



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1837751 B

(45) 授权公告日 2012.06.20

(21) 申请号 200610079363.4

(22) 申请日 2006.03.06

(30) 优先权数据

106718/05 2005.03.04 JP

063075/05 2005.03.07 JP

190234/05 2005.06.29 JP

374326/05 2005.12.27 JP

(73) 专利权人 索尼株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 高桥和夫 稻熊辉往 本多顺一

铃木浩二 渡边成人 佐佐木伸

中盐荣治 相泽学

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 陶凤波 侯宇

(51) Int. Cl.

G01C 19/5642(2012.01)

G01C 19/5663(2012.01)

(56) 对比文件

US 2003/0141340 A1, 2003.07.31, 全文.

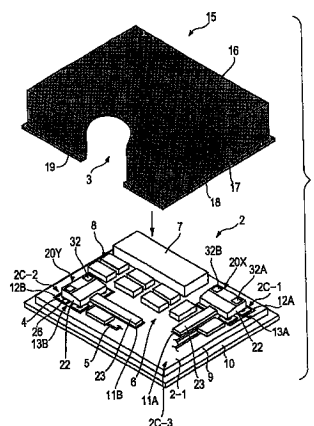
权利要求书 1 页 说明书 28 页 附图 35 页

(54) 发明名称

振动陀螺传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种振动陀螺传感器。所述振动陀螺传感器包括支撑衬底,在该支撑衬底上形成具有多个焊接区的布线图案,以及安装在该支撑衬底的表面上的振动元件,其中至少两个振动元件被安装在该支撑衬底上,用于检测不同轴方向上的振动。



1. 一种振动陀螺传感器,包括:

支撑衬底,在所述支撑衬底上形成具有多个焊接区的布线图案;

安装在所述支撑衬底的表面上的振动元件;以及

驱动检测器电路部件,有效地耦合至所述振动元件,其中,

至少两个所述振动元件被安装在所述支撑衬底上,用于检测不同轴方向上的振动;

所述振动元件包括具有安装表面的基底部件,在所述安装表面上有多个连接至所述焊接区的端子;振动器部件,所述振动器部件以悬臂形式从基底部件的一侧整体突出且具有与所述基底部件的安装表面共面的面向支撑衬底的表面,所述振动部件具有依次层叠在所述面向支撑衬底的表面上的第一电极层、压电层和第二电极层,在 AC 信号由所述驱动检测器电路部件施加在所述第一电极层和所述第二电极层之间时所述振动器部件振动,以及所述驱动检测器电路部件被配置为使得 AC 信号的中心电场强度被设定在从所述压电层的磁滞回路的中心向正方向偏移的位置上。

2. 根据权利要求 1 所述的振动陀螺传感器,其中所述驱动检测器电路部件被配置为使得所述 AC 信号的中心电场强度的偏移量为  $15\text{V}/\mu\text{m}$  或更少。

3. 根据权利要求 1 所述的振动陀螺传感器,其中所述第一电极层连接至接地电势。

4. 根据权利要求 1 所述的振动陀螺传感器,其中使用 1kHz 或更大的工作频率差驱动所述多个振动元件。

5. 根据权利要求 1 所述的振动陀螺传感器,电路元件和多个电子部件安装在所述支撑衬底上。

6. 根据权利要求 5 所述的振动陀螺传感器,其中所述电路元件包括 IC 元件,并且用于所述电路元件的主安装区域位于连接所述多个振动元件的安装区域的线的中心部分。

## 振动陀螺传感器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种角速度传感器,该角速度传感器例如用于检测摄像机的运动模糊,用于检测虚拟现实装置中的运动,用于检测汽车导航系统中的方向等等。特别地,本发明涉及一种包括具有悬臂振动器的振动元件的振动陀螺传感器。

### 背景技术

[0002] 作为消费品角速度传感器,所谓的振动陀螺传感器已经被广泛地使用,其中悬臂振动器以预定的谐振频率振动,并且通过压电元件检测在角度速的影响下产生的科里奥利(Coriolis)力,以检测该角速度。

[0003] 振动陀螺传感器的优点在于机构简单,起动时间短以及制造成本低。例如,将振动陀螺传感器安装在电子装置,诸如摄像机,虚拟现实装置和汽车导航系统上,以分别用于检测运动模糊,运动和方向。

[0004] 通常的振动陀螺传感器包括振动元件,该振动元件通过机械切割适当的压电材料以形成预定的形状而制造。在其上安装振动陀螺传感器的主体装置的尺寸和重量减小而功能和性能提高的情况下,振动陀螺传感器优选具有更小的尺寸和更高的性能。然而,由于加工精度的限制,难于制造具有高精度的小型振动元件。

[0005] 因此,近来提出一种包括悬臂振动元件的振动陀螺传感器,该悬臂振动元件通过使用用于半导体工艺的薄膜加工技术(例如,参考日本未审专利申请公开 No. 7-113643)将一对电极层与在其间提供的压电膜层一起层压形成。这样一种振动陀螺传感器可以在尺寸和厚度上减小,并且通过与用于其它目的的传感器结合而实现功能的多元化或提高。

### 发明内容

[0006] 一种用于校正摄像机等等的运动模糊(motion blurring)的机构优选适用于检测围绕至少 X 轴和 Y 轴方向的转动角,因此一般包括用于检测围绕 X 轴和 Y 轴方向的转动角的两个陀螺传感器。因此,即使减小陀螺传感器的尺寸,用于检测运动模糊的通常机构的整体尺寸的减少也会受到限制。

[0007] 使用上述半导体技术(参见日本未审查专利申请公开 No. 7-190783)在硅晶片上形成在两个轴上具有振动器的振动元件的方法,可封装振动陀螺传感器。然而,由于较大空间被用于在硅晶片上形成两轴集成振动元件,从而产生原料效率的问题。另外,两轴集成振动元件具有随减少的尺寸而在两轴上的振动器之间存在串扰的问题。

[0008] 通过解决上述问题的措施,通常振动陀螺传感器的结构是复杂的,并且尺寸和厚度减少的实现变得更困难。也就是,在两个振动器被用于校正运动模糊的机构中的两轴振动时,尺寸减少的实现变得更困难,以及包括上述两轴集成振动元件的预期小封装的实现也变得更困难。

[0009] 希望提供一种振动陀螺传感器,其能够检测两轴上的振动,同时减少尺寸,提高特性,或者降低成本。

[0010] 依据本发明的实施例,提供一种振动陀螺传感器,包括支撑衬底,在该支撑衬底上形成具有多个焊接区的布线图案,以及安装在该支撑衬底的表面上的振动元件,其中至少两个振动元件安装在该支撑衬底上,用于检测不同轴方向上的振动。

[0011] 在上述振动陀螺传感器中,包括具有不同轴方向的相应振动器部件的两个振动元件被安装在支撑衬底上,因此,振动元件独立地检测两轴方向上的检测信号。因此,以低成本高效地生产每个振动元件,以及每个振动元件的工作是稳定的,以便提高可靠性。

[0012] 在该振动陀螺传感器中,每个振动元件包括具有安装表面的基底部件,在该安装表面上形成多个连接至支撑衬底上焊接区的端子,以及振动器部件以悬臂形式从基底部件的一侧整体突出且具有与该基底部件的安装表面共面的面向基底的表面。该振动器部件具有第一电极层、压电层和第二电极层,这些依次形成在该面向基底的表面上。安装两个振动元件以使该振动器部件对轴线成  $90^\circ$  设置。

[0013] 在该振动陀螺传感器中,从驱动检测器电路部件将预定频率的 AC 电场施加给每个振动元件,以在振动器部件中产生固有振动。还有,在由运动模糊产生的科里奥利力引起在每个振动器部件中的位移时,由压电层检测位移并从一对检测电极输出具有相反极性的检测信号。该检测信号由驱动检测器电路部件处理,以输出作为角速度信号。

[0014] 在这种情况下,振动元件的工作频率之间差为 1kHz 或更大,从而降低所述轴间的串扰。

[0015] 在该振动陀螺传感器中,在不同轴方向上用于检测振动的至少两个振动元件被安装在支撑衬底上,从而简化结构,减少尺寸,以及允许在两轴方向上的高精度检测操作。而且,提高了每个振动元件的生产率且高精度地制造每个振动元件,从而降低成本及增加精度。

#### 附图说明

[0016] 图 1 是依据本发明的第一个实施例的整个振动陀螺传感器的透视图,其盖元件移开;

[0017] 图 2 是图 1 所示的振动陀螺传感器的振动元件的主要部分的截面图;

[0018] 图 3 是在振动陀螺传感器安装在控制衬底上的状态中,图 2 所示的振动陀螺传感器的振动元件的主要部分的截面图;

[0019] 图 4 是振动元件的底视图;

[0020] 图 5 是振动陀螺传感器的底视图;

[0021] 图 6 是支撑衬底的平面图,示出载荷缓冲部分结构的改进的示例;

[0022] 图 7 是振动陀螺传感器的电路的方框图;

[0023] 图 8 是从底部看整个振动元件的透视图;

[0024] 图 9 是振动元件的振动部件的透视图;

[0025] 图 10 是用于制造振动陀螺传感器的方法的主要步骤的流程图;

[0026] 图 11 是在用于制造振动元件的过程中使用的硅衬底的平面图;

[0027] 图 12 是图 11 所示的硅衬底的截面图;

[0028] 图 13 是硅衬底的平面图,在该硅衬底上通过构图 (patterning) 在光致抗蚀剂层中形成振动元件形成部分;

- [0029] 图 14 是图 13 所示的硅衬底的截面图；
- [0030] 图 15 是硅衬底的平面图,在该硅衬底上通过构图在二氧化硅膜中形成振动元件形成部分；
- [0031] 图 16 是图 15 所示的硅衬底的截面图；
- [0032] 图 17 是硅衬底的平面图,其中形成刻蚀凹槽,该刻蚀凹槽构成限定各个振动器部件的厚度的各个膜片部件；
- [0033] 图 18 是附图 17 所示的硅衬底的截面图；
- [0034] 图 19 是一个刻蚀凹槽的放大的截面图；
- [0035] 图 20 是主要部分的截面图,其中在每个膜片部件上层压第一电极层,压电膜层和第二电极层；
- [0036] 图 21 是主要部分的平面图,其中将驱动电极层和检测电极在图 20 所示的第二电极层中构图；
- [0037] 图 22 是图 21 所示的主要部分的截面图；
- [0038] 图 23 是主要部分的截面图,其中将压电膜层在图 20 所示的压电膜层中构图；
- [0039] 图 24 是图 23 所示的主要部分的截面图；
- [0040] 图 25 是主要部分的平面图,其中将参考电极层在图 20 所示的第一电极层中构图；
- [0041] 图 26 是图 25 所示的主要部分的截面图；
- [0042] 图 27 是主要部分的平面图,其中形成平面化层；
- [0043] 图 28 是图 27 所示的主要部分的截面图；
- [0044] 图 29 是主要部分的截面图,其中在基底部件的相应形成区域上形成引线 (lead)；
- [0045] 图 30 是图 29 所示的主要部分的截面图；
- [0046] 图 31 是主要部分的平面图,其中形成用于形成绝缘保护层的光致抗蚀剂层；
- [0047] 图 32 是图 31 所示的主要部分的截面图,其中形成绝缘保护层的第一氧化铝层；
- [0048] 图 33 是图 31 所示的主要部分的截面图,其中形成绝缘保护层的二氧化硅层；
- [0049] 图 34 是图 31 所示的主要部分的截面图,其中形成绝缘保护层的第二氧化铝层以及刻蚀停止层 (etching stop layer)；
- [0050] 图 35 是主要部分的平面图,其中形成外部凹槽以形成振动元件的外部形状；
- [0051] 图 36 是图 35 所示的主要部分的截面图,从垂直于振动器部件的纵向的方向看；
- [0052] 图 37 是图 35 所示的主要部分的截面图,从振动器部件的纵向看；
- [0053] 图 38A 和 38B 是示出用于形成振动元件的镀覆凸起 (plating bump) 的方法的侧截面图；
- [0054] 图 39A、39B 和 39C 是示出调整振动器部件的步骤的图；
- [0055] 图 40 是示出从硅衬底得到的元件数的比较的表；
- [0056] 图 41 是示出由于振动元件的布置引起的轴间干扰的曲线图；
- [0057] 图 42A 和 42B 是在安装步骤中振动元件的角偏移的柱状图,其中图 42A 示出通过识别对准标记而进行的安装,而图 42B 示出通过识别外形而进行的安装；
- [0058] 图 43 是示出由于两个振动元件不同工作频率之间的频率差而产生的干扰信号的振幅的测量结果的曲线图；

- [0059] 图 44 是示出在激光加工位置、谐振频率和失调度之间关系的曲线图；
- [0060] 图 45 是示意示出用于调整失调度的激光加工位置和用于调整振动元件的激光加工位置的平面图；
- [0061] 图 46 是描述在本发明第二实施例中的通常振动陀螺传感器的主要部分的平面图；
- [0062] 图 47 是依据第二实施例的振动陀螺传感器的主要部分的平面图；
- [0063] 图 48 是示出依据第二实施例的示例的测量结果的曲线图；
- [0064] 图 49 是示出依据本发明第三实施例的振动元件和驱动检测电路部件之间关系的示意图；
- [0065] 图 50 是示出图 49 中所示振动元件的工作的曲线图；
- [0066] 图 51 是示出压电材料的压电性能和偏移电压之间关系的示例的曲线图；以及
- [0067] 图 52 是示出压电材料的磁滞回线的图。

### 具体实施方式

[0068] 下面参照附图详细地描述根据本发明实施例的振动陀螺传感器。

[0069] 本发明不限制于这些实施例，并且在本发明的技术构思的基础上可以作出各种修改。虽然下面是使用特定尺寸值描述每个组成元件的部件，但每个尺寸值是中心参考值。同样，每个部件的尺寸值不限于这些中心参考值，并且每个部件可以由通常的容许界限内的尺寸值形成。而且，振动陀螺传感器的尺寸值不限于这些尺寸值，并且可以根据特征规格适当地形成每个部件。

[0070] 第一实施例

[0071] （振动陀螺传感器的示意性构造）

[0072] 参照附图 1，振动陀螺传感器 1 具有包括支撑衬底 2 和盖元件 15 的外部元件，盖元件 15 与支撑衬底 2 的第一主表面 2-1 结合以形成组件安装空间 3。例如，将振动陀螺传感器 1 安装在摄像机上以用作校正运动模糊的机构。同样，例如，将振动陀螺传感器 1 用于虚拟现实装置以用作运动检测器，或者用于汽车导航系统以用作方向检测器。

[0073] 振动陀螺传感器 1 例如包括作为支撑衬底 2 的陶瓷衬底或玻璃衬底。同样，将具有多个焊接区 (land) 4 的预定布线图案 5 形成在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上以形成组件安装区域 6。在组件安装区域 6 混合装载一对第一和第二振动元件 20X 和 20Y（在下文中除非特指否则一般称作“振动元件 20”），安装该振动元件以检测不同轴向方向上的振动，这将在下面详细地描述，IC 电路元件 7，以及多个外部提供的陶瓷电容器和电子组件 8。

[0074] 在支撑衬底 2 的组件安装区域 6 中，通过使用适当的安装机器的倒装片工艺来表面安装振动元件 20 以及 IC 电路元件 7 和电子组件 8。将具有相同形状的该对振动元件 20X 和 20Y 安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 的相对角部 2C-1 和 2C-2，以便具有不同的轴线。如图 2 所示，每个振动元件 20 有具有安装表面的基底部件 22，在该安装表面上形成多个通过金凸起 26 (goldbumps) 连接到相应焊接区 4 的端子 25，以及以悬臂形式整体地从基底部件 22 的一侧突出的振动器部件 23。下面将详细地描述每个振动元件 20 的结构。

[0075] 如图 1 所示，将第一振动元件 20X 的基底部件 22 固定到浮置岛状第一振动元件安装区域 13A，该第一振动元件安装区域在支撑衬底 2 的组件安装区域 6 的角部 2C-1 形成，并

且将从基底部件 22 整体突出的振动器部件 23 沿支撑基片 2 的侧边指向与角部 2C-1 相邻的角部 2C-3。将另外第二振动元件 20Y 的基底部件 22 固定到浮置岛状第二振动元件安装区域 13B, 该第二振动元件在支撑基片的组件安装区域 6 的角部 2C-2 形成, 并且将从基底部件 22 整体突出的振动器部件 23 沿支撑基片 2 的侧边指向与角部 2C-2 相邻的角部 2C-3。

[0076] 换句话说, 将第一和第二振动元件 20X 和 20Y 以  $90^\circ$  角安装在支撑衬底 2 上, 以便将振动器部件 23 指向角部 2C-3。振动陀螺传感器 1 适于使用该对振动元件 20X 和 20Y 来检测彼此垂直的两个轴方向上的振动。然而, 也可以根据主体装置的规格将振动元件 20X 和 20Y 以适当的角度安装在支撑衬底 2 上。

[0077] 振动陀螺传感器 1 在振动器 23 处于谐振状态下检测振动元件 20 的振动器部件 23 的纵向附近的角速度。在振动陀螺传感器 1 中, 将第一和第二振动元件 20X 和 20Y 以一定角度安装在支撑衬底 2 上, 以同时检测 X 轴和 Y 轴方向附近的角速度。例如, 在摄像机中, 该振动陀螺传感器 1 用作运动模糊的校正机构, 该校正机构基于因运动模糊而导致的振动状态输出控制信号。

[0078] 接下来, 将详细地描述支撑衬底 2 的构造。

[0079] ( 负荷缓冲结构 )

[0080] 通过使支撑衬底 2 变薄可以减少振动陀螺传感器 1 的尺寸和厚度。因此, 由于外部施加的外负荷如振动、冲击等等会使支撑衬底 2 中出现应变或应力。在本实施例中, 在支撑衬底 2 上设置用于外负荷的缓冲器结构, 以减少即使出现应变或应力时对支撑衬底 2 上安装的振动元件 20 的影响。

[0081] 如图 1 至 3 所示, 分别在第一主面 2-1 的角部 2C-1 和 2C-2 形成第一负荷缓冲槽 12A 和 12B( 在下文中除非特指否则一般称作“第一负荷缓冲槽 12”)。在由相应的第一负荷缓冲槽 12 环绕的区域中形成振动元件安装区域 13A 和 13B( 在下文中除非特指否则一般称作“振动元件安装区域 13”), 并且将振动元件 20 安装在相应的振动元件安装区域 13 上。

[0082] 如图 3 所示, 在支撑衬底 2 中, 在第二主面 2-2 中形成第二负荷缓冲槽 14, 将该第二主面安装在主体装置的外部控制衬底 100 等之上。如图 5 所示, 第二负荷缓冲槽 14 包括第二负荷缓冲槽 14A 和 14B( 下文中除非特指否则一般称作“第二负荷缓冲槽 14”)。如图 5 所示, 将由第二负荷缓冲槽 14 环绕的区域用作端子形成 (formation) 区域 115A 和 115B( 下文中除非特指否则一般称作“端子形成区域 115”)。

[0083] 如图 4 所示, 将每个第一负荷缓冲槽 12 形成在具有底的框状槽中, 以形成比每个振动元件 20 的基底部件 22 的外部形状更大的振动元件安装区域 13。第一负荷缓冲槽 12 例如使用切块机 (dicer) 机械开槽、使用激光器湿刻蚀或干刻蚀化学开槽形成。在支撑衬底 2 的机械强度没有受损的范围内, 每个第一负荷缓冲槽 12 形成  $100\ \mu\text{m}$  或者更大的深度。

[0084] 如图 5 所示, 第二负荷缓冲槽 14A 和 14B 沿支撑衬底 2 的外周线平行地形成。将该外周线和相应的第二负荷缓冲槽 14A 和 14B 之间的区域分别用作端子形成区域 115A 和 115B, 在每个端子形成区域中, 适当地排列多个安装端子部件 116A 或 116B( 在下文中除非特指否则一般称作“安装端子部件 116”)。通过凸起 117 将安装端子部件 ( 外部连接端子 ) 116 连接到控制衬底 100 上的相应的焊接区, 支撑衬底 2 安装在控制衬底 100 上, 凸起 117 设置在相应的安装端子部件 116 上。

[0085] 与第一负荷缓冲槽 12 相同, 通过切块机 (dicer) 来机械开槽、通过湿刻蚀来化学

开槽或通过激光器来干刻蚀等,将每个第二负荷缓冲槽 14 在支撑衬底 2 的第二主面 2-2 中形成预定的深度。第二负荷缓冲槽 14 在支撑衬底 2 的第二主面 2-2 上形成浮置岛状端子形成区域 115,并且将多个安装端子部件 116 沿支撑衬底 2 的外边排列在每个端子形成区域 115 中。第二负荷缓冲槽 14 不限于沿该外边的线性槽,并且该第二负荷缓冲槽 14 例如也可以以环绕每个安装端子部件 116 的框形或者两端都朝向该外边的基本为 U 形的形状形成。

[0086] 在支撑衬底 2 中,形成多个穿过第一和第二主面 2-1 和 2-2 的通孔,以便将第一主面 2-1 上的布线图案 5 通过该通孔适当地连接到第二主面 2-2 上的安装端子部件 116。

[0087] 当对该主体装置施加冲击时,应变或应力通过控制衬底 100 而在振动陀螺传感器 1 的支撑衬底 2 中发生。在本实施例中,如上所述,将每个振动元件 20 安装在浮置岛状振动元件安装区域 13 上,该振动元件安装区域 13 由第一负荷缓冲槽 12 环绕。因此,将因外负荷出现的应变或应力通过第一负荷缓冲槽 12 吸收。因此,每个第一负荷缓冲槽 12 起到减振器 (damper) 的作用,用作减少外负荷对安装在振动元件安装区域 13 上的振动元件 20 的影响,从而允许振动元件 20 稳定地检测操作。

[0088] 另一方面,在振动陀螺传感器 1 中,如上所述,提供第二负荷缓冲槽 14,以便将在每个浮置岛状端子形成区域 115 上提供的安装端子部件 116 用作固定于控制衬底 100 的部分。在本实施例中,将通过控制衬底 100 传递的外负荷通过第二负荷缓冲槽 14 吸收。因此,将每个第二负荷缓冲槽 14 用作减少外负荷对安装在振动元件安装区域 13 上的振动元件 20 的影响的减振器,从而实现振动元件 20 的稳定的检测操作。

[0089] 将每个第一负荷缓冲槽 12 形成为具有 U 形的截面形状的连续的凹槽,但是每个负荷缓冲槽 12 不限于此。在满足预定特征条件下,每个第一负荷缓冲槽 12 例如可以通过排列多个槽以形成总体上的框形而形成。同样,每个第二负荷缓冲槽 14 也不限于连续的槽,并且每个第二负荷缓冲槽 14 例如可以通过排列多个槽而形成。而且,虽然将第一负荷缓冲槽 12 和第二负荷缓冲槽 14 分别形成在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 和第二主面 2-2 中,以便形成包括前后表面的负荷缓冲结构,但是在满足预定特性的条件下也可以仅提供第一负荷缓冲槽 12 或第二负荷缓冲槽 14 以形成负荷缓冲结构。

[0090] 尽管,如上所述,在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 中形成每个框状第一负荷缓冲槽 12 以环绕振动元件安装区域 13,但是每个第一负荷缓冲槽 12 的结构不限于此。在图 6 所示的振动陀螺传感器 170 中,在支撑衬底 171 中形成框状第一负荷缓冲槽 172X 和 172Y,以及十字形状隔离槽 173A 和 173B 被进一步形成在每个第一负荷缓冲槽 172 中,以形成四个安装区域 174A 至 174D。

[0091] 也就是,在振动陀螺传感器 170 中,相应于形成在每个振动元件 20 的基底部件 22 上的各个端子部件 25,分隔开单独的安装区域 174。尽管在图 6 中没有显示,但安装端子部件被设置在每个安装区域 174 中。在具有上述结构的振动陀螺传感器 170 中,通过金凸起将端子部件 25 固定至相应安装端子部件,从而将每个振动元件 20 安装在支撑衬底 171 上,以使端子部件 25 被固定至由隔离槽 173 在第一浮动槽中分隔的相应第二浮置岛,所述第一浮置岛整个由每个第一负荷缓冲槽 172 环绕。

[0092] (空间形成凹形)

[0093] 在支撑衬底 2 中,将凹形 11A 和 11B(下文中除非特指否则一般称作“空间形成凹形 11”)形成在对应于振动元件 20X 和 20Y 的组件安装区域 6 中,以便形成各个振动器 23

在其中在厚度方向上自由振动的空间。通过例如刻蚀或开槽支撑衬底 2 的第一主面 2-1, 将每个空间形成凹形 11 形成具有预定的深度和孔径的基底的矩形槽。

[0094] 在振动陀螺传感器 1 中, 每个振动元件 20 包括一体形成的基底部件 22 和悬臂振动物件 23, 通过金凸起 26 将该振动元件安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上。每个振动元件 20 的振动物件 23 和支撑衬底 2 的第一主面 2-1 之间的空间由金凸起 26 的厚度确定, 以便减少整个结构的厚度。然而, 由于金凸起 26 的工艺限制可能不能保持足够的空间。

[0095] 在振动物件 23 的振动操作下, 每个振动元件 20 在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 和振动物件 20 之间产生气流。该气流与支撑衬底 2 的第一主面 2-1 碰撞, 以造成将每个振动物件 23 向上推的阻尼效应。在本实施例中, 在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 中形成空间形成凹形 11, 因此在第一主面 2-1 和每个振动物件 23 之间保持足够的空间, 如图 2 所示, 由此减少了振动元件 20 的阻尼效应。

[0096] 在振动陀螺传感器 1 中, 将振动元件 20 安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上, 以便振动物件 23 相对于各个空间形成凹形 11 延伸, 因此在每个振动物件 23 和支撑衬底 2 之间保持了足够的空间, 同时使振动陀螺传感器 1 保持很小的厚度, 如图 2 所示。因此, 当振动物件 23 在厚度方向上振动时, 减少了阻尼效应, 由此确保每个振动元件 20 的稳定检测操作。

