



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101416117 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 05

(21) 申请号 200780012528. 9

(22) 申请日 2007. 01. 05

(30) 优先权数据

60/793, 387 2006. 04. 07 US

PCT/EP2006/008869 2006. 09. 12 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2008. 10. 07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2007/000068 2007. 01. 05

(87) PCT国际申请的公布数据

W02007/115597 EN 2007. 10. 18

(73) 专利权人 卡尔蔡司 SMT 有限责任公司

地址 德国上科亨

(72) 发明人 H-J·曼 W·乌尔里希

(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.

G03F 7/20 (2006. 01)

(56) 对比文件

EP 0779528 B1, 2006. 01. 11, 说明书第
18-21 段、表 2、2A、附图 2.

US 2003/0147131 A1, 2003. 08. 07, 说明书第
38, 67-70 段、附图 5.

EP 0779528 B1, 2006. 01. 11, 说明书第
18-21 段、表 2、2A、附图 2.

EP 1335229 A1, 2003. 08. 13, 全文.

EP 1450209 A1, 2004. 08. 25, 全文.

EP 1376191 A1, 2004. 01. 02, 全文.

EP 1450196 A1, 2004. 08. 25, 说明书第
31, 40-41, 57 段、附图 2、表 3, 4.

US 4650292, 1987. 03. 17, 全文.

US 5071240, 1991. 12. 10, 全文.

审查员 胡颀

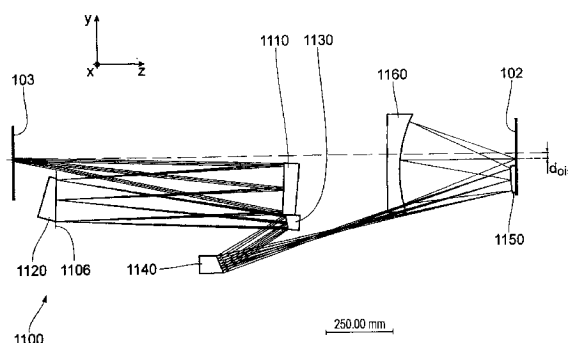
权利要求书2页 说明书24页 附图11页

(54) 发明名称

微光刻投影光学系统、工具及其制造方法

(57) 摘要

一种微光刻投影光学系统 (1100) 包括多个光学元件 (1110、1120、1130、1140、1150、1160), 这些元件设置为将具有波长 λ 的辐射从物平面 (103) 中的物场成像到像平面 (102) 中的像场。该多个光学元件 (1110、1120、1130、1140、1150、1160) 具有位于距物平面大于 2.8m 的入瞳。穿过该光学系统的辐射路径由具有相对于物平面的法线成 3° 或更大夹角的主光线表征。这尤其适宜使用相移掩模作为所要成像的物体, 尤其适用于 EUV 波长。



1. 一种微光刻投影光学系统：

- 包括多个光学元件，该光学元件设立为将来自物平面中的物场的波长为入的辐射成像到像平面中的像场，

- 该光学系统具有位于距物平面大于 2.8m 的入瞳，

- 其中该光学系统的辐射路径具有与物平面处的法线成 3° 或更大夹角的主光线，

该光学系统在物平面处为远心的，

该多个元件包括两个元件，所述两个元件是位于辐射路径中的具有非旋转对称表面的反射元件。

2. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该主光线与物平面处的法线成 4° 或更大的夹角。

3. 根据权利要求 1 所述的光学系统，包括位于物场中的将要成像的反射物体。

4. 根据权利要求 1 所述的光学系统，具有反射投影物镜。

5. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该非旋转对称表面在一个或多个位置与最佳拟合旋转对称表面偏离入或更大。

6. 根据权利要求 5 所述的光学系统，其中该最佳拟合非旋转对称表面相对于对应于以下等式的表面偏离 0.1 λ 或更小：

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^a C_j X^m Y^n$$

其中

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1,$$

Z 为平行于 Z 轴的表面的垂度，c 为顶点曲率，

X、Y 为彼此垂直且垂直于 Z 轴的坐标；

r 为距 Z 轴的距离， $r^2 = X^2 + Y^2$ ，并且 k 为圆锥常数，Cj 为单项式 $X^m Y^n$ 的系数，m、n 为 0 或正整数，并且 a 为整数。

7. 根据权利要求 5 所述的光学系统，其中该非旋转对称表面在一个或多个位置与最佳拟合旋转对称表面偏离 10 λ 或更大。

8. 根据权利要求 5 所述的光学系统，其中该非旋转对称表面在一个或多个位置与最佳拟合旋转对称表面偏离 20nm 或更大。

9. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该多个元件限定了子午平面并且这些元件相对于该子午平面镜像对称。

10. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该多个元件中的不超过两个具有正主光线角放大率。

11. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该多个元件中的不超过一个具有正主光线角放大率。

12. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该微光刻投影光学系统具有 0.2 或更大的像侧数值孔径。

13. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中该光学系统具有位于像平面的矩形场，其中

该矩形场在所述像平面中的每个正交方向上的最小尺寸为 1mm 或更大。

14. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中在所述像场处的静畸变为 10nm 或更小。

15. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中在所述像场处的波前误差为 $\lambda/14$ 或更小。

16. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中在所述物平面处各主光线在 0.05° 范围内相互平行。

17. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中该多个元件在像平面处为远心的。

18. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中由主光线表征穿过该光学系统的辐射路径,并且对于该光学系统的子午切面而言,中心场点的主光线在每个所述元件的表面上具有 θ 度的最大入射角,该光学系统具有大于 0.3 的像侧数值孔径 NA,并且比值 θ/NA 小于 68° 。

19. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中该光学系统具有 75mm 或更小的物-像偏移。

20. 根据权利要求 1 所述的光学系统,还包括配置为向物平面提供波长为 λ 的辐射的辐射源。

21. 根据权利要求 20 所述的光学系统,还包括照明系统,该照明系统包括设置为将来自所述辐射源的辐射引导到位于所述物平面的物体的一个或多个元件,其中该照明系统包括位于对应于该光学系统入瞳的位置的元件。

22. 一种微光刻工具,包括:

根据权利要求 21 所述的光学系统;

第一可移动台,其配置为将分划板定位在所述物平面处,使得该光学系统将该分划板成像到像平面;以及

第二可移动台,其配置为将物品定位在所述像平面处,使得所述分划板的像位于该物品的表面处。

23. 一种用于微光刻制造微结构部件的方法,包括以下步骤:

- 提供具有至少一层辐射敏感材料的衬底,
- 提供具有所要投影的结构掩模,
- 提供根据权利要求 22 所述的微光刻工具,
- 使用该微光刻工具在所述层的一个区域上投影所述掩模的至少一部分。

24. 一种利用根据权利要求 23 所述的方法制造的微结构部件。

微光刻投影光学系统、工具及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微光刻投影 (microlithography projection) 光学系统, 尤其涉及一种投影物镜、一种包括这种光学系统的微光刻工具、一种使用该微光刻工具来微光刻制造微结构部件的方法以及由该方法制造的微结构部件。

背景技术

[0002] 投影物镜广泛用于微光刻术中, 通过在衬底上设置的光敏材料层上形成分划板的图像, 将图案从分划板转印到衬底上。一般而言, 投影物镜分成三种不同的种类: 折射物镜; 反射物镜; 以及折射和反射物镜。折射物镜使用折射元件 (例如透镜元件) 以将光从物平面成像到像平面。反射物镜使用反射元件 (例如反射镜元件) 以将光从物平面成像到像平面。折射和反射物镜既使用折射元件也使用反射元件以将光从物平面成像到像平面。

[0003] 从 T. Jewell 发表在 Proc. SPIE 2437 (1995) 上的 “Optical system design issues in development of projection camera for EUV lithography” 中获知了物镜, 尤其是用于投影系统中的物镜。从 EP0730169A、EP0730179A、EP0730180A、EP0790513A、US5063586A、US6577443A、US6660552A 和 US6710917A 获知了其它物镜。

发明内容

[0004] 本发明的目的是改善微光刻投影光学系统就所要成像的不同类型的掩模或分划板而言的灵活性。

[0005] 通过具有权利要求 1 的特征的光学系统实现上述目的。

[0006] 根据本发明并且由于光学系统的入瞳位于相距物平面大于 2.8m 的位置, 在物平面处的主光线基本上相互平行。在分划板处主光线方向的一致性能减少或避免分划板处阴影效应的区域依赖性。这些效应能够导致不想要的投影物镜成像属性的区域依赖性, 例如分辨率限制。因此, 主光线方向的一致性能减少这些区域依赖成像属性, 从而提供在该区域上具有改善的均匀性的图像。此外, 主光线基本上相互平行并且平行于物平面的法线, 从而允许使用相移掩模, 特别是将要被 EUV 波长成像的相移掩模。物平面的法线与主光线之间的夹角为 3° 或更大使得一方面照明光线路径分离并且另一方面使得投影光线路径分离。这有助于使用反射物镜来成像。

[0007] 一般而言, 光学系统的像平面平行于物平面。投影物镜可以包括四个或更多或者六个或更多的反射元件。投影物镜可以包括三个、四个、五个或六个元件, 它们是具有位于辐射路径中的非旋转对称表面的反射元件。该光学系统可以在像平面具有一个最小曲率半径为 300mm 的区域。对于光学系统的子午切面而言, 主光线在每个元件的表面上可以具有小于 20° 、小于 18° 或者小于 15° 的最大入射角。由于其在物侧的远心性, 该光学系统具有位于无限远的入瞳。成像辐射可以从位于物平面的物镜反射。该物镜可以是相移掩模。一般而言, 位于物平面的物镜是分划板, 其被多个元件成像到像平面。该光学系统可以具有 4X 的缩小率。将该多个元件设置为将辐射成像到物平面与像平面之间的中间像平面。在

这种情况下,可以提供场阑,将其放置在中间像平面处或其附近。投影物镜可以包括五个元件,并且中间像平面可以位于沿着从物平面到像平面的辐射路径的第四元件和第五元件之间。物体与像平面可以分开约 1m 或更大的距离 L 。从物平面到像平面的辐射光路长度可以约为 $2L$ 、 $3L$ 、 $4L$ 或者更大。投影物镜可以包括位于辐射路径中的至少一对相邻元件,其中该对相邻元件分开约 $0.5L$ 或更大。有利的是,该多个元件中没有任何一个元件会造成对像平面处出瞳的遮挡。该多个元件可以包括四个或更多的元件,它们具有约 25mm 或更小的干舷 (free boards)。该四个或更多的元件可以具有约 5mm 或更大的干舷。该多个元件可以包括第一反射镜和第二反射镜,该第一和第二反射镜分别具有距物平面为 d_1 和 d_2 的最小距离,其中 d_1/d_2 约为 2 或更大,或者其中 d_1/d_2 小于 2。该多个元件可以包括位于从物平面到像平面的辐射路径中的第一元件,其中第一元件具有正光焦度。光学系统可以包括位于物平面与像平面之间的孔径光阑。光学系统的多个元件可以包括三个元件,并且该孔径光阑可以位于沿着从物平面到像平面的辐射路径的第二与第三元件之间。可选的是,该孔径光阑可以位于第二元件处或第三元件处,或者投影透镜中的某些其它位置,例如第一与第二元件之间。辐射可以一次或两次穿过该孔径光阑。与根据本发明的光学系统一起使用的辐射源可以是具有约 300nm 或更小、200nm 或更小、100nm 或更小的波长的激光辐射源。

[0008] 在根据权利要求 2 的远心光学系统中,物平面处的主光线在一定偏离界限内相互平行。例如,该主光线能够在物平面处以约 0.5° 或更小 (例如约 0.4° 或更小、约 0.3° 或更小、约 0.2° 或更小、约 0.1° 或更小、约 0.05° 或更小、 0.01° 或更小) 之内相互平行。

[0009] 根据权利要求 3 的与物平面法线所成的主夹角提供了照射与投影光线路径之间的良好分离。该角度越大,在给定距离处可能出现更大的分离。有利的是,主光线与物平面法线之间的夹角为 5° 或更大或者 7° 或更大。

[0010] 根据权利要求 4 的反射物镜,尤其是相移掩模有利地充分开发了该光学系统的可用性。

[0011] 根据权利要求 5,根据本发明的投影物镜是反射投影物镜。这种投影物镜具有专有的反射部件,其能够与超短波长一起使用,尤其是与低于 30nm 的 EUV 波长一起使用。

[0012] 在以下的说明书中,根据本发明的非旋转对称表面还称作自由形状表面。与球面或者非球面反射镜不同,自由形状表面不具有旋转对称轴。根据本发明的自由形状表面与用于 EUV 投影物镜的已知非球面旋转对称反射镜表面的不同之处在于,这种已知的非球面反射镜表面是通过数学泰勒展开式描述的,即具有由 n 阶旋转对称多项式给定的垂度。由公共光轴限定了针对所有这些多项式的项的这个泰勒展开式的中心点。这种展开式描述了已知的反射镜表面,这是因为该泰勒展开式易于计算,易于优化并且在制造这种反射镜表面方面现存很多经验。然而,本发明人认识到,具有公共中心的已知泰勒展开式导致了不能够降低到某种水平以下的不想要的畸变。当根据本发明将一个光学表面具体化为自由或者旋转非对称的表面时,便避免了旋转对称光学表面所固有的这种畸变局限性。在特殊的实施方式中,自由形状表面可以是镜面对称于光学系统的子午平面的表面。根据权利要求 6 的非旋转对称表面相对于最佳拟合旋转对称表面的偏差给出了消除较大像差值、尤其是照射辐射的几个波长数量级的像差的可能性。

[0013] 根据权利要求 7 的自由形状表面的数学展开式使得可以良好并可再现地制造该反射表面。在这个展开式中, α 可以是 66。此外, m 可以包括偶数。而且, $m+n$ 可以等于或

者大于 10。

[0014] 根据权利要求 8 或 9 的偏差可以将物镜畸变适当减小到使用旋转对称光学表面可以达到的极限以下。非旋转对称表面可以在一个或多个位置与最优对称表面偏差大约 50nm 或更大、约 100nm 或更大、约 500nm 或更大或者约 1000nm 或更大。

[0015] 根据权利要求 10 的反射镜对称光学表面降低了对于制造自由光学表面的要求。

[0016] 根据权利要求 11 的具有光学表面的两个反射元件产生更佳像差最小化的可能性并且给出了达到该像差最小化要求同时使自由形状表面更容易制造的可能性。该光学系统还可以具有三个、四个、五个或者六个自由元件。

[0017] 根据权利要求 12 的具有不超过两个反射元件以及正主光线角放大率的光学系统在反射镜上具有较小的入射光线角,由此在开始时产生较低的像差。这种情况尤其是利用根据权利要求 13 的仅包括一个具有正主光线角放大率的反射元件的光学系统时成立,特别是对于具有至少一个中间图像的系统而言。

[0018] 根据权利要求 14 的光学系统的数值孔径可以获得高分辨率。像侧数值孔径可以高达 0.25、0.28、0.3、0.35、0.4 或更大。

[0019] 根据权利要求 15 的像场尺寸使得能够将该光学系统有效用于微光刻投影装置中。矩形场可以具有约 2mm 的最小尺寸并且可以具有约 1mm 或更大的第一尺寸以及约 1mm 或更大的第二尺寸,其中第一和第二尺寸是正交的并且是在像平面中测得的。该第二尺寸可以约为 10mm 或更大或者约 20mm 或更大。

[0020] 根据权利要求 16 的畸变以及根据权利要求 17 的波前误差使得投影质量仅可能受到衍射的限制,即受到投影光波长的限制。具有这样低畸变的光学系统尤其是为使用范围在 10 到 30nm 的 EUV 光源而优化的。

[0021] 在根据权利要求 18 的低界限内,平行主光线使得在物平面具有高质量的远心光学系统。

[0022] 根据权利要求 19 的远心光学系统由于设置在像平面中的非平面晶片表面特征而容许衬底的高度变化,或者允许像平面的散焦而放大率没有任何变化。

[0023] 根据权利要求 20 的光学系统产生非常高的分辨率。比值 θ/NA 可以约为 60 或更小或者 50 或更小。

[0024] 根据权利要求 17 的具有约 75mm 或更小的物-像偏移的光学系统产生了体积小光学系统光学设计。该物-像偏移可以约为 50mm 或更小或者约 25mm 或更小。在零物-像偏移的情况下,该光学系统能够围绕与物场和像场中的中心场点相交的轴旋转,而没有中心场点位移。这在所使用的度量和测试工具需要光学系统旋转的情况下是特别有利的。

[0025] 根据权利要求 22 的具有辐射光源的光学系统通过利用至少一个自由形状表面有利地获得了像差最小化,同样可以减少该辐射光源波长范围内的像差和畸变。优选的是,该波长在约 10nm 到约 15nm 的范围内。

[0026] 根据权利要求 23 的光学系统和根据权利要求 24 和 25 的微光刻工具的优点对应于以上关于根据权利要求 1 到 22 的光学系统所述的优点。对于有关根据权利要求 26 的制造方法和有关根据权利要求 27 的部件同样成立。此外,实施方式能够包括以下优点中的一个或多个。例如,实施例包括在像平面为远心的反射投影物镜。这样能够在像侧工作距离范围上提供恒定的或者几乎恒定的图像放大率。

[0027] 在某些实施例中,反射投影物镜具有极高的分辨率。例如,投影透镜能够具有分辨小于约 50nm 的结构的能力。具有针对以短波长(例如约 10nm 到约 30nm)工作而设计的高像侧数值孔径的投影物镜能够实现高分辨率。

[0028] 投影物镜能够提供具有低像差的图像。在某些实施例中,针对大约 $30\text{m}\lambda$ 或更小的波前误差校正投影物镜。在某些实施例中,针对大约 2nm 或更小的值以下的畸变校正投影物镜。

