



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103246174 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 14

(21) 申请号 201310045671. 5

(22) 申请日 2013. 02. 05

(30) 优先权数据

61/595, 910 2012. 02. 07 US

(71) 申请人 ASML 荷兰有限公司

地址 荷兰维德霍温

(72) 发明人 兰崧

(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 吴敬莲

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

G03F 1/36 (2012. 01)

G06F 17/50 (2006. 01)

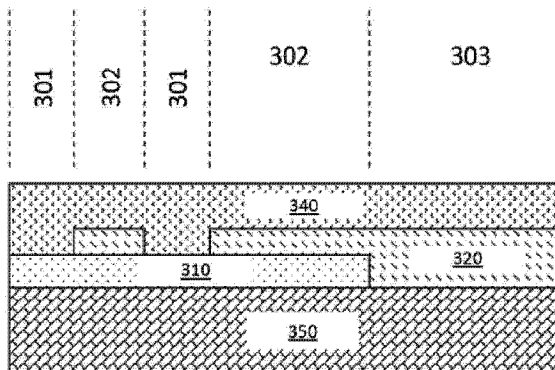
权利要求书1页 说明书13页 附图6页

(54) 发明名称

衬底拓扑可知的光刻模型化

(57) 摘要

本发明公开了一种衬底拓扑可知的光刻模型化方法,具体公开了用于模拟由入射辐射导致在衬底上的抗蚀剂内形成的图像的方法,所述衬底具有在抗蚀剂层下面的第二特征和第一特征,所述方法包括步骤:在不使用入射辐射和第二特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第一特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第一分图像;在不使用入射辐射和第一特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第二特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第二分图像;由第一分图像和第二分图像计算在抗蚀剂层内形成的图像;其中,入射辐射和第一特征的相互作用与入射辐射和第二特征的相互作用不同。



1. 一种用于模拟由入射辐射导致在衬底上的抗蚀剂内形成的图像的方法,所述衬底具有在抗蚀剂层下面的第一特征和第二特征,所述方法包括步骤:

在不使用入射辐射和第二特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第一特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第一分图像;

在不使用入射辐射和第一特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第二特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第二分图像;

由第一分图像和第二分图像计算在抗蚀剂层内形成的图像;

其中,入射辐射和第一特征的相互作用与入射辐射和第二特征的相互作用不同。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中计算所述图像的步骤还包括由第一分图像、第二分图像以及干涉计算所述图像。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中所述干涉包括第一分图像和第二分图像的干涉。

4. 如权利要求 2 所述的方法,其中所述干涉包括在第一特征和第二特征的边界附近的第一分图像和第二分图像的干涉波纹。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其中入射辐射和第一特征的相互作用是入射辐射被第一特征散射;或其中入射辐射和第二特征的相互作用是入射辐射被第二特征散射。

6. 如权利要求 2 所述的方法,其中使用严格模型或通过分析测量的 CD 数据计算所述干涉。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中衬底上的材料叠层对于整个第一特征是相同的,或者衬底上的材料叠层对于整个第二特征是相同的。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其中由仅具有第一特征、不具有第二特征的衬底模拟第一分图像,并且由仅具有第二特征、不具有第一特征的衬底模拟第二分图像。

9. 如权利要求 2 所述的方法,其中使用第一分图像和第二分图像之间的相差计算第一分图像和第二分图像的干涉。

10. 如权利要求 9 所述的方法,其中第一分图像和第二分图像之间的相差是第一分图像和第二分图像之间的平均相差。

11. 如权利要求 4 所述的方法,其中由核函数计算干涉波纹。

12. 如权利要求 11 所述的方法,其中核函数依赖于第一特征和第二特征的特性,以及其中所述特性包括侧壁角度、透光率、折射率或者它们的组合。

13. 如权利要求 11 所述的方法,其中核函数选自一组核函数,该组核函数的每一个用于一对特定的材料叠层的两个特征之间的边界。

14. 如权利要求 1 所述的方法,其中不使用任何其他特征、单独由第一特征的第一掩模函数和传递交叉系数模拟第一分图像,好像第一特征的膜叠层覆盖整个衬底一样;不使用任何其他特征、单独由第二特征的第二掩模函数和传递交叉系数模拟第二分图像,好像第二特征的膜叠层覆盖整个衬底一样。

15. 一种计算机程序产品,包括具有存储其上的指令的计算机可读介质,所述指令在被计算机执行时实施上述权利要求中任一项所述的方法。

衬底拓扑可知的光刻模型化

技术领域

[0001] 本发明涉及一种衬底拓扑可知的光刻模型化方法。

背景技术

[0002] 例如,可以将光刻投影设备用在集成电路(IC)的制造中。在这种情况下,掩模可以包含对应IC的单层的电路图案,并且该图案被成像到已经涂覆有辐射敏感材料(抗蚀剂)层的衬底(例如,硅晶片)上的目标部分(例如,包括一个或多个管芯)上。通常,单个晶片将包含通过光刻投影设备的投影系统一次一个地被连续照射的相邻目标部分的整个网络。在一种类型的光刻投影设备中,通过将整个掩模图案一次曝光到目标部分上来照射每个目标部分;这种设备通常被称为晶片步进机。在替换的设备中,通常称为步进-扫描设备,通过沿给定的参照方向(“扫描”方向)在投影束下渐进地扫描掩模、同时同步地沿与该方向平行或反向平行的方向扫描衬底台来辐射每一个目标部分。因为通常投影系统将具有放大因子 M (通常 < 1),因此衬底台扫描的速度 V 将是掩模台扫描速度的因子 M 倍。有关如这里所述的光刻装置的更多信息可以参考例如美国专利US6046792,这里通过参考合并于此。

[0003] 在使用光刻投影设备的制造过程中,掩模图案被成像到至少由辐射敏感材料(例如抗蚀剂)层部分地覆盖的衬底上。在该成像步骤之前,衬底可以经过多种工序,例如涂底料、抗蚀剂涂覆和软烘烤。在曝光之后,衬底可以经历其它工序,例如曝光后烘烤(PEB)、显影、硬烘烤和成像特征的测量/检验。这一系列的工序被用作对器件(例如IC)的单层进行图案化的基础。然后,这样的图案化层可以经过多种处理,例如蚀刻、离子注入(掺杂)、金属化、氧化、化学-机械抛光等,所有这些处理用于完成对一个单层的处理。如果需要几个层,则对于每个新的层必须重复整个工序或其变体。最后,在衬底(晶片)上将形成器件的阵列。然后,这些器件通过例如划片(dicing)或切割等技术彼此分割开,然后独立的器件可以安装到连接至插脚等的载体上。

[0004] 为了简化起见,下文中投影系统可被称为“透镜”;然而,这个术语应该被广义地解释为包括各种类型的投影系统,包括例如折射式光学系统、反射式光学系统和反射折射式系统。辐射系统还可以包括根据用于引导、成形或控制投影辐射束的这些设计类型中的任意类型来操作的部件,并且这些部件在下文中还可以被统称为或单独地称为“透镜”。此外,光刻投影设备可以是具有两个或多个衬底台(和/或两个或多个掩模台)的类型。在这种“多台”装置中,附加的台可以并行地使用,或者在一个或多个台用于曝光的同时在一个或多个其他台上执行预备步骤。

[0005] 上面提及的光刻掩模包括与将要被集成到硅晶片上的电路部件相对应的几何图案。用来形成这种掩模的图案通过使用CAD(计算机辅助设计)程序来生成,这种过程通常被称为EDA(电子设计自动化)。大多数CAD程序依照一系列预定的设计规则以便产生功能化掩模。这些规则通过工艺和设计限制来设定。例如,设计规则限定电路器件(例如栅极、电容等)或互连线之间的间隔容许量,使得确保电路器件或线不会彼此以不希望的方式相

互作用 / 影响。通常,设计规则限制被称为“临界尺寸”(CD)。电路的临界尺寸可以被定义为线或孔的最小宽度或两条线或两个孔之间的最小间隔。因此,CD 决定所设计的电路的总的尺寸和密度。当然,集成电路制造的目标之一是在晶片上(通过掩模)忠实地复制原始电路设计。

[0006] 正如提到的,光刻是半导体集成电路制造过程中的核心步骤,其中形成在衬底上的图案限定半导体器件的功能元件,例如微处理器、存储器芯片等。类似的光刻技术也被用于形成平板显示器、微电子机械系统(MEMS)和其他器件。

[0007] 随着半导体制造过程持续进步,在每个器件的功能元件(例如晶体管)的数量在过去几十年中已经遵照通常被称作为“摩尔定律”的趋势稳定地增加的同时,电路元件的尺寸持续地减小。在目前的技术状态下,前沿器件的关键层使用已知为扫描器的光学光刻投影系统进行制造,其使用来自深紫外激光光源的照射将掩模图像投影到衬底上,产生具有 100nm 以下尺寸的电路特征,也就是尺寸小于投影光的波长的一半的各个电路特征。

