(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115993088 A
(43)申请公布日 2023.04.21

(21)申请号 202211034642.4

(22)申请日 2022.08.26

(30)优先权数据
102021211814.3 2021.10.20 DE

(71)申请人 约翰内斯.海德汉博士有限公司
地址 德国特劳恩罗伊特

(72)发明人 托马斯·卡埃尔贝雷尔

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司 11240
专利代理师 张英

(51)Int.Cl.
G01B 11/00(2006.01)
G01D 5/26(2006.01)

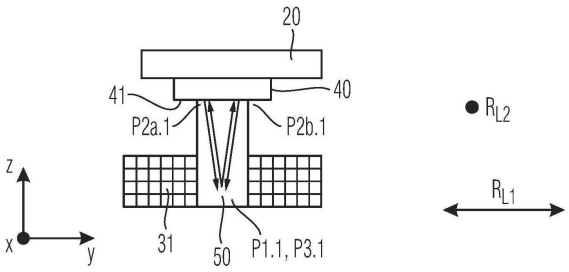
权利要求书3页 说明书10页 附图8页

(54)发明名称

光学位置测量设备

(57)摘要

本发明涉及一种光学位置测量设备，用于检测至少两个标尺的相对位置，标尺可沿两个测量方向相对彼此移动，并且标尺布置在不同的平面中并彼此相交地布置。这两个标尺各自具有至少一个测量分度，测量分度具有带不同光学特性的沿至少一个测量方向周期性地布置的光栅区域；标尺的纵向延伸方向分别平行于第一或第二测量方向地定向。照明射束在第一标尺处分裂成至少两个子射束。然后，子射束加载到第二标尺，并且朝第一标尺的方向反射回来。然后，子射束重新射到第一标尺上并在那里再次组合，从而最终使至少一个产生的信号射束朝检测单元的方向传播，经由检测单元能够产生关于标尺沿第一或第二测量方向的相对移动的、一个或多个位置相关的扫描信号。



CN 115993088 A

1.一种光学位置测量设备,用于检测至少两个标尺的相对位置,所述标尺能够沿两个测量方向相对彼此移动,并且所述标尺布置在不同的平面中并且彼此相交地布置,其中,

两个所述标尺各自具有至少一个测量分度,所述测量分度具有沿至少一个测量方向周期性地布置的光栅区域,所述光栅区域具有不同的光学特性,并且所述标尺的纵向延伸方向分别平行于第一测量方向或第二测量方向地定向,并且

由光源发射的照明射束在第一标尺处分裂成至少两个子射束,并且

所述子射束然后加载到第二标尺并且朝所述第一标尺的方向反射回来,并且

反射回来的所述子射束重新射到所述第一标尺上并且在所述第一标尺上再次组合,从而随后使至少一个产生的信号射束朝检测单元的方向传播,经由所述检测单元能够产生关于所述标尺沿所述第一测量方向或第二测量方向的相对移动的、一个或多个位置相关的扫描信号,

其特征在于,

至少一个标尺(30、40;130.1、130.2、140.1、140.2)的测量分度(G1、G2、G3;31、41;1131.1、1131.2、1141.1、1141.2)设计为二维的十字光栅(131.1;231.1、331.1;431.1;531.1;631.1),所述十字光栅具有过滤作用,以抑制在所述十字光栅(131.1;231.1、331.1;431.1;531.1;631.1)处干扰的较高的衍射级。

2.根据权利要求1所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述十字光栅(131.1;231.1,331.1;431.1;531.1;631.1)具有带不同光学特性的棋盘式布置的第一平面测量分度区域($M1_1$)和第二平面测量分度区域($M1_2$),所述第一平面测量分度区域和所述第二平面测量分度区域沿所述纵向延伸方向(R_{L1})周期性地以第一区域周期性(P_{B1})布置,并且所述第一平面测量分度区域和所述第二平面测量分度区域沿所述十字光栅(131.1;231.1;331.1;431.1;531.1;631.1)的横向延伸方向(R_{Q1})周期性地以第二区域周期性(P_{B2})棋盘式地布置,所述横向延伸方向正交于所述纵向延伸方向(R_{L1})地定向,其中,一维或二维的周期性的线性光栅与所述第一平面测量分度区域($M1_1$)和所述第二平面测量分度区域($M1_2$)叠加。

3.根据权利要求2所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述线性光栅在每个平面测量分度区域($M1_1$、$M1_2$)中分别具有线性光栅区域,

所述线性光栅区域包括至少第一对直的光栅线($L1_1$、$L1_2$;$L2_1$、$L2_2$),所述第一对直的光栅线延伸经过平面测量分度区域($M1_1$、$M1_2$)的整个长度并且平行于第一延伸方向(R_{L1};R_{Q1})彼此以第一间距(d_1;d_2)布置,并且

在二维的线性光栅的情况下,所述线性光栅区域还包括第二对直的光栅线($L2_1$,$L2_2$;$L1_1$,$L1_2$),所述第二对直的光栅线延伸经过平面测量分度区域($M1_1$,$M1_2$)的整个长度并且沿垂直于所述第一延伸方向(R_{Q1};R_{L1})定向的第二延伸方向(R_{L1};R_{Q1})彼此间以第二间距(d_2;d_1)布置,并且

其中,所述线性光栅区域沿所述第一延伸方向(R_{L1};R_{Q1})具有与所述十字光栅(131.1;231.1、331.1;431.1;531.1;631.1)的平面测量分度区域($M1_1$、$M1_2$)的周期性一致的周期性,并且

其中,在二维的线性光栅的情况下,所述线性光栅区域沿所述第二延伸方向(R_{Q1};R_{L1})同样具有与所述十字光栅(131.1;231.1、331.1;431.1;531.1;631.1)的平面测量分度区域

($M1_1$、$M1_2$)的周期性一致的周期性。

4.根据权利要求3所述的光学位置测量设备,其特征在于,在平面测量分度区域($M1_1$,$M1_2$)中,沿所述第一延伸方向(R_{L1};R_{Q1})和/或所述第二延伸方向(R_{Q1};R_{L1})分别存在至少三个由所述光栅线($L1_1$、$L1_2$;$L2_1$、$L2_2$)彼此分开的区域。

5.根据权利要求2所述的光学位置测量设备,其特征在于,在所述十字光栅(131.1;231.1;331.1;431.1;531.1;631.1)中设置为不同的光学特性的有:

不同的传输特性,和/或

不同的反射特性,和/或

不同的相移作用。

6.根据权利要求3至5中至少一项所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述十字光栅(131.1;231.1;331.1;431.1;531.1;631.1)设计为具有两种不同光学特性的二元光栅,并且所述线性光栅的光栅线($L1_1$、$L1_2$;$L2_1$、$L2_2$)相对于所述第一平面测量分度区域($M1_1$)和所述第二平面测量分度区域($M1_2$)的光学特性分别具有不同的光学特性。

7.根据权利要求2至5中至少一项所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述十字光栅(531.1;631.1)在所述第一平面测量分度区域($M1_1$)和所述第二平面测量分度区域($M1_2$)之间具有间隔区域($M1_3$),所述间隔区域具有第三光学特性,所述第三光学特性与所述第一平面测量分度区域($M1_1$)的和所述第二平面测量分度区域($M1_2$)的光学特性不同。

8.根据权利要求7所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述间隔区域($M1_3$)在所述第一平面测量分度区域($M1_1$)和所述第二平面测量分度区域($M1_2$)之间沿所述纵向延伸方向(R_{L1})和所述横向延伸方向(R_{Q1})分别具有一致的宽度(P_{A1}、P_{A2})。

9.根据权利要求7所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述间隔区域($M1_3$)设计成结构化的。

10.根据前述权利要求中至少一项所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述第二标尺(40;140.1、140.2)的测量分度(41;1141.1、1141.2)设计为反射的线性光栅(141.1),所述反射的线性光栅具有沿所述第二标尺(40;140.1、140.2)的纵向延伸方向(R_{L2})周期性地布置的测量分度区域(141.1a、141.1b),所述测量分度区域对于在所述测量分度区域之上反射的射束具有不同的相移作用。

11.根据权利要求10所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述第二标尺(40;140.1、140.2)的线性光栅(141.1)具有过滤作用,以抑制特定的衍射级,该衍射级$n>1$。

12.根据前述权利要求中至少一项所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述测量分度(G1、G2、G3;31、41;1131.1、1131.2、1141.1、1141.2)中的至少一个还设计为,使得在所述测量分度上产生的衍射级分别具有限定的偏振。

13.根据前述权利要求中至少一项所述的光学位置测量设备,其特征在于,所述标尺(30、40;130.1、130.2、140.1、140.2)中的至少一个围绕标尺的纵向延伸方向(R_{L1},R_{L2})倾斜地布置。

14.一种具有工作台以及多个根据前述权利要求中至少一项所述的光学位置测量设备的装置,其特征在于,

所述工作台(110)布置成在水平的移动平面中能沿两个正交的测量方向(x,y)移动,并且

两个第一标尺(130.1、130.2)布置在所述工作台(110)的相对置的侧处,并且

至少一个第二标尺(140.1、140.2)在平面中相对于所述两个第一标尺(130.1、130.2)以90°的角度相交并且固定地布置,所述平面沿一个方向(z)与水平的移动平面间隔开,其中,该方向(z)正交于所述移动平面地定向,并且

多个扫描单元(150.1-150.4)与具有所述第一标尺(130.1、130.2)的工作台(110)的相对置的侧相邻地固定布置,所述扫描单元分别包括光源以及检测单元。

