



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104242866 B

(45)授权公告日 2018.08.07

(21)申请号 201410273074.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.06.18

H03H 9/19(2006.01)

H03H 9/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104242866 A

审查员 贾超

(43)申请公布日 2014.12.24

(30)优先权数据

2013-128014 2013.06.18 JP

(73)专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 山田明法

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 李辉 黄纶伟

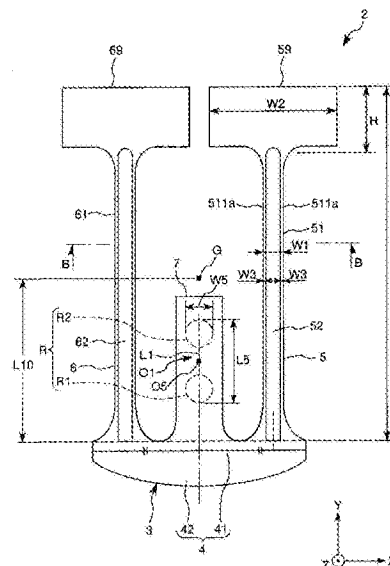
权利要求书2页 说明书18页 附图24页

(54)发明名称

振动元件、振子、振荡器、电子设备以及移动体

(57)摘要

本发明提供振动元件、振子、振荡器、电子设备以及移动体，能够减少振动泄漏。当设相互垂直的2个方向为第1方向和第2方向时，振动元件(2)包括：基部(4)；第1振动臂(5)，其一体地设于基部，并从基部的一侧的端部向第1方向延伸；第2振动臂(6)，其一体地设于基部，与第1振动臂排列在第2方向上，并从基部的一侧的端部向第1方向延伸；以及保持臂(7)，其从基部的一侧的端部向第1方向延伸，并位于第1振动臂和第2振动臂之间，在俯视时，在保持臂的一个主面上设有第1方向的长度比第2方向的长度长的固定区域(R)，该固定区域位于振动元件的重心(G)和基部(4)的一侧的端部之间，在该固定区域中借助固定部件固定于对象物。



1. 一种振动元件,其具有:

基部;

一对振动臂,它们从所述基部向第1方向延伸,并间隔开地配置在与所述第1方向垂直的第2方向上;以及

保持臂,其从所述基部向所述第1方向延伸,在俯视时,该保持臂配置在所述一对振动臂之间,

所述振动元件的特征在于,

在所述保持臂上具有固定区域,所述固定区域在俯视时位于所述振动元件的重心和所述基部之间,并且所述固定区域借助固定部件安装于对象物,

在俯视时,设所述重心和所述基部之间的沿所述第1方向的距离为 L_{10} 时,

所述固定区域的所述第1方向的中心和所述基部之间的沿所述第1方向的距离是 $0.15 \times L_{10}$ 以上且 $0.30 \times L_{10}$ 以下。

2. 一种振动元件,其具有:

基部;

一对振动臂,它们从所述基部向第1方向延伸,并间隔开地配置在与所述第1方向垂直的第2方向上;以及

保持臂,其从所述基部向所述第1方向延伸,在俯视时,该保持臂配置在所述一对振动臂之间,

所述振动元件的特征在于,

在所述保持臂上具有固定区域,所述固定区域在俯视时位于所述振动元件的重心和所述基部之间,并且所述固定区域借助固定部件安装于对象物,

在俯视时,设所述重心和所述基部之间的沿所述第1方向的距离为 L_{10} 时,

所述固定区域的沿所述第1方向的长度是 $0.589 \times L_{10}$ 以上且 L_{10} 以下。

3. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其特征在于,

所述固定区域的沿所述第1方向的长度比沿所述第2方向的长度长。

4. 根据权利要求3所述的振动元件,其特征在于,

所述固定区域的沿所述第1方向的长度是沿所述第2方向的长度的2倍以上且5倍以下。

5. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其特征在于,

在俯视时,所述保持臂与所述重心重合。

6. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其特征在于,

在俯视时,所述固定区域包括:

第1固定部;以及

第2固定部,所述第2固定部与所述第1固定部相离,并位于比所述第1固定部靠所述保持臂的末端侧的位置。

7. 根据权利要求6所述的振动元件,其特征在于,

所述第1固定部和所述第2固定部之间的沿所述第1方向的距离为 $20\mu\text{m}$ 以上。

8. 一种振子,其特征在于,其包括:

权利要求1或2所述的振动元件;以及

收纳有所述振动元件的封装。

9. 一种振荡器,其特征在于,其具备振荡电路和权利要求1或2所述的振动元件。
10. 一种电子设备,其特征在于,其具备权利要求1或2所述的振动元件。
11. 一种移动体,其特征在于,其具备权利要求1或2所述的振动元件。

振动元件、振子、振荡器、电子设备以及移动体

技术领域

[0001] 本发明涉及振动元件、振子、振荡器、电子设备以及移动体。

背景技术

[0002] 以往公知有使用了石英的振动元件。这样的振动元件由于频率温度特性优异,因此被广泛用作各种电子设备的基准频率源和信号源等。

[0003] 专利文献1所记载的振动元件具有基部和从基部起并排延伸的一对振动臂,并在于基部的2个固定部处借助导电性粘接部件固定在封装中。然而,在这样的结构中,由于在容易传递振动臂的振动的位置处配置有2个固定部,因此在使振动片小型化时,有可能成为振动泄漏的影响大的振动元件。

[0004] 另外,专利文献2所述的振动元件具有基部、从基部起并排延伸的一对振动臂、以及从基部起在一对振动臂之间延伸的保持臂,并且在设于保持臂的2个固定部处借助导电性粘接部件固定在封装中。

[0005] 专利文献1:日本特开2011-19159号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2002-141770号公报

[0007] 然而,在这样的结构中,根据保持臂上的2个固定部的位置、或者2个固定部的位置关系,存在Q值降低的问题。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供能够减少Q值的降低的振动元件、以及具备该振动元件的振子、振荡器、电子设备以及移动体。

[0009] 本发明正是为了解决上述课题的至少一部分而完成的,并能够以如下应用例来实现。

[0010] [应用例1]

[0011] 本发明的振动元件具有:

[0012] 基部;

[0013] 一对振动臂,它们从所述基部向第1方向延伸,并沿着与所述第1方向垂直的第2方向排列;以及

[0014] 保持臂,其从所述基部向所述第1方向延伸,在俯视时,该保持臂配置在所述一对振动臂之间,

[0015] 所述振动元件的特征在于,

[0016] 在所述保持臂上具有固定区域,所述固定区域在俯视时位于所述振动元件的重心和所述基部之间,并且所述固定区域借助固定部件安装于对象物。

[0017] 由此,得到了能够减少Q值降低的振动元件。

[0018] [应用例2]

[0019] 本发明的振动元件的特征在于,所述固定区域的沿所述第1方向的长度比沿所述

第2方向的长度长。

[0020] 由此,得到了能够进一步减少Q值降低的振动元件。

[0021] [应用例3]

[0022] 本发明的振动元件的特征在于,所述固定区域的沿所述第1方向的长度是沿所述第2方向的长度的2倍以上且5倍以下。

[0023] 由此,固定区域沿振动元件的长度方向较长,因此能够将振动元件以良好的平衡固定于壳体。

[0024] [应用例4]

[0025] 本发明的振动元件的特征在于,在俯视时,设所述重心和所述基部之间的沿所述第1方向的距离为 $L10$ 时,

[0026] 所述固定区域的第一方向的中心和所述基部之间的沿所述第1方向的距离为 $0.15 \times L10$ 以上且 $0.30 \times L10$ 以下。

[0027] 该范围是不易受到振动臂的振动影响的区域,因此通过以这样的位置为中心配置固定区域,能够得到进一步减少了振动泄漏所引起的Q值降低的振动元件。

[0028] [应用例5]

[0029] 本发明的振动元件的特征在于,在俯视时,设所述重心和所述基部之间的沿所述第1方向的距离为 $L10$ 时,

[0030] 所述固定区域的沿所述第1方向的长度为 $0.589 \times L10$ 以上且 $L10$ 以下。

[0031] 能够得到进一步减少了振动泄漏所引起的Q值降低的振动元件。

[0032] [应用例6]

[0033] 本发明的振动元件的特征在于,在俯视时,所述保持臂与所述重心重合。

[0034] 由此,能够减少振动臂的振动的的影响,得到了能够减少振动泄漏所引起的Q值降低的振动元件。

[0035] [应用例7]

[0036] 本发明的振动元件为如下振动元件,在俯视时,所述固定区域包括:

[0037] 第1固定部;以及

[0038] 第2固定部,所述第2固定部与所述第1固定部相离,并位于比所述第1固定部靠所述保持臂的末端侧的位置。

[0039] 由此,能够减少在搭载到对象物的状态下的固定部件彼此的接触。

[0040] [应用例8]

[0041] 本发明的振动元件优选的是,所述第1固定部和所述第2固定部之间的沿所述第1方向的距离为 $20\mu\text{m}$ 以上。

[0042] 由此,能够进一步减少在搭载到对象物的状态下的固定部件彼此的接触。

[0043] [应用例9]

[0044] 本发明的振子的特征在于,其包括:

[0045] 本发明的振动元件;以及

[0046] 收纳有所述振动元件的封装。

[0047] 由此,得到了具有高可靠性的振子。

[0048] [应用例10]

- [0049] 本发明的振荡器的特征在于,其具备振荡电路和本发明的振动元件。
- [0050] 由此,得到了具有高可靠性的振荡器。
- [0051] [应用例11]
- [0052] 本发明的电子设备的特征在于,其具备本发明的振动元件。
- [0053] 由此,得到了具有高可靠性的电子设备。
- [0054] [应用例12]
- [0055] 本发明的移动体的特征在于,其具备本发明的振动元件。
- [0056] 由此,得到了具有高可靠性的移动体。

附图说明

- [0057] 图1是本发明的第1实施方式的振子的平面图。
- [0058] 图2是沿图1中的A-A线的剖视图。
- [0059] 图3是图1所示的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0060] 图4是用于说明图3所示的振动元件的功能的平面图。
- [0061] 图5是沿图3中的B-B线的剖视图。
- [0062] 图6是图3所示的振动元件的背面图。
- [0063] 图7是示出图3所示的振动元件的其他例子的俯视图。
- [0064] 图8是对弯曲振动时的热传导进行说明的振动臂的剖视图。
- [0065] 图9是示出Q值和 f/f_m 的关系的曲线图。
- [0066] 图10是示出仿真中使用的振动元件的一例、和振动元件的保持位置与 Q_{Leak} 值的关系的图。
- [0067] 图11是本发明的第2实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0068] 图12是本发明的第3实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0069] 图13是本发明的第4实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0070] 图14是示出仿真中使用的振动元件的一例、和振动元件的保持位置与 Q_{Leak} 值的关系的图。
- [0071] 图15是本发明的第5实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0072] 图16是本发明的第6实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0073] 图17是本发明的第7实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0074] 图18是本发明的第8实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。
- [0075] 图19是图18所示的振子的剖视图。
- [0076] 图20是示出本发明的振荡器的优选实施方式的剖视图。
- [0077] 图21是示出应用了具备本发明的振动元件的电子设备的移动型(或笔记本型)的个人计算机的结构立体图。
- [0078] 图22是示出应用了具备本发明的振动元件的电子设备的便携电话(也包括PHS)的结构立体图。
- [0079] 图23是示出应用了具备本发明的振动元件的电子设备的数字静态照相机的结构的立体图。
- [0080] 图24是概略地示出作为本发明的移动体的一例的汽车的立体图。

[0081] 标号说明

[0082] 1:振子;11:第1导电性粘接部件;12:第2导电性粘接部件;2、2A、2B、2C、2D、2E、2F、2G、2a、2b:振动元件;3:石英基板;4:基部;41:主体部;42:宽度缩小部;5:振动臂(第1振动臂);51:臂部;511、512:主面;511a、512a:堤部;513、514:侧面;52、53:槽;59、69:锤头;6:振动臂(第2振动臂);61:臂部;613、614:侧面;62、63:槽;7、7A、7B、7C、7D、7E、7F、7G、7a、7b:保持臂;71:宽度狭窄部;8:电极;81:第1连接电极;82:第2连接电极;84:第1驱动用电极;85:第2驱动用电极;88:键合线;9:封装;91:基座;911:凹部;92:盖;951、961:连接端子;953、963:外部端子;100:振荡器;110:IC芯片;120:内部端子;1100:个人计算机;1102:键盘;1104:主体部;1106:显示单元;1200:便携电话;1202:操作按钮;1204:听筒;1206:话筒;1300:数字静态照相机;1302:壳体;1304:受光单元;1306:快门按钮;1308:存储器;1312:视频信号输出端子;1314:输入输出端子;1430:电视监视器;1440:个人计算机;1500:汽车;2000:显示部;L:全长;L1:直线;L5、L6、H:长度;L10:距离;A5:间隔距离;D1:深度;G:重心;O1:范围;O5:中心;R:固定区域;R1:第1固定部;R2:第2固定部;S:收纳空间;S5:保持位置;X:基端;W1、W2、W3、W4、W5:宽度。

具体实施方式

[0083] 以下,根据附图所示的优选实施方式来详细说明本发明的振动元件、振子、振荡器、电子设备以及移动体。

[0084] 1.振子

[0085] 首先,对本发明的振子进行说明。

[0086] <第1实施方式>

[0087] 图1是本发明的第1实施方式的振子的平面图。图2是沿图1中的A-A线的剖视图。图3是图1所示的振子所具有的振动元件的俯视图。图4是用于说明图3所示的振动元件的功能的平面图。图5是沿图3中的B-B线的剖视图。图6是图3所示的振动元件的后视图。图7是示出图3所示的振动元件的其他例子的俯视图。图8是对弯曲振动时的热传导进行说明的振动臂的剖视图。图9是示出Q值和 f/f_m 的关系的曲线图。图10是示出仿真中使用的振动元件的一例、和振动元件的保持位置与 Q_{Leak} 值的关系的图。另外,以下为了便于说明,如图1所示,将相互垂直的3个轴设为X轴(石英的电轴)、Y轴(石英的机械轴)和Z轴(石英的光轴)。并且,设图2中的上侧为“上(正面)”,设下侧为“下(背面)”。并且,设图3中的上侧为“末端”,设下侧为“基端”。并且,以下,将从Z轴方向观察时的俯视视角简称为“俯视”。

[0088] 如图1所示,振子1具有振动元件(本发明的振动元件)2、和收纳振动元件2的封装9。

[0089] (封装)

[0090] 如图1和图2所示,封装9具有:箱状的底座91,其具有上表面敞开的凹部911;以及板状的盖92,其以封闭凹部911的开口的方式接合于底座91。封装9具有用盖92封闭凹部911而形成的收纳空间S,在该收纳空间S中气密地收纳有振动元件2。收纳空间S内可以为减压(优选为真空)状态,也可以封入有氮、氦、氩等惰性气体。

[0091] 基座91的构成材料没有特别限定,可以使用氧化铝等各种陶瓷。并且,盖92的构成材料没有特别限定,只要是线膨胀系数与基座91的构成材料近似的材料即可。例如,在基座

91的构成材料采用上述那样的陶瓷的情况下,盖92的构成材料优选可伐合金等合金。另外,底座91与盖92的接合没有特别限定,例如可以通过金属化层进行接合。

[0092] 此外,在底座91的凹部911的底面形成有连接端子951、961。并且,在连接端子951上设有第1导电性粘接部件(固定部件)11,在连接端子961上设有第2导电性粘接部件(固定部件)12。而且,振动元件2借助所述第1、第2导电性粘接部件11、12固定于底座91。另外,作为第1、第2导电性粘接部件11、12,只要具有导电性和粘接性即可,没有特别限定,例如可以使用在环氧类、丙烯酸类、硅酮类、双马来酰亚胺类、聚酯类、聚氨酯类的树脂中混合有银微粒等导电性填料的导电性粘接部件、或者金凸块(bump)、银凸块、铜凸块等金属凸块等。

[0093] 此外,连接端子951经由贯通底座91的贯通电极(未图示)与设在底座91的下表面的外部端子953电连接,同样地,连接端子961经由贯通底座91的贯通电极(未图示)与设在底座91的下表面的外部端子963电连接。作为连接端子951、961、外部端子953、962以及所述贯通电极的结构,只要分别具有导电性即可,没有特别限定,例如可以由金属覆膜构成,该金属覆膜是在Cr(铬)、Ni(镍)、W(钨)等基底上层叠Au(金)、Ag(银)、Cu(铜)等覆膜而形成的。

[0094] (振动元件)

[0095] 如图3至图5所示,振动元件2具有石英基板3和形成在石英基板3上的电极8。另外,在图3中图示出振动元件2的重心G。

[0096] 石英基板3由Z切石英板构成。Z切石英板是将Z轴作为厚度方向的石英基板。另外,优选Z轴与石英基板3的厚度方向一致,但是,从减小常温附近的频率温度变化的观点出发,也可以相对于厚度方向稍微倾斜。

[0097] 即,在将倾斜的角度设为 θ 度($-5^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$)的情况下,以由所述石英的作为电轴的X轴、作为机械轴的Y轴和作为光轴的Z轴构成的直角坐标系中的所述X轴为旋转轴,设使所述Z轴以+Z侧向所述Y轴的-Y方向旋转的方式倾斜 θ 度后的轴为Z'轴,使所述Y轴以+Y侧向所述Z轴的+Z方向旋转的方式倾斜 θ 度后的轴为Y'轴时,成为以沿着Z'轴的方向为厚度、以包含X轴和Y'轴的面向主面的石英基板3。