[0008] 依照分辨率公式 $CD = k_1 \times \lambda / NA$,这种印刷具有小于光学投影系统的传统分辨率极限的尺寸的特征的工艺通常被称为低 k_1 (low- k_1) 光刻术,其中 λ 是所采用的辐射的波长(目前大多数情况是 248nm 或 193nm),NA 是投影光学装置的数值孔径,CD 是“临界尺寸”(通常是所印刷的最小特征尺寸),以及 k_1 是经验分辨率因子。通常, k_1 越小,越难以在晶片上复制与电路设计者设计的、以便获得特定电功能性和性能的形状和尺寸相符的图案。为了克服这些困难,对投影系统和掩模设计实施复杂的精细的微调步骤。这些步骤例如包括但不限于 NA 和光学相干性设置的优化、定制照射方案、使用相移掩模、掩模布局中的光学邻近效应校正,或其它通常称为“分辨率增强技术”(RET) 的方法。

[0009] 作为 RET 的一个重要示例,光学邻近效应校正(OPC) 解决这样的事实或问题,即,晶片上印刷的特征的最终尺寸和位置不是简单地作为掩模上的对应特征的尺寸和位置的函数。要注意的是,术语“掩模”和“掩模版”在此可以互换地使用。对于通常的电路设计中存在的小的特征尺寸和高的特征密度,给定特征的特定边缘的位置会由于其他邻近特征的存在或不存在而在一定程度上受到影响。这些邻近效应由于从一个特征到另一个特征耦合的小量的光而产生。类似地,邻近效应可能由于后曝光烘烤(PEB)、抗蚀剂显影以及通常跟随光刻曝光的蚀刻期间的扩散和其他化学效应而引起。

[0010] 为了确保在半导体衬底上根据给定目标电路设计的要求产生特征,需要使用复杂的数字模型预测邻近效应,并且需要在可以成功地制造高端器件之前将校正或预变形应用至掩模的设计中。在通常的高端设计中,几乎每一个特征边缘都需要一些修正,以便使印刷的图案能够充分接近目标设计。这些修正可以包括边缘位置或线宽的偏移或偏置以及应用本身不是为了印刷、但是将影响相关主要特征的属性的“辅助”特征。在半导体工业中,微光刻(或简单光刻)是在半导体晶片上印刷电路图案的工艺(例如,硅或 GaAs 晶片)。当前,光学光刻技术是用于半导体器件和诸如平板显示器等其他器件或装置的批量制造中的主要技术。这种光刻技术采用可见光至深紫外光谱范围的光曝光衬底上的光致抗蚀剂。未来,可以采用极紫外(EUV)和软 x 射线。曝光之后,抗蚀剂被显影以得出抗蚀剂图像。

[0011] 图 1 示出示例性的光刻投影系统 10。主要部件是:光源 12,其可以是例如深紫外受激准分子激光器源或具有包括 EUV 波长的其他波长的光源;照射光学元件,其限定部分相干性,并且可以包括特定源成形光学元件 14、16a 和 16b;掩模或掩模版 18;以及投影光

学元件 16c, 其将掩模版图案的图像产生到晶片平面 22 上去。在光瞳平面处的可调节滤光片或孔 20 可以限制入射到晶片平面 22 上的束角度的范围, 其中最大可能的角度限定投影光学元件的数值孔径 $NA = \sin(\theta_{\max})$ 。

[0012] 图 2 中示出模拟光刻投影设备中的光刻的示例性流程图。源模型 31 表示源的数学特性 (包括光强度分布和 / 或相分布)。投影光学元件模型 32 表示投影光学元件的数学特性 (包括由投影光学元件引起的光强度分布和 / 或相分布的改变)。设计布局模型 35 表示设计布局的数学特性 (包括给定设计布局 33 引起的相分布和 / 或光强度分布的改变), 其表示掩模上的多个特征的布置。空间图像 36 可以通过设计布局模型 35、投影光学元件模型 32 以及设计布局模型 35 模拟。使用抗蚀剂模型 37 可以通过空间图像 36 模拟抗蚀剂图像 38。光刻的模拟可以例如预测抗蚀剂图像中的轮廓和 CD。

[0013] 更具体地, 要注意的是, 源模型 31 可以表示源的数学特性, 其包括但不限于 $NA-\sigma$ 设置以及任何特定照射源形状 (例如离轴光源, 诸如环形的、四极的以及双极等)。投影光学元件模型 32 可以表示投影光学元件的数学特性, 包括像差、变形、折射率、物理尺寸、物理维度等。设计布局模型 35 也可以表示物理掩模的物理属性, 如例如美国专利第 7, 587, 704 号中描述的, 所述美国专利通过引用而被合并于本文中。模拟的目标是为了精确地预测例如边缘位置和 CD, 其随后可以与目标设计进行对比。目标设计通常被限定为预 OPC 设计布局, 并且可以以标准数字文件格式 (例如 GDSII 或 OASIS) 或其他文件格式被提供。

[0014] 当抗蚀剂被投影的图像曝光并且随后被烘烤和显影时, 抗蚀剂经历复杂的化学和物理改变。最终的抗蚀剂图案通常通过它们的临界尺寸或 CD 表征, 其中 CD 通常被限定为抗蚀剂 - 衬底界面处的抗蚀剂特征的宽度。虽然 CD 通常旨在表示在给定器件中被形成图案的最小的特征, 在实践中术语 CD 用于描述任意抗蚀剂特征的线宽。

[0015] 在大多数曝光工具中, 光学系统从掩模水平面到晶片水平面将图案的尺寸减小缩小倍数, 通常是 4 倍或 5 倍。为此, 在掩模水平面处的图案通常大于晶片水平面处的想要的图案, 这放宽了掩模水平面处所需的尺寸控制容差并改进了掩模制造工艺的产量和可制造性。曝光工具的这种缩小倍数在提到曝光工艺的“尺寸”时引起一定的混淆。这里, 特征尺寸和维度指的是晶片水平面处特征尺寸和维度, “最小特征尺寸”指的是晶片水平面处的最小特征。

[0016] 对于正确地图案化器件的曝光过程, 器件中的所有临界结构的 CD 必须被图案化以实现设计目标尺寸。因为在实践中不能毫无误差地实现每个目标 CD, 因此器件被设计有对于 CD 误差的特定容差。在此情况下, 如果全部临界特征的 CD 在这些预定容差范围内, 则图案被看作是可接受的。为了在制造环境中可以看到曝光过程, 整体 CD 分布在表示在工厂内预期发生的工艺变化的通常范围的整个工艺条件范围内必须落入容差限制内。例如, 名义上相同的工艺条件的实际剂量可以在偏离名义剂量达 $\pm 5\%$ 的范围内变化; 名义上相同的工艺条件的实际焦平面可以在偏离名义焦平面达 $\pm 100\text{nm}$ 的范围内变化。

[0017] 限制或劣化图案转移工艺的忠实度的因素或事实包括掩模制造过程中、投影光学元件中、抗蚀剂处理中以及投影光和晶片上形成的膜堆叠之间的相互作用的控制过程中的不完美或不理想。然而, 即使具有完美的掩模、完美的光学元件、完美的抗蚀剂系统以及完美的衬底反射性控制, 图像忠实度也变得难以保持, 因为被图像化的特征的尺寸变得小于

在曝光工具中使用的光的波长。对于使用 193nm 照射源的曝光过程,期望获得小到 65nm 的特征。在这种深亚波长情况中,图案转移工艺变得高度非线性,并且晶片水平面处的最终的图案尺寸变成不仅是对掩模水平面处图案的尺寸非常敏感的函数,而且是对特征的局部环境非常敏感的函数,其中局部环境延伸到光波长的大约 5 到 10 倍的半径以外。假设与波长相比特征尺寸非常小,甚至掩模上的相同结构将具有不同的晶片水平面处尺寸,这依赖于相邻特征的尺寸和邻近度,并且甚至不是紧邻但仍然在由曝光工具的光学元件限定的邻近区域内的多个特征。

[0018] 为了努力改善成像质量和最小化图案转移工艺中的高度非线性,当前的加工技术采用多种 RET 和 OPC (为克服邻近效应的所有技术的通称)。OPC 的最简单形式之一是选择性偏斜。给出 CD 随节距变化曲线,则通过改变在掩模水平面处的 CD、至少在最佳焦距和曝光处可以驱使全部不同的节距产生相同的 CD。因此,如果晶片水平面处的特征印刷太小,则掩模水平面处的特征将被偏置以致于稍微大于名义的值,反之亦然。因为从掩模水平面到晶片水平面的图案传递过程是非线性的,因此偏置的量不是简单的是在最佳焦距和曝光次数处的测量到的 CD 误差乘以减少因子,但是通过模型化和实验可以确定合适的偏置量。选择性的偏置对于邻近效应是不完整的解决方案,尤其是在其仅应用于名义工艺条件下。即使这种偏置原则上可以应用以给出在最佳焦距和曝光处的一致的 CD 随节距变化曲线,一旦曝光工艺变化偏离名义条件,每个偏置的节距曲线也将不同地响应,由此对于不同的特征导致不同的工艺窗口。因此,给出一致的 CD 随节距的变化的“最佳”偏置甚至对整个工艺窗口具有负面的影响,由此减小而不是扩大在想要的工艺容差范围内在晶片上印刷全部目标特征的焦距和曝光范围。

