

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510008834.8

[51] Int. Cl.

H01L 21/00 (2006.01)

H01L 21/027 (2006.01)

G03F 7/00 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 11 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 100347816C

[22] 申请日 2005.2.23

[21] 申请号 200510008834.8

[30] 优先权

[32] 2004.2.23 [33] JP [31] 046750/2004

[73] 专利权人 株式会社东芝

地址 日本东京都

[72] 发明人 福原和也 河村大辅 三本木省次

[56] 参考文献

CN 1396494 A 2003.2.12

US 6,128,067 A 2000.10.3

JP 2000-232057 A 2000.8.22

审查员 曹轶乐

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 李 峥 于 静

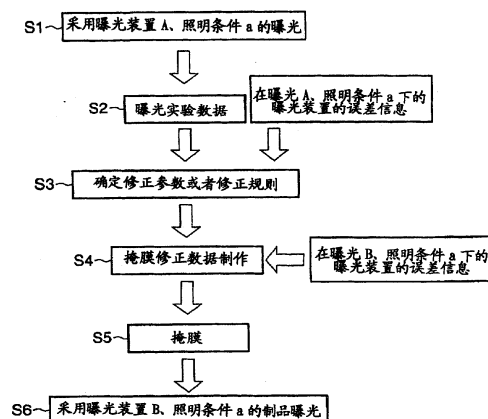
权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 10 页

[54] 发明名称

掩膜数据的修正方法和光掩膜

[57] 摘要

本发明提供一种考虑了实际曝光装置的特性的掩膜数据的修正方法、光掩膜、掩膜数据的修正程序。在制作在光刻工序中使用的光掩膜时所使用的掩膜数据的修正方法，根据使用包含使用光掩膜的曝光装置中的照明亮度分布的不均匀性的信息的仿真进行掩膜数据的修正，其中上述光掩膜是使用上述修正结果得到的掩膜数据制作的光掩膜。



1. 一种掩膜数据的修正方法，是在制作在光刻工序中使用的光掩膜时使用的掩膜数据的修正方法；

根据使用包含使用光掩膜的曝光装置中的照明亮度分布的不均匀性的信息的仿真，进行掩膜数据的修正，其中上述光掩膜是使用上述掩膜数据的修正的结果得到的掩膜数据制作的光掩膜。

2. 权利要求 1 所述的掩膜数据的修正方法，其特征在于：包含上述照明亮度分布的不均匀性的信息表示亮度不是零的区域的亮度是不均匀的。

3. 权利要求 1 或者 2 所述的掩膜数据修正方法，其特征在于：包含上述照明亮度分布的不均匀性的信息是测定值或者上述测定值的处理值，是照射修正对象位置的照明亮度的分布。

4. 一种掩膜数据的修正方法，是在制作在光刻工序中使用的光掩膜时使用的掩膜数据的修正方法，其特征在于，在计算表示由抗蚀剂工艺产生的影响的工艺参数时包含：

用光刻工序形成抗蚀剂图案的第 1 步骤；

测定上述抗蚀剂图案的形状的第 2 步骤；

进行使用包含曝光装置中的照明亮度分布的不均匀性的信息的仿真的第 3 步骤；以及

搜索通过上述第 3 步骤的仿真预测的图案尺寸值与上述第 2 步骤的测定值最一致的上述仿真的工艺参数的第 4 步骤。

5. 权利要求 4 所述的掩膜数据的修正方法，其特征在于：含上述照明亮度分布的不均匀性的信息表示亮度不是零的区域的亮度是不均匀的。

6. 权利要求 4 或者 5 所述的掩膜数据的修正方法，其特征在于：上述照明亮度分布是与在曝光装置的曝光区域内的对象图案对应的位置的分布。

7. 权利要求 4 所述的掩膜数据的修正方法，其特征在于：

为了进行上述掩膜数据的修正的仿真是和计算上述工艺参数时的仿真

相同的仿真；

为了进行上述掩膜数据的修正而进行的上述相同的仿真使用上述工艺参数和包含使用光掩膜的曝光装置中的照明亮度分布的不均匀性的信息，其中上述光掩膜是使用上述修正后的掩膜数据制作的光掩膜。

8. 权利要求 7 所述的掩膜数据的修正方法，其特征在于：包含上述照明亮度分布的不均匀性的信息是测定值或者上述测定值的处理值。

9. 权利要求 7 所述的掩膜数据的修正方法，其特征在于：上述照明亮度分布是与在曝光装置的曝光区域内的掩膜修正对象对应的位置的分布。

10. 一种光掩膜，其特征在于：根据使用权利要求 1、2、4、5、7、8、9 的任意一项的方法修正的掩膜数据形成。

11. 一种半导体器件的制造方法，包括使用权利要求 10 所述的光掩膜在被处理衬底上曝光所希望图案的工序。

掩膜数据的修正方法和光掩膜

技术领域

本发明涉及在半导体器件的制造工序中的光刻法中使用的光掩膜的制造所使用的掩膜数据的修正方法、该光掩膜、掩膜数据的修正程序，进而涉及预测在光刻法中形成的光学像的光学像预测方法、抗蚀剂图案的形状预测方法、光学像的预测程序以及抗蚀剂图案的形状预测程序。

背景技术

(第1背景技术)

近年，在半导体器件中，由于高密度化、动作速度的高速化、低耗电化的要求，电路图案的微细化不断发展。其结果，在半导体器件的制造工序中，需要图案尺寸的高精度控制。

在半导体器件的制造工序中，在形成电路的被加工膜上形成抗蚀剂膜，对该抗蚀剂膜照射放射线形成抗蚀剂图案，把该抗蚀剂图案作为牺牲膜加工被加工膜。作为放射线使用水银灯的i线(365nm)、KrF激光(248nm)、ArF激光(193nm)等。一般地，经由光掩膜在抗蚀剂膜上缩小投影曝光从紫外光到深紫外光。

投影曝光装置通过组合多个透镜构成。虽然也有投影透镜射出侧数值孔径(Numerical Aperture: NA)接近0.8的投影曝光装置，但由于光邻近效应(Optical Proximity Effect: OPE)，掩膜和被转印到晶片像上的光强度分布之间产生离解。

另外，因为抗蚀剂膜吸收投影光产生的光学反应、随之的分解反应、对显影液的溶解反应具有相对投影光强度的非线性性，所以进一步在掩膜像和抗蚀剂图案之间产生离解。把该效应和光邻近效应一起称为工艺邻近

效应 (Process Proximity Effect: PPE)。进而, 因为经过 RIE (Reactive Ion Etching) 等的加工工艺, 所以在被加工膜图案和掩膜图案之间产生离解。

因此, 进行被称为 OPC (Optical Proximity Correction) 或者 PPC (Process Proximity Correction) 的掩膜数据的修正, 即, 进行了考虑了光邻近效应以及/或者抗蚀剂工艺 (抗蚀剂加工工艺), 或者除此以外考虑了加工工艺的影响的仿真, 修正掩膜形状使得抗蚀剂图案或者被加工膜图案成为规定形状的光邻近效应修正。

在掩膜数据修正中, 使用表示投影曝光装置的特性的信息进行仿真。作为投影曝光装置的特性, 一般使用的是 NA、照明相干性: σ (Illumination Coherency)、轮带遮蔽率 (或者变形照明形状)、投影倍率等。在此, σ 是照明光学系统的射出侧 NA 和投影透镜入射侧 NA 的比, 是表示照明光源的大小的值。

当考虑抗蚀剂工艺, 或者进一步考虑加工工艺的情况下, 使用从实验性制作的图案中取得的形状信息, 有代表性的为尺寸信息, 取得用于记述工艺的工艺参数。而后, 使用仿真参数变更掩膜数据使得在衬底上得到规定的图案。

进而, 在专利文献 1 中, 揭示了测定曝光装置的曝光区域内的照度不均匀性 (照度不均匀), 通过修正提高微细图案的精度技术。

(第 2 背景技术)

曝光装置的照明亮度分布和抗蚀剂图案的尺寸有密切的关系。特别是依赖于图案的密度 (周期性) 的抗蚀剂尺寸, 当改变了照明的大小、形状、照明内部的亮度分布时会很大地变动。在对于具有不同的图案密度的多个图案把抗蚀剂加工成相同尺寸时, 需要进行根据图案密度改变掩膜图案尺寸的尺寸修正 (邻近效应修正), 而邻近效应修正量需要根据照明亮度分布的状态改变。

为了求出邻近效应修正量, 使用光刻仿真程序。在光刻仿真程序中, 读入掩膜图案的信息、包含照明亮度的信息的曝光装置的信息、抗蚀剂以及工艺的信息, 计算被形成在衬底上的抗蚀剂图案的尺寸、