15.根据权利要求14所述的装置,其特征在于,

所述两个第一标尺(130.1、130.2)各自具有呈二维的十字光栅(131.1;231.1;331.1;431.1;531.1;631.1)形式的反射的测量分度(1131.1、1131.2),所述测量分度相对于水平的移动平面围绕所述移动平面的纵向延伸方向(R_{L1})倾斜地布置,并且

所述第二标尺(140.1、140.2)在两个平行的轨迹中具有至少两个反射的测量分度(1141.1、1141.2、1141.3、1141.4),所述轨迹平行于纵向延伸方向(R_{L2})地延伸,其中,所述测量分度(1141.1、1141.2、1141.3、1141.4)分别设计为反射的线性光栅,所述线性光栅具有周期性地沿相应的纵向延伸方向(R_{L2})布置的分度区域(1141.1a、1141.1b、1141.2a、1141.2),并且其中,反射的所述测量分度区域(1141.1、1141.2、1141.3、1141.4)的光栅平面平行于水平的所述移动平面地定向。

光学位置测量设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学位置测量设备，其适合于对沿至少两个测量方向可相对彼此移动的物体进行高精度的位置测量。在此，这两个物体分别与标尺连接。

背景技术

[0002] 已知基于干涉扫描原理的光学位置测量设备，在所述光学位置测量设备中在标尺的测量分度处，将照明射束通过衍射分裂成不同的子射束，结果，所述子射束遍历扫描射束路径，并且在此加载一个或多个其他标尺。在合适的子射束再次组合后，在该标尺相对于另一个标尺移位的情况下，从两个子射束的干涉中在检测单元中产生周期性信号。通过对检测单元中的信号周期进行计数，可以推断出两个标尺移位的程度或者与标尺连接的物体的移位的程度。

[0003] 这种光学位置测量设备用于例如半导体工业中的高精度的位置测量，在那里例如用于光刻的曝光掩模以超过每秒一米的速度相对于晶片移动；在此，定位精度必须保持在几纳米及和以下的范围内。相对于干涉仪，基于光栅的位置测量装置的显着优势在于，干涉的子射束仅必须经过非常短的路线。因此，所述子射束几乎不受环境影响，例如空气压力波动、温度波动和湿度波动损害，所述环境影响例如会经由波动的空气折射率而使测量结果失真。

[0004] 从WO 2008/138501 A1中已知一种光学位置测量设备，所述光学位置测量设备包括两个交叉的标尺，所述标尺分别具有测量分度，所述测量分度具有横向于共同的测量方向的周期性布置的标线或光栅区域。为了产生位置相关的信号使用干涉扫描原理。借助这种位置测量装置，可以沿第一测量方向x高精度地检测可沿两个方向移动的工作台的位置，而与工作台沿另一第二测量方向y的位置无关。如果使用彼此正交布置的两个这种位置测量装置，则也可以沿第二测量方向y高精度地检测工作台的位置，这次与工作台沿第一测量方向x的位置无关。

[0005] 此外，从US2009/0135388A1中还已知具有干涉光学位置测量设备的类似的装置。所述装置用于，确定半导体制造装置中可移动的工作台在水平的移动平面中相对于工具的位置。也可以将例如晶片布置在工作台上，工具可以为曝光镜头。在此，在图6B的示例中，设计为二维的光栅的第一标尺布置在可移动的工作台处；第二标尺同样设计为二维的光栅并且相对于第一标尺固定布置。借助于这种装置可以检测工作台在水平的xy移动平面中的移动。

[0006] 通常，在标尺的干涉扫描时产生周期性的位置误差。所述位置误差也称为插值误差并以不期望的方式损害测量精度。从这两个引用的文献无法得出以下措施，所述措施在具有交叉的标尺的光学位置测量设备中适合于最小化这种位置误差或插值误差。

发明内容

[0007] 本发明所基于的目的在于，提供一种具有交叉布置的标尺的高精度的光学位置测

量设备，所述光学位置测量确保以尽可能小的位置误差进行位置测量。

[0008] 根据本发明，所述目的通过具有本发明的光学位置测量设备来实现。

[0009] 根据本发明的光学位置测量设备的有利的实施方案由在本发明中列举的措施中得出。

[0010] 根据本发明的光学位置测量设备用于检测至少两个标尺的相对位置，所述标尺可沿两个测量方向相对彼此移动，并且所述标尺布置在不同的平面中并且彼此相交地布置。在此，这两个标尺各自具有至少一个测量分度，所述测量分度具有带有不同光学特性的沿至少一个测量方向周期性布置的光栅区域；标尺的纵向延伸方向分别平行于第一或第二测量方向地定向。在第一标尺处将由光源发射的照明射束分裂成至少两个子射束。然后，子射束加载到第二标尺，并且朝第一标尺的方向反射回来。反射回来的子射束重新射到第一标尺上并在那里再次组合，从而随后使至少一个所产生的信号射束朝检测单元的方向传播，经由所述检测单元能够产生关于标尺沿第一或第二测量方向的相对移动的、一个或多个位置相关的扫描信号。至少一个标尺的测量分度被设计为二维的十字光栅，所述十字光栅具有过滤作用，以抑制在十字光栅处干扰的较高的衍射级。

[0011] 在此，十字光栅可以具有带不同光学特性的棋盘式布置的第一和第二平面测量分度区域，所述第一和第二平面测量分度区域沿纵向延伸方向周期性地以第一区域周期性和沿十字光栅的横向延伸方向周期性地以第二区域周期性棋盘式地布置，其中横向延伸方向正交于纵向延伸方向地定向，其中，将一维或二维的周期性的线性光栅与第一和第二平面测量分度区域叠加。

[0012] 在此可行的是，线性光栅在每个平面测量分度区域中分别具有线性光栅区域，所述线性光栅区域：

[0013] -包括至少第一对直的光栅线，所述光栅线延伸经过平面测量分度区域的整个长度并且平行于第一延伸方向彼此间以第一间距布置，并且

[0014] -在二维的线性光栅的情况下还包括第二对直的光栅线，所述光栅线延伸经过平面测量分度区域的整个长度并且沿垂直于第一延伸方向定向的第二延伸方向彼此间以第二间距布置，并且

[0015] -其中，线性光栅区域沿第一延伸方向具有与十字光栅的平面测量分度区域的周期性一致的周期性，并且

[0016] -其中，在二维的线性光栅的情况下，线性光栅区域沿第二延伸方向同样具有与十字光栅的平面测量分度区域的周期性一致的周期性。

[0017] 优选地提出，在平面测量分度区域中，沿第一延伸方向和/或第二延伸方向分别存在至少三个由光栅线彼此分开的区域。

[0018] 在十字光栅中可以设置为不同的光学特性的有：

[0019] -不同的传输特性，和/或

[0020] -不同的反射特性，和/或

[0021] -提供不同的相移作用。

[0022] 在一个可行的实施方式中，十字光栅可以设计为具有两种不同光学特性的二元光栅，并且线性光栅的光栅线相对于第一和第二平面测量分度区域的光学特性分别具有不同的光学特性。

[0023] 此外,可行的是,十字光栅在第一和第二平面测量分度区域之间具有间隔区域,所述间隔区域具有第三光学特性,所述第三光学特性与第一和第二平面测量分度区域的光学特性不同。

[0024] 在此,间隔区域在第一和第二平面测量分度区域之间沿纵向延伸方向和横向延伸方向可以分别具有一致的宽度。

[0025] 此外,间隔区域可以设计成结构化的。

[0026] 还可行的是,第二标尺的测量分度设计为反射的线性光栅,所述反射的线性光栅具有沿第二标尺的纵向延伸方向周期性地布置的测量分度区域,所述测量分度区域对于在其之上反射的射束具有不同的相移作用。

[0027] 在此,第二标尺的线性光栅可以具有过滤作用,以抑制特定的n>1的衍射级。

[0028] 此外可以提出,测量分度的至少一个还设计为,使得在其上所产生的衍射级分别具有限定的偏振。

[0029] 标尺中的至少一个有利地围绕其纵向延伸方向倾斜地布置。

[0030] 在具有工作台的装置中可以设有多个根据本发明的光学位置测量设备,其中,

[0031] -工作台布置成在水平的移动平面中沿两个正交的测量方向移动,并且

[0032] -两个第一标尺布置在工作台的相对置的侧处,并且

[0033] -至少一个第二标尺在平面中相对于两个第一标尺以90°的角度相交并且固定地布置,其中,该平面沿正交于移动平面地定向的方向与水平的移动平面间隔开,并且

[0034] -多个扫描单元与具有第一标尺的工作台的相对置的侧相邻地固定布置,所述扫描单元分别包括光源以及检测单元。

[0035] 在此可以提出:

[0036] -两个第一标尺各自具有呈二维的十字光栅形式的反射测量分度,所述测量分度相对于水平的移动平面围绕其纵向延伸方向倾斜地布置,并且

[0037] -第二标尺在两个平行的轨迹中具有至少两个反射的测量分度,所述轨迹平行于纵向延伸方向地延伸,其中,测量分度分别设计为反射的线性光栅,所述线性光栅具有周期性地沿相应的纵向延伸方向布置的分度区域,并且其中,反射的所述测量分度的光栅平面平行于水平的移动平面地定向。

[0038] 经由根据本发明的措施,可以在具有交叉的标尺的光学位置测量设备中显着降低位置误差。可以确保高精度的位置测量。

[0039] 相应的位置测量设备特别适合于,例如检测工作台在水平的移动平面中的移动。因此,可以在测量方面高精度确定工作台在移动平面中沿两个线性测量方向的平移移动以及工作台围绕垂直于移动平面的旋转轴线的旋转移动。

[0040] 根据本发明的设备的实施例的以下描述结合附图来解释本发明的其他的细节和优点。

附图说明

[0041] 附图示出:

[0042] 图1示出根据本发明的光学位置测量设备的一个实施例的展开的扫描射束路径;