[0019] 已经发展了其他更为复杂的 OPC 技术用于超越上述一维偏差示例的应用。二维邻近效应是线端部缩短。线端部容易作为曝光和焦距的函数从想要的端点位置“拉回”。在许多情形中,长线端的端部缩短程度可以比相应的线变窄大几倍。如果线端部没有完全横跨下面的其想要覆盖的层,例如源极-漏极区上的多晶硅栅极层,则这种类型的线端部拉回可以导致制造的器件的灾难性的失效。因为这种类型的图案对焦距和曝光高度敏感,因此简单地偏置该线端部使其比设计长度长是不够的,因为在最佳焦距和曝光条件下的线或在曝光不足条件下的线将过分长,由此因为延长的线端部接触相邻的结构导致短路,或者在电路中的各个特征之间增加更多空间而导致不必要的大的电路尺寸。因为集成电路设计和制造的关键目标之一是最大化功能元件的数量,同时最小化每个芯片所需的面积,由此增加额外的间距是非常不希望的解决方案。

[0020] 二维的 OPC 方法已经发展起来用于解决线端部拉回问题。已知为“锤头”或“衬线”的额外的结构(或者辅助特征)通常被增加至线端部以有效地将它们固定在合适位置并在整个工艺窗口上提供减小的拉回。甚至在最佳焦距和曝光条件下,这些额外的结构也不被分辨出来,但是它们在本身没有完全被分辨出来的情况下改变了主特征的形貌。此处所用的“主特征”表示在工艺窗口中部分或全部条件下想要在晶片上印刷的特征。辅助特征可以采用比增加至线端部的简单的锤头形式更多的更好的形式,一定程度上掩模上的图案不再简单地是尺寸上扩大了缩小因子倍的想要的晶片图案。例如衬线等辅助特征可以应用于除简单减小线端部拉回以外的许多情形中。内部或外部衬线可以应用于任何边缘,尤其是二维边缘,以减小角部圆角或边缘挤压。使用全尺寸和极性的辅助特征和足够的选择

偏置,掩模上的特征越来越不象晶片水平面处想要的最终图案。通常,掩模图案变成晶片水平面处图案的预变形的版本,其中所述变形是为了抵消或颠倒在用以在晶片上形成尽可能接近设计者想要的图案的图案的光刻过程中将要发生的图案变形。

[0021] 这些 OPC 技术中的许多可以在具有被加入、用于分辨率和工艺窗口增强的不同相的相移结构的单个掩模上一起使用。当二维结构必须移动、调整大小、用辅助特征增强以及在不引起与邻近特征的任何冲突的情况下可能的相移时,偏置一维线的简单任务不断地变得复杂。由于深亚波长光刻技术的延伸的邻近范围,应用于特征的 OPC 类型的改变对于位于半微米至一微米范围内的另一特征具有非预期的结果或影响。因为在这个邻近范围内可能存在许多特征,因而随着加入更多的积极的方法,优化 OPC 修饰的任务变得越来越复杂。每个新的被加入的特征对其他特征具有影响,随后依次被重新校正,并且结果被重复地迭代以会聚于掩模布局,其中每个特征可以以这样的方式被印刷使得其是最初想要的,同时以正确的方式对其相邻的特征的空间图像作出贡献,使得它们在它们各自的容差范围内也被印刷。

发明内容

[0022] 这里描述的是用于模拟由入射辐射导致在衬底上的抗蚀剂层内形成的图像的方法,所述衬底具有在抗蚀剂层下面的第二特征和第一特征,所述方法包括步骤:在不使用入射辐射和第二特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第一特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第一分图像;在不使用入射辐射和第一特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第二特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第二分图像;由第一分图像 (partial image) 和第二分图像计算在抗蚀剂层内形成的图像;其中,入射辐射和第一特征的相互作用与入射辐射和第二特征的相互作用不同。

附图说明

- [0023] 图 1 是示出光刻系统的各个子系统的方框图;
- [0024] 图 2 是示出对应图 1 中的子系统的模拟模型的方框图;
- [0025] 图 3 示出衬底上的特征的示例;
- [0026] 图 4 示出根据一个实施例的方法的流程图;
- [0027] 图 5 示出由图 3 的示例得出的示例性衬底;
- [0028] 图 6 示出计算在两个特征的边界附近的波纹的示例。
- [0029] 图 7 是可以应用实施例的示例性计算机系统的方框图;
- [0030] 图 8 是实施例可以应用于其中的光刻投影设备的示意图。

具体实施方式

[0031] 下面将参照附图描述实施例,所述附图为本发明的说明性的示例。要注意的是,下面的附图和示例并不意味着将本发明的范围限制到单个实施例,相反通过替换所述的或所示的元件的一部分或全部,其他实施例也是可以的。而且,在使用已知的部件部分或全部应用文中描述的特定元件的情况下,将仅描述已知部件的那些对理解本发明是必要的部分,并且这些已知部件的其他部分的详细描述将被省略以便不会混淆本发明。正如本领域技术

人员清楚的,如果这里没有具体指出,描述为被软件实施的实施例不应该限制于此,而可以包括在硬件中实施的实施例,或在软件和硬件的组合中实施的实施例,并且反之亦然。在本说明书中,如果这里没有明确地指出,示出单个部件的实施例不应该看作限制;相反,本发明的范围应该包括其他包含多个相同部件的实施例,并且反之亦然。而且,如果这里没有明确地提出,在说明书中或权利要求中的任何术语不表示不普遍的或特定的含义。

[0032] 在光刻过程期间从掩模到衬底的图案转移过程受来自投影光学元件的入射辐射被抗蚀剂层下面的衬底上的特征散射的影响,尤其在所述特征小于入射辐射的波长的時候或在衬底没有抗反射涂层 (BARC) 的时候。

[0033] 在此所用的术语“入射辐射”意味着入射在衬底上的辐射。入射辐射可以具有任意的强度、空间以及相轮廓。例如,入射辐射可以是来自源成形光学元件、掩模以及投影光学元件成形的光源的辐射。入射辐射可以通过实验测量,或通过任何合适的模型化方法、由光刻投影设备的多个部件的特性模拟。在此所用的术语“散射”或“散射的”表示入射辐射的影响的结合,其可以包括反射、衍射以及折射。散射的辐射可以与入射辐射干涉并改变抗蚀剂层中的辐射的空间强度分布,这依次改变其中形成的抗蚀剂图像。这种散射可以引起最终的抗蚀剂图像的变形或扭曲,因而也应该在 OPC 中被补偿。如果与入射辐射具有不同的相互作用的多个特征在衬底上,则这种散射的影响可能更加复杂。在一个实施例中,与入射辐射的不同相互作用可能是由于特征内的膜堆叠或膜叠层中的不同;在一个实施例中,不同的相互作用可能是由于特征的高度的差异。术语“特征”应该广义地解释为衬底上的离散的或连续的区域。此处所用的“离散”意味着具有两个或更多个不连接的部分的特征(例如,图 3 中的特征 301 或特征 302)。例如,如图 3 所示,两个不同的材料,材料 310 和材料 320,位于衬底 350 上抗蚀剂 340 之下。材料 310 和材料 320 部分重叠。从 OPC 的角度看,在本示例中可以识别三个特征(在图 3 中用特征 301、特征 302 以及特征 303 标记)。特征 301 是离散的区域,在该区域仅材料 310 涂覆衬底 350;特征 302 是离散的区域,在该区域材料 310 和材料 320 重叠并且都涂覆衬底 350;特征 303 是连续区域,在该区域仅材料 320 涂覆衬底 350。因为不同的材料堆叠,特征 301、特征 302 以及特征 303 与入射辐射不同地相互作用。特征的其他示例包括 STI (shallow trench isolation, 浅沟道隔离)、源极/漏极(通常是重掺杂硅)。STI 是集成电路特征,其阻止相邻半导体器件部件之间的电流泄漏。STI 通常用于在 250 纳米或更小尺寸的 CMOS 工艺技术节点上。可以通过在衬底中蚀刻沟道的图案、沉积一种或多种介电材料(例如二氧化硅)以填充所述沟道、以及使用诸如化学机械平面化等技术去除过量的介电质来形成 STI。可以通过诸如离子植入和掺杂剂扩散等技术形成晶体管的源极和漏极。

[0034] 被衬底上的特征散射的效应可以通过求解麦克斯韦方程严格地预测,但是其计算成本高并且难以实际应用至整个衬底或整个掩模。传统的方法是通过忽略散射辐射和入射辐射中的干涉来减小计算成本,其不能精确地预测散射效果。

[0035] 根据一些方面,在考虑由于衬底上的特征带来的散射辐射的同时,计算抗蚀剂层中的模拟的图像。在一些实施例中,可以通过使用图 4 的流程图中示出的示例方法得出辐射在抗蚀剂层中的空间强度分布。

[0036] 在步骤 401,衬底上的抗蚀剂层内或下面的不同的特征可以识别。例如通过掩模图案或衬底的成像可以识别特征。用以识别所述特征的掩模图案是掩模内的用以在衬底上印