以往,为了在程序中输入照明亮度的信息,有使用被组合在程序中的函数表示照明亮度分布的方法,和用户读入任意亮度分布信息的方法。前者例如可以设定在规定的范围内(圆形,轮带形等)具有一样亮度的分布、从照明中心向周边高斯函数性地衰减的分布等。在后者中,可以通过用户例如以纵横方向大致均等间隔采样测量了曝光装置的亮度分布的结果读入排列成矩阵状的亮度数据来设定。

进而,在专利文献2中揭示了在把曝光光的波长、照明条件、透镜条件、散焦数据等作为输入值的光学像仿真中进一步考虑衬底构造,用数值计算求出抗蚀剂膜内的感光剂浓度分布和图案轮廓的技术。

在专利文献3中揭示了计算照射在抗蚀剂层的一点上的电子散射,导出与散射状态对应的能量蓄积量的空间分布函数,计算抗蚀剂层整体的空间分部函数,进行把能量蓄积量变换为显影速率的计算,根据显影计算仿真抗蚀剂形状图案的技术。

在专利文献4中,计算照射在抗蚀剂的一点上的蓄积能量,使用从由计算求得的入射点到半径方向的蓄积能量分布,进行位置分割根据每单位体积的蓄积能量和抗蚀剂全体的蓄积能量预测抗蚀剂图案形状的技术。

[专利文献1] 特开2002-329653号公报

[专利文献2] 特开2000-232057号公报

[专利文献3] 特开2003-37050号公报

[专利文献4] 特开2001-60540号公报

[非专利文献1] Kazuya Sato等人发表于Proc., SPIE vol. 3678, 第99-107页(1999)

(第1背景技术的问题)

在掩膜数据修正的仿真中,对于基于掩膜信息和曝光装置的信息的衬底表面的光强度分布的计算,重叠代表工艺条件的仿真参数。因而,曝光装置的信息就非常重要。进而,在使用曝光装置时,可以选择NA、 σ 、轮带遮蔽率等。可是在实际中,有因组合、设计等引起的误差,在实际的曝光装置中,不能得到由NA、 σ 、轮带遮蔽率等预测的特性,更具体地

说不能得到光强度的分布。为了进行反应实际状态的仿真，需要进行组合了实际曝光装置的特性与理想状态的曝光装置的特性的偏差的仿真。

另外，当以未包含实际曝光装置的特性与理想状态的曝光装置的特性的偏差的仿真为基础计算工艺参数的情况下，该工艺参数一般相对实验性取得的参数的整合性（匹配性）低，并且包含组合了与理想状态的曝光装置的特性的偏差时的误差。当使用这样的工艺参数通过未组合与理想状态的曝光装置特性的偏差的仿真进行掩膜数据修正时，在实验性制作的图案和修正对象的图案类似的情况以外，修正精度低。

在实际曝光装置的特性与理想状态的曝光装置的特性的偏差中，对于透镜的相差进行了许多研究，该偏差只被组合到掩膜数据修正中。另外，在最新的 KrF 或者 ArF 曝光装置中，在泽尔尼克（Zernike）的相差系数中，已被抑制在数 $m\lambda$ （ λ 是波长），实际的曝光装置与理想状态的曝光装置的差异已经相当小。另外，对于被称为光斑（Flare）的光强度分布的偏差，也进行了对掩膜数据修正的组合。

另外，是实际的曝光装置特性和设计上的曝光装置特性的偏差，作为对经由掩膜被投影在衬底上的光强度分布有很大影响的原因，存在曝光装置的照明不均匀性（以下，称为照明亮度不均匀）。

曝光装置的照明亮度不均匀的测定方法被揭示在非专利文献 1 中。照明亮度不均匀会改变 OPE 的状态，其结果，已判明对其他一般的图案形状有影响。

（第 2 背景技术的问题）

随着近年半导体器件的微细化，曝光装置的照明具有的亮度分布的误差越来越不能忽视。即，在只是使用被组合在程序中的函数时，有抗蚀剂图案尺寸的预测精度不充分的情况发生。这种情况下，需要测量曝光装置的照明亮度分布，使用该结果预测抗蚀剂图案尺寸。

但是，作为掩膜数据输入的亮度数据信息量大，在程序处理中负荷大。例如当使用横方向 300、纵方向 300 的数据时，程序保持 90000 点的座标和亮度数据在计算中使用，计算需要的时间长。虽然通过间隔剔（取样数

据)除亮度数据可以减少信息量,但有可能丢失为了进行抗蚀剂图案形状的正确预测所需要的亮度信息。

发明内容

本发明的目的在于提供一种考虑到实际曝光装置的特性的掩膜数据的修正方法、光掩膜、掩膜数据的修正程序。

另外,本发明的目的在于提供一种以短时间正确预测由曝光装置产生的光学像的光学像预测方法、抗蚀剂图案的形状预测方法、光学像的预测程序,以及抗蚀剂图案的形状预测程序。

为了解决问题实现目的,本发明如以下那样构成。

(1)本发明的掩膜数据的修正方法是在制作在光刻工序中使用的光掩膜时所使用的掩膜数据的修正方法,根据使用包含使用光掩膜的曝光装置的照明亮度分布的不均匀性的信息的仿真进行掩膜数据的修正,该光掩膜是使用上述修正结果得到的掩膜数据制作的光掩膜。

(2)本发明的掩膜数据的修正方法是在制作在光刻工序中使用的光掩膜时使用的掩膜数据的修正方法,在计算表示抗蚀剂工艺(加工过程)产生的影响的工艺参数(process parameter, 过程参数)时,包含:用光刻工序形成抗蚀剂图案的第1步骤;测定上述抗蚀剂图案形状的第2步骤;使用包含曝光装置的照明亮度分布的不均匀性的信息进行仿真的第3步骤;搜索通过上述仿真形成的图案尺寸值与上述第2步骤的测定值最一致的上述仿真的工艺参数的第4步骤。

(3)本发明的光掩膜由使用上述(1)或者(2)的方法修正的掩膜数据形成。

(4)本发明的掩膜数据修正程序使计算机执行根据使用包含使用光掩膜的曝光装置的照明亮度分布的不均匀性的信息的仿真的掩膜数据的修正,该光掩膜是用通过该修正程序的修正的结果得到的掩膜数据制作的。

(5)本发明的掩膜数据的修正程序使计算机在计算表示由抗蚀剂工艺产生的影响的工艺参数时执行以下步骤:用光刻工序形成抗蚀剂图案的第

1 步骤；测定上述抗蚀剂图案的形狀的第 2 步骤；使用包含曝光裝置的照明亮度分布的不均匀性的信息进行仿真的第 3 步骤；搜索上述仿真得到的图案尺寸值与上述第 2 步骤的测定值最一致的上述仿真的工艺参数的第 4 步骤。

(6) 本发明的光学像预测方法是在光掩膜上照射从光源发出的光，通过把从上述光掩膜射出的光投影在衬底上，预测被形成在衬底表面附近的光学像的方法，包含：使用规定的函数群（函数群）近似作为矩阵数据输入的上述光源的亮度分布，把上述亮度分布信息作为上述函数群和其系数群（系数群）进行保持的第 1 步骤；根据上述函数群及上述系数群和掩膜数据及投影透镜的信息，计算被形成在上述衬底表面上的光学像的第 2 步骤。

(7) 本发明的抗蚀剂图案的形狀预测方法包含：根据用上述（6）所述的方法计算出的光学像的信息、存在于衬底表面上的光致抗蚀剂、下層膜及表面保護膜的信息、与加热处理上述衬底的工序有关的信息、与显影上述衬底的工序有关的信息，计算被形成在上述衬底的表面的抗蚀剂图案的形狀的计算步骤。

(8) 本发明的掩膜数据的修正方法包含：计算在上述（7）中所述的计算步骤中计算出的抗蚀剂图案的形狀和所希望的抗蚀剂图案形狀的差的步骤；当上述差异大于等于规定值时，修正上述掩膜数据使得上述差异缩小的步骤。

(9) 本发明的光学像的预测程序使计算机执行以下步骤：用规定的函数近似作为矩阵数据输入的光源的亮度分布，把上述亮度分布的信息作为上述函数群和其系数群保持的第 1 步骤；根据上述函数群及上述系数群和掩膜数据及投影镜头的信息，计算被形成在衬底表面的光学像的第 2 步骤。

(10) 本发明的抗蚀剂图案的形狀预测程序，使计算机执行以下步骤：用规定的函数群近似作为矩阵数据输入的光源的亮度分布，把上述亮度分布的信息作为上述函数群和其系数群保持的第 1 步骤；根据上述函数群及上述系数群和掩膜数据及投影透镜的信息，计算被形成在衬底表面的光学

像的第2步骤；根据被计算出的上述光学像信息、存在于衬底表面的光致敏抗蚀剂、下层膜及表面保护膜的信息、与加热处理上述衬底的工序有关的信息、与显影上述衬底的工序有关的信息，计算被形成在上述衬底的表面的抗蚀剂图案的形狀的第3步骤。

