



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118402181 A

(43) 申请公布日 2024. 07. 26

(21) 申请号 202280083208.7

(22) 申请日 2022.08.08

(30) 优先权数据

2021-203493 2021.12.15 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.06.14

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/030297 2022.08.08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/112380 JA 2023.06.22

(71) 申请人 株式会社村田制作所

地址 日本

(72) 发明人 河合良太 远藤史也

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理师 王海奇

(51) Int.Cl.

H03H 9/24 (2006.01)

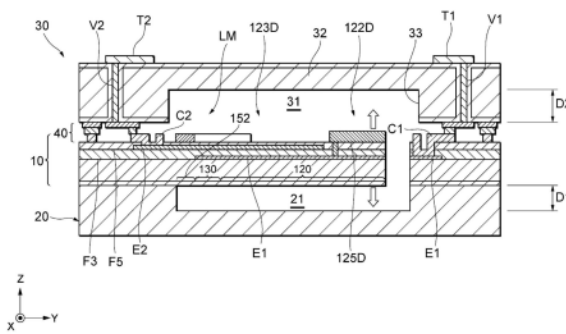
权利要求书1页 说明书12页 附图11页

(54) 发明名称

谐振子以及谐振装置

(57) 摘要

本发明提供能够抑制主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的产生的谐振子以及谐振装置。谐振子(10)具备:振动部(110),包括多个振动臂(121)和基部(130),其中,上述多个振动臂(121)为三根以上且分别具有固定端,至少两根以不同的相位进行面外弯曲,上述基部(130)具有供多个振动臂(121)各自的固定端连接的一端和与该一端对置的另一端;保持部(140),构成为保持振动部(110);以及支承臂(151),一端与保持部(140)连接,另一端与基部(130)的另一端连接,支承臂(151)具有构成为使支承臂(151)的振动中的Q值降低的降低膜(LM)。



1. 一种谐振子,具备:

振动部,包括多个振动臂和基部,其中,所述多个振动臂为三根以上且分别具有固定端,至少两根以不同的相位进行面外弯曲,所述基部具有供所述多个振动臂各自的所述固定端连接的一端和与该一端对置的另一端;

保持部,构成为保持所述振动部;以及

支承臂,所述支承臂的一端与所述保持部连接,所述支承臂的另一端与所述基部的所述另一端连接,

所述支承臂具有降低膜,所述降低膜构成为使所述支承臂的振动中的Q值降低。

2. 根据权利要求1所述的谐振子,其中,

包括所述降低膜在内的所述支承臂的厚度比所述多个振动臂各自的臂部的厚度大。

3. 根据权利要求1或2所述的谐振子,其中,

所述降低膜由与所述多个振动臂各自的臂部的材料不同的材料构成。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的谐振子,其中,

所述支承臂包括支承侧臂和支承后臂,所述支承后臂的一端与所述支承侧臂连接,所述支承后臂的另一端与所述基部的所述另一端连接,

所述降低膜形成在所述支承后臂上。

5. 一种谐振装置,

具备权利要求1~4中任一项所记载的谐振子。

6. 根据权利要求5所述的谐振装置,其中,

还具备:

盖体;和

接合部,将所述谐振子和所述盖体接合,

所述降低膜包含由所述接合部的材料构成的层。

## 谐振子以及谐振装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及多个振动臂以面外弯曲振动模式振动的谐振子以及谐振装置。

### 背景技术

[0002] 以往,使用了MEMS(Micro Electro Mechanical Systems:微机电系统)技术的谐振装置例如用作定时设备。该谐振装置安装在装入智能手机等电子设备内的印刷电路基板上。谐振装置具备:下侧基板、在与下侧基板之间形成腔室的上侧基板、以及在下侧基板与上侧基板之间配置于腔室内的谐振子。

[0003] 例如,在专利文献1中公开了一种谐振子,在微调谐振子的谐振频率的频率调整工序中,使振动臂过激振,从而振动臂的前端的调整膜与上侧基板或者下侧基板碰撞,从而使谐振频率变化。

[0004] 专利文献1:国际公开第2016/175218号。

[0005] 另一方面,在振动臂以主模式振动时,在支承臂等振动臂以外的部分产生寄生模式的振动。若满足某种条件,则有时主模式的振动和寄生模式的振动耦合。

[0006] 若产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合,则例如有谐振频率较大地变动、等效串联电阻增加等的风险。

### 发明内容

[0007] 本发明是鉴于这样的情况而完成的,其目的之一在于提供能够抑制主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的产生的谐振子以及谐振装置。

[0008] 本发明的一方面所涉及的谐振子具备:振动部,包括多个振动臂和基部,其中,上述多个振动臂为三根以上且分别具有固定端,至少两根以不同的相位进行面外弯曲,上述基部具有供多个振动臂各自的固定端连接的一端和与该一端对置的另一端;保持部,构成为保持振动部;以及支承臂,一端与保持部连接,另一端与基部的另一端连接,支承臂具有构成为使支承臂的振动中的Q值降低的降低膜。

[0009] 本发明的一方面所涉及的谐振装置具备上述的谐振子。

[0010] 根据本发明,能够抑制主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的产生。

### 附图说明

[0011] 图1是简要地表示一个实施方式中的谐振装置的外观的立体图。

[0012] 图2是简要地表示图1所示的谐振装置的构造的分解立体图。

[0013] 图3是简要地表示图2所示的谐振子的构造的俯视图。

[0014] 图4是简要地表示图1所示的谐振装置的层叠构造的沿着X轴的剖视图。

[0015] 图5是简要地表示图1所示的谐振装置的层叠构造的沿着Y轴的剖视图。

[0016] 图6是用于说明图3所示的谐振子的尺寸的俯视图。

[0017] 图7是表示假想的谐振子中的输入电压和频率变化率的关系的图表。

- [0018] 图8是表示假想的谐振子中的输入电压和等效串联电阻的关系的图表。
- [0019] 图9是表示假想的谐振子中的频率比和耦合驱动电平的关系的图表。
- [0020] 图10是简要地表示图3所示的支承后臂的周边的结构的主要部分放大剖视图。
- [0021] 图11的图表是表示支承臂的周边的结构和耦合驱动电平的关系的图表。

### 具体实施方式

[0022] 以下对本发明的实施方式进行说明。在以下的附图的记载中,用相同或者类似的附图标记表示相同或者类似的构成要素。附图是例示,各部的尺寸、形状是示意性的,不应该将本发明的技术范围限定于该实施方式来理解。

[0023] 首先,参照图1以及图2并对根据一个实施方式的谐振装置的简要结构进行说明。图1是简要地表示一个实施方式中的谐振装置1的外观的立体图。图2是简要地表示图1所示的谐振装置1的构造的分解立体图。

[0024] 谐振装置1具备下盖20、谐振子10以及上盖30。即,谐振装置1通过按照下盖20、谐振子10、后述的接合部40以及上盖30的顺序将它们依次层叠而构成。下盖20以及上盖30配置为隔着谐振子10而相互对置。此外,上盖30相当于本发明的“盖体”的一个例子。

[0025] 在以下,对谐振装置1的各结构进行说明。此外,在以下的说明中,将谐振装置1中的设置有上盖30的一侧作为上(或者表)、将设置有下盖20的一侧作为下(或者背)进行说明。

[0026] 谐振子10是使用MEMS技术制造的MEMS振子。该MEMS振子例如被应用于定时设备、RF滤波器、双工器、超声波换能器、角速度传感器(陀螺传感器)、加速度传感器等。另外,也可以用于具有致动器功能的压电反射镜、压电陀螺、具有压力传感器功能的压电麦克风、超声波振动传感器等。并且,也可以应用于静电MEMS振子、电磁驱动MEMS振子、压阻式MEMS振子。

[0027] 谐振子10和下盖20及上盖30接合为密封谐振子10并形成谐振子10的振动空间。另外,谐振子10和下盖20及上盖30分别使用硅(Si)基板(以下,称为“Si基板”)而形成,Si基板彼此相互接合。此外,谐振子10、下盖20以及上盖30也可以分别使用层叠有硅层以及氧化硅膜的SOI(Silicon On Insulator:绝缘体上硅)基板而形成。

[0028] 下盖20具备:沿着XY平面设置的矩形平板状的底板22;从底板22的周缘部向Z轴方向亦即下盖20和谐振子10的层叠方向延伸的侧壁23。在下盖20,在与谐振子10对置的面形成有由底板22的表面和侧壁23的内表面划定的凹部21。凹部21形成谐振子10的振动空间的至少一部分。此外,下盖20也可以是不具有凹部21的平板状的结构。另外,也可以在下盖20的凹部21的谐振子10侧的面形成有吸气层。

[0029] 另外,下盖20具备形成于底板22的表面的突起部50。后述突起部50的详细结构。

[0030] 上盖30具备:沿着XY平面设置的矩形平板状的底板32、从底板32的周缘部向Z轴方向延伸的侧壁33。在上盖30,在与谐振子10对置的面形成有由底板32的表面和侧壁33的内表面划定的凹部31。凹部31形成供谐振子10振动的空间亦即振动空间的至少一部分。此外,上盖30也可以是不具有凹部31的平板状的结构。另外,也可以在上盖30的凹部31的谐振子10侧的面形成有吸气层。

[0031] 通过将上盖30、谐振子10以及下盖20接合,来气密地密封谐振子10的振动空间,维

持真空状态。也可以在该振动空间填充例如惰性气体等气体。

[0032] 接下来,参照图3并对根据第一实施方式的谐振子的简要结构进行说明。图3是简要地表示图2所示的谐振子10的构造的俯视图。

[0033] 如图3所示,谐振子10是使用MEMS技术制造的MEMS振子,在图3的正交坐标系中的XY平面内以面外弯曲振动模式为主振动(以下,也称为“主模式”)进行振动。

