



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113196175 A

(43) 申请公布日 2021.07.30

(21) 申请号 201980084488.1

M·F·A·欧林斯

(22) 申请日 2019.11.20

K·R·A·M·施瑞尔

(30) 优先权数据

18213270.4 2018.12.18 EP

19162436.0 2019.03.13 EP

(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 张启程

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.06.18

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/081887 2019.11.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/126266 EN 2020.06.25

(71) 申请人 ASML荷兰有限公司

地址 荷兰维德霍温

(72) 发明人 S·索科洛夫 S·塔拉布莱恩

郑舒婷 A·E·A·科伦

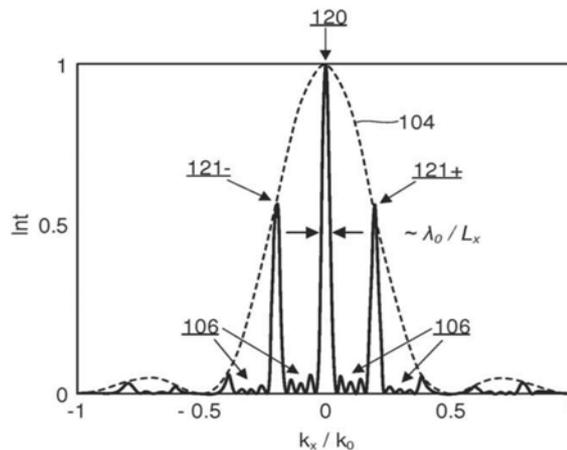
权利要求书2页 说明书20页 附图12页

(54) 发明名称

测量图案化过程的参数的方法、量测设备、目标

(57) 摘要

本公开涉及测量图案化过程的参数。在一个布置中,照射通过所述图案化过程形成的目标。从所述目标散射的辐射的子阶衍射分量被检测且用以确定所述图案化过程的参数。



1. 一种测量图案化过程的参数的方法,所述方法包括:
照射通过所述图案化过程形成的目标;
检测从所述目标散射的辐射的子阶衍射分量;以及
使用所检测的子阶衍射分量来确定所述图案化过程的参数。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述子阶衍射分量主要由与来自所述目标的理论衍射图案的部分相对应的辐射形成,所述部分位于主一阶峰之间和之外,且位于主零阶峰之外。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述子阶衍射分量的检测包括:将与所述子阶衍射分量相对应的辐射和与所述主零阶峰相对应的辐射分离。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述分离包括:将与所述主零阶峰相对应的辐射和与所述子阶衍射分量相对应的辐射引导通过位于所述目标与检测器之间的光学系统的光瞳平面中的单独的对应的区。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中,通过比较第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量来确定所述图案化过程的参数。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中:
所述第一子阶衍射分量主要由与所述理论衍射图案的更接近于主正一阶峰而不是更接近于主负一阶峰的部分相对应的辐射形成;并且
所述第二子阶衍射分量主要由与所述理论衍射图案的更接近于所述主负一阶峰而不是更接近于所述主正一阶峰的部分相对应的辐射形成。
7. 根据权利要求5或6所述的方法,其中:
所述图案化过程的参数包括所述图案化过程中的误差;并且
所述第一子阶衍射分量与所述第二子阶衍射分量的比较包括:确定当所述误差为零时所预期的所述第一子阶衍射分量与所述第二子阶衍射分量之间的名义关系的偏差,所述偏差由此提供与所述图案化过程的参数有关的信息。
8. 根据权利要求5至7中任一项所述的方法,其中,所述子阶衍射分量的检测包括:检测所述光瞳平面中的强度或强度分布。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中:
通过测量所述光瞳平面的第一选定区中的强度或强度分布来检测所述第一子阶衍射分量;并且
通过测量所述光瞳平面的第二选定区中的强度或强度分布来检测所述第二子阶衍射分量。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述第一选定区与所述第二选定区相对于彼此是点对称或镜面对称的。
11. 根据权利要求5至7中任一项所述的方法,其中所述子阶衍射分量的检测包括:使用所述子阶衍射分量在像平面中形成图像。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中:
图像的形成包括:形成第一图像和第二图像;
通过测量所述第一图像的特性来检测所述第一子阶衍射分量;并且
通过测量所述第二图像的特性来检测所述第二子阶衍射分量。

13. 根据权利要求1所述的方法, 其中:

所述子阶衍射分量的检测包括: 使用所述子阶衍射分量在像平面中形成图像; 并且通过比较所述图像的第一部分与所述图像的第二部分来确定所述图案化过程的参数。

14. 一种在确定图案化过程的参数的方法中使用的目标, 其中:

所述目标包括多层结构, 所述多层结构具有形成在所述多层结构中的两层或更多层中的周期性结构; 并且

所述周期性结构的主周期的波长在50nm与400nm之间。

15. 根据权利要求14所述的目标, 其中:

所述目标包括多个子目标, 每个子目标包括具有在所述图案化过程的参数中施加的不同名义偏置或具有不同定向的周期性结构; 并且

所述子目标彼此间隔开达每个子目标的最大侧向尺寸的至少25%。

测量图案化过程的参数的方法、量测设备、目标

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2018年12月18日递交的欧洲申请18213270.4和2019年3月13日递交的欧洲申请19162436.0的优先权,这两个欧洲申请的全部内容通过引用并入本文中。

技术领域

[0003] 本说明书涉及测量图案化过程的参数,诸如重叠或聚焦。

背景技术

[0004] 光刻设备是将期望的图案施加至衬底上(通常施加至衬底的目标部分上)的机器。光刻设备可以用于例如集成电路(IC)或被设计为功能性的其它器件的制造中。在那种情况下,图案形成装置(其替代地称为掩模或掩模版)可以用以产生待形成在被设计为功能性的器件的单层上的电路图案。这种图案可以转印至衬底(例如硅晶片)上的目标部分(例如,包括管芯的部分、一个管芯或若干管芯)上。图案的转印通常经由成像至被设置在衬底上的辐射敏感材料(抗蚀剂)层上来进行。通常,单个衬底将包含被连续地图案化的相邻目标部分的网络。

[0005] 制造诸如半导体器件之类的器件通常涉及使用一定数量的制造过程来处理衬底(例如半导体晶片)以形成器件的各个特征且常常形成多个层。通常使用例如沉积、光刻、蚀刻、化学机械抛光和离子注入来制造和处理这些层和特征。可以在衬底上的多个管芯上制作多个器件,并且接着将所述器件分离成单独的器件。可以将这种器件制造过程视为图案化过程。图案化过程涉及图案转印步骤,诸如使用光刻设备的光学和/或纳米压印光刻,以在衬底上提供图案且通常(但可选地)涉及一个或更多个相关图案处理步骤,诸如通过显影设备的抗蚀剂显影、使用焙烤工具焙烤衬底、通过蚀刻设备蚀刻图案。另外,在图案化过程中涉及一个或更多个量测过程。

[0006] 量测过程可以用以监测和/或控制图案化过程。各种工具可以用于执行量测过程,包括各种形式的散射仪。这些器件将辐射束引导至量测目标上,并且测量散射辐射的一个或更多个特性。散射辐射的一个或更多个特性可以产生与导致散射辐射的不对称性的参数有关的信息,诸如不同层之间的对准(重叠)误差和聚焦误差。

[0007] 为了最小化专门用作量测目标的衬底上的结构所占据的空间,期望使用相对小的量测目标,或甚至使用意图形成所制造的最终产物的部分的结构的部分作为量测目标。使用具有与产品结构类似尺寸的量测目标也可以提供产品结构的更好表示且改善量测。然而,减小量测目标的尺寸导致量测目标中结构节距的相应的减小。当节距变得明显短于用于量测的照射波长时,零阶以上的所有衍射阶可能变得消散,这会干扰从散射辐射获得与量测目标有关的信息的传统方式。

[0008] 在一些量测布置中,特别是在目标的照射是高度相干的情况下,可能将诸如条纹之类的不想要的干扰效应引入至目标的图像中。干扰效应可能扰乱使用图像的图案化过程的参数的确定。

发明内容

[0009] 根据一方面,提供一种测量图案化过程的参数的方法,所述方法包括:照射通过所述图案化过程形成的目标;检测从所述目标散射的辐射的子阶衍射分量;以及使用所检测的子阶衍射分量来确定所述图案化过程的参数。

[0010] 根据一方面,提供一种用于测量图案化过程的参数的量测装置,所述量测装置包括:光学系统,所述光学系统被配置成用辐射照射目标且将从所述目标散射的辐射引导至检测器,其中:所述光学系统和检测器被配置成检测从所述目标散射的辐射的子阶衍射分量。

[0011] 根据一方面,提供一种用于在确定图案化过程的参数的方法中使用的目标,其中:所述目标包括多层结构,所述多层结构具有形成在所述多层结构中的两层或更多层中的周期性结构;并且所述周期性结构的主周期的波长在50nm与400nm之间。

附图说明

[0012] 现在将参考随附附图而仅作为示例来描述实施例,在所述附图中:

[0013] 图1示意性地描绘示例光刻设备;

[0014] 图2示意性地描绘示例光刻单元或簇;

[0015] 图3A是用于在使用提供选定照射模式的第一对照射孔对目标进行测量时使用的测量设备的示意图;

[0016] 图3B是目标的针对给定照射方向的衍射光谱的示意性细节;

[0017] 图3C是提供用于基于衍射的重叠测量的其它照射模式的第二对照射孔的示意性图示;

[0018] 图3D是将第一对孔与第二对孔进行组合的第三对照射孔的示意性图示;

[0019] 图4示意性地描绘衬底上的多周期性结构(例如多光栅)目标的形式和测量斑的轮廓;

[0020] 图5示意性地描绘图3的设备中获得的图4的目标的图像;

[0021] 图6示意性地描绘使用其中入射辐射被光瞳平面中的两个完全相对的象限阻挡的照射模式的量测装置的光学系统;

[0022] 图7示意性地描绘具有垂直于X方向延伸的光栅线的无限光栅;

[0023] 图8示意性地描绘来自图7的光栅的衍射光谱;

[0024] 图9示意性地描绘具有垂直于X方向延伸的光栅线的有限光栅;

[0025] 图10示意性地描绘来自图9的光栅的衍射光谱;

[0026] 图11描绘从具有不对称结构的目标T获得的模拟衍射光谱;

[0027] 图12描绘包括X方向周期性结构的目标;

[0028] 图13和图14示意性地描绘使用子阶衍射分量形成的图12的目标T的图像;

[0029] 图15和图16分别描绘穿过图13和图14的图像中的边缘状局部强度区的强度随位置的变化;

[0030] 图17描绘包括包含对应的周期性结构的四个间隔开的子目标的目标;

[0031] 图18描绘包括包含具有相同定向和相对偏置的周期性结构的两个间隔开的子目标的目标;

[0032] 图19描绘包括包含彼此具有相同定向但与图18的目标中的周期性结构的方向不同且具有相对偏置的周期性结构的两个间隔开的子目标的目标；

[0033] 图20描绘包含在其中分别检测第一子阶衍射分量和第二子阶衍射分量的点对称区的光瞳平面区；

[0034] 图21描绘示出在其中捕获辐射的情况下和在其中未捕获辐射的情况下主一阶辐射的散射的理论光瞳平面区；

[0035] 图22描绘示出照射辐射的定向的变化可以如何控制是否捕获主一阶分量的理论光瞳平面区；

[0036] 图23描绘示出照射辐射的波长的变化可以如何控制是否捕获主一阶分量的理论光瞳平面。

具体实施方式

[0037] 在详细地描述实施例之前,呈现可以供实施实施例的示例环境是有指导性的。

[0038] 图1示意性地描绘光刻设备LA。所述设备包括:

[0039] -照射系统(照射器)IL,所述照射系统被配置成调节辐射束B(例如UV辐射或DUV辐射);

[0040] -支撑结构(例如掩模台)MT,所述支撑结构被构造成支撑图案形成装置(例如掩模)MA,并且连接至被配置成根据某些参数来准确地定位所述图案形成装置的第一定位器PM;

[0041] -衬底台(例如晶片台)WT,所述衬底台被构造成保持衬底(例如涂覆有抗蚀剂的晶片)W,并且连接至被配置成根据某些参数来准确地定位所述衬底的第二定位器PW;以及

[0042] -投影系统(例如折射型投影透镜系统)PS,所述投影系统被配置成将由图案形成装置MA赋予至辐射束B的图案投影至衬底W的目标部分C(例如包括一个或更多个管芯)上,所述投影系统被支撑在参考框架(RF)上。

[0043] 照射系统可以包括用于引导、成形或控制辐射的各种类型的光学部件,诸如折射型、反射型、磁性型、电磁型、静电型或其它类型的光学部件,或其任何组合。

[0044] 支撑结构可以根据图案形成装置的方向、光刻设备的设计和其它条件(诸如图案形成装置是否被保持在真空环境中)而定的方式来支撑图案形成装置。支撑结构可以使用机械、真空、静电或其它夹持技术以保持图案形成装置。支撑结构可以是例如框架或台,其可以根据需要而是固定或可移动的。支撑结构可以确保图案形成装置例如相对于投影系统处于期望的位置。可以认为本文中对术语“掩模版”或“掩模”的任何使用与更上位的术语“图案形成装置”同义。

[0045] 本文中所使用的术语“图案形成装置”应广义地解释为指可以用以在衬底的目标部分中赋予图案的任何装置。在实施例中,图案形成装置是可以用于在辐射束的横截面中向辐射束赋予图案以便在衬底的目标部分中产生图案的任何装置。应注意,例如,如果赋予至辐射束的图案包括相移特征或所谓的辅助特征,则所述图案可能不确切地对应于衬底的目标部分中的期望的图案。通常,赋予至辐射束的图案将对应于目标部分中所产生的器件(诸如集成电路)中的特定功能层。