刷这些特征的图案。例如,特征 301、302 以及 303 可以通过图 3 中的衬底识别。在一个实施例中,衬底上的材料叠层对整个特征是相同的。在另一实施例中,特征可以包括特征的边界以内衬底上的不同的材料叠层。

[0037] 在步骤 402,使用入射辐射和该特征的相互作用、而不使用入射辐射和其他被识别的特征的相互作用来模拟每个被识别的特征在抗蚀剂内的分图像 (partial image)。对应一个被识别的特征而被模拟的分图像在空间上不限定在所述被识别的特征的边界内,而是可以延伸超出该被识别的特征的边界。此处所用的术语“分图像”意味着辐射在抗蚀剂层内的空间强度分布,其通过使用利用入射辐射和该特征的相互作用、而不使用入射辐射和其他被识别的特征的相互作用的任何合适的方法来计算。例如,可以使用仅一个识别的特征而不用任何其他的识别特征由衬底计算分图像。使用图 3 的示例,图 5 分别示出仅具有特征 301、特征 302 以及特征 303 的衬底。使用任何合适的方法可以计算分图像。在一个实施例中,好像没有来自特征的散射一样,在抗蚀剂层的曝光表面处的辐射轮廓可以使用本领域技术人员已知的任何合适的方法计算。这种辐射轮廓与特征无关,因而可以在每个分图像的计算中再次使用。随后可以计算特征引起的辐射轮廓的散射并与辐射轮廓结合以求出分图像。

[0038] 在一个实施例中,可以使用如图 2 示出的模拟方案、并通过入射辐射和并入投影光学元件模型 32 中的特征之间的相互作用计算分图像。也就是说,特征可以看作投影光学元件的一部分,并且入射辐射和特征之间的相互作用因而被并入投影光学元件模型 32 中。例如,光刻投影设备的投影光学元件和源的相结合的光学行为可以通过传递交叉系数 (TCC) 表示。空间图像 AI 可以表示为

$$\begin{aligned}
 [0039] \quad AI(x) &= \sum_k \left| A(k) \sum_{k'} M(k'-k) L(k') \exp(-jk'x) \right|^2 \\
 [0040] \quad &= \sum_k A(k)^2 \left[\sum_{k'} \sum_{k''} M(k'-k) L(k') M^*(k''-k) L^*(k'') \exp(-j(k'-k'')x) \right] \\
 [0041] \quad & \hspace{15em} (\text{方程} \\
 [0042] \quad &= \sum_{k'} \sum_{k''} \left[\sum_k A(k)^2 L(k+k') L^*(k+k'') \right] M(k') M^*(k'') \exp(-j(k'-k'')x) \\
 [0043] \quad &= \sum_{k'} \sum_{k''} TCC_{k',k''} M(k') M^*(k'') \exp(-j(k'-k'')x) \\
 [0044] \quad &1) \\
 [0045] \quad \text{其中 } TCC_{k',k''} &\equiv \sum_k A(k)^2 L(k+k') L^*(k+k'') \quad (\text{方程 } 2)
 \end{aligned}$$

[0046] AI(x) 是空间域内的空间图像。A(k) 是源的空间频率域内的振幅函数,并且可以通过傅里叶变换由源的空间域内的振幅得到。L(k) 是空间频率域内的投影光学元件函数,并且可以通过傅里叶变换由投影光学元件的空间域内的投影光学元件函数得到。空间域内的投影光学元件函数表示由于投影光学元件引起的、通过投影光学元件的光的变形(例如,振幅、相或两者的变形)作为位置的函数。此处,如果特征的散射被并入投影光学元件模型 32,则 L(k) 也将表示来自源的光的散射和变形。M(k) 是空间频率域内的掩模函数(即,设计布局函数),并且可以通过傅里叶变换由掩模函数得到。空间域内的掩模函数表示由掩模引起的、通过掩模的光的变形(例如,振幅、相或两者的变形)作为位置的函数。更多内容可以在例如美国专利第 7,587,704 号中找到,其通过参考全文并于此。空间域内的函数可以通过傅里叶变换变换成空间频率域内的对应的函数,反之亦然。此处,x 和 k 都

是矢量。方程 2 中限定的 $TCC_{k',k''}$ 是张量,其仅包括排除掩模的光刻投影设备的光学属性。空间图像 (AI) 是衬底上的光强度分布。衬底上的抗蚀剂层被曝光并且空间图像被转移至抗蚀剂层作为其内的潜“抗蚀剂图像” (RI)。抗蚀剂图像 (RI) 可以被限定为抗蚀剂在抗蚀剂层内的溶解度的空间分布。抗蚀剂模型可以用于通过空间图像计算抗蚀剂图像,其一个示例可以在共同受让的系列号为 12/315,849 的美国专利申请中找到,其公开内容通过参考全文并入此。抗蚀剂模型仅涉及抗蚀剂层的属性(例如,在曝光、PEB 以及显影期间发生的化学处理的影响)。TCC 的更多内容可以在共同受让的系列号为 61/414787 的美国专利申请中找到,其公开内容通过参考全文并于此。

[0047] 在一个实施例中,特征 301 的分图像 PI_1 和特征 302 的分图像 PI_2 可以计算如下:

$$[0048] \quad PI_1(x) = \sum_{k'} \sum_{k''} TCC_{k',k''} M_1(k') M_1^*(k'') \exp(-j(k' - k'')x),$$

$$[0049] \quad PI_2(x) = \sum_{k'} \sum_{k''} TCC_{k',k''} M_2(k') M_2^*(k'') \exp(-j(k' - k'')x),$$

[0050] 其中 M_1 是没有任何其他特征的情况下单独的特征 301 的掩模函数, M_2 是没有任何其他特征的情况下单独的特征 302 的掩模函数, $TCC_{k',k''}{}_{,1}$ 是假定特征 1 的膜堆叠/膜叠层覆盖整个衬底时的 TCC, $TCC_{k',k''}{}_{,2}$ 是假定特征 302 的膜堆叠/膜叠层覆盖整个衬底时的 TCC。

[0051] 在步骤 403,随后分图像和它们的干涉被结合以求出抗蚀剂层内图像 PI (即,辐射的空间强度分布)。例如,特征 301 的分图像 PI_1 和特征 302 的分图像 PI_2 可以通过 $PI = PI_1 + PI_2 + 2\sqrt{PI_1 \times PI_2} \cos\theta$ (方程 3) 得出,其中第三项是 PI_1 和 PI_2 的干涉, θ 是 PI_1 和 PI_2 之间的相差。 θ 是位置的函数。 θ 可以通过 PI_1 和 PI_2 之间的平均相差近似(假定入射辐射是平面波),或通过在给定位置处的 PI_1 和 PI_2 之间的相差近似。 θ 可以由特征 301 和特征 302 的诸如它们的折射率和它们的厚度等特性得出。当然,这种方法不限于两个特征,而是可以应用于任何数量的特征。这种方法计算成本小很多并且可以应用于整个衬底或整个掩模。通过分析测量的 CD 数据,使用严格的模型可以计算干涉。一对特征的分图像之间的干涉可以被计算并在库中组织,使得可以通过从库中找出干涉、使用方程 (3) 计算辐射的空间强度分布,而不用再次计算干涉。库可以包括索引。

[0052] 在另一实施例中,干涉还可以包括特征之间的边界附近的分图像的干涉波纹。例如,核函数可以被限定成使得核函数具有在特征之间的边界附近的波纹并且在别的位置为零。在另一示例中,核函数在每个位置具有波纹。图 6 示出示例性的核函数 K (上部分)。核函数可以通过经验限定、通过严格的模拟结果构建或者通过经验数据构建。核函数可以依赖于特征的诸如侧壁角度、透射率、折射率等多种特性。可以在库中预限定和存储一组核函数,其中库内的每个核函数是用于特定的一对材料叠层的两个特征之间的边界。示例性核函数可以是高斯函数包络的余弦函数: $\cos(kx - \theta_0) \cdot e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$, 其中 x 是距离两个特征之间的边界的距离,所有其他变量是拟合参数。在一个实施例中,由方程得出图像 PI : $PI = PI_1 + PI_2 + (2\sqrt{PI_1 \times PI_2} \cos\theta + b(x, y) \otimes K)$ (方程 4), 其中 $b(x, y)$ 是仅在特征的边界附近的非零值的函数(如图 6 中的示例中所示), K 是核函数,以及 \otimes 表示卷积。 θ 可以通过上述的任一种方法近似,例如 PI_1 和 PI_2 之间的平均相差。

[0053] 干涉 $(2\sqrt{PI_1 \times PI_2} \cos\theta + b(x, y) \otimes K)$ 包括特征的边界附近的干涉波纹 $b(x, y) \otimes K$ 。

[0054] 图 4 中示出的方法不限于仅两个特征。例如, 图像 PI 可以是多个特征的多个分图像的总和, 并且每对分图像之间的干涉为: $PI = \sum_{i=1}^n PI_i + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1; i \neq j}^n \text{干涉}(PI_i, PI_j)$ 。

