



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102193121 A

(43) 申请公布日 2011. 09. 21

(21) 申请号 201110065446. 9

(22) 申请日 2011. 03. 17

(30) 优先权数据

102010002986. 6 2010. 03. 17 DE

61/332, 288 2010. 05. 07 US

(71) 申请人 卡尔蔡司 SMT 有限责任公司

地址 德国上科亨

(72) 发明人 汉斯-于尔根·曼

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 邱军

(51) Int. Cl.

G02B 5/08 (2006. 01)

G02B 17/02 (2006. 01)

G03F 7/20 (2006. 01)

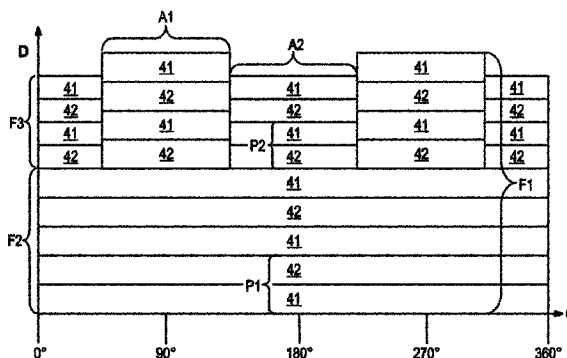
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 12 页

(54) 发明名称

反射光学元件、投射系统和投射曝光设备

(57) 摘要

本申请公开了一种反射光学元件、投射系统和投射曝光设备。该反射光学元件用于紫外到极紫外波长范围中的工作波长。该反射光学元件包括在基底上的具有多层系统的反射面，所述多层系统具有至少两种交替材料的层，所述两种交替材料在工作波长具有不同的折射率实部。某个入射角带宽分布的工作波长的辐射可以入射在所述反射光学元件上。所述反射面具有一个或多个第一部分和一个或多个其它部分，第一部分中的交替材料的层具有第一周期厚度，以及第二部分中的交替材料的层具有第一周期厚度和至少一个其它周期厚度。第一部分和其它部分在反射面上的布置适配于所述入射角带宽分布。



1. 一种反射光学元件,用于紫外到极紫外波长范围中的工作波长,包括在基底上的具有多层系统的反射面,所述多层系统具有至少两种交替材料的层,所述两种交替材料在工作波长具有不同的折射率实部,其中,某个入射角带宽分布的所述工作波长的辐射可以入射在所述反射光学元件上,并且其中,所述反射面包括一个或多个第一部分和一个或多个其它部分,在所述第一部分中所述交替材料的层具有第一周期厚度,在所述其他部分中所述交替材料的层具有第一周期厚度和至少一个其它周期厚度,其特征在于:所述第一部分和其它部分 (A1, A2) 在所述反射面 (21) 上的布置适配于所述入射角带宽分布。

2. 如权利要求 1 所述的反射光学元件,其特征在于:所述第一部分和其它部分 (A1, A2) 在所述反射面 (21) 上的布置适配于所述平均入射角的变化。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的反射光学元件,其特征在于:所述反射面 (21) 包括两个或更多个第一部分 (A1),其中所述第一周期厚度 (P1) 在所述第一部分 (A1) 中相同。

4. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的反射光学元件,其特征在于:所述反射面 (21) 包括两个或更多个其它部分 (A2),其中所述至少一个其它周期厚度 (P2) 在所有其它部分中相同。

5. 如权利要求 1 至 4 中的任一项所述的反射光学元件,其特征在于:所述至少一个第一部分 (A1) 具有交替材料的层 (41, 42) 的序列 (F1),所述序列 (F1) 精确地具有一周期厚度 (P1),并且所述至少一个其它部分 (A2) 具有交替材料的层 (41, 42) 的至少两个序列 (F2, F3),所述两个序列 (F2, F3) 各自精确地具有一周期厚度 (P1, P2),其中所述序列之一 (F2) 与所述至少一个第一部分 (A1) 的序列 (F1) 具有相同的周期厚度 (P1)。

6. 如权利要求 5 所述的反射光学元件,其特征在于:在所述至少一个其它部分 (A2) 中,与所述至少一个其它部分 (A1) 的序列 (F1) 具有相同的周期厚度 (P1) 的序列 (F2) 布置在所述基底 (22) 和所述至少一个其它序列 (F3) 之间。

7. 如权利要求 1 至 6 中的任一项所述的反射光学元件,其特征在于:所述第一和其它部分 (A1, A2) 的布置在所述反射面上在方位角方向上是周期性的。

8. 如权利要求 1 至 7 中的任一项所述的反射光学元件,其特征在于:所述第一部分和其它部分 (A1, A2) 的布置在所述反射面上在所述方位角方向上具有两个周期的周期性。

9. 如权利要求 1 至 7 中的任一项所述的反射光学元件,其特征在于:所述布置对应于如下式表达的分布

$$D(r, \vartheta) = \sum_{i=1}^N D_i(r) \Psi_i(2\vartheta)$$

其中,  $r$  是所述反射面 (22) 上的点与坐标原点的距离,  $\theta$  是所述反射面上的点的方位角,  $N$  是部分中不同序列的数量,  $D_i(r)$  是径向对称的层厚度分布,  $\Psi_i(2\theta)$  是方位角的周期函数。

10. 如权利要求 9 所述的反射光学元件,其特征在于:所述  $\Psi_i(2\theta)$  是阶跃函数。

11. 如权利要求 9 所述的反射光学元件,其特征在于:所述  $\Psi_i(2\theta)$  是正弦或余弦函数。

12. 一种用于投射曝光设备的投射系统,其利用紫外到极紫外波长范围中的波长工作,并包括根据权利要求 1 至 11 的任一所述的反射光学元件。

13. 根据权利要求 12 所述的投射系统,其特征在于:所述投射系统被构造为光瞳遮挡

系统 (7)。

14. 根据权利要求 12 或 13 所述的投射系统,其特征在于:具有最大入射角带宽的反射镜 (M5) 被构造为根据权利要求 1 至 6 的任一所述的反射光学元件。

15. 根据权利要求 12 至 14 中的任一项所述的投射系统,其特征在于:所述反射光学元件被布置在所述投射系统的光瞳平面上或其附近。

16. 一种投射曝光设备,其利用紫外到极紫外波长范围中的波长工作,并包括根据权利要求 1 至 11 的任一所述的反射光学元件 (M5)。

## 反射光学元件、投射系统和投射曝光设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于紫外到极紫外波长范围的工作波长的反射光学元件,其在基底上包括具有多层系统的反射面,所述多层系统具有至少两种交替材料的层,所述两种交替材料在工作波长具有不同的折射率实部,其中,某个入射角带宽分布的工作波长的辐射可以入射在所述反射光学元件上,其中,所述反射面具有其中所述交替材料层具有第一周期厚度的第一部分、以及其中交替材料层具有第一和其它周期厚度的其它部分。此外,本发明涉及投射系统和投射曝光设备,它们在极紫外波长范围的工作波长操作,并包括这种反射光学元件。

### 背景技术

[0002] 为了在利用光刻方法制造半导体元件中能够产生日益更精细的结构,使用具有日益变短的波长的光。当在极紫外 (EUV) 波长范围中,尤其是在约 5nm 和 20nm 之间的波长工作时,不再可能使用类似透镜的透射模式的元件,而是基于多层系统构建反射光学元件的照明和投射物镜或者掩模,其具有针对各个工作波长适配的反射膜。基于多层系统的反射光学元件也可以被用于紫外波长范围。

[0003] 多层系统是交替施加的、在工作波长具有较高折射率实部的材料(也被称为间隔体(spacer))与在工作波长具有较低折射率实部的材料(也被称为吸收体(absorber))的层,其中,吸收体-间隔体对形成某个周期厚度的叠层(stack),该周期厚度等于形成叠层的单个层的和。具有吸收体-间隔体对的交替布置的叠层本质上模拟晶体,其中,其晶格平面对应于吸收体层,在吸收体层上发生布拉格反射。在更复杂的多层系统中,叠层在吸收体层和间隔体层之外可以包括一个或多个附加的层。这些附加的层可以具有例如避免间隔体材料和吸收体材料的化学混合或者例如在由于红外辐射而加热反射光学元件的情况下增强叠层的热稳定性的功能。

[0004] 为了能够将日益更精细的结构在要被曝光的物体上,投射曝光设备的光学系统必须确保最大可能的分辨率。不仅通过使用最小可能的波长作为工作波长,而且通过设计具有最大可能的孔径的光学系统来实现这一点。然而这具有如下缺点:平均入射角以及入射角的带宽两者都可能在单个反射镜上以及从光学系统的一个反射镜到另一个反射镜发生很大的变化。这可以导致有用辐射的更低通过率以及成像缺陷,导致降低投射曝光设备的产量,或者导致极不均匀的光瞳照明,从而大大破坏成像质量。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于进一步开发反射光学元件,尤其是在高分辨率的 UV 或 EUV 光刻中使用的反射光学元件。

[0006] 根据第一方面,通过一种反射光学元件实现此目的,所述反射光学元件用于紫外到极紫外波长范围中的工作波长,其包括在基底上的具有多层系统的反射面,所述多层系统具有至少两种交替材料的层,所述两种交替材料在工作波长具有不同的折射率实部,其

中,某个入射角带宽分布的所述工作波长的辐射可以入射在所述反射光学元件上,其中,所述反射面具有其中所述交替材料的层具有第一周期厚度的一个或多个第一部分、以及其中所述交替材料的层具有第一周期厚度和至少一个其它周期厚度的一个或多个其它部分,并且其中,所述第一和其它部分在所述反射面上的布置适配于所述入射角带宽分布。