[0046] 图案形成装置可以是透射的或反射的。图案形成装置的示例包括掩模、可编程反

射镜阵列,和可编程LCD面板。掩模在光刻中是众所周知的,并且包括诸如二元、交替相移和衰减式相移的掩模类型,以及各种混合掩模类型。可编程反射镜阵列的示例使用小反射镜的矩阵布置,所述小反射镜中的每个小反射镜可以被单独地倾斜,以便使入射辐射束在不同方向上反射。被倾斜的反射镜在由反射镜矩阵反射的辐射束中赋予图案。

[0047] 本文中所使用的术语“投影系统”应被广义地解释为涵盖适于所使用的曝光辐射或适于诸如浸没液体的使用或真空的使用之类的其它因素的任何类型的投影系统,包括折射型、反射型、反射折射型、磁性型、电磁型和静电型光学系统,或其任何组合。可以认为本文中对术语“投影透镜”的任何使用可以与更上位的术语“投影系统”同义。

[0048] 投影系统PS具有可非均一且可能影响成像在衬底W上的图案的光学传递函数。对于非偏振辐射,这些影响可以由两个标量映射或标量图非常好地描述,所述两个标量映射描述作为射出投影系统PS的辐射的作为光瞳平面中的位置的函数的所述辐射的透射(变迹)和相对相位(像差)。可以将可以被称为透射映射和相对相位映射的这些标量映射表达为基底函数的完整集合的线性组合。特别适合的集合是泽尼克多项式,其形成单位圆上所限定的正交多项式集合。每个标量映射的确定可以涉及确定这种展开式中的系数。由于泽尼克多项式在单位圆上正交,因此可以通过依次计算测量标量映射与每个泽尼克多项式的内积且将这种内积除以所述泽尼克多项式的范数的平方来确定泽尼克系数。

[0049] 透射映射和相对相位映射是依赖于场和系统的。即,通常,每个投影系统PS将针对每各场点(即,针对投影系统PS的像平面中的每个空间部位)具有不同的泽尼克展开式。可以通过将例如来自投影系统PS的物平面(即,图案形成装置MA的平面)中的类点源的辐射投影通过投影系统PS且使用剪切干涉仪以测量波前(即,具有相同相位的点的轨迹)来确定投影系统PS在其光瞳平面中的相对相位。剪切干涉仪是共同路径干涉仪,因此,有利地,无需次级参考束来测量波前。剪切干涉仪可以包括投影系统(即,衬底台WT)的像平面中的衍射光栅(例如二维栅格)和被布置以检测与投影系统PS的光瞳平面共轭的平面中的干涉图案的检测器。干涉图案与辐射的相位相对于在剪切方向上的光瞳平面中的坐标的导数相关。检测器可以包括感测元件阵列,诸如例如,电荷耦合器件(CCD)。

[0050] 光刻设备的投影系统PS可以不产生可见条纹,因此,可以使用相位步进技术(诸如例如移动衍射光栅)来增强波前确定的准确度。可以在衍射光栅的平面中和在垂直于测量的扫描方向的方向上执行步进。步进范围可以是一个光栅周期,并且可以使用至少三个(均一地分布)相位步进。因此,例如,可以在y方向上执行三个扫描测量,在x方向上针对不同位置执行每次扫描测量。衍射光栅的这种步进将相位变化有效地变换成强度变化,从而允许确定相位信息。光栅可以在垂直于衍射光栅的方向(z方向)上步进以校准检测器。

[0051] 可以通过将例如来自投影系统PS的物平面(即,图案形成装置MA的平面)中的类点源的辐射投影通过投影系统PS且使用检测器来测量与投影系统PS的光瞳平面共轭的平面中的辐射强度来确定投影系统PS在其光瞳平面中的透射(变迹)。可以使用与用于测量波前以确定像差的检测器相同的检测器。

[0052] 投影系统PS可以包括多个光学(例如透镜)元件且还可以包括调整机构AM,所述调整机构被配置成调整所述光学元件中的一个或更多以便校正像差(横跨贯穿场的光瞳平面的相位变化)。为了实现这种情形,调整机构可操作来以或多种不同方式操控投影系统PS内的一个或更多个光学(例如透镜)元件。投影系统可以具有坐标系统,其中所述投影系统的

光轴在z方向上延伸。调整机构可操作以进行以下各项的任何组合：使一个或更多个光学元件位移；使一个或更多个光学元件倾斜；和/或使一个或更多个光学元件变形。光学元件的位移可以在任何方向(x、y、z或其组合)上进行。光学元件的倾斜典型地通过围绕在x和/或y方向上的轴线旋转在垂直于光轴的平面之外进行，但对于非旋转对称的非球面光学元件，可以使用围绕z轴的旋转。光学元件的变形可以包括低频形状(例如散光)和/或高频形状(例如自由形式非球面)。可以例如通过使用一个或更多个致动器以对光学元件的一个或更多个侧施加力和/或通过使用一个或更多个加热元件以加热光学元件的一个或更多个选定区来执行光学元件的变形。通常，调整投影系统PS以校正变迹(横跨光瞳平面的透射变化)可以是可能的。当设计用于光刻设备LA的图案形成装置(例如掩模)MA时，可以使用投影系统PS的透射映射。使用计算光刻技术，图案形成装置MA可以被设计成至少部分地校正变迹。

[0053] 如这里所描绘的，所述设备属于透射类型(例如，使用透射掩模)。替代地，所述设备可以属于反射类型(例如，使用如上文提及的类型的可编程反射镜阵列或使用反射型掩模)。

[0054] 光刻设备可以属于具有两个(双平台)或多于两个台(例如，两个或更多个衬底台WTa、WTb、两个或更多个图案形成装置台、在无专用于例如促进测量和/或清洁等的衬底的情况下在投影系统下方的衬底台WTa和台WTb)的类型。在这些“多平台”机器中，可以并行地使用额外的台，或可以对一个或更多个台执行预备步骤，同时将一个或更多个其它台用于曝光。例如，可以进行使用对准传感器AS的对准测量和/或使用水平传感器LS的水平(高度、倾角等等)测量。

[0055] 光刻设备也可以属于以下类型：其中衬底的至少一部分可以由具有相对高折射率的液体(例如，水)覆盖，以便填充投影系统与衬底之间的空间。也可以将浸没液体施加至光刻设备中的其它空间，例如图案形成装置与投影系统之间的空间。浸没技术在本领域中是众所周知的用于增大投影系统的数值孔径。本文中所使用的术语“浸没”不意味着诸如衬底之类的结构必须浸没在液体中，而是仅意味着液体在曝光期间位于投影系统与衬底之间。

[0056] 参考图1，照射器IL从辐射源S0接收辐射束。例如，当源是准分子激光器时，源与光刻设备可以是分立的实体。在这样的情况下，不认为源形成光刻设备的一部分，并且辐射束是借助于包括例如合适的引导镜和/或扩束器的束传递系统BD而从源S0传递至照射器IL。在其它情况下，例如，当源是汞灯时，源可以是光刻设备的组成部分。源S0和照射器IL连同束传递系统BD(在需要时)可以被称为辐射系统。

[0057] 照射器IL可以包括被配置成调整辐射束的角强度分布的调整器AD。通常，可以调整照射器的光瞳平面中的强度分布的至少外部径向范围和/或内部径向范围(通常分别称为 σ -外部和 σ -内部)。另外，照射器IL可以包括各个其它部件，诸如积分器IN和聚光器CO。照射器可以用来调节辐射束，以在其横截面中具有期望的均一性和强度分布。

[0058] 辐射束B入射到被保持在支撑结构(例如掩模台)MT上的图案形成装置(例如掩模)MA上，并且通过图案形成装置而被图案化。在已横穿图案形成装置MA的情况下，辐射束B穿过投影系统PS，所述投影系统PS将束聚焦至衬底W的目标部分C上。借助于第二定位器PW和位置传感器IF(例如，干涉量测装置、线性编码器、2D编码器或电容性传感器)，可以准确地移动衬底台WT，例如，以便使不同的目标部分C定位在辐射束B的路径中。类似地，例如在从掩模库机械获取之后，或在扫描期间，可以使用第一定位器PM和另一位置传感器(图1中未

明确描绘)以相对于辐射束B的路径准确地定位图案形成装置MA。通常,可以借助于形成第一定位器PM的部分的长行程模块(粗定位)和短行程模块(精定位)来实现支撑结构MT的移动。类似地,可以使用形成第二定位器PW的部分的长行程模块和短行程模块来实现衬底台WT的移动。在步进器(相对于扫描器)的情况下,支撑结构MT可以仅连接至短行程致动器,或可以是固定的。可以使用图案形成装置对准标记M1、M2和衬底对准标记P1、P2来对准图案形成装置MA与衬底W。虽然所图示的衬底对准标记占据专用目标部分,但所述标记可以位于目标部分之间的空间中(这些标记称为划线对准标记)。类似地,在多于一个管芯被设置在图案形成装置MA上的情形中,图案形成装置对准标记可以位于所述管芯之间。

[0059] 所描绘设备可以用于以下模式中的至少一种模式中:

[0060] 1. 在步进模式中,在将赋予至辐射束的整个图案一次性投影至目标部分C上时,使支撑结构MT和衬底台WT保持基本上静止(即,单次静态曝光)。接着使衬底台WT在X方向和/或Y方向上移位,使得可以曝光不同的目标部分C。在步进模式中,曝光场的最大尺寸限制单次静态曝光中所成像的目标部分C的尺寸。

[0061] 2. 在扫描模式中,同步地扫描支撑结构MT和衬底台WT,同时将经赋予至辐射束的图案投影至目标部分C上(即,单次动态曝光)。可以通过投影系统PS的放大率(缩小率)和图像反转特性来确定衬底台WT相对于支撑结构MT的速度和方向。在扫描模式中,曝光场的最大尺寸限制单次动态曝光中的目标部分的宽度(在非扫描方向上),而扫描运动的长度确定目标部分的高度(在扫描方向上)。

[0062] 3. 在另一模式中,在将赋予至辐射束的图案投影至目标部分C上时,使支撑结构MT保持基本上静止,从而保持可编程图案形成装置,并且移动或扫描衬底台WT。在这种模式中,通常使用脉冲辐射源,并且在衬底台WT的每次移动之后或在扫描期间的连续辐射脉冲之间根据需要来更新可编程图案形成装置。这种操作模式可以易于应用于利用可编程图案形成装置(诸如上文提及的类型的可编程反射镜阵列)的无掩模光刻。

[0063] 也可以采用对上文所描述的使用模式的组合和/或变体或完全不同的使用模式。

[0064] 如图2所示,光刻设备LA可以形成光刻单元LC(有时也称为光刻元或簇)的部分,光刻单元LC也包括用以对衬底执行曝光前过程和曝光后过程的设备。常规地,这些设备包括用以沉积一个或更多个抗蚀剂层的一个或更多个旋涂器SC、用以显影曝光后的抗蚀剂的一个或更多个显影器DE、一个或更多个激冷板CH和/或一个或更多个焙烤板BK。衬底运送装置或机器人RO从输入/输出端口I/O1、I/O2拾取一个或更多个衬底,在不同过程设备之间移动衬底且将衬底传递至光刻设备的进料台LB。常常共同地称为涂覆显影系统或轨道的这些设备处于涂覆显影系统控制单元TCU的控制下,涂覆显影系统控制单元TCU自身受到管理控制系统SCS控制,管理控制系统SCS也经由光刻控制单元LACU来控制光刻设备。因此,不同设备可以被操作以使生产量和处理效率最大化。

[0065] 为了正确地且一致地曝光由光刻设备曝光的衬底,期望检查曝光后的衬底以测量或确定一个或更多个特性,诸如重叠(其可以例如在叠置层中的结构之间,或同一层中的已通过例如双重图案化过程分别提供至所述层的结构之间)、线厚度、临界尺寸(CD)、聚焦偏移或材料特性。因此,光刻单元LC位于其中的制造设施通常也包括量测系统MET,量测系统MET接收已在光刻单元中处理后的衬底W中的一些或全部。量测系统MET可以是光刻单元LC的部分,例如,其可以是光刻设备LA的部分。

[0066] 可以将量测结果直接地或间接地提供至管理控制系统SCS。如果检测到误差,则可以后续衬底的曝光(尤其在可以足够迅速且快速完成检查使得所述批次的一个或更多其它衬底仍待曝光的情况下)和/或曝光后的衬底的后续曝光进行调整。此外,已曝光的衬底可以被剥离和返工以改善良率,或被舍弃,由此避免对已知有缺陷的衬底执行进一步处理。在衬底的仅一些目标部分有缺陷的情况下,可以仅对良好的那些目标部分执行另外的曝光。