[0097] 根据振动元件 20 的振动物件 23 的尺寸将空间形成凹形 11 优化, 并且将其形成在支撑衬底 2 中。在本实施例中, 当将每个振动元件 20 以下述的尺寸值形成时, 每个空间形成凹形 11 的孔径是  $2.1\text{mm} \times 0.32\text{mm}$ , 深度尺寸  $k$  (参照附图 2) 是  $k \geq p/2 + 0.05\text{mm}$ , 其中  $p$  是振动物件 23 的最大振幅。当在支撑衬底 2 中形成具有这种结构的凹形 11 时, 该高度尺寸被缩减以使其变薄, 从而减少对振动元件 20 的阻尼效应影响以保持高  $Q$  因数, 并且允许以高灵敏度稳定探测如运动模糊等的运动。

[0098] 接下来, 将详细地描述振动元件 20 的结构。

[0099] (金凸起)

[0100] 每个振动元件安装在振动元件 20 安装区域 13 上, 以便该基底部件 22 的第二主面 (22-2) 形成对于支撑衬底 2 的固定表面 (安装表面), 基底部件 22 包括如下述的硅衬底 21 的第二主面 21-2。如图 4 所示, 第一至第四端子部件 25A 至 25D (下文中除非特指否则一般称作“端子部件 25”) 形成在基底部件 22 的安装表面 22-2, 并且第一至第四金凸起 26A 至 26D (下文中除非特指否则一般称作“金凸起 26”) 分别形成于端子部件 25 上的金属突起。

[0101] 将每个振动元件 20 的端子部件 25 对应于在支撑衬底 2 上的布线图案 5 中形成的各个焊接区 4 形成。因此, 每个端子部件 25 与相应的焊接区 4 对准, 并且与支撑衬底 2 结合。在这种情形下, 在超声波的应用下将振动元件 20 压在支撑衬底 2 上, 以便通过金凸起 26 将端子部件 25 焊接到相应的焊接区 4。结果是, 将振动元件 20 安装在支撑衬底 2 上。这样, 当将振动元件 20 与具有预定高度的金凸起 26 安装在一起时, 每个振动物件 23 执行预定的振动运动, 而第二主面 (面向衬底的表面) 23-2 保持在距离支撑衬底 2 的第一主面 2-1 预定的高度。

[0102] 在本实施例中, 通过将振动元件 20 表面安装在支撑衬底 2 上提高了安装步骤的效率。在表面安装过程中使用的连接器不限于上述金凸起 26, 也可以使用通常在半导体工艺中使用的其它不同的金属突起如焊球、铜凸起等。在本实施例中, 用于制造主体装置的方法

包括用于通过凸起 117 将支撑衬底 2 的安装端子部件 116 连接并且固定到控制衬底 100 相应的焊接区的回流焊接,因此将具有高耐热性和高可加工性的金凸起 26 用作连接器。

[0103] 在振动陀螺传感器中,通过将振动元件固定到支撑衬底的结构确定机械品质因数(Q 因数)。在本实施例中,将振动元件 20 通过金凸起 26 安装在支撑衬底 2 上,以便基底部件 22 浮置在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上。因此,与例如通过粘结层将基底部件完全粘结到支撑衬底的情况比较,增加了每个振动器部件 22 末端的阻尼度从而得到满意的 Q 因数。此外,与将该基底 22 固定在一个位置的结构比较,当将基底部件 22 固定在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 的多个位置时,可以得到满意的 Q 因数。因此,将基底部件 22 固定在支撑衬底 2 的四个角部,由此获得满意的 Q 因数。

[0104] 可以如此提供金凸起 26,即相对于每个振动器部件 23 的纵向中心轴,将该整体的重心定位在宽度尺寸 t6 的范围内(参照附图 9)。通过如此布置金凸起 26,每个振动器部件 23 可以在厚度方向上稳定地振动,而不破坏横向平衡。

[0105] 而且,将每个金凸起 26 形成在从每个从基底部件 22 突出的振动器部件 23 的基底末端起、具有 2 倍于振动器部件 23 的宽度尺寸 t6 的半径的区域外侧。因此,减少了通过金凸起 26 吸收振动器部件 23 的振动的操作,以保持高 Q 因数。

[0106] 此外,将至少一个金凸起 26 形成在从每个振动器部件 23 的基底末端起 2 倍于基底部件 22 的厚度尺寸 t1(参照附图 8)的区域内。因此,每个振动器部件 23 的振动没有被传递到基底部件 22,从而阻止了谐振频率偏移的出现。

[0107] 而且,每个金凸起 26 可以包括两级凸起(bump),并且可以将第五金凸起形成不被包括在每个基底部件 22 的第二主面上的电连接中的虚设物。在这种情况下,当然,在支撑衬底 2 上形成被焊接到相应的第五金凸起焊盘的该虚拟端子部件。

[0108] (元件形状)

[0109] 如图 8 所示,在每个根据本实施例的振动元件 20 中,振动器部件 23 具有与基底部件 22 的第二主面(安装表面)22-2 共面的第二主面(面向衬底的表面)23-2,并且以悬臂方式突出,其一端与基底部件 22 结合在一起。如图 2 所示,振动器部件 23 具有从基底部件 22 的第一主面(上表面)22-1 逐步降低的上表面 23-1,以便具有预定的厚度。振动器部件 23 具有预定的长度和截面积,并且包括悬臂,该悬臂与基底部件 22 的一侧 22-3 整体地形成,并且具有矩形横截面。

[0110] 同样,如图 8 所示,每个振动元件 20 的基底部件 22 具有  $300\mu\text{m}$  的厚度 t1,距离振动器部件 23 的尖端 3mm 的长度尺寸 t2,以及 1mm 的宽度尺寸 t3。如图 9 所示,每个振动元件 20 的振动器部件 23 具有  $100\mu\text{m}$  的厚度尺寸 t4,2.5 mm 的长度尺寸 t5,以及  $100\mu\text{m}$  的宽度尺寸 t6。如下面详细所述,每个振动元件 20 通过由驱动检测器电路部件 50 施加的预定频率的驱动电压而振动,但是由于上述形状而在 40kHz 的谐振频率振动。每个振动元件 20 的结构不限于上述结构,以及根据使用的频率以及意欲的总体形状,该结构可以不同地确定。

[0111] 而且,每个振动元件 20 可以被形成以满足下面对于各个基底部件 22 和振动器部件 23 的条件。也就是,将各个基底部件 22 以宽度尺寸 t3 形成,该宽度尺寸 t3 是振动器部件 23 的宽度尺寸 t6 的 2 倍或者更多,并且相对于振动器部件 23 的纵向中心轴将重心定位在 2 倍于振动器部件 23 的宽度尺寸 t6 的区域中。在这种结构中,每个振动器部件 23 令人

满意地振动,而不破坏横向平衡。此外,当每个基底部件 22 的厚度尺寸  $t_1$  是振动器部件 23 的厚度尺寸的 1.5 倍时,保持基底部件 22 的机械强度,以阻止基底部件 22 由于振动器部件 23 的振动而振动,由此阻止了谐振频率偏移的出现。

[0112] (压电膜和不同的电极层)

[0113] 在每个振动元件 20 中,如图 4 所示,在用于制造振动元件的过程中,在长度方向的整个长度上,将参考电极层(第一电极层)27,压电薄膜层 28 和驱动电极层(第二电极层 28)层压在振动器部件 23 的第二主面(面向衬底的表面)23-2 上,这将在下面描述。同样,在每个振动器部件 23 的第二主面(面向衬底的表面)上将一对检测电极层 30R 和 30L(在下文中除非特指否则一般称作“检测电极 30”)与其间的驱动电极层 29 一起形成。该驱动电极层 29 和检测电极层 30 构成第二电极层。

[0114] 将用作第一层的参考电极层 27 形成在每个振动器部件 23 的第二主面(面向衬底的表面)23-2 上,并且在其上形成具有与参考电极层 27 基本相同长度的压电薄膜层 28。驱动电极层 29 具有与压电薄膜层 28 基本相同的长度以及比压电薄膜层 28 更小的宽度,将该驱动电极层形成在宽度方向上压电薄膜层 28 的中心部分。而且,将该对检测电极层 30R 和 30L 层压在压电薄膜层 28 上,以在其间容纳驱动电极层 29。

[0115] (引线 and 端子部件)

[0116] 如图 4 所示,在每个振动元件 20 中,将第一引线 31A 形成在基底部件 22 的第二主面(安装表面)22-2 上,用于将该参考电极层 27 连接到第一端子部件 25A,并且形成第三引线 31C,用于将驱动电极层 29 连接到第三端子部件 25C。同样,在基底部件 22 的安装表面 22-2 上形成第二引线 31B,以将第一检测电极 30R 连接到第二端子部件 25B,并且形成第四引线 31D,以将第二检测电极 30L 连接到第四端子部件 25D。在下文中,除非特指,否则引线 31A 至 31D 一般称作“引线 31”。

[0117] 将第一引线 31A 从在每个振动器部件 23 上形成的参考电极层 27 的基底末端整体地延伸到基底部件 22,并且在振动器部件 23 整体形成的侧面上连接到在基底部件 22 的第二主面(安装表面)22-2 的角部形成的第一端子部件 25A。每个驱动电极层 29 和检测电极 30 具有从振动器部件 23 延伸到基底部件 22 的略宽的基底末端,该略宽的基底末端覆盖有平面层 24。

[0118] 第二引线 31B 被这样形成以使其末端横跨平面层 24,将其沿基底部件 22 的一侧延伸到与第一端子部件 25A 相反的后面的角部,并且将其连接到在该角部形成的第二端子部件 25B。第三引线 31C 被这样形成以使其末端横跨平面层 24,将其通过基底部件 22 的基本上的中心部分向后延伸,同样沿后侧端延伸到与第二端子部件 25B 相反的角部,并且将其连接到在该角部形成的第三端子部件 25C。同样形成第四引线 31D 以使其末端横跨平面层 24,并且将其沿基底部件 22 的另一侧延伸到前侧上与第三端子部件 25C 相反的另一个角部,并且将其连接到在该角部形成的第四端子部件 25D。

[0119] 在每个振动元件中,无论上述结构如何,适当数量的端子部件 25 在基底部件 22 的第二主面(安装表面)22-2 上的适当的最佳位置形成。同样,在每个振动元件 20 中,当然,电极层的引线之间的连接图案和相应的端子部件 25 不限制于此,以及根据端子部件 25 的位置和数量,将该连接图案适当地形成在每个基底部件 22 的第二表面上。

[0120] (绝缘保护层)

[0121] 在每个振动元件 20 中,如图 2 和 4 所示,在第二主面 21-2 上形成绝缘保护层 45,以便覆盖基底部件 22 和振动器部件 23。绝缘保护层 45 具有三层结构,该三层结构包括作为第一层的第一氧化铝(氧化铝:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)层 46、作为第二层的氧化硅(SiO<sub>2</sub>)层 47 和作为第三层的第二氧化铝层 48。

[0122] 如图 2 所示,绝缘保护层 45 具有端子孔 49,该端子孔对应于每个端子部件 25 的形成区域,以便使每个端子部件 25 通过端子孔 49 暴露于外部。在每个振动元件 20 中,如图 2 所示,在每个端子部件 25 上形成金凸起 26,以便金凸起 26 从端子孔 49 突出。

[0123] 绝缘保护层 45 被形成,使得硅衬底 21 的第二主面 21-2 被暴露在框架中,该框架形成在每个基底部件 22 和每个振动器部件 23 的外周与参考电极层 27 和端子部件 25 的外周之间。绝缘保护层 45 被形成,使得不覆盖第二主面 21-2 的暴露的周边区域,由此防止在切割每个振动元件 20 的步骤期间绝缘保护层 45 从该周边区域剥落,如下所述。绝缘保护层 45 形成有例如 98 μm 的宽度尺寸,在每个具有 100 μm 宽度尺寸 t6 的振动器部件 23 中。

[0124] 绝缘保护层 45 包括具有例如 50nm 厚度尺寸的第一氧化铝层 46。将第一氧化铝层 46 用作下部粘合层,以改善到基底部件 22 的主面和振动器部件 23 的粘合。因此,将绝缘保护层 45 牢固地沉积在每个进行振动的振动器部件 23 上,以防止剥落等的出现。

[0125] 将氧化硅层 47 用作隔离空气中的湿度等,并且防止其与每个电极层的粘合,还用于抑制每个电极层的氧化,电绝缘每个电极,或者机械保护每个电极薄膜层和压电薄膜层 28。最上的第二氧化铝层 48 用于提高对于形成的抗蚀层的粘合,以通过下述的外部形状开槽步骤在硅衬底 21 上形成每个振动器部件 23,并且防止刻蚀剂对氧化硅层 47 的损伤。

[0126] 氧化硅层 47 形成为具有至少是第二电极层 42 厚度的两倍的厚度,且为 1 μm 或更少。同样,通过在 0.4Pa 或更少的氩气环境下溅射而将氧化硅层 47 沉积在第一氧化铝层 46 上。由于氧化硅层 47 具有上述的厚度,因此绝缘保护层 45 表现出足够的绝缘保护功能,并且防止在沉积期间出现毛刺。通过在上述溅射条件下沉积,氧化硅层 47 形成有较高的薄膜密度。

[0127] (对准标记)

[0128] 在振动陀螺传感器 1 中,为了在支撑衬底 2 上精确地定位和安装具有相同形状的第一和第二振动元件 20X 和 20Y,通过安装机器识别支撑衬底 2 上每个焊接区 4 的位置。因此,在每个振动元件 20 的基底部件 22 的第一主面(上表面)22-1 上提供对准标记 32A 和 32B(在下文中一般称作“对准标记 32”),以便在由该安装机器识别的相应焊接区 4 上定位和安装每个振动元件 20。

[0129] 如图 1 和 4 所示,对准标记 32 包括一对由金属箔等构成的矩形部分,在每个基底部件 22 的第一主面(上表面)22-1 上的宽度方向上,该对矩形部分之间形成一个空间。在对准标记 32 由安装机器读取以产生关于支撑衬底 2 的位置和姿态的安装数据后,在该安装数据和焊接区 4 的数据的基础上,可以将每个振动元件 20 精确地定位并安装在支撑衬底 2 上。

[0130] 虽然将对准标记 32 形成在每个振动元件 20 的基底部件 22 的第一主面上,但是该对准标记不限于此。可以将例如由导体组成的对准标记 32 形成在适当的位置,避免每个基底部件 22 的第二主面(安装表面)22-2 上的端子部件 25 和引线 31 例如在一布线步骤中同时形成。如下详细所述,使用在形成每个振动元件 20 的电极层和振动器部件 23 的外部

形状开槽步骤中使用的电感耦合的等离子体装置,优选地将对准标记 32 与用于反应刻蚀的参考标记一致地定位和形成。可以使用步进曝光装置在每个振动器部件 23 上形成具有  $0.1\mu\text{m}$  或更小精度的对准标记。

[0131] 通过适当的方法形成对准标记 32。例如,如下所述的,当对准标记 32 通过构图包括钛层和铂层的第一电极层 40 而形成在每个基底部件 22 的第二主面(安装表面)22-2 上时,在安装步骤中读取该标记以在图象处理中得到高对比度,由此提高安装精度。

[0132] (盖)

[0133] 接下来,将详细地描述用于屏蔽支撑衬底 2 的第一主面 2-1 的盖 15。

[0134] 在振动陀螺传感器 1 中,通过在振动元件 20 上形成的压电薄膜层 28 和检测电极 30 检测由运动模糊产生的科里奥利力造成的每个振动元件 20 的位移,以输出检测信号,如下面详细描述的。当将光应用到压电薄膜层 28 时,由于热电效应出现电压,并且该热电电压效应影响检测操作而降低检测特性。

[0135] 在振动陀螺传感器 1 中,使由支撑衬底 2 和盖元件 15 形成的组件安装空间 3 屏蔽光线,由此防止了由于外部光线的影响造成的特性的降低。如图 1 所示,从第一主面 2-1 沿整个周边逐步下落支撑衬底 2 的外部周边,以使组件安装区域 6 形成凸缘以及形成包括垂直壁的光屏蔽台阶 9,并且因此形成盖固定部件 10。在整个周边上使用树脂粘合将包括金属薄板的盖元件 15 粘合到支撑衬底 2 的盖固定部件 10,并且因此组件安装区域 6 被密封且实现防尘和防湿,以及形成光屏蔽空间。

[0136] 如图 1 所示,盖元件 15 整体形成箱状形状,其包括具有足以覆盖支撑衬底 2 的组件安装区域 6 的外部尺寸的主面部分 16,以及通过沿其整个周边弯曲主面部分 16 而整体形成的周边壁部分 17。盖元件 15 形成有足以形成组件安装空间 3 的高度尺寸,其中当周边壁部分 17 与支撑衬底 2 结合时每个振动元件 20 的振动器部件 23 振动。盖元件 15 具有通过沿其整个开口边弯曲周边壁部分 17 而整体形成的周边凸缘 18,周边凸缘 18 比在支撑衬底 2 中形成的盖固定部分 10 略窄。虽然未在附图中示出,当将振动陀螺传感器 1 安装在控制衬底 100 上时,周边凸缘 18 具有连接到控制衬底 100 上的接地端子的接地突出部分。

[0137] 盖元件 15 包括金属薄板,因而保持了振动陀螺传感器 1 的轻重量。然而,由于对红外波长的外部光的光屏蔽特性的降低,盖元件 15 不能表现出足够的光屏蔽功能。因此,根据本实施例,将主面部分 16 的所有表面和周边壁部分 17 涂有例如红外吸收涂料,该红外吸收涂料吸收红外波长的光以形成光屏蔽层 19,以便进入到组件安装空间 3 红外波长的外部光辐射被切断,从而实现每个振动元件 20 的稳定操作。光屏蔽层 19 可以通过浸渍红外吸收涂料溶液中而形成在前后主面上,或者通过镀黑铬、黑染色或黑阳极化形成。

[0138] 如上所述,在振动陀螺传感器 1 中,将盖元件 15 与支撑衬底 2 结合,通过将周边凸缘 18 放置在盖固定部分 10 上并且通过粘合剂将它们粘合在一起,由此形成密封的、光屏蔽的组件安装空间 3。然而,外部光可以穿过粘合剂且进入组件安装空间 3,所述粘合剂被设置在粘合在一起的盖固定部分 10 和周边凸缘 18 之间的空间。在本实施例中,因此,通过光屏蔽台阶 9 将盖固定部分 10 从支撑衬底 2 的主面 1-2 逐级降低,如上所述。结果,通过光屏蔽台阶 9 切断了穿过该粘合层的外部光。

[0139] 在本实施例中,与其它组成元件一样,通过表面安装方法将盖元件 15 与支撑衬底 2 结合,因此使装配步骤合理化。在振动陀螺传感器 1 中,由于将盖元件 15 固定到支撑衬底

2 的台阶式盖固定部分 10, 因而减少了厚度, 并且阻止粘合剂流入组件安装区域 6。同样, 将组件安装空间 3 用作防尘和防湿空间以及光屏蔽空间, 由此阻止每个振动元件 20 中热电效应的出现, 并且允许运动如运动模糊等的稳定检测。

[0140] (电路结构)

[0141] 接下来, 将参照附图 7 描述用于驱动振动陀螺传感器 1 的电路结构。

[0142] 振动陀螺传感器 1 包括分别连接到第一振动元件 20X 和第二振动元件 20Y 的第一驱动检测电路部件 50X 和第二驱动检测电路部件 50Y, 并且每个驱动检测电路部件包括 IC 电路元件 7、电子组件 8 等。第一和第二驱动检测电路部件 50X 和 50Y 具有相同的电路结构, 因而在下文中一般称作“驱动检测电路部件 50”。每个驱动检测电路部件 50 包括阻抗变换电路 51, 加法电路 52, 振荡电路 53, 差分放大电路 54, 同步检测电路 55, 以及 DC 放大器电路 56。

[0143] 如图 7 所示, 在每个驱动检测电路部件 50 中, 将阻抗变换电路 51 和差分放大电路 54 连接到每个振动元件 20 的每个第一和第二检测电极 30L 和 30R。将加法电路 52 连接到阻抗变换电路 51, 并且将连接到加法电路 52 的振荡电路 53 连接到驱动电极层 29。将同步检测电路 55 连接到差分放大电路 54 和振荡电路 53, 并且将 DC 放大电路 56 连接到同步检测电路 55。而且, 将每个振动元件 20 的参考电极层 27 连接到支撑衬底 2 上的参考电位 57。

[0144] 在每个驱动检测电路部件 50 中, 振动元件 20、阻抗变换电路 51, 加法电路 52 和振荡电路 53 构成自激振荡电路。当将预定频率的振荡电压  $V_{go}$  从振荡电路 53 应用到驱动电极层 29 时, 在每个振动元件 20 的振动器部件 23 出现固有振荡。将来自每个振动元件的第一检测电极 30R 的输出  $V_{gr}$  和第二检测电极 30L 的输出  $V_{gl}$  提供给阻抗变换电路 51, 并且在输入  $V_{gr}$  和  $V_{gl}$  的基础上分别将输出  $V_{zr}$  和  $V_{zl}$  从阻抗变换电路 51 输出到加法电路 52。在这些输入的基础上加法电路 52 将加法输出  $V_{sa}$  输出到振荡电路 53。

[0145] 将分别来自每个振动元件 20 的第一和第二检测电极 30R 和 30L 的输出  $V_{gr}$  和  $V_{gl}$  提供给差分放大电路 54。当每个振动元件 20 检测运动模糊时, 在驱动检测电路部件 50 中的输出  $V_{gr}$  和  $V_{gl}$  之间出现差异, 因而从差分放大电路 54 产生预定的输出  $V_{da}$ 。将来自差分放大电路 54 的输出  $V_{da}$  提供给同步检测电路 55。同步检测电路 55 同步检测输出  $V_{da}$ , 将其转换成 DC 信号  $V_{sd}$ , 并且将该 DC 信号  $V_{sd}$  提供给 DC 放大电路 56, 以在预定的 DC 放大之后输出 DC 信号  $V_{sd}$ 。

[0146] 同步检测电路 55 将全波整流之后的差分放大电路 54 的输出  $V_{da}$  与基于时钟信号  $V_{ck}$  的定时结合, 由此产生 DC 信号  $V_{sd}$ , 其中该时钟信号  $V_{ck}$  与驱动信号同步地从振荡电路 53 输出。如上所述, 每个驱动检测电路部件 50 通过 DC 放大电路 56 放大 DC 信号, 并将其输出, 因此, 检测由运动模糊产生的角速度信号。

[0147] 在每个驱动检测电路部件 50 中, 阻抗变换电路 51 在高阻抗输入 Z2 的状态下产生低阻抗输出 Z3, 以展现出分离第一和第二检测电极 30R 和 30L 之间的阻抗 Z1 以及加法电路 52 的输入之间的阻抗 Z4 的功能。通过使用阻抗变换电路 51, 从第一和第二检测电极 30R 和 30L 得到较大的输出差。

[0148] 在每个驱动检测电路部件 50 中, 上述阻抗变换电路 51 仅表现出用于输入和输出的阻抗变换功能, 而没有明显地影响信号的振幅。因此, 来自第一检测电极 30R 的输出  $V_{gr}$  的振幅与阻抗变换电路 51 的输出  $V_{zr}$  的振幅相等, 而来自第二检测电极 30L 的输出  $V_{gl}$  的

振幅与阻抗变换电路 51 的输出  $V_{z1}$  的振幅相等。在每个驱动检测电路部件 50 中,即使当振动元件 20 检测运动模糊以产生来自第一检测电极 30R 的输出  $V_{gr}$  和来自第二检测电极 30L 的输出  $V_{gl}$  之间的差时,该差也被保存在来自加法电路 52 的输出  $V_{sa}$  中。

[0149] 在每个驱动检测电路部件 50 中,例如,即使当通过切换操作等叠加噪声时,也通过与振动元件 20 中的带通滤波器相似的功能去除该除了谐振频率分量之外的分量,从而去除在来自振荡电路 53 的输出  $V_{go}$  上叠加的噪声分量,由此得到不包括来自差分放大电路 54 的噪声分量的高精度输出  $V_{da}$ 。在振动陀螺传感器 1 中,驱动检测电路部件 50 不限于此。该驱动检测电路部件被形成,以使得通过压电薄膜层 28 和一对检测电极 30 检测由于每个执行固有振动的振动器部件 23 的运动模糊而造成的位移,并且通过适当的处理得到检测输出。

[0150] 如上所述,振动陀螺传感器 1 包括用于检测 X 轴方向上的角速度的第一振动元件 20X 以及用于检测 Y 轴方向上的角速度的第二振动元件 20Y。连接到第一振动元件 20X 的第一驱动检测电路部件 50X 产生 X 轴方向上的检测输出  $V_{sdX}$ ,而连接到第二振动元件 20Y 的第二驱动检测电路部件 50Y 产生 Y 轴方向上的检测输出  $V_{sdY}$ 。在振动陀螺传感器 1 中,将每个第一和第二振动元件 20X 和 20Y 的工作频率设置在几 kHz 到几百 kHz 的范围内。当第一振动元件 20X 的工作频率  $f_x$  和第二振动元件 20Y 的工作频率  $f_y$  之间的差 ( $f_x - f_y$ ) 是 1kHz 或者更多时,,减少了串扰以允许振动的精确检测。

[0151] 根据需求,驱动检测电路部件 50 包括用于选择地以振动元件 20X 和 20Y 的工作频率  $f_x$  和  $f_y$  放大检测信号的各个滤波放大电路,所述检测信号被包含在加法电路 52 的输出中,并且将已放大的检测信号供给至振荡电路 53。

[0152] (用于制造振动陀螺传感器的方法)

[0153] 在下面将描述用于制造根据本实施例的振动陀螺传感器的方法。附图 10 是示出用于制造振动陀螺传感器 1 的方法的主要步骤的流程图。

[0154] 通过同时形成多个振动元件 20 生产振动陀螺传感器 1,该振动元件使用硅衬底 21 作为基底材料,该硅衬底被切割以使得主面 21-1 是 (100) 取向平面,侧面 21-3 是 (110) 取向平面,如图 11 和 12 所示,然后将该衬底通过切割步骤切割成相应的振动元件 20。

[0155] (制备衬底的步骤)

[0156] 根据在工艺中使用的设备的规格确定硅衬底 21 的外部尺寸,例如  $300 \times 300 \text{ mm}$ 。硅衬底 21 不限于具有如图 11 所示的矩形平面形状的衬底,也可以使用具有圆平面形状的晶片形衬底。取决于可处理性、成本等确定硅衬底 21 的厚度,但是该厚度至少可以大于每个振动元件 20 的基底部件 22 的厚度尺寸。如上所述,由于基底部件 22 具有  $300 \mu\text{m}$  的厚度,振动器部件 23 具有  $100 \mu\text{m}$  的厚度,因此使用具有  $300 \mu\text{m}$  或者更大厚度的衬底 21。