[0029] 实施例包括具有高数值孔径并且提供具有低图像畸变、低波前误差和在较大像场上具有位于像平面的远心性的成像的反射物镜。利用一个或多个自由形状反射镜能够实现这些特征。

[0030] 在一些实施例中,不论投影物镜是否围绕旋转轴旋转都能够容易地实现投影物镜度量。例如,投影物镜的实施例(例如高 NA 投影物镜)可以具有较小或者零物-像偏移,这样当该投影物镜围绕该轴旋转时会产生很小的中心场点位移或者没有位移。因此,当使该投影物镜旋转时,在相同场位置能够可重复地实施度量,而无需重新定位该场位置。

[0031] 实施例还包括根本不具有场依赖光阑遮蔽或者中心光阑遮蔽的反射投影物镜。

[0032] 投影物镜的实施例能够适用于在各种不同波长下工作,包括可见和紫外(UV)波长。实施例能够适用于在远紫外(EUV)波长下工作。此外,实施例能够适用于在不只一个波长下工作,或者在一定范围波长工作。

[0033] 反射投影物镜的实施例能够用于光刻工具(例如光刻扫描仪)中,并且能够提供较低的过扫描。例如,利用具有矩形像场的投影物镜实现低过扫描。在这些实施例中,能够对准图像,使得矩形场的边缘平行于模片(die)位置的铅框(leading)边缘,从而无需扫描位于像场边缘之上的模片位置的铅框边缘,以便扫描该位置的角落,当相对于弓形场扫描矩形或方形模片位置时通常是这种情况。

[0034] 实施例包括具有较高产量的光刻工具。例如,具有较低过扫描的实施例比具有较大过扫描的同等系统更有效。因此,这些低过扫描系统能够比同等的系统提供更高的晶片产量。

[0035] 在一些实施例中,提供具有低阴影效应场相关性或不具有阴影效应场相关性的反射投影物镜。例如,反射投影物镜能够具有与物平面距离很远的入瞳(例如无限远),从而在物场上提供均匀的主光线照射角度。这能够减少或避免在物场上的主光线角度变化时出现的场相关阴影效应。此外或可选的是,投影物镜能够具有较小值的主光线入射角和/或投影物镜中每个反射镜的子午切面中很小的光线入射角变化,从而提高了每个反射镜的平均反射率。

[0036] 根据说明书、附图和权利要求书理解其它特征和优点。

[0037] 可以将权利要求或从属权利要求的所有或选择的特征组合以形成特别有利的实施例。

附图说明

[0038] 图 1 是微光刻工具的实施例的示意图;

[0039] 图 2 是表示图 1 所示的微光刻工具的一部分的示意图;

[0040] 图 3 是在子午切面中显示的投影物镜的反射镜的一部分的横截面图;

- [0041] 图 4 是具有正主光线角放大率的反射镜处光线路径的示意图；
- [0042] 图 5 是具有负主光线角放大率的反射镜处光线路径的示意图；
- [0043] 图 6A 是反射镜覆盖区的视图；
- [0044] 图 6B 是图 6A 所示的反射镜的横截面图；
- [0045] 图 7A 是环形段场 (ring segment field) 的实施例的平面图；
- [0046] 图 7B 是相对于一对晶片模片 (wafer die) 位置的环形段场的平面图；
- [0047] 图 7C 是相对于一对晶片模片位置的矩形场的平面图；
- [0048] 图 8 是图 1 所示的微光刻工具的实施例的投影物镜的示意图；
- [0049] 图 9 是以子午切面表示的投影物镜的部件的横截面图；
- [0050] 图 10 是以子午切面表示的投影物镜的横截面图；
- [0051] 图 11 是以子午切面表示的投影物镜的横截面图；
- [0052] 图 12 是以子午切面表示的投影物镜的横截面图；
- [0053] 图 13 是包括图 12 所示投影物镜的光学系统的横截面图。

具体实施方式

[0054] 在一个方面中，本发明书涉及具有一个或多个反射镜的反射投影物镜，该一个或多个反射镜具有自由形状反射镜表面（称作自由形状反射镜）。具有自由形状反射镜的反射投影物镜能够用于微光刻工具中。参照图 1，微光刻工具 100 一般包括光源 110、照明系统 120、投影物镜 101 和台 130。示出了笛卡尔坐标系以便参考。光源 110 生成 λ 波长的辐射并且将该辐射的光束 112 引导到照明系统 120。照明系统 120 与该辐射相互作用（例如扩展以及均匀化）并且将辐射的光束 122 引导到位于物平面 103 的分划板 140。

[0055] 投影物镜 101 将从分划板 140 反射的辐射 142 成像到位于像平面 102 的衬底 150 的表面上。将投影物镜 101 的像侧的辐射表示为光线 152。如图 1 所示，该光线仅仅是示例性的，无意精确表示辐射相对于例如分划板 140 的路径。衬底 150 受到台 130 的支撑，其将衬底 150 相对于投影物镜 101 移动，使得投影物镜 101 将分划板 140 成像到衬底 150 的不同部分。

[0056] 投影物镜 101 包括基准轴 105。在投影物镜相对于子午切面对称的实施例中，基准轴 105 垂直于物平面 103 并且其位于子午切面内。

[0057] 选择光源 110 以提供适合于工具 100 的工作波长 λ 的辐射。在一些实施例中，光源 110 是激光光源，例如 KrF 激光器（例如具有大约 248nm 的波长）或者 ArF 激光器（例如具有大约 193nm 的波长）。能够使用非激光器光源，其包括发光二极管 (LED)，例如发射电磁光谱的蓝色或者 UV 部分（例如大约 365nm、大约 280nm 或者大约 227nm）的辐射的 LED。

[0058] 通常，对于设计为在光刻工具中工作的投影物镜而言，波长 λ 在电磁光谱的紫外部分、远紫外部分或者极远紫外部分中。例如， λ 可以是大约 400nm 或更小（例如大约 300nm 或更小、大约 200nm 或更小、大约 100nm 或更小、大约 50nm 或更小、大约 30nm 或更小）。 λ 可以大于大约 2nm（例如大约 5nm 或更大、大约 10nm 或更大）。在实施例中， λ 可以是大约 193nm、大约 157nm、大约 13nm 或者大约 11nm。使用较短波长可能是希望的，这是因为一般而言，投影物镜的分辨率近似与波长成比例。因此，较短的波长能够使投影物镜与使用较长波长的同等投影物镜相比分辨图像中更小的特征。然而，在某些实施例中， λ 能

够在电磁光谱的非 UV 部分中（例如可见部分）。

[0059] 照明系统 120 包括设置为形成具有均匀强度分布的准直辐射光束的光学部件。照明系统 120 通常还包括光束控制光学器件，以将光束 122 引导到分划板 140。在一些实施例中，照明系统 120 还包括为辐射光束提供希望的偏振分布的部件。

[0060] 物平面 103 与像平面 102 分开距离 L，其还称作投影物镜 101 的纵向尺寸或者轨道长度。一般而言，该距离取决于投影物镜 101 的具体设计和工具 100 的工作波长。在一些实施例中，例如针对 EUV 光刻术设计的工具中，L 在约 1m 到约 3m 的范围内（例如在约 1.5m 到约 2.5m 的范围内）。在某些实施例中，L 小于 2m，例如大约 1.9m 或者更小（例如大约 1.8m 或更小、大约 1.7m 或更小、大约 1.6m 或更小、大约 1.5m 或更小）。L 能够大于约 0.2m 或者更大（例如大约 0.3m 或更大、大约 0.4m 或更大、大约 0.5m 或更大、大约 0.6m 或更大、大约 0.7m 或更大、大约 0.8m 或更大、大约 0.9m 或更大、大约 1m 或更大）。

[0061] 成像辐射的光路长度与所述轨道长度的比根据投影物镜 101 的具体设计变化。在一些实施例中，该光路长度与轨道长度的比能够比较大。例如，该光路长度与轨道长度的比例能够为大约 2 或更大（例如大约 2.5 或更大、大约 3 或更大、大约 3.5 或更大、大约 4 或更大、大约 4.5 或更大、大约 5 或更大）。

[0062] 投影物镜 101 具有放大比，这是指物平面 103 处的场的尺寸与像平面 102 处的场的相应尺寸的比。通常，用于光刻工具中的投影物镜是缩小投影物镜，这意味着它们减少图像的尺寸或者缩小图像。因此，在一些实施例中，投影物镜 101 能够在像平面 102 处生成场，其尺寸与物平面 103 处的尺寸相比减少了大约 2 倍或者更多（例如大约 3 倍或更大、大约 4 倍或更大、大约 5 倍或更大、大约 6 倍或更大、大约 7 倍或更大、大约 8 倍或更大、大约 9 倍或更大、大约 10 倍或更大）。换句话说，投影物镜 101 能够具有大约 2 倍或更大的缩小率（例如大约 3 倍或更大、大约 4 倍或更大、大约 5 倍或更大、大约 6 倍或更大、大约 7 倍或更大、大约 8 倍或更大、大约 9 倍或更大、大约 10 倍或更大）。然而，更一般的是，投影物镜能设计为提供放大图像或者与物体相同尺寸的图像。

[0063] 还参照图 2，光线 152 限定了在像平面 102 处形成分划板图像的光路锥体。该光线锥体的角度与投影物镜 101 的像侧数值孔径 (NA) 相关。像侧 NA 能够表示为

$$[0064] \quad NA = n_0 \sin \theta_{\max},$$

[0065] 其中 n_0 是指与衬底 150 的表面相邻的沉浸媒质的折射率（例如空气、氮气、水或者真空环境）， $\theta_{\max}$ 是来自投影物镜 101 的成像光线的最大锥体的半角。

[0066] 一般而言，投影物镜 101 能够具有大约 0.1 或更大的像侧 NA（例如大约 0.15 或更大、大约 0.2 或更大、大约 0.25 或更大、大约 0.28 或更大、大约 0.3 或更大、大约 0.35 或更大）。在一些实施例中，投影物镜 101 具有较大的像侧 NA。例如，在一些实施例中，投影物镜 101 具有大于 0.4 的像侧 NA（例如，大约 0.45 或更大、大约 0.5 或更大、大约 0.55 或更大、大约 0.6 或更大）。一般而言，投影物镜 101 的分辨率根据波长 λ 和像侧 NA 变化。如果不希望被理论所束缚，能够根据波长和像侧 NA 依据以下公式来确定投影物镜的分辨率，

$$[0067] \quad R = k \frac{\lambda}{NA}$$

[0068] 其中 R 是能够印刷的最小尺寸，k 是称作程序因数的无量纲常数。k 根据与辐射（例如偏振属性）、照明属性（例如部分相干性、环形照明、偶极设置、四极设置等）和抗蚀

剂材料相关的各种因素而改变。通常, k 在大约 0.4 到大约 0.8 范围内, 但是针对某些用途还能在 0.4 以下以及高于 0.8。

[0069] 投影物镜 101 在像平面额定为远心的。例如, 在曝光场上的像平面处, 主光线能够相对于相互平行的位置偏离大约 0.5° 或更小 (例如大约 0.4° 或更小、大约 0.3° 或更小、大约 0.2° 或更小、大约 0.1° 或更小、大约 0.05° 或更小、 0.01° 或更小、 0.001° 或更小)。因此, 投影物镜 101 能够在图像尺寸的工作距离范围内提供基本上恒定的放大率。在一些实施例中, 主光线额定与像平面 102 垂直。因此, 晶片表面的非平面表面特征或者散焦不会必然导致图像平面中的畸变或者阴影效应。

[0070] 在某些实施例中, 投影物镜 101 具有较大的分辨率 (即 R 的值能够非常小)。例如, R 能够为大约 150nm 或更小 (例如, 大约 130nm 或更小、大约 100nm 或更小、大约 75nm 或更小、大约 50nm 或更小、大约 40nm 或更小、大约 35nm 或更小、大约 32nm 或更小、大约 30nm 或更小、大约 28nm 或更小、大约 25nm 或更小、大约 22nm 或更小、大约 20nm 或更小、大约 18nm 或更小、大约 17nm 或更小、大约 16nm 或更小、大约 15nm 或更小、大约 14nm 或更小、大约 13nm 或更小、大约 12nm 或更小、大约 11nm 或更小、例如大约 10nm)。

[0071] 投影物镜 101 所形成的图像的质量能够按照多种不同方式进行量化。例如, 能够根据测得或者算得的图像相对于与高斯光学器件相关的理想化条件的偏差来表征图像。这些偏差一般被认为是像差。用于量化波前与理想的或者希望的形状的偏差的一个衡量标准是方均根波前误差 (W_{rms})。 W_{rms} 在 Michael Bass (McGraw-Hill, Inc., 1995) 编辑的“Handbook of Optics” Vol. I, 第二版的第 35.3 页中进行了定义, 这里通过引用而引入本文。一般而言, 物镜的 W_{rms} 值越小, 波前与其希望或者理想的形状偏差越小, 并且图像质量越好。在某些实施例中, 投影物镜 101 对于像平面 102 处的图像能够具有较小的 W_{rms} 。例如, 投影物镜 101 能够具有大约 0.1λ 或者更小的 W_{rms} (例如, 大约 0.07λ 或更小、大约 0.06λ 或更小、大约 0.05λ 或更小、大约 0.045λ 或更小、大约 0.04λ 或更小、大约 0.035λ 或更小、大约 0.03λ 或更小、大约 0.025λ 或更小、大约 0.02λ 或更小、大约 0.015λ 或更小、大约 0.01λ 或更小, 例如大约 0.005λ)。

[0072] 能够用于评价图像质量的另一个衡量标准称作场弯曲 (field curvature)。场弯曲是指焦平面的与场点相关位置的峰谷距离。在一些实施例中, 投影物镜 101 对于像平面 102 处的图像而言能够具有较小的场弯曲。例如, 投影物镜 101 能够具有大约 50nm 或更小的像侧场弯曲 (例如, 大约 30nm 或更小、大约 20nm 或更小、大约 15nm 或更小、大约 12nm 或更小、10nm 或更小)。

[0073] 能够用于评价光学性能的又一个衡量标准称作畸变。畸变是指像平面中相对于理想点位置的与场点相关偏差的最大绝对值。在一些实施例中, 投影物镜 101 能够具有较小的最大畸变。例如, 投影物镜 101 能够具有大约 50nm 或更小的最大畸变 (例如, 大约 40nm 或更小、大约 30nm 或更小、大约 20nm 或更小、大约 15nm 或更小、大约 12nm 或更小、10nm 或更小、9nm 或更小、8nm 或更小、7nm 或更小、6nm 或更小、5nm 或更小、4nm 或更小、3nm 或更小、2nm 或更小, 例如 1nm)。

[0074] 此外, 在一些实施例中, 畸变能够在像场上改变较小的量。例如, 畸变能够在像场上改变大约 5nm 或更小 (例如, 大约 4nm 或更小、大约 3nm 或更小、大约 2nm 或更小、大约 1nm 或更小)。

[0075] 作为反射系统,投影系统 101 包括多个反射镜,这些反射镜设置为将从分划板 140 反射的辐射按照在衬底 150 的表面上形成分划板 140 的图像的方式引导到衬底 150。以下描述投影物镜的具体设计。然而,更一般的是,反射镜的数量、尺寸和结构一般取决于投影物镜 101 的希望的光学属性和工具 100 的物理限制。

[0076] 一般而言,投影物镜 101 中反射镜的数量可以改变。通常,反射镜的数量涉及与物镜光学性能特性相关的各种性能的平衡,例如希望的产量(例如来自在像平面 102 形成图像的物体的辐射强度)、希望的像侧 NA 和相关的图像分辨率,以及希望的最大光瞳遮蔽。

[0077] 一般而言,投影物镜 101 具有至少四个反射镜(例如五个或更多个反射镜、六个或更多个反射镜、七个或更多个反射镜、八个或更多个反射镜、九个或更多个反射镜、十个或更多个反射镜、十一个或更多个反射镜、十二个或更多个反射镜)。在希望物镜的所有反射镜均位于物平面和像平面之间的实施例中,物镜 101 通常具有偶数个反射镜(例如四个反射镜、六个反射镜、八个反射镜、十个反射镜)。在某些实施例中,如果投影物镜的所有反射镜均位于物平面和像平面之间,则能够使用奇数个反射镜。例如,如果一个或多个反射镜以较大角度倾斜,当所有反射镜均位于物平面与像平面之间时,投影物镜能够包括奇数个反射镜。

[0078] 一般而言,投影物镜 101 中至少一个反射镜具有自由形状表面。与球面或者非球面反射镜不同,自由形状反射镜表面不具有旋转对称轴。一般,自由形状表面偏离最拟合的旋转对称表面(例如球面或者非球面表面)。如下,能够为自由形状反射镜表面确定旋转对称基准表面。首先,获得表征所考虑的自由形状反射镜表面的信息。在已知反射镜的光学数据的实施例中,该信息包括确定反射镜的基本半径(例如 $1/c$, 其中 c 是顶点曲率)、反射镜的二次曲线常数 k 和表征反射镜的多项式系数。此外或可选的是,能够通过反射镜表面的表面外形测量来获得表征反射镜的信息(例如使用干涉计获得)。表面形状测量能够提供描述反射镜表面的函数 $z'(x', y')$, 其中 z' 是沿着 z' 轴的反射镜表面在不同 (x', y') 坐标处的垂度,如图 2B 所示。初始步骤还包括确定反射镜的覆盖区,这是指物镜中实际用于反射成像辐射的反射镜表面的区域。通过使用光线跟踪程序跟踪穿过该物镜的光线并且提取该光线接触的反射镜区域,能够确定该覆盖区。

