



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1975583 B

(45) 授权公告日 2010.06.23

(21) 申请号 200610171821.7

(22) 申请日 2006.11.02

(30) 优先权数据

11/265,822 2005.11.03 US

(73) 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

(72) 发明人 黎家辉 D·法伊弗

A·E·罗森布卢特

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 于静 刘瑞东

(51) Int. Cl.

G03F 7/20(2006.01)

G03F 7/00(2006.01)

H01L 21/027(2006.01)

(56) 对比文件

US 5766806 A, 1998.06.16, 全文.

CN 1276068 A, 2000.12.06, 全文.

US 6653048 B2, 2003.11.25, 全文.

CN 1114129 C, 2003.07.09, 全文.

CN 1645258 A, 2005.07.27, 全文.

审查员 高磊

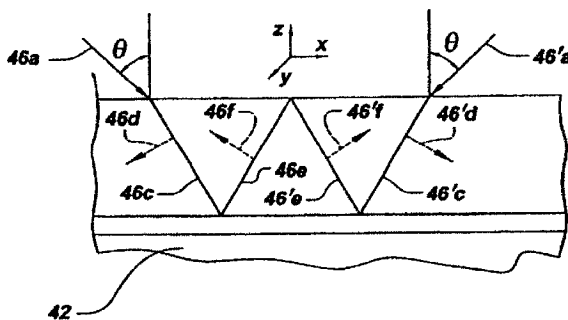
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 4 页

(54) 发明名称

恢复光刻工艺中横磁波对比度的方法和系统

(57) 摘要

一种在使用高数值孔径成像工具的光刻工艺中将具有感光区域的抗蚀剂层曝光到图像的方法和系统。其中利用了基板,其具有反射成像工具的射线的层,以及在反射层上具有感光区域的抗蚀剂层,其具有厚度。成像工具适于将包含虚像的射线投射到抗蚀剂层上,包含虚像的射线的一部分穿过抗蚀剂层,并反射回抗蚀剂层。反射的射线穿过抗蚀剂层的厚度在抗蚀剂层中形成投射的虚像的干涉图案。选择抗蚀剂层的感光区域相对于反射层的厚度和位置,以在干涉图案中在抗蚀剂厚度方向上包括干涉图案的较高对比度部分,并从抗蚀剂层的感光区域中在抗蚀剂厚度方向上排除干涉图案的较低对比度部分,以提高抗蚀剂层的感光区域中虚像的对比度。



1. 一种在使用高数值孔径成像工具的光刻工艺中将具有感光区域的抗蚀剂层曝光到图像的方法,包括:

提供具有高数值孔径的成像工具,用于投射形成虚像的射线,其中所述成像工具的数值孔径值至少是 0.95;

提供具有反射层的基板和在所述反射层上具有感光区域的抗蚀剂层,所述反射层反射所述成像工具的射线,所述抗蚀剂层具有厚度;

将包含虚像的射线从所述成像工具投射到所述抗蚀剂层上,所述包含虚像的射线的一部分穿过所述抗蚀剂层;以及

将穿过所述抗蚀剂层的所述包含虚像的射线的一部分反射离开所述反射层并返回到所述抗蚀剂层,所述反射的射线穿过所述抗蚀剂层的厚度在所述抗蚀剂层中形成投射的虚像的干涉图案,

其中,选择所述抗蚀剂层的感光区域相对于所述反射层的位置,并且选择所述抗蚀剂层的厚度,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括所述干涉图案的较高对比度部分,并从所述抗蚀剂层的感光区域中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述干涉图案的较低对比度部分,以提高所述抗蚀剂层的感光区域中虚像的对比度。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述射线包括横磁波,以及所述反射层反射所述横磁波,其中所述抗蚀剂层的感光区域中的干涉图案包括由所述横磁波产生的干涉图案的较高对比度部分。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中选择所述抗蚀剂层的厚度,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括所述横磁波干涉图案的单个较高对比度区域,并从所述抗蚀剂层中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述横磁波干涉图案的较低对比度区域,以提高所述抗蚀剂层中虚像的对比度。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述基板还包括在所述反射层和所述抗蚀剂层之间的间隔层。

5. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述抗蚀剂层的厚度小于:

$$(2 * k1 * \lambda / NA) / \text{Sqrt}[(4 * k1 * n / NA)^2 - 1]$$

其中 $k1$ 是该工艺的半间距 $k1$ 因数, $k1$ 因数是唯象处理分辨率因数, NA 是数值孔径值, n 是所述抗蚀剂的折射率,以及 λ 是光波长。

6. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述抗蚀剂层具有小于 30nm 的厚度,并通过具有至少 60nm 厚度的间隔层与所述反射层隔开。

7. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述抗蚀剂层具有约 15 至 30nm 的厚度。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述抗蚀剂层包括无机成分,该无机成分选自:硅、铁、铅、钛和它们的组合。

9. 如权利要求 4 所述的方法,其中所述间隔层包括有机共聚物。

10. 一种在使用高数值孔径成像工具的光刻工艺中将具有感光区域的抗蚀剂层曝光到图像的系统,包括:

基板,在其上具有反射所述成像工具的射线的反射层;

抗蚀剂层,在所述反射层上,并具有感光区域,该抗蚀剂层具有厚度;

其中所述成像工具适于将包含虚像的射线投射到所述抗蚀剂层上,并且所述成像工具

的数值孔径值至少是 0.95,

所述包含虚像的射线的一部分穿过所述抗蚀剂层,并反射回所述抗蚀剂层,所述反射的射线穿过所述抗蚀剂层的厚度在所述抗蚀剂层中形成投射的虚像的干涉图案,

以及其中选择所述抗蚀剂层的感光区域相对于所述反射层的位置,并且选择所述抗蚀剂层的厚度,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括所述干涉图案的较高对比度部分,并从所述抗蚀剂层的感光区域中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述干涉图案的较低对比度部分,以提高所述抗蚀剂层的感光区域中虚像的对比度。

11. 如权利要求 10 所述的系统,其中所述射线包括横磁波,以及所述反射层反射所述横磁波,其中所述抗蚀剂层的感光区域中的干涉图案包括由所述横磁波产生的干涉图案的较高对比度部分。

12. 如权利要求 11 所述的系统,其中选择所述抗蚀剂层的厚度,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括横磁波干涉图案的单个较高对比度区域,并从所述抗蚀剂层中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述横磁波干涉图案的较低对比度区域,以提高所述抗蚀剂层中虚像的对比度。