[0007] 已经发现:其中交替材料的层在多层系统的深度上具有多于一个周期厚度的部分,即其中吸收体-间隔体对的不同叠层的层厚度变化的部分,相对于其中交替材料的层在整个多层系统的深度上基本具有一个周期厚度的部分,允许在更宽的入射角带上具有相当大的反射率,而同时降低了最大反射率。针对入射角跨越反射光学元件的整个反射面的分布,通过将具有一个周期厚度的层的一个或多个部分以及具有多个一个周期厚度的层的其它部分的布置适配于反射光学元件的反射面的入射角带宽的分布,例如通过在多层系统的深度上,在具有窄入射角带宽的位置处布置具有一个周期厚度的部分并在具有较大入射角带宽的位置处布置具有多于一个周期厚度的部分,相比于传统反射光学元件,可以提高反射光学元件的整体反射率,或者可以提高诸如远心度或椭球率的成像特征,在传统反射光学元件中,形成反射面的多层系统具有与入射角带宽分布无关的周期厚度分布,诸如在反射面上恒定的周期厚度分布。通过反射面的多层系统的特殊设计,该反射光学元件具有提高的反射率,并因此特别适合于在使用具有大数值孔径的投射曝光设备的UV或EUV光刻中使用,其中通过该反射光学元件提高了产量。例如,该反射光学元件可以例如是投射曝光设备的反射镜,尤其是投射曝光设备的投射系统的反射镜。

[0008] 优选地,通过利用以下事实将所述第一和其它部分在所述反射面上的布置适配于平均入射角的变化:在某个波长,例如工作波长,通过特别地改变周期厚度,最大反射率可以被转移到略高或略低的入射角。

[0009] 必须注意,当知道要被使用的光源以及布置在所讨论的反射光学元件前方的光学元件,入射角带宽分布和平均入射角分布两者都可以被精确地计算。因此,当设计反射光学元件的多层系统的结构时,已经可以考虑此信息。此外,在反射光学元件的制造期间产生的并在质量控制期间已被检测的、可能引起成像错误的表面缺陷可以通过后续地增加附加层而被补偿,诸如US2004/0263820A1中所解释的。

[0010] 优选地,所述反射面包括两个或更多个第一部分,其中所述第一周期厚度在所述第一部分中相同。优选地,所述反射面包括两个或更多个其它部分,其中所述至少一个其它周期厚度在所有其它部分中相同。当在反射光学元件的制造期间对基底施加多层系统时,在所述反射面的多层系统中提供尽可能小数量的不同周期厚度简化了镀膜工艺。

[0011] 有利地,所述至少一个第一部分包括交替材料的层的序列,其精确地具有一周期厚度,并且所述至少一个其它部分包括交替材料的层的至少两个序列,其各自精确地具有一周期厚度,至少一个其它部分的序列之一与所述至少一个第一部分的序列具有相同的周期厚度。因此,镀膜工艺可以被细分为对各个类型的序列的单个步骤,并因此被简化。

[0012] 特别有利地,在所述至少一个其它部分中,与所述至少一个第一部分的序列具有相同的周期厚度的序列布置在所述基底和所述至少一个其它序列之间。在镀膜工艺开始时,可以施加具有一连续周期厚度的交替材料的层的不间断表面,其对应于具有第一周期厚度的其它部分的相应序列,或者对应于第一部分的序列的第一层。根据不同的部分差别化镀膜工艺将仅对上面的层必要。因此,现有镀膜工艺仅需最小地适配于这里所建议的多

层系统。

[0013] 在优选实施例中,所述第一和其它部分在所述反射面上的布置在方位角方向上是周期性的。方位角上的周期布置对于多边形物或像场特别有利。如果反射光学元件直接在光瞳平面中或至少接近于光瞳平面,则对称的多边形物或像场在成像反射光学元件上在它们的整个面上具有入射角带宽的方位角上的周期分布。例如,具有等边三角形的形式的物或像场在接近光瞳的反射光学元件上具有三个周期的方位角对称性的入射角带宽分布,具有正方形形式的物或像场在接近光瞳的反射光学元件上具有四个周期的方位角对称性的入射角带宽分布,以及具有正六边形形式的物或像场在接近光瞳的反射光学元件上具有六个周期的方位角对称性的入射角带宽分布。

[0014] 有利地,所述第一和其它部分在反射面上的布置在所述方位角方向上具有两个周期的周期性。其反射面的多层系统的部分具有这种布置的反射光学元件特别适合于在如下投射曝光设备中使用,其中掩模(也被称为掩膜母版)的结构被按部分照明并成像到要被曝光的物上。通常这些部分具有大致长方形的形状,其中一个边长大大长于另一边长。在变型中,扫描掩膜母版结构的每个成像的部分,其中扫描区域通常也是矩形。这些投射曝光设备大多也被设计用于长方形物或像场。长方形物或像场在接近光瞳的反射光学元件上产生具有两个周期的方位角对称性的入射角分布,具有两个周期的方位角对称性的反射光学元件特别适合于所述入射角分布。

[0015] 优选地,所述第一和其它部分在反射面上的布置对应于如下式表达的分布

[0016]

$$D(r, \theta) = \sum_{i=1}^N D_i(r) \Psi_i(2\theta)$$

[0017] 其中,  $r$  是所述反射面上的点与坐标原点的距离,  $\theta$  是所述反射面上的点的方位角,  $N$  是部分中不同序列的数量,  $D_i(r)$  是径向对称的层厚度分布,  $\Psi_i(2\theta)$  是方位角的周期函数。基于此分布,具有带有层厚度分布  $D_i(r)$  的多层系统的传统反射光学元件可以被特别容易地被修改来创建这里所述的反射光学系统,通过将各种标准看已优化的传统层厚度分布  $D_i(r)$  乘以二波方位角对称函数  $\Psi_i(2\theta)$  并对所有从 1 至  $N$  的  $i$  求和。通过这些方法,周期厚度在单个序列内改变。根据每个周期厚度,所述序列对于更窄或更大的入射角带宽具有相当大的反射率。通过函数  $\Psi_i(2\theta)$ ,具有一个或多个序列的部分的布置被适配于入射角带宽的分布。

[0018] 优选地,所述二波方位角周期函数  $\Psi_i(2\theta)$  是阶跃函数或者正弦或余弦函数。在镀膜工艺期间,可以特别容易地利用快门制造这种多层系统。

[0019] 根据其它方面,通过一种用于投射曝光设备的投射系统获得该目的,所述投射系统利用紫外到极紫外波长范围中的波长工作,并包括一个或多个这种反射光学元件。这种投射系统当在光刻中使用时,具有提高的有用辐射通过率以及提高的成像特性。

[0020] 在优选实施例中,所述投射系统被构造为光瞳遮挡系统。为此目的,所述投射系统包括多个反射镜以将物平面中的物场成像到像平面中的像场中,其中至少一个反射镜具有用于成像光通过的孔径。在这种投射系统中,与没有光瞳遮挡的、相当数值孔径的投射系统相比,平均入射角和入射角带宽两者都可以被减小。其具有如下优点:在反射光学元件被用作具有光瞳遮挡的投射系统中的反射镜的情况下,平均入射角大大变小,并因此原理上在给定的入射角带宽上允许更高的反射率。

[0021] 优选地,提供具有最大入射角带宽的反射镜作为上述反射光学元件。通过这些方法,相比于传统反射镜,可以获得特别显著的反射率提高,并可以在具有这种投射系统的投射曝光射中显著地提高产量。

[0022] 有利地,所述反射光学元件被布置在所述投射系统的光瞳平面上或其附近,尤其是在第一和其它部分的布置在整个反射面上在方位角方向上是周期性的情况下。

[0023] 此外,通过一种投射曝光设备获得此目的,所述投射曝光设备利用紫外到极紫外波长范围中的波长工作,并具有如所建议的反射光学元件。

#### 附图说明

[0024] 可以根据说明书和附图以及权利要求获得以上和其它特征,其中可以在本发明的实施例以及其它领域中单独地或者在子组合形式的组合中实施单个特征,并且所述各个特征可以表示优选实施例以及值得保护的实施例。

[0025] 参照优选示例实施例更具体地说明本发明,其中:

[0026] 图 1 是投射曝光设备的实施例的示意图;

[0027] 图 2 是投射系统的实施例的示意图;

[0028] 图 3a-c 示意性地示出了多层系统的各种变型;

[0029] 图 4 示意性地示出了不同部分在反射光学元件的反射面上的分布的第一示例;

[0030] 图 5 示意性地示出了不同部分在反射光学元件的反射面上的分布的第二示例;

[0031] 图 6a, b 示出了图 2 的投射系统的反射镜 5 上入射角分布和所关联的入射角带宽分布的示例;

[0032] 图 7a-d 示出了图 2 的投射系统的出瞳中的强度分布以及该出瞳的矩形场和几何形状,其中,该投射系统的反射镜 M5 对于矩形场的中心的场点、以及对于矩形场的外边缘处的场点,具有旋转对称层厚度分布;以及

[0033] 图 8a, b 示出了图 2 的投射系统的出瞳中的强度分布,其中,该投射系统的反射镜 M5 对于矩形场的中心的场点、以及对于矩形场的外边缘处的场点,具有方位角上的周期性层厚度分布。

#### 具体实施方式

[0034] 图 1 是用于利用 UV 或 EUV 辐射的光刻的投射曝光设备 1 的示例性且高度示意的视图。投射曝光设备 1 具有光源 2。该光源发射照明光 3,其被具有光学元件(未示出)的照明系统 4 引导到物平面 5 中的物场。在物平面 5 中,布置了掩膜母版 6,其具有要被成像到布置在像平面 8 中的物 9 上作为像场成像的结构。在这里所示的示例中,要被曝光的物 9 是借助于物体支撑体 10 而被支撑在像平面 8 中的晶片。物平面 5 中的物场借助于投射系统 7 而被成像到像平面 8 中的晶片 9 上。为此目的,来自物平面 5 的光束 3a 进入到投射系统 7 中,并以期望的成像比例入射在像平面中的晶片 9 上,作为从投射系统 7 出射的光束 3b。投射曝光设备 1 是扫描型。在投射曝光设备 1 的操作中,掩膜母版 6 和物 9 两者都被在 Y 方向上扫描。

[0035] 照明系统 4 的以及尤其是投射系统 7 中的一个或多个反射镜可以是针对紫外到极紫外波长范围中的工作波长的反射光学元件,其在基底上包括具有多层系统的反射面,所

述多层系统具有至少两种交替的、在工作波长具有不同折射率实部的材料的层,其中,工作波长中某个入射角带宽分布的辐射可以入射在反射光学元件上,其中该反射面具有其中交替材料的层具有第一周期厚度的一个或多个第一部分以及其中交替材料的层具有第一和至少一个其它周期厚度的一个或多个其它周期,并且其中在反射面上的所述第一和其它部分的布置适配于入射角带宽分布。