[0055] 可以通过应用例如高斯模糊等模糊以及应用阈值、从空间强度分布估计抗蚀剂图像。当然, 可以通过使用任何其他合适的方法估计抗蚀剂图像。这种估计过程 (例如, 高斯模糊中的参数) 依赖于抗蚀剂的特性和任何曝光后的处理, 例如显影和烘烤。

[0056] 图 7 是示例性方块图, 其示出可以帮助具体化和 / 或实施这里公开的图案选择方法的计算机系统 100。计算机系统 100 包括用于通信信息的总线 102 或其它通信机构, 以及与总线 102 耦合的用于处理信息的一个或多个处理器 104 (和 105)。计算机系统 100 还包括耦合至总线 102 的、用于存储将由处理器 104 执行的指令和信息的主存储器 106, 例如随机存取存储器 (RAM) 或其它动态存储装置。主存储器 106 也可用来存储在将由处理器 104 执行指令的期间的临时变量或其它中间信息。计算机系统 100 还包括用来存储用于处理器 104 的指令和静态信息的耦合至总线 102 的只读存储器 (ROM) 108 或其它静态存储装置。提供有存储装置 110, 如磁盘或光盘, 并将其耦合至总线 102 用来存储信息和指令。

[0057] 计算机系统 100 可通过总线 102 耦合至显示器 112, 例如用来显示信息给计算机用户的阴极射线管 (CRT) 或平板或触摸板显示器。包括字母数字键和其它键的输入装置 114 耦合至总线 102, 用于对处理器 104 进行信息和命令选择通信。另一种类型的用户输入装置是光标控制器 116 (如鼠标、轨迹球或光标方向键), 用于与处理器 104 进行方向信息和命令选择通信并用于控制光标在显示器 112 上的移动。这种输入装置通常在两个轴线 (第一轴线 (如 x) 和第二轴线 (如 y)) 上具有两个自由度, 这允许所述装置指定平面上的位置。触摸板 (显示屏) 显示器也可用作输入装置。

[0058] 根据本发明的一个实施例, 通过计算机系统 100、响应于处理器 104 执行包含在主存储器 106 内的一个或多个指令的一个或多个序列可以执行模拟过程的一部分。这些指令可以从例如存储装置 110 等另一计算机可读介质被读入到主存储器 106。包含在主存储器 106 内的指令序列的执行引起处理器 104 执行这里所述的工艺步骤。还可以采用在多处理布置中的一个或多个处理器以执行包含在主存储器 106 中的指令序列。在替换的实施例中, 可以使用硬连线电路代替或与软件指令结合。因此, 实施例不限于任何具体的硬件电路和软件的组合。

[0059] 这里使用的术语“计算机可读介质”指的是参与提供指令给处理器 104 用于执行的任何介质。这种介质可以采用任何形式, 包括但不限于非易失性介质、易失性介质和传输介质。非易失性介质包括例如光盘或磁盘, 如存储装置 110。易失性介质包括动态存储器, 例如主存储器 106。传输介质包括同轴电缆、铜线和光纤, 包括包含总线 102 的导线。传输介质也可采用声学或光波的形式, 例如那些在射频 (RF) 和红外 (IR) 数据通信期间产生的光波等。计算机可读介质的一般形式包括例如软盘、软碟、硬盘、磁带, 任何其它磁性介质, CD-ROM、DVD, 任何其它光介质, 穿孔卡片、纸带, 任何其它具有孔图案的物理介质, RAM、PROM 和 EPROM、FLASH-EPROM, 任何其它存储器芯片或卡带, 如下文所描述的载波, 或其它任何计算机可读的介质。

[0060] 计算机可读介质的各种形式可以涉及将一个或多个指令中的一个或多个序列传送至处理器 104 以便执行。例如, 指令可能最初存在于远端计算机的磁盘上。远端计算机

可将指令加载到其动态存储器中并采用调制解调器经由电话线发送指令。位于计算机系统 100 本地的调制解调器可接收电话线上的数据并利用红外发送器将数据转换成红外信号。耦合到总线 102 的红外检测器可接收加载在红外信号中的数据并将数据置于总线 102 上。总线 102 将数据传送到主存储器 106, 其中处理器 104 从主存储器 106 中检索并执行指令。被主存储器 106 接收的指令在其被处理器 104 执行之前或之后可选择地存储在存储装置 110 上。

[0061] 优选地, 计算机系统 100 还包括耦合到总线 102 的通信接口 118。通信接口 118 提供耦合至连接到本地网络 122 的网络链接 120 的双向数据通信。例如, 通信接口 118 可以是用以提供至相应类型电话线的数据通信连接的综合服务数字网 (ISDN) 卡或调制解调器。作为另一示例, 通信接口 118 可以是用以提供至可兼容的 LAN 的数据通信连接的局域网 (LAN) 卡。也可采用无线链接。在任何这样的实施方式中, 通信接口 118 发送并接收携带表示各种类型信息的数字数据流的电学的、电磁的或光学的信号。

[0062] 网络链接 120 通常通过一个或多个网络向其它数据装置提供数据通信。例如, 网络链接 120 可提供通过本地网络 122 到主机 124 的连接或到由互联网服务提供商 (ISP) 126 运行的数据设备的连接。ISP 126 则反过来通过如今通常称为“互联网” 128 的全球分组数据通信网络提供数据通信服务。本地网络 122 和互联网 128 都采用携带数字数据流的电学的、电磁的或光学的信号。通过各种网络的信号和网络链接 120 上的并通过通信接口 118 的信号是传输信息的载波的示例性形式, 其中通信接口 118 向计算机系统 100 加载数字数据和从计算机系统 100 获取数字数据。

[0063] 计算机系统 100 可通过网络、网络链接 120 和通信接口 118 发送信息并接收数据, 包括程序代码。在互联网示例中, 服务器 130 可通过互联网 128、ISP 126、本地网络 122 和通信接口 118 发送应用程序所需要的代码。根据一实施例, 例如, 一种下载的应用程序可以提供实施例的测试图案选择。接收到的代码当其被接收时可通过处理器 104 来执行, 和 / 或存储在存储装置 110 中或其它非易失性存储器中用于后续执行。以这种方式, 计算机系统 100 可获得载波形式的应用程序代码。

[0064] 图 8 示意地示出示例性光刻投影设备, 其性能可以通过使用文中描述的方法进行模拟和 / 或优化。所述设备包括:

[0065] - 辐射系统 Ex、IL, 其用于提供投影辐射束 B。在这个特定情形中, 辐射系统还包括辐射源 S0;

[0066] - 第一物体台 (掩模台) MT, 其设置有用于保持掩模 MA (如掩模版) 的掩模保持装置, 并连接到用以相对于投影系统 PS 精确定位掩模的第一定位装置 PM;

[0067] - 第二物体台 (衬底台) WT, 其设置有用于保持衬底 W (如涂覆有抗蚀剂的硅晶片) 的衬底保持装置, 并连接到用以相对于投影系统 PS 精确定位衬底的第二定位装置 PW;

[0068] - 投影系统 (“透镜”) PS (如折射式的、反射式的或反射折射式的光学系统), 其用于将掩模 MA 的被辐射部分成像到衬底 W 的目标部分 C (如包括一个或多个管芯) 上。

[0069] 如这里描述的, 该设备是透射型的 (也就是具有透射式掩模)。然而, 通常, 例如, 它也可能是反射型的 (具有反射式掩模)。可选地, 该设备可采用另一种图案形成装置作为掩模使用的替换; 示例包括可编程反射镜阵列或 LCD 矩阵。

[0070] 源 S0 (例如汞灯或准分子激光器) 产生辐射束。例如, 该束直接地或在穿过诸如

扩束器或束传递系统 BD 等调节装置之后,进入照射系统(照射器)IL。照射器 IL 可包括用于设定所述束中的强度分布的外部和 / 或内部径向范围(通常分别称为 σ -外部和 σ -内部)的调节装置 AD。此外,它通常包括各种其它部件,例如积分器 IN 和聚光器 CO。以这种方式,照射到掩模 MA 上的束 B 在其横截面上具有所需的均匀性和强度分布。

[0071] 应该注意,关于图 8,源 S0 可以位于光刻投影设备的壳体内(例如,当源 S0 是汞灯时,通常是这种情况),但是它也可远离光刻投影设备,源产生的辐射束被引导进入所述设备(如通过合适的定向反射镜的帮助);当源 S0 是准分子激光器(如基于 KrF、ArF 或 F2 产生激光)时,通常是后面的这种情况。本发明至少包含这些情形中的这两者。

[0072] 束 B 随后与保持在掩模台 MT 上的掩模 MA 相交。在穿过掩模 MA 后,束 B 穿过透镜 PS,该透镜将束 PS 聚焦到衬底 W 的目标部分 C 上。在第二定位装置(和干涉测量装置 IF)的帮助下,衬底台 WT 可以被精确地移动以便例如将不同目标部分 C 定位于束 B 的路径中。类似地,例如在从掩模库的机械获取掩模 MA 之后,或在扫描期间,可以将所述第一定位装置用于相对于所述束 B 的路径精确地定位所述掩模 MA。通常,可以通过图 8 中未明确示出的长行程模块(粗定位)和短行程模块(精定位)的帮助来实现物体台 MT、WT 的移动。然而,在晶片步进机(与步进-扫描工具相反)的情形中,掩模台 MT 可仅连接到短行程致动器,或可以是固定的。