13. 如权利要求 12 所述的系统,其中所述基板还包括在所述反射层和所述抗蚀剂层之间的间隔层。

14. 如权利要求 12 所述的系统,其中所述抗蚀剂层的厚度小于:

$$(2 * k1 * \lambda / NA) / \text{Sqrt}[(4 * k1 * n / NA)^2 - 1]$$

其中 $k1$ 是该工艺的半间距 $k1$ 因数, $k1$ 因数是唯象处理分辨率因数, NA 是数值孔径值, n 是所述抗蚀剂的折射率,以及 λ 是光波长。

15. 如权利要求 12 所述的系统,其中所述抗蚀剂层具有小于 30nm 的厚度,并通过具有至少 60nm 厚度的间隔层与所述反射层隔开。

16. 如权利要求 12 所述的系统,其中所述抗蚀剂层具有约 15 至 30nm 的厚度。

17. 如权利要求 10 所述的系统,其中所述抗蚀剂层包括无机成分,该无机成分选自:硅、铁、钨、钛和它们的组合。

18. 如权利要求 13 所述的系统,其中所述间隔层包括有机共聚物。

19. 如权利要求 13 所述的系统,其中所述间隔层具有约 1.7 的折射率。

恢复光刻工艺中横磁波对比度的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及集成电路制造,特别涉及恢复通过光刻工艺形成的部件中横磁波对比度的方法和系统。

背景技术

[0002] 微电子电路的制造商们一直在寻求制造具有更小尺寸的部件。如图 1 所示,这些部件的光刻制造典型地使用步进-扫描成像工具 20,用以将图案投射在基板或晶片的感光抗蚀剂层上。该成像工具的投射光学系统包括灯、激光、或者其它光源 22,其投射出射线 24,用于通过聚光棱镜系统 26 照亮光掩模或标板 28。该光掩模或标板 28 包括将要被投射并在晶片基板上复制的图案,并且该光掩模或标板通常基本上垂直于投射光学系统的光轴 24 取向。一些通过光掩模 28 的光射线 46 被投射光学器件 34 收集,并且将由射线 46 透过掩模产生的图案的虚像 36 引向晶片 42,从而在晶片上形成图案或图像 40。

[0003] 在步进扫描系统中,光掩模 28 和晶片 42 分别被安装在掩模台 33 和基板台 38 上,掩模台 33 和基板台 38 相对于该固定光学系统运动。该光学系统包括允许光线透射到标板的孔径或者狭缝 32。通过沿一维扫描方向 30 并且穿过整个转移区域的一维宽度扫描,将标板的期望转移区域内的整个掩模图案曝光,以在晶片抗蚀剂上形成完整的图案 40,例如整个芯片图案。随后该扫描过程被重复以在晶片 42 上制造期望数量的图案。

[0004] 为了在微电子电路的制造中生产出具有更小型尺寸的部件,光刻工艺与唯象处理分辨率因数 (k_1),光波长 (λ) 及数值孔径值 (NA) 三个因数相关,该光刻工艺可以用于依照下述作为通用标准的瑞利方程来产生最小线宽 (W_{min}):

$$[0005] \quad W_{min} = k_1 \lambda / NA$$

[0006] 有时使用同 k_1 有一个微小差异的值将 λ 及 NA 与线及间隔的周期性系统的半间距 (half-pitch) 建立关联。

[0007] 为了能够在集成电路中使用更精密的部件,在光刻技术中已经进行了许多改进,以允许更小的 k_1 值。在集成电路制造的早期,只有大于 1 的 k_1 值在实际中可行,现在 0.4 的 k_1 值已被应用,而且正在寻求将其进一步缩小。难点在于在如此低的 k_1 值下,图像对比度将恶化,使得很难实现分布在芯片上的印刷电路部件的尺寸一致性,并且,这种尺寸一致性通常是合格的电路性能所需的。

[0008] 关于 NA (数值孔径) 因数,最近的创新已经使得曝光工具制造商发运的工具的 NA 值超过 0.70、0.80 和更高,现在已经出现具有 0.93NA 值的工具。基于浸入成像 (immersion imaging),NA 值未来将预期高于 1.0。由于现代曝光工具具有如此高的 NA 值,所以需要利用在抗蚀剂内传播具有大角度的波形来形成图像,也就是,相对于垂直于抗蚀剂层表面的方向具有大的传播角度。这种大的传播角度应被认为是超过 30° 的那些角度,这是因为相关的电场矢量的方向将表现出显著的变化,而之所以这样是因为,例如,已经从透镜孔径的一侧传播到抗蚀剂中的光线的电场方向,与已经进入抗蚀剂的光线从透镜孔径的相对侧出去时光线的电场方向的差别可以达到 60° 。需要注意的是,抗蚀剂的折射率通常高于约 1.6,

因此,如果入射介质为空气,那么在抗蚀剂层中 30° 的传播角对应于抗蚀剂上方入射波的大于 50° ($NA = 0.8$) 的入射角。因而,在入射介质为空气的情况下,基于抗蚀剂折射率,入射角大于约 50° 可以被认为是大入射角。然而,在浸入系统中,入射介质可能具有 1.4 的折射率,则入射角高于约 35° 可被认为是大入射角,这是因为基于抗蚀剂折射率,它们同样会在抗蚀剂层中产生一个 30° 或者更大的传播角。

[0009] 在会产生这样入射角的大数值孔径的条件下,已经观察到,对于光波的横磁(TM) 偏振,图像对比度具有基本损失(fundamental loss)。即使发射源能够按照主导干涉级被横电偏振(TE),也就是被切向偏振源偏振,那么也通常存在其它的级与部分 TM 偏振的场干涉。

[0010] 图 2 中,显示了在垂直于抗蚀剂层表面的线 47 的任一侧,穿过抗蚀剂层 50 的大入射角光波的通路。该处,术语“光”指代在光刻成像系统中使用的射线,不考虑该射线的波长。入射波 46a 及 46'a 以相反的角度 θ 进入抗蚀剂层,并分别折射成波 46c、46'c。入射光线 46a、46'a 携带高分辨率图像,因而具有相对垂直于置于晶片上的抗蚀剂层 50 表面的方向的大入射角 θ 。垂直于基板的方向将被称为 z 方向。典型的抗蚀剂层的折射率通常约大于 1.6,经常约大于 1.7,并在 1.6 到 1.8 的范围内,然而入射介质的折射率通常为 1.0,一般小于抗蚀剂折射率,因此在抗蚀剂内折射光线的角度通常减小,也就是,变为更加垂直取向。来自这些入射光线的 TM 偏振电场矢量如箭头 46b 和 46'b 所示。这些电场矢量垂直于它们对应的波的传播方向,如麦克斯维方程所规定的。这些干涉电场矢量大致不平行,且对应于图像的一个暗区。

[0011] 在半个光学周期中,抗蚀剂层中折射波的电场 46d 和 46'd 以一个角度取向为部分朝下的方向。由于这些矢量具有相同的 z 分量(在所示的光学周期的部分中向下,在另外半个光学周期中向上,一般采用相同的标记),所以两个矢量场重叠时不完全抵消,这些 z 分量是平行而非反向平行,这样图像的暗区不是完全暗,因此分辨率降低,这反过来又降低了成像过程的可控性,因此加大了最小实用的 k_1 。这里的实质问题是在高 NA 值的情况下缺少完全的相消干涉,导致 TM 偏振分量的对比度下降。这在传统上被看做由于相关传播角的几何形状,而在高 NA 成像中存在的固有问题。该相关的对比度损失增加了已经非常大的对比度损失,这甚至出现在如果人们想要获得最大的分辨率,而在低 k_1 时形成图像,且 NA 值不大的情况下。

