



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116529626 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 01

(21) 申请号 202180073638.6

(22) 申请日 2021.08.03

(30) 优先权数据

2020-192981 2020.11.20 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.04.27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/028693 2021.08.03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/107397 JA 2022.05.27

(71) 申请人 松下知识产权经营株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 佃雅彦 桥谷享 中村和树

稻田安寿

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 蒋巍

(51) Int.Cl.

G01S 7/481 (2006.01)

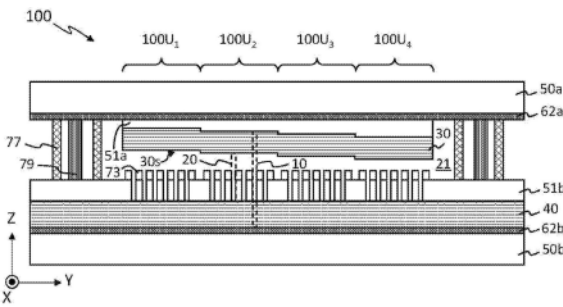
权利要求书2页 说明书25页 附图24页

(54) 发明名称

光器件和光检测系统

(57) 摘要

一种光器件,包括沿着第1方向(Y方向)排列的多个光波导单元(100U₁、100U₂、100U₃、100U₄)。所述多个光波导单元(100U₁、100U₂、100U₃、100U₄)分别具备:第1反射镜(30),具有第1反射面(30s);第2反射镜(40),具有与所述第1反射面相对的第2反射面(40s);以及至少一个光波导区域(20),位于所述第1反射镜(30)和所述第2反射镜(40)之间。所述第1反射面(30s)和所述第2反射面(40s)的距离按每个所述光波导单元(100U₁、100U₂、100U₃、100U₄)而不同。



1. 一种光器件,包括沿着第1方向排列的多个光波导单元,其中,
所述多个光波导单元分别具备:
第1反射镜,具有第1反射面;
第2反射镜,具有与所述第1反射面相对的第2反射面;以及
至少一个光波导区域,位于所述第1反射镜和所述第2反射镜之间,
所述第1反射面与所述第2反射面的距离按每个所述光波导单元而不同。
2. 根据权利要求1所述的光器件,其中,
所述多个光波导单元的至少一个光波导单元具备至少一个光输入波导,该光输入波导与所述光波导区域光耦合,向所述光波导区域输入光。
3. 根据权利要求2所述的光器件,其中,
所述光输入波导经由模式转换器与所述光波导区域连接。
4. 根据权利要求3所述的光器件,其中,
所述模式转换器包括光栅,
所述光栅具备折射率沿着与所述第1方向交叉的第2方向周期性变化的构造。
5. 根据权利要求3或4所述的光器件,其中,
所述多个光波导单元的至少一个光波导单元中的从所述光输入波导向所述光波导区域的经由所述模式转换器的光耦合的效率为80%以上。
6. 根据权利要求5所述的光器件,其中,
所述多个光波导单元的与所述至少一个光波导单元相邻的光波导单元中的所述光耦合的效率小于80%。
7. 根据权利要求1至6中任一项所述的光器件,其中,
所述第1反射面与所述第2反射面的所述距离沿着所述第1方向单调变化。
8. 根据权利要求7所述的光器件,其中,
所述第1反射面与所述第2反射面的所述距离沿着所述第1方向逐次变化一定量。
9. 根据权利要求1至8中任一项所述的光器件,其中,
所述第1反射镜具有比所述第2反射镜高的透射率。
10. 根据权利要求9所述的光器件,其中,
所述多个光波导单元分别包括第1电极和第2电极,
在所述第1反射镜和所述第2反射镜之间包含液晶材料,
所述光波导区域由所述液晶材料充满,
通过使施加于所述第1电极及所述第2电极的电压变化,使从所述光波导区域经由所述第1反射镜射出的光的方向或经由所述第1反射镜进入到所述光波导区域的光的入射方向变化。
11. 根据权利要求1至10中任一项所述的光器件,其中,具备:
第1构造体,具备所述多个光波导单元各自所包含的所述第1反射镜;
第2构造体,具备所述多个光波导单元各自所包含的所述第2反射镜;以及
至少一个支承构件,被所述第1构造体和所述第2构造体夹持,规定所述第1反射面与所述第2反射面的所述距离。
12. 根据权利要求11所述的光器件,其中,

所述支承构件由弹性材料形成。

13. 根据权利要求1至12中任一项所述的光器件, 其中,

具备光开关, 所述光开关能够将光选择性地供给到所述多个光波导单元中的至少一个光波导单元所包含的所述光波导区域。

14. 根据权利要求1至13中任一项所述的光器件, 其中,

光仅被供给到所述多个光波导单元中的一部分光波导单元, 而不被供给到其他光波导单元。

15. 根据权利要求14所述的光器件, 其中,

所述一部分光波导单元中的向所述光波导区域的光耦合效率为80%以上。

16. 一种光检测系统, 其中, 具备:

权利要求1至15中任一项所述的光器件;

光检测器, 检测从所述光器件射出并从对象物反射的光; 以及
信号处理电路, 基于所述光检测器的输出生成距离分布数据。

光器件和光检测系统

技术领域

[0001] 本公开涉及光器件和光检测系统。

背景技术

[0002] 以往,提出了能够利用光来扫描(scan)空间的各种器件。

[0003] 专利文献1公开了使用使反射镜旋转的驱动装置,能够进行基于光的扫描的结构。

[0004] 专利文献2公开了一种光学相控阵,其具有多个二维排列的纳米光子天线元件。各个天线元件光学性地耦合至可变光延迟线(即,移相器)。在该光学相控阵中,相干光束通过波导被引导到各个天线元件,并且光束的相位通过移相器被移位。由此,能够使远场辐射模式的振幅分布变化。

[0005] 专利文献3公开了一种光学偏转元件,其具备:波导,其具备在内部引导光的光波导层以及形成在光波导层的上表面和下表面的第1分布布拉格反射镜;光入射口,其用于使光入射到波导内;以及光出射口,其形成在波导的表面,用于使从光入射口入射并在波导内导波的光射出。

[0006] 在先技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:国际公开第2013/168266号

[0009] 专利文献2:日本特表2016-508235号公报

[0010] 专利文献3:日本特开2013-16591号公报

发明内容

[0011] 发明要解决的问题

[0012] 本公开的一个形态提供一种新的光器件,其能够以比较简单的结构实现基于光的扫描。

[0013] 解决问题的手段

[0014] 本公开的一个形态的光器件包括沿着第1方向排列的多个光波导单元,所述多个光波导单元分别具备:第1反射镜,具有第1反射面;第2反射镜,具有与所述第1反射面相对的第2反射面;以及至少一个光波导区域,位于所述第1反射镜和所述第2反射镜之间,所述第1反射面与所述第2反射面的距离按每个所述光波导单元而不同。

[0015] 本公开的概括性或具体的形态可以通过系统、装置、方法、集成电路、计算机程序或计算机可读的记录磁盘等记录介质来实现,也可以通过系统、装置、方法、集成电路、计算机程序和记录介质的任意的组合来实现。计算机可读的记录介质例如能够包括CD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory,紧凑型光盘只读存储器)等非易失性的记录介质。装置可以由一个以上的装置构成。在装置由两个以上的装置构成的情况下,该两个以上的装置可以配置在一个设备内,也可以分开配置在分离的两个以上的设备内。在本说明书和请求保护的范围内,“装置”不仅可以意味着一个装置,还可以意味着由多个装置构成的系统。

[0016] 发明的效果

[0017] 根据本公开的一个形态,能够通过比较简单的结构来实现基于光的一维扫描或二维扫描。

附图说明

[0018] 图1是示意性地表示光扫描器件的结构的立体图。

[0019] 图2是示意性地表示一个波导元件的截面的构造和传播的光的例子的图。

[0020] 图3A是表示在垂直于波导阵列的出射面的方向上射出光的波导阵列的截面的图。

[0021] 图3B是表示在与垂直于波导阵列的出射面的方向不同的方向上射出光的波导阵列的截面的图。

[0022] 图4是示意性地表示三维空间中的波导阵列的立体图。

[0023] 图5是从光出射面的法线方向(Z方向)观察波导阵列及移相器阵列的示意图。

[0024] 图6A是示意性地表示本公开的实施方式的光器件的例子的俯视图。

[0025] 图6B是表示从图6A所示的构造中除去上部构造体的状态的俯视图。

[0026] 图6C是将图6B所示的第2光波导单元的一部分放大后的俯视图。

[0027] 图7A是示意性地表示在将图6A所示的上部构造体与下部构造体贴合之前的状态下的图6A的A-A线截面的构造的图。

[0028] 图7B是示意性地表示在将图6A所示的上部构造体与下部构造体贴合之前的状态下的图6A的B-B线截面的构造的图。

[0029] 图7C是示意性地表示在将图6A所示的上部构造体与下部构造体贴合之前的状态下的图6A的C-C线截面的构造的图。

[0030] 图8A是示意性地表示在将图6A所示的上部构造体与下部构造体贴合后的状态下的图6A的A-A线截面的构造的图。

[0031] 图8B是示意性地表示在将图6A所示的上部构造体与下部构造体贴合后的状态下的图6A的B-B线截面的构造的图。

[0032] 图8C是示意性地表示在将图6A所示的上部构造体与下部构造体贴合后的状态下的图6A的C-C线截面的构造的图。

[0033] 图8D是将图8C所示的第2光波导单元放大后的剖视图。

[0034] 图9是示意性地表示来自光器件的光射出的情形的剖视图。

[0035] 图10是表示从光器件射出的光的出射角度与光波导区域的厚度的关系的曲线图。

[0036] 图11是示意性地表示本实施方式的光器件的例子的俯视图。

[0037] 图12是示意性地表示使用了本实施方式的光器件的大范围的光扫描的例子的立体图。

[0038] 图13A是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。

[0039] 图13B是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。

[0040] 图13C是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。

[0041] 图13D是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。

[0042] 图13E是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。

[0043] 图13F是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。

- [0044] 图13G是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0045] 图13H是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0046] 图13I是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0047] 图13J是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0048] 图13K是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0049] 图13L是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0050] 图13M是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0051] 图13N是用于说明上部构造体的制造工序的例子的图。
- [0052] 图14A是示意性地表示从Z方向观察时的本变形例的光器件的例子的俯视图。
- [0053] 图14B是表示从图14A所示的构造除去了上部构造体的状态的俯视图。
- [0054] 图14C是示意性地表示图14A的A-A线截面的构造的图。
- [0055] 图15是表示在电路基板上集成了图11所示结构的光扫描器件的结构例的图。
- [0056] 图16是表示从光扫描器件向远方照射激光等光束来执行二维扫描的情形的示意图。
- [0057] 图17是表示能够生成测距图像的LiDAR系统的结构例的框图。

具体实施方式

[0058] 以下说明的实施方式均表示总括性或具体的例子。以下的实施方式所示的数值、形状、材料、构成要素、构成要素的配置位置以及连接方式、步骤以及步骤的顺序是一例，并不意图限定本公开的技术。关于以下的实施方式中的构成要素中的、在表示最上位概念的独立技术方案中没有记载的构成要素，作为任意的构成要素进行说明。各图是示意图，并不一定是严格地图示的图。而且，在各图中，对实质上相同或类似的构成要素标注相同的附图标记。有时省略或简化重复的说明。

[0059] (作为本公开的基础的见解)

[0060] 在说明本公开的实施方式之前，对成为本公开的基础的见解进行说明。

[0061] 本发明人发现，在现有的光扫描器件中，存在难以不使装置的结构复杂就用光扫描空间的课题。

[0062] 例如，在专利文献1所公开的技术中，需要使反射镜旋转的驱动装置。因此，存在装置的结构变复杂、相对于振动不稳健(robust)的课题。

[0063] 在专利文献2所记载的光学相控阵中，需要将光分支并导入到多个列波导及多个行波导中，并将光引导到二维排列的多个天线元件。因此，用于引导光的波导的布线变得非常复杂。另外，无法增大二维扫描的范围。此外，为了使远场中的出射光的振幅分布二维地变化，需要将移相器连接到二维排列的多个天线元件中的每一个，并将相位控制用的布线安装于移相器。由此，使入射到二维排列的多个天线元件的光的相位分别变化不同的量。因此，元件的结构变得非常复杂。

[0064] 本发明人着眼于现有技术中的上述课题，研究了用于解决这些课题的结构。本发明人发现，通过使用具有相对的一对反射镜和被这些反射镜夹着的光波导层的波导元件，能够解决上述课题。波导元件中的一对反射镜中的一个具有比另一个高的光透射率，使在光波导层中传播的光的一部分射出到外部。如后所述，通过调整光波导层的折射率或厚度、

或者输入到光波导层的光的波长,能够使射出的光的方向(或出射角度)变化。更具体而言,通过使折射率、厚度或波长变化,能够使出射光的波矢(wave vector)的沿着光波导层的长度方向的成分变化。由此,实现一维扫描。

[0065] 此外,在使用了多个波导元件的阵列的情况下,能够实现二维扫描。更具体而言,通过对供给到多个波导元件的光给予适当的相位差,并调整该相位差,能够使从多个波导元件射出的光相互增强的方向变化。通过相位差的变化,使出射光的波矢在与光波导层的长度方向交叉的方向的成分变化。由此,能够实现二维的扫描。通过对供给到多个光波导层的光给予适当的相位差,并且使多个光波导层的折射率、厚度以及波长中的至少一个同步地变化相同的量,能够进行二维扫描。这样,根据本公开的实施方式,能够通过相对简单的结构来实现基于光的二维扫描。

[0066] 在本说明书中,“折射率、厚度以及波长中的至少一个”意味着从由光波导层的折射率、光波导层的厚度以及输入到光波导层的波长构成的组中选择的至少一个。为了使光的出射方向变化,可以单独控制折射率、厚度以及波长中的某一个。或者,也可以控制这3个中的任意两个或全部来使光的出射方向变化。在以下的各实施方式中,也可以代替折射率或厚度的控制,或在此基础上,控制输入到光波导层的光的波长。

[0067] 以上的基本原理不仅能够应用于射出光的用途,也同样能够应用于接收光信号的用途。通过使折射率、厚度以及波长中的至少一个变化,能够使可接收的光的方向一维地变化。进而,如果通过与在一个方向上排列的多个波导元件分别连接的多个移相器来使光的相位差变化,就能够使可接收的光的方向二维地变化。

[0068] 本公开的实施方式的光扫描器件和光接收器件可以用作例如LiDAR (Light Detection and Ranging,光学探测和测距) 系统的光检测系统中的天线。LiDAR系统与使用了毫米波等电波的雷达系统相比,由于使用短波长的电磁波(可见光、红外线或紫外线),因此能够以高分辨率检测物体的距离分布。这样的LiDAR系统可搭载于例如汽车、UAV (Unmanned Aerial Vehicle,所谓无人机)、AGV (Automated Guided Vehicle,自动导引车) 等移动体,作为碰撞避免技术之一来使用。在本说明书中,有时将光扫描器件和光接收器件统称为“光器件”。另外,有时也将光扫描器件或光接收器件中使用的器件称为“光器件”。

[0069] 以下,对光器件的基本结构例及其动作原理进行说明。

[0070] <光扫描器件的基本结构例>

[0071] 以下,作为一例,说明进行二维扫描的光扫描器件的结构。但是,有时会省略不必要的详细说明。例如,有时省略已经公知的事项的详细说明。这是为了避免以下的说明不必要地变得冗长,使本领域技术人员容易理解。

[0072] 在本公开中,“光”意味着不仅包含可见光(波长为约400nm~约700nm),还包含紫外线(波长为约10nm~约400nm)和红外线(波长为约700nm~约1mm)的电磁波。在本说明书中,有时将紫外线称为“紫外光”,将红外线称为“红外光”。

[0073] 在本公开中,基于光的“扫描”意味着使光的方向变化。所谓“一维扫描”意味着使光的方向沿着与该方向交叉的方向直线地变化。所谓“二维扫描”意味着使光的方向沿着与该方向交叉的平面二维地变化。

[0074] 图1是示意性地表示光扫描器件100的结构的立体图。光扫描器件100具备包括多个波导元件10的波导阵列。多个波导元件10分别具有在X方向上延伸的形状。多个波导元件

10在Y方向上规则地排列。多个波导元件10在X方向上传播光,同时在与平行于XY平面的虚拟平面相交的方向D3上使光射出。在本实施方式中,波导元件10延伸的方向与波导元件10的排列方向正交,但两者也可以不正交。在本实施方式中,多个波导元件10在Y方向上等间隔排列,但不一定需要等间隔排列。

[0075] 另外,本申请的附图所示的构造物的朝向是考虑到说明的容易理解性而设定的,并不对本实施方式实际实施时的朝向进行任何限制。此外,附图中所示的构造物的整体或一部分的形状和大小不限制真实的形状和大小。

[0076] 多个波导元件10分别具有相互相对的第1反射镜30和第2反射镜40、以及位于反射镜30和反射镜40之间的光波导层20。反射镜30和反射镜40分别在光波导层20的界面处具有与方向D3相交的反射面。反射镜30、反射镜40以及光波导层20具有在X方向上延伸的形状。

[0077] 另外,如后所述,多个波导元件10的多个第1反射镜30也可以是一体构成的反射镜的多个部分。另外,多个波导元件10的多个第2反射镜40也可以是一体构成的反射镜的多个部分。此外,多个波导元件10的多个光波导层20可以是一体构成的光波导层的多个部分。至少,通过(1)各第1反射镜30与其他第1反射镜30分体构成,(2)各第2反射镜40与其他第2反射镜40分体构成,(3)各光波导层20与其他光波导层20分体构成,能够形成多个波导。“分体构成”不仅包括物理上隔开空间配置,还包括在中间隔开折射率不同的材料而分离。

[0078] 第1反射镜30的反射面和第2反射镜40的反射面大致平行地相对。在两个反射镜30和反射镜40中,至少第1反射镜30具有使在光波导层20中传播的光的一部分透射的特性。换言之,第1反射镜30对于该光具有比第2反射镜40高的光透射率。因此,在光波导层20中传播的光的一部分从第1反射镜30输出到外部。这样的反射镜30和反射镜40可以是例如由基于电介质的多层膜(有时也称为“多层反射膜”)形成的多层膜反射镜。

[0079] 控制输入到各个波导元件10中的光的相位,并且使这些波导元件10中的光波导层20的折射率或厚度、或者输入到光波导层20的光的波长同步地同时变化,由此能够实现基于光的二维扫描。

[0080] 本发明人为了实现这样的二维扫描,对波导元件10的动作原理进行了分析。基于该结果,通过同步驱动多个波导元件10,成功地实现了基于光的二维扫描。

[0081] 如图1所示,当光输入到各波导元件10时,光从各波导元件10的出射面射出。出射面位于第1反射镜30的反射面的相反侧。该出射光的方向D3取决于光波导层的折射率、厚度以及光的波长。在本实施方式中,同步地控制各光波导层的折射率、厚度以及波长中的至少一个,以使从各波导元件10射出的光成为大致相同的方向。由此,能够使从多个波导元件10射出的光的波矢的X方向的分量变化。换言之,能够使出射光的方向D3沿着图1所示的方向101变化。

[0082] 此外,由于从多个波导元件10射出的光朝向相同的方向,因此出射光相互干涉。通过控制从各个波导元件10射出的光的相位,能够使光由于干涉而相互增强的方向变化。例如,在相同尺寸的多个波导元件10在Y方向上等间隔排列的情况下,向多个波导元件10输入相位逐次相差一定量的不同的光。通过使该相位差变化,能够使出射光的波矢的Y方向的分量变化。换言之,通过使被导入到多个波导元件10的光的相位差各自变化,能够使出射光由于干涉而相互增强的方向D3沿着图1所示的方向102变化。由此,能够实现基于光的二维扫

描。

[0083] 以下,说明光扫描器件100的动作原理。

[0084] <波导元件的动作原理>

[0085] 图2是示意性地表示一个波导元件10的截面的构造和传播的光的例子的图。在图2中,将与图1所示的X方向和Y方向垂直的方向设为Z方向,示意性地示出了波导元件10的与XZ面平行的截面。在波导元件10中,配置成第1反射镜30和第2反射镜40夹着光波导层20。第1反射镜30具有第1反射面30s。第2反射镜40具有与第1反射面30s相对的第2反射面40s。从光波导层20的X方向上的一端导入的光20L一边被设置于光波导层20的上表面(图2中的上侧的表面)的第1反射镜30的第1反射面30s以及设置于下表面(图2中的下侧的表面)的第2反射镜40的第2反射面40s反复反射,一边在光波导层20中传播。第1反射镜30的光透射率高于第2反射镜40的光透射率。因此,能够主要从第1反射镜30输出光的一部分。

[0086] 在普通的光纤等波导中,光一边反复全反射一边沿着波导传播。与此相对,在本实施方式中的波导元件10中,光一边被配置在光波导层20的上下的反射镜30和反射镜40反复反射一边传播。因此,光的传播角度没有限制。这里,光的传播角度意味着向着反射镜30或反射镜40与光波导层20之间的界面的入射角度。对于反射镜30或反射镜40,也能够传播以更接近垂直的角度入射的光。即,以小于全反射临界角的角度入射到界面的光也能够传播。因此,光的传播方向上的光的组速度与自由空间中的光速相比大幅降低。由此,波导元件10具有如下性质:光的传播条件相对于光的波长、光波导层20的厚度以及光波导层20的折射率的变化而大幅变化。将这样的波导称为“反射型波导”或“慢光波导”。

[0087] 从波导元件10射出到空气中的光的出射角度 θ 由以下的式(1)表示。

[0088] [数学式1]

$$[0089] \quad \sin\theta = \sqrt{n_w^2 - \left(\frac{m\lambda}{2d}\right)^2} \quad (1)$$

[0090] 从式(1)可知,通过改变空气中的光的波长 λ 、光波导层20的折射率 n_w 和光波导层20的厚度 d 中的某一个,可以改变光的出射方向。

[0091] 例如,在 $n_w=2$ 、 $d=387\text{nm}$ 、 $\lambda=1550\text{nm}$ 、 $m=1$ 的情况下,出射角度为 0° 。从该状态起,当使折射率变化为 $n_w=2.2$ 时,出射角度变化为约 66° 。另一方面,当不改变折射率而使厚度变化为 $d=420\text{nm}$ 时,出射角度变化为约 51° 。当不使折射率和厚度变化而使波长变化为 $\lambda=1500\text{nm}$ 时,出射角度变化为约 30° 。这样,通过改变光的波长 λ 、光波导层20的折射率 n_w 以及光波导层20的厚度 d 中的某一个,能够大幅改变光的出射方向。

