上的光学设定的宽范围调整(例如 NA、sigma、照射分布、聚焦中心、曝光量和透镜调整)。如果多个曝光工具能够用于生产,则具体工具的光学模型可以根据工具校准测量获知,以使得可以针对具体的掩模预期依赖于工具的印刷性能的差别,且最佳的匹配可以被发现,以便通过调度在所述优选工具上的器件生产而最大化过程产量。

[0071] 图 8 是根据本发明的一个实施例的用于验证掩模的方法步骤的流程图。在图 8 的方法中,生产用曝光工具的所期望的成像性能以及器件设计由 OPC 后的掩模布局和光刻模拟模型限定,而不是从掩模检验数据提取系统掩模误差参数数据。采用掩模在曝光工具中生产的空间图像可以采用图像传感器阵列在确定的关键特征位置上或以统计方式在曝光场上进行测量。然后,掩模鉴定或通过 / 不通过判定可以基于所测量的图像和经过模拟的图像之间的吻合度的评估,由合适的图像处理量测限定。如果名义上的掩模误差模型已经被针对特定的掩模制造工艺(如下面结合图 9-10B 所讨论的)建立,且如果掩模制造工艺的一致性可能很关键,则图 8 的方法可能特别地适合。替代地,如果任何老化过程或不断累积的缺陷(例如浑浊)需要被监测,则所述方法可以被用于验证随时间的掩模质量。

[0072] 在步骤 810 中,获得产品的 OPC 后的掩模布局。在步骤 812 中,确定在 OPC 后的掩模布局中的采样位置。在步骤 814 中,采用图像传感器阵列生成用于在曝光工具中测量空间图像的采样方案。在步骤 816 中,获得根据 OPC 后的掩模布局制造的掩模,且根据所述采样方案、采用图像传感器阵列测量采用所述掩模产生的空间图像的代表性的图像碎片。在步骤 818 中,采用名义上的掩模误差模型和曝光工具的光学模型以及图像传感器阵列模拟

由图像传感器阵列所测量的所期望的空间图像,以产生经过模拟的空间图像。然后,在步骤 820 中,所测量的空间图像与所述模拟的空间图像相对比。在步骤 822 中,确定是否所述掩模是可接受的的操作基于在所测量的空间图像和所述模拟的空间图像之间的差别。

[0073] 在之前的实施例中,每种情况的掩模被检验以针对所述具体的掩模生成独立的掩模误差模型。然而,在一些情况下,可能足以生成名义上的掩模误差模型,所述名义上的掩模误差模型对于特定的掩模制造商或具体的掩模制造工具或工艺,而不是对于特定的掩模,是特有的。这种名义上的掩模误差模型通过将测试图案限定到测试掩模上而被优选地开发和校准,所述测试掩模将不被用于印刷产品晶片,而仅仅是用于对所述掩模制造工艺进行特征化。然而,也可以采用任何掩模布局数据开发名义上的掩模误差模型。所述方法类似于通常用于校准光刻模拟模型的过程模型校准或与之在某种程度上相似。

[0074] 采用测试图案形成用于掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的明确的益处在于能够灵活地限定合适的测试图案结构,所述图案测试结构可以保证任何系统掩模误差参数空间的完整和密集的覆盖。这种测试图案例如可以通过光刻模拟系统自动地生成,并然后被提供给掩模制造工艺,以形成测试掩模。采用测试图案的形成名义上的掩模误差模型的方法与用于产品掩模的方法非常类似,然而,由于图案类型和位置在测试掩模布局中是固定的和预定的,所以不需要用于确定采样位置的算法。

[0075] 图 9 是根据本发明的一个实施例的用于形成用于掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的方法步骤的流程图。在可选的步骤 910 中,用于测试掩模的测试图案由光刻模拟系统生成。在步骤 912 中,采用 OPC 和其他 RET 处理测试图案,以产生 OPC 后的测试掩模布局。在可选的步骤 914 中,根据所述测试图案确定采样位置,并生成采样方案。在步骤 916 中,获得根据 OPC 后的测试掩模布局所制造的测试掩模,并根据所述采样方案在掩模检验工具中检验测试掩模,如果可行则产生掩模检验数据。在步骤 918 中,从掩模检验数据中提取物理掩模数据,并基于在所提取的物理掩模数据和 OPC 后的掩模布局之间的差别确定系统掩模误差数据。数据拟合过程根据所述系统掩模误差数据确定对于名义上的掩模误差模型的系统掩模误差参数的优化值。所述数据拟合过程将系统掩模误差参数用作被优化的拟合参数,以便提供在掩模检验数据和 OPC 后的掩模布局之间的最佳吻合度。在步骤 920 中,生成名义上的掩模误差模型,在所述名义上的掩模误差模型中,名义上的掩模误差模型的系统掩模误差参数对用于制造所述测试掩模的掩模制造工艺进行特征化。

[0076] 图 10A 是根据本发明的另一个实施例的用于形成掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的方法步骤的流程图。在步骤 1010 中,产生线宽、间距和取向变化的测试掩模布局。在步骤 1012 中,选择将被特征化的掩模技术和掩模车间。在一个实施例中,也选择具体的掩模制造工具。在步骤 1014 中,获得根据测试掩模布局、采用所选择的掩模技术和掩模车间制造的测试掩模。在步骤 1016 中,采用 CD-SEM 工具直接测量在测试掩模上的线宽(CD)。在步骤 1018 中,所测量的掩模 CD 通过在曝光场上的间距与设计 CD 值相比。在步骤 1020 中,采用系统掩模误差数据基于所测量的掩模 CD 值和设计 CD 值之间的差别生成用于名义上的掩模误差模型的系统掩模误差参数。所述名义上的掩模误差模型是可以被用于对所选择的掩模车间和掩模技术进行特征化的模型。

[0077] 图 10B 是根据本发明的另一个实施例的用于形成掩模制造工艺的名义上的掩模误差模型的方法步骤的流程图。在步骤 1030 中,产生线宽、间距和取向变化的测试掩模布

局。在步骤 1032 中,选择将被特征化的掩模技术和掩模车间。在一个实施例中,也选择具体的掩模制造工具。在步骤 1034 中,获得根据测试掩模布局采用所选择的掩模技术和掩模车间制造的测试掩模。然后,在步骤 1036 中,采用图像传感器阵列测量在在曝光工具中由所述测试掩模产生的空间图像。在步骤 1038 中,采用曝光工具的光学模型从所测量的空间图像中提取测试掩模线宽 (CD)。在步骤 1040 中,所得到的测试掩模 CD 值通过在曝光场上的间距与设计 CD 值相比。在步骤 1042 中,采用系统掩模误差数据、基于所得到的测试掩模 CD 值和设计 CD 值之间的差别生成用于名义上的掩模误差模型的系统掩模误差参数。所述名义上的掩模误差模型是可以被用于对所选择的掩模车间和掩模技术进行特征化的模型。