[0079] 在获得表征非旋转对称表面的信息之后,建立该表面的局部坐标系,对于该坐标系而言,所述表面的不共心性和倾斜为零。该表面的倾斜和不共心性的设定为优化算法给出了明确的开始点,以确定基准表面并且还确定了轴 z' , 沿着该轴能够确定反射镜表面与基准表面之间的垂度差。如果已知反射镜表面的光学数据,则根据二次曲线常数 k 和基本半径 $1/c$ 来确定 z' 轴。对于光学数据的旋转对称部分而言,该 z' 轴是非旋转对称表面的旋转对称部分的对称轴。

[0080] 在由表面形状测量数据表征反射镜表面的实施例中,该 z' 轴对应于度量轴(例如干涉计光轴)。图 2B 表示了旋转非对称反射镜 201 的二维部分的情况,其中由 x' 、 y' 和 z' 轴表示局部坐标系。对于图 2B 中所示的横截面图,将旋转非对称反射镜 201 的覆盖区的边界表示为 $x_{\min}$ 和 $x_{\max}$ 。

[0081] 然后相对于该坐标系建立初始基准表面。该初始基准表面具有零倾斜和零不共心性。该初始基准表面是球面表面或者旋转对称非球面表面。通过指定与旋转非对称反射镜表面近似的旋转对称表面来建立该初始基准表面。该初始基准表面表示优化算法的开始

点。一旦建立了该初始基准表面,则确定沿着局部坐标系的 z' 轴测得的初始基准表面的多个点与该非旋转对称表面覆盖区表面上的点之间的局部距离 $b_i (i = 1 \dots N)$ 。接着,通过使用若干拟合参数和拟合算法确定局部距离 (d_i) 的最小值来建立该旋转对称基准表面(图 2B 中的表面 211)。在旋转对称基准表面是球面表面的情况下,这些参数包括球体中心在局部坐标系内的位置、基准表面的半径。在图 2B 中,由坐标 x_c 和 z_c 表示球体中心与坐标系原点的偏离(图 2B 中未示出沿着 y' 轴偏离量 y_c)。球面表面的半径表示为 R 。根据以下等式对参数 R 、 x_c 、 y_c 和 z_c 进行优化以提供局部距离的最小值 d_i :

$$[0082] \quad z' = (R^2 - (x' - x_c)^2 - (y' - y_c)^2)^{1/2} - z_c,$$

[0083] 上式是半径为 R 的球面表面且中心在坐标 (x_c, y_c, z_c) 处的情况下的等式。

[0084] 如果该旋转对称基准表面是非球面表面,则这些参数包括基准表面的不共心性和倾斜、基本半径、二次曲线常数和球面系数。根据以下等式能够确定这些参数:

$$[0085] \quad z' = \frac{c'h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k')c'^2 h^2}} + \sum_j A'_j h^{2j}$$

[0086] 上式为描述圆锥和非球面表面的等式。此处, $h^2 = x'^2 + y'^2$, 并且 A'_j 是表征旋转对称基准表面与圆锥表面的偏离的系数。一般,用于将基准表面拟合到反射镜表面的非球面系数 A'_j 的数量能够根据用于计算该表面的系统的计算能力、可用时间以及希望的精确度而变化。在一些实施例中,能够使用达到三次项的非球面系数来计算基准表面。在某些实施例中,使用大于三次项的系数(例如四次、六次)。对于有关圆锥和非球面表面的参数确定的其它讨论参见例如可从 Optical Research Associates (Pasadena, CA) 获得的 Code V 的产品手册。

[0087] 一般,能够使用多种优化算法进行拟合。例如,在一些实施例中,能够使用最小二乘拟合算法,例如阻尼最小二乘拟合算法。可以使用市场上可以买到的光学设计软件来完成阻尼最小二乘算法,例如 Code V 或者 ZEMAX (可以从 Optima Research, Ltd., Stansted, United Kingdom 买到)。

[0088] 在确定了旋转对称基准表面之后,能够确定反射镜表面上的其它点之间的局部距离并将之可视化。能够确定旋转对称基准表面的其它特性。例如,能够确定旋转对称基准表面与旋转非对称反射镜表面之间的最大偏差。

[0089] 例如,自由形状表面能够具有大约 λ 或更大的相对于最佳拟合球面的最大偏差(例如,大约 10λ 或更大、大约 20λ 或更大、大约 50λ 或更大、大约 100λ 或更大、大约 150λ 或更大、大约 200λ 或更大、大约 500λ 或更大、大约 1000λ 或更大、大约 10000λ 或更大、大约 50000λ 或更大)。自由形状表面能够具有大约 λ 或更大的相对于最佳拟合旋转对称球面的最大偏差(例如大约 5λ 或更大、大约 10λ 或更大、大约 20λ 或更大、大约 50λ 或更大、大约 100λ 或更大、大约 200λ 或更大、大约 500λ 或更大、大约 1000λ 或更大、大约 10000λ 或更大)。在一些实施例中,自由形状表面能够具有大约 1000λ 或更小的相对于最佳拟合旋转对称球面的最大偏差(例如,大约 900λ 或更小、大约 800λ 或更小、大约 700λ 或更小、大约 600λ 或更小、大约 500λ 或更小)。

[0090] 在某些实施例中,自由形状表面具有 10nm 或更大的相对于最佳拟合球面的最大偏差(例如,大约 100nm 或更大、大约 500nm 或更大、大约 $1\mu\text{m}$ 或更大、大约 $5\mu\text{m}$ 或更大、大约 $10\mu\text{m}$ 或更大、大约 $50\mu\text{m}$ 或更大、大约 $100\mu\text{m}$ 或更大、大约 $200\mu\text{m}$ 或更大、大约 $500\mu\text{m}$ 或更大)。

或更大、大约 1000 μm 或更大、大约 2000 μm 或更大、大约 3000 μm 或更大)。自由形状表面能够具有大约 10mm 或更小的相对于最佳拟合球面的最大偏差（例如，大约 5mm 或更小、大约 3mm 或更小、大约 2mm 或更小、大约 1mm 或更小、大约 500 μm 或更小）。

[0091] 自由形状表面能够具有 10nm 或更大的相对于最佳拟合旋转对称非球面的最大偏差（例如，大约 100nm 或更大、大约 500nm 或更大、大约 1 μm 或更大、大约 5 μm 或更大、大约 10 μm 或更大、大约 50 μm 或更大、大约 100 μm 或更大、大约 200 μm 或更大、大约 500 μm 或更大、大约 1000 μm 或更大）。自由形状表面能够具有 10mm 或更小的相对于最佳拟合旋转对称非球面的最大偏差（例如，大约 5mm 或更小、大约 3mm 或更小、大约 2mm 或更小、大约 1mm 或更小、大约 500 μm 或更小）。

[0092] 由第一和第二平均主曲率来表征反射镜表面的曲率，该第一和第二平均主曲率是在每个反射镜表面上的反射中心场点的主光线的点处确定的。如 I. N. Bronstein 等人的 Handbook of Mathematics (第四版, Springer, 2004) 的第 567 页所述计算第一和第二平均主曲率。一般而言，反射镜的第一主曲率不同于该反射镜的第二主曲率。在一些实施例中，第一与第二主曲率之间的差的绝对值能够为大约 10^{-8} 或更大（例如， 10^{-7} 或更大、 5×10^{-7} 或更大、大约 10^{-6} 或更大、大约 5×10^{-6} 或更大、大约 10^{-5} 或更大、大约 5×10^{-5} 或更大、大约 10^{-4} 或更大、大约 5×10^{-4} 或更大、大约 10^{-3} 或更大）。

[0093] 一般而言，第一和 / 或第二主曲率能够为正的或负的。反射镜表面的第一和 / 或第二主曲率能够比较小。例如，在一些实施例中，投影物镜 101 中的一个或多个反射镜的第一主曲率的绝对值为大约 10^{-2} 或更小（例如，大约 5×10^{-3} 或更小、大约 3×10^{-3} 或更小、大约 2×10^{-3} 或更小、大约 10^{-3} 或更小）。投影物镜 101 中的各个反射镜的第一主曲率的和的绝对值能够为大约 10^{-3} 或更小（例如，大约 5×10^{-4} 或更小、大约 3×10^{-4} 、大约 2×10^{-4} 或更小、大约 10^{-4} 或更小、 5×10^{-5} 或更小、 10^{-5} 或更小）。

[0094] 在某些实施例中，投影物镜 101 中的一个或多个反射镜的第二主曲率的绝对值为大约 10^{-2} 或更小（例如，大约 5×10^{-3} 或更小、大约 3×10^{-3} 或更小、大约 2×10^{-3} 或更小、大约 10^{-3} 或更小）。投影物镜 101 中的各个反射镜的第二主曲率的和的绝对值能够为大约 10^{-3} 或更小（例如，大约 5×10^{-4} 或更小、大约 3×10^{-4} 、大约 2×10^{-4} 或更小、大约 10^{-4} 或更小、 5×10^{-5} 或更小、 10^{-5} 或更小）。

[0095] 投影物镜 101 中各反射镜的第一和第二主曲率的和能够比较小。例如，所述各反射镜的第一和第二主曲率的和的绝对值能够为大约 10^{-3} 或更小（例如，大约 5×10^{-4} 或更小、大约 3×10^{-4} 、大约 2×10^{-4} 或更小、大约 10^{-4} 或更小、 5×10^{-5} 或更小、 10^{-5} 或更小）。

[0096] 在某些实施例中，能够由以下等式在数学上表述自由形状反射镜表面：

$$[0097] \quad Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n$$

[0098] 其中

$$[0099] \quad j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

[0100] 并且 Z 为平行于 Z 轴的表面的垂度（其可以平行或不平行于投影物镜 101 的基准轴 105，即一般而言其为相对于投影物镜 101 中的基准轴 105 偏离并且倾斜的），c 为对应于顶点曲率的常数，k 为二次曲线常数，并且 C_j 为单项式 $X^m Y^n$ 的系数。通常，根据该反射镜

相对于投影物镜 101 的希望的光学属性确定 c 、 k 和 C_j 的值。此外, 单项式 $m+n$ 的次数可以根据需要改变。一般, 更高次的单项式能够提供具有更高像差校正水平的投影物镜设计, 然而, 确定更高次的单项式通常在计算上更复杂。在一些实施例中, $m+n$ 为 10 或更大 (例如 15 或更大、20 或更大)。如下所述, 能够使用市场上可以买到的光学设计软件来确定自由形状反射镜等式的参数。在一些实施例中, $m+n$ 小于 10 (例如 9 或更小、8 或更小、7 或更小、6 或更小、5 或更小、4 或更小、3 或更小)。

[0101] 一般而言, 能够使用不同于上述等式的等式来从数学上表述自由形状表面。例如, 在一些实施例中, 能够使用泽尔尼克多项式 (例如在市场上可以从 Optical Research Associates, Pasadena, CA 买到的 CODE V 的手册中所述的) 或者使用二维样条表面来数学地表述自由形状表面。二维样条表面的示例是贝塞尔样条或非均匀有理贝塞尔样条 (rational Beziersplines) (NURBS)。例如, 能够由 x - y 平面中的点的栅格以及相应的 z 值或者斜率和这些点来表述二维样条表面。根据样条表面的具体类型, 使用例如具有某些有关连续性或者可微性的属性的多项式或者函数 (例如解析函数), 由栅格点之间的具体内插来获得完整的表面。

[0102] 一般而言, 投影物镜 101 中的自由形状反射镜的数量和位置是可变的。实施例包括具有两个或多个自由形状反射镜的投影物镜 (例如, 三个或更多的自由形状反射镜、四个或更多的自由形状反射镜、五个或更多的自由形状反射镜、六个或更多的自由形状反射镜)。

[0103] 投影物镜 101 一般包括具有正光焦度 (optical power) 的一个或多个反射镜。换句话说, 该反射镜的反射部分具有凹面表面并且称作凹面反射镜。投影物镜 101 能够包括两个或多个 (例如, 三个或更多、四个或更多、五个或更多、六个或更多) 凹面反射镜。投影物镜 101 还能够包括具有负光焦度的一个或多个反射镜。这意味着一个或多个所述反射镜中具有凸面表面的反射部分 (称作凸面反射镜)。在一些实施例中, 投影物镜 101 包括两个或多个 (例如, 三个或更多、四个或更多、五个或更多、六个或更多) 凸面反射镜。

[0104] 参照图 10, 投影物镜 1100 的实施例包括六个反射镜 1110、1120、1130、1140、1150 和 1160, 并且具有 0.35 的像侧数值孔径以及 13.5nm 的工作波长。反射镜 1110、1120、1130、1140、1150 和 1160 全部是自由形状反射镜。以下的表 3A 和 3B 中表示了投影物镜 1100 的数据。表 3A 表示了光学数据, 而表 3B 表示了每个反射镜表面的自由形状常数。针对表 3A 和 3B, 反射镜标记具有如下相关: 反射镜 1 (M1) 对应于反射镜 1110; 反射镜 2 (M2) 对应于反射镜 1120; 反射镜 3 (M3) 对应于反射镜 1130; 反射镜 4 (M4) 对应于反射镜 1140; 反射镜 5 (M5) 对应于反射镜 1150; 以及反射镜 6 (M6) 对应于反射镜 1160。表 3A 和后面的表中的“厚度”是指辐射路径上相邻元件之间的距离。表 3B 中提供了自由形状反射镜的单项式系数 C_j 以及反射镜相对于初始投影物镜设计偏离和旋转 (或倾斜) 的量。半径 R 为顶点曲率 c 的倒数, 偏离的单位是 mm, 旋转的单位是度。所述单项式系数的单位是 mm^{j+1} 。 N_{radius} 为无单位比例因数 (例如参见 CODE V 的手册)。

[0105] 在图 10 中, 以子午切面表示了投影物镜 1100。该子午切面是投影物镜 1100 的对称平面。当该反射镜仅相对于 y 轴偏离并且围绕 x 轴倾斜时, 关于该子午平面对称。而且, 在 x 坐标中具有奇数次方的自由形状反射镜的系数 (例如 x 、 x^3 、 x^5 等) 为零。

[0106] 投影物镜 1100 以 4 倍的缩小率将来自物平面 103 的辐射成像到像平面 102。投影

物镜 1100 的轨道长度为 2000mm, 并且成像辐射的光路长度为 5337mm。因此, 光路长度与轨道长度的比约为 2.67。投影物镜 1100 具有位于反射镜 1120 处的孔径光阑 1106。

[0107] 投影物镜 1100 的入瞳位于无限远。物平面 103 处的中心场点的主光线角度为 7° 。物平面 103 处的主光线角度的最大变化小于 0.06° 。投影物镜 1100 在物侧是远心的。

[0108] 投影物镜 1100 具有矩形场。像侧场宽度 d_x 为 26mm。像侧场长度 d_y 为 2mm。投影物镜 1100 具有 31mm 的物-像偏移。

[0109] 投影物镜 1100 的性能包括 0.025λ 的像侧 W_{rms} 。像侧场弯曲为 10nm。投影物镜 1100 在反射镜 1140 与 1150 之间提供中间成像。

[0110] 按照从物平面 103 到像平面 102 的辐射路径的顺序, 各反射镜的光焦度 (optical power) 如下: 反射镜 1100 具有正光焦度; 反射镜 1120 具有正光焦度; 反射镜 1130 具有负光焦度; 反射镜 1140 具有正光焦度; 反射镜 1150 具有负光焦度, 以及反射镜 1160 具有正光焦度。

[0111] 每个反射镜的覆盖区的尺寸由 $M_x \times M_y$ 给出如下: 反射镜 1110 为 $291\text{mm} \times 195\text{mm}$; 反射镜 1120 为 $159\text{mm} \times 152\text{mm}$; 反射镜 1130 为 $157\text{mm} \times 53\text{mm}$; 反射镜 1140 为 $295\text{mm} \times 66\text{mm}$; 反射镜 1150 为 $105\text{mm} \times 86\text{mm}$; 以及反射镜 1160 为 $345\text{mm} \times 318\text{mm}$ 。

[0112] 对于反射镜 1110、1120、1130、1140、1150 和 1160 而言, 中心场点的主光线入射角分别为 4.38° 、 4.03° 、 18.37° 、 7.74° 、 12.64° 和 5.17° 。对于反射镜 1110、1120、1130、1140、1150 和 1160 而言, 在子午切面上每个反射镜上的最大入射角 θ_{max} 分别为 6.48° 、 6.44° 、 20.05° 、 9.12° 、 21.76° 、 7.22° 。反射镜 1110、1120、1130、1140、1150 和 1160 的 $\Delta\theta$ 分别为 4.27° 、 4.92° 、 4.09° 、 3.12° 、 19.37° 和 4.61° 。

[0113] 反射镜 1110、1150 和 1160 具有大于 5mm 并小于 25mm 的干舷 (freeboard)。反射镜 1140 具有正的主光线角度放大率, 同时反射镜 1110、1120、1130 和 1150 具有负的主光线角度放大率。

[0114] 投影物镜 1100 的像侧自由工作距离为 25mm。物侧自由工作距离为 163mm。

[0115] 在投影物镜 1100 中, d_{op-1}/d_{op-2} 为 6.57。此外, 相邻反射镜 1040 和 1050 之间的间隔大于投影物镜轨道长度的 50%。而且, 反射镜 1110 与物平面 103 之间的距离大于投影物镜轨道长度的 50%。

[0116]

表面	半径 (mm)	厚度 (mm)	模式
物	无限远	1070.002	
反射镜 1	-2069.710	-907.121	反射
反射镜 2	1710.596	0.000	反射
光阑	无限远	907.500	
反射镜 3	414.111	-319.107	反射
反射镜 4	618.022	1223.709	反射
反射镜 5	406.139	-436.552	反射
反射镜 6	522.609	461.570	反射
像	无限远	0.000	