如果采用本发明，则可以提供考虑了实际曝光装置的特性的掩膜数据的修正方法、光掩膜、掩膜数据的修正程序。

如果采用本发明，则可以提供在短时间中正确地预测用曝光装置形成的光学像的光学像预测方法、抗蚀剂图案的形狀预测方法、光学像的预测程序，以及抗蚀剂图案的形狀预测程序，可以高速并且高精度地进行邻近效应修正。

附图说明

图1是展示执行本实施方式的掩膜数据修正处理的系统构成的图。

图2是展示本实施方式的光掩膜的掩膜数据修正过程的流程图。

图3是展示在本实施方式的投影曝光装置中的照明亮度不均匀的分布的图。

图4是展示因在空间像计算中是否组合照明亮度不均匀产生的尺寸变化一例的图。

图5是展示本实施方式的光掩膜的掩膜数据修正过程的第1变形例的流程图。

图6是展示本实施方式的光掩膜的掩膜数据修正过程的第2变形例的流程图。

图7是展示实施方式的因是否组合照明亮度不均匀产生的最佳参数群中的拟合残差的图。

图8是展示实施方式的程序的动作过程的流程图。

图9是展示实施方式的矩阵数据的图。

图10是展示实施方式的泽尔尼克（Zernike）多项式的图。

图11是展示实施方式的相对图案位置的光学像强度的图。

图 12 是展示实施方式的程序的动作过程的流程图。

图 13 是展示实施方式的相对图案密度的抗蚀剂尺寸预测值的图。

符号说明

A、B...曝光装置，1...CPU，2...输入部，3...输出部，4...记录介质

具体实施方式

(实施方式 1)

在本实施方式 1 中，为了提高在光刻工序中使用的掩膜数据的修正精度以及在掩膜数据修正中使用的仿真中表示因抗蚀剂工艺引起的影响的工艺参数的精度，把曝光装置的照明亮度不均匀的测定结果组合到在掩膜数据修正中使用的仿真中。

图 1 是展示执行本实施方式 1 的掩膜数据修正处理的系统的构成的图。在图 1 中，A 和 B 分别是曝光装置。在 CPU（计算机）1 上连接有输入部 2 和输出部 3。在 CPU1 上内置有执行后述的掩膜数据修正处理的程序。进而，也可以把该程序存储在记录介质 4 中，读出到 CPU1。

图 2 是展示本实施方式 1 的光掩膜的掩膜数据修正过程的流程图。在步骤 S1 中，用户对实验性地制作的图案，在曝光装置 A 中进行照明条件 a 的实验性曝光，在步骤 S2 中，用户取得曝光实验数据。在步骤 S3 中，CPU1 根据从输入部 2 输入的曝光实验数据，使用从输入部 2 输入的曝光装置 A、照明条件 a 下的曝光装置的误差信息进行仿真，确定工艺参数或者修正规则。该曝光装置的误差信息包含 NA 的外形值的偏移、 σ 的外形值的偏移、投影透镜透过率的不均匀、照明亮度不均匀、相差、光斑、扫描同步误差的至少一个。进而，二次光源亮度分布的不均匀性表示亮度不是大致为 0 的区域的亮度不均匀。

在步骤 S4 中，CPU1 根据工艺参数或者修正规则，使用从输入部 2 输入的曝光装置 B、照明条件 a 下的曝光装置的误差信息进行仿真，制作掩膜修正数据。而后在步骤 S5 中，CPU1 根据掩膜修正数据修正掩膜数据并从输出部 3 输出，在步骤 S6 中，用户使用由该掩膜数据制作的光掩膜，进

行采用曝光装置 B、照明条件 a 的制品曝光。以上的处理还包含曝光装置 A 和曝光装置 B 相同的情况。

以上的处理与以往的处理相比，在制作掩膜修正数据时，在使用实际的曝光装置的误差信息这一点上不同。

图 3 是展示在本实施方式 1 的投影曝光装置中的照明亮度不均匀的分布的图。在图 3 中，展示了在设定上的照明条件是 NA0.63， σ 0.75、轮带遮蔽率是 2/3 的曝光装置 B 中、某一曝光区域内的照明亮度不均匀的分布。当曝光装置是理想状态的情况下，用 σ 0.75、轮带遮蔽率 2/3 表示的环内的照明亮度是均匀的。另一方面，作为实际的曝光装置 B 的测定值的在图 3 的分布中，在环形的半径方向的中央具有照明亮度高的趋势（倾向）。进而，该照明亮度不均匀的分布也可以从上述测定值的处理值得到。

即使是同样的曝光装置，因曝光区域内的位置不同，在照明亮度分布上也存在差异。因而，通过使用与修正对象的图案对应的曝光区域内的位置的照明亮度不均匀的分布，可以进行更高精度的掩膜数据修正。

但是，在照明亮度不均匀测定中，因在测定中使用的掩膜的布局（布图），曝光区域内的可以测定位置受到限定。另外，还存在测定效率、测定时间的问题，不是必须存在与修正对象的图案对应的照明亮度不均匀的测定值。这种情况下，只要以最接近的测定值代用，或者根据附近的多个测定值计算，简单地进行内插即可。

图 4 展示了在空间像计算中因照明亮度不均匀的组合的有无而引起的尺寸变化的一例。在图 4 中展示使用了透过率 6.3%、相位差 181° 的半色调型相位偏移掩膜（attenuated phase-shift Mask）上的相同图案的情况，展示使用了理想状态的曝光装置的值（和波长是 193nm，曝光装置的照明条件是 NA0.63、 σ 0.75、轮带遮蔽率是 2/3 的设定值完全相同）时的结果，和实际曝光装置的测定值（NA 相同但有照明亮度不均匀）的情况下的结果。

图 4 中的图案尺寸（线宽度）是在各照明条件中的图案间距是 325nm 的情况下把图案尺寸是 140nm 的光强度作为阈值计算的值。如图 4 所示，

计算出在图案间隔 800nm、2000nm 中，理想状态的曝光装置的值与实际曝光装置的测定值相比图案尺寸分别约小约 10nm、5nm。

即，当考虑到在使用了实际曝光装置的测定值时表示真的修正值的情况下，如果因错误用理想状态的曝光装置的值修正掩膜，则会发生上述那样的修正误差。反之，通过使用有照明亮度不均匀的实际的曝光装置的测定值，相信可以提高最大约 10nm 的修正精度。

图 5 是展示本实施方式 1 的光掩膜的掩膜数据修正过程的第 1 变形例的流程图。在步骤 S11 中，用户对实验性制作的图案在曝光装置 A 中进行采用照明条件 a 的实验性曝光，在步骤 S12 中，用户取得曝光实验数据。在步骤 S13 中，CPU1 根据从输入部 2 输入的曝光实验数据，使用从输入部 2 输入的曝光装置 A、照明条件 a 下的曝光装置的误差信息进行仿真，确定工艺参数或者修正规则。

在步骤 S14 中，CPU1 根据工艺参数或者修正规则，使用从输入部 2 输入的曝光装置 B、照明条件 b 下的曝光装置的误差信息进行仿真，制作掩膜修正数据。而后，在步骤 S15 中，CPU1 根据掩膜修正数据修正掩膜数据从输出部 3 输出，在步骤 S16 中，用户使用由该掩膜数据制作的光掩膜，进行采用曝光装置 B、照明条件 b 的制品曝光，以上的处理包含曝光装置 A 和曝光装置 B 相同的情况，曝光装置 A 和曝光装置 B 相同并且照明条件 a 和照明条件 b 相同的情况，曝光装置 A 和曝光装置 B 不相同而照明条件 a 和照明条件 b 相同的情况。

图 6 是展示本实施方式 1 的光掩膜的掩膜数据修正过程的第 2 变形例的流程图。在步骤 S21 中，用户对实验性制作的图案，在曝光装置 A 中进行采用照明条件 a 的实验性曝光，在步骤 S22 中，用户取得曝光实验数据。在步骤 S23 中，CPU1 根据从输入部 2 输入的曝光实验数据，使用与从输入部 2 输入的曝光装置 A、照明条件 a 下的曝光实验数据的各数据位置对应的曝光装置的误差信息进行仿真，确定工艺参数或者修正规则。

在步骤 S24 中，CPU1 根据工艺参数或者修正规则，使用从输入部 2 输入的曝光装置 B、照明条件 b 下的、与曝光实验数据的各数据位置对应

的曝光装置的误差信息进行仿真，制作掩膜修正数据。而后在步骤 S25 中，CPU1 根据掩膜修正数据修正掩膜数据并从输出部 3 输出，在步骤 S26 中，用户使用由该掩膜数据制作的光掩膜，进行采用曝光装置 B、照明条件 b 的制品曝光。以上的处理包含曝光装置 A 和曝光装置 B 相同的情况，曝光装置 A 和曝光装置 B 相同而且照明条件 a 和照明条件 b 相同的情况，曝光装置 A 和曝光装置 B 不相同而照明条件 a 和照明条件 b 相同的情况。

