



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102749810 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 24

(21) 申请号 201210220221. 0

G02B 17/06(2006. 01)

(22) 申请日 2008. 10. 11

(30) 优先权数据

102007051671. 3 2007. 10. 26 DE

60/982, 793 2007. 10. 26 US

(62) 分案原申请数据

200880113387. 4 2008. 10. 11

(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 威廉·乌尔里克

斯蒂芬·马伦德 哈特穆特·恩基希

(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)

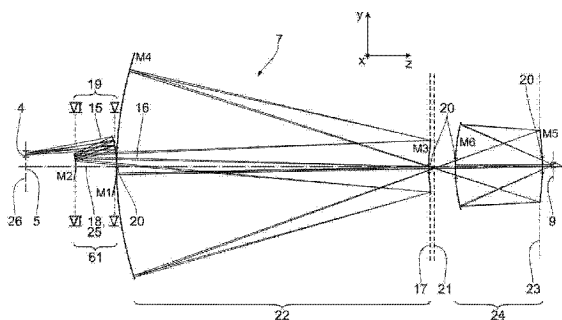
权利要求书 1 页 说明书 12 页 附图 13 页

(54) 发明名称

成像光学系统和投射曝光设备

(57) 摘要

成像光学系统(7)具有多个镜(M1至M6)。这些镜将物平面(5)中的物场(4)成像到像平面(9)中的像场(8)。在成像光学系统(7)中,镜(M1至M6)的反射表面上的成像光(15)的最大入射角和成像系统(7)的像方数值孔径的比小于 33.8°。这产生为镜的反射涂层提供好的条件的成像光学系统,利用该成像光学系统,当成像光通过该成像光学系统时,尤其甚至在小于 10nm 的 EUV 范围内的波长,对于成像光仍能够获得低的反射损失。



1. 具有至多为 0.5 的像方数值孔径的成像光学系统,其特征在于分辨能力好于 8nm。
2. 具有多个镜(M1 至 M6)的根据权利要求 1 所述的成像光学系统(7),该多个镜(M1 至 M6)将物平面(5)中的物场(4)成像到像平面(9)中的像场(8),所述成像光学系统(7)由下述比来表征:
 - 所有镜(M1 至 M6)的反射表面上的成像光(3)的最大入射角
 - 和所述成像光学系统(7)的像方数值孔径该比小于 33.8° 。
3. 根据权利要求 1 所述的成像光学系统,其特征在于,所述成像光学系统(7)包括至少一个遮拦镜(M3 至 M6),该遮拦镜具有用于使成像光(15)通过的通孔(20)。
4. 根据权利要求 2 所述的成像光学系统,其特征在于,所述成像光学系统(7)包括六个镜(M1 至 M6),其中至少三个镜优选正好四个镜(M3 至 M6)被遮挡。
5. 根据权利要求 1 所述的成像光学系统用于利用波长小于 10nm 的成像光(3)。
6. 根据权利要求 1 所述的成像光学系统,其特征在于分辨能力好于 6nm。
7. 用于微光刻的投射曝光设备,
 - 包括根据权利要求 1 至 6 的任一所述的成像光学系统(7),
 - 包括光源(2),
 - 以及包括照明光学系统(6),用于将照明光(3)引导到所述成像光学系统(7)的物场(4)。
8. 根据权利要求 7 所述的投射曝光设备,其特征在于,用于产生照明光(3)的所述光源(2)配置为具有小于 10nm 的波长。
9. 生产微结构部件的方法,具有下述方法步骤:
 - 提供掩模母版(10)和晶片(11),
 - 通过根据权利要求 7 或权利要求 8 所述的投射曝光设备,将所述掩模母版(10)上的结构投射到所述晶片(11)的光敏感层上,
 - 和在所述晶片(11)上产生微结构(B、C)。
10. 通过根据权利要求 9 所述的方法生产的微结构部件。

成像光学系统和投射曝光设备

[0001] 本申请是申请日为 2008 年 10 月 11 日且发明名称为“成像光学系统和投射曝光设备”的中国专利申请 No. 200880113387.4 的分案申请。

[0002] 本发明涉及成像光学系统。本发明还涉及包括该类型的成像光学系统的投射曝光设备、利用该类型的投射曝光设备来生产微结构部件的方法、和通过该方法生产的微结构部件。

[0003] 从 US 6,750,948 B2、US 2006/0232867 A1、EP 0 267 766 A2、US 7,209,286 B2 和 WO 2006/069 725 A1 可知开始所提到的成像光学系统。

[0004] 由于当光通过成像光学系统时在镜上的高的反射损失,在这些文件中所描述的成像光学系统具有透过性能,但当使用 EUV 辐射尤其是具有小于 10nm 的波长的 EUV 辐射时,不能容忍该透过性能。

[0005] 因此,本发明的目的是开发开始提到的成像光学系统类型,从而创造镜的反射涂层的好条件,利用该反射涂层,当成像光通过该成像光学系统时,尤其甚至在小于 10nm 的 EUV 范围内的波长,对于成像光仍能够实现低反射损失。

[0006] 通过本发明的成像光学系统,实现了该目的。

[0007] 根据本发明,公开了具有多个镜的成像光学系统,该多个镜将物平面中的物场成像到像平面中的像场,其由下述比来表征:所有镜的反射表面上的成像光的最大入射角和所述成像光学系统的像方数值孔径该比小于 33.8° 。已经发现,具有最大入射角和数值孔径的非常低的比的成像光学系统导致,为成像光学系统的多个镜的所有反射表面提供多层涂层的可能性,该多层涂层对于入射角以低接受带宽值的代价具有高的反射率。因为在根据本发明的成像光学系统中,入射角仅非常轻微变化,所以对于入射角,可以以低接受带宽使用该类型的多层涂层。最小入射角和数值孔径的比可以小于 33.0° 、小于 32.5° 、小于 32.0° 、小于 31.5° 、甚至小于 30.7° 。

[0008] 所述成像光学系统包括至少一个遮拦镜,该遮拦镜具有用于使成像光通过的通孔。如上述的至少一个遮拦镜使得对于给定像方数值孔径就最小化最大入射角方面有助于构建成像光学系统。

[0009] 所述成像光学系统包括六个镜,其中至少三个镜、优选正好四个镜被遮挡。已经发现如上述的构造特别适于最小化最大入射角和像方数值孔径的比。

[0010] 根据本发明的具有多个镜的成像光学系统,该多个镜将物平面中的物场成像到像平面中的像场,其特征在于,镜中的每一个载有用于具有小于 10nm 的波长的成像光的反射涂层,所述镜具有大于 50% 的平均反射率,所述反射涂层的单个双层的层厚随该层距成像光学系统的光轴的距离的增加而抛物线地增加。镜中的每一个载有反射涂层,从而所述镜对于波长为 6.9nm 的成像光具有大于 58% 的平均反射率。如上述的镜上的反射涂层允许小于 10nm 的结构分辨率。如上述的成像光学系统还具有之前已经解释过的与至少一个遮拦镜相关联的优点。利用该类型的遮拦镜,能够实现光瞳遮拦,即遮挡入射到像场上的成像光的特定入射角。利用权利要求 5 所述的成像光学系统,可以实现 6nm 的结构分辨率或者甚至更小结构的分辨率。 B_4C/CsI 多层可以用作反射涂层。每一多层反射涂层可以从 300 个

B₄C/CsI 双层构造。单个双层的层厚可以随该层距成像光学系统的光轴的距离的增加而抛物线地增加。以该方式,对于在镜边缘更大偏离垂直入射的入射角,镜的反射率增加。

[0011] 根据本发明,用于利用波长小于 10nm 的成像光(3)的成像光学系统的分辨能力好于 8nm、以及更甚优选好于 6nm。根据本发明,具有至多为 0.5 的像方数值孔径的成像光学系统的分辨能力好于 8nm、以及更甚优选好于 6nm。具有上述的分辨能力的成像光学系统允许最精细结构的分辨率。以该方式,可以生产最高集成化的微结构或纳米结构部件。如权利要求 8 所述的数值孔径仍还算适于实现该分辨能力,优选最多使用 0.4 的像方数值孔径。这有助于构建成像光学系统。

[0012] 根据本发明的成像光学系统除了所要求保护的那些外,还可以包括上述讨论的特征的组合。

[0013] 根据本发明,用于微光刻的投射曝光设备包括上述的成像光学系统,光源以及照明光学系统。照明光学系统用于将照明光引导到所述成像光学系统的物场。用于产生照明光的所述光源配置为具有小于 10nm 的波长。上述的投射曝光设备的优点相应于在前参照根据本发明的成像光学系统解释的那些。投射曝光设备的光源可以配置为宽带并例如可以具有大于 1nm、大于 10nm 或大于 100nm 的带宽。此外,投射曝光设备可以配置以使能够利用不同波长的光源工作。其他波长特别是用于微光刻的那些波长的光源也可以与根据本发明的成像光学系统结合使用,例如具有 365nm、248nm、193nm、157nm、126nm、109nm 的光源,和尤其还有具有小于 100nm 的波长的光源。因此,取决于使用的波长,需要光学表面适当适配的涂层。

[0014] 如上述的光源需要镜上的反射涂层,其对入射角仅具有小的接受带宽,以便获得最小的反射率。利用如本发明所述的成像光学系统,可以满足对于入射角的低接受带宽的该要求。

[0015] 根据本发明,生产微结构部件的方法具有下述方法步骤:提供掩模母版和晶片,通过上述的投射曝光设备,将所述掩模母版上的结构投射到所述晶片的光敏感层上,和在所述晶片上产生微结构。如上述的生产方法和从而产生的纳米结构部件具有相应的优点。

附图说明

[0016] 下面,借助于附图更详细地描述本发明的实施例,其中:

[0017] 图 1 是用于 EUV 光刻的投射曝光设备的示意图;

[0018] 图 2 是该投射曝光设备的成像光学系统的实施例的子午截面图;

[0019] 图 3 是根据图 2 的成像光学系统的物场的放大图示;

[0020] 图 4 是在成像光学系统的物平面的区域中通过选择的场点和通过根据图 2 的成像光学系统的光轴的成像光线的截面;

[0021] 图 5 是通过图 2 中的平面 V-V 的通过根据图 4 的成像光线的截面;

[0022] 图 6 是通过图 2 中的平面 VI-VI 的通过根据图 4 的成像光线的截面;

[0023] 图 7 以简图的形式示出利用根据图 2 的成像光学系统,结构像的局部相干空间像的计算结果,该简图示出作为在成像光学系统的像场中的位移的函数的成像光线的相对强度;