[0036] 图 2 以示例和示意的方式示出了图 1 的投射系统 7 的实施例,包括 6 个反射镜 M1 至 M6。取决于所使用的投射系统,可能出现多于或少于 6 个反射镜。图 2 示出了中心部分光束 11b 以及组合光束的边缘处的两个部分光束 11a、11c 的光束路径,该组合光束从物平面 5 中的物场出发,并经由 6 个反射镜 M1 至 M6 成像到像平面 8 中的像场中。

[0037] 反射镜 M1 至 M4 将物平面 5 成像到中间像平面 8' 中。部分光束 11a-11c 在中间平面 8' 的一个点上相交。因此,中间像平面 8' 也被称为光瞳平面 8'。在本示例中,在辐射方向上观察,反射镜 M6 被相邻地布置在光瞳平面 8' 的后方。通过考虑边缘部分光束 11a、11c 的主光线(这里未示出)的距离  $D(CR)$  以及所述面在由部分光束 11a、11b 或 11c 在相应光学元件上辐射的一个方向上的范围(extension) $D(SA)$ ,可以参数化诸如反射镜 M6 的光学元件与最近光瞳平面的接近度或距离。可以将参数  $P$  定义为  $D(SA)$  与  $D(CR)$  和  $D(SA)$  的比的和。如果相应的反射光学元件精确地布置在光瞳平面中,且  $D(CR)$  通过定义为 0,则  $P$  将等于 1。在相应光学元件布置在场平面中的情况中, $D(SA)$  将等于 0,这是因为部分光理想地会聚在所关联的场点中。 $P$  将也是 0。因此,如果  $D(CR) \ll D(SA)$ ,即如果  $P$  具有接近 1 的值,则反射光学元件被布置地靠近光瞳平面。EP 1930771A1 中参照其图 4 更详细地说明了“靠近”光瞳平面的概念。通过引用将 EP 1930771A1 的内容合并于此。在此光瞳平面中的中心位置布置了遮挡快门(未示出)。通过这些手段,与反射镜 M5、M6 中的中心通孔关联的部分光束被遮挡。与反射镜 M6 一起用于将中间像平面 8' 中的中间像成像到像平面 8 中的反射镜 M5 布置为与另一光瞳平面邻近,在该另一光瞳平面中,部分光束 11a-11c 再次组合。图 2 中所示的投射系统的实施例是具有中心光瞳遮挡的系统。

[0038] 反射镜 M1 至 M6 中的每一个可以是这里所述的反射光学元件之一。通过在每个反射镜上将具有仅一个或具有多个周期厚度的多层系统的部分的布置适配于入射角带宽分布,可以获得反射率增强,在图 2 中所示的示例中,是特别针对反射镜 5,其在这里所示的示例中是具有最大入射角带宽的反射镜。

[0039] 图 3a-c 示意性地示出了反射光学元件 20 的结构。施加到基底 22 的是大致形成反射面 21 的多层系统 23(参见图 3a)。图 3b 示意性地示出了多层系统 23 的整个结构。多层系统 23,在本示例中已经通过连续地对基底 22 镀各种具有不同复折射率的材料而产生了多层系统 23。此外,用于对抗外部影响(诸如污染)的保护层 25 已被附加地施加到多层系统,该保护层 25 可以包括多个不同材料层。多层系统 23 大致由多个重复的叠层 24 组成,该叠层 24 具有图 3c 中针对优选实施例而示意性地示出的结构,并具有也称为周期厚度的厚度。尤其是利用叠层的多次重复,在工作波长导致足够高反射率的叠层 24 的重要层是具有较大折射率实部的材料的所谓间隔体层 26、以及具有较小折射率实部的材料的所谓吸收体层 27。这本质上模拟晶体,其中吸收体层 21 对应于晶体内的晶格平面,其互相之间具有由相应间隔体层 22 限定的距离,并且在所述间隔体层上发生入射的紫外或者尤其是极紫外辐射的反射。所述层的厚度被如此选择,使得在各个吸收体层 21 上反射的辐射在某个



工作波长处发生相长干涉,从而获得相应光学元件的高反射率。这里,反射率满足布拉格条件,并因此不仅取决于波长而且取决于入射角。

[0040] 在 EUV 光刻中,例如,优选 12nm 和 15nm 之间的波长。在此波长范围中,可以利用基于钼作为吸收体材料、硅作为间隔体材料的多层系统,获得特别高的反射率。在 13.5nm 的波长,理论上,高于 75% 的范围中的反射率是可能的。例如可以使用 50 至 60 个约 7nm 厚的叠层,并且吸收体层厚度与叠层厚度的比约为 0.4。然而,在实际钼硅多层系统中,形成硅化钼的混合层,这导致将获得的最大反射率的大大降低。为了对抗光学特性的恶化,根据图 3c 中所示的示例,建议在从间隔体 26 至吸收体 27 的界面处以及从吸收体 27 至间隔体 26 的界面处都提供中间层 28,以便提高多层系统的热动力学稳定性和热稳定性。

[0041] 应该注意,单个层 26、27、28 以及重复的叠层 24 的厚度,即在整个多层系统上的周期厚度,可以是恒定的,或者也可以根据要被获得的反射率分布而变化。特别地,可以针对某些波长优化多层系统,在那些波长,最大反射率和 / 或反射带宽大于在其它波长的最大反射率和 / 或反射带宽。对于此波长的辐射,相应反射光学元件 20 被例如用在 EUV 光刻中,这就是为什么已经针对其优化了反射光学元件 20 的波长也被称为工作波长。通过以合适的方式选择交替材料和层厚度,也可以针对 x 射线或 UV 范围中的其它波长设计多层系统。

[0042] 用于这里所述的反射光学元件的多层系统被细分为具有第一周期厚度的一个或多个第一部分以及具有第一和至少一个其它周期厚度的一个或多个其它部分,在反射面上的第一和其它部分的布置适配于反射面上的入射角带宽分布。这里,第一部分在具有更小入射角带宽的区域中,其它部分在具有更大入射角带宽的区域中。图 4 和图 5 示例性地示出了多层系统的各个部分内的厚度分布的两个实施例。其坐标原点在基底面上的厚度 D 被绘制为固定径向距离的方位角的函数。

[0043] 在图 4 和图 5 中所示的示例中,第一和其它部分 A1、A2 的布置是周期性的,在反射面上在方位角方向上具有两个周期。这里,第一部分 A1 具有叠层序列 F1,每个叠层具有一个吸收体层 41 和一个间隔体层 42,并精确地具有一个周期厚度 P1,而其它部分 A2 具有两个叠层序列 F2、F3,每个叠层也具有一个吸收体层 41 和一个间隔体层 42,其中,与第一部分 A1 的序列 F1 具有相同周期厚度 P2 的其它部分 A2 的序列 F2 布置在基底与布置在基底上方的各个序列 F3 之间。

[0044] 两个布置都对应于可以如下表达分布:

[0045]

$$D(r, \theta) = \sum_{i=1}^N D_i(r) \Psi_i(2\theta)$$

[0046] 其中 r 是反射面的点与坐标原点的距离,  $\theta$  是反射面上的点的方位角, N 是部分中不同序列的数量,  $D_i(r)$  是径向对称的层厚度分布,  $\Psi_i(2\theta)$  是方位角上的周期函数。通过这些方法,所述部分的布置特别好地适配于矩形物或像场,这是因为其经常被与投射曝光设备一起使用,其中掩膜母版被连续或步进地扫描。

[0047] 在图 4 所示的示例中,  $\Psi_1(2\theta)$  是第一部分 A1 的序列 F1 或者其它部分 A2 的第一序列 F2 中的层厚度分布的恒定值“1”,  $\Psi_2(2\theta)$  是阶跃函数,对于第二序列 F3 中的层分布,其针对方位角  $0^\circ - 45^\circ$ 、 $135^\circ - 225^\circ$  以及  $315^\circ - 360^\circ$  具有小于 1 值,且针对方位角  $45^\circ - 135^\circ$  以及  $225^\circ - 315^\circ$  具有值“1”。这产生第二部分 A2 的第二序列 F3 的限定的叠层厚度 P2,叠层厚度 P2 具有与第一部分 A1 的序列 F1 或者其它部分 A2 的第一序列 F2 的叠

层厚度 P1 不同的值。为了能够在本示例中进行更简单的镀膜工艺,第一周期厚度 P1 在所有部分 A1、A2 中的相同,正如在其它部分 A2 中附加提供的第二周期厚度 P2 在所有其它部分 A2 中相同。

[0048] 在图 5 中所示的示例中,  $\Psi_2(2\theta)$  是余弦函数。通过这些方法,从区域  $0^\circ$  和  $180^\circ$  中的第一部分 A1 到区域  $90^\circ$  和  $270^\circ$  中的其它部分 A2 的转变是连续的。在其它部分 A2 中,布置在基底和第二序列 F3 之间的序列 F2 以及第一部分 A1 的序列 F1 具有恒定的第一周期厚度 P1。在其它区域 A2 的第二序列 F3 中,周期厚度 P2 由方位角方向上的余弦函数调制。

[0049] 应该注意,在这里所示的示例中,提高供了一种类型的第一部分和一种类型的其它部分。第一周期厚度以及其它周期厚度的变化也是可以的。特别地,还可以提供具有多个一个其它周期厚度的其它部分。

[0050] 在另一示例实施例中,将在具有矩形物或像场的用于 EUV 光刻的实施例中更详细地讨论图 1 的投射曝光设备的图 2 所示的投射系统 7 的反射镜 M5。在图 6a 中,在反射镜 M5 的反射面上的平均入射角被显示为等高线图,其中,各个等高线对应于以度为单位的某个平均入射角。反射面可以在极坐标  $r, \theta$  中被参数化。反射镜 M5 在其中心具有通道,被后续反射镜 M6 反射的辐射穿过该通道(参见图 2)。平均入射角从通道边缘的约  $6.58^\circ$  变化到反射面的外边缘的约  $14.30^\circ$ 。与反射面的表面法线的偏移被测量为入射角。在图 6b 中,在反射镜 M5 的反射面上的入射角带宽分布也被显示为等高线图。各个等高线对应于某个入射角带宽。具体地,入射角带宽在方向角方向上从  $x = 0\text{mm}$ (即  $0^\circ$  和  $180^\circ$ ) 处的约  $1.94^\circ$  变化到  $y = 0\text{mm}$ (即  $90^\circ$  和  $270^\circ$ ) 处的约  $7.01^\circ$ ,从而存在二波(two-wave)分布。