(实施方式 2)

在本实施方式 2 中，首先，在 Si 衬底上形成有机反射防止膜，在其上形成市场上销售的 ArF 曝光装置用化学放大型抗蚀剂膜。对该衬底使用照明条件是 NA0.63， σ 0.75、轮带遮蔽率 2/3 的 ArF 曝光装置，经由透过率 6.3%，相位差 181° 的半色调型相位偏移掩膜实验性地进行 Focus-Exposure Matrix 曝光（以下，称为 FEM 曝光）。其后，对衬底实施加热工序、显影工序，得到抗蚀剂图案。这样通过光刻工序形成抗蚀剂图案。

接着，使用扫描型电子显微镜（以下，称为 CD-SEM）测定抗蚀剂图案的尺寸（形状）。进而，实施方式 1 的曝光装置是扫描重复（scan and repeat）方式，但在本实施方式 2 中作为步进重复（step and repeat）方式进行曝光。

接着，对于与由 FEM 曝光得到的抗蚀剂图案尺寸相对的曝光量、Focus 依赖性进行参数拟合，计算为了再现实验结果最佳的仿真参数。即，搜索与抗蚀剂图案的尺寸的测定值最一致的仿真的工艺参数。在此，作为仿真器使用 KLA-Tencor 公司生产的 PROLITH ver. 7.2.2，作为参数拟合工具使用同为 KLA-Tencor 公司生产的 Auto Tune。作为拟合对象的图案，使用在晶片上换算的掩膜尺寸是图案间距 325nm、400nm、500nm、800nm、2000nm、线宽度约 130nm 的 5 种图案。掩膜尺寸使用另外测定的值。

在该仿真中，首先不考虑照明亮度不均匀，只考虑相差，在设置成 NA0.63， σ 0.75、轮带遮蔽率 2/3 的设计上的曝光装置中，进行参数的最佳化。图 7 展示参数拟合结果的一例。在该条件下即使在拟合残差最小，

即在最佳的参数群中，也是特别在参数间距 800nm 时产生平均 7.58nm 左右的残差。

另一方面，对于上述的仿真，NA 不变更，当把照明亮度不均匀的测定值作为数据库使用的情况下，同样地进行参数拟合。相差也同样考虑。这种情况下，在最佳参数群中，如图 7 所示，作为上述的照明条件与假定了设计上的曝光装置的情况相比，可以看到拟合残差的大幅度的改善。即，通过进行组合入照明亮度不均匀的仿真，可以计算更高精度的工艺参数。

以下，使用考虑了上述照明亮度不均匀的工艺参数，进行掩膜数据的修正。此时，使用与掩膜数据对应的位置的照明亮度不均匀的测定值。当在为了取得工艺参数的实验性的曝光所使用的曝光装置和应使用以修正后的掩膜数据制作的掩膜的曝光装置不同的情况下，或者当即使曝光装置相同而照明条件不同的情况下，使用分别用修正后的掩膜的曝光装置的照明亮度不均匀的测定值。

照明亮度不均匀的测定值不是直接使用，而是使数据密度成为 1/4 使用。这是因为在直接使用测定值时，计算时间太长的缘故。通过使数据密度成为 1/4，与直接使用测定值的情况相比，计算时间约为 1/5。

另一方面，当数据密度太小时，不能表现照明亮度不均匀的分布。为了表现照明亮度不均匀的 4 次函数的分布，优选地沿着具有大致不是 0 的亮度的各个连续区域中的至少一个 X 和 Y 方向的轴，至少在 X 和 Y 方向上分别有 9 点或以上的数据。如果有 13 点以上的数据，因为还可以表现 6 次函数的分布，所以更理想。这样除了计算时间和精度，还可以对照明亮度不均匀的测定值进行适宜的处理。

另外，对于和上述例子不同的曝光区域中的测定值，与得到了其测定值的位置周围的照明亮度或者曝光区域内的不同位置的测定结果相比，当明显存在表示异常值的数据的情况下，根据周围的照明亮度进行采用内插的插补。

如上所述，当存在曝光装置的照明亮度不均匀时，有时在修正结果上发生在很大的差异。图 7 展示了当使用透过率 6.3%、相位差 181° 的相位

偏移掩膜上的同样的图案时，在和波长是 193nm、曝光装置的照明条件是 NA0.63， σ 0.75、轮带遮蔽率是 2/3 的设定值完全相同的理想状态的情况，和 NA 相同而作为照明亮度不均匀使用了实际的曝光装置的测定值的情况。另外，如图 4 所示，在图案间距 800nm、2000nm 时，计算出理想状态一方与实际曝光装置的测定值相比图案尺寸还细约 10nm、5nm。

其结果，在使用了用理想的照明条件下修正的掩膜数据制作的掩膜和具有照明亮度不均匀的曝光装置的情况下，在图案间距 800nm、2000nm 中，进行约 10nm、5nm 的过剩的修正，使图案加粗。其结果，在半导体器件中不能得到所希望的特性。但是如果采用本实施方式，则通过使用有照明亮度不均匀的实际的曝光装置的测定值，可以实现提高最大约 10nm 的修正精度，可以在半导体器件中得到所希望的特性。

另外，在照明亮度不均匀的测定结果中，当数据密度太高时，数据访问时间的负荷大。因而，通过用适宜的方法压缩或者间隔剔除测定的数据使得成为和计算精度相称的数据密度，可以得到计算时间和精度中的最大效率。

另外，照明亮度不均匀在曝光装置的可以曝光范围内不是完全相同的，具有差异。因而，通过使用和掩膜数据对应的位置的测定值可以提高精度。

另外如上所述，当存在曝光装置的照明亮度不均匀时，有时在计算出的仿真参数中产生差异。图 7 展示了当使用透过率 6.3%、相位差 181° 的相位偏移掩膜上的相同图案的情况下，在和波长是 193nm、曝光装置的照明条件是 NA0.63、 σ 0.75、轮带遮蔽率是 2/3 的设定值完全相同的理想状态的情况下，NA 相同但作为照明亮度不均匀使用实际曝光装置的测定值的情况下，在仿真中的采用参数拟合的实验值的再现性。在图案间距 800nm 处，当作为照明状态假定了理想状态时，知道留下 7.58nm 左右的拟合误差。另一方面，当使用考虑到照明亮度不均匀的测定值时，拟合残差为一半左右。因而在考虑了照明亮度不均匀的情况下，进行掩膜图案修正，与理想状态相比也可以至少得到 3nm 或以上的高精度。

代替使用在本实施方式中所示的照明亮度不均匀，假设照明亮度均匀，

和工艺参数一样还存在计算 NA 、 σ 、轮带遮蔽率等最佳值的掩膜数据修正方法。这种情况下，如果是可以在与工艺参数和照明条件的最佳化所使用的图案类似的图案中进行内插差的范围，则可以认为还可以抑制修正误差，但认为在复杂的图案中修正精度降低。

在本实施方式中，除了可以得到精度好的工艺参数的效果外，当取得工艺参数的曝光装置和使用修正后的掩膜数据的曝光装置不同时，或者即使曝光装置相同而 NA 、变形照明形状不同时，也可以得到高精度的修正结果。

另外，照明亮度不均匀在曝光装置的可以曝光范围内并不完全相同，具有差异。因而，通过使用与应修正的图案对应的位置上的照明亮度不均匀的测定值，在使用根据修正后的掩膜数据制作的掩膜制作的图案中，可以得到高精度的修正结果。

进而，通过使用该方法，即使取得工艺参数的曝光装置和实际使用修正后的掩膜数据的曝光装置不同，特别是在两者的曝光装置间在照明亮度的分布形状上存在大的差异时，也可以得到高精度的修正结果。

（实施方式3）

在本实施方式3中，把从曝光装置的照明光源发出的光照射在光掩膜上，通过在衬底上投影从该光掩膜射出的光预测被形成在衬底表面附近的光学像。在本实施方式3中，在预测抗蚀剂图案的程序中，读入曝光装置的照明亮度分布的数据用规定的函数群（例如 泽尔尼克（Zernike）多项式系列）展开，用函数群和其系数群的形式把照明亮度的信息保持在记录介质中。在计算抗蚀剂图案时，使用被保持在记录介质中的函数群和系数群再构成在照明光源位置上的亮度。

以下，说明在抗蚀剂图案预测中使用的程序的动作过程 and 用户进行的操作。进而，执行本实施方式3的程序的系统的构成和图1相同。在CPU1中内置有该程序。进而，也可以将该程序存储在记录介质4上，读出到CPU1中。