[0092] 因此,光扫描器件100通过控制输入到光波导层20的光的波长 λ 、光波导层20的折射率 n_w 以及光波导层20的厚度 d 中的至少一个来控制光的出射方向。光的波长 λ 在动作过程中可以维持恒定而不变化。在该情况下,能够用更简单的结构实现光的扫描。波长 λ 没有特别限定。例如,波长 λ 可以包含在 400nm 至 1100nm (即,从可见光到近红外光)的波长域中,在该波长域中,通过使用普通硅(Si)吸收光来检测光的光电检测器或图像传感器会得到高检测灵敏度。在其他例子中,波长 λ 可以包含在 1260nm 至 1625nm 的近红外光的波长域中,在该波长域中,在光纤或Si波导中传输损耗比较小。另外,这些波长范围是一例。所使用的光的波长域不限于可见光或红外光的波长域,例如也可以是紫外光的波长域。

[0093] 为了使出射光的方向变化,光扫描器件100可具备第1调整元件,该第1调整元件使各波导元件10中的光波导层20的折射率、厚度以及波长中的至少一个变化。

[0094] 如上所述,如果使用波导元件10,则通过使光波导层20的折射率 n_w 、厚度 d 以及波长 λ 中的至少一个变化,能够大幅改变光的出射方向。由此,能够使从反射镜30射出的光的出射角度在沿着波导元件10的方向上变化。通过使用至少一个波导元件10,能够实现这样的一维的扫描。

[0095] 为了调整光波导层20的至少一部分的折射率,光波导层20可以包含液晶材料或电光材料。光波导层20可由一对电极夹住。通过向一对电极施加电压,能够使光波导层20的折射率变化。

[0096] 为了调整光波导层20的厚度,例如,至少一个致动器可以连接到反射镜30和反射镜40中的至少一个。通过用至少一个致动器使反射镜30与反射镜40的距离变化,能够使光波导层20的厚度变化。如果光波导层20由液体形成,则光波导层20的厚度可以容易地变化。

[0097] <二维扫描的动作原理>

[0098] 在多个波导元件10排列在一个方向上的波导阵列中,通过从各个波导元件10射出的光的干涉,光的出射方向发生变化。通过调整供给到各波导元件10的光的相位,能够使光的出射方向变化。以下,说明其原理。

[0099] 图3A是表示在垂直于波导阵列的出射面的方向上射出光的波导阵列的截面的图。在图3A中还记载有在各波导元件10中传播的光的移相量。在此,移相量是以在左端的波导元件10中传播的光的相位为基准的值。本实施方式中的波导阵列包括等间隔排列的多个波导元件10。在图3A中,虚线的圆弧示出了从各波导元件10射出的光的波面。直线示出了由于光的干涉而形成的波面。箭头示出了从波导阵列射出的光的方向(即,波矢的方向)。在图3A的例子中,在各波导元件10中的光波导层20中传播的光的相位均相同。在该情况下,光向着垂直于波导元件10的排列方向(Y方向)以及光波导层20延伸的方向(X方向)这两者的方向(Z方向)射出。

[0100] 图3B是表示在与垂直于波导阵列的出射面的方向不同的方向上射出光的波导阵列的截面的图。在图3B所示的例子中,在多个波导元件10中的光波导层20中传播的光的相位在排列方向上逐次相差一定量($\Delta\phi$)。在该情况下,光向着与Z方向不同的方向射出。通过使 $\Delta\phi$ 变化,能够使光的波矢的Y方向的分量变化。当将相邻的两个波导元件10之间的中心间距离设为 p 时,光的出射角度 α_0 由以下的式(2)表示。

[0101] [数学式2]

$$[0102] \quad \sin\alpha_0 = \frac{\Delta\phi\lambda}{2\pi p} \quad (2)$$

[0103] 在图2所示的例子中,光的出射方向平行于XZ平面。即, $\alpha_0=0^\circ$ 。在图3A和图3B所示的例子中,从光扫描器件100射出的光的方向平行于YZ平面。即, $\theta=0^\circ$ 。但是,一般地,从光扫描器件100射出的光的方向既不平行于XZ平面也不平行于YZ平面。即, $\theta\neq 0^\circ$ 以及 $\alpha_0\neq 0^\circ$ 。

[0104] 图4是示意性地表示三维空间中的波导阵列的立体图。图4所示的粗箭头表示从光扫描器件100射出的光的方向。 θ 是光的出射方向与YZ平面所成的角度。 θ 满足式(1)。 α_0 是光的出射方向与XZ平面所成的角度。

[0105] α_0 满足式(2)。

[0106] <导入到波导阵列的光的相位控制>

[0107] 为了控制从各个波导元件10射出的光的相位,例如,在向波导元件10导入光的前段,可以设置使光的相位变化的移相器。光扫描器件100具备分别连接于多个波导元件10的多个移相器、以及调整在各移相器中传播的光的相位的第2调整元件。各移相器包括如下波导,所述波导直接或经由其他波导而连接到多个波导元件10中的对应的一个波导元件中的光波导层20。第2调整元件通过分别使从多个移相器向多个波导元件10传播的光的相位之差变化,使从多个波导元件10射出的光的方向D3变化。在以下的说明中,与波导阵列同样地,将排列的多个移相器也称为“移相器阵列”。

[0108] 图5是从光出射面的法线方向(Z方向)观察波导阵列10A和移相器阵列80A的示意图。在图5所示的例子中,所有的移相器80具有相同的传播特性,所有的波导元件10具有相同的传播特性。各个移相器80以及各个波导元件10可以是相同的长度,也可以长度不同。在各个移相器80的长度相等的情况下,例如,能够通过驱动电压来调整各个移相量。此外,通过采用使各个移相器80的长度以相等的步长变化的构造,能够以相同的驱动电压给予相等步长的移相。而且,该光扫描器件100还具备将光分支并供给到多个移相器80的光分支器90、驱动各波导元件10的第1驱动电路70a、以及驱动各移相器80的第2驱动电路70b。图5中的直线箭头示出了光的输入。通过分别独立地控制分别设置的第1驱动电路70a和第2驱动电路70b,能够实现二维扫描。在该例中,第1驱动电路70a作为第1调整元件的一个要素发挥功能,第2驱动电路70b作为第2调整元件的一个要素发挥功能。

[0109] 第1驱动电路70a通过使各波导元件10中的光波导层20的折射率及厚度中的至少一个变化,使从光波导层20射出的光的角度变化。第2驱动电路70b通过使各移相器80中的光波导层20的折射率变化,使在光波导层20的内部传播的光的相位变化。光分支器90可以由通过全反射来传播光的波导构成,也可以由与波导元件10同样的反射型波导构成。

[0110] 另外,也可以在对由光分支器90分支的各个光控制相位之后,将各个光导入移相器80。在该相位控制中,例如,能够使用通过调整到达移相器80的波导的长度而形成的无源相位控制构造。或者,也可以使用具有与移相器80同样功能的、能够由电信号控制的移相器。通过这样的方法,例如,相位可以在被导入移相器80之前被调整,使得等相位的光供给到所有移相器80。通过这样的调整,能够简化第2驱动电路70b对各移相器80的控制。

[0111] 具有与上述光扫描器件100同样结构的光器件也能够作为光接收器件来利用。在美国专利申请公开第2018/0224709号中公开了光器件的动作原理和动作方法等细节。该文献的公开内容全部并入本说明书中。

[0112] <基于贴合的光器件的制造>

[0113] 光器件100例如可以通过将具备第1反射镜30的上部构造体和具备第2反射镜40的下部构造体贴合来制造。在贴合时,例如可使用紫外线固化树脂或热固化树脂等密封构件。在上部构造体和下部构造体之间形成相当于前述的光波导层的区域。将该区域称为“光波导区域”。为了能够进行施加电压而引起的光扫描,光波导区域可以包含例如液晶材料。为了将液晶材料注入光器件100,例如可以利用真空封装。可以在被上述密封构件包围的空间注入液晶材料。根据这样的方法,能够防止注入液晶材料时的真空泄漏。

[0114] 在该基于贴合的制造方法中,取决于贴合的精度,上部构造体与下部构造体的间隔可能不能达到设计值而产生误差。因为该误差,关于例如出射角度和/或出射光的强度,

所制造的光器件可能不能实现满足设计的性能。

[0115] 本公开的实施方式的光器件为了解决该课题,具备以下的结构。光器件包括多个光波导单元。多个光波导单元分别包括第1反射镜30、第2反射镜40、以及位于它们之间的至少一个光波导区域。第1反射镜30的反射面30s与第2反射镜40的反射面40s的距离按每个光波导单元而不同。各光波导单元中的第1反射镜30的反射面30s与第2反射镜40的反射面40s的距离(以下也称为“反射镜间隔”。)可以设计为在每个光波导单元中稍微不同。例如,各光波导单元可以设计成反射镜间隔的设计值对每个光波导单元逐次有一定量 Δd 的不同。 Δd 如后面详细说明的那样,根据光波导单元的个数和允许的误差的大小的最大值而设定为适当的值。通过这样的设计,即使某个光波导单元的反射镜间隔因制造误差而脱离允许范围,也能够其他的至少一个光波导单元中提高反射镜间隔收敛在允许范围内的可能性。通过选择性地使用多个光波导单元中反射镜间隔收敛在允许范围内的光波导单元,能够满足设计地从光器件100射出光。

[0116] 以下,说明本公开的实施方式的光器件和光检测系统的概要。

[0117] 第1项目的光器件包括沿着第1方向排列的多个光波导单元。所述多个光波导单元分别具备:第1反射镜,具有第1反射面;第2反射镜,具有与所述第1反射面相对的第2反射面;以及至少一个光波导区域,位于所述第1反射镜与所述第2反射镜之间。所述第1反射面与所述第2反射面的距离按每个所述光波导单元而不同。

[0118] 在该光器件中,即使产生制造误差,也能够多个光波导单元的至少一个光波导单元中,提高第1反射镜与第2反射镜的间隔收敛在允许范围内的可能性。

[0119] 第2项目的光器件为:在第1项目的光器件中,所述多个光波导单元的至少一个光波导单元具备至少一个光输入波导,该光输入波导与所述光波导区域光耦合,向所述光波导区域输入光。

[0120] 在该光器件中,能够向多个光波导单元中的每一个光波导单元中的光波导区域输入光。

[0121] 第3项目的光器件为:在第2项目的光器件中,所述光输入波导经由模式转换器与所述光波导区域连接。

[0122] 在该光器件中,通过模式转换器,能够提高从光输入波导向光波导区域的光耦合的效率。

[0123] 第4项目的光器件为:在第3项目的光器件中,所述模式转换器包括光栅。所述光栅具备折射率沿着与所述第1方向交叉的第2方向周期性变化的构造。

[0124] 在该光器件中,通过适当地设计光栅的结构,能够提高从光输入波导向光波导区域的光耦合的效率。

[0125] 第5项目的光器件为:在第3或4项目的光器件中,所述多个光波导单元的至少一个光波导单元中的从所述光输入波导向所述光波导区域的经由所述模式转换器的光耦合的效率为80%以上。

[0126] 在该光器件中,能够使光高效率地耦合到多个光波导单元的至少一个光波导单元中的光波导区域。

[0127] 第6项目的光器件为:在第5项目的光器件中,所述多个光波导单元的与所述至少一个光波导单元相邻的光波导单元中的所述光耦合的效率小于80%。

[0128] 在该光器件中,能够仅在多个光波导单元中的一部分光波导单元中使光高效率地耦合到光波导区域。

[0129] 第7项目的光器件为:在第1至第6项目中的任一项的光器件中,所述第1反射面与所述第2反射面的所述距离沿着所述第1方向单调变化。

[0130] 在该光器件中,通过具有多段构造的反射镜,能够使第1反射镜与第2反射镜的间隔按每个光波导单元而不同。

[0131] 第8项目的光器件为:在第7项目的光器件中,所述第1反射面与所述第2反射面的所述距离沿着所述第1方向逐次变化一定量。

[0132] 在该光器件中,能够容易地制作具有多段构造的反射镜。

[0133] 第9项目的光器件为:在第1至第8项目中的任一项所述的光器件中,所述第1反射镜具有比所述第2反射镜高的透射率。

[0134] 在该光器件中,能够使在光波导区域中传播的光的一部分经由第1反射镜射出到外部。

[0135] 第10项目的光器件为:在第9项目的光器件中,所述多个光波导单元分别包括第1电极和第2电极,在所述第1反射镜和所述第2反射镜之间包含液晶材料。所述光波导区域由所述液晶材料充满。通过使施加于所述第1电极及所述第2电极的电压变化,使从所述光波导区域经由所述第1反射镜射出的光的方向或经由所述第1反射镜进入到所述光波导区域的光的入射方向变化。

[0136] 在该光器件中,通过在第1电极和第2电极之间施加电压,能够使经由第1反射镜射出的光的方向、或经由第1反射镜进入到所述光波导区域的光的入射方向变化。

[0137] 第11项目的光器件为:在第1至第10项目中的任一项所述的光器件中,具备:第1构造体,具备所述多个光波导单元各自所包含的所述第1反射镜;第2构造体,具备所述多个光波导单元各自所包含的所述第2反射镜;以及至少一个支承构件,被所述第1构造体和所述第2构造体夹持,规定所述第1反射面与所述第2反射面的所述距离。

[0138] 在该光器件中,通过经由支承构件将第1构造体与第2构造体贴合,第1反射面与第2反射面能够大致平行。

[0139] 第12项目的光器件为:在第11项目的光器件中,所述支承构件由弹性材料形成。

[0140] 在该光器件中,通过由弹性材料形成的支承构件,第1反射面与第2反射面能够大致平行。

[0141] 第13项目的光器件为:在第1至第12项目中的任一项所述的光器件中,具备光开关,所述光开关能够将光选择性地供给到所述多个光波导单元中的至少一个光波导单元所包含的所述光波导区域。

[0142] 在该光器件中,能够选择性地使用多个光波导单元中的至少一个光波导单元。

[0143] 第14项目的光器件为:在第1至第13项目中的任一项所述的光器件中,光仅被供给到所述多个光波导单元中的一部分光波导单元,而不被供给到其他光波导单元。

[0144] 在该光器件中,仅使用一部分光波导单元。

[0145] 第15项目的光器件为:在第14项目的光器件中,所述一部分光波导单元中的向所述光波导区域的光耦合的效率为80%以上。

[0146] 在该光器件中,能够仅使用向光波导区域的光耦合的效率为80%以上的光波导单

元。

[0147] 第16项目的光器件具备:第1至第15项目中的任一项所述的光器件;光检测器,检测从所述光器件射出并从对象物反射的光;以及信号处理电路,基于所述光检测器的输出生成距离分布数据。

[0148] 在该光检测系统中,能够生成距离图像。

[0149] 在本公开中,电路、单元、装置、构件或部的全部或一部分、或框图中的功能块的全部或一部分,例如可以通过包括半导体装置、半导体集成电路(IC)或LSI (large scale integration,大规模集成电路)的一个或多个电子电路来执行。LSI或IC可以集成在一个芯片上,也可以组合多个芯片而构成。例如,存储元件以外的功能块也可以集成在一个芯片上。在此,称为LSI或IC,但称呼方式根据集成程度而改变,也可以称为系统LSI、VLSI (very large scale integration,超大规模集成电路)或ULSI (ultra large scale integration,特大规模集成电路)。在LSI的制造后被编程的、现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)、或能够进行LSI内部的接合关系的重构或LSI内部的电路划分的设置的可重构逻辑器件(reconfigurable logic device)也能够以相同的目的使用。

[0150] 此外,电路、单元、装置、构件或部的全部或一部分的功能或动作可以通过软件处理来执行。在该情况下,软件被记录在一个或多个ROM、光盘、硬盘驱动器等非暂时性记录介质中,在由处理装置(processor)执行软件时,由该软件确定的功能由处理装置(processor)及周边装置执行。系统或装置可以具备记录有软件的一个或多个非暂时性存储介质,处理装置(processor)和需要的硬件器件,例如接口。

[0151] (实施方式)

[0152] 图6A是示意性地表示本公开的实施方式的光器件100的例子的俯视图。该光器件100具备上部构造体100a和下部构造体100b。图6B是表示从图6A所示的构造中除去了上部构造体100a的状态的俯视图。

[0153] 在本说明书中,将上部构造体100a所位于的一侧称为“上部”,将下部构造体100b所位于的一侧称为“下部”。术语“上部”和“下部”是为了便于说明而使用的,并不限制光器件100在使用时的姿势。不管这些术语如何,光器件100的姿势可以根据用途而任意地决定。在本说明书中,上部构造体100a也称为“第1构造体”,下部构造体100b也称为“第2构造体”。

[0154] 如图6A和图6B所示,本实施方式的光器件100具备第1光波导单元 $100U_1$ 、第2光波导单元 $100U_2$ 、第3光波导单元 $100U_3$ 和第4光波导单元 $100U_4$ 。以下,不对这些光波导单元进行区别而统称为“光波导单元100U”。在图6A和图6B所示的被虚线包围的区域中配置有第1光波导单元 $100U_1$ ~第4光波导单元 $100U_4$ 。光波导单元100U的个数并不限定于4个,可以是两个以上的任意数量。

[0155] 图6C是将图6B所示的第2光波导单元 $100U_2$ 的一部分放大的俯视图。

[0156] 图7A、图7B和图7C是示意性地表示了图6A所示的上部构造体100a与下部构造体100b贴合之前的状态下的光器件100的截面构造的图。图7A至图7C所示的截面分别相当于图6A的A-A线截面、B-B线截面、以及C-C线截面。图7A至图7C中所示的向下箭头表示将上部构造体100a与下部构造体100b贴合。

[0157] 图8A至图8C是示意性地表示在上部构造体100a与下部构造体100b贴合后的状态

下的光器件100的截面构造的图。图8A至图8C分别示出了图6A中的A-A线截面、B-B线截面、及C-C线截面的构造。图8D是将图8C所示的第2光波导单元100U₂放大的剖视图。

[0158] 如图7A至图8D所示,上部构造体100a具备第1基板50a、第1电极62a、电介质层51a以及第1反射镜30。在第1基板50a上依次设置有第1电极62a、第1电介质层51a以及第1反射镜30。如图8C所示,电介质层51a以及第1反射镜30具备在光波导单元100U的边界部分具有台阶的多段构造。

[0159] 下部构造体100b具备第2基板50b、第2电极62b、第2反射镜40、第2电介质层51b、多个分隔壁73、多个弹性间隔件77、密封构件79以及多个光波导11。在第2基板50b上设置有第2电极62b。在第2电极62b上设置有第2反射镜40。第2反射镜40的反射面40s与第1反射镜30的反射面30s相对。在第2反射镜40上设置有第2电介质层51b。第2电介质层51b的一部分被除去,反射镜40的反射面40s的一部分露出。在第2电介质层51b上设置有多个分隔壁73、多个弹性间隔件77、密封构件79以及多个光波导11。

[0160] 上部构造体100a及下部构造体100b能够例如通过半导体工艺制造。半导体工艺可以包括例如通过溅射及蒸镀等进行的成膜、光刻和蚀刻等工序。

[0161] 如图7A至图7C所示,在光器件100的制造工序中,上部构造体100a与下部构造体100b被贴合。此外,如图8A至图8C所示,夹在上部构造体100a与下部构造体100b之间的空间由液晶材料21充满。这样,制造出光器件100。由液晶材料21充满的空间的一部分是光波导区域20。如后所述,多个弹性间隔件77在贴合工序中起到将第1基板50a和第2基板50b以规定的间隔平行地配置的作用。但是,基板50a与基板50b的间隔可能产生误差。由于该误差,各光波导单元100U中的第1反射镜30和第2反射镜40的间隔有可能脱离允许范围。在该情况下,从光波导单元100U射出的光的方向或强度偏离设计值,无法实现期望的性能。

[0162] 如图8C和图8D所示,在第1反射镜30的反射面30s与第2反射镜40的反射面40s之间形成多个光波导区域20。这些光波导区域20由分隔壁73划分。各光波导区域20的Z方向的尺寸即厚度等于第1反射镜30的反射面30s与第2反射镜40的反射面40s的距离。各光波导区域20的Y方向的尺寸即宽度等于位于其两侧的两个分隔壁73的侧面间的距离。第1反射镜30中从Z方向观察时与光波导区域20重叠的部分、第2反射镜40中从Z方向观察时与光波导区域20重叠的部分、以及光波导区域20形成光波导。该光波导作为前述的波导元件10即慢光波导发挥功能。在以下的说明中,将该光波导称为“光波导10”。

[0163] 作为一例,图6C和图8D示意性地示出了第2光波导单元100U₂的构造。其他光波导单元100U₁、100U₃、100U₄除了反射镜间隔不同这点之外,也具备同样的构造。如图8D所示,各光波导单元100U具备第1基板50a、第1电极62a、第1电介质层51a、第1反射镜30、第2基板50b、第2电极62b、第2反射镜40、第2电介质层51b、多个光波导区域20以及多个分隔壁73。如图6C所示,各光波导单元100U还具备与多个光波导区域20连接的多个光波导11。另外,各光波导单元100U所包含的第1反射镜30是光器件100所具备的第1反射镜30的一部分。对于各光波导单元100U所包含的第2反射镜40、第1电极62a、第2电极62b、第1基板50a、第2基板50b、第1电介质层51a、第2电介质层51b也同样。各光波导单元100U所包含的多个光波导区域20是光器件100所具备的多个光波导区域20的一部分。对于各光波导单元100U所包含的多个分隔壁73和多个光波导11也同样。

[0164] 在本实施方式的光器件100中,反射镜30的反射面30s与反射镜40的反射面40s的

距离、即反射镜间隔按每个光波导单元100U而不同。如图8C所示,第1光波导单元100U₁的反射镜间隔最宽,并且,反射镜间隔按照第2光波导单元100U₂、第3光波导单元100U₃以及第4光波导单元100U₄的顺序逐渐变窄。为了实现这样的结构,在第1电介质层51a形成有多个台阶。通过该台阶,在第1反射镜30的表面也产生同样的台阶,实现反射镜间隔按每个光波导单元100U而不同的构造。各光波导单元100U的反射镜间隔的设计值例如可能设定为逐次有一定量 Δd 的不同的值。 Δd 如后面详细说明的那样,根据光波导单元的个数和允许的误差的大小的最大值而设定为适当的值。通过这样的设计,即使第1基板50a与第2基板50b的间隔产生误差,也能够提高在至少一个光波导单元100U中将第1反射镜30的反射面30s与第2反射镜40的反射面40s的距离收敛于允许范围的可能性。通过选择性地使用多个光波导单元100U中的反射镜间隔收敛于允许范围的光波导单元,能够例如满足出射角度和/或出射光的强度设计地使光从光器件100射出。

[0165] 在本实施方式中,也可以仅向多个光波导单元100U中的被选择的一部分光波导单元供给光,而不向其他光波导单元供给光。该一部分光波导单元例如是向光波导区域20的光耦合效率为80%以上的光波导单元。或者,该一部分光波导单元为能够扫描的角度幅度为30°以上的光波导单元。未被供给光的光波导单元100U是虚设的(dummy),不被使用。未被供给光的光波导单元100U与输入光的光源断开。

