(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101241228 B
(45)授权公告日 2011.07.20

(21)申请号 200810083322.1

(22)申请日 2005.11.18

(30)优先权数据
2004-349793 2004.12.02 JP

(62)分案原申请数据
200510125085.7 2005.11.18

(73)专利权人 富士通株式会社
地址 日本神奈川县川崎市

(72)发明人 高马悟觉 壶井修 曾根田弘光
上田知史 佐胁一平

(74)专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司 72003
代理人 张龙哺 冯志云

(51)Int.Cl.
G02B 26/08(2006.01)

(56)对比文件
JP 特开2003-117897 A,2003.04.23, 全文.
US 2001/0044165 A1,2001.11.22, 全文.

审查员 丁沙

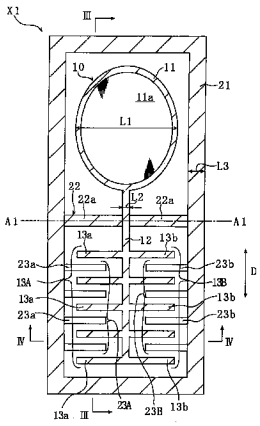
权利要求书 2 页 说明书 19 页 附图 28 页

(54)发明名称

微振荡元件及微振荡元件阵列

(57)摘要

一种微振荡元件及微振荡元件阵列，微振荡元件包括：第一框架；振荡部件，其包括可移动操作部件、第一臂部件及第一梳齿电极，第一臂部件从可移动操作部件延伸，第一梳齿电极包括多个在与第一臂部件相交的方向上从第一臂部件延伸的第一电极齿；第一扭转接合部件，其将第一框架与振荡部件相互连接，并且限定振荡部件作振荡操作的第一振荡轴；第二梳齿电极，其与第一梳齿电极配合以使振荡部件振荡，第二梳齿电极包括多个在与第一臂部件相交的方向上延伸的第二电极齿；第二框架；及第二扭转接合部件，其将第一框架与第二框架相互连接，且限定第一框架相对于第二框架作振荡操作的第二振荡轴。本发明能够保持足够的驱动力驱动振荡部件作振荡操作。



CN 101241228 B

1. 一种微振荡元件，包括：

第一框架；

振荡部件，其包括可移动操作部件、第一臂部件以及第一梳齿电极，该第一臂部件从该可移动操作部件延伸，该第一梳齿电极包括多个第一电极齿，所述第一电极齿在与该第一臂部件相交的方向上从该第一臂部件的两个边缘对称地延伸；

第一扭转接合部件，其将该第一框架与该振荡部件相互连接，并且限定该振荡部件作振荡操作的第一振荡轴；

第二梳齿电极，其与该第一梳齿电极配合以使得该振荡部件振荡，该第二梳齿电极包括多个第二电极齿，每个第二电极齿在与该第一臂部件相交的方向上延伸；

第二框架；

第二扭转接合部件，其将该第一框架与该第二框架相互连接，并且限定该第一框架作振荡操作的第二振荡轴，所述第一振荡轴和所述第二振荡轴彼此垂直；以及

驱动机构，用于使该第一框架振荡；

其中所述驱动机构包括：

第二臂部件，其沿该第一框架的纵向设置在该第一框架的一端；

第三梳齿电极，其包括多个第三电极齿，所述第三电极齿在与该第二臂部件相交的方向上仅从该第二臂部件的一个边缘延伸，多个所述第三电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔；以及

第四梳齿电极，其包括多个第四电极齿，所述第四电极齿固定到该第二框架上并在与该第二臂部件相交的方向上延伸，多个所述第四电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔，该第四梳齿电极与该第三梳齿电极配合以使得该第一框架振荡。

2. 一种微振荡元件阵列，包括固定框架和连接到该固定框架上的多个微振荡元件，每个所述微振荡元件均包括：

可移动框架；

振荡部件，其包括可移动操作部件、第一臂部件以及第一梳齿电极，该第一臂部件从该可移动操作部件延伸，该第一梳齿电极包括多个第一电极齿，每个第一电极齿在与该第一臂部件相交的方向上从该第一臂部件的两个边缘对称地延伸；

第一扭转接合部件，其将该可移动框架与该振荡部件相互连接，并且限定该振荡部件作振荡操作的第一振荡轴；

第二梳齿电极，其与该第一梳齿电极配合以使得该振荡部件振荡，该第二梳齿电极包括多个第二电极齿，每个第二电极齿在与该第一臂部件相交的方向上延伸；

第二扭转接合部件，其将该可移动框架与该固定框架相互连接，并且限定该可移动框架作振荡操作的第二振荡轴，所述第一振荡轴与所述第二振荡轴彼此垂直；以及

驱动机构，用于使该可移动框架振荡；

其中所述驱动机构包括：

第二臂部件，其沿该可移动框架的纵向设置在该可移动框架的一端；

第三梳齿电极，其包括多个第三电极齿，所述第三电极齿在与该第二臂部件相交的方向上仅从该第二臂部件的一个边缘延伸，多个所述第三电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔；以及

第四梳齿电极，其包括多个第四电极齿，所述第四电极齿固定到该固定框架上并在与该第二臂部件相交的方向上延伸，多个所述第四电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔，该第四梳齿电极与该第三梳齿电极配合以使得该可移动框架振荡。

微振荡元件及微振荡元件阵列

[0001] 本申请是申请人为“富士通株式会社”、申请日为 2005 年 11 月 18 日、申请号为 200510125085.7、发明名称为“微振荡元件”的申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明通常涉及一种包括能够旋转位移的振荡部件的微振荡元件。更具体地，本发明例如涉及微镜元件、加速传感器、角速度传感器以及振动元件。

背景技术

[0003] 近年来，具有通过显微机械加工技术形成的显微结构的元件已经广泛应用于各种技术领域。例如，在光通信技术领域，具有光反射功能的微小的微镜元件已受到关注。

[0004] 在光通信中，利用光纤作为介质来传送光信号，并且通常使用光切换装置将光信号的传输路径从一根光纤切换到另一根光纤。为实现良好的光通信，光切换装置在切换操作期间所需的特性包括大容量、高速率以及高可靠性。考虑到这些方面，迫切需要合并有利用显微机械加工技术制造的微镜元件的光切换装置。微镜元件能够在光切换装置中的输入侧光传输路径和输出侧光传输路径之间进行切换处理，而不需将光信号转换成电信号，从而适用于实现上述列举的那些特性。

[0005] 微镜元件包括用于反射光的镜表面，并且能够通过使镜表面振荡来改变光被反射的方向。在许多装置中采用静电微镜元件，其利用静电力来使镜表面倾斜。静电微镜元件可分成两种主要类型，即由所谓的表面显微机械加工技术制造的静电微镜元件，以及由所谓的体块 (bulk) 显微机械加工技术制造的静电微镜元件。

[0006] 在表面显微机械加工技术中，将对应于每个构成区域的材料薄膜加工成所需的图案，并且连续层叠这些图案以形成构成元件的各个区域，比如支撑和固定部分、振荡部件、镜表面和电极部分，以及在后续阶段被去除的牺牲层。另一方面，在体块显微机械加工技术中，材料衬底被自蚀刻，以将固定和支撑部分、振荡部件等形成为所需的形状，在其上利用薄膜形成镜表面和电极。例如，在日本待审专利申请 H9-146032、日本待审专利申请公开 H9-146034、日本待审专利申请公开 H10-190007、以及日本待审专利申请公开 2000-31502 中描述了体块显微机械加工技术。

[0007] 微镜元件所需的一个技术项是用于反射光的镜表面具有高的平坦度。但是，利用表面显微机械加工技术，最终形成的镜表面很薄，因此容易产生弯曲。由此，难以在较大表面积的镜表面上实现高平坦度。与之相反，利用体块显微机械加工技术，通过蚀刻技术将相对较厚的材料衬底本身进行切割以形成镜支撑部分，并且在镜支撑部分上设置镜表面。由此即使对于较大表面积的镜表面也能够确保其硬度。结果，能够形成具有足够高的光平坦度的镜表面。

[0008] 图 32 是按照体块显微机械加工技术制造的传统微镜元件 X6 的局部透视图。微镜元件 X6 包括：镜支撑部分 61，在其上面设置镜表面 64；框架 62（图中局部省略）；以及一对扭杆 63，其连接镜支撑部分 61 和框架 62。在镜支撑部分 61 的一对端部上形成梳齿电极

61a、61b。在框架 62 上对应于梳齿电极 61a、61b 形成一对向内延伸的梳齿电极 62a、62b。所述一对扭杆 63 限定镜支撑部分 61 相对于框架 62 的振荡操作的振荡轴 A6。

[0009] 在以这种方式构成的微镜元件 X6 中，彼此邻近地设置的用于产生驱动力（静电吸引力）的一组梳齿电极，例如梳齿电极 61a 和 62a，在没有施加电压时排列成两层，如图 33A 所示。但是，当施加预定电压时，梳齿电极 61a 会朝着梳齿电极 62a 吸引，如图 33B 所示，由此镜支撑部分 61 被旋转移位。更具体地，当梳齿电极 61a 被正充电并且梳齿电极 62a 被负充电时，梳齿电极 61a 朝着梳齿电极 62a 被吸引，由此在扭杆 63 扭曲的同时镜支撑部分 61 绕着振荡轴 A6 被旋转移位。通过以这种方式驱动镜支撑部分 61 倾斜，可以切换设置在镜支撑部分 61 上的镜表面 64 反射的光的反射方向。

[0010] 为了使微镜元件 X6 沿着振荡轴 A6 微型化，需要缩短占用该元件大部分的镜支撑部分 61 的长度 L61。但是，在保持足以使镜支撑部分 61 振荡的驱动力的同时，缩短长度 L61 并不容易。

[0011] 在微镜元件 X6 中，各梳齿电极 61a、61b 的多个电极齿在振荡轴 A6 的方向上间隔地被镜支撑部分 61 支撑，因此梳齿电极 61a、61b 的电极齿的数目受到镜支撑部分 61 的长度 L61 的限制。结果，构成所述一组梳齿电极 61a、62a 的电极齿数目和构成所述一组梳齿电极 61b、62b 的电极齿数目受到镜支撑部分 61 的长度 L61 的限制。此外，为了确保足够的用以驱动镜支撑部分 61 的振荡操作的驱动力，或者换句话说为了确保可由梳齿电极 61a、62a 与梳齿电极 61b、62b 之间产生的静电吸引力，必须确保使得所述一组梳齿电极 61a、62a 的电极齿互相面对的足够表面积和使得所述一组梳齿电极 61b、62b 的电极齿互相面对的足够表面积。为了在镜支撑部分 61 的长度 L61 缩短时确保这种能够使得电极齿互相面对的表面积，可以考虑采用下列两种方法，一种是减少每个电极齿的宽度 d1 和缩减电极齿之间的间隙 d2，使得梳齿电极 61a、61b、62a、62b 的电极齿数目设定为不少于固定数；另一种是增加镜支撑部分 61 与框架 62 之间的距离并且增加每个电极齿的长度 d3。

[0012] 但是，电极齿宽度 d1 的减少以及长度 d3 的增加将导致电极齿在宽度方向上的机械强度的减少。结果，当如上参照图 33B 所述施加电压时，电极齿在其宽度方向变形，从而导致相邻的电极齿发生粘连的缺陷。此外，电极齿之间间隙 d2 的减少将导致微镜元件 X6 的制造工艺的困难、产率下降等等。

[0013] 因此，在保持足够的用以驱动镜支撑部分 61 的振荡操作的驱动力的同时，通过振荡轴 A6 方向的收缩来使微镜元件 X6 微型化存在困难。在微振荡元件比如微镜元件 X6 中，在发生振荡操作的区域中一般需要有可以在低驱动电压下实现较大旋转位移和高速振荡操作的特性，但是为了获得这种特性，必须将用于驱动振荡部件的振荡操作的驱动力保持为不低于固定程度。

发明内容

[0014] 考虑到上述情形提出本发明，并且本发明的目的是提供一种能够微型化的微振荡元件，其能够保持足够的驱动力驱动振荡部件作振荡操作。本发明的另一目的是提供一种微振荡元件阵列。

[0015] 为此，本发明提供了一种微振荡元件，其包括：第一框架；振荡部件，其包括可移动操作部件、第一臂部件以及第一梳齿电极，该第一臂部件从该可移动操作部件延伸，该第

一梳齿电极包括多个第一电极齿，所述第一电极齿在与该第一臂部件相交的方向上从该第一臂部件的两个边缘对称地延伸；第一扭转接合部件，其将该第一框架与该振荡部件相互连接，并且限定该振荡部件作振荡操作的第一振荡轴；第二梳齿电极，其与该第一梳齿电极配合以使得该振荡部件振荡，该第二梳齿电极包括多个第二电极齿，每个第二电极齿在与该第一臂部件相交的方向上延伸；第二框架；第二扭转接合部件，其将该第一框架与该第二框架相互连接，并且限定该第一框架相对于该第二框架作振荡操作的第二振荡轴，所述第一振荡轴和所述第二振荡轴彼此垂直；以及驱动机构，用于使该第一框架振荡；其中所述驱动机构包括：第二臂部件，其沿该第一框架的纵向设置在该第一框架的一端；第三梳齿电极，其包括多个第三电极齿，所述第三电极齿在与该第二臂部件相交的方向上仅从该第二臂部件的一个边缘延伸，多个所述第三电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔；以及第四梳齿电极，其包括多个第四电极齿，所述第四电极齿固定到该第二框架上并在与该第二臂部件相交的方向上延伸，多个所述第四电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔，该第四梳齿电极与该第三梳齿电极配合以使得该第一框架振荡。

[0016] 本发明还提供了一种微振荡元件阵列，其包括固定框架和连接到该固定框架上的多个微振荡元件，每个所述微振荡元件均包括：可移动框架；振荡部件，其包括可移动操作部件、第一臂部件以及第一梳齿电极，该第一臂部件从该可移动操作部件延伸，该第一梳齿电极包括多个第一电极齿，每个第一电极齿在与该第一臂部件相交的方向上从该第一臂部件的两个边缘对称地延伸；第一扭转接合部件，其将该可移动框架与该振荡部件相互连接，并且限定该振荡部件作振荡操作的第一振荡轴；第二梳齿电极，其与该第一梳齿电极配合以使得该振荡部件振荡，该第二梳齿电极包括多个第二电极齿，每个第二电极齿在与该第一臂部件相交的方向上延伸；第二扭转接合部件，其将该可移动框架与该固定框架相互连接，并且限定该可移动框架相对于该固定框架作振荡操作的第二振荡轴，所述第一振荡轴与所述第二振荡轴彼此垂直；以及驱动机构，用于使该可移动框架相对于该固定框架振动，其中所述驱动机构包括：第二臂部件，其沿该可移动框架的纵向设置在该可移动框架的一端；第三梳齿电极，其包括多个第三电极齿，所述第三电极齿在与该第二臂部件相交的方向上仅从该第二臂部件的一个边缘延伸，多个所述第三电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔；以及第四梳齿电极，其包括多个第四电极齿，所述第四电极齿固定到该固定框架上并在与该第二臂部件相交的方向上延伸，多个所述第四电极齿在该第二臂部件的纵向上彼此间隔，该第四梳齿电极与该第三梳齿电极配合以使得该可移动框架振荡。

[0017] 按照本发明提供的微振荡元件包括：振荡部件支撑框架；以及振荡部件，其包括可移动操作部件、臂部件以及第一梳齿电极。臂部件从可移动操作部件延伸。第一梳齿电极包括多个第一电极齿，每个第一电极齿在与臂部件相交的方向上从臂部件延伸。此外，微振荡元件包括：扭转接合部件，其将框架与振荡部件互相连接，并且还限定了振荡部件作振荡操作的振荡轴；以及与第一梳齿电极配合的第二梳齿电极，用于使得振荡部件发生振荡。第二梳齿电极包括多个第二电极齿，每个第二电极齿在与臂部件相交的方向上从框架延伸，所述多个第二电极齿和所述多个第一电极齿置于不同的高度，所述多个第二电极齿和所述多个第一电极齿沿该臂部件的延伸方向彼此偏离。

[0018] 在上述设置中，第一和第二梳齿电极构成所谓的梳齿电极型致动器，其用作驱动振荡部件作振荡操作的驱动机构。本发明的元件例如可适用于微镜元件。

[0019] 按照本发明，第一梳齿电极的第一电极齿由从可移动操作部件延伸的臂部件支撑。第一电极齿可以以预定间隔（即，彼此隔开）排列在臂部件的纵向方向上，同时第二电极齿可由框架支撑，并且以预定间隔排列在臂部件的纵向方向上。应当理解，第一电极齿（和第二电极齿）没有直接由可移动操作部件支撑。结果，构成梳齿电极组的电极齿（第一电极齿，第二电极齿）的数目不受可移动操作部件在例如与延伸臂部件呈直角相交的振荡轴的纵向上的长度的限制。因此在本发明的元件中，能够通过提供所需数目个第一和第二电极齿，确保使第一和第二梳齿电极的电极齿互相面对的表面积，而无需考虑可移动操作部件在振荡轴方向上的设计尺寸。由于确保了使第一和第二梳齿电极的电极齿互相面对的表面积，因此无需将第一和第二电极齿的宽度减少或其延伸长度增加到严重影响第一和第二梳齿电极的机械强度的程度，并且也无需将电极齿之间的间隙减少到导致元件的制造工艺中出现困难的程度。因而，通过提供所需数目个第一和第二电极齿而无需考虑可移动操作部件在振荡轴方向上的设计尺寸，在保持足够的用于驱动振荡部件的振荡操作的驱动力的同时可减少可移动操作部件在振荡轴方向上的设计尺寸以及由此减少整个元件在振荡轴方向上的的设计尺寸，本发明的元件可适用于实现微型化。

[0020] 优选地，第一电极齿可以平行于振荡轴延伸，并且第二电极齿优选为平行于第一电极齿延伸。通过使得第一和第二电极齿的延伸方向平行于振荡轴，能够有效地产生使得振荡部件绕着振荡轴振荡的力。

[0021] 在本发明的另一优选方案中，多个第一电极齿的延伸方向可与振荡轴的延伸方向相交。在这种情况下，第二电极齿的延伸方向优选为平行于第一电极齿的延伸方向。即使第一和第二电极齿的延伸方向不平行于振荡轴，也可由第一和第二梳齿电极产生用于驱动绕着振荡轴作振荡操作的驱动力。

[0022] 第一梳齿电极可优选地包括至少三个电极齿，并且两个相邻第一电极齿之间的距离优选为随着电极齿与振荡轴的距离的增加而稳步增加。此外，第二梳齿电极可优选地包括至少三个电极齿，并且两个相邻第二电极齿之间的距离优选为随着电极齿与振荡轴的距离的增加而稳步增加。随着第一电极齿远离振荡轴，在振荡部件的振荡操作期间，电极齿之间的位移（从臂部件的延伸方向所视的）增加，由此这些构造有利于避免第一电极齿和第二电极齿在振荡部件的振荡操作期间互相接触。

[0023] 优选地，第一电极齿的一个相关齿可以设置在两个相邻的第二电极齿（从臂部件的延伸方向所视为相邻的）之间，并且该相关齿可以从这两个第二电极齿之间的中心位置偏向振荡轴。可选地，相同的第一电极齿可以从这两个第二电极齿之间的中心位置偏离振荡轴。这些构造有利于抑制所谓的拽入 (Pull-in) 现象。

[0024] 在优选方案中，本发明的微振荡元件中，所述多个第二电极齿分为两组，所述两组中的一组中的第二电极齿与所述两组中的另一组中的第二电极齿电分离。按照这种构造，通过使得施加到第二梳齿电极的电势与施加到第四梳齿电极的电势不同，能够使得第一和第二梳齿电极之间产生的静电力不同于第三和第四梳齿电极之间产生的静电力。利用这种构造，能够控制可移动操作部件绕着与振荡轴相交的预定轴的旋转位移。换句话说，可以调节可移动操作部件绕着该轴的姿势。

[0025] 在另一优选方案中，该微振荡元件还可包括：从可移动操作部件延伸的附加臂部件、第三梳齿电极和第四梳齿电极。第三梳齿电极可包括多个第三电极齿，它们在与附加臂

部件相交的方向上从附加臂部件延伸，并且在附加臂部件的纵向方向上彼此间隔开。第四梳齿电极可包括多个第四电极齿，它们用于配合第三梳齿电极使得振荡部件振荡。第四电极齿可被设置为在与附加臂部件相交的方向上从框架延伸，并且在附加臂部件的纵向方向上彼此间隔开。在这种情况下，第一梳齿电极和第三梳齿电极可以彼此电分离。另一方面，第二和第四梳齿电极可优选为彼此电连接。按照这种构造，通过使得施加到第一梳齿电极的电势与施加到第三梳齿电极的电势不同，能够使得第一和第二梳齿电极之间产生的静电力不同于第三和第四梳齿电极之间产生的静电力。利用这种构造，能够控制可移动操作部件绕着与振荡轴相交的预定轴的旋转位移。换句话说，可以调节可移动操作部件绕着该轴的姿势。

[0026] 微振荡元件还可包括附加框架、附加扭转接合部件和驱动机构。附加扭转接合部件可将振荡部件支撑框架与附加框架彼此连接，并且限定了附加框架作振荡操作的附加振荡轴。附加振荡轴可在与振荡部件支撑框架的振荡轴相交的方向上延伸。驱动机构可使得附加框架绕着附加振荡轴震荡。在这种情况下，振荡轴的延伸方向可优选为正交于附加振荡轴的延伸方向。这个实例的元件是双轴振荡元件。