图8是展示本实施方式3的程序的动作过程的流程图。在步骤S31中，

CPU1 测量曝光装置的照明亮度分布，作为矩阵数据表现。在步骤 S32 中，CPU1 使用规定的函数群展开矩阵数据，求出与各函数对应的系数群。在步骤 S33 中，CPU1 把表现曝光装置的照明亮度的函数群和系数群保持在记录介质 4 中。在步骤 S34 中，CPU1 读出函数群和系数群计算抗蚀剂图案形状。

以下，详细描述上述动作。首先，用户测量曝光装置的光源的照明亮度分布，使其成为矩阵形数据的形式。所谓矩阵形数据例如是文本形式的电子数据，例如，如图 9 所示，在第一列上保持 x 座标，在第二列上保持 y 座标，在第三列上保持亮度信息从而构成一行，用一行表示与一个采样点有关的亮度信息。形成这种构成的行以采样点数成排，构成 1 个矩阵数据。矩阵数据例如被保持在硬盘等的记录介质 4 中。

以下 CPU1 按照程序，响应用户的操作从记录介质 4 中读入表示曝光装置的照明亮度分布的矩阵数据。CPU1 把在表示照明的平面内数据离散地存在的矩阵数据展开（近似）为连续函数的形式。作为连续函数例如有正交函数的线性结合、幂级数展开。作为正交函数的例子，有图 10 所示的泽尔尼克（Zernike）多项式 $Z_n(r, \theta)$ 。此时，在座标 (r, θ) 处的照明亮度分布 $I(r, \theta)$ 用下式表示。

$$I(r, \theta) = \sum a_n \cdot Z_n(r, \theta) \quad n=1 \dots N, N \text{ 是正整数}$$

在此， (r, θ) 用极座标表示平面，所谓正交座标系具有 $x=r \cdot \cos \theta$ ， $y=r \cdot \sin \theta$ 的关系。另外，座标原点例如设置为在发出垂直地照明刻线（原版，レチクル）的光的位置。在幂级数展开的情况下，用下式表示在座标 (x, y) 处的照明亮度分布 $I(x, y)$ 。

$$I(x, y) = \sum a_{lm} \cdot x^l \cdot y^m \quad l=1 \dots L, m=1 \dots M, L, M \text{ 是正整数}$$

程序把上述那样的多个函数群保持在内部，用户与矩阵数据的读入指示一致地从输入部 2 指定所使用的函数群的种类。CPU1 使用用户指定的函数，展开输入的矩阵数据，计算系数群。

例如，当使用泽尔尼克多项式时，把对指定的座标信息 (r, θ) 和泽尔尼克号码 (n) 计算泽尔尼克多项式的值的子程序保持在程序中，把使用

泽尔尼克多项式的信息（所使用的函数群）以及系数群（ a_n , $n = 1 \dots N$ ）保持在存储器等的记录介质 4 中。

另外，当使用幂级数展开的方法时，把对指定的座标信息（ x , y ）和幂的号码（ l , m ）计算项的值（ $x^l y^m$ ）的子程序保持在程序中，把使用幂级数展开的信息（使用的函数群）以及系数群（ a_{lm} , $l=1 \dots L$, $m=1 \dots M$ ）保持在记录介质 4 中。

进而，在把照明亮度分布的矩阵数据展开为连续函数的形式后，因为不再需要矩阵数据，所以可以从记录介质 4 中删除。

与 CPU1、用户用输入部 2 进行的操作对应地读入照明以外的信息。所谓信息具体地说是掩膜图案数据、投影透镜的信息（NA，像差，光斑等）等。对于该信息的读入，有程序读入用户制作的电子数据，或者用户从程序提示的选择分支中指定的方法。在读入了信息后，CPU1 根据由被保持在记录介质 4 中的函数群以及系数群组成的照明亮度分布的信息，和从输入部 2 输入的掩膜图案数据、投影镜头等的信息，基于规定的模型计算曝光装置制作在衬底表面上的光学像的分布。所谓光学像是由光作成的电场的 3 维分布。对于规定的模型，例如有只考虑光的电矢量的大小根据傅立叶光学计算的标量模型（纯量模型），考虑了电矢量的大小和振动方向的矢量模型等。

光学像是以例如掩膜图案全部区域是透过区域时的光强度为基准时的相对光强度，是大于等于 0 的值。CPU1 响应来自输入部 2 的用户的指示，如图 11(a) 所示，根据被定义的光学像强度的阈值 101，计算在光学像中的图案尺寸以及图案位置 102，或者如图 11(b) 所示，根据定义的图案位置 103 以及图案尺寸计算光学像强度的阈值 104。光学像依赖于曝光装置的信息（照明光源，投影透镜的信息），因为不依赖于衬底上的抗蚀剂和工艺，所以这样的计算可以在简单地估计曝光装置的状态或者设定条件和光学像的关系的目的下使用。在速度要求比精度要求高的状况下，有把在图 11(a) 的光学像的计算中求得的图案尺寸看作抗蚀剂尺寸计算的情况。如果采用本实施方式，则不会降低光学像计算的精度，可以缩短计算所需

要的时间。

CPU1 根据用户对输入部 2 的操作, 读入在衬底表面存在的光致抗蚀剂、下层膜以及表面保护膜的信息和工艺的各信息。所谓光致抗蚀剂的信息是折射率、消光系数、酸的扩散长度、灵敏度等。所谓下层膜的信息是折射率、消光系数等。所谓工艺的信息是后曝光烘干 (FEB) 的温度、时间、显影液的浓度、显影时间等, 是与加热处理衬底的工序有关的信息和与显影衬底的工序有关的信息。

在 CPU1 中的读入抗蚀剂、下层膜以及工艺的各信息的动作可以在光学像的计算之前。CPU1 从前面计算的曝光装置形成在衬底表面的光学像的信息、输入的存在于上述衬底表面的光致抗蚀剂、下层膜以及表面保护膜的信息、与加热处理上述衬底的工序有关的信息、与显影上述衬底的工序有关的信息中, 计算抗蚀剂的感光 and 抗蚀剂的溶解, 计算最终被形成在衬底表面的抗蚀剂图案的形状。CPU1 根据规定的尺寸确定规则, 计算被形成在衬底表面的规定位置的抗蚀剂图案的尺寸 (形状), 从输出部 3 输出。使用的尺寸确定规则以及尺寸计算位置由用户从输入部 2 指定。

本方法可以应用于把波长 365nm(i 线)、248nm(KrF)、193nm(ArF)、157nm(F2) 以及 10~15nm(EUV) 的光作为曝光光的曝光装置。

(实施方式 4)

以下, 说明在抗蚀剂图案的预测中使用的程序的动作过程 and 用户进行的操作。进而, 执行本实施方式 4 的程序的系统的构成和图 1 相同。在 CPU1 中内置有该程序。进而, 也可以把该程序存储在记录介质 4 上, 读出到 CPU1。

图 12 是展示本实施方式 4 的程序的行动过程的流程图。在步骤 S41 中, CPU1 测量曝光装置的照明亮度分布, 变换为函数群和系数群, 保持在记录介质 4 中。在步骤 S42 中, CPU1 从记录介质 4 中读出函数群和系数群计算工艺邻近效应 (PPE)。在步骤 S43 中, CPU1 从记录介质 4 读出函数群和系数群计算掩膜错误因子 (Mask Error Factor: MEF)。所谓掩膜错误因子是掩膜图案的尺寸误差量, 和该掩膜图案的尺寸误差引起的

衬底上的抗蚀剂图案的尺寸变动量的比率。在步骤 S44 中，CPU1 每周期地计算掩膜尺寸值，使得图案不依赖于工序尺寸而成为一定（工艺邻近效应修正：PPC）。

在本实施方式 4 中，通过对图 13 (a) 所示那样的接近的图案（相邻的图案）的密度（周期性）不同的相同形状的多个掩膜图案，分别适用实施方式 3 的处理，计算依赖于图案密度的抗蚀剂图案的尺寸（形状）的变动量，可以预测工艺邻近效应。另外，使用相同程序，可以计算在稍微改变掩膜图案尺寸时的抗蚀剂图案的尺寸（形状）的变动量，可以计算出抗蚀剂图案的尺寸（形状）和所希望的抗蚀剂的尺寸（形状）的差异。

进而根据这些信息，修正依赖于图案密度的抗蚀剂尺寸的变动量，如图 13 (b) 所示，可以计算出对于形成具有不依赖图案密度保持均匀尺寸的抗蚀剂图案所需要的、掩膜图案尺寸的修正量。具体地说，当上述差异大于等于规定值时，修正掩膜图案数据使其差异缩小。进而，当用一次修正上述差异还大于等于规定值时，重复在实施方式 3 所示的光学像的分布的计算及抗蚀剂图案的尺寸（形状）的计算、本实施方式 4 所示的抗蚀剂图案的尺寸（形状）和所希望的抗蚀剂图案的尺寸（形状）的差的计算以及掩膜图案数据的修正，直到该差异达到小于规定值为止。