[0067] 在量测系统MET内,量测装置用以确定衬底的一个或更多个特性,并且尤其确定不同衬底的一个或更多个特性如何变化或同一衬底的不同层在不同层间如何变化。量测装置可以集成至光刻设备LA或光刻单元LC中,或可以是单独的装置。为了实现快速测量,期望使量测装置紧接在曝光之后测量曝光后的抗蚀剂层的一个或更多个特性。然而,抗蚀剂中的潜像具有低对比度-即在已曝光至辐射的抗蚀剂的部分与还未曝光至辐射的抗蚀剂的部分之间仅存在非常小的折射率差-且不是所有量测装置都具有足够的敏感度以进行潜像的有用测量。因此,可以在曝光后烘烤步骤(PEB)之后进行测量,曝光后烘烤步骤通常是对曝光后的衬底执行的第一步骤且增加抗蚀剂的曝光后的部分与未曝光的部分之间的对比度。在这样的阶段,抗蚀剂中的图像可以被称为半潜像。也可能对显影后的抗蚀剂图像进行测量-这时已移除抗蚀剂的曝光部分或未曝光部分-或在诸如蚀刻的图案转印步骤之后对显影后的抗蚀剂图像进行测量。后者可能性限制返工有缺陷衬底的可能性,但仍可以提供有用信息。

[0068] 为了实现量测,可以在衬底上提供一个或更多个目标。在一实施例中,目标被专门设计且可以包括周期性结构。在一实施例中,目标是器件图案的一部分,例如是器件图案的周期性结构。在一实施例中,器件图案是存储器装置的周期性结构(例如双极晶体管(BPT)或位线触点(BLC)结构)。

[0069] 在一实施例中,衬底上的目标可以包括一个或更多个1-D(一维)周期性结构(例如光栅),所述1-D周期性结构被印制以使得在显影之后,周期性结构特征由实体抗蚀剂线形成。在一实施例中,目标可以包括一个或更多个2-D(二维)周期性结构(例如光栅),所述2-D周期性结构被印制以使得在显影之后,一个或更多个周期性结构由抗蚀剂中的实体抗蚀剂导柱或通孔形成。栅条、导柱或通孔可替代地被蚀刻至衬底中(例如被蚀刻至衬底上的一个或更多个层中)。

[0070] 在一实施例中,图案化过程的感兴趣的参数中的一个参数是重叠。可以使用暗场散射量测术来测量重叠,其中阻挡零阶衍射(对应于镜面反射),并且仅处理较高阶。可以在PCT专利申请公开号W0 2009/078708和W0 2009/106279中发现暗场测量的示例,所述专利申请公开出版物由此以全文引用的方式并入。美国专利申请公开US2011-0027704、US2011-0043791和US2012-0242970中已描述所述技术的进一步开发,所述专利申请公开出版物由此以全文引用的方式并入。使用衍射阶的暗场检测的基于衍射的重叠使得能够实现对较小目标的重叠测量。这些目标可以小于照射斑且可以由衬底上的器件产品结构包围。在一实施例中,可以在一次辐射捕获中测量多个目标。

[0071] 图3A中示意性地示出适于用在测量例如重叠的实施例中的量测装置。图3B中更详细地图示目标T(包括诸如光栅之类的周期性结构)和衍射射线。量测装置可以是单独的装置,或并入于例如测量站处的光刻设备LA中或并入于光刻单元LC中。具有贯穿设备的若干

分支的光轴由点线0表示。在这样的设备中,由输出装置11(例如,诸如激光器或氙气灯的源,或连接至源的开口)发射的辐射由包括透镜12、14和物镜16的光学系统经由棱镜15而引导至衬底W上。这些透镜被布置成呈4F布置的双重序列。可以使用不同的透镜布置,只要所述透镜布置仍将衬底图像提供至检测器上。

[0072] 在实施例中,透镜布置允许接近中间光瞳平面以用于空间-频率滤光。因此,可以通过限定在呈现衬底平面的空间光谱的平面(这里称为(共轭)光瞳平面)中的空间强度分布来选择辐射入射到衬底上的角度范围。特别地,可以例如通过在为物镜光瞳平面的背向投影式图像的平面中在透镜12与14之间插入合适形式的孔板13来进行这种选择。在所图示的示例中,示出两个示例孔板13(标记为13N和13S),其分别允许选择不同的照射模式。当前示例中的照射系统形成离轴照射模式。在第一照射模式中,孔板13N从仅出于描述起见而被指定为“北”的方向提供离轴照射。在第二照射模式中,孔板13S用以提供类似的照射,但提供来自标注为“南”的相反方向的照射。通过使用不同的孔,其它照射模式为可能的。例如,可以设置替代性孔板,其中将辐射阻挡于两个相对象限中且使其经过另外两个相对的象限中,由此提供下文提及的在图6中描绘的照射模式60。光瞳平面的其余部分期望地是暗的,这是因为期望的照射模式之外的任何不必要的辐射可能干涉期望的测量信号。

[0073] 如图3B所示,目标T被放置成使得衬底W大致垂直于物镜16的光轴0。与轴线0偏离角度而照射到目标T上的照射射线I产生零阶射线(实线0)和两个一阶射线(点划线+1和两点划线-1)。在利用过填充的小目标T的情况下,这些射线仅仅是覆盖包括量测目标T和其它特征的衬底区域的许多平行射线中的一条射线。因为板13中的孔具有有限的宽度(接收有用量的辐射所必要的),所以入射射线I实际上将占据一角度范围,并且衍射射线0和+1/-1将稍微散开。每个阶+1和-1将横跨角度范围进一步扩散,而不是如所示出的单条理想射线。应注意,周期性结构节距和照射角度可以被设计或调整成使得进入物镜的一阶射线与中心光轴紧密地对准。图3A和图3B中所图示的射线被示出为稍微离轴,以仅仅使其能够在图示中较容易地区分。由衬底W上的目标衍射的至少0阶和+1阶由物镜16收集,并且经引导返回穿过棱镜15。

[0074] 返回至图3A,通过指定被标注为北(N)和南(S)的完全相对的孔来图示第一照射模式和第二照射模式两者。当入射射线I是来自光轴的北侧时,即,当使用孔板13N来应用第一照射模式时,被标注为+1(N)的+1衍射射线进入物镜16。相反,当使用孔板13S应用第二照射模式时,-1衍射射线(被标注为-1(S))是进入透镜16的衍射射线。因此,在实施例中,通过在某些条件下测量目标两次(例如在使目标旋转或改变照射模式或改变成像模式以单独获得-1衍射阶强度和+1衍射阶强度之后)来获得测量结果。针对给定目标比较这些强度会提供所述目标中的不对称性的测量,并且所述目标中的不对称性可以用作光刻过程的参数(例如重叠)的指示器。在上文所描述的情形下,改变照射模式。

[0075] 分束器17将衍射束划分成两个测量分支。在第一测量分支中,光学系统18使用零阶衍射束和阶衍射束来在第一传感器19(例如,CCD或CMOS传感器)上形成目标的衍射光谱(光瞳平面图像)。每个衍射阶射中传感器上的不同点,使得图像处理可以比较和对比若干阶。由传感器19捕获的光瞳平面图像可以用于聚焦量测装置和/或对强度测量进行归一化。光瞳平面图像也可以用于诸如重构之类的其它测量目的。

[0076] 在第二测量分支中,光学系统20、22在传感器23(例如,CCD或CMOS传感器)上形成

衬底W上的目标的图像。在第二测量分支中,将孔径光阑21设置于与物镜16的光瞳平面共轭的平面中。孔径光阑21用以阻挡零阶衍射束以使得形成在传感器23上的目标的图像由-1或+1阶束形成。将关于由传感器19和23测量的图像的数据输出至处理器和控制器PU,处理器和控制器PU的功能将依赖于正被执行的测量的特定类型。应注意,在广义上使用术语“图像”。因而,如果仅存在-1阶和+1阶中的一个阶,则将不形成周期性结构特征(例如光栅线)的图像。

[0077] 图3中示出的孔板13和光阑21的特定形式仅是示例。在另一个实施例中,使用目标的同轴照射,并且使用具有离轴孔的孔径光阑以使大致仅一个一阶衍射辐射传递至传感器。在又一其它实施例中,替代一阶束或除一阶束以外,2阶束、3阶束和更高阶束(图3中未示出)也可以用于测量中。

[0078] 为了使照射可以适应于这些不同类型的测量,孔板13可以包括围绕盘形成的一定数量的孔图案,所述盘被旋转以使期望的图案处于适当的位置。应注意,使用孔板13N或13S以测量在一个方向(依赖于设置而是X或Y)上定向的目标的周期性结构。为了测量正交周期性结构,可以实施达 90° 和 270° 的目标旋转。在图3C和图3D中示出不同的孔板。图3C图示离轴照射模式的另外两个类型。在图3C的第一照射模式中,孔板13E提供来自仅出于描述起见而相对于先前所描述的“北”指定为“东”的方向的离轴照射。在图3C的第二照射模式中,孔板13W用以提供类似的照射,但提供来自标注为“西”的相反方向的照射。图3D图示离轴照射模式的另外两种类型。在图3D的第一照射模式中,孔板13NW提供来自被指明为如先前所描述的“北”和“西”的方向的离轴照射。在第二照射模式中,孔板13SE用以提供类似的照射,但提供来自标注为如先前所描述的“南”和“东”的相反方向的照射。例如,上文提及的先前公开的专利申请公开出版物中描述设备的这些和众多其它变化和应用的的使用。

[0079] 图4描绘形成在衬底上的示例复合量测目标T。复合目标包括紧密定位在一起的四个周期性结构(在这种情况下是光栅)32、33、34、35。在实施例中,可以使周期性结构布局小于测量点(即,周期性结构布局过填充)。因此,在实施例中,周期性结构足够紧密地定位在一起,使得其都在通过量测装置的照射束形成的测量斑31内。在那种情况下,四个周期性结构因此均同时被照射且同时成像在传感器19和传感器23上。在专用于重叠测量的示例中,周期性结构32、33、34、35自身是由重叠周期性结构形成的复合周期性结构(例如复合光栅),即,周期性结构在形成在衬底W上的器件的不同层中被图案化且使得一个层中的至少一个周期性结构与不同层中的至少一个周期性结构重叠。这样的目标的外部尺寸可以在 $20\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$ 内或在 $16\mu\text{m}\times 16\mu\text{m}$ 内。另外,所有周期性结构用来测量特定层对之间的重叠。为了促进目标能够测量多于单个的层对,周期性结构32、33、34、35可以具有被不同地偏置的重叠偏移,以便促进被形成有复合周期性结构的不同部分的不同层之间的重叠的测量。因此,用于衬底上的目标的所有周期性结构将用以测量一个层对,并且用于衬底上的另一相同目标的所有周期性结构将用以测量另一层对,其中不同的偏置促进在这些层对之间进行区分。

[0080] 返回至图4,周期性结构32、33、34、35也可以在其定向方面不同(如所示出),以便使入射辐射在X方向和Y方向上衍射入射辐射。在一个示例中,周期性结构32和34是分别具有偏置+d、-d的X方向周期性结构。周期性结构33和35可以是分别具有偏移+d和-d的Y方向周期性结构。虽然图示四个周期性结构,但另一个实施例可以包括更大矩阵以获得期望的

准确度。例如,九个复合周期性结构的 3×3 阵列可以具有偏置 $-4d$ 、 $-3d$ 、 $-2d$ 、 $-d$ 、 0 、 $+d$ 、 $+2d$ 、 $+3d$ 、 $+4d$ 。可以在由传感器23捕获的图像中识别这些周期性结构的分立的图像。

[0081] 图5示出在使用来自图3D的孔板13NW或13SE的情况下在图3的设备中使用图4的目标而可以形成在传感器23上且由传感器23检测的图像的示例。虽然传感器19不能分辨不同的单独的周期性结构32至35,但传感器23可以分辨不同的单独的周期性结构32至35。暗矩形表示传感器上的图像场,在所述图像场内,衬底上的照射斑31被成像至相应的圆形区域41中。在这个场内,矩形区域42至45表示周期性结构32至35的图像。不同于定位在划线中或除了定位在划线中以外,目标也可以定位在器件产品特征当中。如果周期性结构位于器件产品区域中,则这个图像场的周边中也可以看见器件特征。处理器和控制器PU使用图案识别来处理这些图像以识别周期性结构32至35的分立的图像42至45。以这种方式,图像不必在传感器框架内的特定部位处非常精确地对准,这种情形极大地改善量测设备整体上的生产量。

[0082] 一旦已识别的周期性结构的分立的图像,就可以例如通过对识别区域内的选定像素强度值求平均值或求和来测量那些单独的图像的强度。可以将图像的强度和/或其它特性彼此相比较。可以组合这些结果以测量光刻过程的不同参数。重叠性能是这种参数的示例。

[0083] 图6描绘具有图3A的第二测量分支的替代性配置,并且其中在照射路径中设置替代性孔板替代孔板13N或孔板13S。替代性孔板可以设置于图3A中示出的孔板13N或孔板13S的位置处。为避免重复,在图6中未示出照射分支,但可以如图3A中示出来进行配置或提供与下文描述的实施例兼容的光学功能的任何其它配置。第一测量分支可以存在或可以不存在。替代性孔板限定如示意性地描绘在图6的右下方部分中且标注为60的照射模式。该照射模式使得辐射不从光瞳平面中的两个完全相对的象限71入射到目标T上,并且使得辐射从光瞳平面中的其它两个完全相对的象限72入射到目标T上。与包括四个周期性结构32至35的目标T组合,这种照射模式导致零衍射射线、+1衍射射线和-1衍射射线在如由图6中标注为74的光瞳平面辐射分布的轴视图所指示的光瞳平面中分离。周期性结构32和34的+1和-1阶的位置(其在X方向上是周期性的)在分布74中标注为X。周期性结构33和35的+1和-1阶的位置(其在Y方向上是周期性的)在分布74中标注为Y。周期性结构32至35中的所有的零阶辐射保持在在分布74中标注为“0”的象限中。

