



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410035272.1

[43] 公开日 2004年9月22日

[11] 公开号 CN 1530755A

[22] 申请日 2004.2.11

[21] 申请号 200410035272.1

[30] 优先权

[32] 2003.2.11 [33] US [31] 10/361831

[32] 2003.11.20 [33] US [31] 10/716439

[71] 申请人 ASML 荷兰有限公司

地址 荷兰维尔德霍芬

[72] 发明人 S·G·汉森

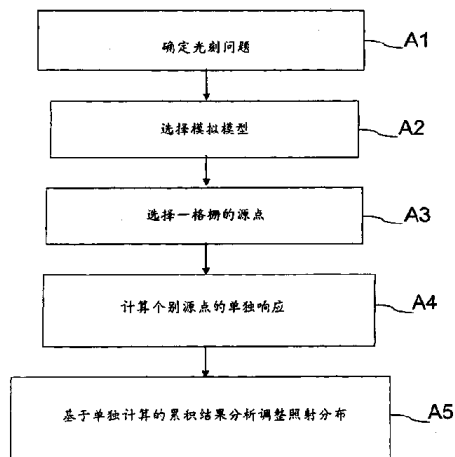
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 章社杲

权利要求书6页 说明书41页 附图44页

[54] 发明名称 光刻装置和使用光刻模拟技术优化照明光源的方法

[57] 摘要

一种利用计算机模拟技术用于优化光刻照明条件的方法，所述光刻装置包括一个照明器以及一个投影系统，所述方法包括确定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器的光瞳平面中源点格栅；计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；以及在单独计算值累计结果的分析基础上调节照度分布。



1. 一种用于利用计算机模拟技术优化光刻装置照明条件的方法，所述光刻装置包括一个照明器和一个投影系统，所述方法包括：
- 5 确定要印刷在基底上的光刻图案；
 选择模拟模型；
 选择照明器的光瞳平面中的一格栅的源点；
 计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；以及
- 10 在单独计算值累计结果的分析基础上调节照度分布。
2. 根据权利要求 1 中所述的方法，其特征在于每个响应是一个聚焦曝光矩阵并产生在一加工窗口中，所述加工窗口包括剂量宽容度和焦深信息。
3. 根据权利要求 1 中所述的方法，进一步包括根据包含于照度分布中的每个个别光源点的平均单独响应，计算实验照明方案的一个响应。
- 15 4. 根据权利要求 1 中所述的方法，其特征在于所述响应为 E1:1，疏密特征偏差，任意特征尺寸偏差，边带印制，薄膜损耗，侧壁角，掩膜误差放大系数，线性清晰度，或绝对分辨率。
5. 根据权利要求 1 中所述的方法，进一步包括绘制作为个别源点位置函数的响应图。
- 20 6. 根据权利要求 3 中所述的方法，进一步包括使用一剂量所述响应的加权平均值。
7. 根据权利要求 1 中所述的方法，其特征在于格栅间距在 0.01 至 0.2 范围内。
8. 根据权利要求 1 中所述的方法，其特征在于插入模拟格栅以增加格栅
- 25 点密度来辅助求平均值。
9. 根据权利要求 1 中所述的方法，其中调节照度分布包括，通过改变相对于锥形棱镜的轴棱镜/变焦模块的位置，衍射光学元件位置，孔径叶片的位置，或通过调节可编程反射镜阵列来调节照度分布。
10. 根据权利要求 1 中所述的方法，其中调节照度分布包括选择多极照明
- 30 器布置。

11. 根据权利要求 1 中所述的方法, 其中调节照度分布包括通过多极发射元件确定一种照明布置。
12. 根据权利要求 1 中所述的方法, 其中选择一个模拟模型包括, 选择一种用于在基底上印制图案的抗蚀方法。
- 5 13. 根据权利要求 12 中所述的方法, 其特征在于所述抗蚀模型是能充分预测实验结果的标准模型。
14. 根据权利要求 12 中所述的方法, 其特征在于确定所述抗蚀模型包括, 确定抗蚀模型至少考虑矢量效应、活性体的非零级扩散以及有限溶解对比度中的一个。
- 10 15. 根据权利要求 1 中所述的方法, 进一步包括, 计算表示具有散焦的个别源点的单独响应变量的度量标准, 其中调节照度分布步骤包括基于度量标准分析调节照度分布。
16. 根据权利要求 15 中所述的方法, 其特征在于计算所述度量标准步骤包括:
- 15 使用散焦;
- 计算散焦处的个别源点的单独散焦响应, 每个散焦响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果; 以及
- 对比个别源点的单独响应和单独散焦响应。
17. 根据权利要求 16 中所述的方法, 其特征在于对照步骤包括对个别源点
- 20 确定单独的度量标准响应。
18. 根据权利要求 17 中所述的方法, 其特征在于所述单独度量标准响应对应于散焦响应值的增量或散焦响应值的减少量。
19. 根据权利要求 17 中所述的方法, 其特征在于确定步骤包括从个别源点的单独响应中减去单独的散焦响应。
- 25 20. 根据权利要求 17 中所述的方法, 其特征在于调节照度分布的步骤包括绘制作个别源点位置函数的度量标准响应图。
21. 根据权利要求 18 中所述的方法, 其特征在于调节照度分布的步骤包括选择一个俘获具有相反度量标准响应特性的源点的照度分布。
22. 根据权利要求 15 中所述的方法, 其特征在于所述散焦在 0.02 至 0.4 μm
- 30 范围内。

23.根据权利要求 15 中所述的方法,其特征在于选择模拟模型的步骤包括,选择全抗蚀模型、空中影像模型、集总参数模型以及可变阈值抗蚀模型中的一个。

24.根据权利要求 23 中所述的方法,其特征在于所述抗蚀模型是能充分预
5 测试验结果的标准模型。

25.根据权利要求 24 中所述的方法,其特征在于所述抗蚀模型包括,确定抗蚀模型要至少考虑矢量效应,活性体的非零扩散以及有限溶解对比度这些中的一个。

26.根据权利要求 15 中所述的方法,其特征在于所述单独响应包括图案临
10 界尺寸和强度临界值之一。

27.根据权利要求 15 中所述的方法,其特征在于所述调节照度分布步骤包括,选择一种照明布置以使得通过散焦最小化或减小所述单独响应的变量。

28.根据权利要求 15 中所述的方法,进一步包括计算个别源点其它单独响应的步骤,每个所述的其它响应表示使用模拟模型的单一或一系列模拟的结果。
15

29.根据权利要求 28 中所述的方法,其特征在于所述调节照度分布的步骤包括,在所述其它单独响应分析的基础上调节照度分布。

30.根据权利要求 28 中所述的方法,其特征在于所述其它响应包括,曝光宽容度,焦深, E1:1, 疏密特征偏差,任意特征偏差,边带印制,薄膜损耗,
20 侧壁角,掩膜误差放大系数,线性清晰度,或绝对分辨率中的一个。

31.根据权利要求 28 中所述的方法,进一步包括绘制作为个别源点位置函数的所述其它单独响应的图。

32.根据权利要求 15 中所述的方法,进一步包括绘制作为个别源点位置函数的所述单独响应变量的步骤。

25 33.根据权利要求 15 中所述的方法,其特征在于格栅中源点的间距在 0.01 至 0.2 范围内。

34.根据权利要求 15 中所述的方法,其特征在于调节所述照度分布的步骤包括,改变相对于锥形棱镜的轴棱镜/变焦模块的位置,衍射光学元件的位置,孔径叶片的位置,或调节可编程反射镜阵列。

30 35.根据权利要求 15 中所述的方法,其特征在于调节照度分布的步骤包括

选择多极照明器布置。

36.根据权利要求 1 中所述的方法,进一步包括,对于投影系统至少确定一个像差组,以及其中所述根据个别源点计算单独响应的步骤包括,根据个别源点和至少一个像差组计算单独响应。

5 37.根据权利要求 36 中所述的方法,其特征在于根据个别源点和至少一个像差组计算单独响应的步骤包括,对于每个源点计算具有像差组的单独响应。

38.根据权利要求 37 中所述的方法,进一步包括对于每个源点比较所述单独响应并确定最大的一个。

39.根据权利要求 38 中所述的方法,其特征在于所述响应是光刻图案的 CD
10 变量。

40.根据权利要求 39 中所述的方法,进一步包括绘制作作为个别源点位置函数的最大 CD 变量的步骤。

41.根据权利要求 36 中所述的方法,其特征在于所述至少一个像差组包括位于投影系统区域中单独位置的像差。

15 42.根据权利要求 41 中所述的方法,其特征在于所述像差组是来自或表征实际光学系统的像差组。

43.根据权利要求 41 中所述的方法,其特征在于所述像差当作是总波前偏差。

44.根据权利要求 36 中所述的方法,其特征在于根据投影系统确定至少一
20 个像差组的步骤包括确定多个像差组,每组对应来自或表征实际投影系统的像差组。

45.根据权利要求 1 中所述的方法,进一步包括将掩膜辅助特征确定成为有助于在基底上印制光刻图案,以及其中所述根据个别源点计算单独响应的步骤包括,根据具有以及没有掩膜辅助特征的个别源点计算单独响应。

25 46.根据权利要求 45 中所述的方法,其特征在于调节所述照明布置的步骤包括,在格栅中选择源点,所述格栅给出没有掩膜辅助特征计算的响应,其与具有掩膜辅助特征所计算的最佳响应相似。

47.根据权利要求 45 中所述的方法,其特征在于所述掩膜辅助特征是光学邻近校正,抗散射带以及设置在掩膜上的相移窗口。

30 48.根据权利要求 1 中所述的方法,进一步包括确定多个参数及其相关变

量范围，根据多个参数和个别源点计算表示光刻图案的 CD 变量的度量标准，以及其中根据个别源点计算单独响应的步骤包括根据个别源点和多个参数中的每个计算单独 CD 变量。

49. 根据权利要求 48 中所述的方法，其特征在于调节所述照度分布的步骤
5 包括在度量标准分析的基础上调节照度分布。

50. 根据权利要求 48 中所述的方法，其特征在于对于多个参数的每一个的 CD 变量作为独立变量。

51. 根据权利要求 50 中所述的方法，其特征在于计算度量标准的步骤包括根据每个源点计算 CD 变量的平方和。

10 52. 根据权利要求 48 中所述的方法，其特征在于所述多个参数包括聚焦范围，剂量范围，透镜像差，闪烁级，图案密度变量以及掩膜 CD 范围。

53. 一种光刻投影装置，包括：

一种提供投射辐射光束的照明系统；

15 一个支撑构图构件的支撑构件，所述构图构件用于根据所需图案对所述投射光束进行构图；

一个固定基底的基台；

一个将图案光束投射在基底靶部的投影系统；

20 一个确定要印制在基底上的光刻图案的处理器，在照明系统的光瞳平面处选择一个格栅的源点，根据个别源点计算单独响应，每个单独响应表示使用模拟模型的单一或一系列模拟的结果，并在单独计算累计结果的分析基础上计算一种优化的照度分布；以及

一种可选择的变化束控制器，其适于改变投射光束的截面强度分布，所述光束存在于根据由所述处理器计算的优化照度分布的照明系统中。

25 54. 根据权利要求 53 中所述的光刻投影装置，其特征在于所述处理器被进一步配置以计算一种度量标准，所述度量标准表示具有散焦个别源点的单独响应的变量，以及一种表示具有多个参数 CD 变量的度量标准，其中所述参数包括聚焦范围，剂量范围，透镜像差，闪烁级，图案密度变量以及掩膜 CD 范围。

55. 一种具有机械可执行命令编码的机械可读媒介，其用于根据一种方法优化照明器的照度分布，其中所述方法包括：

30 确定要印刷在基底上的光刻图案；

- 选择模拟模型；
选择照明器的光瞳平面中源点格栅；
计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；以及
- 5 在单独计算累计结果的分析基础上调节照度分布。
- 56.一种设备的制造方法，包括：
投射带有图案的辐射光束到基底上辐射敏感层的靶部，其中在入射掩膜之前，使用一种优化投射光束的截面强度分布的方法，所述优化方法包括：
确定要印刷在基底上的光刻图案；
- 10 选择模拟模型；
选择照明器的光瞳平面中源点格栅；
计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；以及
在单独计算累计结果的分析基础上调节照度分布。
- 15 57.根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于所述调节步骤包括权重个别源点。
- 58.根据权利要求 36 所述的方法，其特征在于，确定至少一个像差组的步骤，包括确定典型像差组以及对投影系统有特定影响典型像差组中一个。
- 59.根据权利要求 36 所述的方法，其特征在于所述响应是 CD 变量，所述
- 20 方法进一步包括绘制作作为个别源点位置函数的 CD 变量的步骤。

光刻装置和使用光刻模拟 技术优化照明光源的方法

5

本申请是序列号为 10/361,831, 申请日为 2003 年 2 月 11 日, 标题为“使用全抗蚀模拟技术和加工窗口度量标准优化照明光源的方法”, 以及序列号为 10/716,439, 申请日为 2003 年 11 月 20 日, 标题为“光刻装置和使用等焦距 (isofocal) 补偿技术优化照明光源的方法”的美国专利申请的连续申请。这两个申请的内容在此全部引作参考。

技术领域

本发明涉及一种用于优化光刻装置照明光源的方法。尤其是涉及一种利用计算机模拟技术优化照明光源的方法。

15 背景技术

此处使用的术语“构图部件”应当广义地理解为涉及能够给入射辐射光束赋予带图案的横截面的部件, 其中所述图案与要在基底的靶部上产生的图案一致; 术语“光阀”也用于本文中。一般地, 所述图案与在靶部中形成的诸如集成电路或其它器件的特殊功能层相对应靶部。这类构图部件的一个实例为掩膜。掩膜的概念在光刻中是公知的, 它包括例如双掩膜型、交替相移掩膜型、衰减相移掩膜型, 及各种混合掩膜型。这类掩膜在辐射光束中的设置使入射到掩膜上的辐射能根据掩膜上的图案而选择性地被透射 (在透射性掩膜的情形下) 或被反射 (在反射性掩膜的情形下)。在使用掩膜的情形中, 支承结构一般是一个掩膜台, 它确保掩膜能够被保持在入射辐射光束中的所需位置处, 并且如果需要, 该台会相对于光束移动。

构图部件的另一个实例为可编程反射镜阵列。这类阵列的一个实例是带有粘性控制层和反射面的可寻址矩阵面。这类装置的基本原理是, 例如, 反射面的寻址区域反射作为衍射光的入射光, 而未寻址区域反射作为非衍射光的入射光。利用合适的滤光器, 所述非衍射光能够从反射束中被滤除, 只保留衍射光; 这样, 光束根据可寻址矩阵面的寻址图案而产生图案。可编程反射镜列的另一

个实例采用微反射镜的矩阵排列，其中的每一个微反射镜都能通过施加适当的局部电场或使用压电致动装置而独立的关于一轴倾斜。再者，这些反射镜是矩阵可寻址的，从而寻址反射镜将沿不同于非寻址反射镜的方向反射入射辐射光束；这样，反射的光束就被根据可寻址反射镜列的寻址图案来形成图案。所需的寻址矩阵可以使用合适的电子装置来完成。在上述的两种情况中，构图部件可以包括一个或多个可编程反射镜阵列。有关此处提到的反射镜阵列的更多信息可以从例如美国专利 US5296891 和 US5523193 及 PCT 专利申请 WO98/38597 和 WO98/33096 中获得，这些文献在此引入作为参考。在可编程反射镜列的情形中，所述支承结构可以具体化为框架或工作台，例如所述结构根据需要可以是固定的或是可移动的。

构图部件的另一个实例为可编程 LCD 阵列。在美国专利 US5229872 中给出这类构造的一个例子，在此引作参考。同上，所述支承结构可以具体化为框架或工作台，例如所述结构根据需要可以是固定的或是可移动的。

为了简单起见，本文其余部分中一些情况中具体以掩膜和掩膜台为例；但是，在这些例子中所讨论的一般原理应当被理解为在如上所述构图部件的更宽范围内。

光刻投影装置可以用于例如集成电路 (ICs) 的制造中。在这种情况下，构图部件可生成对应于 IC 一个单层的电路图案，此电路图案可成像在已经涂有辐射敏感材料 (抗蚀剂) 层的基底 (硅片) 的靶部 (例如，包括一个或多个电路小片 (die)) 上。一般地，单个晶片将包含相邻靶部的整个网格 (network)，其中这些相邻的靶部由投影系统逐个相继辐射。在目前通过采用掩膜台上的掩膜来形成图案的装置中，有两种不同类型的机器。在一种类型的光刻投影装置中，通过将整个掩膜图案一次曝光在该靶部上而照射每个靶部。这类装置通常被称作晶片分档器。另一种装置，通常称作分布扫描装置，通过在投射光束下沿给定的参考方向 (“扫描” 方向) 渐进地扫描掩膜图案，并同时沿平行于或反平行于该给定参考方向同步扫描基底基底台来辐射每个靶部；因为一般来说，投影系统具有放大系数 M (一般 <1)，因此基底台的扫描速度 V 是掩膜台扫描速度的 M 倍。从例如美国专利 US6046792 中可以收集到有关此处描述的光刻装置的更多信息。

在一种已知的光刻投影装置的制作方法中，图案 (例如，在掩膜中) 被成

像在至少部分覆盖有辐射敏感材料（抗蚀剂）层的基底上。在此成像步骤之前，可以对基底进行各种处理，例如涂底漆、涂覆抗蚀剂及软烤。在曝光后，可以对基底进行其它处理，例如曝光后烘烤（PEB）、显影、硬烘烤和测量 / 检查成像特性。以这一系列工艺为基础，对例如 IC 的器件的单层形成图案。然后，

5 可对这种图案层进行各种处理，像蚀刻、离子注入（掺杂）、喷镀金属、氧化、化学、机械抛光等所有的的处理这些都是用来制造一个单层。如果需要若干层，那么每一新层都要重复该全部步骤或者其变化。确保各种层叠体的叠层（并置层）尽可能地精确是很重要的。为此目的，在晶片的一个或多个位置上设置一个小的标记掩膜，进而限定晶片上坐标系的原点。结合基底保持架定位设备（下文称为“定位系统”）使用光学和电气器件，在一新层将要并置在已有层上时，

10 该标记每次都可被重定位，而且可以用作定位参照。最终，基底（晶片）上出现一排器件。然后，通过诸如切割或锯断的操作技术将这些器件彼此分开，由此单个的器件就可安装在载体上，与管角等连接。从例如在此引作参考的一书“微芯片制作：半导体加工实践入门”，第三版，Peter van ant, McGraw Hill 出版社，1997，ISBN0-07-067250-4，可以获得有关这些加工的进一步信息。

为了简单起见，在下文中投影系统被称作“镜头”；但是，该术语应当被广义理解为包含各种类型的投影系统，例如包括折射光学装置、反射光学装置和反折射系统。辐射系统还包括依照用来引导、成形或控制透射辐射束的任一设计类型进行操作的部件，这些部件也可以共同地或单个地称作“透镜”。此外，光刻装置可以是具有两个或多个基底台（和 / 或两个或多个掩膜台）的类型。

20 在这种“多级”设备中，可以并行地使用这些附加工作台，或者在一个或多个工作台被用于曝光的同时而在一个或多个工作台上进行准备工作。例如，在美国专利 US5,969,441 和 US6,262,796 中描述了双级光刻装置。

光刻被广泛公认为是集成半导体电路制造中的一个关键步骤。目前，没有能提供具有相似精确度、速度和经济生产率的所需构图系统结构的可替换技术。但是，由于 ICs 的尺寸变得更小，光刻将成为，如果不是最重要，也是重要控制因素之一，其中所述因素使得以真正大规模制造小型半导体元件装置得以实现。

图案打印局限的理论估算可以由等式（1）中瑞利判据分辨率 R 给出：

$$R = k_1 * \lambda / NA \quad (1)$$

30

其中 λ 为所用辐射光束的波长, NA 为投影系统中透镜的数值孔径以及 k_1 为工艺相关调节系数。

5 遵循等式 (1), 分辨率可以通过三种方法得到改善: 缩短辐射波长 λ , 增加数值孔径 NA 或是减少 k_1 值。在过去已经实行了这些方案, 并希望将来仍继续实行。

光刻装置的工作性能及其限制也可通过焦深 (Depth Of Focus) (DOF) 予以解释和说明, 它通常被视为限定光刻投影装置分辨率的最重要因素之一。等式 (2) 中定义的 DOF, 也被定义为图案的足够清晰图像上沿光轴的距离。

$$\text{DOF} = \pm k_2 * \lambda / \text{NA}^2 \quad (2)$$

10 其中 k_2 是经验常数。

附加的特征曲线/测量值帮助更好地理解光刻在分辨率限制上的实际难度包括曝光宽容度 (EL), 疏密偏差 (Dens Isolate Bias) (DIB), 以及掩膜误差放大系数 (MEEF)。曝光宽容度指打印图案的临界尺寸 (CD) 可允许的百分比定量范围, 通常为 10%。其和 DOF 一起被用作限定加工窗口, 即根据规定的技术要求保持最终保护层外形的聚焦和曝光区域。DIB 相似特征之间尺寸差异的测量值, 取决于图案的密度。最后, MEEF 说明分划板 (reticle) CD 误差如何转换为晶片 CD 误差。

20 随着半导体工业进入长时间的亚微米时代, 由于焦深的降低、镜头设计的难度和透镜制造技术的复杂度, 目前可用的光刻技术的分辨率已达到极限。为了解决上述问题, 一直在努力完善分辨率改进技术。

过去, 光刻投影设备的分辨率极限通过照明系统数值孔径 (NA) 的相关尺寸的控制予以优化。这种关于投影系统物镜 NA 的控制考虑到在掩膜板上的空间相干性改变, 通常称作局部相干性。这种控制通过 Köhler 照明系统中聚光透镜光瞳的特性予以实现。实质上, 这涉及到衍射信息的光处理操作。通常利用呈整圆形的照明器装置实现投影成像系统的局部相干性的优化。通过用照明器光瞳尺寸控制物镜中衍射信息的分布, 可获得最大图像调制。照明系统还可通过对整圆形照明器装置的各种变化得到进一步改善。系统中光照以一定的角度倾斜入射在掩膜上, 使得零级和一级衍射分布在光轴两侧的任一侧, 系统为分辨率改进创造条件。这种方法通常称作离轴照射。

30 离轴照射通过辐射光束关于透镜光轴以一定的角度照射掩膜来改善分辨

率。辐射光束入射在掩膜上，起到衍射光栅的作用，通过传输穿过透镜的更多衍射级辐射光束改善图像的对比度。与常规掩膜共用的离轴照射技术所产生的分辨率改善效果同使用相移掩膜获得的分辨率改善效果相类似。

已经完善其它各种改进技术来提高分辨率和增加焦深，这些技术包括光学邻近误差（OPE）的光学邻近修正（OPC），相移掩膜（PSM）和亚分辨率辅助特征（SRAF）。每项技术可以单独使用，或和其他技术共用来改善光刻投射设备的分辨率。

一种产生离轴照射的方法是将金属光圈挡片滤波器插入提供倾斜照射的投影系统照明器的复眼透镜组件中。上述金属板上的图案有四个对称设置的孔（区域），所述孔的尺寸大小和间隔设置对特定几何尺寸定位和负载比例允许衍射级重叠在光掩膜上的。这样的方法使射到掩膜上的光强损失巨大、光通量降低并使该方法不令人满意。另外，四个圆形孔需要针对某些掩膜几何图形和倾斜度予以特殊设计而且不改善其它几何尺寸和间隙的特性。本领域的在先技术描述了这样的方法，其使用光圈挡片的两个或四个孔。例如，参看 EP0500393, 美国专利 US5305054、US5673103、US5638211，以及 EP0496891 和 EP0486316。

离轴照射的另一个方法是使用在专利 U.S. 6,452,662 中披露的四区结构，该方法将投影系统的照明区域分成光束，所述光束可将离轴照明光成形分布到光掩膜上。由于具体表现为使离轴照射成形的能力，曝光光源的输出量和适应性得以保持。另外，这种方法涉及到离轴和轴上（常规的）结合照明的特性。这样，用离轴照射方法照射的密致特征的改进比直接离轴照射有显著降低。可是，由于这些特征更优选采用同轴照射，故较小密致特征的性能更佳。其结果是密致和稀疏特征之间的光学邻近效应降低，优化更少依赖于几何特性并能选择更普遍的照明条件。

参照附图 2—5，截面图用被照明区域（下文统称为孔）示出了目前可得到的照明强度分布或照明装置，包括小或少的希格玛（ σ ）形（附图 2），环形（附图 3），四极形（附图 4）以及类星体形（quasar）（附图 5）。附图 3—5 的环形，四极形和类星体形技术是轴外照明方案的示意图。

小 σ 形照明是近似零照射角度（例如几乎垂直于掩膜）入射在掩膜上，并利用相移掩膜产生分辨率提高和焦深增加的良好效果。环形照明以环形对称的角度入射在掩膜上，其提高分辨率并增大焦深，而比其它照明方案更少依赖图

案。四极形和类星体形照明以四个主要角度入射在掩膜上，提高分辨率并增大焦深，但具有很强的图案依赖。

参照附图 6 和 7，示意说明了两种照明系统。附图 6 和 7 说明的照明系统包括光聚集/准直光学元件 10；轴棱镜/变焦模块 12；和光聚集及投影元件 14。

5 照明系统限定光轴 16，光瞳平面 18，和掩模板 20。轴棱镜/变焦模块 12 包括一对轴棱镜 22，一个凹透镜和一个凸透镜，它们之间的间距可以变化。模块 12 也包括一个变焦透镜 24。

对于锥形轴棱镜的情况，附图 8 中示出了光瞳平面 18 处可得到的照明强度分布的一些实例。光斑的大小可通过改变变焦透镜的位置在状态 A 和 B 之间改变。类似地，环状光斑可以通过改变轴棱镜的空隙（轴棱镜之间的间距）在状态 A 和 C 之间变化。

为了改善照明的均匀性，使用光学积分器 26。附图 6 中的光学积分器采用如玻璃、氟化钙或石英棒形成的光管 26。耦合器 28 将光瞳平面 18 处的照明光耦合到棒 26 中，系统中还设有棒状图像出射光学元件 30。附图 7 中的复眼 (fly's
15 eye) 元件 32 起到积分器的作用。另外，物镜 34 和 36 使该投射光学装置完整。

从上述讨论可知，对于提高光刻透射装置的分辨率和增大加工窗口，工艺工程师有多种方案可选择。然而，在给定经费和时间内，在半导体制造设备上 (fab) 进行试验，这种包括全面测试这些方案来完善一耐用加工 (robust process) 的方法是完全不切实际的。由于半导体领域中生产循环周期相对短，
20 在研发每一条新生产线或每一制造工序所花费的时间量受到严格限制。

为了适应上述情况在本行业中光刻模拟技术已成为一种增长兴趣。用于对一个新掩膜测试优化光学近似校正特性的模拟试验可以仅用一天时间，取代为
期数月的晶片试验已成为既定事实，模拟目前被视为辅助光刻设备完善和优化的有效手段。

25 由于模拟可快速评估方案、优化工序以及通过减少所需试验次数以节省时间和金钱，因此模拟作为完善手段是非常有用的。模拟也能在研究范围中帮助理解许多物理现象，如推进 (pushing) 分辨率的局限来获得光刻装置波长同级或低级特征尺寸时出现的现象。最后，模拟是使光学光刻延伸到亚-150nm 范围并延长百万美元分档器和十亿美元 fabs 使用寿命的有力手段。

30

发明内容

本发明的一个目的是借助于计算机模拟技术优化光刻投影装置的照明条件。本发明提供适应各种光刻投影装置照明条件的优化技术，例如包括，加工窗口（曝光/剂量范围与焦深的比值（*exposure/dose latitude versus depth of focus*）），边带（*side lobe*）印刷和掩膜误差放大系数。

根据本发明的这个目的，提供一种借助计算机模拟技术优化光刻投影装置照明条件的方法，其中光刻装置包括照明器和投影系统，所述方法包括：确定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器光瞳平面的源点格栅（*gride*）；计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；并在该单独计算值的累计结果分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种借助运用全抗蚀计算的计算机模拟技术优化光刻装置照明条件的方法，其中光刻装置包括照明器和投影系统，所述方法包括：确定要印刷在基底上的光刻图案；选择一个抗蚀模型；选择光瞳板上的源点格栅；计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用抗蚀模型的模拟结果；并在单独计算值的累计结果的分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种借助运用等焦距补偿技术的计算机模拟技术优化光刻装置照明条件的方法，其中光刻装置包括照明器和投影系统，所述方法包括：确定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器的光瞳平面上的源点格栅；计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果；对具有散焦的个别源点计算表示单独响应变化的度量标准（*metric*），并在度量标准的分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种借助运用像差灵敏度（*aberration sensitivity*）的计算机模拟技术优化光刻装置照明条件的方法，其中光刻装置包括照明器和投影系统，所述方法包括：确定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器的光瞳平面中源点格栅；对于投影系统确定至少一个像差组，计算个别源点以及至少一个像差组的单独响应，每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果；并在单独计算值的累计结果的分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种借助运用照明器水平面掩膜辅助构件的计算机模拟技术优化光刻装置照明条件的方法，其中光刻装置包括照明器和