[0012] 相似的,因为当传播角很陡时, TM 偏振电场不完全平行,所以完全相长干涉不能在具有非零 TM 分量的高 NA 图像的亮区内发生。这减小了 TM 偏振中的图像亮度。

[0013] 对比度和亮度在 TE 偏振(未示出)中都不恶化,其中电场垂直于晶片上的入射平面偏振。然而,电路图案的印刷一般导致波形具有在许多可能的方位角取向的入射面,其中该波形在几乎所有晶片的小区域上入射。这是因为大多数电路图案以多于一个取向被相当密集地与精密电路部件组装。这导致了不可能使用一次曝光达到所有部件的完全 TE 偏振,而多次曝光显著增加了成本。进一步,即使理论上能够使用只包含一个偏振分量的波,例如 TE,偏振也有可能以多种方式扭曲,例如通过掩模基板和透镜中残存的双折射,掩模中的衍射效应,以及透镜和晶片加工膜中的薄膜效应。由于 TE 和 TM 亮度峰值不同,所以这些偏振扭曲可以反过来导致传送到图像不同部件的剂量变化。通常当存在的不同精密部件具有不同取向时, TM 偏振与 TE 偏振的比率将会变化,并且由于 TE 偏振表现出完全的相长干涉,则

传送的总剂量将会随 TM 偏振与 TE 偏振的比率变化而变化,低 k_1 的成像对于剂量变化特别敏感。如果使用非偏振光,则对偏振扭曲的敏感度降低,即使非偏振光可被理解为 TM 和 TE 偏振光的不相干叠加。然而,为了成功地利用非偏振光印刷,希望两种偏振都提供高对比度,且抗蚀剂系统不表现出不同的偏振敏感性,实际上消除非偏振状态。

发明内容

[0014] 鉴于现有技术的这些问题和缺陷,因而本发明的目的之一是提供一种方法和系统,用于当使用高数值孔径成像工具时,在光刻工艺中提高投射到抗蚀剂层上的部件图像的对比度。

[0015] 本发明的另一个目的是提供一种方法和系统,用于在光刻工艺中恢复横磁波对比度。

[0016] 本发明的另一个目的是提供一种方法,用于利用基本上非偏振的光实施高数值孔径的光刻工艺。

[0017] 本发明的另一个目的是提供一种方法,用于实施高数值孔径光刻,该方法对由掩模、成像光学器件或者晶片加工膜产生的偏振变化不敏感。

[0018] 本发明其它的目的和优点将从说明书中变得明白或明显。

[0019] 将对于本领域技术人员来说显而易见的上述和其它目的由本发明实现,其中本发明涉及一种在使用高数值孔径成像工具的光刻工艺中将具有感光区域的抗蚀剂层曝光到图像的方法,包括:提供具有高数值孔径的成像工具,用于投射形成虚像的射线,并提供具有反射层的基板和在所述反射层上具有感光区域的抗蚀剂层,所述反射层反射所述成像工具的射线,所述抗蚀剂层具有厚度。所述方法然后将包含虚像的射线从所述成像工具投射到所述抗蚀剂层上,所述包含虚像的射线的一部分穿过所述抗蚀剂层,并将穿过所述抗蚀剂层的所述包含虚像的射线的一部分反射离开所述反射层并返回到所述抗蚀剂层。所述反射的射线穿过所述抗蚀剂层的厚度在所述抗蚀剂层中形成投射的虚像的干涉图案。选择所述抗蚀剂层的感光区域相对于所述反射层的位置,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括所述干涉图案的较高对比度部分,并从所述抗蚀剂层的感光区域中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述干涉图案的较低对比度部分,以提高所述抗蚀剂层的感光区域中虚像的对比度。

[0020] 所述射线包括横磁波,以及所述反射层反射所述横磁波,所述抗蚀剂层的感光区域中的干涉图案包括由所述横磁波产生的干涉图案的较高对比度部分。

[0021] 另一方面,本发明提供一种在使用高数值孔径成像工具的光刻工艺中将具有感光区域的抗蚀剂层曝光到图像的系统,包括:基板,在其上具有反射所述成像工具的射线的层,以及抗蚀剂层,在所述反射层上,并具有感光区域,该抗蚀剂层具有厚度。所述成像工具适于将包含虚像的射线投射到所述抗蚀剂层上,所述包含虚像的射线的一部分穿过所述抗蚀剂层,并反射回所述抗蚀剂层。所述反射的射线穿过所述抗蚀剂层的厚度在所述抗蚀剂层中形成投射的虚像的干涉图案。选择所述抗蚀剂层的感光区域相对于所述反射层的厚度和位置,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括所述干涉图案的较高对比度部分,并从所述抗蚀剂层的感光区域中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述干涉图案的较低对比度部分,以提高所述抗蚀剂层的感光区域中虚像的对比度。

[0022] 优选选择相对于所述反射层的所述抗蚀剂层的厚度,以在所述干涉图案中在所述抗蚀剂厚度方向上包括横磁波干涉图案的单个较高对比度区域,并从所述抗蚀剂层中在所述抗蚀剂厚度方向上排除所述横磁波干涉图案的较低对比度区域,以提高所述抗蚀剂层中虚像的对比度。所述抗蚀剂层优选包括无机成分,该无机成分选自:硅、铁、铅、钛和它们的组合。

[0023] 优选在反射层和抗蚀剂层之间包括间隔层。间隔层优选包括有机共聚物且具有约 1.7 的折射率。

[0024] 该抗蚀剂层优选具有的厚度小于约:

[0025] $(2 * k1 * \lambda / NA) / \text{Sqrt}[(4 * k1 * n / NA)^2 - 1]$

[0026] 此处 $k1$ 是工艺的半间距 $k1$ 因数, n 是抗蚀剂的折射率。

[0027] 更优选,抗蚀剂层具有小于 30nm 的厚度,例如约 15-30nm,且通过具有至少 60nm 的分隔层与反射层隔开。

[0028] 该方法特别适用于成像工具的数值孔径值至少是 0.95 的情况。

附图说明

[0029] 尤其在后附权利要求中提出本发明具有新颖性的部件和本发明的要素特征。附图用来说明而非按比例绘制。然而本发明本身,无论关于结构和操作方法,最好应结合下述具体描述和附图一起理解,附图包括:

[0030] 图 1 是将掩模图像投射到晶片上的步进-扫描曝光系统的透视图。

[0031] 图 2 是具有大入射角的 TM 偏振光线折射进入晶片的抗蚀剂层的正视截面图。

[0032] 图 3 是具有大入射角的光线通过晶片抗蚀剂层并从晶片基板的反射层反射的通路的正视截面图。

[0033] 图 4 是由于晶片基板上反射层的存在,在抗蚀剂层中产生的 TM 偏振在 x - 和 z - 方向上对比度变化的正视截面图。

[0034] 图 5 是正视截面图,示出为达到最大 TM 对比度,根据本发明选择相对于反射层的抗蚀剂感光的位置,以及抗蚀剂的厚度。

[0035] 图 6 示出根据本发明选择的抗蚀剂感光的位置和厚度。

[0036] 图 7 示出当印刷具有低 $k1$ 的线及间隔时,在基本恢复 TM 对比度中,本发明的性能图形表示。

[0037] 图 8 示出当印刷具有中等 $k1$ 的线及间隔时,在保持 TM 对比度中,本发明的性能图形表示。

具体实施方式

[0038] 在本发明优选实施例描述中,这里将参考附图 3-8,其中相似的附图标记代表本发明的相似的部件。

[0039] 为了在使用高数值孔径成像工具的光刻工艺中,提高抗蚀剂层曝光期间的图像对比度,本发明利用了横磁(TM)波的反射干涉,其中该横磁波具有 z 分量,该 z 分量同入射图像波的方向相反,同时本发明也利用了在对成像工具中使用的射线反射的层之上与 z 干涉图案恰当匹配的抗蚀剂层厚度和感光位置的选择。

[0040] 图 3 中示出了具有大入射角的光波穿过抗蚀剂层 50 的通路。入射波 46a 和 46'a 以相对角 θ 进入抗蚀剂层,并分别折射成波 46c,46'c。这些入射光线的 TM 偏振电场矢量如箭头 46b 和 46'b 所示,在半个光学周期里,折射波上的电场 46d 和 46'd 在抗蚀剂层中以一个角度取向为部分向下的方向,也就是沿 z 轴的向下指向的分量。

[0041] 按照本发明,图 3 示出一种配置,其在抗蚀剂层 50 和晶片基板 42 之间设置层 60,该层 60 用以在成像系统中反射光线。应当说明的是,即便其包括了反射层 60,由于抗蚀剂层 50 仍然是传统的形式,因此图 3 不是本发明优选实施例。典型地,对于波长在约 157nm 到 365nm 的射线,本发明使用多层反射系统,该多层反射系统包括约 100nm 厚度的铝膜。每个光线 46c,46'c 反射离开反射膜 60,分别生成反射波 46e 和 46'e。这些反射光线分别具有 TM 矢量 46f 和 46'f,它们在场 46d 和 46'd 方向通常向下的半个光学周期内,以一定角度取向为通常向上的方向。在图示的 z 位置,因为这些场的几何取向和反射层的高反射率,所以 4 个矢量 46d,46'd,46f,46'f 的矢量和几乎为零。换句话说,相消干涉在所示的 z 位置几乎是完全的,这是因为反射层产生的反射波 46e 和 46'e 的 z 分量的方向同入射图像波 46c 和 46'c 的 z 分量的方向反向,且几乎大小相等。更一般地,由于 TM 光线 46d,46'd 和 46f,46'f 的干涉结果,在 z 方向,也就是,穿过抗蚀剂层 50 的厚度形成了干涉图案。虽然理论上可以实现接近于完全的相消干涉,但在所示的 4 个 TM 波中不能实现完美的相长干涉。基于该种配置,在 TM 偏振中,相较于 TE 偏振,矢量干涉减小了峰值剂量,然而在一些特定平面内不会降低 TM 对比度。然而,即便在现有技术中,相长干涉是不完全的,但是由于抗蚀剂不仅被入射波还被反射波曝光,所以该新配置通常导致在一些高 TM 对比度的平面内增加总的 TM 剂量。在 TE 和 TM 偏振中,在 z-方向上都发生剂量变化。最大 TM 剂量的平面同时也是最大 TM 对比度的平面。

[0042] 图 4 示出了由于反射膜 60 的反射,由通过抗蚀剂层 50 厚度的具有大入射角的 TM 波形成的干涉图案。z-方向穿过抗蚀剂层的厚度(所示具有 250nm 的厚度),而 x-和 y-方向在抗蚀剂层的平面中。在该图中,通常暗线 52 在约等于 0 的 x-位置处形成,亮间隔 54 形成在约 -80nm 的 x-位置处。干涉图案同样用在约 +160nm 和 -160nm 的 x-位置处的附加暗线(未标出),和在约 +80nm 处的 x-位置出的亮间隔(未标出)。这些暗线和亮间隔在图形边界以外继续重复。沿暗线 52,在 z-方向上间隔开的较亮的区域 80 是较低对比度区域(该处看到的线较暗),这些较低对比度区域被具有最大对比度的间隔开的区域(该处看到的线更暗)隔开。例如暗线 52 在 z-位置约 13nm,88nm,163nm 和 238nm 处具有较低的对比度区域 80,在约 50nm,125nm 和 200nm 的高度处具有最大对比度的区域。对于亮线 54 来说,高强度区域 90 具有更高强度中心 92,并在 z-方向上被隔开,该高强度区域被看作对应于暗线 52 的高对比度区域。

[0043] 图 5 示出 TM 和 TE 偏振波的干涉图案,其由反射层在具有传统厚度 c 的抗蚀剂层 50 中形成。如以下将要解释的,图 5 也可被理解为包括本发明的重现,该重现同其他特征一起帮助解释本发明的机能。具有传统厚度的抗蚀剂层 50 具有 TM 干涉图案 101 和 TE 干涉图案 111,其中 TM 干涉图案具有低对比度区域 80,同时具有高强度区域 90 和具有更高强度的区域 92,TE 干涉图案 111 具有可比的高强度区域 90' 和 92',但其具有一致的高对比度。为了利用下面的反射层 60 获得完全的相消干涉,按照本发明,抗蚀剂在 z-方向厚度中具有最高 TM 对比度的部分被用作在晶片上使用的抗蚀剂层。换言之,小于传统厚度的抗蚀剂层

被放置在反射层 60 上期望的位置处,且具有适合的厚度,所以它包括了干涉图案的具有较高对比度的部分,排除了至少一些,最好大部分的干涉图案中具有较低对比度的部分。一般地,将抗蚀剂感光区域的厚度和位置与干涉图案中沿 z 方向的高对比度区域的位置和厚度相配。

[0044] 优选的抗蚀剂层选择如图 5 所示,其中薄成像层感光部分 50' 具有厚度 a,位于反射层 60 上方 b 距离处,选择作为将要使用的抗蚀剂层厚度和位置。感光抗蚀剂层 50' 被看作包括 TM 干涉图案 101 中具有最高对比度的 TM 干涉部分 102,排除了干涉图案中具有较低对比度的那些部分。虽然图示的感光抗蚀剂层 50' 的厚度 a 仅包围了 z- 方向上具有高 TM 对比度的单一区域,但是如果向上和向下邻近的具有较低对比度的区域被排除,则可以利用 z- 方向上多个高 TM 对比度的区域。为了保证感光抗蚀剂层 50' 相对于反射层 60 的合适位置,具有厚度 b 的间隔层 70 可被应用。感光抗蚀剂层 50' 在 z- 方向的厚度典型地比通常使用的薄,以限制抗蚀剂只对单一的具有非反向的 TM 对比度的区域曝光,该区域一般是较厚的抗蚀剂层 50 中的完全的干涉图案。