[0034] 谐振子10具备振动部110、保持部140以及支承臂151。

[0035] 振动部110具有沿着图3的正交坐标系中的XY平面扩展的矩形的轮廓。振动部110配置在保持部140的内侧,在振动部110与保持部140之间,以规定的间隔形成有空间。在图3的例子中,振动部110包括由四根振动臂121A~121D(以下,也统称为“振动臂121”)构成的激振部120和基部130。此外,振动臂的数量并不限定于四根,例如设定为三根以上的任意的数量。在本实施方式中,激振部120和基部130一体地形成。

[0036] 振动臂121A、121B、121C、121D分别沿Y轴方向延伸,按该顺序在X轴方向上以规定的间隔并列地设置。振动臂121A的一端是与后述的基部130的前端部131A连接的固定端,振动臂121A的另一端是远离基部130的前端部131A设置的开放端。振动臂121A包括形成于开放端侧的施重部122A、从固定端延伸并与施重部122A连接的臂部123A。同样地,振动臂121B、121C、121D也分别包括施重部122B、122C、122D和臂部123B、123C、123D。此外,臂部123A~123D分别例如在X轴方向的宽度为 $25\mu\text{m}$ 左右,在Y轴方向的长度为 $246\mu\text{m}$ 左右。

[0037] 在本实施方式的激振部120中,在X轴方向上,在外侧配置有两根振动臂121A、121D,在内侧配置有两根振动臂121B、121C。形成于内侧的两根振动臂121B、121C各自的臂部123B、123C彼此之间的间隙的宽度(以下,称为“释放宽度”)W1例如被设定为大于在X轴方向上邻接的振动臂121A、121B各自的臂部123A、123B彼此之间的释放宽度W2、以及在X轴方向上邻接的振动臂121D、121C各自的臂部123D、123C彼此之间的释放宽度W2。释放宽度W1例如为 $38\mu\text{m}$ 左右,释放宽度W2例如为 $17\mu\text{m}$ 左右。这样,通过将释放宽度W1设定为大于释放宽度W2,从而改善振动部110的振动特性、耐久性。此外,为了能够使谐振装置1小型化,也可以将释放宽度W1设定为小于释放宽度W2,也可以等间隔地设定。

[0038] 施重部122A~122D(以下,也统称为“施重部122”)在各自的表面具备质量附加膜125A~125D(以下,也统称为“质量附加膜125”)。因此,施重部122A~122D各自的每单位长度的重量(以下,也仅称为“重量”)比臂部123A~123D的各自的重量重。由此,能够使振动部110小型化,并且改善振动特性。另外,质量附加膜125A~125D分别不仅具有增大振动臂121A~121D的前端部分的重量,还具有通过刮削其一部分而调整振动臂121A~121D的谐振频率的作为所谓的频率调整膜的功能。

[0039] 在本实施方式中,施重部122A~122D各自的沿X轴方向的宽度例如为 $46\mu\text{m}$ 左右,比臂部123A~123D各自的沿X轴方向的宽度大。由此,能够进一步增大施重部122A~122D的各自的重量。为了谐振子10的小型化,优选施重部122A~122D各自的沿X轴方向的宽度相对于臂部123A~123D各自的沿X轴方向的宽度为1.5倍以上。其中,施重部122A~122D各自的重量大于臂部123A~123D各自的重量即可,施重部122A~122D各自的沿X轴方向的宽度并不限定于本实施方式的例子。施重部122A~122D各自的沿X轴方向的宽度也可以与臂部123A~123D各自的沿X轴方向的宽度相同,或者为臂部123A~123D各自的沿X轴方向的宽度以下。

[0040] 在从上方俯视(以下,仅称为“俯视”)谐振子10时,施重部122A~122D分别为大致

长方形,具有四角带圆角的曲面形状、例如所谓的弧形形状。同样地,臂部123A~123D分别为大致长方形,在与基部130连接的固定端附近、以及与施重部122A~122D的各个连接的连接部分附近具有弧形形状。其中,施重部122A~122D以及臂部123A~123D各自的形状并不限于本实施方式的例子。例如,施重部122A~122D各自的形状也可以是大致梯形形状、大致L字形形状。另外,臂部123A~123D各自的形状也可以是大致梯形形状、大致L字形形状。施重部122A~122D以及臂部123A~123D分别也可以形成有在表面侧及背面侧的任一方具有开口的有底的槽部、在表面侧及背面侧双方具有开口的孔部。该槽部以及该孔部可以从连接表面和背面的侧面远离,也可以在该侧面侧具有开口。

[0041] 基部130在俯视时具有前端部131A、后端部131B、左端部131C以及右端部131D。如上所述,在前端部131A连接有振动臂121A~121D各自的固定端。在后端部131B连接有支承臂151。

[0042] 前端部131A、后端部131B、左端部131C以及右端部131D分别是基部130的外缘部的一部分。具体而言,前端部131A以及后端部131B分别是沿X轴方向延伸的端部,前端部131A和后端部131B配置为相互对置。左端部131C以及右端部131D分别是沿Y轴方向延伸的端部,左端部131C和右端部131D配置为相互对置。左端部131C的两端分别与前端部131A的一端和后端部131B的一端相连。右端部131D的两端分别与前端部131A的另一端和后端部131B的另一端相连。

[0043] 在俯视时,基部130具有以前端部131A及后端部131B为长边,以左端部131C及右端部131D为短边的大致长方形。基部130形成为相对于沿前端部131A以及后端部131B各自的垂直平分线亦即X轴方向的中心线CL1所规定的假想平面大致面对称。即,也可以说基部130形成为关于中心线CL1大致线对称。此外,基部130的形状并不限于图3所示的长方形的情况,也可以是关于中心线CL1构成大致线对称的其它的形状。例如,基部130的形状也可以是前端部131A及后端部131B的一方比另一方长的梯形形状。另外,前端部131A、后端部131B、左端部131C以及右端部131D的至少一个也可以弯曲或者弯折。

[0044] 此外,假想平面相当于整个振动部110的对称面,中心线CL1相当于整个振动部110的X轴方向的中心线。因此,中心线CL1也是经过振动臂121A~121D的X轴方向的中心的线,位于振动臂121B与振动臂121C之间。具体而言,邻接的振动臂121A以及振动臂121B的各个形成为夹着中心线CL1与邻接的振动臂121D以及振动臂121C的各个对称。

[0045] 在基部130中,前端部131A与后端部131B之间的Y轴方向上的最长距离亦即基部长例如为25 $\mu\text{m}$ 左右。另外,左端部131C与右端部131D之间的X轴方向上的最长距离亦即基部宽例如为172 $\mu\text{m}$ 左右。此外,在图3所示的例子中,基部长相当于左端部131C或者右端部131D的长度,基部宽相当于前端部131A或者后端部131B的长度。

[0046] 保持部140构成为保持振动部110。更详细而言,保持部140构成为振动臂121A~121D能够振动。具体而言,保持部140形成为相对于沿中心线CL1所规定的假想平面呈面对称。保持部140在俯视时具有矩形的框形状,配置为沿XY平面包围振动部110的外侧。这样,保持部140在俯视时具有框形状,从而能够容易地实现包围振动部110的保持部140。

[0047] 此外,保持部140只要配置于振动部110的周围的至少一部分即可,并不限于框形状。例如,保持部140只要以保持振动部110并且能够与上盖30及下盖20接合的程度配置在振动部110的周围即可。

[0048] 在本实施方式中,保持部140包括一体形成的框体141A~141D。框体141A如图3所示,与振动臂121A~121D的开放端对置,长边方向与X轴平行地设置。框体141B与基部130的后端部131B对置,长边方向与X轴平行地设置。框体141C与基部130的左端部131C以及振动臂121A对置,长边方向与Y轴平行地设置,在其两端分别与框体141A、141D的一端连接。框体141D与基部130的右端部131D以及振动臂121A对置,长边方向与Y轴平行地设置,在其两端分别与框体141A、141B的另一端连接。框体141A和框体141B夹着振动部110在Y轴方向上相互对置。框体141C和框体141D夹着振动部110在X轴方向上相互对置。

[0049] 支承臂151配置在保持部140的内侧,并连接基部130和保持部140。支承臂151在俯视时形成为不是关于中心线CL1线对称,即非对称。具体而言,支承臂151包括支承后臂152和支承侧臂153。

[0050] 支承侧臂153在振动臂121D与保持部140之间,与振动臂121D并行延伸。具体而言,支承侧臂153从支承后臂152的一端(右端或者框体141D侧的端部)在Y轴方向上朝向框体141A延伸,并向X轴方向弯曲与框体141D连接。即,支承臂151的一端与保持部140连接。

[0051] 支承后臂152在基部130的后端部131B与保持部140之间,从支承侧臂153延伸。具体而言,支承后臂152从支承侧臂153的一端(下端或者框体141B侧的端部)在X轴方向上朝向框体141C延伸。而且,支承后臂152在基部130的X轴方向的中央附近向Y轴方向弯曲,从此处与中心线CL1平行地延伸并与基部130的后端部131B连接。即,支承臂151的另一端与基部130的后端部131B连接。

[0052] 突起部50从下盖20的凹部21在振动空间内突起。在俯视时,突起部50配置在振动臂121B的臂部123B与振动臂121C的臂部123C之间。突起部50与臂部123B、123C并行地沿Y轴方向延伸,形成为棱柱形状。突起部50的Y轴方向的长度为200 $\mu\text{m}$ 左右,X轴方向的长度为15 $\mu\text{m}$ 左右。此外,突起部50的数量并不限定于一个的情况,也可以是两个以上的多个。这样,突起部50配置在振动臂121B与振动臂121C之间,从凹部21的底板22突起,从而能够提高下盖20的刚度,能够抑制在下盖20上形成的谐振子10的挠曲、下盖20的翘曲的产生。