[0051] 入射角带宽在光瞳反射镜 M5 的反射面上的大变化可以在投射系统的光瞳上导致非常不同的入射强度,这取决于其是场中心的场点还是场边缘处的场点的光束。物或像场的示例被示意性地显示在图 7c 中。边长度在  $x$  方向上显著大于在  $y$  方向。多个光束以不同的角度从各个场点  $(x, y)$  发射。对于出瞳中的各个场点产生不同的强度分布。下面将更详细地讨论中心  $(0, 0)$  处的场点的强度分布以及场的外边缘  $(x_{\text{max}}, 0)$  处的场点的强度分布。

[0052] 对于具有没有具有不同周期厚度的部分的传统多层系统(其布置适配于入射角带宽分布)的图 2 中的投射系统的光瞳反射镜(诸如 M5),针对图 7a 中的场的中心的场点以及图 7b 中的场的外边缘处的场点,将光瞳中作为通过率的强度分布显示为等高线图,其中,所述等高线对应于某些通过率值。光瞳在角度空间中具有值  $\sin(\alpha)$ (其中  $\alpha$  是入射角)的范围被显示为物或像场的傅立叶变换,其中,平均通过率被绘制为它的函数。光瞳由于光瞳遮挡而在中央具有孔。通过率越高,利用具有这种反射镜的投射曝光设备可获得的产量越高。出瞳的范围对应于相应投射系统在垂直于光束方向的平面中的数值孔径 NA,并由笛卡尔坐标  $x$  和  $y$  参数化,在本实施例中,在  $x$  方向( $Nax$ )和  $y$  方向( $Nay$ )上都是 0.5。

[0053] 传统多层系统是基于硅作为间隔体、钪作为吸收体的用于 13.5nm 工作波长的多层系统,其具有碳化硼的中间层。叠层中的层序列是硅-碳化硼-钪-碳化硼。层厚度对于间隔体层是 3.649nm、对于吸收体层是 3.153nm、对于中间层是 0.400nm。叠层数量是 16,多层系统朝着真空由 3.627nm 厚的硅层、0.400nm 厚的碳化硼层、以及 1.5nm 厚的钪层作为保护层包围。这些层厚度是标称层厚度  $d_0$ 。该多层系统在反射面上具有旋转对称的层厚度

分布,其具有以下结构

$$[0054] \quad d(x, y) = d_0 * (C_0 + C_{2x} * x^2 + C_{2y} * y^2)$$

[0055] 其中,系数  $C_0 = 9.10 * 10^{-01}$ ,  $C_{2x} = 5.50 * 10^{-06}$ ,  $C_{2y} = 5.50 * 10^{-06}$ 。

[0056] 在图 7a 所示的从场中心发射的光束的情况中,通过率在光瞳上在 0.4977 和 0.5133 之间变化,并具有平均值 0.5090。通过作为以 mrad 为单位的  $\arcsin(\alpha)$  的远心度的参数,度量通过率分布的重心相对于几何中心的偏离。在 x 方向上,远心度是 0.000mrad,在 y 方向上,远心度是 -0.2320mrad。该值越接近 0,偏移越小,因此成像缺陷的风险越小。

[0057] 通过以 % 为单位的椭球率的参数度量与均匀照明光瞳的另一偏离。作为场点 (x, y) 的函数的椭球率被定义为  $100\% \cdot \pi \cdot \frac{\int r dr d\phi \cos(2\phi) \cdot I(r, \phi, x, y)}{\int r dr d\phi \cdot I(r, \phi, x, y)}$ , 其中,强度 I 在每个情况

中在整个出瞳上积分,并且, r 和  $\phi$  是光瞳坐标(还参见图 7d, 其示意性地示出了出瞳和极坐标)。在图 7a 中,椭球率是 0.0408%。椭球率越接近 0%, 存在成像缺陷的风险越小。具体地,椭球率是水平和垂直结构之间的分离边界的差。

[0058] 图 7b 针对具有上述传统多层系统的反射镜 M5 示出了物或像场的外边缘处的场点的通过率的分布。该通过率在光瞳上的分布上比针对来自场的中心的场点不规则得多。该值在 0.5231 和 0.4288 之间变化,其平均值为 0.4871。具体地, x 方向上的远心度相当高,为 6.4867mrad,椭球率是 -0.5509%, 而 y 方向上的远心度是 -0.0482mrad。

[0059] 为了比较,图 8a、8b 示出了针对反射镜 M5 的、在出瞳上的相应通过率分布,反射镜 M5 被构造为这里所描述的反射光学元件。为此目的,其多层系统与参照图 7a、7b 所述的传统多层系统一致,除了在反射面上的层厚度分布之外,这里的层厚度分布对于 18 个顶层不是旋转对称的,而是二波方位角周期性的。层厚度分布,对于首先的 49 层具有系数  $C_0 = 9.33 * 10^{-01}$ ,  $C_{2x} = 2.70 * 10^{-06}$ ,  $C_{2y} = 2.70 * 10^{-06}$ , 以及对于其顶上的 18 个层具有系数  $C_0 = 9.40 * 10^{-01}$ ,  $C_{2x} = 2.00 * 10^{-06}$ ,  $C_{2y} = -3.80 * 10^{-06}$ 。上面在笛卡尔坐标中指示的层厚度分布在极坐标中具有以下结构

$$[0060] \quad d(r, \theta) = d_0 * [c_0 + 0.5 * r^2 * ((C_{2x} + C_{2y}) + (C_{2x} - C_{2y}) * \cos(2\theta))]$$

[0061] 对于首先的 49 层,厚度与  $\theta$  无关,因为  $C_{2x}$  等于  $C_{2y}$ 。结果是旋转对称分布。对于 18 个顶层,添加与  $\cos(2\theta)$  成比例的因子,因为  $C_{2x}$  不等于  $C_{2y}$ , 从而,对于 r 的各个值,即对于与反射镜中心的各个距离,第一部分和其它部分的分布如图 5 所示地产生。因此,第一部分被布置在入射角带宽倾向于较小的部分中,其它部分被布置在入射角带宽倾向于较大的部分中(也参见图 6b)。同时,当选择系数  $C_0$ 、 $C_{2x}$ 、 $C_{2y}$  的实际值时,考虑对于针对在反射镜面上的各个方位角  $\theta$  的平均入射角,反射率应该尽量高。

[0062] 对于来自场的中心的场点的情况,如图 8a 中所示,通过率在光瞳上在 0.4193 和 0.5105 之间改变,并具有平均值 0.5001。在 x 方向上,远心度为 0.0000mrad,在 y 方向上远心度为 -1.3339mrad,同时椭球率为 2.2986%。图 8b 中示出了对于物或像场的外边缘处的场点的通过率的分布。通过率值在 0.5162 和 0.3875 之间变化,并具有平均值 0.4884,远心度在 x 方向上为 0.7545mrad,在 y 方向上为 -1.4222mrad,椭球率是 -0.9086%。因此,虽然在光瞳上的通过率分布对于来自场的中心的场点有些更不规则,并具有略低的平均通过率,但通过率分布对于场的边缘处的场点比传统反射镜 M5 显著更均匀,并具有略高的平均通过率。如果考虑物或像场的所有场点,对于这里所建议的反射镜 M5 产生在光瞳上的显著

更均匀的通过率分布,并具有略高的平均通过率。因此,在相应的通过曝光设备中,可以具有更高的产量,并同时具有更少的成像缺陷。在这里所解释的示例中,仅对通过系统的一个反射镜以这里所述的方式修改。投射系统、或投射曝光设备中的更多反射镜以及掩膜母版(如果情况可能)包括对入射角带宽分布适配的多层系统,则有益效果更强。

[0063] 应该注意,利用这里所述的类型的多层系统获得的有益效果与材料的选择、中间层的出现、叠层的数量、以及工作波长的选择无关。而是迄今已知的多层系统都可以被以这里所述的方式修改,以获得针对它们各自的入射角带宽分布以及平均入射角的变化而适配的、用于UV或EUV光刻的反射光学元件。

[0064] 附图标记列表

[0065]	1	投射曝光设备
[0066]	2	光源
[0067]	3	光束
[0068]	3a	光束
[0069]	3b	光束
[0070]	4	照明系统
[0071]	5	物平面
[0072]	6	掩膜母版
[0073]	7	投射系统
[0074]	8	像平面
[0075]	8'	中间像平面
[0076]	9	物
[0077]	10	物支撑体
[0078]	11a、c	边缘光束
[0079]	11b	中心光束
[0080]	12	掩膜母版
[0081]	20	反射光学元件
[0082]	21	反射面
[0083]	22	基底
[0084]	23	多层系统
[0085]	24	叠层
[0086]	25	保护层
[0087]	26	间隔体
[0088]	27	吸收体
[0089]	28	中间层
[0090]	41	吸收体
[0091]	42	间隔体
[0092]	M1	反射镜
[0093]	M2	反射镜
[0094]	M3	反射镜

---

[0095]	M4	反射镜
[0096]	M5	反射镜
[0097]	M6	反射镜
[0098]	A1	第一部分
[0099]	A2	其它部分
[0100]	P1	第一周期厚度
[0101]	P2	其它周期厚度
[0102]	F1	序列
[0103]	F2	序列
[0104]	F3	序列