[0098] 另外,作为石英基板3的厚度D,没有特别限定,但优选小于 $70\mu\text{m}$ 。通过设为这样的数值范围,例如在通过湿式蚀刻形成(构图)石英基板3时,能够有效地防止在振动臂5与基部4的边界部以及后述的臂部51与作为施重部的锤头59的边界部等残留不需要的部分(本来应去除的部分)。因此,能够实现可有效地减少振动泄漏的振动元件2。从不同的观点出发,厚度D优选为 $70\mu\text{m}$ 以上、 $300\mu\text{m}$ 以下的程度,更优选为 $100\mu\text{m}$ 以上、 $150\mu\text{m}$ 以下的程度。通过设为这样的数值范围,能够在振动臂5、6的侧面较大地形成后述的第1、第2驱动用电极84、85,因此能够降低CI值。

[0099] 虽然将施重部设为沿着X轴方向的长度比臂部51大的宽度扩大部59,但是不限于此,只要每单位长度的质量密度比臂部51大即可。例如,施重部也可以是如下结构:沿着X轴方向的长度与臂部相同,而沿着Z轴方向的厚度比臂部厚。此外,施重部还可以通过臂部的对应于施重部的表面上较厚地设置Au等金属来构成。此外,施重部还可以由质量密度比臂部高的物质构成。

[0100] 如图3所示,石英基板3具有:基部4;一对振动臂(第1、第2振动臂)5、6,它们从基部4的末端(一侧的端部)向+Y轴方向(第1方向)延伸;以及保持臂7,其从基部4的末端向+Y轴

方向延伸。所述基部4、振动臂5、6及保持臂7由石英基板3一体地形成。

[0101] 基部4呈大致板状,在XY平面上扩展,在Z轴方向上具有厚度。基部4具有:支承并连接振动臂5、6的部分(主体部41);以及减少振动泄漏的宽度缩小部42。

[0102] 宽度缩小部42设置于主体部41的基端侧(振动臂5、6延伸的一侧的相反侧)。此外,宽度缩小部42的宽度(沿着X轴方向的长度)随着远离振动臂5、6而逐渐减小。通过具有这样的宽度缩小部42,能够有效地抑制振动元件2的振动泄漏。

[0103] 具体说明如下。另外,为了让说明简单,设振动元件2的形状关于与Y轴平行的规定的轴对称。

[0104] 首先,如图4(a)所示,对未设置宽度缩小部42的情况进行说明。如后所述,在振动臂5、6以彼此相离的方式发生弯曲变形的情况下,在主体部41的连接有振动臂5的部位附近,产生如箭头所示那样绕顺时针方向的近似于旋转运动的移位,在主体部41的连接有振动臂6的部位附近,产生如箭头所示那样绕逆时针方向的近似于旋转运动的移位(但是,并不是能够严格地称作旋转运动那样的运动,因此权宜称作“近似于旋转运动”)。这些移位的X轴方向分量朝向彼此相反的方向,因此在主体部41的X轴方向中央部处相互抵消,而+Y轴方向的移位残留(但是严格地说,Z轴方向的移位也会残留,但此处省略)。即,主体部41发生X轴方向中央部向+Y轴方向移位那样的弯曲变形。在从具有该+Y轴方向的移位的主体部41的X轴方向中央部向+Y轴方向延伸的保持臂7上形成粘接部件,并利用粘接部件固定到封装时,伴随+Y轴方向移位而产生的弹性能量经由粘接部件泄漏到外部。其为被称作振动泄漏的损耗,是导致Q值劣化的原因,结果导致CI值的劣化。

[0105] 对此,如图4(b)所示,在设置有宽度缩小部42的情况下,宽度缩小部42具有弧状(曲线状)的轮廓,因此上述的近似于旋转运动的移位,在宽度缩小部42处相互阻碍。即,在宽度缩小部42的X轴方向中央部,与主体部41的X轴方向中央部同样地,X轴方向的移位相互抵消,并且抑制了Y轴方向的移位。而且,由于宽度缩小部42的轮廓是弧状,因此还抑制了主体部41处欲产生的+Y轴方向的移位。其结果是,设置有宽度缩小部42的情况下的基部4的X轴方向中央部的+Y轴方向的移位远比未设置宽度缩小部42的情况小。即,能够得到振动泄漏小的振动片。

[0106] 另外,虽然在本实施方式中,宽度缩小部42的轮廓呈弧状,但只要是起到上述那样的作用的形状即可,不限于此。例如,也可以是轮廓由多条直线形成为阶梯状的宽度缩小部、轮廓由多条直线形成为大致圆弧状的宽度缩小部。

[0107] 振动臂5、6以沿X轴方向(第2方向)排列且相互平行的方式从基部4的末端向+Y轴方向(第1方向)延伸。振动臂5、6分别呈长条形状,它们的基端为固定端,末端为自由端。

[0108] 此外,振动臂5、6具有臂部51、61以及设在臂部51、61的末端的作为施重部的锤头59、69。另外,振动臂5、6为彼此相同的结构,因此,以下,以振动臂5为代表进行说明,关于振动臂6,省略其说明。

[0109] 如图5所示,臂部51具有:在XY平面上构成的一对主面511、512;以及在YZ平面上构成的连接一对主面511、512的一对侧面513、514。此外,臂部51在主面511上具有开放的有底的槽52,并且在主面512上具有开放的有底的槽53。各槽52、53沿Y轴方向延伸,末端延伸至锤头59,基端延伸至基部4。这样,各槽52、53的末端延伸至锤头59的话,则能够缓和各槽52、53的末端周围的应力集中,减少了在施加冲击时发生弯折或缺损的可能性。此外,各槽52、

53的基端延伸至基部4的话,则能够缓和振动臂5和基部4的边界部周围的应力集中。因此,减少了例如在施加冲击时发生弯折或缺损的可能性。

[0110] 作为槽52、53的深度,没有特别限定,但在设槽52的深度为D1、槽53的深度为D2(在本实施方式中,D1=D2)时,优选满足 $60\% \leq (D1+D2)/D \leq 95\%$ 的关系。通过满足这样的关系,热移动路径变长,因此在隔热区域(之后将详细叙述)中,能够更有效地实现热弹性损耗的减少。

[0111] 另外,关于槽52、53,优选以振动臂5的截面重心与振动臂5的截面形状的中心一致的方式,相对于振动臂5的位置在X轴方向上调整槽52、53的位置而形成。由此,减少了振动臂5的不必要的振动(具体而言,是具有面外方向分量的倾斜振动),因此能够减少振动泄漏。此外,该情况下,能够减少还驱动出多余的振动的情况,因此能够相对地增大驱动区域,减小CI值。

[0112] 此外,在设主面511的位于槽52的X轴方向两侧的堤部(沿着与振动臂的长度方向垂直的宽度方向隔着槽52排列的主面)511a、以及主面512的位于槽53的X轴方向两侧的堤部512a的宽度(X轴方向的长度)为W3时,优选满足 $0\mu\text{m} < W3 \leq 20\mu\text{m}$ 的关系。由此,振动元件2的CI值足够低。在上述数值范围中,更优选满足 $5\mu\text{m} < W3 \leq 9\mu\text{m}$ 的关系。由此,能够在实现上述效果的同时,减少热弹性损耗。并且,还优选满足 $0\mu\text{m} < W3 \leq 5\mu\text{m}$ 的关系。由此,能够进一步降低振动元件2的CI值。

[0113] 锤头59在俯视时呈现为以X轴方向为长边的大致矩形。锤头59的宽度(X轴方向的长度)比臂部51宽,从臂部51向X轴方向的两侧突出。通过这样地构成锤头59,能够在抑制振动臂5的全长L的同时提高锤头59的质量。换言之,在振动臂5的全长L恒定的情况下,能够在不损害锤头59的质量效应的情况下尽量较长地确保臂部51。因此,为了得到期望的谐振频率(例如32.768kHz),能够增大振动臂5的宽度。其结果是,后述的热移动路径变长且热弹性损耗减少,从而Q值提高。

[0114] 此外,也可以使锤头59的X轴方向中心从振动臂5的X轴方向中心稍微偏离。例如,如图7所示,锤头59的X轴方向中心也可以相对于臂部51的X轴方向中心向保持臂7侧偏离。由此,降低了振动臂5的扭转,因此能够减少基部4的Z轴方向的振动,进一步抑制振动泄漏。另外,锤头59的X轴方向中心也可以相对于臂部51的X轴方向中心向与保持臂7相反的一侧偏离。

[0115] 并且,在设振动臂5的全长(Y轴方向的长度)为L、锤头59的长度(Y轴方向的长度)为H时,优选振动臂5满足 $1.2\% < H/L < 30.0\%$ 的关系,更优选满足 $4.6\% < H/L < 22.3\%$ 的关系。通过满足这样的数值范围,能够将振动元件2的CI值抑制得较低,由此形成振动损耗少、且具有优异的振动特性的振动元件2。这里,在本实施方式中,振动臂5的基端被设定在将侧面514与基部4连接的部位、和侧面513与基部4连接的部位连结起来的线段的位于振动臂5的宽度(X轴方向的长度)中心的部位。并且,锤头59的基端被设定在设于臂部51的末端部的锥形部中、宽度为臂部51的宽度的1.5倍部位。

[0116] 此外,在设臂部51的宽度(X轴方向的长度)为W1、锤头59的宽度(X轴方向的长度)为W2时,优选满足 $1.5 \leq W2/W1 \leq 10.0$ 的关系,更优选满足 $1.6 \leq W2/W1 \leq 7.0$ 的关系。通过满足这种数值范围,能够较大地确保锤头59的宽度。因此,即使锤头59的长度H如上述那样较短,也能够充分发挥锤头59的质量效应。

[0117] 另外,设 $L \leq 2\text{mm}$ 、并优选 $L \leq 1\text{mm}$,由此,能够得到在搭载于便携式音乐设备和IC卡那样的设备上的振荡器中使用的小型振动元件。此外,设 $W1 \leq 100\mu\text{m}$ 、并优选 $W1 \leq 50\mu\text{m}$,由此,即使在上述L的范围中,也能够得到在实现低功耗的振荡电路中使用的、低频地进行谐振的振动元件。此外,如果是隔热区域,则如本实施方式那样,在石英Z板上使振动臂5、6沿Y轴方向延伸、且在X方向上进行弯曲振动的情况下,优选 $W1 \geq 12.8\mu\text{m}$,在石英Z板上使振动臂5、6沿X方向延伸、且在Y方向上进行弯曲振动的情况下,优选 $W1 \geq 14.4\mu\text{m}$,在石英X板上使振动臂5、6沿Y方向延伸、且在Z方向上进行弯曲振动的情况下,优选 $W1 \geq 15.9\mu\text{m}$ 。由此,能够可靠地成为隔热区域,因此通过形成槽52、53、62、63,热弹性损耗减少,Q值提高,并且通过在形成有槽52、53、62、63的区域进行驱动(电场效率高,驱动面积得以确保),CI值降低。

[0118] 保持臂7位于振动臂5、6之间,从基部4的末端向+Y轴方向延伸。并且,保持臂7的末端位于比锤头59、69的基端靠基部4侧的位置。特别在本实施方式中,保持臂7的末端在俯视时位于比重心G靠基部4侧的位置。并且,保持臂7的宽度(X轴方向的长度)沿着延伸方向(Y轴方向)大致恒定。

[0119] 以上对石英基板3的外形进行了说明。如图2、图3及图6所示,石英基板3具有固定区域R,所述固定区域R在保持臂7的一个主面(-Z轴侧的主面)上,设在重心G和保持臂7的基端之间。而且,振动元件2在固定区域R中借助导电性粘接部件11、12固定于底座91(封装9)。由此,能够减小振动元件2的振动泄漏所引起的Q值降低。特别在本实施方式中,固定区域R的末端(第2固定部R2的末端)位于比重心G靠基部4侧的位置,基端(第1固定部R1的基端)位于比保持臂7的基端靠重心G侧的位置,因此能够更显著地发挥上述效果。

[0120] 固定区域R具有沿Y轴方向彼此相离的第1固定部R1和第2固定部R2,第1固定部R1借助导电性粘接部件11固定于基座91,第2固定部R2借助导电性粘接部件12固定于基座91。由于第1固定部R1和第2固定部R2相离地配置,因此能够防止设在它们上的导电性粘接部件11、12彼此接触(短路)。第1、第2固定部R1、R2的间隔距离没有特别限定,但例如优选大约 $20\mu\text{m}$ 以上,更优选大约 $50\mu\text{m}$ 以上。由此,能够更有效地防止导电性粘接部件11、12的接触。

[0121] 另外,第1、第2固定部R1、R2的间隔距离的上限值是在俯视时保持臂7的基端(保持臂7和基部4的边界)和重心G之间的沿Y轴方向的长度(距离)减去第1、第2固定部R1、R2的沿Y轴方向的长度的合计值而得到的值,或者是在俯视时保持臂7的沿Y轴方向的长度(距离)减去第1、第2固定部R1、R2的沿Y轴方向的长度的合计值而得到的值。

[0122] 另外,虽然第1、第2固定部R1、R2分别形成为圆形,但它们在俯视时的形状不限于此,可以是椭圆形、长圆形,也可以是三角形、四边形、五边形等多边形,还可以是异形。并且,作为第1、第2固定部R1、R2的直径,没有特别限定,但例如可以是 $60\mu\text{m}$ 以上、且 $100\mu\text{m}$ 以下的程度。由此,能够充分确保与导电性粘接部件11、12的接触面积,能够将振动元件2牢固地固定于底座91。

[0123] 如上所述,在振动元件2中,利用基部4的宽度缩小部42,使得振动臂5、6的振动不易传递至保持臂7。因此,通过在保持臂7上设置第1、第2固定部R1、R2,能够有效地减少经由导电性粘接部件11、12的振动泄漏。

[0124] 并且,第2固定部R2位于比第1固定部R1靠基部4的末端侧的位置,并与第1固定部R1在Y轴方向上排列地设置。并且,第1、第2固定部R1、R2的中心在俯视时位于保持臂7的宽度方向(X轴方向)的中心,并且位于与Y轴平行的直线L1上。由此,能够以良好的平衡将振动

元件2固定于底座91。

[0125] 如图3所示,这样的固定区域R的Y轴方向的长度(第1固定部R1的最靠基端的部分和第2固定部R2的最靠末端的部分之间的间隔距离)L5比X轴方向上的宽度(长度)W5长。由此,固定区域R沿振动元件2的长度方向形成得较长,因此能够以良好的平衡将振动元件2固定于基座91。特别地,优选长度L5为宽度W5的2倍以上、5倍以下。由此,能够更稳定地将振动元件2固定于底座91。

[0126] 并且,在设振动元件2的重心G和保持臂7的基端(基部4的末端)之间的在Y轴方向上的俯视时的长度(距离)为L10的情况下,优选的是,固定区域R在俯视时,固定区域R的Y轴方向的中心O5位于从保持臂7的基端起算,朝向末端离开 $0.15 \times L10 \sim 0.30 \times L10$ 的长度的范围O1内。范围O1是不易受到振动臂5、6的振动的影响的部位,因此,通过以这样的位置为中心配置固定区域R,能够特别有效地减少经由导电性粘接部件11、12的振动泄漏。

[0127] 电极8具有:第1驱动用电极84、第2驱动用电极85、与第1驱动用电极84连接的第1连接电极81、以及与第2驱动用电极85连接的第2连接电极82。

[0128] 如图5所示,在振动臂5上形成有一对第1驱动用电极84和一对第2驱动用电极85。第1驱动用电极84中的一个形成于槽52的侧面,另一个形成于槽53的侧面。并且,第2驱动用电极85中的一个形成于侧面513,另一个形成于侧面514。同样地,在振动臂6上也形成有一对第1驱动用电极84和一对第2驱动用电极85。第1驱动用电极84中的一个形成于侧面613,另一个形成于侧面614。并且,第2驱动用电极85中的一个形成于槽62的侧面,另一个形成于槽63的侧面。

[0129] 并且,如图6所示,第1连接电极81设于第1固定部R1,并经由未图示的配线与各第1驱动用电极84电连接。并且,第2连接电极82设于第2固定部R2,并经由未图示的配线与各第2驱动用电极85电连接。因此,第1连接电极81经由导电性粘接部件11与连接端子951电连接,第2连接电极82经由导电性粘接部件12与连接端子961电连接。当在第1、第2连接电极81、82之间施加交变电压时,振动臂5、6以在大致面内反复交替地彼此接近、远离的方式在面内方向(X轴方向)上以规定的频率进行振动。即,振动臂5、6以所谓的X逆向模式进行振动。

[0130] 作为第1、第2驱动用电极84、85和第1、第2连接电极81、82的结构,没有特别限定,可以由金(Au)、金合金、铂(Pt)、铝(Al)、铝合金、银(Ag)、银合金、铬(Cr)、铬合金、镍(Ni)、镍合金、铜(Cu)、钼(Mo)、铌(Nb)、钨(W)、铁(Fe)、钛(Ti)、钴(Co)、锌(Zn)、锆(Zr)等金属材料、氧化铟锡(ITO)等导电材料形成。

[0131] 作为第1、第2驱动用电极84、85和第1、第2连接电极81、82的具体结构,例如可以是在 700 \AA 以下的Cr层上形成 700 \AA 以下的Au层而成的结构。特别是Cr和Au的热弹性损耗大,因此Cr层、Au层优选为 200 \AA 以下。在提高抗绝缘损坏性的情况下,Cr层、Au层优选为 1000 \AA 以上。此外,Ni与石英的热膨胀系数接近,因此,通过用Ni层替代Cr层来作为基底,能够使电极所引起热应力减小,从而得到长期可靠性(老化特性)良好的振动元件。