[0166] 另外,本实施方式的多个光波导单元100U相互相连,形成单一的构造体。并不限定于这样的构造,多个光波导单元100U也可以在物理上分离。如图8C所示,本实施方式的多个光波导单元100U沿着Y方向不隔开间隔地排列,但也可以隔开间隔地排列。各光波导单元100U在Y方向上的尺寸可以是均匀的,也可以是不均匀的。光波导单元100U的个数不限于4个,可以是2以上的任意数量。光波导单元100U的个数例如可以是两个以上10个以下。

[0167] <光器件100的构成要素的细节>

[0168] 以下,更详细地说明本实施方式的光器件100的结构。在以下说明中,术语“第1”和“第2”可能省略。

[0169] 基板50a和50b中,射出光的一侧的基板具有透光性。也可以基板50a和50b两者具有透光性。同样,电极62a和62b中,射出光的一侧的电极具有透光性。也可以电极62a和62b两者具有透光性。电极62a和62b中的至少一个可以由例如透明电极形成。在电介质层51a和51b中,射出光的一侧的电介质层具有透光性。也可以电介质层51a和51b两者具有透光性。在图8C所示的例子中,光经由上部构造体100a中的电介质层51a、电极62a以及基板50a从多个光波导10射出。

[0170] 多个分隔壁73设置在电介质层51b上。多个分隔壁73在Y方向上排列。多个分隔壁73分别具有沿着X方向延伸的构造。电介质层51b中,在从Z方向观察的情况下的位于多个分隔壁73之间的部分的一部分被除去。其结果是,反射镜40的反射面40s中的多个部分露出。多个露出的部分在Y方向上排列。多个露出的部分分别具有沿着X方向延伸的形状。如图8C所示,电介质层51b中的未被除去的部分和其紧上方的分隔壁73形成沿着X方向延伸的凸部。因此,在反射镜40上形成有沿着Y方向排列的多个凸部。在图8C所示的例子中,凸部的上表面不与反射镜30的反射面接触,但也可以接触。在多个凸部之间形成多个凹部。凹部也具有沿着X方向延伸的构造。各凹部的深度,即各凹部的两侧的凸部的高度,可以是例如1 μm 以上且10 μm 以下。在此,凹部的深度及凸部的高度意味着沿着图中的Z方向测量的各自的尺

寸。

[0171] 多个光波导区域20被规定为多个凹部在从Z方向观察时所位于的区域。光波导区域20是由反射镜30的反射面30s、反射镜40的反射面40s、相邻的两个凸部、以及相邻的两个凸部和反射镜30之间的空间包围的区域。在凸部的上表面与反射镜30的反射面30s接触的结构中,由反射镜30的反射面30s、反射镜40的反射面40s以及相邻的两个凸部包围的区域是光波导区域20。光波导区域20包含液晶材料21。在本实施方式中,使用液晶材料21,但也可以使用能够通过施加电压而使折射率变化的其他种类的电介质材料,例如电光材料。也可以在反射面30s和/或反射面40s形成规定液晶材料的取向方向的取向膜。在图8D所示的例子中,在第2光波导单元100U₂中,6个光波导区域20沿着Y方向排列。各光波导单元100U中的光波导区域20的个数不限定于6个,可以是1以上的任意数量。各光波导单元100U中的光波导区域20的个数例如可以是1个以上128个以下。

[0172] 光波导区域20的折射率比分隔壁73和电介质层51b的折射率高。在光波导区域20内传播的光不会泄漏到位于光波导区域20的两侧的凸部。这是因为,在光波导区域20内传播的光在光波导区域20和凸部的界面上被全反射。能够将存在凸部的区域以及凸部与反射镜30之间的区域称为“非导波区域”。多个光波导区域20和多个非波导区域在反射镜30和反射镜40之间在Y方向上交替排列。通过该结构,形成在Y方向上排列的多个光波导10。

[0173] 电极62a和62b相互相对,间接地夹住光波导区域20。“间接地夹住”意味着隔着其他构件夹住。在本实施方式中,在电极62a和62b之间配置有反射镜30和反射镜40。电极62a与反射镜30的位置关系也可以反转。在该情况下,也可以在电极62a的表面形成取向膜。同样地,电极62b与反射镜40的位置关系也可以反转。通过调整施加给电极62a和62b的电压,能够调整液晶材料21的折射率。通过使该电压变化,从光波导10射出到外部的光的出射角度发生变化。

[0174] 多个弹性间隔件77由弹性材料形成,位于多个光波导10的周围。在图6B所示的例子中,多个柱状的弹性间隔件77被二维地配置。该配置可以是规则性的或周期性的,也可以是不规则性的。在图6B所示的例子中,弹性间隔件77位于由密封构件79包围的区域的内侧和外侧这两者。弹性间隔件77可以仅设置在该区域的内侧和外侧中的一侧。这样,弹性间隔件77位于该区域的内侧和外侧中的至少一方。一部分弹性间隔件77可以设置在光波导层20内。弹性间隔件77的个数可以是1以上的任意数量。弹性间隔件77可以在由密封构件79包围的区域的内侧和/或外侧具有一个相连的形状。该形状例如在从Z方向观察的情况下,可以是直线状、曲线状、波浪线状、或者锯齿线状的形状。

[0175] 如图7A至图7C所示,在将上部构造体100a及下部构造体100b贴合前的状态下,弹性间隔件77在Z方向上的尺寸大于密封构件79在Z方向上的尺寸。因此,在将上部构造体100a及下部构造体100b贴合时,上部构造体100a的电极62a最先与下部构造体100b的弹性间隔件77接触。

[0176] 弹性间隔件77产生弹性变形。在弹性体上施加力而产生应变的情况下,弹性模量通过所施加力除以所产生的应变来定义。弹性间隔件77的弹性模量例如小于反射镜30和分隔壁73的弹性模量。即,弹性间隔件77比反射镜30和分隔壁73容易变形。在用一定的压力将上部构造体100a及下部构造体100b贴合时,弹性间隔件77如弹簧那样作用而进行压缩。其结果是,基板50a和基板50b大致平行。多个弹性间隔件77由上部构造体100a及下部构造体

100b夹持,规定反射面30s与反射面40s的距离。在图8C所示的例子中,弹性间隔件77被夹持在上部构造体100a所包括的电极62a和下部构造体100b所包括的电介质层51b之间。在本说明书中,弹性间隔件77也称为“支承构件”。

[0177] 如果没有弹性间隔件77,则例如电极62b和密封构件79最先接触,其接触部位成为支点,上部构造体100a相对于下部构造体100b倾斜。其结果是,基板50a和基板50b有可能不平行。

[0178] 通过弹性间隔件77,基板50a和基板50b大致平行,另一方面,出于以下的理由,基板50a与基板50b的间隔会产生误差。可以想到的一个理由是,贴合前的弹性间隔件77在Z方向上的尺寸可能存在偏差。可以想到的另一理由是,由于将上部构造体100a及下部构造体100b贴合时的压力发生变动,弹性间隔件77的变形量会产生偏差。

[0179] 密封构件79固定上部构造体100a和下部构造体100b的间隔。如图6B所示,在从Z方向观察时,密封构件79包围多个光波导区域20及多个分隔壁73。密封构件79包括沿着Y方向延伸的部分和从该部分的两侧沿着X方向延伸的部分。密封构件79配置在电介质层51b上,且以沿着Y方向延伸的部分跨越多个光波导11的方式设置。密封构件79的上表面与XY平面平行。如图8B所示,密封构件79中,位于电介质层51b的紧上方的部分在Z方向上的尺寸大于分隔壁73、反射镜30和电介质层51a的厚度(即,在Z方向上的尺寸)的合计。密封构件79例如可以由紫外线固化树脂等光固化树脂或者热固化树脂形成。通过固化前的伸缩的密封构件79,上部构造体100a和下部构造体100b能够无间隙地贴合。在将上部构造体100a和下部构造体100b贴合后,密封构件79通过光照射或加热而固化。如果是能够长时间维持基板50a和基板50b的间隔的构件,则密封构件79的材料不需要是光固化树脂或热固化树脂。液晶材料21可以通过例如真空注入而注入到由密封构件79包围的空间。通过在该空间中注入液晶材料21,能够防止注入液晶材料21时的真空泄漏。

[0180] 多个光波导11分别与多个光波导区域20连接。从光波导11向光波导区域20供给光。在图8A所示的例子中,光波导11位于电介质层51b上。通过调整电介质层51b在Z方向上的尺寸,能够使在光波导11中传播的光高效地耦合到光波导10。电介质层51b在Z方向上的尺寸例如可以调整为光波导11位于Z方向上的光波导区域20的中央附近。光波导11是通过全反射使光传播的波导。因此,光波导11的折射率高于电介质层51b的折射率。在图6A和图6B所示的例子中,在各光波导单元100U中,6个光波导11在Y方向上排列。光波导单元100U中的光波导11的个数并不限定于6个,可以是1以上的任意数量。各光波导单元100U中的光波导11的个数例如可以是1个以上128个以下。另外,光波导11不限于全反射波导,也可以是慢光波导。

[0181] 如图6C所示,各光波导单元100U中的各光波导11具备位于多个分隔壁73中的相邻的两个分隔壁之间的前端部。各光波导11在该前端部具备光栅15。光栅15具备表面的折射率沿着X方向周期性地变化的周期构造。光栅15例如可以包含在X方向上周期性地排列的槽。在光波导11中传播的光的传播常数与在光波导10中传播的光的传播常数不同。通过光栅15,在光波导11中传播的光的一部分转换为衍射光。该衍射光的传播常数等于在光波导11中传播的光的传播常数移位了周期构造的倒易晶格量即移位了周期的倒数乘以 2π 后的值而得到的值。如果该衍射光的传播常数与在光波导区域20中传播的光的传播常数一致,则在光波导11中传播的光高效地耦合到光波导区域20。即使在这两个传播常数不完全一致

的情况下,如果能够减少这两个传播常数之差,则从光波导11向光波导区域20的经由光栅15的光耦合效率提高。该光耦合效率取决于包含在光栅15中的槽的周期、占空比以及深度。也可以将光波导11中包含光栅15的前端部考虑为其他构成要素。在本说明书中,不限于光栅15,将提高光耦合效率的任意结构称为“模式转换器”。这样的结构例如可以是前端部朝向光波导区域20变细的锥形构造。光波导11经由模式转换器与光波导区域20连接。

[0182] 各光波导11在从Z方向观察时,包括与基板50b重叠但不与基板50a重叠的部分。如图6C所示,各光波导11也可以在该不重叠的部分具备光栅13。在图6C所示的例子中,各光波导11在设置有光栅15的前端部的相反侧的前端部具备光栅13。也可以将光波导11中包含光栅13的部分认为是其他构成要素。经由光栅13输入的光能够更高效地耦合到光波导11。如本实施方式所示,光波导11可以包含与基板50b重叠但不与基板50a重叠的部分,也可以包含不与基板50a和基板50b两者重叠的部分。这样,在从垂直于各基板的表面的方向观察的情况下,光波导11可以具备不与基板50a和基板50b的至少一方重叠的部分。另外,也可以不使用光波导11,而从光源向光波导区域20的端部直接输入光。

[0183] <光波导区域20的厚度的设计范围>

[0184] 接着,参照图9和图10,说明从光器件100射出的光的出射角度与光波导区域20的厚度的关系、以及从光波导11向光波导区域20的光耦合效率与光波导区域20的厚度的关系。

[0185] 图9是示意性地表示来自光器件100的光射出的情形的剖视图。如图9所示,经由光栅13输入的光在光波导11中传播,经由光栅15输入到光波导区域20。输入的光经由上部构造体100a射出到外部。在图9所示的例子中,光的出射方向平行于XZ平面,其出射角度为 θ 。

[0186] 图10是表示从光器件100射出的光的出射角度与光波导区域20的厚度的关系的曲线图。光波导区域20的厚度是第1反射镜30和第2反射镜40的距离。在光波导区域20中存在多个波导模式。图10示出了针对第7次波导模式计算出的出射角度与厚度的关系的例子。在图10所示的例子中,构成光波导区域20的液晶材料的寻常光折射率为1.512,非常光折射率为1.665。在该情况下,通过向液晶材料施加电压,光波导区域20的折射率在1.512至1.665的范围中发生变化。在图10所示的例子中,在光波导区域20中传播的光的波长是940nm。图10所示的实线表示光波导区域20的折射率为上限值1.665的情况,图10所示的虚线表示光波导区域20的折射率为下限值1.512的情况。图10所示的实线与虚线之间的角度范围是能够扫描的出射角度的范围。能够扫描的出射角度的范围取决于光波导区域20的厚度。例如,在光波导区域20的厚度为 $2.10\mu\text{m}$ 的情况下,能够扫描的出射角度的范围为 17° 以上 44° 以下的范围。该情况下的能够扫描的角度幅度是 27° 。能够扫描的角度幅度越宽,越能够将光器件100利用于更多用途。在将光器件100应用于例如车载用的LiDAR系统的情况下,优选能够扫描的角度幅度为 30° 以上。在图10所示的例子中,在光波导区域20的折射率为下限值1.512的情况下,如果光波导区域20的厚度为 $2.05\mu\text{m}$ 以下,则光不射出。如果使光波导区域20的折射率高于1.512,则即使在厚度为 $2.05\mu\text{m}$ 以下的情况下也能够使光射出。但是,在出射角接近 0° 的情况下,在光波导区域20中传播的光的传播长度变短。由于较短的传播长度,反射镜30的外侧表面中光射出的区域的X方向上的尺寸变短。因此,出射光有可能在远方过度扩散。因此,为了抑制出射光在远方过度扩散,在本实施方式的光器件100中,调整光波导区域20的折射率,使得出射角度不低于 5° 。在图10所示的例子中,在光波导区域20的厚度为

2.020 μm 以上2.075 μm 以下的情况下,能够将能够扫描的角度幅度设为30°以上。在图10中,该范围作为区域64而被示出。另外,根据目的及用途,能够扫描的角度幅度不一定需要为30°以上。

[0187] 光波导区域20的厚度也影响从光波导11向光波导区域20的光耦合效率。为了使光从光波导11高效地耦合到光波导区域20,光耦合效率例如优选为80%以上。在图9所示的例子中,作为模式转换器发挥功能的光栅15具有例如周期670nm、占空比1:1、以及深度45nm的槽。在图10中,区域66示出了能够使光耦合效率为80%以上的光波导区域20的厚度的范围(2.010 μm 以上2.085 μm 以下)。在区域66中,能够扫描的角度幅度不一定为30°以上。区域66中的光波导区域20的厚度范围包括区域64中的光波导区域20的厚度的范围。在区域64和区域66重叠的区域中,光耦合效率为80%以上,并且能够扫描的角度幅度为30°以上。在图10所示的例子中,在实现30°以上的能够扫描的角度幅度的情况下,也实现80%以上的光耦合率。另外,根据目的和用途,光耦合效率不一定需要为80%以上。

[0188] 在实现80%以上的光耦合效率、或除了80%以上的光耦合效率之外还实现30°以上的能够扫描的角度幅度的情况下,在光波导区域20的厚度的范围中,存在如区域64或区域66的横宽那样的允许宽度。在上部构造体100a及下部构造体100b的贴合中,基板50a与基板50b的间隔可能产生制造误差。使该制造误差在光波导区域20的厚度的允许幅度以下未必容易。为了解决该课题,在本实施方式的光器件100中,如图8C所示,反射镜30的反射面30s与反射镜40的反射面40s的距离按每个光波导单元100U而不同。在各光波导单元100U的内部,反射面30s与反射面40s的距离大致均匀。在图8C所示的例子中,多个光波导单元100U中的反射面30s与反射面40s的距离沿着Y方向以逐次变化一定量的方式单调变化。在图8C所示的例子中,第1光波导单元100U₁中的反射面30s与反射面40s的距离大于第2光波导单元100U₂中的反射面30s与反射面40s的距离。第2光波导单元100U₂中的反射面30s与反射面40s的距离大于第3光波导单元100U₃中的反射面30s与反射面40s的距离。第3光波导单元100U₃中的反射面30s与反射面40s的距离大于第4光波导单元100U₄中的反射面30s与反射面40s的距离。

[0189] 多个光波导单元100U中的反射面30s与反射面40s的距离即反射镜间隔不需要沿着Y方向以逐次变化一定量的方式变化。反射镜间隔也不需要沿着Y方向单调变化。换言之,多个光波导单元100U中的反射面30s与反射面40s的距离可以沿着Y方向增加之后再减少,也可以沿着Y方向减少之后再增加。

[0190] 在图10所示的例子中,能够实现80%以上的光耦合效率的光波导区域20的厚度为2.010 μm 以上2.085 μm 以下,其厚度范围的允许宽度为75nm。在该情况下,可以将各单元设计为:将光波导区域20的厚度的中央设计值设为2.0475 μm ,该中央设计值为第2光波导单元100U₂中的反射镜间隔的设计值与第3光波导单元100U₃中的反射镜间隔的设计值的中间值。而且,多个光波导单元100U中的反射镜间隔可以设计成例如沿着Y方向以逐次变化一定量的方式变化75nm的允许宽度的量。在该情况下,第1光波导单元100U₁中的光波导区域20的厚度的设计值为2.160 μm ,第2光波导单元100U₂中的光波导区域20的厚度的设计值为2.085 μm ,第3光波导单元100U₃中的光波导区域20的厚度的设计值为2.010 μm ,第4光波导单元100U₄中的光波导区域20的厚度的设计值为1.935 μm 。通过这样的结构,即使基板50a与基板50b的间隔的误差大到某种程度,也能够第1光波导单元100U₁至第4光波导单元100U₄的一

个中实现80%以上的光耦合效率。哪个光波导单元100U能够实现80%以上的光耦合效率，例如能够通过光器件100的制造后进行的试验来确定。选择性地在光扫描中使用能够实现80%以上的光耦合效率的光波导单元。

[0191] 在上述例子中，如果基板50a与基板50b的间隔的误差的绝对值大于0nm且为75nm以下，则在第2光波导单元100U₂或第3光波导单元100U₃中，能够实现80%以上的光耦合效率。如果基板50a与基板50b的间隔的误差的绝对值大于75nm且为150nm以下，则在第1光波导单元100U₁或第4光波导单元100U₄中，能够实现80%以上的光耦合效率。即，如果基板50a与基板50b的间隔的误差的绝对值大于0nm且为150nm以下，则在第1光波导单元100U₁至第4光波导单元100U₄的某一个中能够实现80%以上的光耦合效率。在某个光波导单元中光耦合效率为80%以上的情况下，在与其相邻的光波导单元中光耦合效率小于80%。

[0192] 除了80%以上的光耦合效率之外，还能够实现30°以上的能够扫描的角度幅度。在图10所示的例子中，除了80%以上的光耦合效率以外还能够实现30°以上的能够扫描的角度幅度的光波导区域20的厚度为2.020μm以上2.075μm以下，该厚度范围的允许宽度为55nm。可以将各单元设计为：将光波导区域20的厚度的中央设计值设为2.0475μm，该中央设计值为第2光波导单元100U₂中的反射镜间隔的设计值与第3光波导单元100U₃中的反射镜间隔的设计值的中间值。而且，多个光波导单元100U中的反射镜间隔可以设计为沿着Y方向以逐次一定量的方式变化55nm的允许宽度。通过这样的结构，即使基板50a与基板50b的间隔的误差大到某种程度，也能够第1光波导单元100U₁至第4光波导单元100U₄的某一个中，除了80%以上的光耦合效率之外，实现30°以上的能够扫描的角度幅度。在光扫描中选择性地使用除了80%以上的光耦合效率之外还实现了30°以上的能够扫描的角度幅度的光波导单元。

[0193] 在前述的例子中，在多个光波导单元100U的个数为4个的情况下，基板50a与基板50b的间隔的误差的绝对值的允许上限值是上述允许宽度的2倍。在多个光波导单元100U的个数为6个的情况下，该允许上限值是上述允许宽度的3倍。在多个光波导单元100U的个数为2N个(N为整数)的情况下，该允许上限值为上述允许宽度的N倍。通过增加多个光波导单元100U的个数，能够增加该允许上限值。

[0194] 在前述的例子中，仅用多个光波导单元100U中的1个，就能实现80%以上的光耦合效率、或者除了80%以上的光耦合效率之外还能够实现30°以上的能够扫描的角度幅度。相应于目的及用途的这种性能可以在多个光波导单元中的两个以上光波导单元中实现。根据本实施方式的光器件100，即使基板50a与基板50b的间隔所产生的制造误差大到某种程度，也能够多个光波导单元的至少一个光波导单元中实现这样的性能。

[0195] 在前述的例子中，将光波导区域20的厚度的中央设计值设定为第2光波导单元100U₂的反射镜间隔的设计值与第3光波导单元100U₃的反射镜间隔的设计值的中间值，但不限于这样的例子。在前述的例子中，相邻的两个光波导单元中的光波导区域20的厚度之差被设计为等于上述允许宽度。相邻的两个光波导单元中的光波导区域20的厚度之差可以设计为小于上述允许宽度，也可以设计为大于上述允许宽度。

[0196] <向多个光波导单元的选择性的光输入>

[0197] 接着，参照图11和图12，说明选择性地将光供给到本实施方式的光器件100所包含的多个光波导单元100U中的至少一个光波导单元的结构例子。

[0198] 图11是示意性地表示本实施方式的光器件100的例子的俯视图。在图11所示的例子中,光器件100在各光波导单元100U中具备多个光波导10、分别与多个光波导10连接的多个光波导11、分别与多个光波导11连接的多个移相器80、驱动多个光波导10的第1驱动电路70a、以及驱动多个光波导11的第2驱动电路70b。在图11中,省略了图8A至图8C所示的构成要素中的多个光波导10及多个光波导11以外的构成要素的图示。在图11所示的各光波导单元100U中,通过由第1驱动电路70a驱动多个光波导10,出射光的波矢中的X方向的成分发生变化。通过由第2驱动电路70b驱动多个移相器80,出射光的波矢中的在Y方向的成分发生变化。

[0199] 在图11所示的例子中,光器件100具备多个光分支器90和光开关92。各光分支器90将光分支并供给到一个光波导单元100U所包含的多个移相器80。光开关92将从未图示的光源输入的光选择性地供给到多个光分支器90中的至少一个。其结果是,光开关92能够将输入光选择性地供给到多个光波导单元100U的至少一个所包含的多个光波导区域20。

[0200] 光开关92仅向多个光波导单元100U中的一部分光波导单元供给光,不向其他光波导单元供给光。该一部分光波导单元例如是向光波导区域20的光耦合效率为80%以上的光波导单元。或者,该一部分光波导单元是能够扫描的角度幅度为 30° 以上的光波导单元。未被供给光的光波导单元100U是虚设的,不被使用。未被供给光的光波导单元100U与向光开关92输入光的光源断开。