[0117] 表 3A

[0118] 以下的表 3A 和 3B 中表示了投影物镜 1100 的数据。表 3A 表示了光学数据, 而表 3B 表示了每个反射镜表面的非球面常数。针对表 3A 和表 3B, 对反射镜的指定有如下相关:

反射镜 1(M1) 对应于反射镜 1110 ;反射镜 2(M2) 对应于反射镜 1120 ;反射镜 3(M3) 对应于反射镜 1130 ;反射镜 4(M4) 对应于反射镜 1140 ;反射镜 5(M5) 对应于反射镜 1150 ;以及反射镜 6(M6) 对应于反射镜 1160。

[0119]

系数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-2.012543E+00	-7.790981E+00	-9.061196E-01	-4.714699E-01	5.253415E+00	1.051556E-01
Y	-1.801229E-01	-2.676895E-01	6.249715E-03	2.914352E-02	3.699848E-02	6.762162E-04
X ²	-3.718177E-05	-1.568840E-04	-4.213586E-04	-1.680785E-04	-6.132874E-05	2.479745E-06
Y ²	-5.757281E-05	-1.359112E-04	-3.015850E-04	-9.908817E-05	-6.383717E-05	1.909227E-06
X ² Y	-3.283304E-08	-1.421641E-07	-4.802304E-08	-4.234719E-08	5.460366E-07	-5.398408E-09
Y ³	-7.289267E-08	-9.447144E-08	3.714670E-07	1.405667E-07	2.644773E-08	-4.741511E-09
X ⁴	-3.792148E-11	2.173390E-10	-8.723035E-10	-2.377992E-11	1.030821E-09	-1.926536E-11
X ² Y ²	-1.087876E-10	5.689855E-10	-5.959943E-10	-4.401654E-10	2.045233E-09	-4.586698E-11
Y ⁴	-1.237594E-10	2.990476E-10	8.549602E-10	-4.022663E-11	5.551510E-11	-2.632066E-11
X ⁴ Y	-3.587007E-14	-1.028868E-12	-8.033093E-12	1.716353E-13	5.551826E-12	-2.577816E-14
X ² Y ³	8.925822E-14	4.492952E-13	-1.186636E-12	-7.545064E-13	-4.309344E-12	-1.775797E-14
Y ⁵	-7.423435E-14	5.791519E-13	8.705928E-14	-2.700779E-13	-7.302230E-12	-9.309635E-15
X ⁶	1.876383E-17	2.916278E-16	-2.307341E-14	-1.670466E-15	8.878140E-15	-3.351380E-17
X ⁴ Y ²	-3.009967E-16	-3.620666E-16	-2.232847E-14	1.589023E-15	4.463758E-14	-1.408427E-16
X ² Y ⁴	1.992400E-16	3.916129E-16	1.756497E-15	3.477633E-16	1.478648E-13	-1.372823E-16
Y ⁶	8.315953E-18	-6.580116E-16	8.232062E-16	1.253553E-16	3.691569E-14	-3.799352E-17
X ⁶ Y	-2.621825E-20	-1.237101E-17	-3.125465E-16	-7.682746E-18	3.293829E-16	-1.214309E-19
X ⁴ Y ³	-1.344388E-18	3.730815E-17	1.376670E-16	5.918289E-18	8.409538E-16	5.369262E-20
X ² Y ⁵	-6.157858E-19	3.202677E-17	4.387074E-19	2.707480E-18	4.875870E-16	-1.363873E-20
Y ⁷	2.770009E-20	8.487049E-18	2.518948E-18	1.820744E-19	1.274511E-16	2.776746E-21
X ⁸	2.265356E-23	-1.881878E-20	6.916970E-19	3.815768E-20	-1.030207E-19	-2.085793E-23
X ⁶ Y ²	-1.848041E-22	-1.667898E-19	-1.070800E-18	1.947584E-20	-6.071205E-19	-1.191227E-22
X ⁴ Y ⁴	-1.617091E-21	-4.471313E-20	-2.039154E-19	-1.469302E-21	8.581801E-18	-2.848570E-22
X ² Y ⁶	-1.152811E-21	-1.417078E-19	-4.885470E-20	8.329380E-22	2.867618E-18	8.073429E-24
Y ⁸	5.021474E-23	-1.270497E-20	-2.834042E-20	-1.011971E-21	1.813992E-18	-6.757839E-23
X ⁸ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	7.973679E-21	2.492982E-22	0.000000E+00	-2.465296E-25
X ⁶ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	7.629111E-22	1.401277E-22	0.000000E+00	2.930653E-25
X ⁴ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.196032E-21	-4.219890E-23	0.000000E+00	1.194933E-25
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.090375E-22	-3.791571E-24	0.000000E+00	5.412579E-25
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.080252E-23	1.076602E-24	0.000000E+00	3.891280E-26
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.129418E-25	-1.289913E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	2.295090E-23	4.078311E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	5.951785E-24	1.728297E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.732732E-23	-5.280557E-26	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.410994E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	3.484416E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00
Y- 偏离	194.936	-49.734	36.609	9.442	30.019	40.956
X- 旋转	-5.944	-17.277	-5.569	-0.579	0.301	-0.924

[0120] 表 3B

[0121] 在某些实施例中,投影物镜 101 中的反射镜设置将来自物平面 103 辐射成像到一个或多个中间像平面。具有一个或多个中间图像的实施例还包括两个或多个光瞳平面。在一些实施例中,为了将孔径光阑基本上放置在光瞳平面,能够在物理上接近这些光瞳平面中的至少一个。将孔径光阑用于限定投影物镜孔径的尺寸。

[0122] 投影物镜 101 中中间图像的彗差可以比较大。彗差能够由在上部和下部光线交叉位置处的主光线与上部和下部光线之间的距离来量化。在一些实施例中,该距离能够为大

约 1mm 或更大（例如，大约 2mm 或更大、大约 3mm 或更大、大约 4mm 或更大、大约 5mm 或更大、大约 6mm 或更大，例如大约 7mm）。投影物镜中中间图像的彗差可以比较小。在一些实施例中，该距离能够为大约 1mm 或更小（例如，大约 0.1mm 或更小、0.01mm 或更小）。

[0123] 一般而言，形成投影物镜 101 中的反射镜，使得它们反射垂直入射其上或者以一定入射角范围入射到其上的波长为 λ 的大部分辐射。例如，可以这样形成反射镜，使得它们反射波长为 λ 的垂直入射辐射的大约 50% 或更多（例如，大约 60% 或更多、大约 70% 或更多、大约 80% 或更多、大约 90% 或更多、大约 95% 或更多、98% 或更多）。

[0124] 在一些实施例中，该反射镜包括不同材料膜的多层叠层，该多层叠层设置为对波长为 λ 的垂直入射辐射有实质性的反射。该叠层中的每个膜能够具有大约 $\lambda/4$ 的光学厚度。

[0125] 多层叠层能够包括大约 20 个或更多（例如，大约 30 个或更多、大约 40 个或更多、大约 50 个或更多）的膜。一般而言，根据工作波长 λ 来选择用于形成该多层叠层的材料。例如，能够使用钼和硅或者钼和铍的多个交替膜来形成用于反射 10nm 到 30nm 范围（例如， λ 分别为大约 13nm 或者大约 11nm 的情况）的辐射的反射镜。一般，对于 $\lambda = 11\text{nm}$ ，优选使用钼和硅的多个交替膜，并且对于 $\lambda = 13\text{nm}$ 优选使用钼和铍的多个交替膜。

[0126] 在某些实施例中，该反射镜由涂敷了单层铝并且外敷了一层或多层介电材料（例如由 MgF_2 、 LaF_2 或者 Al_2O_3 形成的层）的石英玻璃制成。能够使用具有介电涂层的由铝形成的反射镜，例如用于波长约为 193nm 的辐射。

[0127] 一般而言，由反射镜反射的波长 λ 的辐射的比例作为反射镜表面上辐射的入射角的函数变化。因为成像辐射沿着多个不同路径通过反射投影物镜传播，所以该辐射在每个反射镜上的入射角会改变。参照图 3 表示了这种效果，该图以子午切面显示了反射镜 400 的一部分，其包括凹面反射表面 401。成像辐射沿着多个不同路径入射到表面 401 上，包括光线 410、420 和 430 表示的路径。光线 410、420 和 430 入射到表面法线不同的表面 401 上的各个部分。由分别对应于光线 410、420 和 430 的线 411、421 和 431 表示了这些部分处的表面法线方向。光线 410、420 和 430 分别以角度 θ_{410} 、 θ_{420} 和 θ_{430} 入射到表面 401 上。一般而言，角度 θ_{410} 、 θ_{420} 和 θ_{430} 可以变化。

[0128] 对于投影物镜 101 中的每个反射镜而言，能够以多种方式表征成像辐射的入射角。一种表征法是在投影物镜 101 的子午切面中在每个反射镜上子午光线的最大入射角。子午光线是指位于子午切面中的光线。一般而言，对于投影物镜 101 中的不同反射镜 $\theta_{\max}$ 是变化的。

[0129] 在一些实施例中，投影物镜 101 中的所有反射镜的最大值 $\theta_{\max}$ 为大约 75° 或更小（例如，大约 70° 或更小、大约 65° 或更小、大约 60° 或更小、大约 55° 或更小、大约 50° 或更小、大约 45° 或更小）。 $\theta_{\max}$ 能够大于约 5° （例如，大约 10° 或更大、大约 20° 或更大）。在一些实施例中，最大值 $\theta_{\max}$ 可以比较小。例如，最大值 $\theta_{\max}$ 能够为大约 40° 或更小（例如，大约 35° 或更小、大约 30° 或更小、大约 25° 或更小、大约 20° 或更小、大约 15° 或更小、大约 13° 或更小、大约 10° 或更小）。

[0130] 在一些实施例中，最大值 $\theta_{\max}$ （单位：度）与像侧 NA 的比能够为大约 100 或更小（例如，大约 80 或更小、大约 70 或更小、68 或更小、大约 60 或更小、大约 50 或更小、大约 40 或更小、大约 30 或更小）。

[0131] 另一个表征法是投影物镜 101 的子午切面中对应于每个反射镜上的中心场点的主光线入射角。该角度称作 θ_{CR} 。一般而言, θ_{CR} 能够改变。在一些实施例中, 投影物镜 101 中的 θ_{CR} 的最大值 $\theta_{CR}(\max)$ 能够比较小。例如 $\theta_{CR}(\max)$ 能够为大约 35° 或更小 (例如, 大约 30° 或更小、大约 25° 或更小、大约 20° 或更小、大约 15° 或更小、大约 13° 或更小、大约 10° 或更小、大约 8° 或更小、大约 5° 或更小)。

[0132] 在一些实施例中, 最大值 $\theta_{CR}(\max)$ (单位: 度) 与像侧 NA 的比可以是大约 100 或更小 (例如, 大约 80 或更小、大约 70 或更小、68 或更小、大约 60 或更小、大约 50 或更小、大约 40 或更小、大约 30 或更小)。

[0133] 投影物镜 101 中的每个反射镜能够由投影物镜 101 子午切面中光线的入射角范围 $\Delta\theta$ 表征。对于每个反射镜而言, $\Delta\theta$ 对应于 $\theta_{\max}$ 与 $\theta_{\min}$ 之差, 其中 $\theta_{\min}$ 是投影物镜 101 的子午切面中每个反射镜上的最小光线入射角。一般而言, $\Delta\theta$ 对于投影物镜 101 中的每个反射镜而言可以改变。对于某些反射镜而言, $\Delta\theta$ 能够比较小。例如, $\Delta\theta$ 能够为大约 20° 或更小 (例如, 大约 15° 或更小、大约 12° 或更小、大约 10° 或更小、大约 8° 或更小、大约 5° 或更小、大约 3° 或更小、 2° 或更小)。或者, 对于投影物镜 101 中的某些反射镜而言, $\Delta\theta$ 能够比较大。例如, $\Delta\theta$ 对于某些反射镜可以是大约 20° 或更大 (例如, 大约 25° 或更大、大约 30° 或更大、大约 35° 或更大、大约 40° 或更大)。

[0134] 在一些实施例中, 投影物镜 101 中所有反射镜的 $\Delta\theta$ 最大值 $\Delta\theta_{\max}$ 能够比较小。例如, $\Delta\theta_{\max}$ 能够为大约 25° 或更小 (例如, 大约 20° 或更小、大约 15° 或更小、大约 12° 或更小、大约 10° 或更小、大约 9° 或更小、大约 8° 或更小、大约 7° 或更小、大约 6° 或更小、大约 5° 或更小, 例如 3°)。

[0135] 另一种表征投影物镜 101 中的辐射路径的方式是每个反射镜处的主光线放大率, 这是指在从每个反射镜反射之前和之后主光线 (例如在子午切面中) 与基准轴 105 之间的夹角的正切的商。例如, 参照图 4, 其中主光线 501 在从反射镜 510 反射之前与基准轴 105 分开, 并且从反射镜 510 反向朝基准轴 105 反射, 反射镜 510 具有正主光线角度放大率。或者, 参照图 5, 其中主光线 502 在从反射镜 520 反射之前和之后均与基准轴 105 分开, 反射镜 520 具有负主光线角度放大率。在这两种情况下, 该主光线放大率由 $\tan(\alpha)/\tan(\beta)$ 给出。在某些实施例中, 具有多个具有正主光线角度放大率反射镜能够对应于投影物镜中一个或多个反射镜上的较大入射角。因此, 仅具有一个具有正主光线角度放大率的投影物镜还能够在反射镜上具有较低的入射角。

[0136] 投影物镜 101 中各反射镜的相对间隔能够根据投影物镜的具体设计变化。相邻反射镜之间比较大的距离 (相对于辐射路径) 能够对应于反射镜上比较小的入射光线角。在某些实施例中, 投影物镜 101 能够包括间隔大于投影物镜轨道长度的 50% 的至少一对相邻反射镜。

[0137] 在某些实施例中, 与辐射路径上物平面与第二反射镜之间的距离 d_{op-2} 相比, 在辐射路径上物平面与第一反射镜之间具有大相对距离 d_{op-1} 还对应于反射镜上光线的较小入射角。例如, d_{op-1}/d_{op-2} 为大约 2 或更大 (例如, 大约 2.5 或更大、大约 3 或更大、大约 3.5 或更大、大约 4 或更大、大约 4.5 或更大、大约 5 或更大) 的实施例还能够具有较小的光线入射角。

[0138] 一般而言, 投影物镜 101 中的各反射镜的覆盖区尺寸和形状能够变化。覆盖区形

状是指 x-y 平面上投影的反射镜形状。反射镜的覆盖区可以是圆形、椭圆形、多边形（例如，矩形、方形、六角形）或者不规则的形状。在实施例中，该覆盖区是相对于投影物镜 101 的子午平面对称的。

[0139] 在某些实施例中，反射镜能够具有最大尺寸为大约 1500mm 或更小（例如，大约 1400mm 或更小、大约 1300mm 或更小、大约 1200mm 或更小、大约 1100mm 或更小、大约 1000mm 或更小、大约 900mm 或更小、大约 800mm 或更小、大约 700mm 或更小、大约 600mm 或更小、大约 500mm 或更小、大约 400mm 或更小、大约 300mm 或更小、大约 200mm 或更小、大约 100mm 或更小）的覆盖区。反射镜可以具有最大尺寸大于大约 10mm（例如，大约 20mm 或更大、大约 50mm 或更大）的覆盖区。

[0140] 图 6A 表示了具有椭圆形覆盖区的反射镜 600 的实例。反射镜 600 具有沿着 x 方向的最大尺寸 M_x 。在实施例中， M_x 能够为大约 1500mm 或更小（例如，大约 1400mm 或更小、大约 1300mm 或更小、大约 1200mm 或更小、大约 1100mm 或更小、大约 1000mm 或更小、大约 900mm 或更小、大约 800mm 或更小、大约 700mm 或更小、大约 600mm 或更小、大约 500mm 或更小、大约 400mm 或更小、大约 300mm 或更小、大约 200mm 或更小、大约 100mm 或更小）。 M_x 可以是大于大约 10mm（例如，大约 20mm 或更大、大约 50mm 或更大）。

[0141] 反射镜 600 相对于子午线 601 对称。反射镜 600 沿着子午线 601 的尺寸是 M_y 。对于反射镜 600 而言， M_y 小于 M_x ，然而更一般的是， M_y 能够小于、等于或者大于 M_x 。在一些实施例中， M_y 在大约 $0.1M_x$ 到大约 M_x 的范围内（例如，大约 $0.2M_x$ 或更大、大约 $0.3M_x$ 或更大、大约 $0.4M_x$ 或更大、大约 $0.5M_x$ 或更大、大约 $0.6M_x$ 或更大、大约 $0.7M_x$ 或更大、大约 $0.8M_x$ 或更大、大约 $0.9M_x$ 或更大）。或者，在某些实施例中， M_y 能够为大约 $1.1M_x$ 或更大（例如，大约 $1.5M_x$ 或更大），例如在大约 $2M_x$ 到大约 $10M_x$ 范围内。 M_y 能够为大约 1000mm 或更小（例如，大约 900mm 或更小、大约 800mm 或更小、大约 700mm 或更小、大约 600mm 或更小、大约 500mm 或更小、大约 400mm 或更小、大约 300mm 或更小、大约 200mm 或更小、大约 100mm 或更小）。 M_y 能够大于大约 10mm（例如，大约 20mm 或更大、大约 50mm 或更大）。

[0142] 在一些实施例中，反射镜的底部可以在反射镜表面（既反射成像辐射的反射镜部分）之外沿着一个或多个方向延伸。例如，反射镜的底部能够在光学有效表面之外沿着 x 和 / 或 y 方向延伸大约 10mm 或更多（例如，大约 20mm 或更多、大约 30mm 或更多、大约 40mm 或更多、大约 50mm 或更多）。反射镜底部的延伸能够有助于通过提供非光学有效的表面将反射镜安装在投影物镜 101 中，该非光学有效的表面能够安装到安装装置上。

