



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104753494 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 01

(21) 申请号 201410806740. 4

(22) 申请日 2014. 12. 22

(30) 优先权数据

2013-273626 2013. 12. 27 JP

(71) 申请人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 山田明法 吉田周平 伊东高史

中川启史

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

公司 11127

代理人 李辉 黄纶伟

(51) Int. Cl.

H03H 9/19(2006. 01)

H03H 9/02(2006. 01)

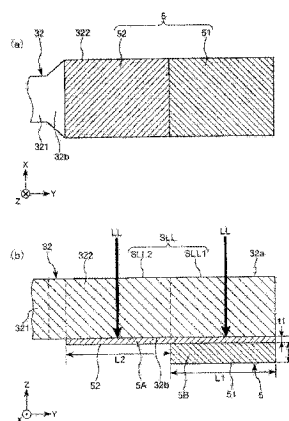
权利要求书3页 说明书20页 附图22页

(54) 发明名称

振动元件、振子、振荡器、电子设备、传感器及移动体

(57) 摘要

本发明提供振动元件、振子、振荡器、电子设备、传感器及移动体,能够高效且高精度地进行频率调整。振动元件(2)包含:基部(31);以及从基部(31)起延伸并设有施重部(5)的振动臂(32),施重部(5)包含:配置于振动臂(32)的末端部的一个主面上的第1施重部(51);以及比第1施重部(51)靠基端侧、且厚度比第1施重部(51)薄的第2施重部(52)。振动臂(32)能够透过能量线,在振动臂的相反侧的主面上的、与第2施重部(52)重叠的位置处,配置有允许能量线入射到振动臂(32)内的激光入射区域(SLL)。



1. 一种振动元件,其特征在于,该振动元件包含:
基部;以及
振动臂,其在俯视时从所述基部起延伸,并设有施重部,
所述施重部包含:
第1施重部,其在俯视时配置于所述振动臂的与所述基部相反侧的末端部的一个主面上;以及
第2施重部,其比所述第1施重部靠所述基部侧,且厚度比所述第1施重部薄,
所述振动臂能够透过能量线,
在所述振动臂的与所述一个主面处于正反关系的另一个主面上的、俯视时与所述第2施重部重叠的位置处,配置有允许所述能量线入射到所述振动臂内的区域。
2. 根据权利要求1所述的振动元件,其中,
所述区域还配置在所述另一个主面上的、俯视时与所述第1施重部重叠的位置处。
3. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其中,
在设所述第1施重部沿着所述延伸的方向的长度为L1,
所述第2施重部沿着所述延伸的方向的长度为L2时,满足如下关系:
$$0.1 \leq \frac{L1}{L1+L2} \leq 0.8$$
4. 根据权利要求3所述的振动元件,其特征在于,满足如下关系:
$$0.3 \leq \frac{L1}{L1+L2} \leq 0.6$$
5. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其中,
所述第1施重部是通过从所述一个主面侧起,至少依次层叠第1施重层和层叠在所述第1施重层上的第2施重层而成的,
所述第2施重部由所述第1施重层构成。
6. 根据权利要求5所述的振动元件,其中,
所述第1施重层是通过溅射法形成的,
所述第2施重层是通过蒸镀法形成的。
7. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其中,
所述施重部包含第3施重部,所述第3施重部以俯视时与所述第1施重部重叠的方式配置在所述另一个主面上。
8. 根据权利要求7所述的振动元件,其中,
所述第3施重部的厚度比所述第2施重部的厚度厚。
9. 根据权利要求7所述的振动元件,其中,
在设所述第1施重部沿着所述延伸的方向的长度为L1,
所述第3施重部沿着所述延伸的方向的长度为L3时,
满足L3 < L1的关系。
10. 根据权利要求1或2所述的振动元件,其中,

在所述区域中露出所述另一个主面的基础表面。

11. 根据权利要求 1 或 2 所述的振动元件, 其中,
所述振动臂包含:

宽度增大部; 以及

臂部, 其配置于所述基部与所述宽度增大部之间, 且宽度比所述宽度增大部窄,
在所述宽度增大部上配置有所述施重部。

12. 一种振子, 其特征在于, 该振子具有:

权利要求 1 ~ 11 中的任意一项所述的振动元件; 以及
容纳有所述振动元件的封装。

13. 一种振荡器, 其特征在于, 该振荡器具有:

权利要求 1 ~ 11 中的任意一项所述的振动元件; 以及
电路。

14. 一种电子设备, 其特征在于, 该电子设备具有权利要求 1 ~ 11 中的任意一项所述的
振动元件。

15. 一种物理量传感器, 其特征在于, 该物理量传感器具有权利要求 1 ~ 11 中的任意一
项所述的振动元件。

16. 一种移动体, 其特征在于, 该移动体具有权利要求 1 ~ 11 中的任意一项所述的振动
元件。

17. 一种振动元件的频率调整方法, 其特征在于, 该频率调整方法具有以下步骤:

容纳步骤, 将振动元件容纳到封装中;

第 1 调整步骤, 对所述振动元件的谐振频率进行调整; 以及

第 2 调整步骤, 对所述振动元件的谐振频率进行调整,

所述振动元件包含:

基部; 以及

振动臂, 其在俯视时从所述基部起延伸, 并设有施重部,

所述施重部包含:

第 1 施重部, 其在俯视时配置于所述振动臂的与所述基部相反侧的末端部的一个主面
上; 以及

第 2 施重部, 其比所述第 1 施重部靠所述基部侧, 且厚度比所述第 1 施重部薄,

所述振动臂能够透过能量线,

在所述振动臂的与所述一个主面处于正反关系的另一个主面上的、俯视时与所述第 2
施重部重叠的位置处, 配置有允许所述能量线入射到所述振动臂内的区域,

所述封装具有能够透过所述能量线的透过部,

在所述容纳步骤中, 使所述振动元件的所述另一个主面位于所述透过部侧且使所述透
过部和所述区域相对而将所述振动元件容纳到所述封装中,

在所述第 1 调整步骤中, 将所述能量线从所述透过部引导至所述封装内, 进而使所述
能量线从所述另一个主面透过所述振动臂内而照射到所述第 1 施重部, 由此去除所述第 1
施重部的至少一部分,

在所述第 2 调整步骤中, 将所述能量线从所述透过部引导至所述封装内, 进而使所述

能量线从所述区域透过所述振动臂内而照射到所述第 2 施重部,由此去除所述第 2 施重部的至少一部分。

18. 根据权利要求 17 所述的振动元件的频率调整方法,其中,

所述区域还配置在所述振动臂的末端部的另一个主面上的、俯视时与所述第 1 施重部重叠的位置处,

在所述第 1 调整步骤中,将所述能量线从所述透过部引导至所述封装内,进而使所述能量线从所述区域透过所述振动臂内而照射到所述第 1 施重部,由此去除所述第 1 施重部的至少一部分。

振动元件、振子、振荡器、电子设备、传感器及移动体

技术领域

[0001] 本发明涉及振动元件、振子、振荡器、电子设备、物理量传感器、移动体以及振动元件的频率调整方法。

背景技术

[0002] 一直以来,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发送源等。并且,作为对这样的振动元件的频率进行调整的方法,例如公知有专利文献 1 那样的方法。

[0003] 专利文献 1 所记载的频率调整方法是在将振动元件收纳到封装内的状态下进行的方法。更具体而言,是如下这样的方法:在振动元件具有的振动臂的末端部的两面上设置有施重部(金属膜)。此外,封装的盖能够透过激光。并且,经由盖向施重部照射激光,去除设置于振动臂的两面的施重部的至少一部分来减小振动臂的质量,由此进行振动元件的频率调整。但是,在这样的频率调整方法中,存在如下问题。

[0004] 在专利文献 1 所记载的频率调整方法中,在振动臂的盖侧的主面上设置有施重部(以下,为了方便,称作“盖侧施重部”)。因此,通过激光照射而蒸发的盖侧施重部飞散而附着到盖的内表面上。并且,附着到盖的内表面的重物材料受到经由盖错开照射位置而照射的激光的热量,再次蒸发,蒸发后的重物材料飞散而再次附着到盖侧施重部上。这样,在专利文献 1 所记载的频率调整方法中,好不容易去除的重物的一部分会再次附着,因此可调整的频率范围变窄,从而效率较差,并且频率调整的精度也较差。

[0005] 【专利文献 1】日本特开 2003-133879 号公报

发明内容

[0006] 本发明的目的在于,提供能够高效且高精度地进行频率调整的振动元件、具有该振动元件的可靠性高的振子、振荡器、电子设备、物理量传感器和移动体、以及能够高效且高精度地进行振动元件的频率调整的振动元件的频率调整方法。

[0007] 本发明正是为了解决上述课题中的至少一部分而完成的,可作为以下应用例来实现。

[0008] [应用例 1]

[0009] 本应用例的振动元件的特征在于,该振动元件包含:

[0010] 基部;以及

[0011] 振动臂,其在俯视时从所述基部起延伸,并设置有施重部,

[0012] 所述施重部包含:

[0013] 第 1 施重部,其在俯视时配置于所述振动臂的与所述基部相反侧的末端部的一个主面上;以及

[0014] 第 2 施重部,其被配置成比所述第 1 施重部靠所述基部侧,且厚度比所述第 1 施重部薄,

[0015] 所述振动臂能够透过能量线，

[0016] 在所述振动臂的与所述一个主面处于正反关系的另一个主面上的、俯视时与所述第 2 施重部重叠的位置处，配置有允许所述能量线入射到所述振动臂内的区域。

[0017] 由此，通过从另一个主面侧照射能量线，能够更有效地抑制蒸发后的施重部再次附着到振动臂上。因此，得到了能够更高效且高精度地进行频率调整的振动元件。

[0018] [应用例 2]

[0019] 在本应用例的振动元件中，优选的是，所述区域还配置在所述另一个主面上的、俯视时与所述第 1 施重部重叠的位置处。

[0020] 由此，通过从另一个主面侧照射能量线，能够更有效地抑制蒸发后的施重部再次附着到振动臂上。因此，得到了能够更高效且高精度地进行频率调整的振动元件。

[0021] [应用例 3]

[0022] 在本应用例的振动元件中，优选的是，

[0023] 在设所述第 1 施重部沿着所述延伸的方向的长度为 L1，

[0024] 所述第 2 施重部沿着所述延伸的方向的长度为 L2 时，满足如下关系：

[0025]
$$0.1 \leq \frac{L1}{L1+L2} \leq 0.8$$

[0026] 第 1 施重部可以用于频率的粗调，第 2 施重部可以用于频率的微调。通过将第 1 施重部的长度 L1 与第 2 施重部的长度 L2 之间的关系设为本应用例的关系，能够确保第 1、第 2 施重部分别足够宽阔，能够分别简单地进行频率的粗调和微调。

[0027] [应用例 4]

[0028] 在本应用例的振动元件中，优选的是，满足如下关系：

[0029]
$$0.3 \leq \frac{L1}{L1+L2} \leq 0.6$$

[0030] 由此，能够确保第 1、第 2 施重部分别足够宽阔，能够分别简单地进行频率的粗调和微调。

[0031] [应用例 5]

[0032] 在本应用例的振动元件中，优选的是，

[0033] 所述第 1 施重部是通过从所述一个主面侧起，至少依次层叠第 1 施重层和层叠在所述第 1 施重层上的第 2 施重层而成的，

[0034] 所述第 2 施重部由所述第 1 施重层构成。

[0035] 由此，能够简单地形成第 1、第 2 施重部。

[0036] [应用例 6]

[0037] 在本应用例的振动元件中，优选的是，

[0038] 所述第 1 施重层是通过溅射法形成的，

[0039] 所述第 2 施重层是通过蒸镀法形成的。

[0040] 由此，能够简单地形成施重部。特别是，通过利用蒸镀法形成第 2 施重层，能够减少在通过能量线照射去除施重部时产生的脱气（除气）。因此，在将振动元件收纳到封装的

状态下进行频率调整时,能够减轻封装内的真空度的降低等。

[0041] [应用例 7]

[0042] 在本应用例的振动元件中,优选的是,

[0043] 所述施重部包含第 3 施重部,所述第 3 施重部以俯视时与所述第 1 施重部重叠的方式配置在所述另一个主面上。

[0044] 由此,能够更有效地进行频率的粗调。

[0045] [应用例 8]

[0046] 在本应用例的振动元件中,优选的是,所述第 3 施重部的厚度比所述第 2 施重部的厚度厚。

[0047] 由此,能够更有效地进行频率的粗调。

[0048] [应用例 9]

[0049] 在本应用例的振动元件中,优选的是,

[0050] 在设所述第 1 施重部沿着所述延伸的方向的长度为 $L1$,

[0051] 所述第 3 施重部沿着所述延伸的方向的长度为 $L3$ 时,

[0052] 满足 $L3 < L1$ 的关系。

[0053] 由此,能够防止第 3 施重部覆盖所述区域。

[0054] [应用例 10]

[0055] 在本应用例的振动元件中,优选的是,

[0056] 在所述区域中露出所述另一个主面的基础表面。

[0057] 由此,能够更有效地使能量线入射到振动臂内。

[0058] [应用例 11]

[0059] 在本应用例的振动元件中,优选的是,

[0060] 所述振动臂包含:

[0061] 宽度增大部;以及

[0062] 臂部,其配置于所述基部与所述宽度增大部之间,所述臂部的宽度比所述宽度增大部窄,

[0063] 在所述宽度增大部上配置有所述施重部。

[0064] 由此,能够实现振动元件的小型化。

[0065] [应用例 12]

[0066] 本应用例的振子的特征在于,该振子具有:

[0067] 上述应用例的振动元件;以及

[0068] 收纳有所述振动元件的封装。

[0069] 由此,能够得到可靠性高的振子。

[0070] [应用例 13]

[0071] 本应用例的振荡器的特征在于,该振荡器具有:

[0072] 上述应用例的振动元件;以及

[0073] 电路。

[0074] 由此,能够得到可靠性高的振荡器。

[0075] [应用例 14]

- [0076] 本应用例的电子设备的特征在于,该电子设备具有上述应用例的振动元件。
- [0077] 由此,能够得到可靠性高的电子设备。
- [0078] [应用例 15]
- [0079] 本应用例的物理量传感器的特征在于,该物理量传感器具有上述应用例的振动元件。
- [0080] 由此,能够得到可靠性高的物理量传感器。
- [0081] [应用例 16]
- [0082] 本应用例的移动体的特征在于,该移动体具有上述应用例的振动元件。
- [0083] 由此,能够得到可靠性高的移动体。
- [0084] [应用例 17]
- [0085] 本应用例的振动元件的频率调整方法的特征在于,该频率调整方法具有以下步骤:
- [0086] 收纳步骤,将振动元件收纳到封装中;
- [0087] 第 1 调整步骤,对所述振动元件的谐振频率进行调整;以及
- [0088] 第 2 调整步骤,对所述振动元件的谐振频率进行调整,
- [0089] 所述振动元件包含:
- [0090] 基部;以及
- [0091] 振动臂,其在俯视时从所述基部起延伸,并设有施重部,
- [0092] 所述施重部包含:
- [0093] 第 1 施重部,其在俯视时配置于所述振动臂的与所述基部相反侧的末端部的一个主面上;以及
- [0094] 第 2 施重部,其比所述第 1 施重部靠所述基部侧,且厚度比所述第 1 施重部薄,
- [0095] 所述振动臂能够透过能量线,
- [0096] 在所述振动臂的与所述一个主面处于正反关系的另一个主面上的、俯视时与所述第 2 施重部重叠的位置处,配置有允许所述能量线入射到所述振动臂内的区域,
- [0097] 所述封装具有能够透过所述能量线的透过部,
- [0098] 在所述收纳步骤中,使所述振动元件的所述另一个主面位于所述透过部侧且使所述透过部和所述区域相对而将所述振动元件收纳到所述封装中,
- [0099] 在所述第 1 调整步骤中,将所述能量线从所述透过部引导至所述封装内,并且使所述能量线从所述另一个主面透过所述振动臂内而照射到所述第 1 施重部,由此去除所述第 1 施重部的至少一部分,
- [0100] 在所述第 2 调整步骤中,将所述能量线从所述透过部引导至所述封装内,并且使所述能量线从所述区域透过所述振动臂内而照射到所述第 2 施重部,由此去除所述第 2 施重部的至少一部分。
- [0101] 根据这样的方法,施重部位于与透过部相反的一侧,因此,通过能量线而蒸发的施重部不易附着到透过部上。因此,不易产生在上述背景技术中列举出的问题,能够高效且高精度地进行振动元件的频率调整。
- [0102] [应用例 18]
- [0103] 在本应用例的振动元件的频率调整方法中,优选的是,

[0104] 所述区域还配置在所述振动臂的末端部的另一个主面上的、俯视时与所述第 1 施重部重叠的位置处，

[0105] 在所述第 1 调整步骤中，将所述能量线从所述透过部引导至所述封装内，并且使所述能量线从所述区域透过所述振动臂内而照射到所述第 1 施重部，由此去除所述第 1 施重部的至少一部分。

[0106] 由此，能够更高效且高精度地进行振动元件的频率调整。

附图说明

[0107] 图 1 是本发明第 1 实施方式的振子的俯视图。

[0108] 图 2 是图 1 中的 A-A 线剖视图。

[0109] 图 3 是图 1 中的 B-B 线剖视图。

[0110] 图 4 是示出通过湿蚀刻形成的振动臂的剖视图。

[0111] 图 5 是示出施重部的俯视图和剖视图。

[0112] 图 6 是例示图 5 所示的施重部的具体结构的剖视图。

[0113] 图 7 是对弯曲振动时的热传导进行说明的振动臂的剖视图。

[0114] 图 8 是示出 Q 值与 f/f_m 之间的关系的曲线图。

[0115] 图 9 是说明频率调整方法的剖视图。

[0116] 图 10 是说明频率调整方法的剖视图。

[0117] 图 11 是说明频率调整方法的剖视图。

[0118] 图 12 是说明频率调整方法的剖视图。

[0119] 图 13 是本发明第 2 实施方式的振子具有的振动元件的剖视图。

[0120] 图 14 是说明频率调整方法的剖视图。

[0121] 图 15 是说明频率调整方法的剖视图。

[0122] 图 16 是本发明第 3 实施方式的振子具有的振动元件的剖视图。

[0123] 图 17 是本发明第 4 实施方式的振子具有的振动元件的俯视图。

[0124] 图 18 是示出本发明的振荡器的优选实施方式的剖视图。

[0125] 图 19 是示出本发明的物理量传感器的优选实施方式的剖视图。

[0126] 图 20 是示出应用了本发明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。

[0127] 图 21 是示出应用了本发明的电子设备的移动电话机（也包括 PHS）的结构立体图。

[0128] 图 22 是示出应用了本发明的电子设备的数字静态照相机的结构立体图。

[0129] 图 23 是示出应用了本发明的移动体的汽车的立体图。

[0130] 标号说明

[0131] 1:振子;11、12:导电性粘接材料;2:振动元件;3:石英振动片;31:基部;31a、31b:切口部;311:宽度缩小部;32:振动臂;32a、32b:主面;32c、32d:侧面;321、331:臂部;322、332:锤头;323、324:槽;323a、324a:底面;33:振动臂;33c、33d:侧面;333、334:槽;34:连接部;35:连结部;5:施重部;5A:第 1 施重层;5A1:基底层;5A2:覆盖层;5B:第 2 施重层;51:第 1 施重部;52:第 2 施重部;53:第 3 施重部;84:第 1 驱动用电极;85:第 2