[0132] 另外,虽然作为施重部的锤头59、69是沿着X轴方向的长度比臂部51、61大的宽度扩大部,但是不限于此,只要每单位长度的质量密度比臂部51、61大即可。例如,施重部也可以是如下结构:与臂部51、61的沿着X轴方向的长度相同,而沿着Z轴方向的厚度比臂部厚。

此外,施重部还可以通过在臂部51、61的对应于施重部的表面较厚地设置Au等金属而构成。而且,施重部还可以由质量密度比臂部51、61高的物质构成。

[0133] 以上,对振动元件2进行了说明。如上所述,在振动元件2中,通过在振动臂5、6上设置槽52、53、62、63,实现了热弹性损耗的减少。以下,关于该情况,以振动臂5为例具体进行说明。

[0134] 如上所述,振动臂5通过在第1、第2驱动用电极84、85之间施加交变电压而在大致面内方向上进行弯曲振动。如图8所示,在该弯曲振动时,当臂部51的侧面513收缩时,侧面514拉伸,相反地,当臂部51的侧面513拉伸时,侧面514收缩。在振动臂5不产生Gough—Joule效应的(能量弹性相对于熵弹性占支配性的)情况下,侧面513、514中的进行收缩的面侧的温度上升,进行拉伸的面侧的温度下降。因此,在侧面513与侧面514之间即臂部51的内部产生温度差。由于因该温度差产生的热传导而产生振动能量的损耗,由此振动元件2的Q值降低。也将这样的Q值的降低称作热弹性效应,将热弹性效应造成的能量损耗称作热弹性损耗。

[0135] 在振动元件2那样的结构的以弯曲振动模式进行振动的振动元件中,当振动臂5的弯曲振动频率(机械的弯曲振动频率) f 发生了变化时,且振动臂5的弯曲振动频率与热弛豫频率 f_m 一致时,Q值最小。该热弛豫频率 f_m 能够用 $f_m = 1/(2\pi\tau)$ 求出(其中,式中 π 是圆周率,如果将 e 设为纳皮尔数,则 τ 是温度差因热传导而成为 $e-1$ 倍所需的弛豫时间)。

[0136] 此外,如果将平板构造(截面形状是矩形的构造)的热弛豫频率设为 f_{m0} ,则 f_{m0} 能够用下式求出。

$$[0137] \quad f_{m0} = \pi k / (2\rho C_p a^2) \cdots \cdots (1)$$

[0138] 其中, π 是圆周率、 k 是振动臂5的振动方向(X轴方向)的导热系数、 ρ 是振动臂5的质量密度、 C_p 是振动臂5的热容、 a 是振动臂5的振动方向的宽度。在对式(1)中的导热系数 k 、质量密度 ρ 、热容 C_p 输入了振动臂5的材料自身(即石英)的常数时,求出的热弛豫频率 f_{m0} 成为未在振动臂5上设置槽52、53时的值。

[0139] 在振动臂5中,以位于侧面513、514之间的方式形成有槽52、53。因此,以绕过槽52、53的方式形成热移动路径,该热移动路径用于通过热传导使得在振动臂5的弯曲振动时产生的侧面513、514的温度差达到温度平衡,热移动路径比侧面513、514间的直线距离(最短距离)长。因此,与未在振动臂5上设置槽52、53的情况相比,弛豫时间 τ 变长,热弛豫频率 f_m 变低。

[0140] 图9是表示弯曲振动模式的振动元件的Q值的 f/f_m 依赖性的曲线图。在该图中,虚线所示的曲线F1表示如振动元件2那样在振动臂上形成有槽的情况,实线所示的曲线F2表示在振动臂上未形成槽的情况。如该图所示,曲线F1、F2的形状没有差别,但伴随上述那样的热弛豫频率 f_m 的降低,曲线F1相对于曲线F2向频率降低方向移动。因此,如果设如振动元件2那样在振动臂上形成有槽的情况下的热弛豫频率为 f_{m1} ,则通过满足下式(2),在振动臂上形成有槽的振动元件的Q值始终高于在振动臂上未形成槽的振动元件的Q值。

$$[0141] \quad f > \sqrt{f_{m0} f_{m1}} \cdots \cdots (2)$$

[0142] 而且,如果限定为 $f/f_{m0} > 1$ 的关系,则能够得到更高的Q值。

[0143] 另外,在图9中,也将 $f/f_m < 1$ 的区域称作等温区域,在该等温区域中,随着 f/f_m 变

小, Q 值变高。这是因为, 随着振动臂的机械频率变低(振动臂的振动变慢), 难以产生上述那样的振动臂内的温度差。因此, 在使 f/f_m 无限接近0(零)时的极限情况下, 成为等温准静态操作, 热弹性损耗无限接近0(零)。另一方面, 也将 $f/f_m > 1$ 的区域称作隔热区域, 在该隔热区域中, 随着 f/f_m 变大, Q 值变高。这是因为, 随着振动臂的机械频率变高, 各侧面的温度上升/温度效应的切换变得高速, 不存在产生上述那样的热传导的时间。因此, 在使 f/f_m 无限大时的极限情况下, 成为隔热操作, 热弹性损耗无限接近0(零)。因此, 满足 $f/f_m > 1$ 的关系也可以称作 f/f_m 处于隔热区域。

[0144] 在此, 第1、第2驱动用电极84、85的构成材料(金属材料)的导热系数比振动臂5、6的构成材料即石英高, 因而在振动臂5中积极地进行经由第1驱动用电极84的热传导, 在振动臂6中积极地进行经由第2驱动用电极85的热传导。在积极地进行这样的经由第1、第2驱动用电极84、85的热传导时, 弛豫时间 τ 缩短。因此, 如图5所示, 在振动臂5中, 利用槽52、53的底面将第1驱动用电极84分成侧面513侧和侧面514侧, 在振动臂6中, 利用槽62、63的底面将第2驱动用电极85分成侧面613侧和侧面614侧, 减小如上所述的热传导。其结果是, 能够得到防止弛豫时间 τ 缩短、且具有更高的 Q 值的振动元件2。

[0145] 接下来, 基于仿真结果对振动元件2的振动特性进行说明。

[0146] 图10(a)是在本仿真中使用的振动元件2a的一例。如该图所示, 在本仿真中, 使用了如下振动元件2a: 全长(Y轴方向的长度)为 $800\mu\text{m}$, 宽度(X轴方向的长度)为 $553\mu\text{m}$, 厚度(Z轴方向的厚度)为 $130\mu\text{m}$, 槽52、53、62、63的深度分别为 $60\mu\text{m}$ 。并且, 它们的重心G和保持臂7的基端X之间的间隔距离为 $356\mu\text{m}$ 。

[0147] 并且, 对于图10(a)所示的振动元件2a, 保持臂7a的末端位于比重心G靠基部4侧的位置, 并且保持臂7a的Y轴方向的长度为 $290.4\mu\text{m}$ 。并且, 固定部R的中心O5位于重心G和保持臂7a的基端X之间的Y轴方向的范围O1内。并且, 保持臂7a的基端X和第1固定部R1的中心部之间的距离(保持位置S5)是 $76\mu\text{m}$, 保持臂7a的末端和第2固定部R2的中心部之间的间隔距离A5是 $84.4\mu\text{m}$ 。并且, 第1、第2固定部R1、R2形成为圆形, 其直径是 $80\mu\text{m}$ 。

[0148] 在第1、第2固定部R1、R2处, 利用金凸块(杨氏模量 $70.0[\text{GPa}]$ 、泊松比0.44、质量密度 $19300[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、直径 $80\mu\text{m}$ 、厚度 $20\mu\text{m}$)将这样的振动元件2a固定于对象物, 在该状态下, 仿真并考察振动元件2的振动特性。另外, 作为对象物, 使用了具有与封装9相同的物性的部件。关于到达第1、第2固定部R1、R2和对象物的界面的弹性波向对象物的透过, 假设就这样泄漏而不会返回, 将该泄漏部分的能量损耗作为振动泄漏, 计算仅考虑了振动泄漏时的 Q 值。

[0149] 图10(b)所示的曲线图Q1是对振动元件2的振动特性进行了仿真的结果。图10(b)中, 横轴表示第1固定部R1的保持位置S5, 纵轴表示 Q_{Leak} 值。另外, Q_{Leak} 值是仅考虑了振动泄漏时的 Q 值(即, 不考虑热弹性损耗等时的 Q 值)的指标, 该值越大, 表示振动特性越好。

[0150] 并且, 图10(b)所示的曲线图Q1是基于上述图10(a)所示的振动元件2a的仿真结果。另外, 曲线图Q1上的点(plot)q1相当于振动元件2a。

[0151] 图10(b)所示的曲线图Q1是在使保持臂7a的末端和第2固定部R2之间的间隔距离A5恒定的状态下, 使保持臂7a的Y轴方向的长度L6变化时的仿真结果。即, 曲线图Q1示出了在间隔距离A5恒定的状态下, 通过使长度L6变化来使固定区域R的配置位置变化而使第1固定部R1的保持位置S5变化时的振动元件2a的 Q_{Leak} 值的变化。

[0152] 根据该曲线图Q1,在点q1时 Q_{Leak} 值最高,从这里开始随着保持位置S5变小, Q_{Leak} 值急剧下降,并且,从这里开始随着保持位置S5变大, Q_{Leak} 值缓慢下降。

[0153] 根据该结果,可以说图10(a)所示的振动元件2a、即固定区域R位于重心G和保持臂7a的基端之间的Y轴方向的范围O1且固定区域R的Y轴方向的中心O5位于重心G和保持臂7a的基端之间的Y轴方向的中心附近的振动元件2a的 Q_{Leak} 值最高。

[0154] 因此,若以这样的位置为中心配置固定区域R,则能够特别有效地减少振动元件2a的振动泄漏所引起的Q值降低。并且,如果在重心G和保持臂7的基端X之间设置固定区域R,则更不易受到振动臂5、6弯曲变形时产生的振动的的影响。

[0155] 顺便说一下,也可以是,利用双马来酰亚胺类的导电性粘接部件(杨氏模量3.4[GPa]、泊松比0.33、质量密度4070[kg/m³]、直径80 μ m、厚度20 μ m)来代替上述的金凸块而将振动元件2a固定于对象物,在该状态下,对振动元件2的振动特性进行仿真。即使在该情况下,也能够得到与使用上述的金属凸块的情况相同的结果。

[0156] <第2实施方式>

[0157] 接下来,对本发明的振子的第2实施方式进行说明。

[0158] 图11是本发明的第2实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。

[0159] 以下,对于第2实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0160] 本发明的第2实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0161] 如图11所示,振动元件2A的保持臂7A以跨过重心G的方式设置。即,保持臂7A的Y轴方向的长度比上述第1实施方式的保持臂7长。而且,在保持臂7A的末端侧,设有固定区域R。并且,第2固定部R2在从Z轴方向观察的俯视时,设于与重心G重合的位置。另外,保持臂7A的末端和固定区域R(第1、第2固定部R1、R2)的位置关系与上述第1实施方式的保持臂7和固定区域R的位置关系相同。

[0162] 通过这样的第2实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0163] <第3实施方式>

[0164] 接下来,对本发明的振子的第3实施方式进行说明。

[0165] 图12是本发明的第3实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。

[0166] 以下,对于第3实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0167] 本发明的第3实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0168] 如图12所示,振动元件2B的保持臂7B的末端位于比第1实施方式的保持臂7的末端靠基部4侧的位置。即,保持臂7B的Y轴方向的长度比第1实施方式的保持臂7短。而且,靠向保持臂7B的基端侧,设有固定区域R。另外,保持臂7B的末端和固定区域R(第1、第2固定部R1、R2)的位置关系与上述第1实施方式的保持臂7和固定区域R的位置关系相同。并且,第1固定部R1在从Z轴方向观察的俯视时,其基端侧超过保持臂7B的基端而位于基部4。即,第1固定部R1以跨越保持臂7B和基部4的边界的方式设置。这里,在本实施方式中,使保持臂7B的基端、即保持臂7B和基部4的边界成为将保持臂7B的两侧面与基部4连接的部位彼此连结

起来的线段,在图12中由虚线X表示。

[0169] 通过这样的第3实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0170] <第4实施方式>

[0171] 接下来,对本发明的振子的第4实施方式进行说明。

[0172] 图13是本发明的第4实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图,图14是示出仿真中使用的振动元件的一例、和振动元件的保持位置与 Q_{Leak} 值的关系的图。

[0173] 以下,对于第4实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0174] 本发明的第4实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0175] 如图13所示,振动元件2C的保持臂7C在俯视时,以跨过重心G的方式设置,保持臂7C的基端位于比重心靠-Y轴侧的位置,保持臂7C的末端位于比重心G靠+Y轴侧的位置。即,保持臂7C的全长(Y轴方向的长度)比上述第1实施方式的保持臂7长。而且,在保持臂7C的基端侧,设有固定区域R。另外,保持臂7C的基端和固定区域R(第1、第2固定部R1、R2)的位置关系与上述第1实施方式的保持臂7和固定区域R的位置关系相同。

[0176] 这里,振动元件2C与第1实施方式的振动元件2相同地构成为,以振动臂5、6反复交替地彼此接近、远离而弯曲振动的X逆向模式进行振动,除了该振动模式之外,还存在振动臂5、6向X轴方向的相同侧弯曲振动的X同相模式、振动臂5、6向Z轴方向的相同侧弯曲振动的Z同相模式、振动臂5、6向Z轴方向的相反侧弯曲振动的Z逆向模式、振动臂5、6绕Y轴向相同方向扭转振动的同相扭转模式、振动臂5、6绕Y轴向相反方向扭转振动的逆相扭转模式等不必要的振动模式。在振动元件2C以X逆向模式进行振动时,如上所述,保持臂7C交替地向+Y轴方向和-Y轴方向振动。但是,在振动元件2C存在形状上的非对称性时,或存在与不必要的模式的结合时,保持臂7C的末端部非本意地在X轴方向(面内方向)、Z轴方向(面外方向)上振动。因此,如本实施方式那样,通过避开保持臂7C的末端部,将固定区域R设于基端侧,能够进一步减少振动泄漏。

[0177] 并且,在本实施方式中,与第1实施方式相比,由于保持臂7C的长度长,所以质量增大,相应地,变得不易振动。并且,可以将固定区域R设在离保持臂7C的末端部更远的位置(保持臂7C的基端侧)。由此,固定区域R更不易受到上述那样的振动臂5、6的振动的的影响,因此,与第1实施方式相比,能够特别有效地减少振动泄漏。

[0178] 根据这样的第4实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0179] 并且,基于仿真结果对以上说明的振动元件2的振动特性进行说明。

[0180] 图14(a)是在本仿真中使用的振动元件2b的一例。如该图所示,在本仿真中,使用了如下振动元件2b:全长(Y轴方向的长度)为 $800\mu\text{m}$,宽度(X轴方向的长度)为 $553\mu\text{m}$,厚度(Z轴方向的厚度)为 $130\mu\text{m}$,槽52、53、62、63的深度分别为 $60\mu\text{m}$ 。并且,它们的重心G和保持臂7b的基端X之间的间隔距离为 $356\mu\text{m}$ 。

[0181] 并且,在图14(a)所示的振动元件2b中,在俯视时,保持臂7b以跨过重心G的方式设置。并且,其保持臂7b的Y轴方向的长度是 $490\mu\text{m}$ 。并且,固定区域R的中心O5位于重心G和保持臂7b的基端X之间的Y轴方向的范围O1内。

[0182] 并且,保持臂7b的基端X和第1固定部R1的中心部之间的距离(保持位置S5)为 $76\mu\text{m}$

m,保持臂7b的末端和第2固定部R2之间的间隔距离是84.4 μm 。并且,第1、第2固定部R1、R2形成圆形,其直径为80 μm 。

[0183] 在第1、第2固定部R1、R2处,利用金凸块(杨氏模量70.0[GPa]、泊松比0.44、质量密度19300[kg/m³]、直径80 μm 、厚度20 μm)将这样的振动元件2b固定于对象物,在该状态下,仿真并考察振动元件2的振动特性。另外,作为对象物,使用了具有与封装9相同的物性的部件。

[0184] 图14(b)所示的曲线图Q2是对振动元件2b的振动特性进行了仿真的结果。图14(b)中,横轴表示第1固定部R1的保持位置S5,纵轴表示 Q_{Leak} 值。另外, Q_{Leak} 值是仅考虑了振动泄漏时的Q值(即,不考虑热弹性损耗等时的Q值)的指标,该值越大,表示振动特性越好。

[0185] 并且,图14(b)所示的曲线图Q2是基于上述图14(a)所示的振动元件2b的仿真结果。另外,曲线图Q2上的点q2相当于振动元件2b。

[0186] 图14(b)所示的曲线图Q2是在保持臂7b的末端在俯视时超过重心G、且使保持臂7b的Y轴方向的长度L6恒定的状态下,使固定区域R的位置变化时的仿真结果。即,曲线图Q2示出了在保持臂7b的长度L6恒定的状态下,通过使固定区域R的位置变化而使第1固定部R1的保持位置S5变化时的 Q_{Leak} 值的变化。

[0187] 根据该曲线图Q2,在点q2时 Q_{Leak} 值最高,从这里开始随着保持位置S5变小, Q_{Leak} 值急剧下降,并且,从这里开始随着保持位置S5变大, Q_{Leak} 值缓慢下降。