[0078] 以上,本发明已经参照具体的实施例进行了描述。然而,应当理解,在不偏离如所附的权利要求所提出的本发明的更为宽泛的精神和保护范围的情况下,可以对此进行各种修改和变化。相应地,以上的描述和附图都被看作说明性的,而不是限制性的。

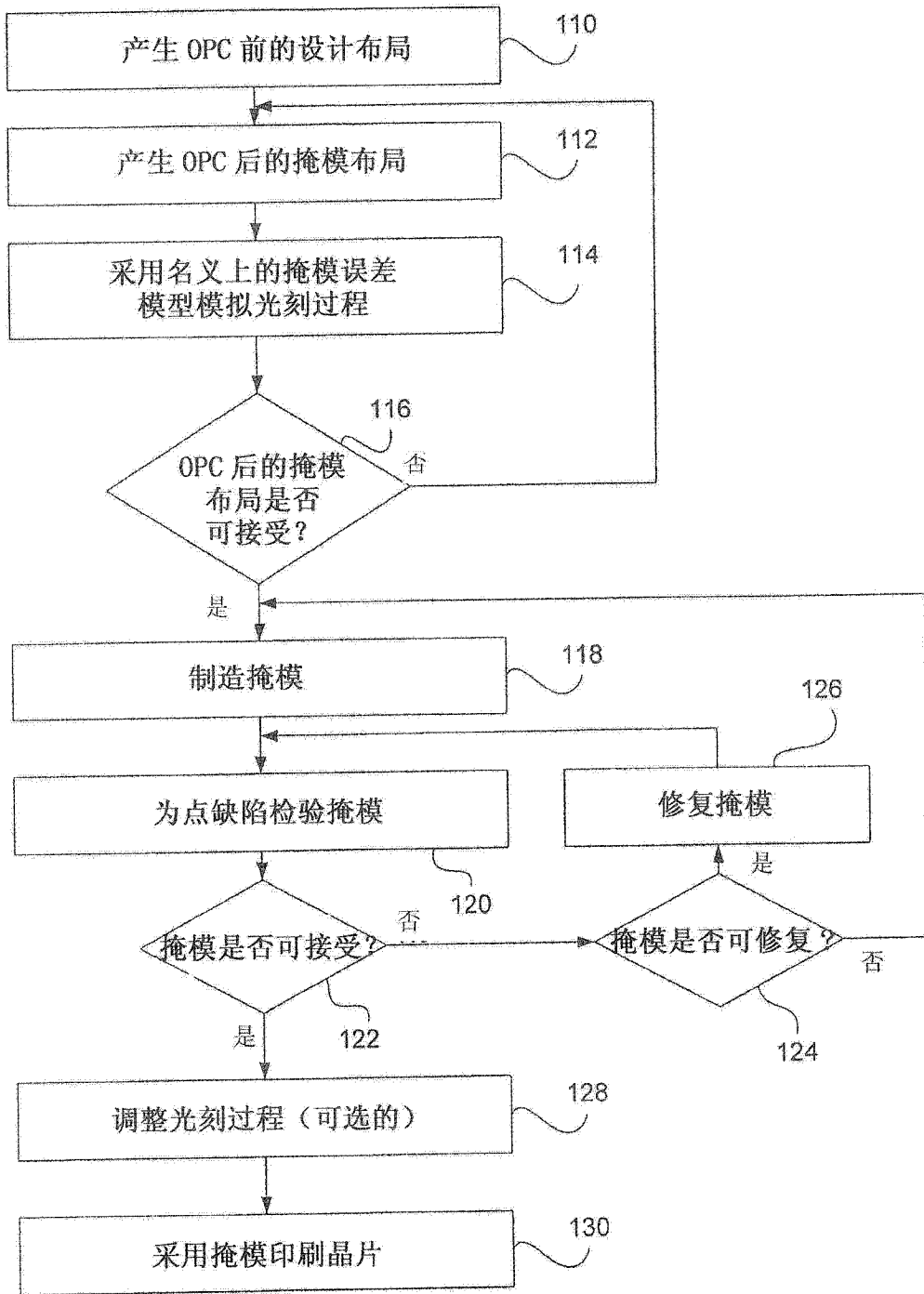


图 1(现有技术)