驱动用电极;86、87:连接电极;9:封装;91:底座;92:盖;911:凹部;912:凹部;951、961:连接端子;952、962:贯通电极;953、963:外部端子;100:振荡器;110:IC芯片;120:内部端子;200:物理量传感器;210:IC芯片;220:内部端子;1100:个人计算机;1102:键盘;1104:主体部;1106:显示单元;1108:显示部;1200:移动电话机;1202:操作按钮;1204:接听口;1206:通话口;1208:显示部;1300:数字静态照相机;1302:外壳;1304:受光单元;1306:快门按钮;1308:存储器;1310:显示部;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;B、B':重物材料;L:全长;L1、L2:长度;LL:激光;Ly:中心线;S:收纳空间;SLL:激光入射区域;SLL1:第1激光入射区域;SLL2:第2激光入射区域;T、t、t1、t2:厚度;W4、W5:宽度;L3、W7:相隔距离。

具体实施方式

[0132] 下面,根据附图所示的优选实施方式,对本发明的振动元件、振子、振荡器、电子设备、物理量传感器以及移动体进行详细说明。

[0133] 1. 振子(振动元件)以及振动元件的频率调整方法

[0134] <第1实施方式>

[0135] 图1是本发明第1实施方式的振子的俯视图。图2是图1中的A-A线剖视图。图3是图1中的B-B线剖视图。图4是示出通过湿蚀刻形成的振动臂的剖视图。图5是示出施重部的俯视图和剖视图。图6是例示图5所示的施重部的具体结构的剖视图。图7是对弯曲振动时的热传导进行说明的振动臂的剖视图。图8是示出Q值与 f/f_m 之间的关系的曲线图。图9至图12分别是说明频率调整方法的剖视图。另外,以下为了便于说明,将图2中的上侧设为“上”、下侧设为“下”。此外,将图1中的上侧设为“末端”、下侧设为“基端”。

[0136] 《振子(振动元件)》

[0137] 如图1所示,振子1具有振动元件2、和收纳振动元件2的封装9。

[0138] 一封装一

[0139] 如图1和图2所示,封装9具有:箱状的底座91,其在上表面具有开放的凹部911;以及封住凹部911的开口并与底座91接合的板状的盖92。封装9具有用盖92封住凹部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。作为收纳空间S内的环境,没有特别限定,但优选为减压状态(真空状态)。由此,减小了对振动元件2的驱动的空气阻力,因此能够发挥优异的振动特性。另外,作为收纳空间S内的真空度,没有特别限定,但优选为100Pa以下的程度,更优选为10Pa以下的程度。此外,可以在收纳空间S内封入有氮、氦、氩等惰性气体。底座91和盖92例如可以借助低熔点玻璃、各种粘接剂、金属化层等进行接合。

[0140] 在形成于底座91的凹部911的底面上,还形成有凹部912,该凹部912设置于振动元件2的与后述的锤头322、332(振动臂32、33的末端部)相对的位置处。该凹部912构成了避让部,例如在向振子1施加了其厚度方向(Z轴方向)的加速度(冲击)时,该避让部使得挠曲的振动臂32、33不与底座91接触。作为底座91的构成材料,没有特别限定,可使用氧化铝等各种陶瓷。

[0141] 此外,盖92能够透过激光LL(能量线),因此,盖92构成了透过激光LL的透过部。作为这样的盖92的构成材料,只要能够透过激光LL,则没有特别限定,例如可以使用硼硅

酸玻璃、石英玻璃、无碱玻璃等各种玻璃材料、或者石英等透明的单晶材料。由此,能够得到实质上无色透明且具有高激光透射率的盖 92。

[0142] 此外,在本实施方式中,虽然是盖 92 具有透过激光 LL(能量线)的透过部,但在底座 91 采用了硼硅酸玻璃、石英玻璃、无碱玻璃等各种玻璃材料、或者石英等透明的单晶材料的情况下,底座 91 也可以具有透过激光 LL(能量线)的透过部。

[0143] 此外,在底座 91 的凹部 911 的底面上形成有连接端子 951、961。此外,在连接端子 951 上设置有导电性粘接材料 11,在连接端子 961 上设置有导电性粘接材料 12。通过这些导电性粘接材料 11、12 将振动元件 2 固定到底座 91 上,并且连接端子 951 与后述的第 1 驱动用电极 84 电连接,连接端子 961 与后述的第 2 驱动用电极 85 电连接。

[0144] 另外,作为导电性粘接材料 11、12,只要分别具有导电性和粘接性,则没有特别限定,例如可以使用在环氧类、丙烯酸类、硅类、聚酰亚胺类、双马来酰亚胺类、聚酯类、聚氨酯类的树脂中混合了银粒子等导电性填充物而形成的导电性粘接材料。这样,通过使用比较柔软的粘接材料,例如能够利用导电性粘接材料 11、12 来吸收、缓和因底座 91 与振动元件 2 的热膨胀系数的差异而产生的热应力,能够减轻振动元件 2 的振动特性的下降和变化。另外,只要能够将振动元件 2 固定到底座 91 上,则也可以替代各导电性粘接材料 11、12,而使用金凸块或焊料等。

[0145] 此外,连接端子 951 经由贯通底座 91 的底部的贯通电极 952 与设置于底座 91 的下表面的外部端子 953 电连接,同样,连接端子 961 经由贯通底座 91 的底部的贯通电极 962 与设置于底座 91 的下表面的外部端子 963 电连接。作为连接端子 951、961、贯通电极 952、962 和外部端子 953、963 的结构,只要分别具有导电性,则没有特别限定,例如可以在 Cr(铬)、Ni(镍)、W(钨)、钼(Mo)等基底层上形成 Au(金)、Ag(银)、Cu(铜)等镀覆层而构成。

[0146] 一振动元件—

[0147] 如图 1 至图 3 所示,振动元件 2 具有:石英振动片(振动片)3、设置在石英振动片 3 上的第 1、第 2 驱动用电极 84、85;以及设置在石英振动片 3 上的施重部 5。另外,在图 1 和图 2 中,为了方便说明,省略了第 1、第 2 驱动用电极 84、85 以及施重部 5 的图示。

[0148] 石英振动片 3 由 Z 切石英板构成。Z 切石英板是将 Z 轴作为大致厚度方向的石英基板。另外,石英振动片 3 的厚度方向可以与 Z 轴一致,但从减小常温附近的频率温度变化的观点看,也可以使 Z 轴相对于厚度方向稍微倾斜。在将倾斜的角度设为 θ 度($-5^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$)的情况下,以由作为所述石英的电轴的 X 轴、作为机械轴的 Y 轴和作为光轴的 Z 轴构成的正交坐标系的所述 X 轴为旋转轴,设使所述 Z 轴以 +Z 侧朝所述 Y 轴的一 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 侧朝所述 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' 轴的面为主面的石英振动片 3。另外,在各图中,设为上述 $\theta = 0^\circ$ 的情况,图示了这些 X 轴、Y 轴和 Z 轴。

[0149] 石英振动片 3 将 Y 轴方向作为长度方向、X 轴方向作为宽度方向、Z 轴方向作为厚度方向。此外,石英振动片 3 在其大致整个区域(除形成有后述的槽 323、324、333、334 的区域以外的区域)内,具有大致相同的厚度。作为石英振动片 3 的厚度 T,没有特别限定,但优选为 $60\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下的程度。由此,如后所述,能够充分增大配置于振动臂 32、33 的侧面的第 1、第 2 驱动用电极 84、85 的面积,因此能够充分减小 CI 值。此外,能够确保

后述的热量传递路径（参照图 7）足够长，因此能够在后述的隔热区域中充分减少热弹性损失。另外，如果小于上述下限值，则在向振子 1 施加了其厚度方向（Z 轴方向）的加速度（冲击）时，石英振动片 3 大幅地挠曲，因此挠曲后的振动臂 32、33 容易接触底座 91 或盖 92，而且接触时的速度较快，所以冲击较大，可能导致振动臂 32、33 破损，而如果超过上述上限值，则难以通过湿蚀刻制成细微形状，导致振动元件 2 的过度大型化。

[0150] 这样的石英振动片 3 具有：基部 31；从基部 31 的 +Y 轴侧的端（一端）起朝 +Y 轴方向延伸的一对振动臂 32、33；连接部 34，其配置于基部 31 的 -Y 轴侧；以及连结部 35，其位于基部 31 与连接部 34 之间，将基部 31 和连接部 34 连结。这些基部 31、振动臂 32、33、连接部 34 以及连结部 35 是由石英基板一体地形成的。

[0151] 基部 31 呈板状，在 XY 平面上扩展，在 Z 轴方向上具有厚度。连结部 35 从这样的基部 31 的 -Y 轴侧（另一端侧）的端起朝 -Y 轴方向延伸。在连结部 35 的 -Y 轴侧的端，连接有连接部 34，连接部 34 从连结部 35 起朝 X 轴方向两侧延伸。

[0152] 并且，在这样的振动元件 2 中，通过导电性粘接材料 11、12 将连接部 34 安装于底座 91。这样，通过使用两个导电性粘接材料 11、12，能够将振动元件 2 以稳定的状态安装到底座 91。

[0153] 这里，连结部 35 的宽度比基部 31 小。换言之，连结部 35 相对于基部 31 缩小了宽度。此外，可以说连结部 35 是通过形成如下的切口部 31a、31b 而形成的：所述切口部 31a、31b 是在离基部 31 的振动臂 32、33 侧（+Y 轴侧）的端部足够远的位置处，在两侧缘使基部 31 的宽度方向尺寸局部地缩小而形成的。通过设置这样的连结部 35，能够抑制在振动臂 32、33 进行弯曲振动时振动泄漏传播到连接部 34 的情况，从而将振动元件 2 的 CI 值抑制得较低。即，通过设置连结部 35，成为具有优异的振动特性的振动元件 2。

[0154] 特别是在本实施方式中，在基部 31 的 -Y 轴侧的端部，设置有宽度缩小部 311。该宽度缩小部 311 的宽度（X 轴方向的长度）沿着振动臂 32、33 之间的中心线 L_y （Y 轴），朝向 -Y 轴侧（随着远离基部 31 的 +Y 轴侧的端）连续地减小。此外，宽度缩小部 311 被设置成关于中心线 L_y 对称。通过设置这样的宽度缩小部 311，能够抑制与振动臂 32、33 的弯曲振动相伴的、基部 31 在 Y 轴方向的移位（振动）。其结果，能够得到振动泄漏小的振动元件 2。

[0155] 并且，通过设置宽度缩小部 311，与不设置宽度缩小部 311 的情况相比，能够增长基部 31 的被振动臂 32、33 夹着的 +Y 轴侧的端、和宽度缩小部 311 的与切口部 31a（或切口部 31b）以及连结部 35 接近的 -Y 轴侧的端之间的相隔距离。因此，在振动元件 3 进行弯曲振动时，在这些部分之间产生的热移动的移动路径增长，伴随于此，能够减少热弹性损失。例如，在两个振动臂 32、33 以相互远离的方式在平面内（XY 平面内）进行了弯曲变形的情况下，伴随于此，基部 31 的被振动臂 32、33 夹着的 +Y 轴侧的端被拉伸，因此温度下降，而宽度缩小部 311 的与切口部 31a（或切口部 31b）以及连结部 35 接近的、-Y 轴侧的端被压缩，因此温度上升，热量从上述温度上升的区域朝向温度下降的区域移动。此外，在振动臂 32、33 以相互接近的方式在平面内进行了弯曲变形的情况下，上述温度上升的区域和温度下降的区域互换，热量朝反方向移动。由于弯曲振动，热量以规定的周期交替移动，由此产生热弹性损失，在后述的隔热区域中，该热量的移动路径越长、损失越小，因此说明了上述效果。

[0156] 另外，在本实施方式中，宽度缩小部 311 的轮廓呈弧形，但只要是呈现上述那样的

作用的形状即可,不限于此。例如,宽度缩小部 311 的轮廓可以由多个直线形成阶梯状,即,其宽度(X 轴方向的长度)沿着中心线 L_y 朝向 -Y 轴侧阶段性地减小,或者,宽度缩小部 311 的轮廓也可以利用多个直线而由阶梯状的台阶构成。

[0157] 振动臂 32、33 以在 X 轴方向上排列且相互平行的方式,从基部 31 的 +Y 轴侧的端朝 +Y 轴方向延伸。这些振动臂 32、33 分别呈长条形状,它们的基端(-Y 轴侧的端)为固定端,末端(+Y 轴侧的端)为自由端。

[0158] 此外,振动臂 32、33 分别具有:从基部 31 起延伸的臂部 321、331;以及作为施重部的锤头(宽度增大部)322、332,它们位于臂部 321、331 的末端侧,宽度比臂部 321、331 大。这样,通过在振动臂 32、33 的末端部设置锤头 322、332,能够缩短振动臂 32、33,能够实现振动元件 2 的小型化。此外,与能够缩短振动臂 32、33 相应地,能够比以往进一步降低在使振动臂 32、33 以相同频率振动时的振动臂 32、33 的振动速度,因此能够减小振动臂 32、33 进行振动时的空气阻力,与此相应地,Q 值增高,从而能够提高振动特性。此外,在将规定的长度(Y 轴方向长度)、规定的振动频率固定来进行考虑的情况下,可以增大臂部 321、331 的宽度(X 轴方向长度),使得由于设置锤头 322、332 而下降的振动频率返回到原来的程度,因此能够增长由于弯曲振动而产生的热量的移动路径,因此能够在后述的隔热区域中减少热弹性损失,与此相应地,Q 值增高,从而能够提高振动特性。

[0159] 这里,作为锤头 322、332 的相隔距离 W_7 ,没有特别限定,但例如优选相对于石英振动片 3 的厚度 $T(\mu m)$,满足 $0.033T(\mu m) \leq W_7 \leq 0.33T(\mu m)$ 的关系。由此,在使用光刻技术和湿蚀刻技术形成石英振动片 3 时,使得锤头 322、332 彼此的相隔距离 W_7 、和振动臂 32、33(锤头 322、332)的厚度 T 之间的关系最优化,其结果,形成实现了超小型的石英振动片 3。

[0160] 下面,详细叙述振动臂 32、33,但振动臂 32、33 彼此为相同的结构,因此以下以振动臂 32 为代表进行说明,并省略振动臂 33 的说明。

[0161] 如图 3 所示,臂部 321 具有:由 XY 平面构成且相互处于正反关系的一对主面 32a、32b;以及由 YZ 平面构成且连接一对主面 32a、32b 的一对侧面 32c、32d。此外,臂部 321 在主面 32a 上具有开口的有底的槽 323,并且在主面 32b 上具有开口的有底的槽 324。由此,通过在振动臂 32 上形成槽 323、324,能够实现热弹性损失的减少,能够发挥优异的振动特性。槽 323、324 的长度没有特别限定,末端可以延伸到锤头 322 为止,基端也可以延伸到基部 31 为止。通过设为这样的结构,臂部 321 与锤头 322 的边界部以及臂部 321 与基部 31 的边界部处的应力集中得到缓和,减少了施加冲击时产生弯折和缺损的可能。另外,槽可以仅设置在主面 32a、32b 的任意一个面上,也可以省略。

[0162] 槽 323、324 的深度 t 优选满足 $0.292 \leq t/T \leq 0.483$ 的关系。通过满足这样的关系,热移动路径增长,因此在后述的隔热区域中,能够更有效地实现热弹性损失的减少。此外,深度 t 更优选满足 $0.455 \leq t/T \leq 0.483$ 的关系。通过满足这样的关系,热移动路径进一步增长,由此能够实现热弹性损失的减少,因此能够实现 Q 值的提高和伴随于此的 CI 值的减小,进而能够进一步增大用于向进行弯曲变形的区域施加电场的电极面积,由此实现 CI 值的减小。

[0163] 另外,在针对石英基板,利用基于湿蚀刻的构图来制造石英振动片 3 的情况下,如图 4 所示,臂部 321 的截面形状成为石英的晶面露出的形状。具体而言,-X 轴方向的蚀刻

速率比 +X 轴方向的蚀刻速率低,因此 -X 轴方向的侧面为比较平缓的倾斜,+X 轴方向的侧面为接近垂直的倾斜。如图 4 所示,该情况下的槽 323、324 的深度 t 是指最深的位置处的深度。这里,如图 4 所示,槽 323、324 优选具有由 XY 平面构成的底面 323a、324a。由此,能够进一步增长热移动路径,在隔热区域中能够有效地实现热弹性损失的减少。

[0164] 槽 323、324 优选以振动臂 32 的截面重心与振动臂 32 的截面形状的中心一致的方式,相对于振动臂 32 调整 X 轴方向的位置而形成。由此,减少振动臂 32 的不必要的振动(具体而言,是具有面外方向分量的振动),因此能够减少振动泄漏。此外,该情况下,能够减少还驱动产生多余振动的情况,因此驱动区域相对增大而能够减小 CI 值。

[0165] 作为这样的臂部 321 的宽度(X 轴方向的长度) W_4 ,没有特别限定,但优选为 $13\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下的程度,更优选为 $30\mu\text{m}$ 以上、 $150\mu\text{m}$ 以下的程度。当宽度 W_4 小于上述下限值时,难以通过制造技术,在臂部 321 上形成槽 323、324,并且,在振动频率处于 $32.768\text{kHz} \pm 1\text{kHz}$ 的范围内时,有时无法使振动臂 32 成为隔热区域,可能会由于槽 323 以及槽 324 的形成,反而导致热弹性损失增大。另一方面,当宽度 W_4 超过上述上限值时,由于石英振动片 3 的厚度 T ,臂部 321 的刚性过高,伴随低功耗化引起的激励功率的减小,有时无法顺利进行臂部 321 的弯曲振动。此外,由于振动臂 32 变重,利用导电性粘接剂 11、12 实现的固定强度不足,从而在施加了冲击时振动元件 2 可能会从底座 91 脱落。另外,这里所说的宽度 W_4 是指位于臂部 321 的中央部、且以大致恒定的宽度延伸的部分处的宽度,而不是位于两端部的锥形部的宽度。