[0188] 根据该结果,可以说图14(a)所示的振动元件2b、即固定区域R位于重心G和保持臂7a的基端之间的Y轴方向的范围O1且固定区域R的Y轴方向的中心O5位于重心G和保持臂7a的基端之间的Y轴方向的中心附近的振动元件2b的 Q_{Leak} 值最高。

[0189] 因此,若以这样的位置为中心配置固定区域R,则能够特别有效地减少振动元件2b的振动泄漏所引起的Q值降低。并且,如果在重心G和保持臂7的基端X之间设置固定区域R,则更不易受到振动臂5、6弯曲变形时产生的振动的的影响。

[0190] 并且,如本实施方式的仿真结果那样,在保持臂7b的末端在俯视时超过重心G、且长度L6恒定的状态下使固定区域R的位置变化时,与第1实施方式所示的、在间隔距离A5恒定的状态下使长度L6变化的情况相比,能够得到更高的 Q_{Leak} 值。因此,与第1实施方式相比,能够特别有效地减少振动泄漏。可以想到这是因为:与第1实施方式相比,保持器7C的长度更长,因此质量增大,相应地,保持臂7C不易振动。

[0191] <第5实施方式>

[0192] 接下来,对本发明的振子的第5实施方式进行说明。

[0193] 图15是本发明的第5实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。

[0194] 以下,对于第5实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0195] 本发明的第5实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0196] 如图15所示,振动元件2D的保持臂7D以跨过重心G的方式设置。即,保持臂7D的Y轴方向的长度比上述第1实施方式的保持臂7长。而且,在保持臂7D的中央部附近,设有固定区域R。并且,第2固定部R2在从Z轴方向观察的俯视时,设于与重心G重合的位置。另外,第1、第2固定部R1、R2彼此的位置关系与上述第1实施方式的第1、第2固定部R1、R2彼此的位置关系

相同。

[0197] 这里,振动元件2D与上述第1实施方式的振动元件2相同地构成为以X逆相模式进行振动,但在该振动模式中结合有其他不必要的振动模式等,破坏了振动臂5、6的平衡,从而保持臂7D的末端部非本意地在X轴方向、Z轴方向上振动。因此,与上述第4实施方式相同地,在本实施方式中,通过避开保持臂7D的末端部来设置固定区域R,能够进一步减少振动泄漏。

[0198] 并且,振动元件2D与上述第1实施方式相同地,振动臂5、6的振动被宽度缩小部42抵消,从而不易向保持臂7D传递。但是有时,未被宽度缩小部42完全抵消的振动会经由基部4向保持臂7D传递。因此,如本实施方式那样,通过避开保持臂7D的基端部来设置固定区域R,能够进一步减少振动泄漏。

[0199] 另外,作为固定区域R的长度L5,没有特别限定,但设重心G和保持臂7D的基端(边界)X之间的间隔距离(Y轴方向的长度)为L10时,优选满足 $0.589 \times L10 \leq L5 \leq L10$ 的关系。由此,能够更可靠地减少振动泄漏所引起的Q值降低。

[0200] 通过这样的第5实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0201] <第6实施方式>

[0202] 接下来,对本发明的振子的第6实施方式进行说明。

[0203] 图16是本发明的第6实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。

[0204] 以下,对于第6实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0205] 本发明的第6实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0206] 如图16所示,振动元件2E的保持臂7E以跨过重心G的方式设置。即,保持臂7E的Y轴方向的长度比上述第1实施方式的保持臂7长。而且,在保持臂7E的基端侧,设有固定区域R。另外,第1、第2固定部R1、R2彼此的位置关系与上述第1实施方式的第1、第2固定部R1、R2彼此的位置关系相同。

[0207] 并且,第1固定部R1在从Z轴方向观察的俯视时,其基端侧超过保持臂7E的基端而位于基部4。即,第1固定部R1以跨越保持臂7E和基部4的边界的方式设置。这里,在本实施方式中,使保持臂7E的基端、即保持臂7E和基部4的边界成为将保持臂7E的两侧面与基部4连接的部位彼此连结起来的线段,在图16中由虚线X表示。

[0208] 这里,振动元件2E与上述第1实施方式的振动元件2相同地构成为以X逆相模式进行振动,但在该振动模式中结合有其他不必要的振动模式等,破坏了振动臂5、6的平衡,从而保持臂7E的末端部非本意地在X轴方向、Z轴方向上振动。因此,与上述第4实施方式相同,在本实施方式中,通过避开保持臂7E的末端部来设置固定区域R,能够进一步减少振动泄漏。

[0209] 通过这样的第6实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0210] <第7实施方式>

[0211] 接下来,对本发明的振子的第7实施方式进行说明。

[0212] 图17是本发明的第7实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图。

[0213] 以下,对于第7实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,

对于相同的事项,省略其说明。

[0214] 本发明的第7实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0215] 如图17所示,振动元件2F的保持臂7F以跨过重心G的方式设置。并且,保持臂7F在其基端部具有宽度(X轴方向的长度)比末端侧狭窄的宽度狭窄部71。而且,固定区域R被设置成比宽度狭窄部71靠末端侧且比重心G靠基端侧。另外,第1、第2固定部R1、R2彼此的位置关系与上述第1实施方式的第1、第2固定部R1、R2彼此的位置关系相同。通过具有宽度狭窄部71,能够使X同相模式(不必要的振动模式)的谐振频率远离X逆相模式(主模式)的谐振频率。因此,能够减少在主模式的振动中混有不必要的振动的情况,振动元件2F能够发挥优异的振动特性。另外,在设X逆相模式的谐振频率为 ω_0 ,X同相模式的谐振频率为 ω_1 时,优选 $|\omega_0 - \omega_1|/\omega_0$ 为0.12以上,更优选为0.20以上。由此,能够更显著地发挥上述效果。

[0216] 并且,作为宽度狭窄部71的宽度W5,没有特别限定,但优选为比其靠末端侧的部分的宽度W4的20%以上、且50%以下。由此,进一步提高了上述效果,并且基部4的振动更不易传递至保持臂7F。

[0217] 通过这样的第7实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0218] <第8实施方式>

[0219] 接下来,对本发明的振子的第8实施方式进行说明。

[0220] 图18是本发明的第8实施方式的振子所具有的振动元件的俯视图,图19是图18所示的振子的剖视图。

[0221] 以下,对于第8实施方式的振子,以与上述第1实施方式的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0222] 本发明的第8实施方式的振子除了振动元件的结构不同以外,其他与上述第1实施方式相同。另外,对与上述第1实施方式相同的结构标注相同标号。

[0223] 如图18和图19所示,振动元件2G的固定区域R不是像上述第1实施方式那样分成第1、第2固定部R1、R2。即,固定区域R作为一个整体区域而存在。而且,石英基板3在该固定区域R中借助导电性粘接部件11固定于底座91。在固定区域R中设有第1连接电极81,该第1连接电极81经由导电性粘接部件11与连接端子951电连接。并且,第2连接电极82设于基部4的另一主面(+Z轴侧的面),并经由键合线88与连接端子961电连接。通过设置上述那样的固定区域R,与导电性粘接部件11的接触面积变大,因此能够进一步稳定地固定于基座91。并且,能够使导电性粘接部件11和键合线(金属线)88远离,因此能够防止短路(短接)。

[0224] 通过这样的第8实施方式,也可以起到与上述第1实施方式相同的效果。

[0225] 另外,在上述实施方式和变形例中,使用了石英作为振动元件的构成材料,但作为振动元件的构成材料,不限于此,例如可使用氮化铝(AlN)、铌酸锂(LiNbO₃)、钽酸锂(LiTaO₃)、锆钛酸铅(PZT)、四硼酸锂(Li₂b₄O₇)、硅酸镓镧(La₃Ga₅SiO₁₄)等氧化物基板、或使氮化铝、五氧化二钽(Ta₂O₅)等压电体材料层叠到玻璃基板上而构成的压电基板、或者压电陶瓷等。

[0226] 此外,可以使用压电体材料以外的材料形成振动元件。例如,还可以使用硅半导体材料等形成振动元件。此外,振动元件的振动(驱动)方式不限于压电驱动。除了使用压电基板的压电驱动型的振动元件以外,在使用了静电的静电驱动型和利用磁力的劳伦兹驱动型

等的振动元件中,也能够发挥本发明的结构及其效果。此外,在说明书或者附图中,至少一次与更广义的用语或同义的不同用语一起记载的用语,在说明书或者附图的任何地方都能够置换成该不同用语。

[0227] 2. 振荡器

[0228] 接下来,对应用了本发明的振动元件的振荡器(本发明的振荡器)进行说明。

[0229] 图20是示出本发明的振荡器的优选实施方式的剖视图。

[0230] 图20所示的振荡器100具有振子1以及用于驱动振动元件2的IC芯片110。以下,对于振荡器100,以与上述振子的不同点为中心进行说明,对于相同的事项,省略其说明。

[0231] 如图20所示,在振荡器100中,在基座91的凹部911中固定有IC芯片110。IC芯片110与凹部911的底面形成的多个内部端子120电连接。在多个内部端子120中,有的与连接端子951、961连接,有的与外部端子953、963连接。IC芯片110具有用于控制振动元件2的驱动的振荡电路。当通过IC芯片110驱动振动元件2时,可取出规定频率的信号。

[0232] 3. 电子设备

[0233] 接下来,对应用了本发明的振动元件的电子设备(本发明的电子设备)进行说明。

[0234] 图21是示出应用了具有本发明的振动元件的电子设备的移动型(或笔记本型)的个人计算机的结构立体图。在该图中,个人计算机1100由具有键盘1102的主体部1104和具有显示部2000的显示单元1106构成,显示单元1106借助铰链结构部可转动地支承于主体部1104。在这样的个人计算机1100中,内置有作为滤波器、谐振器、基准时钟等发挥功能的振动元件2。

[0235] 图22是示出应用了具有本发明的振动元件的电子设备的便携电话(也包括PHS)的结构立体图。在该图中,便携电话1200具有多个操作按钮1202、听筒1204以及话筒1206,在操作按钮1202和听筒1204之间配置有显示部2000。在这样的移动电话1200中,内置有作为滤波器、谐振器等发挥功能的振动元件2。

[0236] 图23是示出应用了具有本发明的振动元件的电子设备的数字静态照相机的结构的立体图。另外,在该图中还简单地示出与外部设备的连接。这里,通常的照相机利用被摄体的光像对银盐胶片进行感光,而数字静态照相机1300则利用CCD(Charge Coupled Device:电荷耦合器件)等摄像元件对被摄体的光像进行光电转换来生成摄像信号(图像信号)。

[0237] 在数字静态照相机1300的壳体(主体)1302的背面设置有显示部,成为根据CCD的摄像信号进行显示的结构,显示部作为将被摄体显示为电子图像的取景器发挥功能。并且,在壳体1302的正面侧(图中背面侧)设置有包含光学镜头(摄像光学系统)、CCD等的受光单元1304。

[0238] 当摄影者确认了显示在显示部的被摄体像并按下快门按钮1306时,将该时刻的CCD的摄像信号传送到存储器1308进行存储。并且,在该数字静态照相机1300中,在壳体1302的侧面设置有视频信号输出端子1312和数据通信的输入输出端子1314。并且,如图所示,根据需要,将电视监视器1430与视频信号输出端子1312连接,将个人计算机1440与数据通信的输入输出端子1314连接。而且,成为通过规定的操作,将存储在存储器1308内的摄像信号输出到电视监视器1430或个人计算机1440的结构。在这种数字静态照相机1300中内置有作为滤波器、谐振器等发挥功能的振动元件2。

[0239] 另外,具有本发明的振动元件的电子设备除了图21的个人计算机(移动型个人计算机)、图22的便携电话、图23的数字静态照相机以外,还可以应用于例如喷墨式排出装置(例如喷墨式打印机)、膝上型个人计算机、电视机、摄像机、录像机、车载导航装置、传呼机、电子记事本(还包含通信功能的电子记事本)、电子词典、计算器、电子游戏设备、文字处理器、工作站、可视电话、保安用电视监视器、电子双筒望远镜、POS终端、医疗设备(例如电子体温计、血压计、血糖计、心电图计测装置、超声波诊断装置、电子内窥镜)、鱼群探测器、各种测定设备、计量仪器类(例如车辆、飞机、船舶的计量仪器类)、飞行模拟器等。

[0240] 4. 移动体

[0241] 接下来,对应用了本发明的振动元件的移动体(本发明的移动体)进行说明。

[0242] 图24是概略地示出作为本发明的移动体的一例的汽车的立体图。在汽车1500上搭载有振动元件2。振动元件2可广泛地应用于无钥匙门禁、防盗器、汽车导航系统、汽车空调、防抱死制动系统(ABS)、安全气囊、轮胎压力监测系统(TPMS:Tire Pressure Monitoring System)、发动机控制器、混合动力汽车和电动汽车的电池监视器、车身姿态控制系统等的电子控制单元(ECU:electronic control unit)。

[0243] 以上,根据图示的实施方式对本发明的振动元件、振子、振荡器、电子设备以及移动体进行了说明,然而本发明不限于此,各部分的结构可以置换为具有相同功能的任意结构。并且,也可以向本发明附加其他任意的结构物。此外,还可以适当组合各实施方式。

[0244] 此外,在振动元件上,也可以与上述宽度缩小部相区分地,另行地在基部的末端侧(与宽度缩小部相反的一侧),设置基部的宽度(沿着X轴方向的长度)随着朝向+Y轴方向逐渐减小而成的宽度缩小部。通过具有这样的宽度缩小部,振动臂的振动主要被宽度缩小部抵消(缓和/吸收),而未被宽度缩小部完全抵消的振动也能够更有效地得到缓和、吸收。