[0073] 如果需要,可以使用图案形成装置中的对准标记 M1、M2 和晶片上的对准标记 P1、P2 对准图案形成装置 MA 和衬底 W。

[0074] 所述的工具可以在不同的模式中使用,包括:

[0075] - 在步进模式中,将掩模台 MT 保持基本静止,并且将整个掩模图像一次投影(即,单次“闪”)到目标部分 C 上。然后将所述衬底台 WT 沿 X 和 / 或 Y 方向移动,使得可以用所述束 B 辐射不同的目标部分 C;

[0076] - 在扫描模式中,基本上使用相同的情形,除了给定目标部分 C 不在单次“闪”中曝光。替代地,掩模台 MT 在给定方向(所谓“扫描方向”,如 y 方向)上是可移动的,并具有速度 v ,以使得投影束 PB 扫描掩模图像;同时,衬底台 WT 沿相同或相反的方向以速度 $V = Mv$ 同步地移动,其中 M 是透镜 PL 的放大倍数(通常, $M = 1/4$ 或 $1/5$)。以这种方式,在不牺牲分辨率的情况下,可以曝光相对大的目标部分 C。

[0077] 这里公开的概念或方法可以模拟或数学上模型化用于成像亚波长特征的任何一般的成像系统,并且可以尤其对新兴的能够产生日益变小的更小尺寸的波长的成像技术有用。已经使用的新兴的技术包括 DUV(深紫外)光刻技术,其能够通过使用 ArF 激光器产生 193nm 波长,甚至通过使用氟激光器产生 157nm 波长。而且, EUV 光刻技术能够通过使用同步加速器或通过用高能电子撞击材料(固态或等离子体)以产生在 20-5nm 范围内的光子,从而产生在该范围内的波长。因为大多数材料在该范围内是吸收性的,因此可以通过具有钼和硅的多叠层的反射镜产生照射。多叠层反射镜具有 40 层成对的钼和硅,其中每一层的厚度是四分之一波长。通过 X 射线光刻技术甚至能产生更小的波长。通常,同步加速器用于产生 X 射线波长。因为大多数材料对于 X 射线波长是吸收性的,吸收材料的薄片限定特征将在何处印刷(正抗蚀剂)或不印刷(负抗蚀剂)。

[0078] 虽然这里所公开的概念可以用于在诸如硅晶片等衬底上成像,但是应该理解,所公开的概念可以与任何类型的光刻成像系统一起使用,例如那些用于在硅晶片以外的衬底

上成像的设备或系统。

[0079] 本领域普通技术人员应该清楚,在不脱离本发明的精神和范围的情况下可以在形式和细节上作出变化和修改。未决的权利要求包含这些变化和修改。此处公开的概念可以模拟或数学模型化任何一般的用于成像亚波长特征的成像系统,并且可以尤其对新兴的能够产生日益变小的更小尺寸的波长的成像技术有用。已经使用的新兴技术包括 EUV(极紫外)光刻技术,其能够用 ArF 激光器产生 193nm 波长,甚至使用氟激光器产生 157nm 波长。而且, EUV 光刻技术能够通过使用同步加速器或通过用高能电子撞击材料(固态或等离子体)以产生在 20-5nm 范围内的光子,从而产生在 20-5nm 范围内的波长。

[0080] 虽然这里所公开的概念可以用于在诸如硅晶片等衬底上成像,但是应该理解,所公开的概念可以与任何类型的光刻成像系统一起使用,例如那些用于在硅晶片以外的衬底上成像的设备或系统。

[0081] 本发明还可以使用下面各方面描述:

[0082] 1. 一种用于模拟由入射辐射导致在衬底上的抗蚀剂层内形成的图像的方法,所述衬底具有在抗蚀剂层下面的第二特征和第一特征,所述方法包括步骤:

[0083] 在不使用入射辐射和第二特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第一特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第一分图像;

[0084] 在不使用入射辐射和第一特征的相互作用的情况下使用入射辐射和第二特征的相互作用模拟在抗蚀剂层内的第二分图像;

[0085] 由第一分图像和第二分图像计算在抗蚀剂层内形成的图像;

[0086] 其中,入射辐射和第一特征的相互作用与入射辐射和第二特征的相互作用不同。

[0087] 2. 根据方面 1 所述的方法,其中计算所述图像的步骤还包括由第一分图像、第二分图像以及干涉计算所述图像。

[0088] 3. 根据方面 2 所述的方法,其中所述干涉包括第一分图像和第二分图像的干涉。

[0089] 4. 根据方面 2 所述的方法,其中所述干涉包括在第一特征和第二特征的边界附近的第二分图像和第二分图像的干涉波纹。

[0090] 5. 根据方面 1-4 中任一项所述的方法,其中入射辐射和第一特征的相互作用是入射辐射被第一特征散射;或其中,入射辐射和第二特征的相互作用是入射辐射被第二特征散射。

[0091] 6. 根据方面 1-4 中任一项所述的方法,其中第一特征是离散的或其中第二特征是离散的。

[0092] 7. 根据方面 2-4 中任一项所述的方法,其中使用严格模型或通过分析测量的 CD 数据计算所述干涉。

[0093] 8. 根据方面 1-4 中任一项所述的方法,其中衬底上的材料叠层对于整个第一特征是相同的,或者,衬底上的材料叠层对于整个第二特征是相同的。

[0094] 9. 根据方面 1-4 中任一项所述的方法,其中由仅具有第一特征、不具有第二特征的衬底模拟第一分图像,并且由仅具有第二特征、不具有第一特征的衬底模拟第二分图像。

[0095] 10. 根据方面 2-3 中任一项所述的方法,其中使用第一分图像和第二分图像之间的相差计算第一分图像和第二分图像之间的干涉。

[0096] 11. 根据方面 10 所述的方法,其中第一分图像和第二分图像之间的相差是第一分

图像和第二分图像之间的平均相差。

[0097] 12. 根据方面 4 所述的方法,其中由核函数计算干涉波纹。

[0098] 13. 根据方面 12 所述的方法,其中通过经验限定核函数、由严格模拟构建核函数或通过实验数据构建核函数。

[0099] 14. 根据方面 12 所述的方法,其中核函数依赖于第一特征和第二特征的特性。

[0100] 15. 根据方面 14 所述的方法,其中所述特性包括侧壁角度、透光率、折射率或者它们的组合。

[0101] 16. 根据方面 12 所述的方法,其中核函数选自一组核函数,该组核函数的每一个用于一对特定的材料叠层的两个特征之间的边界。

[0102] 17. 根据方面 1-16 中任一项所述的方法,其中入射辐射的波长在极紫外带中。

[0103] 18. 根据方面 1-17 中任一项所述的方法,其中衬底没有抗反射涂层。

[0104] 19. 根据方面 1-18 中任一项所述的方法,其中第一和第二特征中的至少一个的尺寸小于入射辐射的波长。

[0105] 20. 根据方面 1-19 中任一项所述的方法,其中第一特征和第二特征具有不同的高度。

[0106] 21. 根据方面 12 所述的方法,其中在库内预限定和存储核函数,其中库内的每个核函数用于一对特定的材料叠层的两个特征之间的边界。

[0107] 22. 根据方面 1-4 中任一项所述的方法,其中不使用任何其他特征的情况下单独由第一特征的第一掩模函数和传递交叉系数模拟第一分图像,好像第一特征的膜叠层覆盖整个衬底一样;不使用任何其他特征的情况下单独由第二特征的第二掩模函数和传递交叉系数模拟第二分图像,好像第二特征的膜叠层覆盖整个衬底一样。