投影系统，所述方法包括：确定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；确定掩膜辅助构件的配置以有助于在基底上印刷光刻图案；选择照明器的光瞳平面中源点格栅；计算具有和没有掩膜辅助部件的个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果；并在单独计算值的累计结果的分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种借助运用最佳 CD(临界尺寸)均匀性度量标准的计算机模拟技术优化光刻装置照明条件的方法，其中光刻装置包括照明器和投影系统，所述方法包括：限定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器的光瞳平面中源点格栅，限定多个参数及其变化范围；计算个别源点以及每个参数的单独响应，每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果；计算一个表示根据很多参数以及个别源点设定光刻图案的 CD 变化的度量标准；并在度量标准的分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种光刻投影装置，包括：一个用于提供辐射投射光束的照明系统；一个用于支撑构图部件的支撑部件，所述构图部件能根据所需图案对投射光束进行构图；一个固定基底的基台；一个用于投射图案光束到基底靶部的投影系统；一个用于限定要印刷在基底上的光刻图案的处理器，在照明系统的光瞳平面中选择一个源点格栅，计算个别源点的各自响应，每个响应表示一个或一系列运用模拟模型的模拟结果，并在每个计算累计结果的分析基础上计算优化后照明的设置；以及一个可选择地可变光束控制器，它适合调整在投影光束出射其根据处理器所计算出的优化照度分布，调整照明系统出射的投射光束的截面光强分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种具有机械可执行命令的机械可读介质编码，所述命令用于优化根据下述方法的照明器中照度分布，该方法包括：确定印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器中光瞳平面处源点格栅；计算个别源点的各自响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；并在各自计算累计结果的分析基础上调节照度分布。

根据本发明的另一个目的，提供一种设备的制造方法，包括：投射一辐射图案光束到基底上辐射敏感材料层的靶部，其中在入射掩膜之前，投射光束的截面强度分布应用上述方法已予以优化。

尽管根据本发明的装置在本文中具体用于 ICs 的制造，但应当明确地理解，

这样的装置可能具有许多其它应用。例如，所述装置可以用于集成光学系统，用于磁畴存储器的引导和检测图案，液晶显示板，薄膜磁头等的制造。应当理解，在这种可替换的用途范围中，本文所使用的术语“分划板 (reticle)”，“晶片”或“电路小片 (die)”应认为分别可被更普通的术语“掩膜”，“基底”和“靶部”予以替换。

在本文中，术语“辐射”和“光束”包含所用类型的电磁辐射，包括紫外辐射（例如，波长为 365，248，193，157 或 126nm 的辐射）和 EUV（极远紫外辐射，例如具有波长在 5—20nm 范围内的辐射），以及粒子束，如离子光束或电子光束。

10

附图说明

以下将参考所附示意图，仅通过实施例的方式说明本发明的实施例：

图 1 是光刻投影装置的示意图；

图 2 是小或少， σ 形照度分布的示意图；

15

图 3 是离轴环形照度分布的示意图；

图 4 是离轴四极照射设置的示意图；

图 5 是离轴类星体形照射设置的示意图；

图 6 是照明系统的示意图；

图 7 是另一照明系统的示意图；

20

图 8 是图 6 和 7 的照明系统可获得的照度分布示意图；

图 9 也是一照明系统的示意图；

图 10a 是图 9 中照明系统的多极模发射元件的示意图；

图 10b 是根据本发明另一实施例的多极模发射元件的示意图；

图 11 是根据本发明另一实施例的多极模发射元件的示意图；

25

图 12 是另一照明系统的截面示意图及其所获得的照度分布示意图；

图 13 是说明用于优化根据本发明实施例的光刻投影装置的照明条件方法的流程图；

图 14 (a) 是具有少 σ 形照度分布的照明器的截面示意图；

图 14 (b) 是具有四极形照度分布的照明器的截面示意图；

30

图 15 说明标准化空间像对数斜率(NILS)作为特定光刻图案(由 Chromeless

Phase 光刻掩膜印制的 65nm 隔离线) 的源点位置函数的等高线图;

图 16 是说明用于优化根据本发明实施例的光刻投影装置的照明条件方法的流程图;

图 17 是图 16 所述方法获得的等高线图;

5 图 18 是说明用于优化根据本发明实施例照明条件方法的流程图;

图 19 是比较用不同试验照明条件模拟的焦深 (DOF) 和用图 16 和 18 中所述方法获得的 DOF 值曲线图;

图 20 是图 19 所用几种照度分布的示意说明图;

10 图 21 是根据商业模拟软件 (Prolith™) 以及权重剂量 (weighted dose) 并添加光源测量的本发明实施例而获得的几种照明分布的 DOF 数值比较表;

图 22 是两个 DOF 数值的比较示意图, 即图 16 和 18 中所描述的用于图 20 所示照度分布的方法获得的 DOF 数值, 以及根据运用全照明器计算商业模拟软件所获得的 DOF 数值;

15 图 23 是两个 DOF 数值的比较示意图, 即图 16 和 18 中所描述的用于图 20 所示照度分布的方法获得的 DOF 数值, 以及根据运用全照明器计算商业模拟软件所获得的 DOF 数值;

图 24 是说明根据本发明实施例所使用的等焦距补偿技术优化照明的方法流程图;

20 图 25 是示出多 CD 与散焦曲线的对照 Bossung 曲线图, 每个曲线代表的曝光不同;

图 26a 和 26b 示出通过抗蚀计算和空间像计算的等焦距曲率示意图;

图 26c 示出了图 26a 和 26b 根据孔距为 360nm 处 90nm 孔图案所研究的光刻问题;

25 图 27a 和 27b 是通过抗蚀计算和空间像计算的等曲率示意图并说明照明器中对立等焦距的状态;

图 28 是示出对立等焦距的状态并说明特定固有图案 (90nm 孔/360nm 孔距) 的最佳照度分布的等高曲线示意图;

图 29 示出了 CD 作为照明条件优化后几个曝光能量散焦的函数的各种变化;

30 图 30a 说明了位于照明器中每个源点对最大曝光宽容度 max-EL 所作贡献

的等值曲线图;

图 30b 说明了位于照明器中每个源点对辐射量尺寸比 E1:1 所作贡献的等值曲线图;

5 图 31 是照明器中光瞳板处照度分布, 其中照明器包括涉及等焦距补偿, 曝光宽容度以及辐射量尺寸比的信息;

图 32 是通过图 31 中照度分布所获得的聚焦曝光矩阵;

图 33 示出了图 31 所示照度分布所获得的曝光宽容度;

图 34 示出了对应不同照明条件散焦的曝光宽容度的各种变化;

10 图 35a—d 分别说明对曝光宽容度焦深、在曝光宽容度 8% 处焦深以及位于 400nm 孔距处对应 75nm 孔图案的等焦距曲线的模拟结果;

图 36a 示出了表示在 8% 曝光宽容度处焦深 (DOF@8%EL) 变化的模拟结果, 其中所述曝光宽容度作为不同类型照的分布孔距 (pitch) 的函数, 所述函数如图 36b 和 36c 中所示用于相应 75nm 孔的图案;

15 图 36b 为照明器的光瞳平面处照度分布, 所述照明器包括涉及等焦距补偿, 曝光宽容度和辐射量尺寸比的信息并具有 $0.4\sigma+0.90/0.4$ 类星体形照明;

图 36c 为照明器的光瞳板处照度分布, 所述照明器包括涉及等焦距补偿, 曝光宽容度和辐射量尺寸比的信息并具有 $0.4\sigma+0.97/0.4$ 类星体形照明;

图 37 为说明根据本发明实施例优化照明条件的方法流程图;

20 图 38a 示出了对于三个透镜, 双直线图 CD 变化作为透镜像差引起的波前误差函数;

图 38b 为说明用于模拟由透镜像差引起的 CD 变化的双直线结构示意图;

图 39a 是为等高曲线图, 其说明了位于照明器中每个源点对 8% 曝光宽容度焦深的影响以及对图 38b 中所述双直线结构的估算的聚焦深度处照明器中每个源点的分布;

25 图 39b 为说明等焦距曲率以及图 38b 中所示双直线结构估算的等值曲线图;

图 40 表示对于三个透镜以及作为波前像差函数的三种类型照明 ($\sigma=0.25$, $\sigma=0.15$, 以及小 CQuad+ $\sigma=0.15$) 的双直线结构 CD 变化;

30 图 41 示出了照明器的光瞳平面处不同的照度分布, 其中照明器为图 40 的试例, 例如 $\sigma=0.25$, $\sigma=0.15$, 以及小 CQuad+ $\sigma=0.15$;

图 42 是根据本发明实施例，作为源点位置函数的像差所引起的 CD 变化的等高曲线图；

图 43 是表示 8%曝光宽容度焦深变化的等高曲线图，其中曝光宽容度焦深作为图 38b 中所示相同双直线结构以及无铬（Chromeless）相位光刻掩膜模拟的源点位置函数；

图 44 是表示由于根据本发明实施例，作为源点位置函数的像差所引起的 CD 变化等高曲线图；

图 45 表示对于三个透镜和作为波前误差函数的三种类型照明（相位转换掩膜 $\sigma=0.25$ ，CPL 掩膜 0.80/0.55 类星体 30°，以及 CPL 掩膜 0.85/0.50 类星体 45°）的双直线结构的 CD 变化；

图 46 示出了作为图 44 所示三种类型照度分布焦深函数的曝光宽容度变化；

图 47 是说明根据本发明实施例的优化照明条件的方法流程图；

图 48 是具有设置在每个沟道两边的掩膜辅助部件（抗扩散条）的沟槽图 15 案示意图；

图 49a 和 49b 是两个等高曲线图，其说明了焦深以及用于模拟图 48 种所示部件和 6%衰减相位转换掩膜的源点位置函数的曝光宽容度的变化；

图 50 示出了作为关于各种抗扩散条间距和各种 CQuad 柱大小及长短的焦深的函数的曝光宽容度变化；

图 51a 和 51b 是两个等高曲线图，其说明了焦深以及用于模拟图 48 种所示部件（没有抗扩散棒）和 6%衰减相移掩膜的源点位置函数的曝光宽容度的变化；

图 52 示出了沟槽的 CD 变化，其中沟槽为 35°CQuad 沟槽曝光和 0.1 σ 照明的散焦深度函数，所述照明已经通过使用等焦距补偿分析选定；

图 53 表示作为焦深函数的曝光宽容度的变化，其中焦深表示图 47 中所示本发明实施例选定的两个照度分布；

图 54 表示作为焦深函数的曝光宽容度的变化，其中焦深表示基于曝光宽容度的效果；

图 55 为说明根据本发明实施例，用最佳 CDU 度量优化照明条件的方法流 30 程图；

图 56 示意说明了印在 CPL 掩膜上的 50nm 双直线构图;

图 57 根据本发明实施例, 说明作为源点位置函数的 $\text{DOF}@8\%EL$ 变化等高曲线图;

图 58 为说明根据图 55 中所示本发明实施例的作为源点位置函数的 CD 变化等高曲线图; 和

图 59 说明了关于几种照度分布以及各种参数的 CD 变化。

具体实施方式

图 1 示意说明了根据本发明实施例的光刻投影装置 1。所述装置包括辐射系统 Ex、IL, 并构造使其施加辐射投射光束 PB (例如 UV 或 EUV 辐射, 例如, 由工作波长为 248nm, 193nm 或 157nm 的准分子激光器发出的或由 13.6nm 工作波长的激光放电等离子光源所发出的辐射)。在本实施例中, 辐射系统还包括辐射源 LA。所述装置也包括第一目标(掩膜)台 MT, 其设有用于保持掩膜 MA (例如, 分划板) 的掩膜保持器, 并连接到第一定位装置 PM (未示出) 以使该掩膜相对于投影系统或透镜 PL 精确定位; 第二目标(基底)台 WT, 其设有用于保持基底 W (例如, 涂覆抗蚀剂的硅晶片) 的基底保持器, 并连接到第二定位装置 PW 以使基底相对于投影系统或透镜 PL 精确定位。投影系统或透镜 PL (例如石英和/或 CaF_2 透镜系统或折射或反折射系统, 反射镜组或场致偏转器 (field deflector) 阵列) 将掩膜 MA 的辐射部分成像到基底 W 的靶部 C 上 (例如, 包括一个或多个电路小片 (die))。投影系统 PL 被支撑在基准架 RF 上。

如在此所述, 装置可为透射型 (例如, 具有透射掩膜)。可是, 一般来说, 装置也可是反射型, (例如具有反射掩膜)。另外, 所述装置可以利用其它种类的构图部件, 如上述涉及的可程控反射镜阵列型。

辐射源 LA (例如, 设置在存储环或同步加速器中电子束光路周围的 UV 准分子激光器、波荡器或摆动器, 激光生成等离子光源, 放射光源或电子或粒子束光源) 产生辐射光束 PB。所述光束 PB 直接和横穿过如扩束器 Ex 的调节装置后, 再进入照明系统 (照明器) IL, 照明器 IL 可以包括可选择地变光束控制器或调节装置 AM, 该装置用于设定光束光强分布的外和/或内径向量 (通常分别称为 σ -外和 σ -内)。另外, 照明器也通常包括各种其它元件, 例如积

分器 IN 和聚光器 CO。在这种方式中, 照射到掩膜 MA 上的光束 PB 在其截面具有所需的均匀度和光强分布。

仍参照图 1, 投影装置还包括一个控制单元 CU, 其可被程控以执行例如图 14, 16, 18, 24, 37, 47 和 55 中所说明的方法, 并可控制光刻装置的不同元件。在本发明的一个实施例中, 控制单元 CU 可以包括一个处理器, 该处理器控制调节装置 AM 以及调整照明器 IL 出射的投射光束截面光强分布。

参照图 1 也应当注意到, 光源 LA 可以位于光刻投影装置(例如, 通常情况时, 光源 LA 为汞灯)的壳体内, 但也可以远离光刻投影装置, 产生的辐射光束被导入所述装置中(例如在适合的引导反射镜的辅助下)。在光源 LA 为准分子激光器时, 经常出现后者所述情况。本发明包括这两种情况。特别地, 本发明包括的实施例中, 辐射系统 Ex, IL 适于产生小于 250nm 波长的投影辐射光束, 例如具有 248nm, 193nm, 157nm, 126nm 和 13.6nm 的波长。

光束 PB 然后与固定在掩膜台 MT 上的掩膜 MA 相交。横向穿过掩膜 MA 后, 光束 PB 穿过镜头 PL, 该镜头将光束 PB 聚焦在基底 W 上的靶部 C 处。在第二定位设备 PW 和干涉仪 IF 的帮助下, 基底台 WT 可被准确地移动, 例如为了在光束 PB 的光路中定位不同的靶部 C。类似地, 例如在从掩膜库中机械取出掩膜 MA 后或者在扫描过程中, 第一定位设备 PM(未示出)能够根据光束 PB 的光路精确定位掩膜 MA。通常, 在长冲程功能块(粗定位)以及短冲程功能块(精定位)的帮助下, 可实现目标台 MT, WT 的移动。可是, 在晶片分档器中(与分步扫描装置相对)掩膜台 MT 仅能被连接到或固定在短冲程致动器上。使用掩膜对准标记 M_1 , M_2 和基底对准标记 P_1 , P_2 使掩膜 MA 和基底 W 对准。

所述装置可用于以下优选模式:

1. 在步进模式中, 赋予投影光束的整个掩膜图像被一次投射(即单静态曝光)到靶部 C 上, 掩膜台 MT 和基底台 WT 基本保持不动。基底台 WT 进而在 X 和/或 Y 方向移动, 以使不同的靶部 C 得到曝光。在步进模式中, 曝光的最大区域限定了单静态曝光成像的靶部 C 的大小。

2. 在扫描的模式中, 赋予投影光束的掩膜图案被投射(即单动态曝光)到靶部 C 上, 掩膜台 MT 和基底台 WT 被同时扫描。通过(缩)放大和投影系统 PL 的反向成像特性, 相对于掩膜台 MT 确定基底台 WT 的速率和方向。在

扫描模式中，曝光的最大区域限定了单动态曝光中靶部的宽度（在非扫描方向），而扫描运动的长度确定了靶部的高度（在扫描方向）。

3. 在其它模式中，固定可编程构图部件的掩膜台 MT 基本保持稳定，赋予投影光束的掩膜图案被投射到靶部 C 时，移动或扫描基底台 WT。在该模式中，
5 通常使用脉冲辐射光源并在基底台 WT 的每次移动后或在一次扫描过程中的连续两次辐射脉冲之间按所需更新可编程构图部件。这种运作模式能被很容易地应用到无掩膜光刻中，所述无掩膜光刻利用可编程构图部件，如上面所涉及可编程反射镜阵列型。

还可运用上述模式的组合和/或变化，或可运用完全不同的使用模式。

10 参照图 9，照明系统可以包括光聚集/准直光学元件 10；轴棱镜/变焦模块 12；多极模发射元件 38；以及光聚集和投射光学元件 14。所述元件沿光轴 16 放置并用于照射位于掩模板 20 上的掩膜 MA，进而经由投影系统或镜头 PL 在晶片 W 上的抗蚀层中产生曝光图案。图 9 中所说明的照明系统包括石英棒状光聚集器 26。图 9 中所示的光轴 16 能被折叠以产生更紧凑的照明系统。

15 图 10a 示出多极模发射元件 38 的一个优选实施例。元件 38 插入在光瞳平面 18 处的光路中，该元件具有四个三角形叶片 41,42,43,44 并形成马耳他十字 40，在此也可称为马耳他孔径叶片（MAB）。每个叶片有一顶角 β 。图 10b 示出了轴棱镜/变焦模块 12 和 MAB40 所产生的环形照明模式的组合而产生的照明强度分布。所述分布具有四个光束或极 45。本实施例能实现连续可变化的四极照明模式。每个极 45 的径向位置可通过调整轴棱镜光学元件 22 予以改变，
20 每个极的径向宽度通过调整变焦镜头 24 予以改变，切向极宽度可通过插入另一具有不同顶角 β_1 的叶片组予以改变，如图 11 中所示的马耳他十字形 40。去除所有叶片，照明系统可以用于常规和/或环形模式，再一次连续变化。

通过插入不同顶角的叶片使得切向极宽度以不连续的步骤予以改变。根据
25 本发明的另一个实施例，切向极宽度可被包括 n 组叶片的马耳他十字形的每个臂连续改变，其关于它们顶点处的系统光轴可相互旋转。

根据另外实施例，在光学系统中多极模发射元件 38 仅使用两个叶片，所述系统如图 9 中所示的照明系统，包括如矩形石英棒 26 的光导管。叶片之一和光导管 26 矩形截面的短边平行，另一叶片和长边平行。由于光导管 26 中的
30 多个反射，由此产生的照明模式是环形和四极形混合的模式。双叶片系统可产

生包括四极元件的照明模式，由于所述四极元件相比马耳他十字有较少阻挡光束的叶片，从而具有较低的能量损耗。在一个实施例中叶片都为三角形，并象马耳他十字的两个垂直臂，例如图 10a 中所示的叶片 41 和 42。本实施例中的一个或两个叶片可以是包括如上所述的可旋转小叶片组的组合叶片。

5 叶片一般沿与掩膜 MA 正交线一致的方向定位，以使得光极 45 位于与正交线成 45° 中心角的每个象限内。这种定向可产生线优化投射，特别用于致密构件 (dense structures)，如用于类似 DRAM 的构件。正交线通常称为水平线和垂直线。由于图案特征在尺寸上的减少，更优选位于各个象限内与正交线成 90° 中心角的光极。适于四极照射的最佳 σ 形可通过公式估算： $\sigma = \lambda / (\sqrt{2} NA \cdot \text{孔距})$ ，适于偶极和 45° 旋转四极的最佳 σ 形可通过公式估算： $\sigma = \lambda / (2 NA \cdot \text{孔距})$ 。

上述使用叶片的实施例的进一步变化是使所有叶片关于照明系统的光轴 16 旋转，以使得光极的位置可旋转。

参照图 12，本发明的另一个典型实施例包括，具有作为多极模发生元件的
15 锥形棱镜 50 的轴棱镜/变焦模块。这也使得常规的，环形的和四极形照明产生连续变化的模式。图 12 示出了轴棱镜/变焦模块的光学元件。图 12 的右侧示出了对于轴棱镜对 22a, 22b 以及变焦透镜 24 的各种定位光瞳平面处 18 的照明强度分布。轴棱镜对 22 包括一对具有圆锥表面的元件，一个凹体 22a，一个凸体 22b，以产生圆形和环形照明图案。第四排示出了凸体元件 22b 中锥形棱镜
20 50 分离的效果。凸体元件 22b 朝向棱锥 50 的一边是凹形锥体，其用于接合锥体 50。凸体元件 22b 和锥体 50 包括公知的锥形轴棱镜或小金字塔形的第二轴棱镜。锥形棱镜 50 具有一四边底部，其相应产生四极模式照明图案，如图 12 右下侧所示的四点照明。

图 12 中所示的轴棱镜/变焦模块允许照明模式从常规至环形或四极的连续
25 变化。变焦透镜 24 确定光斑大小或部分相干系数，轴棱镜对 22 确定环形，以及棱锥 50 确定四极形。另外，因为光通量被重新分配而不是被阻挡，实际上没有光损耗，从而获得高输出量。

本发明的方法便于光刻装置的照明条件的优化，所述优化通过借助计算机模拟选择照明器的适合分布方案。在本发明的实施例中，照明条件的优化通过
30 一种方法获得，该方法包括限定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；

选择照明器的光瞳平面的源点格栅；计算个别源点的各自响应，每个响应表示一个或一系列使用模拟模型的模拟结果；并在分别计算的累计结果的分析基础上调节照明器的照度分布。

参照图 13，将说明光刻装置照明条件的优化方法的典型实施例。

- 5 方法开始于步骤 (A1)，其中确定了光刻问题。光刻问题指要印刷在基底上的特定图案。该图案用于优化光刻装置的参数以及选择照明系统的适当结构，它是掩膜设计中最具代表性的积极 (aggressive) 布局。例如，这可以是具有线隔占空比为 1:1 至 1:20 的特征或同时将密致特征和稀疏特征分组的图案。

所述方法的步骤 (A2)，选定计算图案分布图的模拟模型。

- 10 本发明实施例的模拟模型可包括一空间像模型。在这种情况下，将计算出射光束能量分配在光致抗蚀剂上的分布。空间像的计算值以傅立叶光学装置中的标量或矢量形式表示。特别地，这种模拟可在市售的模拟软件，如 Prolith™, Solid-C™ 等的辅助下予以实现。在本实施例中，光刻装置的不同元件的特性，如数值孔径 NA 或特定图案，可以为了模拟而作为输入参数被输入。

- 15 本实施例计算出的图像可以对照一些预设标准评估，以判定图像是否有足够的对比度以在晶片上的光致抗蚀剂中成功地印出所需特征。可通过聚焦范围分析空间像，提供曝光宽容度和 DOF 的估测以及为达到最佳光学条件而反复进行的程序。特别地，空间像的质量可以通过使用对比度或标准化的空间像对数斜率 (NLS) 度量标注 (标准化至特征尺寸) 而确定。该数值和图像强度 (或
20 空间像) 的斜率相一致。

- 在此具体实施例中，用于运行空间像模拟的关键相关参数可包括高斯像面的焦平面距离，即到最佳聚焦面的距离，其通过几何射线光学元件或准单色光源的中心波长予以确定。这些参数还可以包括照明系统空间部分相干度的测量值、照射半导体基底的透镜系统的数值孔径、光学系统的像差以及说明光学掩
25 膜空间传输函数的整体描述。

应当理解，步骤 (A2) 中模拟模型的选择，不仅限于空间像模型。其它的模型，象集总参量模型或可变阈抗蚀模型都可以用于本发明的其它实施例中。在所有这些实施例中，选用已与试验数据相匹配的模型。

- 也应当理解，步骤 (A2) 中模拟的使用不限于抗蚀剂的图形的计算，并且
30 该模拟也可运行选出附加/互补的响应，象加工宽容度、疏密特征偏差，边带印

刷以及掩膜误差敏感度。

在限定抗蚀模型和关键相关参数之后，方法进行到步骤(A3),即表示源光束离散化的源点格栅，在照明器的光瞳平面中被限定。

更具体地说，每个表示单独格栅点的照明数据产生并寄存在模拟软件中。

5 在数据中的光源点形成光源点格栅，所述光源点格栅空间覆盖图 7—9 中所示照明系统的光瞳平面 18 处照明器的整个截面。根据每个格栅点计算出光刻投影装置的响应。每个单独的响应结果可以绘制于等高曲线图上，如图 15 中所示。单独源点响应结果的定量分析允许不同试验照明分布的相互比较以确定一个最佳照度分布。

10 每个光源点相对于整个照明孔径的物理位置被置于单独源点数据中，并可根
据所需精度变化。每个光源点之间的小间距提供更多关于光源响应的详细信
息，然而没有明显增加计算时间。相反地，每个光源点之间的大间距可提供较
少的有关光源响应的精确信息，但明显减少了计算时间。在本发明的一个实施
15 例中，相对于整个照明器孔径的格栅间距大约为 0.1。在其它的实施例中，格
栅间距大约为 0.01 至 0.2。

参照图 14 (a) 和 14 (b)，说明了照明器的截面图示，所述照明器已被光
源点格栅覆盖。在本发明中，根据每个格栅点计算出投影光刻装置的响应。照
明器截面周长通过圆周 1 予以说明，所述圆周描绘了整个照明孔径（最大数值
孔径）的轮廓。这些图形也说明了光源格栅 2。

20 在本发明的一个实施例中，为了评估一个试验照明器将如何工作，即考虑
照明器使用和与光刻投影装置的可配置，将试验照明图案覆盖在格栅上并且在
遍及所包括的格栅点中以某种方式平均所计算的响应。图 14 (a) 说明了具有
环形分布的投射光束的光强，图 14 (b) 说明了具有类星体分布的投射光束的
光强。

25 也应当理解，在本发明的其它实施例中源点格栅可为不同的限定。例如，
作为照明数据的一种替换，在模拟程序软件中源点格栅可以被具体的参量
(parametrically) 确定。

仍参照图 13，光刻投影装置照明光源的优化方法进入步骤 (A4)，其中根
据每个格栅源点计算单独响应。

30 更具体的说，每个单独响应表示一个或一系列的使用模拟模型的模拟结

果。潜在的响应例如可包括，图案的临界尺寸或限定基底上靶部 CD 的所需强度的临界值。在本发明的另一个实施例中，其它响应可以包括焦深(DOF)，曝光宽容度 (EL)，8%EL 处焦深(DOF@8%EL)，剂量尺寸比 $E_{1:1}$ ，疏密特征偏差，任意特征尺寸偏差，边带 (sidelobe) 印刷，薄膜损耗，侧壁角，掩膜误差

5 放大系数 (MEEF)，线性清晰度，或绝对分辨率。

为了辅助照明条件的优化，可通过源点位置函数响应的等高曲线绘图能目测出计算结果。

参照图 15，提供一种根据本发明方法的等高曲线图的典型实施例。图 15 对应于光瞳平面 18 处照明器的右上部分。正如该图中所示，源点格栅相对于

10 照明器的全数值孔径具有 0.1: 0.1 间距。因为对称，仅需要观察照明器右上象限。

光刻问题是用无铬 (Chromeless) 相位光刻 (CPL) 掩膜印制 65nm 间隔线的图案。在本实施例中，投射光束的波长为 193nm 以及光刻投影装置的数值孔径为 0.85NA。实现 0.2 μ m 散焦的模拟。

15 在图 15 中说明的实施例中，所研究的响应为标准化空间像对数斜率 (NLS)，其对应于强度图像 (或空间像) 的对数斜率。如图 15 中所示，等高曲线图说明了在晶片上获得的作为照明器中源点位置函数的 NLS 数值。图示出了源点位置仅位于大约 45° (相对于掩膜上线取向) 和 0.7 至 0.8 半径范围内，才具有较大 NLS 数值的明显分布，因而具有焦深的明显分布。从该区域发出的

20 照明光适于印刷间隔线而此区域外的照明光则不适合。因此期望对于这种特定光刻问题的加工窗口利用类星体分布使其最大化。例如可通过平均由照明器捕获的单独源点引起的响应确定类星体分布的性能。

回看图 13，光刻投影装置的照明条件优化的方法进入步骤 (A5)，即在响应的分析基础上调整照明器的照明条件。在本发明的实施例中，例如可通过变

25 换图 12 中轴棱镜 22a, 22b 和变焦透镜 24 的位置予以实现。在本发明的一个实施例中，借助控制单元 CU 实现照明器的调节。

应当理解，在需要评价试验照明器性能的情况中，完成了对照明器光孔所俘获源点的响应计算。这些源点通过图 14 (a) 和 14 (b) 中的黑圆点予以示意说明。在此特殊情况中，例如，通过平均由这些所俘获的单独源点引起的响