[0053] 接下来,参照图4以及图5,并对根据第一实施方式的谐振装置的层叠构造以及动作进行说明。图4是简要地表示图1所示的谐振装置1的层叠构造的沿着X轴的剖视图。图5是简要地表示图1所示的谐振装置1的层叠构造的沿着Y轴的剖视图。图5的截面是与框体141D平行且经过振动臂121D的截面。

[0054] 如图4及图5所示,对于谐振装置1而言,在下盖20的侧壁23上接合谐振子10的保持部140,进而将谐振子10的保持部140和上盖30的侧壁33接合。这样,在下盖20与上盖30之间保持谐振子10,通过下盖20、上盖30以及谐振子10的保持部140形成振动部110振动的振动空间。

[0055] 谐振子10中的振动部110、保持部140以及支承臂151通过相同的工艺一体地形成。在谐振子10中,在作为基板的一个例子的Si基板F2上层叠有金属膜E1。然后,在金属膜E1上层叠有压电膜F3,以便覆盖金属膜E1,然后,在压电膜F3上层叠有金属膜E2。在金属膜E2上层叠有保护膜F5,以便覆盖金属膜E2。在施重部122A~122D中,进一步在保护膜F5上分别层叠有上述的质量附加膜125A~125D。振动部110、保持部140以及支承臂151各自的外形是通过利用干式蚀刻对由上述的Si基板F2、金属膜E1、压电膜F3、金属膜E2、保护膜F5等构成的层叠体进行除去加工,并进行图案化而形成的。

[0056] 在本实施方式中,示出了谐振子10包含金属膜E1的例子,但并不限于此。例如,在谐振子10中,Si基板F2使用成为低电阻的简并硅基板,从而Si基板F2本身能够兼作金属膜E1,也可以省略金属膜E1。

[0057] Si基板F2例如由厚度 $6\mu\text{m}$ 左右的简并的n型硅(Si)半导体形成,能够包括磷(P)、砷(As)、锑(Sb)等作为n型掺杂剂。另外,Si基板F2中所使用的简并硅(Si)的电阻值例如小于 $1.6\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ ,更优选为 $1.2\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下。进而,在Si基板F2的下表面形成有例如 $\text{SiO}_2$ 等氧化硅层F21,作为温度特性修正层的一个例子。由此,能够提高温度特性。

[0058] 在本实施方式中,氧化硅层F21是指具有至少在常温附近降低与在Si基板F2不形成该氧化硅层F21的情况相比,在Si基板F2形成温度修正层时的振动部110中的频率的温度系数,即单位温度的变化率的功能的层。通过振动部110具有氧化硅层F21,例如,在由Si基板F2、金属膜E1、E2、压电膜F3以及氧化硅层F21形成的层叠构造体的谐振频率中,能够减少伴随温度的变化。氧化硅层可以形成于Si基板F2的上表面,也可以形成于Si基板F2的上表面以及下表面的双方。

[0059] 优选施重部122A~122D的氧化硅层F21以均匀的厚度形成。此外,均匀的厚度是指氧化硅层F21的厚度的偏差在厚度的平均值的 $\pm 20\%$ 以内。

[0060] 金属膜E1、E2分别包括激振振动臂121A~121D的激振电极、和使激振电极与外部电源电连接的引出电极。作为金属膜E1、E2的激振电极发挥功能的部分在振动臂121A~121D的臂部123A~123D中夹着压电膜F3相互对置。作为金属膜E1、E2的引出电极发挥功能的部分例如经由支承臂151从基部130被引出到保持部140。金属膜E1在整个谐振子10上电连续。金属膜E2在形成于振动臂121A、121D的部分和形成于振动臂121B、121C的部分电隔离。

[0061] 金属膜E1、E2的厚度分别例如为 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.2\mu\text{m}$ 以下左右。金属膜E1、E2在成膜后通过蚀刻等除去加工而被图案化为激振电极、引出电极等。金属膜E1、E2例如由晶体结构为体心立方结构的金属材料形成。具体而言,金属膜E1、E2使用Mo(钼)、钨(W)等而形成。这样,金属膜E1、E2以晶体结构是体心立方结构的金属为主成分,从而能够容易地实现适于谐振子10的下部电极以及上部电极的金属膜E1、E2。

[0062] 压电膜F3是由将电能和机械能相互转换的压电体的一种形成的薄膜。压电膜F3根据由金属膜E1、E2形成于压电膜F3的电场,在XY平面的面内方向中的Y轴方向上伸缩。通过该压电膜F3的伸缩,振动臂121A~121D分别使其开放端朝向下盖20的底板22以及上盖30的底板32位移。由此,谐振子10以面外弯曲的振动模式振动。

[0063] 压电膜F3的厚度例如为 $1\mu\text{m}$ 左右,但也可以为 $0.2\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ 左右。压电膜F3由具有纤锌矿六方晶体结构的晶体结构的材质形成,例如能够以氮化铝( $\text{AlN}$ )、氮化钪铝( $\text{ScAlN}$ )、氧化锌( $\text{ZnO}$ )、氮化镓( $\text{GaN}$ )、氮化铟( $\text{InN}$ )等氮化物或氧化物为主成分。此外,氮化钪铝是氮化铝中铝的一部分被置换成钪而成的,也可以代替钪而由镁(Mg)及铌(Nb)、或者镁(Mg)及锆(Zr)等两种元素来置换。这样,压电膜F3以晶体结构具有纤锌矿六方晶体结构的压电体为主成分,从而能够容易地实现适于谐振子10的压电膜F3。

[0064] 保护膜F5保护金属膜E2免于氧化。此外,只要保护膜F5设置于上盖30侧,则可以相对于上盖30的底板32露出。例如,也可以形成降低形成在谐振子10的布线的电容的寄生电容降低膜等,以覆盖保护膜F5。保护膜F5例如除了氮化铝( $\text{AlN}$ )、氮化钪铝( $\text{ScAlN}$ )、氧化

锌 (ZnO)、氮化镓 (GaN)、氮化铟 (InN) 等压电膜之外,还由氮化硅 (SiN)、氧化硅 (SiO<sub>2</sub>)、氧化铝 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、五氧化二钽 (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 等绝缘膜形成。保护膜F5的厚度以压电膜F3的厚度的一半以下的厚度形成,在本实施方式中,例如为0.2 $\mu$ m左右。此外,保护膜F5的更优选的厚度为压电膜F3的厚度的四分之一左右。并且,在保护膜F5由氮化铝 (AlN) 等压电体形成的情况下,优选使用具有与压电膜F3相同的取向的压电体。

[0065] 优选施重部122A~122D的保护膜F5以均匀的厚度形成。此外,均匀的厚度是指保护膜F5的厚度的偏差在厚度的平均值的 $\pm 20\%$ 以内。

[0066] 质量附加膜125A~125D构成施重部122A~122D各自的上盖30侧的表面,相当于振动臂121A~121D各自的频率调整膜。通过除去质量附加膜125A~125D各自的一部分的微调处理,来调整谐振子10的谐振频率。从频率调整的效率这一点来看,优选质量附加膜125A~125D由基于蚀刻的质量降低速度比保护膜F5快的材料形成。质量降低速度由蚀刻速度与密度的积表示。蚀刻速度是每单位时间被除去的厚度。如果保护膜F5和质量附加膜125A~125D的质量降低速度的关系如上所述,则蚀刻速度的大小关系是任意的。另外,从有效地增大施重部122A~122D的重量的观点来看,优选质量附加膜125A~125D由比重较大的材料形成。由于这些理由,质量附加膜125A~125D例如由钼 (Mo)、钨 (W)、金 (Au)、铂 (Pt)、镍 (Ni)、铝 (Al)、钛 (Ti) 等金属材料形成。

[0067] 质量附加膜125A~125D各自的上表面的一部分在调整频率的工序中通过微调处理被除去。质量附加膜125A~125D的微调处理例如能够通过照射氩 (Ar) 离子束的干式蚀刻进行。离子束能够大范围照射,因此加工效率优异,但由于具有电荷,因此有可能使质量附加膜125A~125D带电。为了防止振动臂121A~121D的振动轨道因质量附加膜125A~125D的带电引起的库仑相互作用而变化,并且谐振子10的振动特性恶化,优选质量附加膜125A~125D接地。

[0068] 在保持部140的保护膜F5上形成有引出线C1、C2以及C3。引出线C1通过形成于压电膜F3及保护膜F5的贯通孔与金属膜E1电连接。引出线C2通过形成于保护膜F5的贯通孔与金属膜E2中的形成在振动臂121A、121D的部分电连接。引出线C3通过形成于保护膜F5的贯通孔与金属膜E2中的形成在振动臂121B、121C的部分电连接。引出线C1~C3由铝 (Al)、锗 (Ge)、金 (Au)、锡 (Sn) 等金属材料形成。

[0069] 在本实施方式中,在图4中,示出了臂部123A~123D、引出线C2及C3、贯通电极V2及V3等位于同一平面的截面上的例子,但它们不一定位于同一平面的截面上。例如,贯通电极V2以及V3也可以形成在从与由Z轴和X轴规定的ZX平面平行且切断臂部123A~123D的截面在Y轴方向上远离的位置。

[0070] 同样地,在本实施方式中,在图5中,示出了质量附加部122D、臂部123D、引出线C1、C2、贯通电极V1、V2等位于同一平面的截面上的例子,但它们不一定位于同一平面的截面上。

[0071] 下盖20的底板22以及侧壁23由Si基板P10一体地形成。Si基板P10由未被简并的硅形成,其电阻率例如为10 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上。Si基板P10在下盖20的凹部21的内侧露出。在突起部50的上表面形成有氧化硅层F21。但是,从抑制突起部50的带电的观点来看,在突起部50的上表面,电阻率比氧化硅层F21低的Si基板P10可以露出,也可以形成导电层。