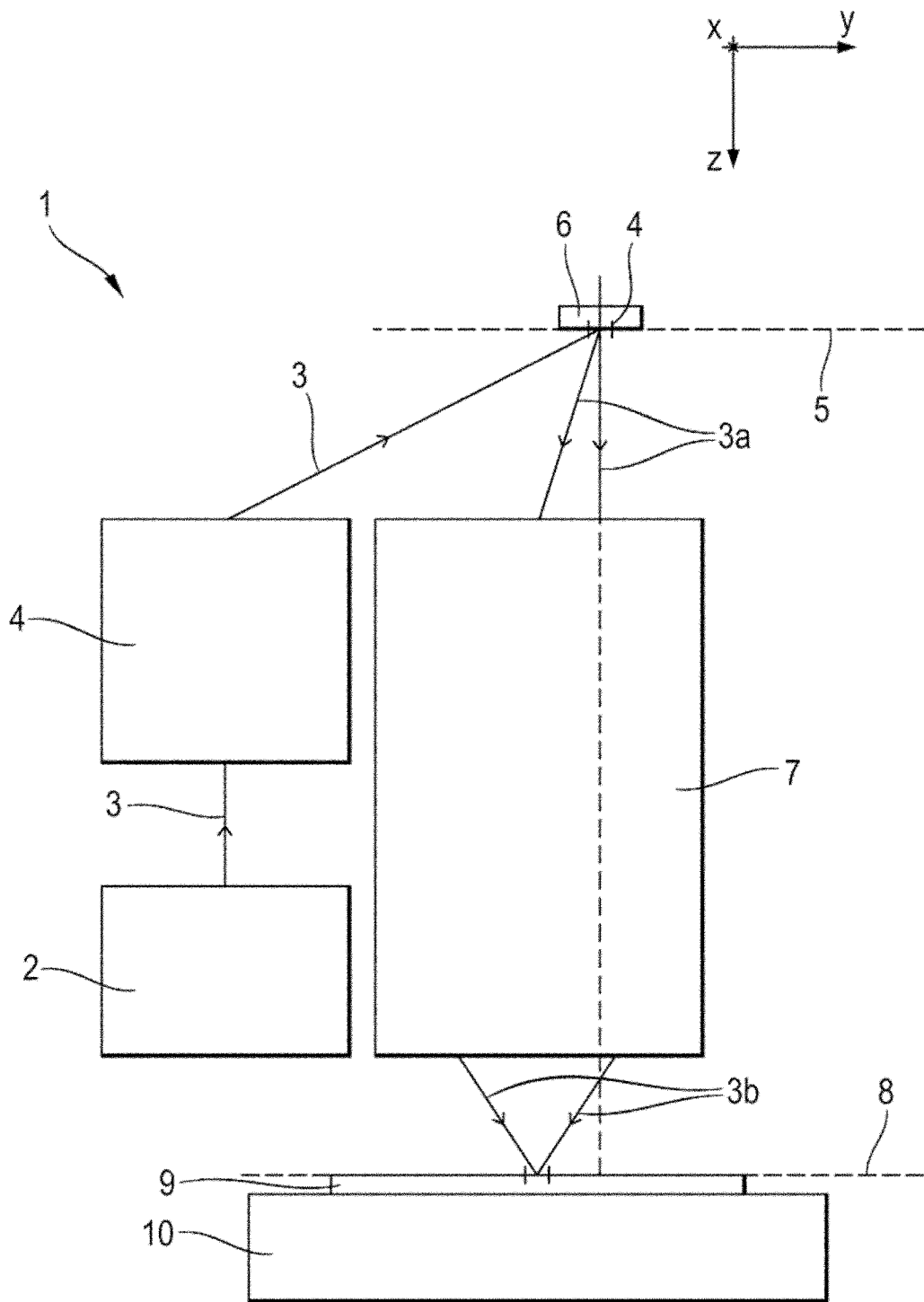


图 1

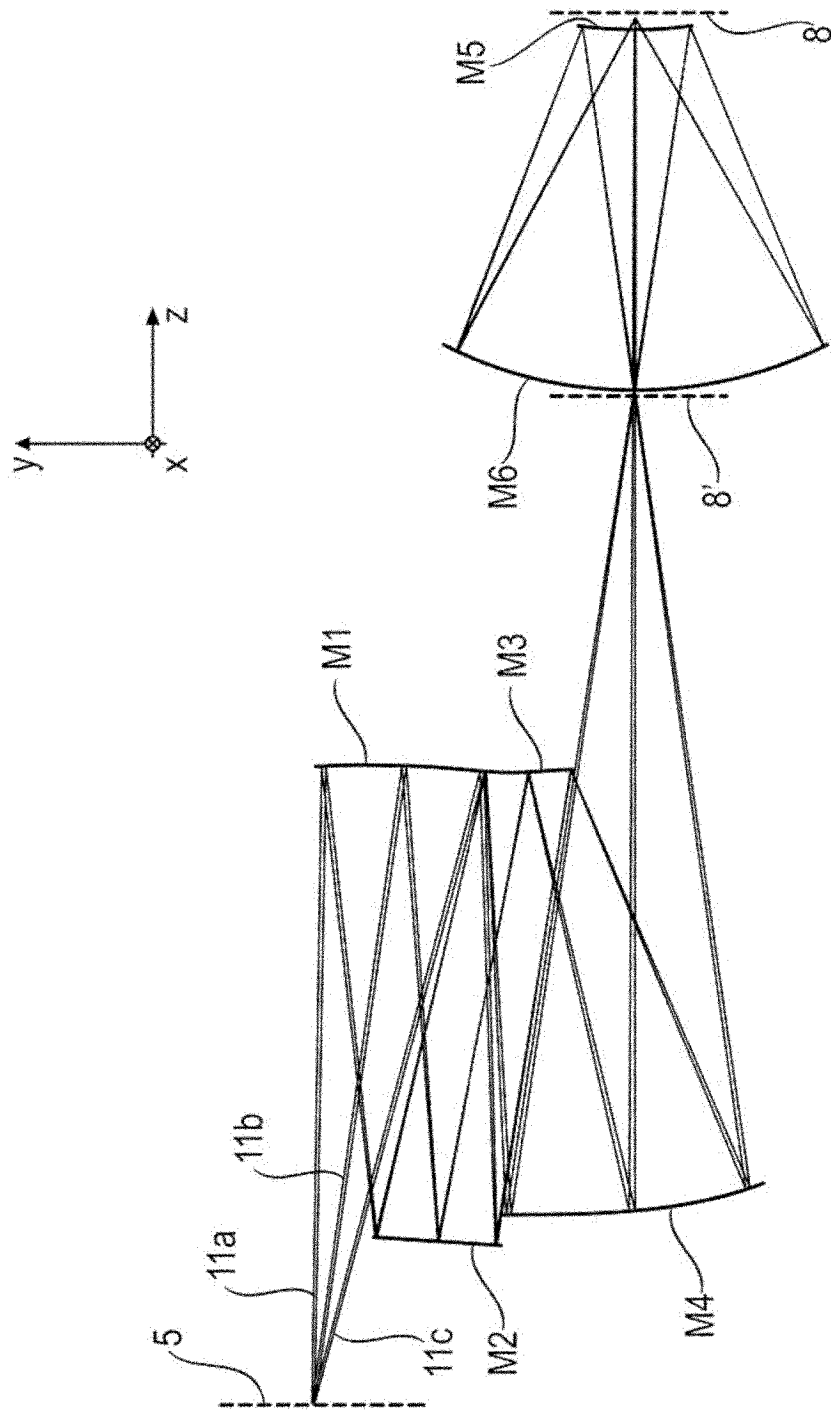


图 2

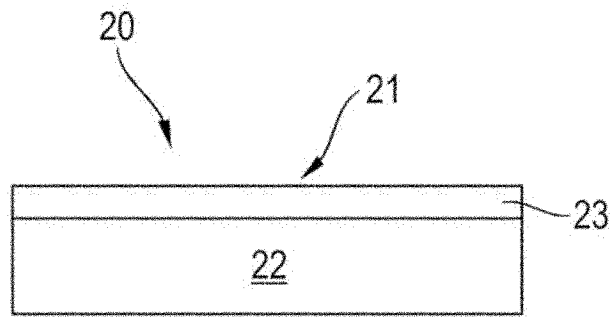


图 3a

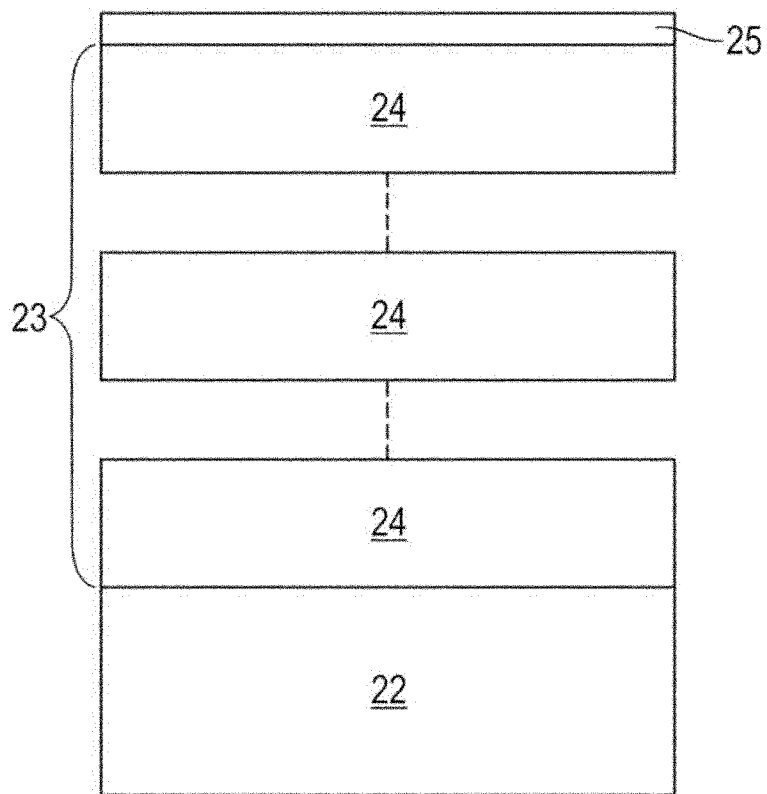