[0166] 此外,在设振动臂 32 的全长(Y 轴方向的长度)为 L 、锤头 322 的全长(Y 轴方向的长度)为 H 时,优选满足 $0.183 \leq H/L \leq 0.597$ 的关系,更优选满足 $0.238 \leq H/L \leq 0.531$ 的关系。由此,能够得到同时确保了小型化和振动特性的提高的振动元件 2。进而,能够充分确保锤头 322 的面积,因此能够在锤头 322 上配置足够质量的施重部 5。

[0167] 此外,作为锤头 322 的宽度(X 轴方向的长度) W_5 ,没有特别限定,但优选为臂部 321 的宽度 W_4 的 1.5 倍以上、10 倍以下的程度。即,优选满足 $1.5W_4 \leq W_5 \leq 10W_4$ 的关系。由此,能够确保锤头 322 的宽度足够宽。因此,即使锤头 322 的长度 H 比较短,也能够充分发挥锤头 322 的质量效应。因此,振动臂 32 的全长 L 被抑制,从而能够实现振动元件 2 的小型化。进而,能够充分确保锤头 322 的面积,因此能够在锤头 322 上配置足够质量的施重部 5。此外,弯曲振动不是纯粹的面内振动,因此,可能会由于 W_5 过宽而在振动臂 32 进行弯曲振动时导致锤头 322 较大程度地扭转,致使振动泄漏增大,但该情况能够得到抑制。

[0168] 《第 1、第 2 驱动用电极》

[0169] 如图 3 所示,在这样的石英振动片 3 具有的振动臂 32 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 323 的内表面,另一个形成于槽 324 的内表面。此外,第 2 驱动用电极 85 中的一个形成于侧面 32c,另一个形成于侧面 32d。同样,在振动臂 33 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 33c,另一个形成于侧面 33d。此外,第 2 驱动用电极 85 中的一个形成于槽 333 的内表面,另一个形成于槽 334 的内表面。

[0170] 各第 1 驱动用电极 84 通过未图示的布线被引出至设置于连接部 34 的下表面的连接电极 86,并通过连接电极 86,经由导电性粘接材料 11 与连接端子 951 电连接。同样,各第 2 驱动用电极 85 通过未图示的布线被引出至设置于连接部 34 的下表面的连接电极 87,

并通过连接电极 87,经由导电性粘接材料 12 与连接端子 961 电连接。并且,在这些第 1、第 2 驱动用电极 84、85 之间施加交变电压时,振动臂 32、33 以相互反复接近、远离的方式,以 X 反相模式进行振动,所述 X 反相模式是 X 轴方向为主要移位方向的弯曲振动模式。

[0171] 作为第 1、第 2 驱动用电极 84、85 的构成材料,只要具有导电性,则没有特别限定,例如可以在 Cr(铬)、Ni(镍)、W(钨)、钼(Mo)等的基底层上形成 Au(金)、Ag(银)、Cu(铜)等的覆盖层而构成。

[0172] 此外,作为第 1、第 2 驱动用电极 84、85 的具体结构,例如可设为在 700 Å 以下的 Cr 层上形成了 700 Å 以下的 Au 层的结构。特别是 Cr 和 Au 的热弹性损失较大,因此 Cr 层、Au 层优选设为 200 Å 以下。此外,在要提高绝缘破坏耐受性的情况下,Cr 层、Au 层优选设为 1000 Å 以上。并且,Ni 与石英的热膨胀系数接近,因此通过替代 Cr 层而将 Ni 层设为基底,能够得到减少了由于电极引起的热应力、且长期可靠性(老化特性)良好的振动元件。

[0173] 一施重部一

[0174] 在振动臂 32、33 的锤头 322、332 上,分别设置有施重部 5。施重部 5 用于进行振动元件 2 的谐振频率调整。这样的施重部 5 的结构对于振动臂 32、33 来说是相同的,因此,以下以设置于振动臂 32 上的施重部 5 为代表进行说明,对于设置于振动臂 33 的施重部 5,省略其说明。

[0175] 如图 5 的 (a)、(b) 所示,施重部 5 被设置于锤头 322。这样,通过在锤头 322 上设置施重部 5,能够提高谐振频率的调整效率(与施重部 5 的去除量对应的频率变化的比例)。此外,通过在锤头 322 上设置施重部 5,能够确保第 1、第 2 驱动用电极 84、85 的形成区域较宽阔,因此能够防止振动元件 2 的驱动效率(例如 CI 值)的下降。

[0176] 这样的施重部 5 被设置于主面 32b、即位于与盖 92 相反侧的主面上。此外,施重部 5 具有:第 1 施重部 51;以及比第 1 施重部 51 靠基端侧(基部 31 侧)的第 2 施重部 52。此外,第 2 施重部 52 的厚度比第 1 施重部 51 薄。如后所述,第 1 施重部 51 是用于进行振动元件 2 的谐振频率粗调的施重部,第 2 施重部是用于对振动元件 2 的谐振频率进行微调的施重部。这样,施重部 5 具有粗调用的第 1 施重部 51 和微调用的第 2 施重部 52,由此能够有效且高精度地对振动元件 2 的谐振频率进行调整。

[0177] 此外,施重部 5 从锤头 322 的下表面侧起,由第 1 施重层 5A 和第 2 施重层 5B 的层叠体构成。第 1 施重层 5A 配置于锤头 322 的下表面的大致整个面上,第 2 施重层 5B 比第 1 施重层 5A 短,且第 2 施重层 5B 以排除锤头 322 的基端部的方式,偏向一侧而配置于末端侧。即,施重部 5 具有:位于施重部 5 的长度方向的末端侧、且第 1 施重层 5A 和第 2 施重层 5B 重叠的第 1 部分;以及位于基端侧、且第 1 施重层 5A 以单层存在的第 2 部分。并且,第 1 部分构成了第 1 施重部 51,第 2 部分构成了第 2 施重部 52。通过设为这样的结构,第 1、第 2 施重部 51、52 的结构变得简单。

[0178] 此外,在设第 1 施重层 5A 的厚度为 t_1 、第 2 施重层 5B 的厚度为 t_2 时,优选满足 $2 \times t_1 \leq t_2 \leq 70 \times t_1$ 的关系,更优选满足 $5 \times t_1 \leq t_2 \leq 50 \times t_1$ 的关系。由此,能够足够厚地形成第 1 施重部 51,另一方面,能够足够薄地形成第 2 施重部 52。因此,第 1 施重部 51 成为更适于谐振频率的粗调的厚度,第 2 施重部 52 成为更适于谐振频率的微调的厚度。因此,能够更有效且高精度地调整振动元件 2 的谐振频率。另外,作为第 1 施重层 5A 的厚度

t1, 没有特别限定, 但优选为10 Å以上、3000 Å以下, 更优选为10 Å以上、1000 Å以下。由此, 能够使得第1施重层5A足够薄, 第2施重部52成为适合用于谐振频率的微调的厚度。此外, 作为第1、第2施重层5A、5B的厚度t1、t2的合计(= t1+t2), 没有特别限定, 但从防止施重部5的过度的厚度增加的观点看, 例如优选为5 μm以下。

[0179] 此外, 在设第1施重部51沿着振动臂32的延伸方向(Y轴方向)的长度为L1、第2施重部52沿着振动臂32的延伸方向(Y轴方向)的长度为L2时, 优选满足下式(1), 更优选满足下式(2)。由此, 能够以良好的平衡配置第1施重部51和第2施重部52。因为第1施重部51用于振动元件2的谐振频率粗调, 第2施重部52用于振动元件2的谐振频率微调, 因此通过以良好的平衡配置第1、第2施重部51、52, 能够同时充分地进行粗调和微调, 能够高效且高精度地进行振动元件2的频率调整。

$$[0180] \quad 0.1 \leq \frac{L1}{L1 + L2} \leq 0.8 \dots (1)$$

$$[0181] \quad 0.3 \leq \frac{L1}{L1 + L2} \leq 0.6 \dots (2)$$

[0182] 作为第1、第2施重层5A、5B的形成方法, 没有特别限定, 例如可以使用溅射法、蒸镀法等。在本实施方式中, 通过溅射法形成了第1施重层5A, 通过蒸镀法形成了第2施重层5B。在通过蒸镀法形成膜时是在高真空状态下进行成膜, 因此通过蒸镀法形成的膜相比于通过溅射法形成的膜, 在利用激光LL的照射去除膜时产生的脱气(除气)的量较少。因此, 如后所述, 在将振动元件2收纳到封装9的状态下调整振动元件2的谐振频率的情况下, 能够减少脱气引起的、封装的收纳空间S的真空度下降。另外, 如果与第2施重层5B同样, 第1施重层5A也通过蒸镀法形成, 则上述效果进一步得到提高, 但在通过蒸镀法在石英振动片3的表面形成第1施重层5A的情况下, 与溅射法相比, 工艺处理比较耗费时间, 而且膜厚精度通常较低, 因此鉴于形成的便利性, 在本实施方式中, 通过溅射法形成了第1施重层5A。如上所述, 第1施重层5A与第2施重层5B相比, 被形成得足够薄, 因此抑制了脱气的产生量。

[0183] 作为第1、第2施重层5A、5B的具体结构, 如图6的(a)所示, 例如可以设为层叠了第1施重层5A和第2施重层5B的结构, 其中, 第1施重层5A由Cr(铬)构成且是通过溅射法形成的, 第2施重层5B将第1施重层5A作为基层, 由Au(金)构成, 并且是通过蒸镀法形成的。此外, 如图6的(b)所示, 第1施重层5A也可以由两层构成。具体而言, 第1施重层5A也可以是层叠了由Cr构成且通过溅射法形成的基层5A1、和由Au构成且通过蒸镀法形成的覆盖层5A2的结构。在图6的(a)的结构中, 第1施重层5A由单层构成, 因此与图6的(b)的结构相比, 具有能够减薄第1施重层5A的优点, 但具有在第1施重层5A的表面形成氧化膜的缺点。与此相对, 根据图6的(b)的结构, 相比于图6的(a)的结构, 具有第1施重层5A变厚的缺点, 但能够防止在第1施重层5A的表面形成氧化层。另外, 在图6的(a)、(b)的任意一个情况下, 第1施重层5A都能够通过与上述第1、第2驱动用电极84、85相同的步骤形成。因此, 能够防止振动元件2的制造的烦杂化。

[0184] 以上, 对施重部5进行了详细说明。这里, 石英振动片3实质上是无色透明的, 因

此振动臂 32(锤头 322) 能够透过激光 LL。此外,如图 5 的 (b) 所示,在锤头 322 的主面 32a(盖 92 侧的主面) 上未形成第 1、第 2 驱动用电极 84、85 以及施重部 5。因此,在锤头 322 的主面 32a 中,锤头 322 的基础表面露出。这样的锤头 322 的主面 32a 成为允许激光 LL 入射到锤头 322 内的激光入射区域(区域)SLL。

[0185] 激光入射区域(区域)SLL 具有:设置于俯视(从 Z 轴方向俯视)时与第 1 施重部 51 重叠的位置处的第 1 激光入射区域 SLL1;以及设置于俯视时与第 2 施重部 52 重叠的位置处的第 2 激光入射区域 SLL2。由此,能够使激光 LL 从第 1 激光入射区域 SLL1 透过锤头 322 内,照射到第 1 施重部 51,同样,能够使激光 LL 从第 2 激光入射区域 SLL2 透过锤头 322 内,照射到第 2 施重部 52。这样,通过从锤头 322 的主面 32a 侧照射激光 LL 来去除第 1、第 2 施重部 51、52,能够减少被去除的重物材料再次附着到振动元件 2 上的情况。这将在后述的频率调整方法中进行详细说明。

[0186] 特别是,如上所述,在激光入射区域 SLL 中,锤头 322 的基础表面(石英振动片 3 的表面)露出,因此能够提高激光 LL 向锤头 322 内的入射效率。另外,假设在锤头 322 的主面 32a 上形成了某些层,则激光 LL 会使得这些层蒸发,可能会以此为原因而导致封装 9 内的真空度下降。

[0187] 以上,对振动元件 2 的结构进行了说明。如上所述,通过在振动元件 2 的各振动臂 32、33 上形成槽 323、324、333、334,能够实现热弹性损失的减少,能够发挥优异的振动特性。以下,关于该情况,以振动臂 32 为例进行具体说明。

[0188] 如上所述,振动臂 32 通过在第 1、第 2 驱动用电极 84、85 之间施加交变电压而在面内方向上进行弯曲振动。如图 7 所示,在该弯曲振动时,当臂部 321 的侧面 32c 收缩时,侧面 32d 拉伸,相反,当侧面 32c 拉伸时,侧面 32d 收缩。在振动臂 32 不产生 Gough — Joule 效应(能量弹性相对于熵弹性处于支配地位)的情况下,侧面 32c、32d 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 32c 与侧面 32d 之间、即臂部 321 的内部产生温度差。由于基于该温度差产生的热传导,产生振动能量的损失,由此导致振动元件 2 的 Q 值降低。也将这样的伴随 Q 值降低的能量损失称作热弹性损失。

[0189] 在振动元件 2 那样结构的以弯曲振动模式进行振动的振动元件中,当振动臂 32 的弯曲振动频率(机械性的弯曲振动频率)f 发生了变化时,且振动臂 32 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 能够通过下式 (3) 求出。其中,在式 (3) 中, π 是圆周率,如果将 e 设为纳皮尔常数,则 τ 是通过热传导使得温度差成为 e^{-1} 倍所需的弛豫时间。

$$[0190] \quad f_m = \frac{1}{2\pi\tau} \quad \dots(3)$$

[0191] 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 (4) 求出。另外,在式 (4) 中, π 是圆周率、k 是振动臂 32 的振动方向的导热系数、 ρ 是振动臂 32 的质量密度、 C_p 是振动臂 32 的热容、a 是振动臂 32 的振动方向的宽度。在式 (4) 的导热系数 k、质量密度 ρ 、热容 C_p 中输入了振动臂 32 的材料自身(即石英)的常数的情况下,求出的热弛豫频率 f_{m0} 成为在振动臂 32 中未设置槽 323、324 的情况下的值。

$$[0192] \quad f_{m0} = \frac{\pi k}{2\rho C_p a^2} \quad \dots (4)$$

[0193] 在振动臂 32 中,以位于侧面 32c、32d 之间的方式形成有槽 323、324。因此,以迂回于槽 323、324 方式形成用于通过热传导使得在振动臂 32 的弯曲振动时产生的 32c、32d 的温度差达到温度平衡的热移动路径,热移动路径比侧面 32c、32d 间的直线距离(最短距离)长。因此,与在振动臂 32 上未设置槽 323、324 的情况相比,弛豫时间 τ 增长,热弛豫频率 f_m 降低。

[0194] 图 8 是表示弯曲振动模式的振动元件的 Q 值的 f/f_m 依存性的曲线图。在该图中,用虚线表示的曲线 F1 示出了如振动元件 2 那样在振动臂上形成有槽的情况,用实线表示的曲线 F2 示出了在振动臂上未形成槽的情况。如该图所示,曲线 F1、F2 的形状不变,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 (5),使得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。

$$[0195] \quad f > \sqrt{f_{m0} f_{m1}} \quad \dots (5)$$

[0196] 而且,如果限定为下式 (6) 的关系,则能够得到更高的 Q 值。

$$[0197] \quad \frac{f}{f_{m0}} > 1 \quad \dots (6)$$

[0198] 另外,在图 8 中,还将 $f/f_m < 1$ 的区域称作等温区域,在该等温区域中,随着 f/f_m 减小, Q 值增高。这是因为,随着振动臂的机械性的频率降低(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 时的极限中,成为等温准静态操作,热弹性损失无限地接近 0。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 增大, Q 值增高。这是因为,随着振动臂的机械性的频率增高,各侧面的温度上升/温度降低的切换变得高速,不存在产生上述那样的热传导的时间。因此,在使 f/f_m 无限大时的极限中,成为隔热操作,热弹性损失无限地接近 0。因此,满足 $f/f_m > 1$ 的关系也可以换言为 f/f_m 处于隔热区域。

[0199] 《振动元件的频率调整方法》

[0200] 接着,根据图 9 ~ 图 12,对调整上述振动元件 2 的谐振频率的方法进行说明。另外,以下,为了方便说明,以去除设置于振动臂 32 上的施重部 5 的情况为代表进行说明,但设置于振动臂 33 的施重部 5 也同样是要去除的。

[0201] 该谐振频率调整方法具有:粗调步骤,在将振动元件 2 收纳到封装 9 前,对振动元件 2 的谐振频率进行粗调;收纳步骤,将粗调后的振动元件 2 收纳到封装 9 中;第 1 调整步骤,利用第 1 施重部 51 对封装 9 内的振动元件 2 的谐振频率进行调整(粗调);以及第 2 调整步骤,利用第 2 施重部 52 对封装 9 内的振动元件 2 的谐振频率进行调整(微调)。

[0202] 一粗调步骤—

[0203] 首先,在驱动了振动元件 2 的状态下,如图 9 所示,向第 1 施重部 51 的末端侧照射

激光 LL, 去除第 1 施重部 51 的一部分。由此, 使振动元件 2 的谐振频率大致接近目标值。即, 进行粗调。在第 1 施重部 51 的末端侧, 与激光 LL 的照射时间 (施重部的去除量) 对应的频率变化的比例较大, 因此能够更有效地谐振频率的粗调。另外, 在图 9 中, 是从锤头 322 的主面 32b 侧 (第 1 施重部 51 的正面侧) 照射了激光 LL, 但也可以相反地从锤头 322 的主面 32a 侧 (第 1 施重部 51 的背面侧) 照射激光 LL。即, 也可以使激光 LL 从第 1 激光入射区域 SLL1 透过锤头 322 内, 照射到第 1 施重部 51。此外, 该步骤可以在将振动元件 2 保持到了晶片上的状态下进行。即, 可以在从晶片获得振动元件 2 前进行上述步骤。此外, 该步骤可以在被暴露于大气的状态下进行, 也可以在减压后的状态下进行。特别是在前者的情况下, 虽然会产生空气阻力所引起的谐振频率的偏差, 但能够更简单地调整谐振频率。