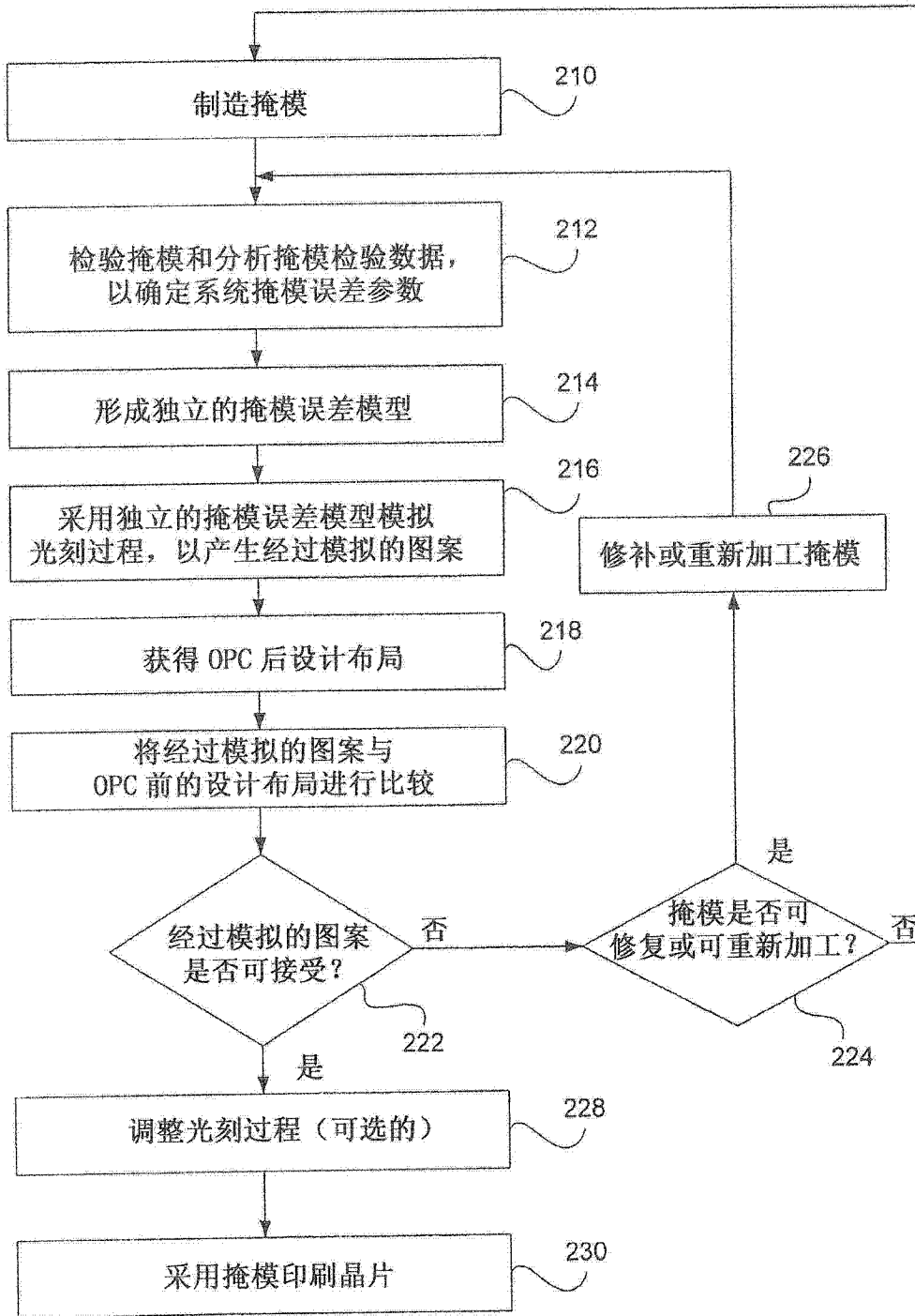


图 2A

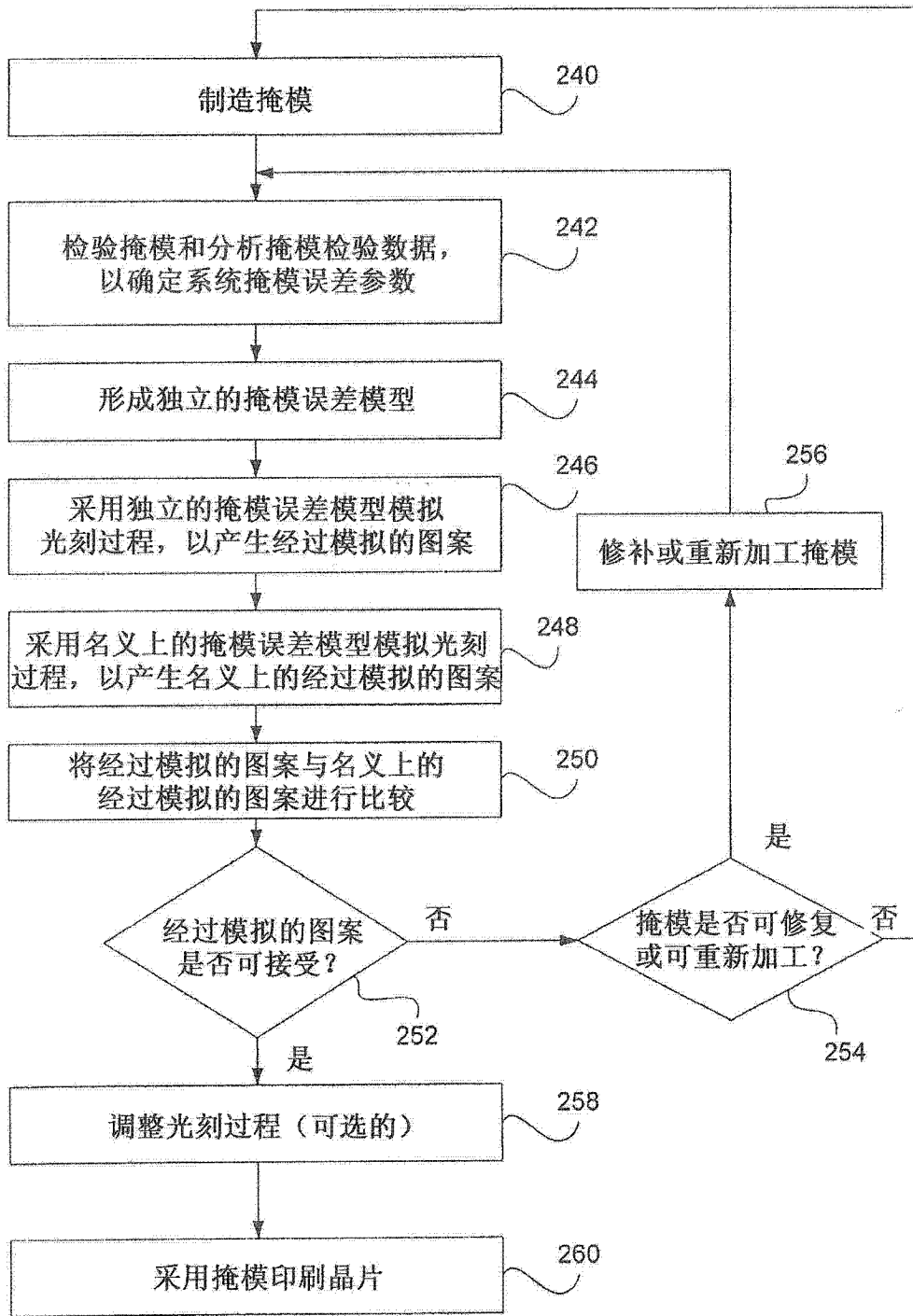


图 2B

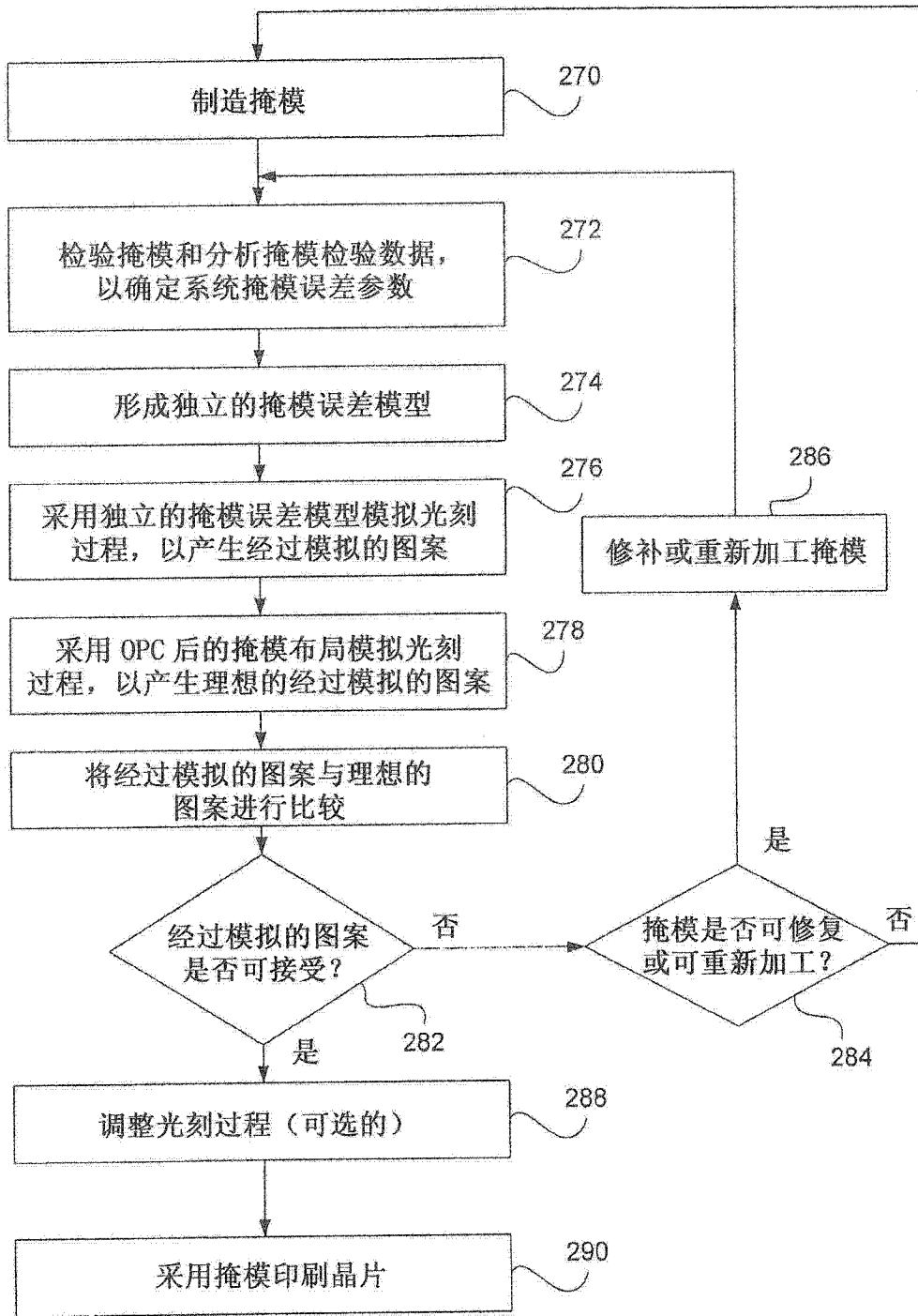