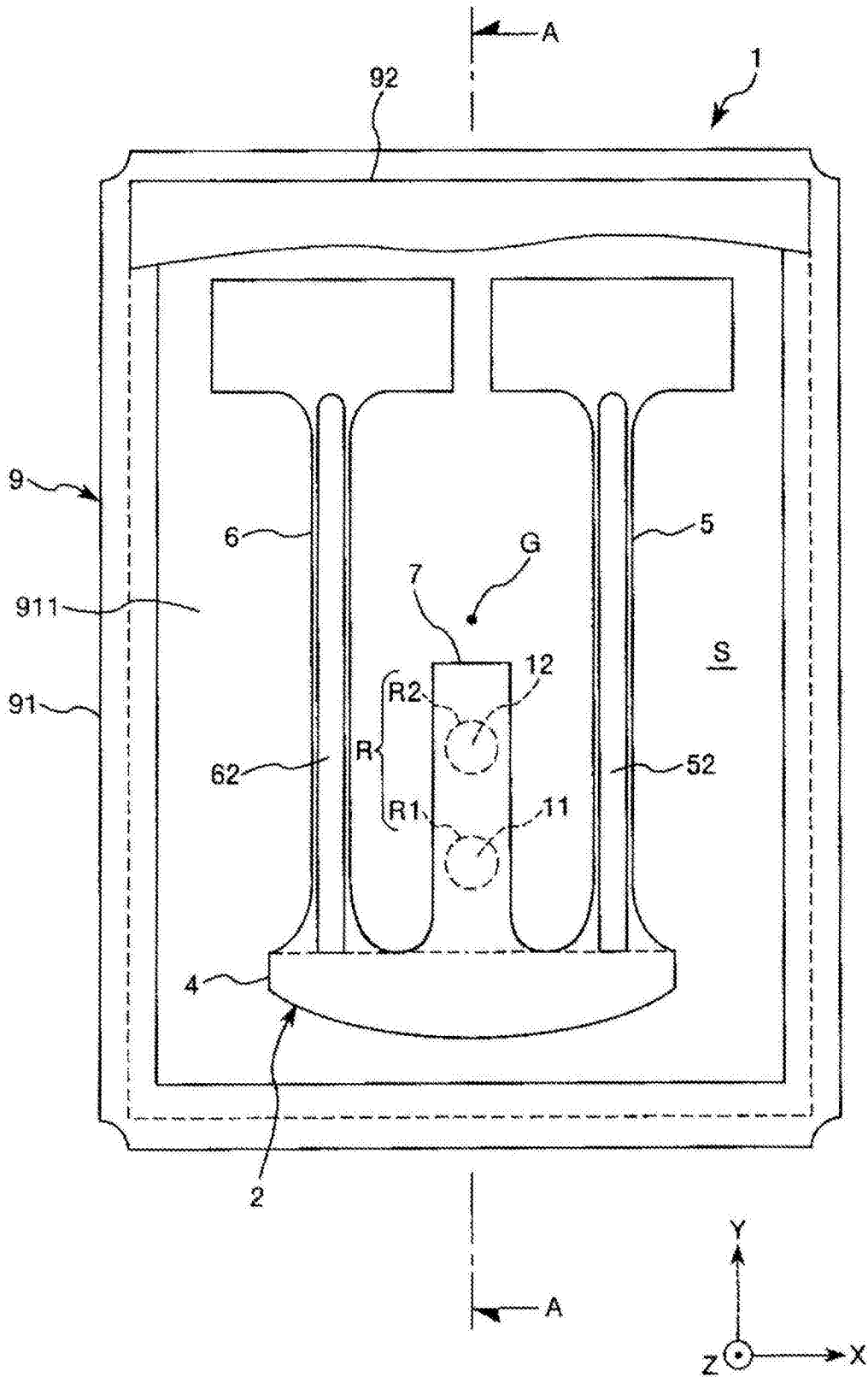


图1

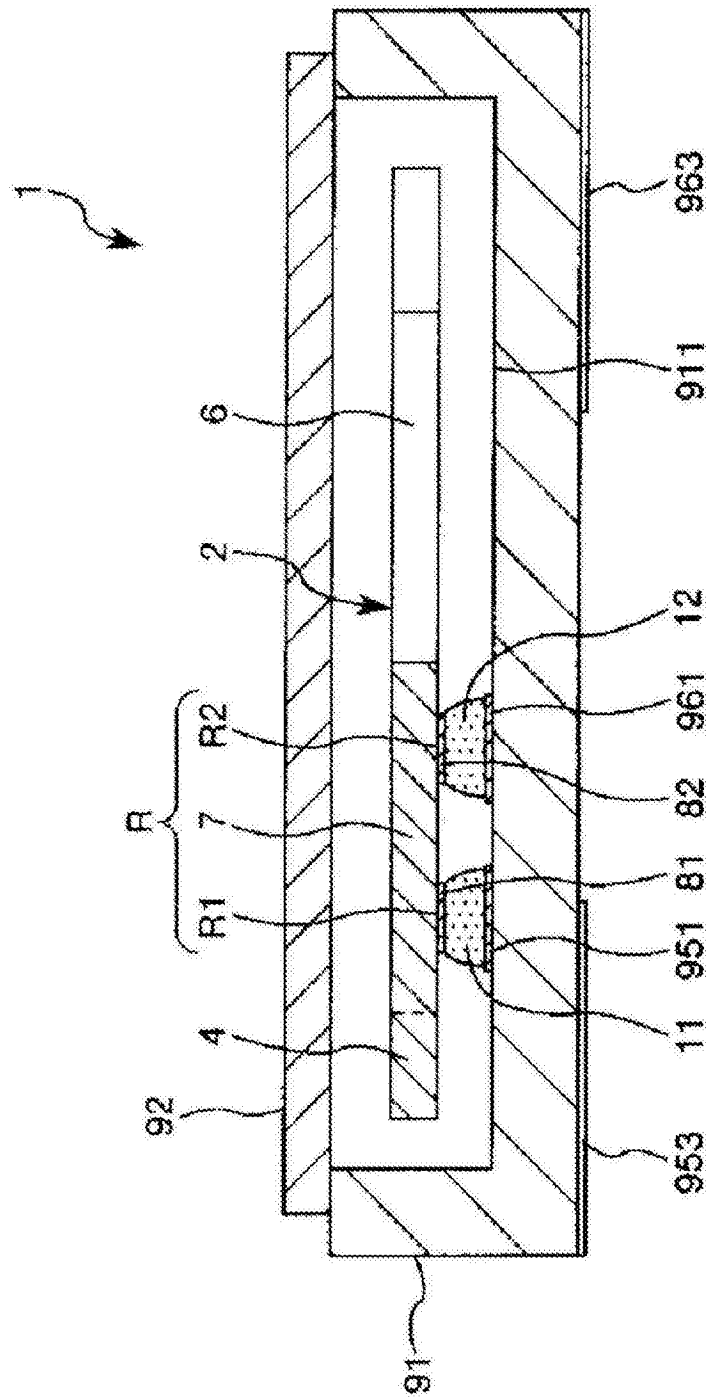


图2

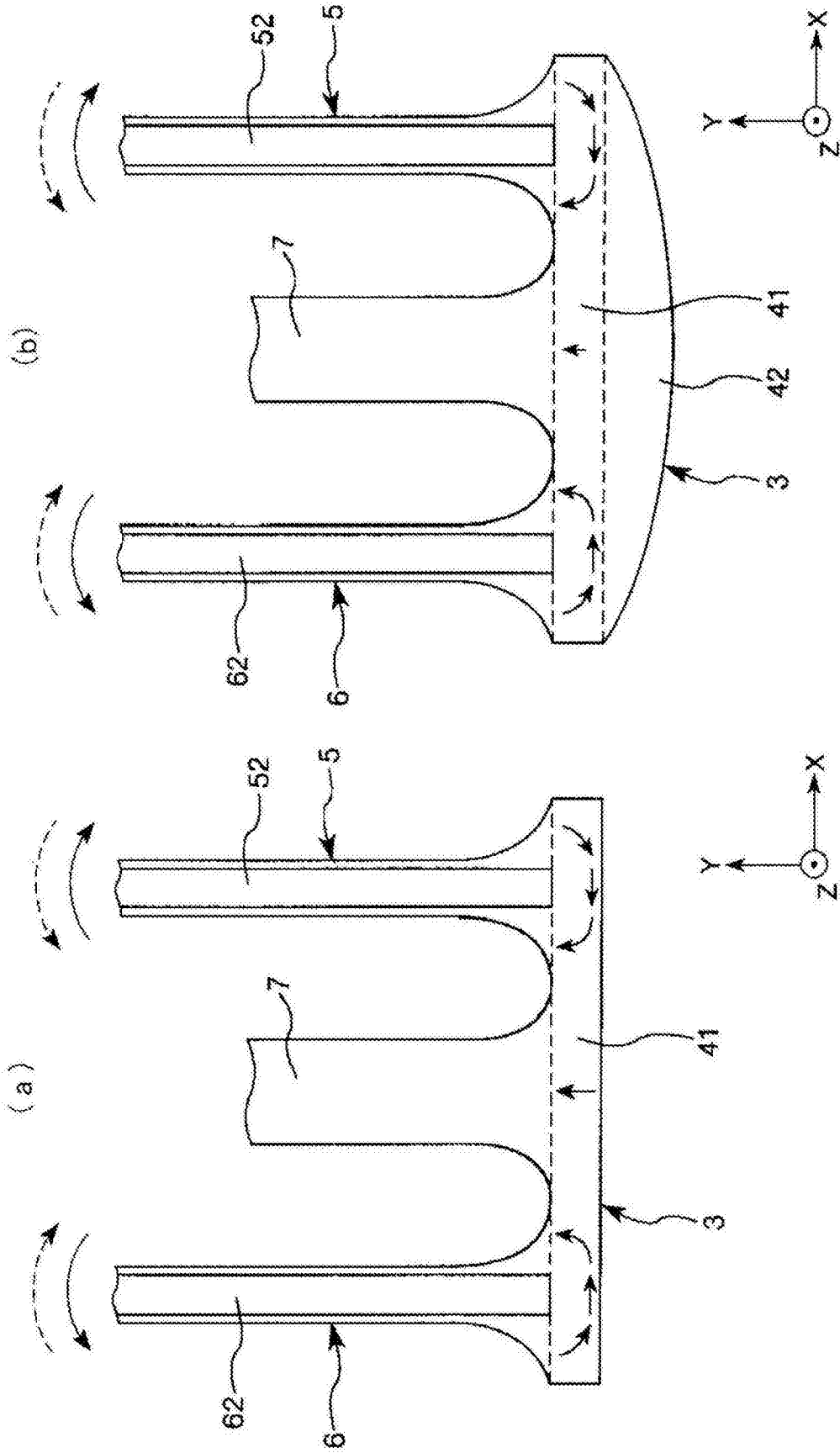


图4

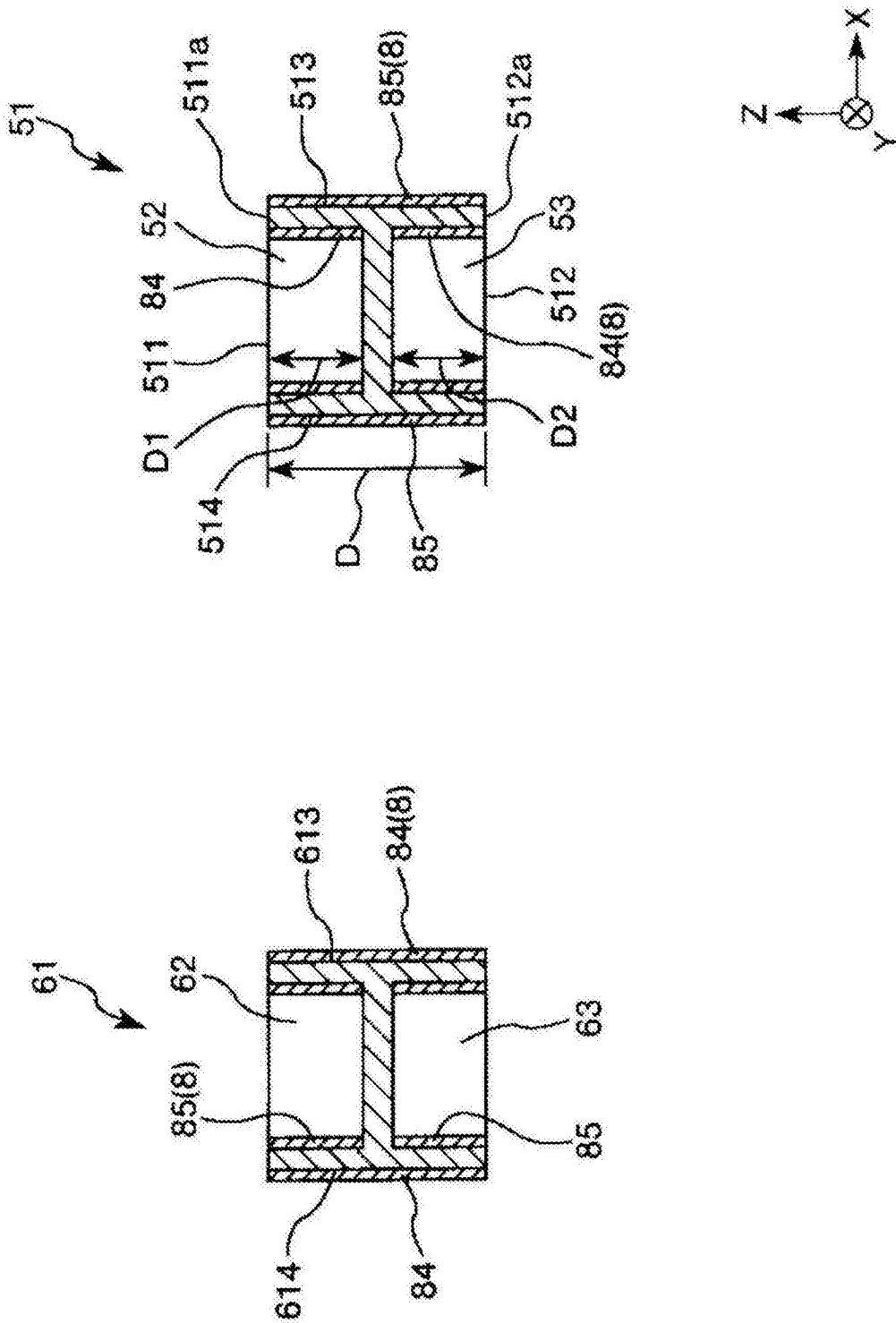


图5

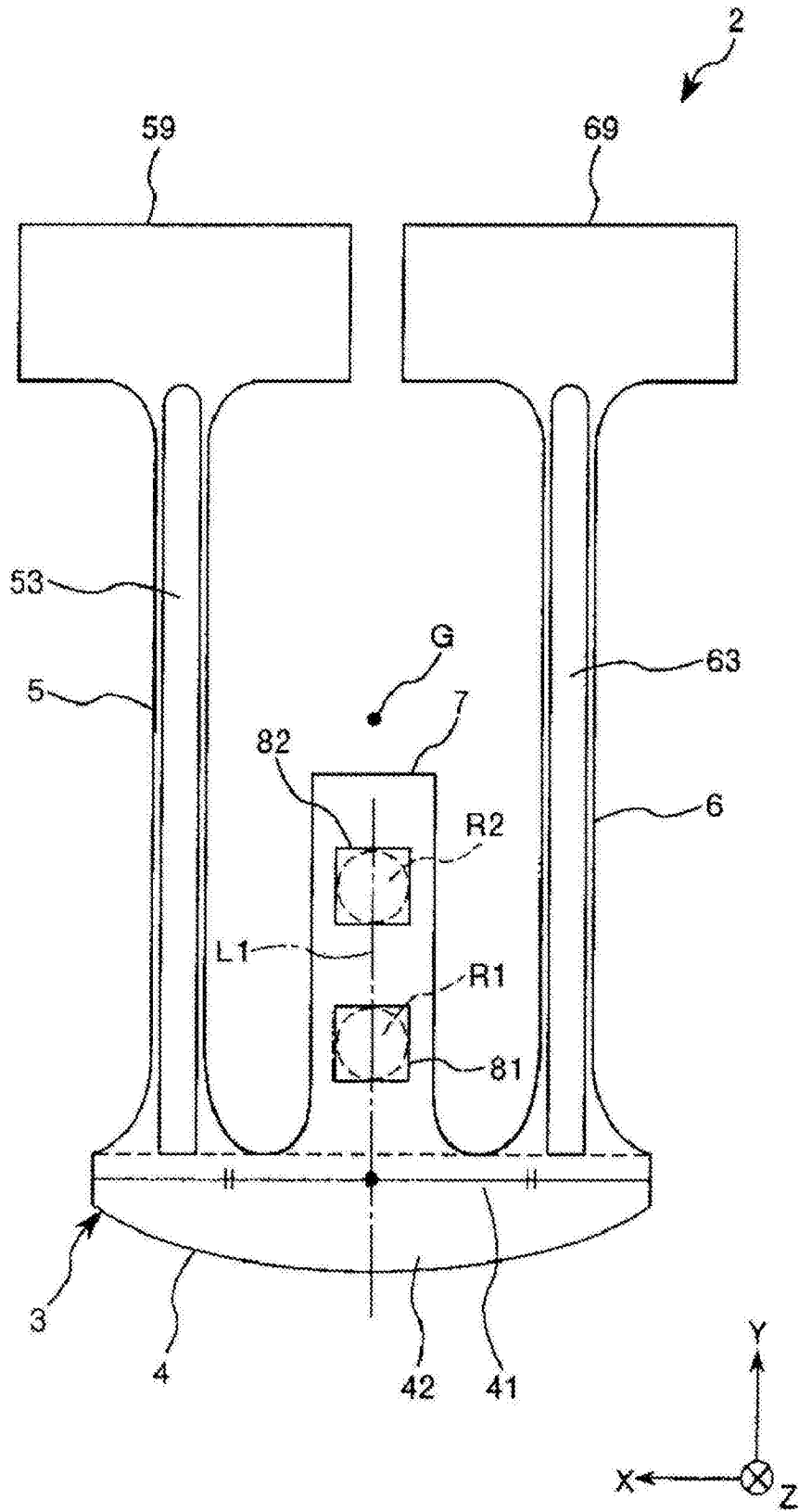