[0024] 图 8 是类似于图 7 的、具有相比图 7 的较小的结构宽度的结构像的局部相干空间

像计算结果的图示；

[0025] 图 9 是类似于图 2 的、根据图 1 的投射曝光设备的成像光学系统的另一实施例的视图；

[0026] 图 10 是类似于图 4 的、根据图 9 的成像光学系统的选择的场点的成像光线的穿透点的视图；

[0027] 图 11 是通过图 9 中的平面 XI-XI 的通过根据图 10 的成像光线的截面；

[0028] 图 12 是通过图 9 中的平面 XII-XII 的通过根据图 10 的成像光线的截面；

[0029] 图 13 是通过成像光学系统的实施例中的多个镜之一的一部分的截面，该截面垂直通过该镜的反射表面的反射涂层；以及

[0030] 图 14 是示出对于不同入射角优化的两个反射涂层，根据图 13 的反射涂层类型的反射率作为镜的反射表面上的成像光的入射角的函数的图示。

具体实施方式

[0031] 用于微光刻的投射曝光设备具有用于照明光或照明辐射 3 的光源 2。光源 2 是 EUV 光源，其产生例如 5nm 与 30nm 之间尤其是 5nm 与 10nm 之间的波长范围内的光。光源具体为具有 6.9nm 的波长的光源。其他的 EUV 波长也可行。通常，可见波长或其他波长的任何期望波长（例如 365nm、248nm、193nm、157nm、129nm、109nm）可以用于在投射曝光设备中引导的照明光 3，该波长例如可以在光刻中使用，且对于该波长，适当的激光光源和 / 或 LED 光源是可用的。在图 1 中相当示意地示出照明光 3 的光路。

[0032] 照明光学系统 6 将来自光源 2 的照明光 3 引导到物平面 5 中的物场 4（参看图 3）。物场 4 通过投射光学系统或成像光学系统 7 以预定缩小比例成像到像平面 9 中的像场 8（参看图 2）。图 2 所示的一个实施例和下面可以用于投射光学系统 7。根据图 2 的投射光学系统 7 具有缩小因子 8。其他缩小因子也是可能的，例如 4x、5x、或者甚至大于 8x 的缩小比例。对于具有 EUV 波长的照明光 3，8x 的成像比例尤为适合，因为折射掩模 10 上的物方入射角因而能够保持较小。另外，8x 的成像比例不需要使用不必要大的掩模。在根据图 2 的实施例的投射光学系统 7 和下面中，像平面布置平行于物平面 5。以这样的方式，还称为掩模母版的反射掩模 10 的与物场 4 相吻合的部分被成像。

[0033] 投射光学系统 7 所实现的成像发生在晶片形式的基底 11 的表面上，该晶片由基底支撑（support）12 支撑。图 1 示意性地示出在掩模 10 和投射光学系统 7 之间进入所述投射光学系统的照明光 3 的光束 13，以及在投射光学系统和基底 11 之间离开投射光学系统 7 的照明光或成像光 3 的光束 14。根据图 2，像场方的投射光学系统 7 的数值孔径为 0.40。这未按图 1 中的比例示出。

[0034] 为了有助于描述投射曝光设备 1 和投射光学系统 7 的各种实施例，在图中指定 xyz 系统，该 xyz 系统示出在要用的图中所表示的部件所取的各个位置。在图 1 中，x 方向垂直于且进入画平面延伸。y 方向向右延伸，而 z 方向朝下延伸。

[0035] 投射曝光设备 1 是扫描曝光机类型设备。在投射曝光设备 1 的工作期间在 y 方向上扫描掩模母版 10 和基底 11 两者。用于投射曝光设备 1 的步进曝光机类型设备也是可行的，在该步进曝光机类型设备中，基底 11 的各个曝光之间发生掩模母版 10 和基底 11 在 y 方向上的步进位移。

[0036] 图 2 示出投射光学系统 7 的第一实施例的光学构造。这示出三个单个光线 15 中的每一个的光路径,在每种情况中该光路径从两个物场点出发,图 2 中该两个物场点在 y 方向上彼此远离。属于这些两个物场点中的一者的三个单个光线 15 中的每个与关于两个物场点的三个不同照明方向相关联。为了简洁的原因,图 2 中仅示出通过投射光学系统 7 的光瞳平面 17 的光瞳中心延伸的主光线 16,因为归因于中心光瞳遮拦,这些不是投射光学系统 7 的真实的成像光路径。从物平面 5 出发,这些主光线 16 最初发散延伸。下面将这称为投射光学系统 7 的入瞳的负后焦长。根据图 2 的投射光学系统 7 的入瞳没有位于投射光学系统 7 内部,而是在光路径中的物平面 5 之前。这使得可以例如将照明光学系统 6 的光瞳部件布置在光路中投射光学系统 7 之前的投射光学系统 7 的入瞳中,而在该光瞳部件和物平面 5 之间没有必须存在的另外成像光学部件。作为替代,正的入瞳后焦长,或者作为另一替代的物方远心光路也是可行的。第二替代被使用,例如使用分束元件且与作为物平面 5 中的掩模母版 10 的反射掩模相关,或结合在物平面 5 中作为掩模母版的透射掩模。

[0037] 根据图 2 的投射光学系统 7 具有总共 6 个镜,其从物场 4 开始在单个光线 15 的光路中顺序编号 M1 至 M6。图 2 仅仅示出镜 M1 至 M6 的计算反射表面。通常,镜 M1 至 M6 大于实际使用的反射表面。

[0038] 根据图 2 的投射光学系统 7 的光学数据通过两个表格在下面示出。在“半径”列中,第一表格示出镜 M1 至 M6 的各个曲率半径。第三列(厚度)描述了在每一情况中从物平面 5 开始到 z 方向上随后表面的距离。

[0039] 第二表格描述了镜 M1 至 M6 的反射表面的精确表面形状,其中常数 K 和 A 至 E 用在下面关于弧矢高度 z 的方程中:

$$[0040] \quad z(h) =$$

$$[0041] \quad = \frac{ch^2}{1 + \text{SQRT}\{1 - (1 + K)c^2h^2\}} +$$

$$[0042] \quad + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12}$$

[0043] 这里, h 表示投射光学系统 7 距光轴 8 的距离。因此, $h^2 = x^2 + y^2$ 。对于 c, 使用半径的倒数。

[0044]

表面	半径 (1/c)	厚度	工作模式
物平面	无限大	348.222	
M1	-379.407	-157.578	REFL
M2	-202.767	1353.319	REFL
狭缝	无限大	0.000	
M3	1127.182	-1195.630	REFL
M4	1374.690	1626.377	REFL
M5	-975.061	-330.747	REFL
M6	681.443	375,745	REFL
像平面	无限大	0.000	

[0045]

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	-6.780209E-11	-1.455553E-15
M2	0.000000E+00	2.307286E-09	2.337524E-14
M3	0.000000E+00	1.500225E-09	1.781600E-14
M4	0.000000E+00	-1.573831E-12	-8.140292E-19
M5	0.000000E+00	6.446612E-10	2.597249E-15
M6	0.000000E+00	3.799673E-10	1.680031E-15
表面	C	D	E
M1	-3.423358E-21	0.000000E+00	0.000000E+00
M2	5.367802E-18	0.000000E+00	0.000000E+00
M3	-2.232896E-19	0.000000E+00	0.000000E+00
M4	-5.798511E-26	0.000000E+00	0.000000E+00
M5	4.409975E-20	1.865473E-25	-9.721913E-32
M6	5.791990E-21	0.000000E+00	0.000000E+00

[0046] 第一镜组 19 的镜 M1 和镜 M2 以环形段且关于光轴 18 离轴使用。镜 M1 和 M2 的所使用的光学反射表面因此位于距光轴 18 的一距离处。物场 4 和像场 8 布置在距光轴 18 的一距离处。全部镜 M1 至 M6 的反射表面根据用于弧矢高度 z 的上述方程关于光轴 18 成旋转对称。

[0047] 镜 M1 和 M2 的光学利用区域对成像光的穿过不具有通孔,即不被遮拦。第一镜组 19 因此是非遮拦镜组。镜 M1 和 M2 的反射表面彼此相面对。

[0048] 镜 M1、M4、M5 和 M6 是凹镜。镜 M2 和 M3 是凸镜。

[0049] 单个光线 15 在成像光路中经过在镜 M2 和 M3 之间的镜 M4 的通孔 20。镜 M4 围绕通孔 20 使用。镜 M4 因此是遮拦镜。如 M4, 镜 M3、M5 和 M6 也都被遮拦且相似地每个也包

括大致中心通孔 20。总体上,在投射光学系统 7 中因此最初呈现出两个非遮拦镜(即镜 M1 和 M2) 以及四个遮拦镜(即镜 M3 至 M6)。

[0050] 光瞳平面 17 在投射光学系统 7 的光路中位于镜 M3 上单个光线 15 的反射区域中。

[0051] 镜 M1 和 M4 就其反射表面的取向而言背对布置。

[0052] 投射光学系统 7 的中间像平面 21 在成像光路中位于镜 M4 和 M5 之间。单个光线 15 经过镜 M3 的通孔 20 之后直接穿过中间像平面 21。

[0053] 镜 M3 和 M4 代表光瞳平面 17 和中间像平面 21 之间的投射光学系统 7 的第一遮拦镜组 22,该第一遮拦镜组 22 在成像光路中布置在非遮拦镜组 19 的后面。镜 M3 和 M4 的反射表面彼此相面对。

[0054] 单个光线 15 穿过光路中在中间像平面和镜 M5 之间的镜 M6 中的通孔 20。在镜 M5 上的单个光线 15 的反射区域中存在有投射光学系统 7 的另一光瞳平面 23。

[0055] 镜 M5 和 M6 代表中间像平面 20 和像平面 9 之间的投射光学系统 7 的另一遮拦镜组 24,该另一遮拦镜组 24 布置在遮拦镜组 22 的后面。镜 M5 和 M6 的反射表面彼此相面对。

[0056] 单个光线 15 在镜 M6 上反射后,单个光线 15 经过镜 M5 中的通孔 20 并到达像场 8。下表示出根据图 2 的截面图中单个光线 15 的最大和最小入射角。

[0057]	镜	最大入射角 (子午截面) [°]	最小入射角 (子午截面) [°]
	M1	7.52	5.87
	M2	12.35	9.16
[0058]	M3	10.38	0.81
	M4	2.35	0.42
	M5	12.10	1.66
	M6	10.41	2.19