30 应来确定照明器的性能。

参照图 16，将说明根据本发明实施例的光刻投影装置的照明条件优化的方法。在本发明的这个实施例中，通过使用由一种方法得出的全抗蚀计算结果的计算机模拟获得照明条件的优化，其中所述方法包括：限定要印刷在基底上的光刻图案；选择一个抗蚀模型；选择源点格栅；计算个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列使用抗蚀模型的模拟结果；并在单独计算值累计结果的分析基础上调节照度分布。

如前所示，可通过模拟光致抗蚀剂表面上入射光能量分布来限定照明器的最佳照明条件和选择孔径的适合设计。根据在进入抗蚀剂之前，光强度在光致抗蚀剂的顶部表面中的事实，该量的定义为空间像。进而根据预定标准评估所计算出的图像，判定图像是否有足够的对比度能成功地在晶片的光致抗蚀剂中印制所需图形。分析空间像以提供曝光宽容度和焦深的估算，并反复执行该步骤以获得最佳光学条件。

如前所示，空间像的质量可以通过使用标准化空间像对数斜率（NLS）度量标准（已标准化的图形尺寸）予以确定。该数值与强度图像（或空间像）的对数斜率相一致。在该方法中，最佳照明调整或定形可利用在某些固定散焦值处的空间像度量标准（如 NLS 或对比度）的分析予以确定。可在高质量空间像中找到最佳光刻加工宽容度。

为了模拟掩膜图案的空间像，光刻装置不同元件的参数作为模拟程序中的输入参数。这些参数一般包括投影系统和照明器的几何参数和光学参数，如投影系统的数值孔径 NA 以及光刻装置的部分相干系数 σ 。尽管一些参数足可以限定光致抗蚀剂顶部空间像的轮廓，但用于计算图像的理论十分发达并且该理论基于标量或矢量形式的傅立叶光学。

可是，“纯空间像”方法不能准确的描绘印制于基底上的最终图形。这是由于该方法忽视了图像接收器的影响，即光致抗蚀剂的影响。例如，光致抗蚀剂电磁场的作用，也称作矢量效应，以及抗蚀剂的物理和化学特性都没有考虑到计算中。基本上，为了和空间像预算值相匹配，使用固定光强度阈确定打印 CD，光致抗蚀剂必须相对于光生体（photo-generated species）的零级扩散具有无限大的溶解度。然而，这样的光致抗蚀剂方法并不存在。一种精确光致抗蚀剂模拟模型，包括同活性物（其“涂抹”到投影光学图像）的扩散和相对于实际光致抗蚀剂的有限溶解相关的效应，并给出符合试验的预测。空间像预测和

实际抗蚀剂方法之间差异的原因，以及它们的一些特性，在“The Resist Vector: Connecting the Aerial Image to Reality,” Proc. SPIE, Vol. 4690, p. 366 (2002)一文予以讨论，其全文在此引作参考。

因此，为了精确预测光刻加工的加工窗口，或选择最佳的照度分布，全抗蚀计算是可取的。理论上，该计算应当考虑光致抗蚀剂曝光、光致抗蚀剂烘烤（PEB）以及光致抗蚀剂显影的步骤。光致抗蚀剂曝光发生在投射光束通过激活抗蚀剂材料分子改变抗蚀剂化学特性时。根据抗蚀剂的特性，即，常规的I一线抗蚀性或化学放大抗蚀性，使用不同模型模拟投射光束和抗蚀剂材料之间的相互作用并计算抗蚀剂材料的吸收系数变化。

10 所述方法开始于步骤（B1），在此确定了光刻问题。光刻问题可以说明要印制于晶片上的特定几何图案。

进而，进入步骤（B2），确定印制图案使用的抗蚀方法，建立模型并加载在模拟软件中，如 Prolith™，Solid-C™ 等。优选地，抗蚀剂模型应当在以下的计算中予以考虑，抗蚀剂的临界尺寸（或大小）以及它随诸如剂量和聚焦变量的变化，光致抗蚀剂曝光，光致抗蚀剂烘烤以及光致抗蚀剂显影。其它原因，如疏密特征偏差，边带印制和掩膜误差放大系数，也可以通过模拟软件予以确定和模拟。

同样地，可考虑在（B2）中选定抗蚀剂模型，在本发明实施例，电磁场的发散由抗蚀剂的不均匀性、空间构形以及矢量效应引起。矢量效应涉及使用高数值孔径时的电磁波倾斜传播。尽管这些矢量效应能够在计算空间像时予以考虑，但空中矢量效应的计算过高评估了晶片上的对比度损耗。这是由于一个事实，即入射光线在抗蚀剂中传播时，由于抗蚀剂折射率而易于被矫直。因此具有精确电磁计算的抗蚀剂模型可以优选来精确确定抗蚀剂响应。

（B2）中的抗蚀剂模型选择也可以在本发明实施例的光致抗蚀剂烘烤中予以考虑。可以在显影抗蚀剂图案之前进行后曝光烘干。除溶剂之外，允许光敏化合物中高浓度区域扩散到低浓度区域，从而滤除驻波图案。可以使用传统散射方法来模拟该烘烤方法。另外，在本发明的其它实施例中可以使用另外的解决非线性散射效应的模拟方法。

所述方法进而进入步骤（B3）：分别表示单独格栅点的照明数据在模拟软件中产生并加载。数据所包含的光源点形成光源点格栅，其空间覆盖照明系统

的光瞳平面 18 处的照明器的整个截面，如图 7 和 9 中所示。

所述方法进而进入步骤 (B4)：根据利用全抗蚀计算法对每个单独源点而计算出单独响应。在图 16 所示的本发明实施例中，每个单独响应可以表示一个或一系列运用模拟模型模拟的单一或一系列结果。所计划的响应可以包括，
5 例如焦深 (DOF)，曝光宽容度 (EL)，8%曝光宽容度 (DOF) 处的焦深 (DOF@8%EL)，剂量尺寸比 $E_{1,1}$ ，疏密特征偏差，任意特征的尺寸偏差，边带 (sidelobe) 印刷，薄膜损耗，侧壁角，掩膜误差放大系数 (MEEF)，线性清晰度，或绝对分辨率。这些响应可通过绘制作为源点位置函数结果的等高线图直观显示出来。

10 参照图 17，示出了由此方法获得的等高线图的一个例子。该图形表示了光瞳平面 18 处照明器的右上象限部分。形象化的响应为微米级的焦深。如图 17 中所示，源点格栅相对于照明器的全孔径具有 0.1:0.1 间距。光刻问题为用无铬相位光刻 (CPL) 掩膜、0.85NA 和 193nm 辐射印制具有 65nm 分隔线的图案。因为对称，仅需要目测右上部分象限。该等值曲线图表示晶片上获得的作为照
15 明器中源点位置函数的焦深。图仅示出了位于大约 45° (相对于掩膜上线取向) 处以及大约 0.5 至 0.8 半径范围的源点，其具有明显的焦深分布。从该区域发出的照明光适于印刷分隔线图案而区域外的照明光则不适合。图也示出了大约 0.5 至 0.6 μm 的最大焦深，其被期望具有最佳类星体分布。类似等高线图可以根据曝光宽容度和剂量尺寸比 $E_{1,1}$ 而获得。

20 在根据个别源点计算的单独响应后，所述方法进而进入步骤 (B5)，即在单独计算值的积累结果的分析基础上调整照度分布。也可限定最佳分布的性能，例如可以通过平均实际照明器所俘获的响应而实现。

参照图 18，将说明一个用于获得光刻精确加工窗口的典型实施例。在此实施例中，所述方法以图 16 中所示的实施例同样的方式起始于步骤 (B1) 并进入
25 到 (B5)。所述方法进而进入步骤 (B6)，对平均响应值进行第一级剂量校正。第一级校正可由简单平均实现，即通过数出圆 1 中的点实现。第一级校正也可以通过制造额外格栅点的插入法实现。在优选实施例中，第一级校正仍可通过基于所计算的精准剂量的源点加权 (weighting)，例如通过剂量加权平均实现。投影装置可以仅用一种剂量。可是，该计算结果可为每个单独格栅点确
30 定一个最佳剂量。即使圆 1 所包含的一个点具有一个良好的单独响应，但如果

它的剂量不接近光刻投影装置所提供的剂量，该点对实际照明器所具有的响应也没有有利的影响。单独的点进而在它们各自的剂量和光刻投影装置的剂量的差值基础上被权重。具有较小差别的点权重高于具有较大差别点。第一级校正可以通过组合插入法和剂量加权平均予以实现。

5 在本发明的一个实施例中，通过增加孔径所包含的源点数量获得精确的数值。这可通过减少源点之间的间距予以实现。在本发明的另一个实施例中，线性插入格栅可与较小格栅间距共同运用。插入的格栅通过提供“高分辨率”格栅而具有平滑平均值作用，该“高分辨率”格栅减少由试验照明器因改变捕获的特定源点而轻微位移所引起的数据误差。

10 第一级校正被运用到图 16 所述方法的平均响应计算，即使用全抗蚀计算的平均响应，应当理解类似方法可以在图 13, 24, 37, 47 和 55 中说明的方法中予以实行。

参照图 19，通过运用全抗蚀计算的商业模拟软件而获得的模拟，与图 16 和 18 中所述方法获得的计算结果相对照。根据上述几个实施例完成计算。也就是，使用单独源点（图 16 所示的方法，“平均照明图”）DOF 数值，第一级剂量校正（“照明图的剂量加权平均”），插入格栅（“插入以及照明平均图”）或插入格栅和第一级剂量校正结合（“插入和剂量权重”）计算焦深。

15 图表中条带表示通过照明器的几种设置获得的焦深值（具有一同时发生的 8%曝光宽容度约束条件）。图 20 表示在此试验中使用的不同分布。示出了每个照明器光瞳平面 18 处的投射光束截面。例如，通过图 9 中多极模发射元件 38 的适当调整获得这些不同照度分布。

本试验中设计的光刻问题与具有 200nm 孔距的 80nm 孔的图案相一致。通过运用全照明器计算法的商业软件（Prolith™）获得抗蚀剂中孔尺寸的模拟，该模拟结果与格栅模拟的平均结果相对比。用试验照明器获得的计算结果与上述不同平均方法获得的结果比较，可对这些平均方法进行精确定量分析并可选择最佳照明器。由于平均计算的格栅点比运行各种试验照明器模拟所需的时间少，因此本发明能根据特定光刻问题快速确定最佳照明器。

图 19 说明了用冗长的 Prolith™ 计算以及图 16 和 18 中所述方法获得的计算结果，同时发生在最佳照明器剂量权重插入法的选择中。

30 参照图 21，基于权重和插入源点测量的 DOF 预测值（模拟约束在 8%曝

光宽容度), 与 Prolith™ 所获得的预测值相对照。上述对照针对几个试验照明器(图 18 中所示)而进行。数据表明, 本发明方法所获得的预测值较好地匹配 Prolith™ 所获得的预测值。这些结果指出, 本发明的方法较好地匹配实际照明器所获得的预测值并用于光源选择、优化和设计。

- 5 参照图 22, 全抗蚀计算(根据图 16 中所述方法)所获得的预测值, 与标准空间像度量标准在不同散焦值(NILSF2 和 NILSF3)所获得的预测值相对照。用于最大化加工窗口以及确定最佳照明条件的散焦为 $0.2\ \mu\text{m}$ (NILSF2) 和 $0.3\ \mu\text{m}$ (NILSF3)。光刻问题与上述相同并与 200nm 孔距的 80nm 孔的图案相同, 并且所使用的试验照明器与图 20 中所描述的相同。其结果说明空间像度量标准将最佳照明器预测到一更小的范围。

参照图 23, 对不同的光刻问题进行了与图 22 相似的试验。本试验中设计的光刻问题与具有 300nm 孔距的 80nm 孔的图案相一致。NILS 和掩膜边缘 MEF2 (例如具有 $0.2\ \mu\text{m}$ 散焦) 处的空间像光强都没有得到由全抗蚀模拟推算的最佳照明器。

- 15 图 22 和 23 所描述的试验结果说明 NILS 测量, 其可以用于最大化加工窗口, 更少精确推算最佳照明条件而且没有更进一步的定量推算加工窗口。对于某些具有适合对比度的加工和不受空间像限制的打印, 随着 NA 增大(更强的矢量效应)精确度下降是所不期望的。

- 参照图 24, 将说明根据本发明实施例的一种用于优化光刻投影装置照明条件的方
20 件的方法。在本实施例中, 确定照明器设备的选择以使获得的光刻方法基本等焦距覆盖于预定散焦范围上。在本发明的一个实施例中, 获得等焦距补偿的方法包括: 限定要印刷在基底上的光刻图案; 选择模拟模型; 选择照明器光瞳平面上的源点格栅; 计算个别源点的单独响应, 每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果; 计算一个表示独立散焦源点各自相应变量的度量标准, 并在
25 度量标准的分析基础上调节照度分布。

在图 24 所示的方法中, 照明条件的优化基于一个事实, 即对于许多光刻问题, 在散焦中存在两个相反的失效机理。图 25 中说明的原理, 表示掩膜上固定 CD 处的聚焦曝光矩阵。也称为 Bossung 曲线图的所述矩阵, 获取重要的光刻信息以及更特别地获取作为对于不同曝光能量聚焦函数的 CD 变量。

- 30 在图 25 中, 光刻有效的剂量和焦距, 由其等印制所需尺寸特征性能限定。

在此图表中，如果焦距和剂量的大幅变量最小程度地影响到靶部 CD，则认为所述光刻方法是耐用的。特别地，这要求所印制的 CD 保持在可接受 CD 的范围内。所述范围在图 25 中虚线 (1) 和 (2) 之间所包含的 CD 予以示意说明。理论上，这种耐用方法通过 Bossung 曲线图中 AB “等焦距” 段予以描绘。

- 5 如此图表中所示，焦距和剂量的误差能导致两种相反的效果，其可以对光刻方法引发失效机理。第一种效果其特征在于 CD 增幅超出可接受 CD 范围外，而第二种效果为 CD 减幅超出可接受 CD 范围外。

因此，为了充分提出光刻方法，在本发明的一个实施例中通过用一效果与另一效果相互补偿的方式实现光刻的等焦距（例如对聚焦误差的不灵敏性）优化。更特别地，在本发明的实施例中，通过由散焦处小 CD 产生的失效区域平衡由散焦处高 CD 产生的失效区域，来获得等焦距优化。通过如此做，加工窗口内的 CD 变量骤然减少，可获得在预定聚焦范围内的基本等焦加工，并且增大剩余可接受 CD 区域的聚焦范围 (DOF)。

更特别地，本发明实施例的一种用于优化光刻装置照明条件的方法，提供一种计算散焦靶部 CD 变量的新度量标准。对于设置在照明器中的每个源点，本实施例中所述度量标准计算给定散焦处的 CD 并将该计算结果与在最佳聚焦处获得的 CD 结果进行比较。对位于照明器中所有源点的这种计算连续反复进行。进而在每个源点获得的结果对照基础上，完成照明条件的调节。更具体地说，通过选择一种合并照明器在散焦条件下于基底上产生高 CD 的区域以及照明器在基底上产生小 CD 的区域的照度分布，来实现照明条件的调节。

20 本发明的实施例考虑图案 CD 的计算以及通过计算机模拟每个源点更一般地响应。

在本发明的一个实施例中，空间像模型可以用来计算单独响应。在本实施例中，模拟入射光在光致抗蚀剂表面的能量分布。在市售的模拟软件，如 Prolith™ 25 等的辅助下实现空间像的模拟。如前所述，用于这种情况中的所述模型是公知的，它基于傅立叶光学的矢量形式或标量形式。在本实施例中，光刻装置中不同元件的特性，如数值孔径 NA 或特定图案，可以为了模拟而作为输入参数被输入。

30 在本实施例中，计算出的图像也可以相对于一些标准予以估算，以判定图像是否具有足够的对比度在晶片上的光致抗蚀剂中印制所需图形。空间像可通

过聚焦范围予以分析，以提供曝光宽容度和 DOF 的估算并且该过程可被反复进行以达到最佳光学条件。特别地，空间像的质量可以通过使用对比度或标准化空间像对数斜率 (NLS) 度量标准 (图形尺寸标准化) 予以确定。这个数值与图像强度 (或空间像) 的斜率值一致。

- 5 在本实施例中，研究的每个源点的响应可以是一种给出靶部 CD 空间像光强临界值的变量，其具有散焦。另外，在本发明的其它实施例中，该研究的响应可以是具有固定强度临界值 (例如，给出靶部 CD 的空间像强度临界值) 散焦的 CD 变量。

10 在本发明的另一个实施例中，每个源点响应的模拟可以通过使用全抗蚀计算予以实现。在此方法中，图像接收器的影响，即光致抗蚀剂，更具体地说，由于光致抗蚀剂与电磁场的相互作用产生的影响将在计算中予以考虑。全抗蚀方法模拟也可以考虑光致抗蚀剂烘烤以及光致抗蚀剂显影的步骤，并由此考虑活性物体的非零扩散以及有限溶解对比度引起的影。

15 在这个模型中，输入参数可以包括溶解参数 (R_{\min} , R_{\max} ; Mack4n 和 M_{th} ; 刻痕模型 n , n_{notch} , 以及 M_{th}), 烘烤参数 (扩散长度, 冷却剂浓度 (Q), 放大率常数 [K_{amp}]) 以及光学参数 ($Dill$ B)。

参照图 24, 将说明一个使用等焦距补偿的光刻装置照明条件优化方法的一个典型实施例。

20 所述方法开始于限定光刻问题的步骤 (C1)。所述光刻问题表示要印制在基底上的特定图案。这个图案，用来优化光刻装置的参数以及选择照明系统的适当结构，更优选地为包括在掩膜设计中先进构造的典型代表。

所述方法进入步骤 (C2)，在此选定模拟模型计算出图案的外形。

25 本发明的模拟模型可以包括一个空间像模型。在此情形中，可计算出分布在光致抗蚀剂上的入射光能量分布。空间像的计算可以以傅立叶光学的矢量形式或标量形式予以完成。特别地，这种模拟可以在商业可得到的模拟软件，如 Prolith™, Solid-C™ 等的辅助下予以实现。

30 如前所述，运行空间像模拟的关键相关参数可包括高斯像面的焦平面距离，即到最佳聚焦面的距离，其通过几何射线光学元件或准单色光源的中心波长予以确定。这些参数还可以包括照明系统的空间部分相干度的测量、照射半导体基底的透镜系统的数值孔径、光学系统的像差以及说明光学掩膜的空间传

输函数的整体描述。

另外，在本发明的另一个实施例中，模拟模型可以基于全抗蚀计算。在此情况中，模拟可以考虑由光致抗蚀剂的异质性，非平板外形或矢量效应所引起的电磁场散射。所述抗蚀剂模型应当优选考虑光致抗蚀剂曝光，光致抗蚀剂烘烤和光致抗蚀剂显影。

自然地，在使用全抗蚀计算的情况中，在照明器中确定和加载运行模拟的重要参数。这些参数除空间像模拟中所用的一系列参数之外，还包括溶解率和烘烤参数。

应当理解，在步骤（C2）中模拟模型的选择决不限于空间像模型或全抗蚀计算模型。另外的模型，如集总参数模型或可变阈值的抗蚀模型也可以用于本发明的其它实施例中。在所有这些实施例中，由于模型与实验数据匹配而被选定。

也应当理解，步骤（C2）中的模拟运用也不限于抗蚀剂层外形的计算，可进行模拟来提炼出附加/互补响应，如加工宽容度，疏密特征偏差，边带印制以及掩膜误差敏感度。

所述方法进而进入步骤（C3），表示光源光束离散化的源点格栅在照明器的光瞳平面中被限定。

更具体地说，各自表示独立格栅点的照明数据，产生并加载于模拟软件中。数据中包含光源点形成的光源点格栅，空间覆盖了图 7—9 中所示照明系统光瞳平面 18 处照明器的整个截面。如前所讨论的，应当理解，源点格栅在本发明的其它实施例中可有不同地限定。例如，作为照明数据的替换，源点格栅可以在模拟软件中被参数设定。

仍参照图 24，使用等焦距补偿的优化照明光源的方法进入到步骤（C4），即根据每个格栅源点计算单独响应。

更具体地说，每个单独源点表示一个或一系列运用模拟模型得到的模拟结果。潜在响应可以包括，例如，所设计图形的临界尺寸或在基底上限定靶部 CD 的必要强度临界值。

在个别源点的单独响应计算之后，所述方法进入到步骤 C5 以估算具有散焦个别源点的单独响应变量。

在本发明的一个实施例中，可通过计算另一组给定散焦单独光源响应的度

量标准获得上述结果。所述度量标准进而比较散焦处获得的响应与最佳聚焦处计算的响应，并为每个源点产生一个度量标准响应。在此情况中，所述响应是一个临界尺寸，将在没有散焦处计算的 CD 中减去散焦处获得的 CD，反之亦然。另外，如果设计的响应是强度临界值，将从没有散焦处确定的临界值减去散焦处获得的临界值。在这种情况下，可设定 CD 变量或具有散焦的强度阈值。散焦值可设置在最初寻求的焦深范围之内或之外。在本发明的一个实施例中，散焦值可以在 0.02 到 0.4 μm 的范围内。

为了辅助照明条件的优化，所述度量标准的结果能通过描绘作为源点位置函数的响应等高曲线图予以目测。

10 参照图 26a 和 26b，提供根据本发明方法获得的等高曲线图的典型实施例。图 26a—b 对应于光瞳平面 18 处照明器的右上部分。如这些图形中所示，源点格栅相对于照明器的全孔径具有 0.1: 0.1 的间距。由于对称的原因，仅需要目测照明器右上部分的象限。

光刻问题是 360nm 孔距的 90nm 孔（见图 26c）。图 26a 表示通过抗蚀计算获得的度量标准响应的等高曲线图。在此情形中，所述度量标准计算和比较在最佳聚焦和散焦处获得的图案临界尺寸。图 26b 是等高曲线图的一个实例，其可通过空间像模拟获得。在此实施例中，所述度量标准比较最佳聚焦处的强度临界值以及 0.2 μm 散焦的强度临界值。在此实施例中，应当注意空间像模拟中的强度临界值的变量与 CD 变量相同。

20 这些等高曲线图示出了照明器的区域，该区域用散焦产生孔 CD 的增加或减少，以及尺寸偏移量。照明器的每个区域比较最佳聚焦处获得的 CD 给出具有散焦的 CD 改变。在图 26a 中以毫微米级计算 CD，而图 26b 中强度临界值变量中的 1.0 强度值表示自由框架值。

现在参照图 26a 的更多细节，产生 CD 增加量的照明器区域被集中在象限的最左下部。它们反映约 25-50nm 的 CD 增量。这个在 Bossung 曲线图值对应“微笑 (smiling)”曲线。通过对比，引起 CD 减少的照明器区域被定位于图的中间。在此情况中，Bossung 曲线图中的曲线将严重地“皱眉”并在焦点外封闭 (CD=0) 孔。

30 从图 26b 所示的等高曲线图中可获得相似信息。如图表中所示，照明器区域位于象限左下部分，所述照明器区域中 CD 的增量是最明显的。相反地，象

限中心表示在照明器中产生强度临界值和 CD 减少值的区域。

这些等高曲线图在本发明的一个实施例中将被缩减为表示相反于等焦距情况的等高曲线图，如图 27a—b 中所示。

在这些图中仅示出了两个区域。第一个区域对应于产生 CD 增量的照明器区域，其分别由全抗蚀模型中正号区域和空间像计算中负号区域说明。相反地，所述第二区域对应于产生 CD 减少的照明器区域，其由相反符号的区域示明。

回看图 24，使用等焦距补偿优化照明条件的方法进入到步骤 (C6)，在分析度量标准的基础上调节照明器的照明条件。

在本发明的一个实施例中，通过选择一类照明实现照明条件的优化，其合产生响应 (CD 或强度临界值) 数值增量的区域和产生响应数值减少量的区域。特别地，在图 27a—b 中这个意指，正号区域用负号区域均衡，反之亦然。

本发明中所述区域的均衡可通过在正号区域和负号区域里选择一些源点来实现，如图 28 所示。特别地，这些源点的选择应当考虑用于印制靶部 CD 的源点性能。换句话说，在本发明的实施例中，权重可归因于每个源点。在空间像模拟的情况中，源点的权重将依赖于源点获得的空间像的强度。在全抗蚀计算的情形中，源点的权重与在最佳聚焦处印制靶部 CD (例如 CD 尺寸) 所需剂量成反比。结果，如果该源点的所需剂量低，那么源点可以在相反符号区域中潜在地平衡相对大的面积。自然地，如果源点具有基本上相同的权重，通过在正号区域和负号区域中选择相等数量的源点实现区域的均衡。在图 28 中，这导致选择 $0.25-\sigma$ 照明设备 (即，限定对应于图 28 中所示弧形的孔径的分布) 的结果。这样，提出了在所设计的散焦范围上，基本上等焦距的实施光刻加工。

图 29 示出了按照具有 $0.25-\sigma$ 照度分布的 CD 变量结果。该图表对应于矩阵曝光，说明对于几种曝光，作为聚焦函数的 90nm 孔临界尺寸的变量。如图中所示，无论曝光能量如何，在所设计的聚焦范围上 CD 几乎没有变量。

应当理解，在选择最佳照明条件时也可以考虑附加的响应。在本发明中的一个实施例中，这些响应可以包括曝光宽容度 EL，剂量尺寸比 E1:1，8%EL 处的焦深 (DOF@8%EL)，疏密特征偏差或 MEEF。

这些响应可带有附加信息，这些信息在照明器最佳分布确定中可作为相关信息。所述响应的计算可以以本发明中所阐明的同样原理为基础。也就是说，可以计算出个别源点的每个响应，其中每个响应表示运用模拟模型的一个或一

系列的模拟结果。自然地，对于所述响应中每个响应的模拟，可以通过空间像模型或全抗蚀计算予以运行。

图 30a—b 说明了包含全抗蚀计算的等高曲线图。在第一个图表中，所分析的响应是最大曝光宽容度。在第二个图表中，分析了剂量尺寸比 E1:1 响应。5 如图表中所示，照明器的不同区域对于这些响应给出了不同的数值并提供一种照明条件的优化。例如，增强曝光宽容度的照明器区域位于象限右上部分。类似地，产生适当低 E1:1 的区域也被设置在等高曲线图的右上部分。

因此所期望的印制 360nm 孔距 90nm 孔的最佳照明条件，通过图 31 中所示的照明设备予以提供。该图示出了照明器的光瞳平面中投射光束的轮廓。这种分布包括组合同轴照射和轴外类星体照射。根据焦深和曝光宽容度通过图 31 10 中所示的照度分布所获得的模拟结果，分别在图 32 和 33 中给出。如这些图中所示，CD 和曝光宽容度经过散焦后几乎没有变量。

图 34 借助一种优化方法比较具有散焦的曝光宽容度变量，其中所述方法具有 (1) 标准计算 (全抗蚀计算情形)，其在固定剂量宽容度处将焦深最大化，15 (2) 基于简单照明器设计的等焦距补偿，或 (3) 基于复合照明器和最大剂量宽容度的等焦距补偿。该图示出了等焦距补偿主要增加了 DOF。这个图也示出了通过结合适当的照明器部件，在维持高 DOF 同时也可以大幅提高曝光宽容度。值得注意的是，通过分析包括最佳聚焦处 NLS 信息的空间像计算值可获得同样的增强。因为 NLS 与曝光宽容度成比例，这样的分析也将导致轴上和 20 离轴照射的结合，以给出具有高剂量宽容度的等焦距性能。

对于其它光刻问题使用类似方法来优化照明条件。检查情况，对必须使用衰减相移掩膜同时印制的大范围接触孔孔距的检查得出一个结论，即类星体照明 (对于密集孔距) 和小希格玛型 (对于稀疏孔距) 照明的结合给出了最佳结果。在此情况中，所设计的光刻图案对应于 1.1 数值孔径中 193nm 的光源照射 25 的 400nm 孔距的 75nm 孔，“稀疏孔距”的更精细分析提供新的信息。图 35a—b 示出了分别对曝光宽容度 (最大—EL)，焦深 (最大—DOF)，8%曝光宽容度处的焦深 (DOF@8%EL) 以及等焦距曲线获得模拟结果。

用全抗蚀计算获得最初三个响应说明了正如所期望的，小希格玛形照明对于稀疏孔距是最好的。通过对照，等焦距曲线模拟示出了光瞳最边缘处的小类 30 星体分布的补充，将等焦距补偿增补到光刻性能中。因此断定，最佳照明分布