[0201] 图12是示意性地表示使用了本实施方式的光器件100的大范围的光扫描的例子的立体图。如图12所示,从多个光波导单元100U射出的光的扫描范围相互不同。图12所示的带有双箭头的扇形的形状表示从各光波导单元100U射出的光的扫描范围。在图12所示的例子中,在第1光波导单元 $100U_1$ 至第4光波导单元 $100U_4$ 中的第3光波导单元 $100U_3$ 中,实现了 30° 以上的能够扫描的角度幅度。在第3光波导单元 $100U_3$ 以外的光波导单元中,虽然未实现 30° 以上的能够扫描的角度幅度,但能够以与第3光波导单元 $100U_3$ 不同的出射角度射出光。因此,不仅使用第3光波导单元 $100U_3$,还使用除此之外的光波导单元,从而能够如图12所示的多个扫描范围那样以更广范围的出射角度进行扫描。通过图11所示的光开关92,能够将由图12的黑色箭头表示的光从第1光波导单元 $100U_1$ 选择性地输入到第4光波导单元 $100U_4$ 。可以按照第1光波导单元 $100U_1$ 至第4光波导单元 $100U_4$ 的顺序输入光,也可以按照不规则的顺序输入光。

[0202] <上部构造体100a的制造工序>

[0203] 接着,参照图13A至图13N,说明上部构造体100a的制造工序的例子。图13A至图13N是用于说明上部构造体100a的制造工序的例子的图。

[0204] 在最先的工序中,如图13A所示,通过溅射或蒸镀法,在基板50a上依次形成电极62a和电介质层52。

[0205] 在下一工序中,如图13B所示,通过涂敷光致抗蚀剂并以规定的图案曝光及显影,在电介质层52上形成光致抗蚀剂图案53。

[0206] 在下一工序中,如图13C所示,以光致抗蚀剂图案53为掩模,通过蚀刻除去电介质层52中的不与光致抗蚀剂图案53重叠的部分。蚀刻量可以是例如前述的75nm或55nm的允许宽度。

[0207] 在下一工序中,如图13D所示,通过剥离图13C所示的光致抗蚀剂图案53,并再次进

行光致抗蚀剂的涂敷、曝光及显影,形成具有其他图案的光致抗蚀剂图案53。

[0208] 在下一工序中,如图13E所示,以光致抗蚀剂图案53为掩模,通过蚀刻除去电介质层52中的不与光致抗蚀剂图案53重叠的部分。其结果是,电介质层52中的与光致抗蚀剂图案53重叠的部分具有二段构造。

[0209] 如图13F至图13I所示,通过对电介质层52反复同样的工序,形成具有4段构造的电介质层52。电极62a中的不与电介质层52重叠的部分露出。具有这样的多段构造的电介质层52成为电介质层51a。

[0210] 在下一工序中,如图13J所示,剥离图13I所示的光致抗蚀剂图案53。

[0211] 在下一工序中,如图13K所示,在电极62a的露出部分和电介质层51a上形成多层反射膜32。

[0212] 在下一工序中,如图13L所示,从垂直于基板50a的方向观察,光致抗蚀剂图案53以与电介质层51a重叠的方式形成在多层反射膜32上。

[0213] 在下一工序中,如图13M所示,通过蚀刻除去多层反射膜32中不与光致抗蚀剂图案53重叠的部分。多层反射膜32中的未被除去的部分成为具有多段构造的反射镜30。

[0214] 在下一工序中,如图13N所示,剥离图13M所示的光致抗蚀剂图案53。

[0215] 通过以上的工序,制造上部构造体100a。

[0216] 在前述的例子中,反射镜30具有多段构造。只要反射面30s与反射面40s的距离根据每个光波导单元100U而不同,也可以不是反射镜30而是反射镜40具有多段构造。或者,也可以是反射镜30及反射镜40两者具有多段构造。如果反射面30s与反射面40s的距离根据每个光波导单元100U而不同,也可以通过与参照图13A至图13N说明的工序不同的工序来制造上部构造体100a。

[0217] <光器件100的制造中使用的构成要素的材料及尺寸>

[0218] 以下,说明本实施方式的光器件100的制造中使用的构成要素的材料及尺寸的具体例。以下,将Z方向上的尺寸称为“厚度”或“高度”。

[0219] 首先,说明上部构造体100a的构成要素的材料及尺寸的具体例。

[0220] 基板50a例如可以由 SiO_2 层形成。基板50b在X方向和Y方向上的尺寸例如分别为8mm和20mm,基板50a的厚度可以为例如0.7mm。

[0221] 电极62a例如可以由ITO溅射层形成。电极62a的厚度可以为例如50nm。

[0222] 具有多段构造的电介质层51a可以由例如 SiO_2 蒸镀层形成。 SiO_2 蒸镀层具有折射率 $n=1.468$ 。在多段构造中, SiO_2 蒸镀层的最小厚度可以为例如 $440\mu\text{m}$ 左右,并且 SiO_2 蒸镀层的最大厚度可以为例如 $665\mu\text{m}$ 左右。

[0223] 反射镜30可以为多层反射膜。多层反射膜可以通过交替蒸镀 Nb_2O_5 层和 SiO_2 层并层叠而形成。 Nb_2O_5 层具有折射率 $n=2.282$ 。 Nb_2O_5 层的厚度可以为例如100nm左右。 SiO_2 层具有折射率 $n=1.468$ 。 SiO_2 层的厚度可以为例如200nm左右。反射镜30具有例如7层 Nb_2O_5 层和6层 SiO_2 层的合计13层。反射镜30的厚度可以为例如 $1.9\mu\text{m}$ 。

[0224] 接着,说明下部构造体100b的构成要素的材料及尺寸的例子。

[0225] 基板50b例如可以由 SiO_2 层形成。基板50b在X方向和Y方向上的尺寸例如都可以为15mm。基板50b的厚度可以为例如0.7mm。

[0226] 电极62b例如可以由ITO溅射层形成。电极62b的厚度可以为例如50nm。

[0227] 反射镜40可以为多层反射膜。多层反射膜例如可以通过交替蒸镀 Nb_2O_5 层和 SiO_2 层并层叠而形成。 Nb_2O_5 层具有折射率 $n=2.282$ 。 Nb_2O_5 层的厚度可以为例如100nm左右。 SiO_2 层具有折射率 $n=1.468$ 。 SiO_2 层的厚度可以为例如200nm左右。反射镜40例如具有31层的 Nb_2O_5 层和30层的 SiO_2 层的合计61层。反射镜40的厚度可以为例如9.1 μm 。

[0228] 电介质层51b例如可以由 SiO_2 蒸镀层形成。 SiO_2 蒸镀层具有折射率 $n=1.468$ 。 SiO_2 蒸镀层的厚度可以为例如约1.0 μm 。

[0229] 光波导11例如可以由 Nb_2O_5 蒸镀层形成。 Nb_2O_5 蒸镀层具有折射率 $n=2.282$ 。 Nb_2O_5 蒸镀层的厚度可以为例如300nm左右。在光波导11上可以形成光栅15及光栅13。光栅15具有例如周期670nm、占空比1:1以及深度40nm的槽。光栅13具有例如周期680nm、占空比1:1以及深度40nm的槽。光栅15及光栅13可以通过基于光刻法的图案化而形成。Y方向上的光波导11的尺寸可以为例如10 μm 。

[0230] 分隔壁73可以由 SiO_2 蒸镀层形成。 SiO_2 蒸镀层具有折射率 $n=1.468$ 。 SiO_2 蒸镀层的厚度可以为例如1.0 μm 。分隔壁73在Y方向上的尺寸例如可以是50 μm 。

[0231] 在光波导区域20中,介质层51b的一部分可以通过例如基于光刻法的图案化来除去。光波导区域20的厚度可以为例如2.0 μm 。光波导区域20在Y方向上的尺寸可以为例如10 μm 。

[0232] 液晶材料21的材料可以用例如5CB液晶。

[0233] 弹性间隔件77例如可以由光致抗蚀剂材料中使用的感光性树脂形成。弹性间隔件77的制造方法如下。准备将感光性树脂用有机溶剂稀释成规定的浓度及粘度的溶液。通过用旋涂法等涂敷技术将该溶液涂敷于电介质层51b上,在电介质层51b上形成厚度均匀的溶液层。溶液层的厚度是考虑在将上部构造体100a及下部构造体100b贴合的情况下弹性间隔件77被压缩的量而决定的。通过涂敷后的预烘(Pre-bake),溶液层中含有的有机溶剂挥发。然后,通过激光直写装置或掩模对准器等曝光装置,在溶液层上曝光弹性间隔件77的图案。溶液层中的不需要的部分通过碱性显影液除去。然后,通过后烘(post-bake),在固定于电介质层51b的状态下形成具有规定的高度和形状的多个弹性间隔件77。

[0234] 弹性间隔件77可以具有例如直径为30 μm 左右的圆柱形状。多个弹性间隔件77可以以大致均匀的间距二维地配置在电介质层51b的一部分的表面上。间距可以为例如400 μm 左右。电介质层51b的一部分的表面是与上部构造体100a所包含的露出的电极62a相对的表面。如果尽可能在该整个表面上均匀地配置多个弹性间隔件77,则能够更准确地规定基板50a与基板50b的间隔。

[0235] 密封构件79例如可以使用三键(ThreeBond)制的紫外线固化粘接剂3026E。密封构件79例如使用分配器设置在电介质层51b上的规定的区域。在某些例子中,通过波长365nm及能量密度100mJ/cm²的紫外线照射使密封构件79固化,并使上部构造体100a及下部构造体100b贴合。通过该贴合,得到本实施方式的光器件100。

[0236] 另外,基板50a和50b也可以由 SiO_2 以外的材料形成。基板50a和50b例如可以是玻璃或蓝宝石等无机基板、或者丙烯酸或聚碳酸酯等树脂基板。这些无机基板及树脂基板具有透光性,因此可以用作基板50a和50b。

[0237] 射出光的反射镜30的反射率例如为99.9%,不射出光的反射镜40的反射率例如为99.99%。该条件能够通过调整多层反射膜的层数来实现。作为多层反射膜内的两层的组

合,例如,一层的折射率为2以上,另一层的折射率小于2。如果两个折射率之差变大,则能够得到高的反射率。折射率为2以上的层例如由从 SiN_x 、 AlN_x 、 TiO_x 、 ZrO_x ($1.7 \leq x \leq 2.0$)、 NbO_y 和 TaO_y ($2.2 \leq y \leq 2.5$) 构成的组中选择的至少一种形成。折射率小于2的层例如由从 SiO_x 和 AlO_x 构成的组中选择的至少一种形成。

[0238] 电介质层51b的折射率可以为例如小于2。各光波导11的折射率可以为例如2以上。如果两个折射率之差足够大,则能够减少从各光波导11向电介质层51b渗出的渐逝光。

[0239] (变形例)

[0240] 在本实施方式的光器件100中,在各光波导单元100U中设置有在Y方向上排列的多个光波导区域20。但是,在各光波导单元100U中,设置多个光波导区域20并不是必需的要件,也可以设置一个光波导区域20。这样的光波导区域20例如可以是一个平面光波导。以下,参照图14A至图14C,说明本实施方式的光器件100的变形例。

[0241] 图14A是示意性地表示从Z方向观察时的本变形例的光器件110的例子的俯视图。本变形例的光器件110具备上部构造体110a及下部构造体110b。图14B是表示从图14A所示的构造中除去了上部构造体110b的状态的俯视图。图14C是示意性地表示图14A的A-A线截面的构造的图。

[0242] 本变形例中的上部构造体110a具有与本实施方式中的上部构造体100a相同的构造。与此相对,在本变形例中的下部构造体110b中,与本实施方式中的下部构造体100b不同,如图14B所示,在各光波导单元100U中,两个分隔壁73配置在一个光波导区域20的两侧。如图14C所示,下部构造体100b在各光波导单元100U中具有宽度比较宽的凹部。通过这样的构造,反射镜40的反射面40s遍及沿着X方向及Y方向扩展的比较宽的范围地露出。如图14C所示,凹部位于在X方向上延伸的两个凸部之间。在图14C所示的例子中,由反射镜30的反射面30s、反射镜40的反射面40s、以及位于两者之间的沿着X方向及Y方向扩展的一个光波导区域20形成平面光波导。光波导区域20被反射镜30的反射面30s、反射镜40的反射面40s、由分隔壁73形成的两个凸部、以及两个凸部和反射镜30之间的空间包围。光波导区域20由含有液晶材料的液晶材料21充满。

[0243] 如图14B所示,多个光波导11与平面光波导10中的光波导区域20连接。在多个光波导11中传播的光耦合到光波导区域20中。耦合后的光在光波导区域20中干涉并形成光束。在光波导区域20内形成的光束经由上部构造体110a射出到外部。在变形例的光器件110中,也能够使出射光的波矢的X方向成分和Y方向成分变化。

[0244] 在本实施方式及本变形例中,光波导10是慢光波导。但是,光波导10不一定需要是慢光波导。光波导10例如也可以是不包括反射镜30和反射镜40,而是通过在基板50a的表面和基板50b的表面的全反射,在光波导区域20内传播光的光波导。在该光波导中传播的光可以不是经由基板50a或基板50b而是例如从光波导10的端部向外部射出。

[0245] (应用例)

[0246] <在光扫描器件中的应用例>

[0247] 图15是表示在电路基板(例如芯片)上集成了图11所示结构的光扫描器件100的结构例的图。光源130可以是例如半导体激光器等发光元件。图15所示的光源130射出自由空间中的波长为 λ 的单一波长的光。从光源130射出的光通过光开关92被选择性地供给到第1光波导单元100U₁至第4光波导单元100U₄中的至少一个光波导单元。在图15所示的例子中,

在芯片上设置有电极62A和多个电极62B。从电极62A向波导阵列10A提供控制信号。控制信号从多个电极62B分别发送到移相器阵列80A中的多个移相器80。电极62A和多个电极62B可以与生成上述的控制信号的未图示的控制电路连接。控制电路可以设置在图15所示的芯片上,也可以设置在光器件100中的其他芯片上。

[0248] 如图15所示,通过在芯片上集成所有组件,能够以小型的器件实现大范围的光扫描。例如,可以在 $2\text{mm} \times 1\text{mm}$ 左右的芯片上集成图15所示的所有的组件。

[0249] 图16是表示从光扫描器件100向远方照射激光等光束来执行二维扫描的情形的示意图。二维扫描通过在水平和垂直方向上移动射束点310来执行。例如,通过与公知的TOF(Time Of Flight,飞行时间)法组合,能够取得二维的测距图像。TOF法是一种通过照射激光并观测来自对象物的反射光,来计算光的飞行时间,并求出距离的方法。

[0250] 图17是表示作为能够生成这样的测距图像的光检测系统的一例的LiDAR系统300的结构例的框图。LiDAR系统300具备光扫描器件100、光学检测器400、信号处理电路600和控制电路500。光检测器400检测从光扫描器件100射出并从对象物反射的光。光检测器400例如可以是对从光扫描器件100射出的光的波长 λ 具有灵敏度的图像传感器、或者包含光电二极管等受光元件的光电检测器。光检测器400输出与接收到的光的量相应的电信号。信号处理电路600基于从光检测器400输出的电信号,计算到对象物的距离,生成距离分布数据。距离分布数据是表示距离的二维分布的数据(即,测距图像)。控制电路500是控制光扫描器件100、光检测器400和信号处理电路600的处理器。控制电路500控制来自光扫描器件100的光束的照射的定时以及光检测器400的曝光以及信号读出的定时,对信号处理电路600指示测距图像的生成。

[0251] 在二维扫描中,作为取得测距图像的帧率,例如能够从一般在运动图像中经常使用的60fps、50fps、30fps、25fps、24fps等中选择。此外,当考虑在车载系统中的应用时,随着帧率增大,取得测距图像的帧率提高,能够高精度地检测障碍物。例如,在以60km/h行驶时,在60fps的帧率下,能够每当汽车移动约28cm时取得图像。在120fps的帧率下,能够每当汽车移动约14cm时取得图像。在180fps的帧率下,能够每当汽车移动约9.3cm时取得图像。

[0252] 取得一个测距图像所需的时间取决于射束扫描的速度。例如,为了以60fps取得分辨率点数为 100×100 的图像,需要以每点 $1.67\mu\text{s}$ 以下进行射束扫描。在该情况下,控制电路500以600kHz的动作速度控制由光扫描器件100进行的光束的射出和由光学检测器400进行的信号蓄积/读出。

[0253] <在光接收器件中的应用例>

[0254] 本公开的前述的各实施方式中的光扫描器件或光器件能够是大致相同结构,也能够用作光接收器件。光接收器件具备与光扫描器件相同的波导阵列10A、和调整能够接收的光的方向的第1调整元件。波导阵列10A的各第1反射镜30使入射到第1反射面的相反侧的表面的光透射。波导阵列10A的各光波导层20使透射了第1反射镜30的光传播。通过第1调整元件使各波导元件10中的前述光波导层20的折射率和厚度、以及光的波长中的至少一个变化,能够使进入到各光波导层20中的能够接收的光的方向变化。而且,在光接收器件具备与光扫描器件相同的多个移相器80或者80a及80b、和分别使从多个波导元件10穿过多个移相器80或者80a及80b而输出的光的相位之差变化的第2调整元件的情况下,能够二维地使能够接收的光的方向变化。

[0255] 例如,能够构成将图15所示的光扫描器件100中的光源130置换为接收电路的光接收器件。当波长 λ 的光射入到波导阵列10A时,该光通过移相器阵列80A向光分支器90发送,并最终汇集于一个部位,然后发送到接收电路。可以说汇集于该一个部位的光的强度表示光接收器件的灵敏度。光接收器件的灵敏度能够通过单独地组装在波导阵列和移相器阵列80A中的调整元件来调整。在光接收器件中,例如在图4中,波矢(图中的粗箭头)的方向是相反的。入射光具有波导元件10延伸的方向(图中的X方向)的光成分、和波导元件10的排列方向(图中的Y方向)的光成分。X方向的光成分的灵敏度能够通过组装在波导阵列10A中的调整元件来调整。另一方面,波导元件10的排列方向上的光成分的灵敏度能够通过组装在移相器阵列80A中的调整元件来调整。根据光接收器件的灵敏度最大时的光的相位差 $\Delta\phi$ 、光波导层20的折射率 n_w 和厚度 d 可知图4所示的 θ 和 α_0 。由此,能够确定光的入射方向。

[0256] 产业上的可利用性

[0257] 本公开的实施方式中的光扫描器件和光接收器件能够利用于例如搭载于汽车、UAV、AGV等车辆的雷达系统等的用途。

[0258] 附图标记说明

[0259] 10波导元件、光波导

[0260] 11光波导

[0261] 10A波导阵列

[0262] 13、15光栅

[0263] 20光波导层

[0264] 20L光

[0265] 21液晶材料

[0266] 30第1反射镜

[0267] 32多层反射膜

[0268] 40第2反射镜

[0269] 50a、50b基板

[0270] 51a、51b、52电介质层

[0271] 53光致抗蚀剂图案

[0272] 62a、62b电极

[0273] 70a波导阵列的驱动电路

[0274] 70b移相器阵列的驱动电路

[0275] 73多个分隔壁

[0276] 80移相器

[0277] 80A移相器阵列

[0278] 90光分支器

[0279] 92光开关

[0280] 100、110光器件

[0281] 100a、110a上部构造体

[0282] 100b、110b下部构造体

[0283] 100U光波导单元

- [0284] 101、102方向
- [0285] 130光源
- [0286] 310射束点
- [0287] 400光检测器
- [0288] 500控制电路
- [0289] 600信号处理电路。