[0059] 因此,到镜 M1 至 M6 的反射表面上的成像光的最大入射角和投射光学系统 7 的数值孔径的比通过镜 M2 上的最大入射角(该最大入射角为 12.35°) 规定。在根据图 2 的投射光学系统 7 中,该最大入射角和数值孔径的比因而为 30.9° 。

[0060] 低的最大入射角提供甚至对于低的 EUV 波长而使用反射表面的可能性,例如在 6.9nm 的范围内,因为低的最大入射角该 6.9nm 的范围对于入射角具有相对大的可接受带宽。这在下面通过图 14 进一步解释。关于入射角的反射层的可接受带宽随着最大入射角的减少而增加,对于该最大入射角构建该反射涂层。形成为具有大量的具体为连续交替的具有不同反射率的层材料的叠层的反射涂层也是可行的。当使用波长小于 10nm 的照明光 2 时,该类型的涂层具有对于入射角的相应低的可接受带宽。因此,即使在该类型的低波长,透镜系统 7 也能够被使用而相比目前技术具有相对低的反射损失,以及在单个镜的反射表面上具有反射率的较小差别。

[0061] 光轴 18 在图 2 中示出为虚线。根据图 2,该虚线同时表示主分界平面 25 (图 2 中的 xz 平面) 与子午平面(图 2 中的 yz 平面)的交叉线。该主分界平面 25 与图 2 中的绘图

平面垂直。光轴 18 位于主分界平面 25 中。此外,在光轴 18 上位于图 2 的子午平面中的中心物场点的法线 26 与主分界平面 25 垂直。该法线还位于图 2 的绘图平面中并与物平面 5 (图 2 中的 xy 平面) 和子午平面(即,图 2 中的绘图平面)的交叉线相一致。

[0062] 在子午截面中延伸的光学系统的成像光线不经过投射光学系统 7 的第一、非遮拦镜组 19 中的主分界平面 25。单个光线 15 在镜 M2 上反射后首先在成像光路中的镜 M2 和 M3 之间(即镜组 19 和 22 之间的转换处)通过主分界平面 25。主光线 16 在光瞳平面 17 中首先通过主分界平面 25。

[0063] 图 3 是投射光学系统 7 的物场 4 的放大图示。像场 8 具有完全相同的形状,除了减少 8 倍。场 4 是弧形场,其由相同半径 R 的两个弧 27、28 界定,该两个弧 27、28 在 y 方向上彼此平行移动距离 YS。场 4 还由分别与弧 27、28 的两端相连接且平行于法线 26 延伸的两个边界线 29、30 界定。两个边界线 29、30 彼此相距距离 XS (扫描狭缝宽)。主分界平面 25 经过两个边界线 29、30 的中心。因此,光轴 18 精确位于两个边界线 29、30 的中心之间。因为边界线 29、30 之间光轴 18 的该布置,场 4 因此为具有最小环形场半径 R 的场。这通过下面的表达式给出:

$$[0064] \quad R = \text{SQRT} \left[\left(\frac{XS}{2} \right)^2 + \left(\frac{YS}{2} \right)^2 \right]$$

[0065] 在图 2 的投射光学系统 7 中,物场 4 具有 XS=104mm (扫描狭缝宽)和 YS=8mm (扫描狭缝长)的尺寸。这对于物场 4 产生 52.154mm 的环形场半径 R。

[0066] 在边界线 29、30 与图 3 的顶部示出的弧 28 之间,场 4 具有边界过渡 31、32,这里弧 28 过渡到以直线延伸的边界线 29、30。在边界过渡 31、32 之间,场半径矢量 33 覆盖方位角 α ,利用下面的公式计算该方位角 α :

$$[0067] \quad \alpha = 2\arcsin(1/2 \text{ XS}/R)$$

[0068] 这对于物场 4 产生 171.2° 的方位角 α 。像场 8 具有相同的方位角。该高方位角意味着对于给定的 XS 范围场 4 尽可能靠近光轴 18 布置。这有助于当在物场 4 和像场 8 之间通过投射物镜 7 成像时容易校正成像误差。此外,大方位角导致镜 M1 至 M6 的小的基础直径(parent diameter)和低的非球面性。镜的基础直径在 D. A. Tichenor 等的专业论文“EUV Engineering Test Stand (EUV 工程检测标准)”,Lawrence Livermore National Laboratory, 14.02.2000,图 6 (预印 UCRL-JC-137668)中定义。利用大的方位角,还可以使得镜 M1 至 M6 上的入射角保持小。

[0069] 图 4 至 6 示出非遮拦镜组 19 内到选择的物场点的光束 34 的路径。下面结合图 4 至图 6 讨论的所有光束组的光束 34 中的每一个都与相同的物场点 25 相关联。示出总共 5 个光束组 35、36、37、38、39 的光束 34。光束组 35 至 39 在图 4 中从左到右编号。每一光束组 35 至 39 具有 5 个光束 34,该 5 个光束 34 属于具有相同 x 值但在 y 方向上彼此等距的物场点。图 4 中的中心光束组 37 属于位于子午平面中的物场点。

[0070] 图 4 示出物平面 5 附近的光束 34,从而能够看到弧形物场 4 的形状。边缘处的两个光束组 35 和 39 来自位于边界 29、30 的物场点。图 4 的视图在 y 方向上被压缩,以使弧场半径 R 显示出在 y 方向上比 x 方向上小。

[0071] 在图 4 的上部示出属于中心光束组 37 的场半径段 R。图 4 中,光束组 35 至 39 形成关于光轴 18 的向下开口的半圆。

[0072] 图 5 示出图 2 的截面 V 中即镜 M1 的区域中的光束 34。图 5 中,在镜 M1 上反射的光束组 40 至 44 位于环形段上并形成关于光轴 18 的向下开口的外半圆。

[0073] 此外,光束组 45 至 49 通过平面 V,该光束组 45 至 49 在光路中的镜 M2 和 M3 之间延伸。

[0074] 图 5 中光束组 45 至 49 也形成关于光轴 18 的向下开口的半圆。因此,光束组 45 至 49 的半圆位于光轴 18 和光束组 40 至 44 形成的半圆之间。

[0075] 由于光束组 40 至 44 一者的和光束组 45 至 49 另一者的两个半圆中的每一个都向下开口的事实,可以获得光束组 40 至 44 一者和光束组 45 至 49 另一者的单个光束 34 之间的足够大的最小距离,光束组 40 至 49 的紧密布置。该距离在图 5 中用 A 表示。因此,图 5 中用点划线所示的镜 M4 中的通孔 20 可以被界定在光束组 40 至 44 一者和 45 至 49 另一者之间而不用采取另外的步骤。

[0076] 距离 A 在实际中是必需的,因为镜 M1 至 M6 通常不会生产为有完美的锐利边。距离 A 也用作组装和调整系统的容限。传统上,距离 A 为几微米。

[0077] 图 6 以类似于图 5 的视图示出布置有镜 M2 的区域中平面 VI 中的物场点 25 的光束 34。在光束 34 在镜 M2 上反射处,光束组 50、51、52、53、54 位于光轴 18 附近。光束组 50 至 54 以半圆布置,在图 6 中该半圆向下开口。此半圆被光束组 55 至 59 的同样向下开口的半圆围绕,光束组 55 至 59 在成像光路中经过物平面 5 和镜 M1 之间的平面 VI。因此,与光束组 50 至 54 一者和 55 至 59 另一者相关联的多个半圆的半圆开口在平面 VI 中也以相同的方向开口,从而在这些光束组 50 至 54 一者和 55 至 59 另一者之间提供距离 A,同时紧密布置。在该情况中,镜 M2 的边缘处的定界 60 (如图 6 中用点划线所指示的)也是可行的而不对光束组 50 至 54 一者和 55 至 59 另一者产生晕影。

[0078] 平面 V 和 VI 之间,单个光线 15 因此经过多通过区域 61 (参看图 2)。该多通过区域 61 总共被通过 3 次,具体地,一方面由物平面 5 和镜 M1 之间的单个光线 15、另一方面由镜 M1 和 M2 之间的单个光线 15,并且还由镜 M2 和 M3 之间的单个光线 15。在多通过区域 61 中不存在投射光学系统 7 的光瞳平面。光瞳平面 17 和 23 布置在多通过区域 61 的外面。

[0079] 图 7 示出投射物镜 7 的局部相干图像计算结果。在所示出的图中,在像场 8 中,相对强度 I 向上绘制,作为向右绘制的位置 V 的函数。根据图 7 的图示出矩形结构的成像结果,该矩形结构总共有 7 个具有 10nm 像方结构宽的单个结构 B 和具有相同 10nm 的像方结构距离的中间空间 C。物方结构宽通过成像比例产生像方结构宽,且在当前情况下为 $8 \times 10 \text{nm} = 80 \text{nm}$ 。该结构布置在物场 4 即掩模母版 10 上。在通过像场 8 的扫描期间不同 y 值处的相对强度在图 7 的图示中画出为近似正弦线。成像光的波长为 6.9nm。

[0080] 相对强度在近似 0.06 (10nm 结构 B 的位置处)和 0.62 (10nm 中间空间 C 的中心处)之间波动。

[0081] 由于相对强度在结构区域 B 和结构中间空间 C 之间相当大的变化,该 10nm 的结构能够在像平面 9 中分辨而不用采取进一步的步骤,且能够用于通过基底 11 上相应光刻胶的曝光来产生像场 8 中相应结构。

[0082] 图 8 为类似图 7 的图示,图 8 是根据图 2 的投射物镜 7 的局部相干空间像计算结果的图示,为具有结构中间空间 C 的结构 B 的结构分辨,在像方该结构中间空间 C 在每一情况中具有 6nm 的延伸。该情况中,也使用 6.9nm 的波长。在该情况中,相对强度同样地从近

似 0.2 (结构 B 的中间) 的值到近似 0.37 (结构 B 之间的中间空间 C 的中心) 的值近似正弦地变化。因此, 6nm 的结构也被成像, 具有对于光刻胶显影的足够的强度变化。