[0084] 楔形光学元件81至84的组80设置于光瞳平面中而不是孔径光阑21中。楔形光学元件的组80的轴视图被标注为80'。在这个示例中,楔形光学元件的组80包括四个楔形光学元件81至84。当沿光学系统的光轴查看时,每个楔形光学元件填充光瞳平面中的圆形区的象限。每个楔形光学元件81至84具有下部平面表面和上部平面表面,并且由具有不同于1的折射率的光学材料形成。下部平面表面相对于上部平面表面斜向对准(以楔形的方式)。在所示出的示例中,每个楔形光学元件81至84的最大梯度沿径向方向对准,如由图6的轴视图80'中的径向箭头所指示的。每个楔形光学元件81至84具有线性厚度,所述线性厚度从光轴至楔形光学元件81至84的径向最外边缘改变。楔形光学元件81至84中的每个楔形光学元件接收光瞳平面辐射分布74的不同象限中的对应的一个象限中的辐射,并且重新引导所述辐射以使得目标T的图像在传感器23上的不同部位中形成在传感器23上。传感器23的轴视图在图6中标注为23'且示出分别由穿过楔形元件81至84的辐射所形成的图像91至94的示例

定位。如上文提及的,这里在广义上使用术语“图像”。如果相关衍射阶中的一些衍射阶不存在或没有呈现,则图像可以不包括目标T的所有细节(例如光栅线)。在这个示例中,图像91和93对应于仅由零阶辐射形成的目标T的图像。图像92包括由来自周期性结构32的+1衍射射线形成的子图像92A、与来自周期性结构33的-1衍射射线相对应的子图像92B、与来自周期性结构34的+1衍射射线相对应的子图像92C、以及与来自周期性结构35的-1衍射射线相对应的子图像92D。图像94包括由来自周期性结构32的-1衍射射线形成的子图像94A、与来自周期性结构33的+1衍射射线相对应的子图像94B、与来自周期性结构34的-1衍射射线相对应的子图像94C、以及与来自周期性结构35的+1衍射射线相对应的子图像94D。

[0085] 图6的布置允许同时单独测量由不同衍射分量(例如-1衍射射线、+1衍射射线和零阶射线)形成的目标T中的多个周期性结构32至35的图像。

[0086] 如本说明书的引言部分所提到的,当目标T中的特征的节距(例如光栅节距)变得明显短于用于量测的照射波长时,诸如+1和-1阶的衍射分量可能变得消散或以实际上无法捕获的角度出现时。在未调适的情况下,依赖于比较+1和-1阶以检测不对称性的方法(诸如上文参考图3至图6所论述的方法)不再适用。替代性方法是检测零阶(反射镜)散射辐射的光瞳平面中的不对称性,但这种不对称性信号通常较弱。另一替代性方法是在所谓的基于图像的重叠中检测目标的图像的不对称性,但当目标T中的特征的节距变得明显短于照射波长时,由于对图像中的空间结构作出贡献的主衍射阶的损失而预期图像会消失。

[0087] 下文所描述的实施例通过采用从目标T散射的辐射中存在的子阶衍射分量来解决以上难题。这些实施例中的一些实施例使用被名义地配置成在+1和-1阶消散或未被捕获的情况下测量+1和-1阶的方法(诸如上文参考图3至图6所论述的方法)。其它实施例实施基于图像的重叠,其中+1和-1阶是消散的或未被捕获。另外的其它实施例基于检测光瞳平面中的不对称性提供信号增强。

[0088] 来自任何有限孔的光的衍射造成光的角展度。图7示意性地描绘具有垂直于X方向延伸的光栅线100的无限光栅。每个光栅线100的宽度为 d_1 。光栅的节距为 d_2 。对于诸如所描绘的无限光栅,这对于相对于束斑较大的目标是良好近似,衍射光谱是无限窄的峰102的梳状形式,如图8中针对图7的光栅示意性地描绘的。图8是衍射光的归一化强度 I_{int} 与平行于X方向的散射光的归一化k向量的绘图。峰102的分离由波长与节距的比 λ_0/d_2 限定。强度包络104的中心峰的宽度大约是波长与每个光栅线100的宽度 d_1 的比 λ_0/d_1 。

[0089] 图9和图10分别对应于图7和图8,不同之处在于图9的光栅是具有宽度 L_x 的有限光栅而不是无限光栅。在有限光栅中,每个衍射阶沿波数轴线展开而不是无限窄的。每个衍射阶的宽度是波长与光栅的宽度的比(λ_0/L_x)的量级。另外,子阶衍射分量106出现在主衍射阶之间。这些子阶衍射分量包含与目标T中的不对称性有关的信息,并且即使当主衍射阶(例如,+1和-1衍射阶)消散或未被捕获时,也可以被捕获。

[0090] 主零阶峰120的左侧的主一阶峰121-被视为主负一阶峰121-。因此,主零阶峰120的右侧的主一阶峰121+是主正一阶峰121+。与位于主零阶峰120和主正一阶峰121+之间的子阶衍射分量相比,位于主零阶峰120与主负一阶峰121-之间的子阶衍射分量的强度差异对目标中的不对称性(例如,由于重叠、侧壁角中的不对称性、或聚焦误差效应所引起的不对称性)敏感。子阶衍射分量可以认为是由于目标T的有限尺寸使那些峰值变宽而产生的主衍射阶峰的尾部总和。即使在目标T不对称性的情况下,源自主零阶峰120的尾部在主零阶

峰120的每侧上是对称的。然而,源自主正一阶峰的尾部将不同于源自主负一阶峰的尾部,其中在目标T中存在不对称性。这是因为主正一阶峰121+和主负一阶峰121-对目标T中的不对称性敏感。因此,在图10的方向中,当主零阶峰120的右侧尾部与主正一阶峰121+的左侧尾部叠置时,得到的总和(限定这种区中的子衍射阶106)与主零阶峰120的左侧尾部与主负一阶峰121-的右侧尾部之间的叠置产生的总和具有不同的形式。

[0091] 图11描绘用于从具有不对称结构的目标T获得的单个入射角的模拟衍射光谱。照射辐射的波长与目标中的光栅的节距的比是五(5),使得由量测装置(其外部界限由竖直虚线指示)捕获的落入(相对于归一化角度NA限定的)角度范围内的唯一主衍射阶为主零阶峰120。既未捕获主负一阶峰121-,也未捕获主正一阶峰121+。然而,由于目标中的光栅的有限性(目标包含10条线),伴随的子阶衍射分量(尾部)106也落入NA极限内。如上文所描述的,子阶衍射分量由来自主零阶峰120的尾部和来自主正一阶峰和主负一阶峰(落入数值孔径之外)的尾部二者形成。不可能区分主零阶峰的尾部与一阶峰的尾部,因为它们被组合为不相干总和以提供子阶衍射分量106。在图11中可以认识到,主零阶峰120的右侧上的子阶衍射分量106的幅值(高度)不同于主零阶峰120的左侧上的子阶衍射分量106的幅值(高度)。这由对从(未捕获的)主一阶峰的对应的子阶衍射分量作出的贡献的差异所引起,并且可以用于测量目标中的不对称性。

[0092] 基于以上原理,提供一种测量图案化过程的参数的方法。所述方法包括:照射目标T中的周期性结构。在实施例中,周期性结构包括光栅。例如,目标T可以采取上文参考例如图4至图6所描述的形式中的任一形式。目标T是通过图案化过程而形成的目标T。图案化过程可以包括使用光刻设备执行的光刻过程,如上文参考图1所描述的。检测从周期性结构散射的辐射的子阶衍射分量。如上文所描述的,子阶衍射分量对周期性结构中的不对称性敏感。所述方法使用所检测的子阶衍射分量来确定图案化过程的参数。

[0093] 图案化过程的参数可以是子阶衍射分量对其敏感的任何参数。通常,可以测量对目标的对称性的变化(例如,引入或增加不对称性)作出贡献的参数。例如,参数可以包括目标的不同层之间的重叠误差、目标中的侧壁角误差或在光刻成像过程期间的聚焦误差。

[0094] 在实施例中,用于该方法中的子阶衍射分量主要由与来自目标T中的周期性结构的理论衍射图案的一部分相对应的辐射形成,所述部分位于主一阶峰121-和121+之间和之外、且位于主零阶峰120之外(如图10中描绘的)。

[0095] 在实施例中,周期性结构包括等于重复单元单元在周期性结构的周期性方向上的尺寸的(例如,X方向周期性结构(诸如具有沿Y方向延伸的线的光栅)在X方向上的节距)主周期。主零阶峰和主一阶峰是理论衍射图案的对应于主周期的主峰。主零阶峰从主零阶峰的最大值延伸至主零阶峰的最小值(包括在主零阶峰的最大值的每侧遇到的第一个最小值)。每个主一阶峰从主一阶峰的最大值延伸至主一阶峰的最小值(对于每个主一阶峰,包括在所述主零阶峰的最大值的每侧遇到的第一个最小值)。

[0096] 在实施例中,周期性结构包括具有有限数量的光栅线的衍射光栅,使得来自光栅的理论衍射图案包括位于与来自具有相同周期性和无限数量的光栅线的衍射光栅的理论衍射图案中的主峰相同位置处的多个主峰。辐射的子阶衍射分量由理论衍射图案中在主峰之外的结构限定的辐射形成。

[0097] 采用子阶衍射分量的实施例特别适用于下述情况:其中在所述量测方法和周期性

结构中使用的照射使得与来自周期性结构的理论衍射图案的主一阶峰相对应的辐射或落入目标与检测器之间的光学系统的数值孔径之外或消散。所述方法特别适用于其中周期性结构的主周期的节距在50nm与40nm之间,可选地在50nm与300nm之间、可选地在50nm与200nm之间、可选地在100nm与400nm之间、可选地在200nm与400nm之间的目标。

[0098] 在一类实施例中,子阶衍射分量的检测包括将与子阶衍射分量相对应的辐射和与主零阶峰120相对应的辐射进行分离。这是有利的,因为零阶辐射可能其它方式主导子阶衍射分量,并且干扰从子阶衍射分量中的不对称性获取适用的信息。

[0099] 在实施例中,所述分离包括将与主零阶峰相对应的辐射和与子阶衍射分量相对应的辐射引导通过目标T与检测器23之间的光学系统的光瞳平面中的单独的对应的区。例如可以使用上文分别参考图3至图5和图6所描述的两种方法和量测装置配置中的任一量测装置配置来实施这种方法。在这两种方法中的每种方法中,+1和-1衍射阶在达到检测器23之前,在光瞳平面中与零阶辐射分离。

[0100] 在使用图3A的配置的实施例中,孔径光阑21阻挡零阶且防止零阶对形成在检测器23上的图像作出贡献。在+1和-1阶消散但子阶衍射分量在量测装置的数值孔径内(例如如图11中描绘的)的情况下,形成在检测器23上的图像将仅由子阶衍射分量形成。例如,通过改变照射设定(例如,为孔板12S交换孔板12N),比较由主零阶峰120的一侧上的子阶衍射分量106形成的图像与由主零阶峰120的另一侧上的子阶衍射分量106形成的图像是可行的。

[0101] 在使用图6的配置的实施例中,可以以与获得+1和-1衍射之间的不对称性相同的方式获得子阶衍射分量之间的不对称性。实际上,图6中所指示的每个+1分量用来自衍射图案的位于主正一阶峰121⁺与主零阶峰120之间的区的相应的子阶衍射分量替代,并且图6所指示的每个-1分量用来自衍射图案的位于主负一阶峰121⁻与主零阶峰120之间的区的相应的子阶衍射分量106替代。

[0102] 在图12至图16中示意性地描绘方法。图12描绘包括X方向周期性结构32的目标T。周期性结构32具有200nm的示例性节距,并且用650nm的辐射照射以产生具有图11中描绘和如上文所论述的类型的衍射光谱。图13和图14示意性地描绘使用子阶衍射分量形成的目标T的图像。图13中示出的图像由来自衍射图案的位于主正一阶峰121⁺与主零阶峰120之间的区的子阶衍射分量106形成。图14中示出的图像由来自衍射图案的位于主负一阶峰121⁻与主零阶峰120之间的区的子阶衍射分量106形成。图13和图14的图像中的每个图像包括边缘状局部强度区131和132,所述边缘状局部强度区131和132对应于由周期性结构32产生的子阶衍射阶且平行于周期性结构32的光栅线延伸。每个图像还包括与周期性结构32的光栅线正交延伸的边缘状局部强度区133和134。边缘状局部强度区133和134是由于目标T的有限本质而产生的。

[0103] 在这种情况下,在边缘状局部强度区131和132的幅值不对称性中,对关于目标T中的不对称性的信息进行编码。这在图15和图16中图示。图15示出强度 I_{nt} 随位置X沿图13中的虚线 B_{+1} 至 B'_{+1} 的变化。图16示出强度 I_{nt} 随位置X沿图14中的虚线 B_{-1} 至 B'_{-1} 的变化。在图15中的峰131和132的与图16相比的高度差方面对关于目标T中的不对称性的信息进行编码。在实施例中,将图15中描绘的峰131和132的总和与图16中描绘的峰131和132的总和相比较。