[0157] 如图 12 所示,通过热氧化分别在硅衬底 21 的第一主面 21-1 和第二主面 21-2 的整个表面上形成氧化硅膜 ( $\text{SiO}_2$  膜) 33A 和 33B (下文中除非特指否则一般称作“氧化硅膜 33”)。如下所述,在硅衬底 21 的晶体的各向异性刻蚀中将氧化硅膜 33 用作保护膜。将氧化硅膜 33 形成适当的厚度,只要表现出保护膜功能,例如,将氧化硅膜 33 形成大约  $0.3 \mu\text{m}$  的厚度。

[0158] (形成刻蚀凹形的步骤)

[0159] 用于制造每个振动元件的工艺包括类似于半导体工艺的薄膜步骤的步骤。也就

是,该工艺包括刻蚀硅衬底 21 的第一主面 21-1 以形成具有预定深度尺寸的刻蚀凹形 37 的步骤,以便形成相应的振动元件 20 的振动器部件 23。

[0160] 如图 13 至 19 所示,刻蚀凹槽形成步骤包括:在硅衬底 21 的第一主面 21-1 上形成光致抗蚀剂层 34 的步骤,构图光致抗蚀剂层 34 以在光致抗蚀剂层 34 中形成对应于各个刻蚀凹形 37 形成部分的光致抗蚀剂层孔 35 的步骤,去除暴露在光致抗蚀剂层孔 35 中的氧化硅膜 33A 以形成氧化硅膜孔 36 的第一刻蚀步骤,以及在各个氧化硅膜孔 36 中形成刻蚀凹形 37 的第二刻蚀步骤。

[0161] 在形成光致抗蚀剂层的步骤中,在硅衬底 21 的第一主面 21-1 上形成的氧化硅膜 33A 的整个表面上涂布光致抗蚀剂材料,以形成光致抗蚀剂层 34。该形成光致抗蚀剂层的步骤例如使用由 Tokyo Ohka Kogyo Co.Ltd. 制造的光敏光致抗蚀剂材料 OFPR-8600 作为光致抗蚀剂材料。应用该光致抗蚀剂材料,然后通过使用微波预焙烧加热去除湿气,由此在氧化硅膜 33A 上形成光致抗蚀剂层 34。

[0162] 在构图光致抗蚀剂的步骤中,掩蔽光致抗蚀剂层 34,以便将用于形成每个氧化硅膜孔 36 的部分被打开,然后使其受到曝光和显影。因此,将光致抗蚀剂层 34 从与每个氧化硅膜孔 36 对应的部分去除,以同时形成多个光致抗蚀剂层孔 35,氧化硅膜 33A 暴露于该光致抗蚀剂层孔中,如图 13 和 14 所示。如图 13 所示,在硅衬底 21 上形成  $3 \times 5$  光致抗蚀剂层孔 35,以便通过下述步骤同时形成 15 个振动元件 20。

[0163] 在第一刻蚀步骤中,将从每个光致抗蚀剂层孔 35 暴露的氧化硅膜 33A 去除。在第一刻蚀步骤中,为了保持硅衬底 21 界面的平滑,使用仅去除氧化硅膜 33A 的湿式刻蚀方法。然而,该刻蚀方法不限于此,也可以使用适当的刻蚀诸如离子刻蚀等等。

[0164] 在第一刻蚀步骤中,例如,使用氟化铵 (ammonium fluoride) 溶液作为去除氧化硅膜 33A 的蚀刻剂,以形成氧化硅膜孔 36。如图 15 和 16 所示,结果,硅衬底 21 的第一主面 21-1 被部分地暴露于外部。在第一刻蚀步骤中,当长时间执行刻蚀时,会出现侧面刻蚀现象,其中刻蚀从氧化硅膜孔 36 的侧面进行。因此,优选地精确控制刻蚀时间,以便将该刻蚀停止在氧化硅膜 33A 的刻蚀的完成。

[0165] 在第二刻蚀步骤中,将刻蚀凹形 37 形成在硅衬底 21 的第一主面 21-1 的暴露部分中,该暴露部分通过相应的氧化硅膜孔 36 暴露于外部。在第二刻蚀步骤中,通过使用刻蚀速度取决于硅衬底 21 的晶体取向特性的晶体各向异性湿式刻蚀刻蚀硅衬底 21,以便留出与振动器部件 23 的厚度对应的深度。

[0166] 第二刻蚀步骤例如使用 TMAH(氢氧化四甲铵),KOH(氢氧化钾)或 EDP(乙二胺-邻苯二酚-水)溶液作为蚀刻剂。特别地,第二刻蚀步骤使用 20% 的 TMAH 作为蚀刻剂,以提高前后表面上氧化硅膜 33A 和 33B 的刻蚀比。在搅拌下用保持在  $80^{\circ}\text{C}$  温度的蚀刻剂执行蚀刻 6 个小时,以形成附图 17 和 18 所示的刻蚀凹形 37。

[0167] 在第二刻蚀步骤中,利用用作基底材料的硅衬底 21 的特性执行刻蚀,以便使得 (110) 取向平面相对于 (100) 平面成大约  $55^{\circ}$  角,并且侧面 21-3 的刻蚀速度小于第一和第二主面 21-1 和 21-2 的刻蚀速度。结果,形成刻蚀凹形 37,以使得每个凹形 37 的开口尺寸从开口到底部以大约  $55^{\circ}$  的倾角逐渐减少,并且在每个刻蚀凹形 37 的内壁形成具有大约  $55^{\circ}$  倾角的刻蚀斜面 133。

[0168] 每个刻蚀凹形 37 构成用于通过下述外部形状切割步骤形成振动器部件 23 的膜片

部件 38。如图 17 所示,每个刻蚀凹形 37 有具有长度尺寸  $t_8$  和宽度尺寸  $t_9$  的孔。如图 19 所示,每个刻蚀凹形 37 具有深度尺寸  $t_{10}$ ,并且形成具有梯形截面形状的空间,其中该开口尺寸从第一主面 21-1 到第二主面 21-2 逐渐减少。

[0169] 形成每个刻蚀凹形 37 以具有向其底部以  $55^\circ$  倾角  $\theta$  倾斜的内周壁,如上所述。每个膜片部件 38 通过振动器部件 23 的宽度尺寸  $t_6$  和长度尺寸  $t_5$  以及通过沿振动器部件 23 的周边切割硅衬底 21 形成的外部凹槽 39 的宽度尺寸  $t_7$  (参照附图 36 和 37) 限定。通过方程:深度尺寸  $t_{10} \times 1/\tan 55^\circ$  确定外部凹槽 39 的宽度尺寸  $t_7$ 。

[0170] 因此,在每个刻蚀凹形 37 中,通过方程:  $(\text{深度尺寸 } t_{10} \times 1/\tan 55^\circ) \times 2 + t_6$  (振动器部件 23 的宽度尺寸)  $+ 2 \times t_7$  (外部凹槽 39 的宽度尺寸) 确定开口宽度尺寸  $t_9$ ,该开口宽度尺寸限定膜片部件 38 的宽度。在每个刻蚀凹形 37 中,当  $t_{10}$  是  $200 \mu\text{m}$ ,  $t_6$  是  $100 \mu\text{m}$ ,  $t_7$  是  $200 \mu\text{m}$  时,该开口的宽度尺寸  $t_9$  是  $780 \mu\text{m}$ 。

[0171] 与宽度方向上相同,在长度方向上,将每个刻蚀凹形 37 通过上述第二刻蚀步骤形成,以便在内周壁上具有倾角是  $55^\circ$  的斜面。因此,在每个刻蚀凹形 37 中,通过方程:  $(\text{深度尺寸 } t_{10} \times 1/\tan 55^\circ) \times 2 + t_5$  (振动器部件 23 的长度尺寸)  $+ t_7$  (外部凹槽 39 的宽度尺寸) 确定长度尺寸  $t_8$ ,该长度尺寸限定膜片部件 38 的长度。在每个刻蚀凹形 37 中,当  $t_{10}$  是  $200 \mu\text{m}$ ,  $t_5$  是  $2.5\text{mm}$ ,  $t_7$  是  $200 \mu\text{m}$  时,该开口的长度尺寸是  $2980 \mu\text{m}$ 。

[0172] (电极形成步骤(沉积))

[0173] 在上述形成刻蚀凹槽的步骤中,在各个刻蚀凹形 37 和硅衬底 21 的第二主面 21-2 的底部之间形成每个具有预定厚度的矩形膜片部件 38。膜片部件 38 构成各个振动元件 20 的振动器部件 23。在形成刻蚀凹形 37 之后,将该膜片部件 38 的第二主面侧面用作电极形成步骤中的处理表面。

[0174] 在电极形成步骤中,例如由磁控溅射设备通过氧化硅膜 33B 在第二主面 21-2 对应于每个刻蚀凹形 37 的部分上形成电极层。如图 20 所示,电极形成步骤包括以下步骤:形成用于在氧化硅膜 33B 上形成参考电极层 27 的第一电极层 40,形成用于形成压电薄膜层 28 的压电层 41,以及形成用于形成驱动电极层 29 和检测电极 30 的第二电极层 42。

[0175] 在用于制造振动元件的工艺中,执行形成用于在每个基底部件 22 的相应形成区域中形成引线 31 和端子部件 25 的导体层的步骤,与在每个振动元件 23 上形成电极层 40 的步骤以及形成第二电极层 42 的步骤一致。

[0176] 形成第一电极层的步骤包括通过在对应用于每个振动元件 23 的区域中在氧化硅膜 33B 的整个表面上溅射钛形成钛薄膜层的步骤,以及通过溅射铂在该钛薄膜层上形成铂层的步骤,以便形成包括两个层的第二电极层 40。在形成钛薄膜层的步骤中,在例如包括  $0.5\text{Pa}$  的气压和  $1\text{kW}$  的 RF (射频) 功率的溅射条件下,在氧化硅膜 33B 上沉积  $50\text{nm}$  或更少 (例如  $5\text{nm}$  到  $20\text{nm}$ ) 厚度的钛薄膜层。在形成铂层的步骤中,在例如包括  $0.5\text{Pa}$  的气压和  $0.5\text{kW}$  的 RF 功率的溅射条件下,在该钛薄膜层上沉积  $200\text{nm}$  厚度的铂薄膜层。

[0177] 在第一电极层 40 中,钛薄膜层具有改进与氧化硅膜 33B 的粘合的功能,并且将铂层用作令人满意的电极。在形成第一电极层的步骤中,如上所述,将用于形成从每个膜片部件 38 延伸到相应的基底部件 22 的形成区域的第一引线 31A 和第一端子部件 25A 的导体层与第一电极层 40 的形成同时形成。

[0178] 在形成压电膜层的步骤中,例如通过在第一电极层 40 的整个表面上溅射锆钛酸

铅 (PZT), 从而沉积预定厚度的压电膜层 41。在形成压电膜层的步骤中, 在例如包括 0.7Pa 的气压和 0.5kW 的 RF 功率的溅射条件下, 使用  $Pb_{1-x}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})_{3-y}$  氧化物作为靶, 在第一电极层 40 上沉积大约  $1\mu m$  厚度的包括 PZT 层的压电膜层 41。同样, 将压电膜层 41 通过在电炉中焙烧 (baking) 热处理结晶。在  $700^{\circ}C$  在氧气环境中执行该焙烧处理 10 分钟。形成压电膜层 41, 以便覆盖从第一电极层 41 延伸到每个基底部件 22 的形成区域的电极层的一部分。

[0179] 在形成第二电极层的步骤中, 通过在压电膜层 4 的整个表面上溅射铂来形成铂层, 以形成第二电极层 42。在例如包括 0.5Pa 的气压和 0.5kW 的 RF 功率的溅射条件下, 在压电膜层 41 上沉积大约 200nm 厚度的铂薄膜层。

[0180] (电极形成步骤 (构图))

[0181] 接下来, 执行构图作为最上层的第二电极层 42 的步骤。在构图第二电极层 42 的步骤中, 将驱动电极层 29 和每个具有预定形状的该对检测电极 30R 和 30L 如图 21 和 22 所示地形成。

[0182] 如上所述, 将驱动电极层 29 用作施加驱动每个振动器部件 23 的预定驱动电压的电极, 并且在宽度方向上在每个振动器部件 23 的中心区域中形成预定的宽度, 以便在其长度方向上的在基本整个区域上延伸。检测电极 30 是用于检测在每个振动器部件 23 中产生的科里奥利力的电极, 并且在驱动电极层 29 的两侧平行地形成, 以便在长度方向上的基本整个区域上彼此绝缘。

[0183] 在构图第二电极层的步骤中, 第二电极层 42 受到光刻处理以在压电膜层 41 上形成驱动电极层 29 和检测电极 30, 如图 21 所示。在构图第二电极层的步骤中, 在对应于驱动电极层 29 和检测电极 30 的部分上形成抗蚀层, 并且例如通过离子刻蚀等将第二电极层 42 的不必要部分去除。然后, 去除该抗蚀层以构图驱动电极层 29 和检测电极 30。构图第二电极层的步骤不限于此, 并且可以利用在半导体工艺中使用的适当的导体层形成步骤来形成驱动电极层 29 和检测电极 30。

[0184] 如图 21 所示, 形成驱动电极层 29 和检测电极 30, 以便将其尖端布置在长度方向上的相同位置, 并且将在每个振动器部件 23 的根部 (root parts) 布置的根部部分也布置在长度方向上的相同位置 43。在构图第二电极层的步骤中, 通过分别与驱动电极层 29 和检测电极 30R 和 30L 的基底末端整体构图而形成更宽的引线连接部分 29-1、30R-1 和 30L-1, 该引线连接部分具有布置在长度方向上的相同位置 43 的根部部分。

[0185] 在构图第二电极层的步骤中, 构图第二电极层 42, 以形成例如具有 2mm 的长度尺寸 t12 和  $50\mu m$  的宽度尺寸 t13 的驱动电极层 29。而且, 如图 21 所示, 通过构图形成每个具有  $10\mu m$  的宽度尺寸 t14 的第一和第二检测电极 30R 和 30L, 以便在其间保持驱动电极层 29, 驱动电极层 29 和每个检测电极 30 之间具有  $5\mu m$  的间隔 t15。同样, 通过构图形成每个具有  $50\mu m$  的长度尺寸和  $50\mu m$  的宽度尺寸的引线连接部分 29-1, 30R-1 和 30L-1。驱动电极层 29 和检测电极 30 的尺寸值不限于上述值, 并且它们在允许在每个振动器部件 23 的第二主面上形成的范围内适当地形成。

[0186] 然后, 在构图压电膜层 41 的步骤中, 形成具有预定形状的压电薄膜层 28, 如图 23 和 24 所示。通过构图压电膜层 41 而形成压电薄膜层 28, 并且保留比驱动电极层 29 和检测电极 30 更大的区域。压电薄膜层 28 被形成以具有比每个振动器部件 23 略小的宽度, 并且

从基底末端延伸到其尖端附近。

[0187] 在构图压电膜层的步骤中,通过光刻处理在与压电薄膜层 28 对应的压电膜层 41 的区域上形成抗蚀层。然后,通过例如使用氟氮酸溶液的湿式刻蚀等去除压电膜层 41 的不必要部分,并且去除该抗蚀层以便形成压电薄膜层 28,如图 23 和 24 所示。尽管,在本实施例中,通过湿式刻蚀刻蚀压电膜层 41,但是该刻蚀方法不限于此。例如,可以通过适当的方法例如离子刻蚀、反应离子刻蚀(RIE)等形成压电薄膜层 28。

[0188] 如图 23 所示,在构图压电膜层的步骤中,形成压电薄膜层 28,以便在与每个振动器部件 23 的根部对应的根部位置 43,具有与驱动电极层 29 和检测电极 39 基本相同的根部部分。而且,端子容纳部分 28-1 通过在压电薄膜层 28 的基底末端整体地构图形成,而具有比驱动电极层 29 和检测电极 30 的引线连接部分 29-1,30R-1 和 30L-1 略大的区域。

[0189] 在构图压电膜层的步骤中,通过构图形成压电薄膜层 28,以便具有 2.2mm 的长度尺寸 t18,该长度尺寸略大于驱动电极层 29 和检测电极 30 的长度尺寸,并且具有 90  $\mu\text{m}$  的宽度尺寸 t19。通过在压电薄膜层 28 的基底末端构图而形成的端子接收部分 28-1 在驱动电极层 29 和检测电极 30 的引线连接部分 29-1,30R-1 和 30L-1 周围有具有 5  $\mu\text{m}$  的宽度尺寸的周边部分。压电薄膜层 28 的尺寸值不限于上述值,并且适当地形成压电薄膜层 28,以便在每个振动器部件 23 的第二主面 23-2 上允许形成的范围内具有比驱动电极层 29 和检测电极 30 更大的区域。

[0190] 而且,在构图第一电极层的步骤中,通过与构图第二电极层相同的步骤构图第一电极层 40,以便形成参考电极层 27,如图 25 和 26 所示。在该步骤中,在与参考电极层 27 对应的区域上形成抗蚀层,并且例如通过离子刻蚀等去除第一电极层 40 的不必要部分。然后,去除抗蚀层以形成参考电极层 27。构图第一电极层的步骤不限于此,并且也可以利用在半导体工艺中使用的适当的导体层形成步骤来形成参考电极层 27。

[0191] 在构图第一电极层的步骤中,参考电极 27 形成于每个振动器部件 23 的第二主面上,以具有比每个振动器部件 23 的第二主面略小而比压电薄膜层 28 略大的宽度。如图 25 所示,形成参考电极层 27 的基底末端,以便在与每个振动器部件 23 的根部对应的根部位置 43 具有与驱动电极层 29,检测电极 30 以及压电薄膜层 28 基本相同的形状。在该步骤中,将第一引线 31A 以及在第一引线 31A 末端的第一端子部件 25A 通过在基底部件 22 的形成区域中整体地构图来形成,以便从该基底末端向侧面延伸。

[0192] 在构图第一电极层的步骤中,形成参考电极层 27,以便具有 2.3mm 的长度尺寸 t20,94  $\mu\text{m}$  的宽度尺寸 t21,以及在压电薄膜层 28 周围形成的具有 5  $\mu\text{m}$  的宽度尺寸的周边部分。在构图第一电极层的步骤中,参考电极层 27 的尺寸值不限于上述值,并且可以将该参考电极层 27 形成在每个振动器部件 23 的第二主面上允许形成的范围内。

[0193] (形成平面层的步骤)

[0194] 在制造振动元件的工艺中,通过上述步骤将驱动电极层 29 和检测电极 30 的引线连接部分 29-1,30R-1 和 30L-1 以及端子部件 25B 至 25D 形成在每个基底部件 22 的各个形成区域上,并且还形成连接到相应的端子部件 25 的引线 31B 至 31D。为了平滑地将引线 31B 至 31D 连接到引线连接部分 29-1,30R-1 和 30L-1,如图 27 和 28 所示形成平面层 24。

[0195] 形成用于分别将引线连接部分 29-1,30R-1 和 30L-1 连接到端子部件 25B 至 25D 的引线 31B 至 31D,以便跨越压电薄膜层 28 的端子接收部分 28-1 的末端以及参考电极层 27,

并且在每个基底部件 22 的相应的形成区域中延伸。如上所述,通过利用湿式刻蚀构图压电膜层 41 形成压电薄膜层 28,因而刻蚀部分的边缘向着硅衬底 21 的第二主面 21-2 形成为倒锥形或垂直阶梯。因此,当直接在每个基底部件 22 的各个形成区域上形成引线 31B 至 31D 时,会在该阶梯部分出现断开。还有,必须在每个基底部件 22 的各个形成区域上延伸的第一引线 231A 和引线 31B 至 31D 之间保持绝缘。

[0196] 在形成平面层的步骤中,将在每个基底部件 22 的形成区域上形成的抗蚀层通过光刻处理构图,以覆盖引线连接部分 29-1, 30R-1 和 30L-1 以及第一引线 31A。该抗蚀层图案通过例如大约 160℃至 300℃的热处理固化以形成平面层 24。在该步骤中,平面层 24 形成以具有 200 μm 的宽度尺寸 t24, 50 μm 的长度尺寸 t25 以及 2 μm 的厚度尺寸 (附图 28 是放大的)。形成平面层的步骤不限于此,并且可以通过在半导体工艺等中执行的适当的抗蚀层形成步骤中使用适当的绝缘材料形成平面层 24。

[0197] (形成布线层的步骤)

[0198] 接下来,执行形成布线层的步骤,以在每个基底部件 22 的相应的形成区域上形成第二至第四端子部件 25B 至 25D 以及第二至第四引线 31B 至 31D。在形成布线层的步骤中,在每个基底部件 22 的形成区域的整个区域上形成光敏的光致抗蚀剂层,然后受到光刻处理以形成与第二至第四端子部件 25B 至 25D 以及第二至第四引线 31B 至 31D 对应的孔的图案。而且,通过溅射在每个孔中形成导体层,以形成布线层。在该步骤中,形成预定的导体部分之后,去除光致抗蚀剂层以形成第二至第四端子部件 25B 至 25D 以及第二至第四引线 31B 至 31D,如图 29 和 30 所示。

[0199] 在形成布线层的步骤中,将形成的钛层或氧化铝层作为底层以提高到氧化硅膜 33B 的粘合,然后在该钛层上形成具有低电阻的低成本铜层。在本实施例中,例如,将该钛层形成 20nm 的厚度,将该铜层形成 300nm 的厚度。该形成布线层的步骤不限于此,并且该布线层可以通过任何一般在半导体工艺中使用的布线构图形成技术形成。

[0200] (形成绝缘保护层的步骤)

[0201] 然后,执行形成绝缘保护层的步骤,以在通过上述步骤形成端子 25 和引线 31 的每个基底部件 22 以及形成电极层和压电薄膜层 28 的每个振动器部件 23 的主面上形成包括三个层的绝缘保护层 45。该形成绝缘保护层的步骤包括下面的步骤:形成抗蚀层;构图该抗蚀层;形成第一氧化铝层;形成氧化硅层;形成第二氧化铝层;以及去除该抗蚀层。

[0202] 在形成该绝缘保护层的步骤中,执行形成抗蚀层和构图该抗蚀层的步骤,以便形成在与硅衬底 21 的第二主面上的绝缘保护层 45 对应的区域中具有孔的抗蚀层 44,如图 31 所示。在形成抗蚀层的步骤中,在硅衬底 21 的整个表面上涂布光敏抗蚀剂以形成抗蚀层 44。在构图抗蚀层的步骤中,抗蚀层 44 受到光刻处理以形成与绝缘保护层 45 的形成区域对应的孔,由此形成绝缘保护形成孔 44A。虽然未在图中示出,但是抗蚀层 44 被留在与相应的端子部件 25 对应的圆形部分中。

[0203] 在形成绝缘保护层的步骤中,通过溅射将第一氧化铝层 46,氧化硅层 47 以及第二氧化铝层 48 层叠,并且将溅射的膜的不必要部分与抗蚀层 44 一起去除,以在抗蚀层 44 的绝缘保护层形成孔 44A 中留下三层结构的溅射的层。也就是,通过所谓的剥离 (liftoff) 方法形成所需的绝缘保护层 45。附图 32 至 34 仅示出形成在绝缘保护膜形成孔 44A 中的溅射的膜。然而,当然,将该溅射的膜形成在具有绝缘保护层形成孔 44A 的抗蚀层 44 上,并且

在抗蚀层去除步骤中将这些溅射的膜与抗蚀层 44 一起同时去除。

[0204] 在形成第一氧化铝层的步骤中,通过在绝缘保护层形成孔 44A 中溅射氧化铝形成第一氧化铝层 46,如图 32 所示。第一氧化铝层 46 具有大约 50nm 的厚度尺寸  $t_{26}$ ,并且将其用作底金属层,以便提高在绝缘保护层形成孔 44A 内对于硅衬底 21 和驱动电极层 29 或检测电极 30 的粘合,如上所述。

[0205] 在形成氧化硅层的步骤中,通过溅射氧化硅在第一氧化铝层 46 上形成氧化硅层 47,如图 33 所示。在该步骤中,由于用于在溅射容器中放电的氩气压的下限是 0.35Pa,因而通过在略高于该下限的 0.4Pa 设置的氩气压溅射氧化硅形成具有高密度的氧化硅层 47。在该步骤中形成氧化硅层 47 表现出足够的绝缘保护功能,这是因为其厚度至少两倍于驱动电极层 29 和检测电极 30 的厚度,并且在剥离方法中以低速出现模糊的区域中具有  $1\mu\text{m}$  或者更少的厚度尺寸  $t_{27}$ 。特别地,氧化硅层 47 具有 750nm 的厚度尺寸  $t_{27}$ 。

[0206] 在形成第二氧化铝层的步骤中,如图 34 所示,通过在氧化硅层 47 的整个表面上溅射氧化铝形成第二氧化铝层 48。第二氧化铝层 48 具有大约 50nm 的厚度尺寸  $t_{28}$ ,以提高对于在下述外部形状开槽步骤中形成的抗蚀层的粘合,由此防止刻蚀剂破坏氧化硅层 47。

[0207] (外部形状开槽步骤)

[0208] 接下来,如图 34 所示,在硅衬底 21 的第一主面 21-1 上形成刻蚀停止层 70。刻蚀停止层 70 用于抑制缺陷形状的出现,其中在第一主面 21-1 上出现等离子体集中,从而不能在硅衬底 21 中形成外部凹槽的步骤中形成预定的边缘形状,如下所述。在形成刻蚀停止层的步骤中,例如通过在硅衬底 21 的第一主面 21-1 的整个表面上溅射形成具有大约 500nm 厚度的氧化硅层。

[0209] 在外部形状开槽步骤中,外部凹槽 39 形成以穿过膜片部件 38,用于形成每个振动器部件 23 的周边。在该步骤中,如图 35 至 37 所示,将该外部凹槽 39 形成为从面向膜片部件 38 的硅衬底 21 的第二主面 21-2 的 U 形通槽,以便环绕每个振动器部件 23,并且从位于每个振动器部件 23 的根部位置 43 的一侧的开始端 39A 延伸到位于根部位置 43 的另一侧的结束端 39B。如上所述,形成具有  $200\mu\text{m}$  的宽度尺寸  $t_7$  的外部凹槽 39。