[0045] 在间隔介质 70 存在的情况下,由于相对于基板上的反射层具有微分 TE/TM 相移,因此在感光抗蚀剂层 50' 中,该选择的 TM 干涉图案 102 相对于 TE 干涉图案部分 112 垂直移动。也可以选择该感光抗蚀剂层 50' 的位置以排除 TE 亮边缘的部分(其实际比 TM 强度更明亮,但在此处用独立的亮度尺度绘出),以近似匹配收集的 TE 剂量和 TM 剂量。既然系统在 TE 和 TM 偏振中提供基本相等的剂量以及基本相同的对比度,那么其也可应用非偏振光,且不易受上述偏振敏感性的影响。同时,间隔层和反射膜包括反射层系统。也可使用其它有利的反射层的组合,只要反射层系统足够薄,以基本保持在成像系统聚焦的折叠深度(folded depth)内,其中 TM 的相移将感光抗蚀剂区域置于接近高 TM 对比度平面的位置,并且优选 TE/TM 微分相移大致平衡该感光区域里的 TE 和 TM 剂量。通常该设计的最后目的不如其它两个重要。图 5 所示的 TE 和 TM 干涉图案只是这些实施例的示意图,只是就所述感光区域里的干涉波而言一般进行非常近似的定性分析。

[0046] 利用 Rosenbluth 等人在“Fast calculation of images for high numerical aperture lithography”, SPIE v. 5377-Optical Microlithography XVII, (2004): p. 615 中提供的方程可以进行定量分析。使用该参考文献的方程 ep. 11 或 ep. 19, 可以得知,对于特定的间隔厚度, TM 对比率(CR)由下式给定:

$$[0047] \quad CR = \frac{1 - 2 \sin^2 \theta'' \frac{1 + |r|^2}{(1 + |r|)^2}}{1 - 4 \sin^2 \theta'' \frac{|r|^2}{(1 + |r|)^2}},$$

[0048] 这里 θ'' 为抗蚀剂膜中的传播角度, r 被定义为:

$$[0049] \quad r \equiv v_p / u_p,$$

[0050] r 实质上是当反射膜叠层放置在晶片膜叠层内时,反射膜叠层的反射率。 v_p 和 u_p 分别是上行和下行 TM 波的振幅,即单位入射波振幅。如 Rosenbluth 等人所解释的,可以用标准薄膜方法计算 v_p 和 u_p 。当抗蚀剂层被近似成介质时, r 值特别容易计算;在该种情况下,可以简单地忽略抗蚀剂层上的所有膜,并将入射介质看作与抗蚀剂折射率(index)具有相等的折射率的半无限膜。CR 在这些方程中被定义为:

[0051] $(I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$,

[0052] 这里在形成双束线 / 间隔图像的标准光刻条件下, I_{\max} 为亮间隔的强度, I_{\min} 为暗线的强度。当该间隔物的厚度非最佳时, r 相位的变化以及 CR 可以由下式计算:

$$[0053] \quad \frac{I_{\min}}{I_{\max}} = \frac{1 - CR}{1 + CR} = \tan^2 \theta'' \frac{1 - 2 \frac{|r|}{1 + |r|^2} \cos \phi}{1 + 2 \frac{|r|}{1 + |r|^2} \cos \phi}$$

[0054] 这里 ϕ 为 r 的相位变化。

[0055] 在传统抗蚀剂系统中 r 相当小, 因此传统上 $CR \approx 1 - 2 * \sin^2 \theta''$; 明显地, 当抗蚀剂中的传播角很大时, CR 可以被相当充分地恶化。另一方面, 如果 $|r| \approx 1$, 当 $\phi = 0$ 时 $CR \approx 1$ 。此外, 当 $|r|$ 趋近于 1 时, 上述 CR 方程的分母中出现的因数 $2|r|$ 和分子中的表达式 $1 + |r|^2$ 的差值将会以二次方的形式减小, 这意味着即使当 $|r|$ 只是适度大时, 也可以非常充分的提高对比度。

[0056] 按照本发明使用的感光抗蚀剂层优选具有约小于下式的厚度:

$$[0057] \quad (2 * k_1 * \lambda / NA) / \text{Sqrt}[(4 * k_1 * n / NA)^2 - 1],$$

[0058] 这里 k_1 为该工艺的半间距 k_1 因数, n 为抗蚀剂的折射率。更加优选的, 感光抗蚀剂层厚度小于该数量的一半, 在大约 15-30nm 的范围内。

[0059] 为了清楚起见, 图 6 中独立的表示图 5 实施例中本发明的各组件, 其中移除了 TE 和 TM 干涉图案。

[0060] 在一优选实施例中, 感光抗蚀剂层具有尽可能高的折射率, 这里 n 优选高于 1.85, 且当按照本发明在薄层中使用, 其具有用于抗蚀刻的硬掩模特性。可以从包含无机成分的感光抗蚀剂系统中选择表现出足够抗蚀刻的合适材料。美国专利 No. 6770419, 6653048 及 6444408 中描述了典型的适用于 193nm 光刻的抗蚀剂系统的例子, 其中无机成分为硅。其它的抗蚀剂系统的例子如美国专利 No. 6171757 中描述的, 其中无机成分是二茂铁 (铁), 镧基, 或钛基。这里通过参考引入这些专利文献。虽然本发明中所用的无机成分在 193nm 光刻中表现出高吸光性, 但是硅和无机成分例如钛、镧或二茂铁之间的组合也可以使用, 以获得恰当的适合本发明中使用的薄感光层的折射率和透明度。

[0061] 本发明中优选的间隔物为有机共聚物, 例如丙烯酸酯或聚苯乙烯, 当抗蚀剂膜具有例如高于 1.85 的高折射率时, 该有机共聚物的折射率约为 1.7。对于具有高折射率的抗蚀剂, 间隔物的折射率约为 1.7, 间隔物的最佳厚度可以为大约 64nm, 并优选在 64nm+5nm 范围内。

[0062] 通常, 对于一组给定膜的折射率, 可以采用仿真或实验的方法确定恰当的间隔物的厚度, 其中仿真方法例如采用一种商用的光刻仿真程序, 实验方法包括将具有分级厚度的间隔物旋压在测试晶片上, 然后通过比较测试晶片的不同区域中的性能, 尤其是通过找到使 TE 和 TM 剂量差别最小化的区域和相关的间隔物厚度, 来决定最优的厚度。