[0083] 在该情况中, 也使用 6.9nm 的波长。

[0084] 图 9 示出投射光学系统 7 的另一实施例。相应于已经参照图 1 至图 8 解释过的部件和细节具有相同的附图标记并不再详细的讨论。

[0085] 下面, 通过两个表重现根据图 9 的投射光学系统 7 的光学数据, 这两个表相应于用于根据图 2 的投射光学系统 7 的表的布局。

表面	半径 (1/c)	厚度	工作模式
物平面	无限大	320.330	
M1	-393.803	-170.123	REFL
M2	-208.260	1326.985	REFL
STOP	无限大	0.000	
M3	3524.853	-1156.745	REFL
M4	1373.092	1633.832	REFL
M5	-2070.870	-417.088	REFL
M6	729.502	462.810	REFL
像平面	无限大	0.000	

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	-2.256168E-10	-1.464839E-15
M2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
M3	0.000000E+00	1.686353E-09	1.384199E-14
M4	0.000000E+00	-1.141200E-12	-1.895182E-19
M5	0.000000E+00	3.648003E-10	9.829850E-16
M6	0.000000E+00	1.500658E-10	5.461440E-16
表面	C	D	E
M1	-9.891998E-20	4.705529E-24	-1.095685E-28
M2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
M3	4.803348E-20	6.493470E-24	-2.340102E-29
M4	1.242408E-24	-7.309532E-30	1.625546E-35
M5	1.150420E-20	-2.504098E-25	2.419328E-30
M6	1.394218E-21	6.518915E-27	1.785169E-32

[0089] 根据图 9 的实施例具有 0.50 的数值孔径。中间像平面 21 在光路中位于镜 M4 和 M5 之间, 空间上位于镜 M3 的前面并位于其附近。镜 M2 是球面的。另外, 根据图 9 的投射光学系统 7 的构造相应于根据图 2 的投射光学系统 7 的构造。

[0090] 下表总结了单个光线 15 在镜 M1 至 M6 上的最大入射角。第三列附加地示出镜 M1 至 M6 的反射表面从与该反射表面具有最小误差拟合的球面(最佳拟合球面)的最大偏离。最大偏离为 180 μm 。因此,根据图 9 的投射光学系统 7 的所有镜 M1 至 M6 的非球面性较小,而镜 M2 实际上为球面,并且这简化了镜 2 的反射表面的构建。

镜	最大入射角 (子午截面) [°]	最小入射角 (子午截面) [°]	从最佳拟合球面 的最大偏离 [μm]
[0091] M1	6,95	4,61	5
M2	11,96	7,45	0
M3	9,75	0,47	160
[0092] M4	3,82	0,81	6
M5	15,34	2,27	104
M6	10,41	2,20	180

[0093] 在根据图 9 的投射光学系统 7 中,根据图 9 的投射光学系统 7 的镜 M1 至 M6 的反射表面上的成像光的最大入射角具体为镜 M5 上 15.34° 的入射角与 0.5 的数值孔径的比为 30.68°。

[0094] 根据图 9 的投射物镜 7 的总结构长为 2000mm。表面中的最大中心光瞳遮拦小于 7/分。

[0095] 图 10 至 12 为对应于图 4 至图 6 的示图,图 10 为物平面 5 的区域中光束组 35 至 39 的布置,图 11 为镜 M1 的区域中平面 XI 上光束组 40 至 44 和 45 至 49 的布置,而图 12 为镜 M2 的区域中平面 XII 上光束组 50 至 54 和 55 至 59 的布置。图 2 和图 9 的投射物镜 7 中光束组的布置在光束直径和光束彼此的距离的方面不同,但在光束组的半圆形布置和这些彼此相距的半圆形的各自相等取向向下开口的方面没有不同。

[0096] 在根据图 9 的投射物镜 7 的多通过区域 61 中,平面 XI 和 XII 之间没有投射光学系统 7 的光瞳平面,这也是图 2 的投射物镜 7 中的情况。

[0097] 在非遮拦镜组中,每一情况中的数值孔径略比遮拦镜组的低。

[0098] 图 13 为通过根据本发明的投射光学系统 7 的之前公开的实施例的镜 M1 至 M6 中之一的一部分的示意截面图。由于之前公开的实施例的所有镜 M1 至 M6 在层的次序方面大体上具有相似构造的反射表面,所以通过对于这些镜中的一个(下面,称作镜 M)的图 13 足以示出该层结构。根据图 13 的截面垂直于镜 M 的反射表面作出。

[0099] 在根据图 2 的投射光学系统 7 的实施例中,反射涂层 80 在镜 M 的基底表面 81 上总共构建有 300 个双层 82,在图 13 中示出其中的两个上面的双层和直接施加到基底表面的双层。图 13 中在所表示的双层 82 之间断开的中间空间中,布置有其余的双层(未示出)。

[0100] 每一双层 82 具有 3.5nm 的层厚 d_0 。每一双层 82 具有 2.1nm 层厚的碳化硼(B_4C)层用作间隔层 83。此外,每一双层 82 具有 1.4nm 层厚的碘化铯(CsI)的吸收层 84。反射涂层 80 具有沿光轴 18 的这些层厚。反射涂层 80 的层厚在镜 M 的反射表面上变化,如下将解释的。

[0101] 在下面的表格中总结了层数据,具体为层 83、84 的波长依赖折射率 n 和消光系数 k 以及表征反射涂层 80 的层厚分布 $d(r)$ 的系数:

[0102]

波长 [nm]	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2
B4C (n)	0.99710128	0.99591714	0.99503712	0.99431133	0.99368046
B4C (k)	0.00055386	0.00058077	0.00060834	0.00063680	0.00066696
CsI (n)	0.98456682	0.98382320	0.98305499	0.98224658	0.98139078
CsI (k)	0.00149566	0.00155002	0.00161212	0.00168633	0.00178452

[0103]

层厚分布		
系数	C0	C2
M1	0.9991	0.000E+0
		0
M2	1.0100	0.000E+0
		0
M3	0.9937	1.450E-06
M4	0.9940	0.000E+0
		0
M5	0.9940	1.098E-06
M6	0.9940	6.300E-07

[0104] 反射涂层 80 的层厚分布因此由以下公式描述：

$$[0105] \quad d(r) = d_0 \cdot (C0 + C2 \cdot r^2)$$

[0106] $d(r)$ 给出反射涂层 80 的双层 82 (即叠层) 的局部层厚, 作为镜 M 的反射表面上分别考虑的局部点距光轴 18 的径向距离的函数。反射涂层 80 的层厚因而对于 $C2 \neq 0$ 具有抛物线分布, 对于 $C2 > 0$, 层厚随着距光轴的距离的增加而增加。

[0107] 每一个双层 82 内的间隔层 83 与吸收层 84 的层厚比保持恒定, 而与距光轴 18 的距离 r 无关。这个比为：

$$[0108] \quad y = d(\text{吸收层}) / d(\text{双层}) = 0.4$$

[0109] 在该情况中, d 表示各个层的层厚。

[0110] 利用根据上面的表格的反射涂层 80, 镜 M1 至 M6 对于照明光 3 的 6.9nm 的波长具有 58% 的平均镜反射率。产生的投射光学系统 7 的总体反射率因而为 3.92%。因此, 在根据图 2 的投射光学系统 7 的所有镜 M1 至 M6 上反射后, 来自物场 4 的照明光 3 的强度的 3.92% 到达像场 8。

[0111] 根据图 9 的投射光学系统 7 的镜 M1 至 M6 可以载有相应的多层反射涂层, 诸如之前关于根据图 2 的实施例所解释的。用于描述抛物线层厚分布的系数 $C0$ 和 $C2$ 则对于镜 M1 至 M6 上入射角的分布来调整。

[0112] 图 14 示出根据两个反射涂层 80 的入射角的反射涂层 80 的反射率,该两个反射涂层 80 对于不同的入射角优化,具体地对于 0° (实线)和对于 10° (虚线)。能够清楚地看到,相比对于 10° 的入射角所优化的反射涂层,对于 0° 的入射角所优化的反射表面 80 的入射角可接受带宽显著较大。该入射角的可接受带宽随着用于反射涂层 80 优化的入射角而单调减少。镜 M1 至 M6 中的一个镜上的最大入射角越小,可以用于反射涂层 80 优化的入射角越小并且可用于该镜 M1 至 M6 的反射涂层 80 的入射角的可接受带宽越大。