图6

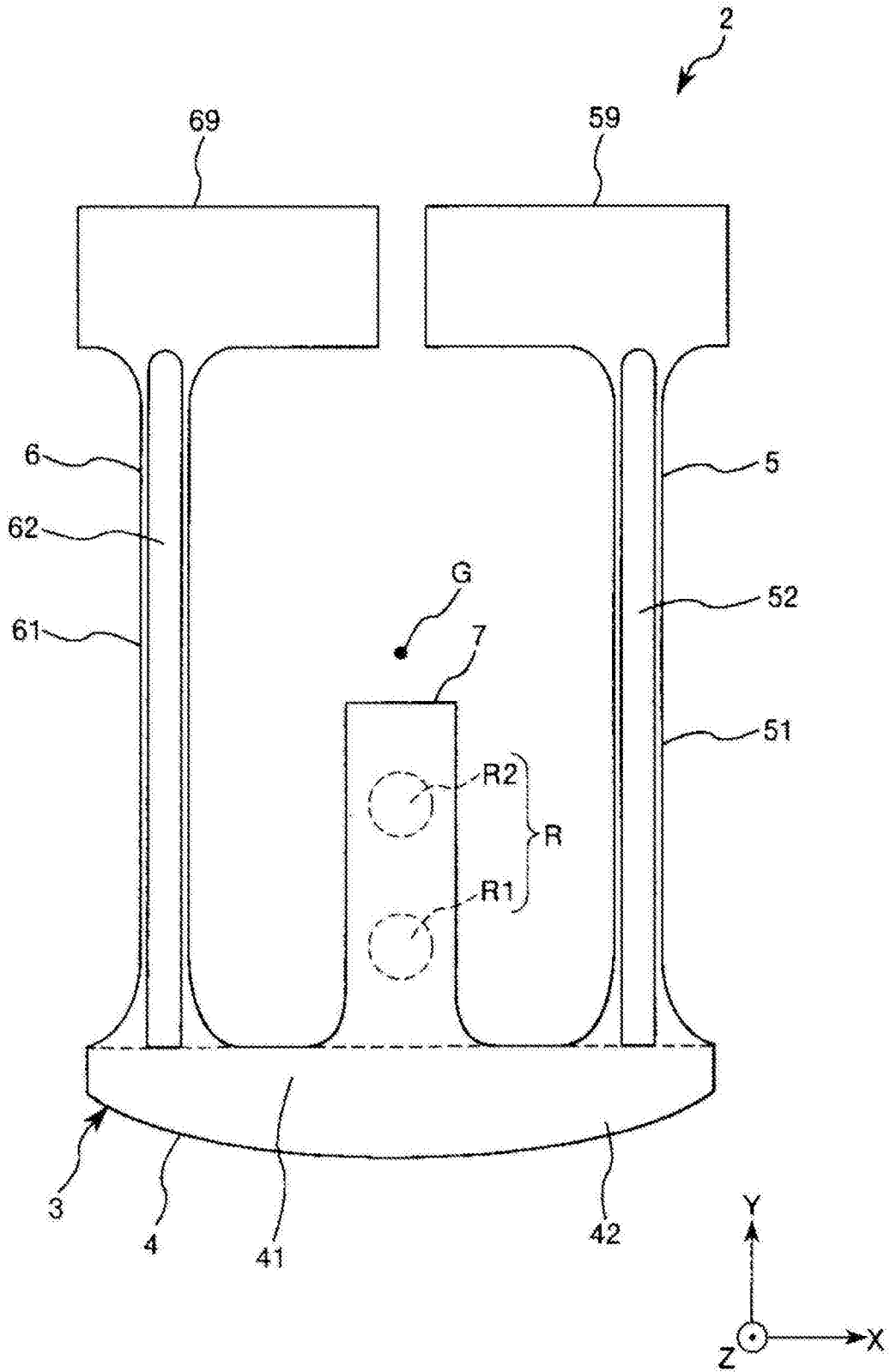


图7

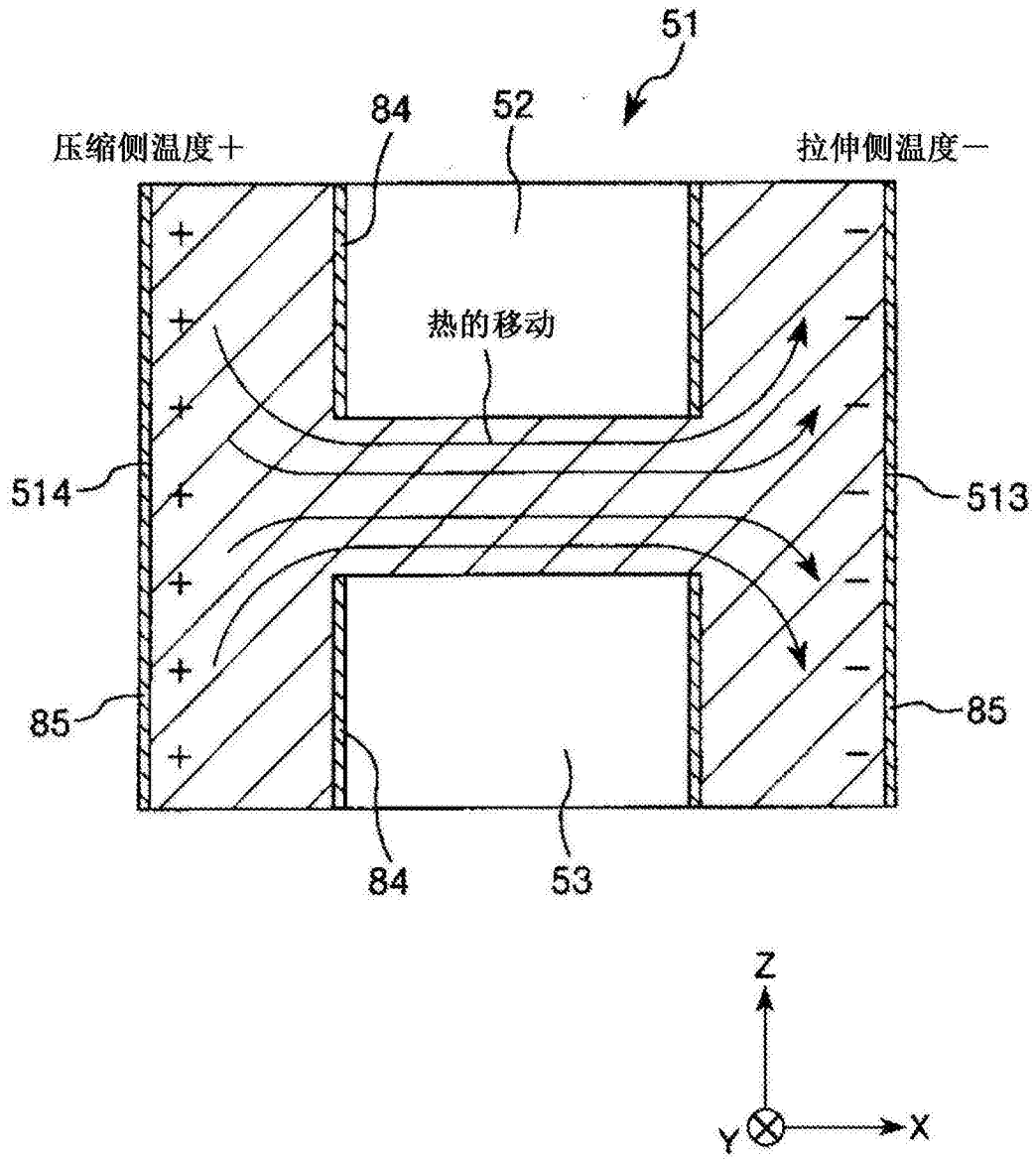


图8

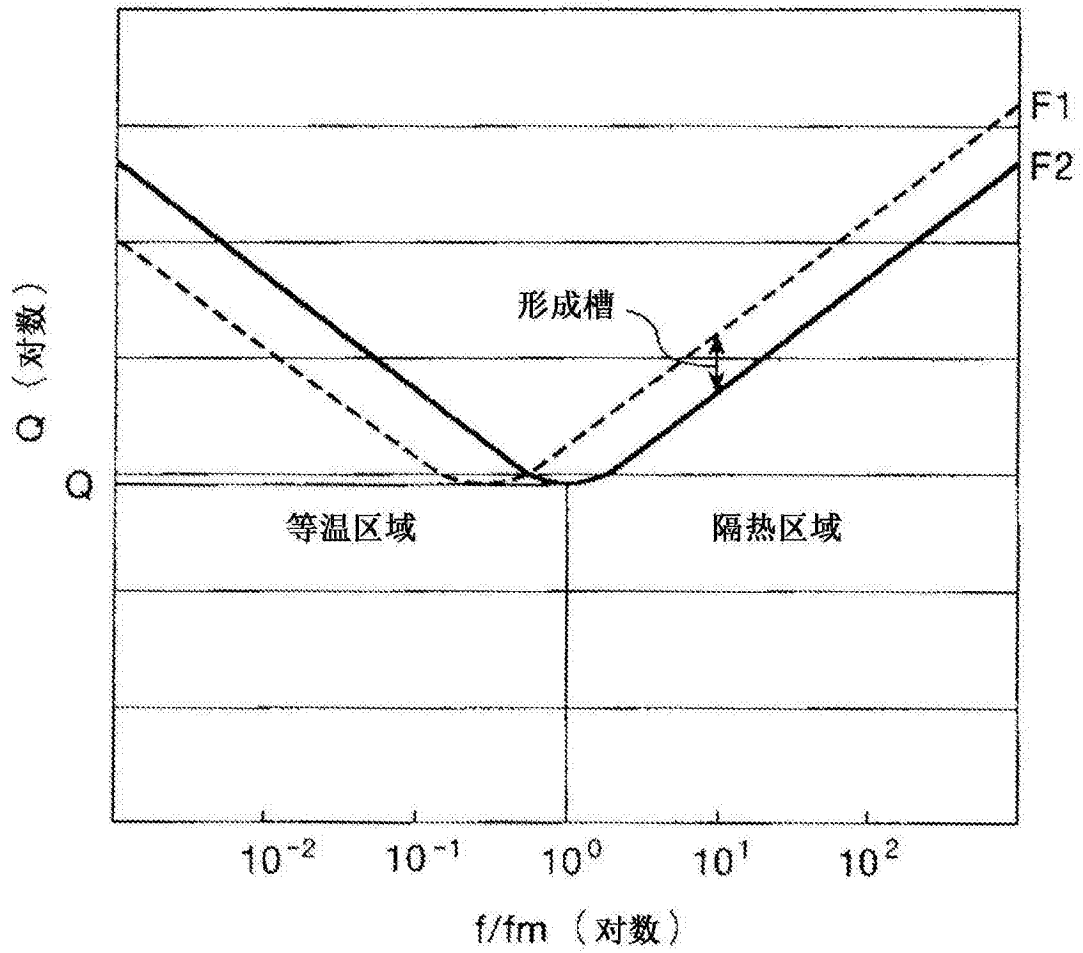


图9

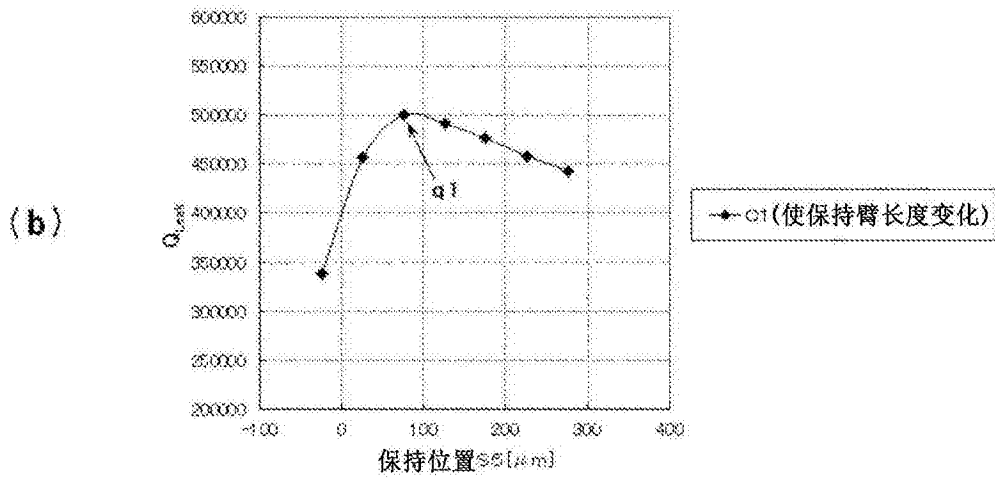
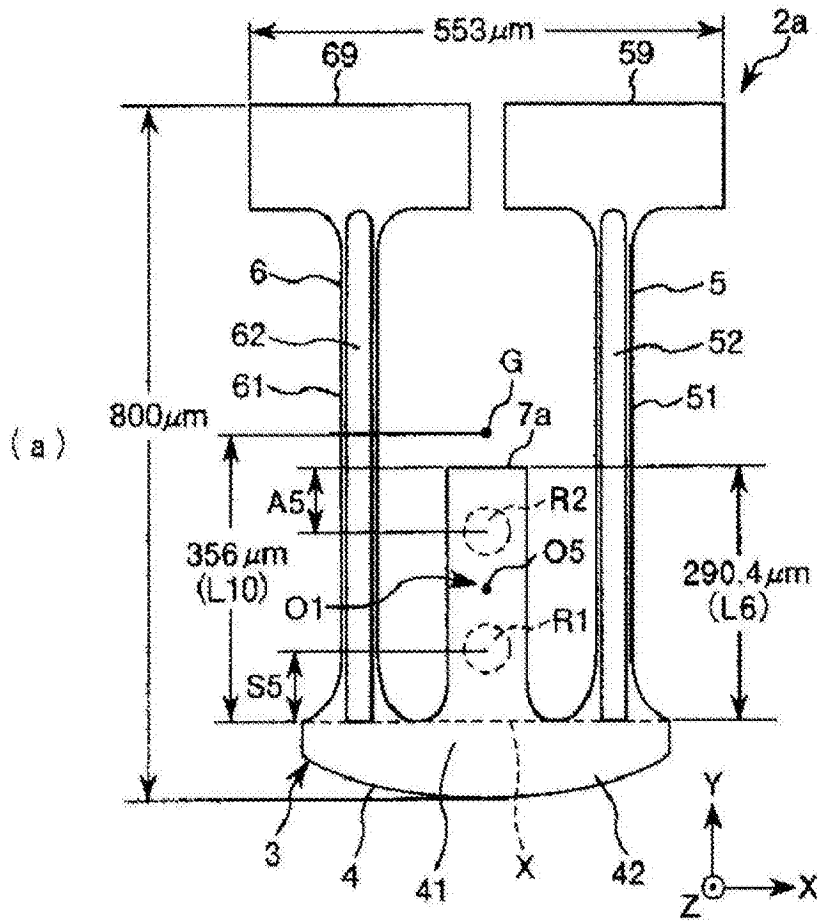