将类星体形加上小 σ 形照明延伸到印制密集孔距正常所需的以外。

用本申请方法推算的各类照明分布的模拟结果按照 8%曝光宽容度 (DOF@8%EL) 处测量的焦深示于图 36a 中。该图表示出了作为孔距函数的 DOF@8%EL 的变量。为了参考, 图 36b 和 36c 说明了照明器的光瞳平面处具
5 有两种类型分布(就 NA 和类星体照明而论)的光源形状。

如该图表中所示, 无论孔距如何, DOF@8%EL 保持稳定。更重要地, 该图说明了类星体照明的微小变量可以导致焦深的显著增加。在此情况中, 等焦距补偿已示出 0.97 类星体照明比 0.90 类星体照明要好, 特别是对于稀疏孔距。作为孔距函数的 DOF@8%EL 的变量模拟清楚地证实该结果。用标准算法不
10 能推算的 DOF 中的显著增加, 清楚地说明了等焦距补偿计算对于优化光刻加工是非常有利的。

参照图 37, 说明一种根据本发明实施例的光刻投影装置照明条件的优化方法。在本发明的该实施例中, 透镜像差影响在照明条件的优化中予以说明。更特别地, 计算出作为源点位置函数的照明条件的像差敏感度, 并且该信息进而
15 被用于选择最佳照明条件。

在本发明的这个实施例中, 对于最小化像差敏感度光源的优化通过一种方法实现, 该方法包括: 确定要印刷在基底上的光刻图案; 选择模拟模型; 选择照明器的光瞳平面的源点格栅, 对于投影系统限定至少一个像差组; 计算个别源点以及至少一个像差组的单独响应, 每个响应表示一个或一系列所用模型的
20 模拟结果; 并在单独计算值累计结果的分析基础上调节照度分布。

光刻中 CD 变量主要是由透镜像差引起的。因此无论制造工序中使用何种光源, 具有 150nm 或更小临界尺寸装置的制造都要求制造工序中所使用的附近衍射受限的透镜基本上是没有像差的。正如本行业中所熟知的, 像差由不同原因引起, 如有缺陷的透镜或老化的激光器, 这样的激光器发射出的光束与理想
25 值有一频率位移。相应地, 在安装之前校验透镜的性能(使透镜符合要求), 以及随后在使用过程中(例如在 IC 制造工序中)充分监测透镜性能是必要的。

在透镜制造工序中, 透镜性能通过干涉测量被充分地测试。一般的, 透镜首先在工厂验证合格, 进而在初装过程中再次验证。一种通常利用的透镜合格性惯常方法是印制品片并随后对最小图形宽度尺寸或临界尺寸(CD)的测量。
30 在此验证合格性工序中, “垂直”和“水平”方向上(即, 基板上正交的

两个方向)的特征都要测量。在一些例子中,也测量45度特征的CD。为了校验透镜性能,整个曝光区域需要有足够的CD测量次数。然后分析CD测量的结果并确定透镜性能是否可被接受。

图38a示出了由透镜像差产生的CD变量的一个实例。该图说明了双线结构的模拟CD变量(任意单元)以及更特别地,左线和右线(该双线结构的)在宽度上存在差异,而所述差异是透镜像差的函数。由于这种结构对透镜像差具有良好的敏感度因此将其选入这个实验。仅供参考,在图38b中示出了所述双线结构。如该图中所示,这种结构包括基于50nm宽度的两条线。所述线的间距为230nm并且在更大间距处重复设置有这样的两条线。一个透明180°相移窗口PSW也设置在所述两条线之间(参见图38b)。

在本实验中,CD变量的模拟由具有0.75NA数值孔径以及 0.25σ 照明条件和157nm辐射光的光刻投影装置中的三个相似透镜而实现。对于每个透镜,用公知的常规测量技术(例如干涉测量法)推断出像差组RMS(均方根)值,该像差组对应于透镜区域中若干点的像差值。对应于所述区域中特定点处所测量的像差的每个RMS值,表示泽尔尼克多项式的(泽尔尼克)系数的平方和,其用于模拟透镜中特殊点处的波前像差。更具体地说,所述RMS值表示球形(sphericity)传输波的波前偏差值。应当注意到,在图37中所述方法的这个实验以及本实施例中,该像差应被认为是全波前偏差而不是特定像差。换句话说,每个RMS像差值可以表示不同的像差类型(如塞德尔象差,其包括彗形象差,象散,场域曲率,失真或球形像差)。

正如这些图中所示,双线结构对像差非常灵敏。例如,一个10毫波的微小像差,在大约10%区域中可以产生左/右正交线CD变量。

图39a和39b示出了DOF@8%EL的等高曲线图以及根据双线结构的等焦距曲线模拟响应。使用全抗蚀计算以及在前面所述同样的照明条件(0.75NA和157nm)下实现模拟。如图39a中所示,DOF@8%EL的等高曲线图示出了照明器中间的一个较小的部分,其有高的焦深。通过对比,等焦距曲线图示出来自照明器边缘的照明可增大加工窗口。因此较小 σ 形和宽的类型照明结合,极大地改善光刻加工是所期望的。

为了验证照度分布的选择(例如,参见图41,小 σ 和宽类型照明),实施类似图38a中所述的一个实验。图40示出了所述实验的结果。如该图中所

示，其说明了该可选设置具有高敏感像差并且 $\sigma=0.25$ 的照明对双线结构的 CD 变量保持良好限制。这些结果清楚地表明在优化照明中考虑透镜像差是必要的。

回看图 37，通过降低像差敏感度优化照明条件的方法开始于步骤 (D1) 并且以例如图 13 和 24 所示的、与本发明实施例中相同的方式进入到步骤 (D3)。所述方法进而进入步骤 (D4)，投影系统的至少一个像差组被限定。如之前所说明的，该像差组包含对应于区域中不同位置的像差。在本发明的一个实施例中，相差组包含 13 个单独点。可是，应当理解，取决于所需精确度，该像差组可以包含更多或更少的点。应当注意，在这个方面，制造者通常根据 13 个点详细说明透镜。另外，应当理解，可以在步骤 (D4) 中确定对应于几个相似投影系统或透镜的几个像差组。那样，模拟透镜像差的偏移以及在照明条件优化中说明这种偏移是有可能的。更重要地，根据本发明实施例，计算工厂中（或来自工厂的）光刻装置的分布（和由此产生的像差）也是可能的，并可能因此产生更完善的光刻方法。

如前说明，像差组中的每个点都有一个相应的 RMS 值。这个数值表示泽尔尼克多项式系数的平方和，所述泽尔尼克多项式用于模拟区域中特定点的波前像差。

尽管步骤 (D4) 中的像差组对应于一个或几个透镜产生的像差，但也应当理解，所述像差组可以被不同地限定。在本发明的一个实施例中，例如，被限定的像差组，针对照明条件估算特殊像差的敏感度。在这种情况下，所述相差组包括典型像差值。在另一个实施例中，像差组可以包括有影响的/重要的像差，其显著影响精确光刻加工（例如，要印制的光刻图案或照明条件）

所述方法进而进入步骤 (D5)，根据格栅中独立光源点以及像差组中每个 RMS 计算单独响应。使用全抗蚀模型或空间像模型或上述的其它模型实现所述计算。特别地，这些模拟可以用任意商业可得到的模拟软件，如 Prolith™, Solid-C™ 等予以运行。在步骤 (D5) 中，光刻图案的 CD 根据每个源点和场域透镜（或投射透镜）中单独点/像差被计算。这样，计算出每个光源点的一组 CD，每一 CD 值对应一个像差。随后，所计算图案的 CD（借助场域透镜中几个点获得的）彼此相互比较以估算整个 CD 范围或可选地，相对于每个源点估算出与靶部 CD 相关的最大 CD 变量。在此情况中，附加像差组（相当

于其它透镜或前段中所讨论的由特别影响的像差)在步骤(D4)中被限定,在确定像差敏感度以及选择最佳照明条件中,可考虑在任一透镜中的最大范围或最大 CD 变量。

应当理解,为了找出最佳照明条件,由本发明的使用者决定来选择一种权重像差的方法。因此权重像差敏感度和选择最佳照明条件的其它方法可以在本发明的其它实施例中予以使用。例如,在本发明的一个实施例中,可计算出 CD 变量的平均值用于估算像差敏感度。

为了辅助照明条件的优化,所述计算的结果进而可以通过描绘作为源点位置函数的响应的等高曲线图被目测。

10 参照图 42,提供一个根据图 37 中所示的本发明实施例获得的等高曲线图的典型实施例。图 42 对应于光瞳平面 18 处照明器部分。该等高曲线图表示由作为源点位置函数的像差所引起的 CD 变量。对于每个源点,描绘了最高 CD 变量。在图 42 中所示的本发明实施例中,针对三个相似透镜做出的计算值以及对每个源点绘制出在任意透镜中的最高 CD 变量。

15 如图 42 中所示,最小化偏差敏感度的照明器的区域位于照明器左下方。可是,图也示出了小 σ 照明由于像差将加大 CD 变量。因此期望,最佳照明设备组合—至少 0.25 的 σ 照明(为了降低像差敏感度)和一 CQuad 照明(为了增加焦深)。在此特定实验中,小 σ 照明的增量能彻底地降低对照明条件的像差敏感度而保持稳固的加工窗口。

20 这个方法可适用于为通过无铬相位光刻(CPL)掩膜印制的相同光刻图案(例如双线结构)选择最佳照明条件。

参照图 43,该图示出了作为源点位置函数的 DOF@8%EL 的变量。例如,通过图 13 和 24 中所说明的本发明实施例获得上述等高曲线图。如图中所示,提供紧密类星体照明的照明设备显著增加了光刻加工中的焦深。

25 根据由像差引起的 CD 变量,通过图 37 中所示本发明实施例获得的结果在图 44 中被再次说明。所述等高曲线图说明了类星体分布适当地减少了由像差引起的 CD 变量。图 44 中所述等值曲线图也建议,具有比图 43 中最初选定极还要大的(0.85/0.50Q45°)的类星体照明可以给出更好的结果(因为它包含一个 CD 变量为零的大的范围)。

30 这种假定在图 45 中被证实,该图表示作为波前像差(RMS 中)函数的双

线结构的 CD 变量。该图清楚地说明了通过使用 0.85/0.50 类星体 45° 照度分布显著降低了像差敏感度。对于这种照明构造，甚至使用达到 60 毫波的透镜像差仍可获得低于 5nm 的 CD 变量。

图 46 说明了曝光宽容度的变量，其作为图 44 中所用照度分布的焦深函数。
5 如图中所示，具有较大极（0.85/0.50 类星体 45°）的照度分布仍可给出适合的加工窗口。该分布给出了一个好的折中方案，因为该设备适当地减小了由像差引起的 CD 变量，而仍保持一个良好的加工窗口。

参照图 47，将说明一种根据本发明的用于优化照明投影装置照明条件的方法。在本发明的这个实施例中，为了匹配通常由掩膜辅助特征技术所获得的结果，而进行照明条件的优化抗蚀。在本发明的一个实施例中，提供一种用于优化照明设备的方法，其中该设备具有与通过复合光邻近误差（OPC）获得的结果相似的结果。根据图 47 中所示本发明的实施例，低 DOF 特征能通过结合没有复杂和昂贵掩膜辅助特征技术抗蚀的照明器的完全不同区域被显著地改善。
10

已经广泛地使用掩膜辅助特征或分划板增强技术（RET）来改善保真度以及集成电路中小尺寸构件的制造。它们通常包括光学近似误差（OPC）以及相移掩膜（PSM）。
15

OPC 涉及对设计图案进行修正来补偿特征形状和大小的改变，所述改变出现在图案从分划板到晶片的传输过程中。当图案从分划板传到晶片时，几种效应将失真引入到图案中。这些失真包括取决于图案密度的线宽变量，切角整圆以及线末端缩短。图案变化可产生不正确的连接或使装置以低于最佳速度运行。失真的原因包括分划板图案不精确、光学近似效应、衍射和干涉以及抗蚀和蚀刻加工中的扩散和负载效应。
20

OPC 使 IC 图案具有小的改变，所述改变用于对上述失真进行预测和校正。例如，线末端缩短可通过使用锤头状形状延长所述线来予以校正，导致抗蚀剂中的线更加类似原始预期设计。切角整圆通过添加（或删除）切角截线形状予以校正。
25

相移掩膜利用相干或部分相干图像系统中的干涉效应来降低给定物体的空间频率，或增强其边缘对比度，或以上两者。可通过在掩膜上增加传输材料的附加图案层，在图样的临界位置局部控制干涉，相消相干或相长相干。这种技术导致更高分辨率，更大曝光范围以及更大焦深的结合。在相位转换光刻中，
30

在透明区域上布置透明涂层。经过所述覆盖区域的光波较经过无覆盖区域的光波相位滞延 180° 。在相移区域的边缘，来自相移区域和空白（clear）区域的光波将消除较清晰的分界线。

相移窗口的扩展和对更多复杂图形的光学近似校正导致掩膜设计的复杂性大幅提高。准确确定进行何种校正（用 OPC 或相移窗口）是一个非常复杂的过程，其取决于相邻几何图形以及过程参数。例如，当在密集图形上设置相移窗口时，可能出现相位冲突。另外，可在单一集成电路的图形中设置很多图形，在这样大量的图形上用于进行重复运作的数据处理资源的负荷是非常巨大的，并且在某些情况中重复运作不实际。

10 在本发明的一个实施例中，可通过一种方法获得光源的优化，所述方法包括：限定要印刷在基底上的光刻图案；限定掩膜辅助特征的配置以有助于在基底上印刷光刻图案；选择模拟模型；选择照明器光瞳平面的源点格栅；计算具有和没有掩膜辅助特征的个别源点的单独响应，每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果；并在单独计算值累计结果的分析基础上调节照度分布。

15 回看图 47，由于优化照明条件的方法开始于确定光刻问题的步骤（E1）。所述方法随后进入步骤（E2），确定掩膜辅助特征并被加入模拟器中。这些掩膜辅助特征，有助于在基底上印刷光刻图案，在本发明的实施例中可以包括光学近似校正。在本发明的其它实施例中，它们还可包括相移窗口。图 48 示出了掩膜辅助特征的一个实例。在此图中，掩膜辅助特征对应于设置在 75nm 沟道两

20 道两边的 50nm 的抗散射条（ASB）。

随后，所述方法从步骤（E3）进入到步骤（E4）。在这两个步骤中，选择实现模拟的模型以及在照明器的光瞳平面中选择源点格栅。

然后，所述方法进入步骤（E5），计算设有掩膜辅助特征以及没有掩膜辅助特征的独立光源点的单独响应，每个响应表示单一或一系列使用模拟模型的模拟结果。响应可以包括焦深（DOF），曝光范围（EL），8%曝光范围（DOF）处的焦深，剂量尺寸比 $E_{1:1}$ ，疏密特征偏差，任意特征尺寸偏差，边带（sidelobe）印刷，薄膜损耗，侧壁角，掩膜误差放大系数（MEEF），线性清晰度，或绝对分辨率。

所述方法结束于步骤（E6），在单独计算值的累计结果的分析基础上选出照明器的照度分布。更具体的说，在本发明实施例中通过比较具有掩膜辅助特

30

征计算出的响应与没有掩膜辅助特征计算出的响应，实现照明条件的优化。进而，通过确定照明器区域选择照明器分布，所述区域给出了与掩膜辅助特征计算出的最佳响应同样好或基本相似的响应。这确保了所得到的照明器分布，该分布用于曝光没有掩膜辅助特征的图案，它将给出与用掩膜辅助特征获得的结果至少相当的结果。在此方法中，可产生例如通常经过在照明器水平面应用“辅助特征”的分划板 OPC 获得的一些益处，例如通常可通过在照明器等高处应用“抗蚀辅助特征”的分划板 OPC 获得。因此，可以极大程度地降低对昂贵和复杂的分划板的需求。

应当理解，根据图 47 中实施例，包括一些特定影响的掩膜辅助特征的照明条件的优化也可以被实现。在此情况中，照度分布的优化通过比较具有掩膜辅助特征和没有掩膜辅助特征而获得的模拟结果来实现。

也应当理解，实现照明条件的优化以形成最经济合算的方法。更具体的说，应当紧记掩膜或光源“增强”承担产生一个适当的制造产量的任务。因此，可以尝试使用具有复杂掩膜的相对简单模拟，或可选择的具有简单掩膜的复杂照度分布。在某种情况，这两种条件可以结合（例如针对一个非常困难的加工）。为了获得最经济合算的方法，本发明提供一种有助于决定下面方法的有利手段。

已成功实施该方法以选定一个照度分布，该分布具有与图 48 中带有抗扩散带的分布相同的结果。如上所述，照明条件的优化首先通过选择使用利用响应的最佳照度分布来实现，其中由掩膜辅助特征计算出所述响应。通过最大 DOF 和最大 EL 响应确定最佳照明设备的选择。作为参考，图 49a 和 49b 示出了作为源点位置函数的这两个响应的变量。在该实验中，所使用的分划板是 6% 衰减的相移掩膜，辐射束具有 193nm 波长以及用 0.93 数值孔径完成曝光。

如图 49a 和 49b 中所示，需要非常宽的 CQuad 和类星体分布来获得最佳照明条件。图 50 示出了根据曝光宽容度的这些类型照度分布的结果。该图示出了对于 CQuad 极以及各种抗扩散带孔距的各种长度和大小（所述长度以弧度表示），作为焦深函数的 EL 的变量。该图示出了由于 ASB 设置在 160nm 孔距和在 22.5° CQuad 极曝光，而获得最佳照度分布以及最佳光刻加工。在此实验中，对应 85nm 以及 95nm 大小的沟道，分别有 10nm 和 20nm 正偏差被施加到掩膜上。

在得到最佳照明以及 ASB 布置后，图 47 中示出了根据本发明实施例的照明条件的优化，其通过计算没有掩膜辅助特征的不同响应而得出。个别源点的单独响应的计算以及等高曲线图的确定，例如，可以由图 13 和 18 中所说明的本发明实施例予以实现。如这些图中所示，DOF 响应提示 CQuad 照明可理想地获得良好的加工窗口。通过对照，EL 响应说明了对于这个光刻问题，小希格玛形照明是最好的。因此期望，组合小希格玛 (σ) 形照射和宽 CQuad 照明构成最好的照度分布，从而获得一个大的加工窗口。

在特定情况下，CQuad 照明中极尺寸以及 σ 照明尺寸的选择，根据图 24 中所示的本发明实施例通过等焦距补偿分析被予以确定。也就是，选择 CQuad 和 σ 点的尺寸使得所得到的光刻加工被基本等焦距的提供。这样，加工窗口中的 CD 变量急剧减少，可获得预定聚焦范围和 CD 的基本等焦距加工，以及 CD 保持可接受值的聚焦范围 (DOF) 增大。

使用等焦距补偿分析，通过选择 0.1σ 照度的 35° CQuad 照明，计算出可至少匹配用掩膜辅助特征获得的结果抗蚀。如图 52 所示，具有这种照度分布的沟道 CD 变量，在预定聚焦范围内是相对稳定的。作为参照，在该图中示出了照明器的光瞳平面处所得光束强度的截面。

应当注意，在一些情况中，为了优化照明条件减少来自小极的照明强度是所期望的。例如，没有采用不切实际的小极尺寸而获得所需“等焦距平衡”是可能的。这可以通过减少极强度而增加其尺寸来获得。

参照图 53，该图表根据掩膜辅助特征确定的最佳光刻方法以及另外方法，示出了作为焦深函数的曝光范围的变量，其中所述的可选方法没有使用抗蚀特征但已被开发用于给出很好的结果。如图中所示，已开发的没有掩膜辅助特征的光刻方法，比已开发的具有掩膜辅助特征的方法给出更好的结果。这个结果表示，通过例如根据图 13 和 18 中所示的本发明方法，选择一个适当的照明布置，重复掩膜辅助特征所获得的正面效果是可能的。因此断定，通过根据图 47 中所示本发明实施例选择一个适当的照明器布置，能迅速开发一种不使用掩膜辅助特征可给出良好结果的光刻方法。根据图 47 种所示的本发明实施例，在照明器中应用“抗蚀特征”以及印制亚 150nm 图案的复杂和昂贵分划板的需求被排除。

应当注意，通过使用图 47 中“简单掩膜/复杂照明器”的方法，减少掩膜

上图案偏差和增加光刻方法的焦深是可能的。进而，由于在掩膜上没有设置辅助特征，所以通过高曝光能量没有开放它们的危险。因此有可能使用具有低偏差的高剂量来改善加工窗口。为了说明这个原理，参照图 54。该图说明了各种偏差作为焦深函数的曝光范围的变化。如图中所示，加大具有-5nm 偏差（对
5 应于掩膜上 70nm 沟道）的焦深是可能的。

现在参照图 55，说明了根据本发明实施例的光刻投影装置照明条件的优化方法。在本发明的这个实施例中，使用最佳 CDU（临界尺寸均一性）度量标准实现照明优化。更特别地，光刻图案的临界尺寸均一性按照源点位置函数被计算，同时该信息进而被用于选择最佳照明条件。

10 在本发明的这个实施例中，使用最佳 CDU 度量标准的光源优化通过一种方法实现，所述方法包括：限定要印刷在基底上的光刻图案；选择模拟模型；选择照明器的光瞳平面的源点格栅，限定多个参数及其变量范围；计算个别源点以及每个参数的单独响应，每个响应表示一个或一系列所用模型的模拟结果；计算一个表示根据很多参数以及个别源点设定光刻图案的 CD 变量的度量
15 标准；并在度量标准的分析基础上调节照度分布。在本发明的这个实施例中，实现照明条件的优化以最大化光刻图案的临界尺寸均一性（CDU）。这在本发明的实施例中可在选择最佳照明器布置时，通过包含一些重要的 CD 变量的分布器予以实现。

被用来监测所述图案的尺寸并确保其在客户的技术要求之内的临界尺寸
20 （CDs），对于在基板加工过程中使得尺寸保持是特别重要的。CD 均一性（CDU）参照，所设计的数值和基板上实际数值相匹配时，或位于相同半导体设备的多个相似特征的 CD 相同时。CDU 通常被工艺工程师在确定设备是否在技术要求内起作用时作为一个最直接指标予以考虑。

可是，图案保真度在亚波长光刻中显著恶化，并且由此产生的半导体构件
25 可能在尺寸和形状上显著地偏离电路设计师所绘制的图案。假设来自目标 CD 的偏差可以明显影响生产量和产品性能，则期望在选择最佳照明条件时考虑 CDU。

应当注意，确定模拟最佳 CD 均一性的众多途径之一是使用蒙特卡洛方法。在此方法中，所有的变量根据假定（或已知）数值分布中随机选出的数值被同
30 时改变。根据本发明的方法，有可能获得与用蒙特卡洛计算获得的结果相似的

结果。

回看图 55，使用 CDU 度量标准的照明条件优化方法开始于步骤 (F1) 并进入到步骤 (F3)。也就是，在步骤 (F1) 中确定光刻问题，在步骤 (F2) 中选择模拟模型并在步骤 (F3) 中于照明器光瞳平面处产生一个源点格栅。随后，
5 所述方法进入步骤 (F4)，在此多个参数以及它们的相关变量范围被确定并加入模拟器中。

在图 55 所示的本发明实施例中，计算至少两个独立响应。可是，为了确定良好的操作窗口，对于每个源点期望计算尽可能多的响应。在本发明的一个实施例中，大量的参数可以包括聚焦范围 (μm)，剂量范围 (%)，透镜像差
10 (毫波中的 RMS)，系统闪烁程度 (%)，图案密度差异 (%) 以及掩膜 CD 范围 (nm)。所述闪烁级对应于到达基板的无图案形态的光束，其通常在最终图形中导致对比度的损耗。应当理解，这个潜在参数列表并不是详尽的以及可以在计算中包含附加的参数。

根据图 55 所示的本发明实施例的所述方法随后进入步骤 (F5)，在此根据
15 每个源点和每个参数计算单独响应。在图 55 中，所计算的响应是步骤 (F1) 中确定的光刻图案的临界尺寸 (CD)。更特别地，根据步骤 (F4) 中确定的预定范围外的每个源点计算 CD 变量。在图 55 所示的本发明实施例中，每个参数，例如每个 CD 变量因素被独立处理。

在确定多个 CD 变量 (通过改变它们预定范围外参数值予以获得每个变量)
20 之后，所述方法进入计算度量的步骤 (F6)。所述度量确定了由全部参数引起的全部 CD 变量。更特别地，所述度量计算参数的平方和以及根据每个源点确定平均 CD 变量。所述方法进而进入步骤 (F7)，在此基于度量标准的分析基础调整照明布置。

应当理解，由本发明方法的使用者来确定一种权重 CD 变量的方法。因此，
25 应当理解，每个源点的 CD 变量可以在其它实施例中不同确定。例如，在本发明的一个实施例中，通过对于所设计的源点可以说明 CD 变量的参数引出最高 CD 变量。

根据图 55 所示的本发明实施例的优化方法，根据图 56 中所示的光刻问题已被成功地用于选择最佳照明布置。所述问题对应于 50nm 双线结构的由 CPL
30 掩膜印制的图案。如图 57 中所示，根据图 16 中所示的本发明实施例，作为源

点位置函数的 DOF@8%EL 的计算，说明了小类星体照明对于这个特定光刻图案是适合印刷的。

现在参照图 58，该等值曲线图说明了作为源点位置函数的整个 CD 变量，根据图 55 所示的本发明实施例被予以确定。该图提出具有大极（或至少比图 57 中限定的极大）的类星体照明可以是适合低 CD 变量的。

图 59 示出了对于不同照明布置和不同参数的 CD 变量对照。对于上述每个布置的 CD 变量的计算，借助图 55 所示的本发明实施例予以完成。在图 59 中，通过使用所描述的实际照明器计算 CDU 值。可是，可以通过平均照明点（类似于图 18 中所示的本发明实施例）所包含的每点的 CD 值确定每个布置的 CD 值。如该图中所示，具有比图 57 中限定极大的极的类星体分布，减弱了 CD 变量。更特别地，该图表示选择一个基于加工窗口的照明器，不仅仅能充分减少 CD 变量。因此可以断定，图 55 所述的本发明实施例中确定的最佳 CDU 方法，是一个有用的工具来根据给定光刻问题优化照明条件。