[0204] 一收纳步骤一

[0205] 接着, 如图 10 所示, 将粗调后的振动元件 2 收纳到封装 9 中 (即, 借助导电性粘接材料 11、12 固定到底座 91 上), 并使封装 9 内成为真空状态。在收纳有振动元件 2 的状态下, 振动元件 2 的配置有第 1、第 2 施重部 51、52 一侧的主面 32b 位于底座 91 侧, 设置有激光入射区域 SLL 一侧的主面 32a 位于盖 92 侧。并且, 盖 92 与激光入射区域 SLL 相对。通过设为这样的配置, 如后所述, 能够经由盖 92 和锤头 322 将激光 LL 照射到第 1、第 2 施重部 51、52。

[0206] 一第 1 调整步骤一

[0207] 然后, 在驱动了振动元件 2 的状态下, 如图 11 所示, 从盖 92 侧朝向第 1 施重部 51 照射激光 LL, 从而去除第 1 施重部 51 的至少一部分。具体而言, 经由盖 92 将激光 LL 引导至封装 9 内, 进而使其从第 1 激光入射区域 SLL1 透过锤头 322 内, 从第 1 施重部 51 的背面侧照射到第 1 施重部 51, 由此去除第 1 施重部 51 的一部分。此时, 优选的是, 照射激光 LL 的区域比在上述粗调步骤中照射激光 LL 的区域靠基端侧。由此, 与粗调步骤相比, 与激光 LL 的照射时间 (施重部的去除量) 对应的频率变化的比例减小。通过这样的第 1 调整步骤, 使得振动元件 2 的谐振频率进一步接近目标值。另外, 虽然该步骤比所述粗调步骤微小, 但也可以说是比较粗略地调整谐振频率的粗调步骤。

[0208] 在该步骤中, 从第 1 施重部 51 去除的重物材料 B 在封装 9 内飞散, 其大部分附着到与第 1 施重部 51 相对配置的凹部 911 的底面和凹部 912 的内表面上。因此, 可抑制飞散的重物材料 B 绕过振动元件 2 而附着到盖 92 的内表面上。其结果, 能够有效地抑制如在上述背景技术中说明的那样, 附着到盖 92 的内表面的重物材料 B 由于激光 LL 而飞散并再次附着到振动臂 32 上的情况。因此, 利用本步骤, 能够有效且高精度地进行频率调整。特别是, 凹部 911 的底面和凹部 912 的内表面隔着振动元件 2 位于与盖 92 相反的一侧, 因此不易被照射激光 LL。因此, 重物材料 B 一旦附着到凹部 911 的底面或凹部 912 的内表面上, 发生再次飞散的情况较少, 可减少上述那样的再次附着到振动臂 32 上的情况。特别是, 如果激光 LL 指向的方向与重力加速度的方向相同, 则能够进一步降低再次附着的可能。

[0209] 一第 2 调整步骤一

[0210] 然后, 在驱动了振动元件 2 的状态下, 如图 12 所示, 从盖 92 侧朝向第 2 施重部 52 照射激光 LL, 从而去除第 2 施重部 52 的至少一部分。具体而言, 经由盖 92 将激光 LL 引导至封装 9 内, 进而使其从第 2 激光入射区域 SLL2 透过锤头 322 内, 从第 2 施重部 52 的背面侧照射到第 2 施重部 52, 由此去除第 2 施重部 52 的一部分。第 2 施重部 52 比第 1 施重部

51 薄、且比第 1 施重部 51 靠基端侧,因此与激光 LL 的照射时间(施重部的去除量)对应的频率变化的比例较小。因此,该步骤也可以说是微小地调整谐振频率的微调步骤。通过这样的第 2 调整步骤,使振动元件 2 的谐振频率进一步接近目标值,优选与目标值一致。

[0211] 在该步骤中,从第 2 施重部 52 去除的重物材料 B' 在封装 9 内飞散,其大部分与重物材料 B 同样地附着到凹部 911 的底面和凹部 912 的内表面上。因此,可抑制飞散的重物材料 B' 绕着振动元件 2 而附着到盖 92 的内表面上的情况。其结果,基于与上述重物材料 B 相同的原因,能够有效地抑制重物材料 B' 由于激光 LL 而蒸发并再次附着到振动臂 32 上的情况。因此,利用本步骤,能够有效且高精度地进行频率调整。特别是,如果激光 LL 指向的方向与重力加速度的方向相同,则能够进一步降低再次附着的可能。

[0212] 根据以上那样的频率调整方法,能够防止一旦去除后的重物材料 B、B' 再次附着到振动臂 32 上,因此可调整的频率范围大,能够有效且高精度地对振动元件 2 的谐振频率进行调整。此外,能够在将振动元件 2 搭载到了封装 9 的状态下进行频率调整,因此能够更准确地调整谐振频率。此外,封装 9 内的施重部的去除量比较少即可,因此能够减少封装 9 内的脱气的产生。如上所述,通过用蒸镀法形成第 2 施重层 5B,使得该效果更加显著。

[0213] 另外,在本实施方式中,使用了激光 LL 作为能量线,但作为能量线,只要能够去除施重部 5,则没有特别限定,例如也可以使用电子束等。

[0214] < 第 2 实施方式 >

[0215] 图 13 是本发明第 2 实施方式的振子具有的振动元件的剖视图。图 14 和图 15 分别是说明频率调整方法的剖视图。

[0216] 以下,关于第 2 实施方式的振子,以与上述实施方式的振子的不同之处为中心进行说明,省略相同事项的说明。

[0217] 本实施方式的振子除了振动元件具有的施重部的结构不同以外,与上述第 1 实施方式的振子相同。

[0218] 《振子(振动元件)》

[0219] 如图 13 所示,在本实施方式的振动元件 2 中,施重部 5 具有配置于锤头 322 的主面 32a 上的第 3 施重部 53。该第 3 施重部 53 被用于上述粗调步骤中的频率调整。

[0220] 第 3 施重部 53 被配置成俯视(从 Z 轴方向俯视)时与第 1 施重部 51 的一部分重叠。更具体而言,第 3 施重部 53 被配置成:在设第 3 施重部 53 沿着振动臂 32 的延伸方向(Y 轴方向)的长度为 L_3 时,满足 $L_3 < L_1$ 的关系,且俯视时与第 1 施重部 51 的末端部重叠。因此,在锤头 322 的主面 32a 上的与第 1 施重部 51 的基端部重叠的位置处,配置有第 1 激光入射区域 SLL1。此外,第 3 施重部 53 的厚度 t_3 比第 2 施重部 52 的厚度(第 1 施重层 5A 的厚度 t_1) 厚,在本实施方式中,成为与第 1 施重部 51 大致相等的厚度。由此,如后所述,能够更有效地进行粗调步骤中的频率调整。

[0221] 作为这样的第 3 施重部 53 的结构,没有特别限定,例如可以设为与第 1 施重部 51 相同的结构。即,第 3 施重部 53 可由第 1 施重层 5A 和第 2 施重层 5B 的层叠体构成。

[0222] 《频率调整步骤》

[0223] 接着,根据图 14、图 15,对调整上述振动元件 2 的谐振频率的方法进行说明。另外,以下,为了方便说明,以去除设置于振动臂 32 上的施重部 5 的情况为代表进行说明,但设置于振动臂 33 上的施重部 5 也同样是要去除的。

[0224] 该谐振频率调整方法具有：粗调步骤，在将振动元件 2 收纳到封装 9 前，对振动元件 2 的谐振频率进行粗调；收纳步骤，将粗调后的振动元件 2 收纳到封装 9 中；第 1 调整步骤，利用第 1 施重部 51 对封装 9 内的振动元件 2 的谐振频率进行调整（粗调）；以及第 2 调整步骤，利用第 2 施重部 52 对封装 9 内的振动元件 2 的谐振频率进行调整（微调）。

[0225] 一粗调步骤—

[0226] 首先，在驱动了振动元件 2 的状态下，如图 14 所示，向第 1 施重部 51 和第 3 施重部 53 重叠的区域照射激光 LL，从而去除第 1、第 3 施重部 51、53 的一部分。由此，使振动元件 2 的谐振频率大致接近目标值。该区域是位于振动臂 32 的末端部、而且第 1、第 3 施重部 51、53 重叠的区域，因此与激光 LL 的照射时间（施重部的去除量）对应的频率变化的比例较大。因此，能够更有效地进行谐振频率的粗调。特别时，如上所述，第 3 施重部 53 的厚度比第 2 施重部 52 的厚度厚，因此上述效果变得更加显著。

[0227] 一收纳步骤—

[0228] 由于与上述第 1 实施方式相同，因此省略说明。

[0229] 一第 1 调整步骤—

[0230] 然后，在驱动了振动元件 2 的状态下，如图 15 所示，从盖 92 侧朝向第 1 施重部 51 照射激光 LL，从而去除第 1 施重部 51 的至少一部分。具体而言，经由盖 92 将激光 LL 引导至封装 9 内，进而使其从第 1 激光入射区域 SLL1 透过锤头 322 内，从第 1 施重部 51 的背面侧照射到第 1 施重部 51，由此去除第 1 施重部 51 的一部分。由此，使振动元件 2 的谐振频率进一步接近目标值。

[0231] 一第 2 调整步骤—

[0232] 由于与上述第 1 实施方式相同，因此省略说明。

[0233] 通过这样的第 2 实施方式，也能够发挥与上述第 1 实施方式同样的效果。

[0234] < 第 3 实施方式 >

[0235] 图 16 是本发明第 3 实施方式的振子具有的振动元件的剖视图。

[0236] 以下，关于第 3 实施方式的振子，以与上述实施方式的振子的不同之处为中心进行说明，省略相同事项的说明。

[0237] 本实施方式的振子除了振动元件具有的施重部（第 3 施重部）的结构不同以外，与上述第 2 实施方式的振子相同。

[0238] 《振子（振动元件）》

[0239] 如图 16 所示，在本实施方式的振动元件 2 中，第 3 施重部 53 被配置成俯视（从 Z 轴方向俯视）时与第 1 施重部 51 的整个区域重叠。更具体而言，第 3 施重部 53 被配置成：第 3 施重部 53 的长度 L3 满足 $L3 = L1$ 的关系，且俯视时与第 1 施重部 51 重叠。因此，在锤头 322 的主面 32a 上的与第 1 施重部 51 重叠的位置处，未配置激光入射区域 SLL。

[0240] 通过这样的第 3 实施方式，也能够发挥与上述第 1 实施方式同样的效果。

[0241] < 第 4 实施方式 >

[0242] 图 17 是本发明第 4 实施方式的振子具有的振动元件的俯视图。

[0243] 以下，关于第 4 实施方式的振子，以与上述实施方式的振子的不同之处为中心进行说明，省略相同事项的说明。

[0244] 本实施方式的振子除了振动元件具有的锤头的形状不同以外，与上述第 1 实施方

式的振子相同。

[0245] 《振子（振动元件）》

[0246] 如图 17 所示,在本实施方式的振动元件 2 中,锤头 322 具有:位于末端侧的末端部 3221;以及位于末端部 3221 的基端侧、且宽度比末端部 3221 窄的基端部 3222。并且,在末端部 3221 的主面 32b 上配置有第 1 施重部 51,在基端部 3222 的主面 32b 上配置有第 2 施重部 52。在从盖 92 侧观察施重部 5 时,仅能观察到第 1 施重层 5A 的背面,无法观察到第 1 施重部 51 与第 2 施重部 52 的边界。但是,通过如本实施方式那样,将锤头 322 设为两级形状,容易在视觉上容易地确认第 1 施重部 51 和第 2 施重部 52 的位置（它们的边界部）,从而能够更准确地进行激光 LL 的照射。

[0247] 通过这样的第 4 实施方式,也能够发挥与上述第 1 实施方式同样的效果。

[0248] 2. 振荡器

[0249] 接着,对具有本发明的振动元件的振荡器进行说明。

[0250] 图 18 是示出本发明的振荡器的优选实施方式的剖视图。另外,在图 18 中,为了方便说明,省略了振动元件 2 的第 1、第 2 驱动用电极以及施重部的图示。

[0251] 图 18 所示的振荡器 100 具有振子 1、和用于驱动振动元件 2 的 IC 芯片 110。以下,关于振荡器 100,以与上述振子的不同之处为中心进行说明,省略相同事项的说明。

[0252] 如图 18 所示,在振荡器 100 中,在底座 91 的凹部 911 上固定有 IC 芯片 110。IC 芯片 110 与形成于凹部 911 的底面的多个内部端子 120 电连接。多个内部端子 120 中存在与连接端子 951、961 连接的端子、和与外部端子 953、963 连接的端子。IC 芯片 110 具有用于控制振动元件 2 的驱动的振荡电路（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。

[0253] 3. 物理量传感器

[0254] 接着,对具有本发明的振动元件的物理量传感器进行说明。

[0255] 图 19 是示出本发明的物理量传感器的优选实施方式的剖视图。另外,在图 19 中,为了方便说明,省略了振动元件 2 的第 1、第 2 驱动用电极以及施重部的图示。

[0256] 图 19 所示的物理量传感器 200 是能够检测绕 Y 轴的角速度的角速度传感器（陀螺仪传感器）,具有振子 1、和用于驱动振动元件 2 的 IC 芯片 110。以下,关于物理量传感器 200,以与上述振子的不同之处为中心进行说明,省略相同事项的说明。

[0257] 如图 19 所示,在物理量传感器 200 中,在底座 91 的凹部 911 中固定有 IC 芯片 210。IC 芯片 210 与形成于凹部 911 的底面的多个内部端子 220 电连接。多个内部端子 220 中存在与连接端子 951、961 连接的端子、和与外部端子 953、963 连接的端子。IC 芯片 210 具有用于控制振动元件 2 的驱动的振荡电路（电路）、和用于检测角速度的检测电路。

[0258] 在这样的物理量传感器中,如果在以作为 X 反相模式的驱动振动模式对振动臂 32、33 进行激励振动时,如果施加绕 Y 轴的角速度,则在振动臂 32、33 中产生作为 Z 轴反相模式的检测振动模式。由于该检测振动模式,电极电压（第 1、第 2 驱动用电极 84、85 间的电压）发生变化,能够根据该变化检测角速度。

[0259] 另外,作为物理量传感器,不限于角速度传感器,还可以用于加速度传感器或压力传感器。

[0260] 4. 电子设备

[0261] 接着,对具有本发明的振动元件的电子设备进行说明。

[0262] 图 20 是示出应用了本发明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 以及具有显示部 1108 的显示单元 1106 构成,显示单元 1106 通过铰链构造部以能够转动的方式支承在主体部 1104 上。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子 1(振动元件 2)。

[0263] 图 21 是示出应用了本发明的电子设备的移动电话机(也包括 PHS)的结构立体图。在该图中,移动电话机 1200 具有多个操作按钮 1202、接听口 1204 以及通话口 1206,在操作按钮 1202 与接听口 1204 之间配置有显示部 1208。在这样的移动电话机 1200 中内置有作为滤波器、谐振器、基准时钟等发挥功能的振子 1(振动元件 2)。

[0264] 图 22 是示出应用了本发明的电子设备的数字静态照相机的结构立体图。另外,在该图中,还简单地示出与外部设备之间的连接。这里,通常的照相机是通过被摄体的光像对银盐胶片进行感光,与此相对,数字静态照相机 1300 则通过 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,生成摄像信号(图像信号)。

[0265] 在数字静态照相机 1300 的外壳(机身)1302 的背面设置有显示部 1310,构成为根据 CCD 的摄像信号进行显示,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,在外壳 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)和 CCD 等的受光单元 1304。

[0266] 当摄影者确认在显示部中显示的被摄体像,并按下快门按钮 1306 时,将该时刻的 CCD 的摄像信号传输到存储器 1308 内进行存储。并且,在该数字静态照相机 1300 中,在外壳 1302 的侧面设置有视频信号输出端子 1312 和数据通信用的输入输出端子 1314。而且,如图所示,根据需要,在视频信号输出端子 1312 上连接电视监视器 1430,在数据通信用的输入输出端子 1314 上连接个人计算机 1440。而且,构成为通过规定操作,将存储在存储器 1308 中的摄像信号输出到电视监视器 1430 或个人计算机 1440。在这样的数字静态照相机 1300 中内置有作为滤波器、谐振器、基准时钟等发挥功能的振子 1(振动元件 2)。

[0267] 另外,除了图 20 的个人计算机(移动型个人计算机)、图 21 的移动电话机、图 22 的数字静态照相机以外,具有本发明的振子的电子设备例如还可以应用于喷墨式排出装置(例如喷墨打印机)、膝上型个人计算机、电视、摄像机、录像机、车载导航装置、寻呼机、电子记事本(也包含通信功能)、电子辞典、计算器、电子游戏设备、文字处理器、工作站、视频电话、防范用电视监视器、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。

[0268] 5. 移动体

[0269] 接着,对具有本发明的振动元件的移动体进行说明。

[0270] 图 23 是示出应用了本发明的移动体的汽车的立体图。在汽车 1500 上搭载有振子 1(振动元件 2)。振子 1 例如可以广泛应用于无钥匙门禁、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、混合动力汽车及电动汽车的电池监视器、以及车体姿势控制系统

等的电子控制单元 (ECU :electronic control unit)。

[0271] 以上,根据图示的实施方式对本发明的振子、振荡器、电子设备、物理量传感器以及移动体进行了说明,但是,本发明不限于此,各个部分的结构可置换为具有相同功能的任意结构。此外,可以在本发明中附加其他任意的结构物。此外,还可以适当组合各实施方式。

[0272] 此外,在上述实施方式中,在各振动臂的各主面上设置有 1 个槽,但作为槽的数量,没有特别限定,也可以为 2 个以上。例如,可以在各主面上设置有沿着 X 轴方向排列的两个槽。

[0273] 此外,在上述实施方式中,使用了石英作为振动片的构成材料,但作为振动片的构成材料,不限于此,例如,可以使用氮化铝 (AlN)、铌酸锂 (LiNbO_3)、钽酸锂 (LiTaO_3)、锆钛酸铅 (PZT)、四硼酸锂 ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、硅酸镓钽 ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) 等氧化物基板、在玻璃基板上层叠氮化铝或五氧化二钽 (Ta_2O_5) 等压电体材料而构成的层叠压电基板或者压电陶瓷等。

[0274] 此外,可以使用压电体材料以外的材料形成振动片。例如,还可以使用硅半导体材料等形成振动片。此外,振动片的振动 (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片以外,在使用静电力的静电驱动型和利用磁力的洛伦兹驱动型等的振动片中,也能够发挥本发明的结构及其效果。此外,在说明书或附图中,对于至少一次地与更广义或同义的不同用语一起记载的用语,在说明书或附图的任何位置处,都可以将其置换为该不同的用语。