附图说明

[0027] 图 1 是按照本发明第一实施例的微镜元件的平面图；

[0028] 图 2 是图 1 所示的微镜元件的局部平面图；

[0029] 图 3 是沿着图 1 的 III-III 线所得的剖视图；

[0030] 图 4 是沿着图 1 的 IV-IV 线所得的剖视图；

[0031] 图 5A-5D 表示图 1 的微镜元件的制造方法的一些步骤；

[0032] 图 6A-6D 表示接着图 5 的步骤之后的后续处理；

[0033] 图 7 是在驱动期间沿着图 1 的 III-III 线所得的剖视图；

[0034] 图 8 是图 1 的微镜元件的第一修改实例的平面图；

[0035] 图 9 是图 1 的微镜元件的第二修改实例的平面图；

[0036] 图 10 是图 1 的微镜元件的第三修改实例的平面图；

[0037] 图 11 是图 1 的微镜元件的第四修改实例的平面图；

[0038] 图 12 是图 1 的微镜元件的第五修改实例的平面图；

[0039] 图 13 是图 1 的微镜元件的第六修改实例的平面图；

[0040] 图 14 是图 1 的微镜元件的第七修改实例的平面图；

[0041] 图 15 是按照本发明第二实施例的微镜元件的平面图；

[0042] 图 16 是图 15 所示的微镜元件的局部平面图；

[0043] 图 17 是沿着图 15 的 XVII-XVII- 线所得的剖视图；

[0044] 图 18 是沿着图 15 的 XVIII-XVIII 线所得的剖视图；

[0045] 图 19 是按照本发明第三实施例的微镜元件的平面图；

[0046] 图 20 是图 19 所示的微镜元件的局部平面图；

[0047] 图 21 是沿着图 19 的 XXI-XXI 线所得的剖视图；

[0048] 图 22 是沿着图 19 的 XXII-XXII 线所得的剖视图；

[0049] 图 23 是沿着图 19 的 XXIII-XXIII 线所得的剖视图；

[0050] 图 24 是按照本发明第四实施例的微镜元件的平面图；

[0051] 图 25 是沿着图 24 的 XXV-XXV 线所得的剖视图；

[0052] 图 26 是按照本发明第五实施例的微镜元件的平面图；

[0053] 图 27 是图 26 所示的微镜元件的局部平面图；

[0054] 图 28 是沿着图 26 的 XXVIII-XXVIII 线所得的剖视图；

[0055] 图 29 是沿着图 26 的 XXIX-XXIX 线所得的剖视图；

[0056] 图 30 是沿着图 26 的 XXX-XXX 线所得的剖视图；

[0057] 图 31 表示包含图 26 所示的多个微镜元件的微镜阵列；

[0058] 图 32 是传统微镜元件的局部透视图；以及

[0059] 图 33A-33B 表示图 32 所示的微镜元件中的一组梳齿电极的定位。

具体实施方式

[0060] 图 1 至 4 表示按照本发明第一实施例的微镜元件 X1。图 1 是微镜元件 X1 的平面图，图 2 是微镜元件 X1 的局部平面图，以及图 3 和 4 是分别沿着 III-III 线和 IV-IV 线所得的剖视图。

[0061] 微镜元件 X1 包括振荡部件 10、框架 21、扭转接合部件 22 和梳齿电极 23A、23B，并且利用体块显微机械加工技术例如 MEMS 技术，通过加工作为所谓的 SOI（绝缘体上硅）衬底的材料衬底来制造。材料衬底具有由第一硅层、第二硅层和在这些硅层之间设置的绝缘层构成的层叠结构。每层硅层都通过杂质掺杂的方式具有预定的导电性。微镜元件 X1 的前述各个区域主要形成在第一硅层和 / 或第二硅层上，并且为了有助于理解附图，利用图 1 中的对角线阴影示出源自第一硅层的区域，其从绝缘层朝着纸面突出。图 2 表示源自微镜元件 X1 的第二硅层的构造。

[0062] 振荡部件 10 包括镜支撑部分 11、臂部件 12 和梳齿电极 13A、13B。

[0063] 镜支撑部分 11 源自第一硅层，并且在其表面上设置具有光反射功能的镜表面 11a。镜表面 11a 具有例如由沉积在第一硅层上的 Cr 层和沉积在 Cr 层上的 Au 层构成的层叠结构。镜支撑部分 11 和镜表面 11a 构成本发明的可移动操作部件。镜支撑部分 11 的如图 1 所示的长度 L1（也即可移动操作部件的长度）例如在 20 和 300μm 之间。

[0064] 臂部件 12 主要在第一硅层上产生，并且从镜支撑部分 11 延伸。图 1 所示的臂部件 12 的长度 L2 例如在 10 和 100μm 之间。

[0065] 梳齿电极 12A 由多个电极齿 13a 构成。多个电极齿 13a 分别在臂部件 12 的延伸方向上从臂部件 12 彼此间隔地延伸。梳齿电极 13B 由多个电极齿 13b 构成。多个电极齿 13b 分别在臂部件 13 的延伸方向上、从臂部件 12 的与电极齿 13a 的相反侧彼此间隔地延伸。电极齿 13a、13b 主要在第一硅层上产生。在该实施例中，如图 1 所示，电极齿 13a、13b 的延伸方向正交于臂部件 12 的延伸方向。如图 3 所示，电极齿 13a 在元件厚度方向 H 上直立放置，并且电极齿 13b 也在元件厚度方向 H 上直立放置。此外，在该实施例中，电击齿 13a、13b 的宽度是均匀的，如图 1 所示。梳齿电极 13A 及其电极齿 13a 经臂部件 12 电连接到梳齿电极 13B 及其电极齿 13b。

[0066] 框架 12 主要在第一和第二硅层上产生，并且形成为围绕振荡部件 10 的形式。框架 21 的源自第二硅层的区域如图 2 所示。此外，框架 21 具有用以支撑框架 21 内的结构的

预定机械强度。图 1 所示的框架 21 的长度 L3 例如在 5 和 20μm 之间。

[0067] 扭转接合部件 22 由一对扭杆 22a 构成。扭杆 22a 主要在第一硅层上产生，并且连接到振荡部件 10 的臂部件 12 和框架 21 的源自第一硅层的区域，由此连接这些组件。框架 21 的源自第一硅层的区域和臂部件 12 通过扭杆 22a 电连接。此外，如图 3 所示，扭杆 22a 在元件厚度方向 H 上薄于臂部件 12，并且也薄于框架 21 的源自第一硅层的区域。由这对扭杆 22a 构成的扭转接合部件 22 限定了振荡部件 10 及其镜支撑部分 11 的振荡操作的振荡轴 A1。振荡轴 A1 正交于图 1 的箭头所示的方向 D，或者换句话说，正交于臂部件 12 的延伸方向。相应地，在与臂部件 12 的延伸方向正交的方向上从臂部件 12 延伸的上述电极齿 13a、13b 的延伸方向平行于振荡轴 A1。振荡轴 A1 优选穿过或接近于振荡部件 10 的重心。

[0068] 在该实施例中，可以设置在第一硅层上平行形成的一组扭杆来替代扭杆 22a。在这种情况下，这组扭杆之间的间隙优选为从框架 21 朝着臂部件 12 稳步增加。在微镜元件 X1 中，替代设置一对扭杆 22a，可通过设置两组的两个这种平行扭杆来限定振荡轴 A1。这同样适用于后述的微镜元件。

[0069] 梳齿电极 23A 是用于与梳齿电极 13A 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 23a 构成。多个电极齿 23a 分别在臂部件 12 的延伸方向上从框架 21 彼此间隔地延伸。此外，梳齿电极 23A 主要在第二硅层上产生，并且如图 2 所示，其固定于框架 21 的源自第二硅层的区域。在该实施例中，如图 1 所示，电极齿 23a 的延伸方向正交于臂部件 12 的延伸方向，并且平行于振荡轴 A1。同样在该实施例中，如图 1 所示，电极齿 23a 的宽度是均匀的，并且如图 3 所示，电极齿 23a 在元件厚度方向 H 上直立放置。

[0070] 梳齿电极 23A 与梳齿电极 13A 一起构成驱动机构。如图 3 和 4 所示，梳齿电极 13A、23A 例如在振荡部件 10 不工作时置于不同的高度。此外，梳齿电极 13A、23A 的电极齿 13a、23a 彼此偏离，从而在振荡部件 10 的振荡操作期间梳齿电极 13A、23A 互相不接触。在该实施例中，两个相邻电极齿 13a 之间的距离都是相同的，并且两个相邻电极齿 23a 之间的距离也都是相同的。此外，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个电极齿 23a 之间的电极齿 13a 位于两个电极齿 23a 的中心。

[0071] 梳齿电极 23B 是用于与梳齿电极 13B 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 23b 构成。多个电极齿 23b 分别在臂部件 12 的延伸方向上从框架 21 彼此间隔地延伸。此外，梳齿电极 23B 主要在第二硅层上产生，并且如图 2 所示，其固定于框架 21 的源自第二硅层的区域。梳齿电极 23B 及其电极齿 23b 经框架 21 的源自第二硅层的区域电连接于梳齿电极 23A 及其电极齿 23a。在该实施例中，如图 1 所示，电极齿 23b 的延伸方向正交于臂部件 12 的延伸方向，并且平行于振荡轴 A1。同样在该实施例中，如图 1 所示，电极齿 23b 的宽度是均匀的，并且与电极齿 23a 相似，电极齿 23b 在元件厚度方向 H 上直立放置。

[0072] 梳齿电极 23B 与梳齿电极 13B 一起构成驱动机构。如图 4 所示，梳齿电极 13B、23B 例如在振荡部件 10 不工作时置于不同的高度。此外，梳齿电极 13B、23B 的电极齿 13b、23b 彼此偏离，从而在振荡部件 10 的振荡操作期间梳齿电极 13B、23B 互相不接触。在该实施例中，两个相邻电极齿 13b 之间的距离都是相同的，并且两个相邻电极齿 23b 之间的距离也都是相同的。此外，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个电极齿 23b 之间的电极齿 13b 位于两个电极齿 23b 的中心。

[0073] 图 5 和 6 表示微镜元件 X1 的制造方法的实例。该方法是一种通过体块制造技术

制造微镜元件 X1 的方法。在图 5 和图 6 的图 6D 中，将镜支撑部分 M、臂部件 AR、框架 F1 和 F2、扭杆 T1 和 T2 以及一组梳齿电极 E1 和 E2 的形成过程表示为单个横截面的改型。该单个横截面由连续横截面表示，该连续横截面是在将要加工的材料衬底（具有多层结构的晶片）中，通过模仿单个微镜元件形成区中包含的多个预定位置中的多个横截面产生的。镜支撑部分 M 对应于镜支撑部分 11 的部分。臂部件 AR 对应于臂部件 12，并且表示臂部件 12 的横切面。框架 F1、F2 分别对应于框架 21，并且表示框架 21 的横切面。扭杆 T1 对应于扭杆 22a，并且表示在扭杆 22a 的延伸方向上的横截面。扭杆 T2 对应于扭杆 22a，并且表示扭杆 22a 的横切面。梳齿电极 E1 对应于梳齿电极 13A、13B 的部分，并且表示电极齿 13a、13b 的横切面。梳齿电极 E2 对应于梳齿电极 23A、23B 的部分，并且表示电极齿 23a、23b 的横切面。

[0074] 为了制造微镜元件 X1，首先制备例如图 5A 所示的材料衬底 100。材料衬底 100 是 SOI 结构，其具有由硅层 101、102 以及在硅层 101、102 之间设置的绝缘层 103 构成的层叠结构。硅层 101、102 由通过杂质掺杂的方式呈现导电性的硅材料制成。可采用 p 型杂质例如 B 或者 n 型杂质例如 P 和 Sb 作为这些掺杂杂质。绝缘层 103 例如由二氧化硅构成。硅层 101 的厚度例如在 10 和 100μm 之间，硅层 102 的厚度例如在 50 和 500μm 之间，并且绝缘层 103 的厚度例如在 0.3 和 3μm 之间。

[0075] 接下来，如图 5B 所示，在硅层 101 上形成镜表面 11a。为了形成镜表面 11a，利用溅射方法在硅层 101 上首先沉积 Cr(50nm)，然后沉积 Au(200nm)。然后经预定掩模在这些金属膜上连续执行蚀刻处理，以形成镜表面 11a 的图案。例如可使用碘化钾与碘的水溶液作为 Au 的蚀刻液，并且例如可使用硝酸铈铵 (ammonium ceric nitrate) 的水溶液作为 Cr 的蚀刻液。

[0076] 接下来，如图 5C 所示，在硅层 101 上形成氧化物膜图案 110 和抗蚀剂图案 111，并且在硅层 102 上形成氧化物膜图案 112。氧化物膜图案 110 采取与振荡部件 10（镜支撑部分 M、臂部件 AR、梳齿电极 E1）和框架 21（框架 F1、F2）对应的图案形式。抗蚀剂图案 111 采取与两个扭杆 22a（扭杆 T1、T2）对应的图案形式。氧化物膜图案 112 采取与框架 21（框架 F1、F2）和梳齿电极 23A、23B（梳齿电极 E2）对应的图案形式。

[0077] 接下来，如图 5D 所示，利用氧化物膜图案 110 和抗蚀剂图案 111 作为掩模，通过 DRIE（深反应离子蚀刻）在硅层 101 上执行到预定深度的蚀刻处理。该预定深度对应于扭杆 T1、T2 的厚度，例如为 5μm。通过 DRIE，可采用其中交替执行蚀刻和侧壁保护的博希处理 (Bosch process) 来进行良好的蚀刻处理。也可在随后的 DRIE 处理中采用博希处理。

[0078] 接下来，如图 6A 所示，通过使用剥离器将抗蚀剂图案 11 剥离。例如可使用 AZ 去除器 700（由 Clariant Japan 制造）作为剥离器。

[0079] 接下来，如图 6B 所示，利用氧化物膜图案 110 作为掩模，在硅层 101 上通过 DRIE 执行蚀刻处理，一直蚀刻到绝缘层 103，同时保留扭杆 T1、T2。通过该蚀刻处理，制成振荡部件 10（镜支撑部分 M、臂部件 AR、梳齿电极 E1）、两个扭杆 22a（扭杆 T1、T2）以及一部分框架 21（框架 F1、F2）。

[0080] 接下来，如图 6C 所示，利用氧化物膜图案 112 作为掩模，在硅层 102 上通过 DRIE 执行蚀刻处理，一直蚀刻到绝缘层 103。通过该蚀刻处理，制成一部分框架 21（框架 F1、F2）和梳齿电极 23A、23B（梳齿电极 E2）。

[0081] 接下来，如图 6D 所示，通过蚀刻去除绝缘层 103 和氧化物膜图案 110、112 的露出区域。可采用干蚀刻或者湿蚀刻作为蚀刻方法。当采用干蚀刻时，例如可采用 CF4 或 CHF3 作为蚀刻气体。当采用湿蚀刻时，例如可使用含有氢氟酸和氟化铵 (ammonium fluoride) 的缓冲氢氟酸 (BHF) 作为蚀刻溶液。

[0082] 通过这一系列处理，制成镜支撑部分 M、臂部件 AR、框架 F1 和 F2、扭杆 T1 和 T2、以及一组梳齿电极 E1 和 E2，由此可制成微镜元件 X1。

[0083] 在微镜元件 X1 中，可通过将需要的预定电势施加给梳齿电极 13A、13B、23A、23B，使振荡部件 10 和镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 上旋转移位。可经由框架 21 的源自第一硅层的区域、两个扭杆 22a 和臂部件 12 将电势施加到梳齿电极 13A、13B 上。例如可将梳齿电极 13A、13B 接地。同时，可经由框架 21 的源自第二硅层的区域将电势施加到梳齿电极 23A、23B。框架 21 的源自第二硅层的区域和框架 21 的源自第一硅层的区域被绝缘层 (例如上述绝缘层 103) 电分离。

[0084] 通过向每个梳齿电极 13A、13B、23A、23B 施加预定电势使得在梳齿电极 13B、23B 之间和在梳齿电极 13B、23B 之间产生所需的静电吸引力，梳齿电极 13A 被引向梳齿电极 23A，梳齿电极 13B 被引向梳齿电极 23B。结果，振荡部件 10 和镜支撑部分 11 进行绕着振荡轴 A1 的振荡操作，从而旋转移位到使得静电吸引力与两个扭杆 22a 的扭转阻力和相互平衡的角度。在该平衡状态，梳齿电极 13A、23A* 例如如图 7 所示定位，并且梳齿电极 13B、23B 也类似地定位。可通过调节施加到梳齿电极 13A、13B、23A、23B 的电势来调节该振荡操作期间发生的旋转位移量。此外，当梳齿电极 13A、23A 之间的静电吸引力和梳齿电极 13B、23B 之间的静电吸引力消除时，扭杆 22a 返回到它们的自然状态，使得振荡部件 10 和镜支撑部分 11 返回到图 3 所示的方位。通过以这种方式驱动振荡部件 10 和镜支撑部分 11 倾斜，能够随意地切换在设置在镜支撑部分 11 上的镜表面 11a 上反射的光的反射方向。

[0085] 在微镜元件 X1 中，在从镜支撑部分 11 延伸的臂部件 12 上支撑梳齿电极 13A 的多个电极齿 13a，它们在臂部件 12 的延伸方向上彼此间隔 ；并且在框架 21 上支撑梳齿电极 23A 的多个电极齿 23a，它们在臂部件 12 的延伸方向上彼此间隔。同时，在从镜支撑部分 11 延伸的臂部件 12 上支撑梳齿电极 13B 的多个电极齿 13b，它们在臂部件 12 的延伸方向上彼此间隔 ；并且在框架 21 上支撑梳齿电极 23B 的多个电极齿 23b，它们在臂部件 12 的延伸方向上彼此间隔。这些电极齿 13a、13b、23a、23b 并不直接由镜支撑部分 11 支撑。结果，构成一组梳齿电极 13A、23A 的电极齿 13a、23a 的数目和构成一组梳齿电极 13B、23B 的电极齿 13b、23b 的数目不受镜支撑部分 11 在与臂部件 12 的延伸方向正交的振荡轴 A1 的延伸方向上的长度的限制。

[0086] 由此在微镜元件 X1 中，能够设置所需数目个电极齿 13a、13b、23a、23b，而不需考虑镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸，因此能够确保使得电极齿 13a、23a 相互面对的足够的表面积以及使得电极齿 13b、23b 相互面对的足够的表面积。利用微镜元件 X1，例如无需为了确保使得电极齿 13a、23a 相互面对的足够的表面积而将一组梳齿电极 13A、23A 的电极齿 13a、23a 的宽度减少或将其延伸长度增加到严重影响电极齿 13a、23a 的机械强度的程度，并且也无需将电极齿之间的间隙减小到导致元件的制造工艺发生困难的程度。

[0087] 由此，通过提供所需数目的电极齿 13a、13b、23a、23b 而无需考虑镜支撑部分 11 在

振荡轴 A1 方向上的设计尺寸，在保持足够的用于驱动振荡部件 10 的振荡操作的驱动力的同时可减少镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸以及由此减少整个元件在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸，该微镜元件 X1 适用于实现微型化。

[0088] 图 8 是微镜元件 X1 的第一修改实例的平面图。在该修改实例中，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 23a 之间的电极齿 13a 从两个电极齿 23a 之间的中心位置偏向振荡轴 A1，或者置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 13a 之间的电极齿 23a 从两个电极齿 13a 之间的中心位置偏离振荡轴 A1。此外，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 23b 之间的电极齿 13b 从两个电极齿 23b 之间的中心位置偏向振荡轴 A1，或者置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 13b 之间的电极齿 23b 从两个电极齿 13b 之间的中心位置偏离振荡轴 A1。

[0089] 图 9 是微镜元件 X1 的第二修改实例的平面图。在该修改实例中，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 23a 之间的电极齿 13a 从两个电极齿 23a 之间的中心位置偏离振荡轴 A1，或者置于臂部件 12 的延伸方向上两个相邻电极齿 13a 之间的电极齿 23a 从两个电极齿 13a 之间的中心位置偏向振荡轴 A1。此外，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 23b 之间的电极齿 13b 从两个电极齿 23b 之间的中心位置偏离振荡轴 A1，或者置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 13b 之间的电极齿 23b 从两个电极齿 13b 之间的中心位置偏向振荡轴 A1。

[0090] 第一和第二修改实例的构造有利于在驱动一组梳齿电极 13A、23A 和一组梳齿电极 13B、23B 中的元件期间抑制所谓的拽入现象的发生。如上所述，在驱动该元件期间，在梳齿电极 13A、23A 之间以及在梳齿电极 13B、23B 之间产生静电吸引力。结果，梳齿电极 13A 被引向梳齿电极 23A，并且梳齿电极 13B 被引向梳齿电极 23B。利用梳齿电极 13A、23A 如图 1、3、4 所示设置的微镜元件 X1，在梳齿电极 13A 处于引向梳齿电极 23A 的状态时，在一个电极齿 13a 和在其相对于振荡轴 A1 的外侧与其相邻的电极齿 23a 之间的距离比在该电极齿 13a 和在其相对于振荡轴 A1 的内侧与其相邻的另一个电极齿 23a 之间的距离短或长，这取决于振荡轴 A1 在元件厚度方向 H 上的位置。当前者较后者短时，在电极齿 13a 与外侧电极齿 23a 之间的静电吸引力（第一静电吸引力）趋向于大于在电极齿 13a 与内侧电极齿 23a 之间的静电吸引力（第二静电吸引力）。当第一静电吸引力比第二静电吸引力大预定程度或预定程度以上时，将不适当地吸引电极齿 13a 和外侧电极齿 23a，从而易于发生拽入现象。当第二静电吸引力比第一静电吸引力大预定程度或预定程度以上时，将不适当地吸引电极齿 13a 和内侧电极齿 23a，由此易于发生拽入现象。类似地，使用如图 1 和 4 所示构造的梳齿电极 13B、23B 的微镜元件 X1，会在梳齿电极 13B、23B 中发生拽入现象。拽入现象是不希望的，因为其损坏元件的振荡特性。