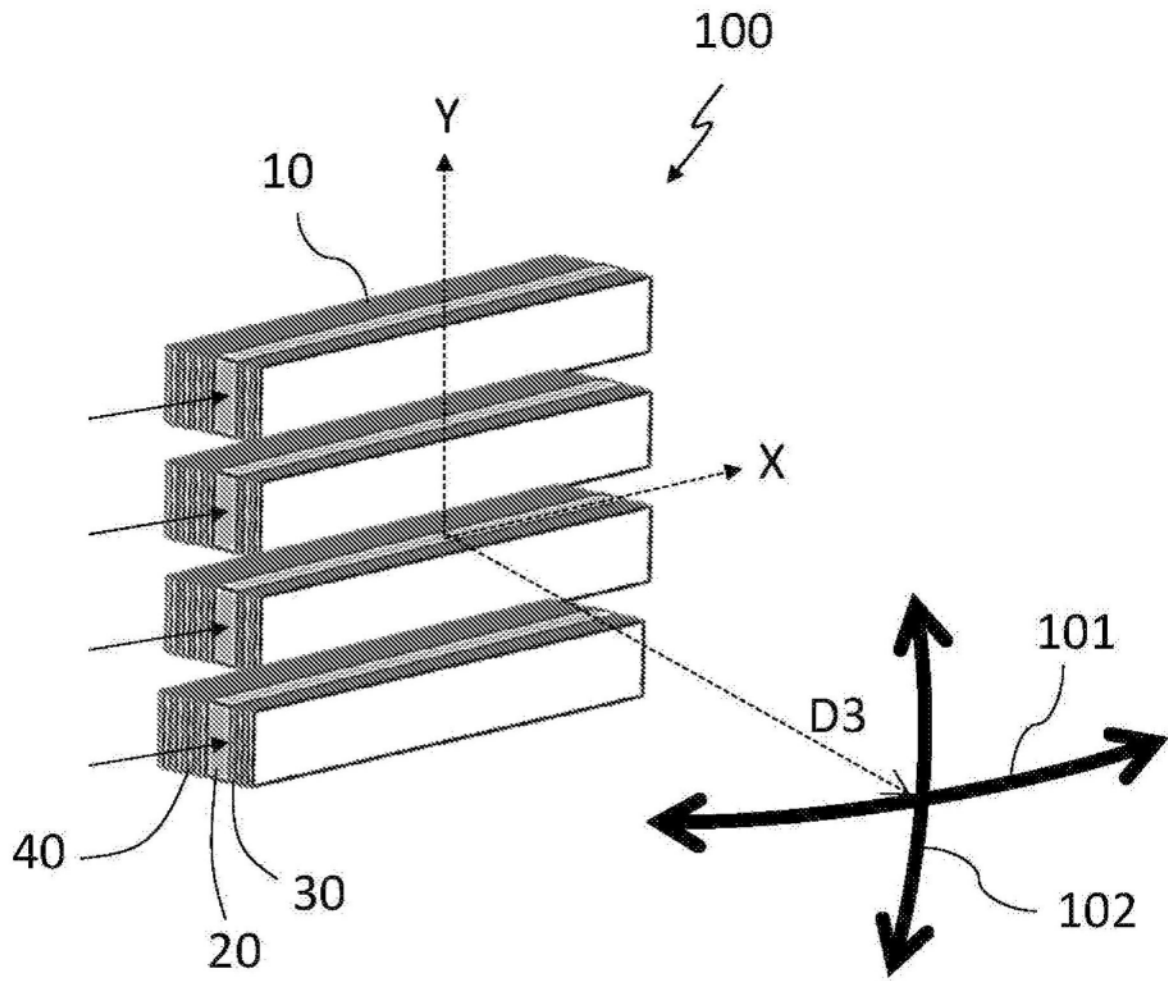


图1

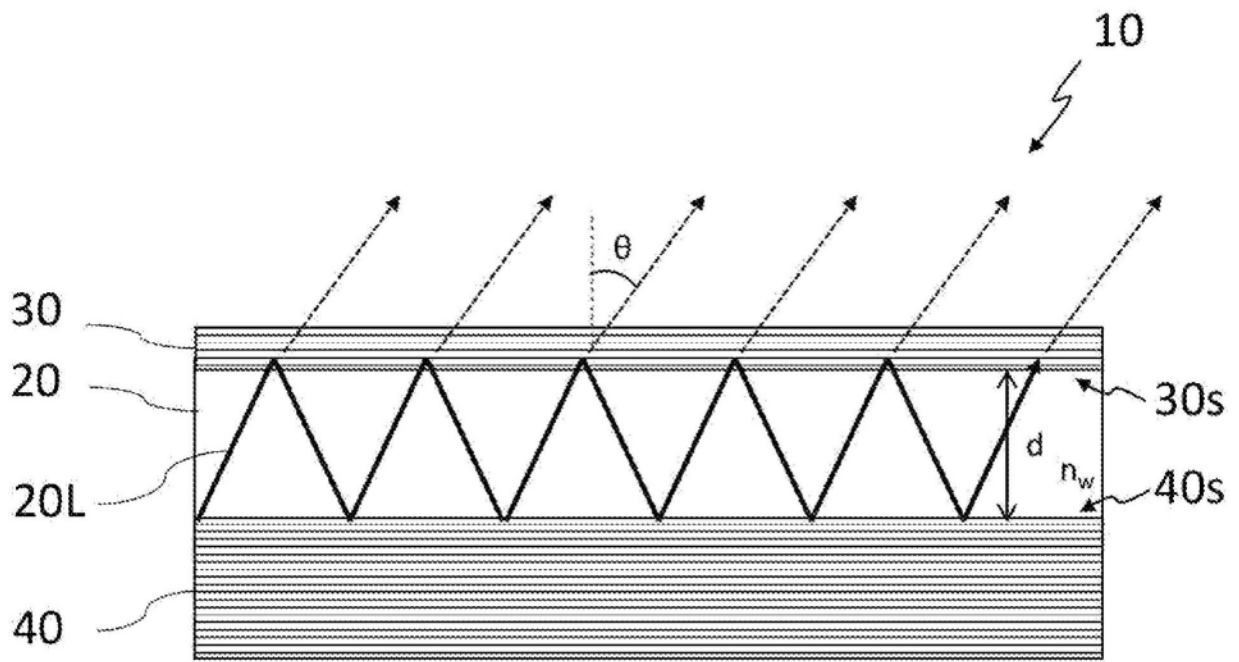


图2

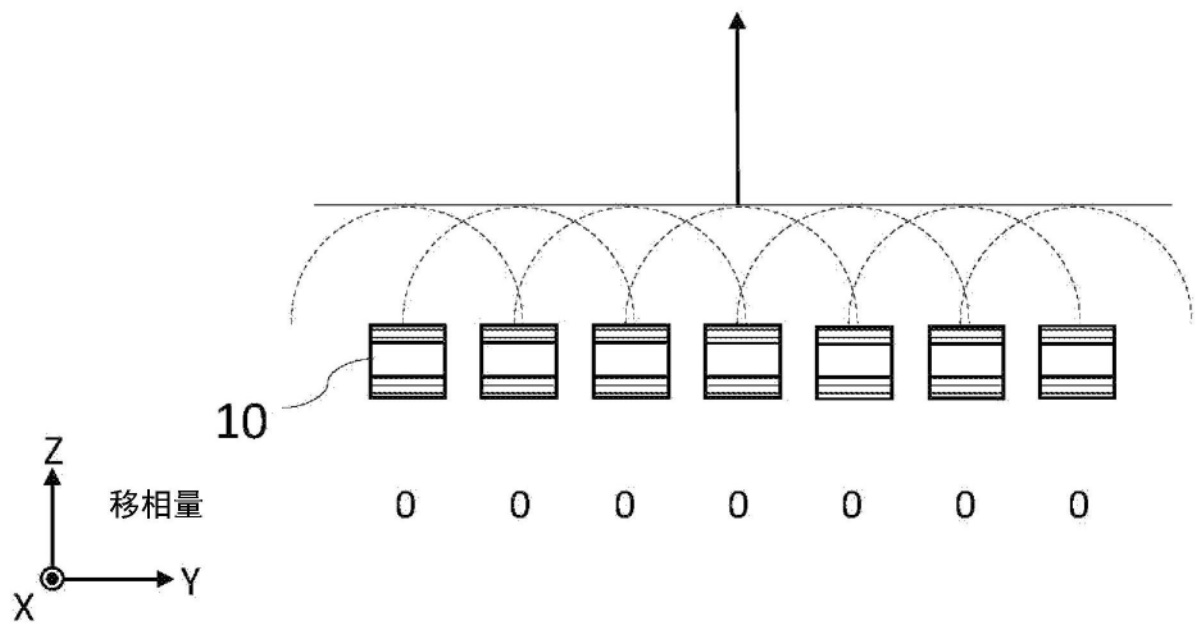


图3A

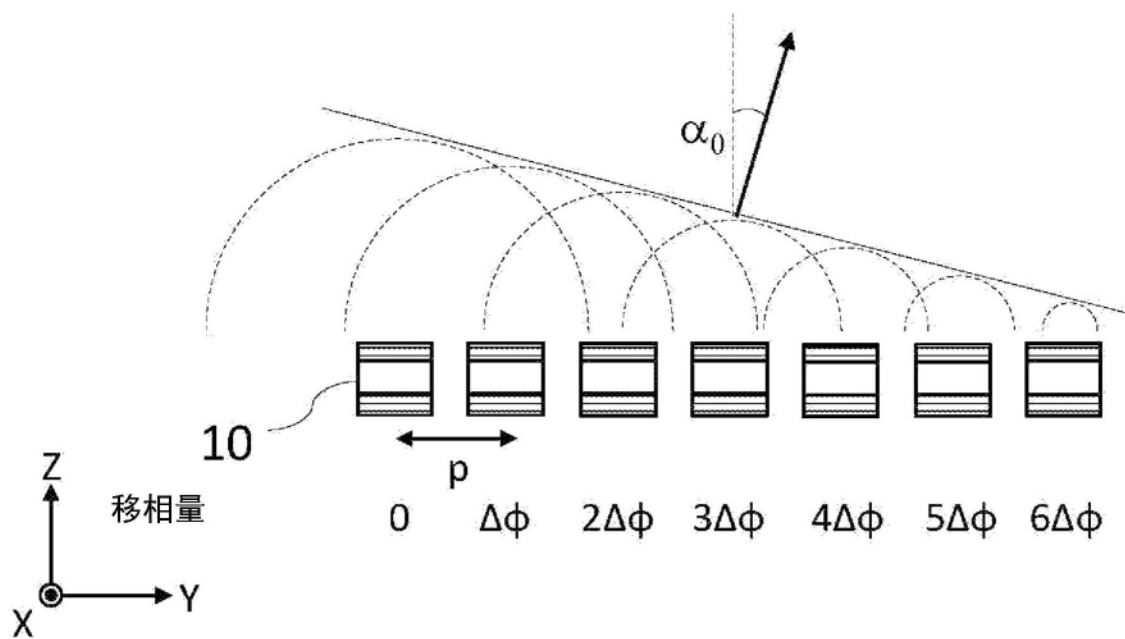


图3B

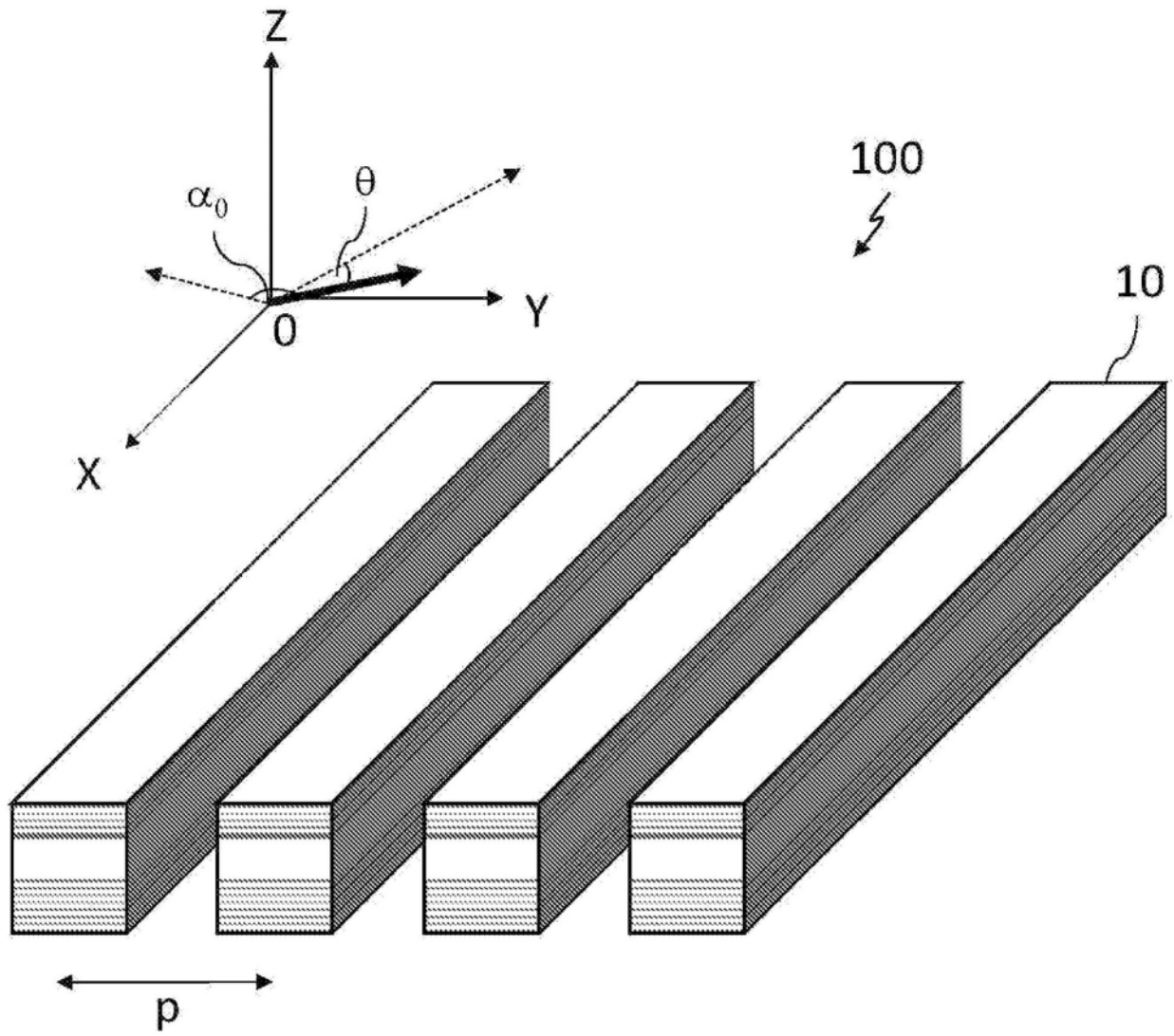


图4

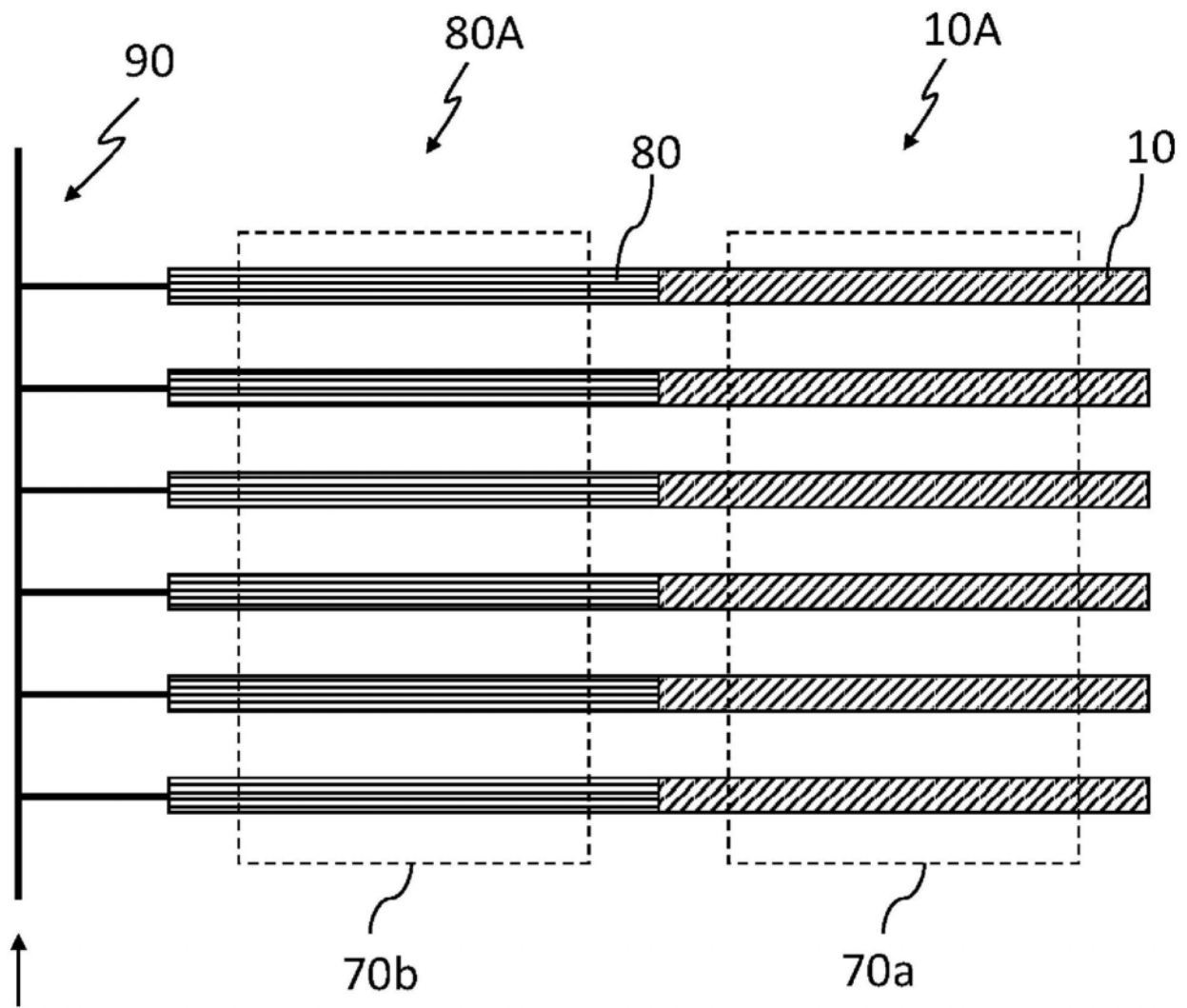


图5

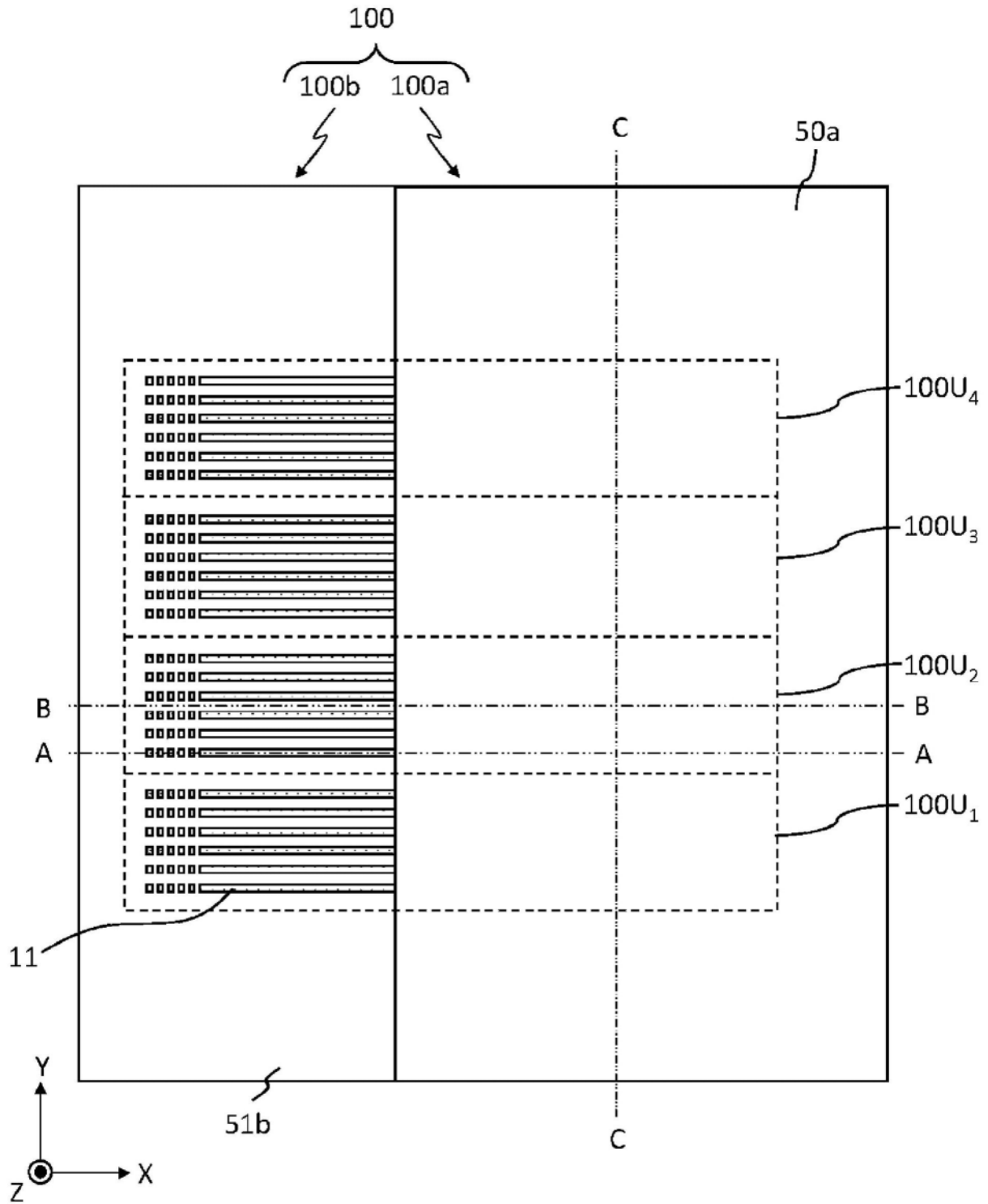


图6A

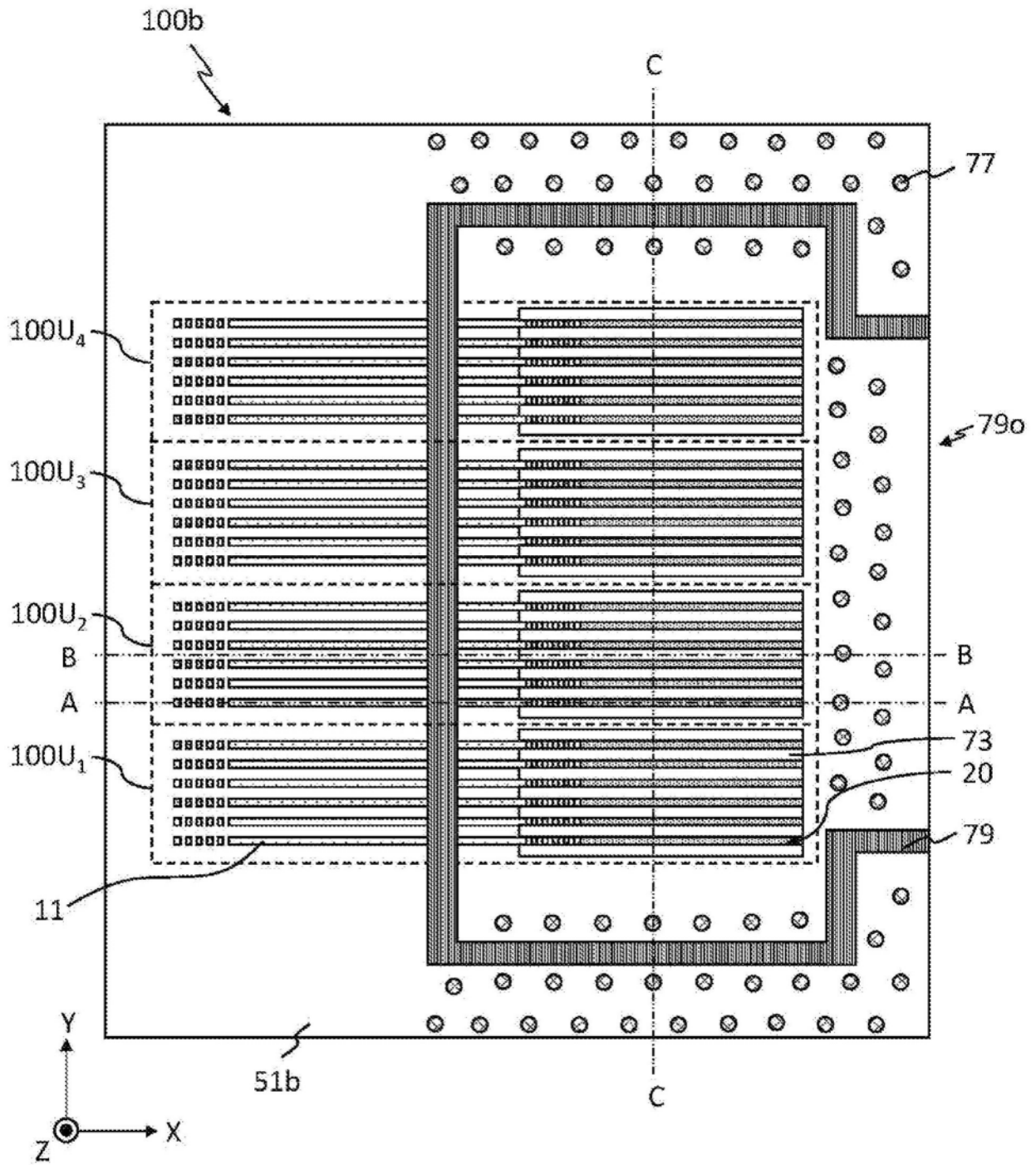


图6B

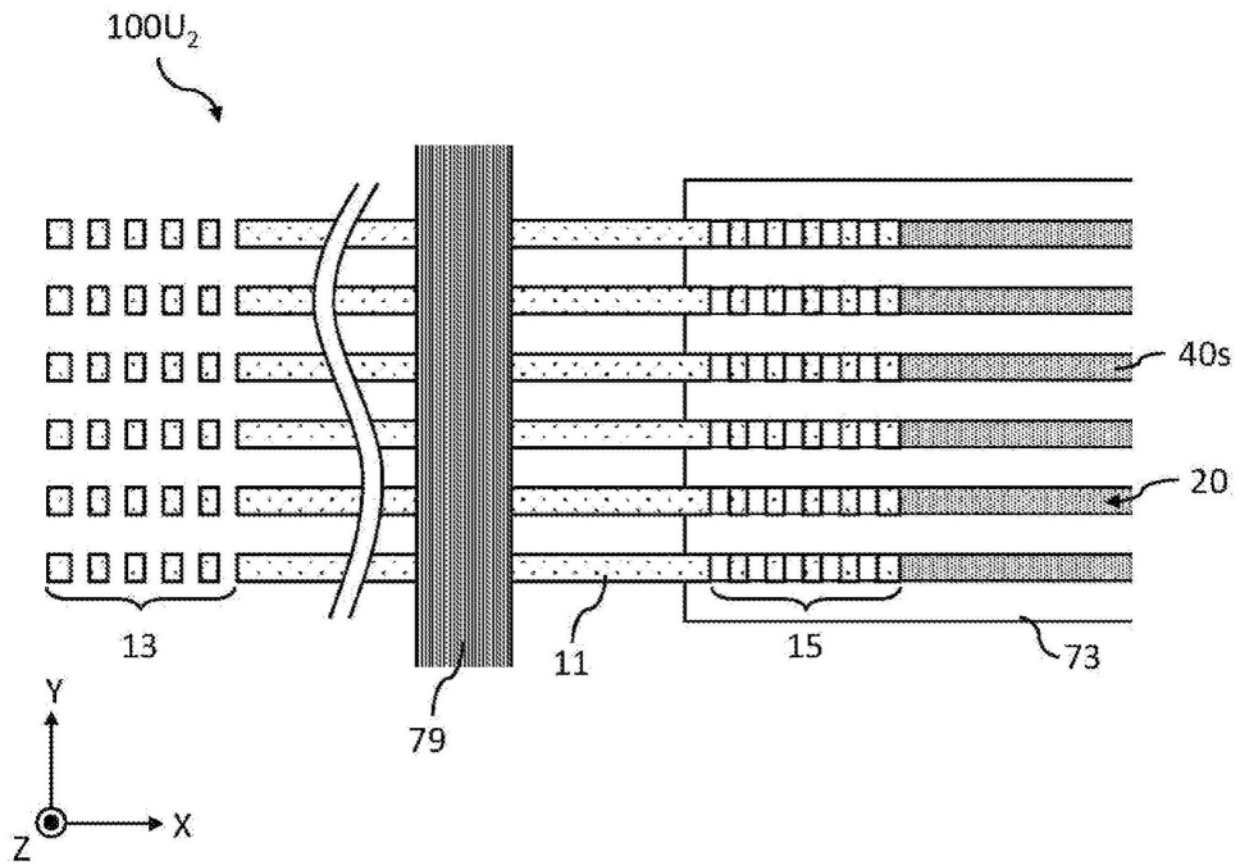


图6C

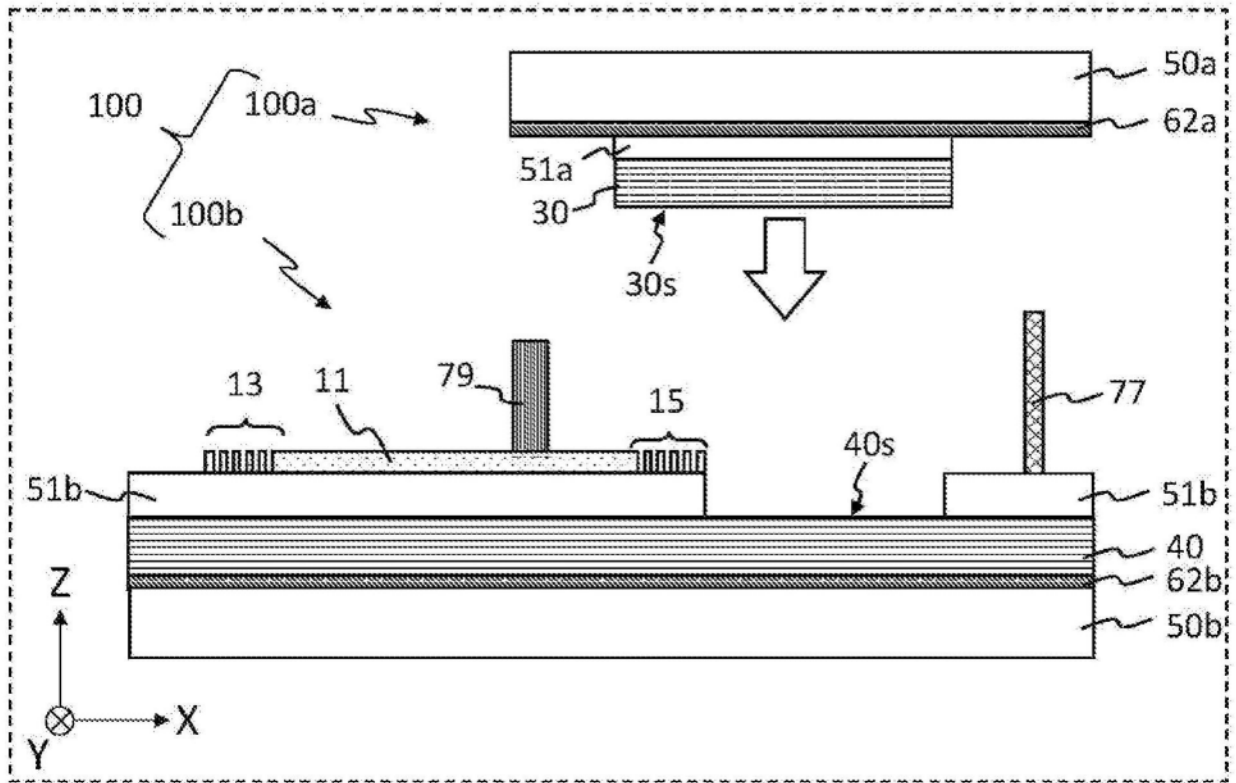