[0143] 优选的是，反射镜底部的延伸不应当沿着使投影物镜 101 中的辐射路径闭塞的方向延伸。反射镜边缘与辐射经过反射镜时的路径之间的距离与称作“干舷”的参数相关，该参数为最接近反射镜边缘的光线与经过反射镜反射的最邻近反射镜边缘的光线之间的最小距离。在一些实施例中，投影物镜 101 能够包括干舷大约为 20mm 或更大（例如，大约 25mm 或更大、大约 30mm 或更大、大约 35mm 或更大、大约 40mm 或更大、大约 45mm 或更大、大约 50mm 或更大）的一个或多个反射镜。大的干舷提供了在反射镜制造方面的灵活性，这是因为投影物镜能够容纳延伸的反射镜底部而不会闭塞成像辐射。然而，比较小的干舷能够对应于投影物镜中反射镜上光线的小入射角、在一些实施例中，投影物镜 101 能够包括干舷约为 15mm 或更小（例如，大约 12mm 或更小、大约 10mm 或更小、大约 8mm 或更小、大约 5mm 或更小）的一个或多个反射镜。在某些实施例中，投影物镜 101 包括具有 5mm 到 25mm 之间

的干舷的一个或多个反射镜。

[0144] 一般而言,投影物镜 101 中的反射镜的厚度可以改变。反射镜厚度是指反射镜沿着 z 轴的尺寸。反射镜一般应当具有足够的厚度以有助于安装在投影物镜内。参照图 6B,可以由最大厚度 $T_{\max}$ 和最小厚度 $T_{\min}$ 来表征反射镜 600 的厚度。通常, $T_{\max}$ 与 $T_{\min}$ 之间的差取决于反射镜表面的曲率以及反射镜底部的结构。在一些实施例中, $T_{\max}$ 为大约 200mm 或更小(例如,大约 150mm 或更小、大约 100mm 或更小、大约 80mm 或更小、大约 60mm 或更小、大约 50mm 或更小、大约 40mm 或更小、大约 30mm 或更小、大约 20mm 或更小)。在某些实施例中, $T_{\min}$ 为大约 1mm 或更大(例如,大约 2mm 或更大、大约 5mm 或更大、大约 10mm 或更大、大约 20mm 或更大、大约 50mm 或更大、大约 100mm 或更大)。

[0145] 在一些实施例中,投影物镜中的任意反射镜的最大尺寸为大约 1500mm 或更小(例如,大约 1400mm 或更小、大约 1300mm 或更小、大约 1200mm 或更小、大约 1100mm 或更小、大约 1000mm 或更小、大约 900mm 或更小、大约 800mm 或更小、大约 700mm 或更小、大约 600mm 或更小、大约 500mm 或更小,例如大约 300mm)。在某些实施例中,投影物镜中任意反射镜的最大尺寸为大约 10mm 或更大(例如,大约 20mm 或更大、大约 30mm 或更大、大约 40mm 或更大、大约 50mm 或更大、大约 75mm 或更大、大约 100mm 或更大)。

[0146] 一般而言,投影物镜 101 的场的形状可以改变。在一些实施例中,该场具有弓形形状,例如一段环的形状。参照图 7A,环段场 700 能够由 x 尺寸 d_x 、 y 尺寸 d_y 以及径向尺寸 d_r 表征。 d_x 和 d_y 分别对应于该场沿着 x 方向和 y 方向的尺寸。 d_r 对应于环半径,其是从轴 705 到场 700 的内边界测得的。应当强调的是,轴 705 不是描述光学系统的轴(例如,它不是基准轴)并且尤其不是光轴。轴 705 仅用于限定环段场 700。环段场 700 相对于平行于 y - z 平面的由线 710 表示的平面对称。一般而言, d_x 、 d_y 和 d_r 的大小根据投影物镜 101 的设计改变。通常 d_y 小于 d_x 。场尺寸 d_x 、 d_y 和 d_r 在物平面 103 和像平面处的相对大小根据投影物镜 101 的放大率或者缩小率而改变。

[0147] 在一些实施例中, d_x 在像平面 102 处比较大。例如,像平面 102 处的 d_x 能够为大于 1mm(例如,大约 3mm 或更大、大约 4mm 或更大、大约 5mm 或更大、大约 6mm 或更大、大约 7mm 或更大、大约 8mm 或更大、大约 9mm 或更大、大约 10mm 或更大、大约 11mm 或更大、大约 12mm 或更大、大约 13mm 或更大、大约 14mm 或更大、大约 15mm 或更大、大约 18mm 或更大、大约 20mm 或更大、大约 25mm 或更大)。 d_x 可以是大约 100mm 或更小(例如,大约 50mm 或更小、大约 30mm 或更小)。像平面 102 处的 d_y 可以是大约 0.5mm 到大约 5mm 的范围中(例如,大约 1mm、大约 2mm、大约 3mm、大约 4mm)。

[0148] 通常,像平面 102 处的 d_r 为大约 10mm 或更大。像平面 102 处的 d_r 例如可以是大约 15mm 或更大(例如,大约 20mm 或更大、大约 25mm 或更大、大约 30mm 或更大)。在一些实施例中, d_r 可以是极大的(例如,大约 1m 或更大、大约 5m 或更大、大约 10m 或更大)。在某些实施例中,该场的形状为矩形并且 d_r 为无限大。

[0149] 更一般的是,对于其它的场形状,投影物镜 101 在像平面 102 处能够具有大于 1mm 的最大场尺寸(例如,大约 3mm 或更大、大约 4mm 或更大、大约 5mm 或更大、大约 6mm 或更大、大约 7mm 或更大、大约 8mm 或更大、大约 9mm 或更大、大约 10mm 或更大、大约 11mm 或更大、大约 12mm 或更大、大约 13mm 或更大、大约 14mm 或更大、大约 15mm 或更大、大约 18mm 或更大、大约 20mm 或更大、大约 25mm 或更大)。在某些实施例中,投影物镜具有不大于 100mm 的

最大场尺寸（例如，大约 50mm 或更小、大约 30mm 或更小）。

[0150] 在一些实施例中，像场形状能够对应（例如，在一个或多个尺寸上）于使用该投影物镜 101 曝光的晶片上的模片位置的形状。例如，能够将该像场成形为在曝光晶片时减少过扫描。过扫描是指在超出模片位置的边缘的范围扫描像场以曝光整个所述位置的需要。一般，这种情况出现在像场的形状与模片位置的形状不一致时。

[0151] 过扫描能够由所述像场的前边缘与模片位置的后缘之间的最大距离的比（例如，表达为百分比）表征，其中所述模片位置的后缘的位置使得在该模片的后缘的角被曝光。参照图 7B，过扫描对应于 d_{os} 与 d_y 的比，其中 d_{os} 为像场 700 的前边缘与模片位置 720 的处于曝光角 721 和 722 位置处的后边缘之间的距离。在某些实施例中，投影物镜能够具有较小的过扫描。例如，投影物镜能够具有大约 5% 或更小的过扫描（例如，大约 4% 或更小、大约 3% 或更小、大约 2% 或更小、大约 1% 或更小、大约 0.5% 或更小、0.1% 或更小）。

[0152] 在某些实施例中，投影物镜 101 能够具有零过扫描。例如，参照图 7C，在将像场 730 用于曝光方形模片位置 740 的实施例中，能够以零过扫描实现扫描。

[0153] 参照图 8，一般而言，投影物镜 101 引起物 - 像偏移 d_{ois} ，这根据投影物镜的具体设计变化。物 - 像偏移是指在 x-y 平面中测得的像场中的点与物场中相应点的距离。对于具有光轴（投影物镜中每个反射镜的旋转对称公共轴）的投影物镜而言，能够利用以下公式计算物 - 像偏移：

$$[0154] \quad d_{ois} = h_0(1-M)$$

[0155] 其中 h_0 是指物场中的中心场点与光轴在 x-y 平面中的距离，M 是投影物镜放大比。例如，对于具有 4 倍的缩小率（即 $M = 0.25$ ）以及中心场点与光轴相距 120mm 的投影物镜而言， d_{ois} 为 90mm。

[0156] 在一些实施例中，投影物镜 101 能够具有比较小的物 - 像偏移。例如，投影物镜具有零物 - 像偏移。具有比较小的物像偏移的投影物镜能够具有比较纤细的光学设计。此外，在具有零物 - 像偏移的实施例中，投影物镜 101 能够围绕与物场和像场的中心场点相交的轴旋转，而该中心场点不会相对于例如台 130 位移。这在例如将用于检查晶片和将晶片对准投影物镜 101 的度量工具（例如探测光学系统，如 US6240158B1 中公开的工具）放置在中心场点的标称位置的情况下是有利的，这是因为中心场点没有在投影物镜旋转时相对于该位置位移。因此，在投影物镜工作过程中经历旋转的情况下，零物 - 像偏移能够有助于更容易的度量并且有助于测试投影物镜 101。

[0157] 在一些实施例中，投影物镜 101 具有大约 80mm 或更小（例如，大约 60mm 或更小、大约 50mm 或更小、大约 40mm 或更小、大约 30mm 或更小、大约 20mm 或更小、大约 15mm 或更小、大约 12mm 或更小、大约 10mm 或更小、大约 8mm 或更小、大约 5mm 或更小、大约 4mm 或更小、大约 3mm 或更小、大约 2mm 或更小、大约 1mm 或更小）的 d_{ois} 。

[0158] 投影物镜 101 的实施例能够具有比较大的像侧自由工作距离。像侧自由工作距离是指像平面 102 与反射镜最接近像平面 102 的反射成像辐射的反射镜表面之间的最短距离。如图 9 所示，该图显示了作为最接近像平面 102 的反射镜的反射镜 810。辐射从反射镜 810 的表面 811 反射。像侧自由工作距离表示为 d_w 。在一些实施例中， d_w 为大约 25mm 或更大（例如，大约 30mm 或更大、大约 35mm 或更大、大约 40mm 或更大、大约 45mm 或更大、大约 50mm 或更大、大约 55mm 或更大、大约 60mm 或更大、大约 65mm 或更大）。在某些实施例

中, d_w 为大约 200mm 或更小 (例如, 大约 150mm 或更小、大约 100mm 或更小、大约 50mm 或更小)。例如, 投影物镜 300 具有大约 45mm 的像侧自由工作距离。可能希望比较大的工作距离, 这是因为其能够使衬底 150 的表面位于像平面 102 处, 而不会接触反射镜 810 面向像平面 102 的面。

[0159] 类似的是, 物侧自由工作距离是指物平面 103 与投影物镜 101 中反射镜反射侧的最接近物平面 103 的反射成像辐射的反射镜表面之间的最短距离。在一些实施例中, 投影物镜 101 具有比较大的物侧自由工作距离。例如, 投影物镜 101 能够具有大约 50mm 或更大 (例如, 大约 100mm 或更大、大约 150mm 或更大、大约 200mm 或更大、大约 250mm 或更大、大约 300mm 或更大、大约 350mm 或更大、大约 400mm 或更大、大约 450mm 或更大、大约 500mm 或更大、大约 550mm 或更大、大约 600mm 或更大、大约 650mm 或更大、大约 700mm 或更大、大约 750mm 或更大、大约 800mm 或更大、大约 850mm 或更大、大约 900mm 或更大、大约 950mm 或更大、大约 1000mm 或更大) 的物侧自由工作距离。在某些实施例中, 物侧自由工作距离不大于大约 2000mm (例如, 大约 1500mm 或更小、大约 1200mm 或更小、大约 1000mm 或更小)。在希望进入投影物镜 101 与物平面 103 之间的空间的实施例中, 比较大的物侧自由工作距离可能是有利的。例如, 在分划板 140 为反射分划板的实施例中, 必须从面向物镜 101 的一侧照射该分划板。因此, 在投影物镜 101 与物平面 103 之间应当存在足够的空间以允许照明系统 120 以希望的照射角度照射分划板。此外, 一般而言, 越大的物侧自由工作距离, 例如通过提供足够的空间以在投影物镜 101 与分划板 140 的支撑结构之间安装其它部件 (例如均匀滤光器), 从而在工具的其余部分的设计方面提供了灵活性。

[0160] 一般而言, 投影物镜 101 能够被设计为, 使得主光线在分划板 140 处会聚、发散或者基本上相互平行。相应地, 投影物镜 101 的入瞳相对于物平面 103 的位置能够改变。例如, 如果主光线在分划板 140 处会聚, 则入瞳位于物平面 103 的像平面侧上。相反, 如果主光线在分划板 140 处发散, 则物平面 103 位于入瞳与像平面 102 之间。此外, 物平面 103 与入瞳之间的距离能够变化。在一些实施例中, 入瞳与物平面 103 相距大约 1m 或更大 (例如, 大约 2m 或更大、大约 3m 或更大、大约 4m 或更大、大约 5m 或更大、大约 8m 或更大、大约 10m 或更大) (沿着垂直于物平面 103 的轴测得)。在一些实施例中, 入瞳位于相对于物平面 103 的无限远处。这对应于主光线在分划板 140 处相互平行的情况。

[0161] 一般而言, 能够使用市场上能够买到的光学设计软件来设计投影物镜 101, 如 ZEMAX、OSLO 或者 Code V。通常, 通过规定初始投影物镜设计 (例如反射镜的设置) 以及诸如辐射波长、场尺寸和数值孔径的参数来开始设计。然后, 编码针对特定的光学性能标准优化该设计, 例如波前误差、畸变、远心性和场弯曲。

[0162] 在某些实施例中, 由中心位于光轴上的旋转对称反射镜 (例如球面或非球面反射镜) 来指定初始投影物镜。然后将每个反射镜偏离光轴到该反射镜满足某些预先建立的规则的位置。例如, 能够将每个反射镜偏离光轴一定的量, 该量使主光线对于特定场在反射镜上的入射角最小化。在实施例中, 能够使反射镜偏轴大约 5mm 或更大 (例如, 大约 10mm 或更大、大约 20mm 或更大、大约 30mm 或更大、大约 50mm 或更大)。在某些实施例中, 反射镜偏轴大约 200mm 或更小 (例如, 大约 180mm 或更小、大约 150mm 或更小、大约 120mm 或更小、大约 100mm 或更小)。

[0163] 此外或可选的是, 能够使每个反射镜倾斜到该反射镜满足某些预先建立的规则的

位置。倾斜是指每个反射镜对称轴相对于投影物镜初始配置的光轴的走向。反射镜能够倾斜大约 1° 或更大（例如，大约 2° 或更大、大约 3° 或更大、大约 4° 或更大、大约 5° 或更大）。在一些实施例中，反射镜倾斜大约 20° 或更小（例如，大约 15° 或更小、大约 12° 或更小、大约 10° 或更小）。

[0164] 在偏轴和 / 或倾斜之后，能够确定每个反射镜的自由形状，从而针对特定光学性能标准优化该投影物镜设计。

[0165] 除了反射镜之外，投影物镜 101 能够包括一个或多个其它部件，例如一个或多个孔径光阑。一般而言，该孔径光阑的形状能够改变。孔径光阑的实例包括圆形孔径光阑、椭圆形孔径光阑和 / 或多边形孔径光阑。还能够定位孔径光阑，使得成像辐射两次穿过或一次穿过该孔径光阑。投影物镜 101 中的孔径光阑能够被更换和 / 或孔径光阑可以具有可调整的孔径。

[0166] 在一些实施例中，投影物镜 101 包括场阑。例如，在投影物镜包括中间图像的实施例中，能够将该场阑放置在中间图像处或其附近。

[0167] 实施例能够包括挡板（例如用于为晶片遮挡杂散辐射）。在一些实施例中，投影物镜 101 能够包括用于监测反射镜在投影物镜内的位置变化的部件（例如干涉计）。该信息能够用于调整各反射镜以校正反射镜之间的任何相对移动。反射镜调整可以是自动的。US6549270B1 中描述了用于监测 / 调整反射镜位置的系统实例。

[0168] 参照图 11，投影物镜 1200 的实施例包括六个反射镜 1210、1220、1230、1240、1250 和 1260，并且具有 0.35 的像侧数值孔径和 13.5nm 的工作波长。反射镜 1210、1220、1230、1240、1250 和 1260 均为自由形状反射镜。投影物镜 1200 以 4 倍的缩小率将辐射从物平面 103 成像到像平面 102。垂直于物平面 103 和像平面 102 的基准轴 1205 与物场和像场中的相应场点相交。投影物镜 1200 的轨道长度为 1385mm 并且成像辐射的光路长度为 4162mm。因此，光路长度与轨道长度之比大约为 3.01。投影物镜 1200 具有位于反射镜 1220 处的孔径光阑。

[0169] 投影物镜 1200 的入瞳位于无限远处，并且物平面位于入瞳与反射镜之间。物平面 103 处的中心场点的主光线角度为 7° 。物平面 103 处的主光线角度的最大变化小于 0.06° 。投影物镜 1200 在物侧是远心的。

[0170] 投影物镜 1200 具有矩形场。像侧场宽度 d_x 为 26mm。像侧场长度 d_y 为 2mm。投影物镜 1200 具有零物 - 像偏移。

[0171] 投影物镜 1200 在反射镜 1240 与 1250 之间提供中间图像。

[0172] 按照从物平面 103 到像平面 102 的辐射路径的顺序，各反射镜的光焦度如下：反射镜 1210 具有正光焦度；反射镜 1220 具有负光焦度；反射镜 1230 具有正光焦度；反射镜 1240 具有正光焦度；反射镜 1250 具有负光焦度；反射镜 1260 具有正光焦度。