[0091] 相反地，在第一和第二修改实例中（其中在振荡部件 10 没有旋转移位时，置于臂部件 12 的延伸方向上的两个相邻电极齿 23a 之间的电极齿 13a 从两个电极 23a 之间的中心位置偏向电极齿 23a 的内侧或外侧），按照振荡轴 A1 在元件厚度方向 H 上的位置适当设置电极齿的偏移量，在振荡部件 10 旋转移位使得梳齿电极 13A 引向梳齿电极 23A、23B 时，能够基本上使得电极齿 13a 和外侧电极齿 23a 之间的距离与电极齿 13a 和内侧电极齿 23a 之间的距离相等。在这种情况下，能够抑制在梳齿电极 13A、23A 中发生拽入现象。同样地，通过第一和第二修改实例的构造，能够抑制在梳齿电极 13B、23B 中发生拽入现象。

[0092] 图 10 是微镜元件 X1 的第三修改实例的平面图。在该修改实例中，在臂部件 12 的延伸方向上的臂部件 12 的尺寸和框架 21 的尺寸增加，并且两个相邻电极齿 13a 之间的距离、两个相邻电极齿 13b 之间的距离、两个相邻电极齿 23a 之间的距离、以及两个相邻电极齿 23b 之间的距离随着与振荡轴 A1 的距离的增加而稳步增加。

[0093] 在振荡部件 10 的振荡操作期间，电极齿 13a、13b 在电极齿间隔方向（臂部件 12 的延伸方向）上的位移量随着与振荡轴 A1 的距离的增加而稳步增加，由此该修改实例的有利之处在于，当在驱动该元件期间振荡部件 10 旋转移位使得梳齿电极 13A、13B 分别被引向梳齿电极 23A 和 23B 时，能够使得电极齿 13a 和 23a 之间的距离都基本上相等，并且能够使得电极齿 13b 和 23b 之间的距离都基本上相等。通过在驱动该元件期间使得电极齿 13a 和 23a 之间的所有距离都基本上相等，在驱动该元件期间能够在整个梳齿电极 13A、23A 上产生均匀的静电吸引力。同样地，通过在驱动该元件期间使得电极齿 13b 和 23b 之间的所有距离都基本上相等，在驱动该元件期间能够在整个梳齿电极 13B 和 23B 上产生均匀的静电吸引力。

[0094] 图 11 是微镜元件 X1 的第四修改实例的平面图。在该修改实例中，梳齿电极 13A、13B 的多个电极齿 13a、13b 的延伸方向以及梳齿电极 23A、23B 的多个电极齿 23a、23b 的延伸方向与臂部件 12 的延伸方向不正交。而是替代为，电极齿 13a、23a 的延伸方向彼此平行，并且电极齿 13b、23b 的延伸方向彼此平行。电极齿 13a、13b、23a、23b 的延伸方向与臂部件 12 的延伸方向形成的锐角例如是 45°。微镜元件 X1 可以设置以这种方式构成的梳齿电极 13A、13B、23A、23B。

[0095] 图 12 是微镜元件 X1 的第五修改实例的平面图。在该修改实例中，电极齿 13a、13b 的两侧面不垂直于臂部件 12 的侧面，并且电极齿 13a、13b 的宽度随着与臂部件 12 的距离的增加而稳步减小。此外，电极齿 23a、23b 的两侧面不垂直于框架 21 的侧面，并且电极齿 23a、23b 的宽度随着与框架 21 的距离的增加而稳步减小。

[0096] 这种构造的有利之处在于，当在驱动该元件期间振荡部件 10 旋转移位使得梳齿电极 13A、13B 分别被引向梳齿电极 23A 和 23B 时，能够防止电极齿 13a、23a 和电极齿 13b、23b 变得过于接近。通过在驱动该元件期间防止电极齿 13a、23a 变得过于接近，在驱动该元件期间能够抑制在梳齿电极 13A、23A 中发生拽入现象。同样地，通过在驱动该元件期间防止电极齿 13b、23b 变得过于接近，在驱动该元件期间能够抑制在梳齿电极 13B、23B 中发生拽入现象。

[0097] 图 13 是微镜元件 X1 的第六修改实例的平面图。在该修改实例中，面向镜支撑部分 11 侧的电极齿 13a、13b 的侧面垂直于臂部件 12 的侧面，电极齿 13a、13b 的另一侧面不垂直于臂部件 12 的侧面，并且电极齿 13a、13b 的宽度随着与臂部件 12 的距离的增加而稳步减小。此外，面向镜支撑部分 11 侧的电极齿 23a、23b 的侧面不垂直于框架 21 的侧面，电极齿 23a、23b 的另一侧面垂直于框架 21 的侧面，并且电极齿 23a、23b 的宽度随着与框架 21 的距离的增加而稳步减小。

[0098] 这种构造的有利之处在于，当在驱动该元件期间振荡部件 10 旋转移位使得梳齿电极 13A、13B 分别被引向梳齿电极 23A 和 23B 时，尤其能够防止电极齿 13a 与它们的外侧的电极齿 23a、以及电极齿 13b 与它们的外侧的电极齿 23b 变得过于接近。

[0099] 图 14 是微镜元件 X1 的第七修改实例的对应于图 1 的 III-III 线的剖视图。在该

修改实例中，在振荡部件 10 不工作时电极齿 13a 的站立方向相对于元件厚度方向 H 倾斜。更具体地，电极齿 13a 这样倾斜，使得其越接近电极齿 23a 就越朝着接近镜支撑部分 11 的方向稳步移动。此外，电极齿 23a 这样倾斜，使得其越接近电极齿 13a 就越朝着远离镜支撑部分 11 的方向稳步移动。在该修改实例中，电极齿 13b、23b 以与电极齿 13a、23a 类似的方式倾斜。

[0100] 在振荡部件 10 不工作的情况下梳齿电极 13A 相对于梳齿电极 23A 的方向不同于在振荡部件 10 旋转移位使得梳齿电极 13A 被引向梳齿电极 23A 的情况下梳齿电极 13A 相对于梳齿电极 23A 的方向。当梳齿电极 13A 和 23A 具有图 1、3、4 所示的构造时，这种方向上的变化相对较大。与此相对照，该修改实例的梳齿电极 13A、23A 包括电极齿 13a 和 23a，它们预先倾斜在一个方向上，即，梳齿电极 13A 被引向梳齿电极 23A 时，梳齿电极 13a 倾斜的方向，由此在工作和不工作期间之间的方向变化相对较小。同样地，该修改实例的梳齿电极 13B 和 23B 包括电极齿 13b 和 23b，它们预先倾斜在一个方向上，即，梳齿电极 13B 被引向梳齿电极 23B 时梳齿电极 13b 倾斜的方向，由此在工作和不工作期间之间的方向变化相对较小。通过以这种方式抑制方向变化，能够在梳齿电极 13A、23A 之间和在梳齿电极 13B 和 23B 之间产生稳定的静电吸引力。

[0101] 图 15 至 18 表示关于本发明第二实施例的微镜元件 X2。图 15 是微镜元件 X2 的平面图，图 16 是微镜元件 X2 的局部平面图，图 17 和 18 分别是沿着图 15 的 XVII-XVII 线和 XVIII-XVIII 线所得的剖视图。

[0102] 微镜元件 X2 包括振荡部件 10、框架 24、扭转接合部件 22 和梳齿电极 23A、23B。微镜元件 X2 与微镜元件 X1 的不同之处在于其包括框架 24 而不是框架 21。此外，利用上述关联于微镜元件 X1 描述的 MEMS 技术，通过加工作为 SOI 衬底的材料衬底来制造微镜元件 X2。材料衬底具有由第一硅层、第二硅层和在这些硅层之间的绝缘层构成的层叠结构，每层硅层都通过杂质掺杂的方式具有预定的导电性。为了有助于理解附图，在图 15 中利用对角线阴影来表示源自第一硅层的、从绝缘层朝向纸面突出的区域。图 16 表示微镜元件 X2 的源自第二硅层的构造。

[0103] 框架 24 主要源自第一和第二硅层，并且采用围绕振荡部件 10 的形式。如图 16 所示，框架 24 的源自第二硅层的区域在结构上被分成第一区域 24a 和第二区域 24b。在该实施例中，第一区域 24a 和第二区域 24b 也被电分离。

[0104] 扭转接合部件 22 由形成在第一硅层上的一对扭杆 22a 构成。扭杆 22a 连接到振荡部件 10 的臂部件 12 以及框架 24 的源自第一硅层的区域，由此连接这些组件。此外，如图 17 所示，扭杆 22a 在元件厚度方向 H 上薄于臂部件 12 和框架 24^* 的源自第一硅层的区域。

[0105] 梳齿电极 23A 是用于与振荡部件 10 的梳齿电极 13A 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 23a 构成，所述多个电极齿 23a 分别在臂部件 12 的延伸方向上从框架 24 间隔地延伸。电极齿 23a 主要在第二硅层上产生，并且如图 16 所示，其固定于框架 24 的第一区域 24a。梳齿电极 23A 与梳齿电极 13A 一起构成驱动机构。

[0106] 梳齿电极 23B 是用于与梳齿电极 13B 配合产生静电吸引力的区域 (site)，并且由从框架 24 延伸的多个电极齿 23b 构成。电极齿 23b 主要在第二硅层上产生，并且如图 16 所示固定于框架 24 的第二区域 24b。框架 24 的第二区域 24b 在结构上和电性上都与第一区

域 24a 分离，因此梳齿电极 23B 及其电极齿 23b 与固定于第一区域 24a 的梳齿电极 23A 及其电极齿 23a 电分离。梳齿电极 23B 与梳齿电极 13B 一起构成驱动机构。

[0107] 微镜元件 X2 中的振荡部件 10 的构造、扭转接合部件 22 的其余构造以及梳齿电极 23A、23B 的其余构造与上述关联于第一实施例的振荡部件 10、扭转接合部件 22 以及梳齿电极 23A、23B 描述的那些构造相同。

[0108] 在微镜元件 X2 中，通过依据需要向梳齿电极 13A、13B、23A、23B 施加预定电势，振荡部件 10 和镜支撑部分 11 能够绕着振荡轴 A1 旋转移位。可以经框架 24 的源自第一硅层的区域、两个扭杆 22a 和臂部件 12 将电势施加到梳齿电极 13A、13B。例如将梳齿电极 13A、13B 接地。同时，可经框架 24 的第一区域 24a 和第二区域 24b 将电势施加到梳齿电极 23A、23B。可通过调节施加到梳齿电极 13A、13B、23A、23B 的电势来调节振荡操作期间发生的旋转位移量。通过以这种方式驱动振荡部件 10 和镜支撑部分 11 倾斜，能够随意切换在设置在镜支撑部分 11 上的镜表面 11a 上反射的光的反射方向。

[0109] 在微镜元件 X2 中，通过使得施加到梳齿电极 23A 的电势与施加到梳齿电极 23B 的电势不同，能够使得梳齿电极 13A 和 23A 之间产生的静电吸引力不同于梳齿电极 13B 和 23B 之间产生的静电吸引力。结果，能够控制振荡部件 10 和镜支撑部分 11 的除了绕着旋转轴 A1 的旋转位移之外的旋转位移量。例如，可调节振荡部件 10 和镜支撑部分 11 绕着与旋转轴 A1 相交的轴（例如图 8 所示的轴 A1'）的旋转位移量。由此，通过微镜元件 X2，能够这样控制振荡部件 10 和镜支撑部分 11 的姿势，使得镜表面 11a 总是平行于旋转轴 A1。这种姿势调节结构有利于实现高精度的光反射功能。

[0110] 此外，在微镜元件 X2 中，构成一组梳齿电极 13A、23A 的电极齿 13a、23a 的数目和构成一组梳齿电极 13B、23B 的电极齿 13b、23b 的数目不受镜支撑部分 11 在与臂部件 12 的延伸方向正交的振荡轴 A1 的延伸方向上的长度的限制。因此通过微镜元件 X2，能够通过提供所需数目个电极齿 13a、13b、23a、23b，确保使电极齿 13a、23a 相互面对的足够表面积以及使电极齿 13b、23b 相互面对的足够表面积，而无需考虑镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸。以这种方式，与上述微镜元件 X1 类似，通过提供所需数目个电极齿 13a、13b、23a、23b，而无需考虑镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸，在保持足够的用于驱动振荡部件 10 的振荡操作的驱动力的同时可减少镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸以及由此减少整个元件在振荡轴 A1 方向上的的设计尺寸，从而微镜元件 X2 适用于实现微型化。

[0111] 图 19 至 23 表示按照本发明第三实施例的微镜元件 X3。图 19 是微镜元件 X3 的平面图，图 20 是微镜元件 X3 的局部平面图，图 21 至 23 是分别沿着图 19 的 XXI-XXI 线、XXII-XXII 线以及 XXIII-XXIII 线所得的剖视图。

[0112] 微镜元件 X3 包括振荡部件 10'、框架 25、扭转接合部件 22 和梳齿电极 23A、23B。微镜元件 X3 与微镜元件 X1 的不同之处在于其包括振荡部件 10' 而不是振荡部件 10，并且其包括框架 25 而不是框架 21。此外，利用上述关联于微镜元件 X1 描述的 MEMS 技术，通过加工作为 SOI 衬底的材料衬底来制造微镜元件 X3。材料衬底具有由第一硅层、第二硅层和在这些硅层之间的绝缘层构成的层叠结构，每层硅层都通过杂质掺杂的方式具有预定的导电性。为了有助于理解附图，在图 19 中利用对角线阴影来表示源自第一硅层的、从绝缘层朝向纸面突出的区域。图 20 表示微镜元件 X3 的源自第二硅层的构造。

[0113] 振荡部件 10’包括镜支撑部分 11、臂部件 14 和 15、以及梳齿电极 13A 和 13B，因此其与振荡部件 10 的不同之处在于包括臂部件 14 和 15 而不是臂部件 12。

[0114] 臂部件 14 包括主要在第一硅层上形成的主部分 14a 以及主要在第二硅层上形成的基础部分 14b，并且从镜支撑部分 11 延伸。臂部件 14 的主部分 14a 经基础部分 14b 连接到镜支撑部分 11。

[0115] 臂部件 15 主要在第一硅层上产生，并且在与臂部件 14 相同的方向上从镜支撑部分 11 延伸。此外，臂部件 15 在结构上与臂部件 14 分离。在该实施例中，臂部件 15 还与臂部件 14 的主部分 14a 电分离。臂部件 15 与臂部件 14 所隔开的距离例如在 15 和 50μm 之间。

[0116] 梳齿电极 13A 由多个电极齿 13a 构成。多个电极齿 13a 分别在臂部件 14 的延伸方向上从臂部件 14 的主部分 14a 彼此间隔地延伸。梳齿电极 13B 由多个电极齿 13b 构成。多个电极齿 13b 在臂部件 15 的延伸方向上从臂部件 15 的与电极齿 13a 的相反侧彼此间隔地延伸。电极齿 13a、13b 主要在第一硅层上产生。在该实施例中，如图 19 所示，电极齿 13a 的延伸方向正交于臂部件 14 的延伸方向，并且电极齿 13b 的延伸方向正交于臂部件 15 的延伸方向。由于臂部件 14 的主部分 14a 与臂部件 15 电分离，固定于主部分 14a 的梳齿电极 13A 及其电极齿 13a 与固定于臂部件 15 的梳齿电极 13B 及其电极齿 13b 电分离。

[0117] 振荡部件 10’的镜支撑部分 11 的构造以及梳齿电极 13A、13B 的其余构造与上述关联于第一实施例的镜支撑部分 11 以及梳齿电极 13A、13B 描述的那些构造相同。

[0118] 框架 25 主要在第一和第二硅层上产生，并且采用围绕振荡部件 10’的形式。如图 19 和 23 所示，框架 25 的源自第一硅层的区域在结构上被分成第一区域 25a 和第二区域 25b。在该实施例中，第一区域 25a 和第二区域 25b 也电分离。

[0119] 扭转接合部件 22 由形成在第一硅层上的一对扭杆 22a 构成。这对扭杆 22a 的其中之一连接到振荡部件 10’的臂部件 14 的主部分 14a 以及框架 25 的第一区域 25a，由此连接这些组件；通过该扭杆 22a，第一区域 25a 和主部分 14a 电连接。此外，如图 21 所示，该扭杆 22a 在元件厚度方向 H 上薄于主部分 14a 和第一区域 25a。另一扭杆 22a 连接到振荡部件 10’的臂部件 15 以及框架 25 的第二区域 25b，由此连接这些组件；通过该扭杆 22a，第二区域 25b 和臂部件 15 电连接。此外，该扭杆 22a 在元件厚度方向 H 上薄于臂部件 15 和第二区域 25b。

[0120] 梳齿电极 23A 是用于与振荡部件 10’的梳齿电极 13A 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 23a 构成。所述多个电极齿 23a 分别在臂部件 14 的延伸方向上从框架 25 彼此间隔地延伸。电极齿 23a 主要在第二硅层上产生，并且固定于框架 25 的源自第二硅层的区域，如图 20 所示。梳齿电极 23A 与梳齿电极 13A 一起构成驱动机构。

[0121] 梳齿电极 23B 是用于与梳齿电极 13B 配合产生静电吸引力的区域 (site)，并且由多个电极齿 23b 构成。所述多个电极齿 23b 分别在臂部件 15 的延伸方向上从框架 25 彼此间隔地延伸。电极齿 23b 主要在第二硅层上产生，并且固定于框架 25 的源自第二硅层的区域，如图 20 所示。梳齿电极 23B 经框架 25 的源自第二硅层的区域电连接到梳齿电极 23A。梳齿电极 23B 与梳齿电极 13B 一起构成驱动机构。

[0122] 微镜元件 X3 中的扭转接合部件 22 的其余构造以及梳齿电极 23A、23B 的其余构造与上述关联于第一实施例的扭转接合部件 22 以及梳齿电极 23A、23B 描述的那些构造相同。

[0123] 在微镜元件 X3 中，通过依据需要向梳齿电极 13A、13B、23A、23B 施加预定电势，振荡部件 10’和镜支撑部分 11 能够绕着振荡轴 A1 旋转移位。可以经框架 25 的第一区域 25a、扭杆 22a 其中之一和臂部件 14 的主部分 14a 将电势施加到梳齿电极 13A。可以经框架 25 的第二区域 25b、另一扭杆 22a 以及臂部件 15 将电势施加到梳齿电极 13B。可以经框架 25 的源自第二硅层的区域将电势施加到梳齿电极 23A、23B。例如将梳齿电极 23A、23B 接地。框架 25 的源自第二硅层的区域以及框架 25 的源自第一硅层的区域（第一区域 25a 以及第二区域 25b）被绝缘层电分离。可通过调节施加到梳齿电极 13A、13B、23A、23B 的电势来调节振荡操作期间发生的旋转位移量。通过以这种方式驱动振荡部件 10’和镜支撑部分 11 倾斜，能够随意切换在设置在镜支撑部分 11 上的镜表面 11a 上反射的光的反射方向。

[0124] 在微镜元件 X3 中，通过使得施加到梳齿电极 13A 的电势与施加到梳齿电极 13B 的电势不同，能够使得梳齿电极 13A 和 23A 之间产生的静电吸引力不同于梳齿电极 13B 和 23B 之间产生的静电吸引力。结果，能够控制振荡部件 10’和镜支撑部分 11 的除了绕着旋转轴 A1 的旋转位移之外的旋转位移量。例如，可调节振荡部件 10’和镜支撑部分 11 绕着与旋转轴 A1 相交的轴（例如图 22 所示的轴 A1’）的旋转位移量。由此，通过微镜元件 X3，能够这样控制振荡部件 10’和镜支撑部分 11 的姿势，使得镜表面 11a 总是平行于旋转轴 A1。这种姿势调节结构有利于实现高精度的光反射功能。

[0125] 此外，与上述微镜元件 X1 类似，通过提供所需数目个电极齿 13a、13b、23a、23b，而无需考虑镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸，在保持足够的用于驱动振荡部件 10’的振荡操作的驱动力的同时可减少镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸以及由此减少整个元件在振荡轴 A1 方向上的的设计尺寸，从而微镜元件 X3 适用于实现微型化。

[0126] 图 24 和 25 表示按照本发明第四实施例的微镜元件 X4。图 24 是微镜元件 X4 的平面图，图 25 是沿着图 24 的 XXV-XXV 线所得的剖视图。

[0127] 微镜元件 X4 包括振荡部件 30、框架 41、扭转接合部件 42 和梳齿电极 43A、43B、44A、44B。此外，利用上述关联于微镜元件 X1 描述的 MEMS 技术，通过加工作为 SOI 衬底的材料衬底来制造微镜元件 X4。材料衬底具有由第一硅层、第二硅层和在这些硅层之间的绝缘层构成的层叠结构，每层硅层都通过杂质掺杂的方式具有预定的导电性。为了有助于理解附图，在图 24 中利用对角线阴影来表示源自第一硅层的、从绝缘层朝向纸面突出的区域。