[0063] 抗蚀剂层可以在它的顶部感光, 且该抗蚀剂层被形成或处理以至于在首先假定该抗蚀剂是正性 (positive-tone) 抗蚀剂的情况下, 当感光部分的曝光区域已经被显影除去以后, 抗蚀剂层的剩余部分可以被穿透蚀刻。这也可以用于负性 (negative-tone) 抗蚀剂, 除了对于具有负性抗蚀剂来说, 显影除去的是感光部分的未曝光部分。可选地, 上层感光抗

蚀剂层中的图像被显影后,不同的下层膜可以被穿透蚀刻。然后,该显影区域和蚀刻区域可以用作模板,用于将图案转移到加工中的集成电路的组成膜。关于此点,由于只是显影区域的图案转移到集成电路中,所以该感光区域只包括抗蚀剂中那些对应于曝光图案及曝光后显影的部分。在很多情况下,抗蚀剂层在曝光后显影前被加热。当感光区域的厚度在 15nm 到 30nm 范围时,该加热步骤平滑跨过该厚度的曝光轮廓,将其在 z 轴范围上合理的统一。

[0064] 当无机成分是硅时,可以获得约 1.7 的抗蚀剂折射率,这方面的化学已被很好地发展。对于这种抗蚀剂,合适的间隔物折射率 $n = 1.6$, 并且间隔物厚度可以约为 $77 \pm 5\text{nm}$ 。图 7 是本发明这种配置测试情况的图形表示,该测试模拟晶片曝光到具有 90nm 间距的线/间隔图案上,其中该图案由可选的相移掩模使用传统光源产生,其中该传统光源具有半径为 0.1 的极点 (pole) 并这样放置以至于 $+/-1^{\text{st}}$ 级在 0.89 的射光孔 (pupil) 坐标 (表示为射光孔半径的分数) 中位于中心,其中波长为 193nm, NA 值为 1.2, 耦合折射率为 1.43。这相应于半间距的 k_1 因数为 0.28。该晶片基板具有 100nm 厚度的铝制反射层, 折射率为 1.6、厚度为 77nm 的间隔层, 以及折射率为 1.7、厚度为 20nm 的抗蚀剂层。该绘制的曝光轮廓是 20nm 的 z 范围上的平均值。同厚度为 160nm, 折射率为 1.7 且没有反射层和间隔物的传统抗蚀剂层相比,可以发现本发明能够比传统抗蚀剂及晶片的组合产生出高的多的 TM 对比度,并能使 TE 和 TM 剂量充分匹配。依照使 TM 对比度最大化的标准,传统系统中已经设定了焦距,然而传统系统实现的 TM 对比度很差。为了获得更好的聚焦的 TE 深度,传统系统也可以替代地可调,然而在那种情况下, TM 对比度将变得更差。

[0065] 在 $k_1 = 0.28$ 成像中需要相对陡的传播角的情况下,本发明实现了从反射层系统的 TM 相移,及充分平衡 TE/TM 剂量的微分 TE/TM 相移,其中反射层系统在抗蚀剂层中提供高的 TM 对比度。作为光刻技术中的标准操作规程,光源参数在存在的具有最激进 (aggressive) k_1 的部件周围被优化,在本例中是 $k_1 = 0.28$ 的部件。这种优化一方面由于薄抗蚀剂层的使用,提高了使本发明容易实现所需要的聚焦深度,另一方面,由于反射波需要合理地保持较好的聚焦也使其更严格。图 7 总体上示出本发明提供了对于这种激进的 k_1 因数来说可以接受的聚焦深度,特别是提供了在需要不可忽略的 TM 对比度的条件下,相对于传统系统的更好的聚焦深度。

[0066] 在与较大 k_1 因数相关的传播角较小的情况下,所有这些成像要求趋于更加容易获得。然而,仍然需要校验用于最激进 k_1 的部件的优化工艺参数将对于存在较大 k_1 因数的任何部件充分执行,即使这些参数对于较大 k_1 部件并不优化。图 8 示出了使用一个示例,由本发明实现了该校验,其中在该示例中,本发明应用于所谓的“DFM 设计”,其中,中等间距的部件存在于最激进 k_1 部件的两倍间距处。

[0067] 因而,本发明在光刻工艺中,当使用高数值孔径成像工具时,提高了投射到抗蚀剂层上的部件图像的对比度。通过提供将附加的干涉波反射到图像中的膜叠层以实现完全相消干涉,使本发明在光刻处理中恢复横磁波对比度,且相对于其它偏振相关性例如 TE 比 TM 剂量,达到更好的一致性,以及允许使用非偏振光。

[0068] 如果来自反射层系统的散射光增加,则可以通过添加吸收顶涂层改善该效应,这是因为图像仅被顶涂层传输削弱,而反射的散射光以顶涂层传输的平方消减。可选地,散射光效应可以使用其它已知的杂散光 (flare) 校正方法校正,这些校正方法最近已经被发展,例如在 US20050091634A1, US20050091631A1, 以及 US20050091014A1 中有相关描述。

[0069] 虽然已经结合具体的优选实施例对本发明进行了详细描述,但是对于本领域技术人员来说,在前述说明书的启示下,许多选择、修改和变化都是显而易见的。因此预期后附权利要求包括落入本发明的实质保护范围和精神之内的所有这些选择、修改和变化。