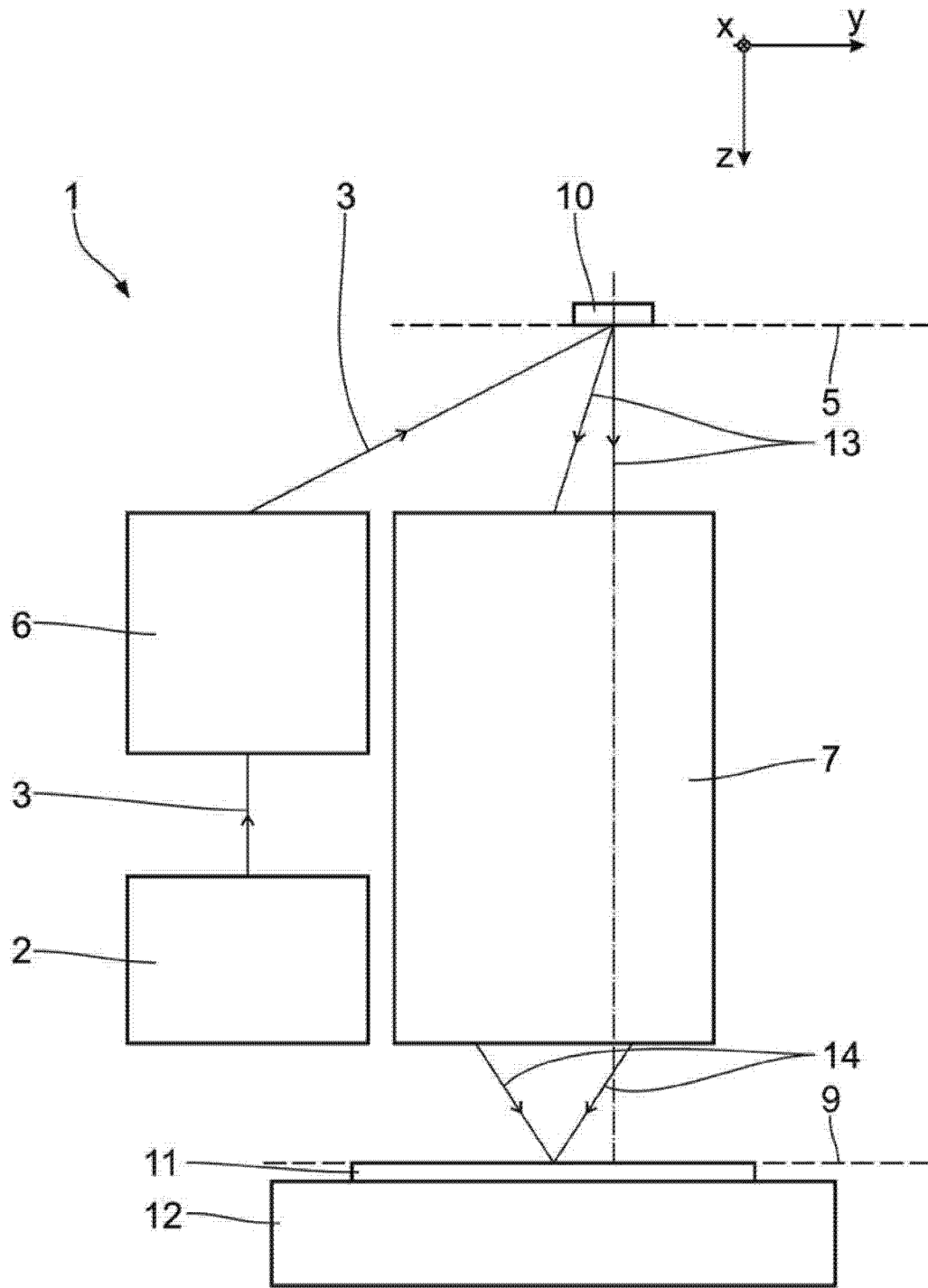


图 1

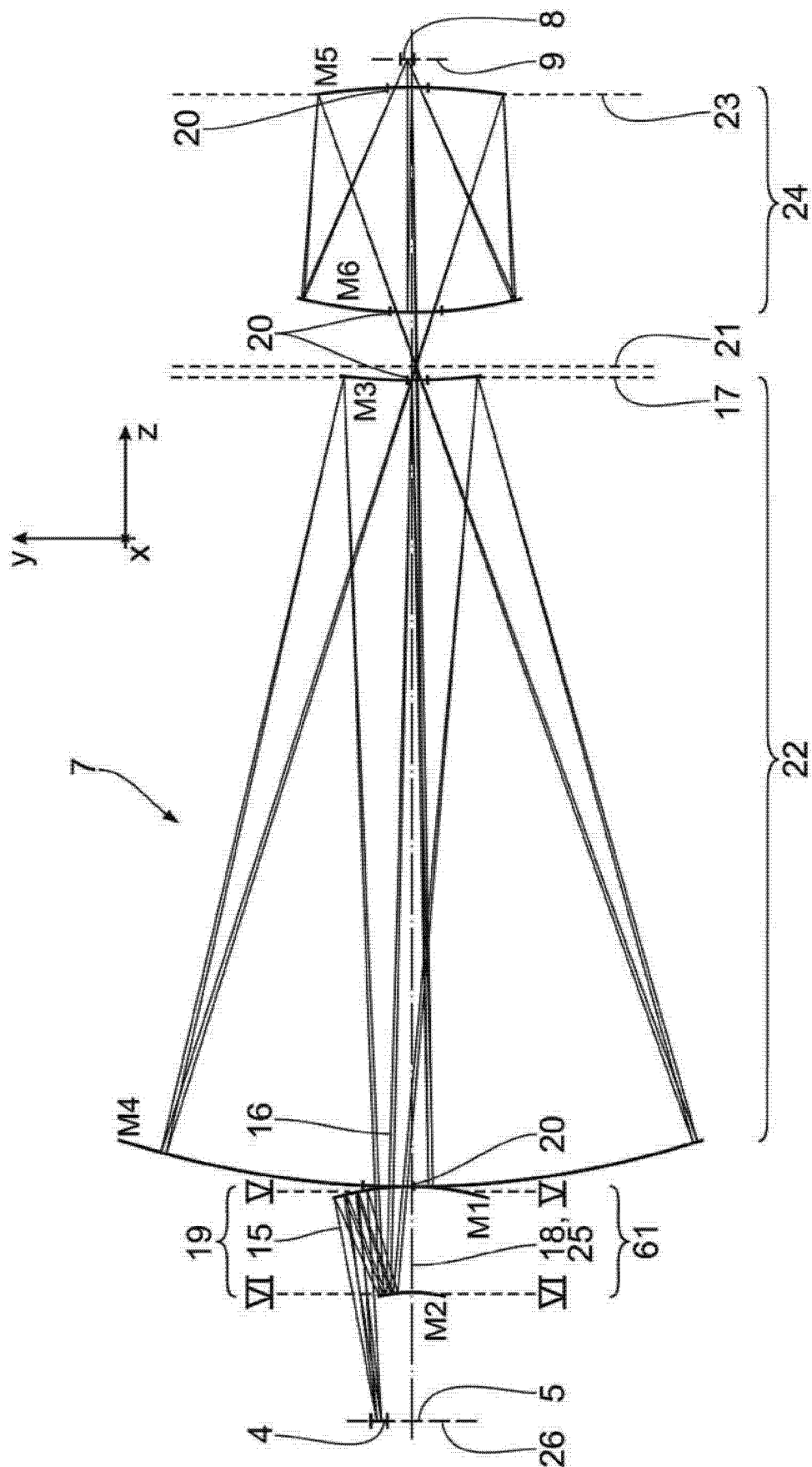


图 2

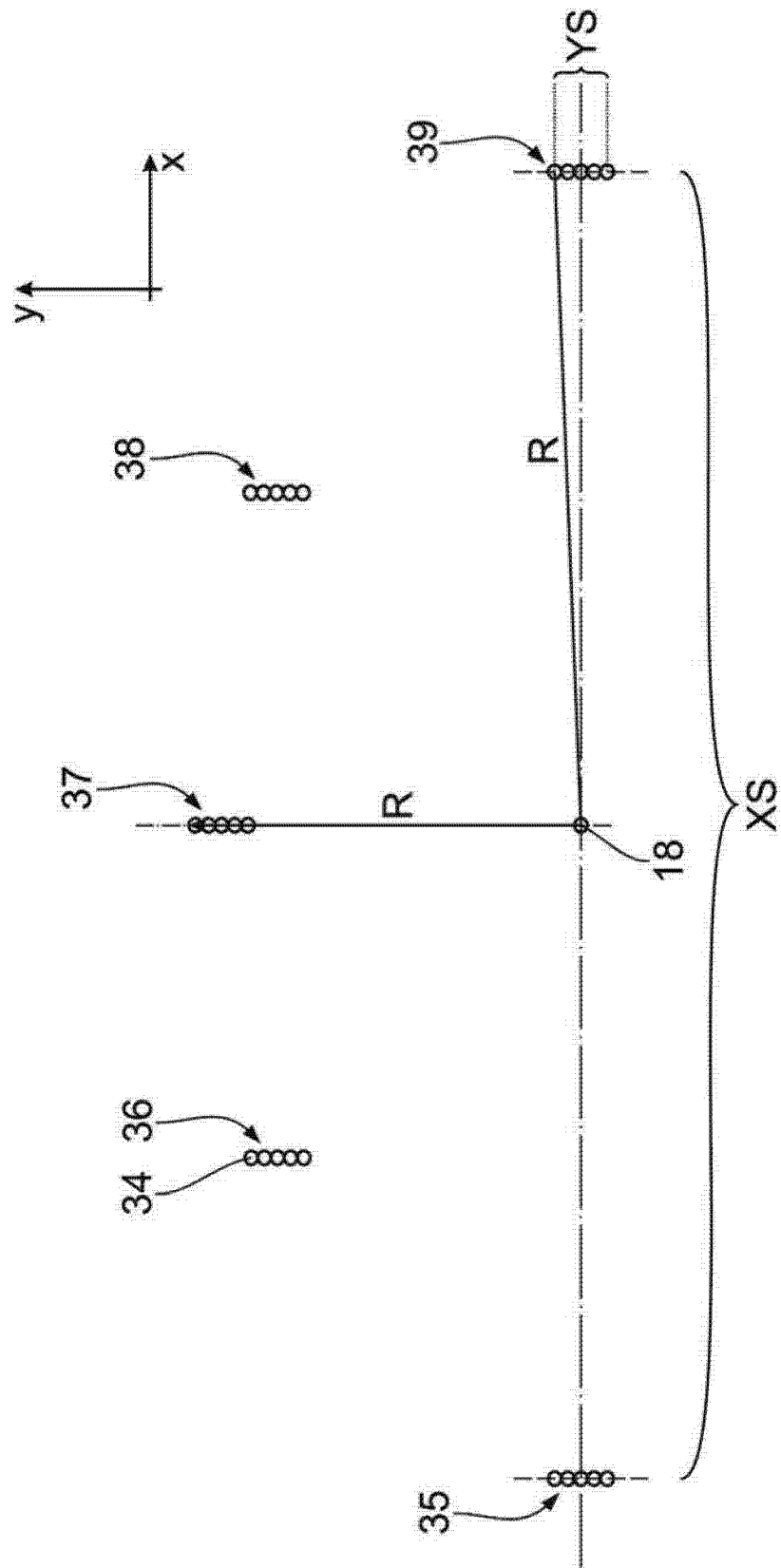


图 4