[0128] 振荡部件 30 包括镜支撑部分 31、臂部件 32、33 以及梳齿电极 34A、34B、35A、35B。

[0129] 镜支撑部分 31 主要在第一硅层上产生，并且在其表面上设置具有光反射功能的镜表面 31a。镜支撑部分 31 和镜表面 31a 构成本发明的可移动操作部件。

[0130] 臂部件 32 主要在第一硅层上产生，并且从镜支撑部分 31 延伸。臂部件 33 主要在第一硅层上产生，并且从镜支撑部分 31 的与臂部件 32 的相反侧延伸。臂部件 32 的延伸方向与臂部件 33 的延伸方向一致。

[0131] 梳齿电极 34A 由多个电极齿 34a 构成。多个电极齿 34a 分别在臂部件 32 的延伸方向上从臂部件 32 彼此间隔地延伸。梳齿电极 34B 由多个电极齿 34b 构成。多个电极齿 34b 分别在臂部件 32 的延伸方向上从臂部件 32 的与电极齿 34a 的相反侧彼此间隔地延伸。电极齿 34a、34b 主要在第一硅层上产生。在该实施例中，如图 24 所示，电极齿 34a、34b 的延伸方向正交于臂部件 32 的延伸方向。梳齿电极 34A 及其电极齿 34a 经臂部件 32 电连接于梳齿电极 34B 及其电极齿 34b。

[0132] 梳齿电极 35A 由多个电极齿 35a 构成。多个电极齿 35a 分别在臂部件 33 的延伸方向上从臂部件 33 彼此间隔地延伸。梳齿电极 35B 由多个电极齿 35b 构成。多个电极齿 35b 分别在臂部件 33 的延伸方向上从臂部件 33 的与电极齿 35a 的相反侧彼此间隔地延伸。电极齿 35a、35b 主要在第一硅层上产生。在该实施例中，如图 24 所示，电极齿 35a、35b 的延伸方向正交于臂部件 33 的延伸方向。梳齿电极 35A 及其电极齿 35a 经臂部件 33 电连接于梳齿电极 35B 及其电极齿 35b。梳齿电极 35A、35B 也经镜支撑部分 31 电连接于梳齿电极 34A、34B。

[0133] 框架 41 主要在第一和第二硅层上产生，并且采取围绕振荡部件 30 的形式。此外，框架 41 具有能够支撑框架 41 内的结构的预定机械强度。

[0134] 扭转接合部件 42 由一对扭杆 42a 构成。扭杆 42a 主要在第一硅层上产生，并且连接于振荡部件 30 的镜支撑部分 31 和框架 41 的源自第一硅层的区域，由此连接这些组件。框架 41 的源自第一硅层的区域和镜支撑部分 31 通过扭杆 42a 电连接。此外，如图 25 所示，扭杆 42a 在元件厚度方向 H 上薄于镜支撑部分 31 和框架 41 的源自第一硅层的区域。由一对扭杆 42a 构成的扭转接合部件 42 限定振荡部件 30 和镜支撑部分 31 的振荡操作的振荡轴 A4。振荡轴 A4 正交于图 24 的箭头所示的方向 D，或者换句话说，正交于臂部件 32、33 的延伸方向。相应地，在与臂部件 32 的延伸方向正交的方向上从臂部件 32 延伸的上述电极齿 34a、34b 的延伸方向平行于振荡轴 A4，并且在于臂部件 33 的延伸方向正交的方向上从臂部件 33 延伸的上述电极齿 35a、35b 的延伸方向平行于振荡轴 A4。振荡轴 A4 优选地穿过或者接近于振荡部件 30 的重心。

[0135] 梳齿电极 43A 是用于与梳齿电极 34A 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 43a 构成。多个电极齿 43a 分别在臂部件 32 的延伸方向上从框架 41 间隔地延伸。电极齿 43a 主要在第二硅层上产生，并且固定于框架 41 的源自第二硅层的区域。在该实施例中，如图 24 所示，电极齿 43a 的延伸方向正交于臂部件 32 的延伸方向，并且电极齿 43a 的延伸方向平行于振荡轴 A4。

[0136] 梳齿电极 43A 与梳齿电极 34A 一起构成驱动机构。如图 25 所示，梳齿电极 34A、43A 例如在振荡部件 30 不工作时位于彼此不同的高度上。此外，电极齿 34a、43a 彼此偏离，使得梳齿电极 34A、43A 在振荡部件 30 的振荡操作期间互相不接触。

[0137] 梳齿电极 43B 是用于与梳齿电极 34B 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 43b 构成。多个电极齿 43b 分别在臂部件 32 的延伸方向上从框架 41 间隔地延伸。电极齿 43b 主要在第二硅层上产生，并且固定于框架 41 的源自第二硅层的区域。梳齿电极 43B 及其电极齿 43b 经框架 41 的源自第二硅层的区域的一部分电连接于梳齿电极 43A 及其电极齿 43a。在该实施例中，如图 24 所示，电极齿 43b 的延伸方向正交于臂部件 32 的延伸方向，并且电极齿 43b 的延伸方向平行于振荡轴 A4。

[0138] 梳齿电极 43B 与梳齿电极 34B 一起构成驱动机构。梳齿电极 34B、43B 例如在振荡部件 30 不工作时位于彼此不同的高度上。此外，电极齿 34b、43b 彼此偏离，使得梳齿电极 34B、43B 在振荡部件 30 的振荡操作期间互相不接触。

[0139] 梳齿电极 44A 是用于与梳齿电极 35A 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 44a 构成。多个电极齿 44a 分别在臂部件 33 的延伸方向上从框架 41 间隔地延伸。电极齿 44a 主要在第二硅层上产生，并且固定于框架 41 的源自第二硅层的区域。在该实施例

中，电极齿 44a 在框架 41 的源自第二硅层的区域中的固定位置与前述电极齿 43a、43b 在框架 41 的源自第二硅层的区域中的固定位置电分离。因而，梳齿电极 44A 及其电极齿 44a 与梳齿电极 43A、43B 及其电极齿 43a、43b 电分离。同样在该实施例中，如图 24 所示，电极齿 44a 的延伸方向正交于臂部件 33 的延伸方向，并且电极齿 44a 的延伸方向平行于振荡轴 A4。

[0140] 该梳齿电极 44A 与梳齿电极 35A 一起构成驱动机构。如图 25 所示，梳齿电极 35A、44A 例如在振荡部件 30 不工作时位于彼此不同的高度上。此外，电极齿 35a、44a 彼此偏离，使得梳齿电极 35A、44A 在振荡部件 30 的振荡操作期间互相不接触。

[0141] 梳齿电极 44B 是用于与梳齿电极 35B 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 44b 构成。多个电极齿 44b 分别在臂部件 33 的延伸方向上从框架 41 间隔地延伸。电极齿 44b 主要在第二硅层上产生，并且固定于框架 41 的源自第二硅层的区域的一部分。在该实施例中，电极齿 44b 在框架 41 的源自第二硅层的区域中的固定位置与前述电极齿 43a、43b 在框架 41 的源自第二硅层的区域中的固定位置电分离。因而，梳齿电极 44B 及其电极齿 44b 与梳齿电极 43A、43B 及其电极齿 43a、43b 电分离。另一方面，梳齿电极 44B 及其电极齿 44b 经框架 41 的源自第二硅层的区域的一部分电连接于梳齿电极 44A 及其电极齿 44a。同样在该实施例中，如图 24 所示，电极齿 44b 的延伸方向正交于臂部件 33 的延伸方向，并且电极齿 44b 的延伸方向平行于振荡轴 A4。

[0142] 该梳齿电极 44B 与梳齿电极 35B 一起构成驱动机构。梳齿电极 35B、44B 例如在振荡部件 30 不工作时位于彼此不同的高度上。此外，电极齿 35b、44b 彼此偏离，使得梳齿电极 35B、44B 在振荡部件 30 的振荡操作期间互相不接触。

[0143] 在微镜元件 X4 中，通过依据需要向梳齿电极 34A、34B、35A、35B、43A、43B、44A、44B 施加预定电势，振荡部件 30 和镜支撑部分 31 能够绕着振荡轴 A4 旋转移位。可以经框架 41 的源自第一硅层的区域、两个扭杆 42a、镜支撑部分 31 以及臂部件 32、33 将电势施加到梳齿电极 34A、34B、35A、35B。例如将梳齿电极 34A、34B、35A、35B 接地。同时，可以经框架 41 的源自第二硅层的区域的一部分将电势施加到梳齿电极 43A、43B。可经框架 41 的源自第二硅层的区域的另一部分将电势施加到梳齿电极 44A、44B。可通过调节施加到梳齿电极 34A、34B、35A、35B、43A、43B、44A、44B 的电势来调节振荡操作期间发生的旋转位移量。通过以这种方式驱动振荡部件 30 和镜支撑部分 31 倾斜，能够随意切换在设置在镜支撑部分 31 上的镜表面 31a 上反射的光的反射方向。

[0144] 此外，与上述微镜元件 X1 类似，通过提供所需数目个电极齿 34a、34b、35a、35b、43a、43b、44a 和 44b，而无需考虑镜支撑部分 31 在振荡轴 A4 方向上的设计尺寸，在保持足够的用于驱动振荡部件 30 的振荡操作的驱动力的同时可减少镜支撑部分 31 在振荡轴 A4 方向上的设计尺寸以及由此减少整个元件在振荡轴 A4 方向上的的设计尺寸，从而微镜元件 X4 适用于实现微型化。

[0145] 图 26 至 30 表示按照本发明第五实施例的微镜元件 X5。图 26 是微镜元件 X5 的平面图，图 27 是微镜元件 X5 的局部平面图。图 28 至 30 分别是沿着图 26 的 XXVIII-XXVIII 线、XXIX-XXIX 线、XXX-XXX 线所得的剖视图。

[0146] 微镜元件 X5 包括振荡部件 10、框架 21、扭转接合部件 22、梳齿电极 23A 和 23B、框架 51（局部示出）、臂部件 52 和 53、扭转接合部件 54、以及梳齿电极 55 和 56。此外，利用

上述关联于微镜元件 X1 描述的 MEMS 技术，通过加工作为 SOI 衬底的材料衬底来制造微镜元件 X5。材料衬底具有由第一硅层、第二硅层和在这些硅层之间的绝缘层构成的层叠结构，每层硅层都通过杂质掺杂的方式具有预定的导电性。为了有助于理解附图，在图 26 中利用对角线阴影来表示源自第一硅层的、从绝缘层朝向纸面突出的区域。图 27 表示微镜元件 X5 的源自第二硅层的构造。

[0147] 微镜元件 X5 的振荡部件 10、框架 21、扭转接合部件 22 以及梳齿电极 23A 和 23B 与上述第一实施例中的振荡部件 10、框架 21、扭转接合部件 22 以及梳齿电极 23A 和 23B 类似。

[0148] 框架 51 主要在第一和第二硅层上产生，并且具有用以支撑框架 51 内的结构的预定机械强度。框架 51 的源自第二硅层的区域如图 27 所示。

[0149] 臂部件 52 主要在第一硅层上产生，并且在与振荡部件 10 的振荡轴 A1 正交的方向上从框架 21 延伸。此外，如图 28 所示，臂部件 52 固定于框架 21 的源自第一硅层的区域。臂部件 53 主要在第二硅层上产生，并且在与振荡部件 10 的振荡轴 A1 正交、且与臂部件 52 平行的方向上从框架 51 延伸。此外，如图 27 所示，臂部件 53 固定于框架 51 的源自第二硅层的区域。

[0150] 扭转接合部件 54 由一组扭杆 54a、54b 和扭杆 54c 构成。

[0151] 扭杆 54a 主要在第一硅层上产生，并且连接到框架 21 的源自第一硅层的区域和框架 51 的源自第一硅层的区域，由此连接这些组件。框架 51 的源自第一硅层的区域和框架 21 的源自第一硅层的区域通过扭杆 54a 电连接。此外，如图 28 所示，扭杆 54a 在元件厚度方向 H 上薄于框架 21 的源自第一硅层的区域和框架 51 的源自第一硅层的区域。

[0152] 扭杆 54b 主要在第二硅层上产生，并且连接到框架 21 的源自第二硅层的区域和框架 51 的源自第二硅层的区域，由此连接这些组件。框架 51 的源自第二硅层的区域和框架 21 的源自第二硅层的区域通过扭杆 54b 电连接。在框架 51 的源自第二硅层的区域中，扭杆 54b 的固定位置与前述臂部件 53 的固定位置电分离。此外，如图 28 所示，扭杆 54b 在元件厚度方向 H 上薄于框架 21 的源自第二硅层的区域和框架 51 的源自第二硅层的区域。

[0153] 扭杆 54c 主要在第一硅层上产生，并且连接到框架 51 的源自第一硅层的区域和臂部件 52，由此连接这些组件。框架 51 的源自第一硅层的区域和臂部件 52 通过扭杆 54c 电连接。此外，如图 28 所示，扭杆 54c 在元件厚度方向 H 上薄于框架 51 的源自第一硅层的区域和臂部件 52。

[0154] 扭转接合部件 54（扭杆 54a、54b、54c）限定了框架 21 的振荡操作的振荡轴 A5。振荡轴 A5 的延伸方向正交于振荡轴 A1 的延伸方向。振荡轴 A5 优选地穿过或者接近于振荡部件 10 的重心。

[0155] 梳齿电极 55 由多个电极齿 55a 构成。多个电极齿 55a 分别在臂部件 52 的延伸方向上从臂部件 52 彼此间隔地延伸。电极齿 55a 主要在第一硅层上产生。

[0156] 梳齿电极 56 是用于与梳齿电极 55 配合产生静电吸引力的区域，并且由多个电极齿 56a 构成。多个电极齿 56a 分别在臂部件 53 的延伸方向上从臂部件 53 彼此间隔地延伸。电极齿 56a 主要在第二硅层上产生。

[0157] 梳齿电极 55、56 构成元件的驱动机构。如图 28 和 30 所示，梳齿电极 55、56 例如在框架 21 不工作时位于彼此不同的高度上。此外，电极齿 55a、56a 彼此偏离，使得梳齿电

极 55、56 在框架 21 的振荡操作期间互相不接触。

[0158] 在微镜元件 X5 中，通过依据需要向梳齿电极 13A、13B、23A、23B、55、56 施加预定电势，振荡部件 10 和镜支撑部分 11 能够被驱动为绕着振荡轴 A1 倾斜，而且框架 21 以及随之驱动的振荡部件 10 能够被驱动为绕着振荡轴 A5 倾斜。换句话说，微镜元件 X5 是所谓的双轴振荡元件。

[0159] 可以经由框架 51 的源自第一硅层的区域、扭杆 54a、框架 21 的源自第一硅层的区域、两个扭杆 22a 以及臂部件 12，或者经由框架 51 的源自第一硅层的区域、扭杆 54c、臂部件 52、框架 21 的源自第一硅层的区域、两个扭杆 22a 以及臂部件 12，将电势施加到梳齿电极 13A、13B。可以经由框架 51 的源自第一硅层的区域、扭杆 54a、框架 21 的源自第一硅层的区域以及臂部件 52，或者经由框架 51 的源自第一硅层的区域、扭杆 54c 以及臂部件 52，将电势施加到梳齿电极 55。例如将梳齿电极 13A、13B、55 接地。可以经由框架 51 的源自第二硅层的区域、扭杆 54b 以及框架 21 的源自第二硅层的区域，将电势施加到梳齿电极 23A、23B。可以经由框架 51 的源自第二硅层的区域以及臂部件 53，将电势施加到梳齿电极 56。可通过调节施加到梳齿电极 13A、13B、23A、23B 的电势来调节振荡操作期间绕着振荡轴 A1 的旋转位移量。通过以这种方式驱动振荡部件 10 和镜支撑部分 11、以及框架 21 和随之驱动的振荡部件 10 倾斜，能够随意切换在设置在镜支撑部分 11 上的镜表面 11a 上反射的光的反射方向。

[0160] 此外，与上述微镜元件 X1 类似，通过提供所需数目个电极齿 13a、13b、23a、23b、55a、56a，而无需考虑镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸，在保持足够的用于驱动振荡部件 10 的振荡操作的驱动力的同时可减少镜支撑部分 11 在振荡轴 A1 方向上的设计尺寸以及由此减少整个元件在振荡轴 A1 方向上的的设计尺寸，从而微镜元件 X5 适用于实现微型化。

[0161] 图 31 表示包括多个微镜元件 X5 的微镜阵列 Y。为了有助于理解附图，在图 31 中，利用对角线阴影示出振荡部件 10、框架 21 和 51、臂部件 52 以及梳齿电极 55。在微镜阵列 Y 中，多个微镜元件 X5 连续排列在旋转轴 A1 的方向上。由此在微镜阵列 Y 中，多个镜表面 11a 连续排列在旋转轴 A1 的方向上。如上所述，通过在获得足够的驱动力的同时可以减小整个元件在旋转轴 A1 方向上的尺寸，每个微镜元件 X5 都适用于实现微型化。因此，按照微镜阵列 Y，多个镜表面 11a 可以以很窄的间距排列。换句话说，使用微镜阵列 Y，多个镜表面 11a 可以高密度地设置在振荡轴 A1 的方向上。此外，在每个微镜元件 X5 中，镜支撑部分 11 和扭杆 22a（扭转接合部件 22）在旋转轴 A1 的方向上互相重叠。这种构造有利于在振荡轴 A1 的方向上实现高密度的镜表面 11a。

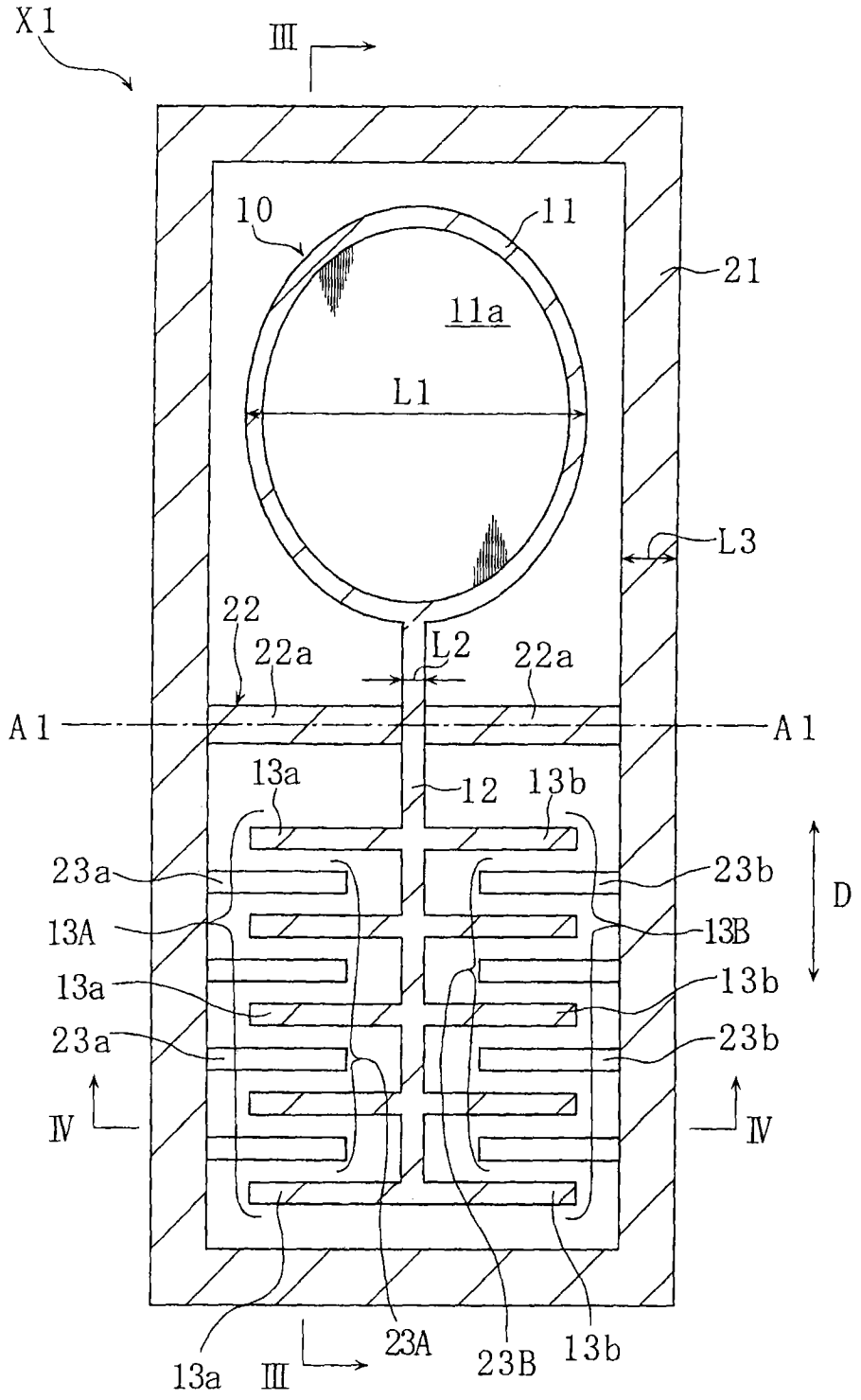

X1
Ⅲ
10
11
21
11a
L1
L3
22
22a
L2
22a
A1
A1
13a
12
13b
23a
23b
D
13A
13B
13a
13b
23a
23b
Ⅳ
Ⅳ
13a
Ⅲ
23A
23B
13b