进而，本发明并不限于上述各实施方式，可以在不变更主旨的范围内适宜地变形实施。

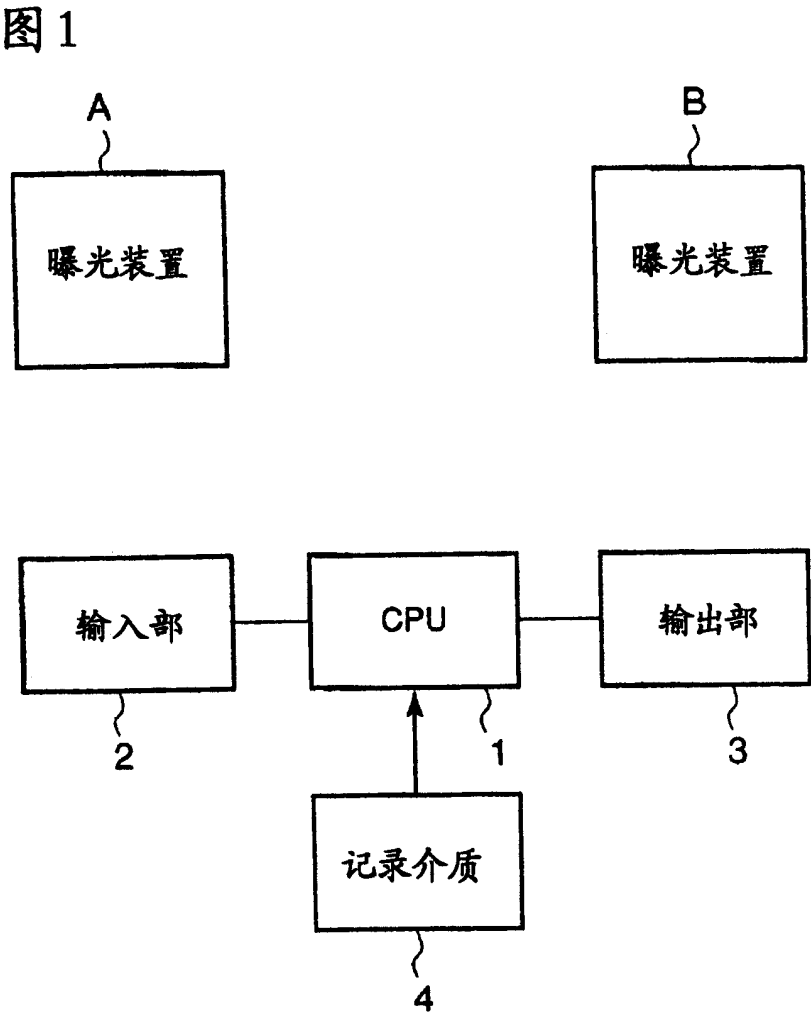


图 2

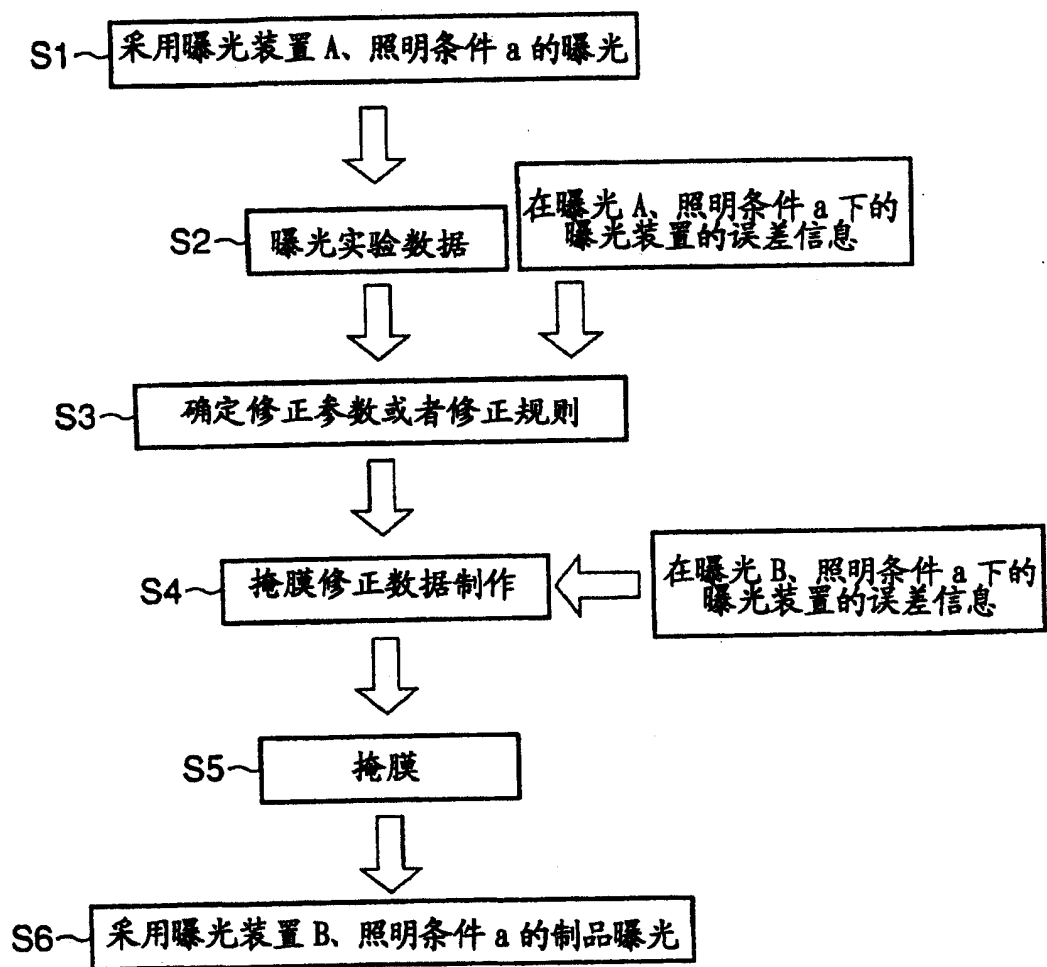


图 3

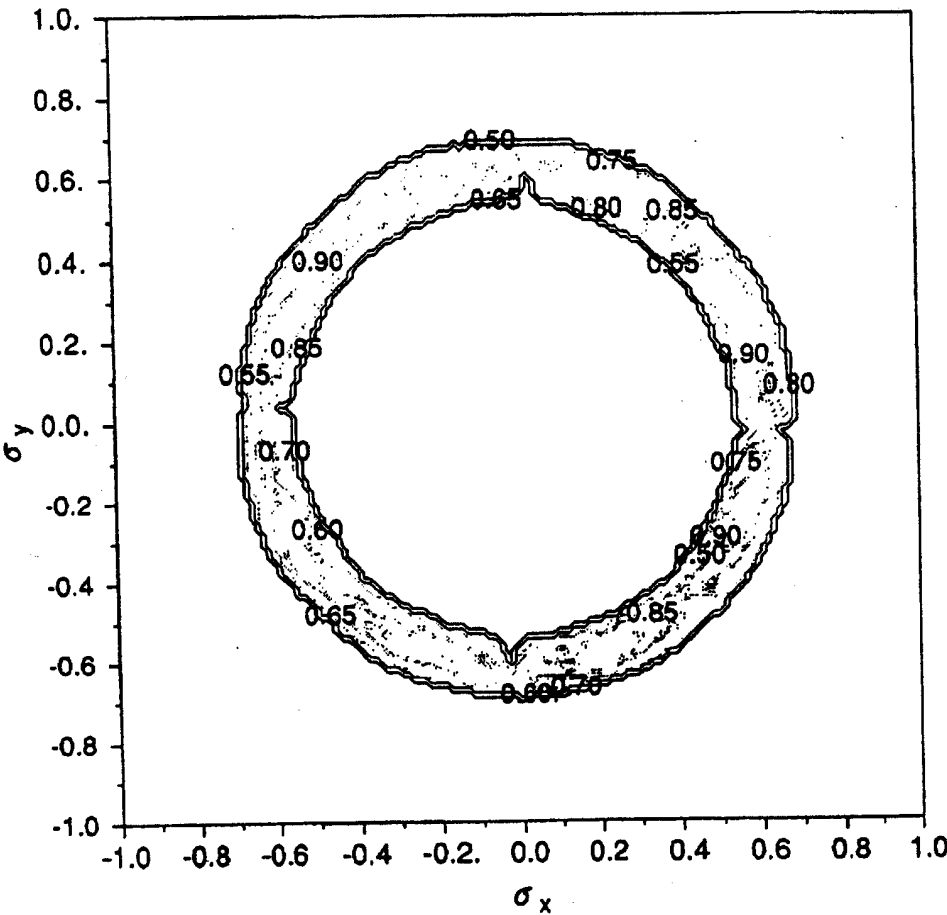


图 4

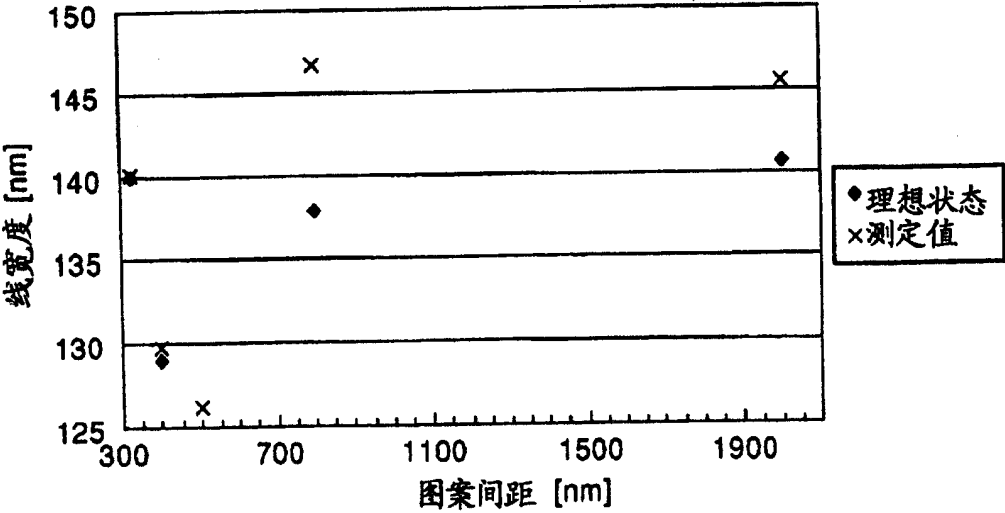