[0072] 在Z轴方向上规定的下盖20的厚度为150 $\mu$ m左右,同样地规定的凹部21的深度为50

$\mu\text{m}$ 左右。

[0073] 上盖30的底板32以及侧壁33由Si基板Q10一体地形成。优选上盖30的表面、背面以及贯通孔的内侧面被氧化硅膜Q11覆盖。氧化硅膜Q11例如通过Si基板Q10的氧化、化学气相沉积(CVD:Chemical Vapor Deposition)而形成在Si基板Q10的表面。Si基板Q10在上盖30的凹部31的内侧露出。此外,也可以在上盖30的凹部31中的与谐振子10对置的一侧的面形成吸气层。吸气层例如由钛(Ti)等形成,吸附从后述的接合部40等释放的排气,抑制振动空间的真空度的降低。此外,吸气层可以形成于下盖20的凹部21中的与谐振子10对置的一侧的面,也可以形成于下盖20的凹部21以及上盖30的凹部31的双方中的与谐振子10对置的一侧的面。

[0074] 在Z轴方向上规定的上盖30的厚度为 $150\mu\text{m}$ 左右,同样地规定的凹部31的深度为 $50\mu\text{m}$ 左右。

[0075] 在上盖30的上表面(与同谐振子10对置的面相反侧的面)形成有端子T1、T2以及T3。端子T1是使金属膜E1接地的安装端子。端子T2是使振动臂121A、121D的金属膜E2与外部电源电连接的安装端子。端子T3是使振动臂121B、121C的金属膜E2与外部电源电连接的安装端子。端子T1~T3例如通过在铬(Cr)、钨(W)、镍(Ni)等金属化层(基底层)实施镍(Ni)、金(Au)、银(Ag)、铜(Cu)等的镀覆而形成。此外,在调整寄生电容、机械强度平衡的目的下,也可以在上盖30的上表面形成与谐振子10电绝缘的虚设端子。

[0076] 在上盖30的侧壁33的内部形成有贯通电极V1、V2、V3。贯通电极V1将端子T1和引出线C1电连接,贯通电极V2将端子T2和引出线C2电连接,贯通电极V3将端子T3和引出线C3电连接。贯通电极V1~V3通过在Z轴方向上贯通上盖30的侧壁33的贯通孔填充导电性材料而形成。所填充的导电性材料例如是多晶硅(Poly-Si)、铜(Cu)、金(Au)等。

[0077] 在上盖30的侧壁33与保持部140之间形成有接合部40,通过该接合部40,将上盖30和谐振子10接合。接合部40形成为在XY平面包围振动部110的闭环状,以便在真空状态下气密封谐振子10的振动空间。接合部40例如由将铝(Al)膜、锗(Ge)膜以及铝(Al)膜按该顺序层叠并共晶接合而成的金属膜形成。此外,接合部40也可以由从金(Au)、锡(Sn)、铜(Cu)、钛(Ti)、硅(Si)等适当地选择的膜的组合形成。另外,为了提高密接性,接合部40也可以在膜间包含氮化钛(TiN)、氮化钽(TaN)等金属化合物。

[0078] 如图5所示,支承臂151具有降低膜LM。降低膜LM构成为降低支承臂151的振动中的Q值。更详细而言,降低膜LM形成于支承后臂152上以及支承侧臂153上的双方。

[0079] 优选降低膜LM由振动的Q值低的材料构成。具体而言,降低膜LM例如由原硅酸四乙酯( $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ) (也称为“TEOS”(四乙氧基硅烷))形成。另外,降低膜LM也可以层叠有多个层,例如,也可以将原硅酸四乙酯层及铝(Al)层、或原硅酸四乙酯层、铝(Al)层、钛(Ti)层及铝(Al)层按该顺序层叠而形成。

[0080] 另外,优选降低膜LM包含由接合部40的材料构成的层。具体而言,例如在铝(Al)膜形成在谐振子10的保持部140上,锗(Ge)膜形成在上盖30的侧壁33上,将谐振子10侧的铝(Al)膜和上盖30侧的锗(Ge)膜共晶接合而形成接合部40的情况下,降低膜LM构成为包含铝(Al)层。由此,在形成构成接合部40的层时,例如能够通过变更掩模的形状等来形成降低膜LM,因此能够不追加、变更谐振子10的制造工序而简单地形成降低膜LM。

[0081] 如上所述,支承臂151构成为包含氧化硅层F21、Si基板F2、压电膜F3、金属膜E2以

及保护膜F5,具有与振动臂121的臂部123大致相同的层叠构造。因此,包含降低膜LM在内的支承臂151的厚度比振动臂121的臂部123的厚度大。

[0082] 在本实施方式中,端子T1接地,对端子T2和端子T3施加彼此相反相位的交变电压。因此,形成于振动臂121A、121D的压电膜F3的电场的相位和形成于振动臂121B、121C的压电膜F3的电场的相位成为彼此相反的相位。由此,外侧的振动臂121A、121D和内侧的振动臂121B、121C在彼此相反的方向上位移。

[0083] 例如,如图4所示,在振动臂121A、121D各自的施重部122A、122D以及臂部123A、123D朝向上盖30的内表面位移时,振动臂121B、121C各自的施重部122B、122C以及臂部123B、123C朝向下盖20的内表面位移。虽然省略了图示,但相反,在振动臂121A、121D各自的施重部122A、122D以及臂部123A、123D朝向下盖20的内表面位移时,振动臂121B、121C各自的施重部122B、122C以及臂部123B、123C朝向上盖30的内表面位移。由此,四根振动臂121A~121D的至少两根以不同的相位进行面外弯曲。

[0084] 这样,振动臂121A和振动臂121B绕在相邻的振动臂121A与振动臂121B之间沿Y轴方向延伸的中心轴r1在上下相反方向上振动。另外,振动臂121C和振动臂121D绕在相邻的振动臂121C与振动臂121D之间沿Y轴方向延伸的中心轴r2在上下相反方向上振动。由此,在中心轴r1和中心轴r2产生彼此相反方向的扭转力矩,产生振动部110中的弯曲振动。振动臂121A~121D的最大振幅为50 $\mu\text{m}$ 左右,通常驱动时的振幅为10 $\mu\text{m}$ 左右。

[0085] 接下来,参照图6并对俯视时的振动部的尺寸进行说明。图6是用于说明图3所示的谐振子10的尺寸的俯视图。此外,在图6中,为了简化说明,图示谐振子10的一部分。

[0086] 如图6所示,在本实施方式的谐振子10中,施重部122A~122D各自的沿X轴方向的方向的长度亦即宽度WG例如为46 $\mu\text{m}$ 。另外,振动臂121A~121D各自的沿X轴方向的方向的长度亦即振动臂宽度WA例如为25 $\mu\text{m}$ ,振动臂121A~121D各自的沿Y轴方向的方向的长度亦即振动臂长度LA例如为410 $\mu\text{m}$ 。

[0087] 另外,在基部130中,从前端部131A朝向后端部131B的方向的长度亦即基部长LB例如为25 $\mu\text{m}$ 。另一方面,从左端部131C朝向右端部131D的方向的长度亦即基部宽WB例如为172 $\mu\text{m}$ 。

[0088] 另外,支承臂151的宽度、具体而言支承侧臂153的沿X轴方向的方向的长度亦即支承臂宽度WS例如为17 $\mu\text{m}$ 。虽然省略了图示,但支承后臂152的沿Y轴方向的方向的长度也同样为17 $\mu\text{m}$ 。并且,支承臂151的长度、具体而言支承侧臂153的沿Y轴方向的方向的长度亦即支承臂长度LS例如为40 $\mu\text{m}$ 。

[0089] 支承臂151的另一端、具体而言支承后臂152的另一端在基部130的后端部131B,连接在以中心线CL1通过的位置为基准时,向X轴方向负侧、即左侧偏离10 $\mu\text{m}$ 的位置。在以下的说明中,除了特别明示的情况之外,将基部130的后端部131B的中心线CL1通过的位置作为原点(零),将一侧(右侧)表示为“+”(正),将另一侧(左侧)表示为“-”(负)。即,在图6所示的例子中,支承后臂152的另一端连接在相对于基部130的后端部131B的中心线CL1通过的位置-10 $\mu\text{m}$ 的位置。

[0090] 此外,在以下的说明中,除了特别明示的情况之外,各部的尺寸是使用图6进行说明的长度。

[0091] 接下来,参照图7以及图8并对主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的影响进行

说明。图7是表示假想的谐振子中的输入电压和频率变化率的关系的图表。图8是表示假想的谐振子中的输入电压和等效串联电阻的关系的图表。此外,假想的谐振子是为了与本实施方式的谐振子10进行比较而假想出的谐振子,除了不具有降低膜LM这一点之外,具备与谐振子10大致相同的结构。在图7以及图8中,横轴是施加到振动部的各振动臂的输入电压( $V_{in}$ )。另外,在图7中,纵轴是以输入电压为0.01V时的谐振频率( $f$ )为基准的频率变化率( $df/f$ )。并且,在图8中,纵轴是振动部的等效串联电阻(ESR)。

[0092] 如图7所示,在假想的谐振子中,在通过阻抗分析仪使输入电压 $V_{in}$ 从0.01V变化至0.05V时,频率变化率大致为零,几乎没有变化。另一方面,若通过阻抗分析仪施加从0.05V到0.08V的输入电压,则频率变化率较大地变化为负的值。这意味着,若输入电压超过0.05V,则谐振频率向负方向偏移。

[0093] 另外,如图8所示,在假想的谐振子中,在通过阻抗分析仪使输入电压 $V_{in}$ 从0.01V变化至0.05V时,等效串联电阻大致为恒定的值,不怎么变化。另一方面,若通过阻抗分析仪施加从0.05V到0.08V的输入电压,则等效串联电阻随着输入电压变大而增加。