图 1

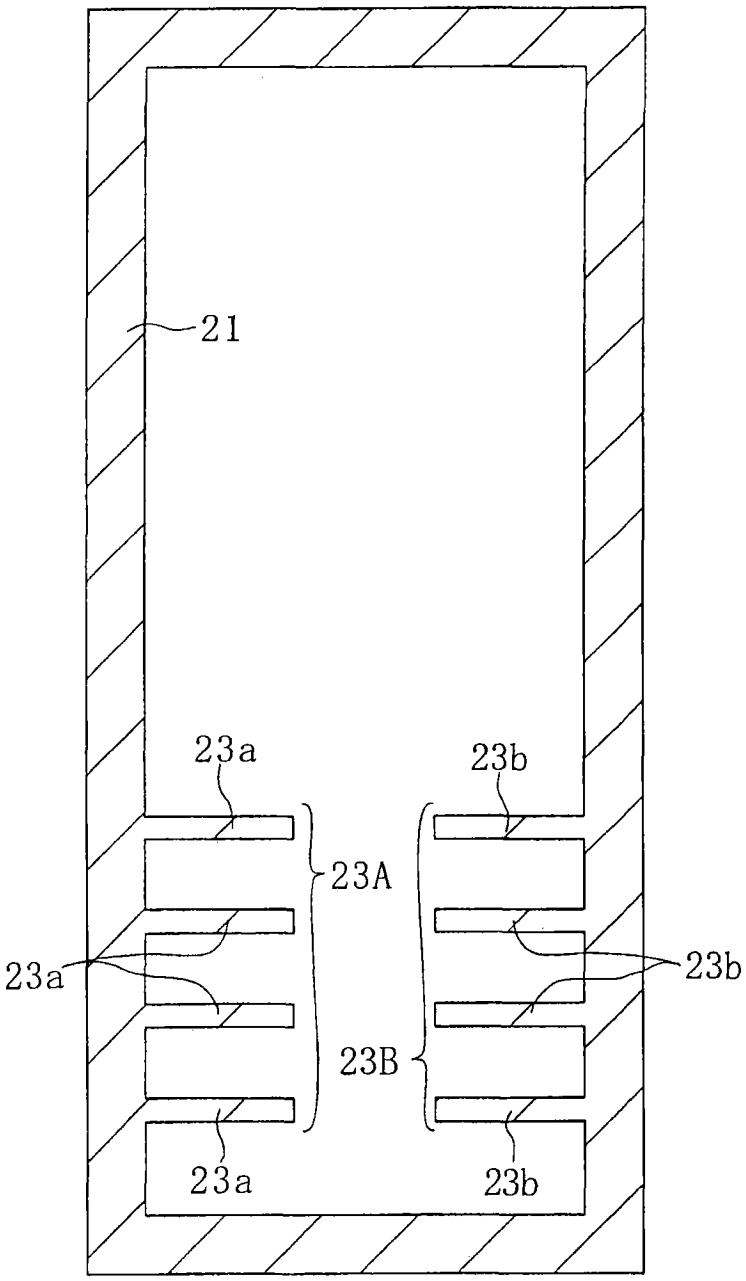


图 2

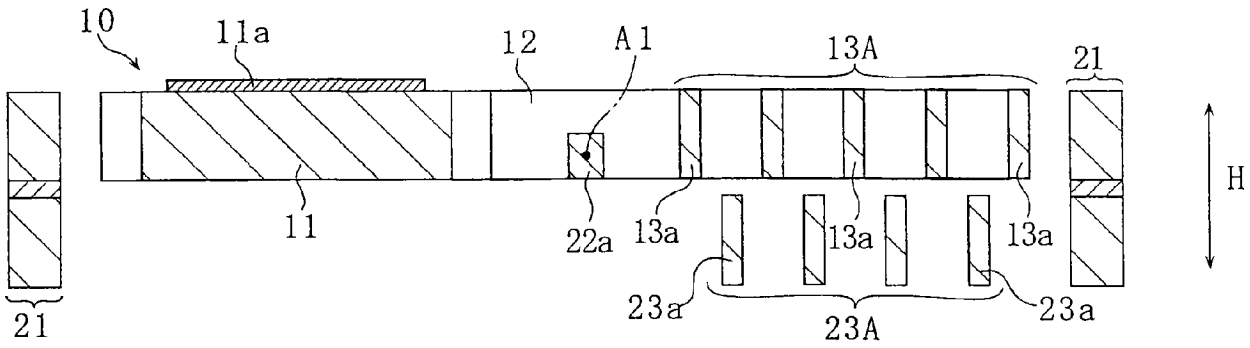

10
11a
12
A1
13A
21
H
11
22a
13a
13a
13a
23a
23A
23a
21

图 3

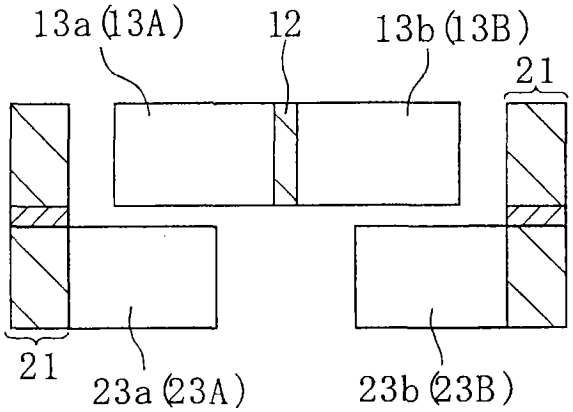

13a(13A)
12
13b(13B)
21
21
23a(23A)
23b(23B)

图 4

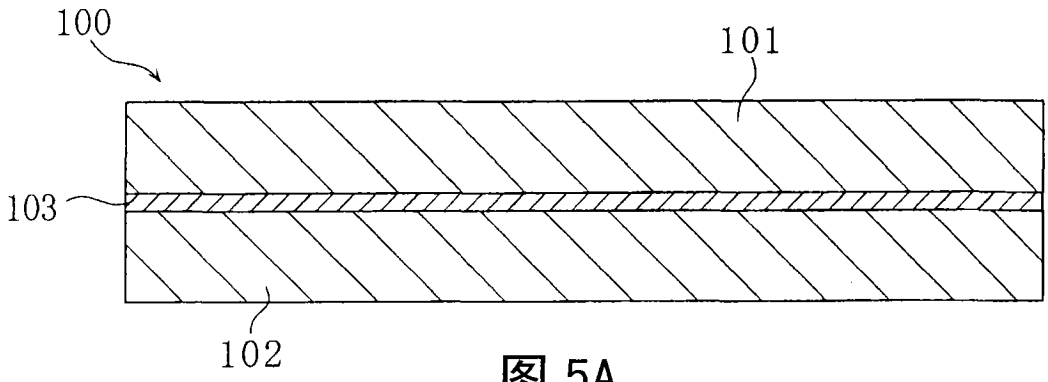


图 5A

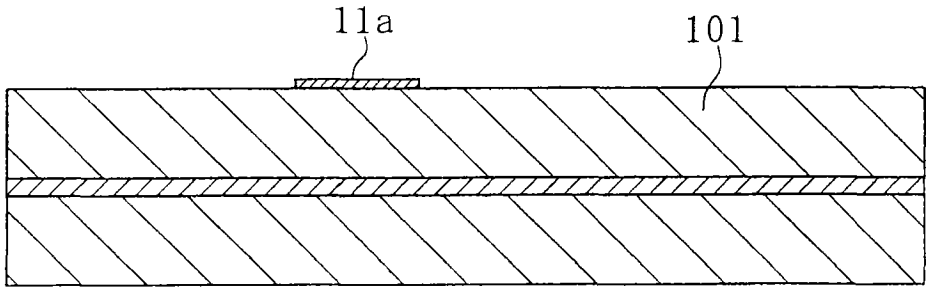


图 5B

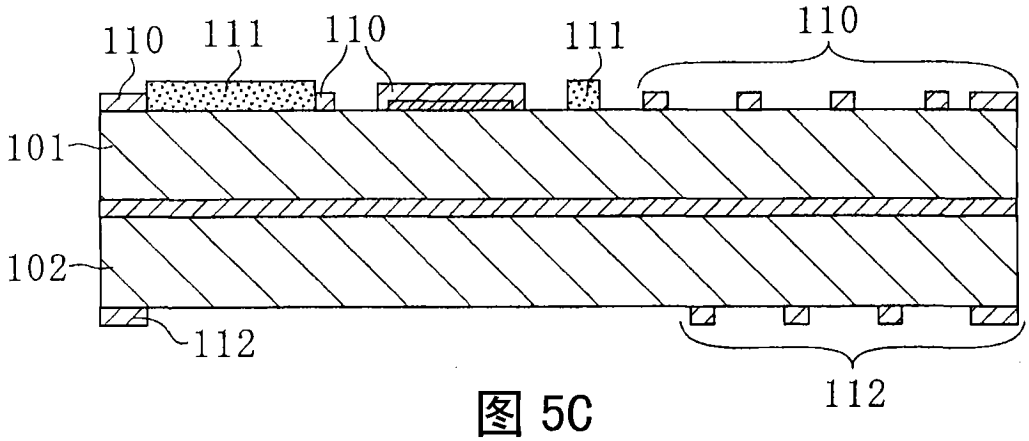


图 5C

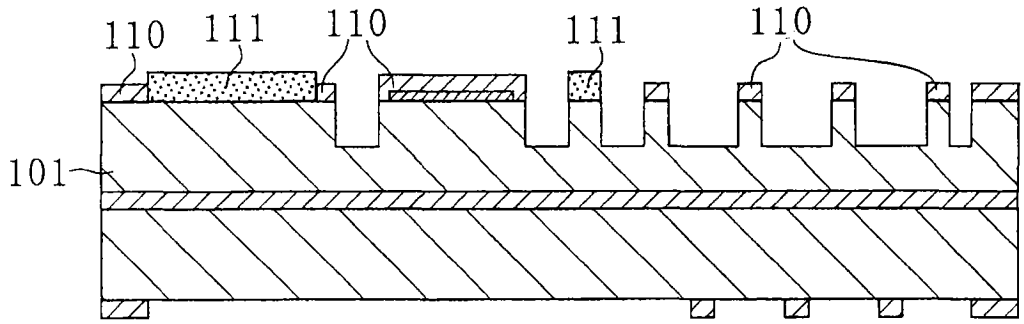


图 5D

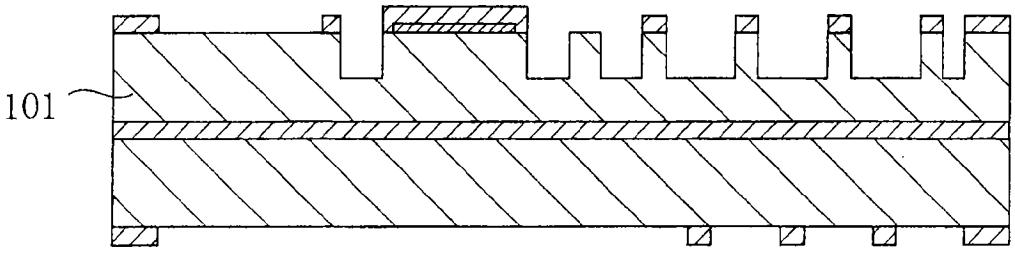


图 6A

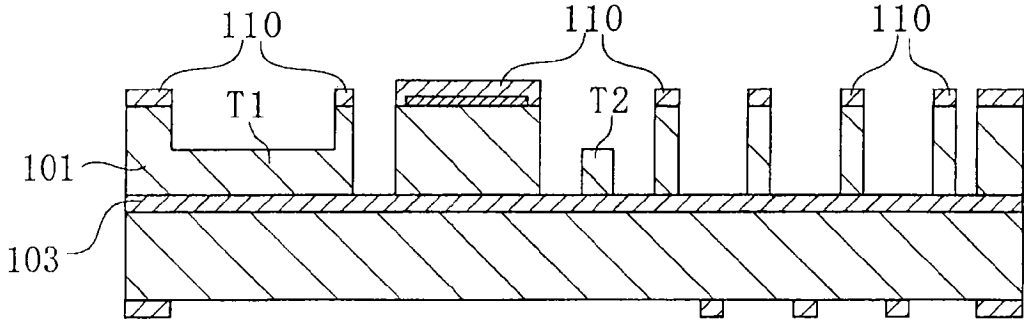


图 6B

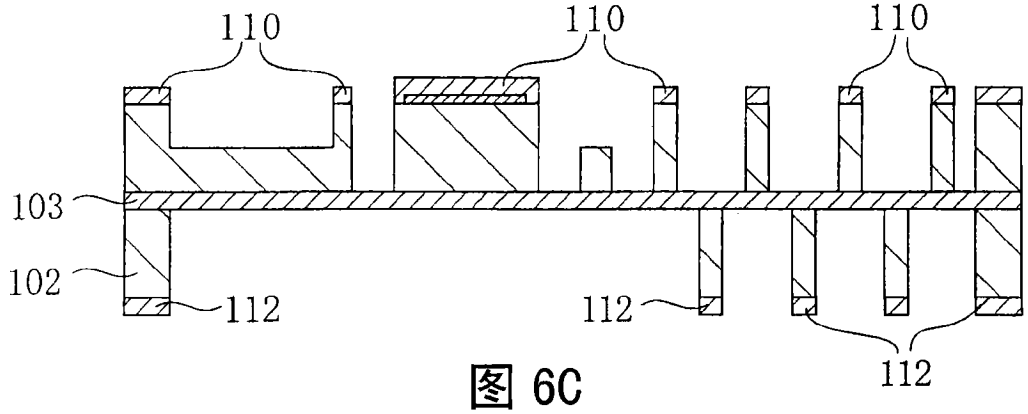


图 6C

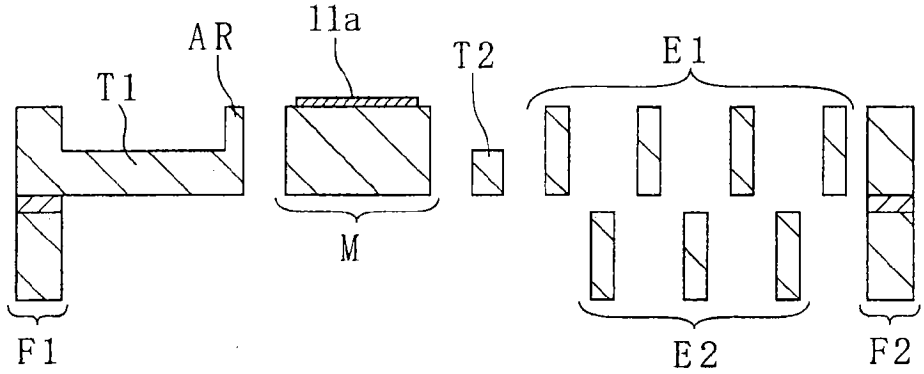


图 6D

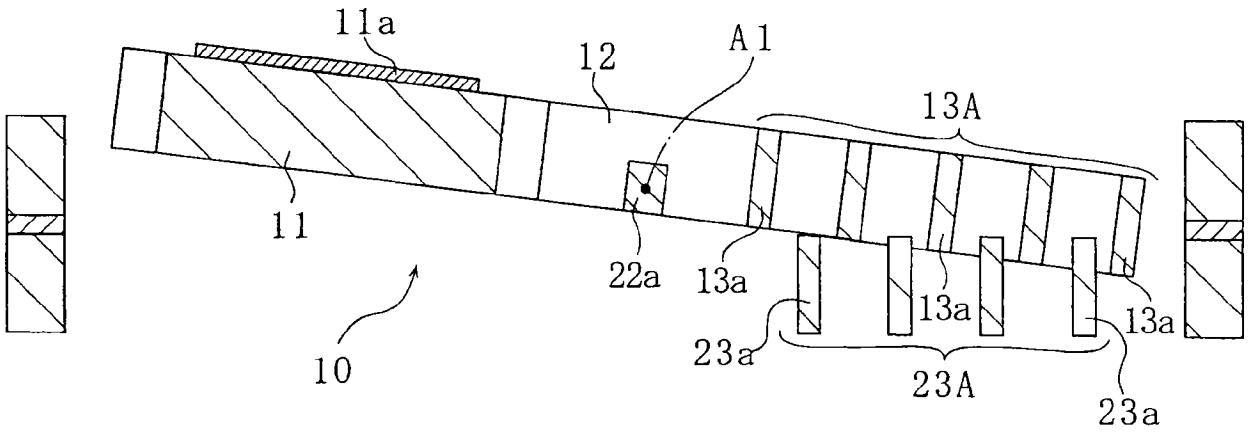


图 7

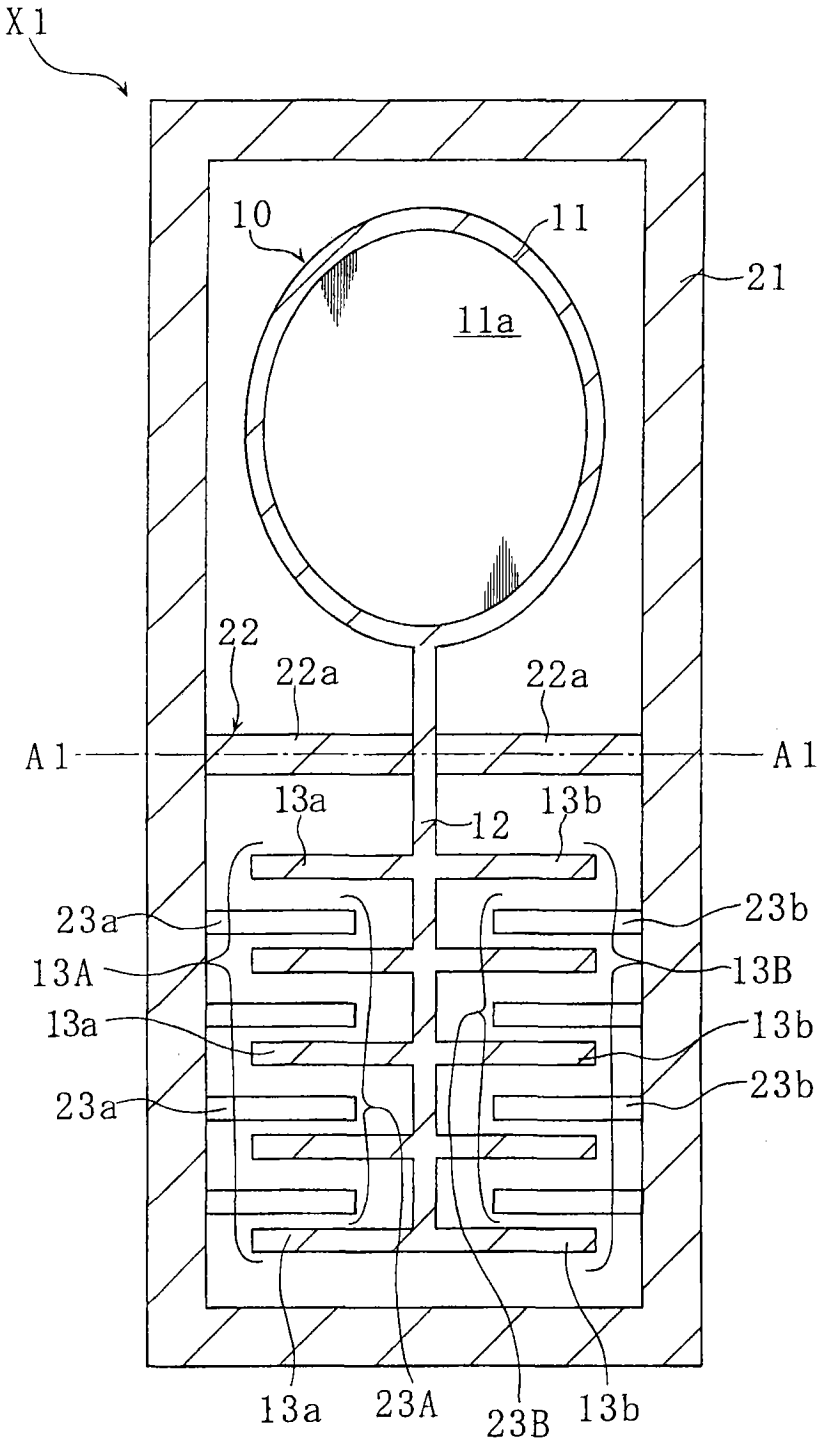

X1
10
11
11a
21
22
22a
22a
A1
A1
13a
12
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
13a
23A
23B
13b