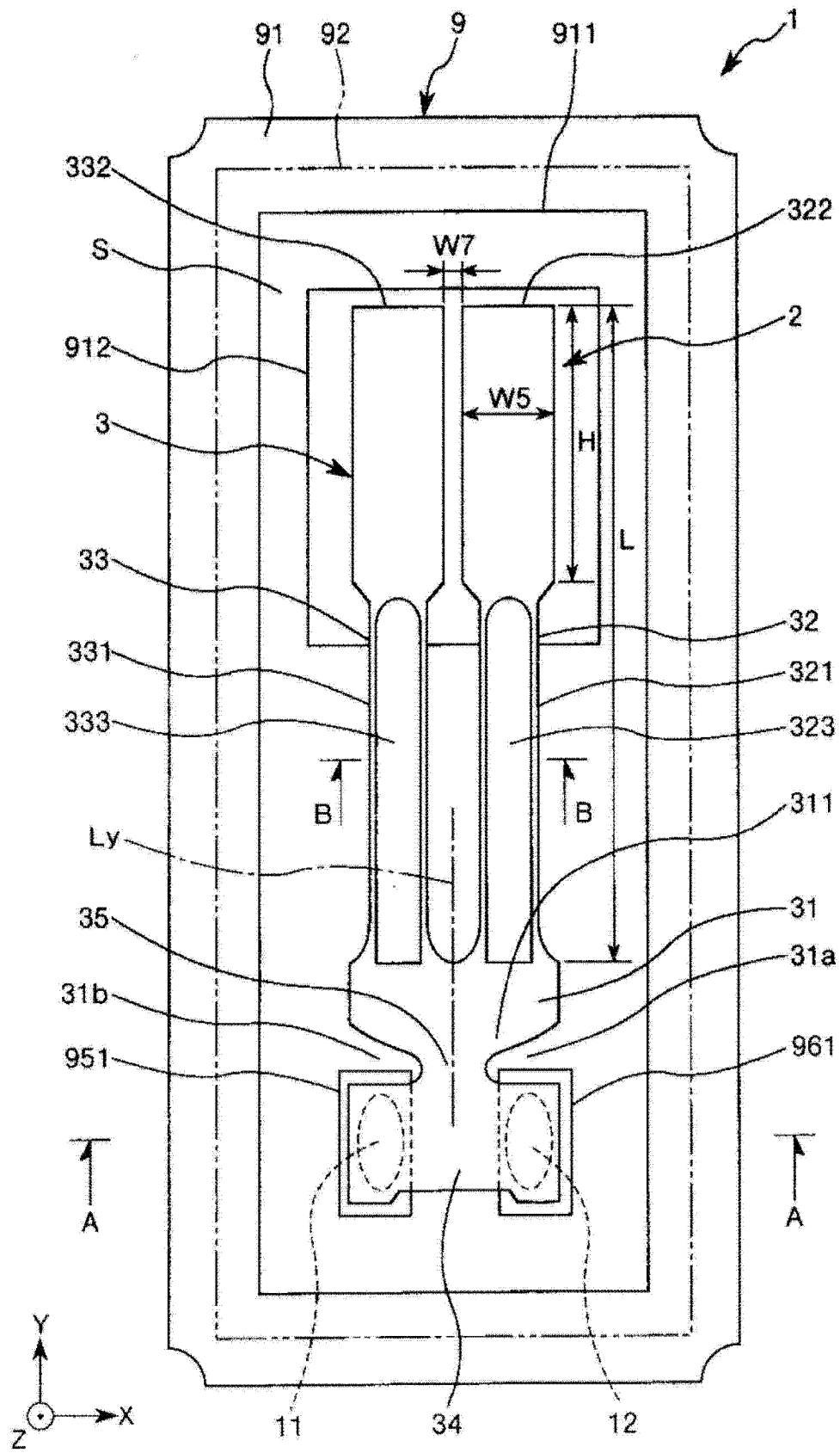


图 1

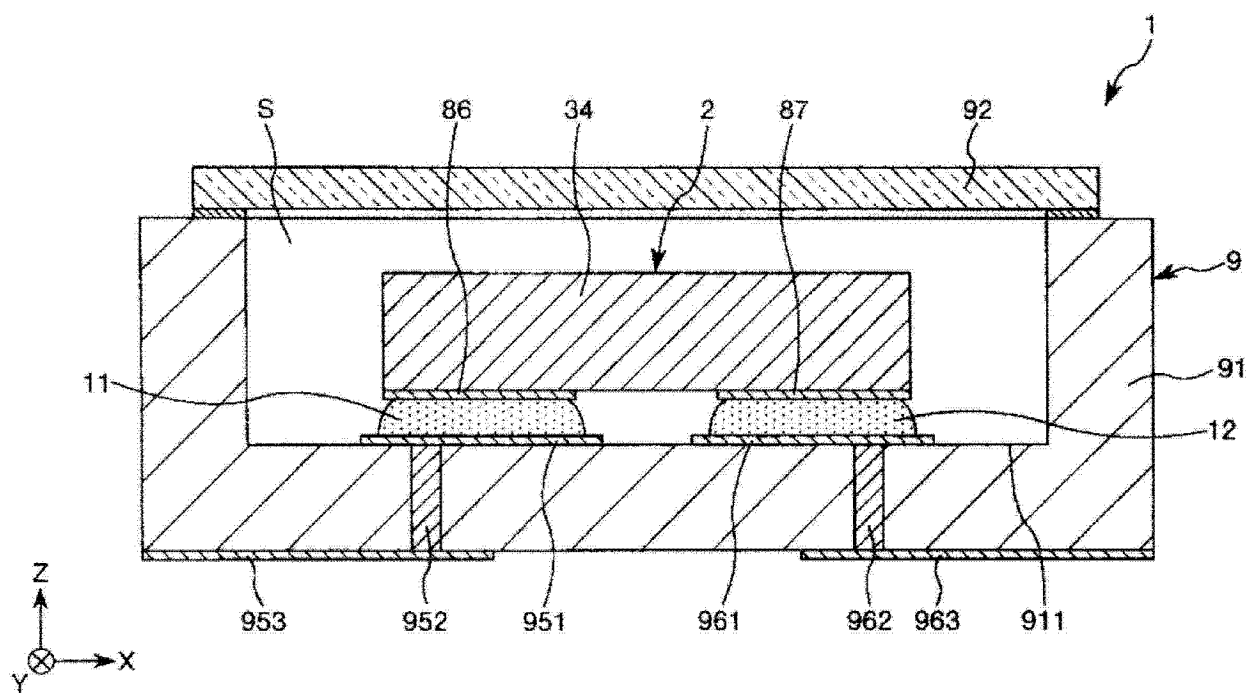


图 2

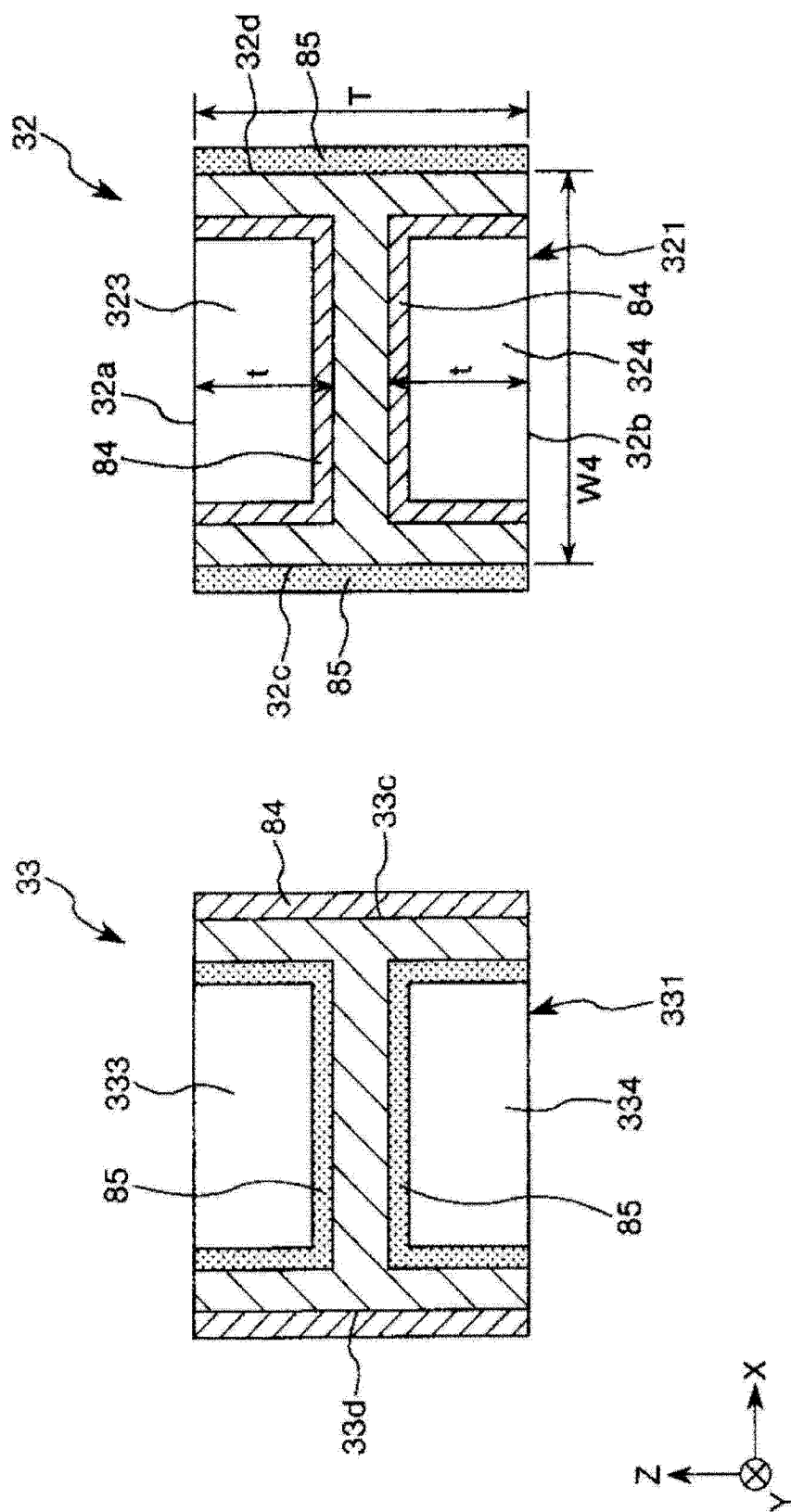


图 3

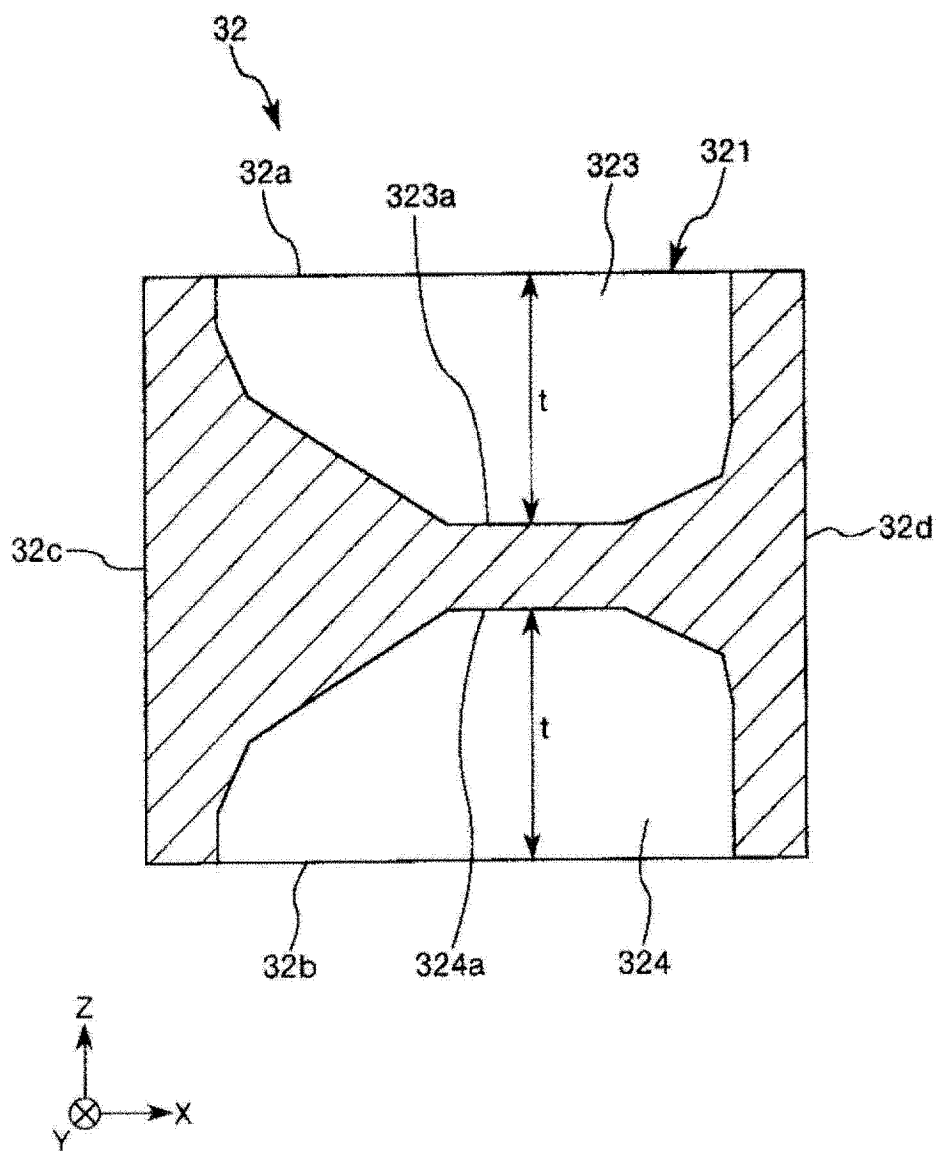


图 4

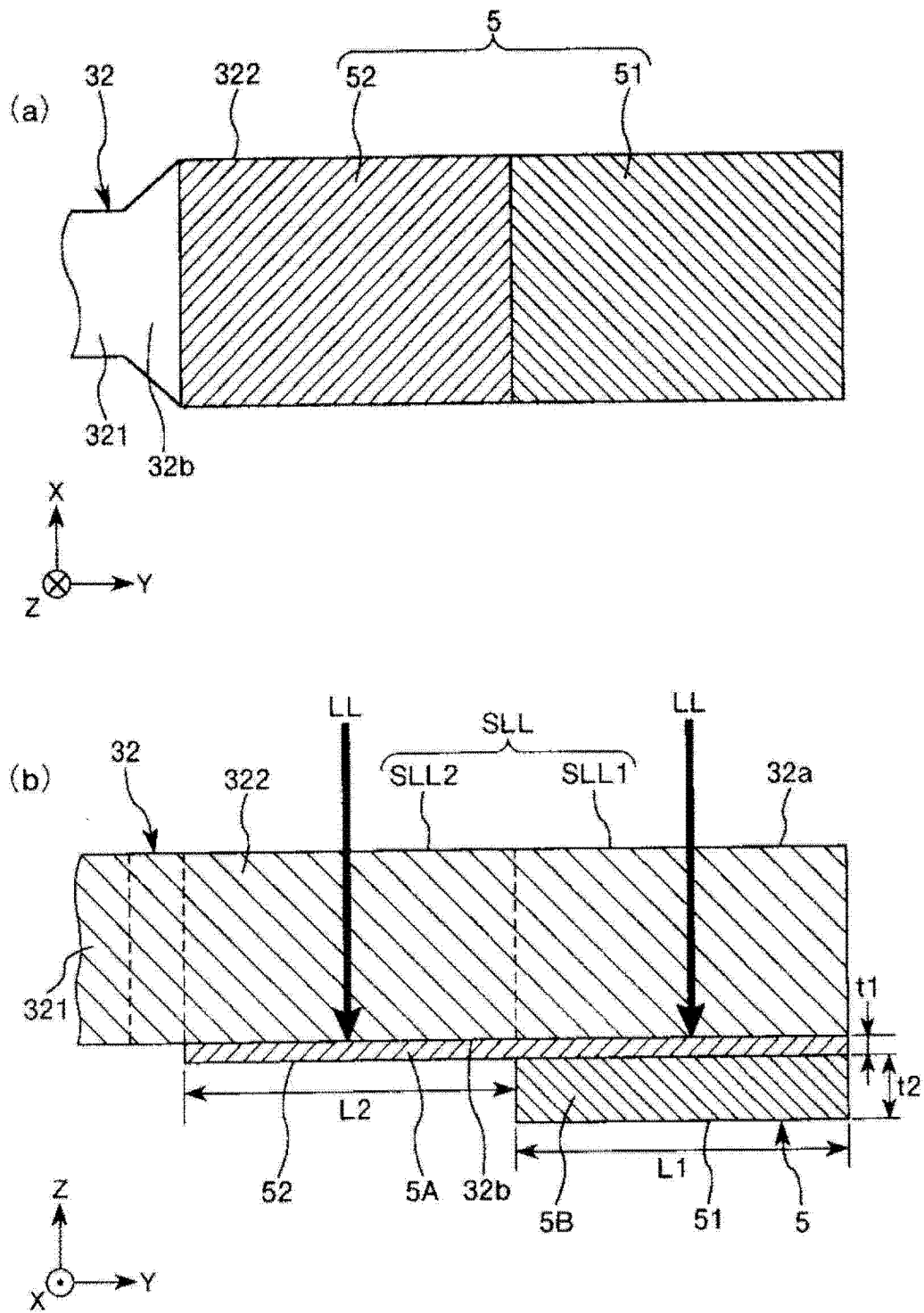


图 5

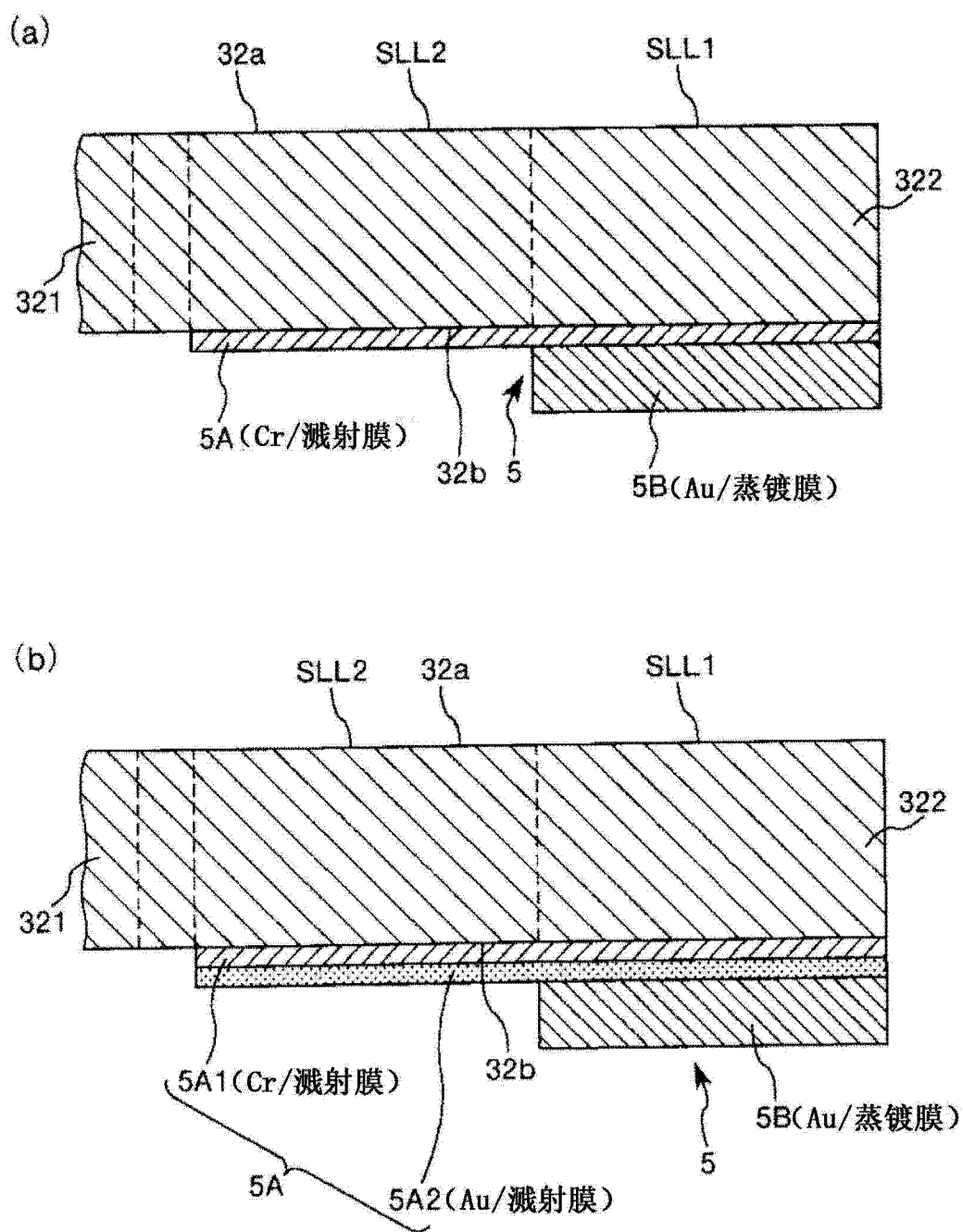