[0043] 图2a、2b分别示出具有交叉布置的标尺的根据本发明的位置测量设备的局部视

图,所述位置测量设备使用根据图1的扫描原理;

[0044] 图3a、3b示出具有根据图2a、2b的四个根据本发明的光学位置测量设备的装置的俯视图和侧视图;

[0045] 图4示出根据本发明的光学位置测量设备的合适的第二测量分度的俯视图;

[0046] 图5a示出适合于根据本发明的光学位置测量设备的十字光栅的第一变型的俯视图;

[0047] 图5b示出图5a中的十字光栅的第一变型的局部截面图;

[0048] 图5c-5e分别示出图5a中的十字光栅的第一变型的修改的局部截面图;

[0049] 图6a示出适合于根据本发明的光学位置测量设备的十字光栅的第二变型的俯视图;

[0050] 图6b示出十字光栅的第二变型的局部截面图;

[0051] 图7a示出适合于根据本发明的光学位置测量设备的十字光栅的第三变型的俯视图;

[0052] 图7b示出十字光栅的第三变型的局部截面图。

具体实施方式

[0053] 在下面详细描述根据本发明的位置测量设备的实施例以及合适的测量分度的各种变型之前,首先根据图1解释用于这种位置测量设备的示例性的扫描射束路径。该图在此以展开的图示示出扫描射束路径。

[0054] 由光源LQ发射的照明射束S首先射到具有光栅形的第一测量分度G1的第一标尺上。在第一标尺处或在其测量分度G1处,照明射束S在相遇点P1.1分裂成两个子射束S1、S2。然后,两个子射束S1、S2在相遇点P2a.1和P2b.2处加载具有第二光栅形的测量分度G2的第二标尺。在那里,子射束S1、S2分别朝所示的总系统的中央对称轴线A的方向衍射回来。在相遇点P3.1处,两个子射束S1、S2然后射到具有第三测量分度G3的第三标尺上并在那里再次组合。随后,在两个子射束S1、S2在第三测量分度G1上的相遇点P3.1衍射之后,使所产生的至少一个包含子射束S1、S2的两个干涉的衍射级的信号射束SB朝检测单元DET的方向传播。在第二测量分度G2相对于两个测量分度G1、G3沿测量方向y相对运动的情况下,可以经由所述检测单元产生一个或多个位置相关的扫描信号,所述扫描信号表征测量分度G2相对于测量分度G1、G3的相对位置的变化。

[0055] 在此,图1中所示的具有不同的第一和第三标尺或测量分度G1、G3的展开的扫描射束路径对应于透射光扫描,在所述透射光扫描中所有测量分度G1、G2、G3都设计为透射光栅。替代于此,这种扫描射束路径当然也可以实施为具有设计为反射光栅的第二测量分度G2的反射光扫描。在这种情况下,第一和第三标尺或第一和第三测量分度G1、G3相同地设计,即G1=G3;因此,在第二测量分度G2处反射之后,再次加载第一测量分度G1。在此可行的是,将第一和第三测量分度G1、G3设计为反射光栅或透射光栅。

[0056] 下面根据图2a和2b解释在根据本发明的具有彼此交叉布置的标尺的位置测量设备的一个实施例中的这种光学扫描原理的具体实施。在所解释的示例中,反射光扫描在此利用相同设计的第一和第三测量分度来实施。

[0057] 相应的位置测量设备包括布置在第一物体10处的第一标尺30。物体10可沿两个彼

此正交定向的测量方向x、y移动地布置在一平面中;与所述平面正交的方向下面称作为方向z。在此,第一标尺30的纵向延伸方向R_{L1}平行于测量方向y定向。反射的测量分度31布置在第一分度31上,所述反射的测量分度沿至少一个测量方向x、y具有光学特性不同的光栅区域。在当前的示例中,第一测量分度设计为二维的十字光栅。所述二维的十字光栅具有过滤作用,以抑制在十字光栅处干扰的较高的衍射级。在此,第一测量分度31的不同的光栅区域具有对于在其上反射的射束不同的相移作用,即十字光栅实施为反射相位光栅。在进一步的描述中对根据本发明的位置测量设备中的对于以期望方式减小位置误差绝对性的十字光栅进行详细解释。

[0058] 第二标尺40在沿z方向间隔开的平面中相对于第一标尺30固定地且交叉地布置在固定的第二物体20处。第二标尺40的纵向延伸方向R_{L2}平行于测量方向x定向。反射的测量分度41同样布置在第二标尺40上,所述反射的测量分度沿至少一个测量方向x、y具有光学特性不同的光栅区域。在所示的示例中,第二测量分度41由线性光栅构成,所述线性光栅具有沿第二标尺40的纵向延伸方向R_{L2}周期性地布置的、矩形的测量分度区域,所述测量分度区域具有对于在其上反射的射束的不同的相移特性;因此,在该实施例中,第二测量分度41设计为反射相位光栅。

[0059] 在根据本发明的位置测量设备的所示的实施例中,同样相对于第一标尺30还固定地设置扫描单元50,在所述扫描单元中布置有光源以及检测单元;后者在图2a和2b中没有详细示出。在此,不强制性必需的是,将光源和检测单元直接布置在扫描单元50中。还可行的是,将所述部件空间上远离扫描单元50布置并且将光源的相应的射束经由光波导输送给扫描单元50,或者经由光波导从扫描单元50输送给检测单元。因此,在这种实施方式中,扫描单元50作为纯无源结构单元仅包含相应的光波导,所述光波导的耦合输出和耦合输入面用作光源或检测单元。

[0060] 根据仅在图2a、2b中仅强烈示意性地表明的扫描射束路径,在第一测量分度31的相遇点P1处,从光源或扫描单元50起相遇的射束S相对于z方向对称地分裂成第+/-1级衍射的两个子射束。两个子射束然后射到第二测量分度31上的相遇点P2a.1、P2b.1上,并从那里被衍射,使得所述子射束分别反平行于相遇的子射束在第一测量分度31的方向上传播回来;如上所述,在当前的反射光系统中,被加载的第三测量分度与第一测量分度31相同。在那里,子射束在相遇点P3.1处再次组合,所述相遇点在此与第一相遇点P1相同。所产生的信号射束SB然后与至少一对干涉的子射束在布置在扫描单元50中的检测单元的方向上传播回来。

[0061] 在图3a和3b中,强烈示意性地示出装置,所述装置包括根据图2a、2b的四个根据本发明设计的位置测量设备,所述位置测量设备用于确定可在xy平面中移动的物体的位置。可移动的物体例如可以为半导体制造装置或半导体检查装置的工作台110,所述工作台相对于呈机器框架120形式的固定物体定位,工具160布置在所述机器框架处。晶片111位于工作台110上,所述晶片例如利用设计为曝光镜头的工具160处理或利用设计为显微镜的工具160检查。在当前的装置中,工作台110沿测量方向x、y的平移以及工作台110围绕垂直于其的z方向的旋转移动可以经由根据本发明设计的四个位置测量设备来以测量方式检测。

[0062] 在工作台110处,具有反射的第一测量分度1131.1、1131.2的第一标尺130.1、130.2分别布置在两个相对置的侧处,其中,标尺130.1、130.2围绕其相应的纵向延伸方向

R_{L1}倾斜大约45°。两个第一标尺130.1、130.2的倾斜在此实现为，使得由其衍射的子射束相对于z方向对称地偏转。

[0063] 关于第一标尺130.1、130.2或第一测量分度1131.1、1131.2沿z方向的布置，还应注意，所述第一标尺或第一测量分度放置在工作台110处，使得根据本发明的四个位置测量设备的各种扫描的第一相遇点位于处于工作台110上的晶片111的高度上。以这种方式和方法，相对于晶片111的位置测量是可行的而不会有产生的阿贝误差。

[0064] 与之相对，四个根据本发明的位置测量设备的分别具有两个反射的第二测量分度以及四个扫描单元150.1至150.4的两个第二标尺140.1、140.2设置在机器框架120的形式的固定的物体处。

[0065] 相比之下，两个第二标尺140.1、140.2以机器框架120的形式布置在固定的物体处，所述两个第二标尺分别具有两个反射的第二测量分度以及根据本发明的四个位置测量设备的四个扫描单元150.1-150.4。

[0066] 反射的第二测量分度分别设计为线性光栅，所述第二测量分度分别以两个平行的轨迹布置在两个第二标尺140.1、140.2上，所述线性光栅具有周期性地沿相应的纵向延伸方向R_{L2}布置的分度区域。在此，线性光栅的光栅平面平行于工作台的水平的运动平面布置在xy平面中。示意性表示的工具160同样与固定物体或机器框架120连接。

[0067] 在图4中示出两个第二标尺140.1之一与在两个平行轨迹中布置在所述第二标尺上的第二测量分度1141.1、1141.2的俯视图，所述第二测量分度设计为线性光栅141.1。如从中可见的那样，在两条轨迹中，沿第二标尺的纵向延伸方向R_{L2}周期性地分别布置测量分度区域1141.1a、1141.1b或1141.2a、1141.2b，其中，在当前的示例中第二分度的纵向延伸方向R_{L2}与测量方向y重合。如从图4还可见，两个轨迹中的分度区域1141.1a、1141.1b或1141.2a、1141.2相互呈V形布置，即出自两个轨迹中的相对置的分度区域1141.1a、1141.2a或1141.1b、1141.2b分别相对于纵向延伸方向R_{L2}占据角度+α或-α。第二测量分度1141.1、1141.2的测量分度区域1141.1a、1141.1b或1141.2a、1141.2b具有不同的相位行程，即两个第二测量分度1141.1、1141.2设计为反射相位光栅。