图 2C

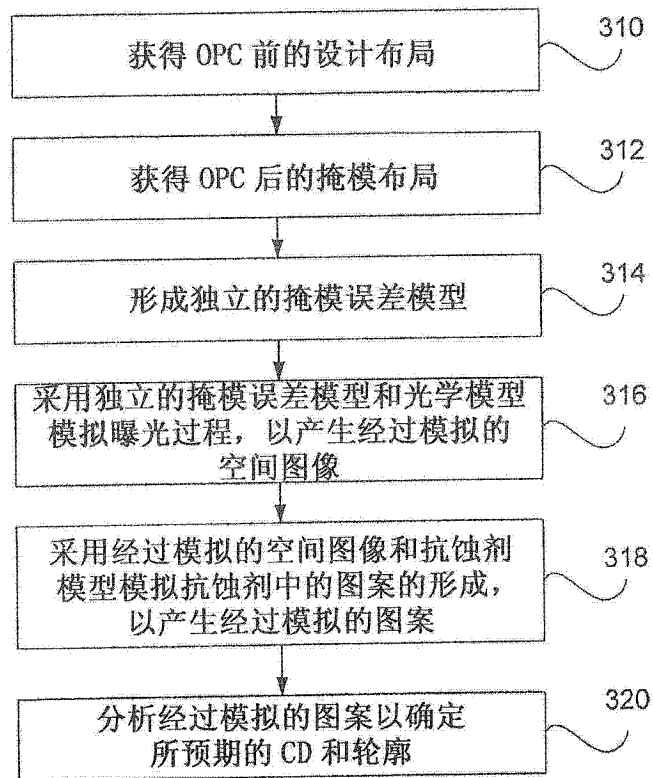


图 3A

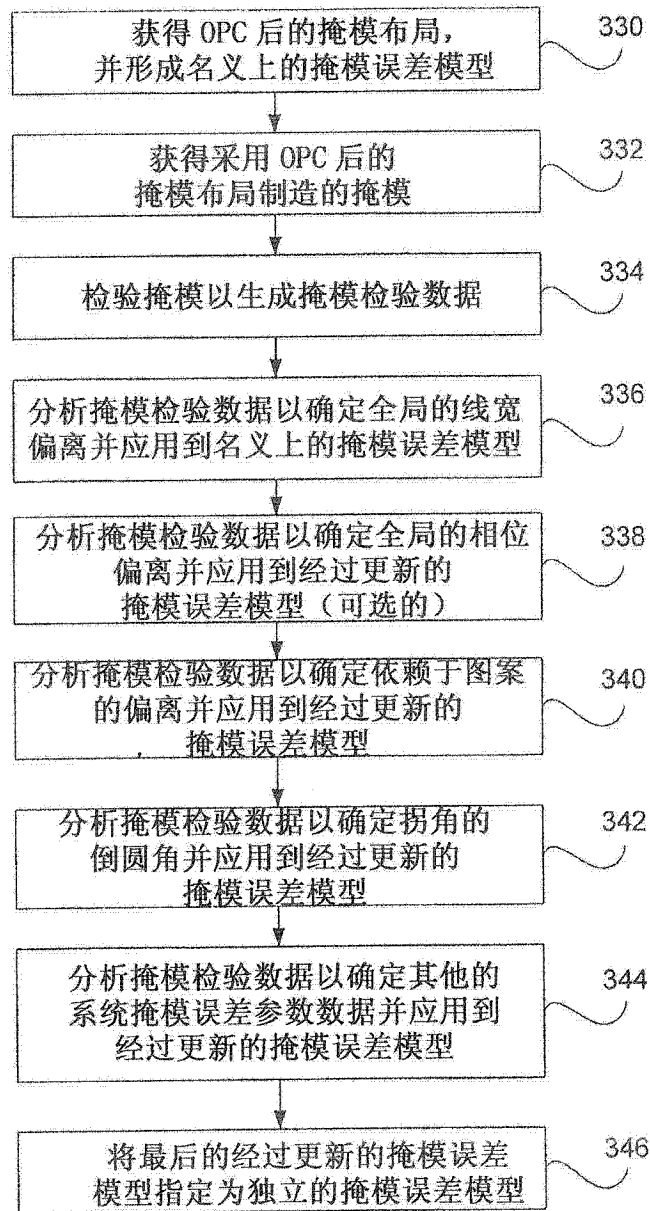


图 3B