图 5

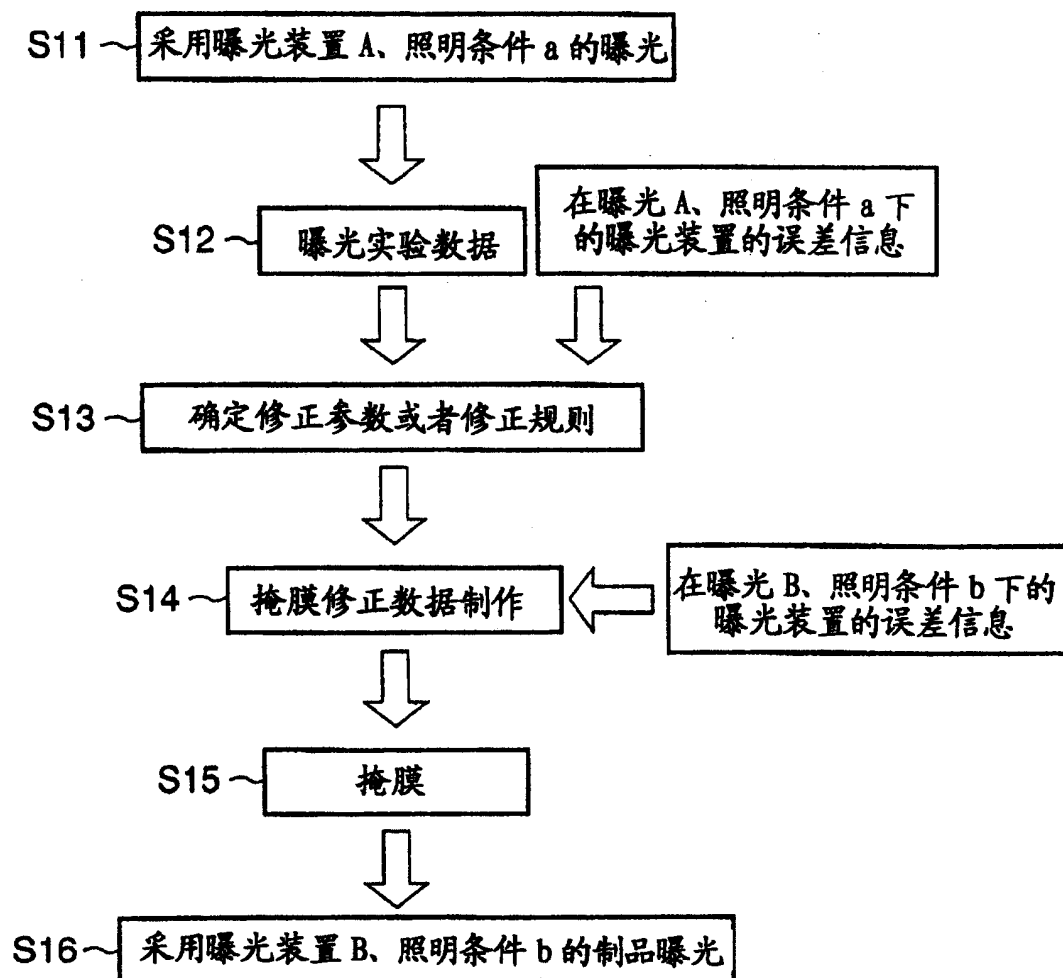


图 6

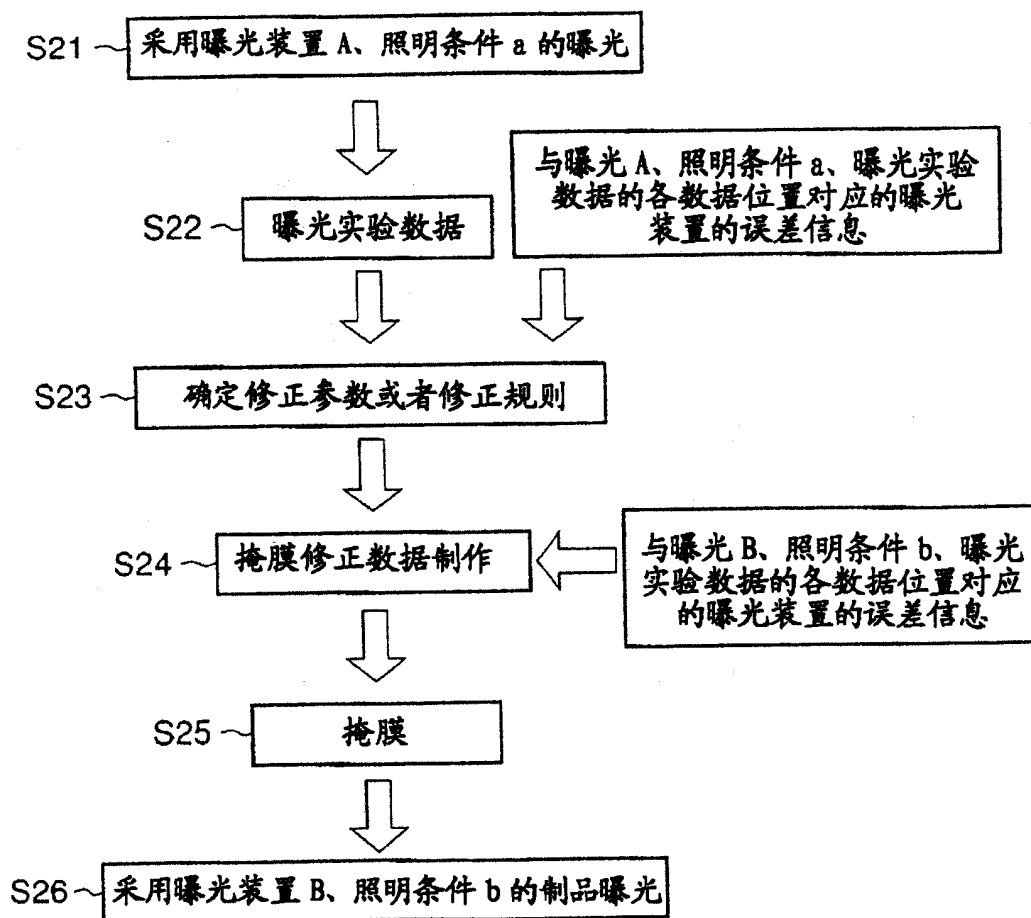


图 7

单位全部是 nm

图案间距		325	400	500	800	2000
拟合残差	根据设计值预测	10.2	4.13	4.62	7.58	5.62
	测定值	5.23	3.16	2.42	4.09	3.19