图 8

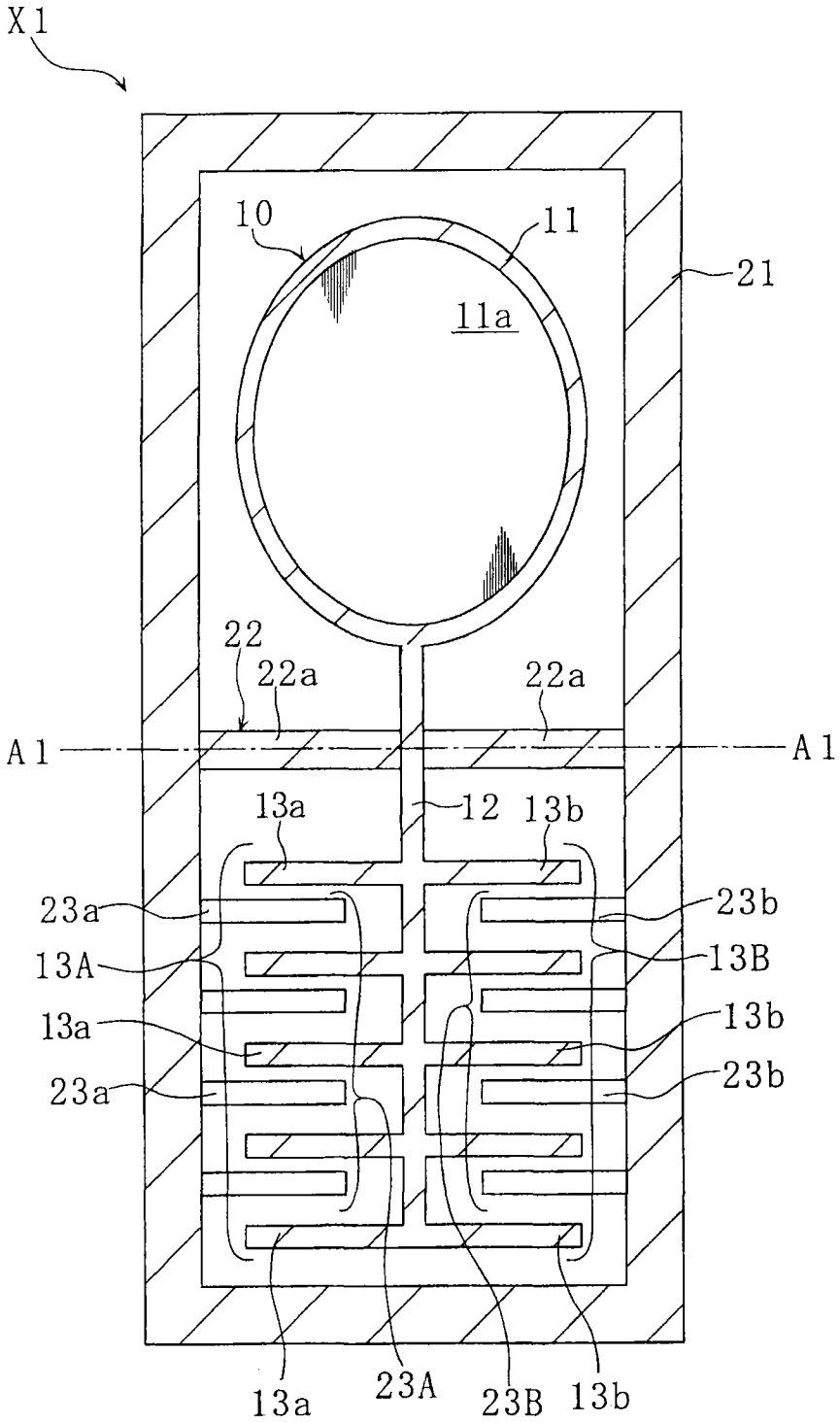

X1
10
11
11a
21
22
22a
22a
A1
A1
13a
12
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
13a
23A
23B
13b

图 9

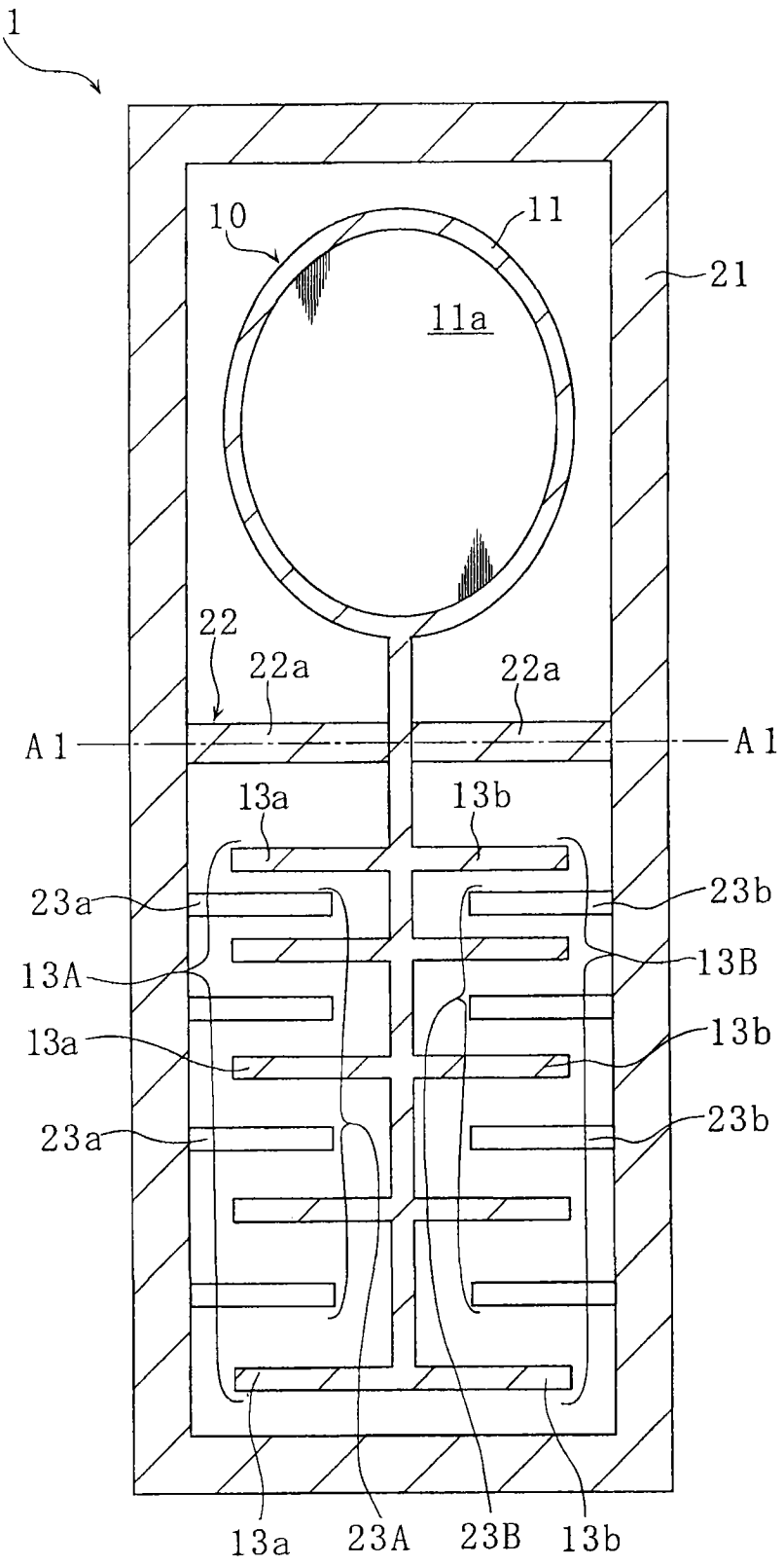

X1
10
11
11a
21
22
22a
22a
A1
A1
13a
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
13a
23A
23B
13b

图 10

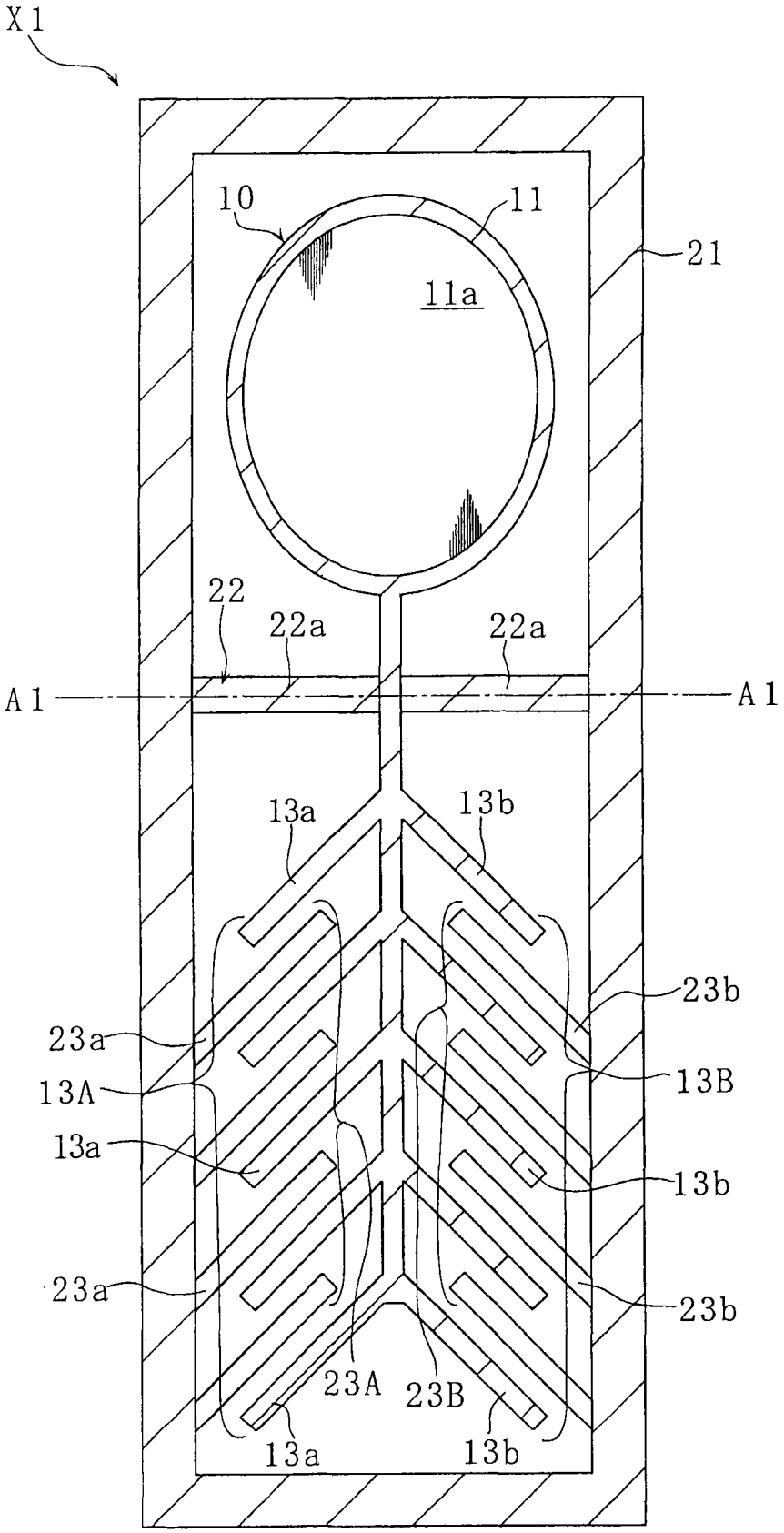

X1
10
11
21
11a
22
22a
22a
A1
A1
13a
13b
23b
23a
13A
13B
13a
13b
23a
23b
23A
23B
13a
13b

图 11

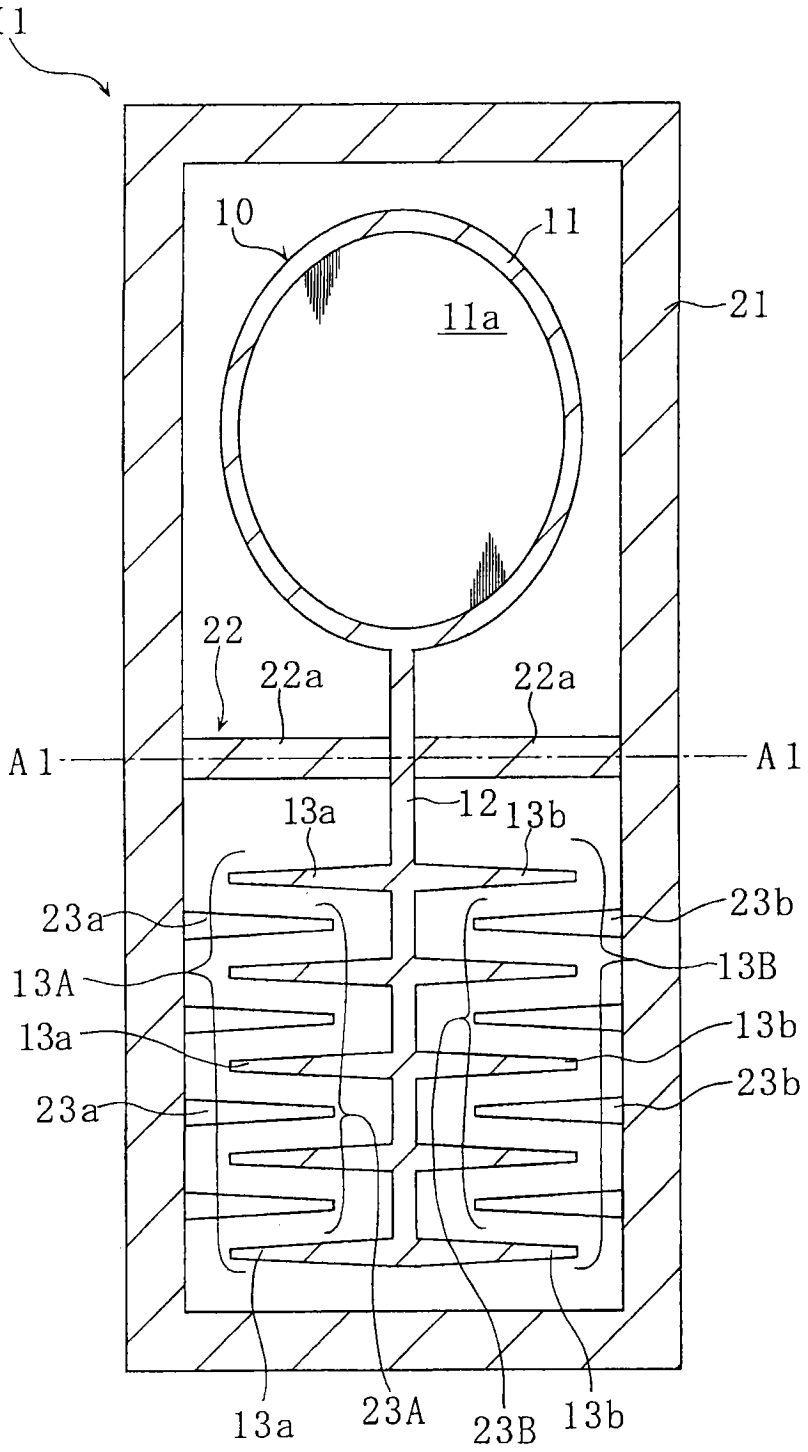

X1
10
11
11a
21
22
22a
22a
A1
A1
13a
12
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
13a
23A
23B
13b

图 12

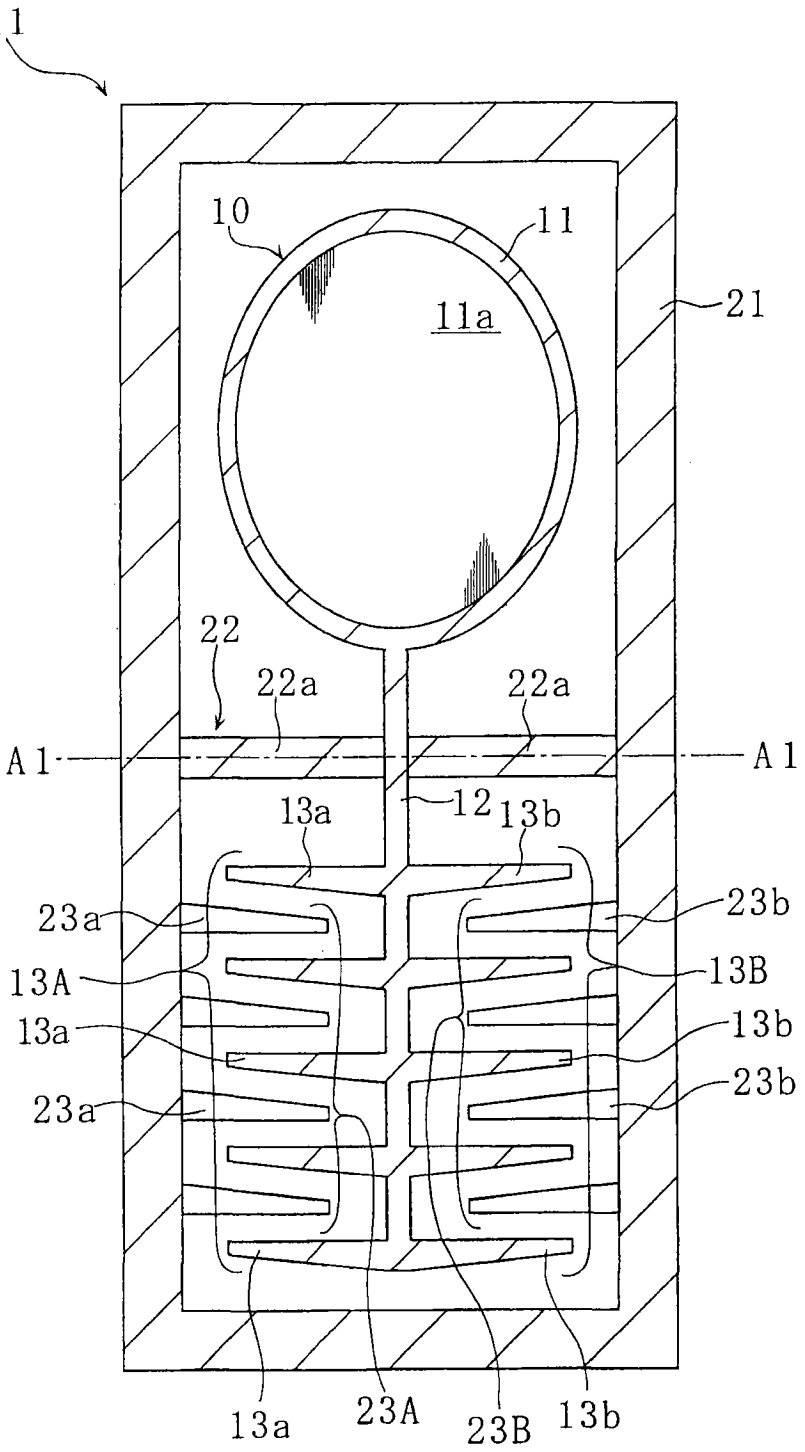

X1
10
11
11a
21
22
22a
22a
A1
A1
13a
12
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
13a
23A
23B
13b

图 13

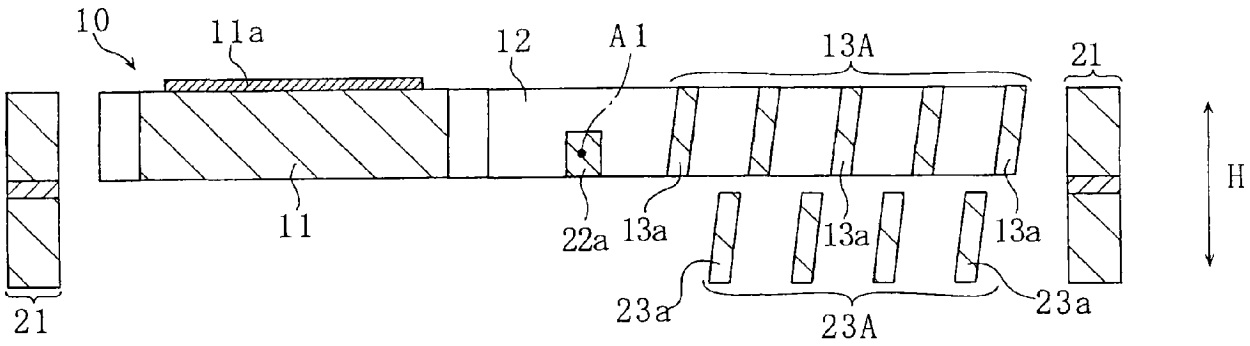


图 14

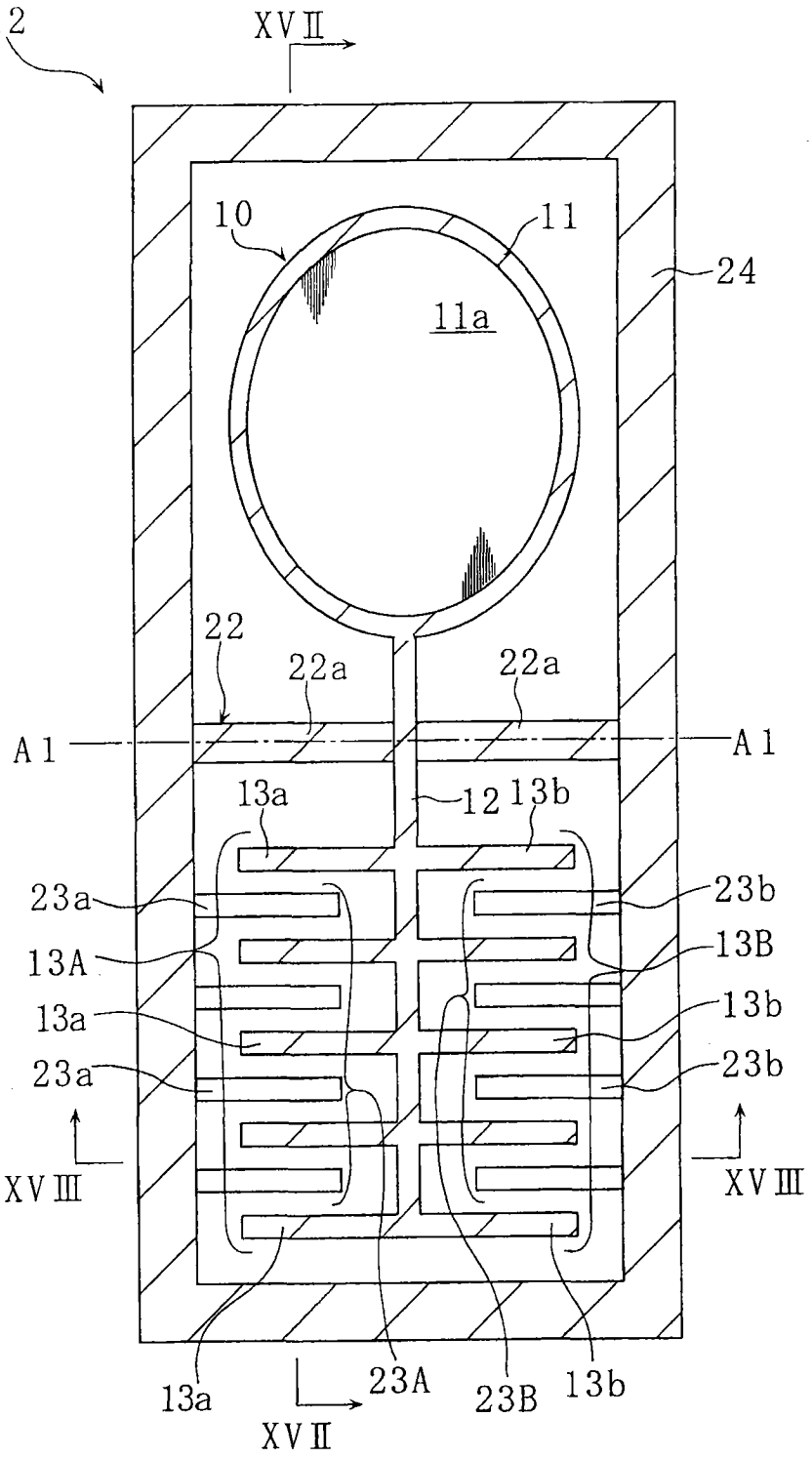

X2
XVII
10
11
11a
24
22
22a
22a
A1
A1
13a
12
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
XVIII
XVIII
13a
23A
23B
13b
XVII