图10

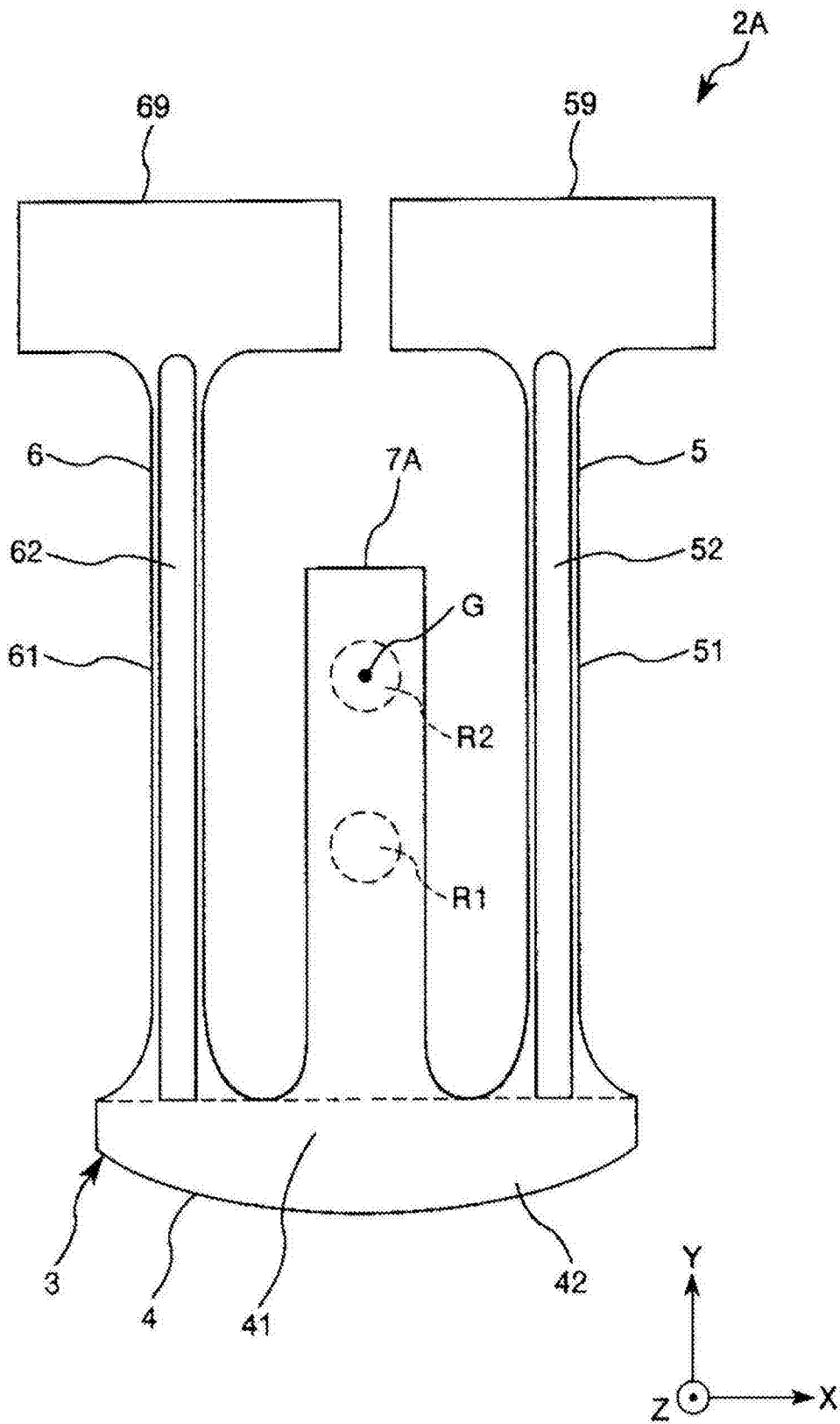


图11

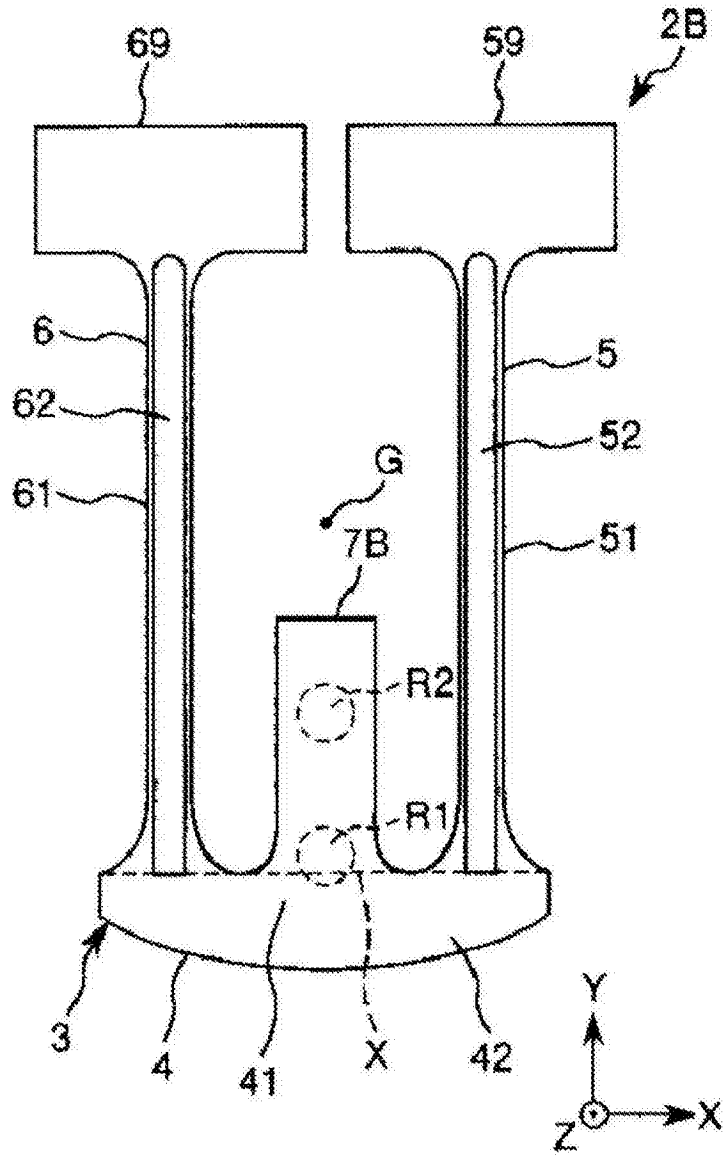


图12

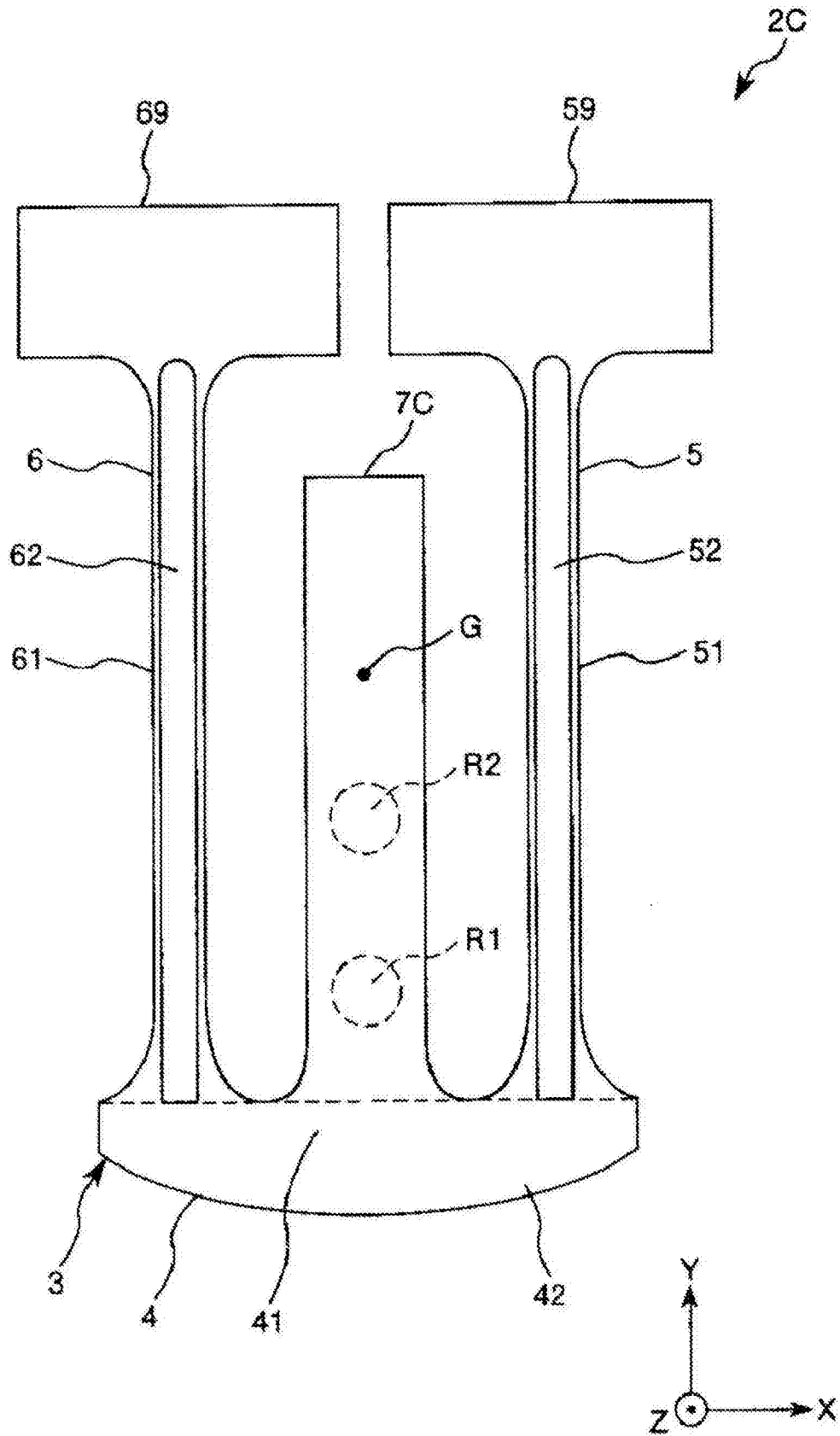


图13

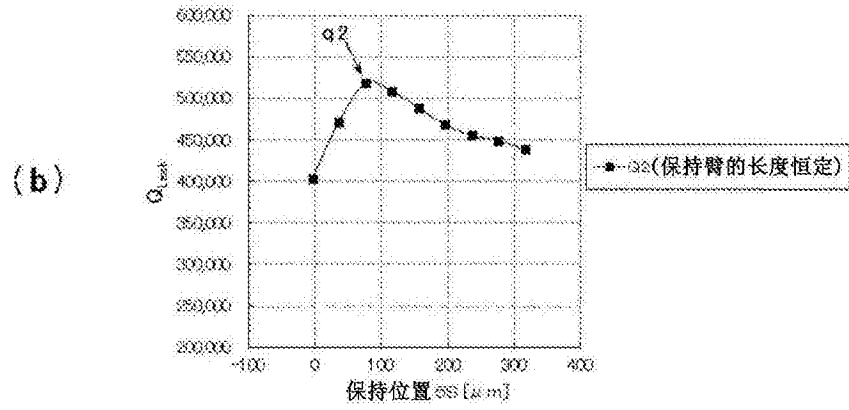
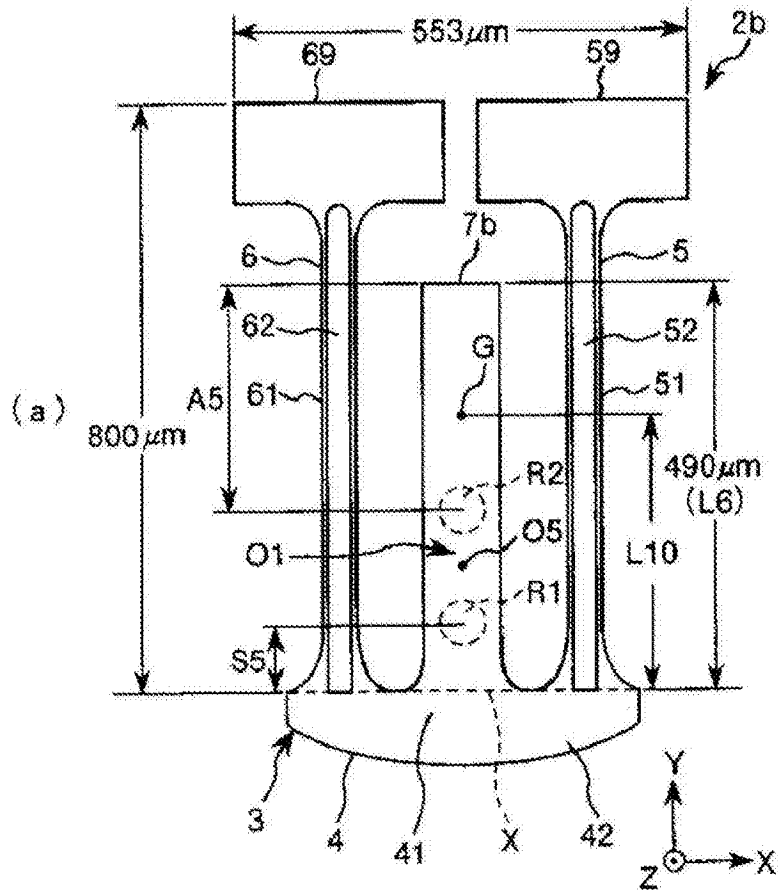