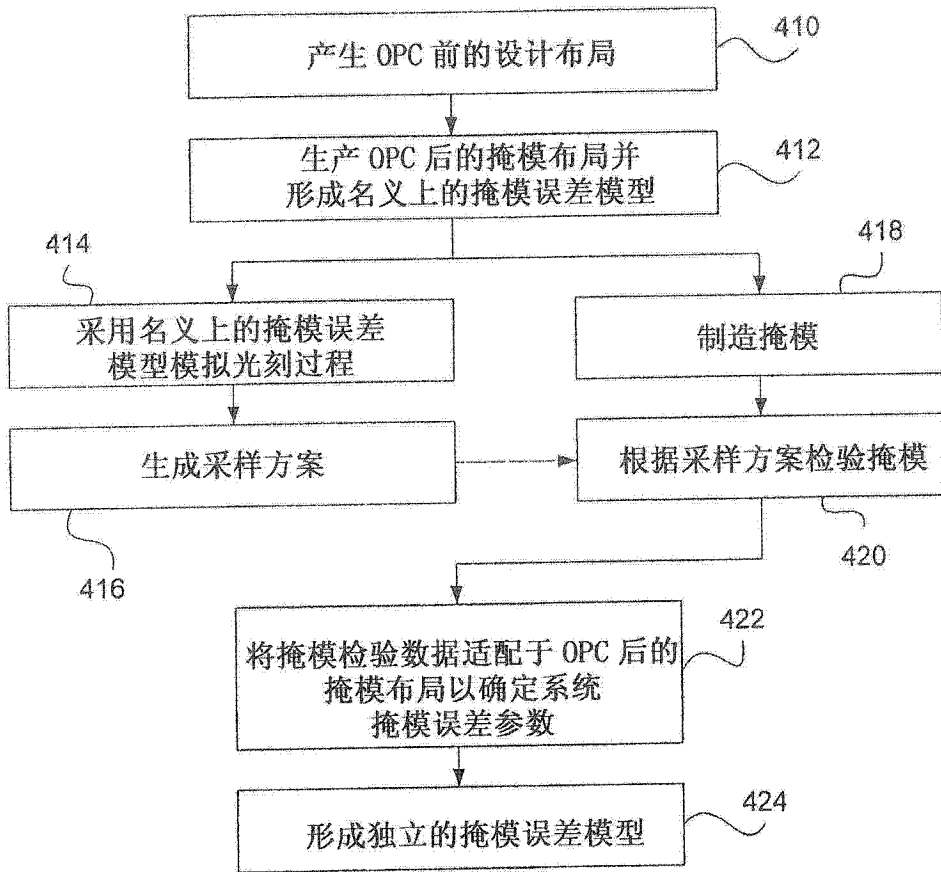


图 4

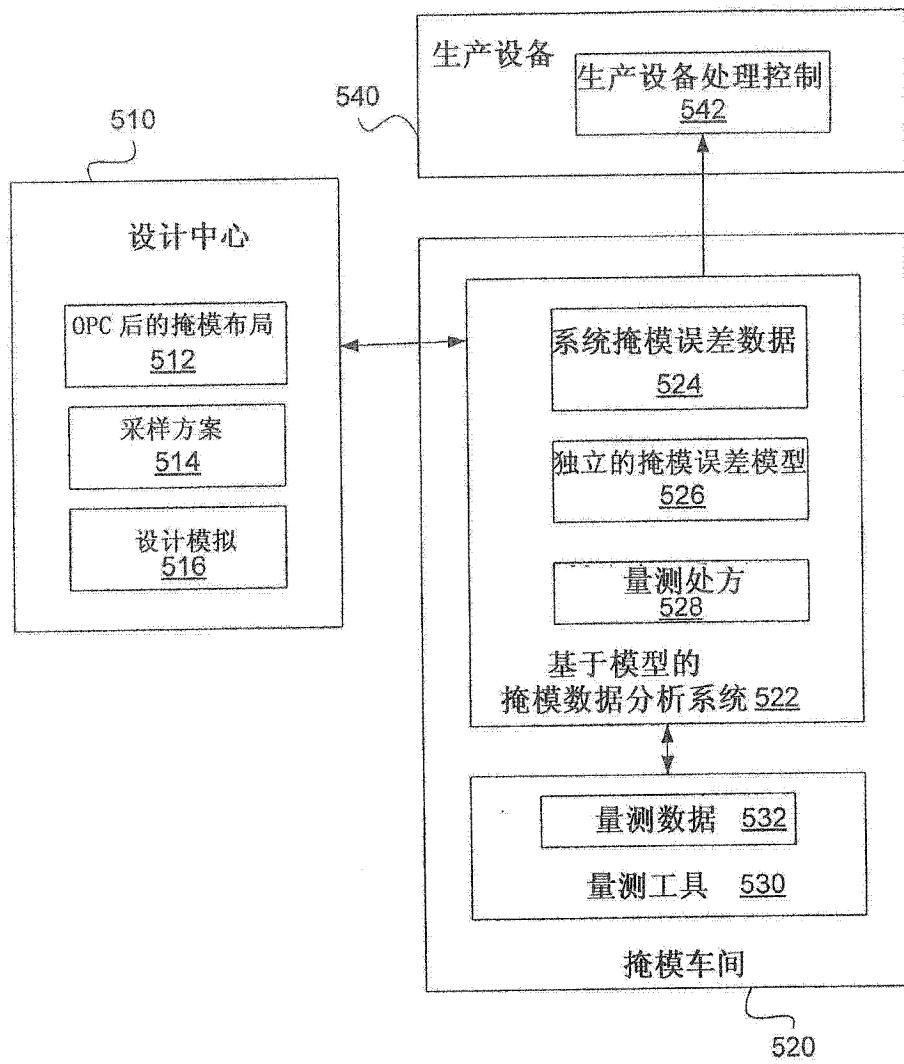


图 5A

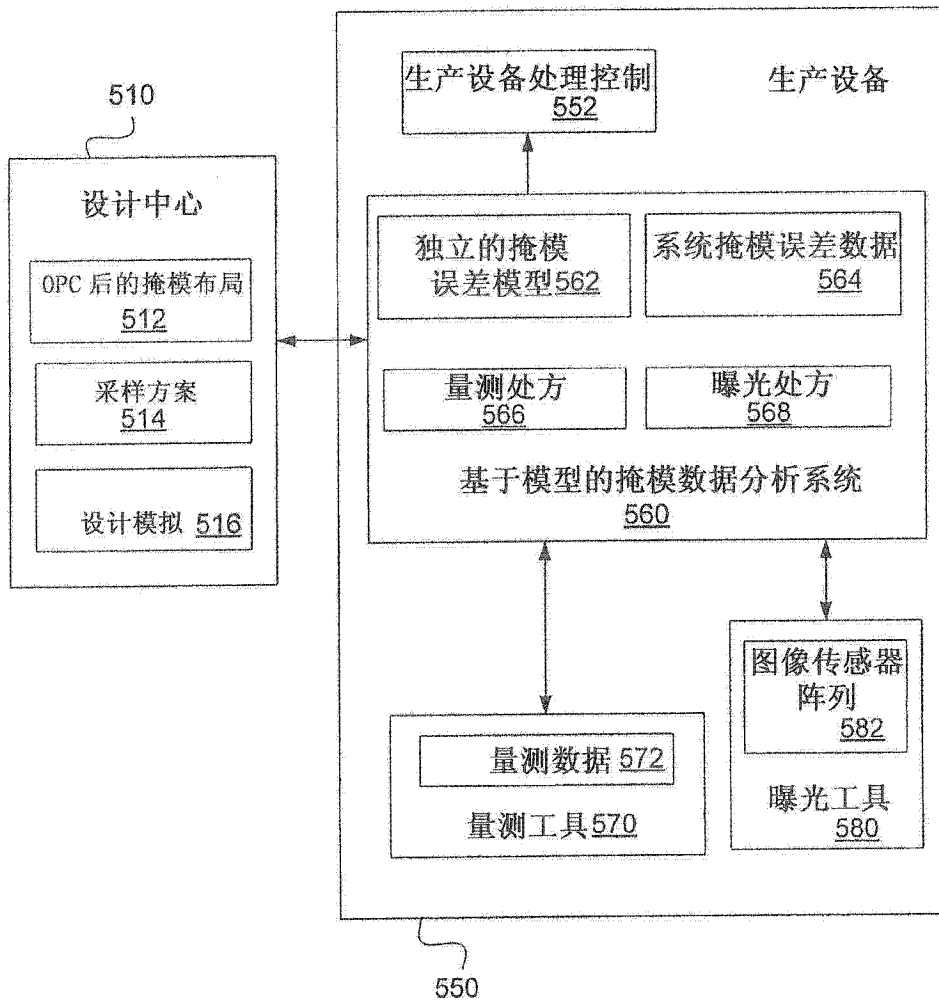


图 5B