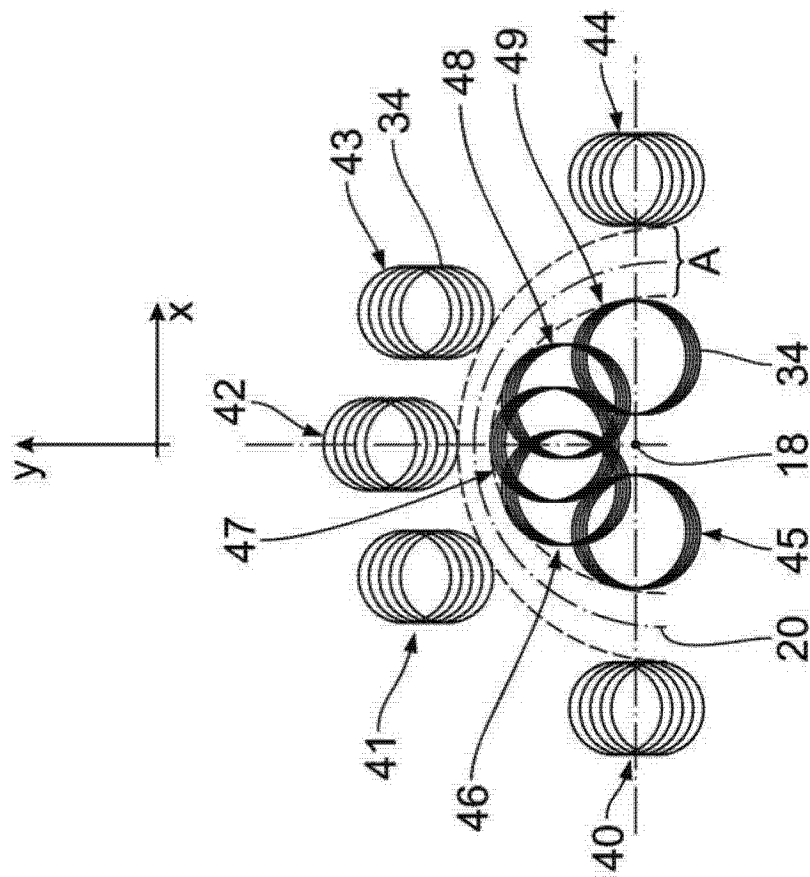


图 5

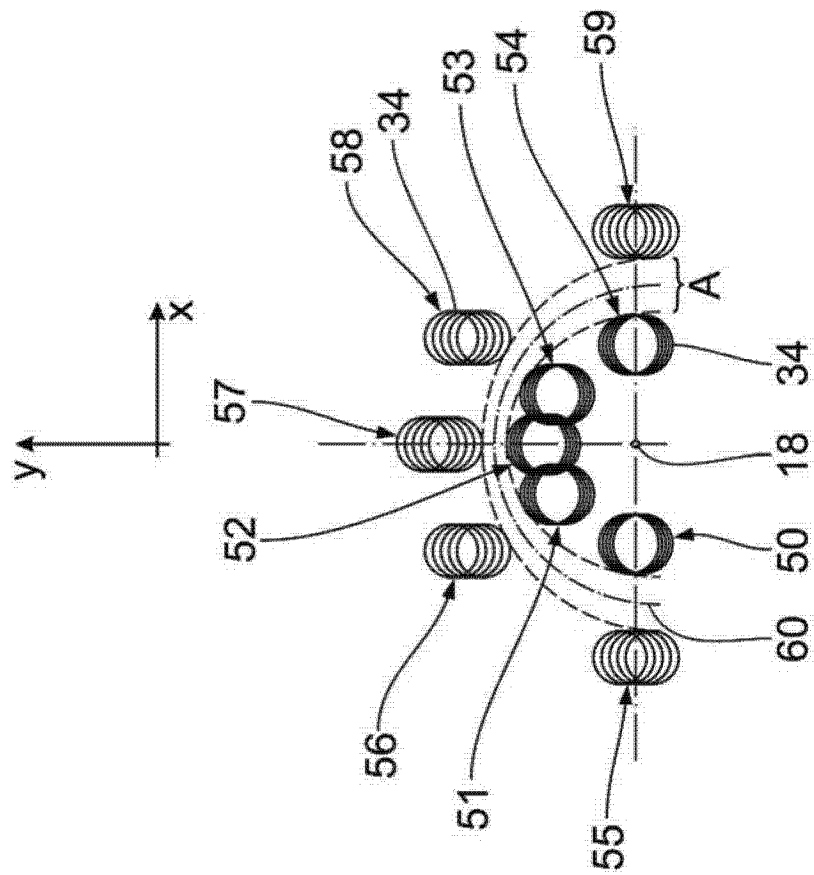


图 6

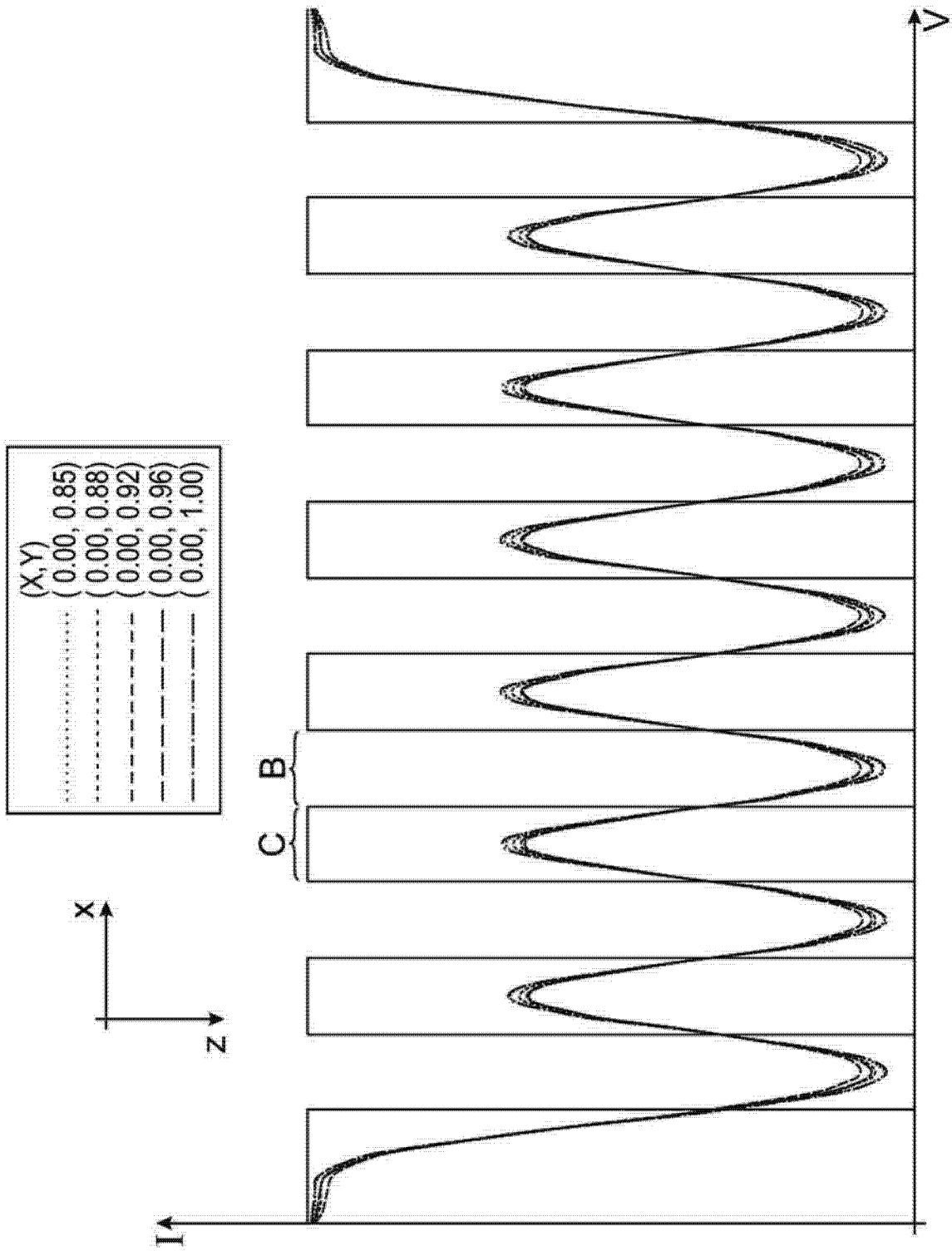


图 7

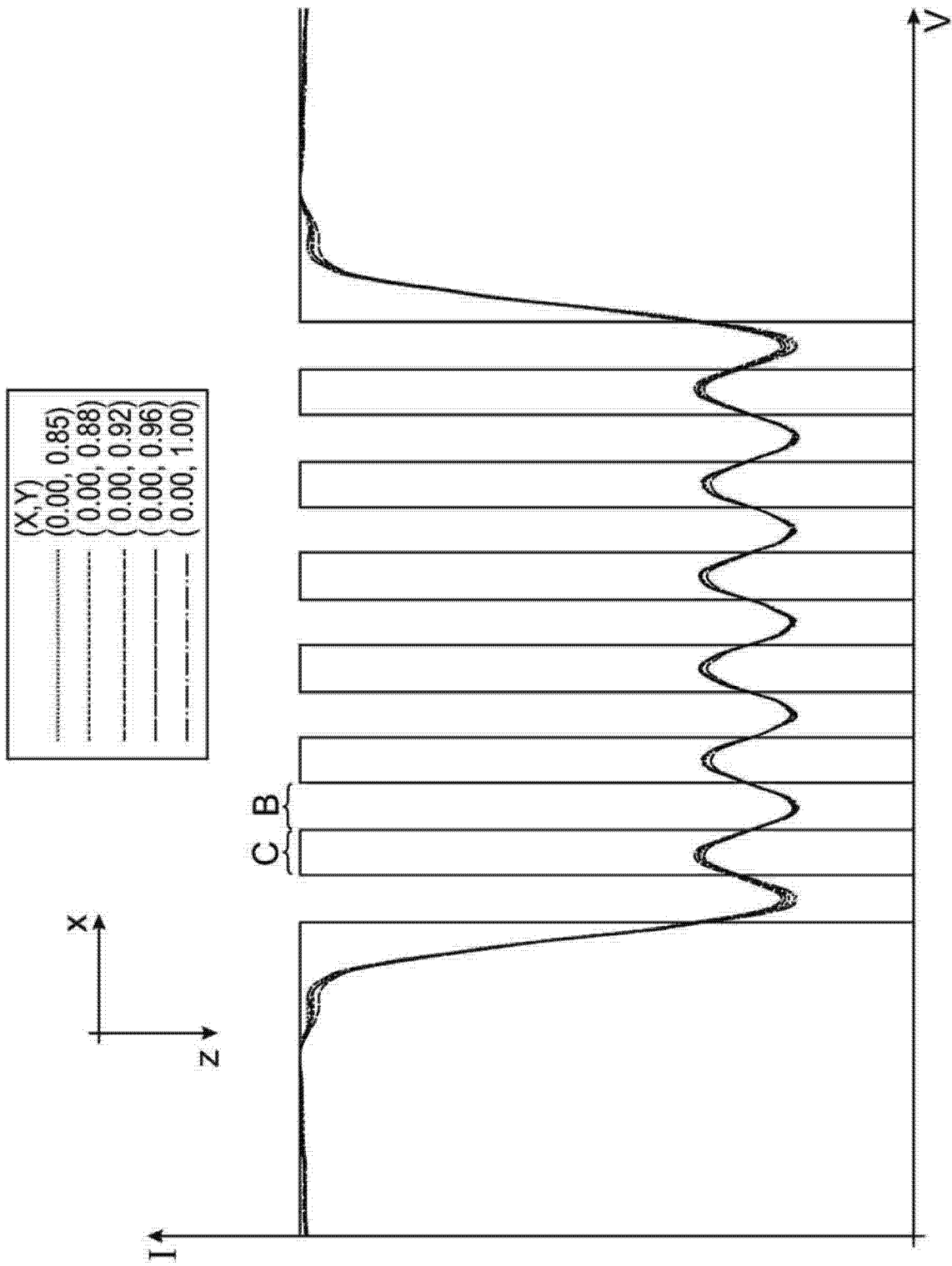