[0094] 从这些结果来看,在假想的谐振子中,认为若施加比0.05V大的输入电压,则产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合(也称为“coupling”)。

[0095] 此处,如上所述,本实施方式的谐振子10在主模式的振动中,振动臂121A及振动臂121D和振动臂121B及振动臂121C进行彼此相反相位的面外弯曲振动。一般而言,无论在哪个谐振子中,都具有与主模式的振动不同的振动、即寄生模式的振动(也称为“寄生振动”)。本实施方式的谐振子10在主模式中,主要振动臂121进行振动,与此相对,在寄生模式中,主要基部130以及支承臂151进行振动。这些在假想的谐振子中也同样。

[0096] 已知在该寄生模式的振动的频率相对于主模式的振动的频率、即谐振频率例如为规定数倍或者1/规定数时,主模式的振动和寄生模式的振动存在容易耦合的趋势。

[0097] 接下来,参照图9并对产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的驱动电平进行说明。图9是表示假想的谐振子中的频率比与耦合驱动电平的关系的图表。在图9中,横轴是寄生模式的频率( $F_s$ )相对于主模式的频率( $F_m$ )的频率比( $F_s/F_m$ )。另外,纵轴是产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的耦合驱动电平。驱动电平是输入电压( $V_{in}$ )的平方除以谐振电阻( $R_r$ )得到的值( $V_{in}^2/R_r$ ),单位为 $[\mu W]$ 。图9的图表是在变更频率比的多个假想的谐振子的每一个中,对测量耦合驱动电平得到的结果进行描绘(绘制)而成的图表。

[0098] 如图9所示,在假想的谐振子中,频率比越大于2倍,存在耦合驱动电平越高的趋势。换言之,如果能够使寄生模式的振动中的频率充分高于主模式的振动的频率的2倍,则耦合驱动电平变高,可以说主模式的振动和寄生模式的振动难以耦合。

[0099] 假想的谐振子例如频率比平均为2.37倍,为大于2倍的值。但是,主模式的振动和寄生模式的振动的耦合并不是仅由频率比产生,也存在其它的因素。因此,在假想的谐振子中,耦合驱动电平平均为 $0.058\mu W$ ,为相对较低的值。另外,谐振子以往要求进一步的小型化,难以变更尺寸等而大幅度增加频率比。

[0100] 此处,本发明的发明人发现:关注寄生模式的振动的Q值,通过降低该Q值,能够提高耦合驱动电平。更详细而言,发现:支承臂151优选具有降低膜LM,该降低膜LM构成为使支承臂151中的振动的Q值降低。由此,在支承臂151的振动为主要的振动的寄生模式的振动中,降低Q值。

[0101] 接下来,参照图10以及图11并对本发明的一个实施方式所涉及的支承臂的周边的层叠构造进行说明。图10是简要地表示图3所示的支承后臂152的周边的结构的主要部分放大剖视图。图11的图表是表示支承臂的周边的结构和耦合驱动电平的关系的图表。在图11中,纵轴是产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的耦合驱动电平。驱动电平是输入电压( $V_{in}$ )的平方除以谐振电阻( $R_r$ )得到的值( $V_{in}^2/R_r$ ),单位为 $[\mu W]$ 。另外,横轴中的“无”表示支承臂不具有降低膜的假想的谐振子,横轴中的“降低膜例1”以及“降低膜例2”表示具备支承臂151具有的降低膜LM且分别包含相互不同的结构的降低膜LM的谐振子10。图11的图表是在假想的谐振子以及谐振子10的各自的结构中,对多次测量耦合驱动电平得到的结果进行描绘(绘制)而成的图表。

[0102] 如图10所示,本实施方式的支承臂151与假想的谐振子不同,具有降低膜LM。在图10中,例示了支承臂151中的支承后臂152的降低膜LM。

[0103] 如上所述,支承后臂152构成为包含在下表面形成有氧化硅层F21的Si基板F2、压电膜F3、以及层叠为覆盖金属膜E2的保护膜F5。在该支承后臂152上形成有降低膜LM。

[0104] 优选降低膜LM形成在支承臂151中的至少支承后臂152上。此处,本发明的发明人发现:支承臂151中的与基部130的连接部分的厚度、材料等是支承臂151的振动中的Q值的降低的支配性的因素。因而,降低膜LM至少形成在支承后臂152上,从而能够有效且高效地降低支承臂151的振动为主要的振动的寄生模式的Q值。

[0105] 另外,如上所述,包含降低膜LM在内的支承后臂152的厚度比振动臂121的臂部123的厚度大。由此,能够增加包含降低膜LM在内的支承臂151的杨氏模量,提高相对于主模式的频率的寄生模式的频率。

[0106] 降低膜LM构成为包含第一层41、第二层42、第三层43以及第四层44。第一层41例如是以原硅酸四乙酯为主成分的层,厚度为 $1\mu m$ 。第二层42例如是以铝(A1)为主成分的层,厚度为 $0.7\mu m$ 。第三层43例如是以钛(Ti)为主成分的层,厚度为 $0.1\mu m$ 。第四层44与第二层42相同,例如是以铝(A1)为主成分的层,厚度为 $0.7\mu m$ 。

[0107] 这样,优选降低膜LM由与振动臂121的臂部123的材料不同的材料构成。由此,能够增加主模式的振动中的Q值,并且降低寄生模式的振动中的Q值。

[0108] 此外,在以下的说明中,除了特别明示的情况之外,降低膜LM是使用图10进行说明的结构以及厚度。

[0109] 如图11所示,在由“无”表示的假想的谐振子中,如上所述,频率比的平均为2.37倍,耦合驱动电平的平均止于 $0.058\mu W$ 。此时,寄生模式的振动的Q值平均为21835。

[0110] 与此相对,在具有由“降低膜例2”表示的图10所示的结构的降低膜LM的谐振子10中,寄生模式的振动的Q值平均为4860,与假想的谐振子相比,降低为1/4以下。另外,频率比平均增加到2.70倍,耦合驱动电平平均提高至 $0.125\mu W$ 。

[0111] 另外,由“降低膜例1”表示的降低膜LM的结构仅包含图10所示的第一层41。即使在该情况下,谐振子10与假想的谐振子相比,也使寄生模式的振动的Q值降低,频率比的平均增加,耦合驱动电平的平均变高。

[0112] 这样,支承臂151具有构成为降低支承臂151中的振动的Q值的降低膜LM,从而降低支承臂151的振动为主要的振动的寄生模式的振动的Q值,能够提高产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的驱动电平。因此,主模式的振动和寄生模式的振动难以耦合,能够抑

制该耦合的产生。

[0113] 在本实施方式中,使用了谐振子10的振动部110包含四根振动臂121A~121D的例子,但并不限于此。振动部110例如也可以包含三根或者五根以上的振动臂。在该情况下,至少两根振动臂以不同的相位面外弯曲。

[0114] 另外,在本实施方式中,使用了谐振子10的支承臂151的一端与保持部140的框体141D连接的例子,但并不限于此。支承臂151的一端例如也可以与保持部140的框体141C连接。

[0115] 以上,对本发明的例示的实施方式进行了说明。在根据一个实施方式的谐振子中,支承臂具有构成为降低支承臂中的振动的Q值的降低膜。由此,降低支承臂的振动为主要的振动的寄生模式的振动的Q值,能够提高产生主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的驱动电平。因此,主模式的振动和寄生模式的振动难以耦合,能够抑制该耦合的产生。

[0116] 另外,在根据一个实施方式的谐振子中,包含降低膜在内的支承臂的厚度比振动臂的臂部的厚度大。由此,能够增加包含降低膜在内的支承臂的杨氏模量,提高相对于主模式的频率的寄生模式的频率。

[0117] 另外,在根据一个实施方式的谐振子中,降低膜由与振动臂的臂部的材料不同的材料构成。由此,能够增加主模式的振动中的Q值,并且降低寄生模式的振动中的Q值。

[0118] 另外,在根据一个实施方式的谐振子中,降低膜形成在支承后臂上。由此,能够有效且高效地降低支承臂的振动为主要的振动的寄生模式的Q值。

[0119] 另外,根据一个实施方式的谐振装置具备上述的谐振子。由此,能够容易地实现抑制主模式的振动和寄生模式的振动的耦合的产生的谐振装置。

[0120] 另外,在上述的谐振装置中,降低膜包含由接合部的材料构成的层。由此,在形成构成接合部的层时,例如能够通过变更掩模的形状等来形成降低膜,因此能够不追加、变更谐振子的制造工序而简单地形成降低膜。

[0121] 此外,以上说明的各实施方式是用于容易理解本发明的内容,并不是用于限定解释本发明的内容。本发明可以不脱离其主旨地进行变更/改进,并且其等价物也被包含于本发明。即,本领域技术人员对实施方式以及/或者变形例适当地施加了设计变更所得的结构只要具备本发明的特征,也被包含于本发明的范围内。例如,实施方式以及/或者变形例所具备的各要素及其配置、材料、条件、形状、尺寸等并不限于例示出的内容而能够适当地变更。另外,实施方式以及变形例是例示,当然能够进行在不同的实施方式以及/或者变形例中示出的结构的局部置换或者组合,这些结构只要包含本发明的特征就被包含于本发明的范围。

[0122] 附图标记说明

[0123] 1…谐振装置;10…谐振子;20…下盖;21…凹部;22…底板;23…侧壁;30…上盖;31…凹部;32…底板;33…侧壁;40…接合部;41…第一层;42…第二层;43…第三层;44…第四层;50…突起部;110…振动部;120…激振部;121、121A、12B、121C、121D…振动臂;122、122A、122B、122C、122D…施重部;123、123A、123B、123C、123D…臂部;125、125A、125B、125C、125D…质量附加膜;130…基部;131A…前端部;131B…后端部;131C…左端部;131D…右端部;140…保持部;141A、141B、141C、141D…框体;151…支承臂;152…支承后臂;153…支承侧臂。