[0173] 每个反射镜的覆盖区的尺寸以 $M_x \times M_y$ 给出如下：反射镜 1210 为 250mm $\times$ 153mm；反射镜 1020 为 70mm $\times$ 69mm；反射镜 1230 为 328mm $\times$ 153mm；反射镜 1240 为 325mm $\times$ 112mm；反射镜 1250 为 87mm $\times$ 75mm；反射镜 1260 为 269mm $\times$ 238mm。

[0174] 中心场点的主光线入射角对于反射镜 1210、1220、1230、1240、1250 和 1260 分别为 6.13° 、 10.61° 、 8.65° 、 8.26° 、 14.22° 和 5.23° 。子午切面上每个反射镜上的最大入射角 $\theta_{\max}$ 对于反射镜 1210、1220、1230、1240、1250 和 1260 分别为 6.53° 、 11.63° 、 8.91° 、

11.39°、24.26° 和 7.44°。反射镜 1210、1220、1230、1240、1250 和 1260 的 $\Delta \theta$ 分别为 1.07°、3.64°、1.74°、7.44°、21.70° 和 4.51°。

[0175] 反射镜 1210、1220、1250 和 1260 具有大于 5mm 并小于 25mm 的干舷。反射镜 1240 具有正主光线角放大率,而反射镜 1210、1220、1230 和 1250 具有负主光线角放大率。

[0176] 投影物镜 1200 的像侧自由工作距离为 40mm。物侧自由工作距离为 439mm。

[0177] 在投影物镜 1200 中, d_{op-1}/d_{op-2} 为 1.91。此外,相邻反射镜对 1240 和 1250 分隔开大于投影物镜轨道长度的 50%。而且,反射镜 1210 与物平面 103 之间的距离大于投影物镜轨道长度的 50%。

[0178] 以下的表 4A 和表 4B 表示了投影物镜 1200 的数据。表 4A 表示了光学数据,而表 4B 表示了每个反射镜表面的非球面常数。针对表 4A 和表 4B,反射镜标记如下对应:反射镜 1 (M1) 对应于反射镜 1210;反射镜 2 (M2) 对应于反射镜 1220;反射镜 3 (M3) 对应于反射镜 1230;反射镜 4 (M4) 对应于反射镜 1240;反射镜 5 (M5) 对应于反射镜 1250;反射镜 6 (M6) 对应于反射镜 1260。

[0179]

表面	半径 (mm)	厚度 (mm)	模式
物	无限远	836.375	反射 反射
反射镜 1	-614.878	-397.397	
反射镜 2	-383.358	0.000	
光阑	无限远	655.992	反射 反射 反射 反射
反射镜 3	-1204.989	-659.631	
反射镜 4	1885.915	909.840	
反射镜 5	302.954	-308.805	
反射镜 6	403.492	348.850	
像	无限远	0.000	

[0180] 表 4A

[0181]

系数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-6.673329E-01	-2.825442E-01	-1.843864E+00	2.076932E+00	3.340547E+00	1.990979E-01
Y	-5.045837E-02	2.263660E-01	-1.277806E-01	-3.310548E-02	-1.935522E-01	1.783092E-02
X ²	1.827144E-04	1.686990E-04	9.963384E-05	5.203052E-05	-3.849892E-04	3.792405E-05
Y ²	1.737812E-04	2.093994E-04	-1.747784E-05	-7.184095E-05	-3.329705E-04	1.682759E-05
X ² Y	4.765150E-08	-1.595967E-06	-5.515151E-08	-8.752119E-10	1.213426E-06	5.552151E-08
Y ³	5.091508E-08	-1.231538E-06	-1.294839E-07	-1.939381E-07	1.502735E-06	9.165146E-08
X ⁴	-4.718889E-11	-6.941238E-09	-7.002011E-11	-5.996832E-11	-2.342802E-09	9.552648E-12
X ² Y ²	-4.340357E-11	-7.827867E-09	-1.801185E-10	-7.139217E-11	-1.234047E-08	-1.811525E-10
Y ⁴	1.234053E-10	-3.130174E-09	-7.281275E-11	-1.598859E-10	-1.206604E-08	-1.662004E-10
X ³ Y	1.205203E-13	-6.495768E-11	-3.614883E-14	-4.344276E-14	2.268270E-11	2.930397E-13
X ² Y ³	2.259681E-13	-4.304439E-11	-1.048629E-13	-7.811421E-16	2.977954E-11	8.493936E-13
Y ⁵	-5.198478E-13	-1.485268E-11	5.022687E-15	-1.422459E-14	-1.556209E-11	4.051187E-13
X ⁵	-1.306395E-16	-4.159695E-14	0.000000E+00	-3.767576E-17	1.374773E-14	-8.890588E-17
X ³ Y ²	8.838986E-17	1.462867E-14	0.000000E+00	-1.369883E-16	-3.320990E-13	-1.312584E-15
X ² Y ⁴	-1.745854E-16	4.353978E-13	0.000000E+00	-7.920443E-17	-1.008910E-13	-2.069868E-15
Y ⁶	1.020155E-15	-1.927189E-13	0.000000E+00	-3.431888E-17	-9.148646E-14	-8.650861E-16
X ⁴ Y	1.090627E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.607288E-18
X ³ Y ³	-4.158749E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.652411E-18
X ² Y ⁵	-1.758731E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.087290E-18
Y ⁷	-3.081679E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	9.802736E-19
X ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ³ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁵ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ³ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁵ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ³ Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
N radius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y- 偏离	-118.847	-100.000	100.000	24.472	-11.760	-37.772
X- 旋转	-7.782	7.388	1.406	-2.140	-8.177	6.989

[0182] 表 4B

[0183] 参照图 12, 投影物镜 1300 的实施例包括六个反射镜 1310、1320、1330、1340、1350 和 1360, 并且具有 0.35 的像侧数值孔径和 13.5nm 的工作波长。反射镜 1310、1320、1330、1340、1350 和 1360 均为自由形状反射镜。投影物镜 1300 以 4 倍的缩小率将辐射从物平面 103 成像到像平面 102。投影物镜 1300 的轨道长度为 1500mm 并且成像辐射的光路长度为 4093mm。因此, 光路长度与轨道长度的比约为 2.73。投影物镜 1300 具有位于反射镜 1320 处的孔径光阑。

[0184] 投影物镜 1300 的入瞳位于无限远。物平面 103 处中心场点的主光线角为 7°。物平面 103 处主光线角的最大变化小于 0.1°。投影物镜 1300 在物侧是远心的。

[0185] 投影物镜 1300 具有矩形场。像侧场宽度 dx 为 26mm。像侧场长度 dy 为 2mm。投

影物镜 1000 具有 119mm 的物 - 像偏移。

[0186] 投影物镜 1300 在反射镜 1340 与 1350 之间提供中间图像。

[0187] 按照从物平面 103 到像平面 102 的辐射路径顺序,各反射镜的光焦度如下:反射镜 1310 具有正光焦度;反射镜 1320 具有负光焦度;反射镜 1330 具有正光焦度;反射镜 1340 具有正光焦度;反射镜 1350 具有负光焦度;反射镜 1360 具有正光焦度。

[0188] 每个反射镜的覆盖区的尺寸以 $M_x \times M_y$ 给出如下:反射镜 1310 为 271mm $\times$ 173mm;反射镜 1320 为 69mm $\times$ 65mm;反射镜 1330 为 290mm $\times$ 115mm;反射镜 1340 为 272mm $\times$ 66mm;反射镜 1350 为 81mm $\times$ 67mm;反射镜 1360 为 274mm $\times$ 243mm。

[0189] 中心场点的主光线入射角对于反射镜 1310、1320、1330、1340、1350 和 1360 分别为 9.66°、12.15°、9.10°、5.45°、13.31° 和 4.60°。子午切面上每个反射镜上的最大入射角 $\theta_{\max}$ 对于反射镜 1310、1320、1330、1340、1350 和 1360 分别为 11.20°、15.46°、9.63°、8.64°、23.31° 和 6.17°。反射镜 1310、1320、1330、1340、1350 和 1360 的 $\Delta\theta$ 分别为 3.25°、7.32°、1.57°、6.92°、21.18° 和 3.63°。

[0190] 反射镜 1340 具有正主光线角放大率,而反射镜 1310、1320、1330 和 1350 具有负主光线角放大率。投影物镜 1300 的像侧自由工作距离为 40mm。物侧自由工作距离为 582mm。

[0191] 在投影物镜 1300 中, d_{op-1}/d_{op-2} 为 1.63。此外,相邻反射镜对 1340 和 1350 分隔开大于投影物镜轨道长度的 50%。而且,反射镜 1310 与物平面 103 之间的距离大于投影物镜轨道长度的 50%。

[0192] 以下的表 5A 和表 5B 中表示了投影物镜 1300 的数据。表 5A 表示了光学数据,而表 5B 表示了每个反射镜表面的非球面常数。针对表 5A 和表 5B,反射镜标记有如下相关:反射镜 1(M1) 对应于反射镜 1310;反射镜 2(M2) 对应于反射镜 1320;反射镜 3(M3) 对应于反射镜 1330;反射镜 4(M4) 对应于反射镜 1340;反射镜 5(M5) 对应于反射镜 1350;反射镜 6(M6) 对应于反射镜 1360。

[0193]

表面	半径 (mm)	厚度 (mm)	模式
物	无限远	946.404	
反射镜 1	-605.890	-364.901	反射
反射镜 2	-368.417	0.000	反射
光阑	无限远	626.468	
反射镜 3	-1202.217	-556.441	反射
反射镜 4	1949.768	808.432	反射
反射镜 5	276.499	-313.562	反射
反射镜 6	401.291	353.600	反射
像	无限远	0.000	

[0194] 表 5A

[0195]

系数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.95606E-01	-1.82166E+00	-5.82444E-01	-2.38948E+00	3.35329E+00	1.67263E-01
Y	1.96214E-02	1.05243E-01	-1.91165E-01	-6.23536E-02	-4.99892E-02	1.30034E-02
X ²	1.71425E-04	1.61788E-04	8.52106E-05	7.49004E-05	-2.48914E-04	3.88103E-05
Y ²	1.59322E-04	1.15506E-04	-1.78602E-05	-9.20778E-05	-2.00659E-04	4.01025E-05
X ² Y	3.03035E-08	-8.08249E-07	-6.98999E-08	-6.74632E-08	7.56105E-07	5.29501E-09
Y ³	2.86899E-08	-3.26183E-07	-9.54345E-08	-1.51650E-07	2.54367E-07	8.86827E-09
X ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ³ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ³ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ³ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁵ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ³ Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁵ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁹	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁹	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
N radius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y- 偏离	-200.000	-82.208	200.000	44.996	-23.759	-73.032
X- 旋转	-11.492	6.153	4.904	-0.617	-3.814	7.061

[0196] 表 5B

[0197] 参照图 13, 投影物镜 1300 能够用于光学系统 1401 中, 该光学系统包括光源 1405 和照明光学器件, 其包括集光器单元 1415、光谱纯度滤光器 1425、场面元 (field facet) 反射镜 1435、瞳面 (pupil facet) 反射镜 1445 和聚焦反射镜 1455。光源 1405 是配置为向投影物镜提供 13.5nm 的辐射的 EUV 光源。集光器单元 1415 收集来自光源 1405 的辐射并且将辐射朝光谱纯度滤光器 1415 引导, 该滤光器过滤出波长为 13.5nm 的入射辐射并且将所述 13.5nm 的辐射朝场面元反射镜 1435 引导。连同瞳面反射镜 1445 和聚焦反射镜 1455, 场面元反射镜以 13.5nm 的辐射照射位于物平面 103 处的反射分划板。