图 3b



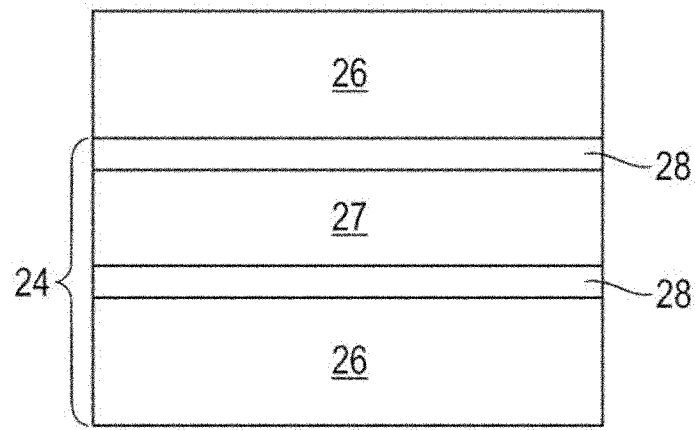


图 3c

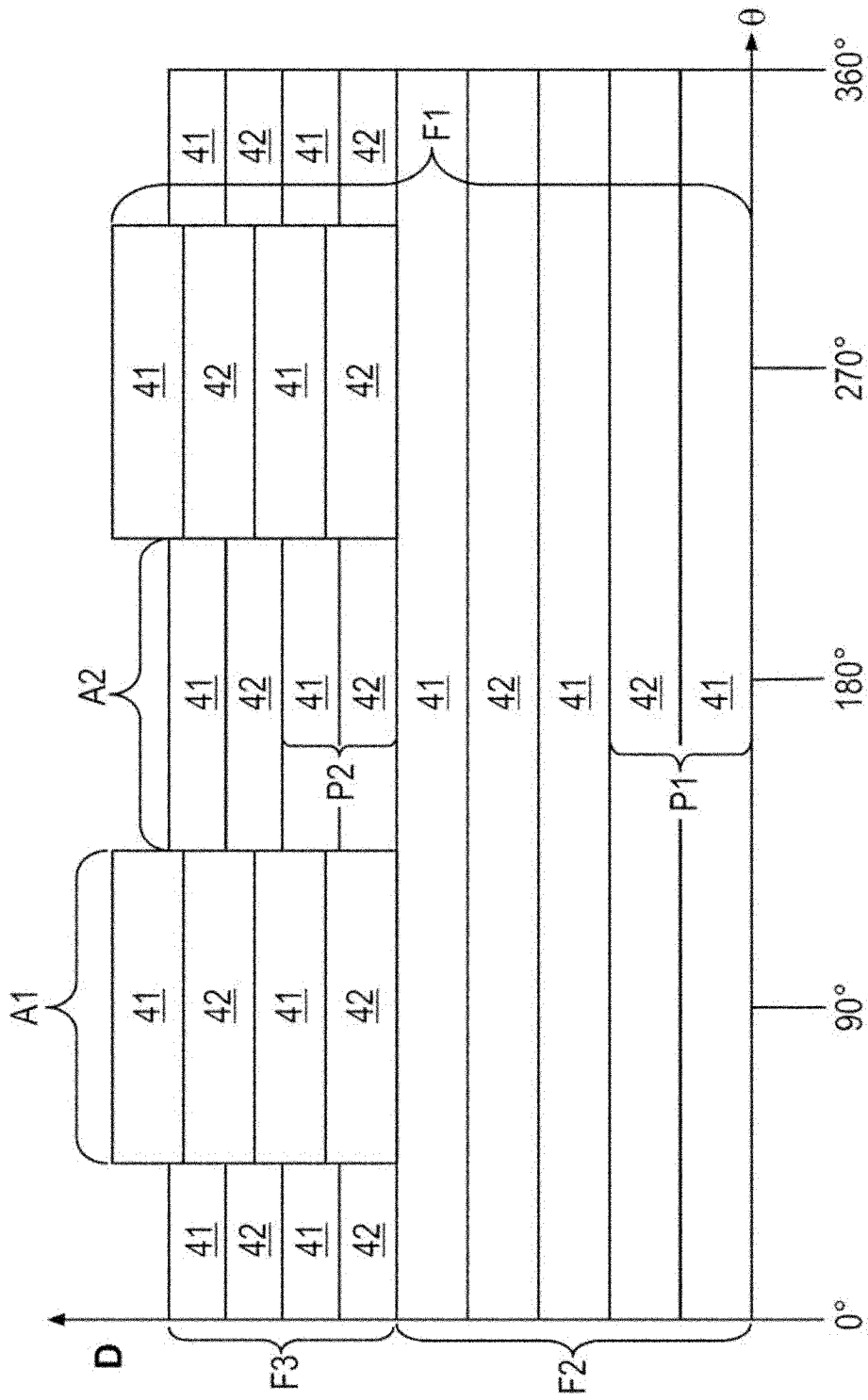


图 4

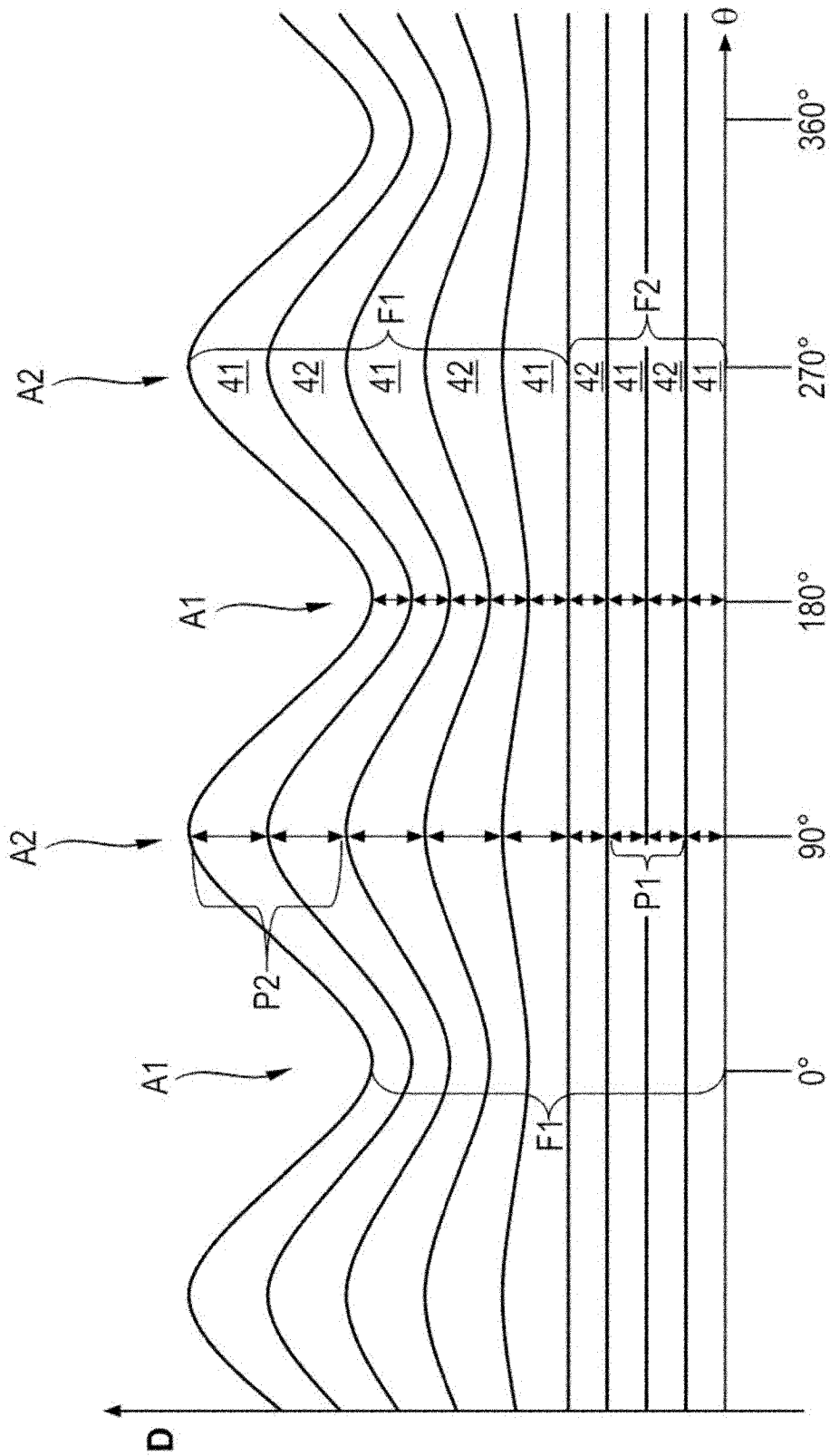


图 5

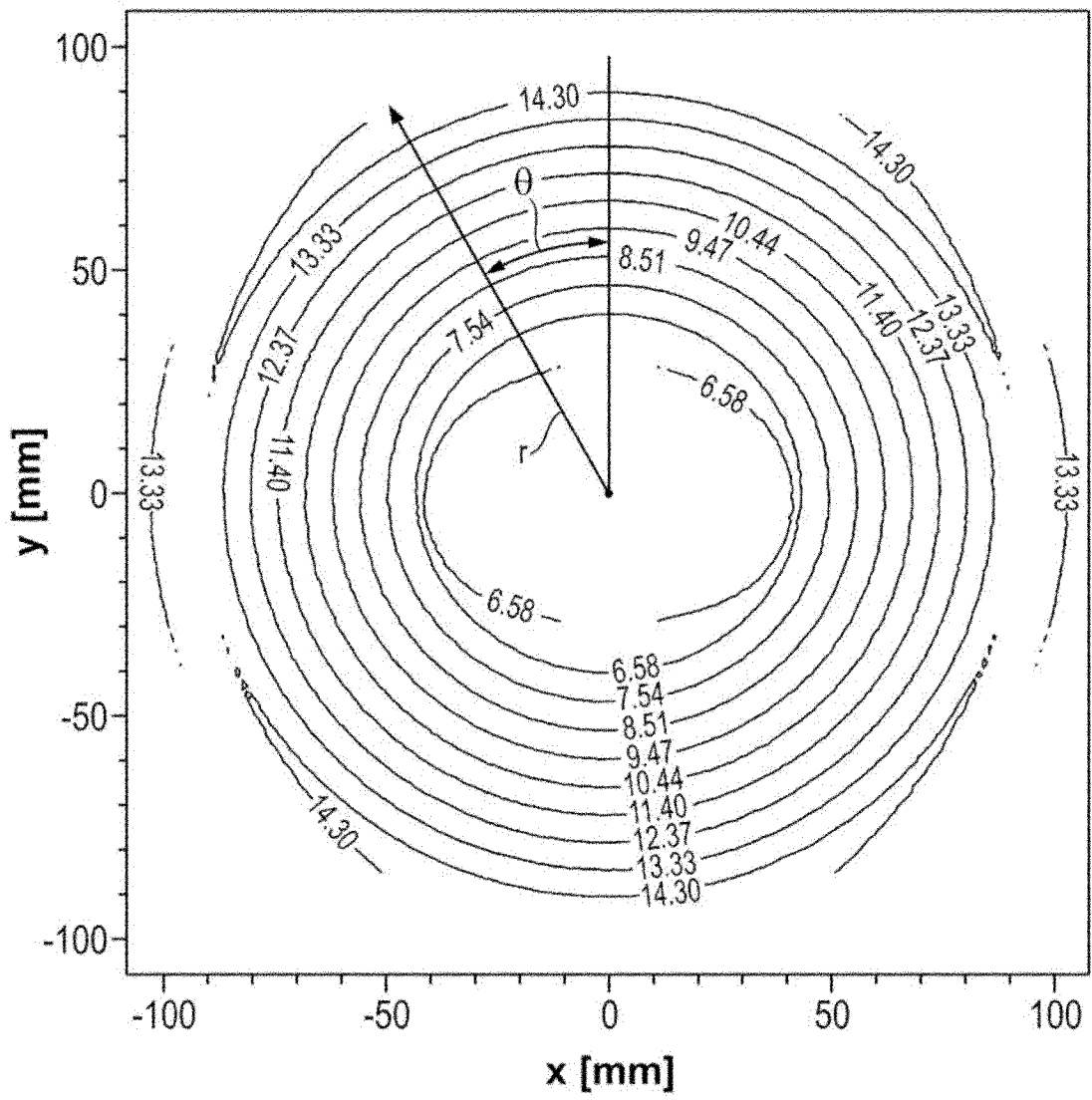