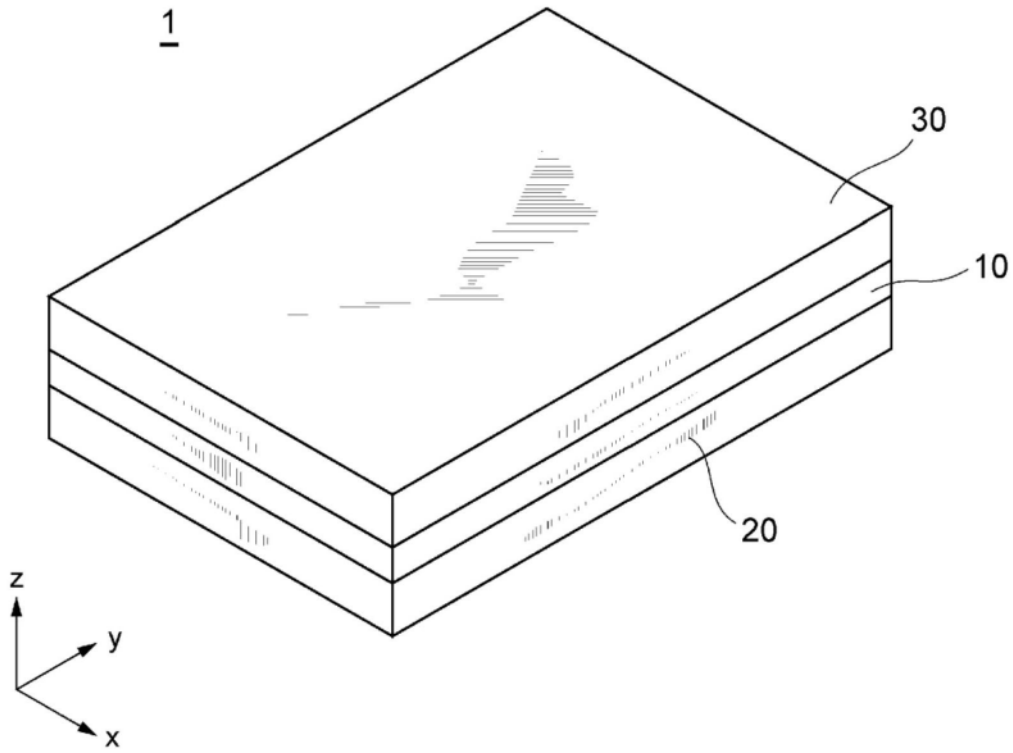


图1

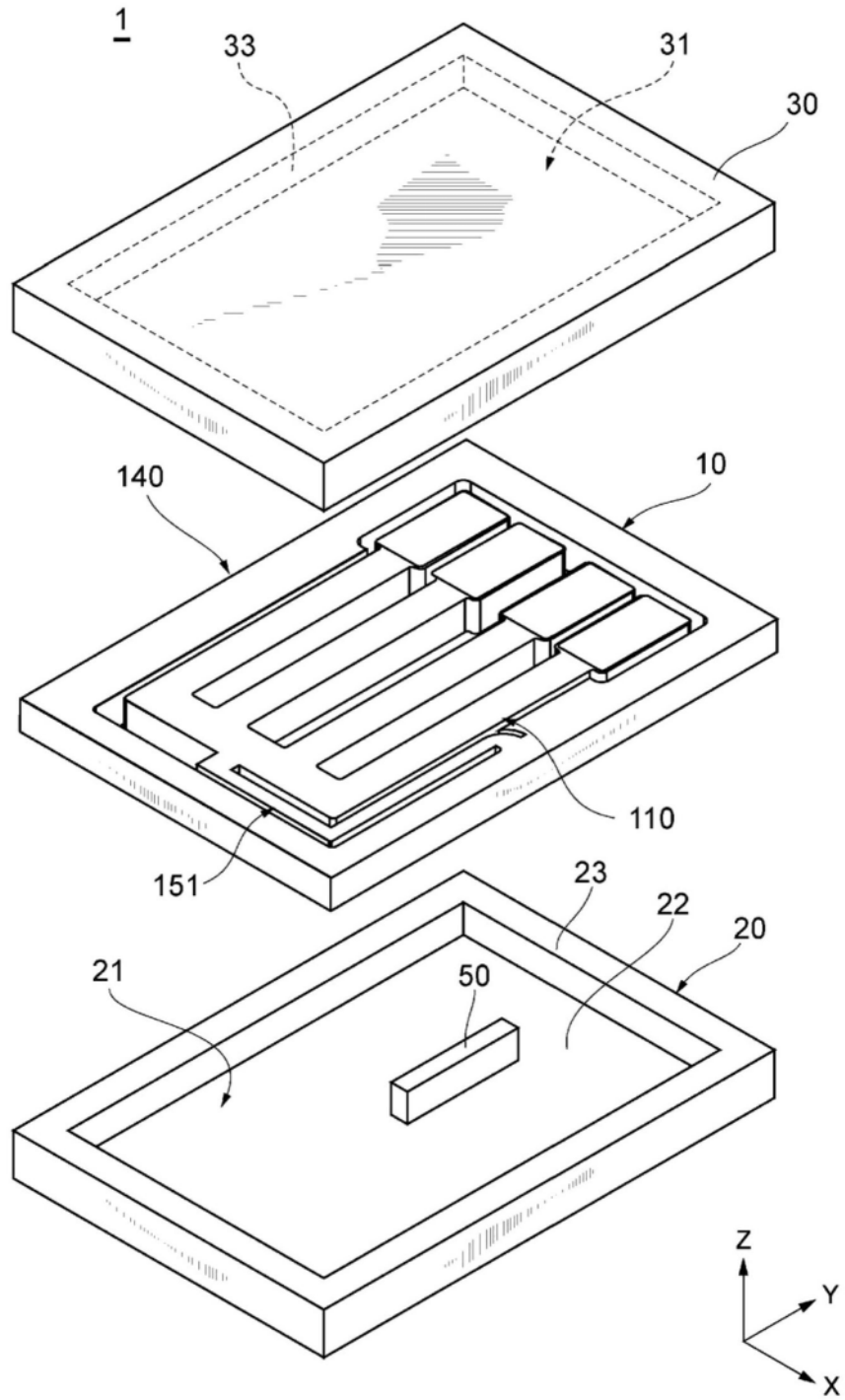


图2

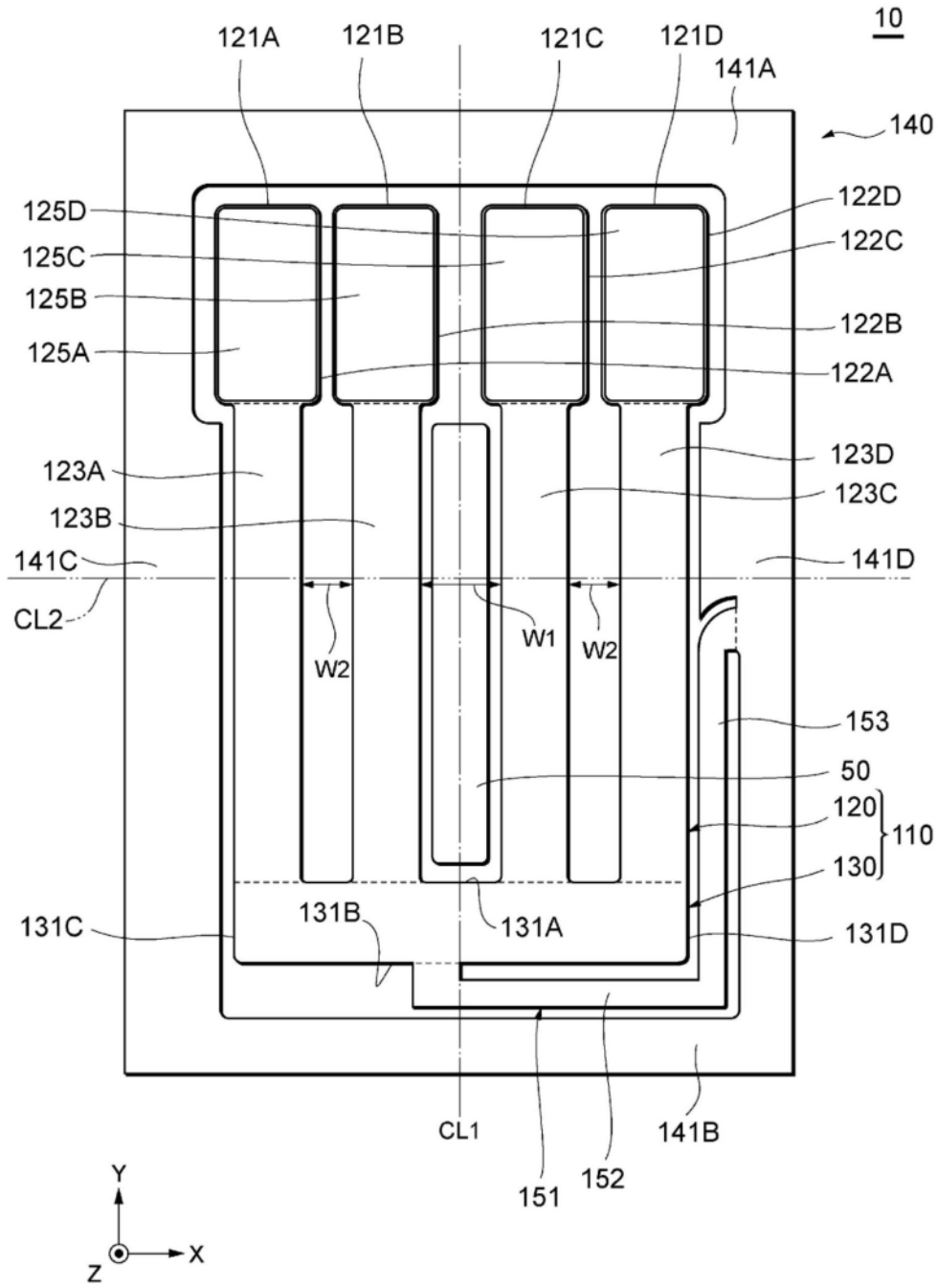