[0198] 其它实施例在权利要求书中。

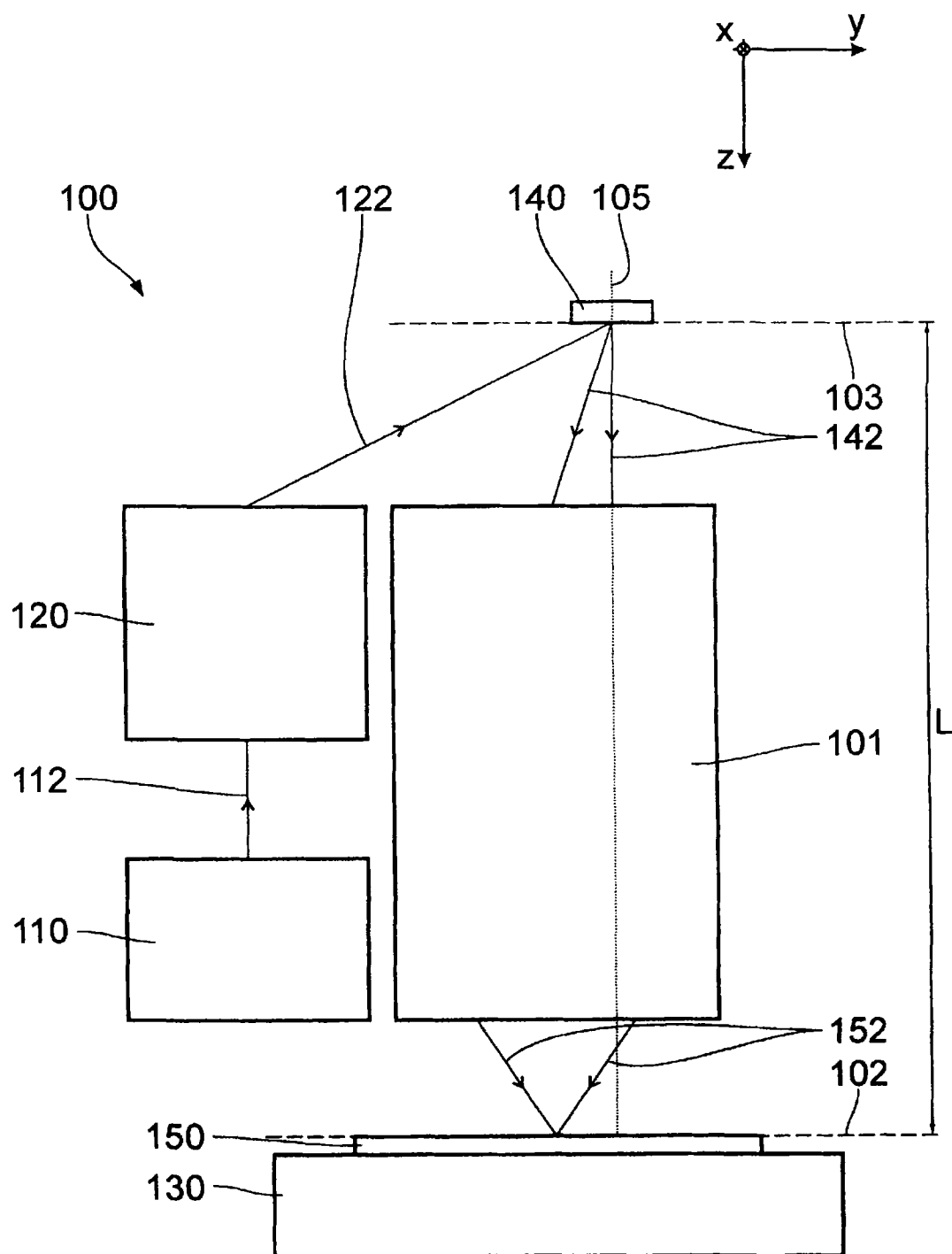


图 1

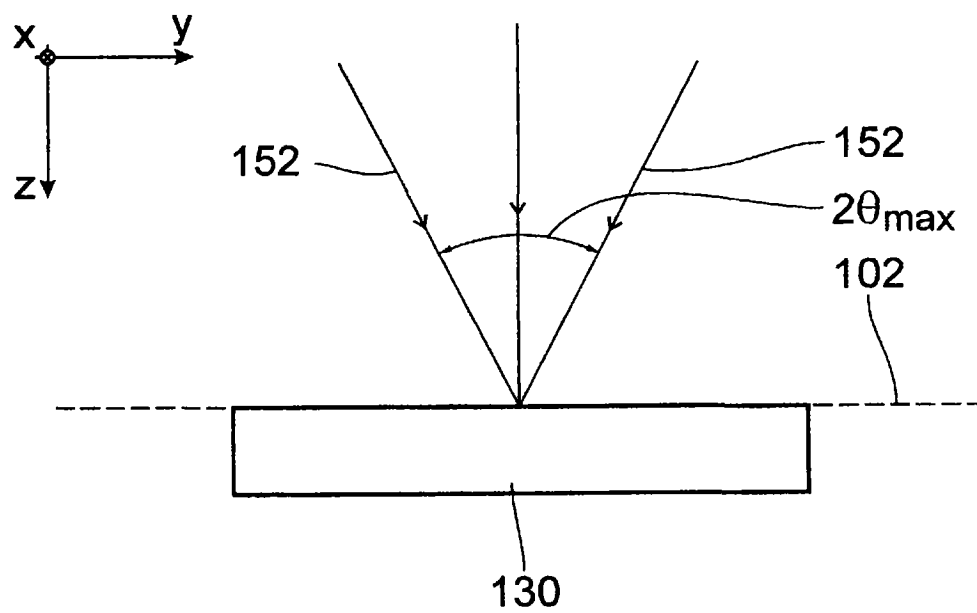


图 2

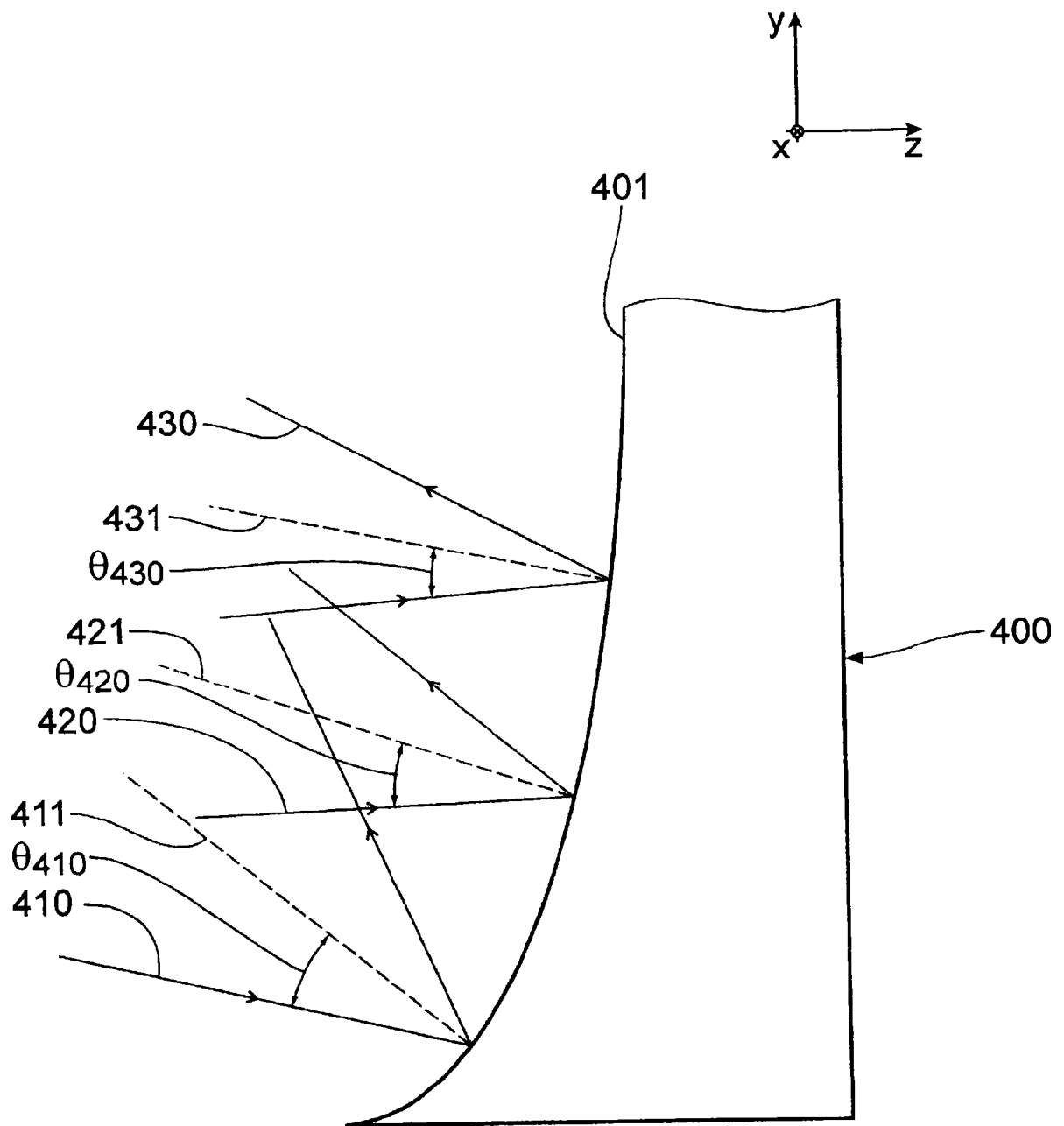


图 3

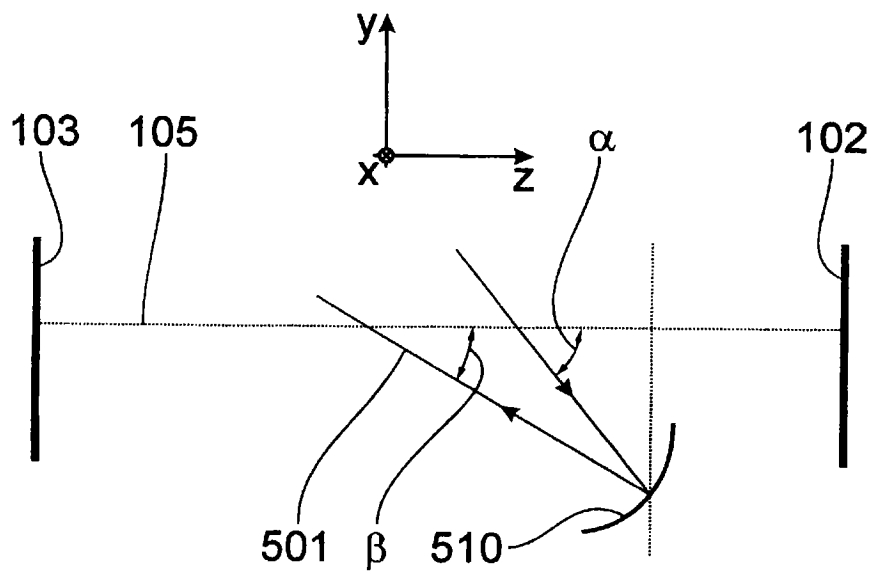


图 4

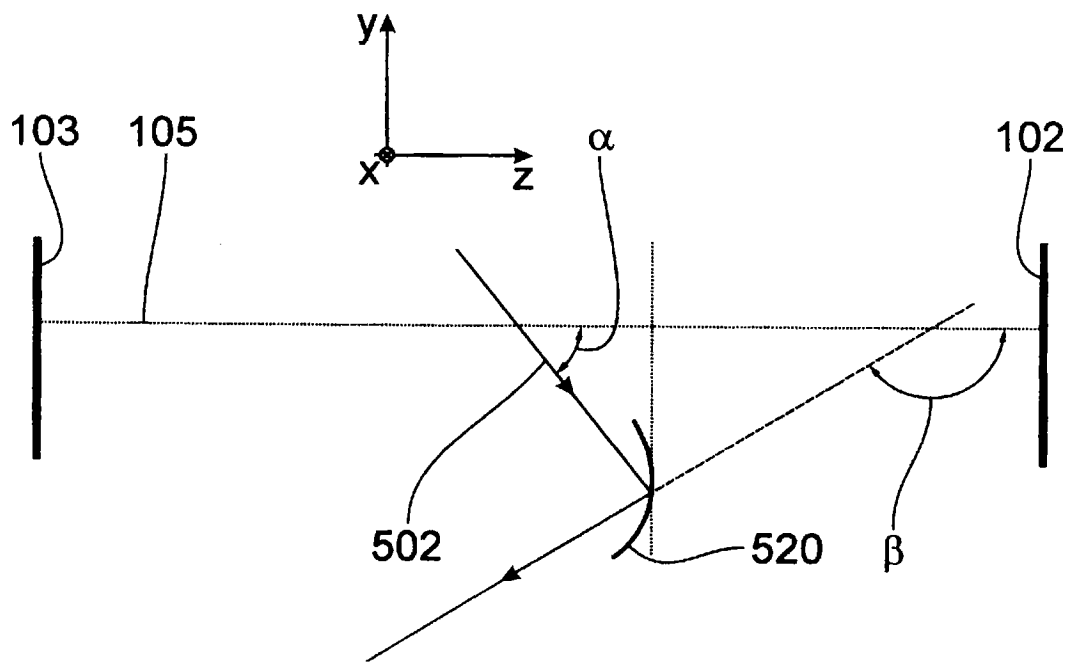


图 5

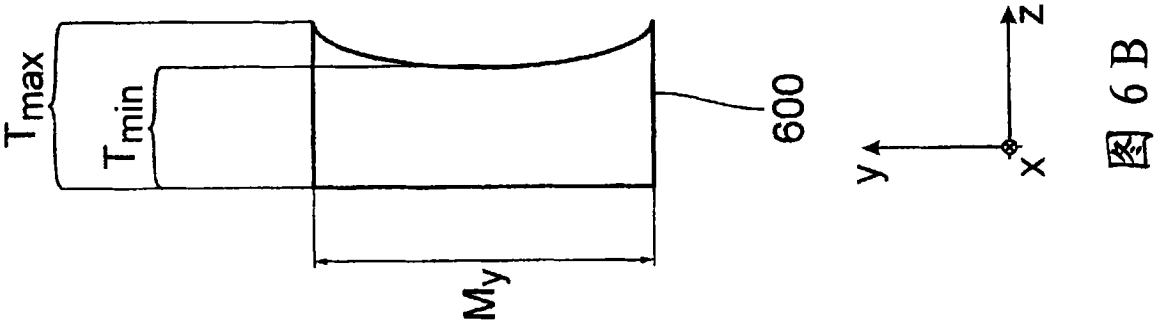


图 6 B

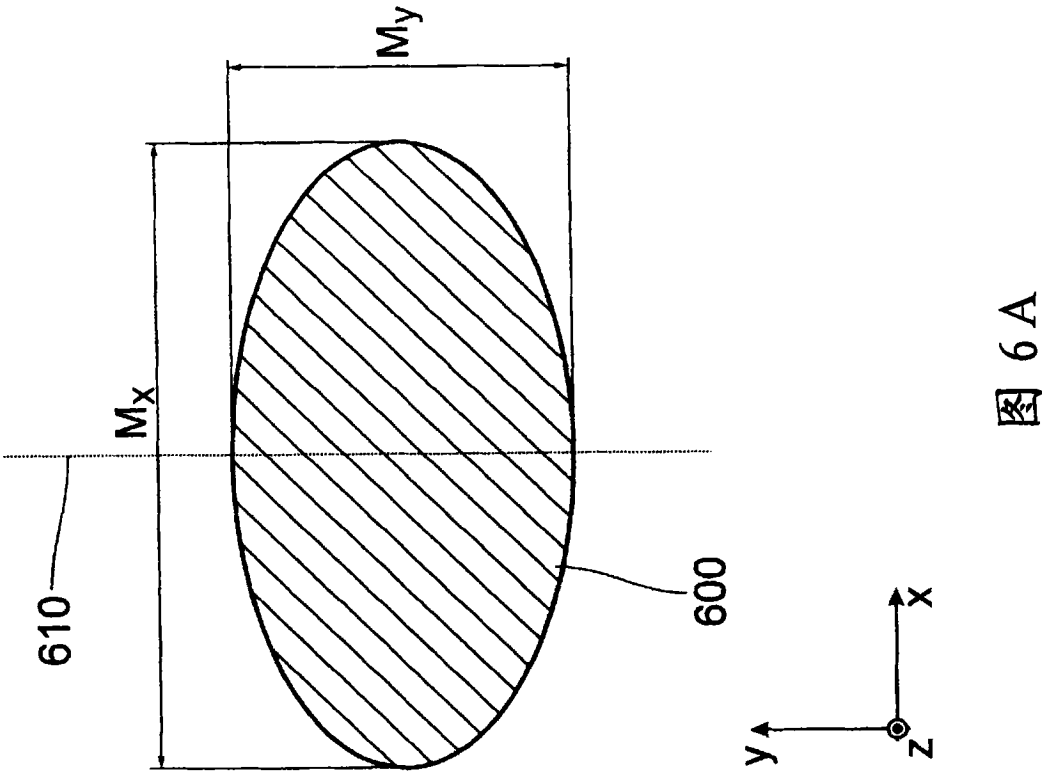


图 6 A

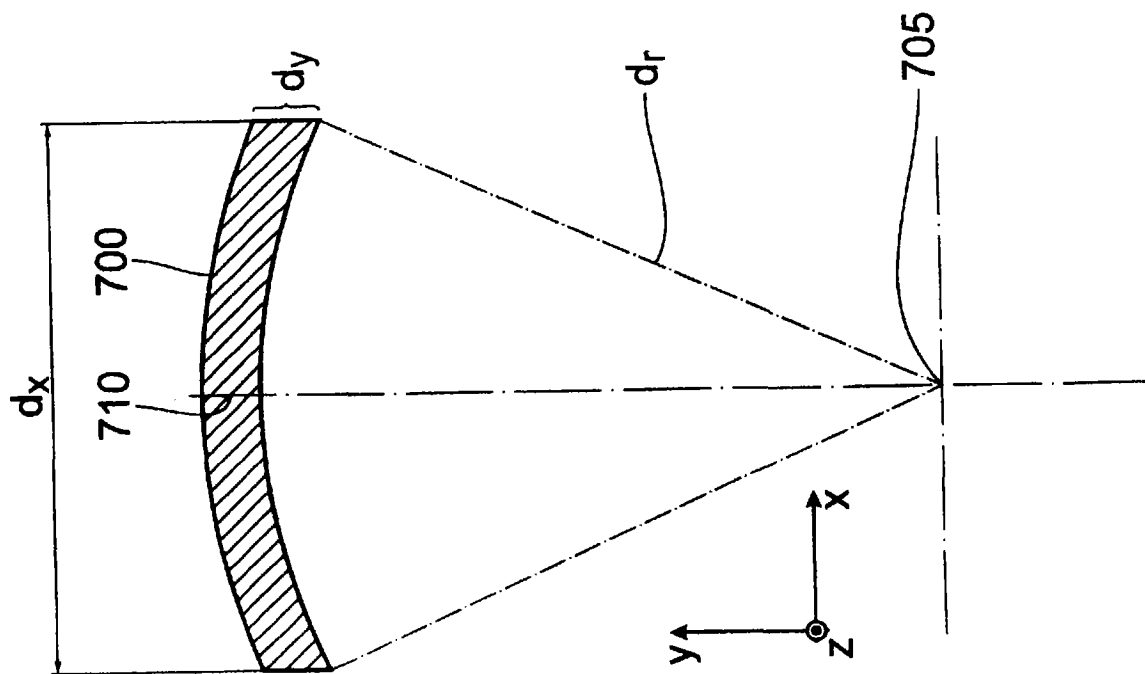