[0210] 特别地,该形成外部凹槽的步骤包括去除预定的氧化硅膜 33B 形式的 U 形部分以暴露硅衬底 21 的第二主面 21-2 的第一刻蚀步骤,以及在该硅衬底 21 的暴露部分中形成外部凹槽 39 的第二刻蚀步骤。

[0211] 在该第一刻蚀步骤中,将光敏光致抗蚀剂层形成在氧化硅膜 33B 的整个表面上并且进行光刻处理,以便在电极层的形成区域周围形成 U 形孔图案,该孔图案具有与该振动器 23 的外部尺寸相同的开口尺寸。在该步骤中,将通过该孔图案暴露的氧化硅膜 33B 通过离子刻蚀去除。尽管在第一刻蚀步骤中,可以例如通过湿式刻蚀去除 U 形形式的氧化硅膜 33B,但是考虑到因侧面刻蚀而出现的尺寸误差,优选为离子刻蚀。

[0212] 在第二刻蚀步骤中,将剩余的氧化硅膜 33B 用作抗蚀膜(刻蚀保护膜)。在该步骤中,例如,硅衬底 21 受到反应离子刻蚀,以便得到与适当的抗蚀膜(氧化硅膜 33B)的刻蚀比,并且将形成的高精度的垂直表面作为每个振动器部件 23 的外周。

[0213] 在第二刻蚀步骤中,使用具有产生感应耦合等离子体(ICP)的功能的反应离子刻蚀(RIE)设备产生高密度等离子体。该步骤使用 Bosch(BoschCorp.)过程,其中重复将  $\text{SF}_6$  气体引入刻蚀部分的刻蚀步骤,以及引入  $\text{C}_4\text{F}_8$  气体以形成包括刻蚀部分的外周的保护膜

的步骤。结果,在硅衬底 21 中以每分钟大约  $10\ \mu\text{m}$  的速度形成具有垂直内壁的外部凹槽 39。

[0214] 在第二刻蚀步骤之后,执行去除在硅衬底 21 的第一主面 21-1 上形成的刻蚀停止层 70 的步骤。在该步骤中,将该由氧化硅组成的刻蚀停止层 70 通过例如用氟化铵湿式刻蚀去除。在去除刻蚀停止层的步骤中,由于还是通过去除在形成外部凹槽的步骤中形成的光致抗蚀剂层而去除绝缘保护层 45,因此在去除刻蚀停止层 70 之后去除该光致抗蚀剂层。

[0215] (极化 (polarization) 步骤)

[0216] 然后,执行极化步骤,以便同时极化在氧化硅衬底 21 上相应的振动元件 20 上形成的压电膜 28。使用 Cu 布线作为极化布线执行极化。在极化之后,通过湿式刻蚀容易地溶解并去除该 Cu 布线,而没有破坏振动元件。极化布线不限于 Cu 布线,并且可以将表现上述功能的适当的导体用于布线。

[0217] 将 Cu 布线通过剥离方法形成,其中通过例如光刻处理在硅衬底 21 的第二主面 21-2 上形成具有预定形状的孔的抗蚀层图案,通过溅射来沉积 Cu 层,并且将该 Cu 层与抗蚀层一起从不必要的部分去除。例如, Cu 布线具有  $30\ \mu\text{m}$  或更多的宽度尺寸,大约 400nm 的厚度,以便在该极化期间确保传导。

[0218] 通过在 Cu 布线中形成的应用侧垫和地侧垫,同时将振动元件 20 连接到外部电源,以便有效地执行极化步骤。在该极化步骤中,通过例如引线接合将每个垫连接到外部电源,并且通过在 20V 传导 20 分钟执行极化。该极化不限于该步骤,也可以在适当的极化条件下通过适当的连接方法执行该极化。

[0219] (形成金凸起的步骤)

[0220] 接下来,执行形成金凸起的步骤。如上所述,将每个振动元件 20 安装在支撑衬底 2 上,因而在每个端子部件 25 上形成金凸起 26。在形成金凸起 26 的步骤中,通过将金引线接合工具压向每个端子部件 25 形成具有预定形状的柱状凸起。在该步骤中,如果需要,还在每个基底部件 22 上形成虚拟凸起。可以通过另一种方法形成金凸起 26,例如,下述的镀覆凸起的方法。

[0221] 该镀覆凸起的方法包括:如图 38A 所示在每个端子部件 25 上形成具有预定孔 61 的镀覆抗蚀层 62 的步骤;如图 38B 所示在每个孔 61 中镀覆金以生长金镀覆层 26 至预定高度的步骤;以及去除抗蚀层 62 的步骤。在形成金凸起的步骤中,金凸起 26 的厚度(高度)受到镀覆条件的限制,并且不能形成具有预定高度的金凸起 26。在形成金凸起的步骤中,当不能通过第一镀覆得到所需的金凸起 26 时,再执行使用第一镀覆层作为电极的第二镀覆,以便形成所谓的阶梯式金凸起 26。

[0222] 用于形成金凸起 26 步骤的方法不限于上述方法,也可以通过例如在半导体工艺中进行的气相沉积、转移等来形成凸起。虽然没有详细地描述,但是在制造振动元件的工艺中,形成 TiW、TiN 等所谓的凸起金属下层,以便提高金凸起 26 和端子部件 25 之间的粘合。

[0223] (切割步骤)

[0224] 接下来,执行将硅衬底 21 切割成各个振动元件 20 的切割步骤。在该切割步骤中,通过例如金刚石切割器等来切割与每个基底部件 22 对应的部分,以便切割成各个振动元件 20。在该步骤中,通过金刚石切割器形成切割凹槽,然后通过弯曲切割硅衬底 21。可以通过砂轮或利用硅衬底 21 的平面取向的抛光,从而执行该切割步骤。

[0225] 通过使用上述用于制造振动元件的工艺,相比于例如在公共基底部件 22 的邻接侧面上整体形成振动器部件以产生用于得到两个轴方向上的检测信号的双轴集成的振动元件的情况,可以显著增加从硅衬底(晶片)21 得到的振动元件的数量。

[0226] (安装步骤)

[0227] 将每个通过上述步骤制造的振动元件 20 通过表面安装方法安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上,将硅衬底 21 的第二主面 21-2 用作安装表面。在振动元件 20 中,将在各个端子部件 25 上提供的金凸起 26 与在支撑衬底侧上的相应的焊接区 4 对准。在这种情况下,如上所述,读取每个振动元件 20 的对准标记 32,然后通过具有高位置精度和方向精度的安装机器定位振动元件 20。

[0228] 通过将金凸起 26 超声焊接到相应的焊接区 4,同时将振动元件 20 压在支撑衬底 2 上,从而将每个振动元件 20 安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上。将 IC 元件 7 和电子组件 8 安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上,以及每个振动元件 20 经历下述调整步骤。然后,粘结盖元件 15 以完成振动陀螺传感器 1。

[0229] 如上所述,根据本实施例,在硅衬底 21 上同时产生多个振动元件 20,每个振动元件 20 包括与基底部件 22 整体形成的振动器部件 23,然后将硅衬底 21 切割成各个振动元件。然后,将具有相同形状的第一和第二振动元件 20X 和 20Y 安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上成  $90^\circ$  角的两个轴上,以产生用于在两个轴上得到检测信号的振动陀螺传感器 1。

[0230] (调整步骤)

[0231] 在制造振动元件的步骤中,如上所述,通过使用感应耦合等离子体的刻蚀从硅衬底 21 精确地切割每个振动元件 20 的振动器部件 23。然而,取决于条件如材料产量等,很难相对于等离子体的发射中心线对称地形成每个振动器部件 23。因此,会出现每个振动器部件 23 的形状的变化,这归因于每个振动元件 20 的位置偏移、不同的工艺条件等。例如,当每个振动元件 20 的振动器部件 23 形成为具有梯形或者平行四边形的截面形状时,与具有正常的矩形截面形状的振动器部件 23 相比,该振动器部件 23 执行从垂直振动的中心轴方向向小质量侧倾斜的振动操作。

[0232] 因此,执行调整步骤,以便通过在每个振动器部件 23 的预定位置激光抛光大质量侧来校正振动状态。在该调整步骤中,由于难以直接观察每个具有小截面形状的振动器部件 23 的截面形状,因而通过以下方法观察振动器部件 23 的截面形状的变化,其中使每个切割的振动元件 20 的振动器部件 23 在预定的纵向谐振频率振动,以比较右和左检测信号的振幅。在该调整步骤中,在右和左检测信号之间出现差异时,将振动元件 23 在输出小检测信号的一侧部分地激光切割。

[0233] 例如,在调整前,将振荡电路 71 的振荡输出 G0 应用到驱动电极层 29,以在纵向谐振状态中振动振动元件 20,如图 39A 所示。在该调整步骤中,将从该对检测电极 30R 和 30L 输出的检测信号 G10 和 Gr0 通过加法电路 72 结合,并且将该加法信号返回振荡电路 71。然后在从检测电极 30L 和 30R 得到的检测信号 G10 和 Gr0 的基础上,将测量的振荡电路 71 的振荡频率作为纵向谐振频率  $f_0$ ,并且将测量的检测信号 G10 和 Gr0 之间的差异作为差异信号。

[0234] 在该调整步骤中,如图 39B 所示,将振荡电路 71 的振荡输出 G1 施加到检测电极 30L,以在反向谐振状态中驱动振动元件 20。在该步骤中,将从检测电极 30R 输出的检测信

号 Gr-1 返回振荡电路 71, 并且在检测信号 Gr-1 的基础上, 将测量的振荡电路 71 的振荡频率作为反向谐振频率 f1。由于从检测信号 Gr-1 得到的反向谐振频率 f1 等于从检测信号 G1-1 得到的反向谐振频率 f2, 因而通过连接至任一检测电极 30L 和 30R 测量反向谐振频率。

[0235] 而且, 如图 39C 所示, 将振荡电路 71 的振荡输出 G2 施加到检测电极 30R, 以在反向谐振状态中驱动振动元件 20。在该步骤中, 将从检测电极 30L 输出的检测信号 G1-2 返回振荡电路 71, 并且在检测信号 G1-2 的基础上, 将测量的振荡电路 71 的振荡频率作为反向谐振频率 f2。在该调整步骤中, 将纵向谐振频率 f0 以及通过测量得到的反向谐振频率 f1 和 f2 之间的差异用作失调度, 并且作该失调度是否在预定的范围之内的判定。同样, 在该调整步骤中, 进行该检测电极 30L 和 30R 检测的差分信号是否在预定的范围之内的判定。

[0236] 在该调整步骤中, 基于失调和差分信号的判定结果, 从其振幅确定振动器部件 23 的调整位置, 并且通过激光照射抛光振动器部件 23 的一部分。通过上述相同的测量和激光加工执行该调整步骤, 直到该失调和差分信号的判定结果达到目标值。

[0237] 该调整步骤使用激光装置, 该激光装置具有可控的光点直径并且发射 532nm 波长的激光。在该调整步骤中, 例如, 通过使用激光照射长度方向上的适当部分, 从而调整侧面和第一主面 23-1 之间的边缘。在每个振动元件 20 中, 由于通过激光照射调整的频率差异和检测信号平衡中的变化从基底末端降低到振动器部件 23 的尖端, 因而可以粗略地调整该基底末端侧, 进而细微地调整该尖端。

[0238] 由于对安装在支撑衬底 2 上的振动元件 20 执行调整步骤, 因而可以不执行安装之后的再调整, 由此提高了振动陀螺传感器 1 的生产率, 当在安装之前进行调整时则进行该再调整。在这种情况下, 由调整激光器照射的区域在振动器部件 23 的上表面 23-2 侧, 因而在安装之后表现出极好的可调整性。由于没有在每个振动器部件 23 的上表面 23-2 上形成压电层和电极层, 因而尽可能地避免了该调整的影响, 比如由于激光加工产生的热而造成的压电薄膜层 28 的特性的改变, 极化状态的改变等等。

[0239] 在振动陀螺传感器 1 中, 当将预定频率的 AC 电压从各个驱动检测电路部件 50 施加到每个振动元件 20 中的驱动电极层 29 时, 振动器部件 23 以固有频率振动。振动器部件 23 在纵向即厚度方向上以纵向谐振频率谐振, 还在反向方向即宽度方向上以反向谐振频率谐振。振动元件 20 的灵敏度随着纵向谐振频率和反向谐振频率之间的差异即失调度的减少而增加。在振动陀螺传感器 1 中, 如上所述, 当通过晶体各向异性刻蚀和反应离子刻蚀高精度地形成每个振动器部件 23 的外周时, 得到令人满意的失调度。

[0240] 在每个振动元件 20 中, 纵向谐振频率的特性明显地受振动器部件 23 的长度尺寸 t5 的精度影响。如上所述, 在限定振动器部件 23 的长度尺寸 t5 的每个振动元件 20 的根部位置 43, 当在通过晶体各向异性刻蚀形成的膜片部件 38 的 (100) 表面、与每个以 55° 角刻蚀的斜面 133 对应的 (111) 表面、以及与平面对应的边界线之间出现偏差时, 失调度根据该偏差的数量增加。

[0241] 也就是, 在每个振动元件 20 中, 偏差的数量由在晶体各向异性刻蚀中在氧化硅膜 33B 上形成的抗蚀图案以及在反应离子刻蚀中形成的抗蚀膜图案之间的位置偏移造成。因此, 例如, 可以使用能够同时观察硅衬底 21 的第一和第二主面 21-1 和 21-2 的两侧对准器定位每个振动元件 20。可选择地, 在硅衬底 21 的第一和第二主面 21-1 和 21-2 上形成适当

的定位图案或标记,以便在这些图案或标记的基础上,通过执行一侧对准的对准装置定位每个振动元件 20。可以将该定位方法应用到在支撑衬底 2 上安装每个振动元件 20 的步骤中。

[0242] 当每个振动元件 20 中偏差量在小于大约  $30\text{ }\mu\text{m}$  的范围内时,纵向谐振频率基本与反向谐振频率相同。因此,在每个振动元件 20 中,通过具有略高精度的刻蚀步骤基本上抑制了由于偏差量造成的失调度的减少,并且在没有上述使用对准装置的定位方法的情况下制造该振动元件。

[0243] (成对振动元件的效果)

[0244] 在用于生产振动元件的工艺中,如上所述,在硅衬底 21 上同时形成每个具有与基底部分 22 一体形成的振动部分的许多振动元件 20,以及将硅衬底 21 切割为各个振动元件 20。因此,制造具有相同形状的第一振动元件 20X 和第二振动元件 20Y,在支撑衬底 2 的主面上的两轴上的位置上布置第一振动元件 20X 和第二振动元件 20Y,以产生用于获得两轴中检测信号的振动陀螺传感器 1。

[0245] 在用于制造振动元件的工艺中,例如与例如两轴集成振动元件相比较,可显著增加从硅衬底(晶片)21 获得的振动元件的数量,在该两轴集成振动元件中振动器部件被整体形成在公共基底部件 22 的相邻侧边,用于获得两轴方向上的检测信号。图 40 示出获得的振动元件 20 的数量比较,每个振动元件包括具有上述尺寸的部件和获得的两轴集成振动元件的数量,每个振动元件具有与振动元件 20 相同的功能。

[0246] 图 40 表示,在使用 3cm 的方形硅衬底生产总共 60 个振动元件 20(相应于 30 个每个包括两个振动元件的陀螺传感器)时,使用在半导体工艺批量生产中通常使用的 4inch(英寸)直径晶片生产总共 1200 个振动元件(相应于 600 个陀螺传感器 1),以及使用 5inch(英寸)直径晶片生产总共 4000 个振动元件(相应于 2000 个陀螺传感器 1)。另一方面,对于两轴集成振动元件,使用 3cm 方形硅衬底生产总共 20 个振动元件,使用 4inch(英寸)直径晶片生产总共 300 个振动元件和使用 5inch(英寸)直径晶片生产总共 800 个振动元件。在振动元件 20 中,材料生产率被显著提高,以降低成本。

[0247] 在振动陀螺传感器 1 中,如上所述,用于获得两轴中检测信号的第一振动元件 20X 和第二振动元件 20Y 在支撑衬底 2 上成直角被定位在两轴上。在振动陀螺传感器 1,考虑振动元件中之一的振动操作对其它振动元件的振动操作的影响,即在两轴之间出现的干涉。图 41 示出通过对安装在支撑衬底 2 的两个方向上的第一和第二振动元件 20X 和 20Y 的调整而测量串扰的结果。

[0248] 在图 41 中,类型 1 为第一和第二振动元件 20X-1 和 20Y-1 被安装在支撑衬底 2 上的陀螺传感器,以使各个振动器部件 23X-1 和 23Y-1 彼此相对,并且各个基底部件 22X-1 和 22Y-1 被固定在支撑衬底 2 的对角。类型 2 为第一和第二振动元件 20X-2 和 20Y-2 被安装在支撑衬底 2 上的陀螺传感器,以使各个基底部件 22X-2 和 22Y-2 被固定在支撑衬底 2 的同一角,并且各个振动器部件 23X-2 和 23Y-2 沿侧边线成直角延伸。类型 3 为第一振动元件 20X-3 被安装在支撑衬底 2 上的陀螺传感器,以使基底部件 22X-3 被固定在支撑衬底 2 的一角,振动器部件 23X-3 被定向为毗邻基底部件 22X-3 的所述角之一,并且第二振动元件 20Y-3 被安装在支撑衬底 2 上,以使基底部件 22Y-3 被固定在毗邻基底部件 22X-3 的所述角的另一角,并且振动器部件 23Y-3 被定向为朝向第一振动元件 20X-3。作为比较例,该图还

示出上述两轴集成振动元件（类型 0）60 的串扰值。串扰的单位为 dbm（分贝 / 毫瓦）。

[0249] 图 41 指示出类型 0 的振动元件 60 的串扰值为 -50dbm，类型 1 的振动元件 20X-1 和 20Y-1 的串扰值为 -70dbm，类型 2 的振动元件 20X-2 和 20Y-2 的串扰值为 -60dbm，以及类型 3 的振动元件 20X-3 和 20Y-3 的串扰值为 -72dbm。

[0250] 在依据本发明的实施例中类型 1 至 3 中每个的振动陀螺传感器 1 中，无论安装状态如何，相比较于类型 0 的两轴集成振动元件 60，获得至少大约 -10dbm 的提高。在这种振动陀螺传感器 1 中，提供两轴集成振动元件 20，因此两轴上检测信号间的干涉信号被抑制为大约 1mV。另一方面，在包括两轴集成振动元件的振动陀螺传感器中，两轴上检测信号间的干涉信号为大约 10mV，由此降低了检测性能。

[0251] 在依据本发明的该实施例的振动陀螺传感器 1 中，在第一和第二振动元件 20X 和 20Y 以类型 1 的布置被安装在支撑衬底 2 上时，产生两轴间最小的干涉。在振动陀螺传感器 1 中，第一和第二振动元件 20X 和 20Y 可以被安装在支撑衬底 2 的任何位置上。然而，考虑到小型 IC 电路元件 7 和许多电子部件的安装和布线图案的延伸，基底部件 22 优选固定在如上述类型中支撑衬底 2 的角部，因为安装效率被提高得最多。

[0252] 在振动陀螺传感器 1 中，在使用安装机器将第一和第二振动元件 20X 和 20Y 安装在支撑衬底 2 上时，识别设置在每个振动元件 20 上的对准标记 32，以使振动元件在成直角交叉的两轴上彼此相对。同样，在振动陀螺传感器 1 中，振动元件 20 优选被安装在支撑衬底 20 上，从而不会引起每个振动器部件 23 的位置偏移。图 42A 和 42B 均为示出每个振动元件 20 的位置偏移（与中心轴的偏移角度的分布）的柱状图，其中偏移角（度）被表示在横坐标上，数量被表示在纵坐标上。图 42A 示出通过识别对准标记 32 执行的安装，以及图 42B 示出通过识别振动元件 20 的外部形状执行的安装。在振动陀螺传感器 1 中，如从图 42A 和 42B 中所看到的，在使用对准标记 32 执行高度识别时，振动元件 20 被精确安装在支撑衬底 2 上，在角度偏移的发生率的变化较低且偏移角度也较低的范围。因此，在振动陀螺传感器 1 中，每个振动元件 20 精确和稳定地检测运动模糊。

[0253] 在该实施例中，将一对振动元件 20X 和 20Y 安装在支撑衬底 2 的第一主面 2-1 上，以使振动器部件 23 以直角定向在轴向方向上，用于检测围绕两轴的角速度。可替换的，可以将至少三个振动元件以不同轴向安装在公共支撑衬底上，用于检测围绕两轴向的角速度。例如，可以将三个振动元件安装在公共支撑衬底上以布置其的振动器部件，使每个振动器部件具有 120° 的角度差。

[0254] 而且，根据本实施例的两个振动陀螺传感器 1 可被制备和彼此垂直的安装在摄像机的主体器件等的表面上。在这种情况下，围绕三轴向即纵向、横向和垂直向的角速度被同时检测。

[0255] （串扰）

[0256] 每个振动元件 20 的工作频率可被设置在几 kHz 至几百 kHz 的范围内。在两轴角速度传感器（振动陀螺传感器 1）中，使用两个振动元件 20X 和 20Y 的变化工作频率（ $f_x$  和  $f_y$ ）来测量因频率差（ $f_x - f_y$ ）而导致的干涉信号的振幅。所得到的结果被示出在图 43 中。在图 43 中，振动元件 20X 和 20Y 间的工作频率差（ $f_x - f_y$ ）被示出在横坐标上，并且叠加在传感器输出（DC）上的 AC 噪声分量  $V_o$ （指示噪声的在 AC 波形的高振幅峰和低振幅峰之间的大小）被示出在纵坐标上。这里，该噪声分量  $V_o$  被称为“轴间串扰”。

[0257] 当频率差 ( $f_x - f_y$ ) 小于 1kHz 时,串扰值达到 1500mV<sub>pp</sub> 或更大,而角速度的稳定检测将会是不可能的。在另一方面,当频率差接近 1kHz 时,串扰值开始减少至 500mV<sub>pp</sub>。具体地,使用 1.4kHz 的频率差,串扰值减少至 200mV<sub>pp</sub>,而使用 2kHz 或更大的频率差,串扰值减少至 100mV<sub>pp</sub> 或更小。图 43 所示的结果揭示,通过将频率差 ( $f_x - f_y$ ) 设定为 1kHz 或更小,则轴间串扰明显地减少。制备对于在其工作频率 ( $f_x$  和  $f_y$ ) 之间具有 1kHz 差值的振动元件 20X 和 20Y 的两种类型的样本,从而产生两轴角速度传感器稳定的工作。

[0258] 样本 1

[0259] 第一振动元件 20X 具有 37kHz 的工作频率

[0260] 第二振动元件 20Y 具有 36kHz 的工作频率

[0261] 样本 2

[0262] 第一振动元件 20X 具有 40kHz 的工作频率

[0263] 第二振动元件 20Y 具有 39kHz 的工作频率

[0264] 图 43 指示在将频率差 ( $f_x - f_y$ ) 设定为 2kHz 到 3kHz 时,该对振动元件 20X 和 20Y 间串扰的影响被阻止。因此,通过使用 2kHz 或更小的频率差驱动振动元件 20X 和 20Y,可以提高传感器输出的精度。

[0265] 再者,设置于主体装置侧上的振动元件 20 和其它电子部件(传感器等等)之间的串扰,会影响根据该实施例的振动陀螺传感器。然而,可以提前制备具有不同工作频率的多个振动器元件,以便可以选择不产生影响的频率作为每个振动元件的驱动频率。具体地,制备例如具有在 35kHz 至 60kHz 范围内的驱动频率的多个振动元件,以及选择具有 1kHz 或更大(优选 2kHz 或更大)频率差的两个振动元件以避免该对振动元件之间和振动元件与设置在主体装置中的其它电子部件之间的串扰。

[0266] 通过调整例如失调度(纵向谐振频率和横向谐振频率之间的频率差)和在调整步骤中用于振动元件 20 的右、左检测信号之间的平衡之类的振动性能,从而调整每个振动元件 20X 和 20Y 的工作频率,然后类似地通过在每个振动器部件 23 的尖端上的激光修整来调整谐振频率。

[0267] 每个振动元件 20 的振动器部件 23 为悬臂振动器,因此谐振频率悬臂梁的长度的平方成反比,如与下面表达式所示。在表达式中,  $f_n$  为悬臂梁的谐振频率,  $E$  为杨氏(Young's)模量,  $I$  为悬臂梁的第二面积矩,  $\rho$  为密度,  $A$  为梁的截面面积,  $L$  为梁的长度以及为  $\lambda$  比例系数。因此,通过激光修整每个振动器部件 23 的尖端部分,从而可减少该梁的刚度和有效长度,以增加该梁的谐振频率。

$$[0268] \quad f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A L^4}} = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \frac{1}{L^2}$$

[0269] 另一方面,在谐振频率的调整中,优选地防止了已经被预先调整的失调度的改变。图 44 为示出数据曲线的图(表),所述数据通过测量谐振频率和失调度的改变来获得,该改变伴随具有 11  $\mu$ m 的深度和 1.9mm 的长度的激光加工的悬臂梁的加工位置的变化。图 44 表示,当使用激光在距离悬臂梁根部(振动器部件 23 的基底末端)1.6mm 或更多(振动器部件 23 整个长度的 4/5 或更多)的距离的位置处加工时,可以增加谐振频率而不改变失调度(93Hz)。

[0270] 根据上述结果,如图 45 所示,在每个振动器 23 的上表面 23-1 上,用于谐振频率调

整的激光器加工凹形（加工标记）90 的形成区域被设置在距离其根部的振动器部件 23 整个长度的 4/5 或更多的距离处，用于失调度调整的激光器加工凹形 8 的形成区域 80 被设置在另一部分。

[0271] 因此，将振动元件 20X 和 20Y 的谐振频率调整为任意不同值，而不改变失调度，从而容易地避免轴间串扰。同样，优选地在一个频带区域内调整每个振动元件 20X 和 20Y 的谐振频率，在该频带区域内不仅振动元件间的串扰、而且在振动元件和在主体装置上的其它电子部件之间的串扰均具有较小影响。