[0104] 在诸如其中目标T为包括多个子目标的复合目标的上文示例的情况下,期望以这

种方式布置子目标,即由子阶衍射分量形成的子目标的图像间隔开足够远,使得来自不同子目标的图像不会彼此干扰。在一些实施例中,其示例描绘在图17至图19中,每个子目标包括周期性结构31至34,所述周期性结构31至34具有在图案化过程的参数方面被施加的不同的名义偏置(例如,不同重叠偏置+d或-d)或不同定向(例如,X方向周期性结构或Y方向周期性结构)。在这样的实施例中,子目标可以彼此间隔开达每个子目标的最大侧向尺寸的至少25%,可选地至少50%,可选地至少100%。图17的示例描绘包括与周期性结构31至34相对应的四个子目标的目标T,其与图4的目标T的配置类似,不同之处在于单独的周期性结构31至34彼此间隔开更远。因此,周期性结构32和34是分别具有偏置+d、-d的X方向周期性结构(由粗箭头示意性地指示的)。周期性结构33和35是分别具有偏置+d和-d的Y方向周期性结构。每个子目标具有边长为a的正方形。因此,在这个示例中,每个子目标的最大侧向尺寸为a。在其中每个子目标是边长为a和b的矩形的替代情况下,最大侧向尺寸将是a和b中的更大的一个。图17中的子目标间隔达m。因此,m应至少是a的25%。总目标尺寸可以对应于基于衍射的重叠测量的典型目标尺寸,以便例如具有 $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 内的或 $16\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$ 内的外部尺寸(即,使得 $2a+m=20\mu\text{m}$ 或 $16\mu\text{m}$)。图18和图19示出替代目标T,每个替代目标都包括具有周期性结构的子目标,所述周期性结构具有彼此相同的定向但具有彼此相等且相反的偏置。图18描绘具有偏置+d和-d的X方向周期性结构32和34。图19描绘具有对应的偏置+d和-d的Y方向周期性结构33和35。

[0105] 因此,在一些实施例中,子阶衍射分量的检测包括形成第一图像和第二图像。在实施例中,通过比较第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量来确定图案化过程的参数。在其中子阶衍射分量的检测包括形成第一图像和第二图像的一些实施例中,通过测量第一图像的特性(例如,一个或多个边缘特征的平均强度或强度)来检测第一子阶衍射分量,并且通过测量第二图像的特性(例如,一个或多个边缘特征的平均强度或强度)来检测第二子阶衍射分量。在一些实施例中,第一子阶衍射分量可以是主要由与理论衍射图案的一部分相对应的辐射形成的子阶衍射分量,所述部分更接近于主正一阶峰而不是更接近于主负一阶峰(例如,对应于图10中的主零阶峰120的右侧的子阶衍射分量106)。第二子阶衍射分量可以主要来自与理论衍射图案的一部分相对应的辐射形成,所述部分更接近主负一阶峰而不是更接近主正一阶峰(例如,对应于图10中的主零阶峰120的左侧的子阶衍射分量106)。

[0106] 在其中图案化过程包括图案化过程中的误差(例如,非零重叠)的情况下,第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量的比较可以包括确定当误差为零时所预期的来自第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量之间的名义关系的偏差。在实施例中,将由第一子阶衍射分量形成的图像或图像的选定区(例如边缘区)的平均强度与由第二子阶衍射分量强度形成的图像或图像的选定区(例如边缘区)的平均强度进行比较。在实施例中,平均强度的差异对图案化过程中的误差敏感,并且因此可以用以提供关于误差的信息。这种方法可以用于上文所描述的实施例中,所述实施例使用图3至图5和图6的方法来检测子阶衍射分量。

[0107] 在替代实施例中,子阶衍射分量的检测包括检测光瞳平面中的强度或强度分布。在实施例中,照射模式使得辐射没有从光瞳平面中的两个完全相对的象限入射到目标T上,并且辐射从光瞳平面中的其它两个完全相对的象限入射到目标T上,如在如上文参考图6所论述的示例中。如上文所论述的,这可能导致零阶辐射从光瞳平面辐射分布中的子阶衍射

分量分离。图20描绘包括标注为131、132、133和134的四个象限的示例光瞳平面区。在这种类型的一些实施例中,通过测量光瞳平面的第一选定区141(所描绘的光瞳平面区的左上方部分中的圆形边界与虚线之间的区)中的强度或强度分布来检测第一子阶衍射分量,并且通过测量光瞳平面的第二选定区142(所描绘的光瞳平面区的右下方部分中的圆形边界与虚线之间的区)中的强度或强度分布来检测第二子阶衍射分量。在实施例中,比较第一选定区141中的平均强度与第二选定区142中的平均强度。在这种类型的一些实施例中,第一选定区141和第二选定区142是点对称的(如在图20中)或相对于彼此是镜面对称的。在这种类型的实施例中,由互易定理(reciprocity-theorem)效应导致的零阶散射辐射的不对称性贡献使基础物理复杂化:如果结构不对称,则光瞳平面的点对称像素中的零阶散射辐射将具有不同强度。

[0108] 子阶衍射分量的存在也可以用以将基于图像的重叠的适用性扩展至更小节距。在传统的基于图像的重叠中,产生具有位置不对称性的图像,所述图像对目标中的重叠的变化敏感。通过测量图像中的不对称性,可以获得与目标T中的不对称性有关的信息。当图像中的主结构由于主一阶峰变成消散而损失时,子阶衍射分量的存在将意味着关于目标中的不对称性的信息仍然存在。这可以被用来从图像中确定图案化过程的参数。在这种类型的一些实施例中,子阶衍射分量的检测包括使用子阶衍射分量在像平面中形成图像,并且通过比较图像的第一部分与图像的第二部分来确定图案化过程的参数。在实施例中,图像的第一部分与图像的第二部分的比较包括比较图像的第一部分中的特征的位置与图像的第二部分中的特征的位置。例如,所比较的特征可以包括由子阶衍射分量形成的在空间上被明确限定的特征,诸如空间上局部(如 δ)峰。在实施例中,图像的第一部分与图像的第二部分的比较包括获得特征之间的重心的位置。在其它实施例中,拟合例程用来确定特征定位。通过监测所监测的特征的位置中的变化(例如,上文所论述的重心),可以获得与图案化过程的参数(例如,重叠或聚焦)有关的信息。

[0109] 在另一类实施例中,使用从子阶衍射分量的信息的概念被扩展以改善受益于关于目标的图像的定位的准确知识的测量。例如,在需要测量目标的图像的强度且由于干扰效应(例如干涉条纹)的存在而导致强度非均一的情况下,关于目标的图像的定位的准确知识可能是有益的。例如,在上文参考图3A至图5所论述的类型的实施例中,可以通过比较由+1和-1衍射辐射形成的单独的图像的强度来确定重叠。如果条纹存在于这些图像内,则每个图像中的强度是非均一的。每个图像的非均一性使从图像中导出单次信号强度复杂化,这又使重叠的导出复杂化或折衷。当使用高度相干的照射模式时,这种效应更可能是显著的。如果准确地知道目标的图像的定位,则可以在数学上减少或移除效应的影响。

[0110] 从目标衍射的辐射包含关于目标的各个方面的信息,包括与目标节距和整体形状(包括目标的图像的尺寸和定位)有关的信息。依赖于多种因素,诸如照射的方向(照射光瞳位置)、捕获光学系统的数值孔径、辐射的波长、目标节距和目标尺寸,目标的所捕获的图像可以包含与目标有关的信息的不同组合。图21示意性地描绘参考理论光瞳平面中的点的示例情况。实心圆150表示照射辐射穿过光瞳平面的位置(并且因此照射辐射入射至目标上的方向)。在照射辐射具有角展度的情况下,实心圆150表示照射辐射的轴线或平均k向量。实心圆152表示相应的零阶(镜面)散射辐射穿过光瞳平面的位置。区171表示光学系统的数值孔径。仅在区171内的散射辐射将由光学系统捕获且对目标的所检测的图像作出贡献。在光

瞳平面中,在圆150处的零阶辐射的中心与在圆161处的主一阶辐射的中心之间的分离由波长与目标节距的比(WL/p)来确定。主一阶辐射(例如其用来形成图像,从所述图像中获取与重叠有关的信息)将在其穿过区171时被捕获。然而,如果主一阶辐射落入区171之外(如由空心圆162指示),则将仅检测子阶衍射分量。这些子阶衍射分量包含关于目标的图像的定位的信息,所述信息将用来获得关于目标的信息(例如,由与从目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的辐射形成)。

[0111] 在基于以上原理的实施例,所检测的子阶衍射分量用来确定衬底上的目标的图像的定位。目标的图像的所确定的定位随后用来分析目标的图像的强度,以确定图案化过程的参数(例如重叠)。在实施例,目标的图像形成为使得该图像包含显著干涉条纹(例如,因为照射模式为高度相干的)。在实施例,使用与从目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的辐射(例如,+1或-1衍射辐射,如在上文所论述的图3A至图5的示例中)例如在暗场模式中形成目标的图像,其中基本上防止主零阶(镜面反射)辐射对图像作出贡献。目标的图像的所确定的定位使得在图案化过程(例如重叠)的参数确定期间校正这些条纹成为可能,由此改善可靠性和/或准确度。

[0112] 在实施例,目标的照射包括两个步骤。在第一步骤中,执行照射以便避免捕获与从目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的任何辐射(例如,使得与来自目标的理论衍射图案中的主一阶峰的至少一个中心相对应的辐射落入在诸如图21中的空心圆162的位置,即在数值孔径171之外,而不是图21中的空心圆161的位置)。在第二步骤中,执行照射以便允许捕获与从目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的辐射(例如,使得与来自目标的理论衍射图案中的主一阶峰的中心相对应的辐射落入在诸如图21中的空心圆161的位置,即数值孔径171的内部,而不是图21中的空心圆162的位置)。在照射的第一步骤期间获得所检测的子阶衍射分量,并且在照射的第二步骤期间获得用来确定图案化过程的参数(例如重叠)的目标的图像。可依次执行第一步骤和第二步骤,其中第一步骤在第二步骤之前执行或第二步骤在第一步骤之前执行。

[0113] 可以以多种方式实施照射的第一步骤和第二步骤。

[0114] 在第一方法中,如图22中示意性地描绘的,避免捕获与在第一步骤期间从目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的任何辐射至少部分地通过在第一步骤期间相对于第二步骤使用目标的照射的不同定向(例如,照射轴线相对于目标平面的不同角度)来实现。图22描绘两个替代性照射定向,分别导致零阶(镜面)反射穿过光瞳平面中的实心圆151和152。当照射辐射定向为穿过实心圆151时,主一阶分量落入空心圆161处的数值孔径171之外且未被捕获。这种照射配置由此适于执行照射的第一步骤。相反,当照射辐射定向为穿过实心圆152时,主一阶分量落入空心圆162处的数值孔径171的内部且被捕获。这种照射配置由此适于执行照射的第二步骤。

[0115] 在第二方法中,如图23中示意性地描绘的,在第一步骤期间,避免捕获与从目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的任何辐射至少部分地通过在第一步骤期间相对于第二步骤具有不同波长的辐射的照射来实现。图23描绘具有三种不同波长($WL1$ 至 $WL3$)的照射的示例。在每种情况下,零阶(镜面)反射穿过光瞳平面中的实心圆152,而波长的差异导致主一阶分量在每种情况下穿过光瞳平面中三个不同区中的不同对应的一个区,由空心圆161、163和164指示。如由双箭头指示,所述差异是由于不同波长导致波长与节距的比的相应的

差异而产生的。因此,当波长是WL1时,捕获主一阶分量。这种照射配置由此适于执行照射的第一步骤。假设所述差异足够大以将辐射移动至数值孔径171之外,则使用更长波长(例如WL2)或更短波长(例如WL3)可能导致主一阶分量未被捕获,如由处于数值孔径171之外的对应的空心圆163和164所指示的。任何这种照射配置将适于执行照射的第一步骤。

[0116] 在以下所编号的方面中进一步描述根据本发明的另外实施例:

[0117] 1. 一种测量图案化过程的参数的方法,所述方法包括:

[0118] 照射通过图案化过程形成的目标;

[0119] 检测从目标散射的辐射的子阶衍射分量;以及

[0120] 使用所检测的子阶衍射分量以确定图案化过程的参数。

[0121] 2. 根据方面1所述的方法,其中,子阶衍射分量主要由与来自目标的理论衍射图案的部分相对应的辐射形成,所述部分位于主一阶峰之间和之外,且位于主零阶峰之外。

[0122] 3. 根据方面2所述的方法,其中,子阶衍射分量的检测包括将与子阶衍射分量相对应的辐射和与主零阶峰相对应的辐射分离。

[0123] 4. 根据方面3所述的方法,其中,所述分离包括:将与主零阶峰相对应的辐射和与子阶衍射分量相对应的辐射引导通过位于目标与检测器之间的光学系统的光瞳平面中的单独的对应的区。

[0124] 5. 根据方面4所述的方法,其中,通过比较第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量来确定图案化过程的参数。

[0125] 6. 根据方面5所述的方法,其中:

[0126] 第一子阶衍射分量主要由与理论衍射图案的更接近于主正一阶峰而不是更接近于主负一阶峰的部分相对应的辐射形成;并且

[0127] 第二子阶衍射分量主要由与理论衍射图案的更接近于主负一阶峰而不是更接近于主正一阶峰的部分相对应的辐射形成。

[0128] 7. 根据方面5或6所述的方法,其中:

[0129] 图案化过程的参数包括图案化过程中的误差;并且

[0130] 第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量的比较包括:确定当误差为零时所预期的第一子阶衍射分量与第二子阶衍射分量之间的名义关系的偏差,所述偏差由此提供与图案化过程的参数有关的信息。

[0131] 8. 根据方面5至7中任一项所述的方法,其中,子阶衍射分量的检测包括:检测光瞳平面中的强度或强度分布。

[0132] 9. 根据方面8所述的方法,其中:

[0133] 通过测量光瞳平面的第一选定区中的强度或强度分布来检测第一子阶衍射分量;并且

[0134] 通过测量光瞳平面的第二选定区中的强度或强度分布来检测第二子阶衍射分量。

[0135] 10. 根据方面9所述的方法,其中,第一选定区与第二选定区相对于彼此是点对称或镜面对称的。

[0136] 11. 根据方面5至7中任一项所述的方法,其中,子阶衍射分量的检测包括:使用子阶衍射分量在像平面中形成图像。

[0137] 12. 根据方面11所述的方法,其中:

- [0138] 图像的形成包括:形成第一图像和第二图像;
- [0139] 通过测量第一图像的特性来检测第一子阶衍射分量;并且
- [0140] 通过测量第二图像的特性来检测第二子阶衍射分量。
- [0141] 13. 根据方面1所述的方法,其中:
- [0142] 子阶衍射分量的检测包括:使用子阶衍射分量在像平面中形成图像;并且
- [0143] 通过比较所述图像的第一部分与所述图像的第二部分来确定图案化过程的参数。
- [0144] 14. 根据方面13所述的方法,其中,所述图像的第一部分与所述图像的第二部分的比较包括:比较所述图像的第一部分中的特征的位置与所述图像的第二部分中的特征的位置。
- [0145] 15. 根据方面1所述的方法,其中,所检测的子阶衍射分量用来确定所述目标的图像的定位。
- [0146] 16. 根据方面15所述的方法,所述方法还包括:使用所述目标的所述图像的被确定的定位来分析所述目标的所述图像的程度,以确定图案化过程的参数。
- [0147] 17. 根据方面16所述的方法,其中,使用与从所述目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的辐射来形成用来确定图案化过程的参数的所述目标的图像。
- [0148] 18. 根据方面17所述的方法,其中:
- [0149] 在对所述目标的照射的第一步中,执行所述照射以避免捕获与从所述目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的任何辐射;并且
- [0150] 在对所述目标的照射的第二步骤中,执行所述照射以允许捕获与从所述目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的辐射。
- [0151] 19. 根据方面18所述的方法,其中在所述照射的第一步期间获得所检测的子阶衍射分量,并且在所述照射的第二步骤期间获得用来确定图案化过程的参数的所述目标的图像。
- [0152] 20. 根据方面18或19所述的方法,其中,至少部分地通过在第一步期间相对于第二步使用对目标的不同定向的照射来实现在第一步期间避免捕获与从所述目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的任何辐射。
- [0153] 21. 根据方面18至20中任一项所述的方法,其中,至少部分地通过在第一步期间相对于第二步用具有不同波长的辐射进行的照射来实现在第一步期间避免捕获与从所述目标散射的辐射的主非零阶峰相对应的任何辐射。
- [0154] 22. 根据任一前述方面的方法,其中目标包括周期性结构。
- [0155] 23. 根据任一前述方面的方法,其中:
- [0156] 所述周期性结构包括主周期,该主周期等于重复单元单元在所述周期性结构的周期性方向上的尺寸;
- [0157] 主零阶峰和主一阶峰是理论衍射图案的与主周期的相对应的主峰;
- [0158] 主零阶峰从主零阶峰的最大值延伸至主零阶峰的最小值;并且
- [0159] 每个主一阶峰从主一阶峰的最大值延伸至主一阶峰的最小值。
- [0160] 24. 根据方面22或23所述的方法,其中:
- [0161] 周期性结构包括衍射光栅,该衍射光栅具有有限数目个光栅线,使得来自所述衍射光栅的理论衍射图案包括位于与来自具有相同周期和无限数目个光栅线的衍射光栅的

理论衍射图案中的主峰相同位置处的多个主峰;并且

[0162] 辐射的子阶衍射分量由通过所述理论衍射图案中的在所述主峰之外的结构限定的辐射形成。

[0163] 25. 根据任一前述方面所述的方法,其中图案化过程的参数包括聚焦误差或所述目标的不同层之间的重叠误差。

[0164] 26. 根据任一前述方面所述的方法,其中所述照射和周期性结构使得来自所述目标的与理论衍射图案的主一阶峰相对应的辐射落入所述目标与检测器之间的光学系统的数值孔径之外或消散。

[0165] 27. 根据任一前述方面所述的方法,其中所述目标的主周期的节距在50nm与400nm之间。

[0166] 28. 根据任一前述方面所述的方法,其中:

[0167] 所述目标包括多个子目标,每个子目标包括具有在图案化过程的参数中施加的不同的名义偏置或具有不同定向的周期性结构;并且

[0168] 子目标彼此间隔开达每个子目标的最大侧向尺寸的至少25%。

[0169] 29. 一种用于测量图案化过程的参数的量测装置,所述量测装置包括:

[0170] 光学系统,所述光学系统被配置成通过辐射照射目标,并且将从所述目标散射的辐射引导至检测器,其中:

[0171] 光学系统和检测器被配置成检测从所述目标散射的辐射的子阶衍射分量。

[0172] 30. 一种在确定图案化过程的参数的方法中使用的目标,其中:

[0173] 所述目标包括多层结构,所述多层结构具有形成在所述多层结构的两层或更多层中的周期性结构;并且

[0174] 所述周期性结构的主周期的波长在50nm与400nm之间。

[0175] 31. 根据方面30所述的目标,其中:

[0176] 所述目标包括多个子目标,每个子目标包括具有在图案化过程的参数中施加的不同名义偏置或具有不同定向的周期性结构;并且

[0177] 子目标彼此间隔开达每个子目标的最大侧向尺寸的至少25%。

[0178] 虽然在本文中具体地参考量测装置在IC制造中的使用,但应理解,本文中所描述的量测装置和过程可以具有其它应用,诸如制造集成光学系统、用于磁畴存储器的引导和检测图案、平板显示器、液晶显示器(LCD)、薄膜磁头等等。本领域技术人员应了解,在这些替代应用的内容背景下,可以认为本文中对术语“晶片”或“管芯”的任何使用分别与更上位的术语“衬底”或“目标部分”同义。可以在曝光之前或之后在例如涂覆显影系统(通常将抗蚀剂层施加至衬底且显影曝光后的抗蚀剂的工具)、量测工具和/或一个或多个各种其它工具中处理本文中提及的衬底。在适用情况下,可以将本文中的公开内容应用于这些和其它衬底处理工具。此外,可以将衬底处理多于一次,例如以便产生多层IC,使得本文中所使用的术语衬底也可以指已经包含多个处理后的层的衬底。

[0179] 虽然在上文已具体地参考在光学光刻的内容背景下的本公开的实施例的使用,但应理解,本公开可以用于其它应用(例如纳米压印光刻)中,并且在内容背景允许的情况下不限于光学光刻术。在纳米压印光刻术的情况下,图案形成装置为压印模板或模具。

[0180] 本文中所使用的术语“辐射”和“束”涵盖所有类型的电磁辐射,包括紫外(UV)辐射

(例如,具有为或为约365nm、355nm、248nm、193nm、157nm或126nm的波长)和极紫外(EUV)辐射(例如,具有在5nm-20nm的范围内的波长);以及粒子束(诸如,离子束或电子束)。

[0181] 术语“透镜”在内容背景允许的情况下可以指各种类型的光学部件中的任一光学部件或组合,包括折射、反射、磁性、电磁和静电型光学部件。

[0182] 根据本说明书,本领域技术人员将明白本发明的各种方面的修改和替代实施例。因此,本说明书和附图应理解为仅是说明性的且是出于教导本领域技术人员进行本发明的一般方式的目的。应理解,本文中示出和描述的本发明的形式应视为实施例的示例。元件和材料可替代本文中所图示和描述的元件和材料,部分和过程可以反转或省略,可以独立利用某些特征,并且可以组合实施例或实施例的特征,本领域技术人员在获得本发明的本说明书的益处之后将明白所有这些。在不背离如在随附的权利要求中所描述的本发明的精神和范围的情况下,可以对本文中所描述的元件作出改变。本文中所使用的标题仅是实现组织性目的,并且并不意图用来限制本说明书的范围。