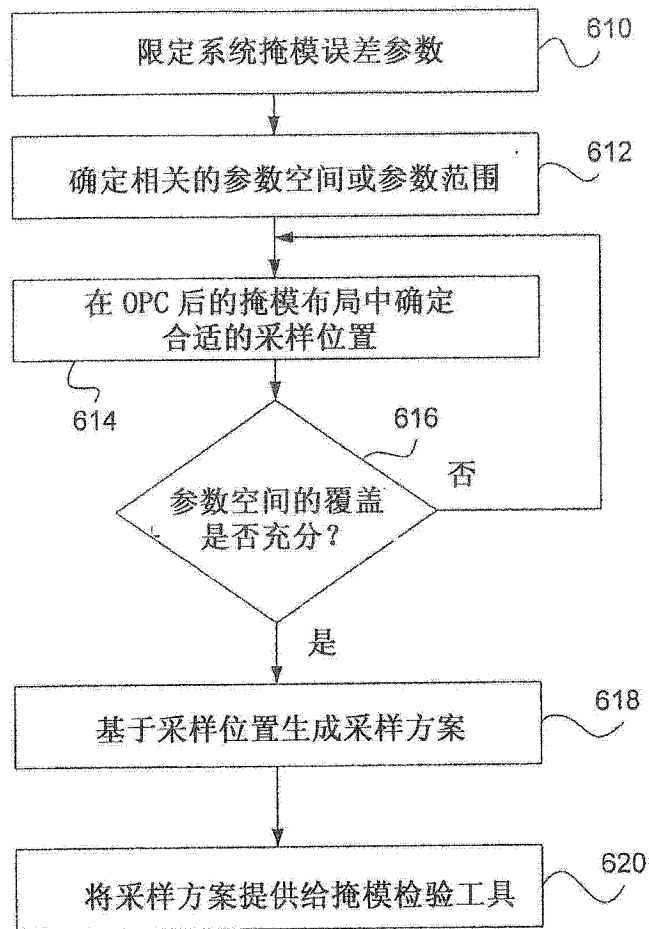


图 6

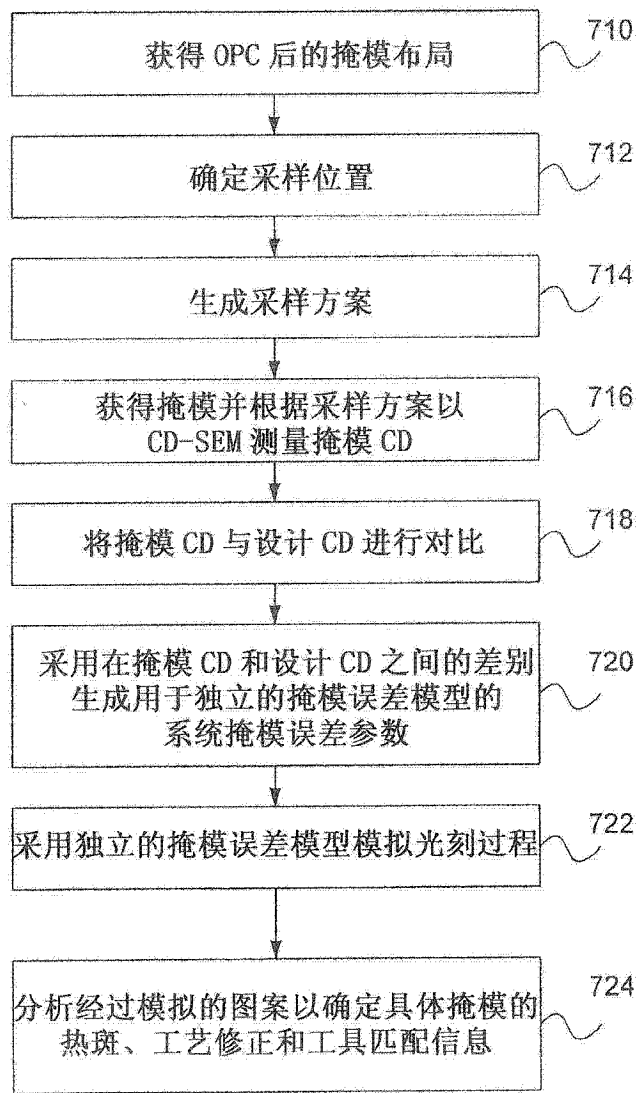


图 7A

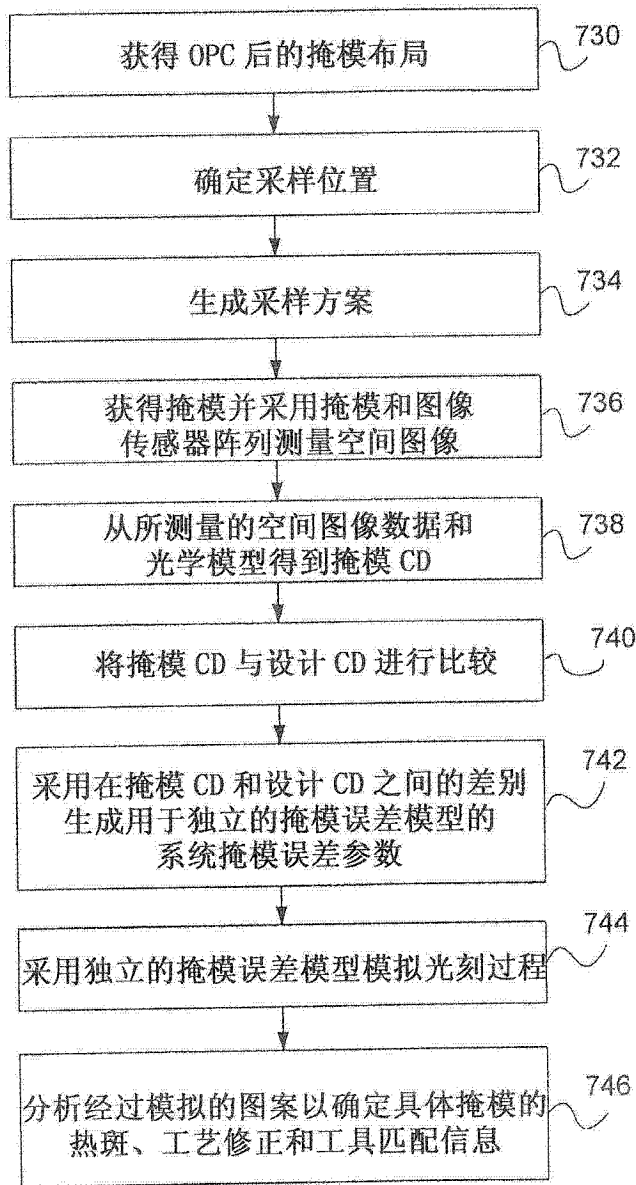