图 6

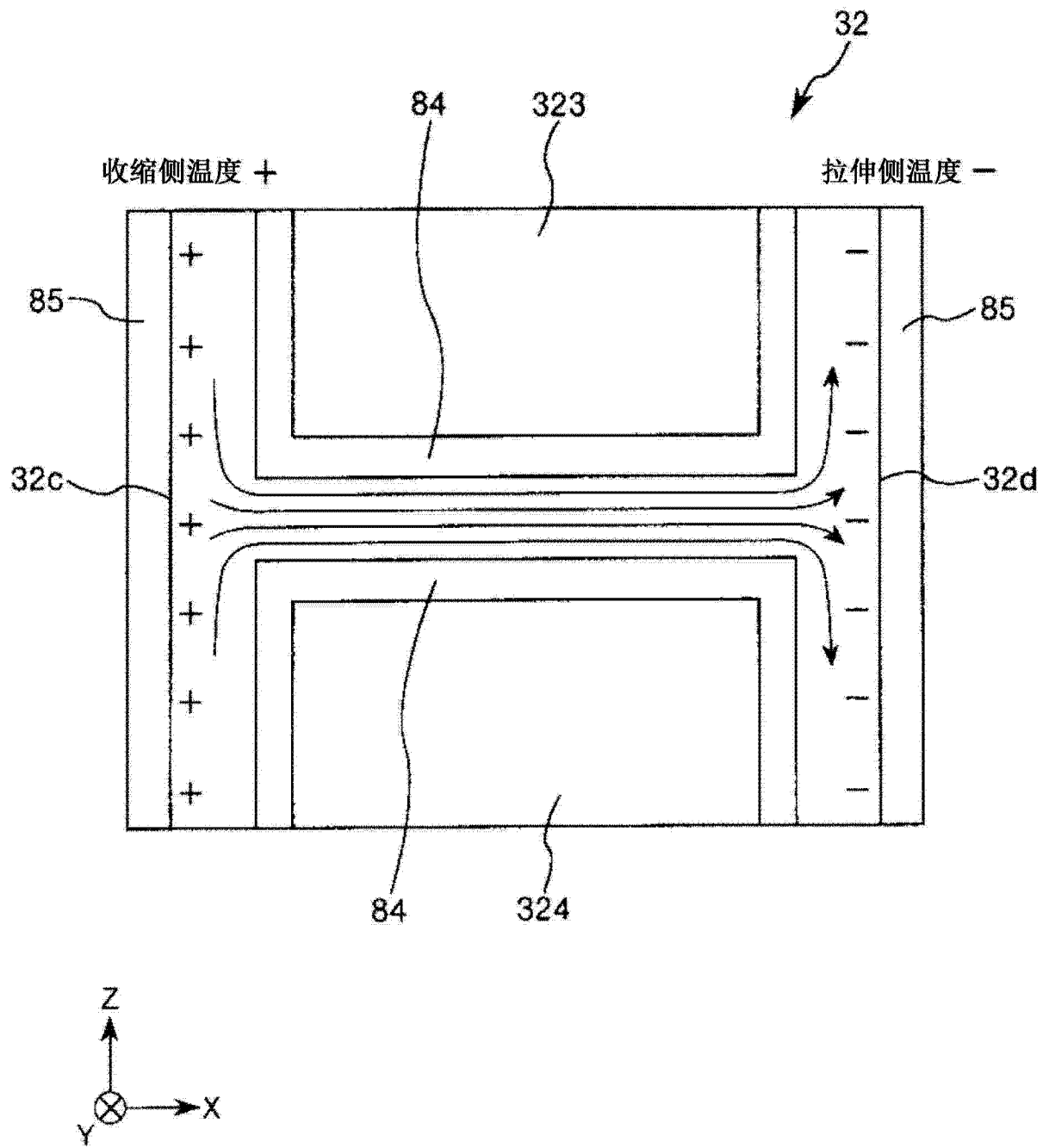


图 7

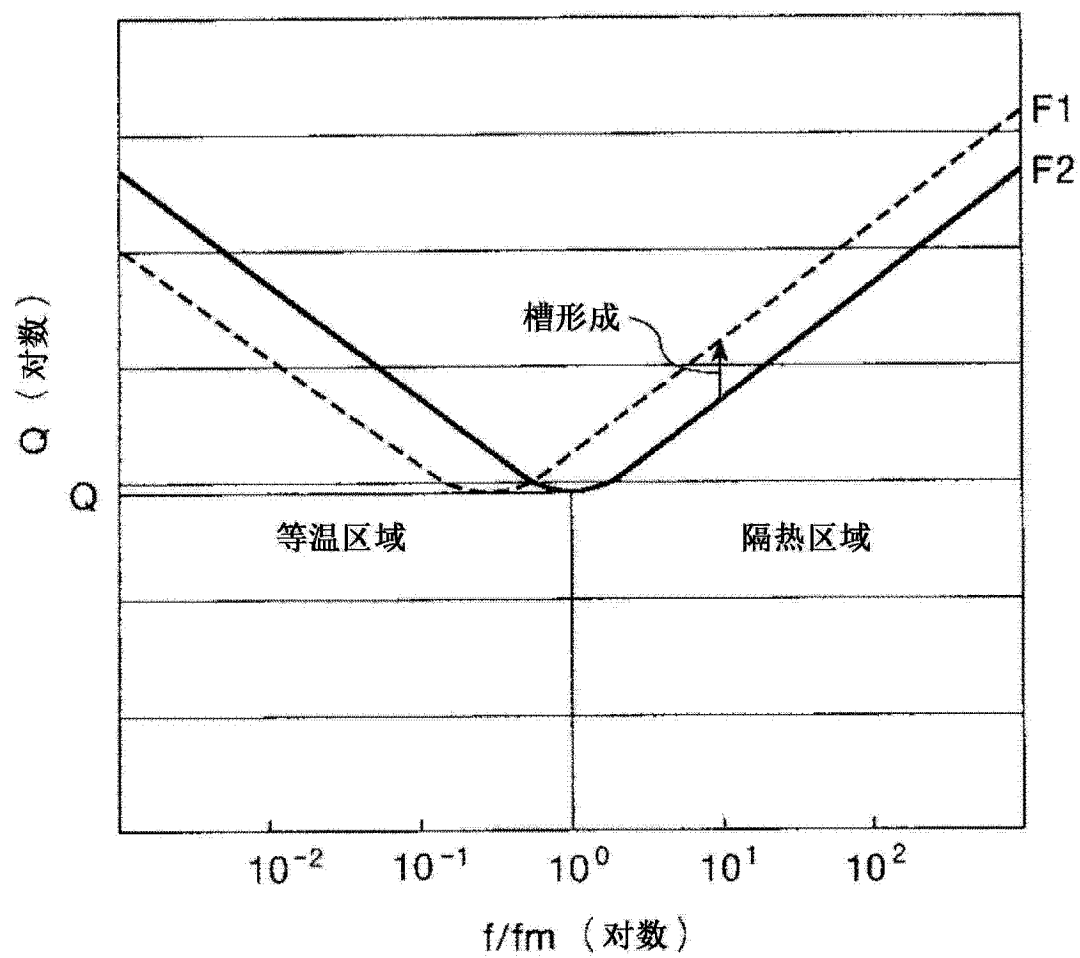


图 8

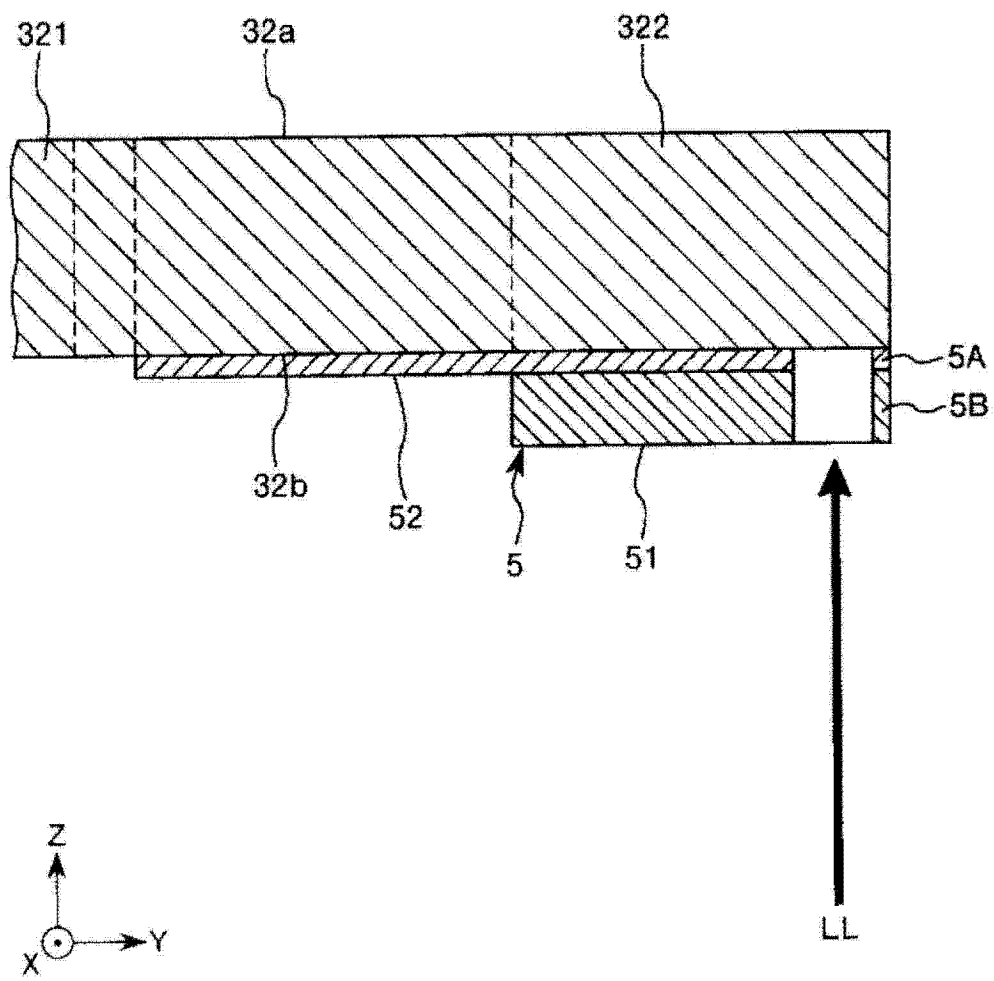


图 9

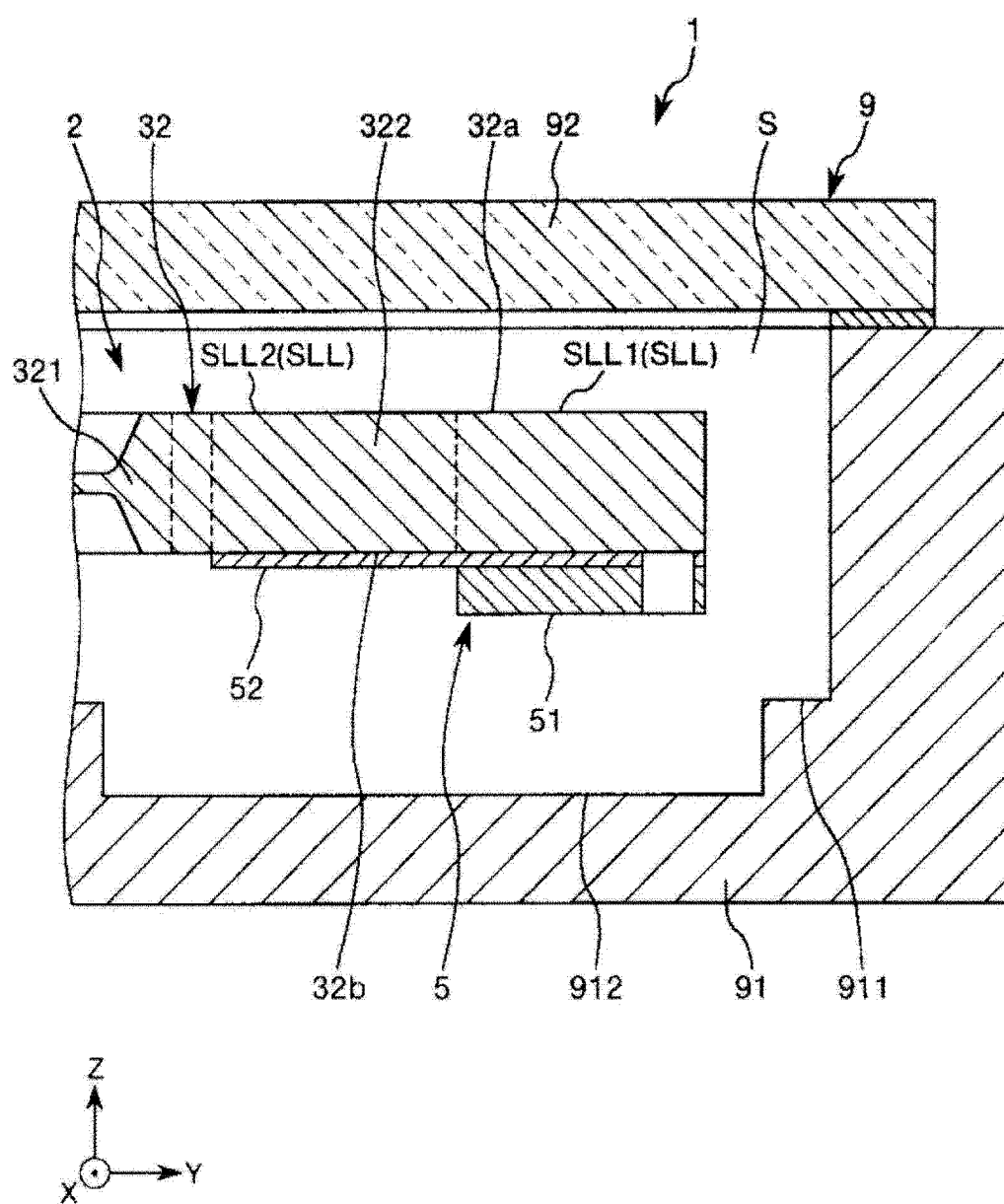


图 10

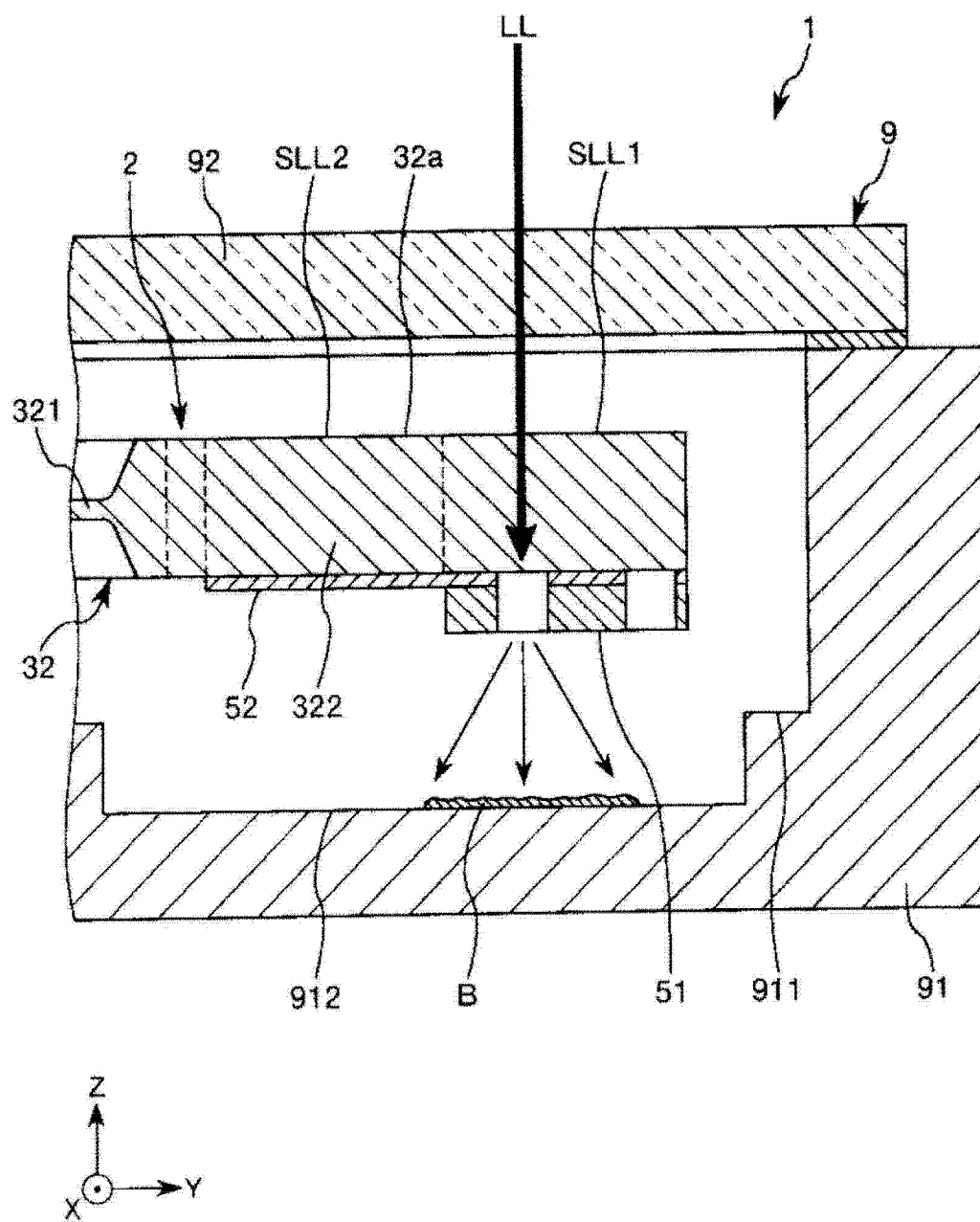


图 11