[0272] 第二实施例

[0273] 在该实施例中，描述了在支撑衬底 2 上的 IC 电路元件 7 的安装区域。

[0274] 如图 46 所示，IC 电路元件 7 和其它电子部件 8，还有该对振动元件 20 (20X 和 20Y) 被混合安装在支撑衬底 2 上。这些部件经常使用回流焊接来安装。

[0275] 因此，在振动元件 20 的倒装片安装之后，通过回流焊接安装诸如 IC 电路 7 之类的多管脚部件，通过热压可以弯曲支撑衬底 2，因此影响振动元件 20，从而改变振动模式且退化特征。还有，其上安装有振动元件 20 的支撑衬底通过回流焊接被安装在主体装置的控制衬底上，支撑衬底 2 和 IC 电路元件 7 之间的连接可被重新回流，从而振动元件 20 会受到支撑衬底 2 的曲率或在安装工艺中出现的类似特征的影响。

[0276] 在上述第一实施例中，如图 46 所示，IC 电路元件 7 被安装在不同于安装振动元件 20 的支撑衬底 2 的角部的角部附近。此外，其它电子部件也被安装在支撑衬底 2 的局部区域上。因此，在回流期间在支撑衬底 2 的平面上不均匀地出现热应变或热应力，从而导致不均匀热应变等作用在该对安装元件 20 的安装区域上。因此，在振动元件的检测精度之间会发生改变。

[0277] 因此，在该实施例中，如图 47 所示，IC 电路元件 7 的主安装区域被定位在连接该对振动元件 20 的安装区域的连线的中心部分。因而，施加在安装 IC 电路元件 7 的回流处理或将支撑衬底 2 安装在控制衬底上的回流处理上的热应变会均匀地分布在该对振动元件 20 上，从而抑制了振动元件的特性差异的出现。

[0278] 如图 47 所示，优选地确定 IC 电路元件的安装区域，以将具有矩形平面形状的 IC 电路元件 7 设置在该对振动元件 20 间的中心点（对称点）。然而，IC 电路元件 7 实际上可被设置在 IC 电路元件 7 的安装区域的预定区域内，这在图中作为中心示出。预定区域表示在其内支撑衬底 2 的平面被分割为第一至第四象限的区域，IC 电路元件 7 的至少一部分安装区域属于第一至第四象限中的每个。

[0279] 如图 47 所示，优选地，将其它电子元件 8 的安装区域、以及 IC 电路元件 7 的安装区域确定为均匀的或关于每个振动元件 20 对称，以使得各个安装区域包括相同数量的部件。因此，在其余电子部件 8 及 IC 元件 7 的回流处理中产生的应变可被均匀地施加在振动元件 20 上。

[0280] 图 48 示出支撑衬底 2 的回流次数和该对振动元件的输出间差异之间的关系，IC 电路元件 7 的安装区域变化。图 48 显示，当该对振动元件的输出间差异较小时，传递给各个振动元件的应变数量是均匀的，而当该对振动元件的输出间差异较大时，传递给各个振动元件的应变数量是大的。在这种情况下，在回流前输出差为零。同样，图 47 所示本发明的实施例中具有明显的效果，并且基本上不引起振动元件的输出间的差异，如与 IC 电路元件

7 被定位于支撑衬底 2 的角部的比较例（图 46）的结构相比较。

[0281] 第三实施例

[0282] 接下来,将描述本发明的第三实施例。

[0283] 图 49 示意性示出各个振动元件 20 和相应驱动检测器电路部件 50 (IC 电路元件 7) 之间的布线结构。参考电极层 27 被连接至驱动检测器电路部件 50 的 Ref 端子,以及驱动电极层 29 被连接至驱动检测器电路部件 50 的额定 Ga 端子。该对检测电极 30L 和 30R 分别被连接至驱动检测器电路部件 50 的 Gb 和 Gc 端子。

[0284] 在通常的振动陀螺传感器中,Ref 端子与 Ga 至 Gc 端子被设定为同一预定位置电势 (例如,1.35V)。也就是说,输入至驱动电极层 29 的 AC 信号的中心电势和从检测电极 30L 和 30R 输出的检测信号的中心电势被设定为与参考电极层 27 相同。因此,从检测电极 30L 和 30R 输出的检测信号表示比参考电势高和低 (正和负) 的值,从而产生随元件尺寸的减少而降低检测灵敏度的问题。

[0285] 因此,在根据该实施例的振动陀螺传感器中,连接参考电极层 27 的 Ref 端子被设定为 GND (接地) 电势。换言之,如图 50 所示,输入至驱动电极层 29 的 AC 信号的中心电势和从检测电极 30L 和 30R 输出的检测信号的中心电势被设定为比参考电极层 27 的电势高出预定电势。从而,通过预定 DC 偏压 (偏移电势) 驱动每个振动器部件 23,将所述预定 DC 偏置施加在 Ga 至 Gc 端子和 Ref 端子之间,以及从检测电极 30L 和 30R 输出的检测信号为比参考电势高的电势,从而增加 SN 比且提高检测灵敏度。

[0286] 施加在驱动电极层 29 (检测电极 30L 和 30R) 和参考电极层 27 之间的偏移电势的幅度显著影响了压电薄膜层 28 的压电特性 (输出灵敏度)。图 51 示出偏移电势和压电特性之间的关系。在该图中,偏移电势由作用在压电薄膜层 28 的电场强度 ( $V/\mu m$ ) 来表示。

[0287] 图 51 揭示假定偏移电势为 0 时压电特性为 1,当偏移电势增加时压电特性增加,但是在偏移电势为大约  $8V/\mu m$  或更大时往往减少。当偏移电势超过  $15V/\mu m$  时,压电特性减少至低于 0 偏移电势处的值。因此,在该实施例中,用于提高压电特性的偏移电势为  $15V/\mu m$  或更少,优选  $8V/\mu m$  或更少。

[0288] 图 52 示出磁滞曲线 (P-E 曲线),表示极化量随压电薄膜层 28 的外电场强度变化的变化。在参考电极层 27 和驱动电极层 29 被设定为同一电势时,施加至驱动电极层 29 的输入信号的中心电势 (工作电压) 与图 52 中所示的回路中心 (电场强度 0) 一致。另一方面,在参考电极层 27 被连接至 GND 端的实施例中,工作电压被设定在偏移至回路中心的右侧 (电场强度的正方向) 的位置。在该实施例中,偏移量也就是偏移电势为 1.35V。因此,在极化量大于压电材料的剩余极化  $P_r$  的区域中驱动压电材料,从而增加检测电极 30L 和 30R 的输出电压。

[0289] 尽管是在工作电压的偏移量 (偏移电势或偏置电势) 增加时在具有大量极化的区域中驱动压电材料,但是在极化量接近饱和极化  $P_s$  时,压电材料的驱动方向被不希望地抑制。因此,偏移量被优选为例如压电材料的矫顽电场 ( $+E_c$ ) 或更少。

[0290] 如上所述,依据该实施例,增加检测电压以允许对施加至各个振动器部件 23 的角速度或科里奥利力进行高灵敏度检测,从而与一般的传感器相比较,容易地适应振动元件 20 的尺寸减少。并且,还可以降低各个驱动检测器电路部件 50 的工作电压,从而有助于振动陀螺传感器的低功耗。

[0291] 如上所述,在本说明书中描述的振动陀螺传感器具有下面的其他特征:

[0292] 1. 一种振动陀螺传感器,包括支撑衬底,在该支撑衬底上形成具有多个焊接区的布线图案,以及安装在该支撑衬底的表面上的振动元件,其中振动元件包括具有安装表面的基底部件,在该安装表面上形成多个连接到焊接区的端子部件,以及振动器部件,该振动器部件从该基底部件的一侧整体地突出且具有与该基底部件的安装表面共面的面向衬底的表面,该振动器部件具有第一电极层,压电层和第二电极层,其依次层叠在面向衬底的表面上,以及在 AC 信号被施加在该第一和第二电极层间时振动器部件振动,AC 信号的中心电场强度被设定在从压电层的磁滞回路的中心向正方向偏移的位置。

[0293] 2. 在 1 所述的振动陀螺传感器,其中 AC 信号的中心电场强度的偏移量为  $15\text{V}/\mu\text{m}$  或更少。

[0294] 3. 在 1 所述的振动陀螺传感器,其中该第一电极层被连接至接地电势。

[0295] 4. 在 1 所述的振动陀螺传感器,其中多个振动元件被安装在支撑衬底上,以使该振动器部件具有不同的轴方向。

[0296] 5. 在 4 所述的振动陀螺传感器,其中在 1kHz 或更大的工作频率差的情况下驱动该振动元件。

[0297] 6. 在 4 所述的振动陀螺传感器,其中除了多个振动元件之外,在支撑衬底上安装电路元件和多个电子部件。

[0298] 7. 在 6 所述的振动陀螺传感器,其中电路元件包括 IC 部件,以及用于电路元件的主安装区域被定位在连接该多个振动元件的安装区域的线的中心部分。

[0299] 本领域的技术人员应当理解,在权利要求或与其等同的范围内,根据设计要求和其它因素,会出现不同的变化、组合、局部组合以及替换。

[0300] 本发明包含与 2005 年 3 月 4 日向日本专利特许厅申请的日本专利申请 JP2005-106718,2005 年 3 月 7 日向日本专利特许厅申请的日本专利申请 JP2005-063075,2005 年 6 月 29 日向日本专利特许厅申请的日本专利申请 JP2005-190234 以及 2005 年 12 月 27 日向日本专利特许厅申请的日本专利申请 JP2005-374326 相关的主题,通过引用将其全部内容在此参考。