虽然以上已经说明了本发明的特定实施例，但应当理解本发明可以以不同于所描述的方式实施。上述说明不限制本发明。

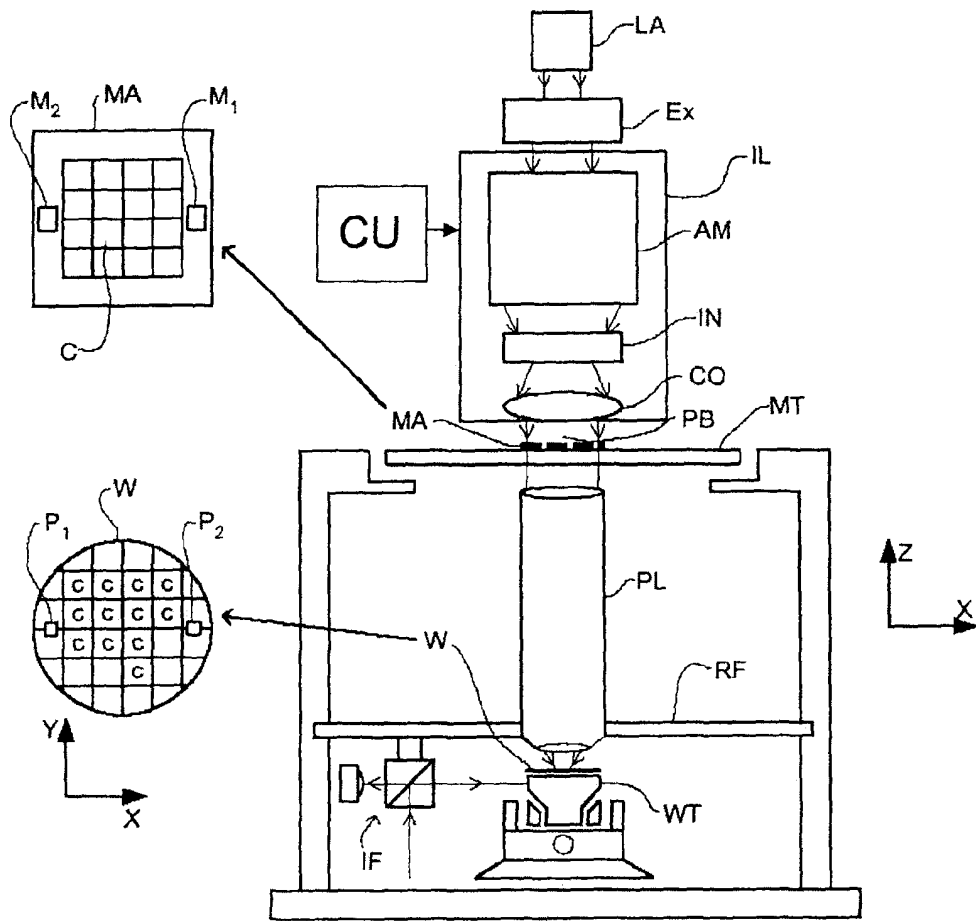


图 1

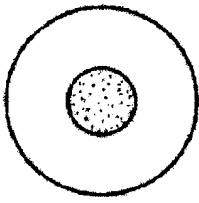


图 2

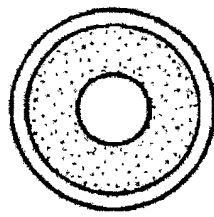


图 3

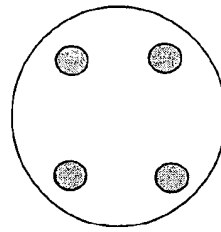


图 4

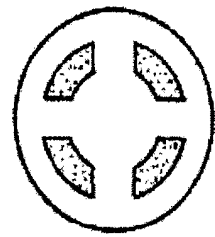


图 5

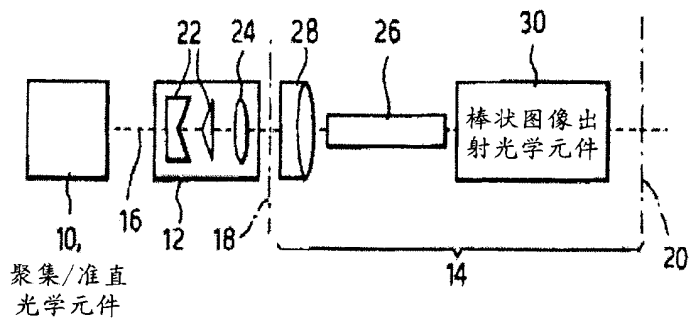


图 6

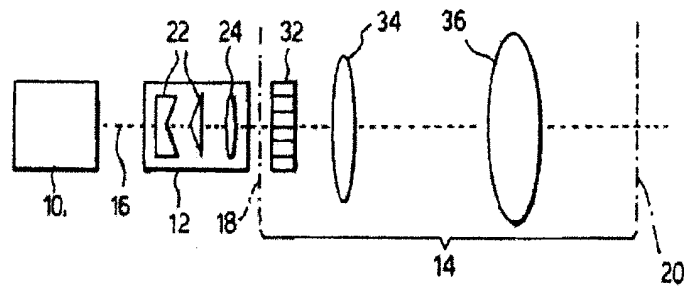


图 7

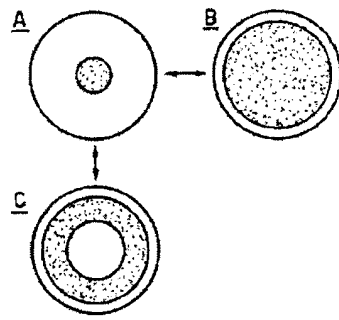


图 8

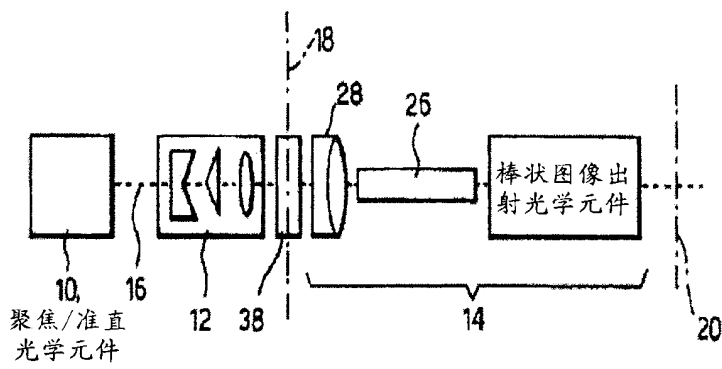


图 9

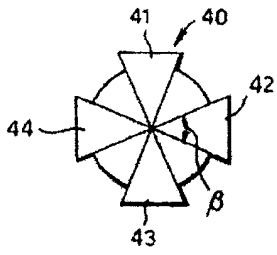


图 10a

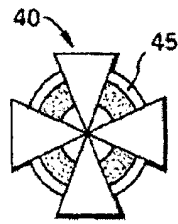


图 10b

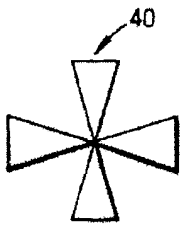


图 11

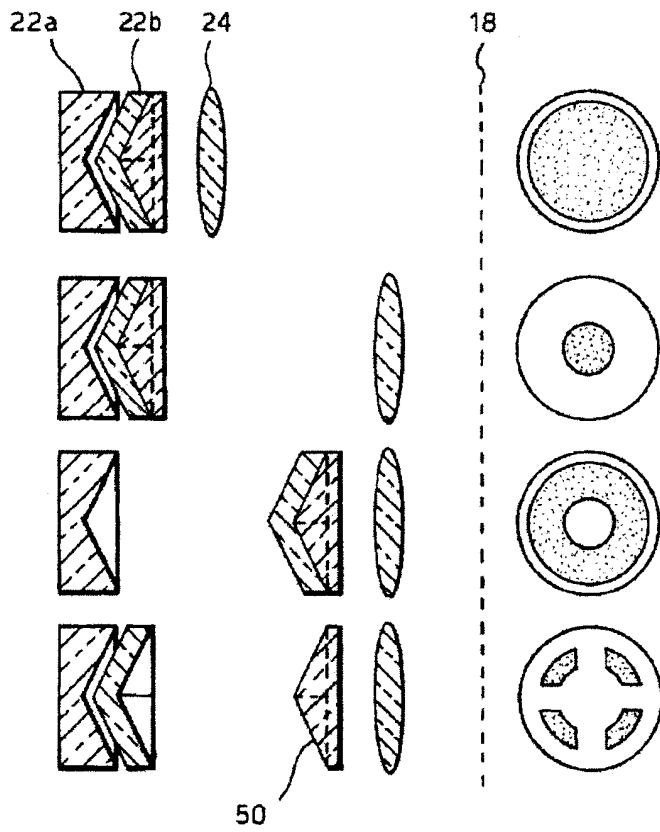


图 12

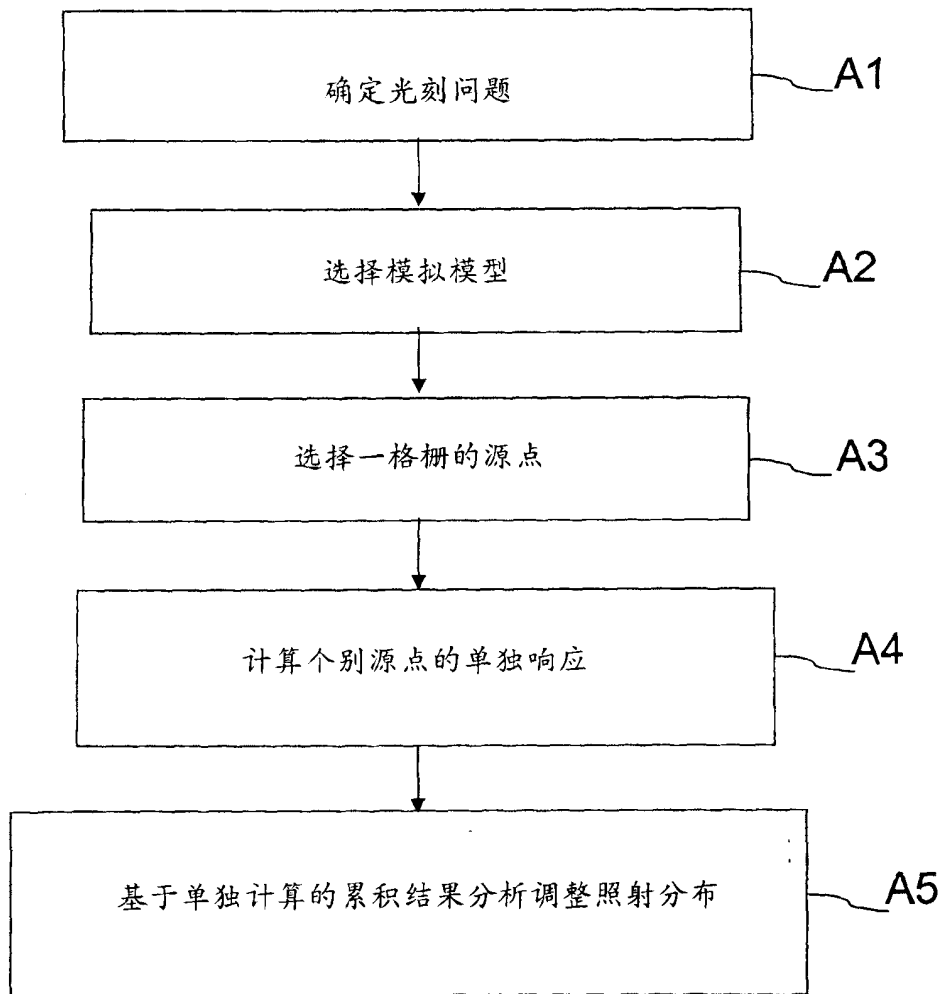


图 13

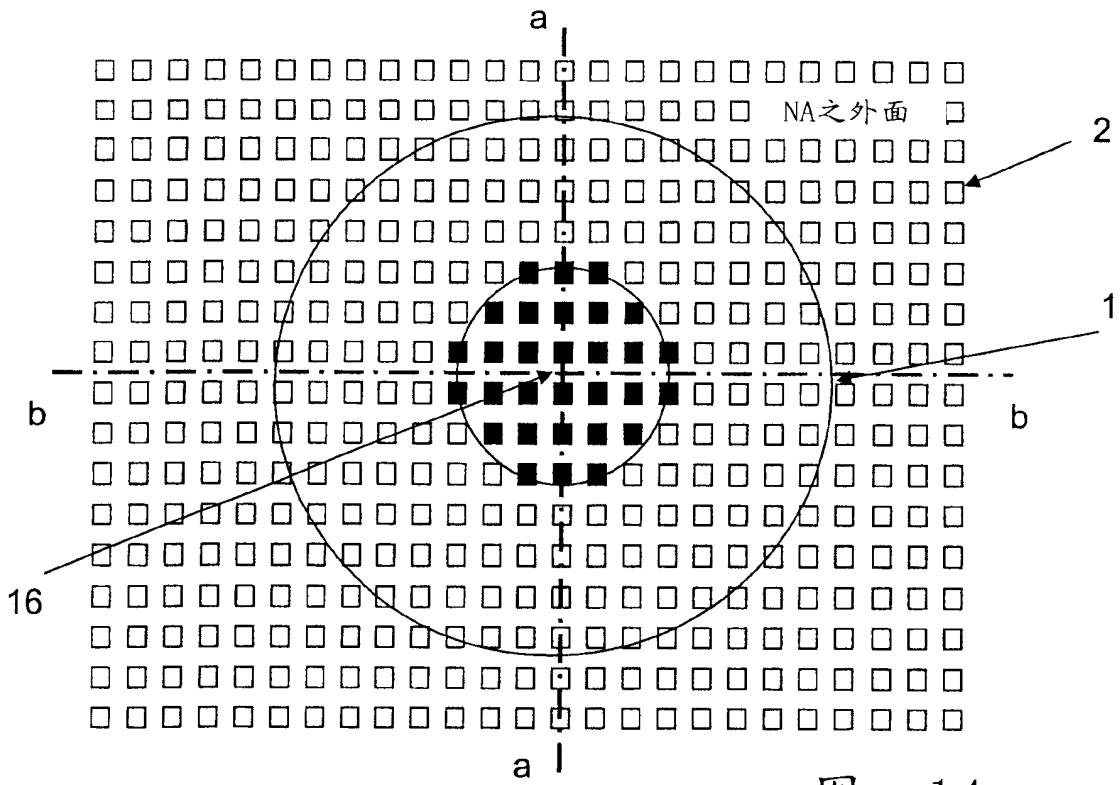


图 14a

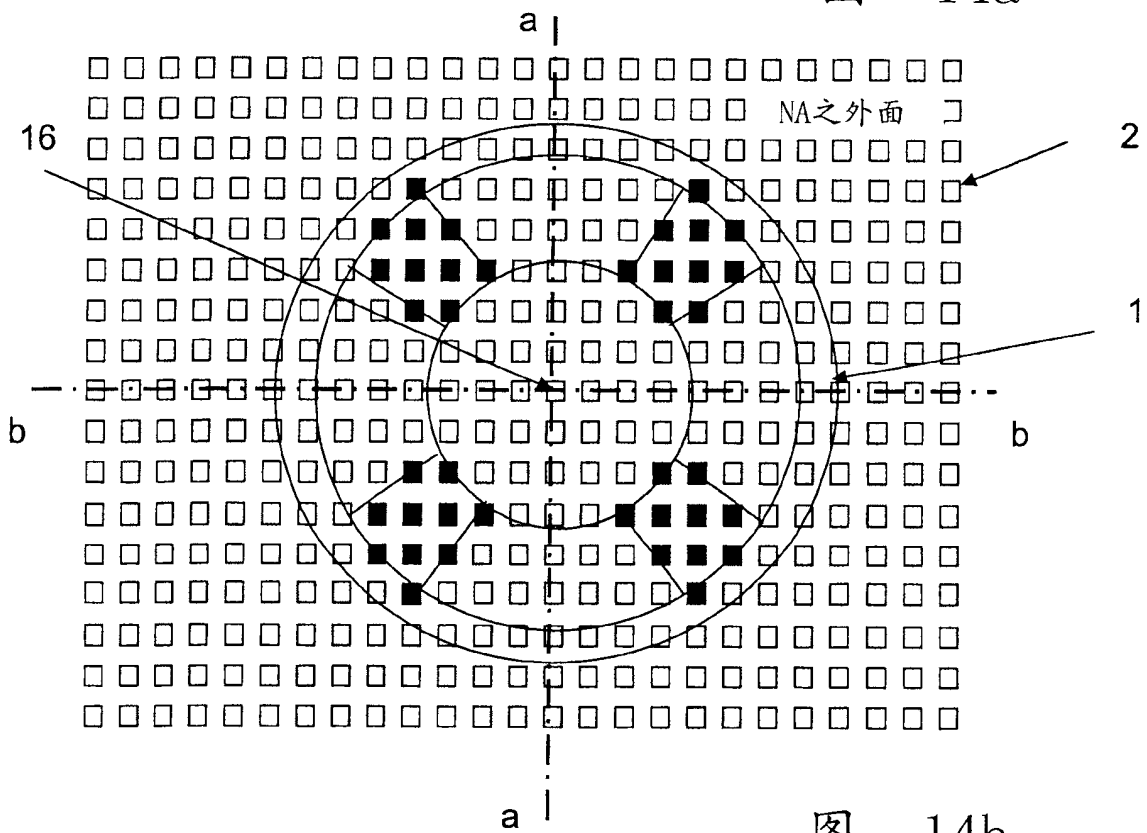


图 14b

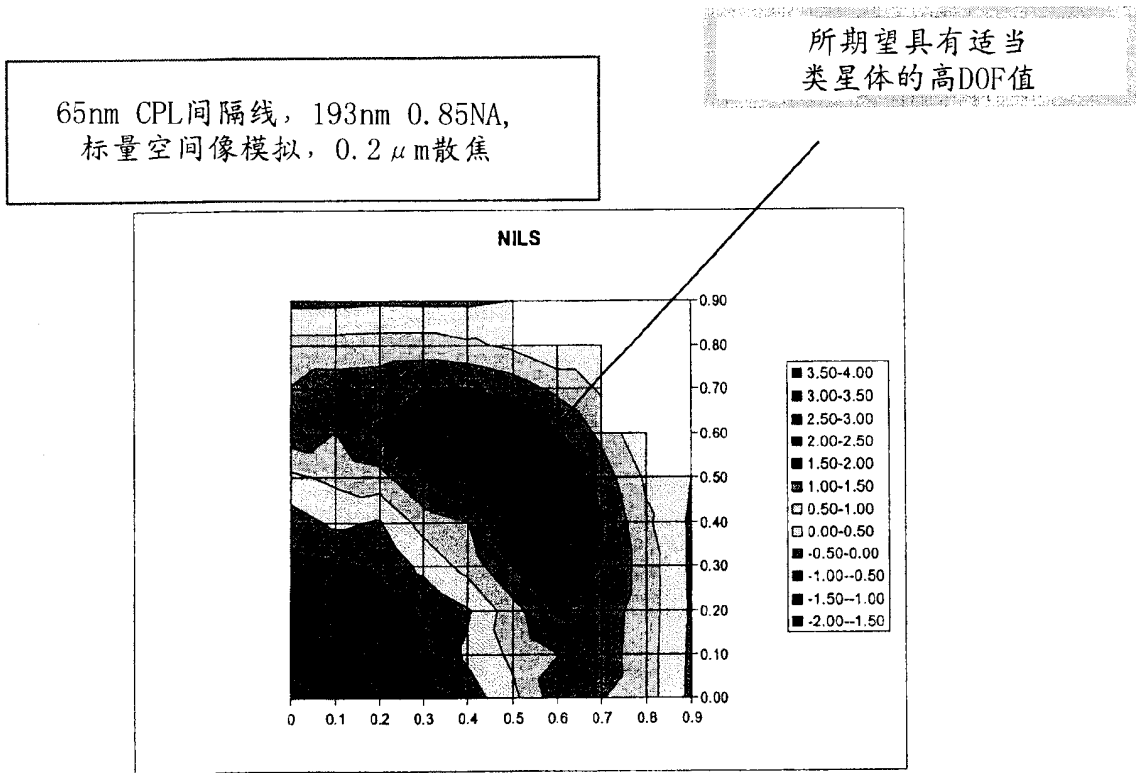


图 15

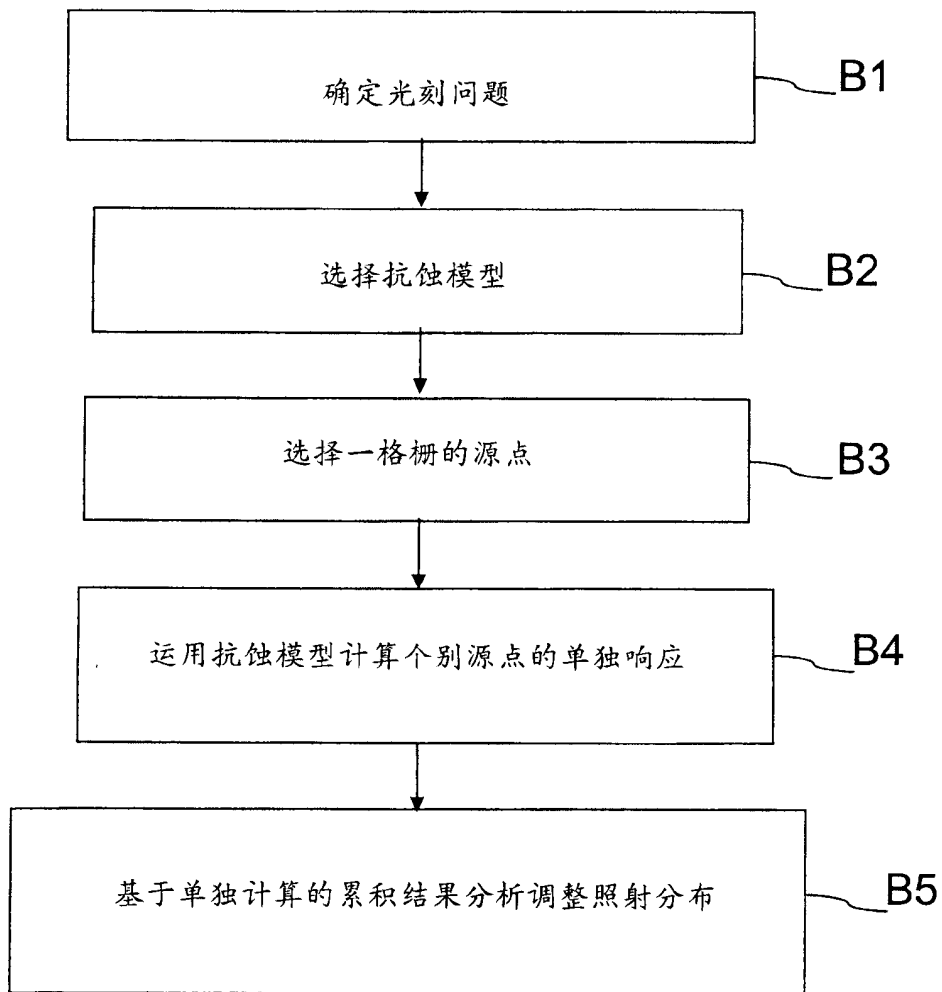


图 16

65nm CPL间隔线, 193nm 0.85NA,
TOK63矢量抗蚀模拟

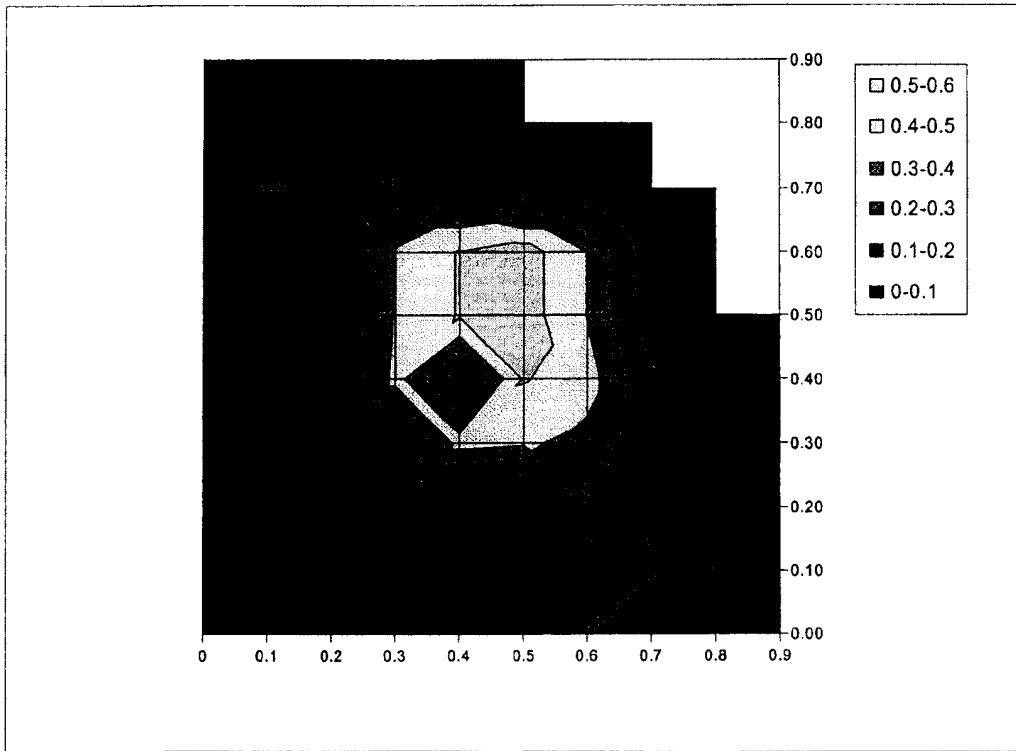


图 17

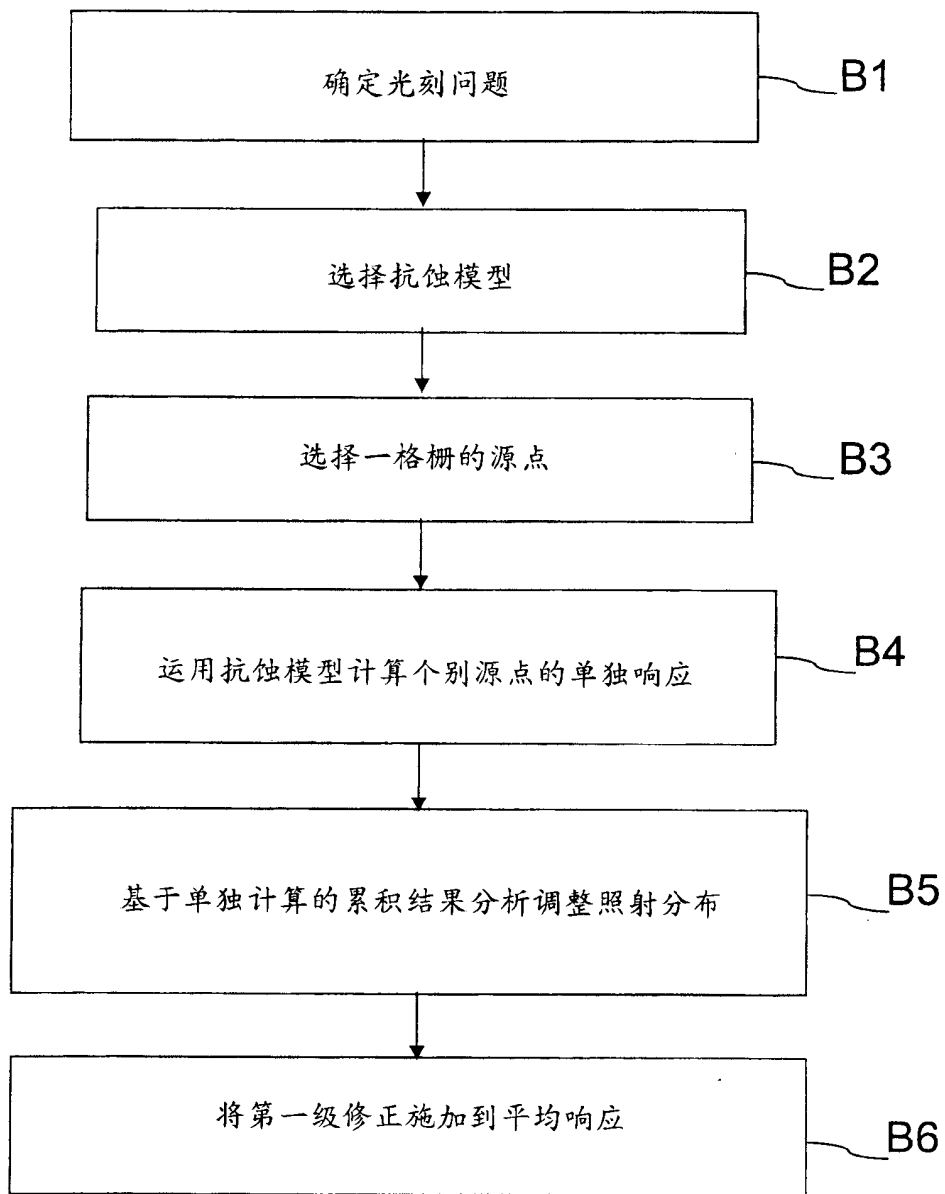


图 18

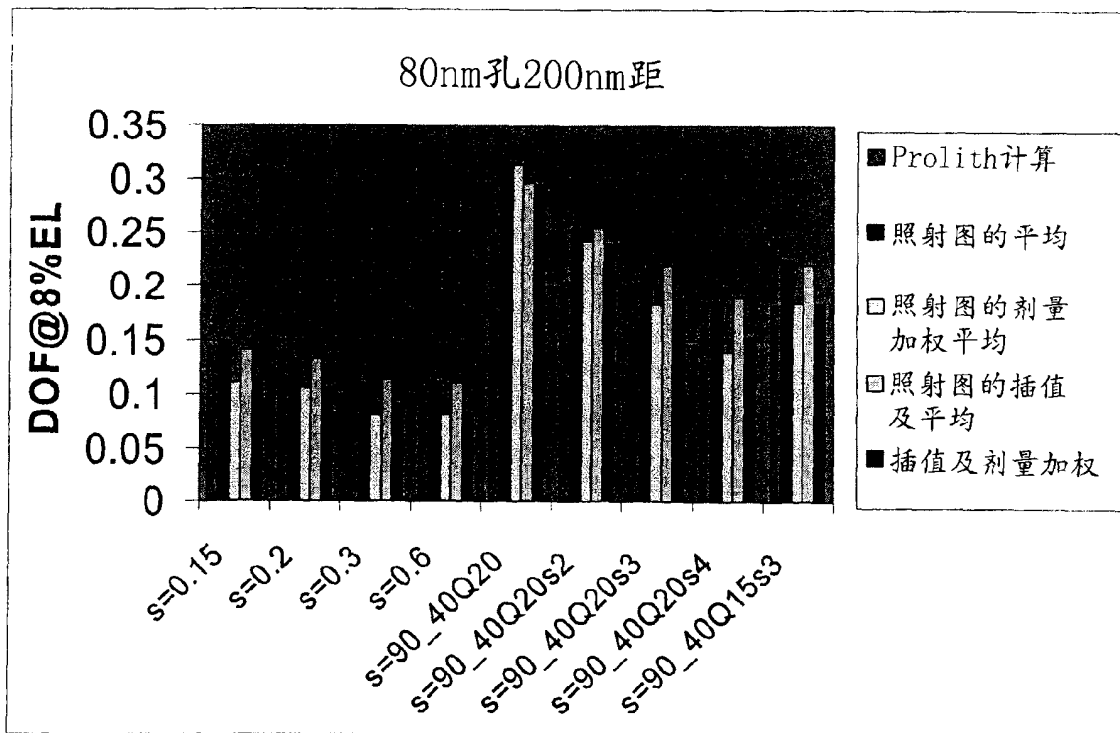


图 19

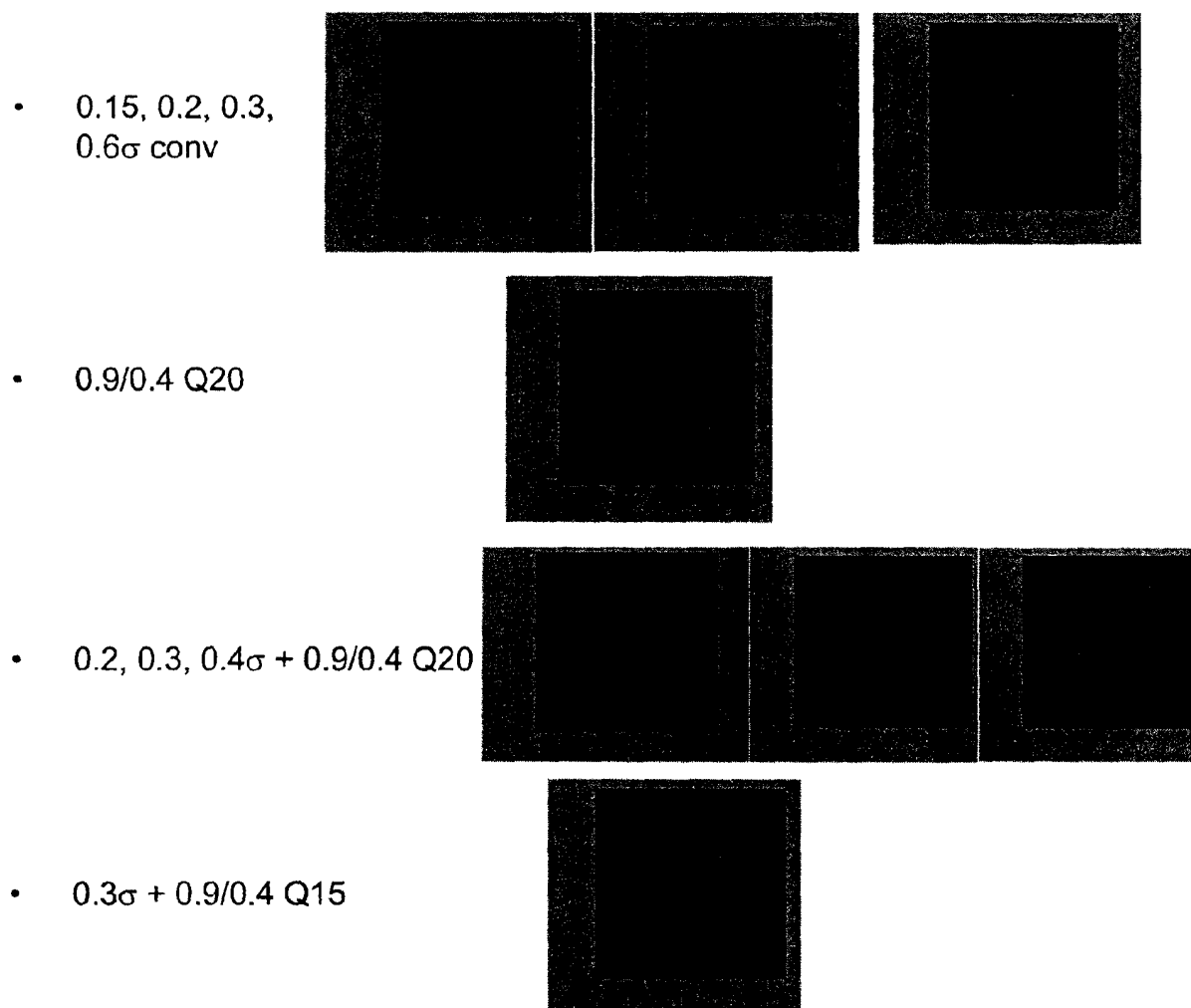


图 20

试验照明器	基于经权重和插值的源测量的预测值	该照明器的Proli th模拟值
0.85_0.55Q30	0.293u	0.23u
0.75_0.55Q20	0.416	0.41
0.80_0.60Q20	0.383	0.355
0.80_0.60 环形	0.110	0.10
0.75_0.55 环形	0.118	0.105