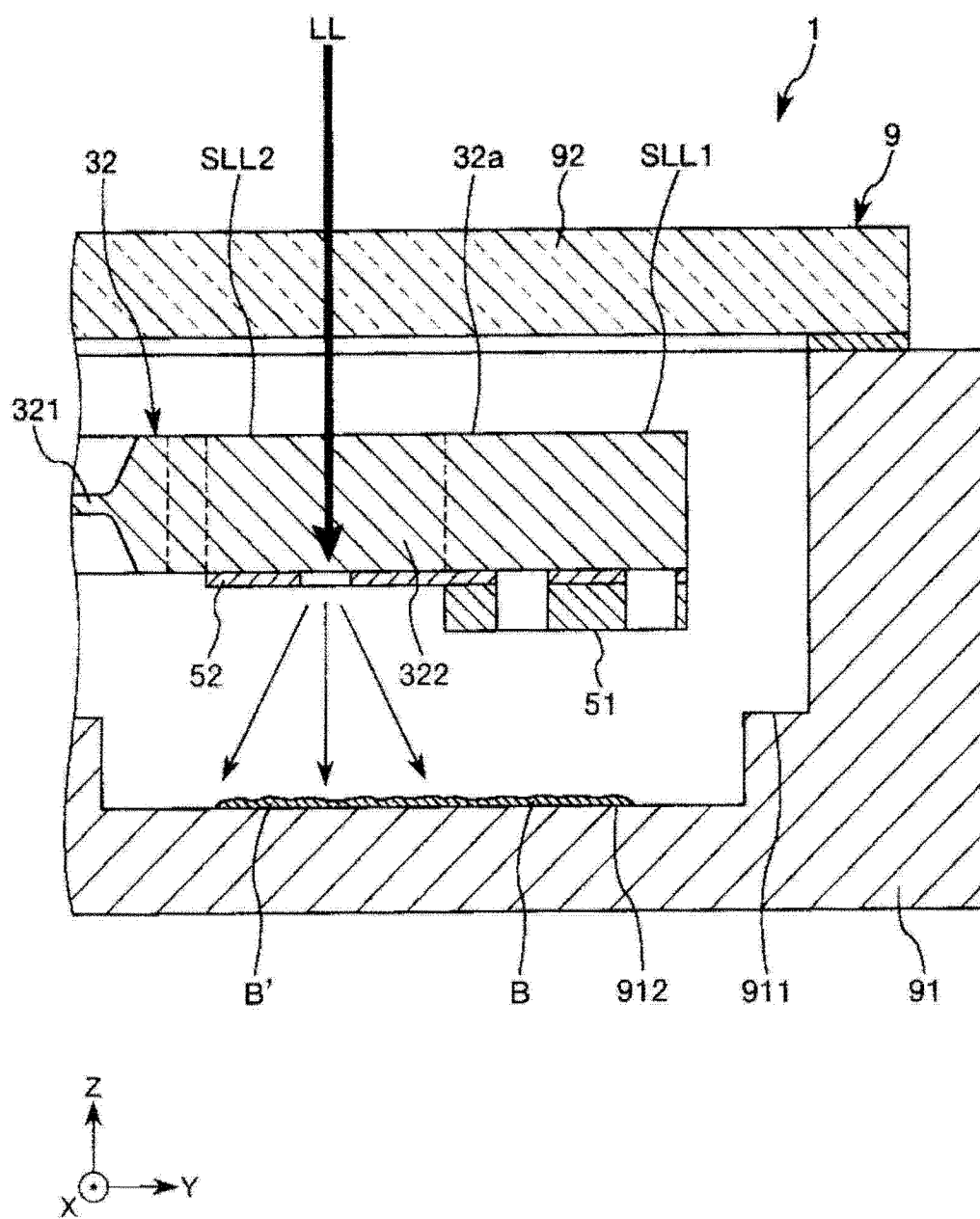


图 12

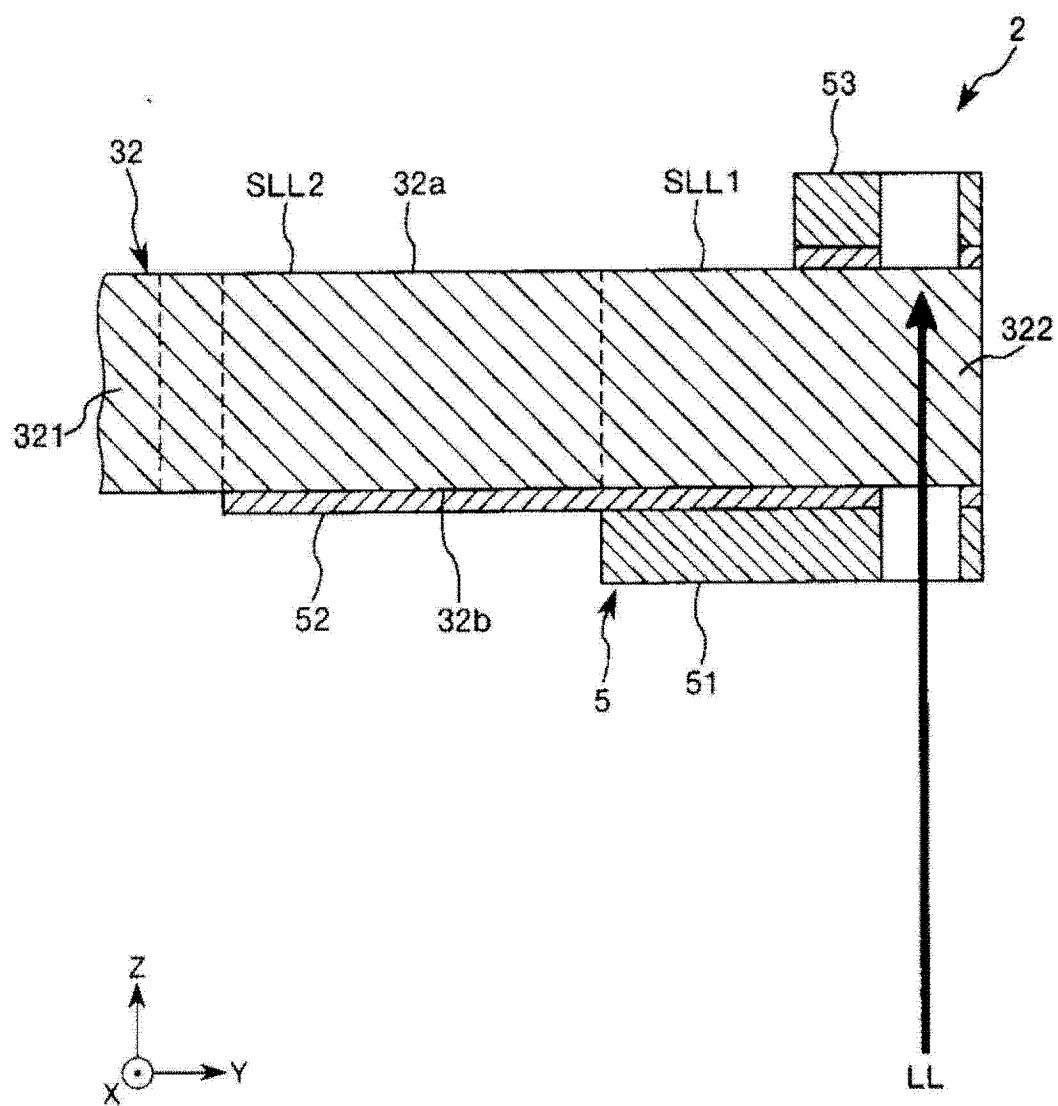


图 14

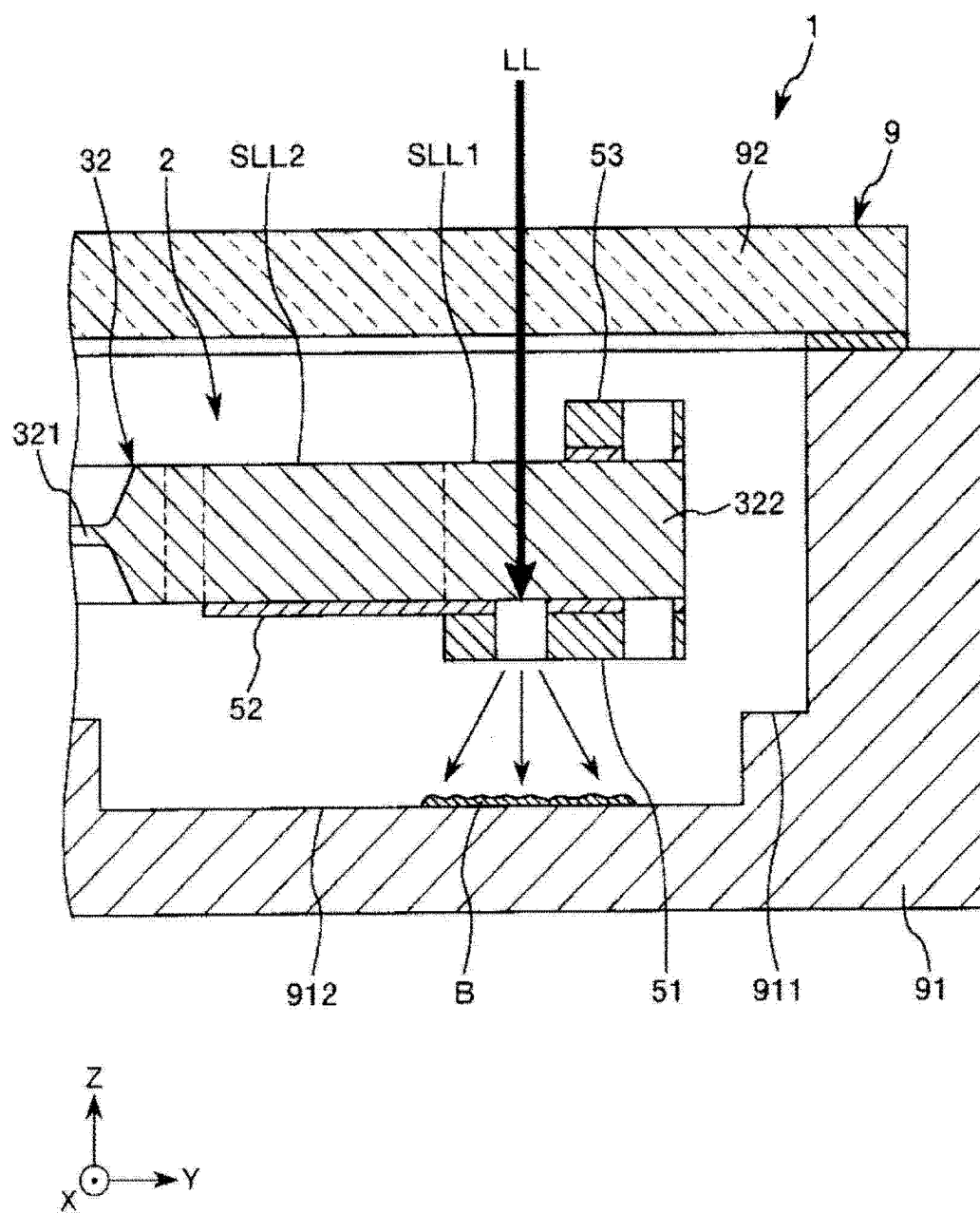


图 15

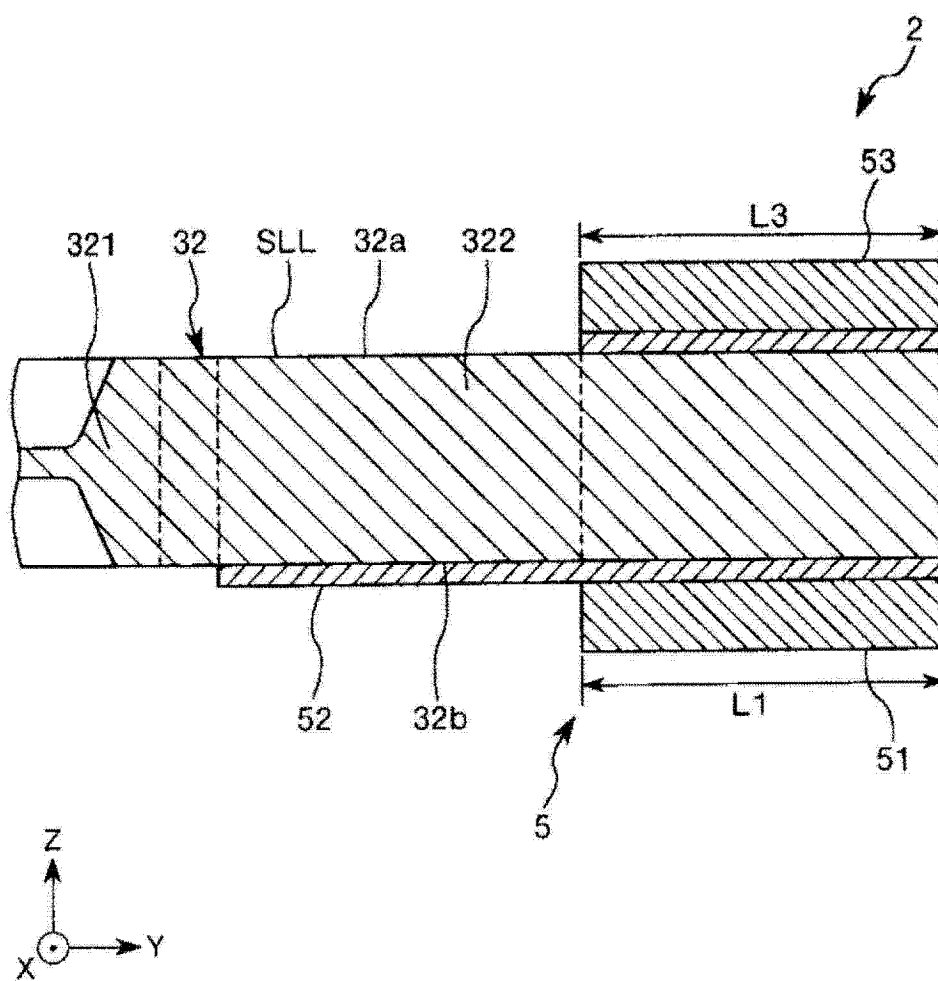


图 16

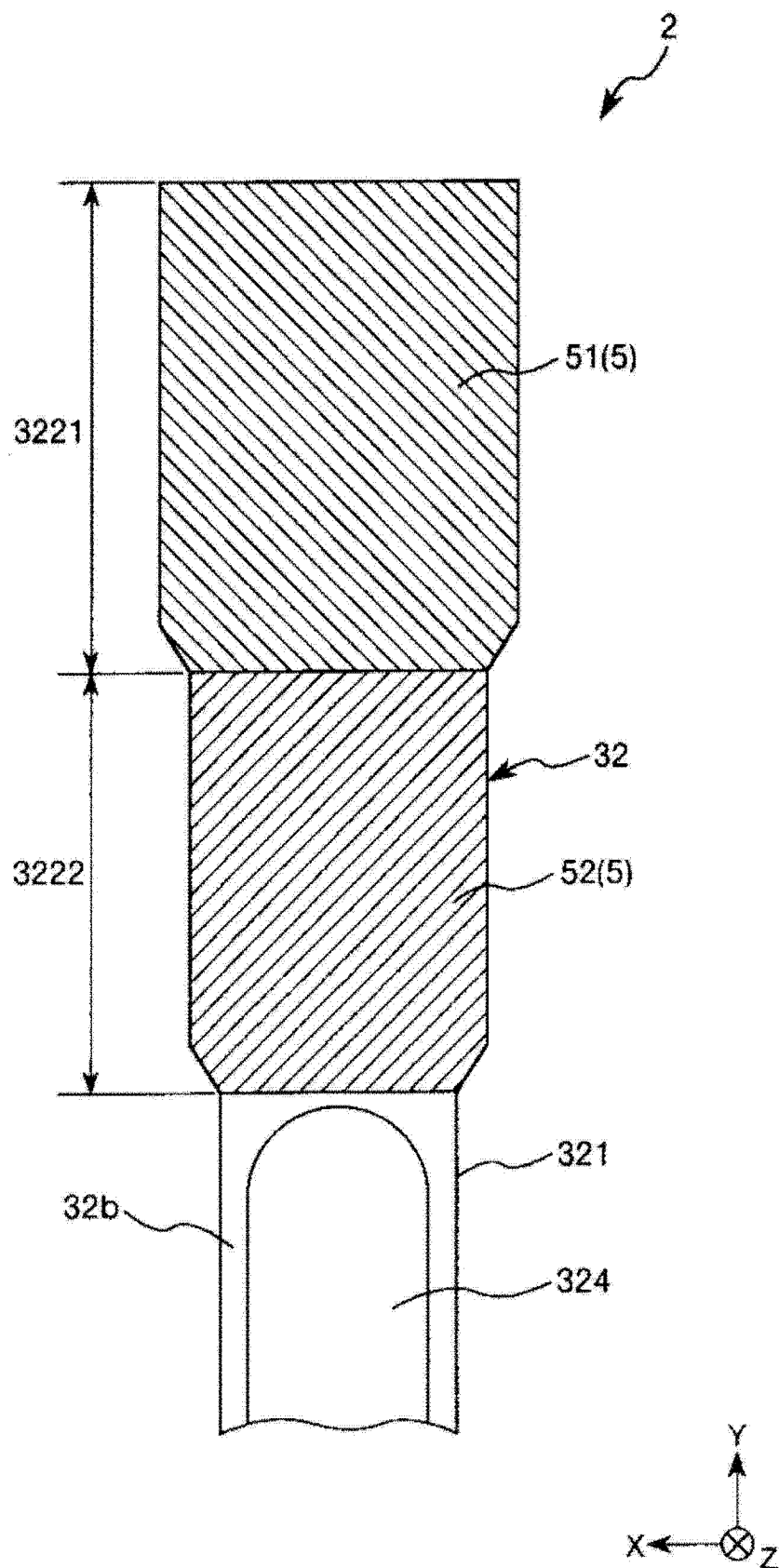


图 17

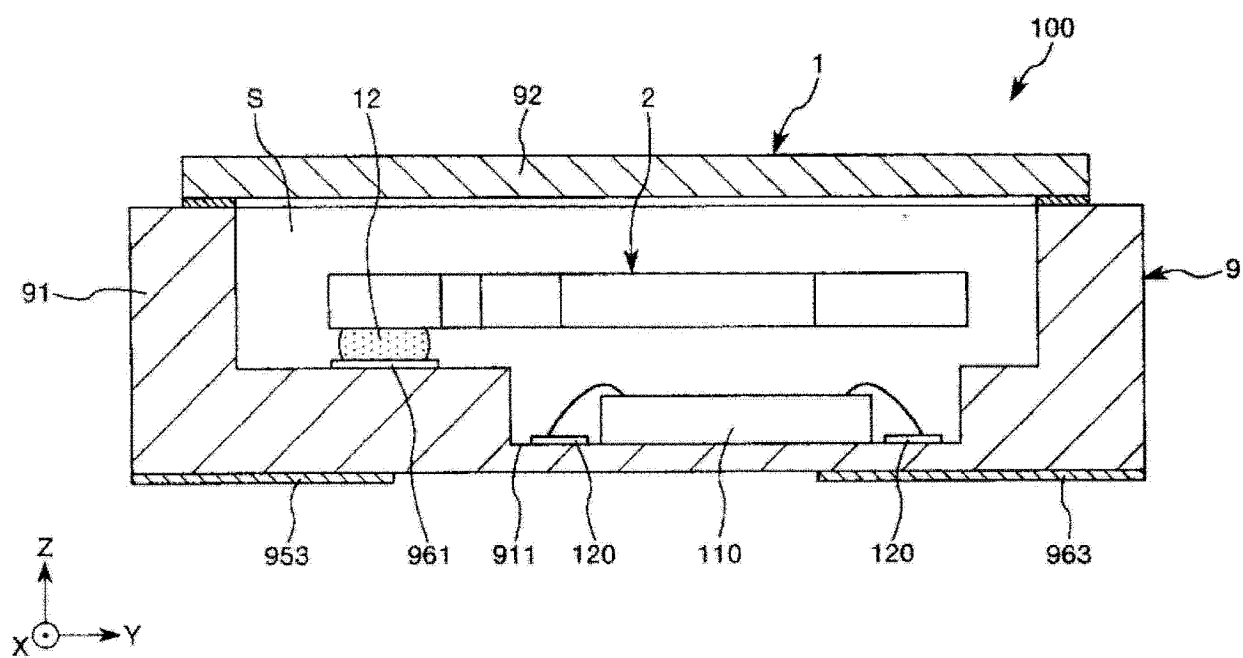