图 8

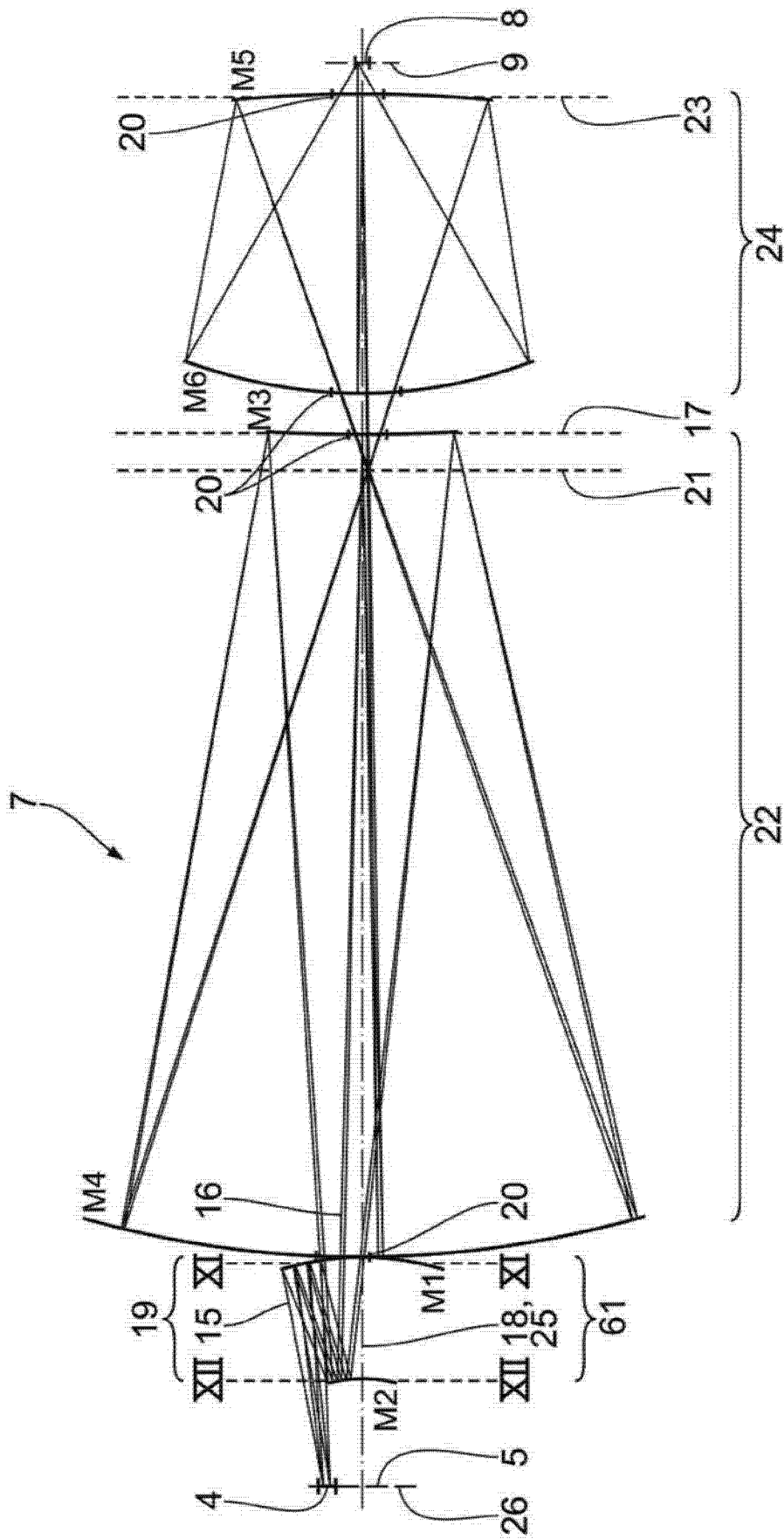


图 9

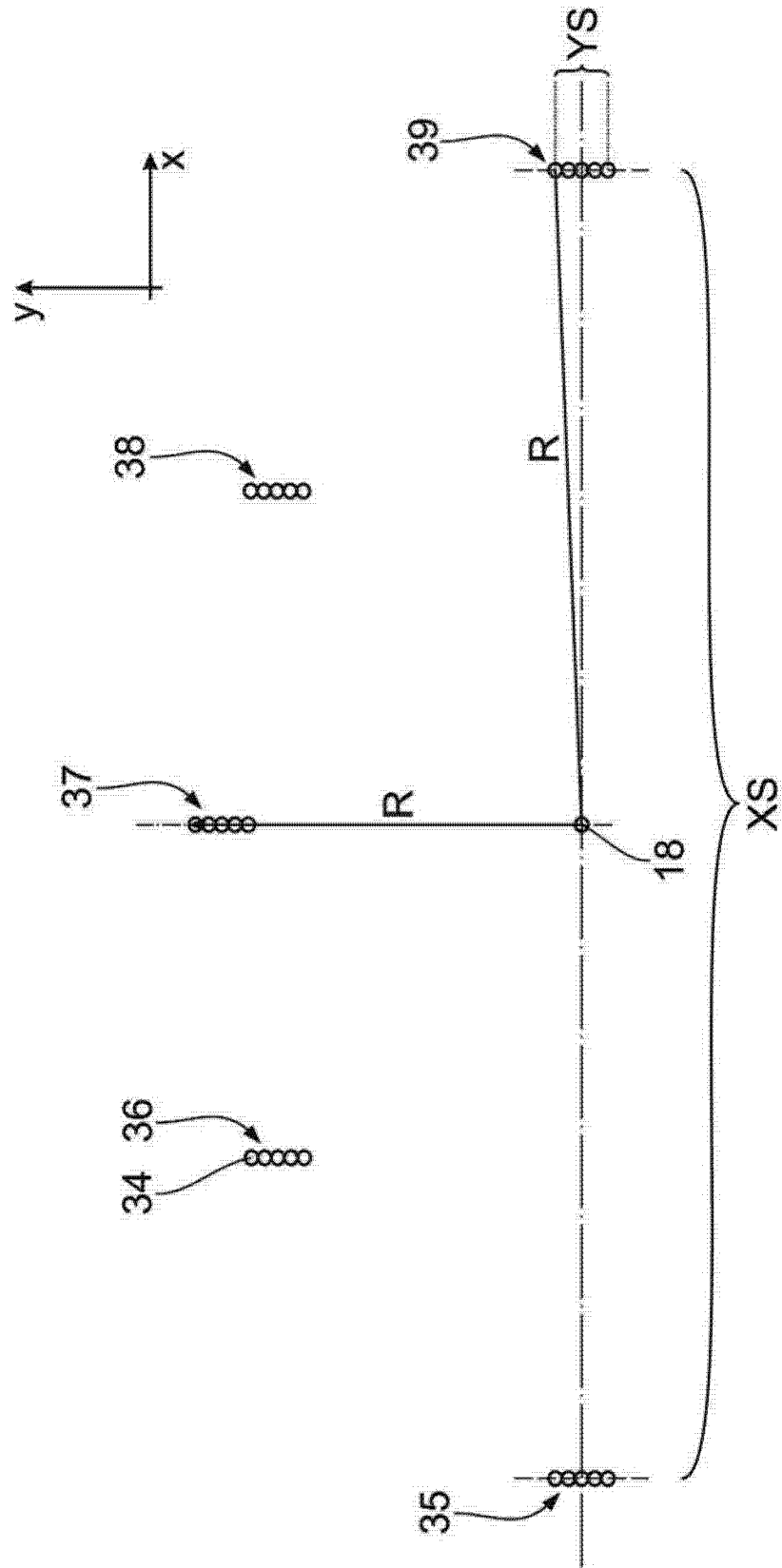


图 10

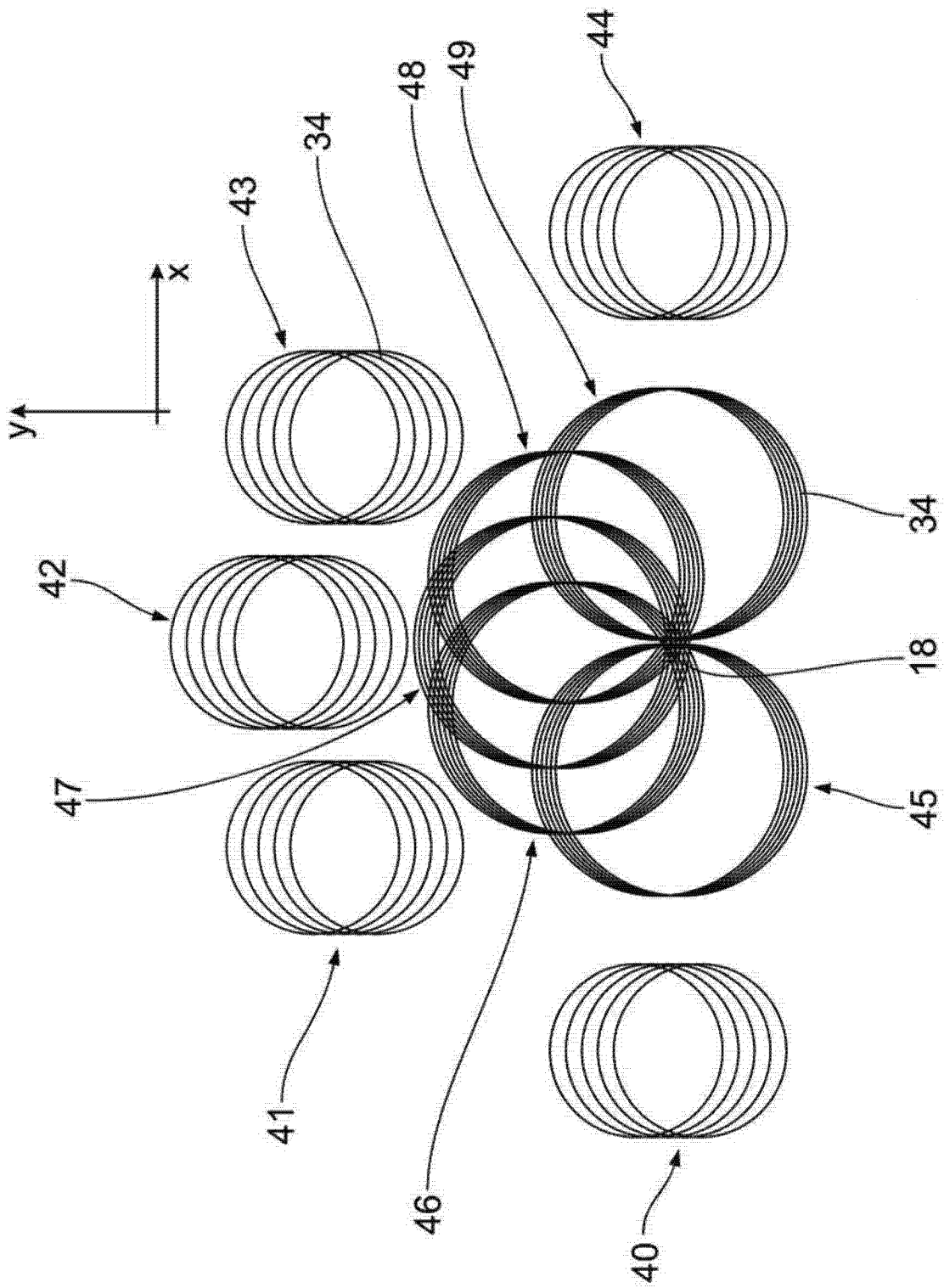