[0108] 23. 一种计算机程序产品,包括具有存储其上的指令的计算机可读介质,所述指令在被计算机执行时实施上述各方面中任一项所述的方法。

[0109] 上面的说明书是为了说明而不是为了限制。因此,本领域技术人员应该清楚,在不脱离权利要求的范围的情况下可以作出修改。

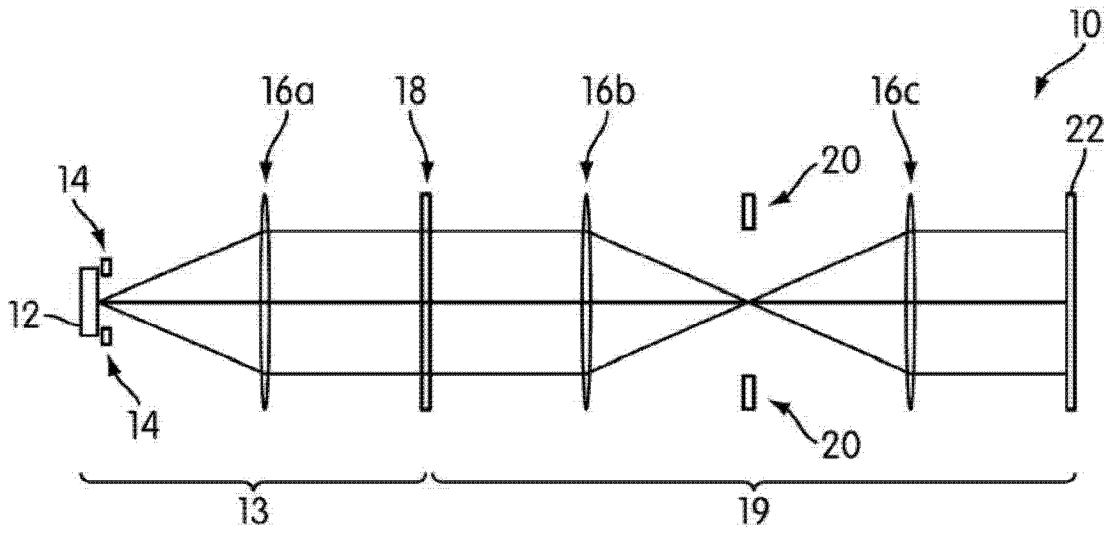


图 1

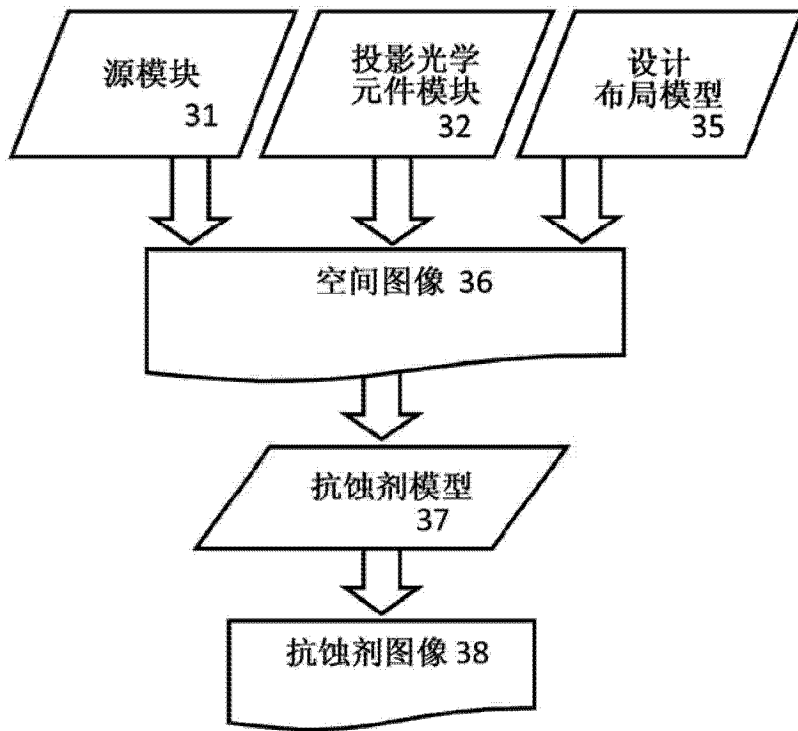


图 2

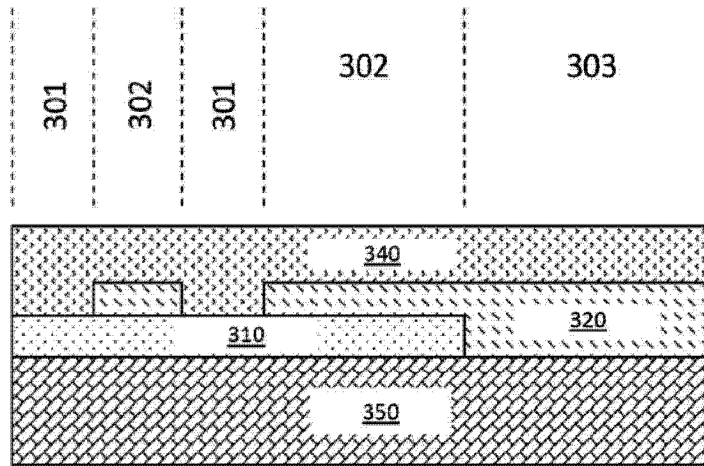