图3

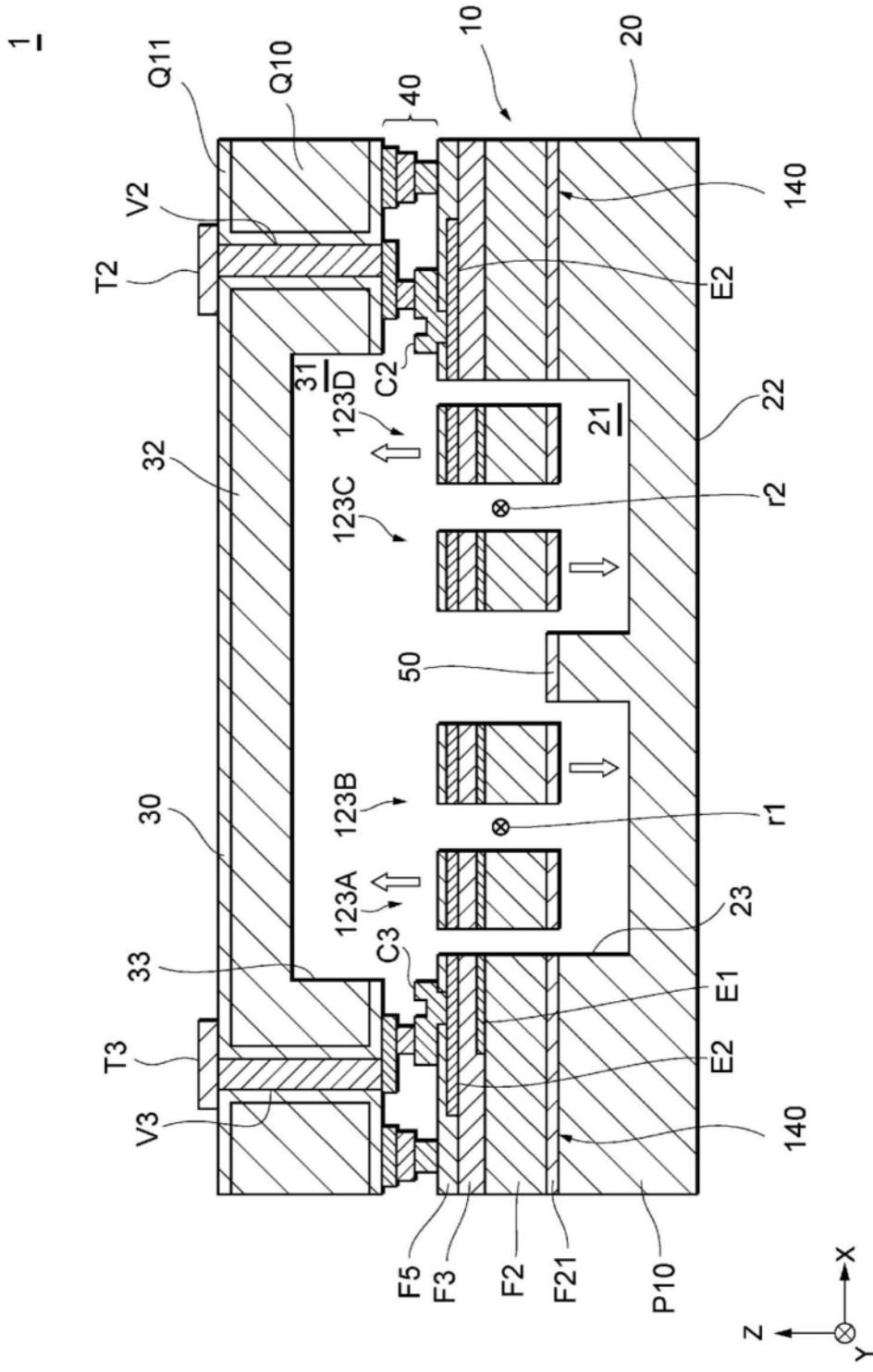


图4

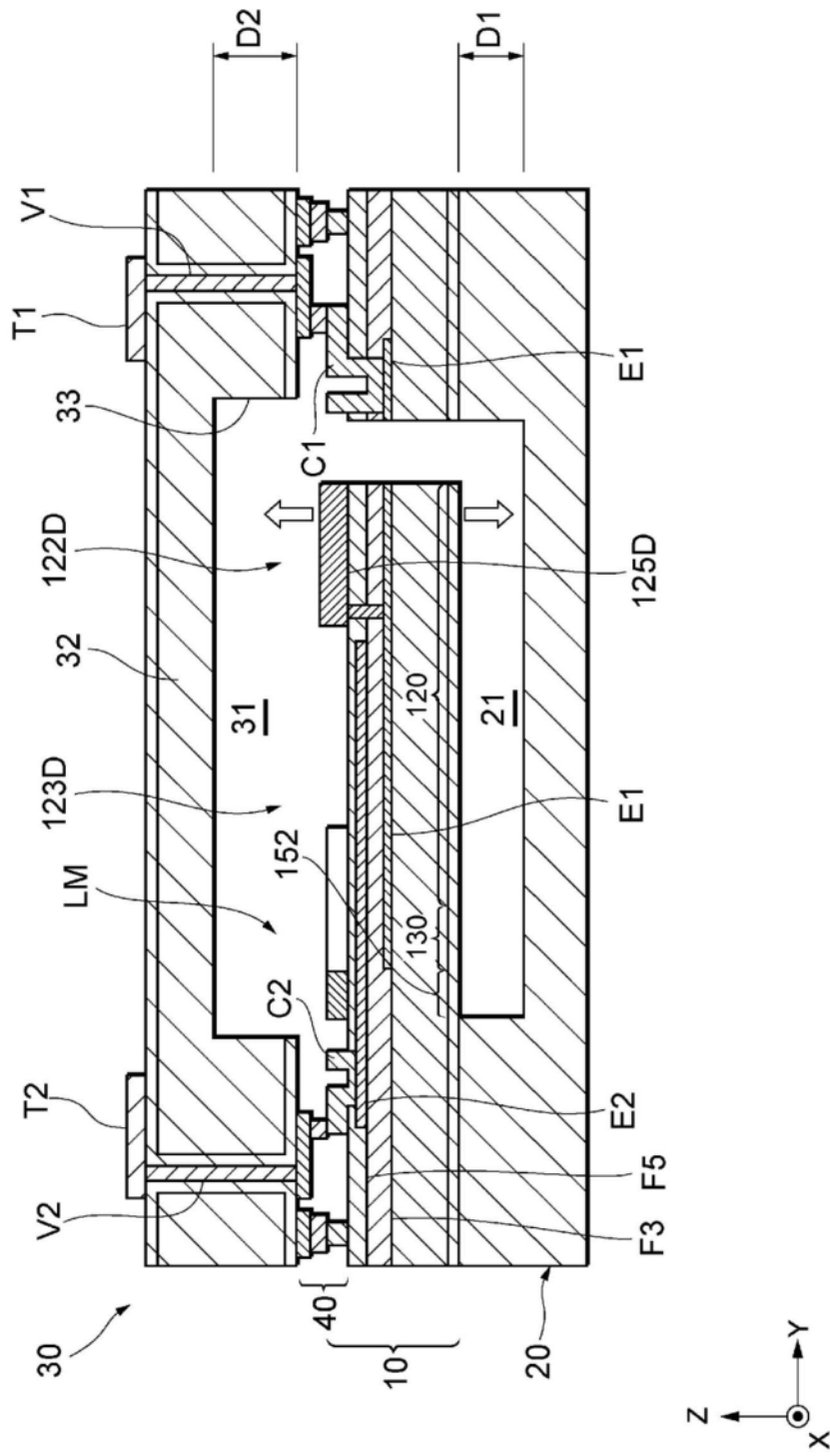


图5