图7A

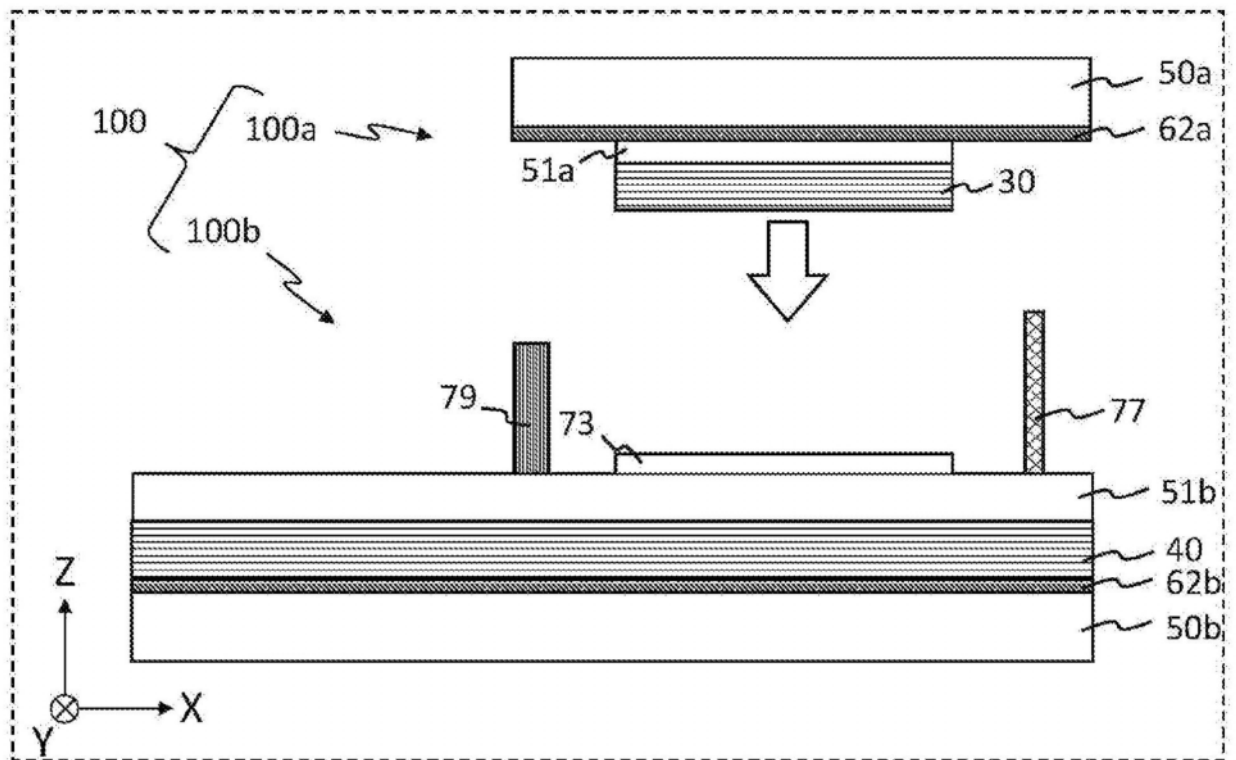


图7B

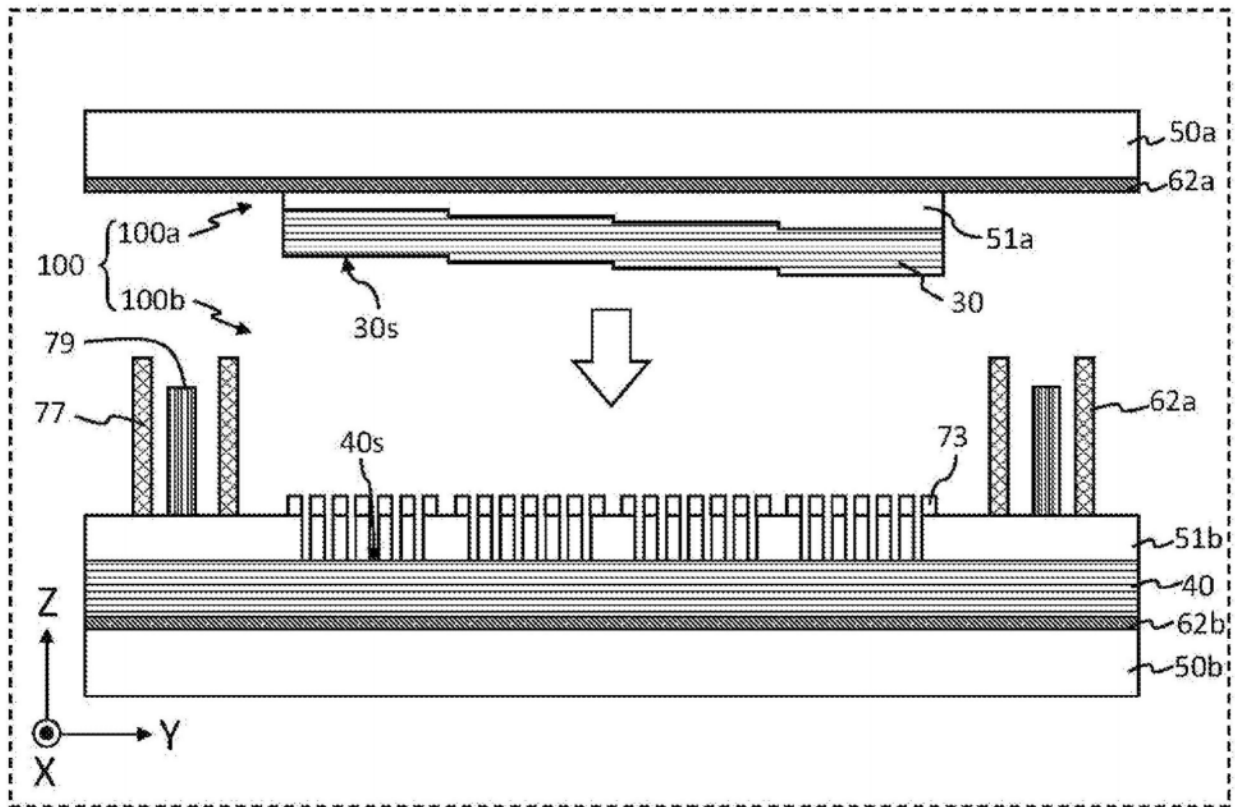


图7C

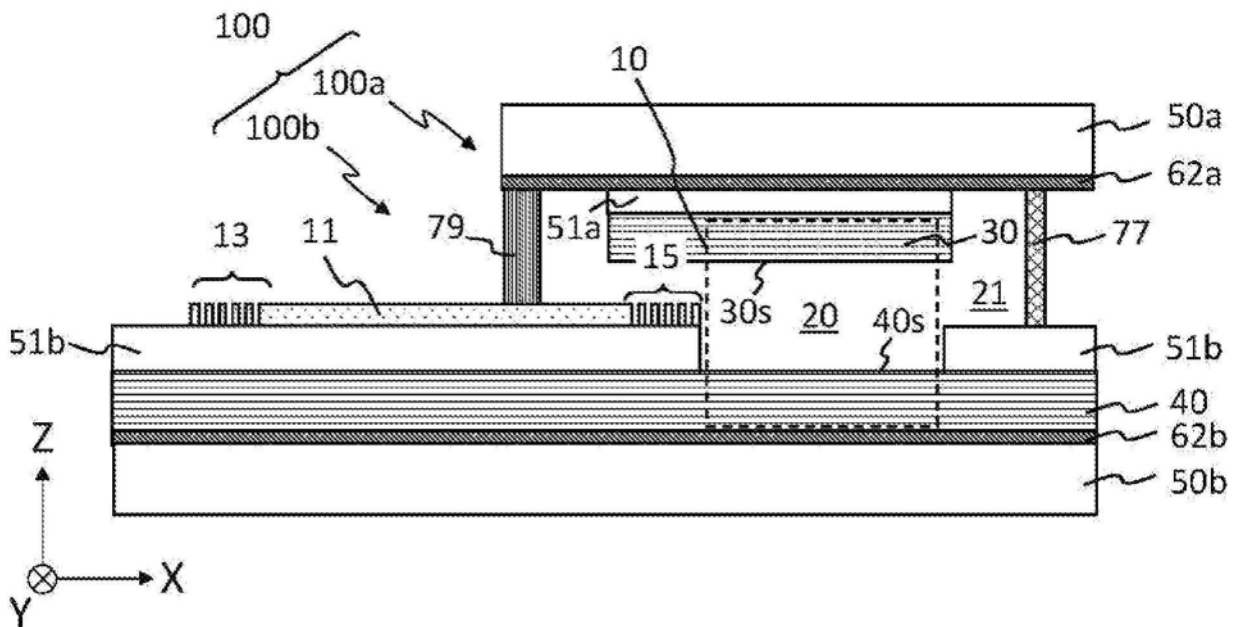


图8A

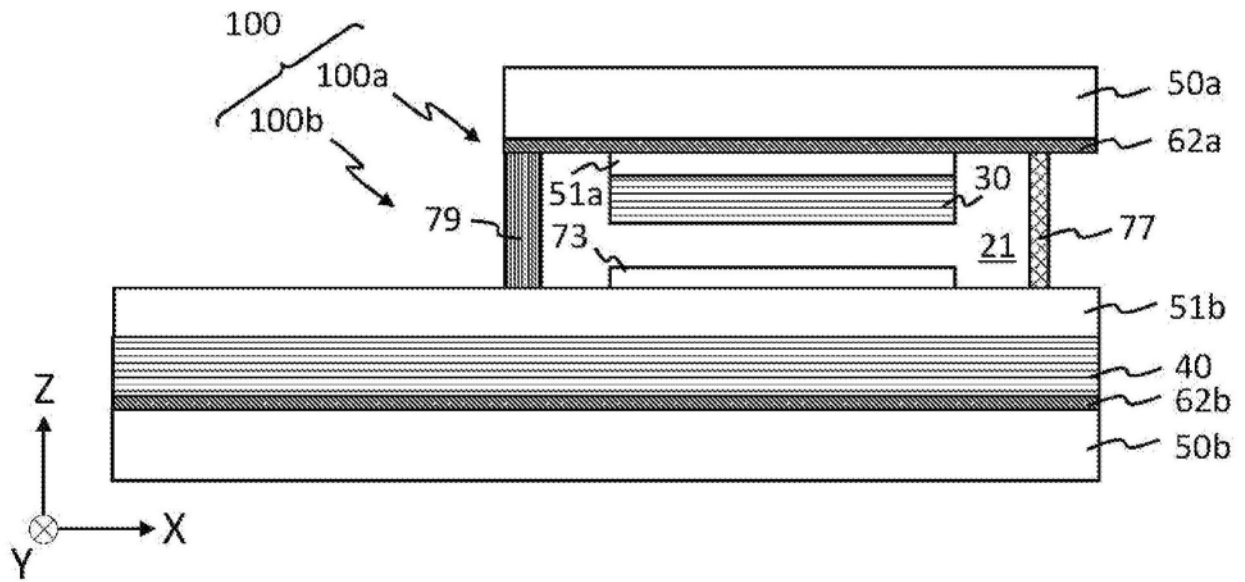


图8B

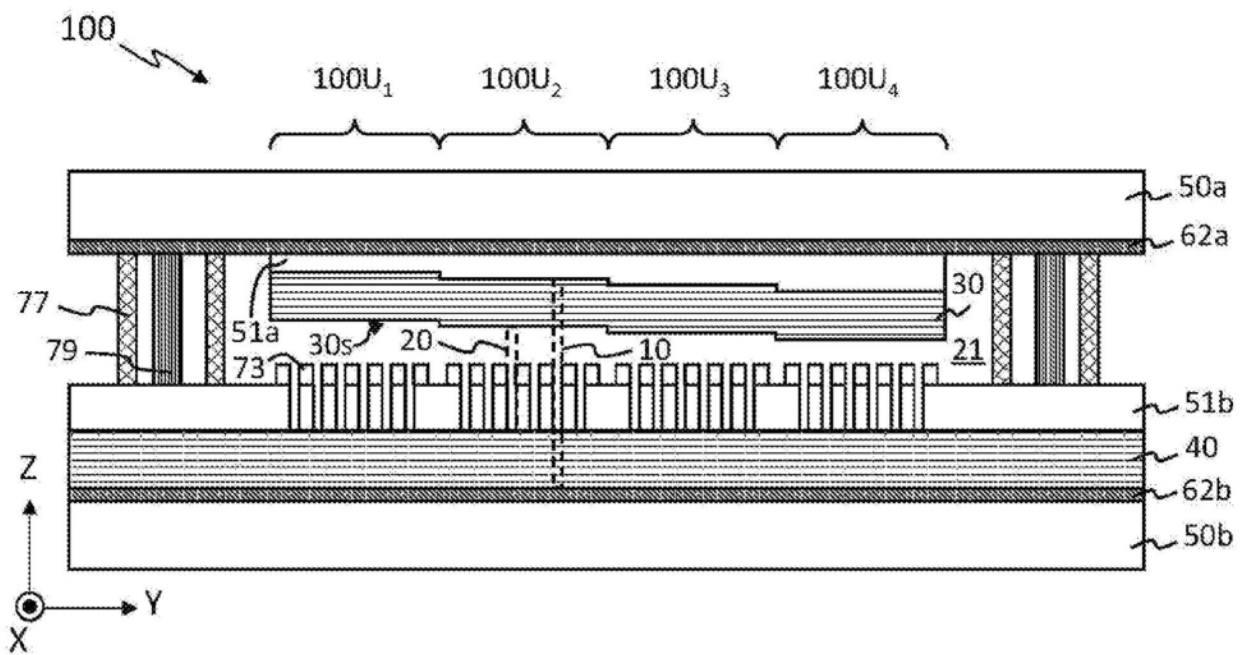


图8C

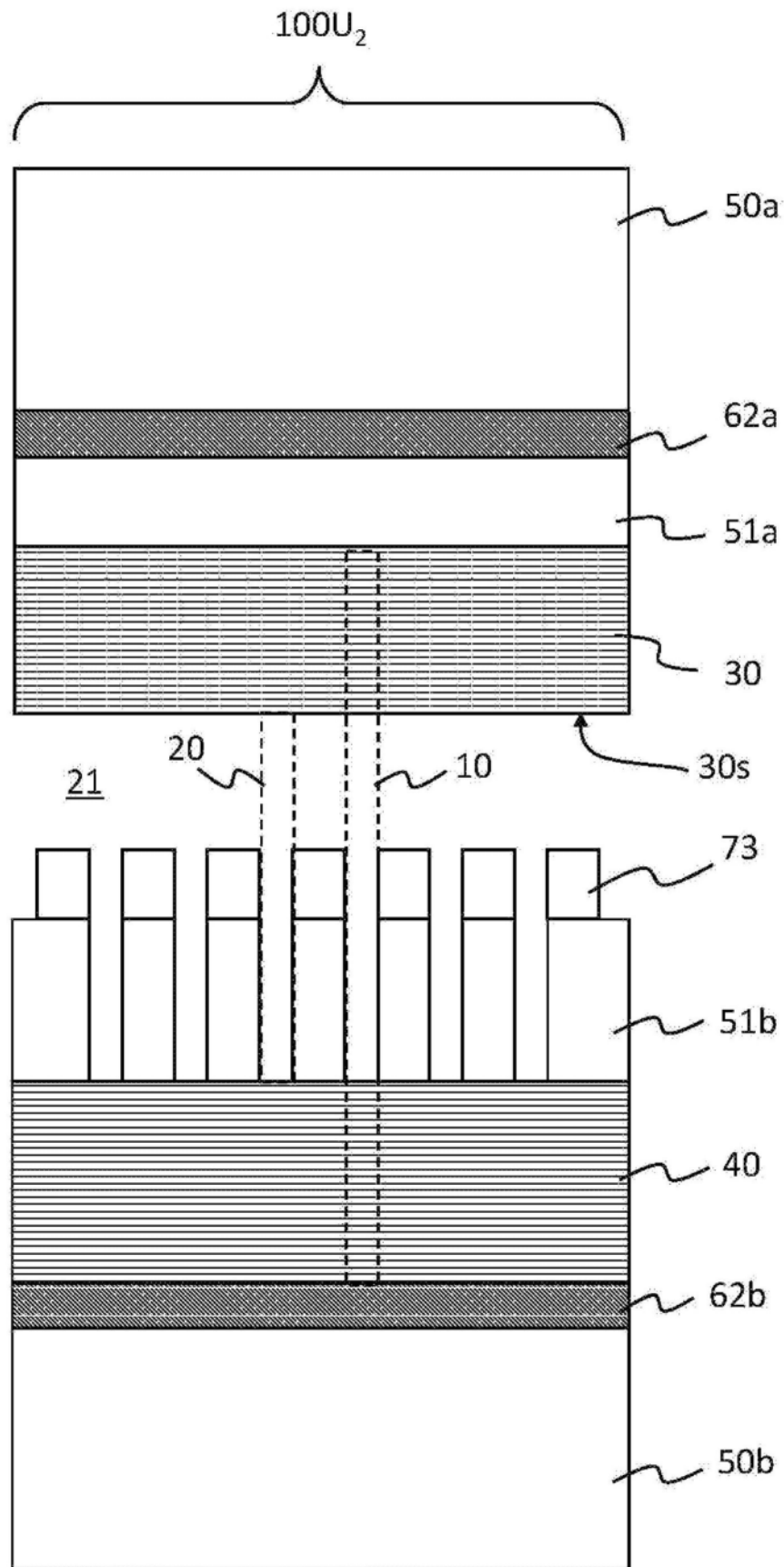


图8D

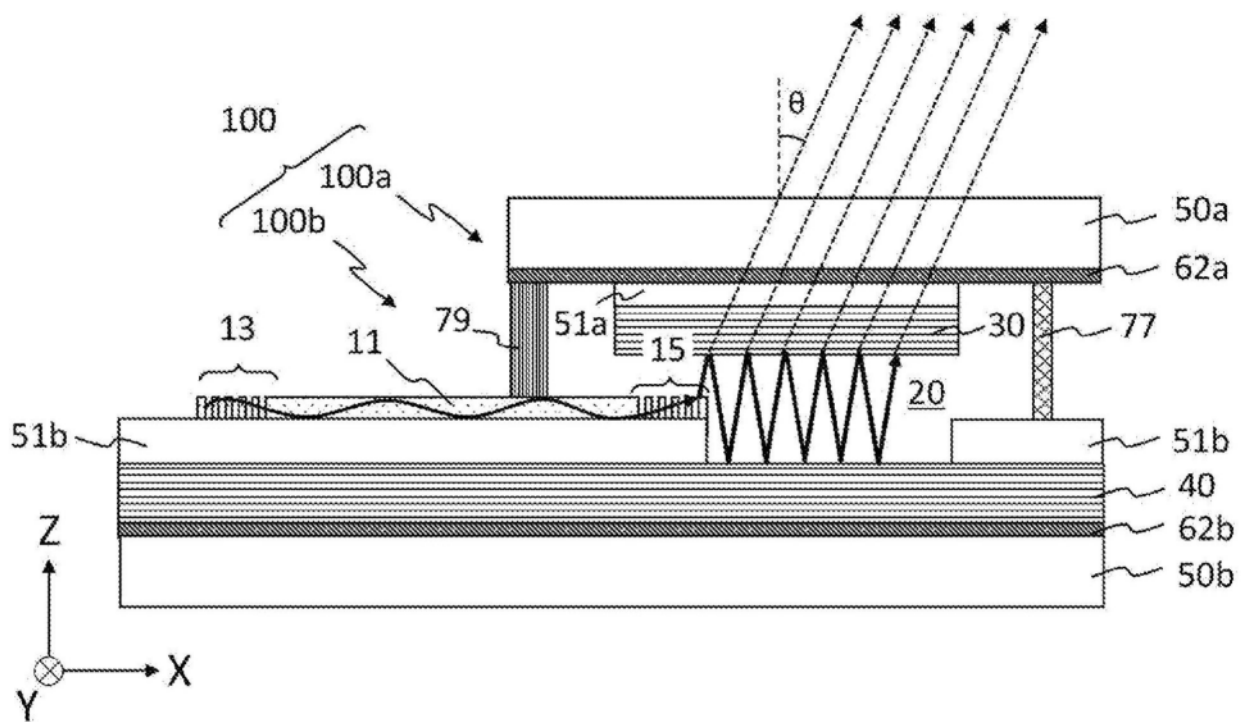


图9

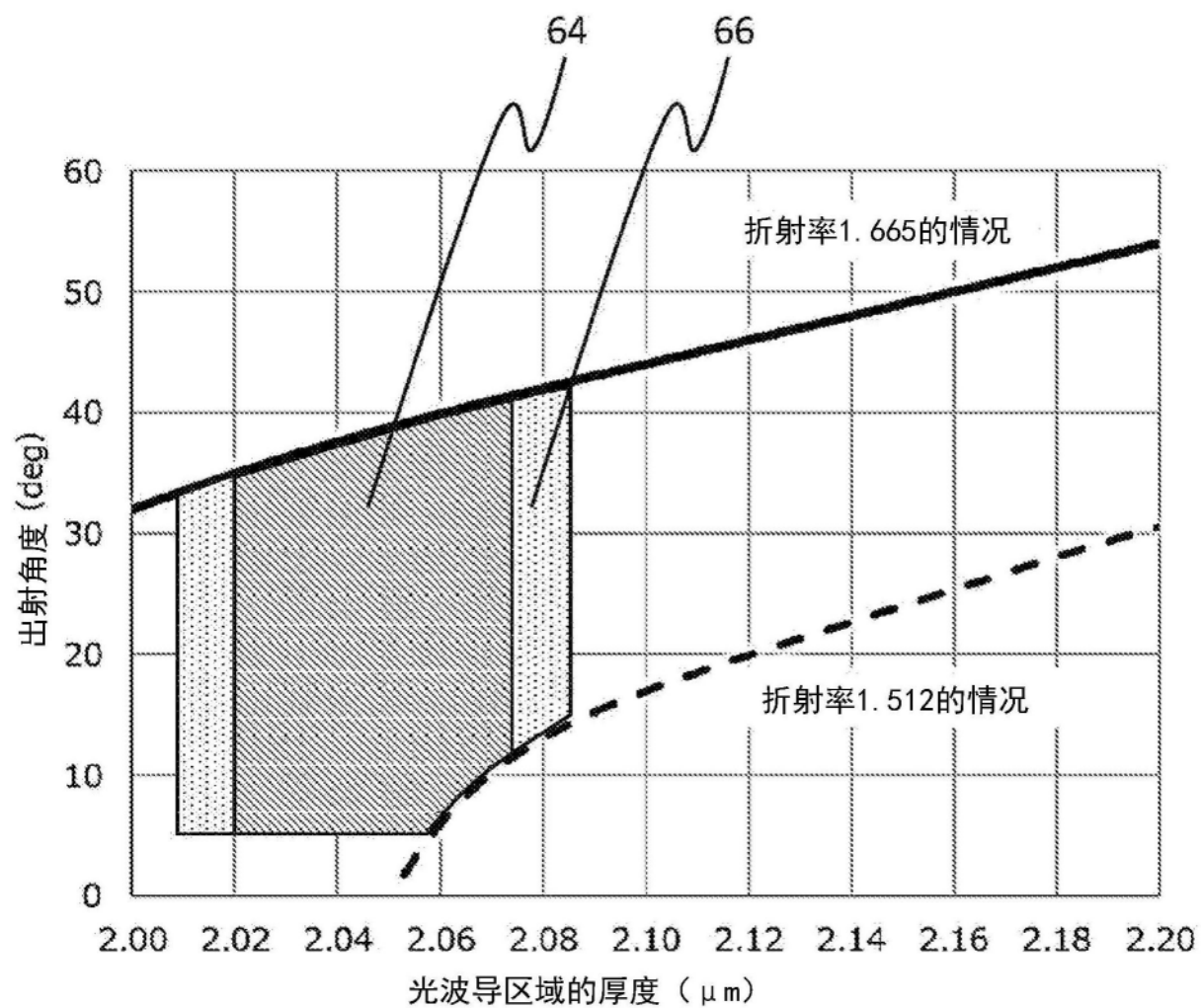


图10

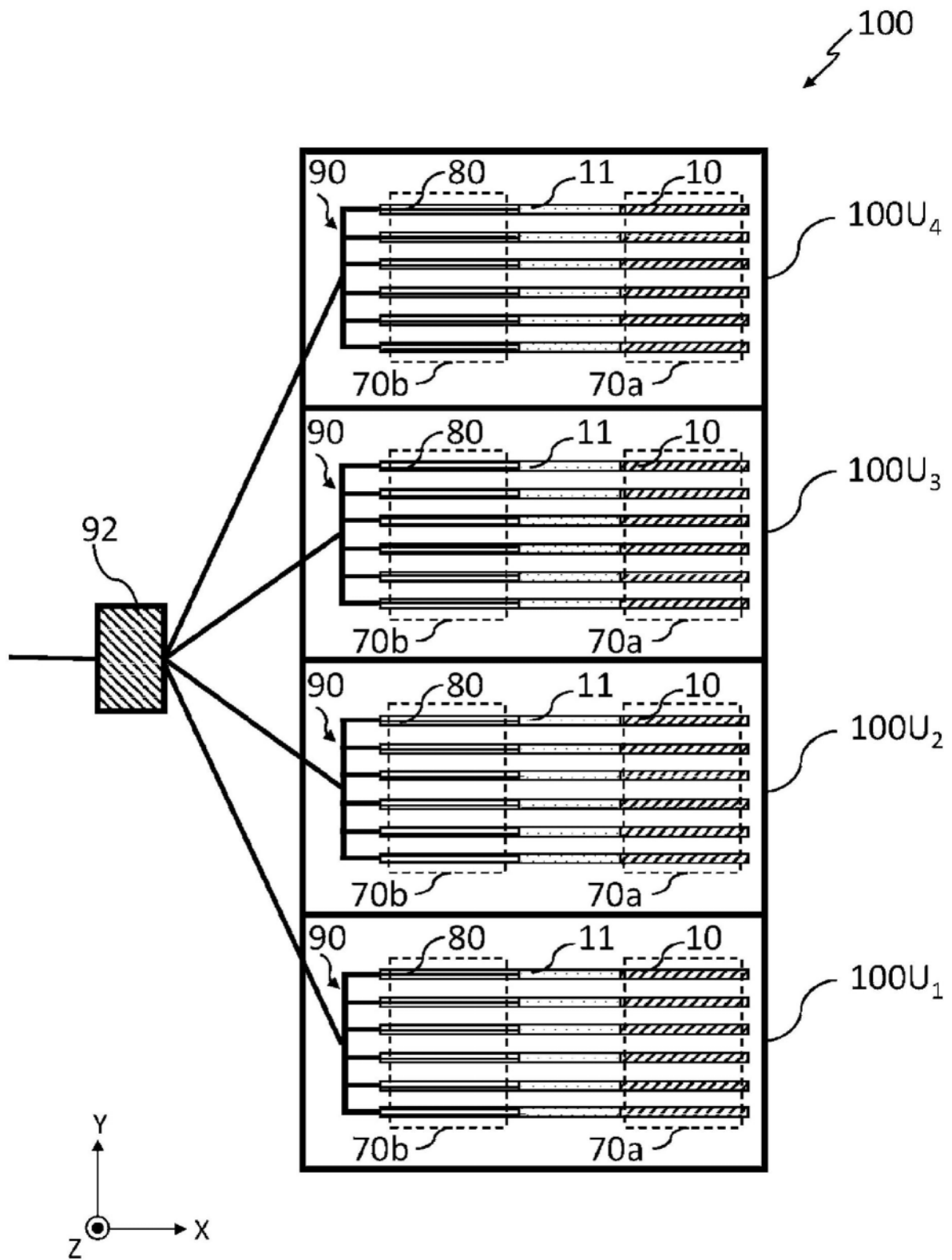


图11

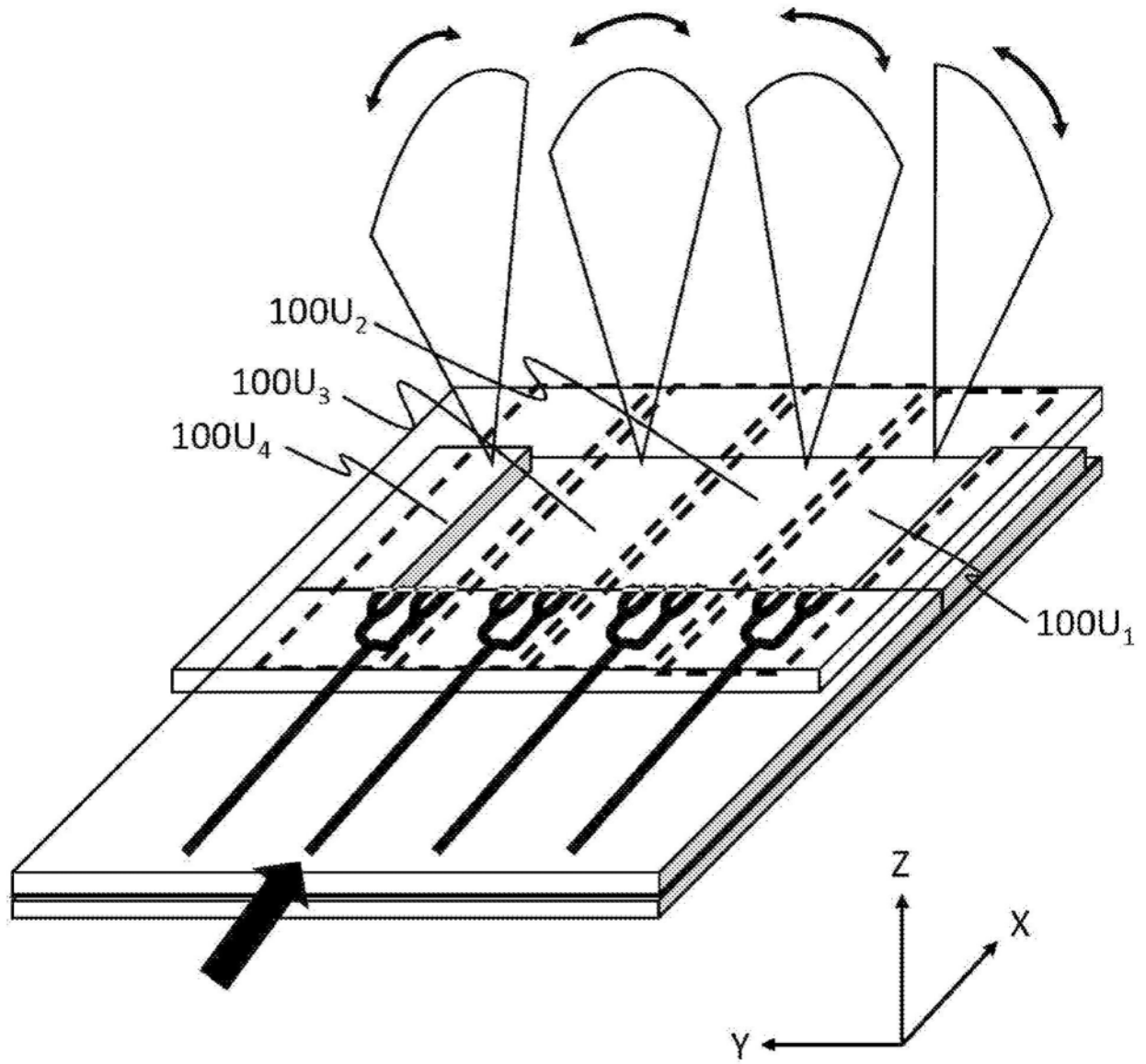