图 11

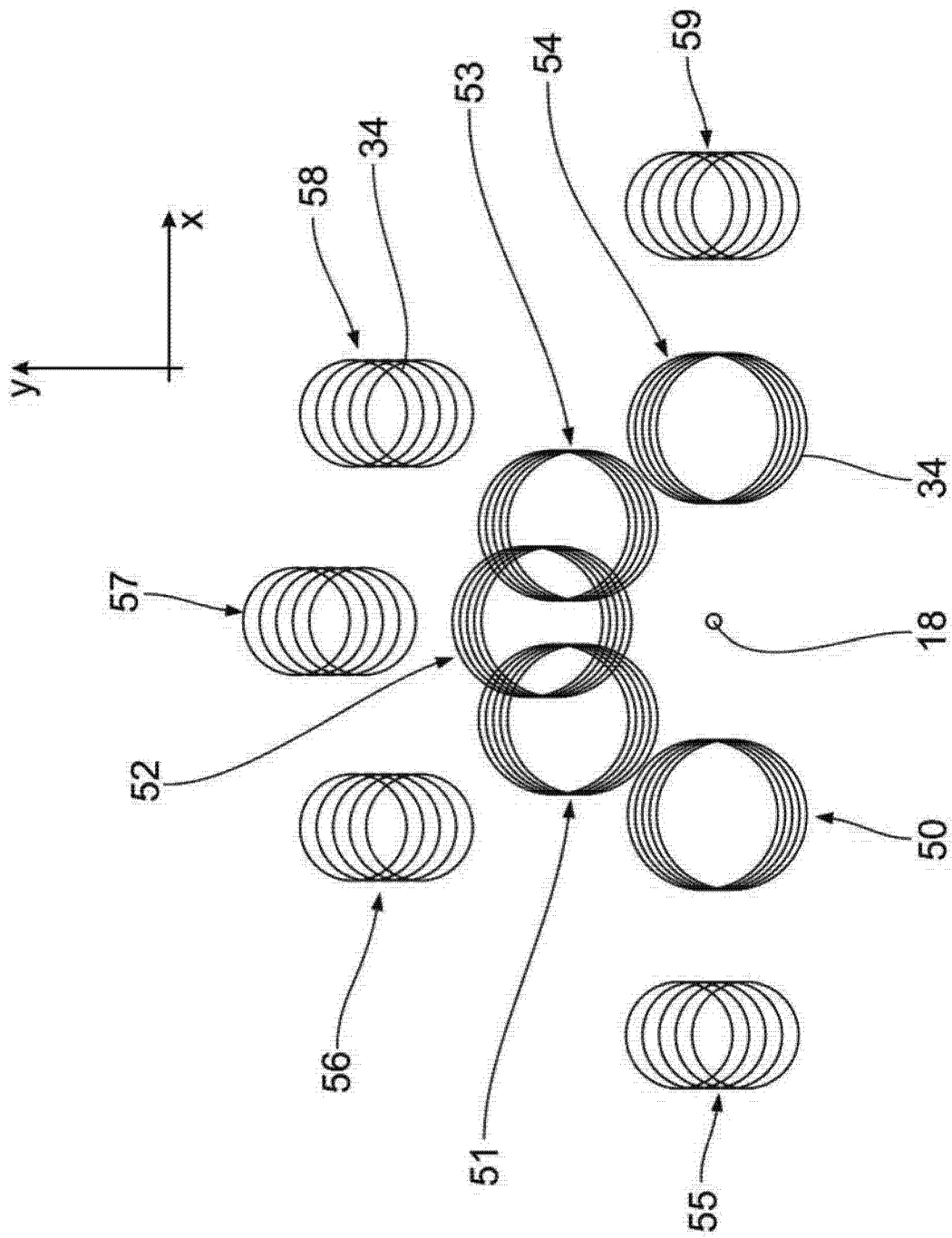


图 12

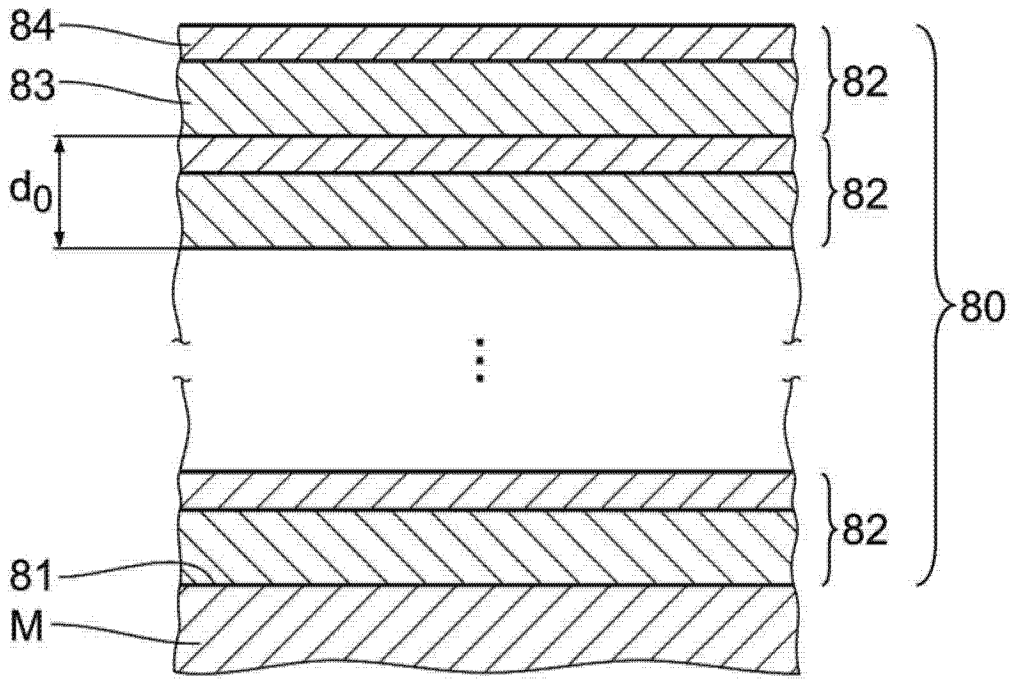


图 13

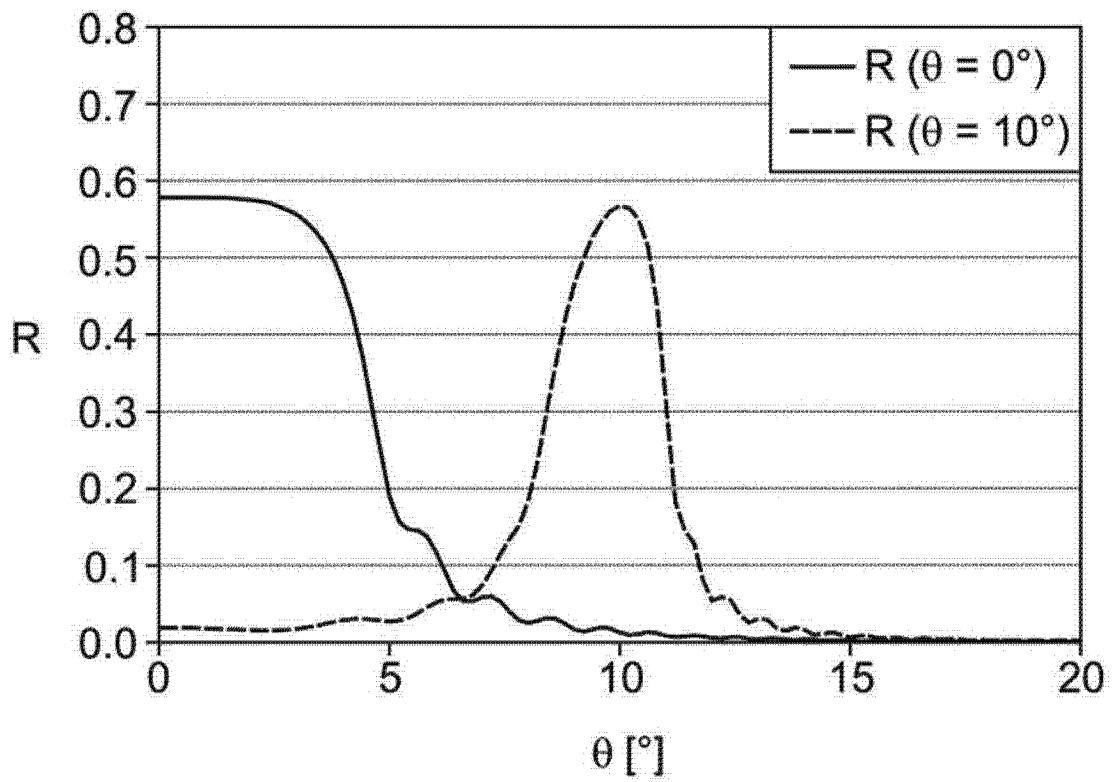


图 14