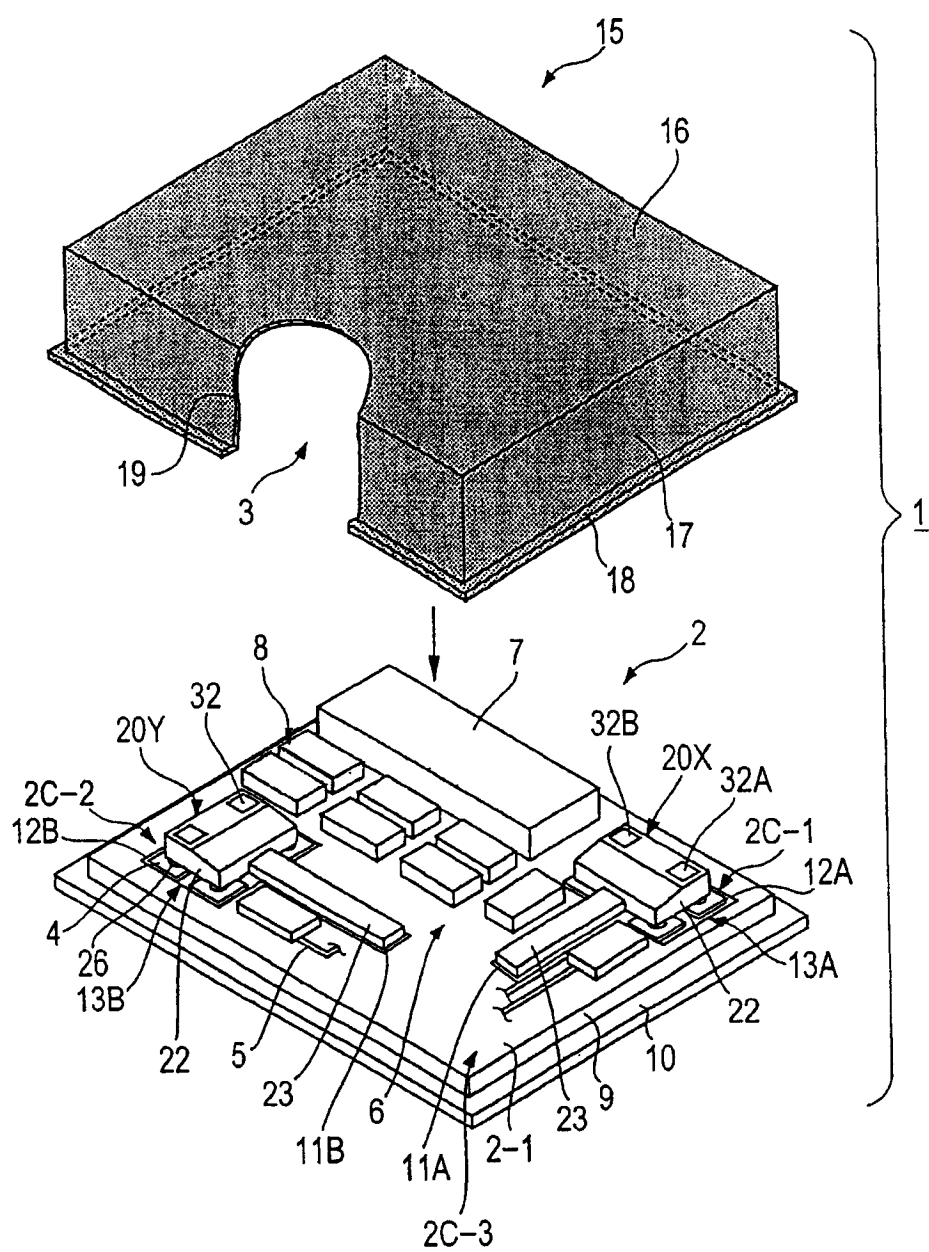


图 1

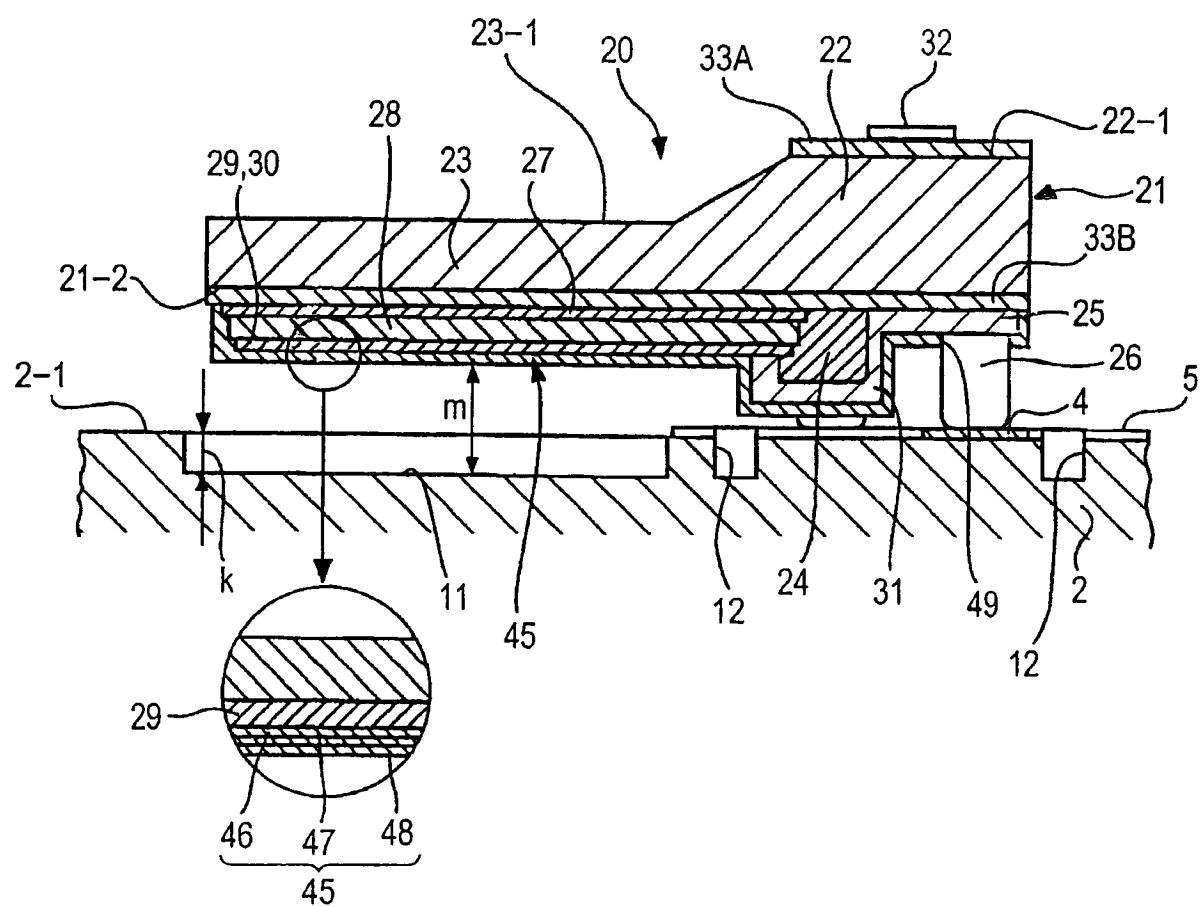


图 2

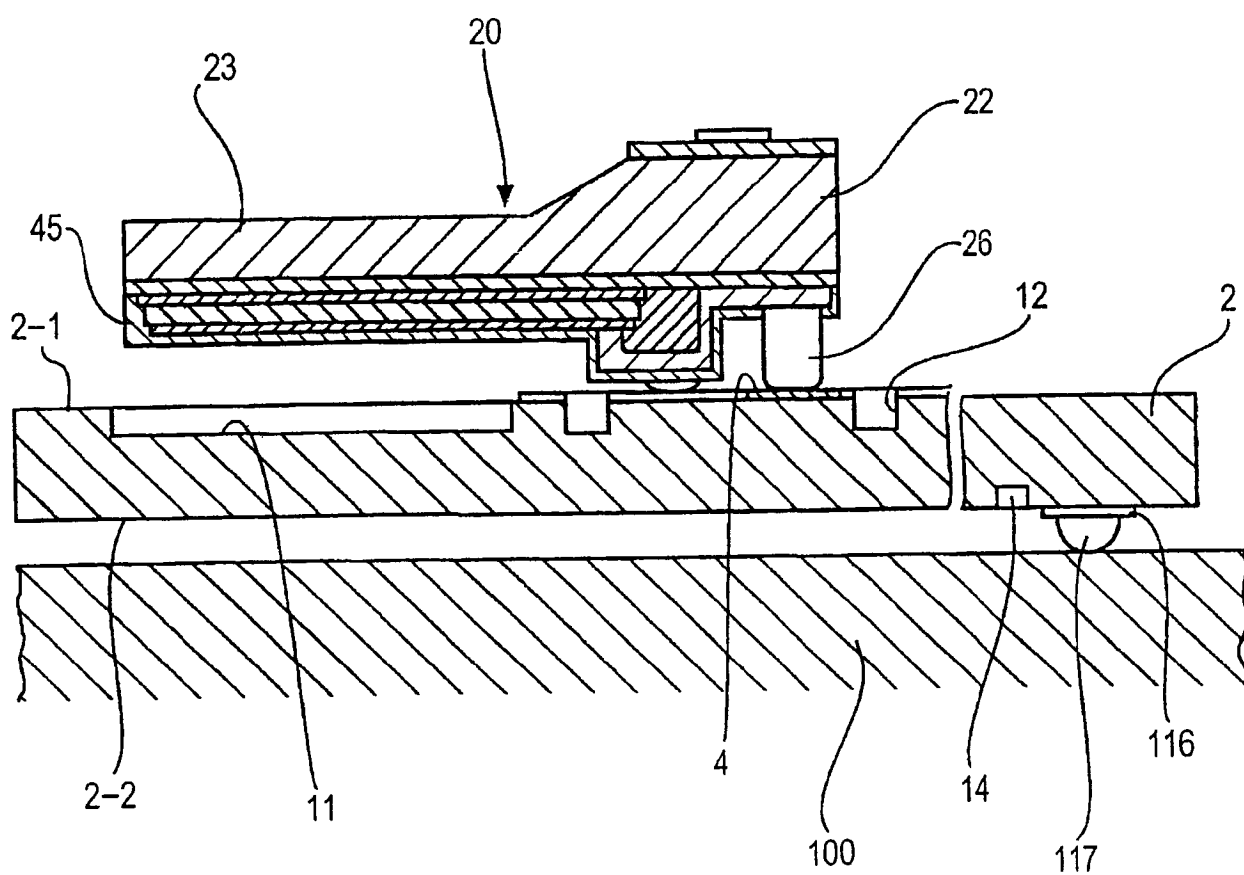


图 3

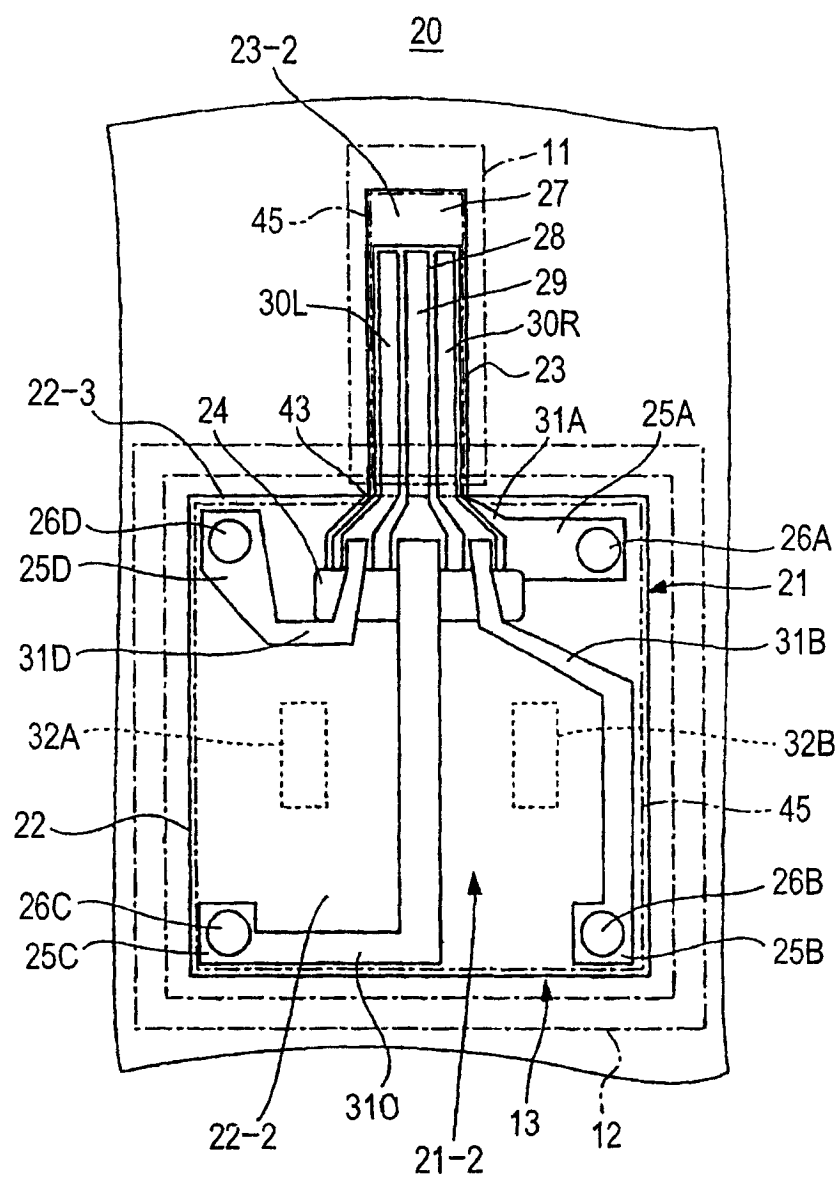


图 4

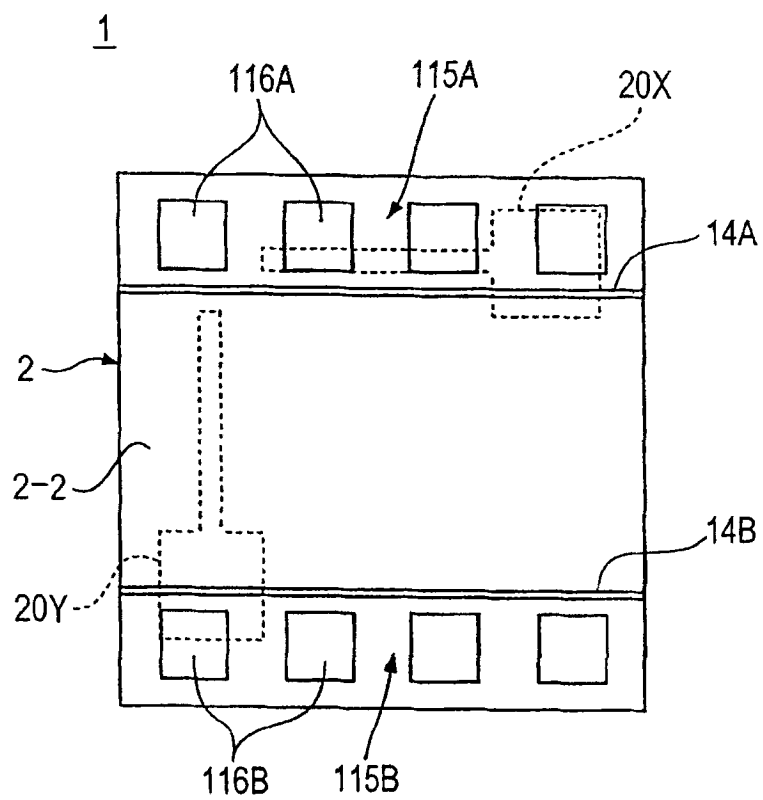


图 5

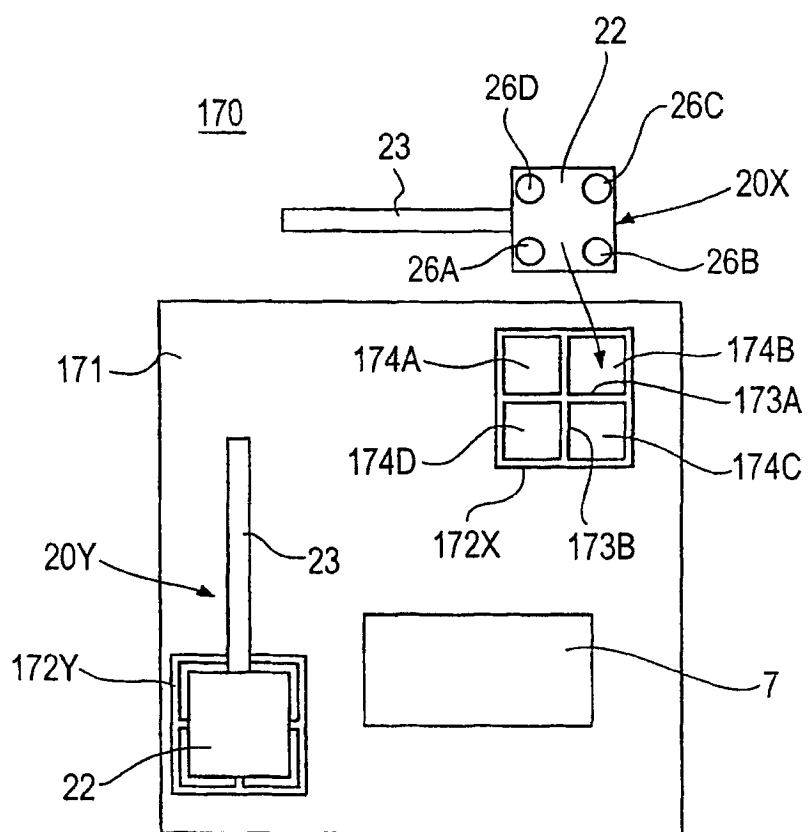


图 6

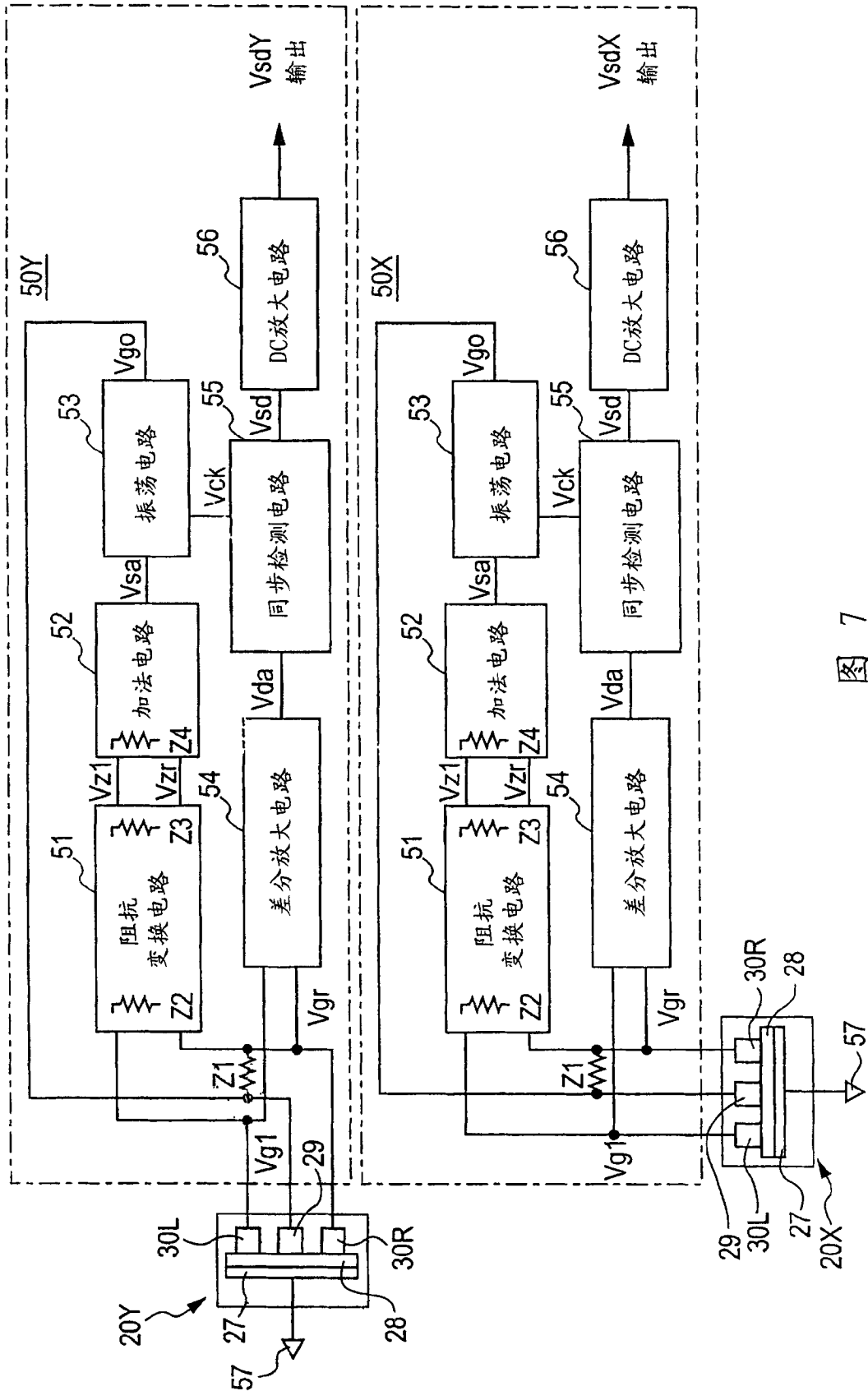


图 7

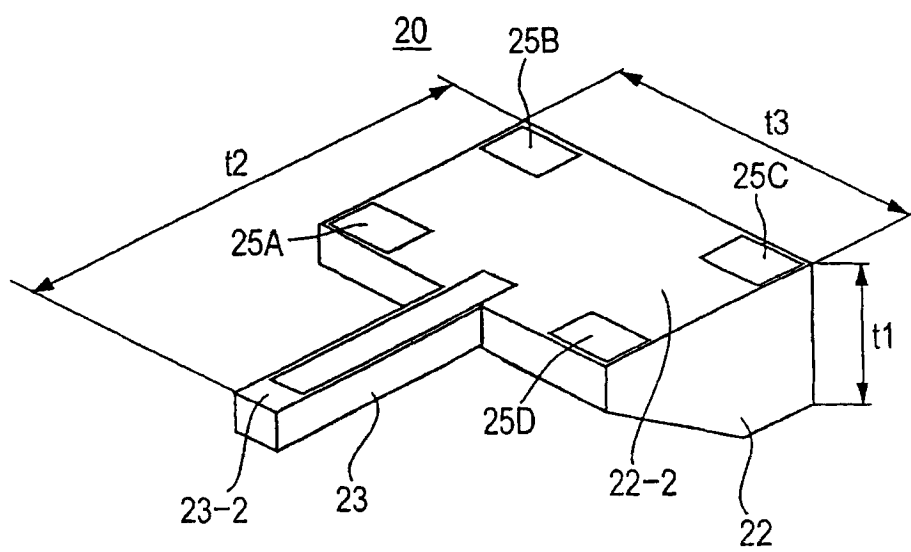


图 8

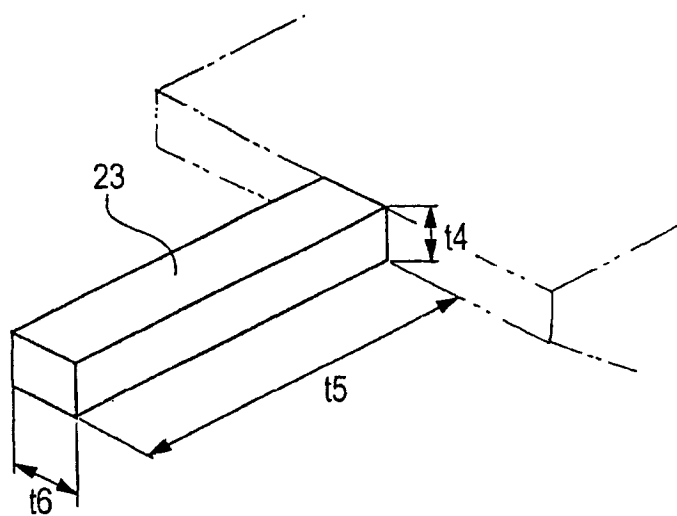


图 9

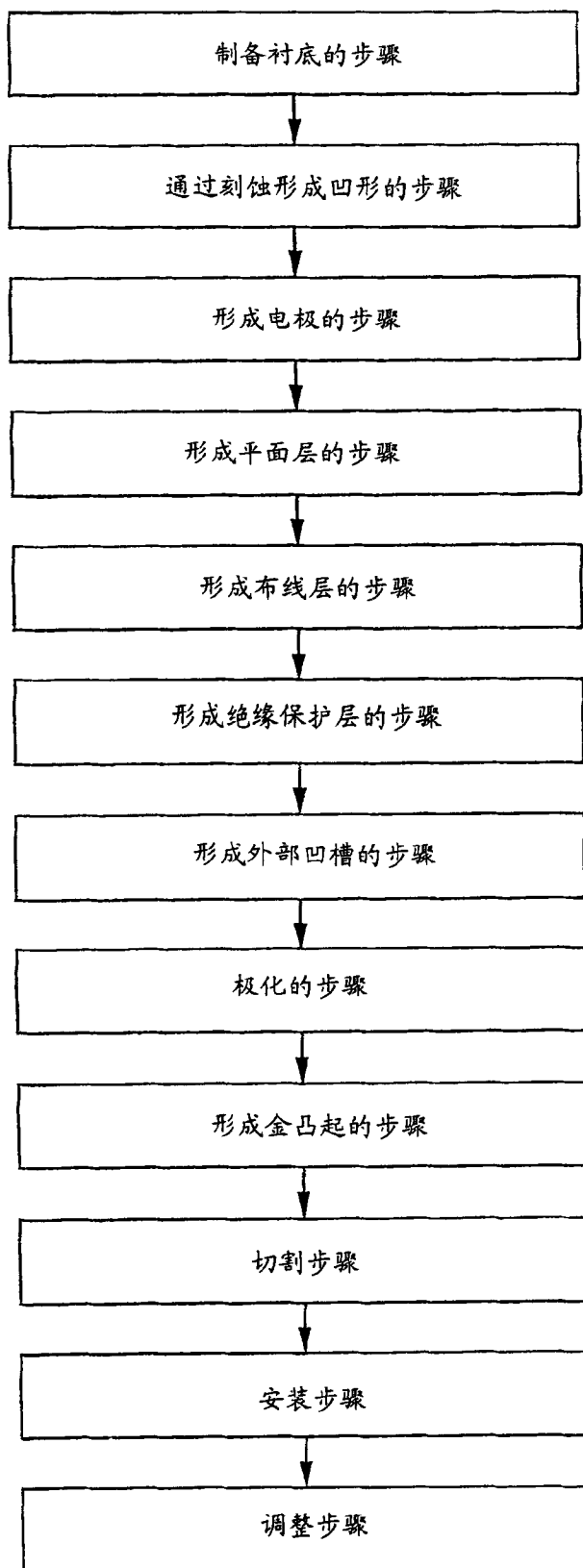


图 10

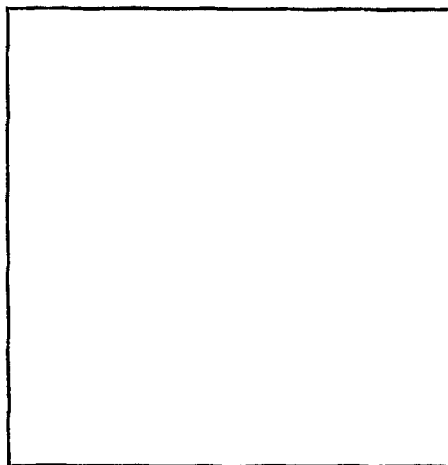


图 11

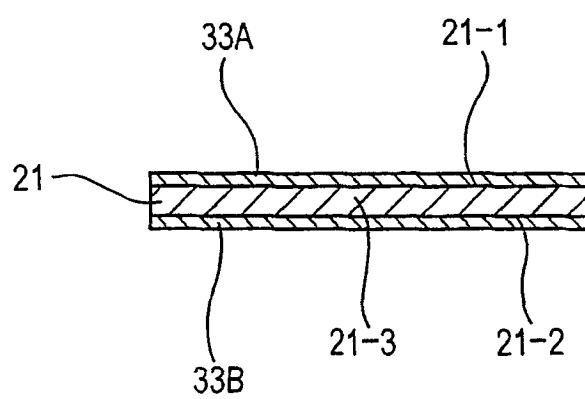


图 12

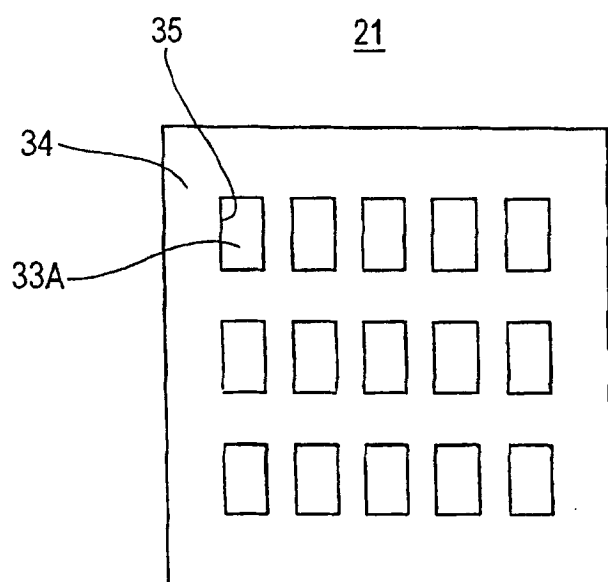


图 13

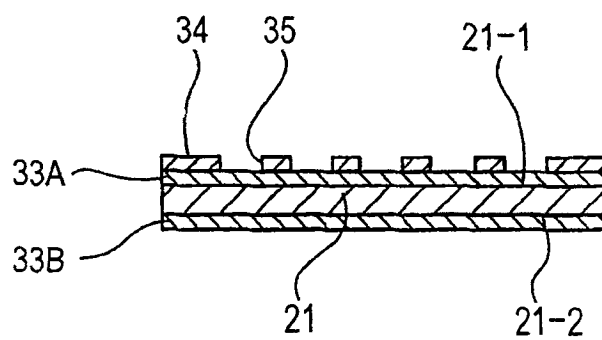


图 14

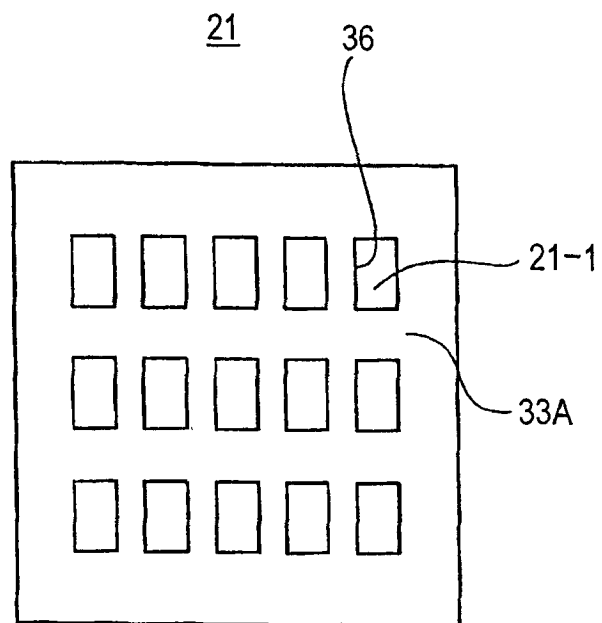


图 15

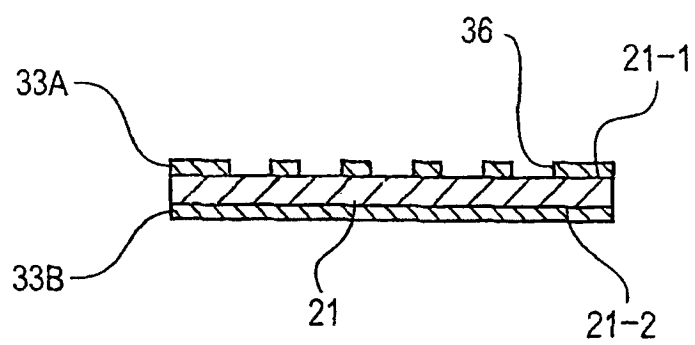


图 16

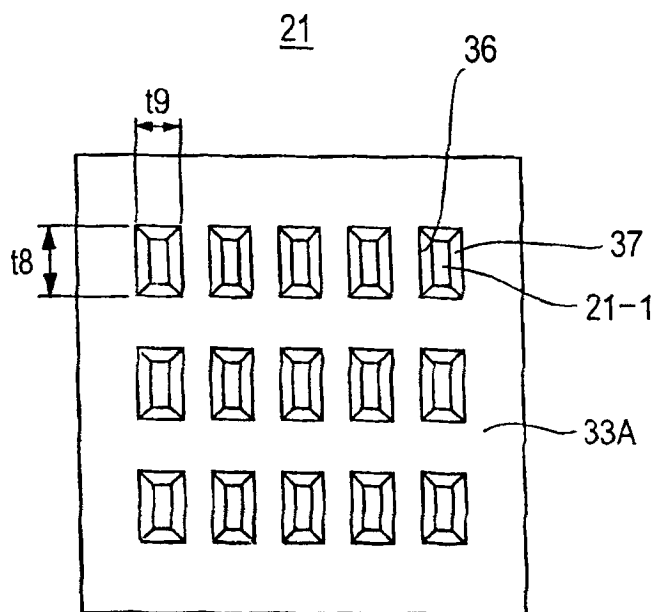


图 17

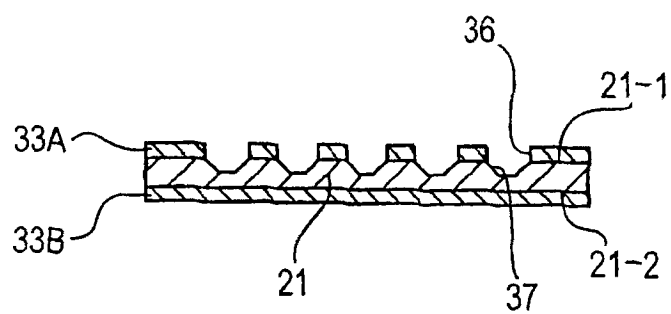


图 18

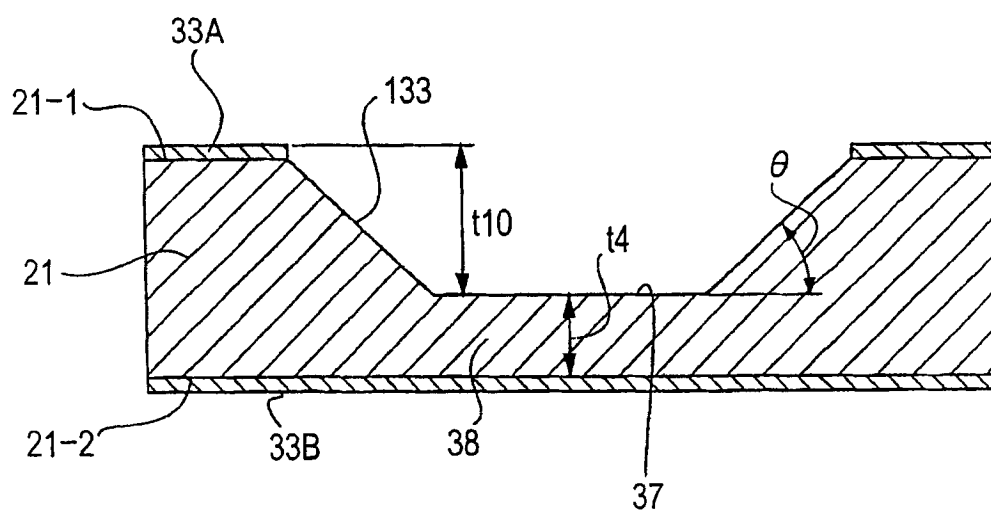


图 19

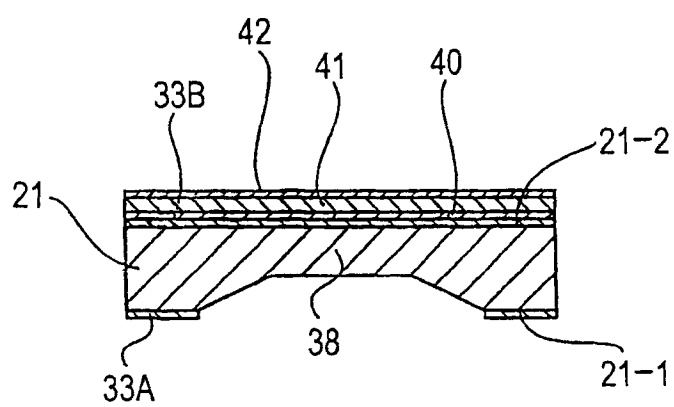


图 20

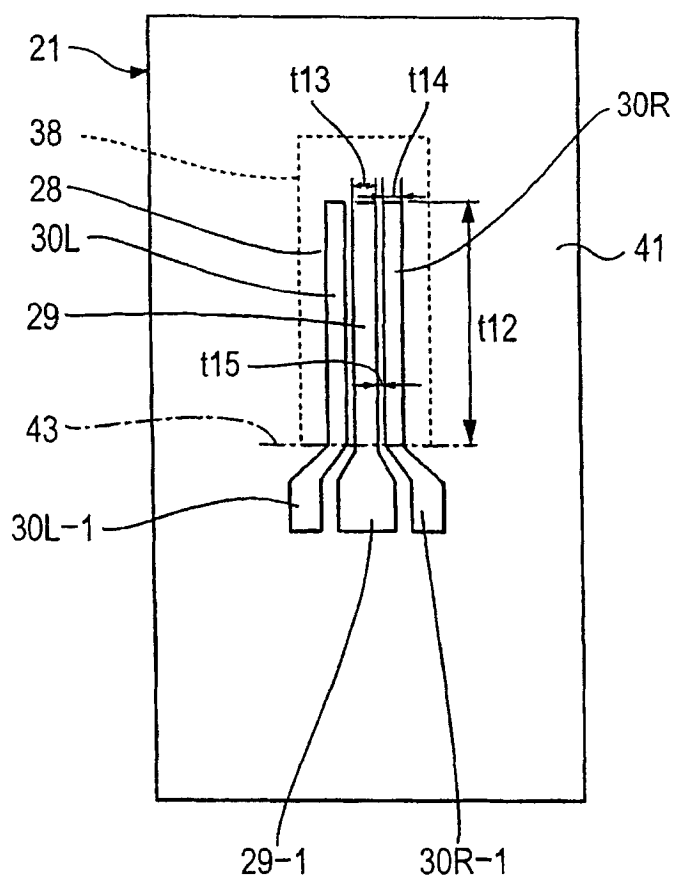


图 21

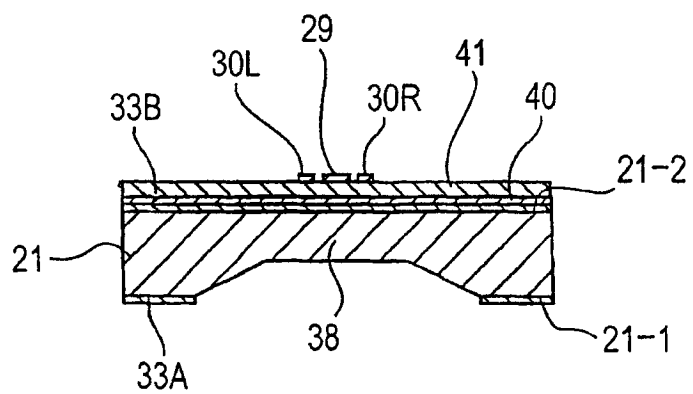


图 22

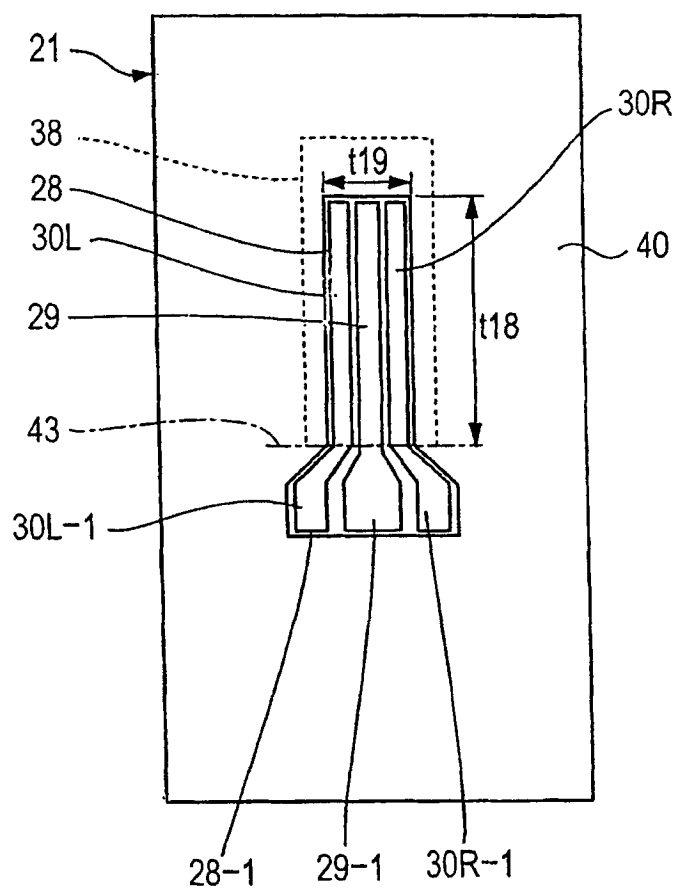


图 23

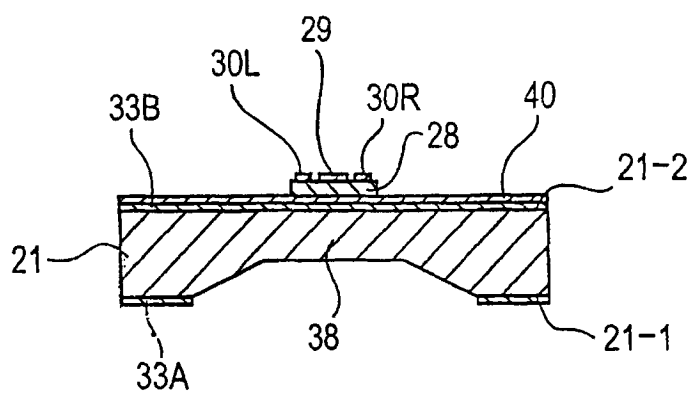