[0068] 在所示的装置中，根据本发明的四个位置测量设备分别在xy平面中具有灵敏度矢量E1-E4，所述灵敏度矢量在图3a中经由相应的箭头表示。在此，灵敏度矢量分别说明移动方向，在所述移动方向上每经过的长度单位上的相应的测量方向x、y的位置信号增加最快速。通过每个扫描单元的两个所获得的周期的扫描信号的计算，可以获得在期望的测量方向x、y上的实际移动。关于光学位置测量设备中的灵敏度矢量的概念例如补充地参考文献EP 2 857 901 A1。

[0069] 在此，在所示的装置中，第一位置测量设备通过第一扫描单元150.1、在工作台110的左侧上的具有第一测量分度1131.1的第一标尺130.1以及在左侧的工作台侧部上的具有第二测量分度1141.1的第二标尺140.1构成，所属的灵敏度矢量在图3a中用E1示出。第二位置测量设备包括第二扫描单元150.2、位于工作台110的左侧上的具有第一测量分度1131.1的第一标尺130.1以及具有第二测量分度1141.2的第二标尺140.1，所属的灵敏度矢量用E2示出。因此，第一和第二位置测量设备在第一标尺130.1上使用相同的第一测量分度1131.1。

[0070] 第三位置测量设备通过第三扫描单元150.3、位于工作台110的右侧上的具有第一

测量分度1131.2的第一标尺130.2以及具有第二测量分度1141.3的第二标尺140.2构成，所属的灵敏度矢量在图中用E3表示。第四位置测量设备包括第四扫描单元150.4、位于工作台110的右侧上的具有第一测量分度1131.2的第一标尺130.2以及具有另外的第二测量分度1141.4的第二标尺140.2，所属的灵敏度矢量表示用E4示出。因此，第三和第四位置测量设备使用在第一标尺130.2上的相同的第一测量分度1131.2。

[0071] 根据图3a，第一和第二位置测量设备的灵敏度矢量E1、E2同样如第三和第四位置测量设备的灵敏度矢量E3、E4那样彼此正交定向。相对于测量方向x、y，四个位置测量设备的灵敏度矢量E1-E4在xy平面中分别呈45°角。

[0072] 如上文已经表明的，在根据本发明的对应的光学位置测量设备中相应的第一测量分度的设计对于避免在各个位置测量设备中不期望的测量误差是决定性的。同样如已经提到的，在图2a、2b或3a、3b的实施例中，第一测量分度31、131.1分别实施为反射相位光栅形式的反射的十字光栅，所述反射的十字光栅具有特定的过滤特性。

[0073] 适合于第一测量分度的十字光栅131.1的第一变型在图5a中的俯视图中部分地示出以及在图5b中的部分截面图中示出。在经由部分截面图描述第一十字光栅变型的可能的光栅结构之前，首先根据图5a中的俯视图解释基本的光栅设计。下面，根据图5c-5e中的部分截面图解释第一十字光栅变型的光栅结构的进一步的修改。

[0074] 如从图5a可见，用作第一测量分度的十字光栅131.1具有光学特性不同的棋盘式布置的第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$。第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$沿十字光栅131.1的纵向延伸方向R_{L1}周期性地以第一区域周期性P_{B1}布置，并且沿十字光栅131.1的横向延伸方向R_{Q1}周期性地以第二区域周期性P_{B2}布置，所述横向延伸方向正交于纵向延伸方向R_{L1}定向。在此，在图中明亮示出的第一测量分度区域$M1_1$对反射的射束施加与阴影所示的第二测量分度区域$M1_2$不同的相移作用，即测量分度区域$M1_1$或$M1_2$具有不同的相位偏差Δ1或Δ2。在此，因此将不同的相移作用设置为十字光栅131.1的第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的不同光学特性。

[0075] 在所述变型中，将二维的周期的线性光栅与十字光栅131.1的第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$叠加。对应的线性光栅又在每个平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$中分别具有线性光栅区域，所述线性光栅区域包括第一和第二对直的光栅线$L1_1$、$L1_2$或$L2_1$、$L2_2$。在此，第一对直的光栅线$L1_1$、$L1_2$延伸经过平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的整个长度，并且平行于纵向延伸方向R_{L1}在光栅线$L1_1$、$L1_2$之间彼此以第一间距d_1布置。第二对直的光栅线$L2_1$、$L2_2$同样延伸经过平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的整个长度，并且平行于横向延伸方向R_{Q1}在光栅线$L2_1$、$L2_2$之间彼此以第二间距d_2布置。因此，第一对光栅线$L1_1$、$L1_2$正交于第二对光栅线$L2_1$、$L2_2$布置。线性光栅区域沿纵向延伸方向R_{L1}和横向延伸方向R_{Q1}分别具有与十字光栅131.1的平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的周期性一致的周期性P_{B1}、P_{B2}。因此，在这种十字光栅设计中，在各个平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$中，沿纵向延伸方向R_{L1}和横向延伸方向R_{Q1}分别存在至少三个由光栅线$L1_1$、$L1_2$或$L2_1$、$L2_2$彼此分开的区域。

[0076] 叠加在用作第一测量分度的十字光栅131.1的平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的线性光栅代表所谓的上层结构，所述上层结构对于期望抑制干扰的更高的衍射级是决定性的。在此，除其他外，抑制以下干扰的衍射级(mx,my)：(+/-2,+/-1)，(+/-1,+2)，(+/-3,0)，(0,+/-3)。相反，在仅由棋盘式布置的平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$组成的十字光栅中，产生明显更高

的衍射级，其导致位置确定中的误差。

[0077] 在图5a的实施例中，用作第一测量分度的十字光栅131.1设计为二元光栅。这意味着十字光栅131.1具有带有仅两种不同光学特性的不同的区域；在所解释的示例中，这是十字光栅131.1中的阴影和明亮的区域，所述区域对于在其上反射的射束具有不同的相移作用。这种二元光栅可以经由唯一的光刻工艺制造，进而相对便宜且易于生产。

[0078] 如从图中可见，线性光栅的光栅线$L1_1$、$L1_2$、$L2_1$、$L2_2$分别具有相对于第一和第二平面测量分度区$M1_1$、$M1_2$的不同的或互补的光学特性。因此，光栅线$L1_1$、$L1_2$、$L2_1$、$L2_2$在具有相位差Δ1的明亮示出的平面第一测量分度区域$M1_1$中具有大约互补的相位差Δ2，并且在具有相位差Δ2的阴影示出的平面第二测量分度区域$M1_2$中具有互补的相位差Δ1。

[0079] 在例如图5a中的过滤的十字光栅131.1的替代的变型中可以提出，叠加的周期的线性光栅不是二维地设计，而是一维地设计。这意味着例如仅设置具有光栅线$L2_1$和$L2_2$的线性光栅，所述光栅线沿第一延伸方向、例如纵向延伸方向R_{L1}布置。于是，由光栅线$L2_1$、$L2_2$彼此分开的至少三个区域仅沿第一延伸方向分别存在于各个平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$中。在图5a中沿第二延伸方向、即横向延伸方向R_{Q1}设置的光栅线$L1_1$和$L1_2$在这种变型中被省略。第一和第二延伸方向彼此垂直定向，并且在当前的示例中对应于纵向延伸方向R_{L1}和横向延伸方向R_{Q1}。可替换地，原则上也可以仅沿第二延伸方向、即沿横向延伸方向R_{Q1}布置一维的线性光栅。

[0080] 在图5b中示出图5a中的过滤的十字光栅131.1的部分截面图，下面根据所述部分截面图解释本示例的层结构。在该图中还有在随后的图示中分别示出具有两个相邻的第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的第一区域周期P_{B1}内部的截面图。当前的十字光栅131.1具有整面连续的反射器层131.1a，所述反射器层在整个十字光栅面之上延伸并且由例如铝(Al)或铬(Cr)构成。经由此，同样整面地且连续地布置电介质层131.1b，对于所述电介质层例如可以考虑二氧化硅(SiO_2)。在电介质层131.1b之上布置有结构化层131.1c，所述结构化层在阴影示出的区域中具有合适的反射器材料。例如大约高折射率的介电材料、半导体材料、如硅(Si)、锗(Ge)或金属如金(Au)、银(Ag)或铝(Al)可以用作反射器材料。

[0081] 在图5c中示出用于过滤的十字光栅231.1的修改的层结构的部分截面图，所述十字光栅又设计为二元光栅。在此，结构化层231.1b直接布置在基底231.1a上，所述基底例如由石英玻璃或微晶玻璃构成，所述结构化层在阴影示出的区域中具有合适的反射器材料。在此，高折射的介电材料、半导体材料、如硅(Si)、锗(Ge)或金属、如金(Au)、银(Ag)或铝(Al)也可以用作反射器材料。

[0082] 在图5d中示出用于过滤的十字光栅331.1的另一修改的部分截面图。将连续的金属的反射器层331.1b整面地布置在例如由石英玻璃或微晶玻璃构成的基底331.1a上，所述反射器层在整个十字光栅面之上延伸；反射器层331.1b例如可以例如由铝(Al)或金(Au)构成。在所述反射器层之上同样整面地且连续地设有电介质层331.1c，所述电介质层例如由二氧化硅(SiO_2)构成。结构化层331.1d布置在所述电介质层上方，其中在阴影示出的区域中布置有合适的反射器材料，所述反射器材料例如为金(Au)、硅(Si)、五氧化二钽(TaO_5)或氮化硅(Si_3N_4)。

[0083] 在图5e中示出用于合适的过滤的十字光栅431.1的再次修改的层结构的部分截面图。与图5d中的示例不同，在此，代替设置在基底431.1a上的反射器层设有整面的介电的镜