图12

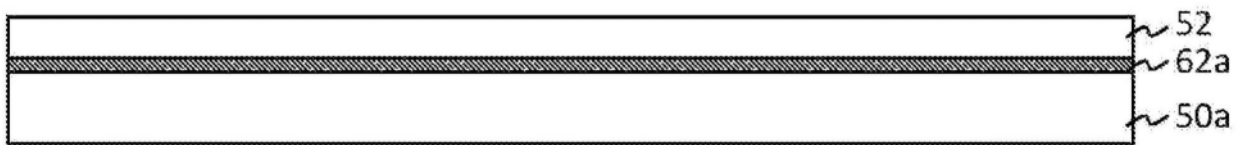


图13A

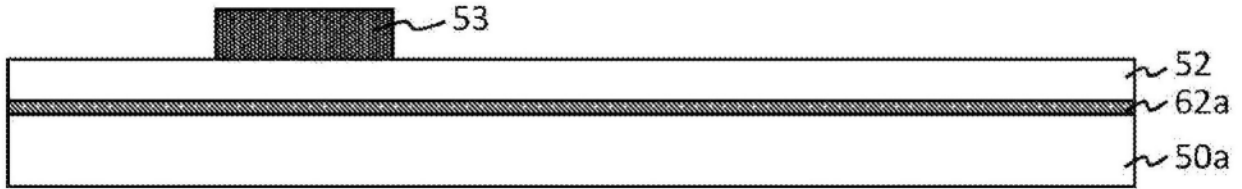


图13B



图13C

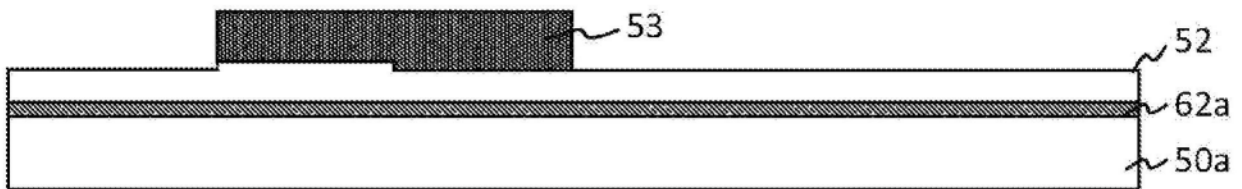


图13D

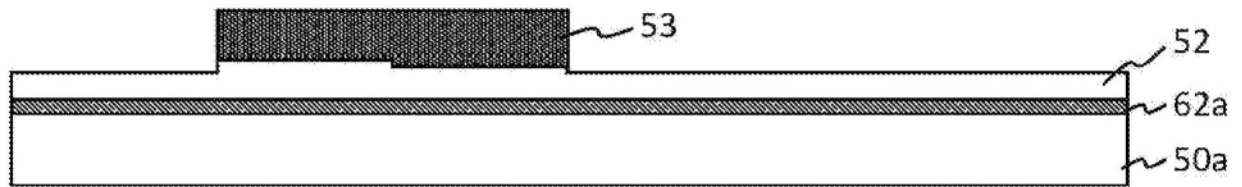


图13E

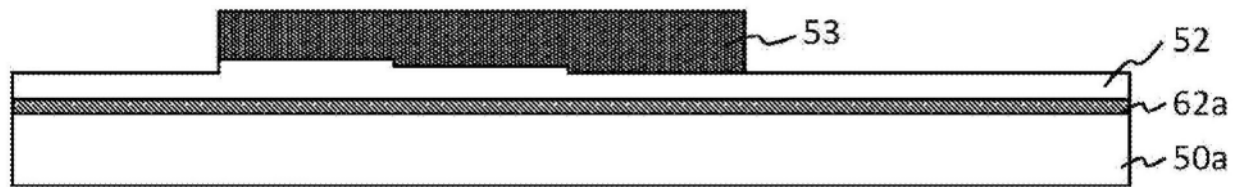


图13F

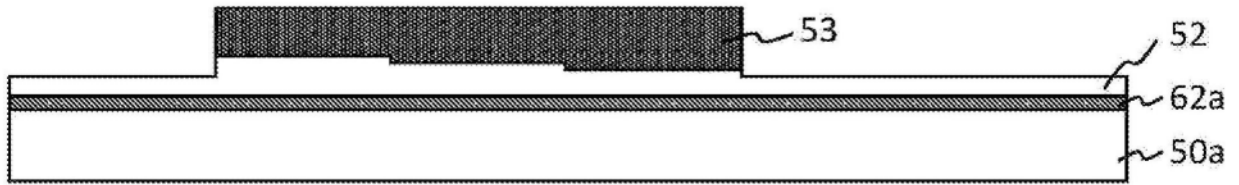


图13G

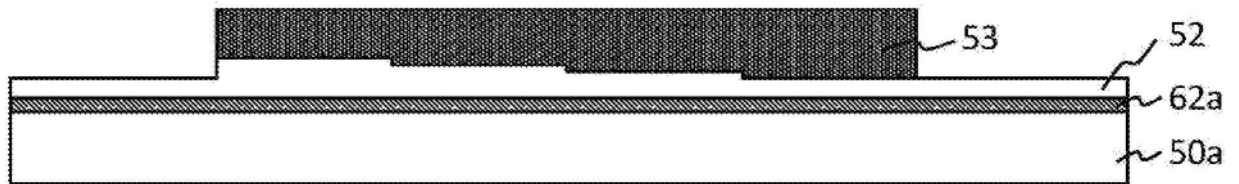


图13H

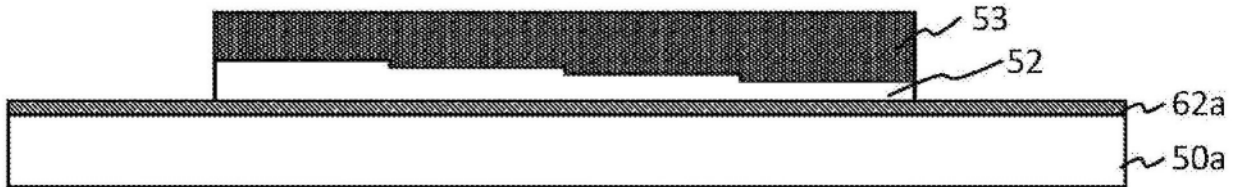


图13I

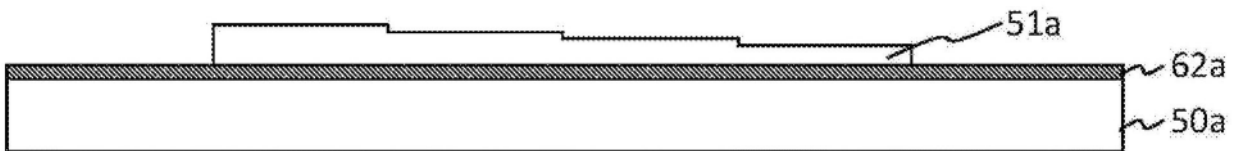


图13J