图 7 A

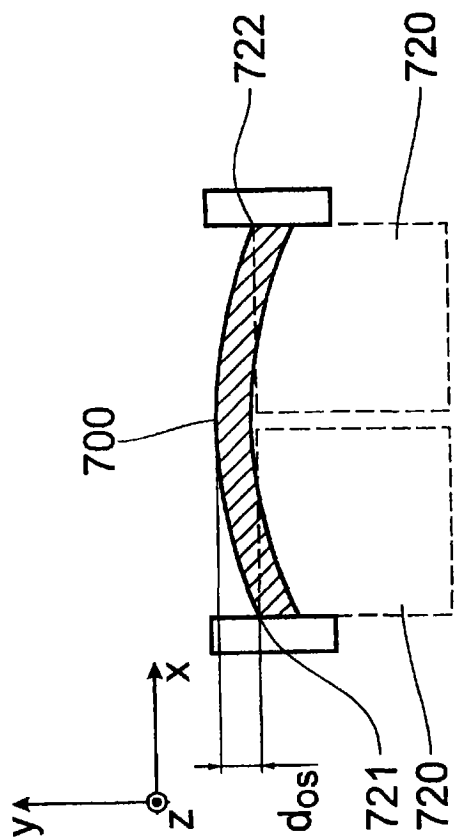


图 7 B

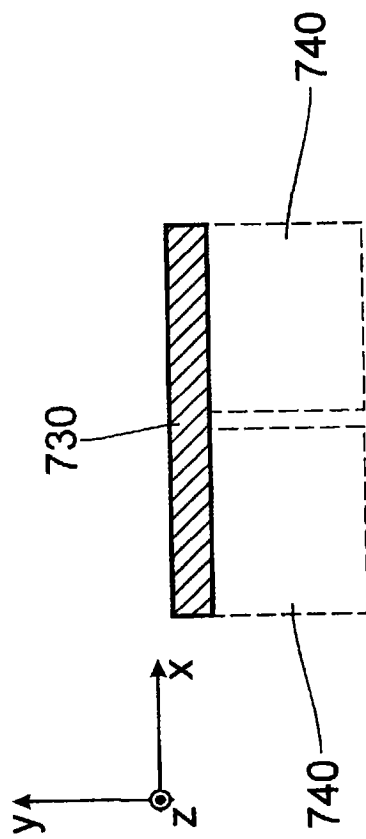


图 7 C

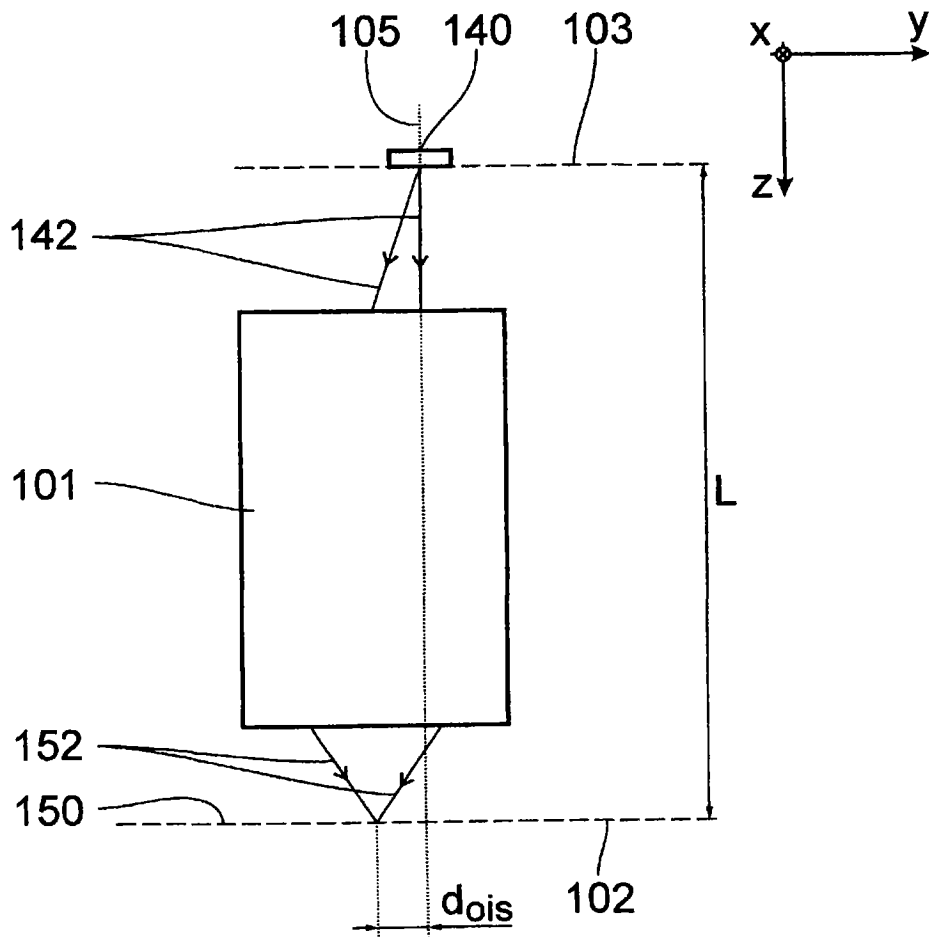


图 8

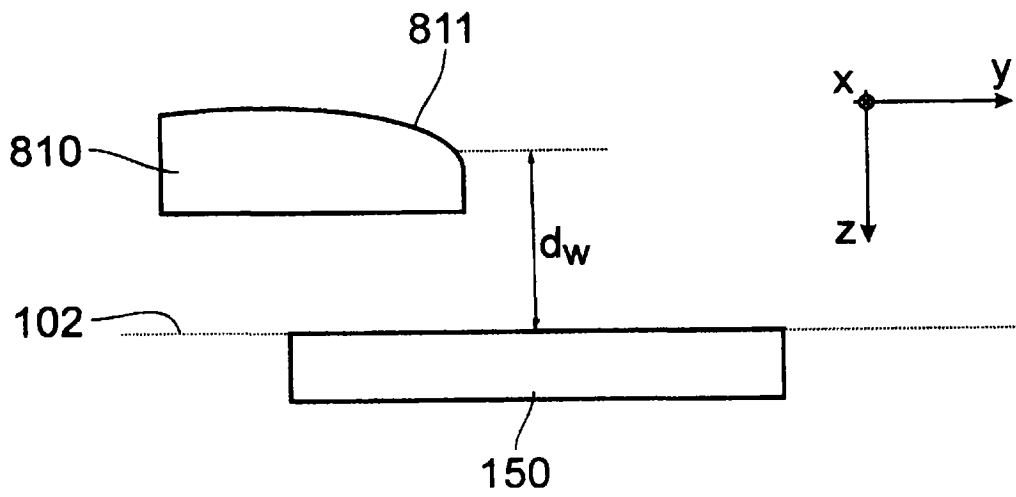


图 9

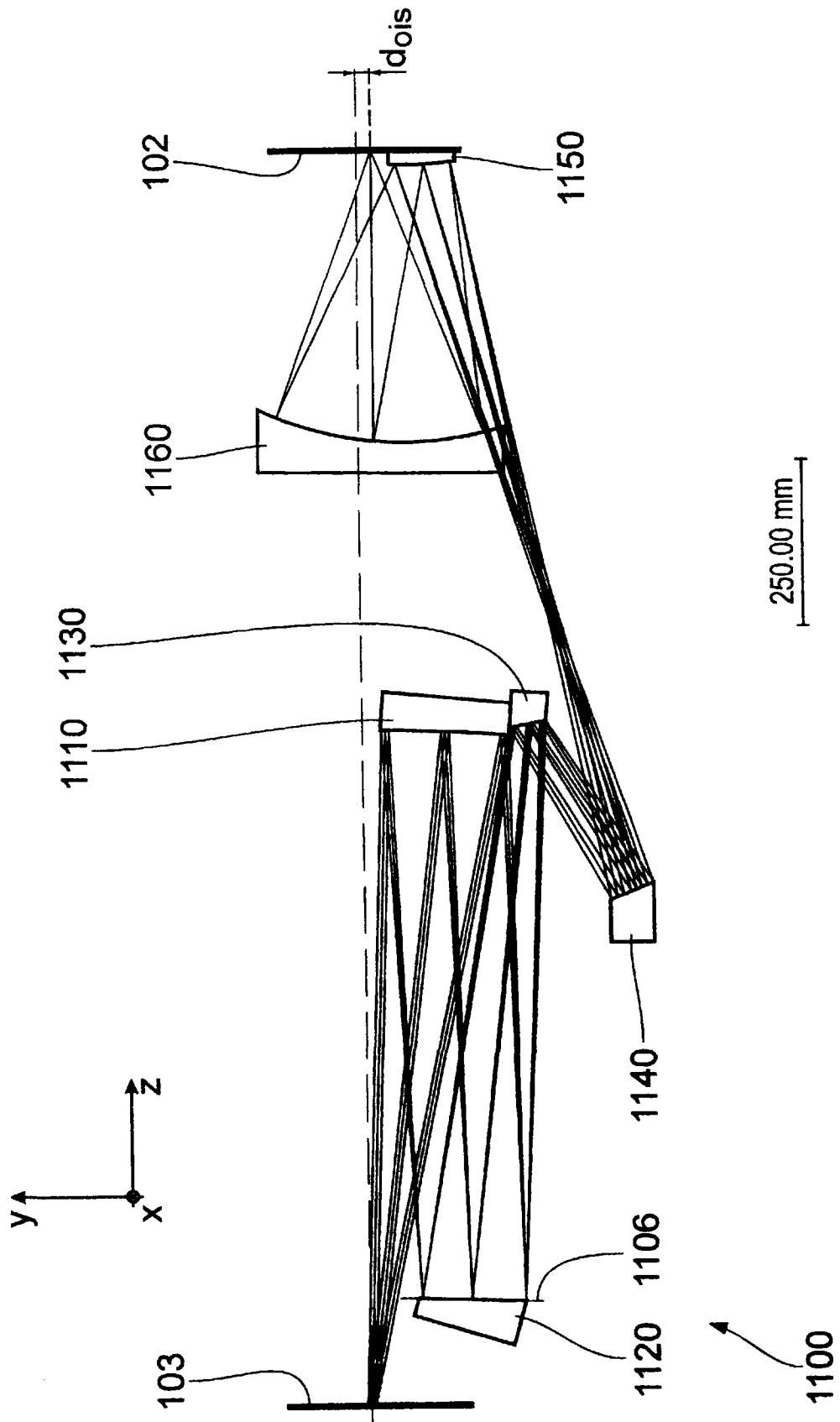


图 10

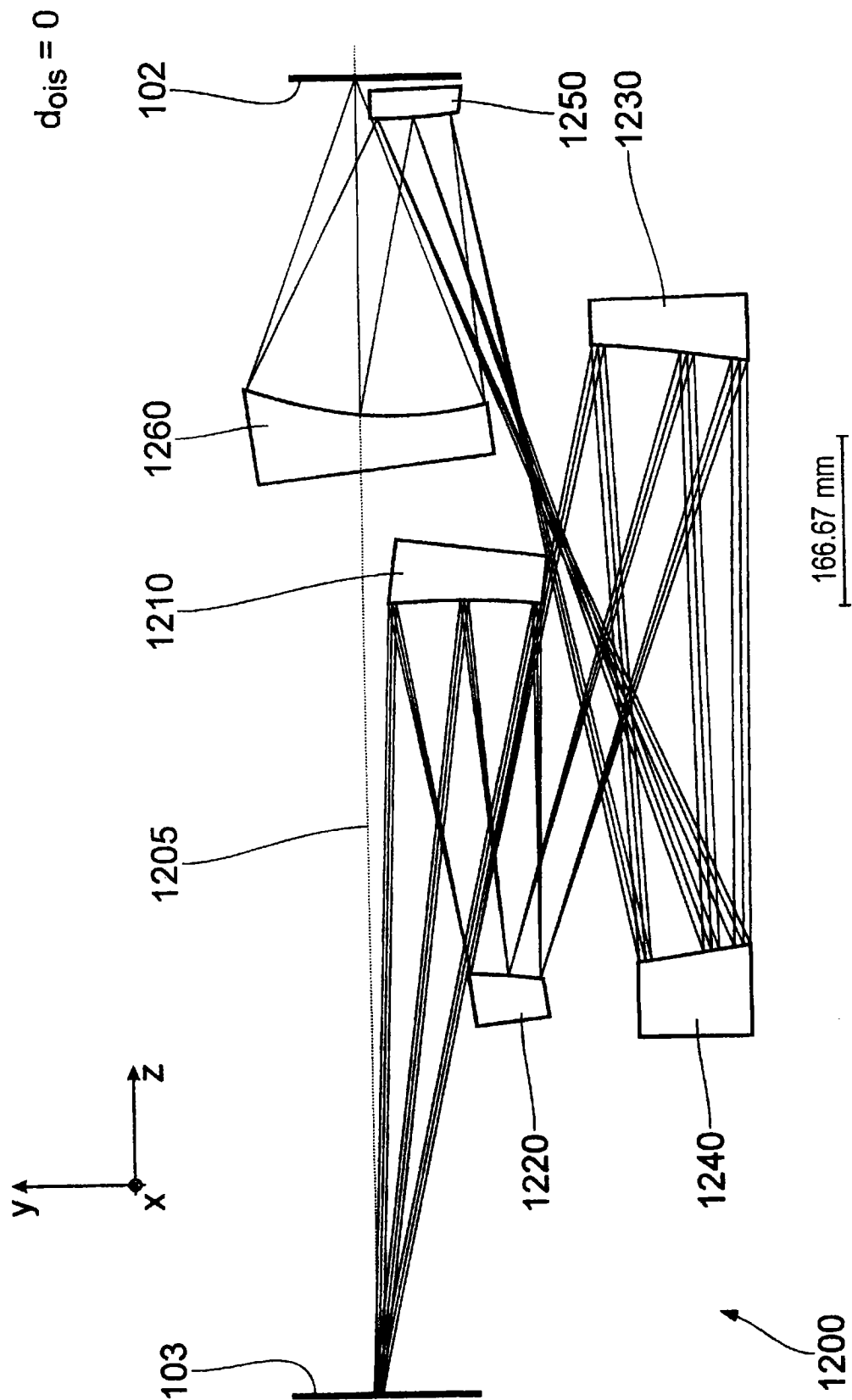


图 11

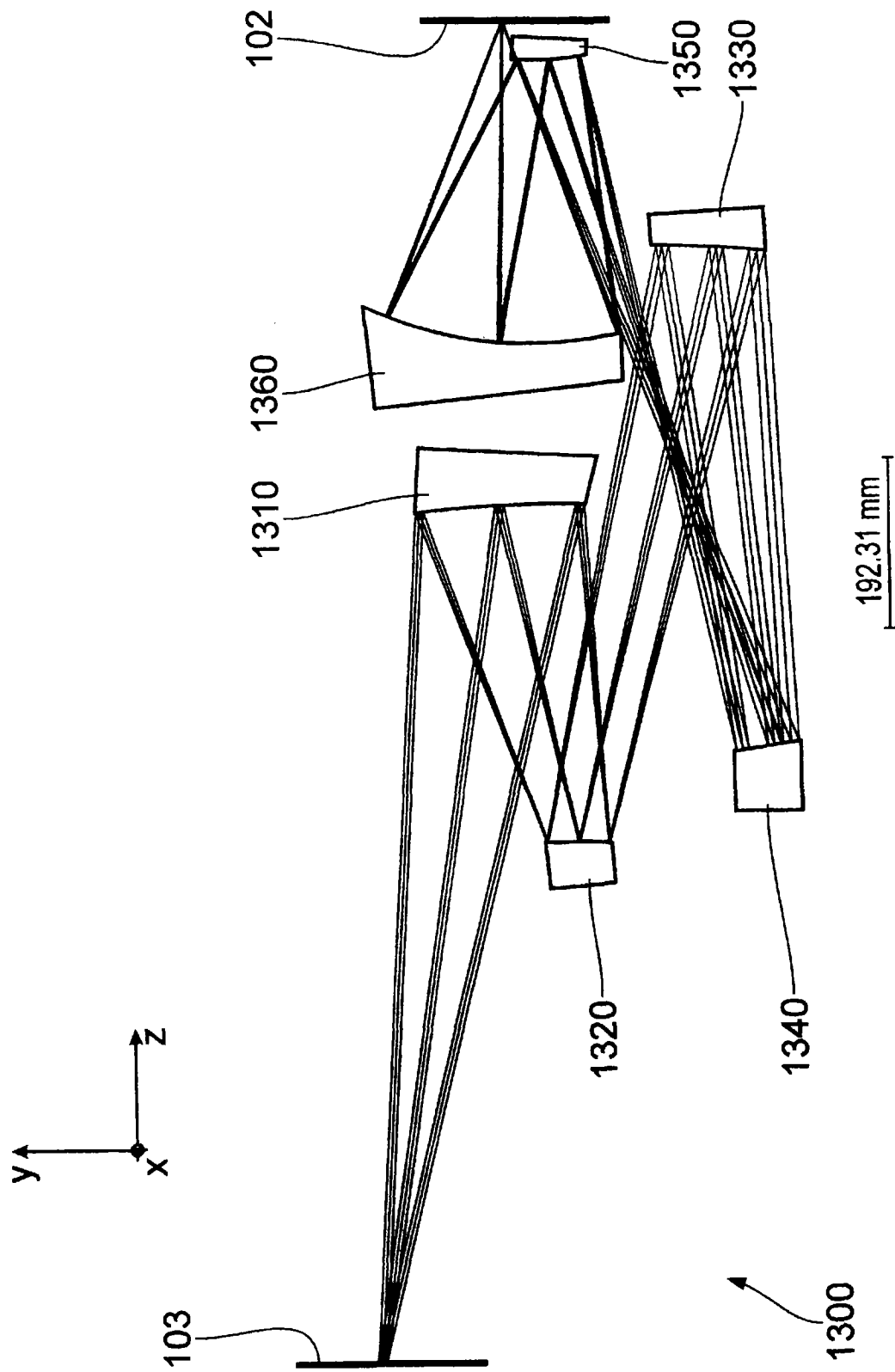


图 12

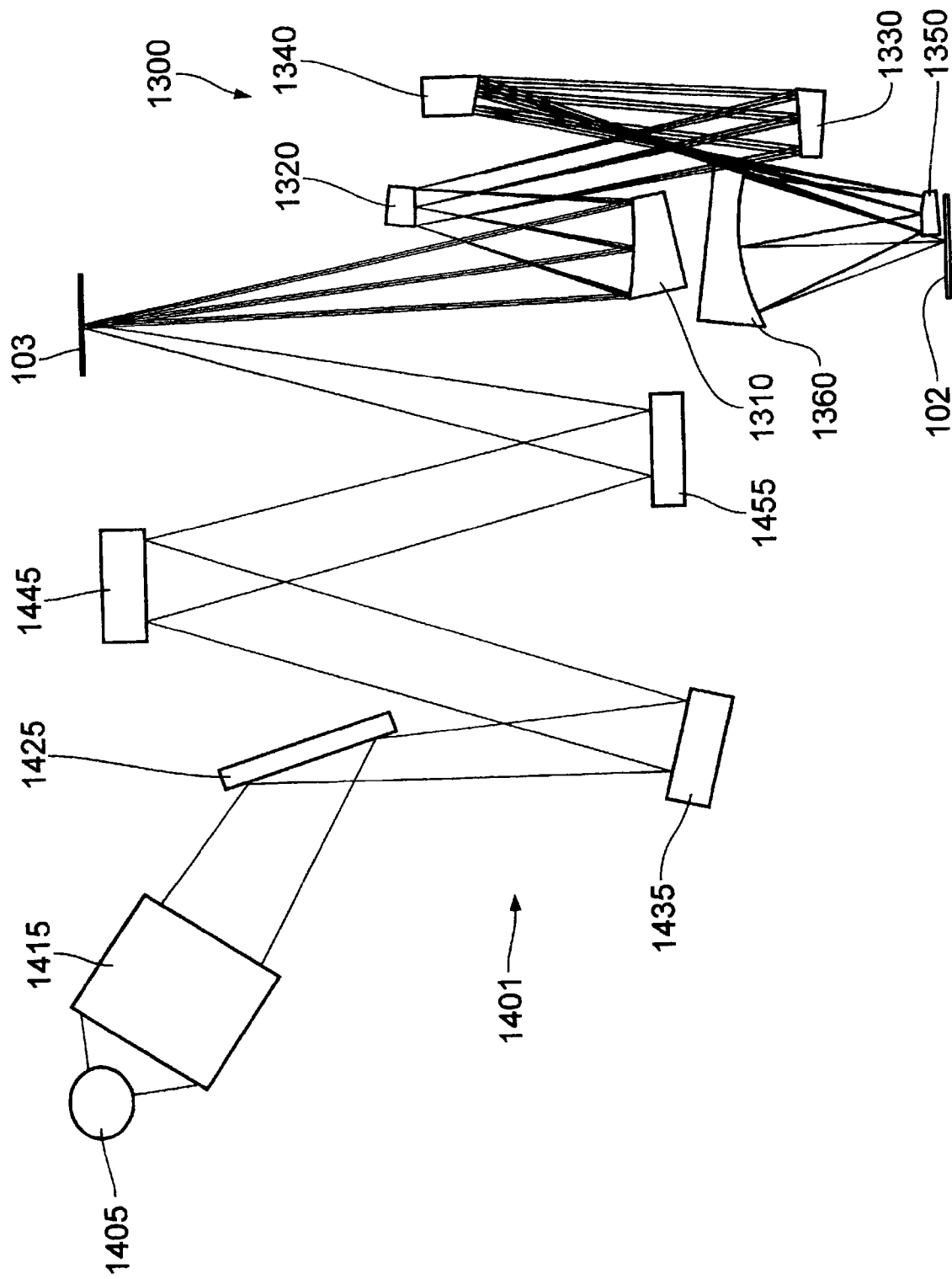


图 13