图 6a

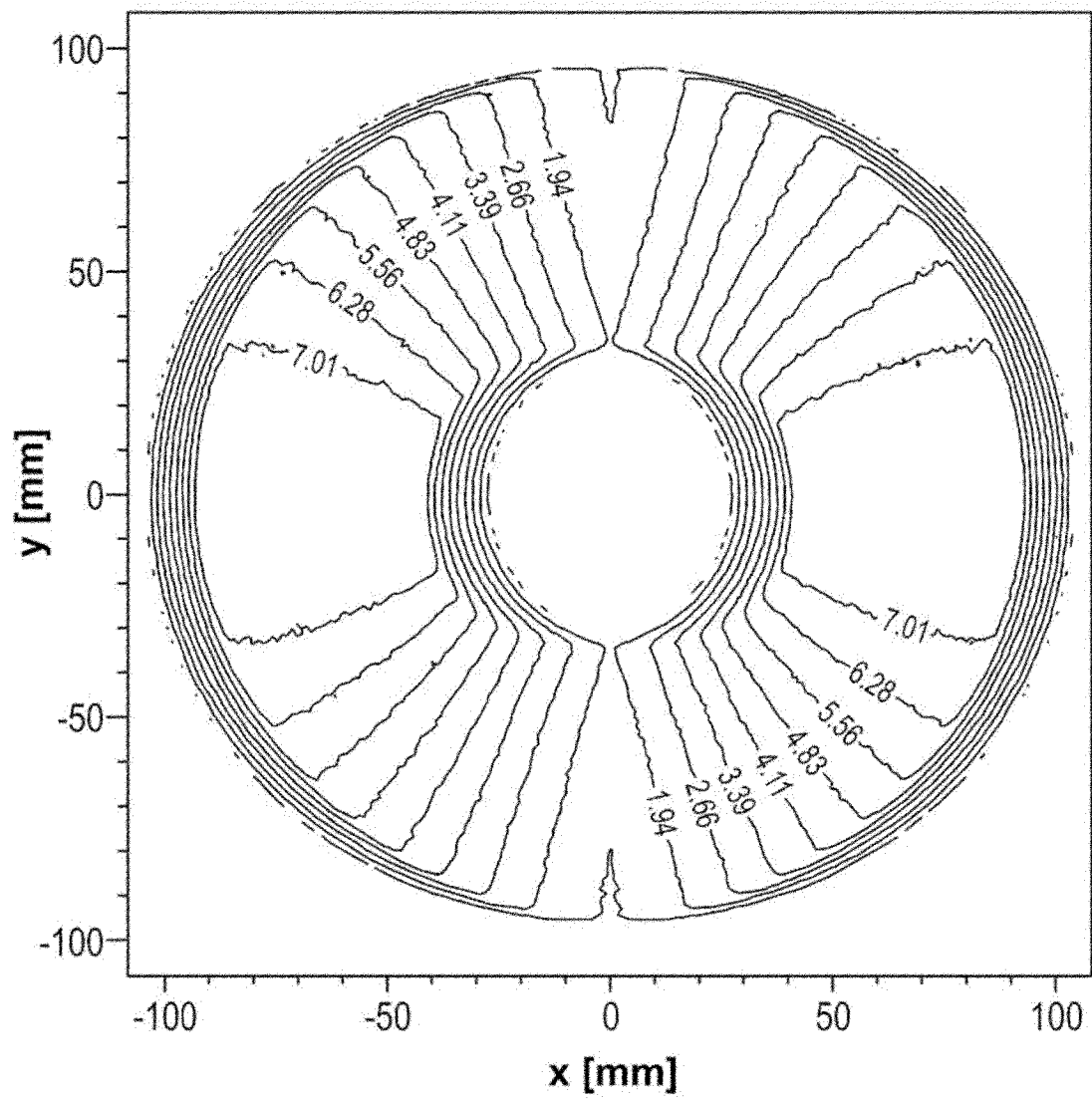


图 6b

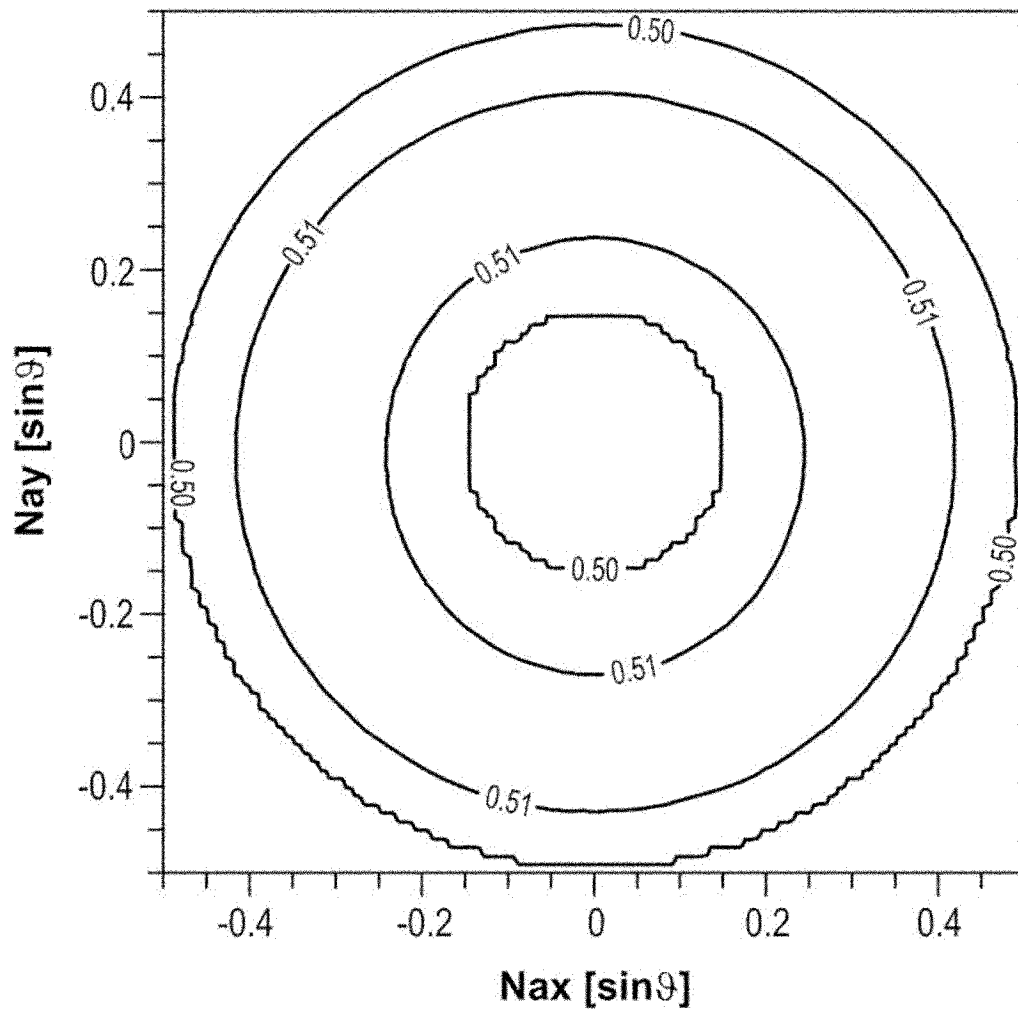


图 7a

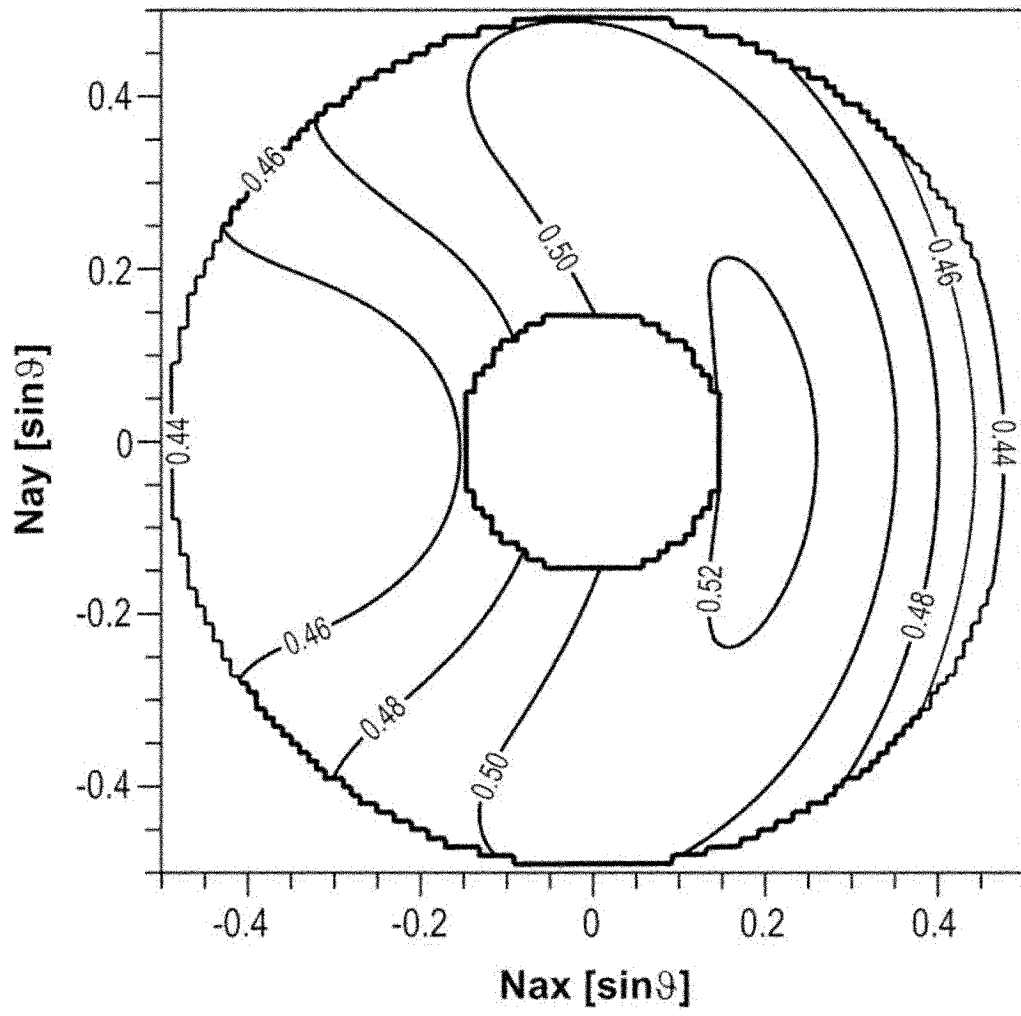


图 7b