图 7B

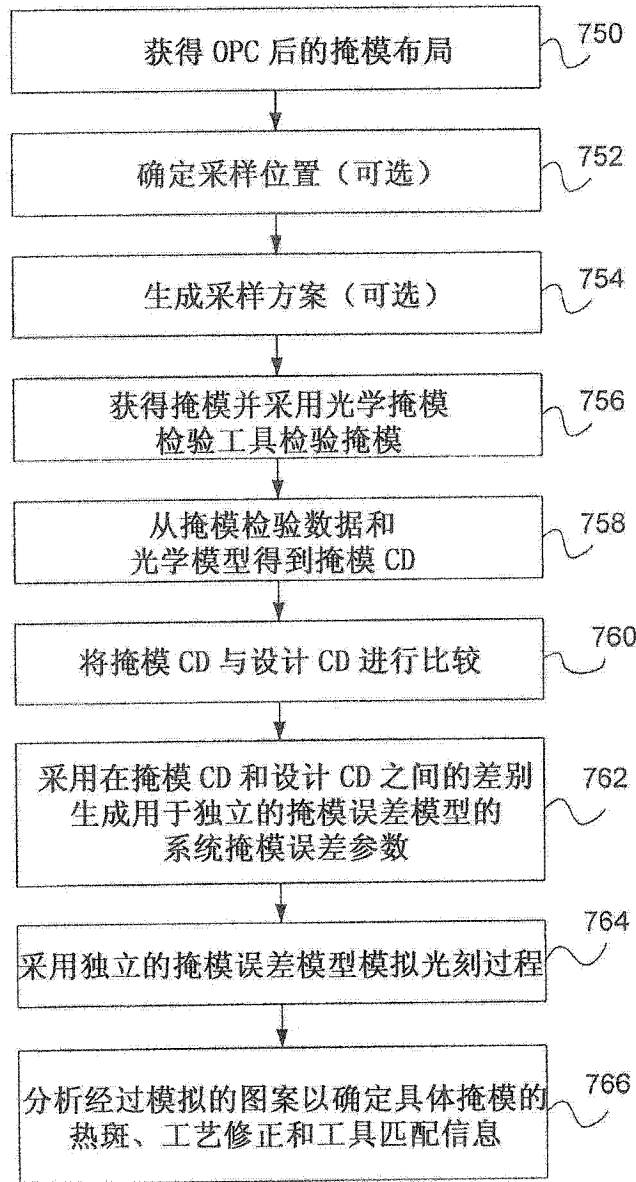


图 7C

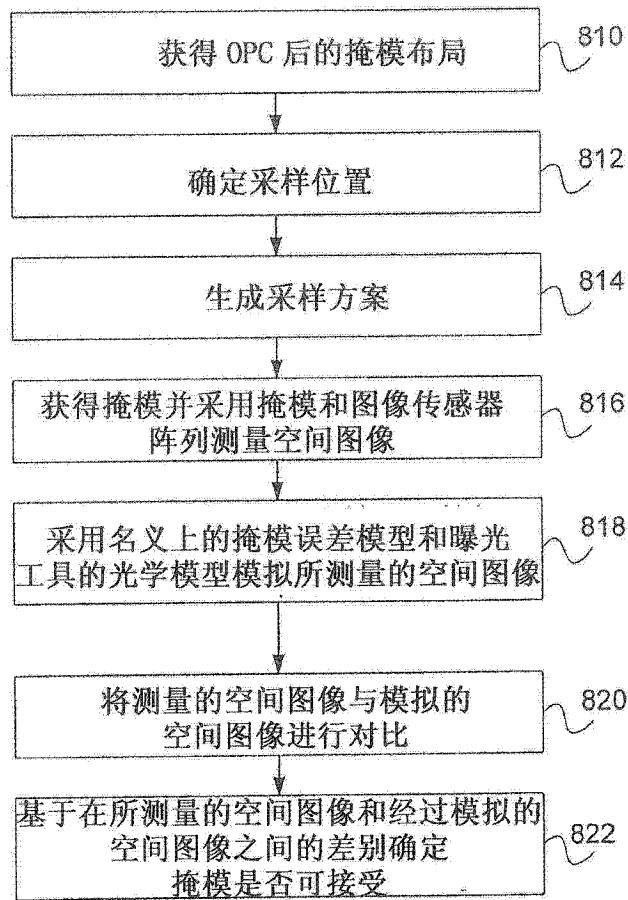


图 8