图 15

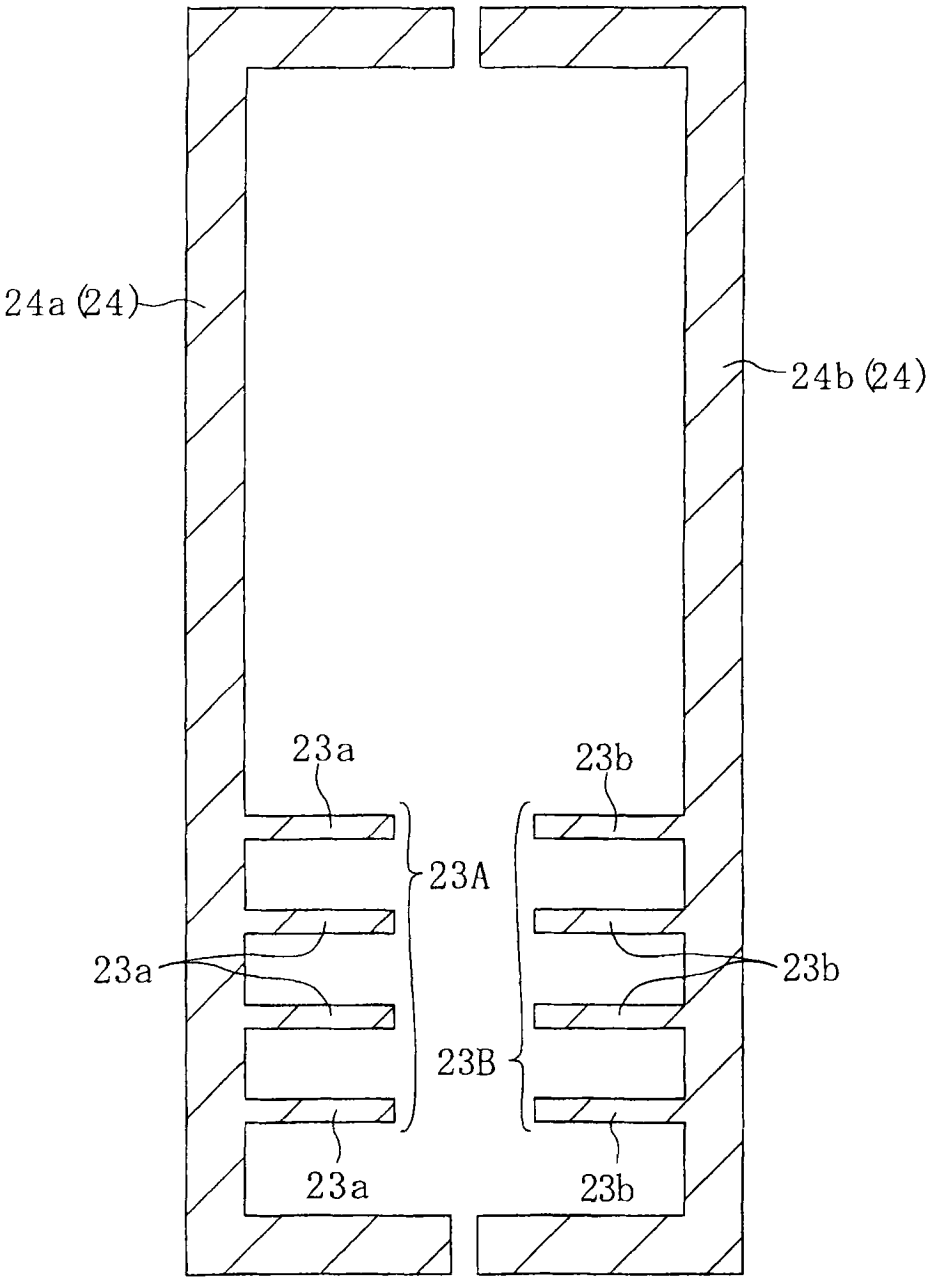


图 16

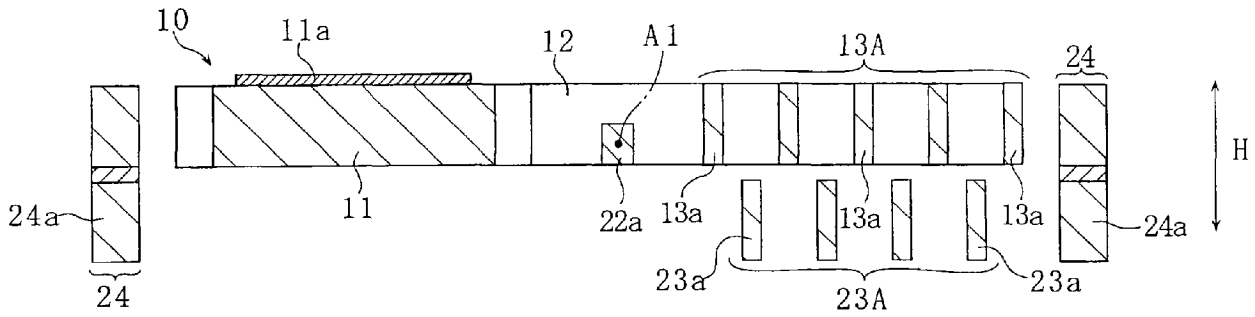

10
11a
12
A1
13A
24
H
24a
11
22a
13a
13a
13a
24a
24
23a
23A
23a

图 17

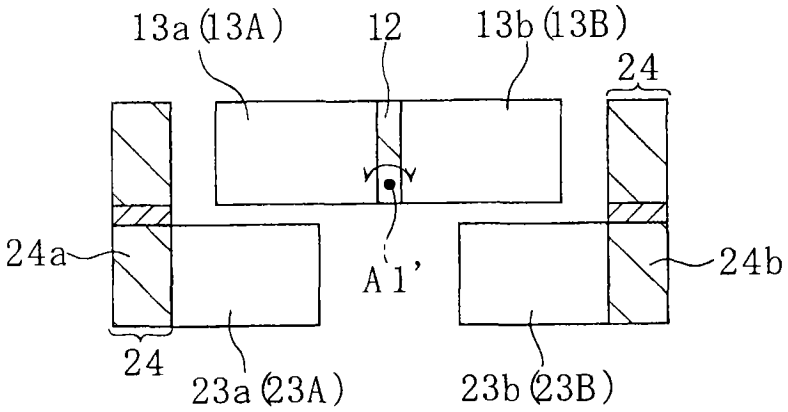

13a(13A)
12
13b(13B)
24
24a
A1'
24b
24
23a(23A)
23b(23B)

图 18

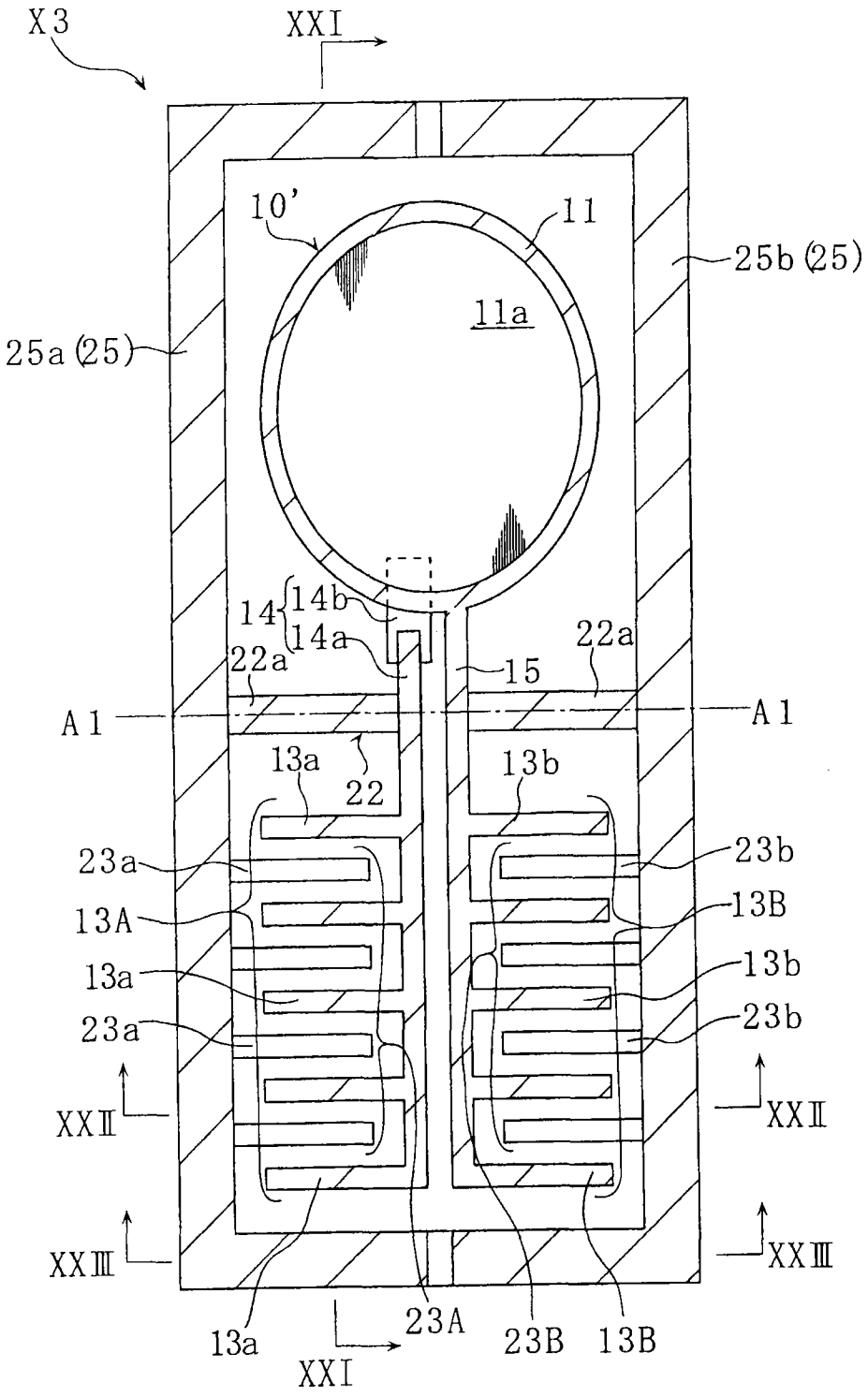

X3
XXI
10'
11
25b (25)
11a
25a (25)
14
14b
14a
22a
22a
15
22a
A1
A1
13a
22
13b
23a
23b
13A
13B
13a
13b
23a
23b
XXII
XXII
XXIII
XXIII
13a
23A
23B
13B
XXI

图 19

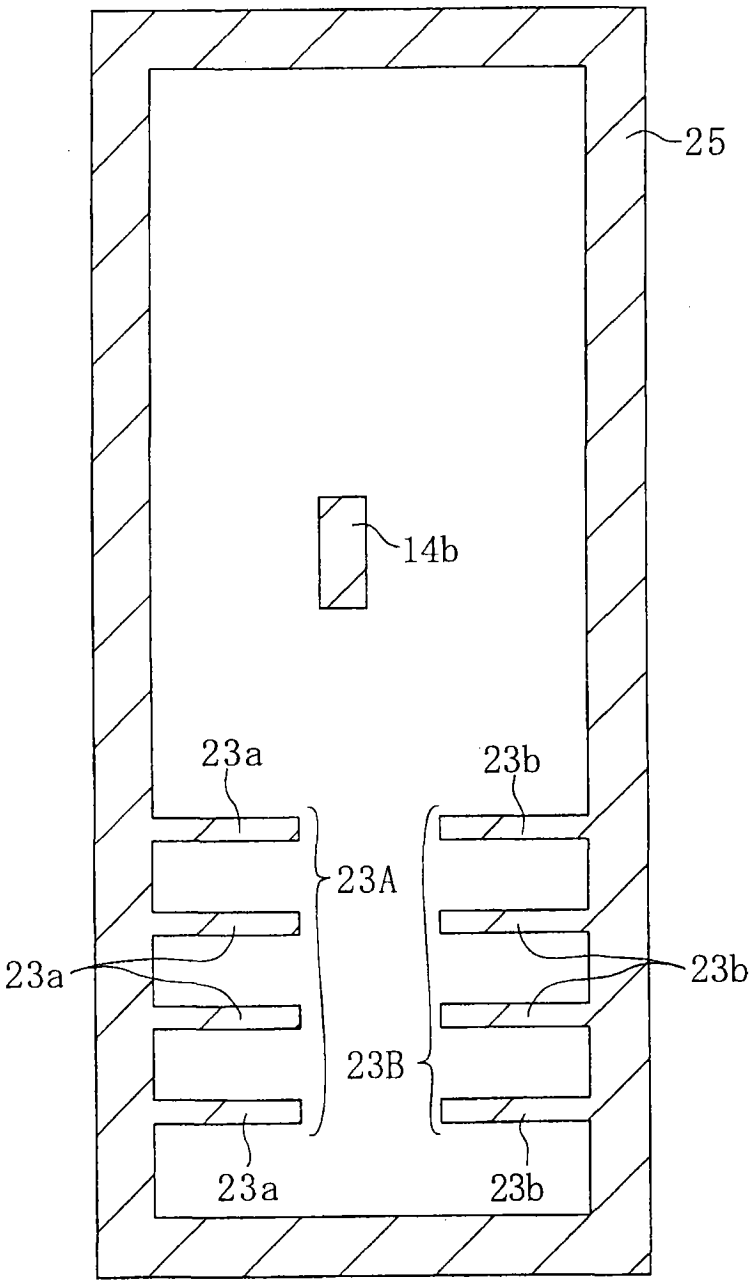


图 20

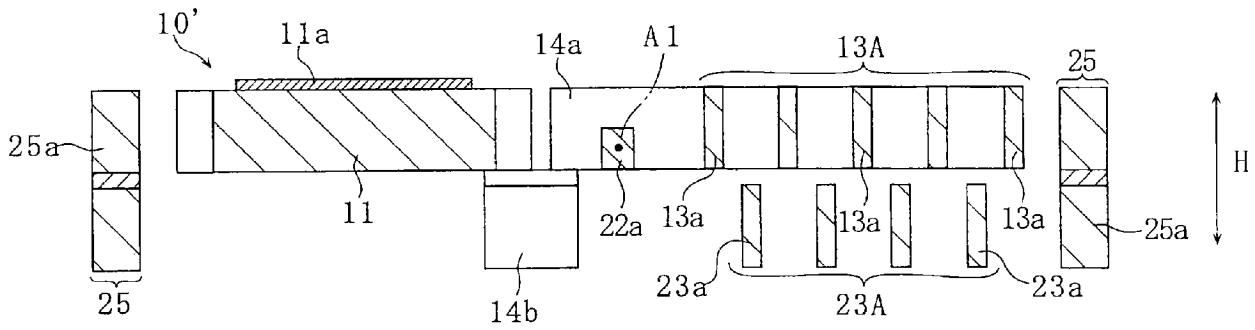

10'
11a
14a
A1
13A
25
25a
11
22a
13a
13a
13a
25a
H
25
14b
23a
23A
23a

图 21

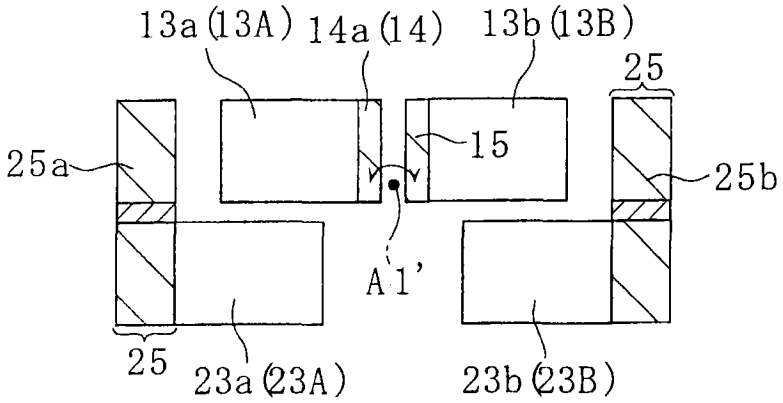

13a(13A)
14a(14)
13b(13B)
25
15
25a
25b
A1'
25
23a(23A)
23b(23B)

图 22

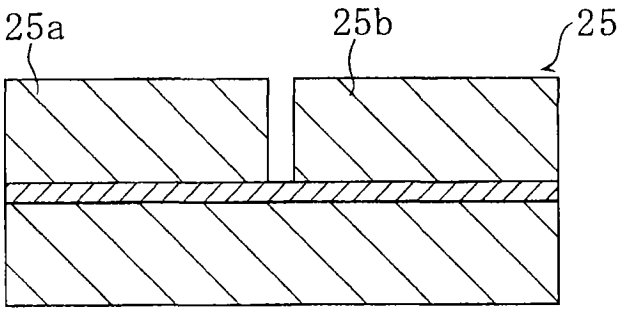

25a
25b
25

图 23

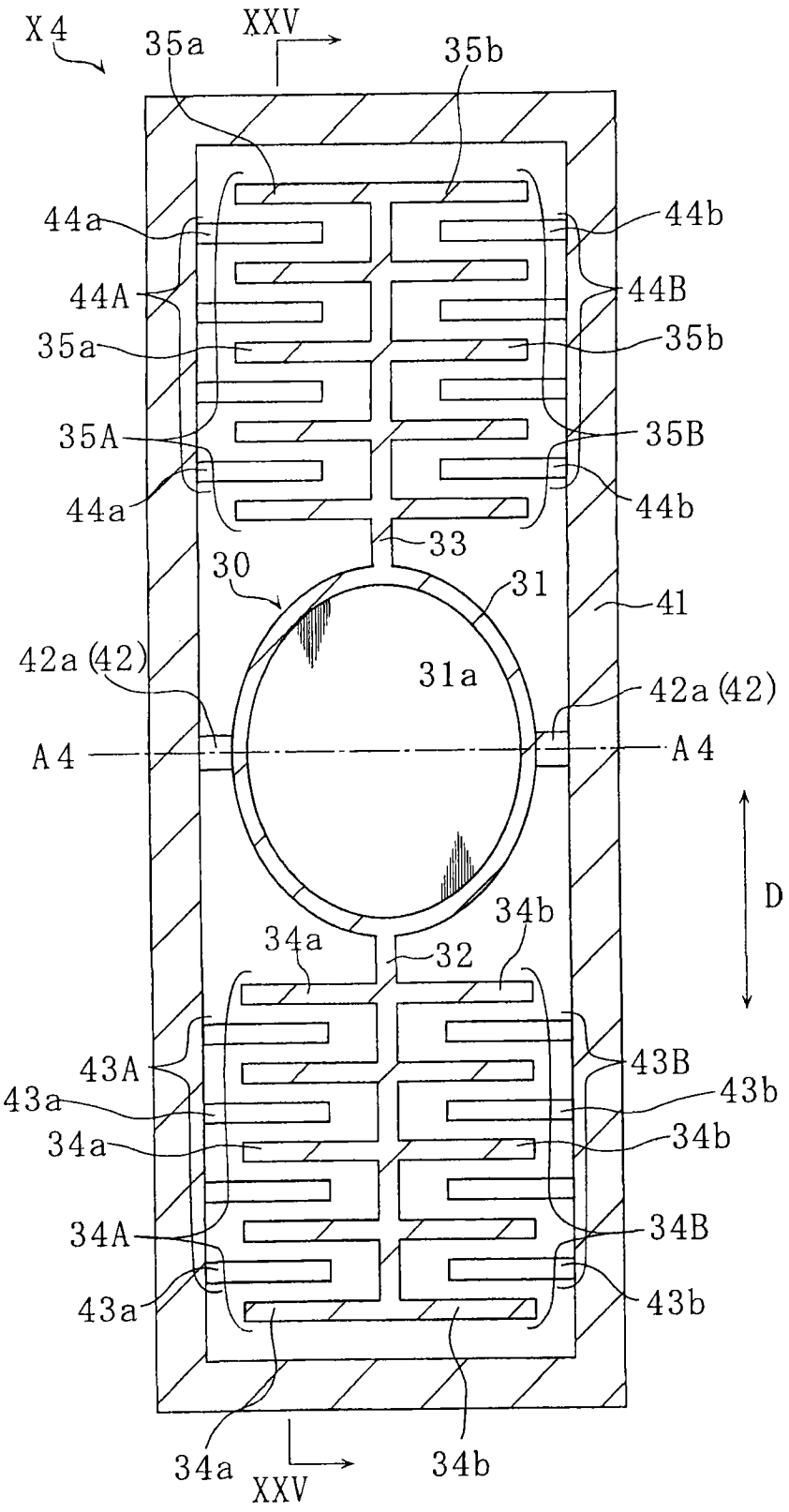

X4
35a
XXV
35b
44a
44b
44A
44B
35a
35b
35A
35B
44a
44b
33
30
31
41
42a (42)
31a
42a (42)
A4
A4
D
34b
34a
32
43A
43B
43a
43b
34a
34b
34A
34B
43a
43b
34a
XXV
34b