图14

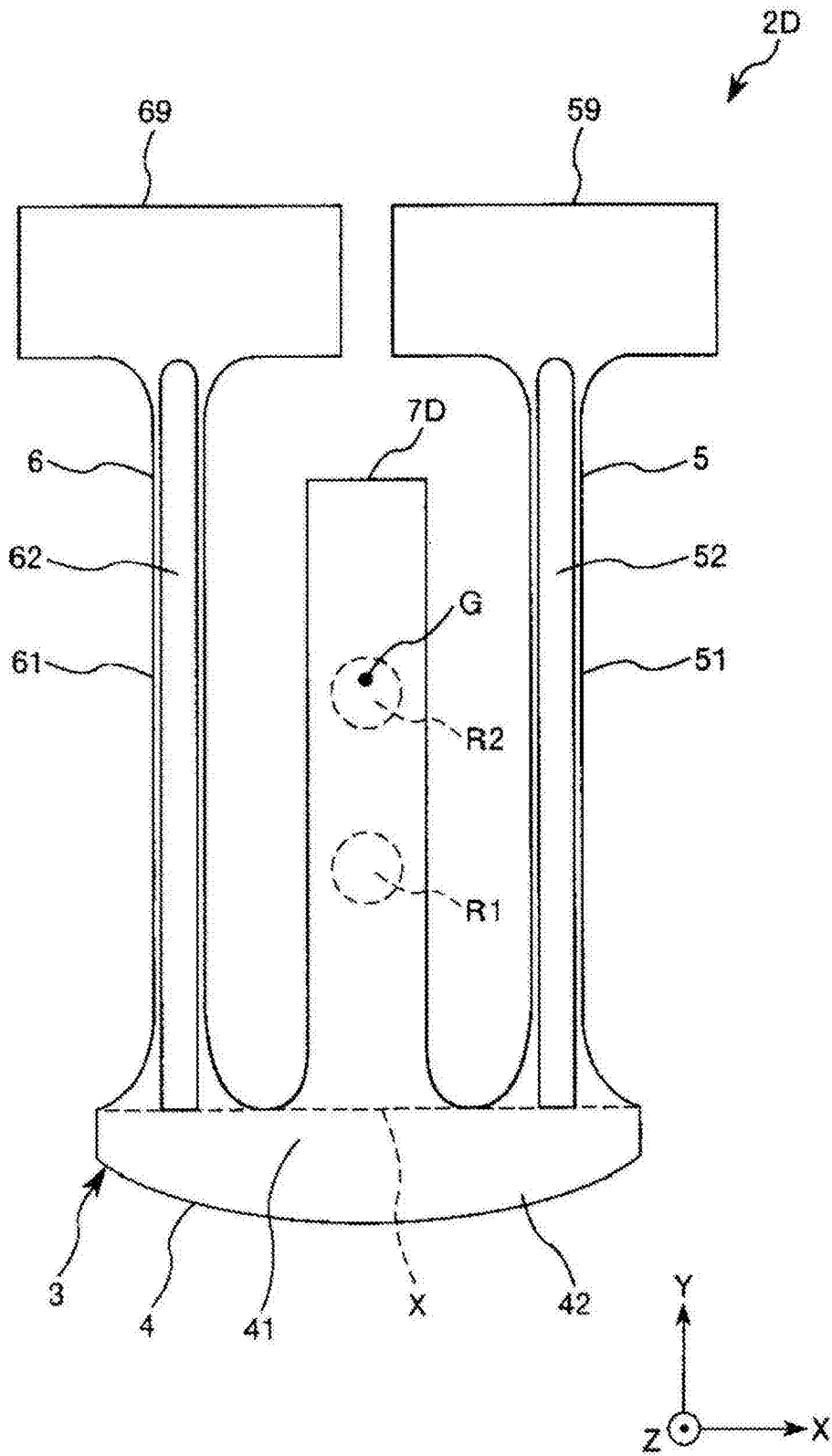


图15

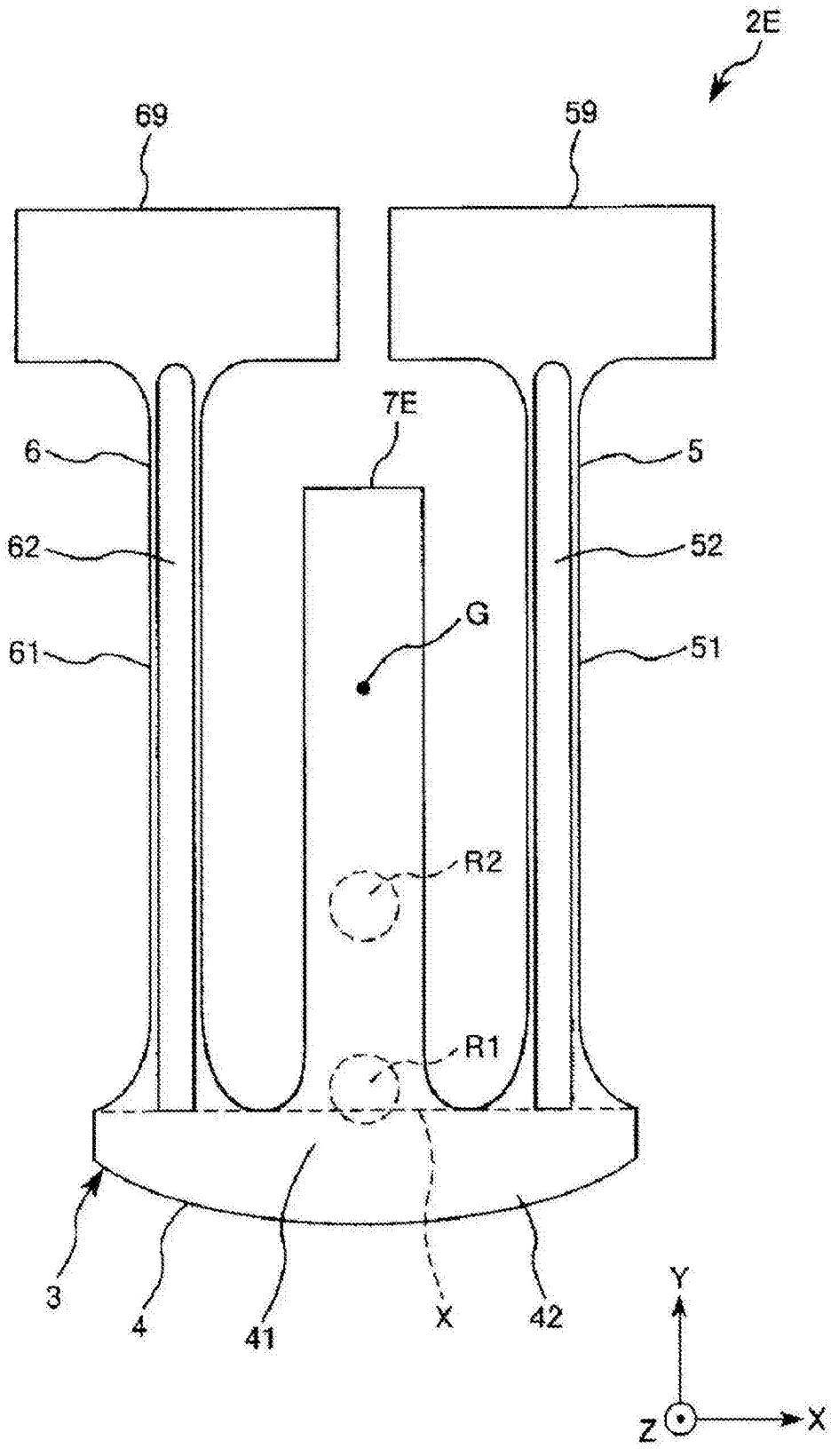


图16

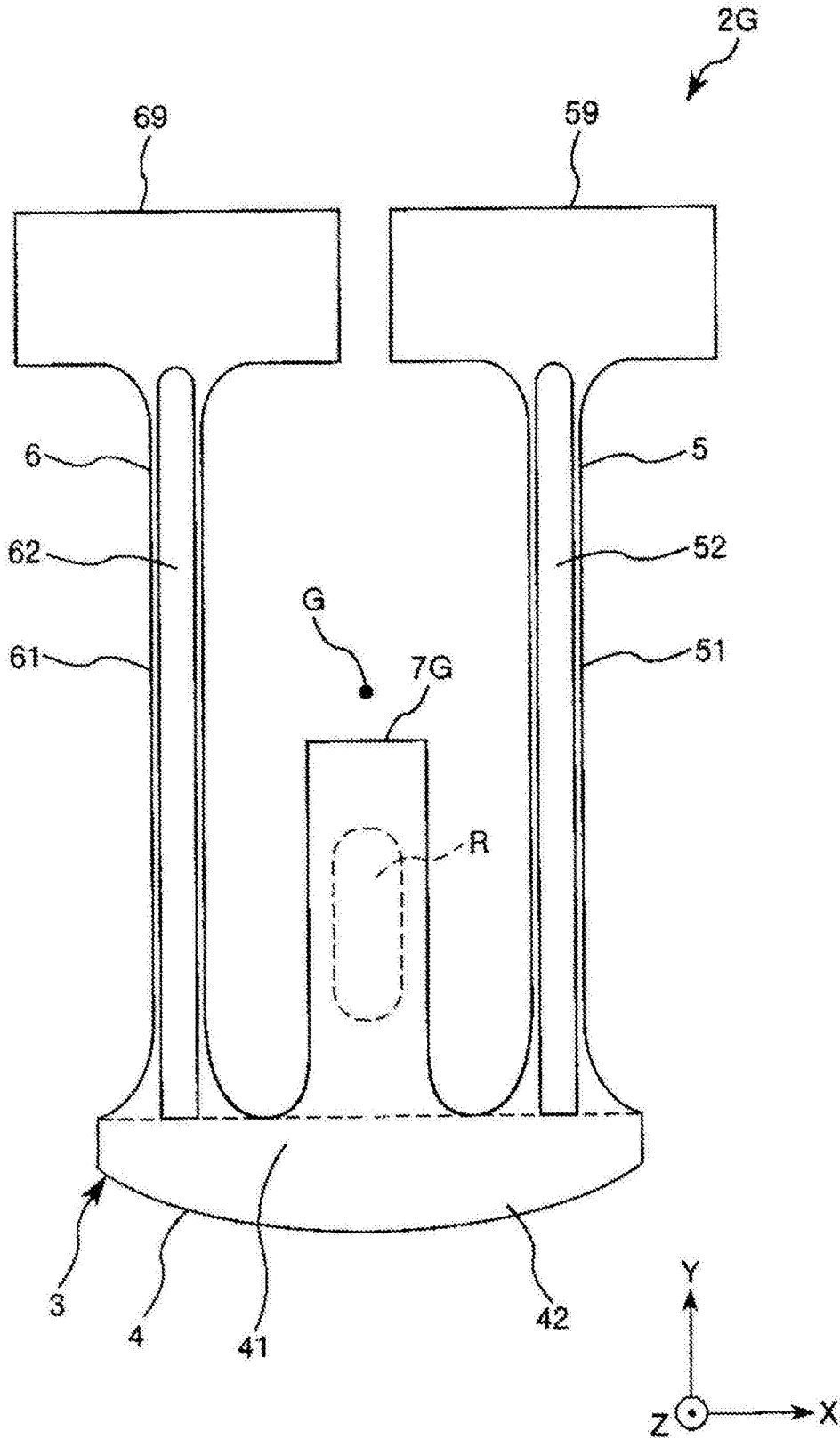


图18

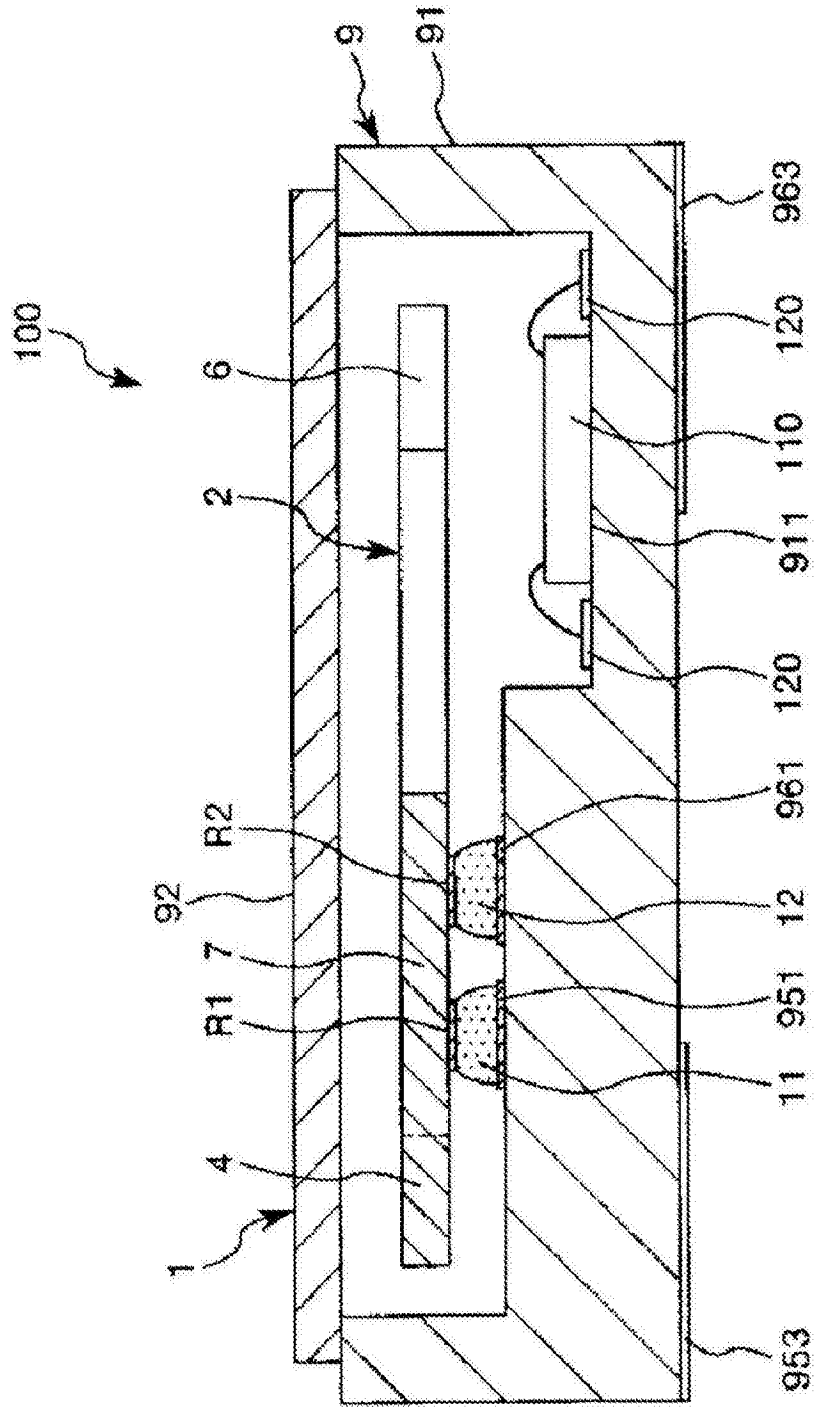


图20

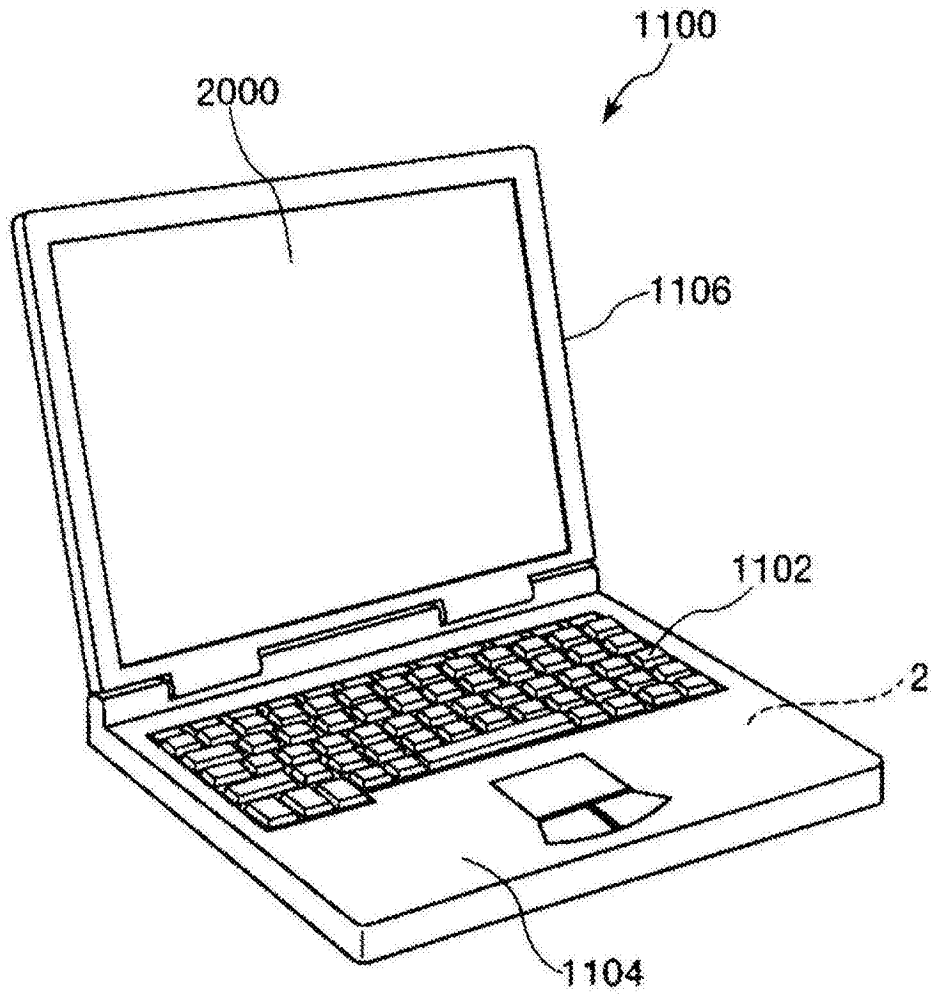


图21

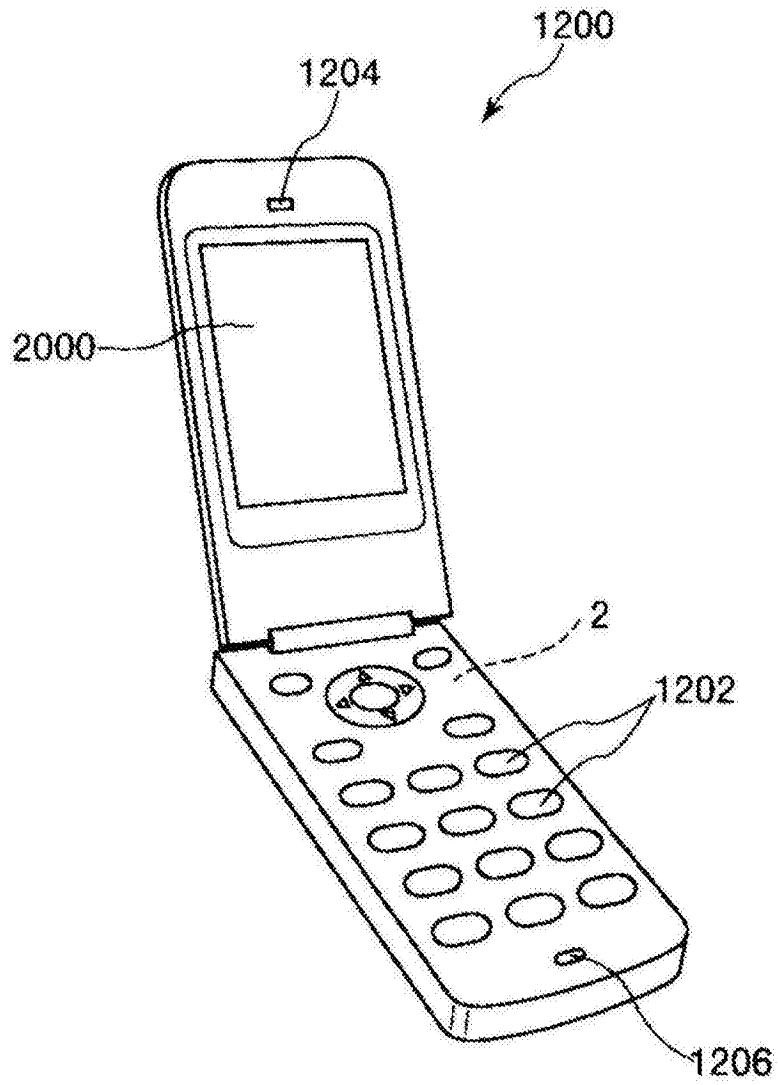


图22

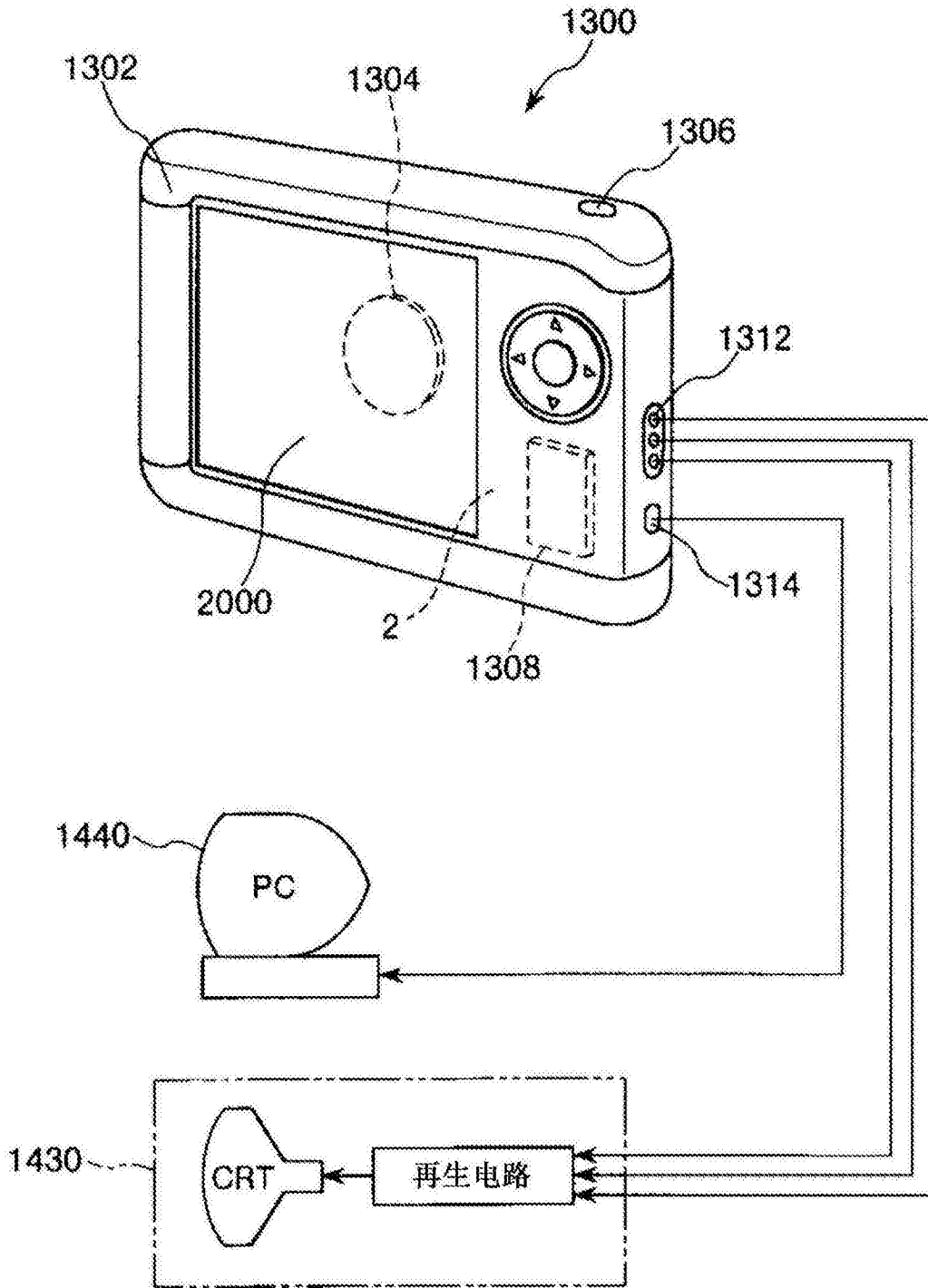


图23

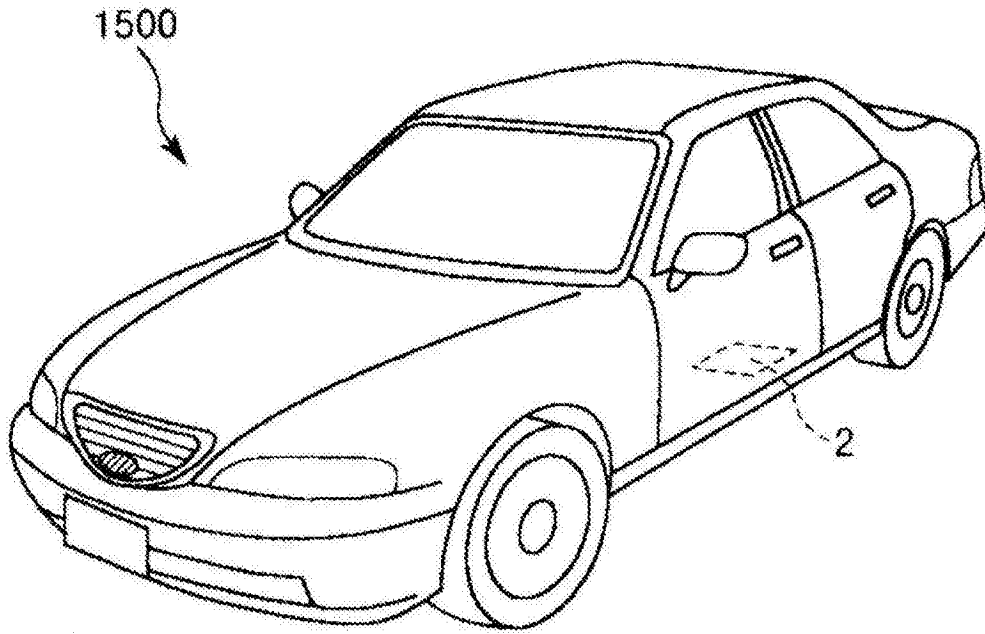


图24