层431.1b，所述镜层由具有多个介电单层的层堆叠构成；在此，对于单层例如可以设有高折射材料、如二氧化钛(TiO_2)、五氧化二钽(TaO_5)和低折射材料、如二氧化硅(SiO_2)，所述单层交替布置。在所述层堆叠之上如在之前的示例中那样布置电介质层431.1c以及结构化层431.1d。例如，考虑二氧化硅(SiO_2)作为用于电介质层431.1c的材料，可以将二氧化钛(TiO_2)、硅或五氧化二钽(TaO_5)用于结构化层。

[0084] 适合于第一测量分度的十字光栅531.1的第二变型在图6a的俯视图中以及在图6b的部分截面图中示出。在经由图6b中的部分截面图描述光栅结构之前，首先又根据图6a中的俯视图再次解释基本的光栅设计。在此，在下文中，仅解释与图5a中的第一十字光栅变型的主要差异。

[0085] 原则上，可用作第一测量分度的过滤的十字光栅531.1的所述变型也具有棋盘式布置的第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$，所述第一和第二平面测量分度区域具有两种不同的光学特性，如在图5a的示例中那样，同样将具有光栅线$L1_1$、$L1_2$、$L2_1$、$L2_2$的二维的线性光栅与所述测量分度区域叠加。然而，在所述十字光栅531.1中在第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$之间还设有附加的间隔区域$M1_3$，所述间隔区域具有第三光学特性，所述第三光学特性的反射率和/或相位差不同于第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$的光学特性。因此，如果第一和第二平面量测分度区域$M1_1$、$M1_2$具有不同的相移作用，所述相移作用具有相位差Δ1、Δ2，则间隔区域$M1_3$具有与相位差Δ1、Δ2不同的相位差Δ3；此外可以提出，间隔区域$M1_3$吸收性地设计，即具有反射率R＝0。如从图6a可见，第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$之间沿纵向延伸方向R_{L1}和横向延伸方向R_{Q1}的间隔区域$M1_3$分别具有一致的宽度P_{A1}、P_{A2}。

[0086] 在图6b中类似于之前的示例示出图6a中的过滤的十字光栅531.1的部分截面图，下面根据所述部分截面图解释层结构。将结构化的反射器层531.1b布置在基底531.1a、例如微晶玻璃上，所述反射器层例如由铬(Cr)、铝(Al)或金(Au)构成。在基底531.1a上的利用反射器层531.1b占据的区域上，电介质层531.1c还被设置在第二平面测量分度区域$M1_2$中；例如考虑二氧化硅(SiO_2)、五氧化二钽(TaO_5)或二氧化钛(TiO_2)作为用于此的材料。

[0087] 因此，在图6a和6b中示出的十字光栅变型不设计为二元光栅，而是设计为所谓的混合的幅度/相位光栅。所述光栅在所需的光刻步骤数量方面相对于所描述的第一十字光栅变型需要制造技术上略高的耗费。然而，存在以下可行性，特别有效地抑制不期望的更高的衍射级。

[0088] 在图7a中的俯视图中以及在图7b中的部分截面图中示出适合于第一测量分度的过滤的十字光栅631.1的第三变型。下面根据图7a中的俯视图首先解释基本的光栅设计，根据图7b解释光栅结构。

[0089] 十字光栅631.1的这种变型也包括具有两种不同光学特性的棋盘式布置的第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$。如在图5a中的示例中那样，具有光栅线$L1_1$、$L1_2$、$L2_1$、$L2_2$的二维的线性光栅同样与所述测量分度区域叠加。类似于前述示例，在所述十字光栅中所述第一和第二平面测量分度区域之间$M1_1$、$M1_2$还设有附加的间隔区域$M1_3$，所述间隔区域具有第三光学特性，所述第三光学特性与第一和第二平面分度区域$M1_1$、$M1_2$的光学特性不同。然而，在第一和第二平面测量分度区域$M1_1$、$M1_2$之间的间隔区域$M1_3$不同于图6a、6b中的十字光栅变型以结构化的方式设计。如从图7a可见，例如在那里设有十字光栅子结构，所述十字光

栅子结构由具有带不同光学特性的由周期性地沿纵向和横向延伸方向R_{L1}、R_{Q1}布置的方形的光栅区域构成。

[0090] 替代于根据图7a的十字光栅子结构，也可以在间隔区域$M1_3$中设有其他的结构化变型。因此也可行的是，在那里设计具有非常小的光栅周期的所谓的高频光栅，所述高频光栅在间隔区域$M1_3$中具有反射率R＝0。同样地，可以在那里布置仅具有弱的第0衍射级的衍射光栅，使得经由此也在间隔区域$M1_3$中产生反射率R＝0。

[0091] 类似于之前的示例，图7b示出图7a中的过滤的十字光栅631.1的部分截面图，根据所述部分截面图在下面解释所述变型的可行的层结构。整面的反射器层631.1b布置在基板631.1a上，所述基板例如由微晶玻璃或石英玻璃构成；所述反射器层可以由铬(Cr)、铝(Al)或金(Au)构成。在其上方设有例如由二氧化硅(SiO_2)构成的整面的电介质层631.1c。结构化层631.1d布置在所述电介质层上方；为此可以使用二氧化钛(TiO_2)、硅、氮化硅(Si_3N_4)、铬(Cr)或铝(Al)。

[0092] 除了所解释的实施例之外，当然还有用于替代地设计根据本发明的光学位置测量设备的其他选择。

[0093] 因此，也可以不将第一测量分度如在所解释的示例中那样实施为反射光栅，而是实施为振幅光栅形式的透射光栅。在这样的透射振幅光栅中，各个光栅区域对于穿过的射束具有不同的透射特性。

[0094] 此外，不仅第一测量分度可以具有上述关于干扰的更高衍射级的过滤特性。可替换地或附加地，第二测量分度也可以设计为过滤光栅，并且在此尤其是过滤的十字光栅。

[0095] 在根据本发明的位置测量设备的其他的实施例中，具有第二测量分度的第二标尺也可以围绕其纵向延伸方向倾斜地布置。

[0096] 最后，还可行的是，将根据本发明的位置测量设备中的所使用的测量分度中的至少一个设计为所谓的偏振光栅。在这种偏振光栅中，所产生的衍射级分别具有限定的偏振；因此，例如，所产生的第+/-1级衍射级可以彼此正交地偏振等等。关于这种偏振光栅例如参考EP 3 739 300 A1。