图 24

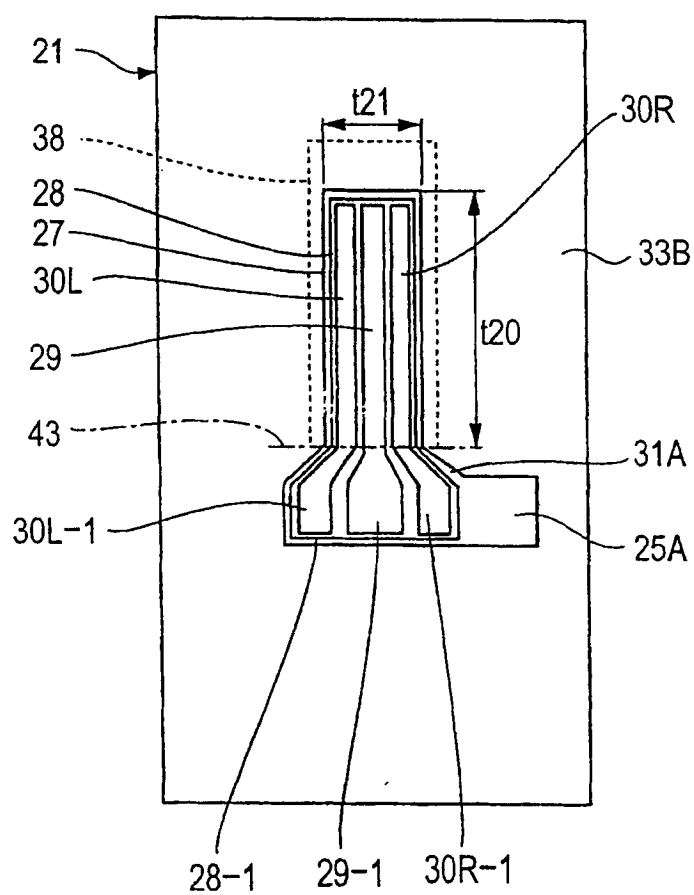


图 25

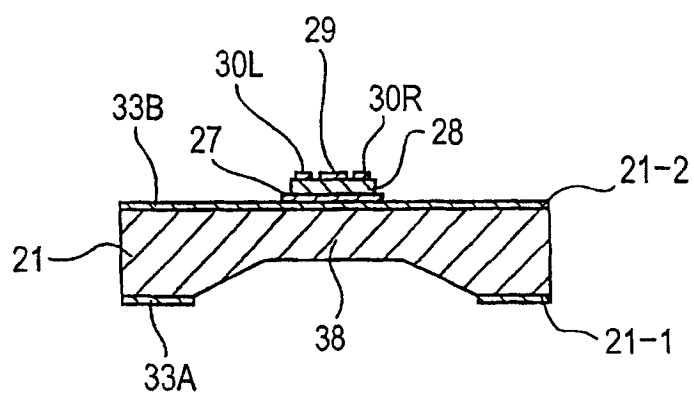


图 26

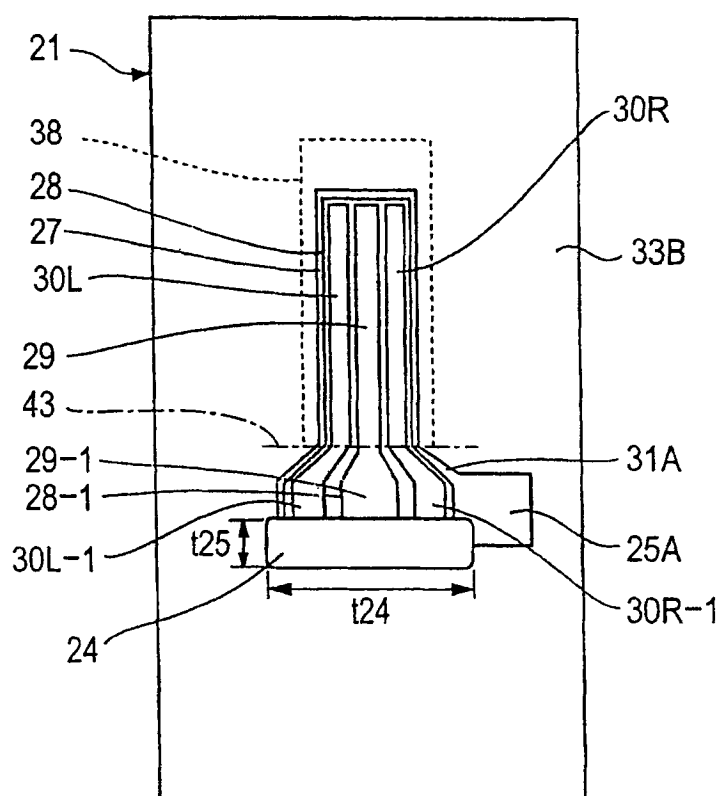


图 27

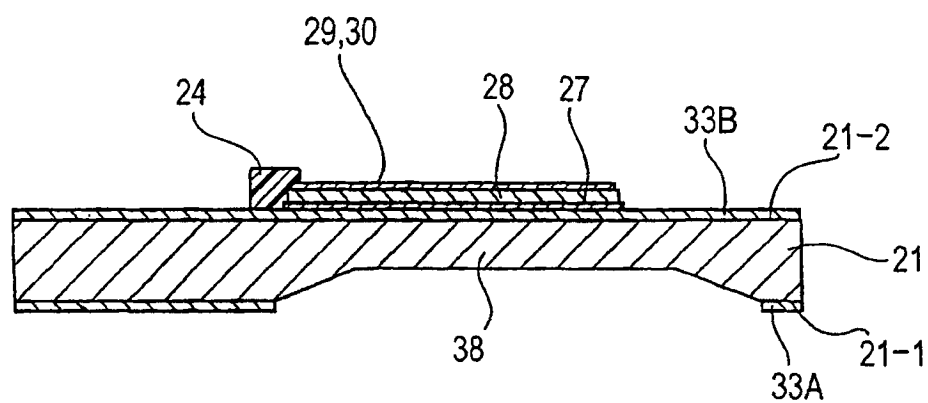


图 28

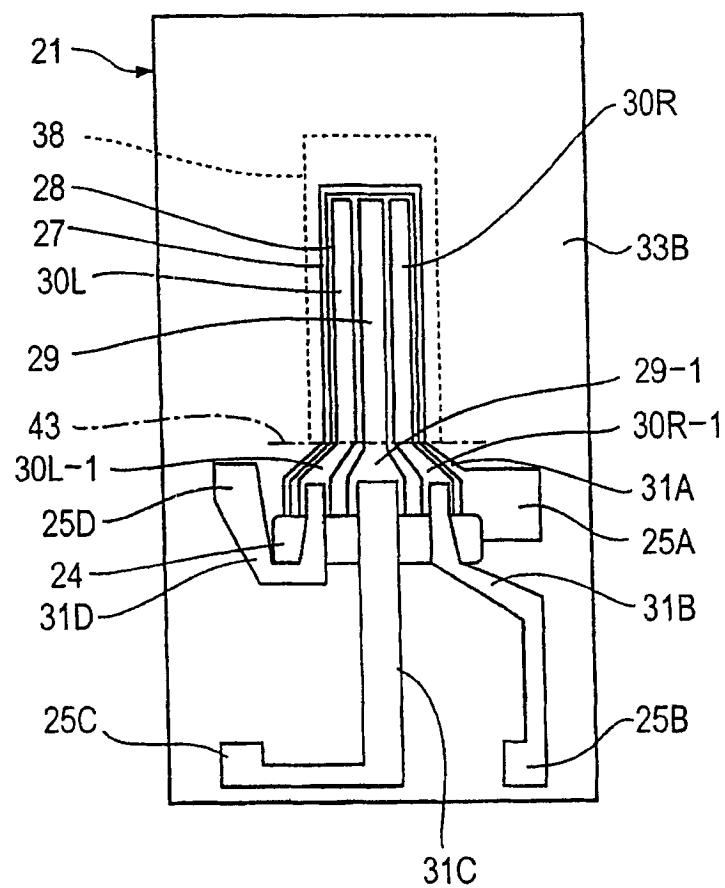


图 29

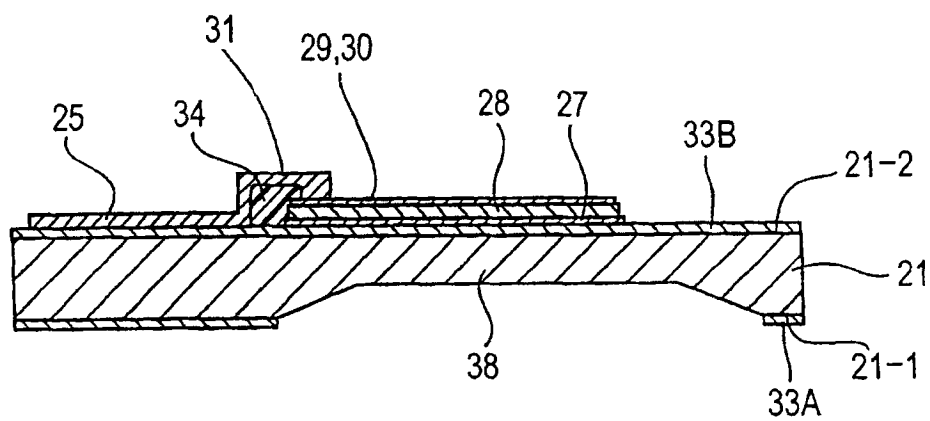


图 30

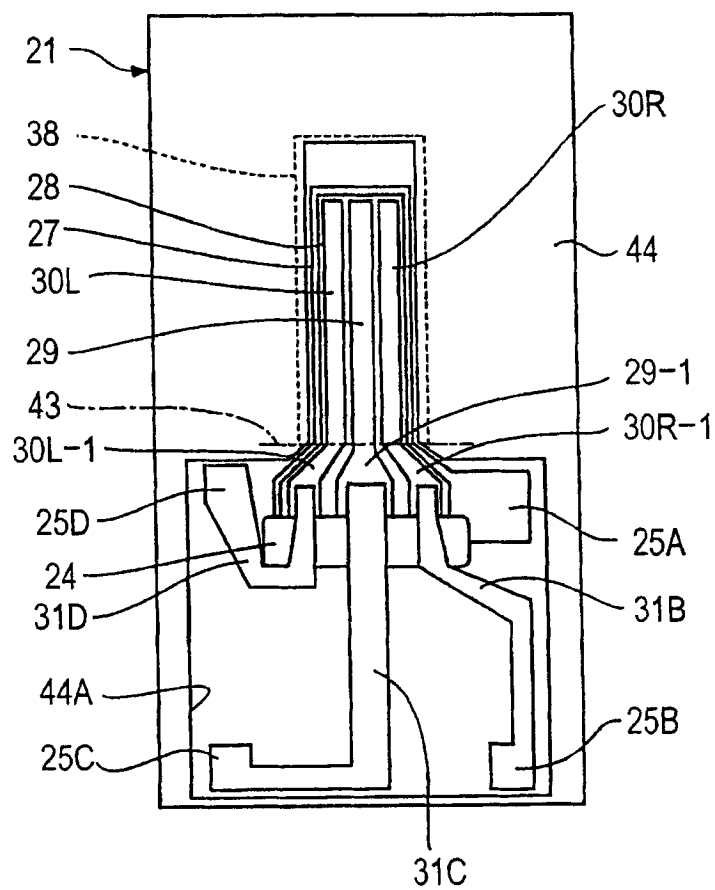


图 31

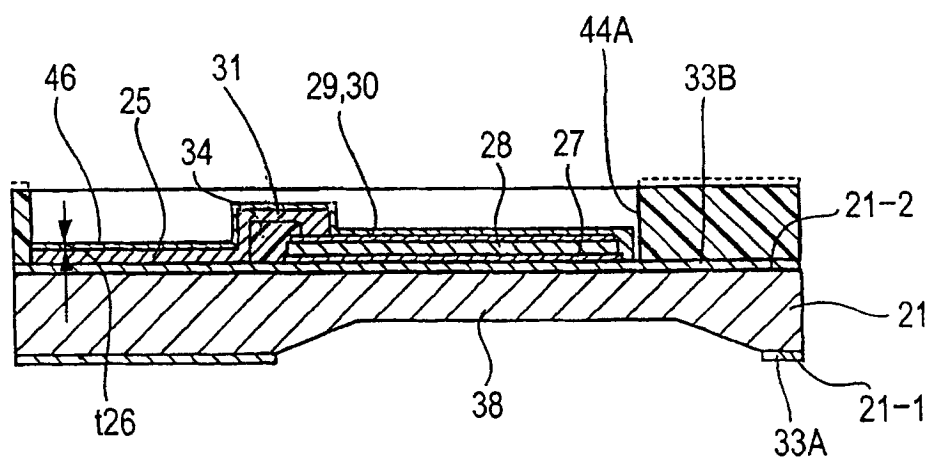


图 32

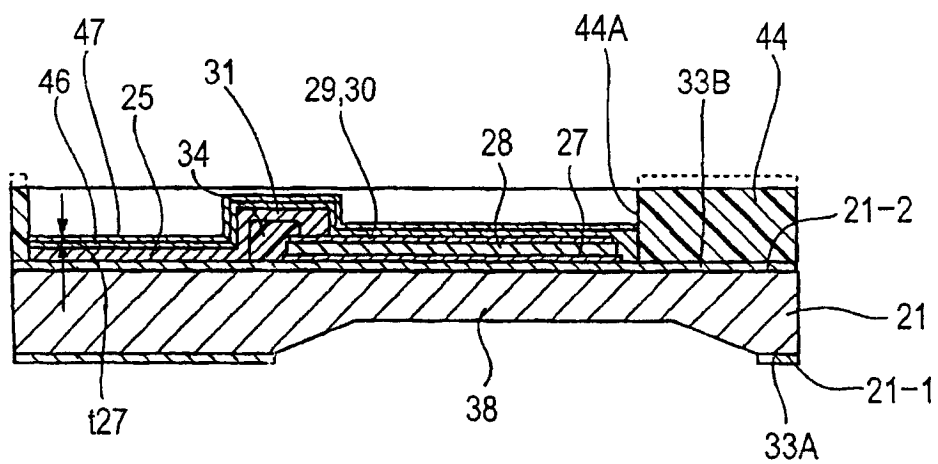


图 33

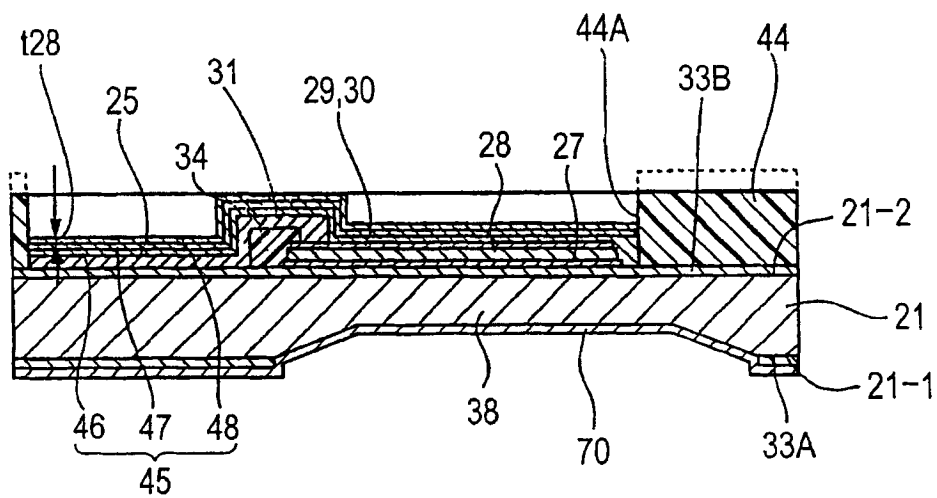


图 34

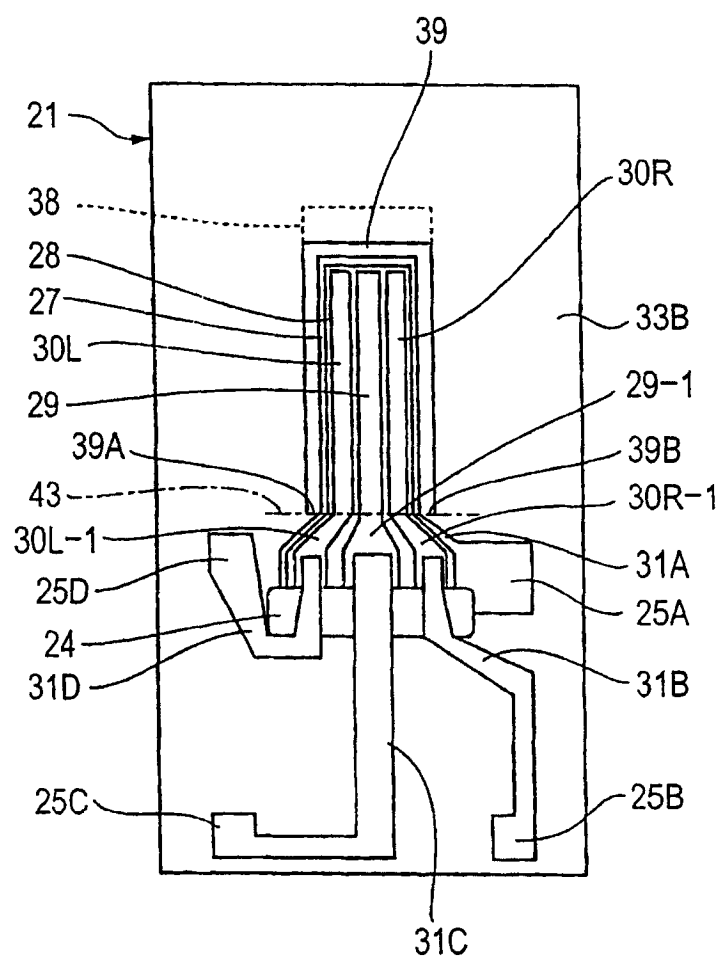


图 35

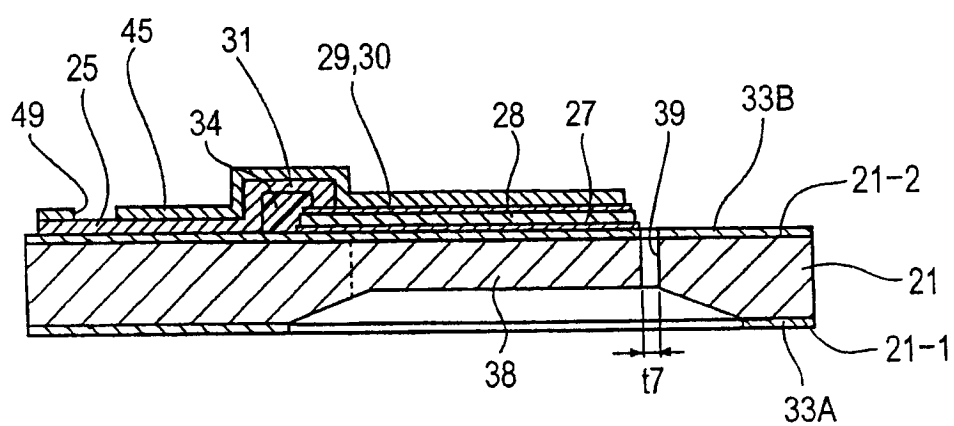


图 36

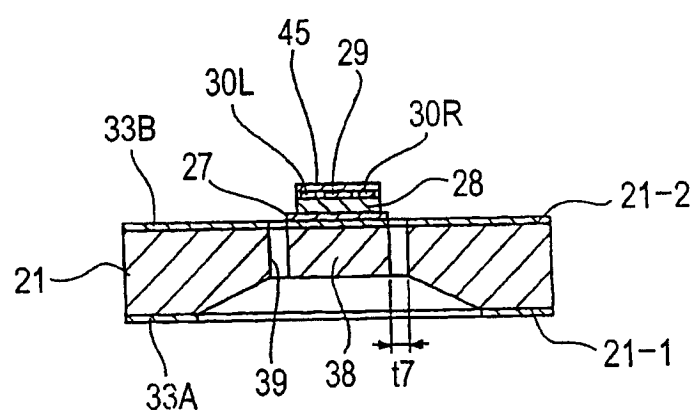


图 37

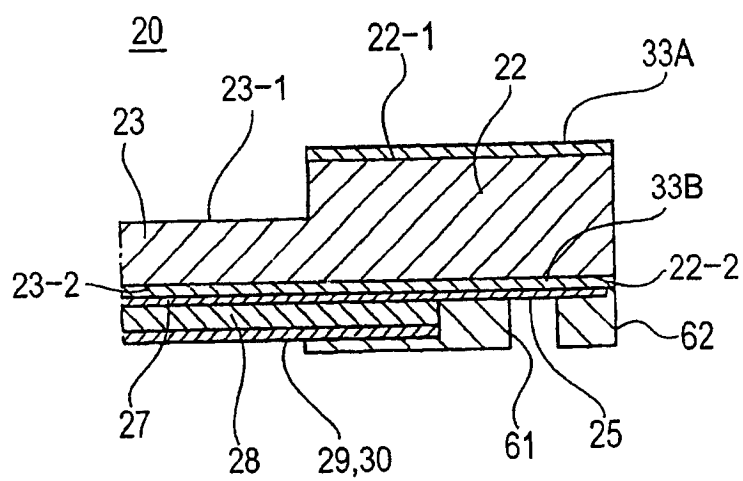


图 38A

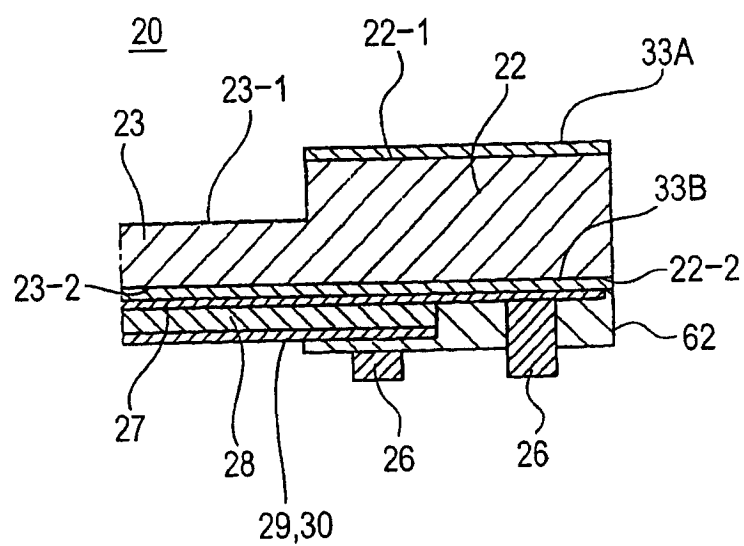


图 38B

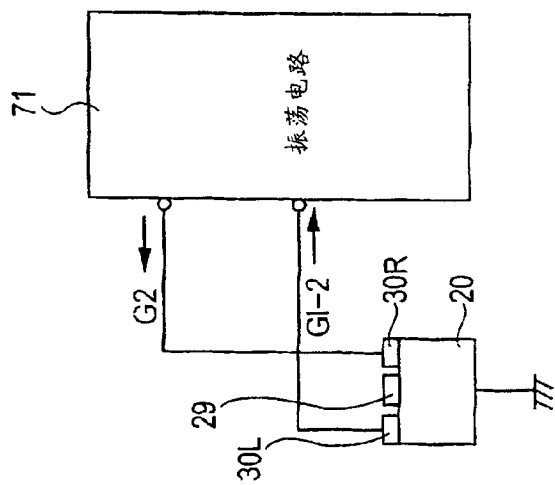


图 39C

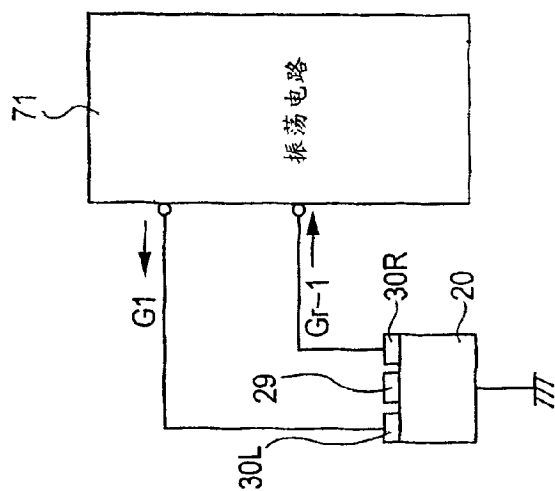


图 39B

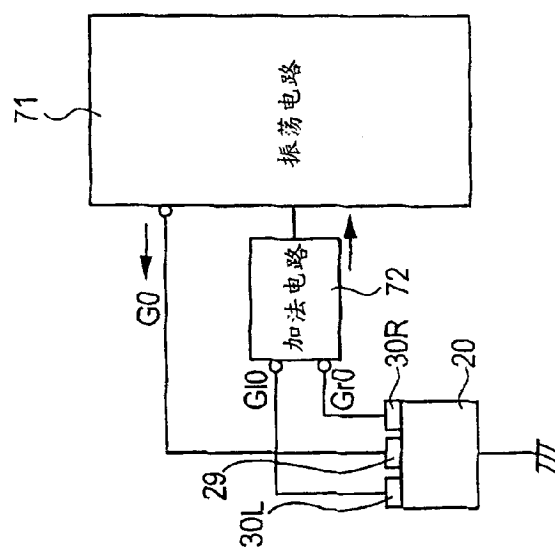


图 39A

|          | 3-cm方形衬底 | $\phi$ 4-in<br>衬底 | $\phi$ 5-in<br>衬底 |
|----------|----------|-------------------|-------------------|
| 一轴振动元件   | 60(30)   | 1200(600)         | 4000(2000)        |
| 二轴集成振动元件 | 20       | 300               | 800               |