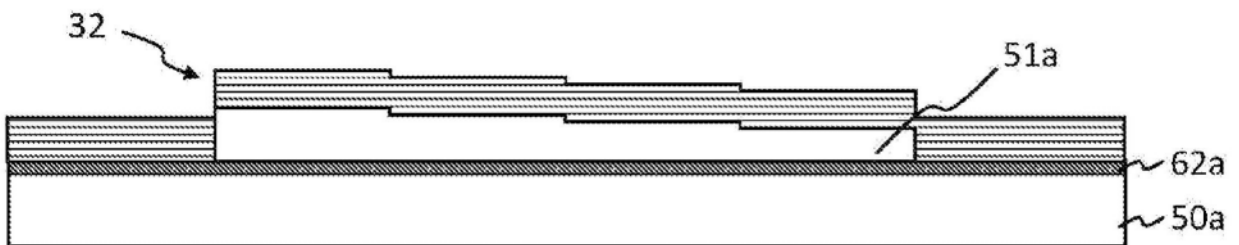


图13K

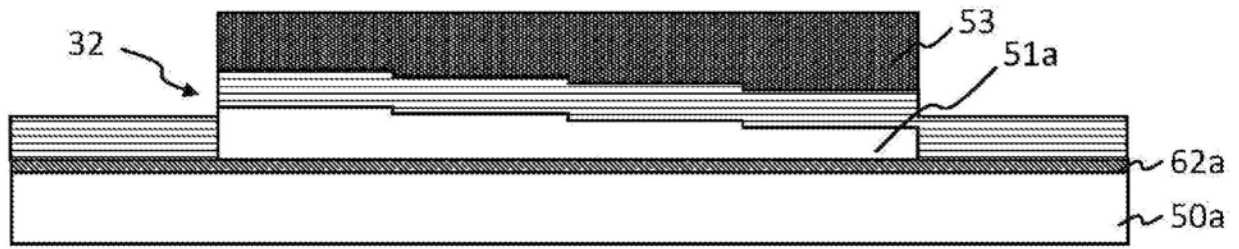


图13L

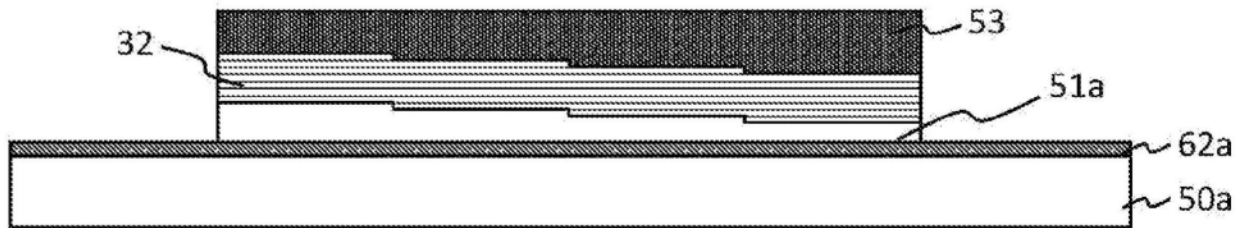


图13M

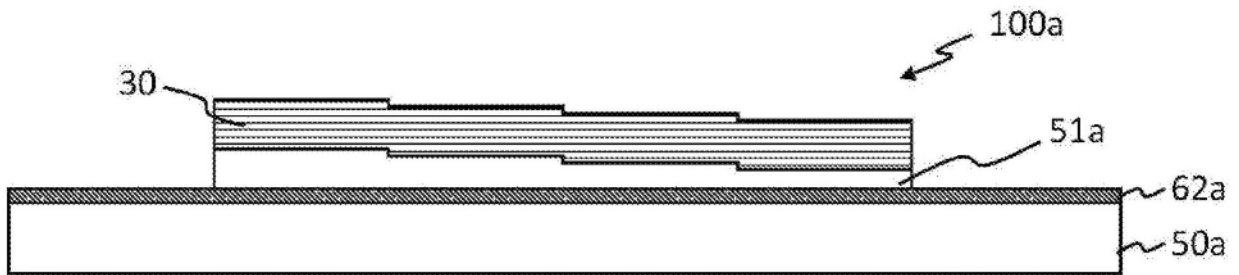


图13N

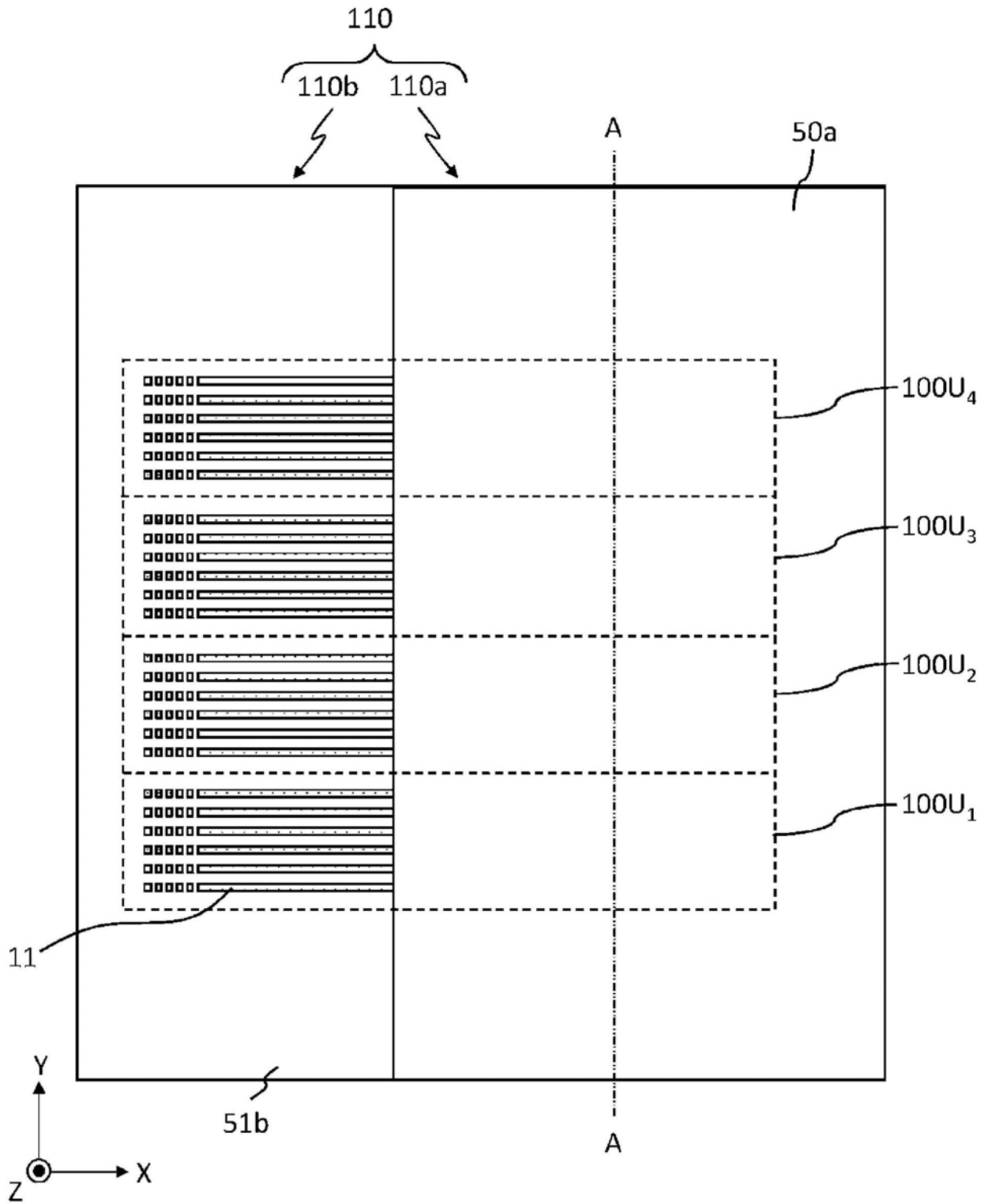


图14A

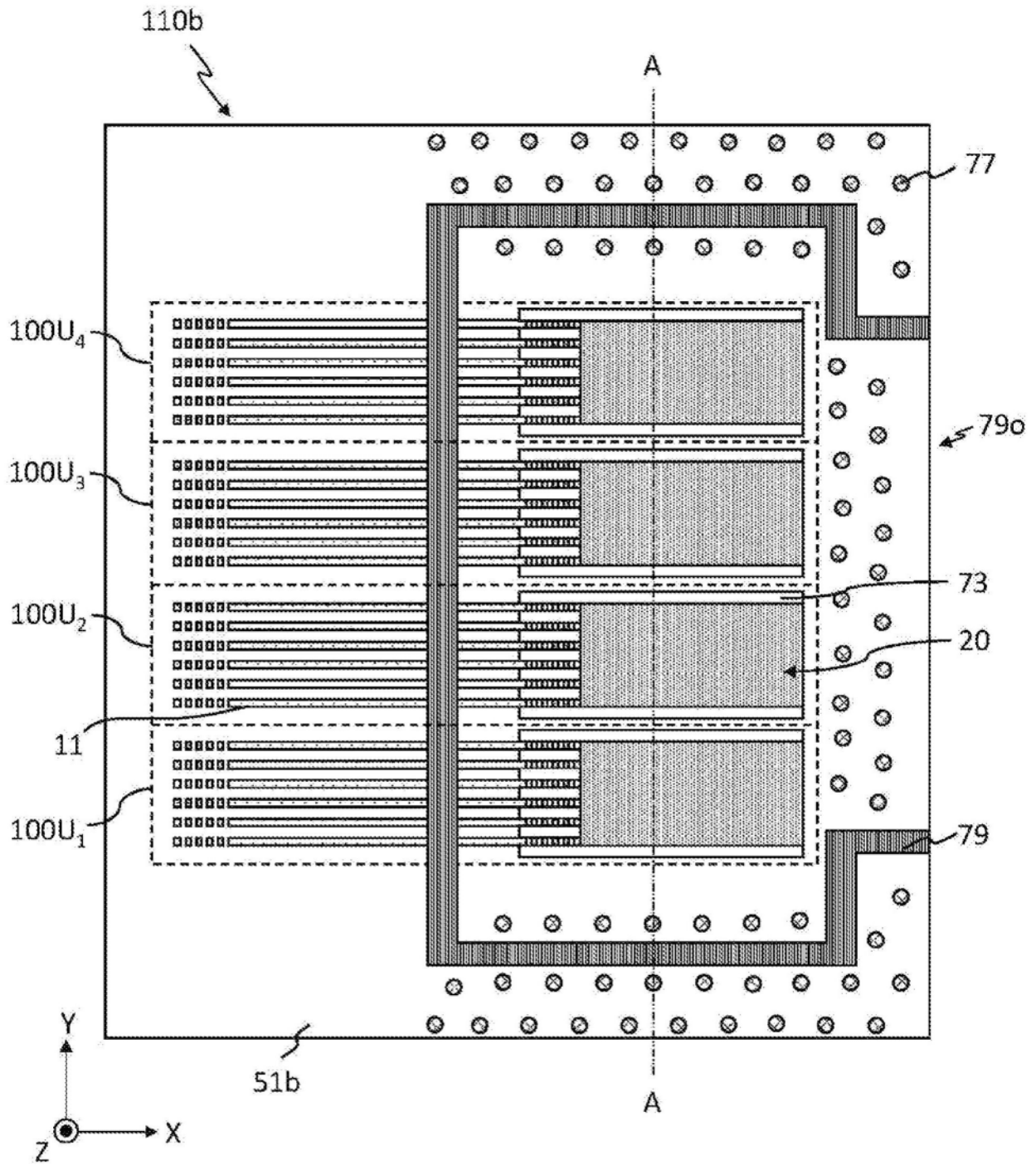


图14B

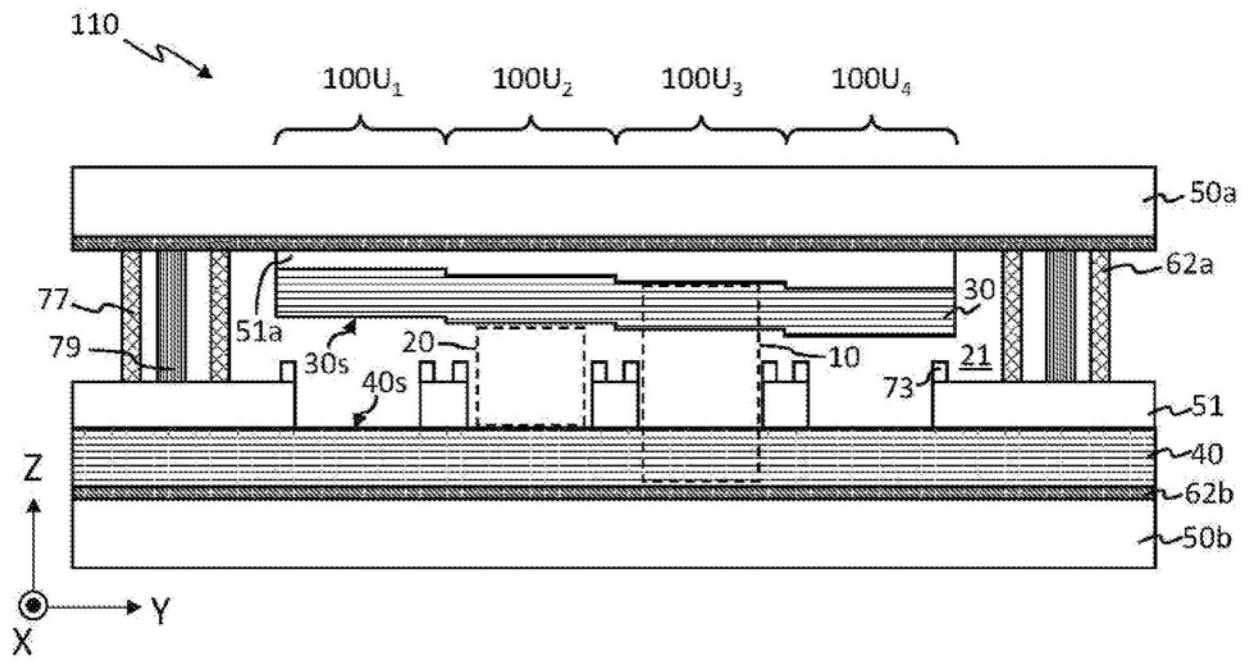


图14C

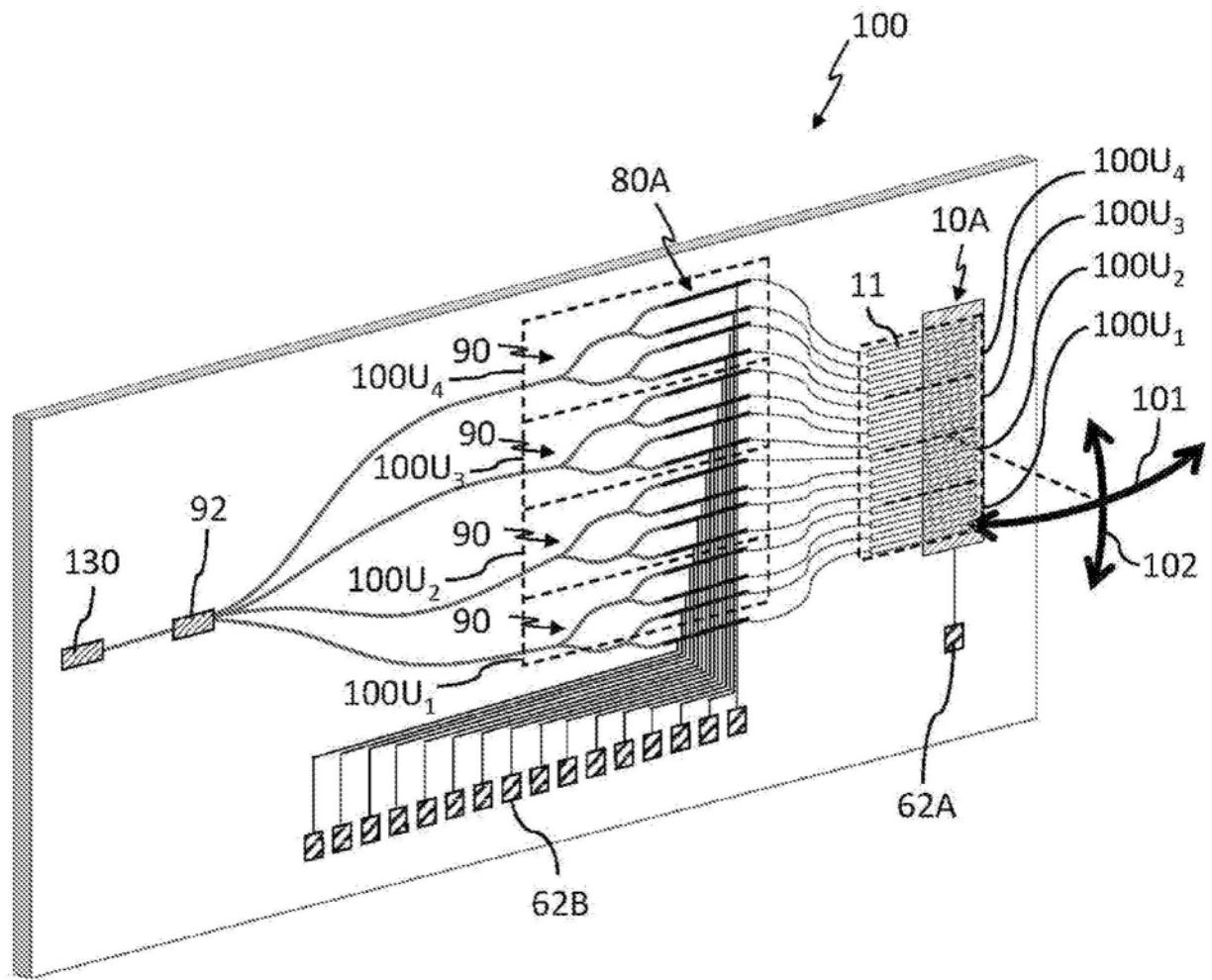


图15

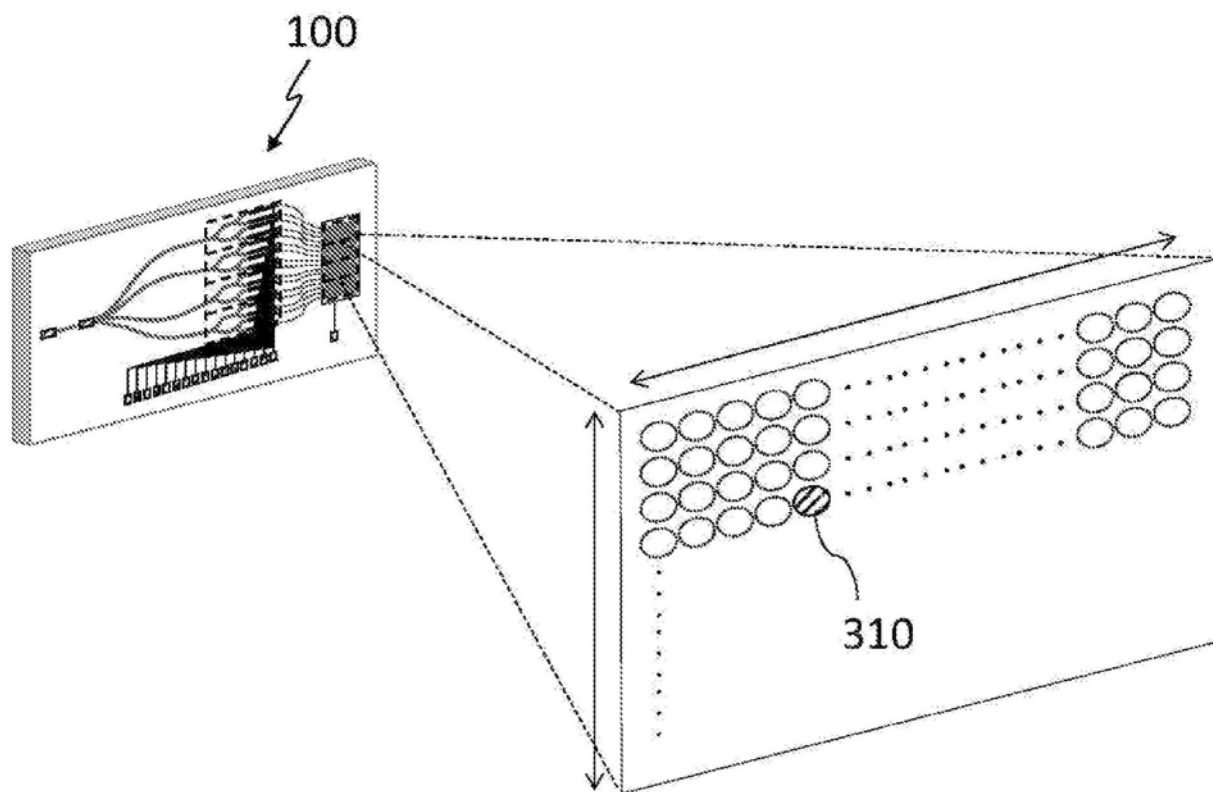


图16

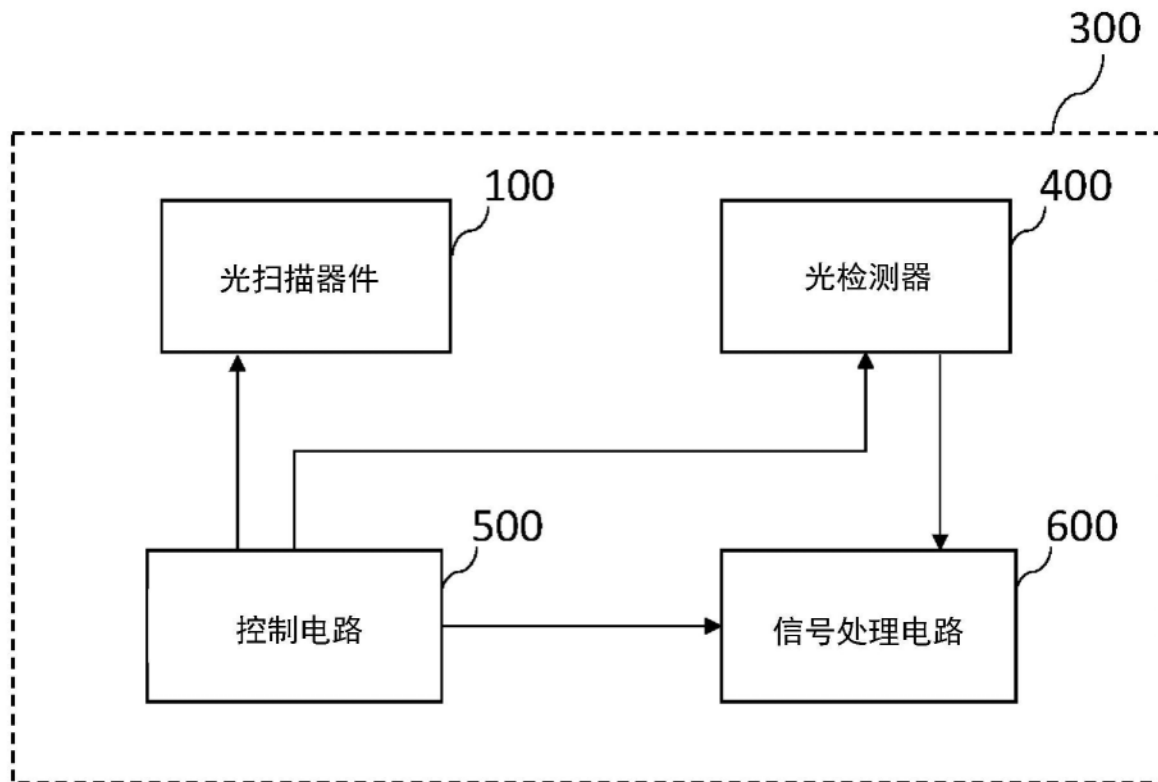


图17