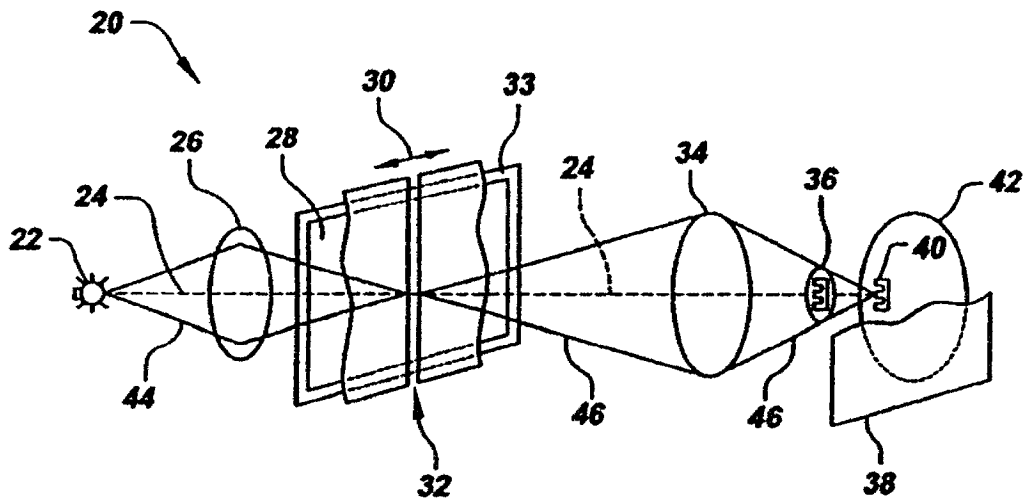


图 1

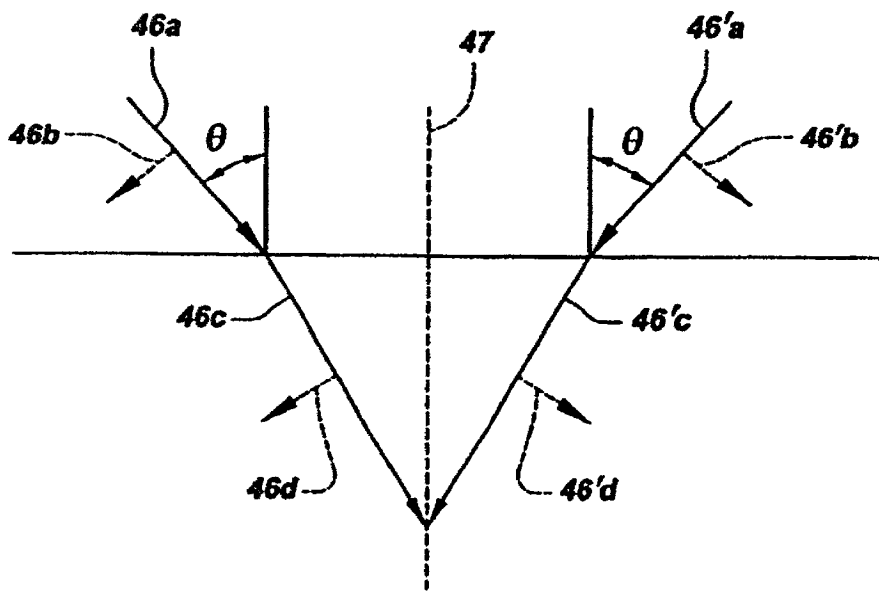


图 2

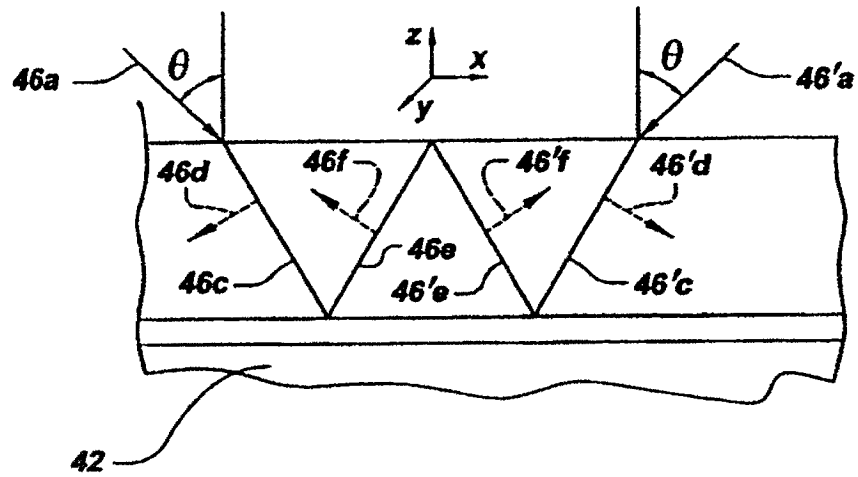


图 3

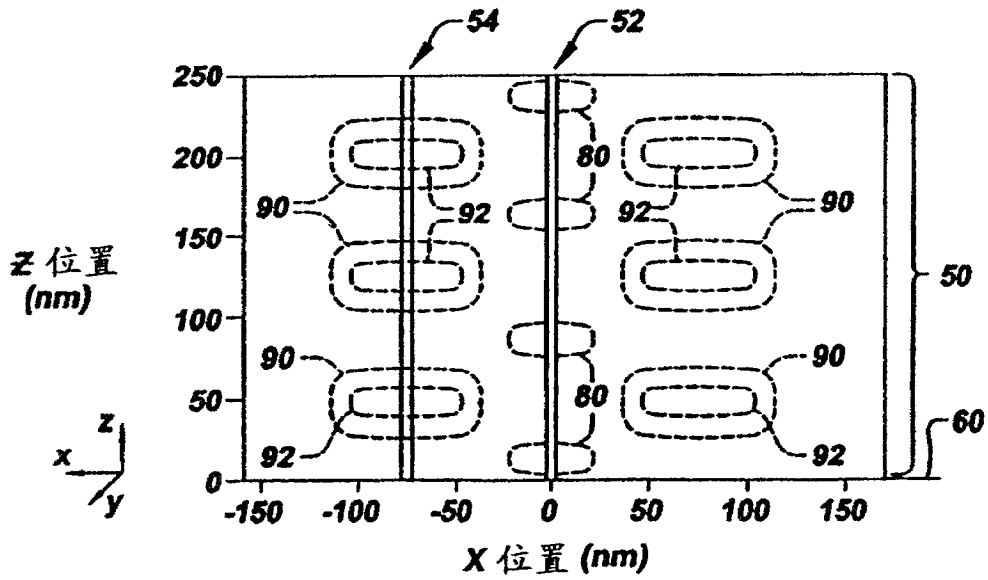


图 4