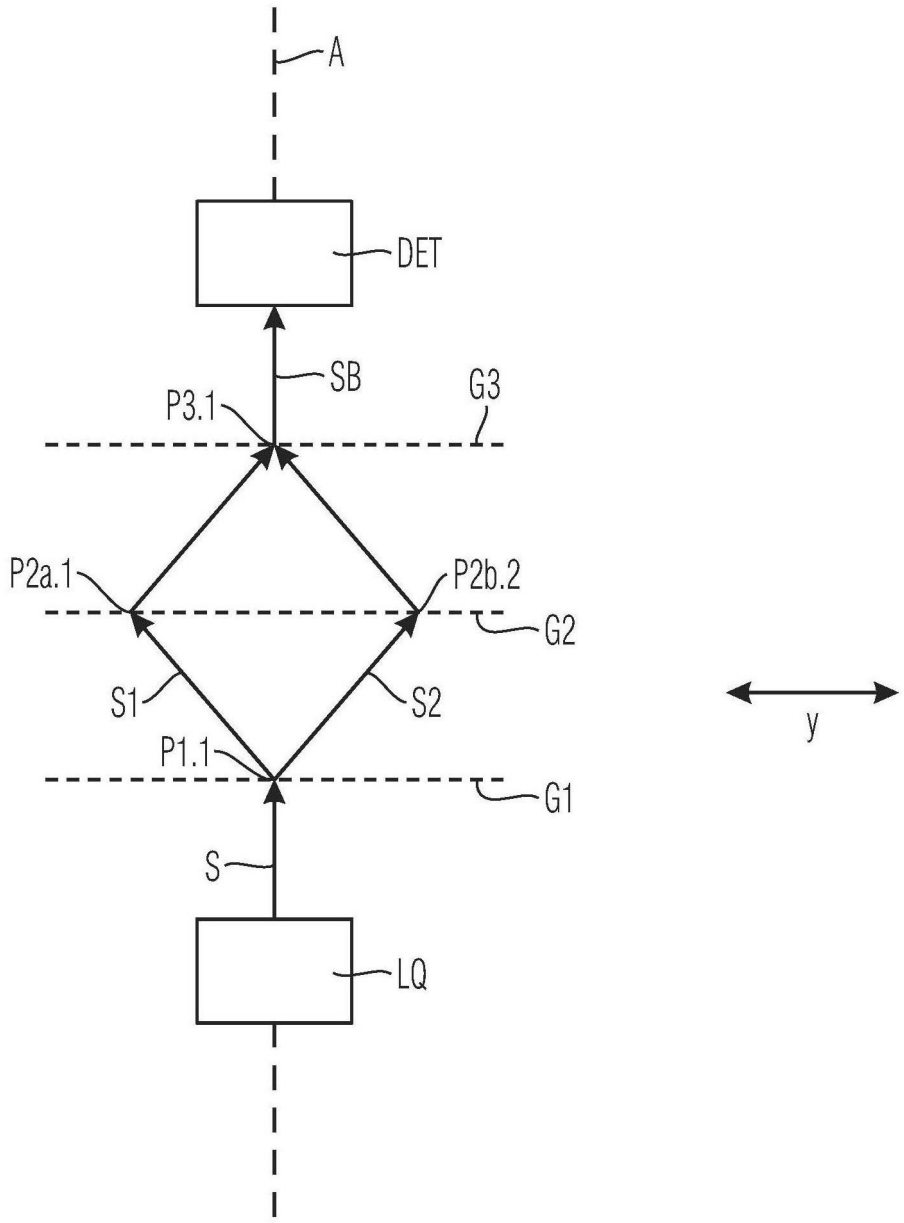


图1

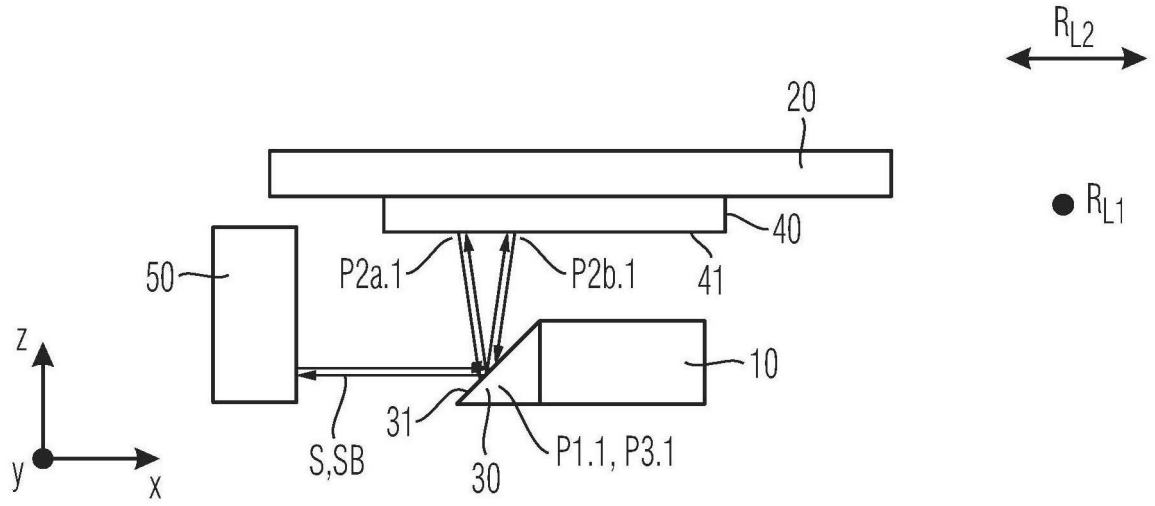

R_{L2}
20
R_{L1}
40
50
P2a.1
P2b.1
41
10
z
31
y
x
S,SB
30
P1.1, P3.1

图2a

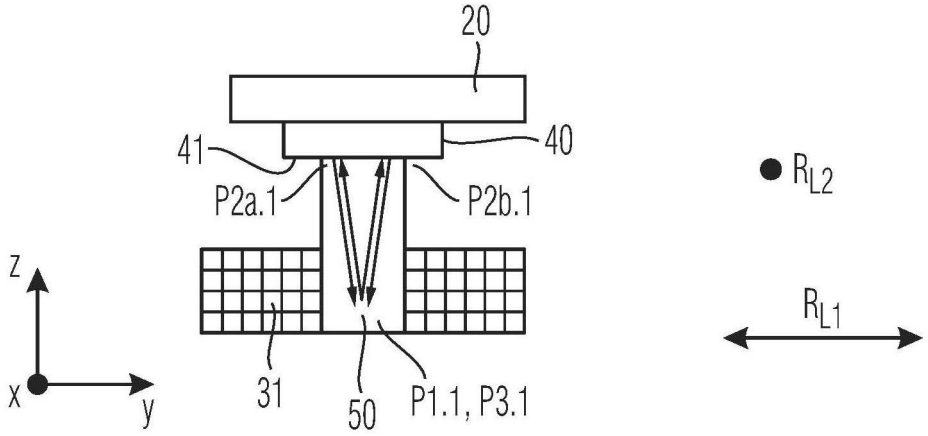

20
41
40
P2a.1
P2b.1
R_{L2}
z
R_{L1}
x
y
31
50
P1.1, P3.1

图2b

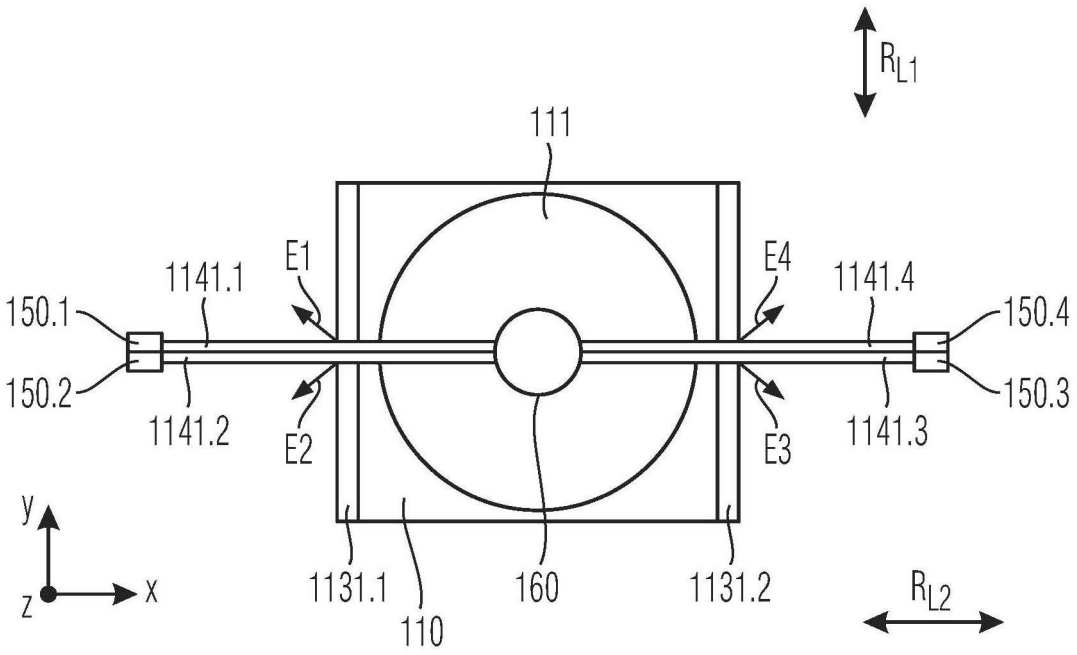

RL1
111
E1
E4
1141.1
1141.4
150.1
150.4
150.2
150.3
1141.2
E2
E3
1141.3
y
z
x
1131.1
160
1131.2
110
RL2

图3a

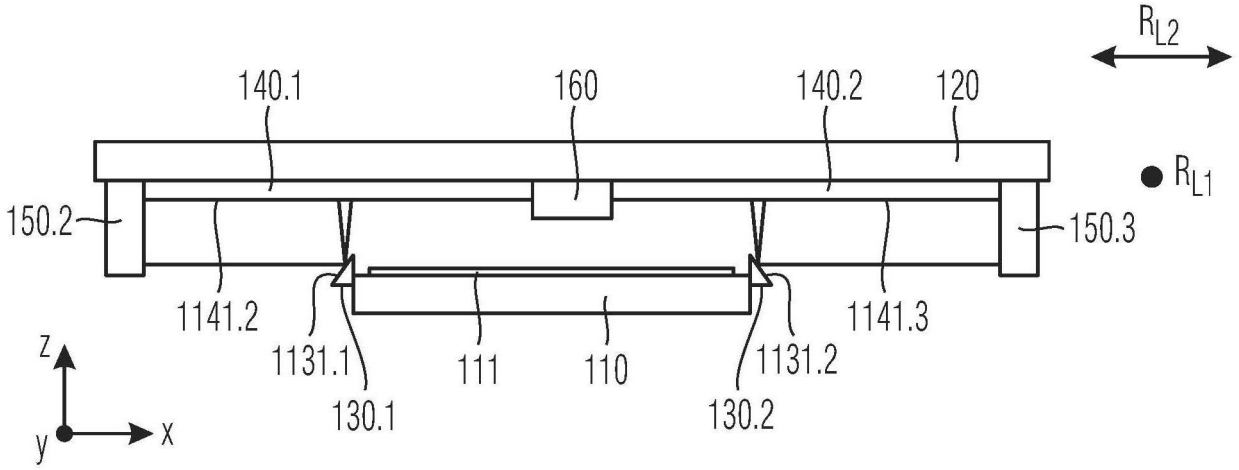

RL2
140.1
160
140.2
120
RL1
150.2
150.3
1141.2
1141.3
1131.1
111
110
1131.2
z
y
x
130.1
130.2