图 21

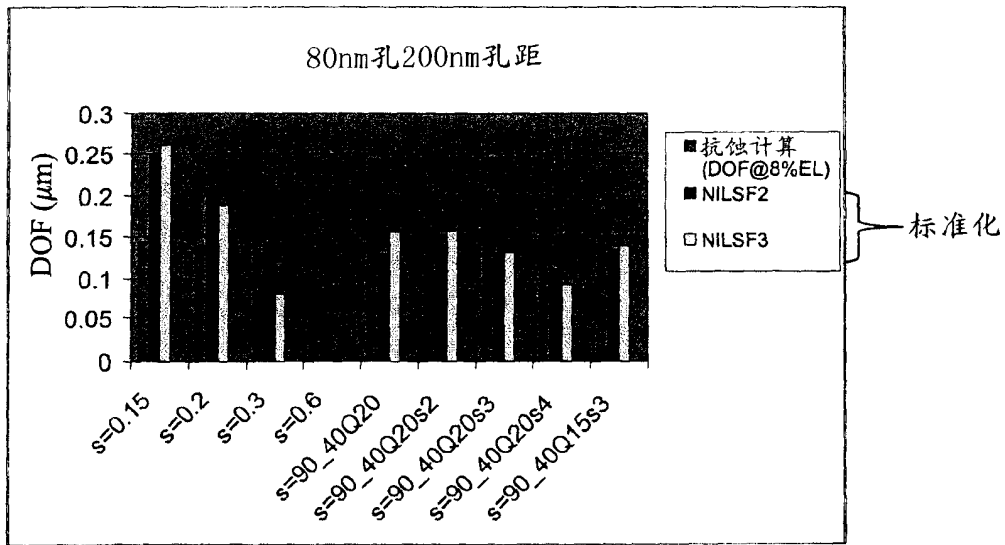


图 22

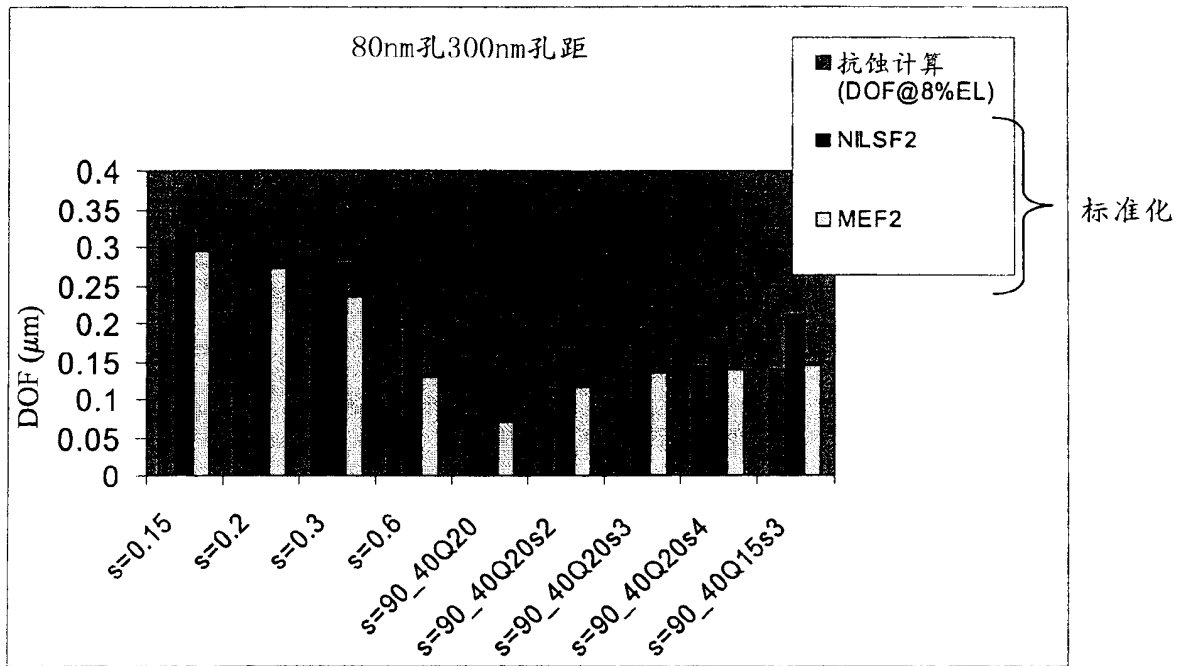


图 23

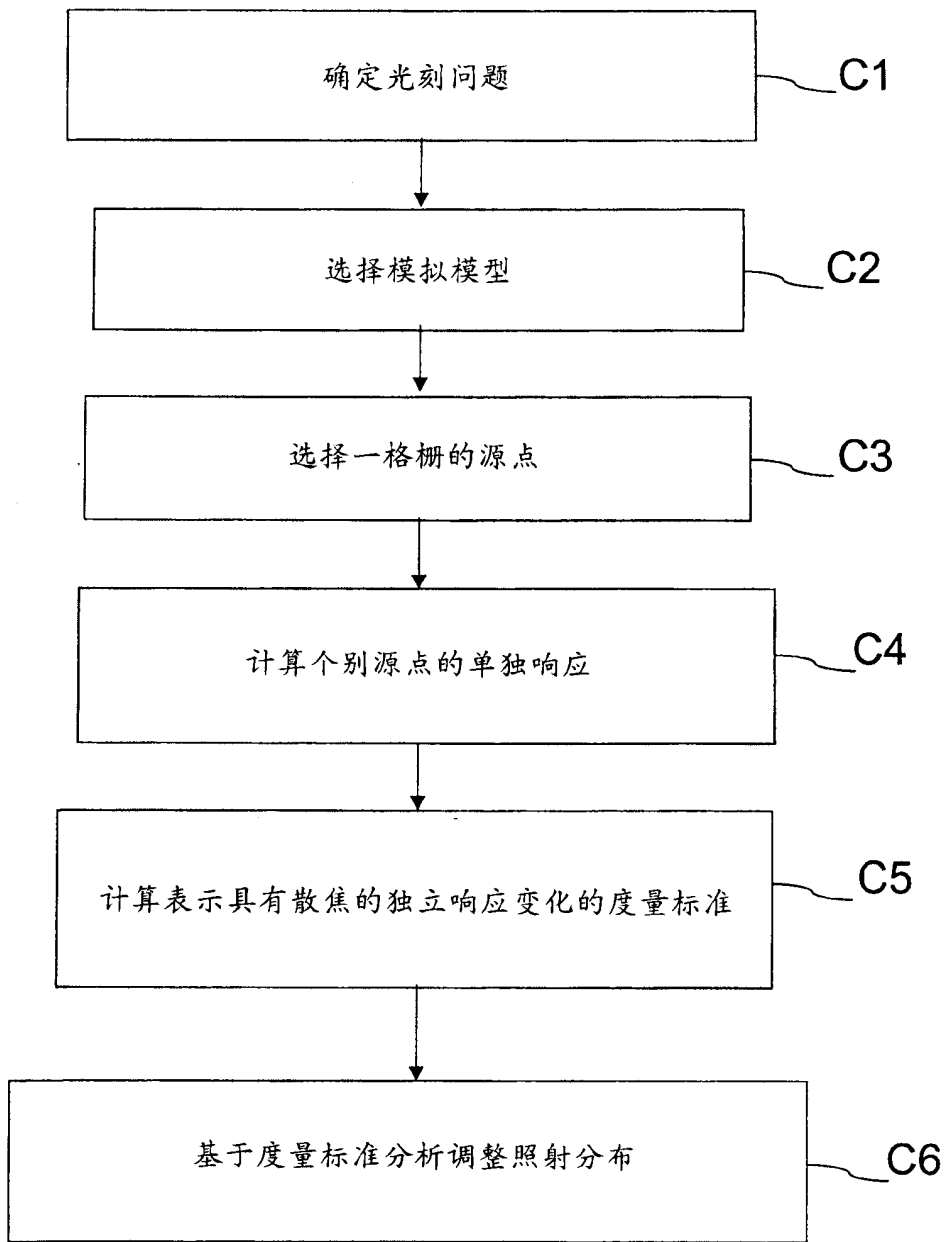


图 24

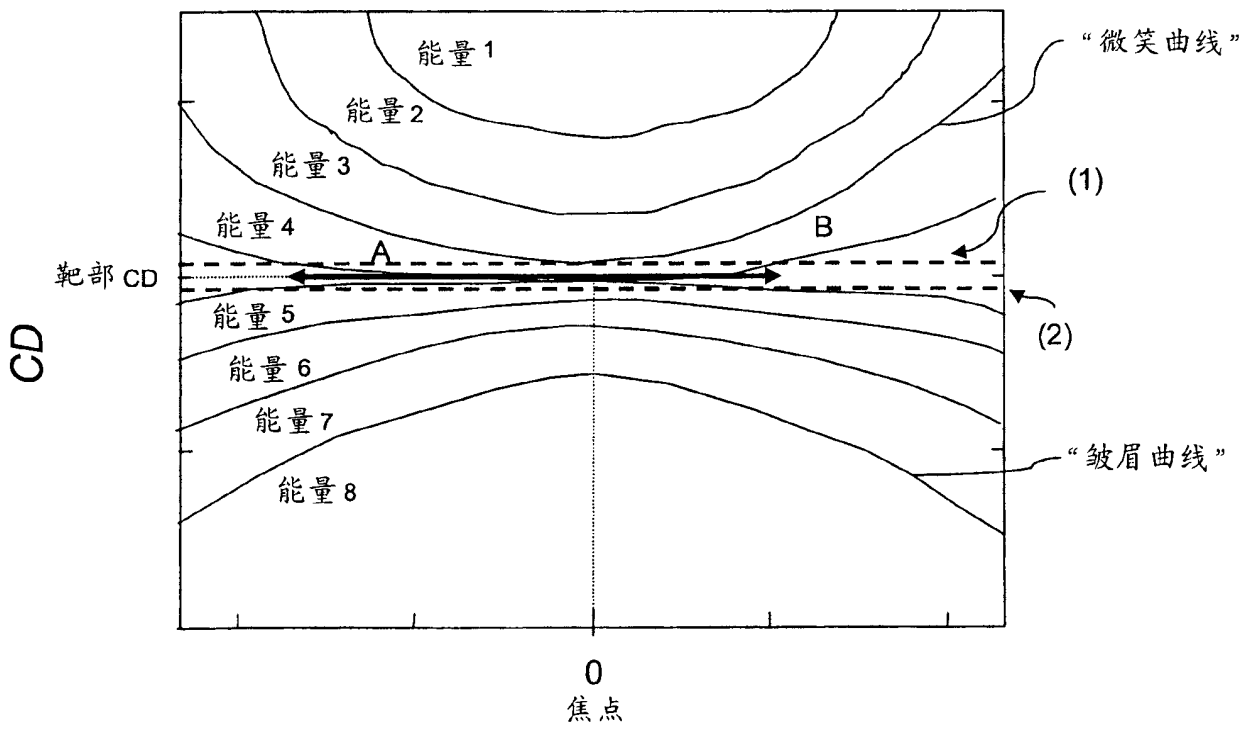
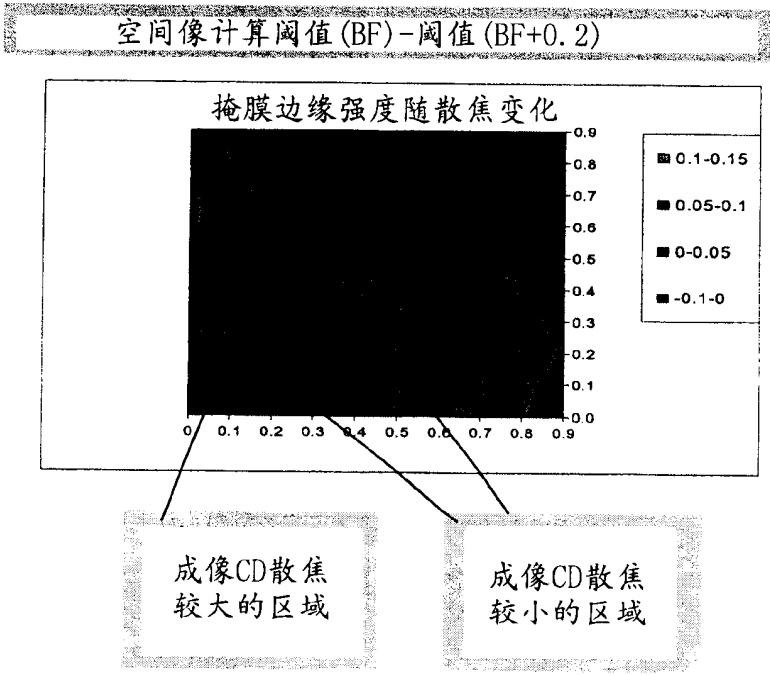
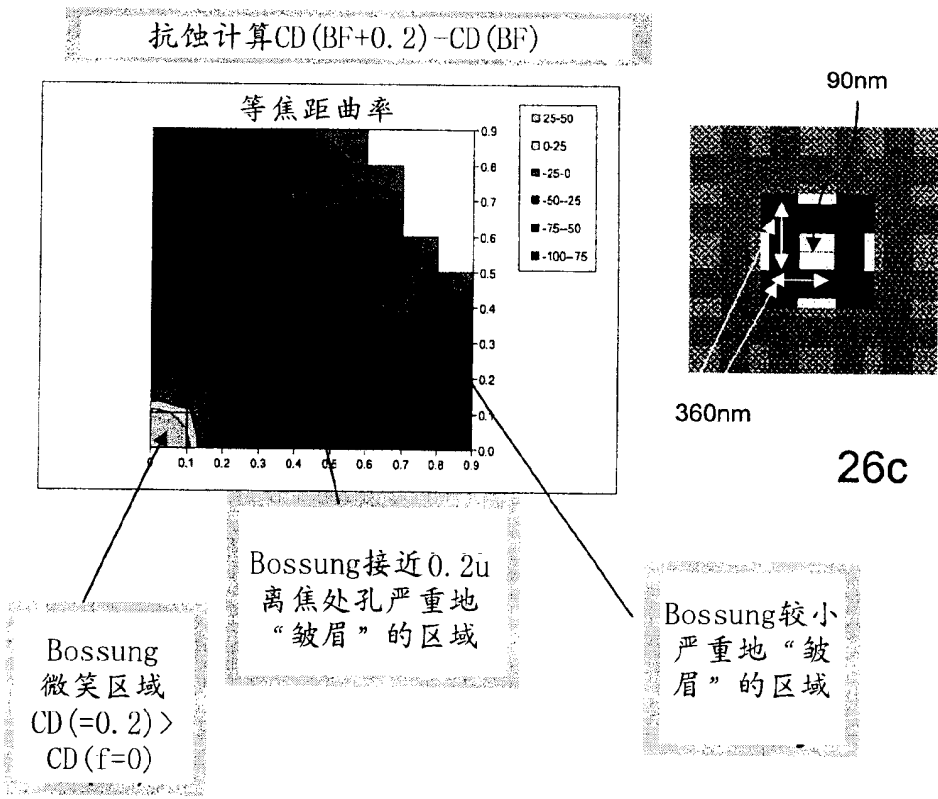


图 25



抗蚀计算 $CD(BF+0.2) - CD(BF)$

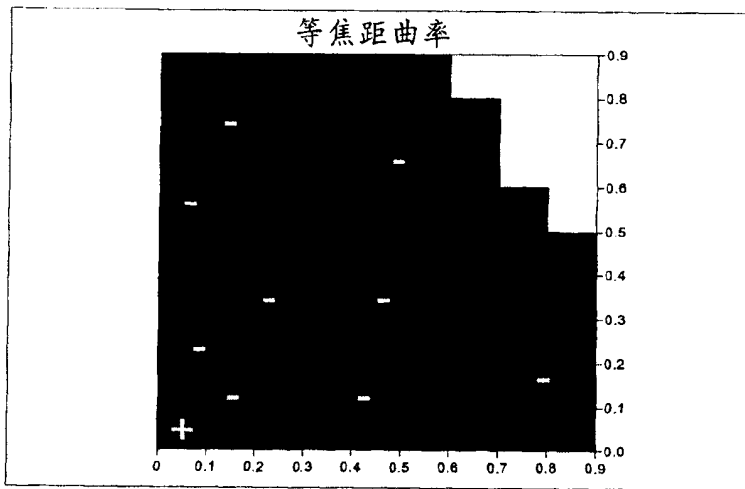


图 27a

空间像计算阈值(BF) - 阈值(BF+0.2)

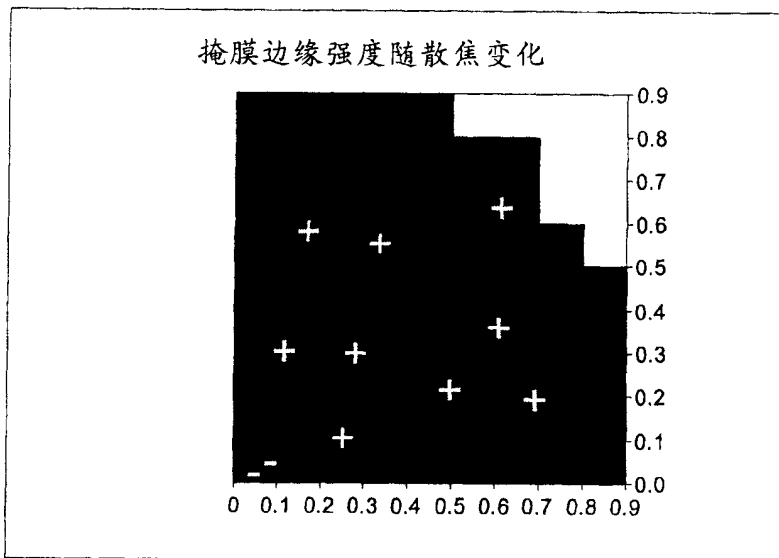
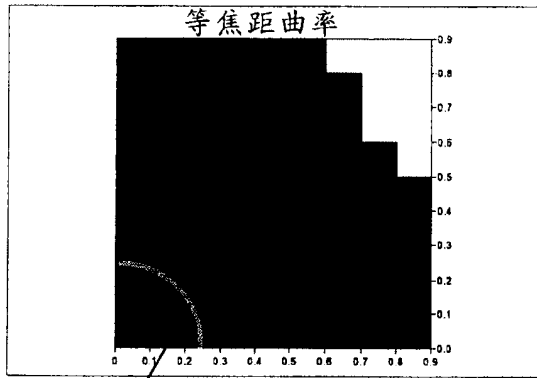


图 27b



$\sigma = 0.25$ 组合+和-等
焦距曲率的区域

图 28

在 $\sigma = 2.5$ 处, 处理大约是等焦距的,
DOF良好, 但剂量宽度容度较低

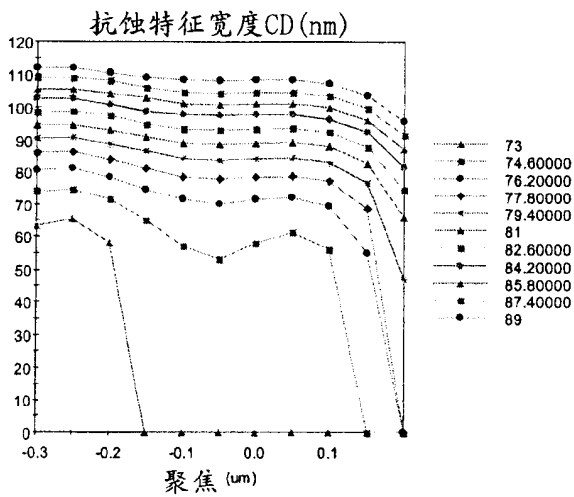


图 29

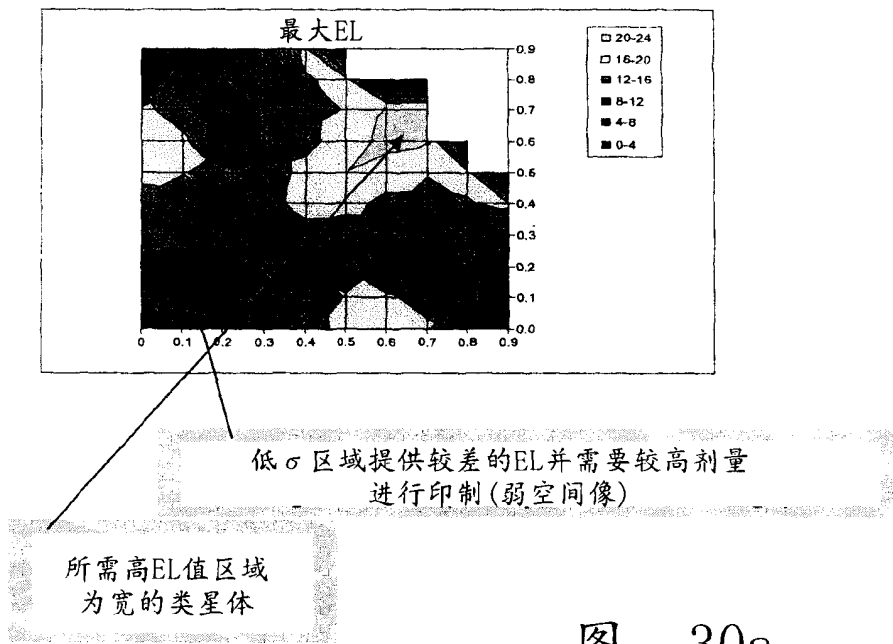


图 30a

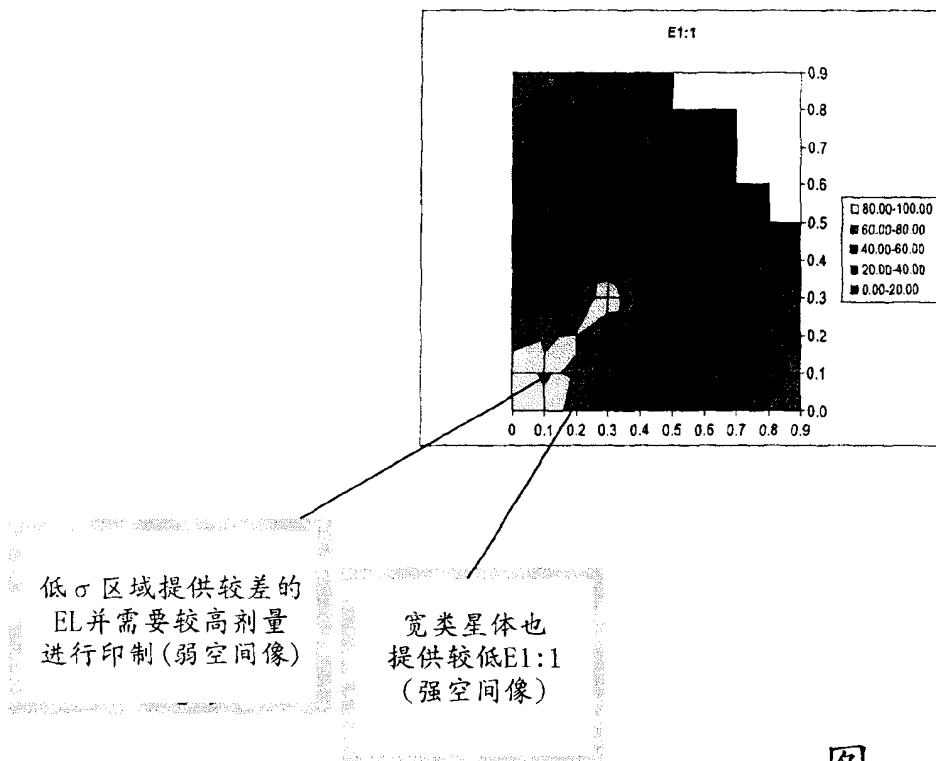


图 30b

$$\text{照明器} = \sigma(0.1 \text{ conv}) + (0.92/0.88Q5^\circ)$$

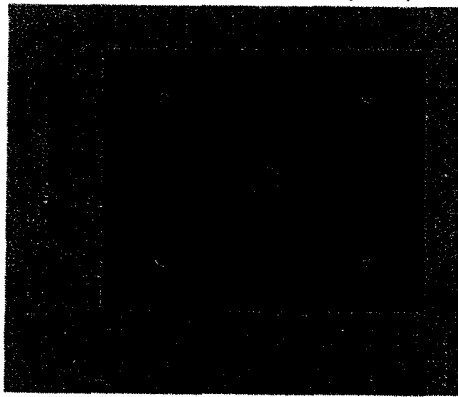


图 31

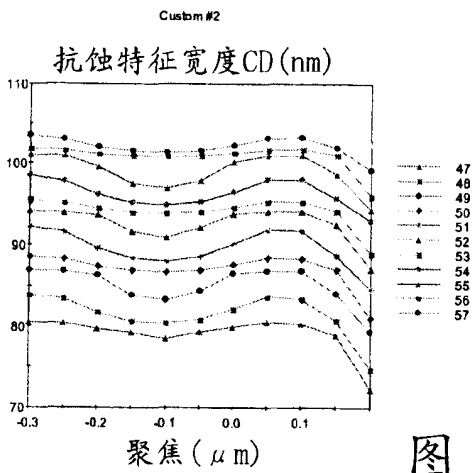


图 32

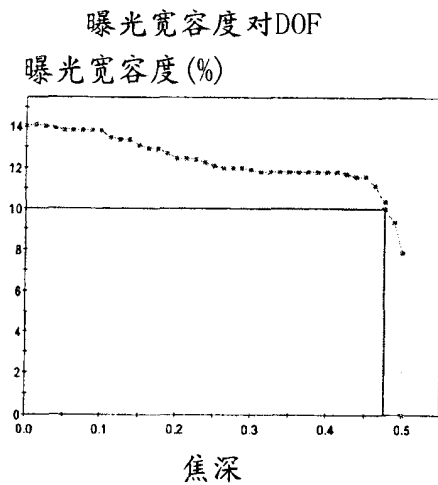


图 33

优化方法	照射	最大EL	最大DOF	DOF@10%EL	DOF@5%EL
标准	0.95/0.70Q30*	18%	0.3	0.18	0.24
简化等焦距补偿	0.25 conv	8%	>0.56	0	0.29
高纵横等焦距补偿	0.92/0.88Q5*+0.1conv	16%	>0.65	0.57	0.63