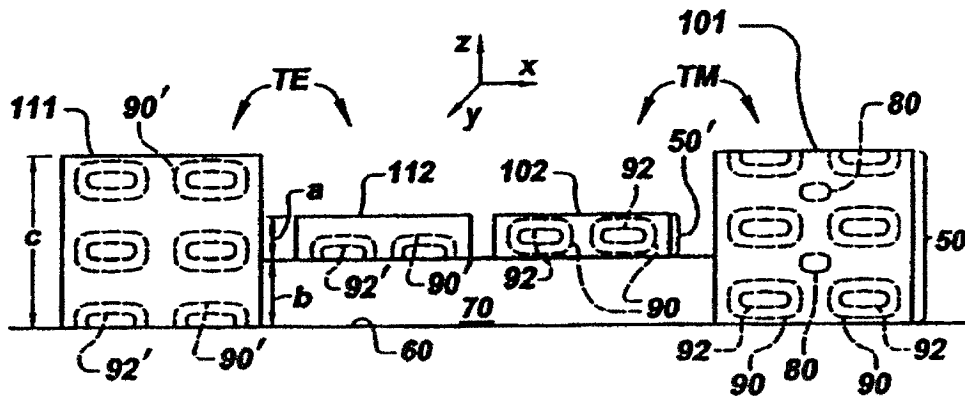


图 5

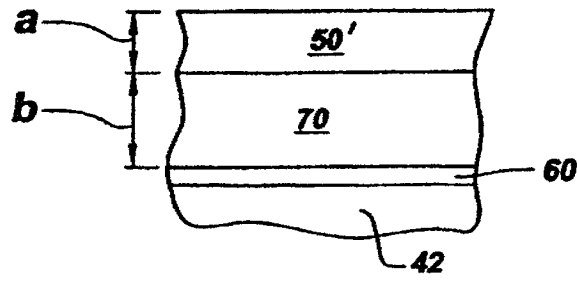


图 6

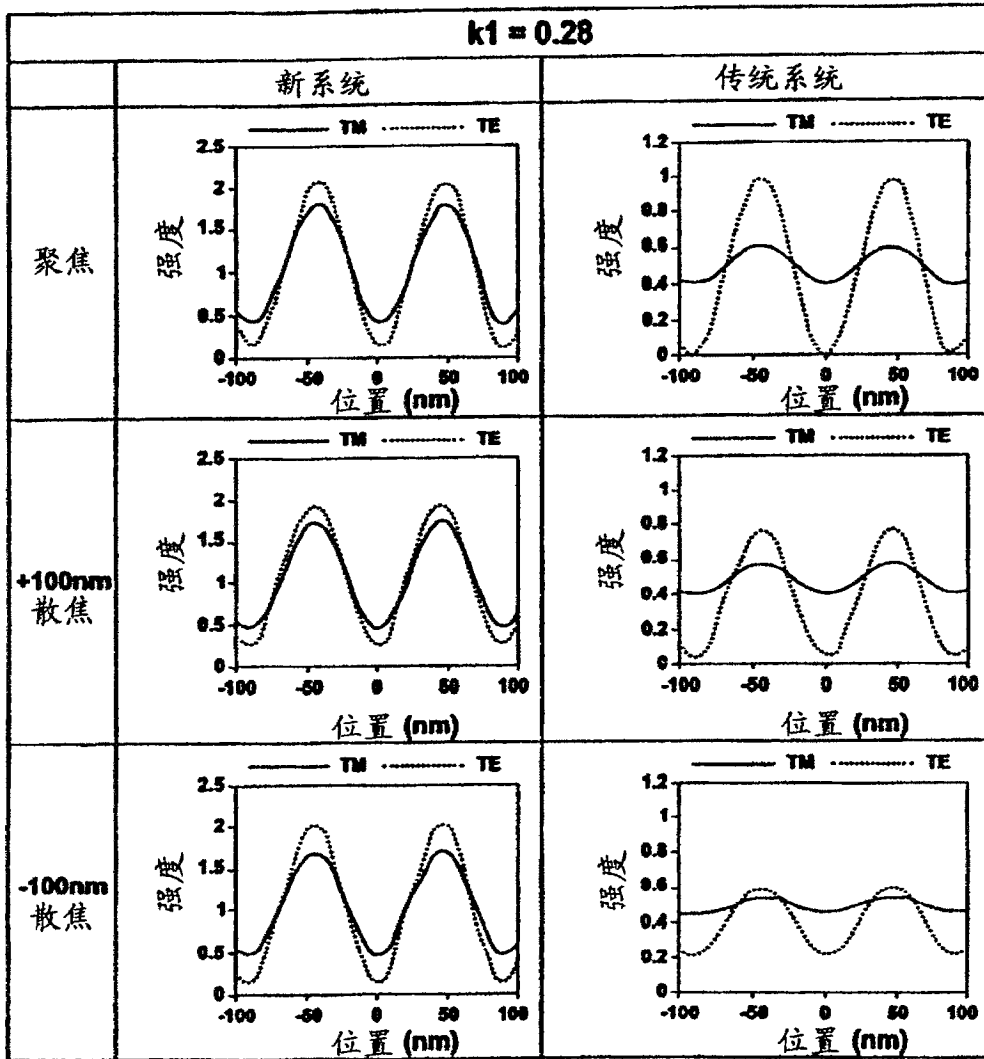


图 7

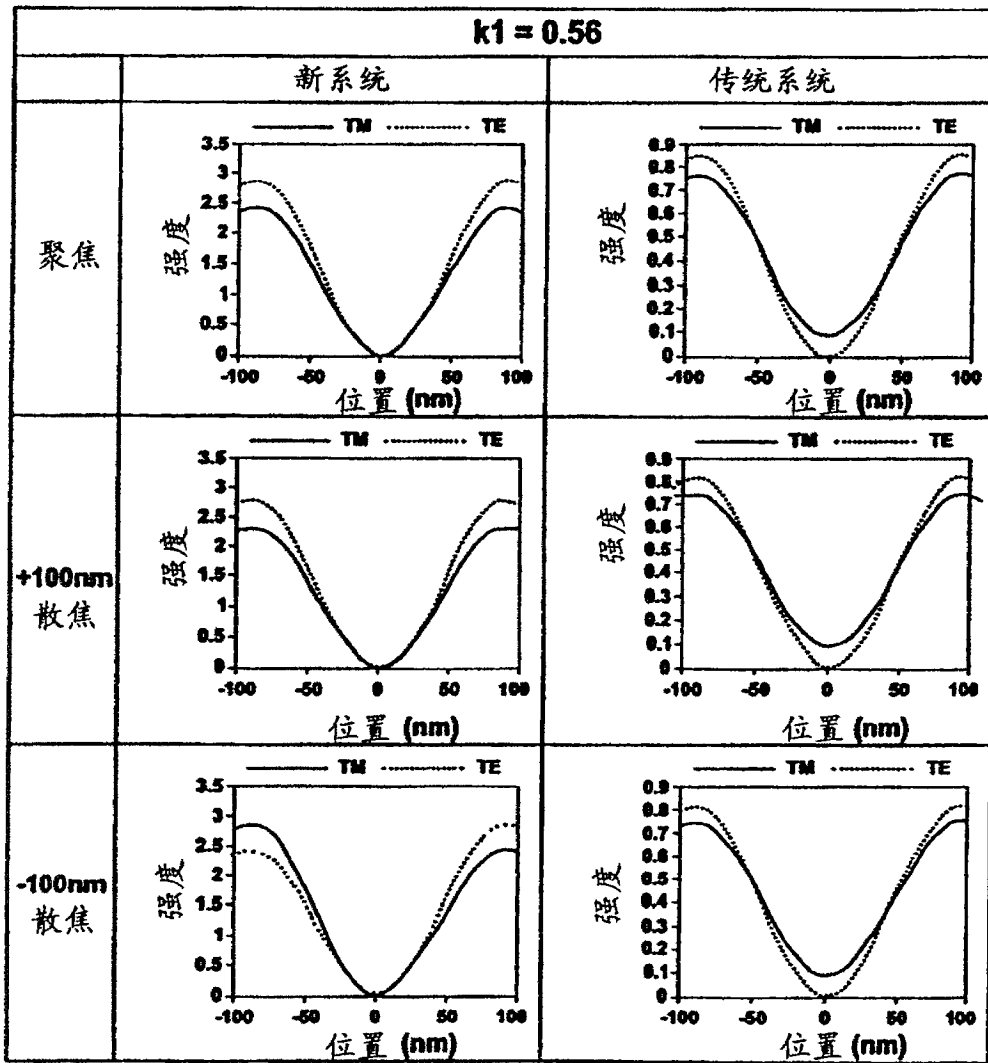


图 8