图 18

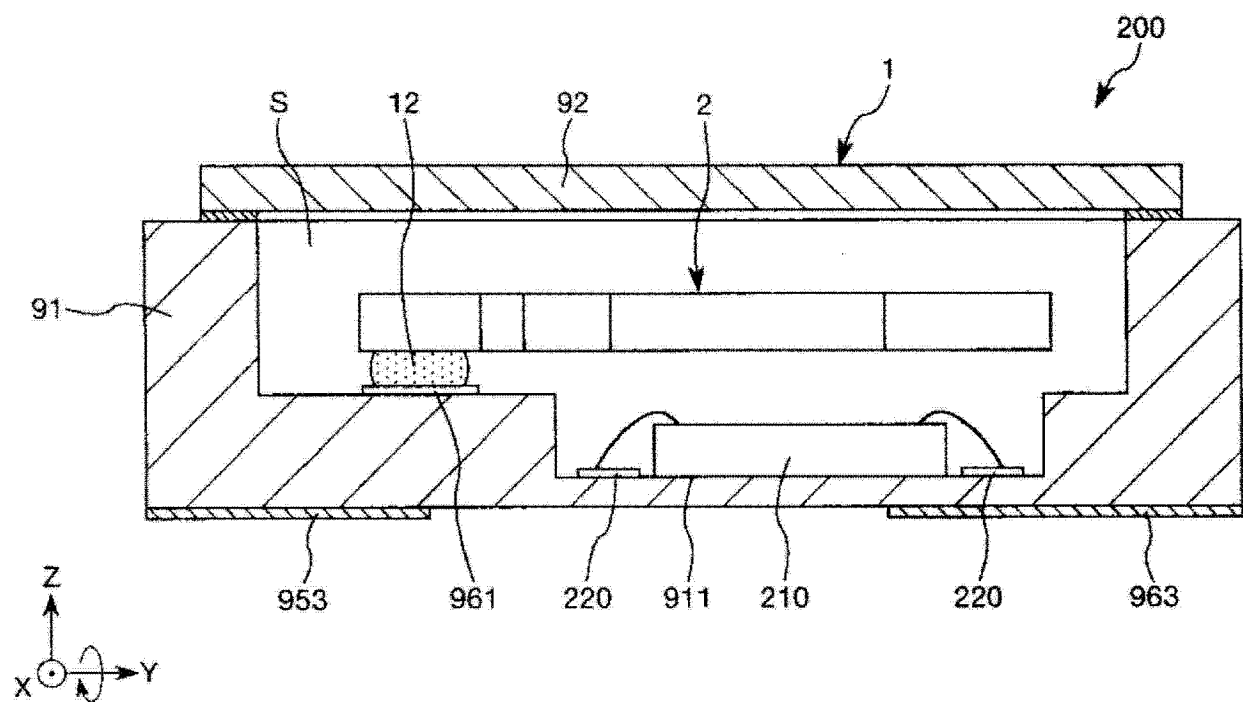


图 19

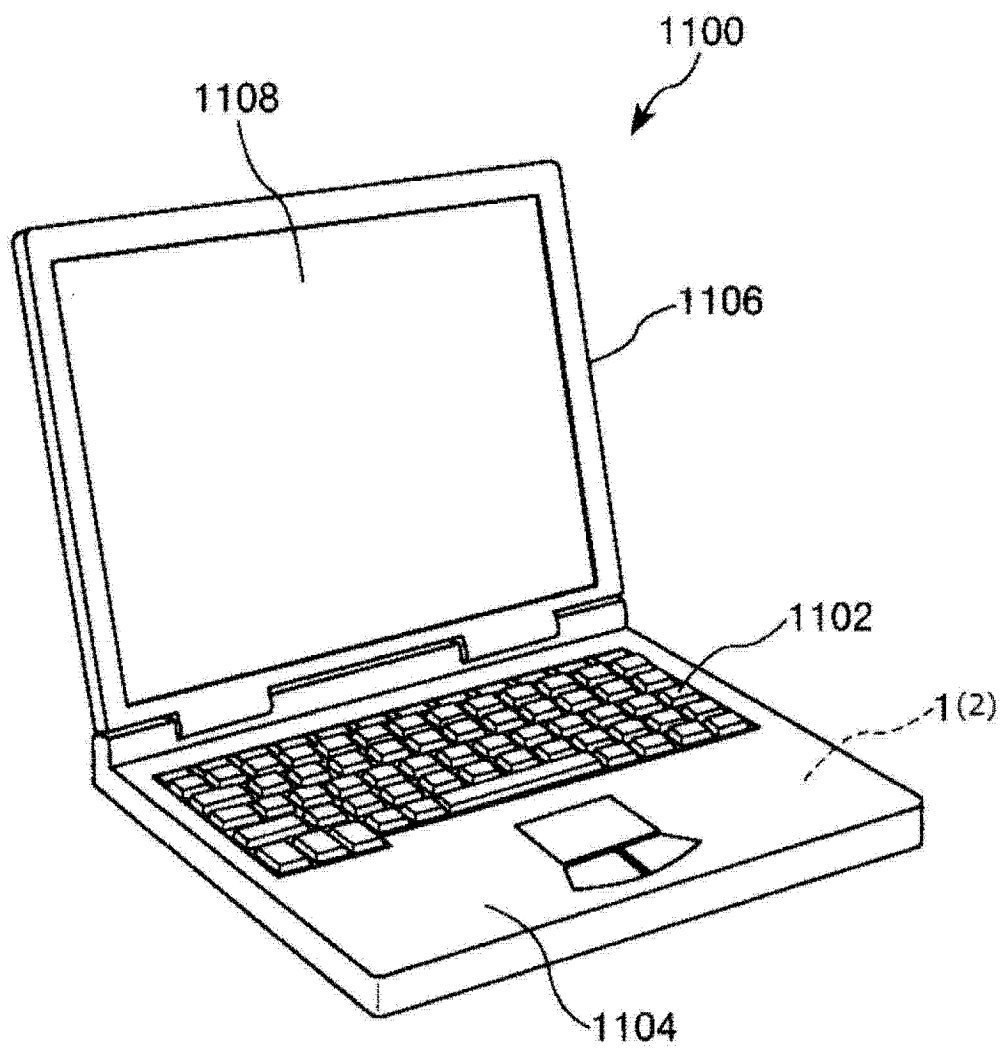


图 20

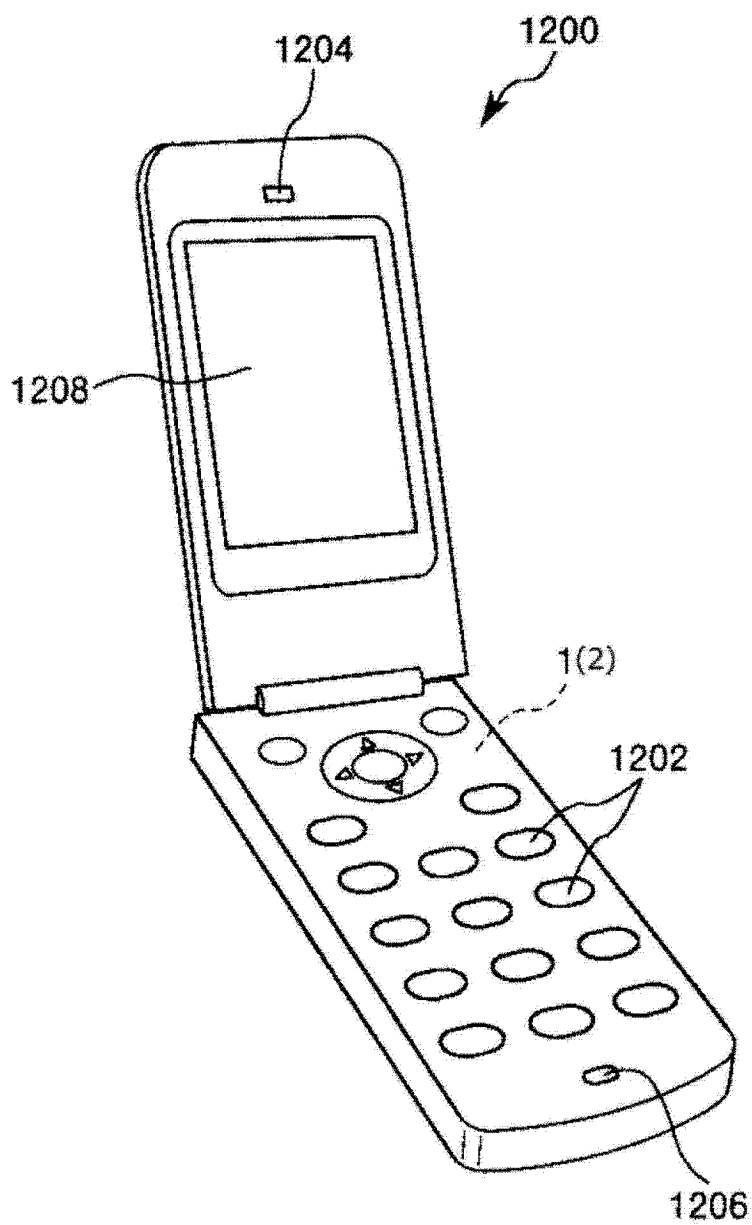


图 21

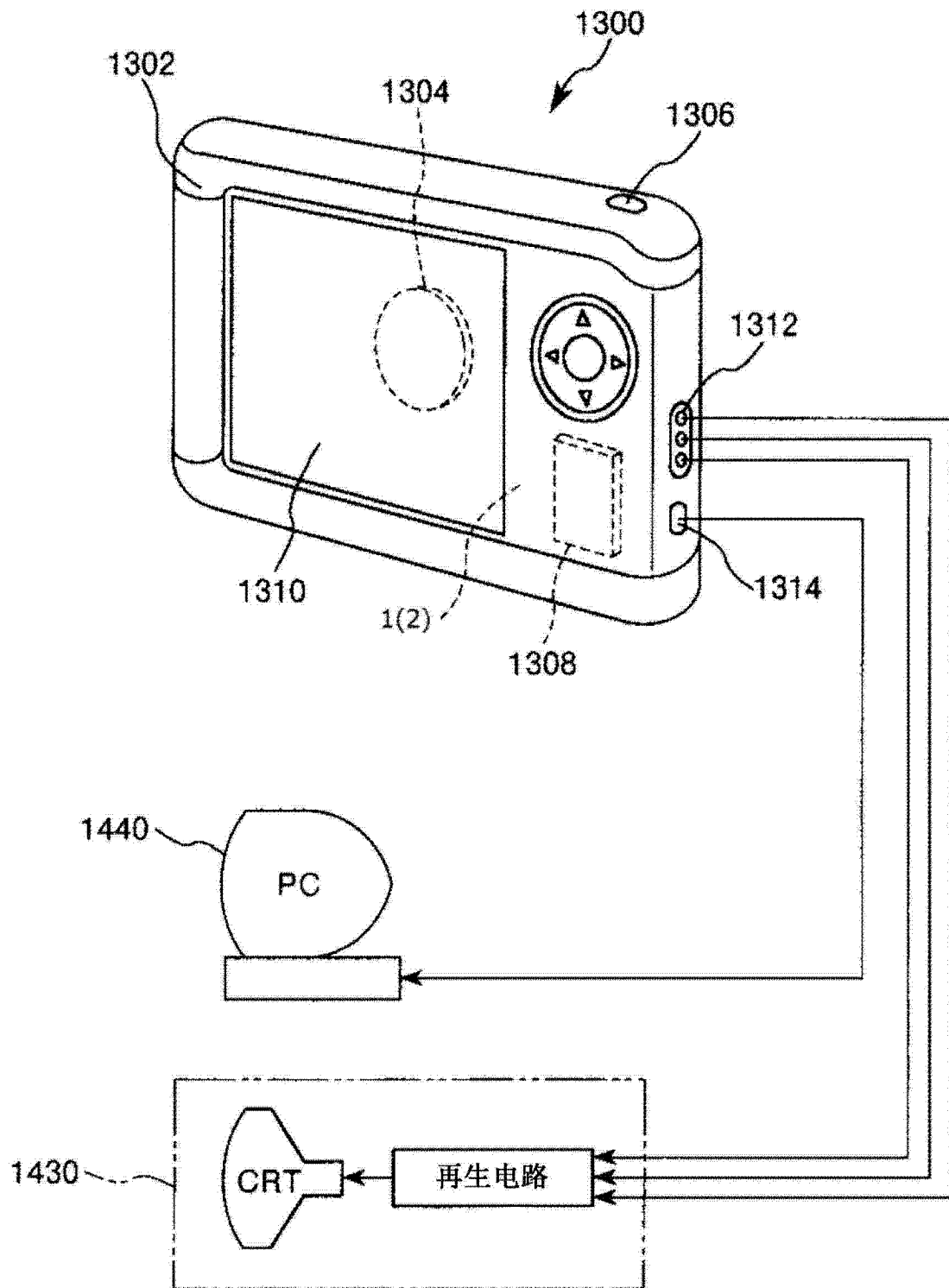


图 22

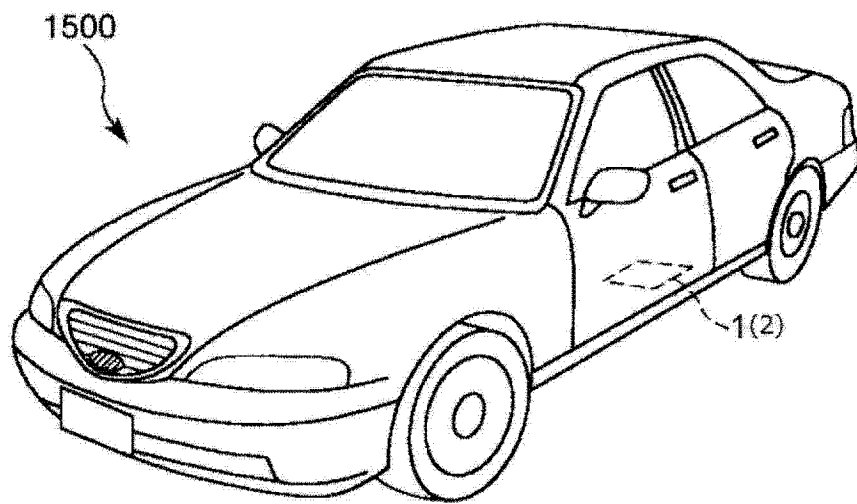


图 23