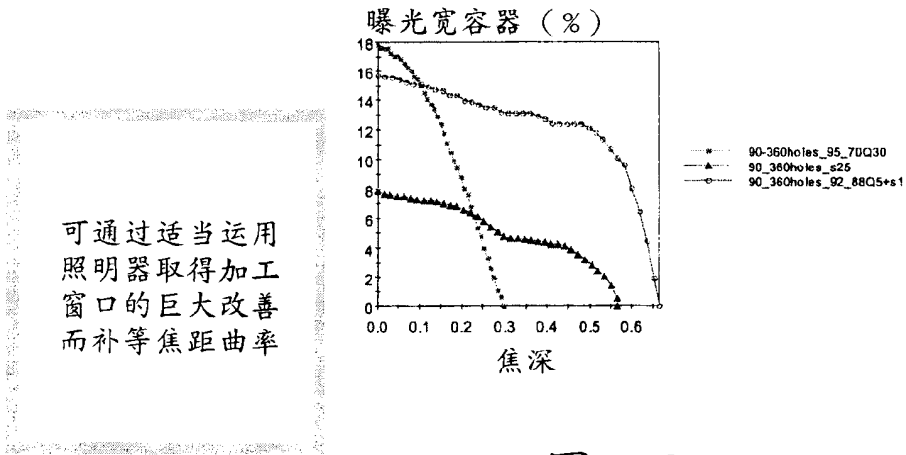


图 34

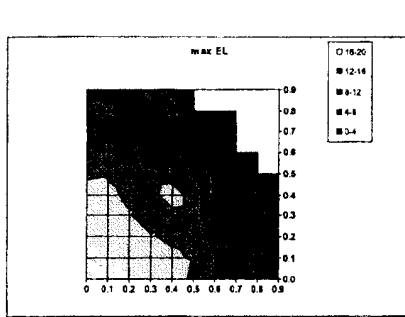


图 35a

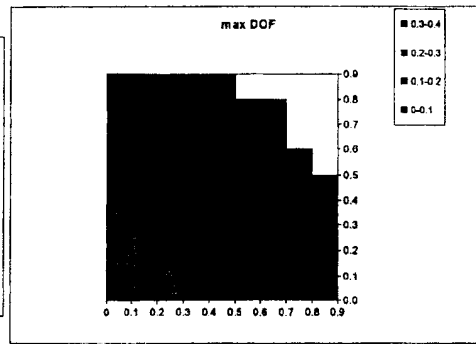


图 35b

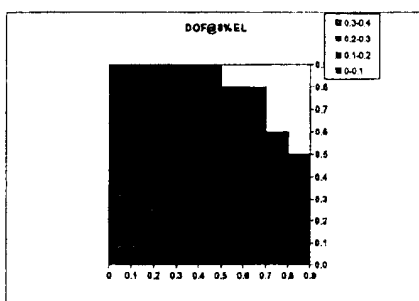


图 35c

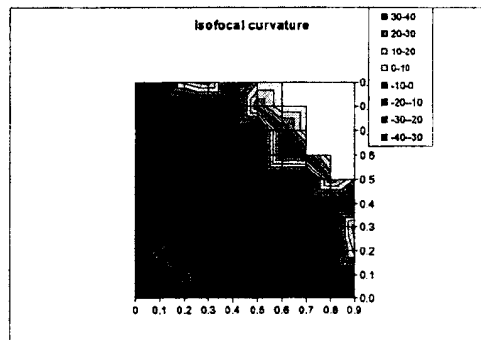


图 35d

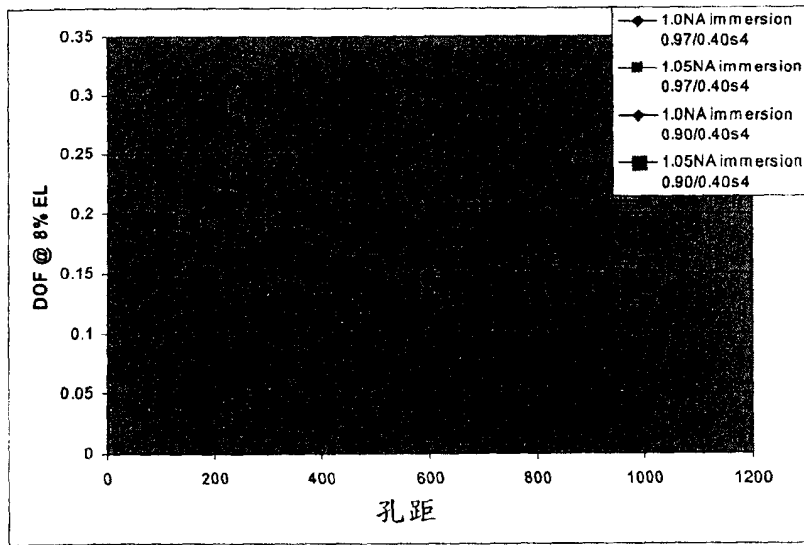


图 36a

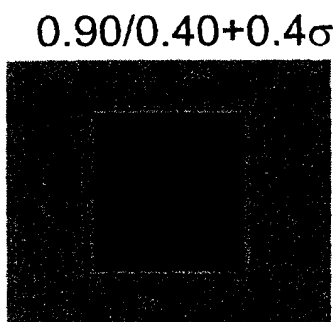


图 36b

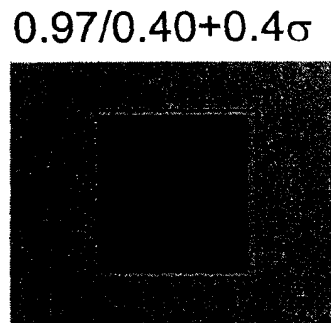


图 36c

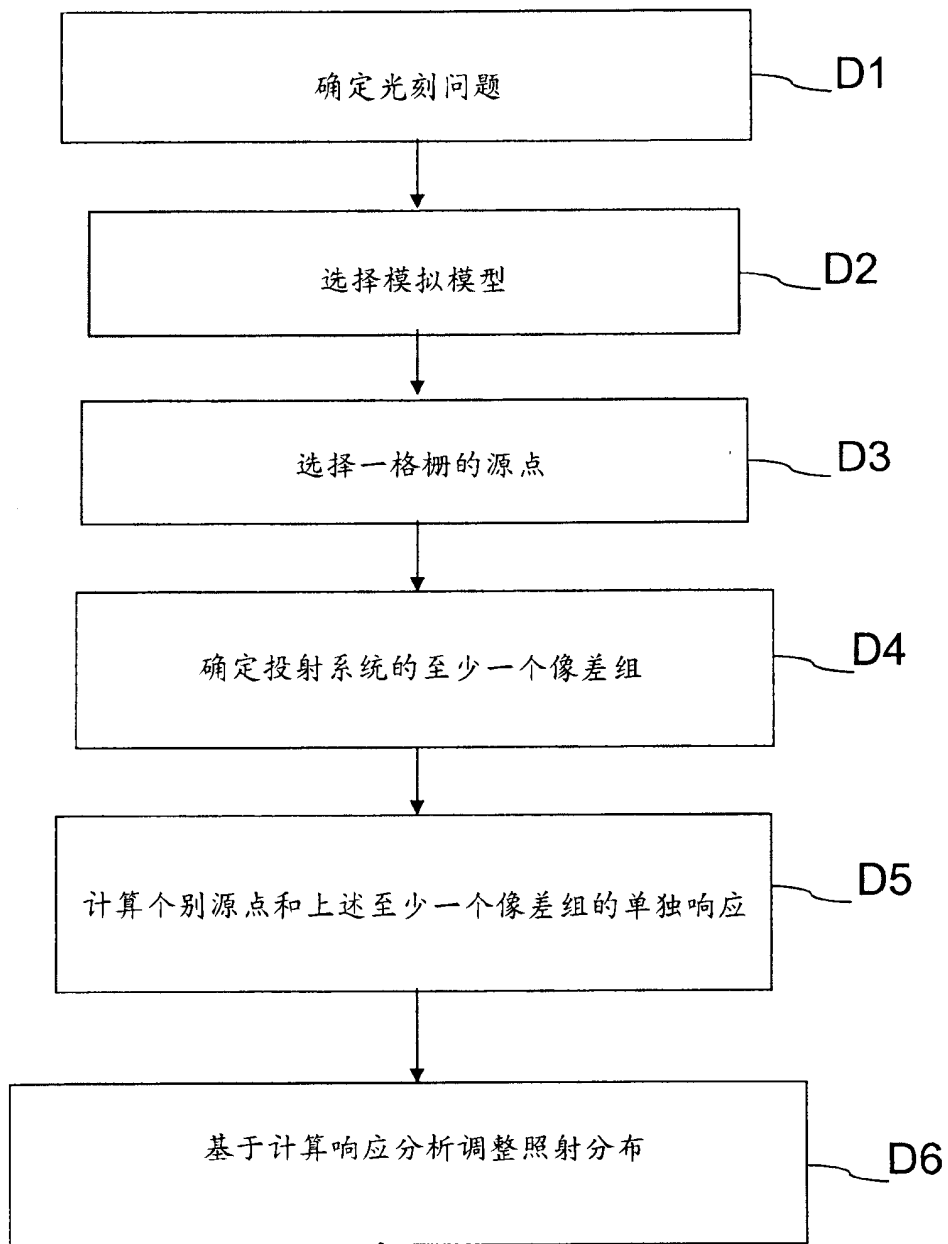


图 37

在此等条件下，结构变得非常像差敏感

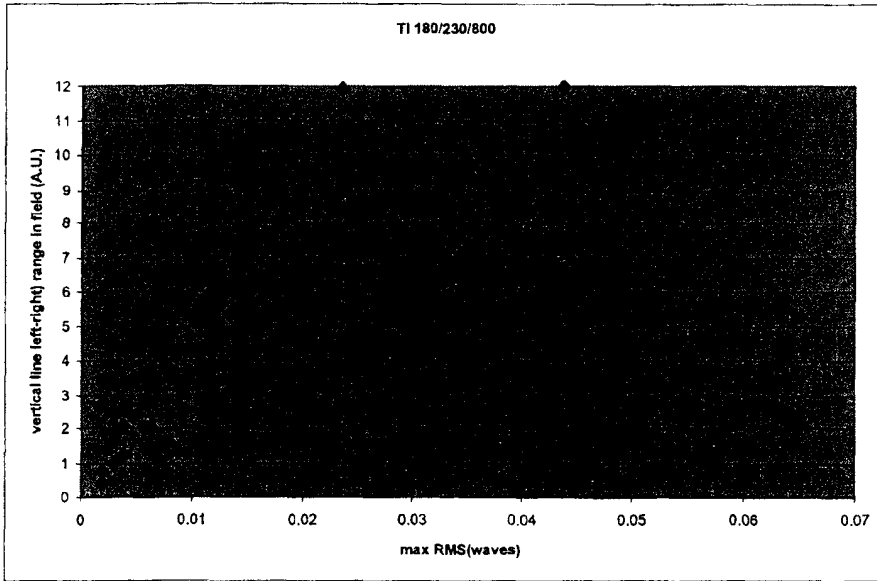


图 38a

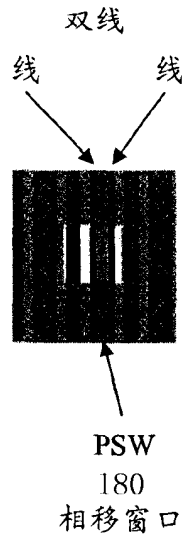


图 38b

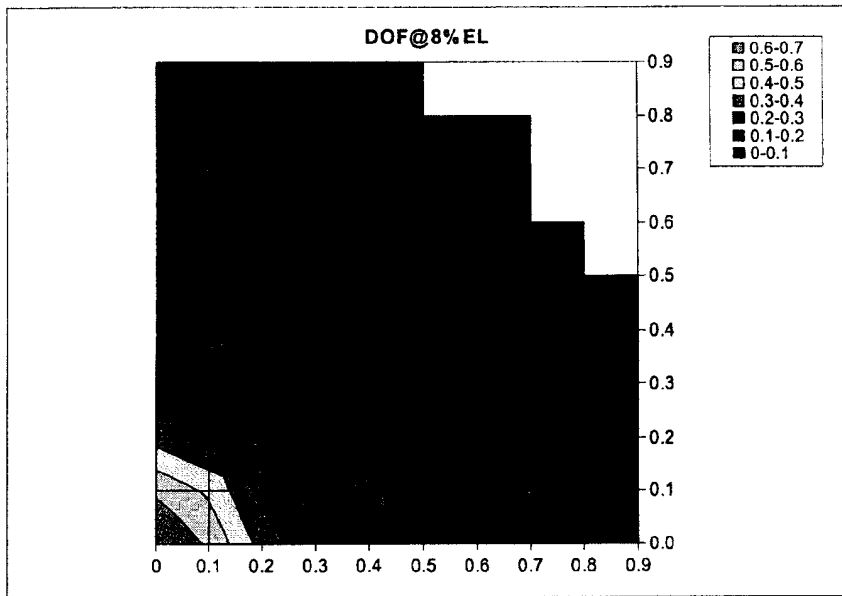


图 39a

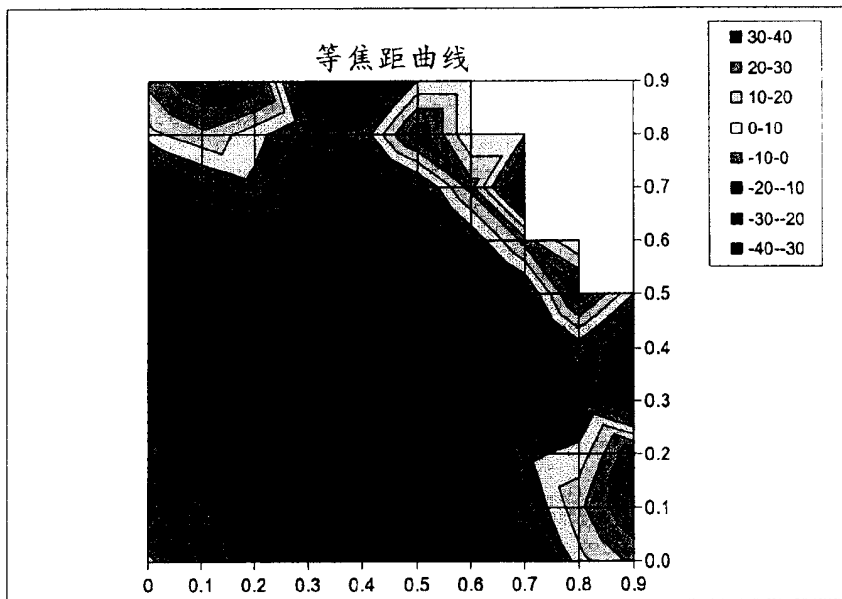


图 39b

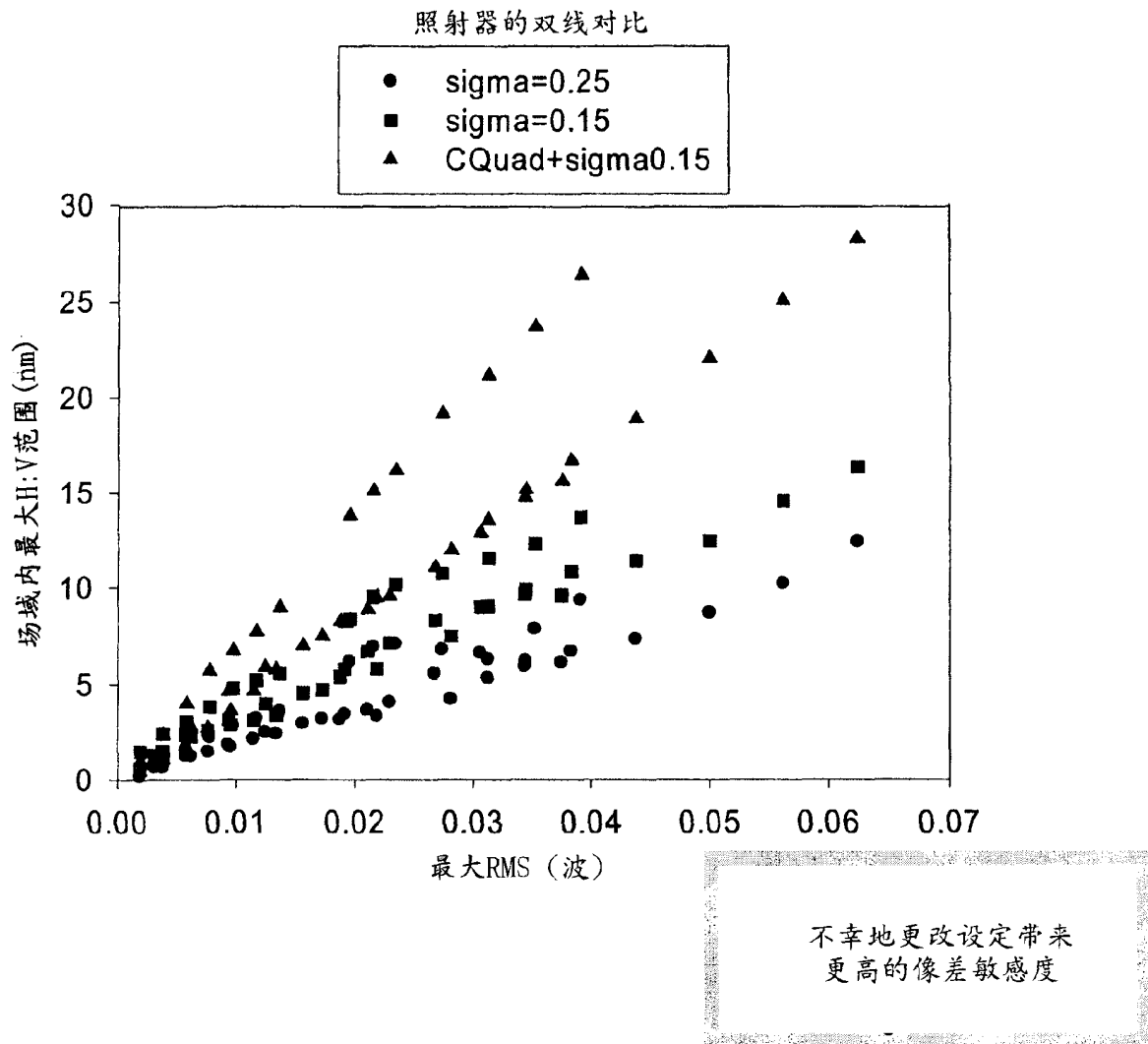


图 40

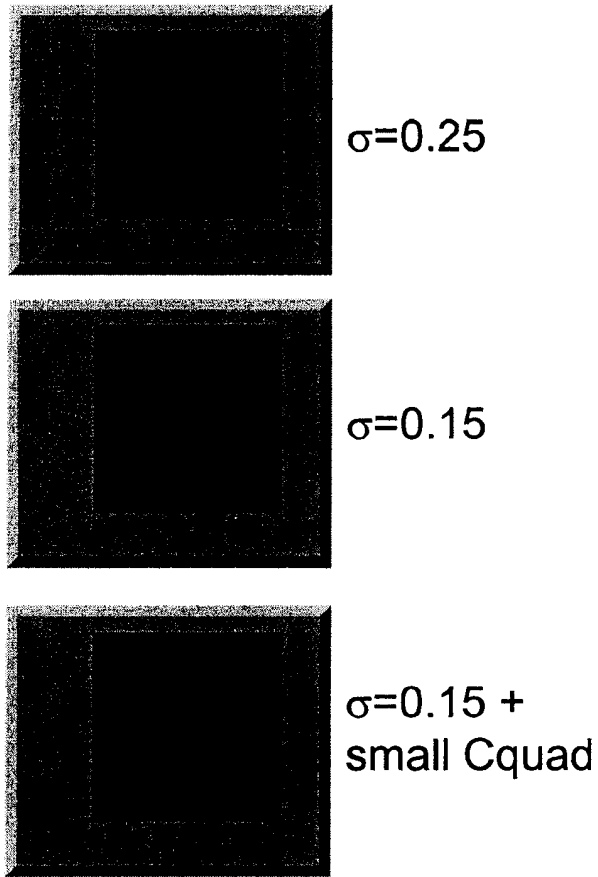


图 41

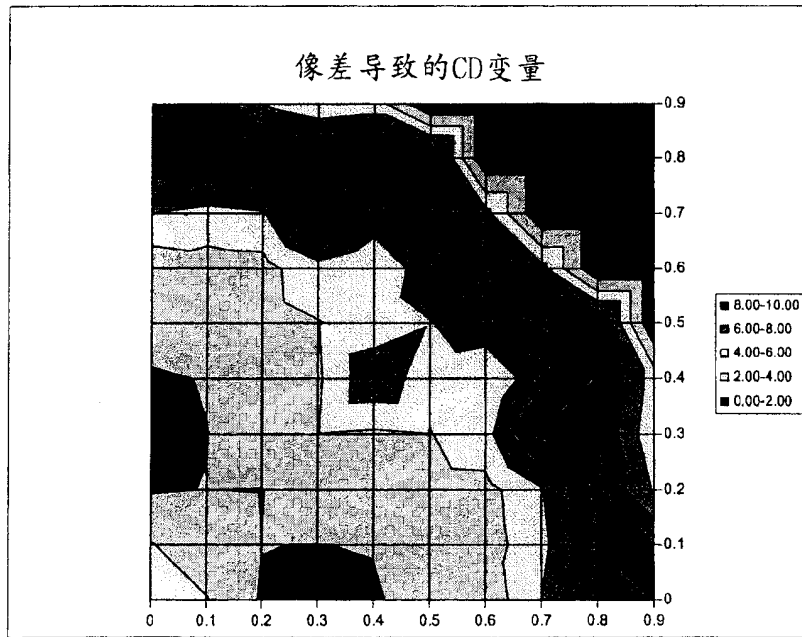
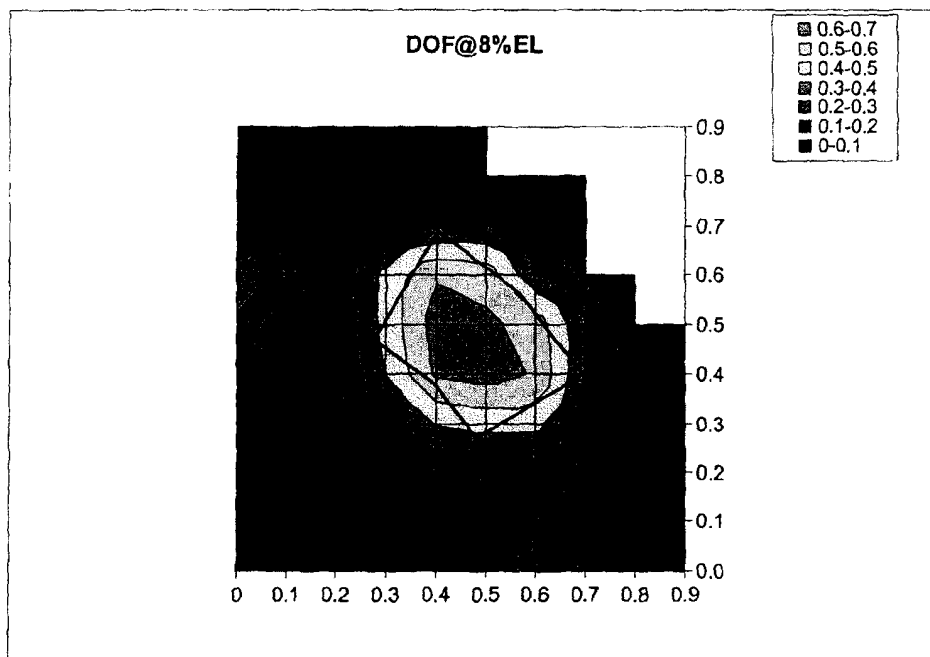


图 42

0.75NA的照射优化

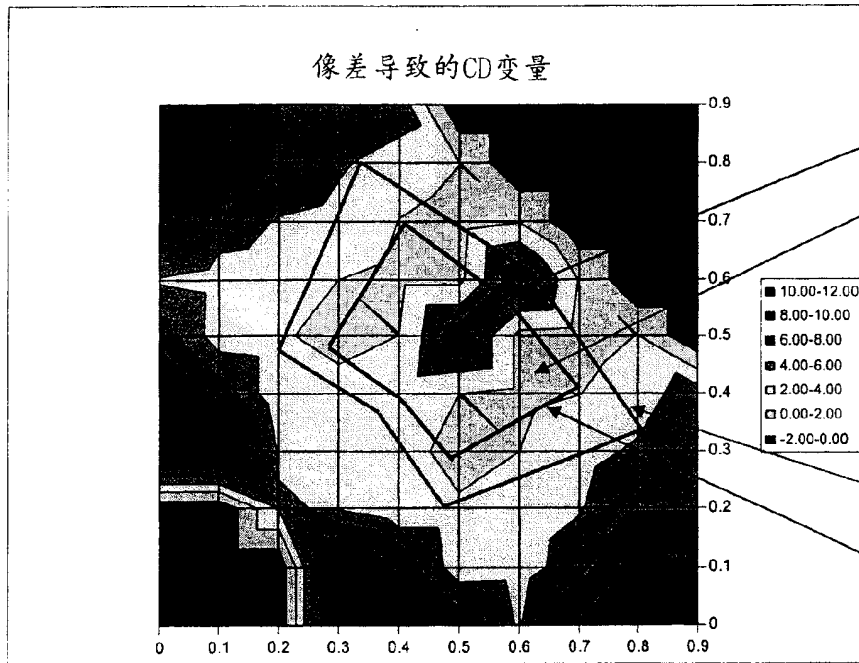


紧密的类星体看起来最佳

⇒ 0.80/0.55Q30°

图 43

像差敏感度的源形象



对于正好45°
类星体位置，
高像差敏感度
(6-8nm变量)。
对于离轴的点，
敏感度下降
(0-2nm)。像差
敏感度的减小
可以通过扩大
极以淡化不利
的同轴的敏感
度；减小预计
的加工窗。