图 8

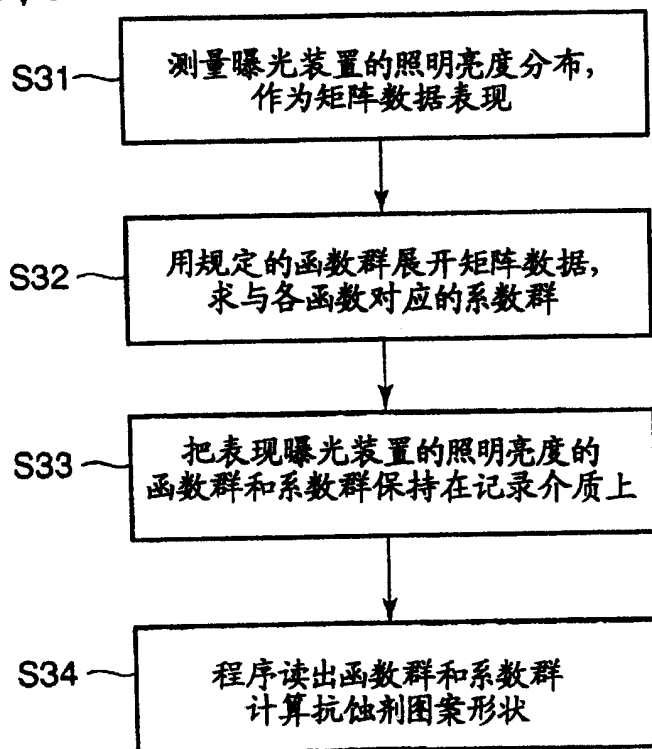


图 9

x	y	相对亮度
-1.0000	-1.0000	0.0000
-0.9765	-1.0000	0.0000
-0.9529	-1.0000	0.0000
-0.9294	-1.0000	0.0000
-0.9059	-1.0000	0.0000
-0.8824	-1.0000	0.0000
-0.8588	-1.0000	0.0000
-0.8353	-1.0000	0.0000
-0.8118	-1.0000	0.0000
:	:	:
0.0353	-0.6471	1.0000
0.0588	-0.6471	0.9231
0.0824	-0.6471	1.0000
0.1059	-0.6471	0.9231
0.1294	-0.6471	0.9231
0.1529	-0.6471	0.9231
0.1765	-0.6471	0.9231
0.2000	-0.6471	0.9231
0.2235	-0.6471	0.9231
:	:	:

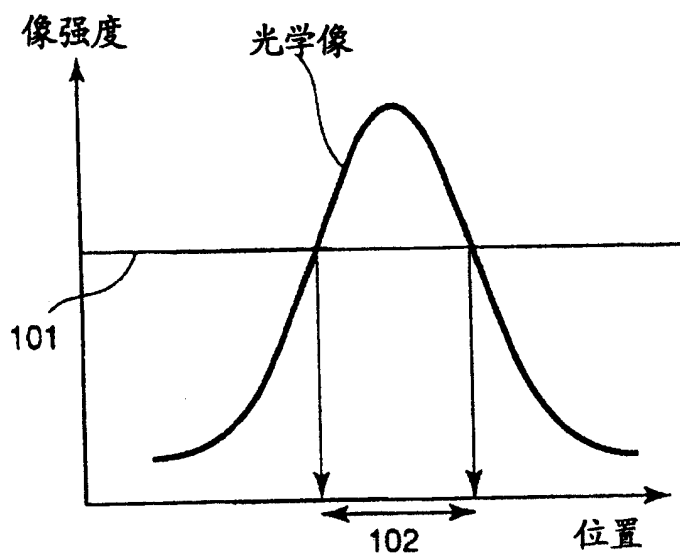
图 10

编号	多项式
2	$2\rho \cos\phi$
3	$2\rho \sin\phi$
4	$\sqrt{3}(2\rho^2-1)$
5	$\sqrt{6}\rho^2\cos 2\phi$
6	$\sqrt{6}\rho^2\sin 2\phi$
7	$\sqrt{8}(3\rho^3-2\rho)\cos \phi$
8	$\sqrt{8}(3\rho^3-2\rho)\sin \phi$
9	$\sqrt{5}(6\rho^4-6\rho^2+1)$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

图 11
(a)



(b)

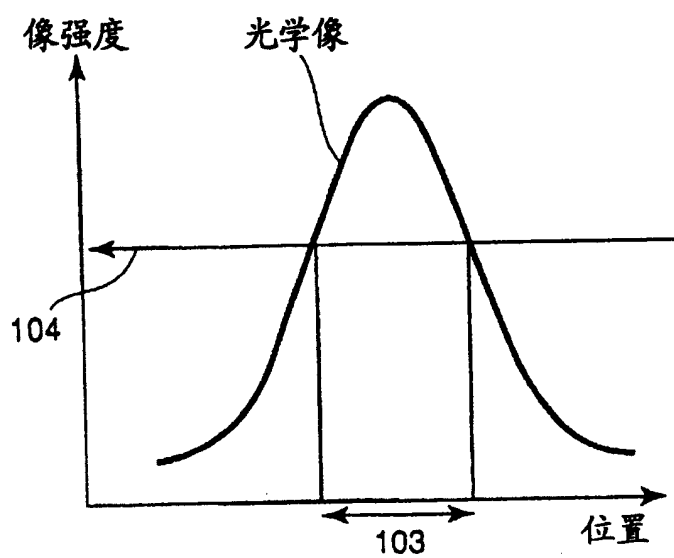


图 12

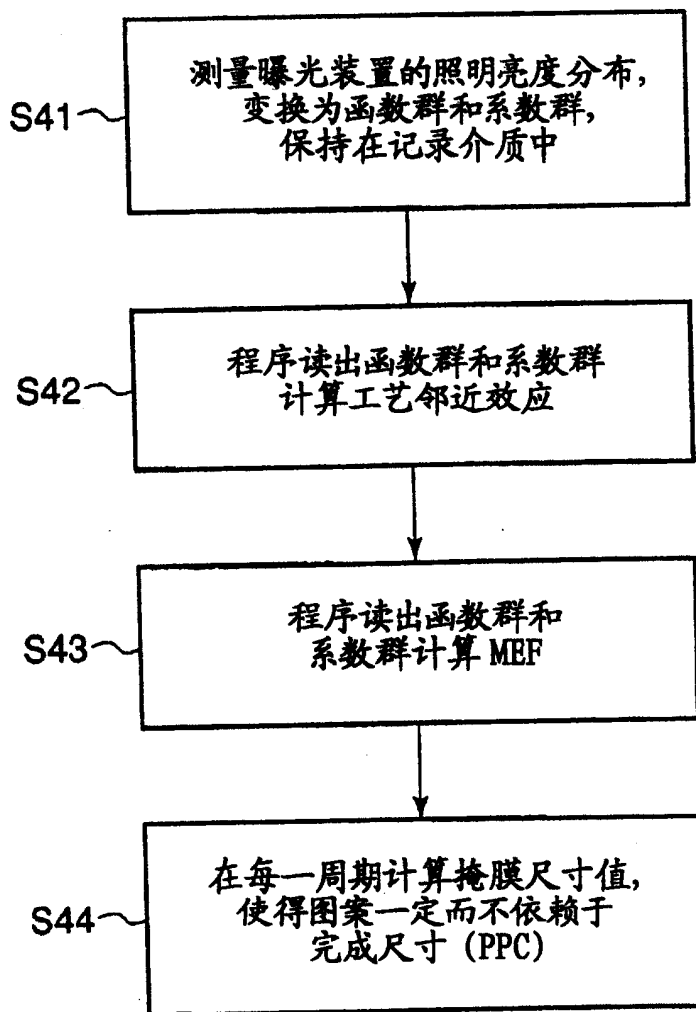
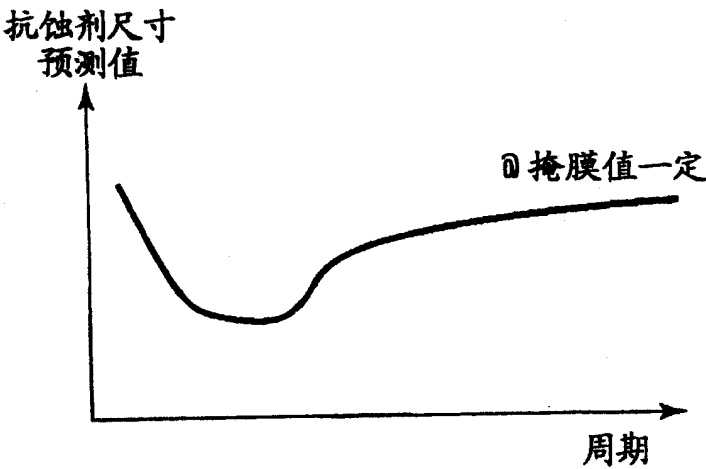


图 13
(a)



(b)