图 24

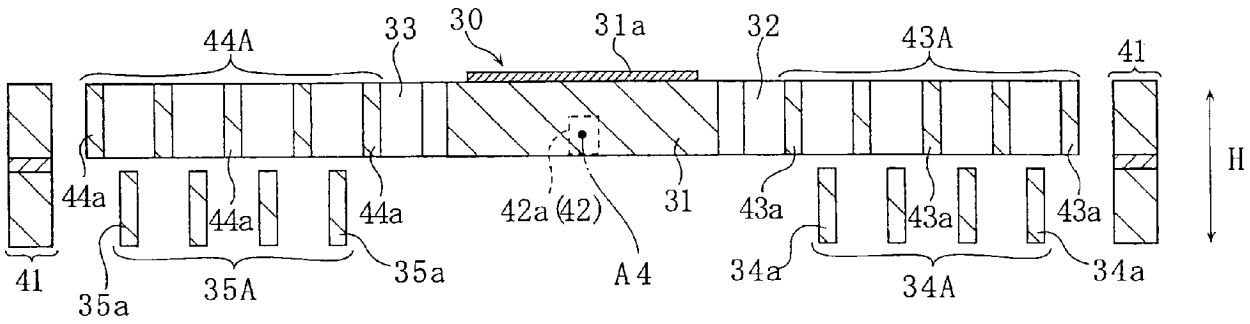

44A
33
30
31a
32
43A
41
H
44a
44a
44a
42a (42)
31
43a
43a
43a
41
35a
35A
35a
A4
34a
34A
34a

图 25

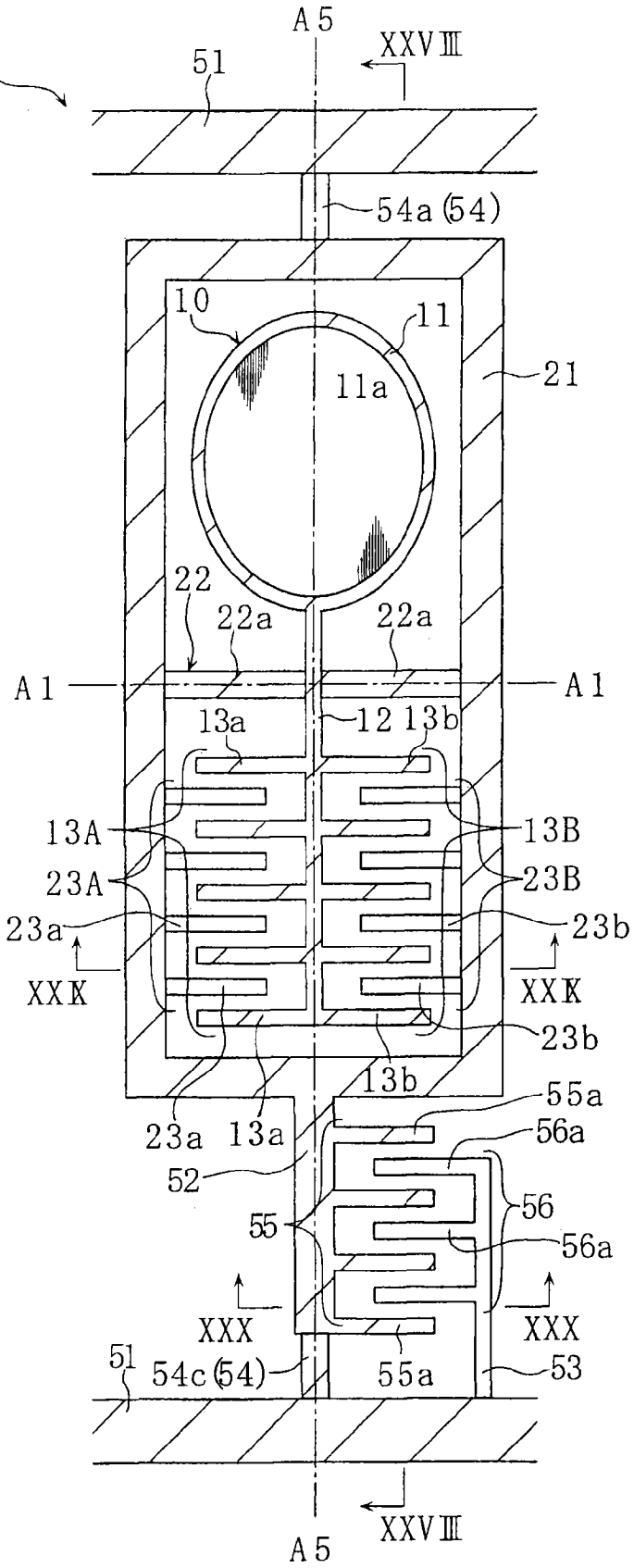

X5
A5
XXVIII
51
54a(54)
10
11
11a
21
22
22a
22a
A1
A1
13a
12
13b
13A
13B
23A
23B
23a
23b
XXX
XXX
23b
13b
55a
23a
13a
56a
52
56
55
56a
XXX
XXX
51
54c(54)
55a
53
XXVIII
A5

图 26

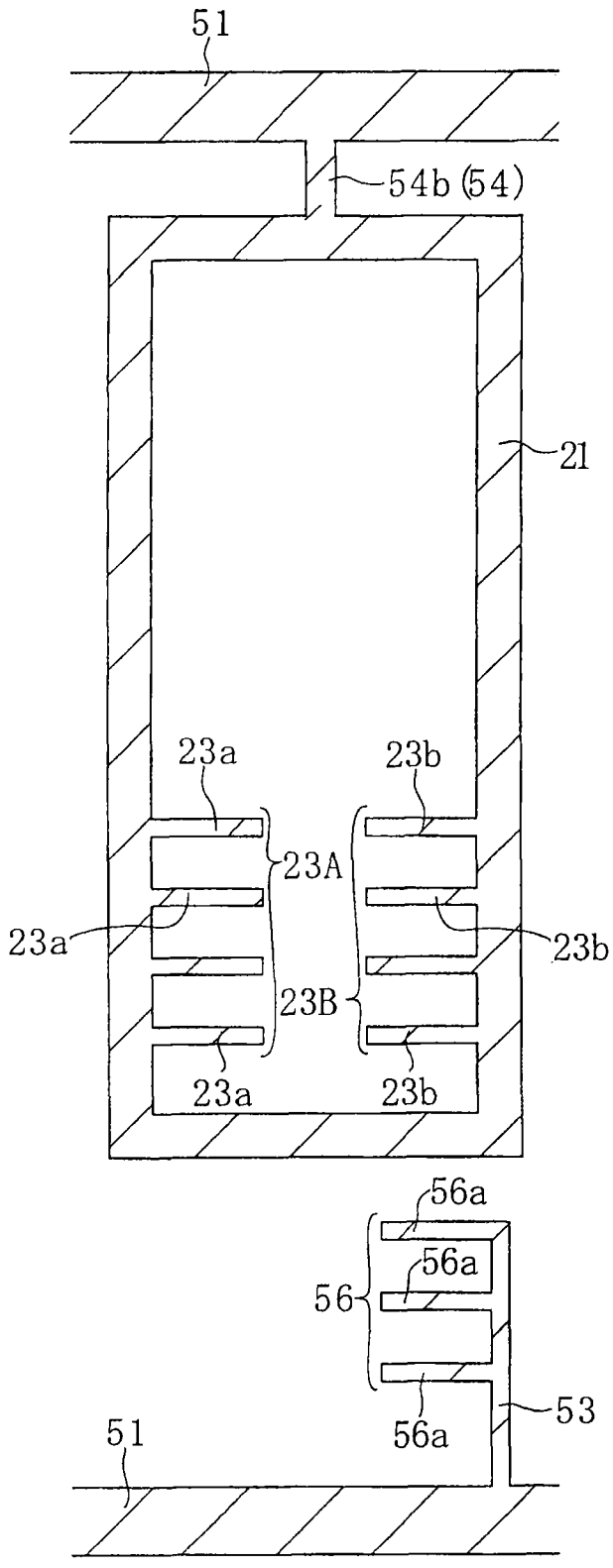

51
54b (54)
21
23a
23b
23A
23a
23b
23B
23a
23b
56a
56a
56
56a
53
51

图 27

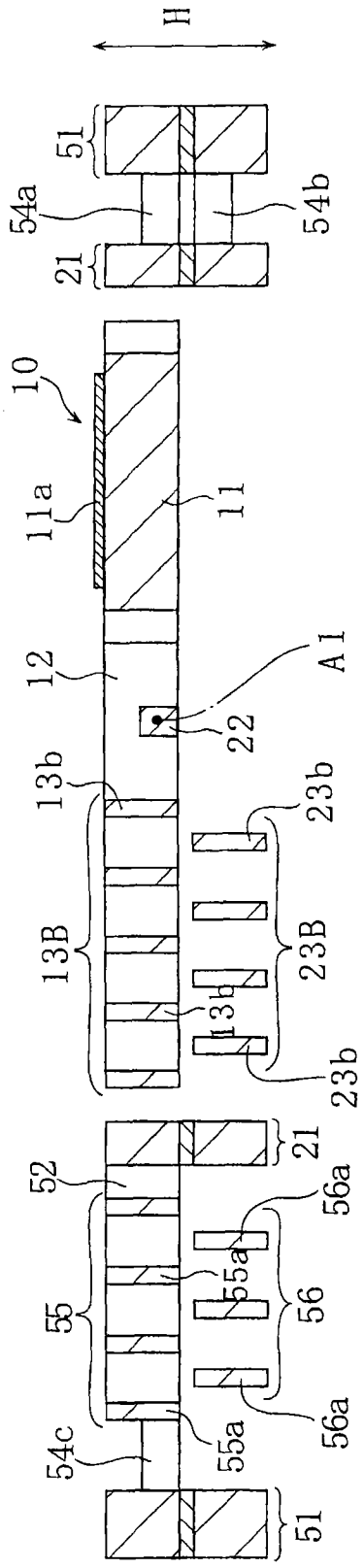

H
51
54a
54b
21
10
11a
11
12
A1
22
13b
23b
13B
23B
13b
23b
21
52
56a
55a
55
56
56a
54c
55a
51

图 28

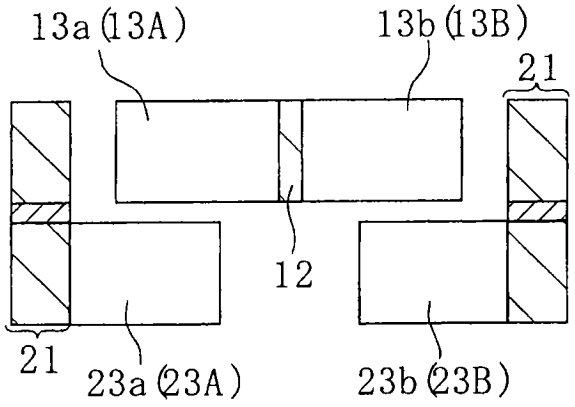


图 29

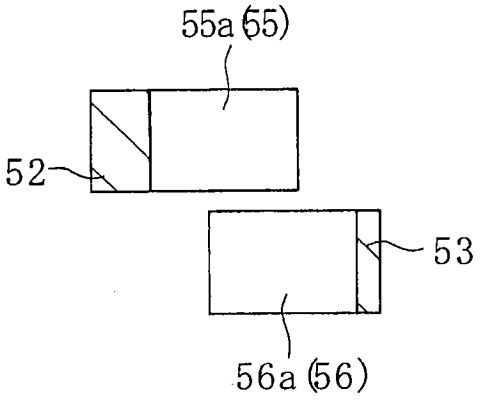


图 30

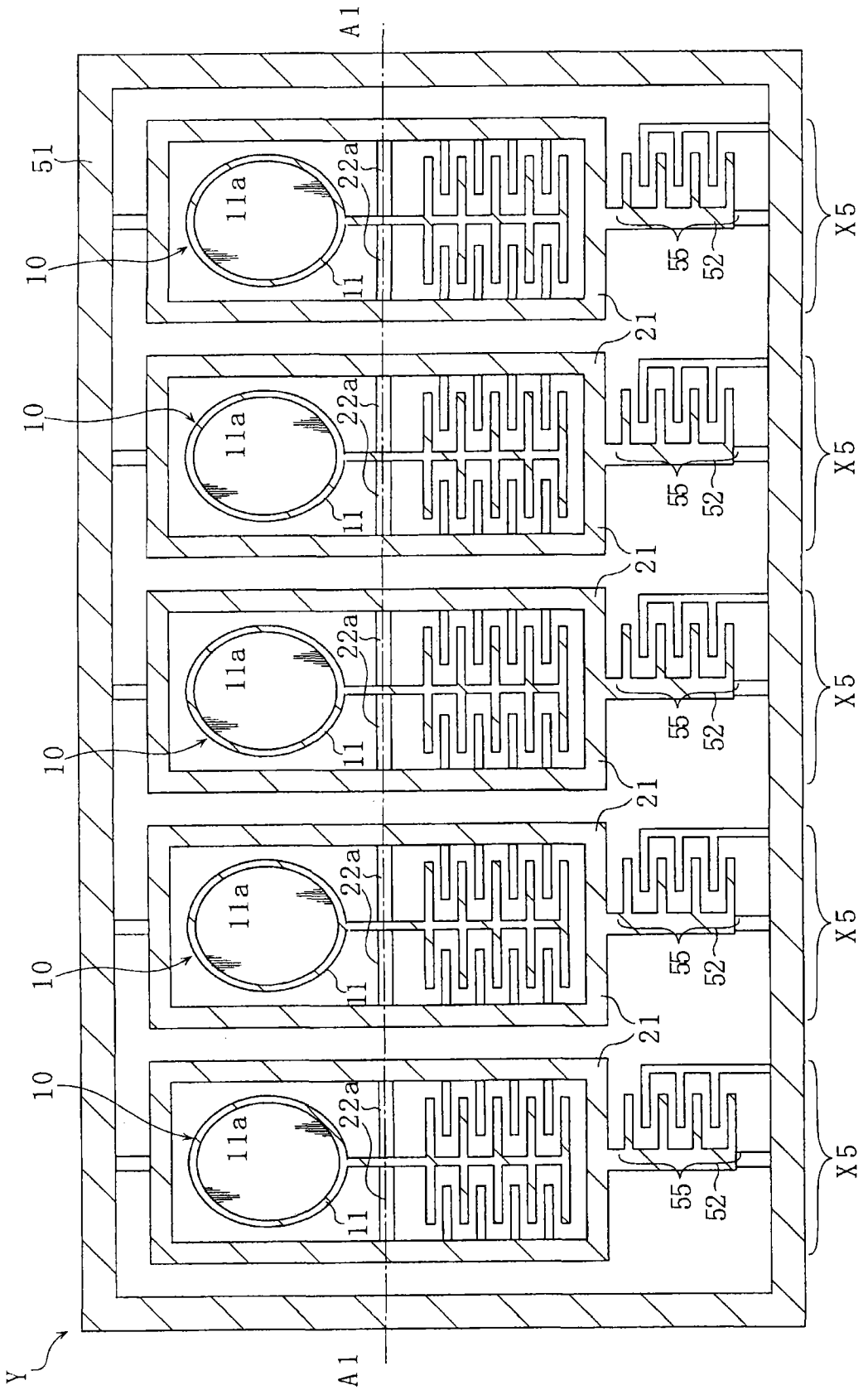


图 31

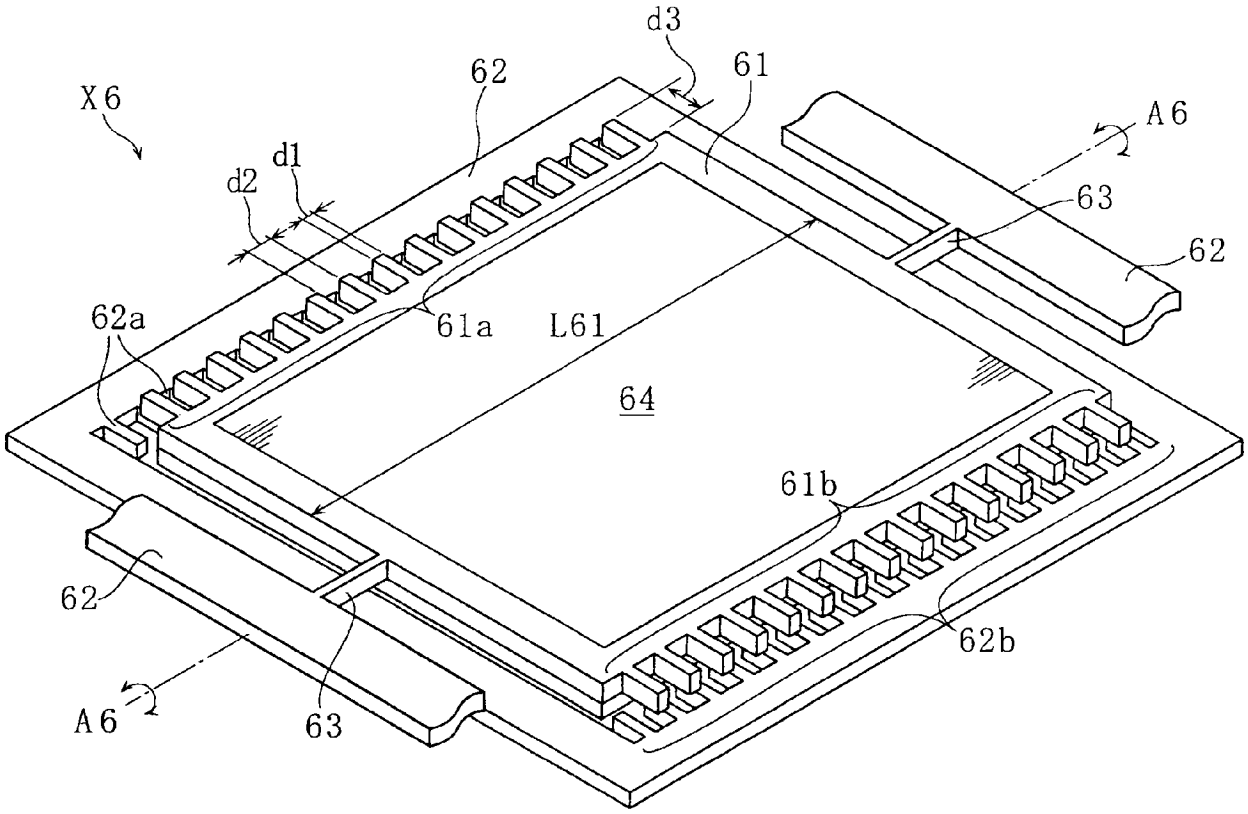


图 32

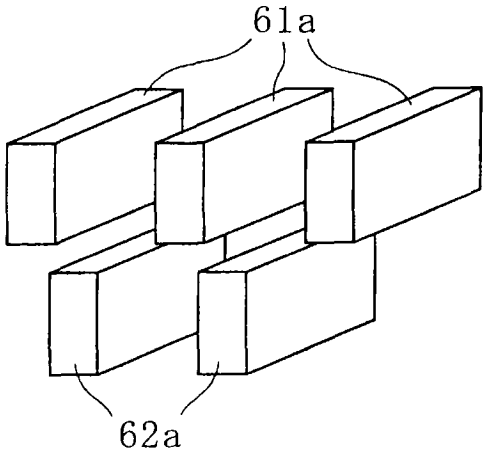


图 33A

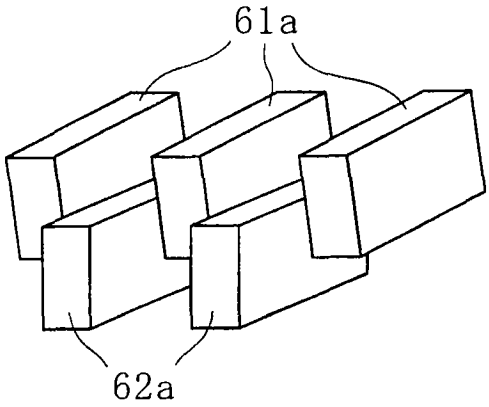


图 33B