图 3

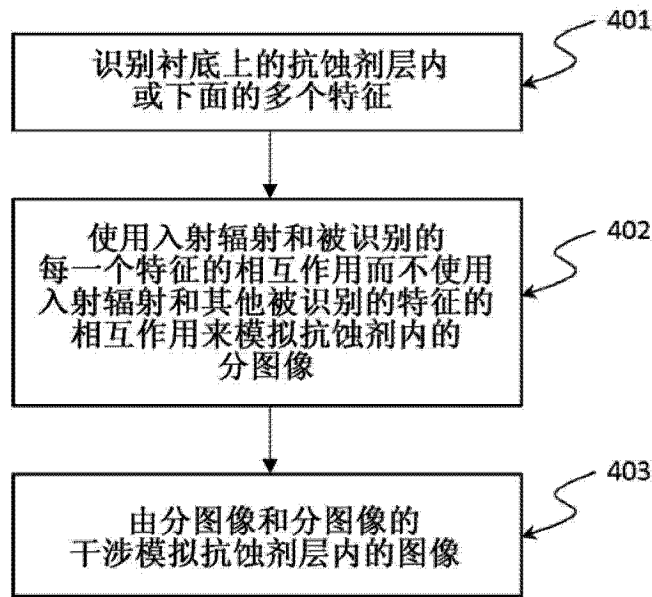


图 4

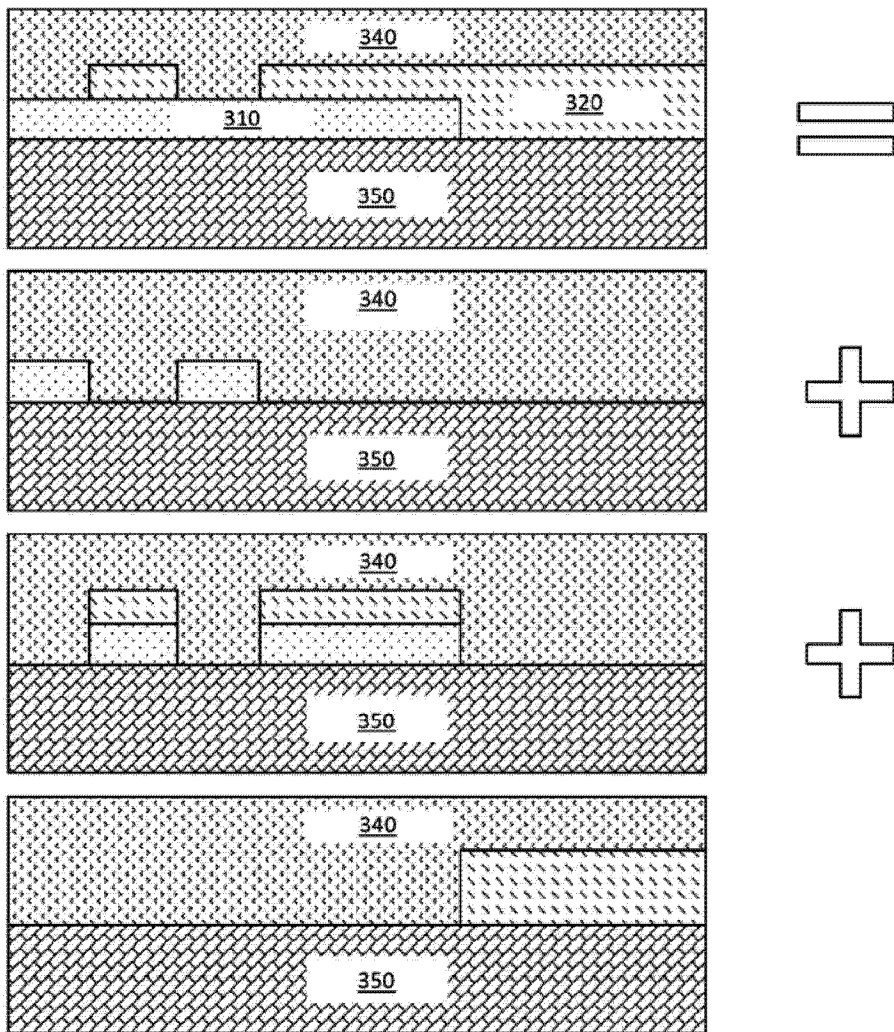


图 5

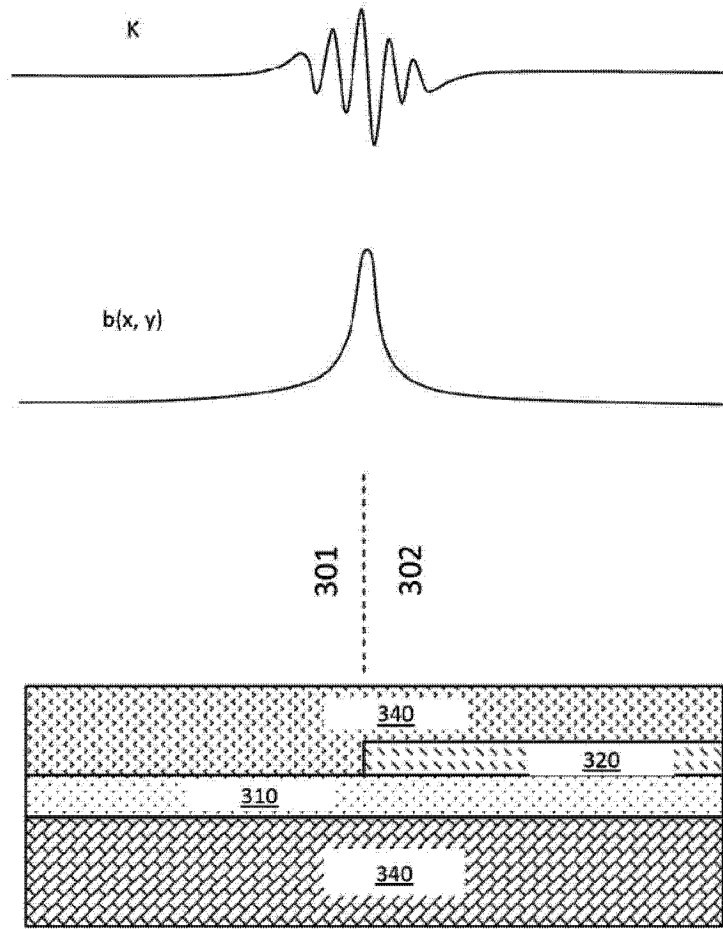


图 6

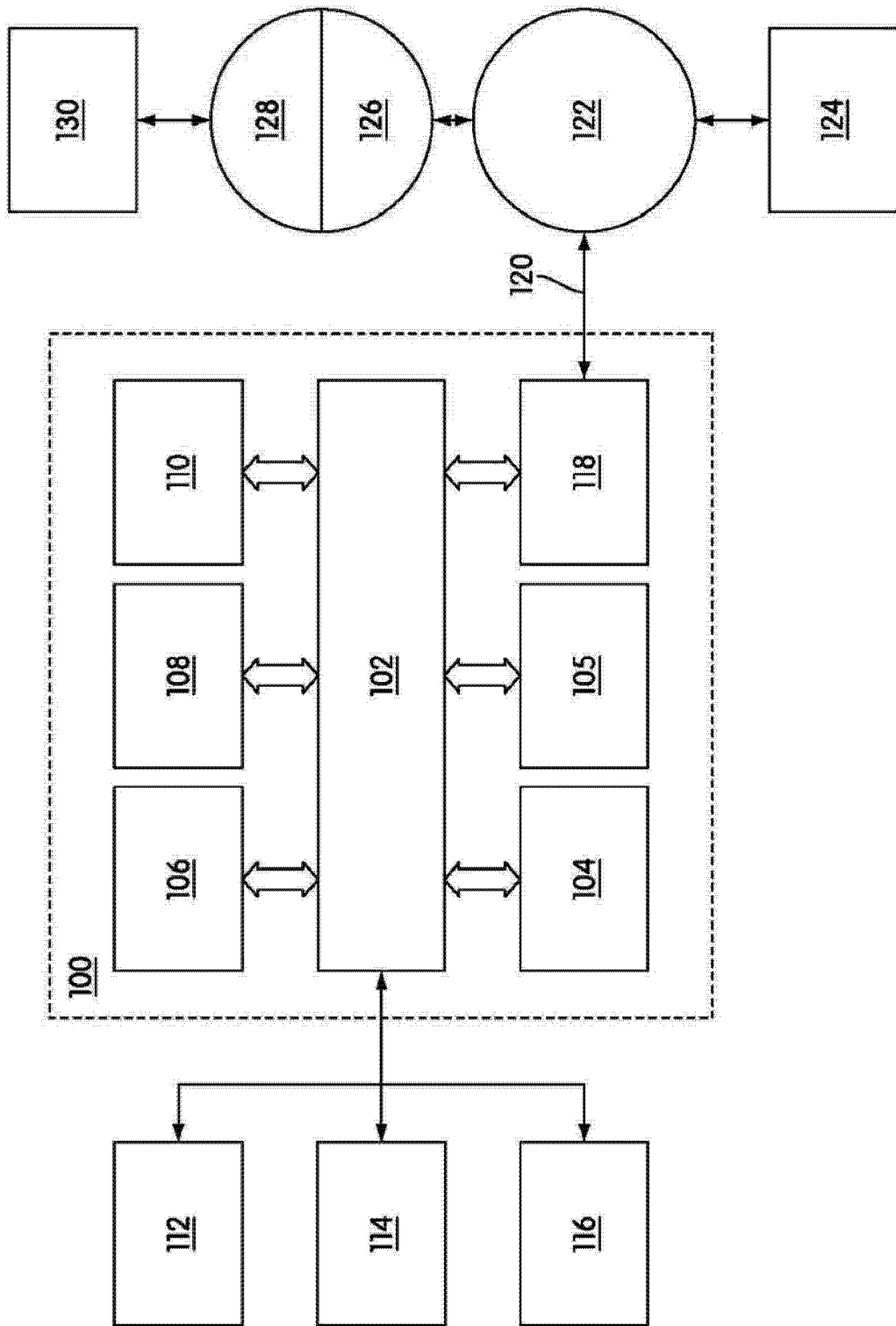


图 7

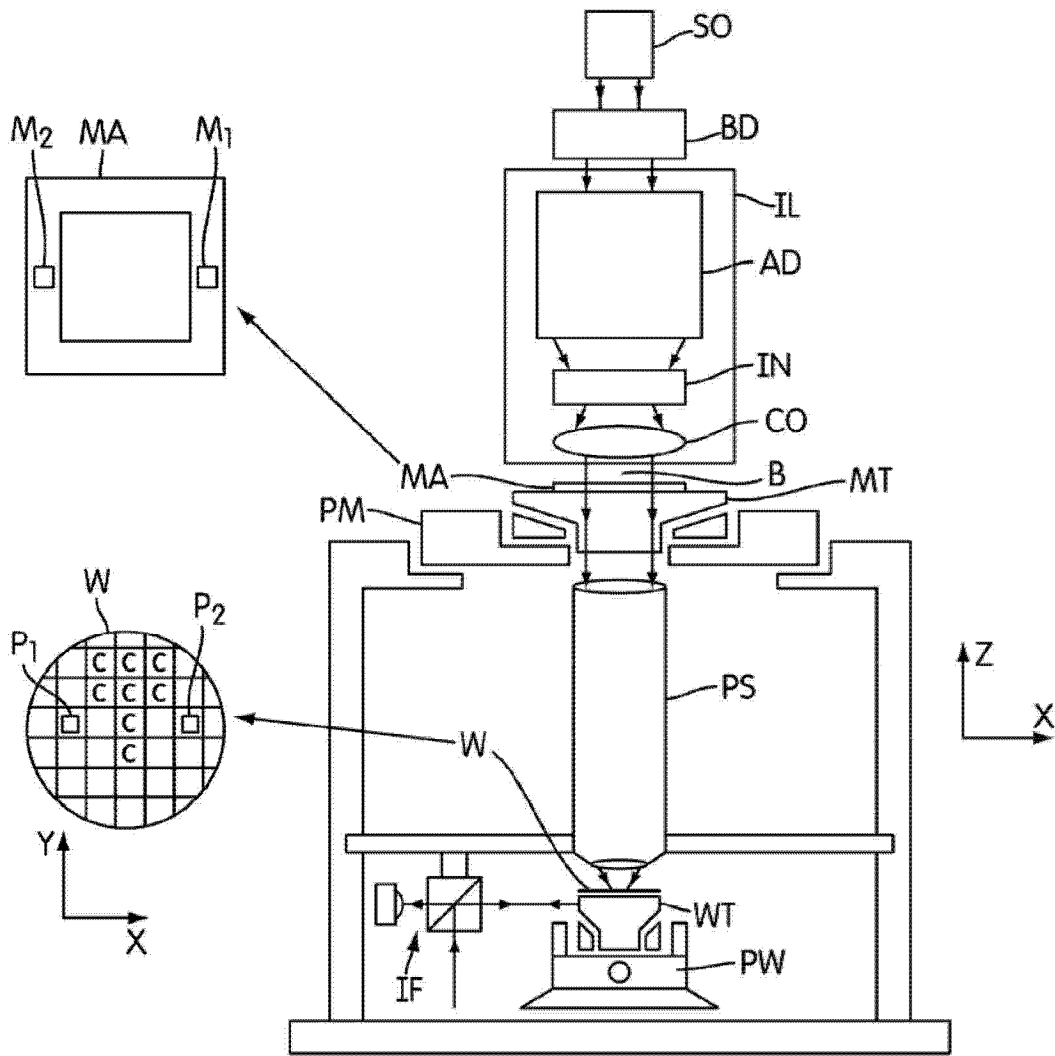


图 8