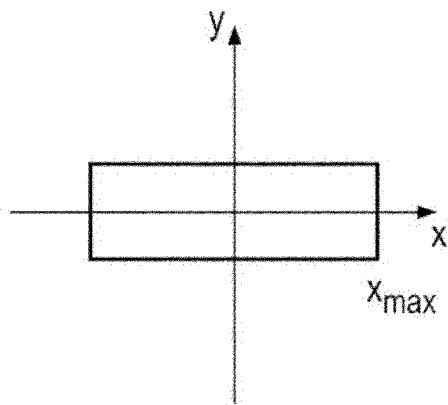


图 7c

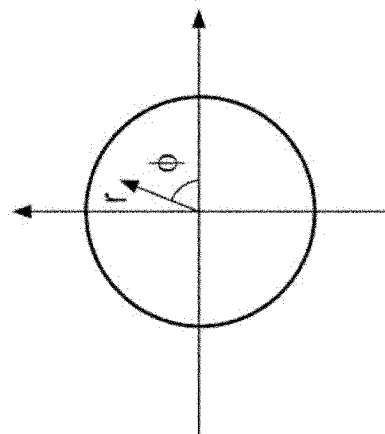


图 7d

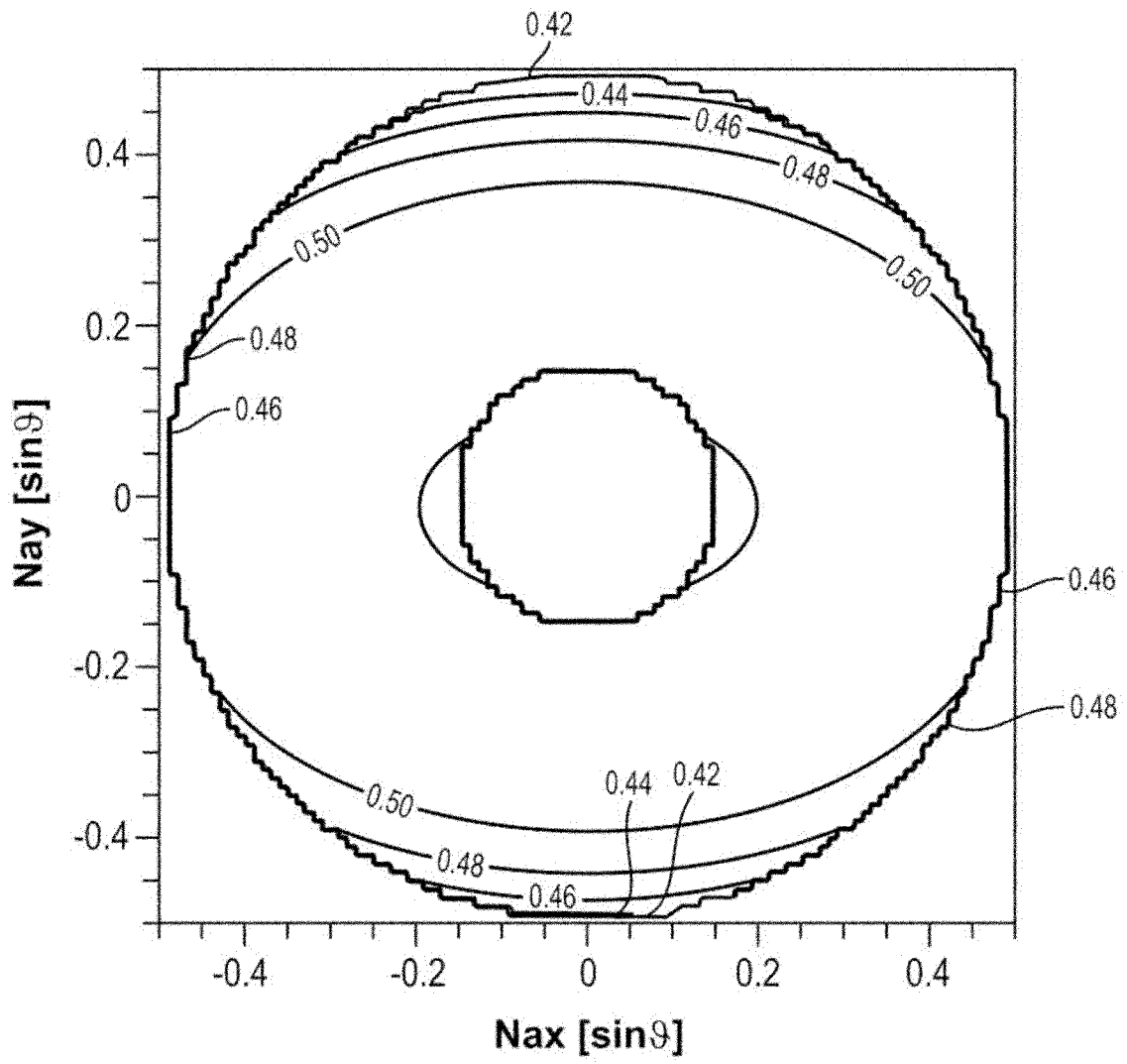


图 8a



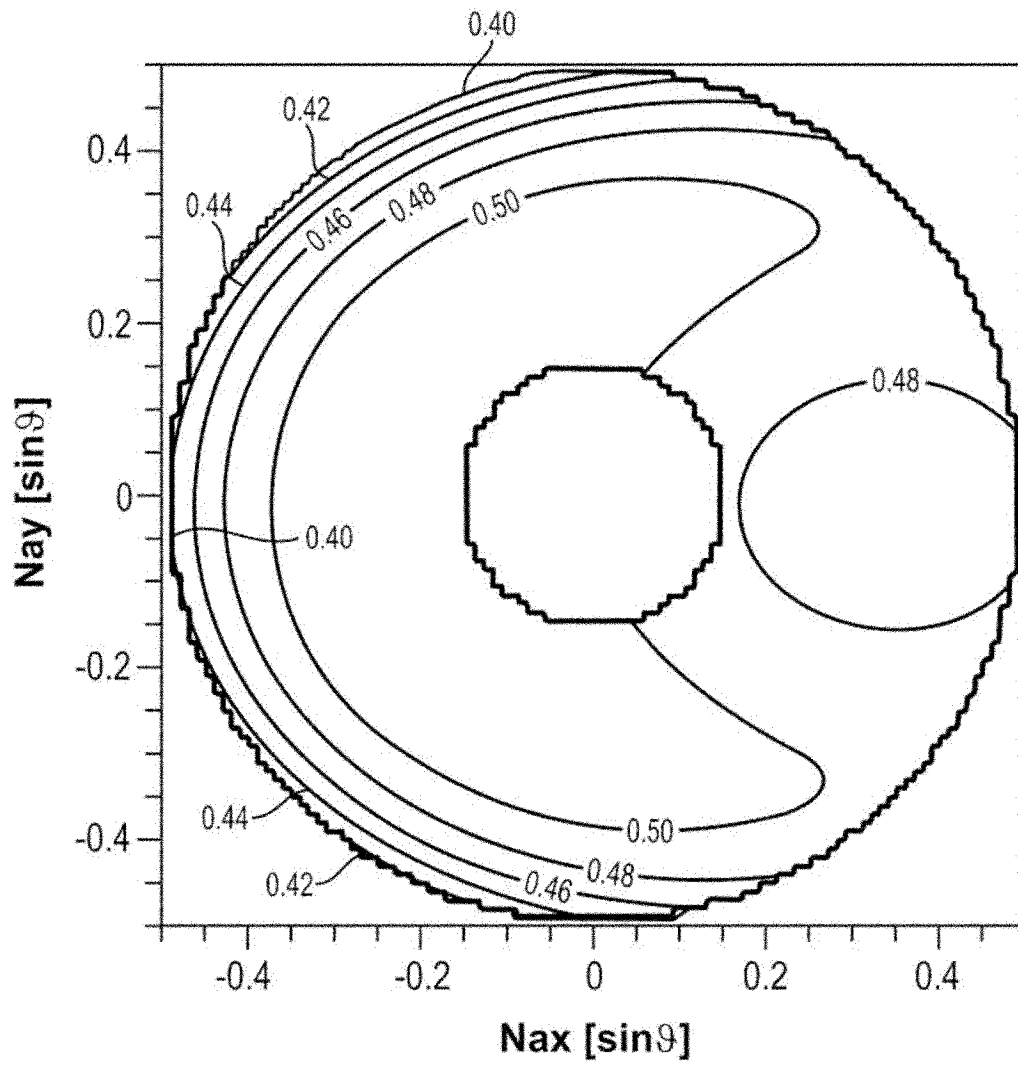


图 8b