图3b

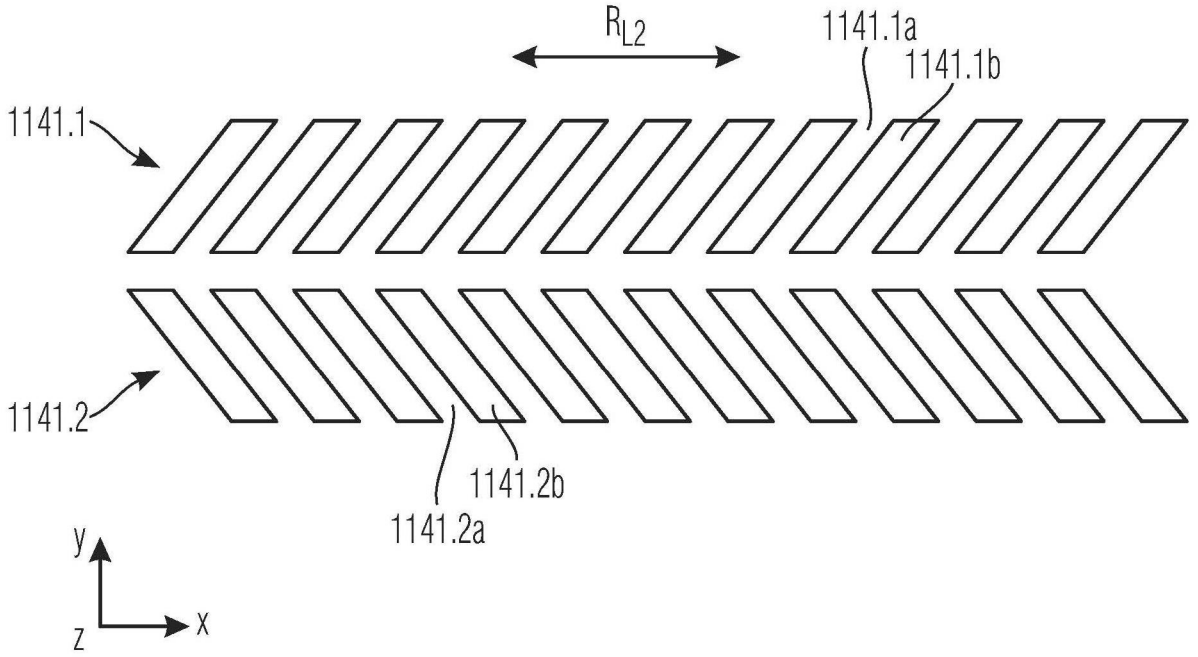

R_{L2}
1141.1a
1141.1b
1141.1
1141.2
1141.2b
1141.2a
y
z
x

图4

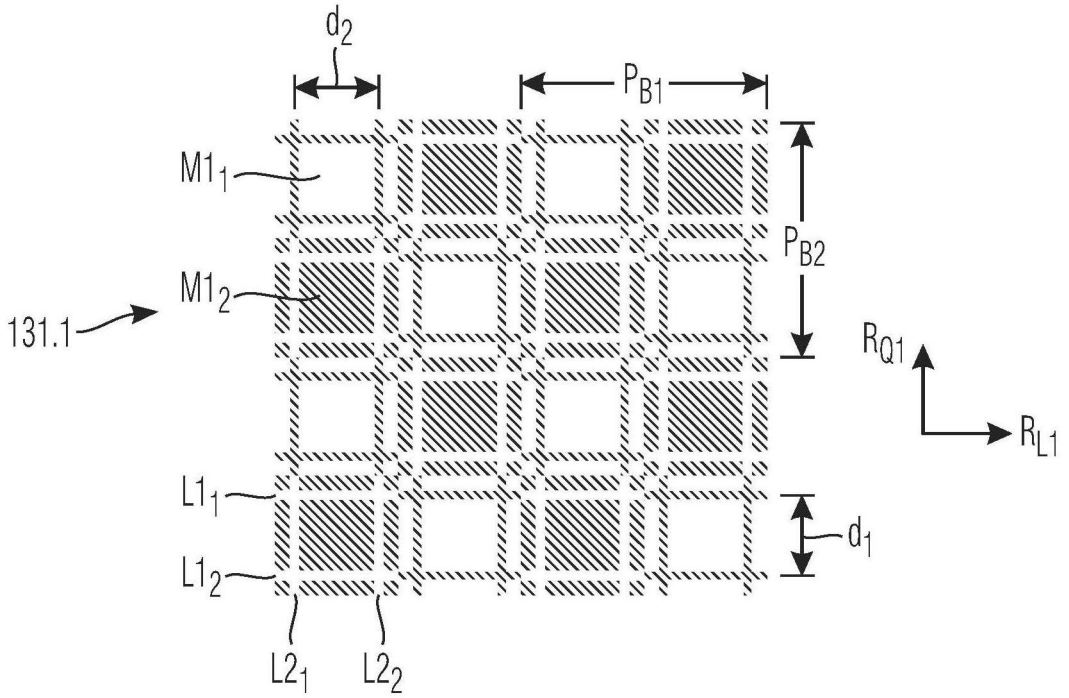

d_2
P_{B1}
$M1_1$
$M1_2$
131.1
P_{B2}
R_{Q1}
R_{L1}
$L1_1$
$L1_2$
d_1
$L2_1$
$L2_2$

图5a

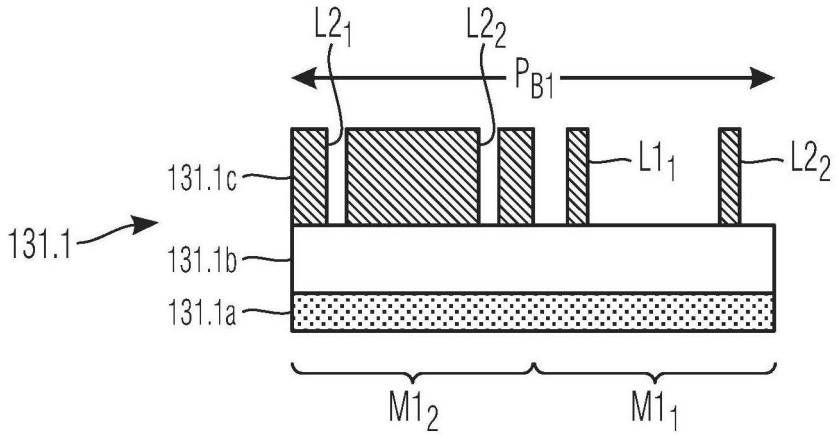

L2₁
L2₂
P_B1
L1₁
L2₂
131.1c
131.1
131.1b
131.1a
M1₂
M1₁

图5b

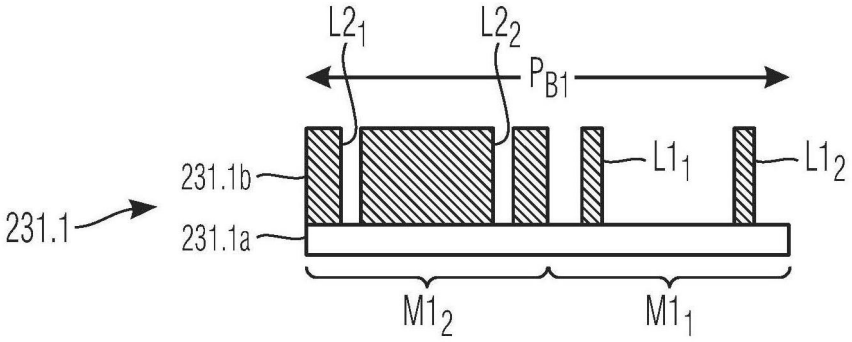

L2₁
L2₂
P_B1
L1₁
L1₂
231.1b
231.1
231.1a
M1₂
M1₁

图5c

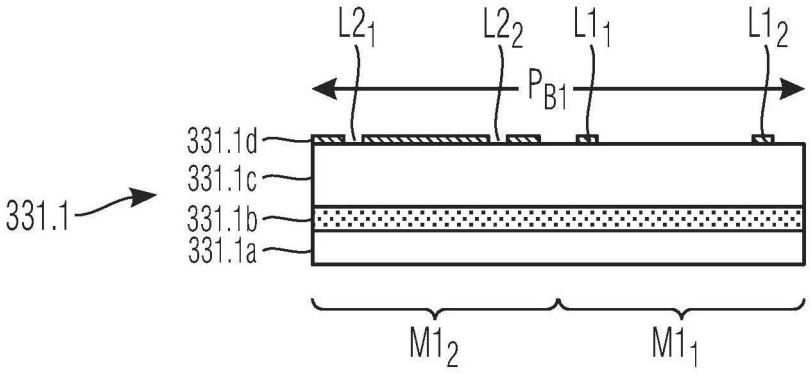

L2₁
L2₂
L1₁
L1₂
P_B1
331.1d