图 40

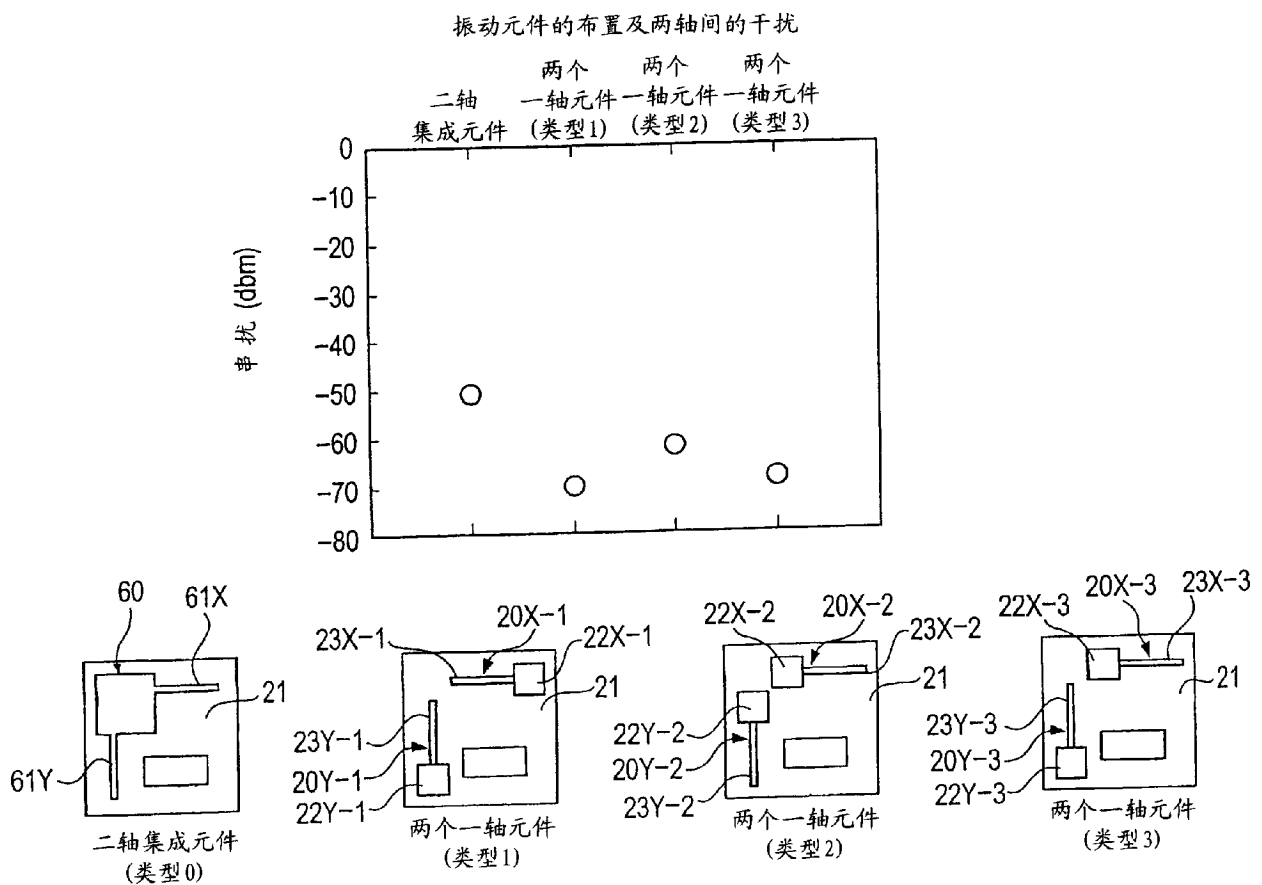


图 41

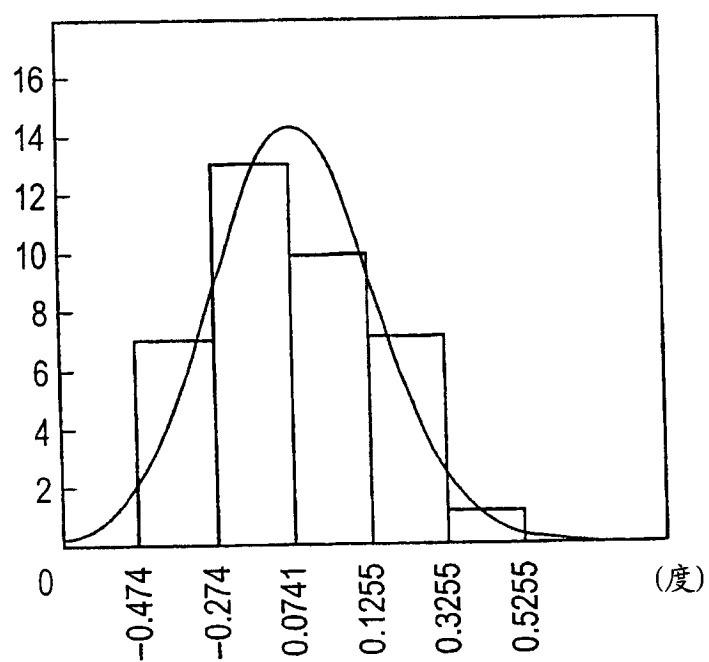


图 42A

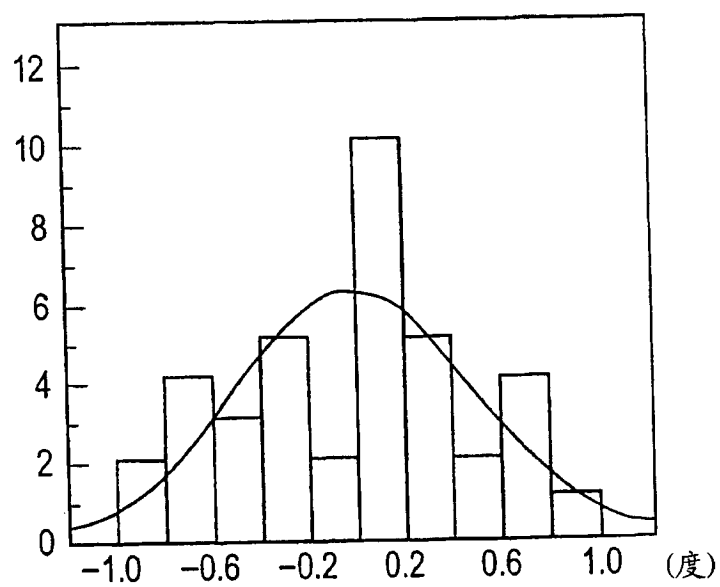


图 42B

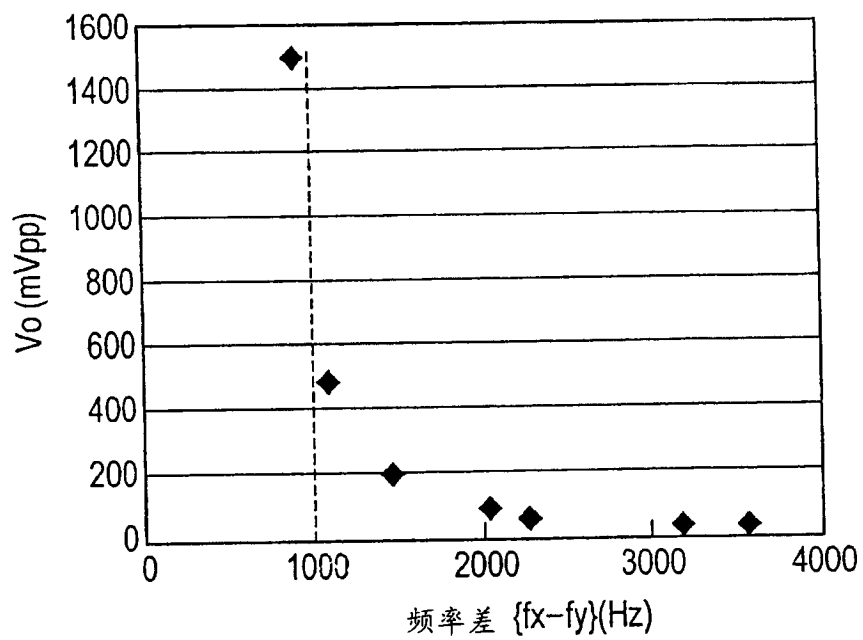


图 43

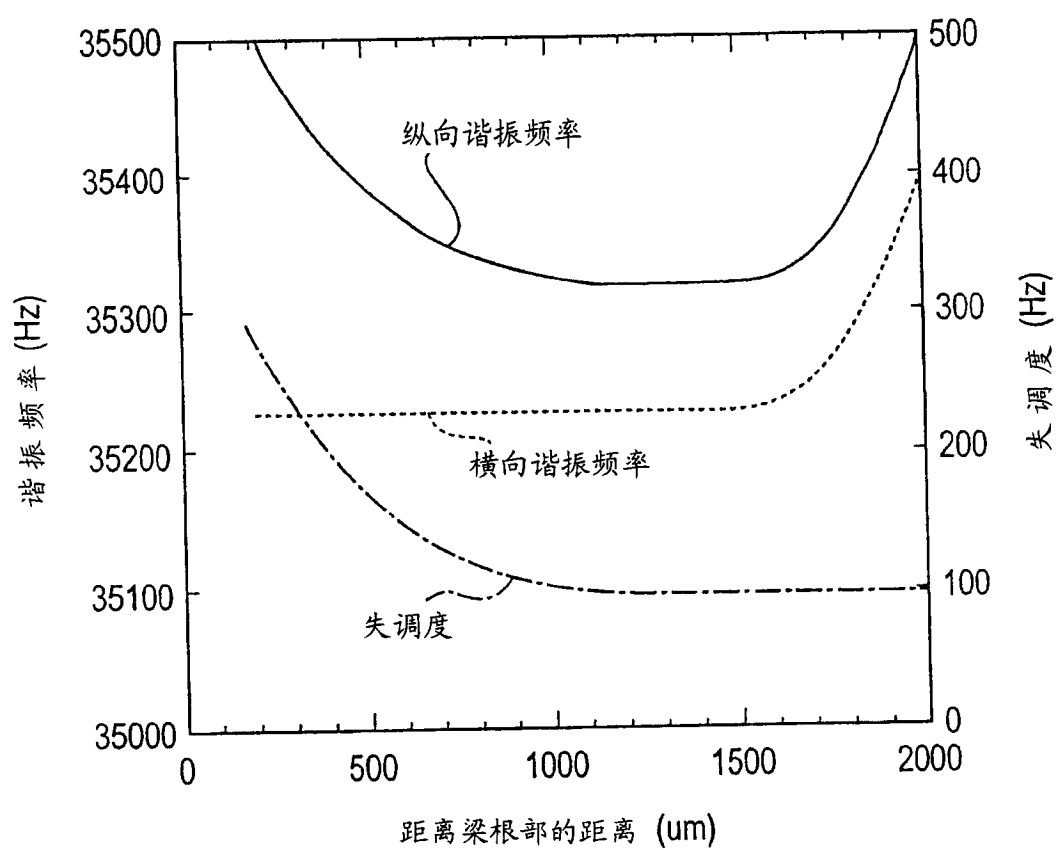


图 44

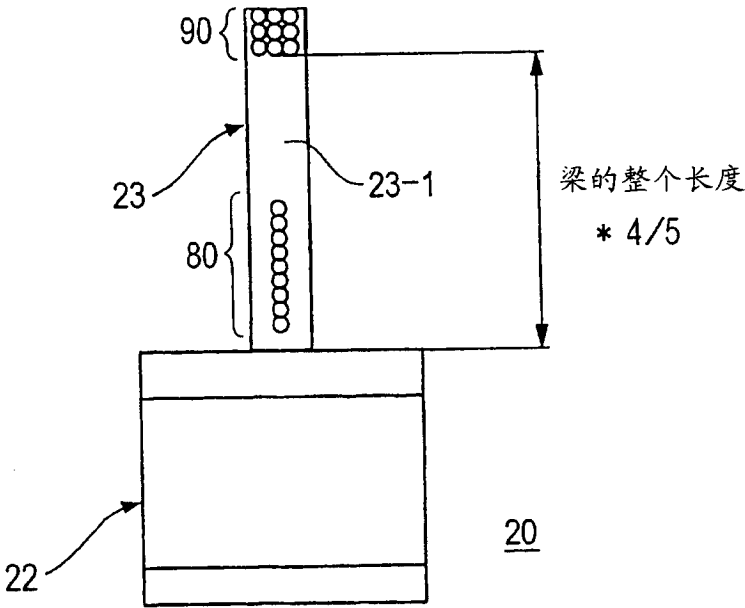
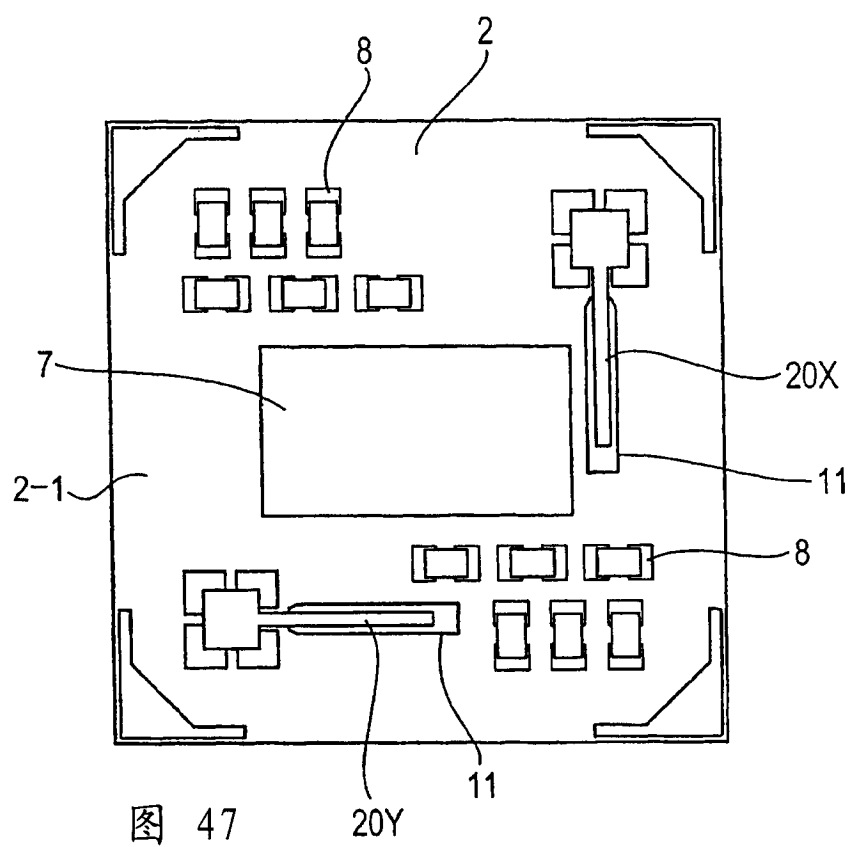
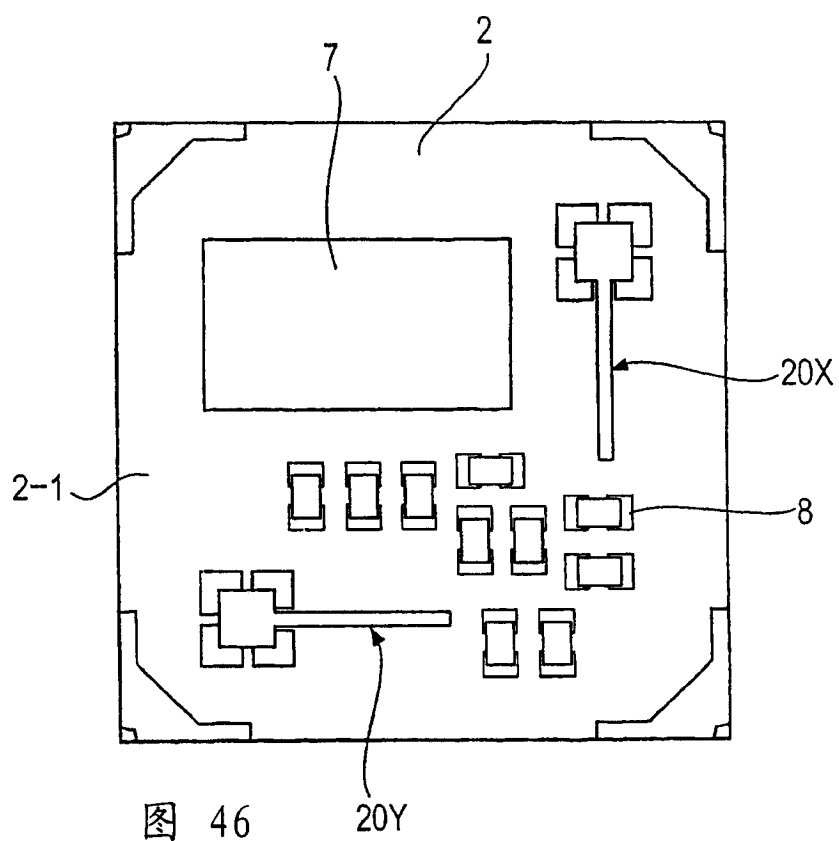


图 45



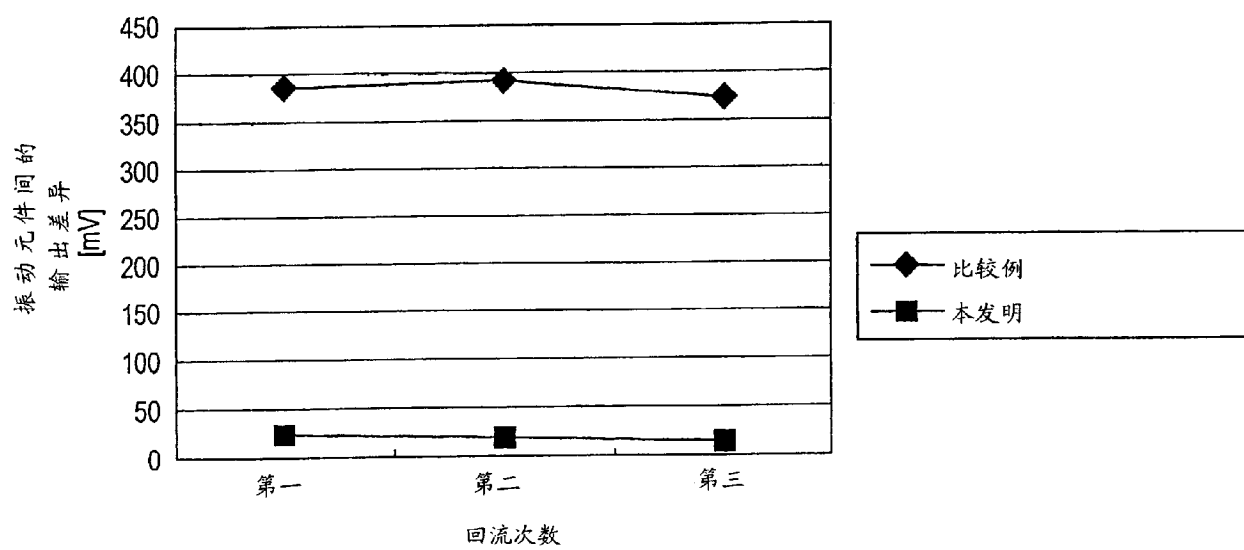


图 48

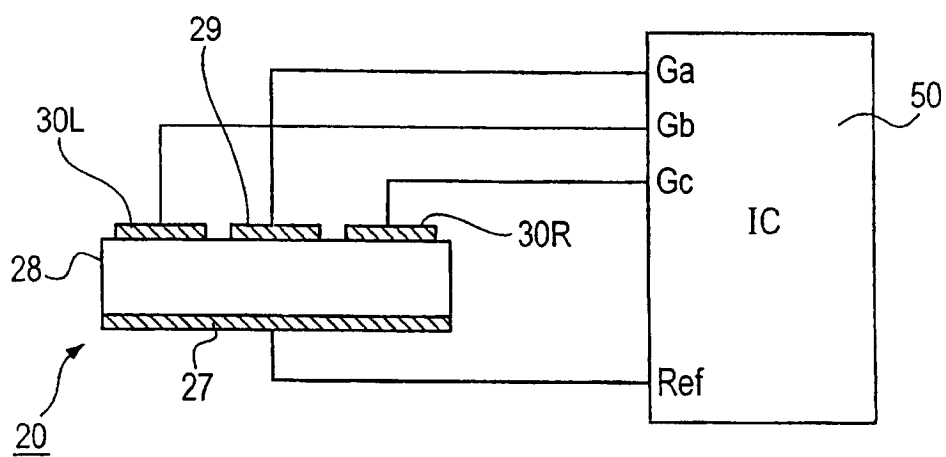


图 49

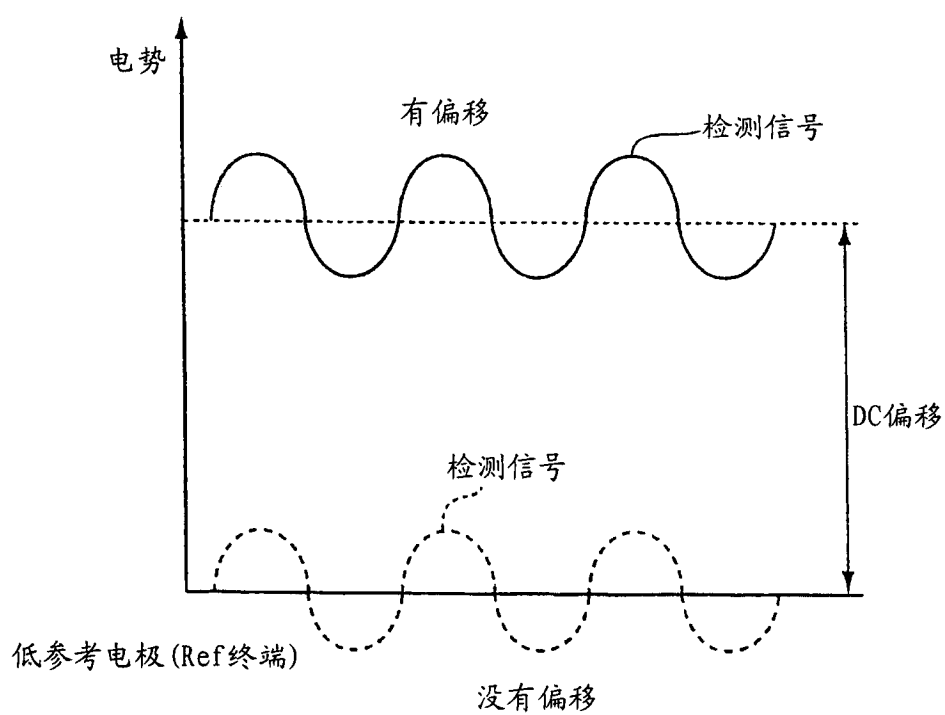


图 50

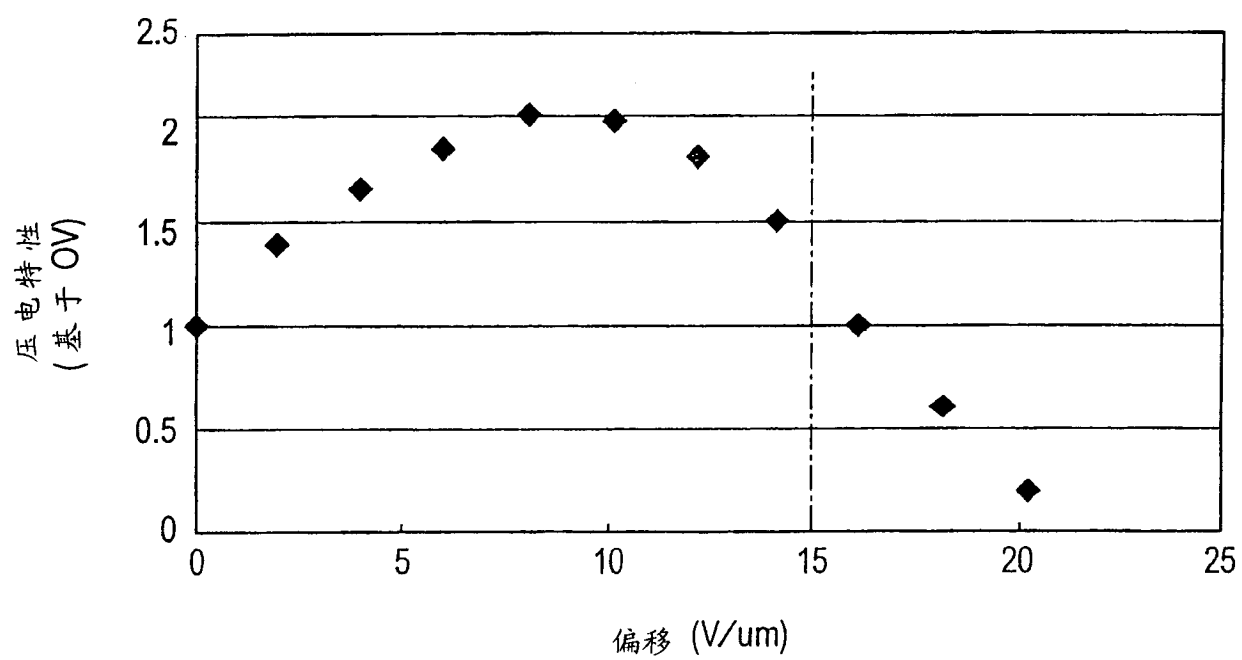
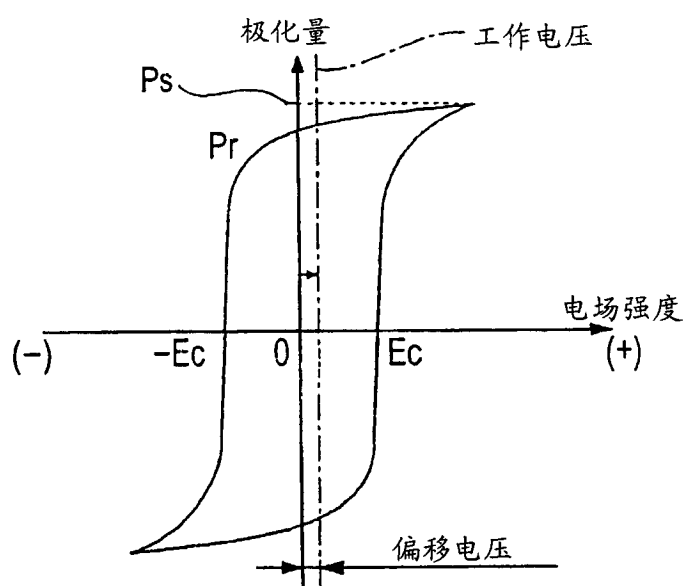


图 51



压电材料的磁滞回路  
(P-E曲线)

图 52