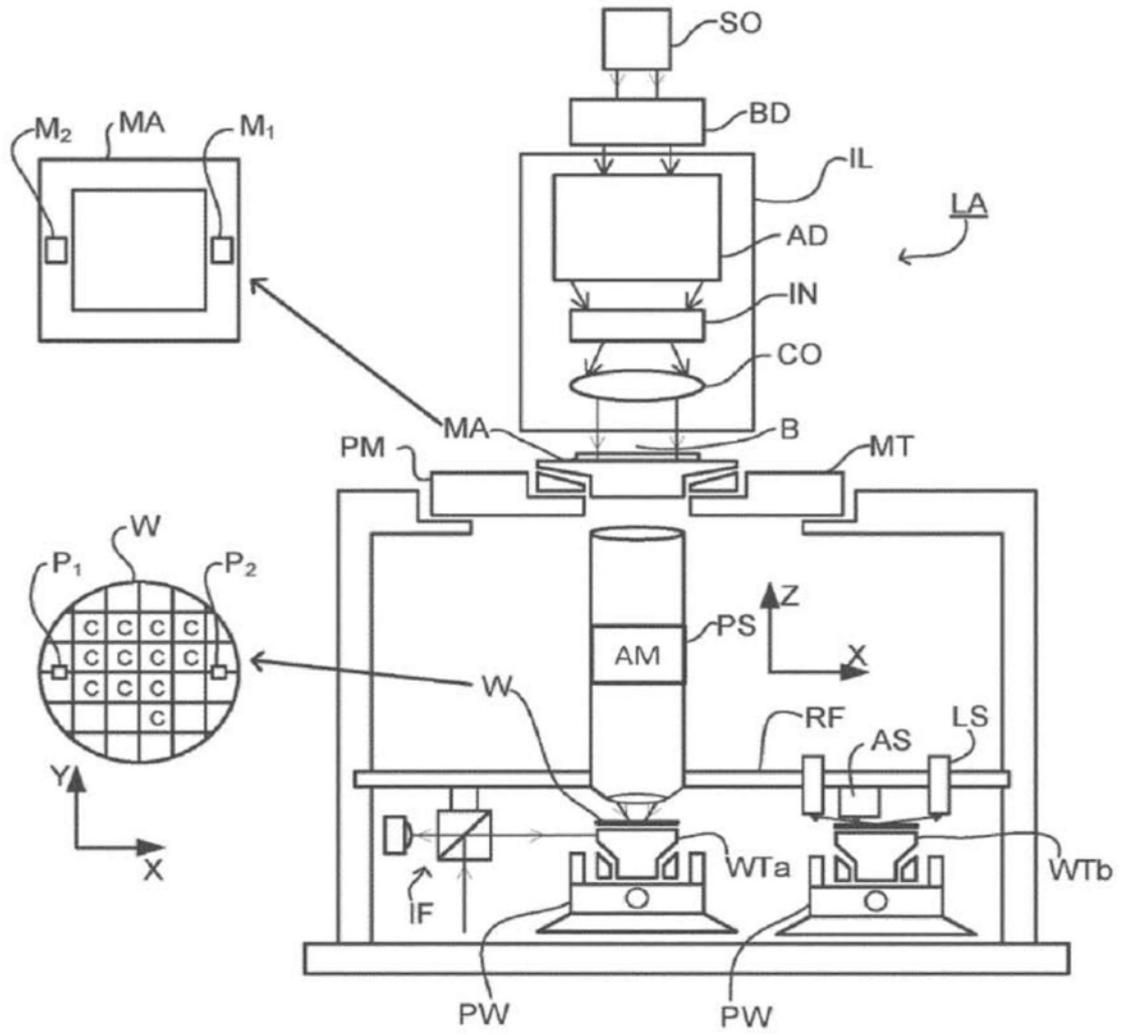


图1

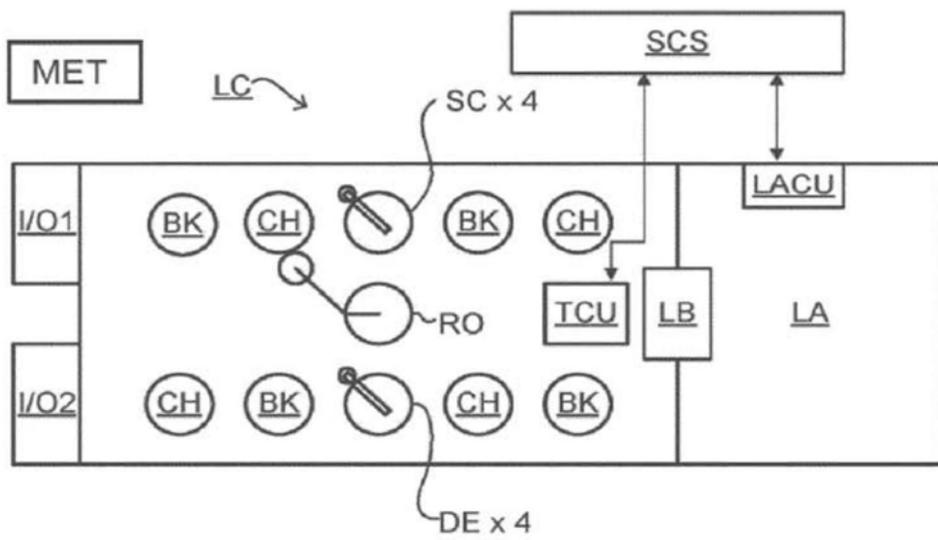


图2

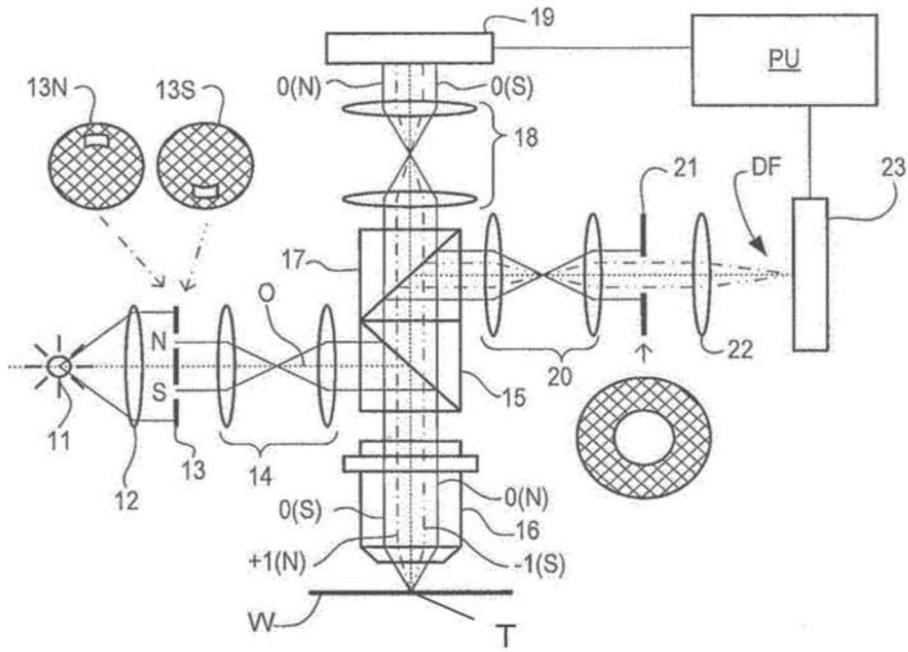


图3A

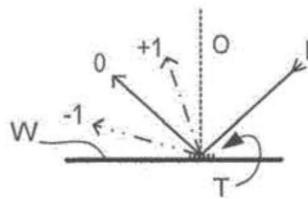


图3B

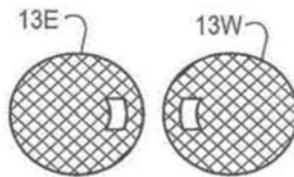


图3C

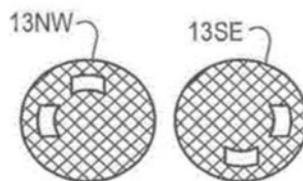


图3D

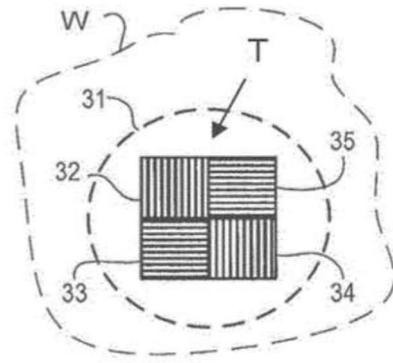


图4

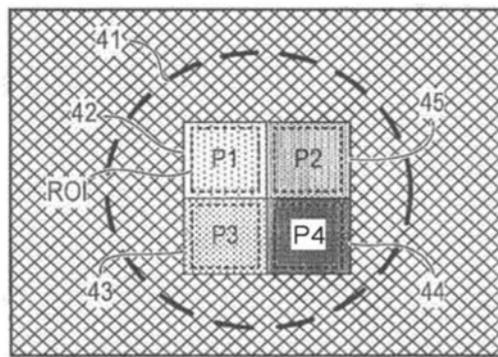


图5

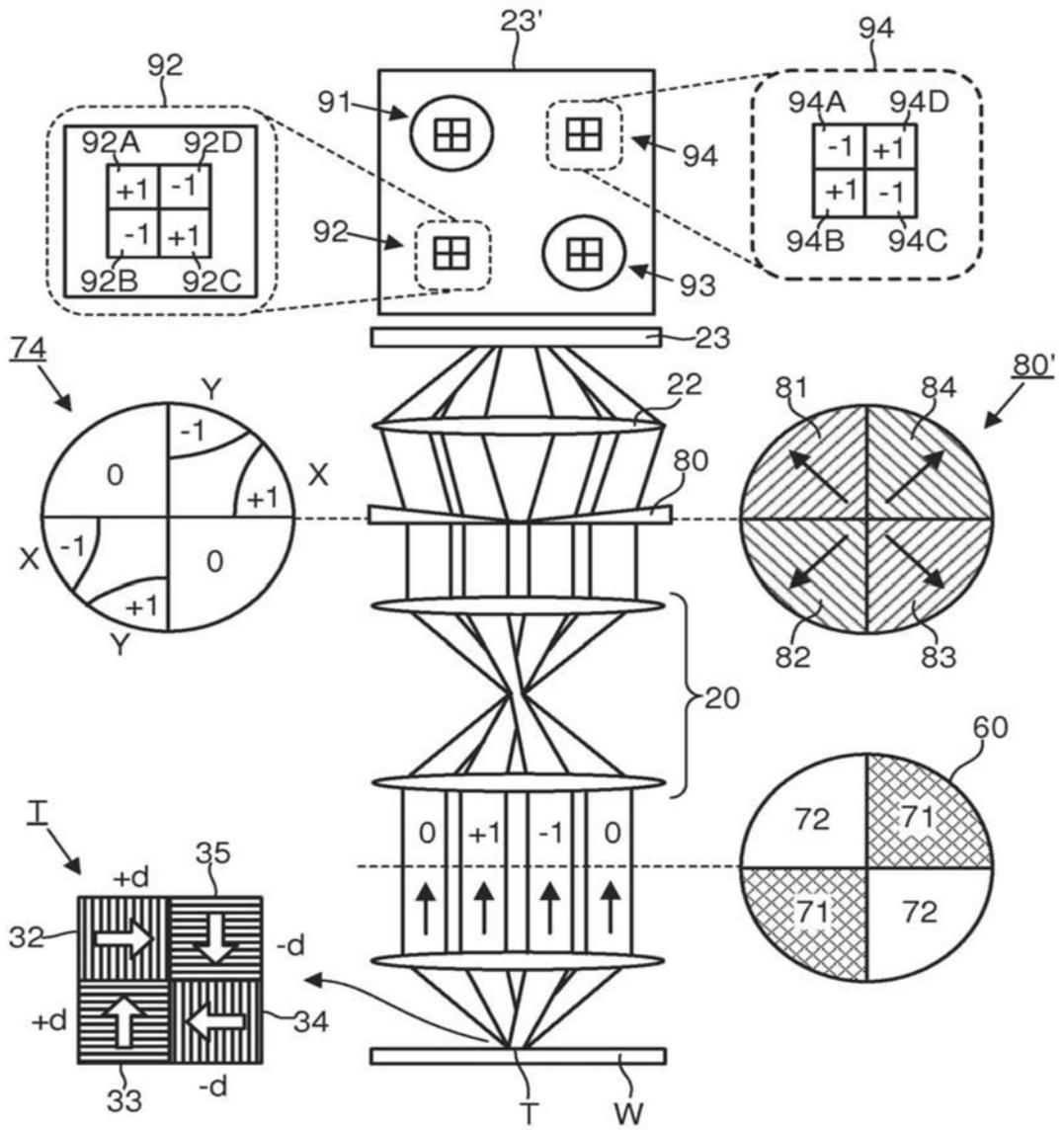


图6

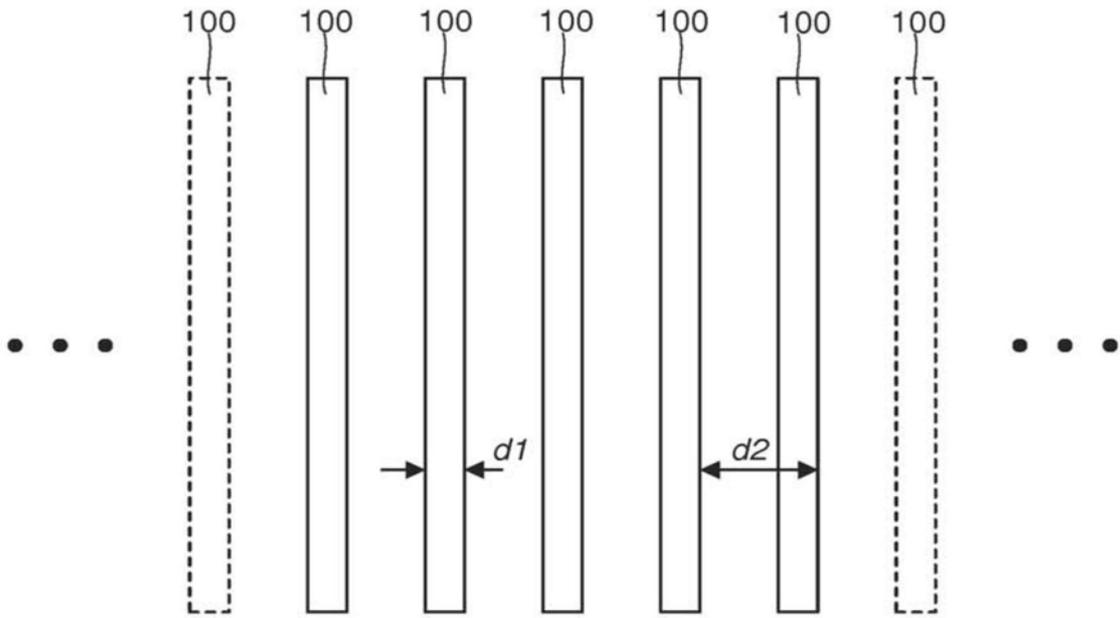


图7

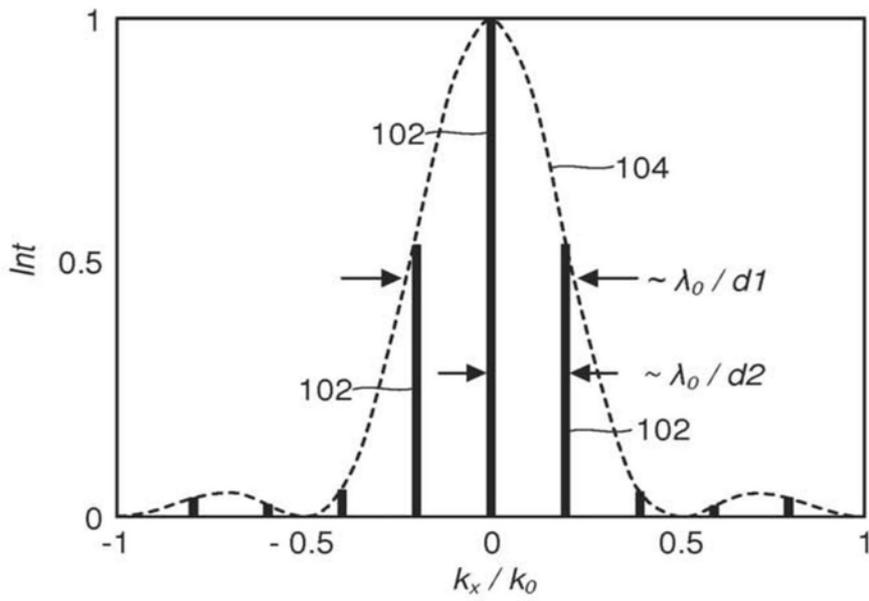


图8

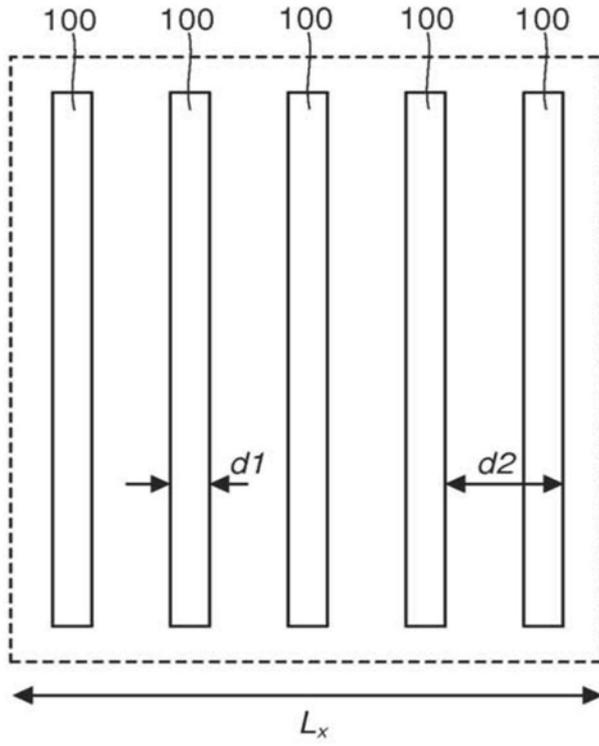


图9

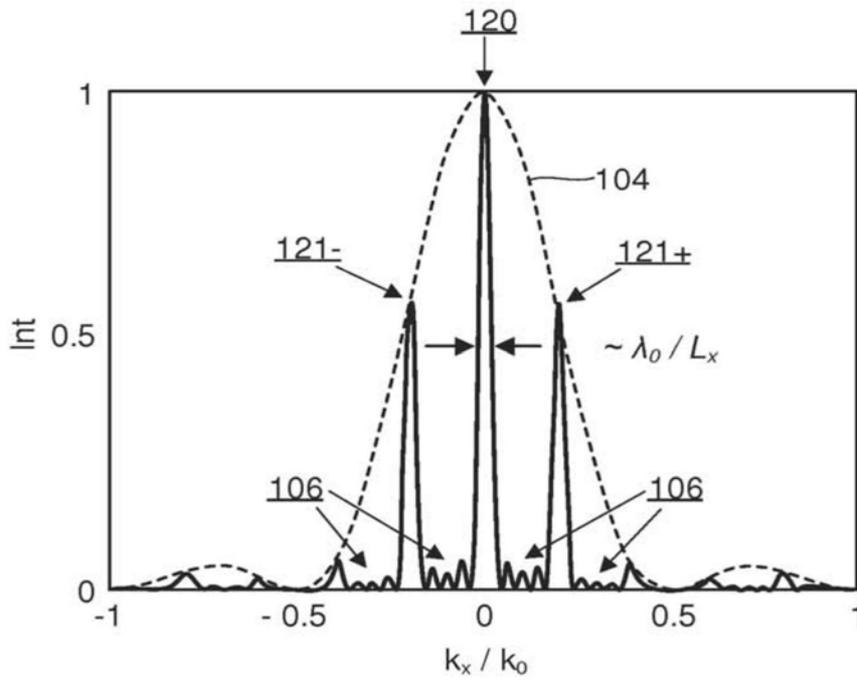


图10