331.1c
331.1
331.1b
331.1a
M1₂
M1₁

图5d

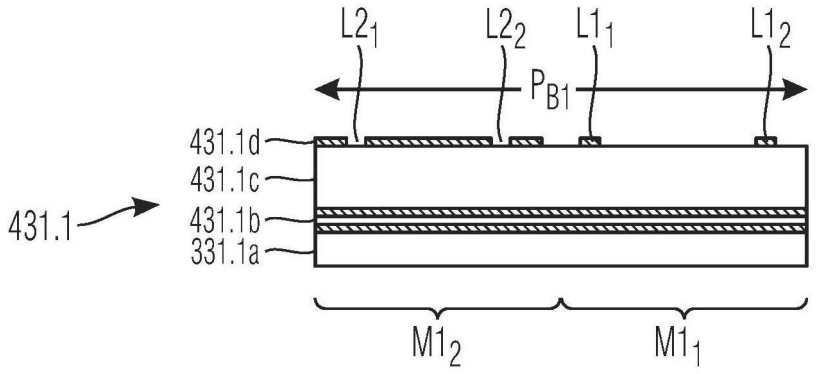

L2₁
L2₂
L1₁
L1₂
PB1
431.1d
431.1c
431.1b
331.1a
431.1
M1₂
M1₁

图5e

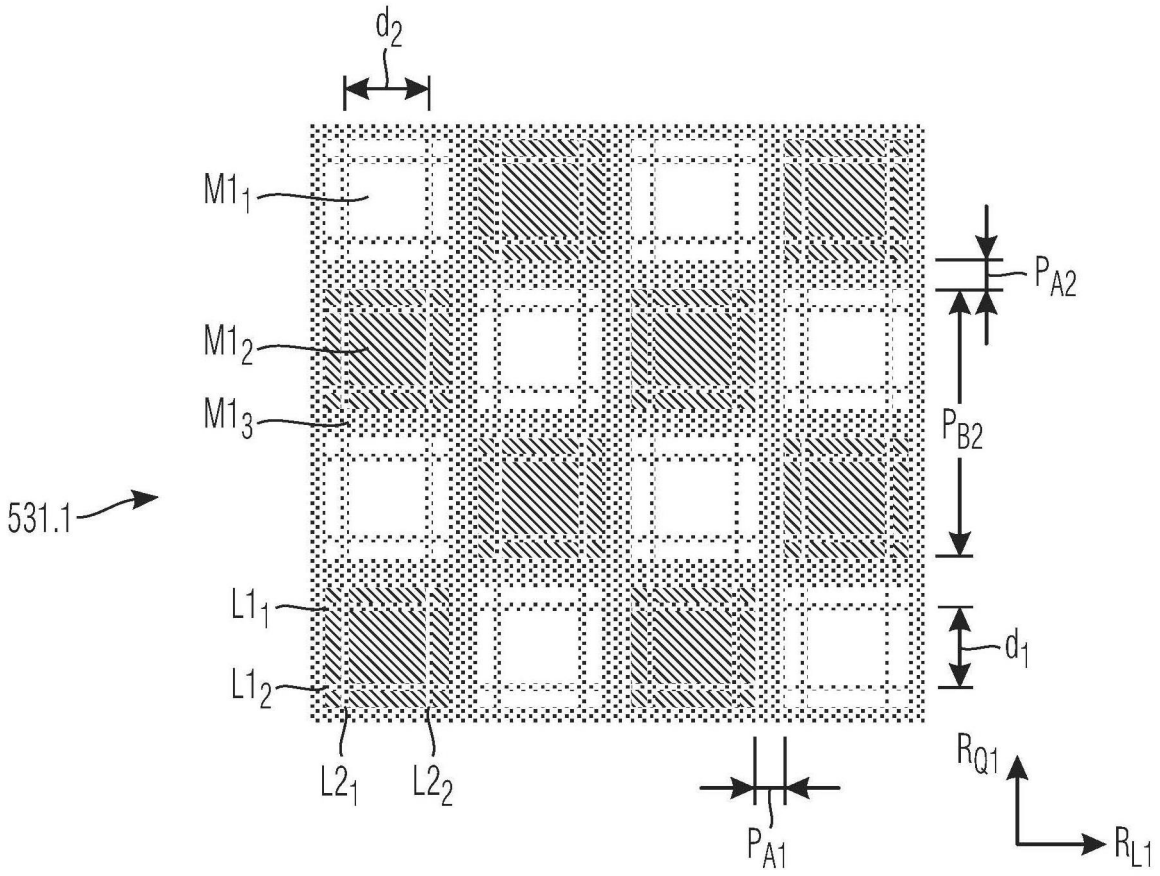

d2
M1₁
M1₂
M1₃
531.1
L1₁
L1₂
L2₁
L2₂
PA2
PB2
d1
PA1
RQ1
RL1

图6a

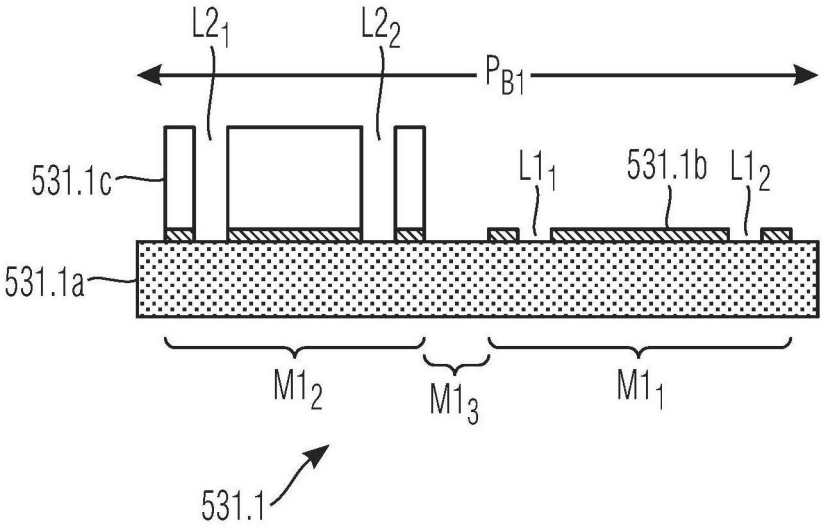

L2₁
L2₂
P_B1
531.1c
L1₁
531.1b
L1₂
531.1a
M1₂
M1₃
M1₁
531.1

图6b

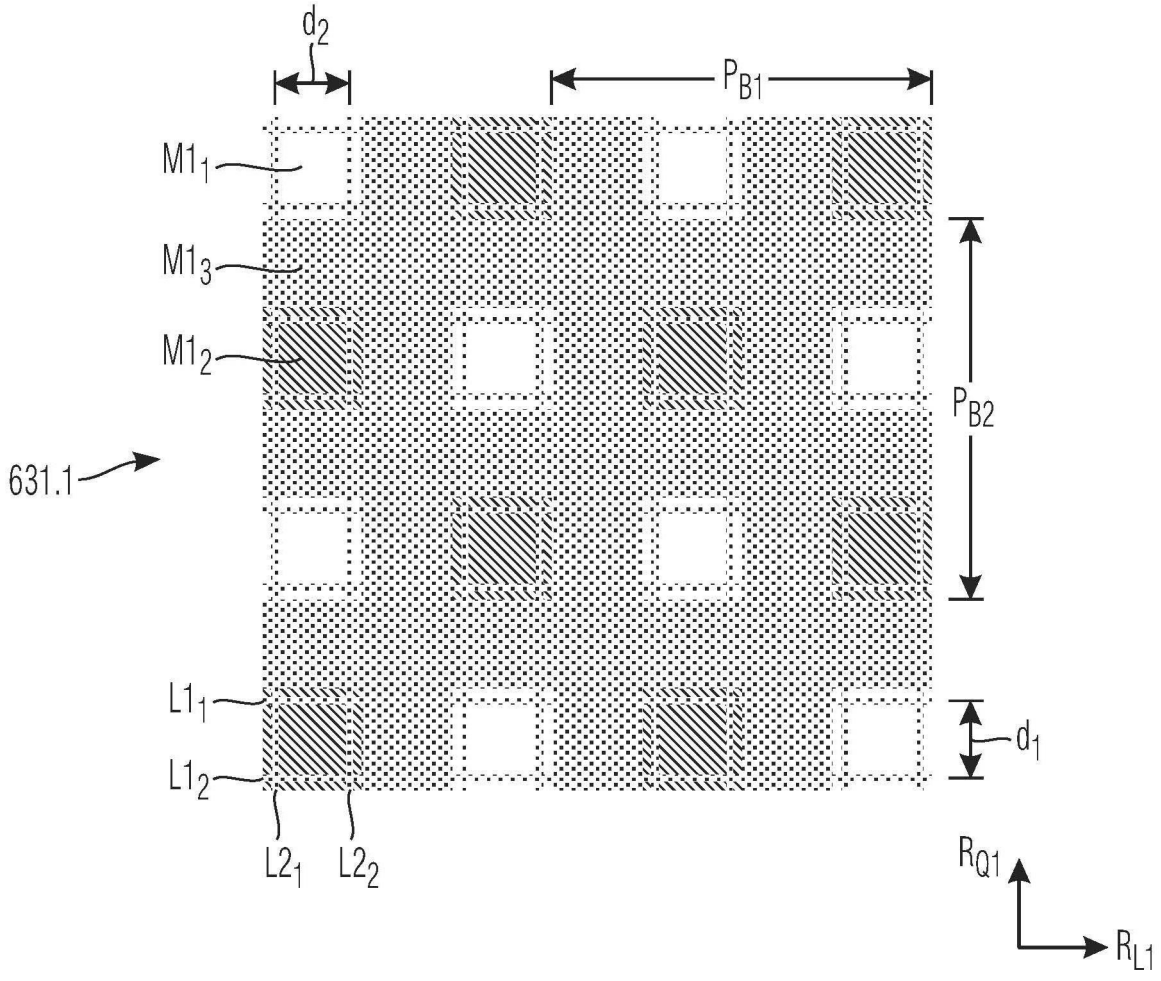

d₂
P_B1
M1₁
M1₃
M1₂
631.1
P_B2
L1₁
L1₂
d₁
L2₁
L2₂
R_Q1
R_L1

图7a

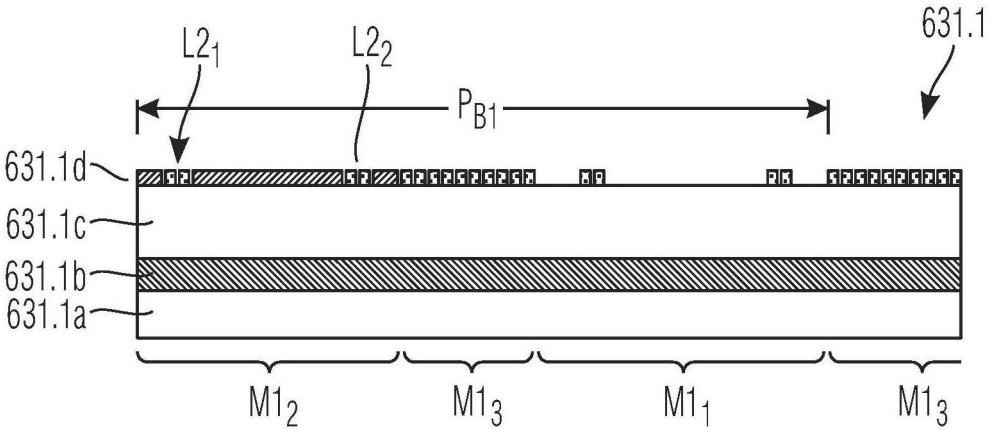


图7b