也考虑
更大的极
⇒ 0.85/0.50Q45°
加上紧密的类星体
⇒ 0.80/0.55Q30°

图 44

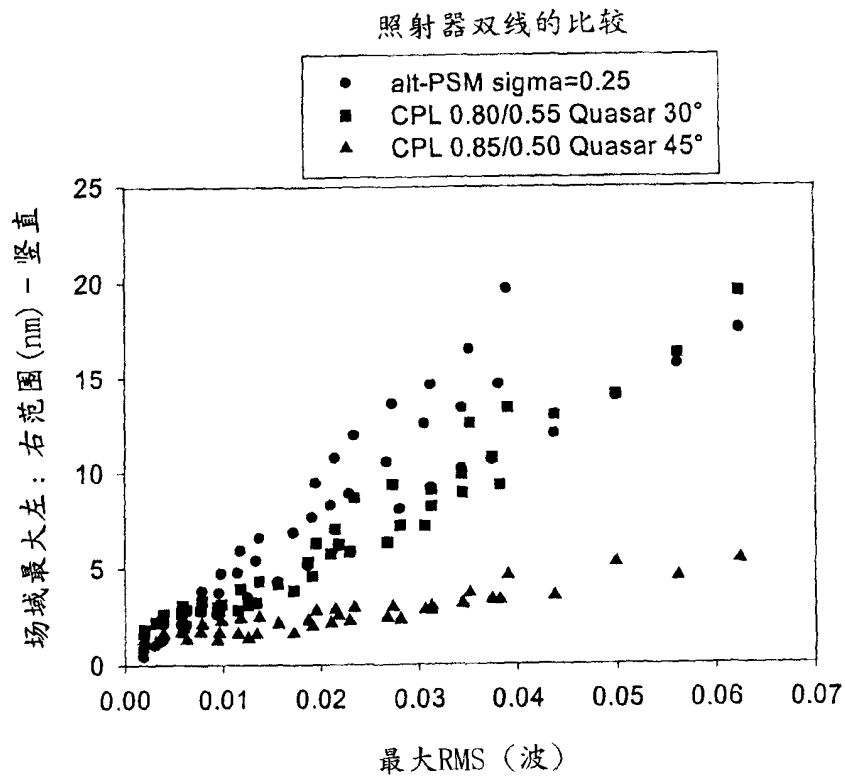


图 45

CPL像差敏感度降低，极尺寸增加，仍提供良好的加工窗口

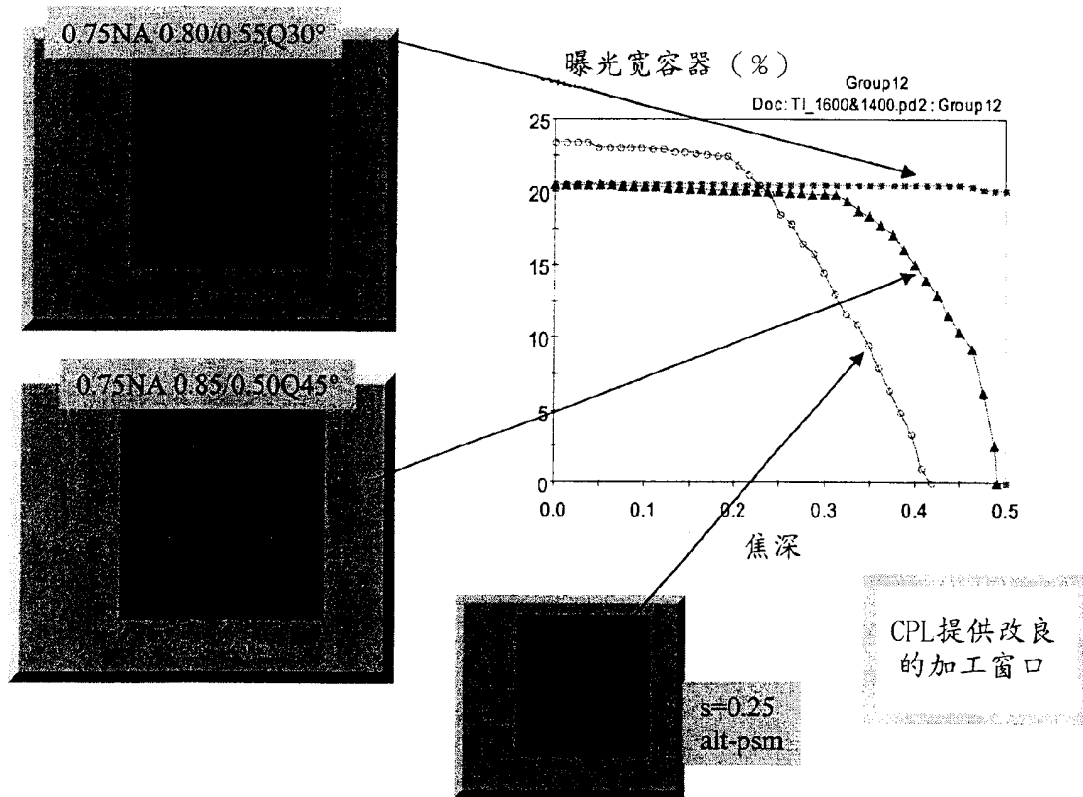


图 46

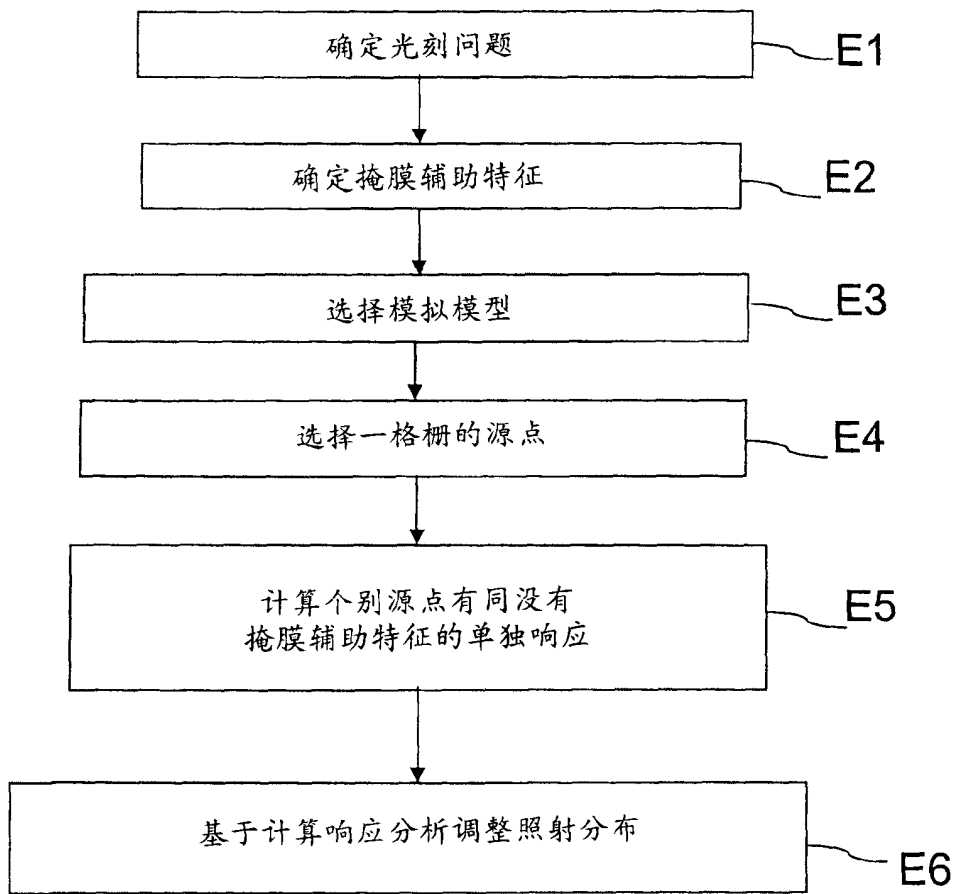


图 47

6% Att-PSM, 1抗扩散带(ASB)/
边50nm ASB, 150nm孔距

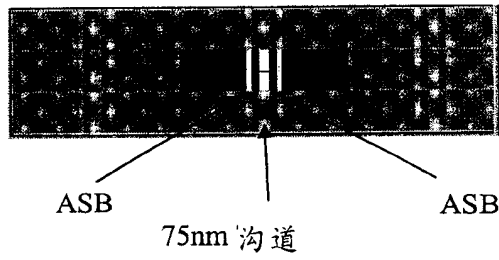


图 48

优化要求很宽的
quasar或类星

75nm沟道, 15nm偏差
6% att-psm, 93m, 0.93NA

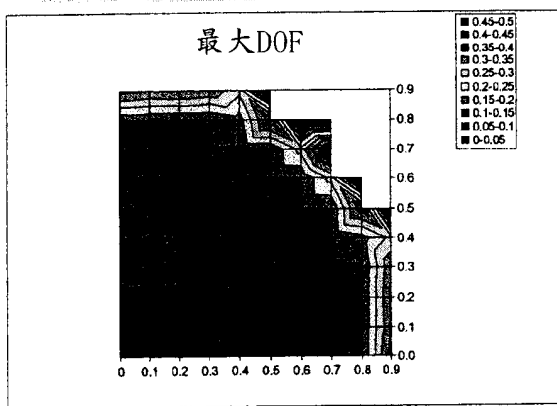


图 49a

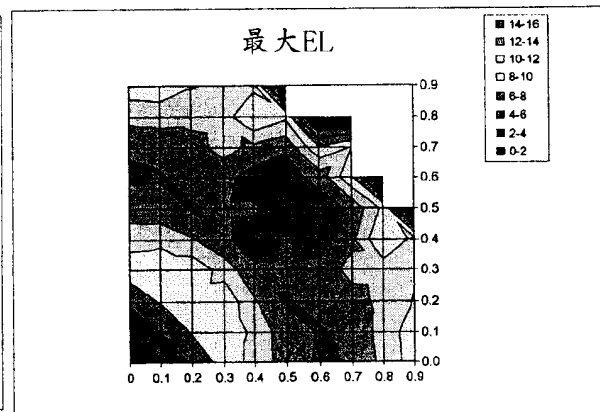


图 49b

75nm沟道, 15nm偏差
6% att-psm, 193nm 0.93NA

1SB / side

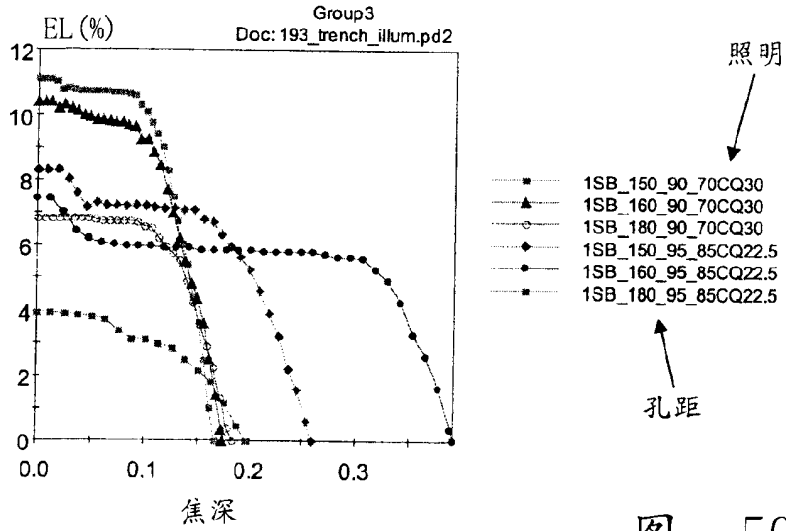
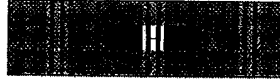


图 50

6%Att-PSM

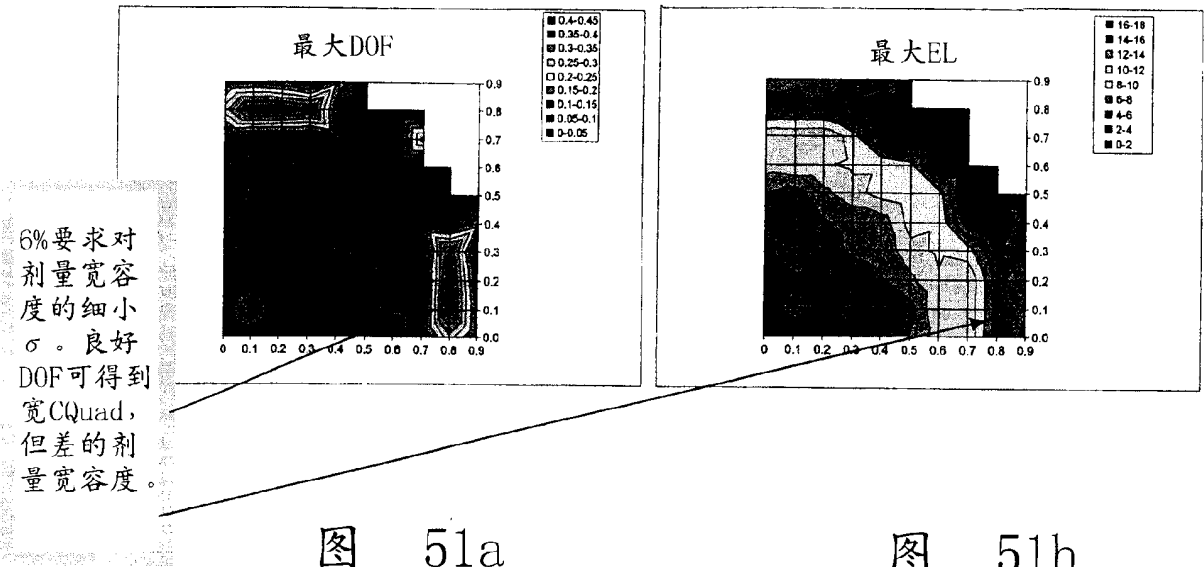


图 51a

图 51b

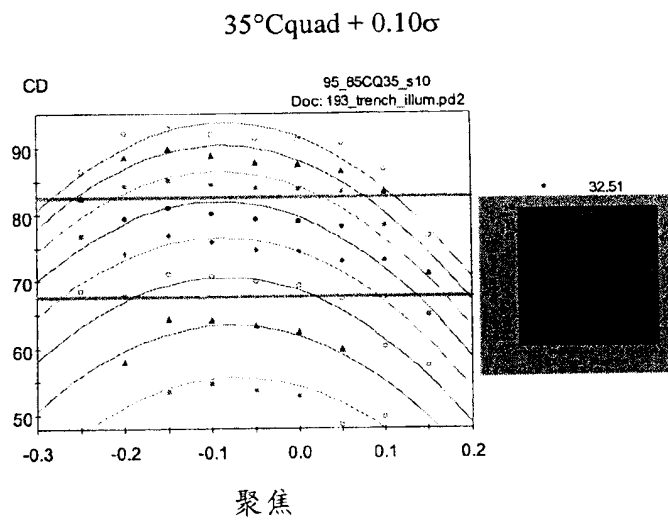


图 52

针对高DOF值的“掩膜辅助”与“照明器辅助”的比较

• 类似结果

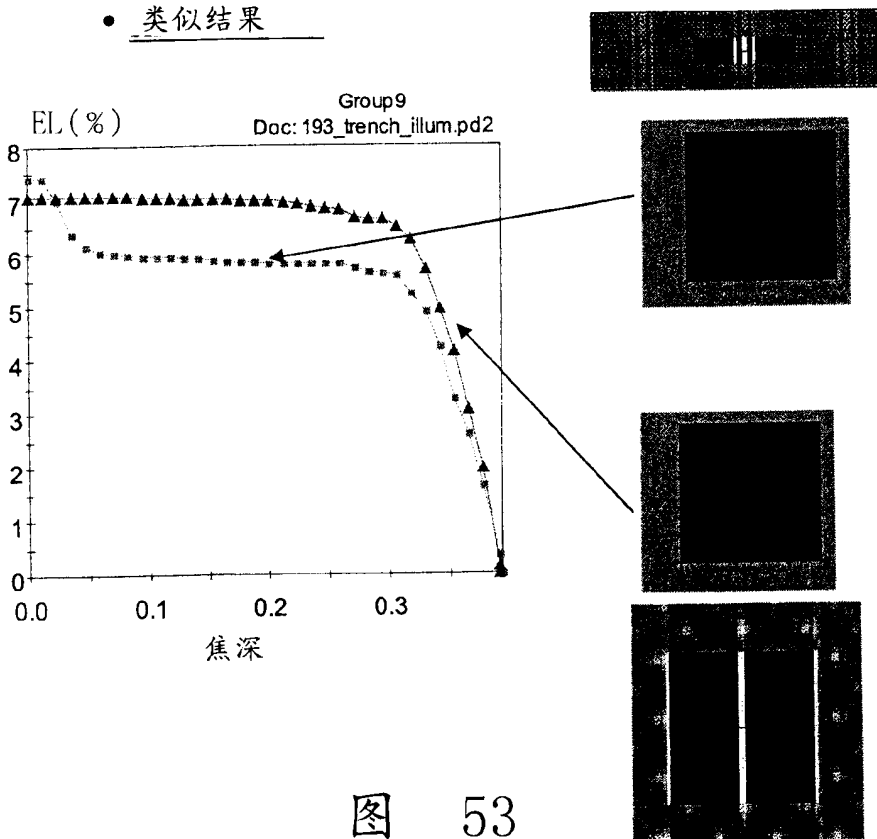


图 53

偏差效应

75nm沟道, 可变偏差
6% att-psm, 193nm 0.93NA

较低偏差增加DOF。这对于“简单掩膜, 复杂照射器”的情况是一项优点。因为在使用低偏差/高曝光时并无辅助特征进行印制。

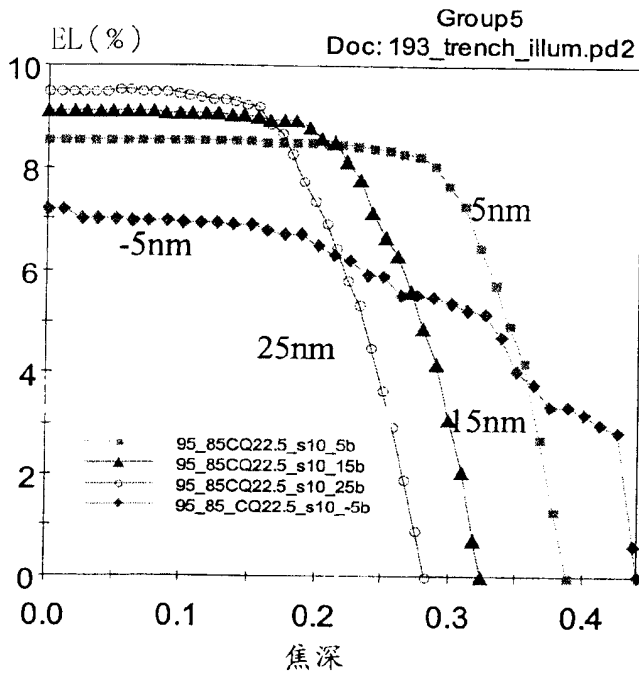
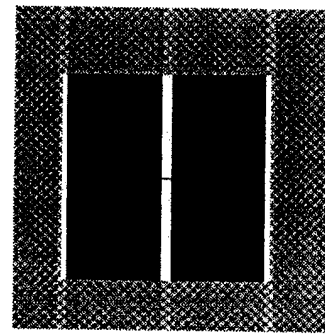
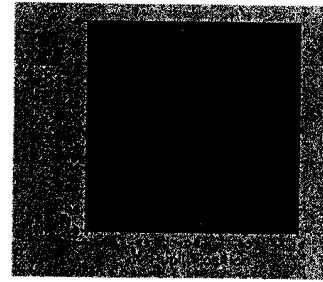


图 54

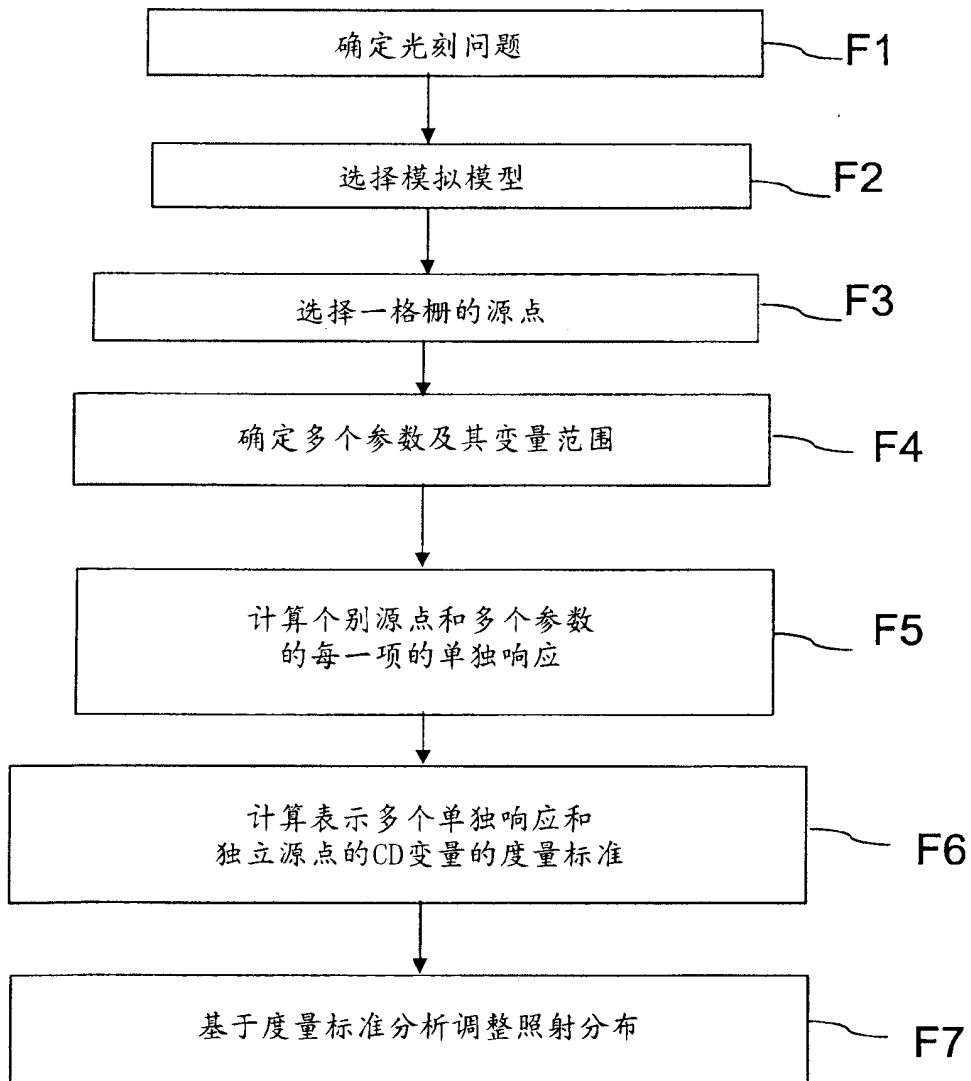


图 55

双线CPL

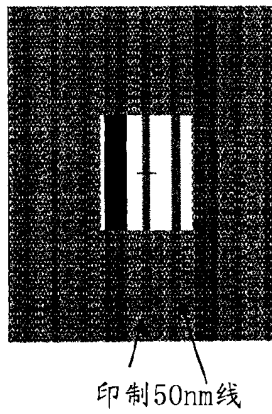
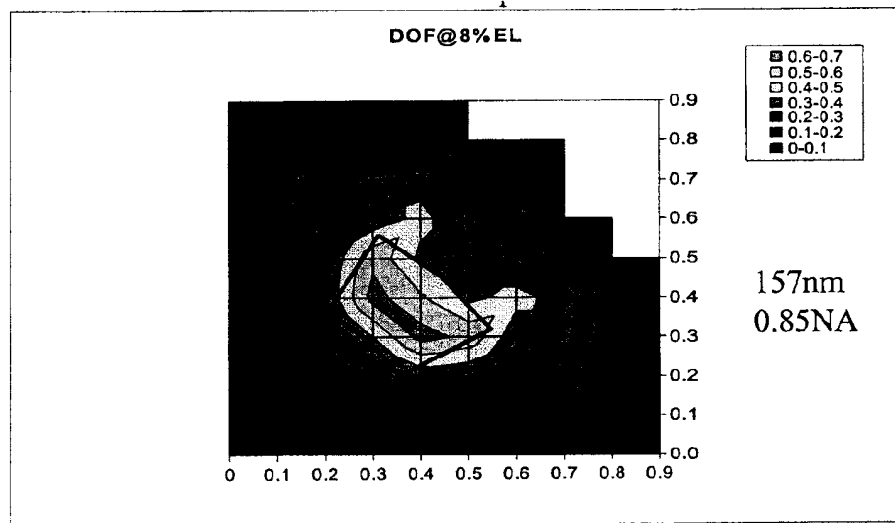


图 56

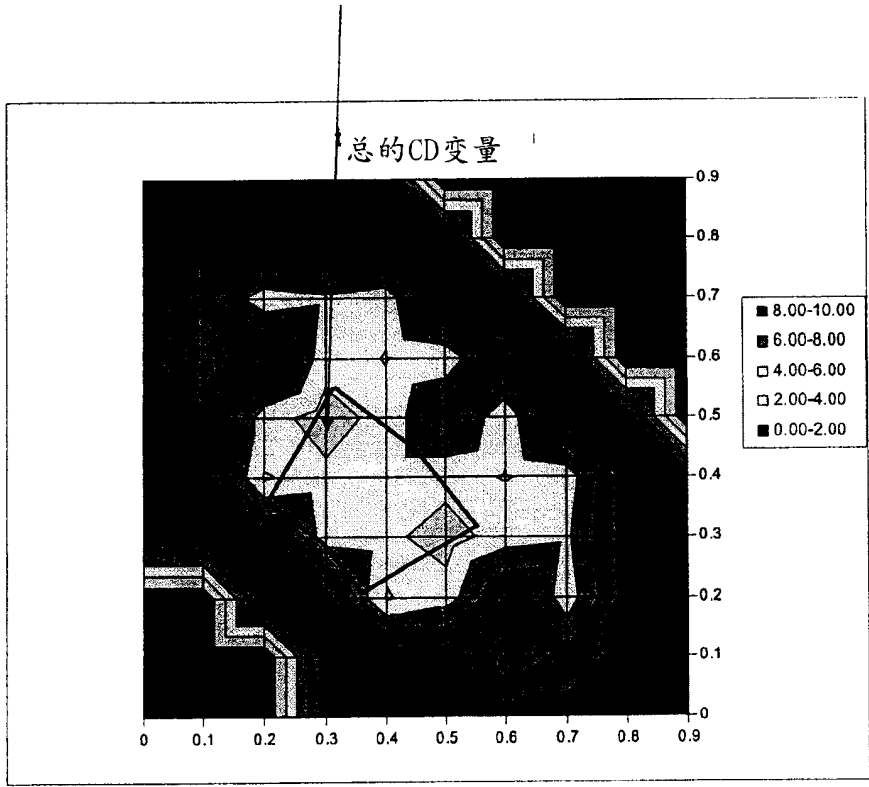
基于源点格栅的抗蚀模拟的源形象图



基于加工窗口度量标准的照射最佳之一选为所示的0.64/0.42类星体 30°
 注意：居中在与所希望提供更佳加工同一位置处的极越小，窗口越差。

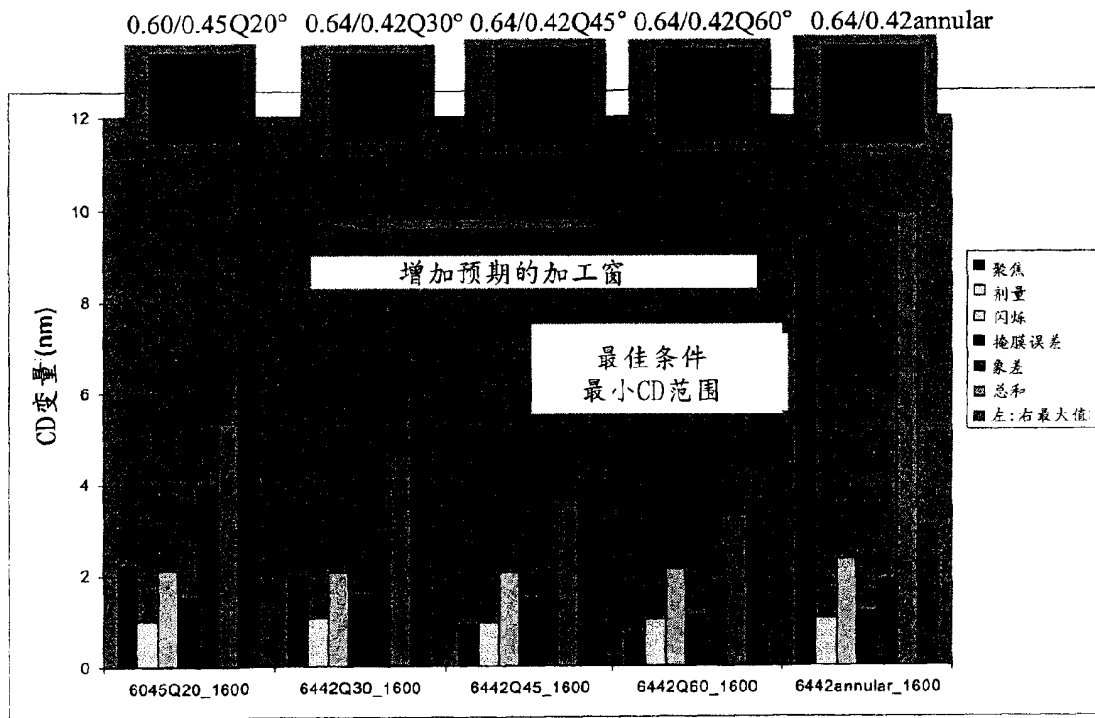
图 57

最低的CD变化(最佳加工)是稍微在对角线上



希望较宽的极以改善LCD

图 58



单独基于加工窗口选择照射器给出比如果包括CDV的源形象提供的多50% CD 变量

图 59