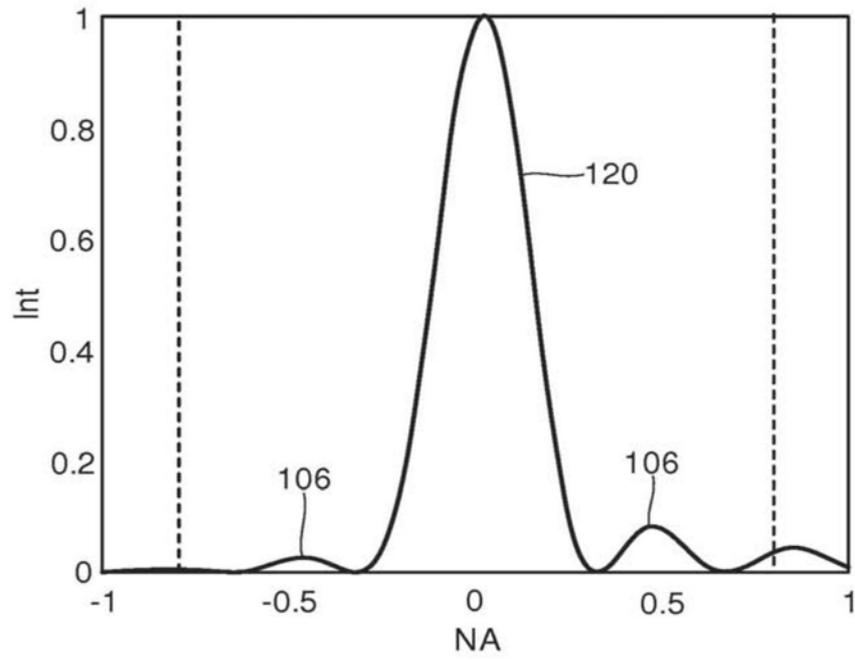


图11

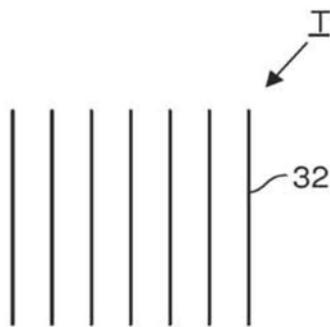


图12

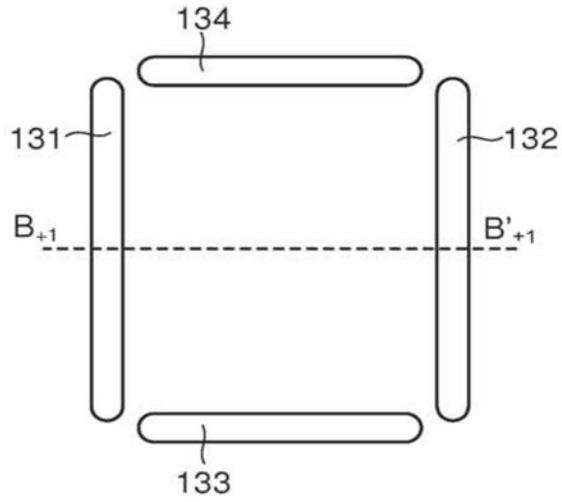


图13

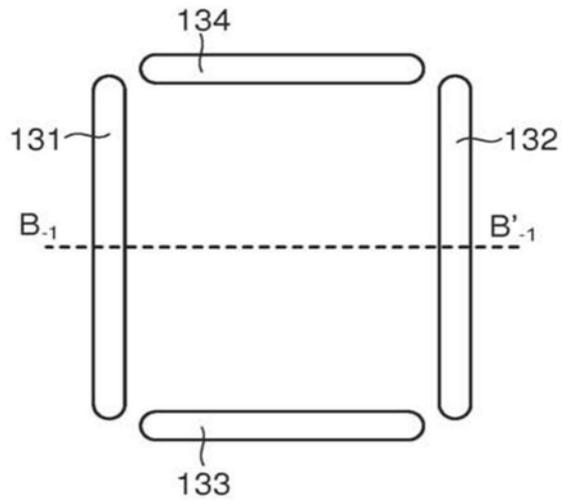


图14

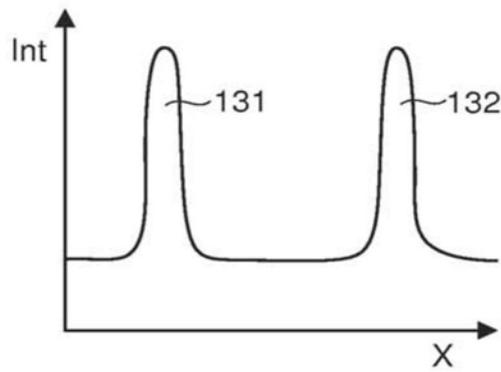


图15

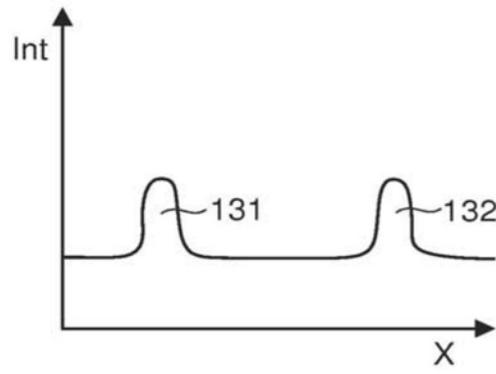


图16

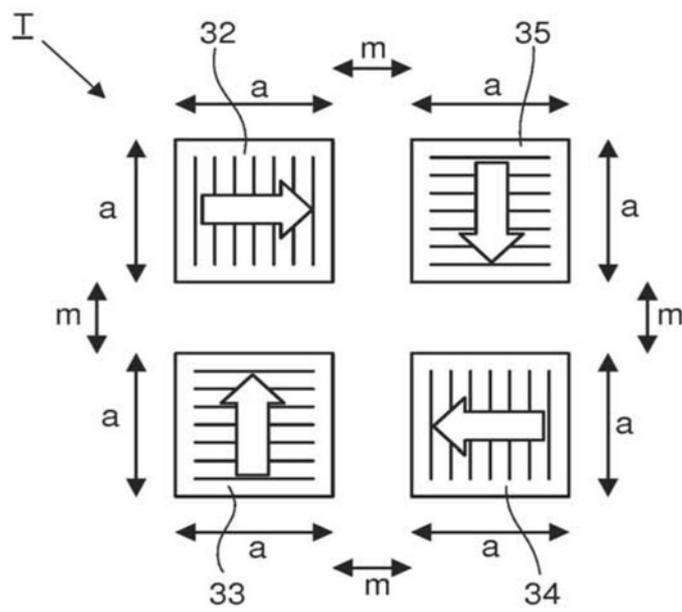


图17

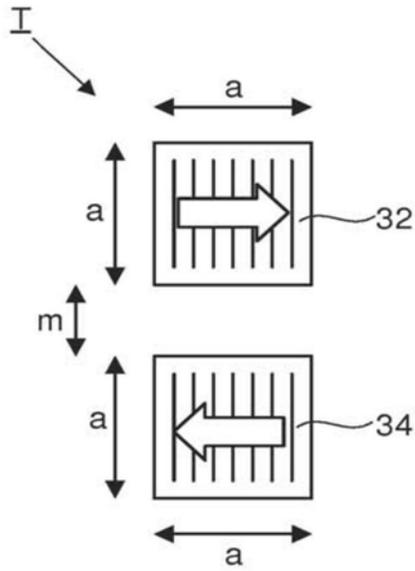


图18

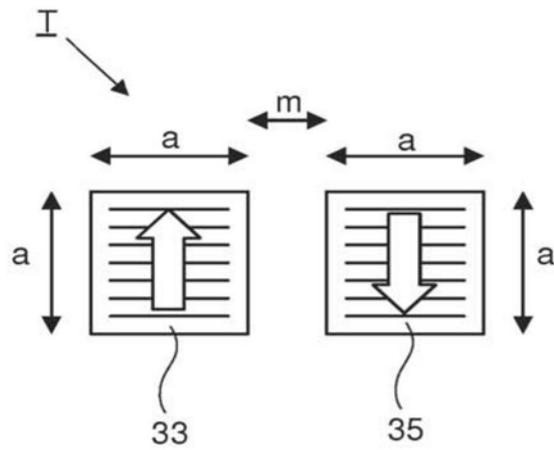


图19

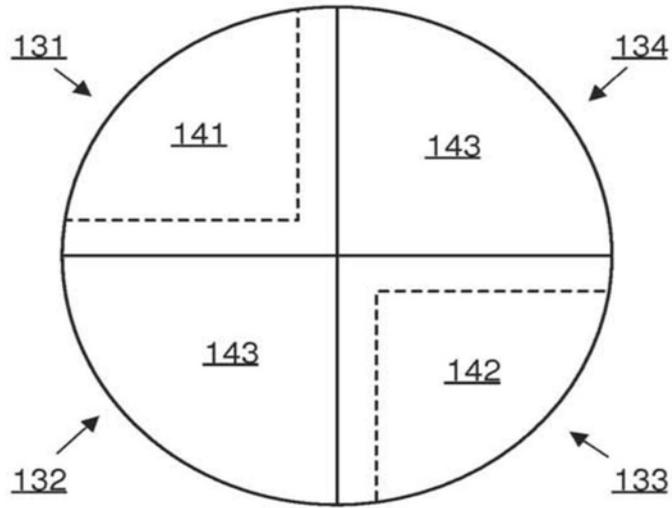


图20

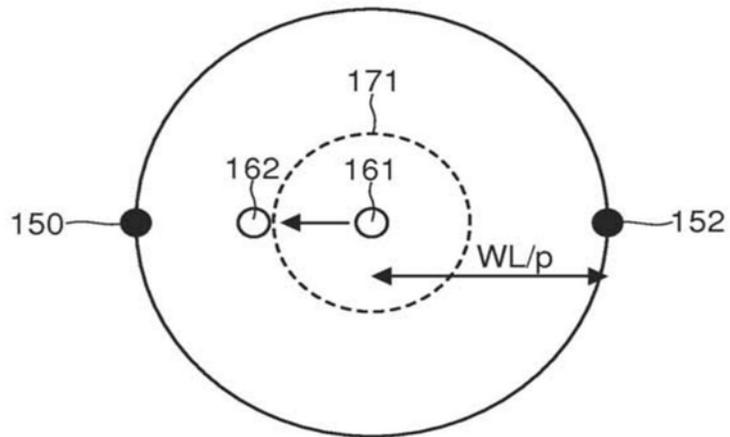


图21

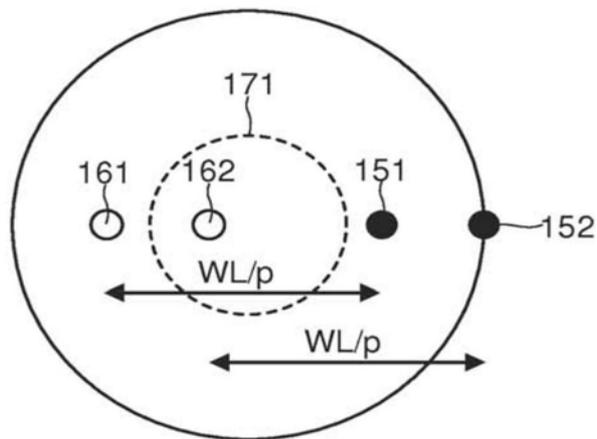


图22

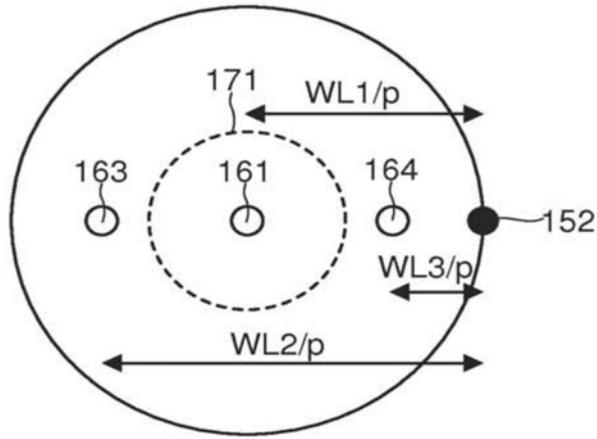


图23