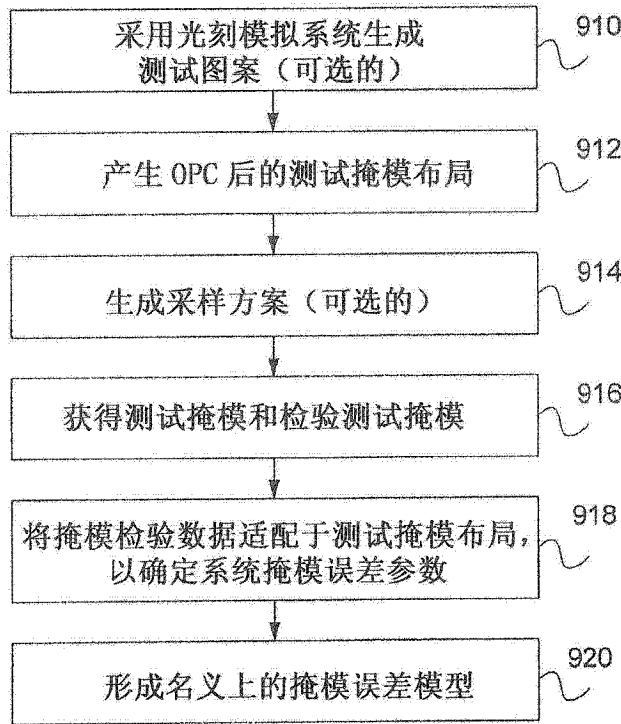


图 9

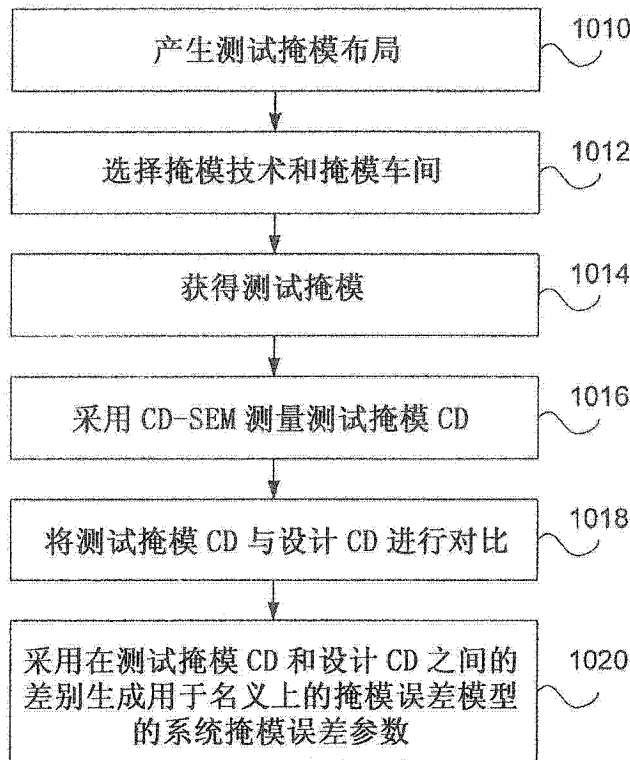


图 10A

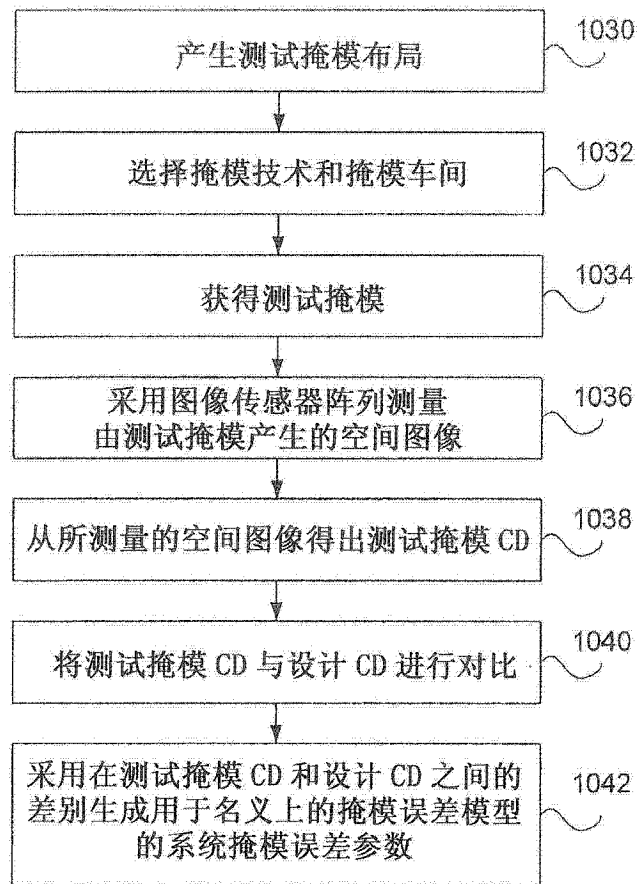


图 10B