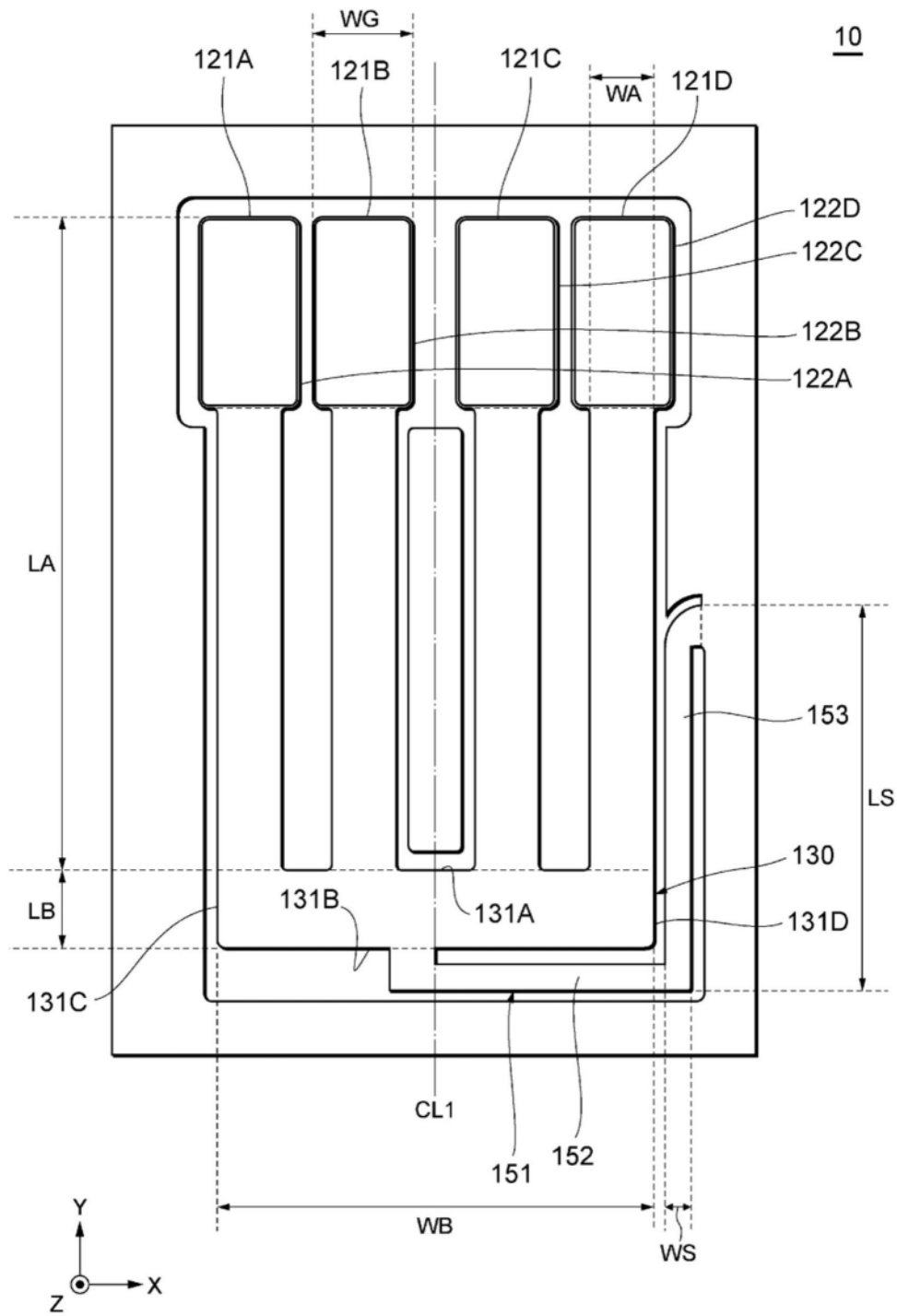


图6

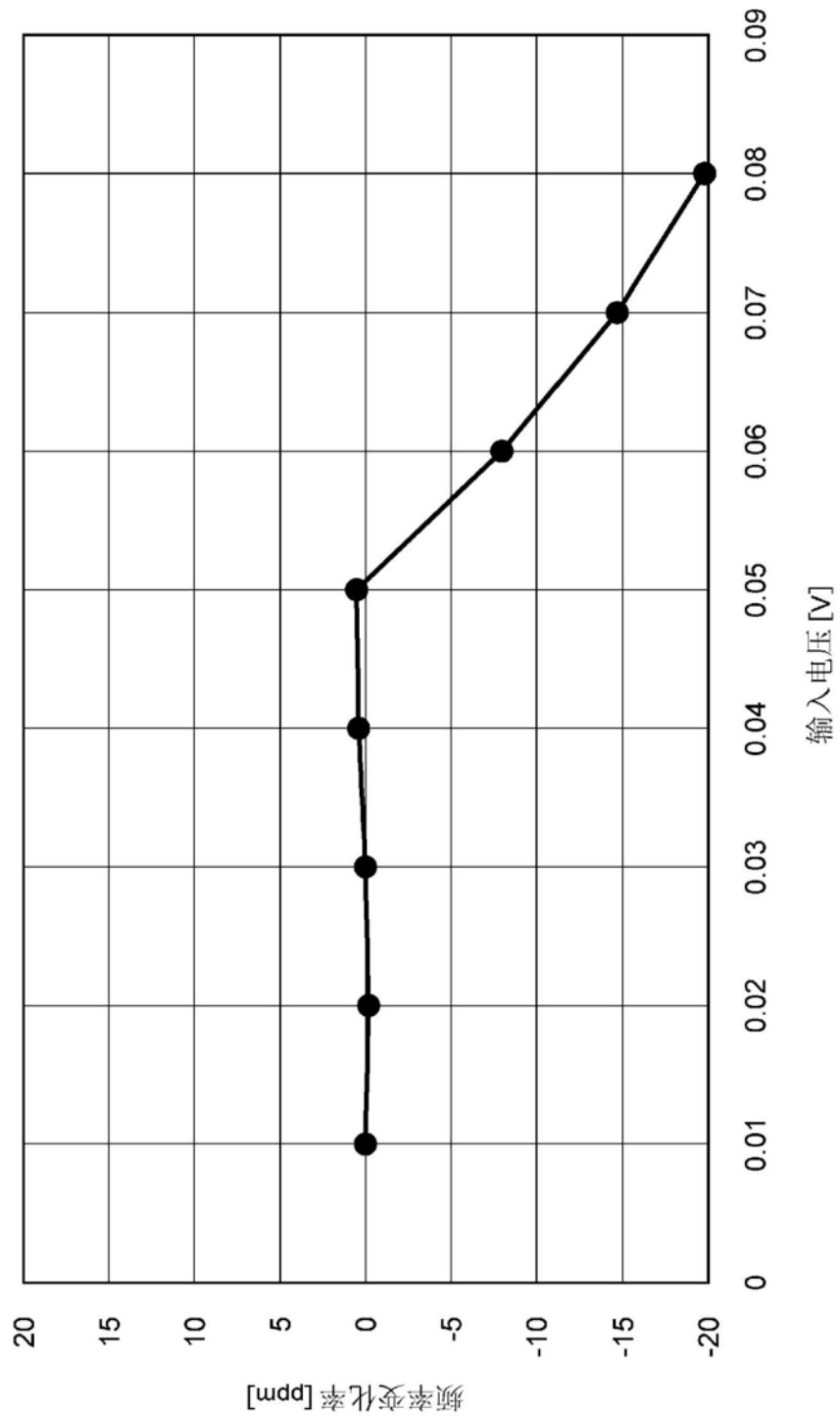


图7

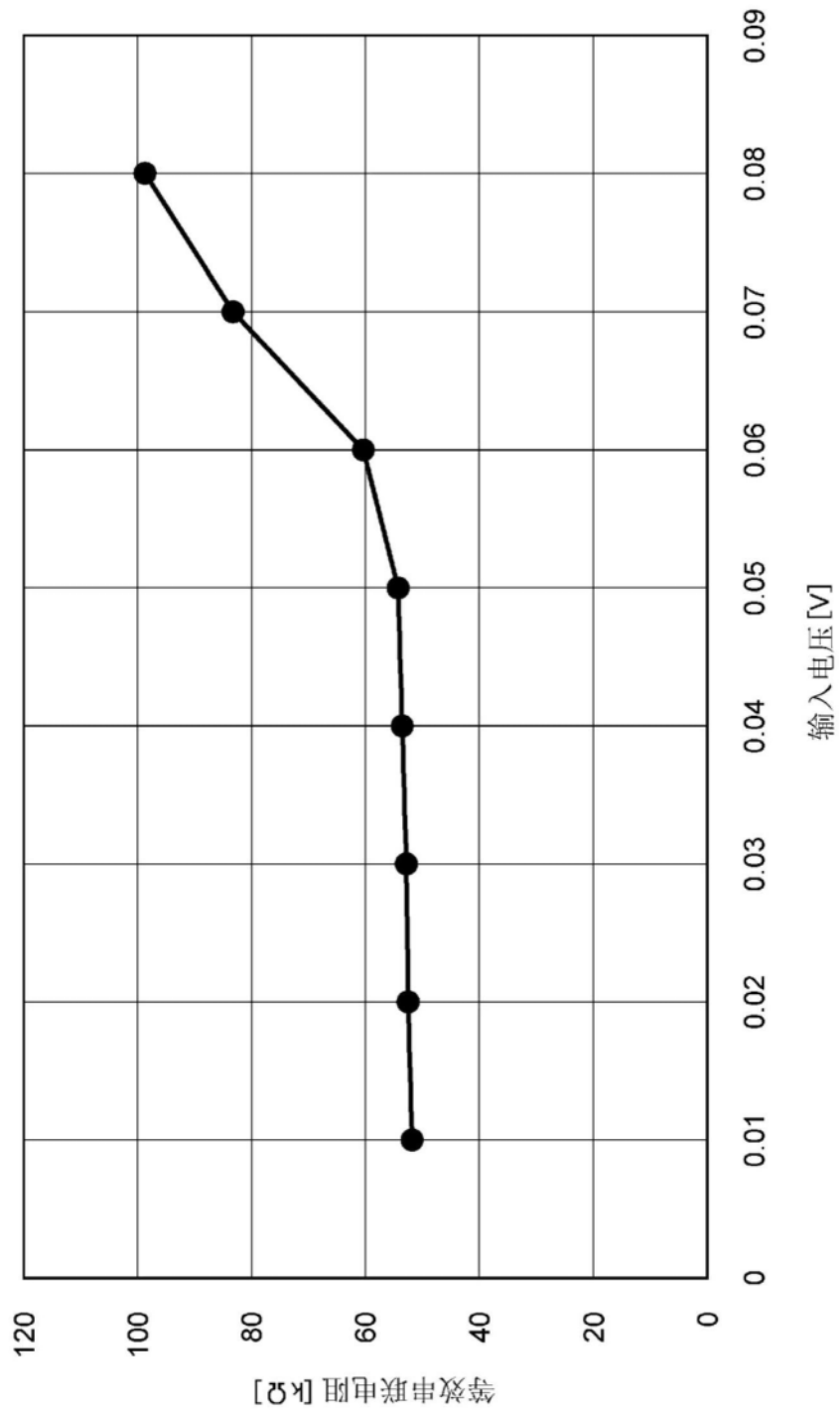


图8

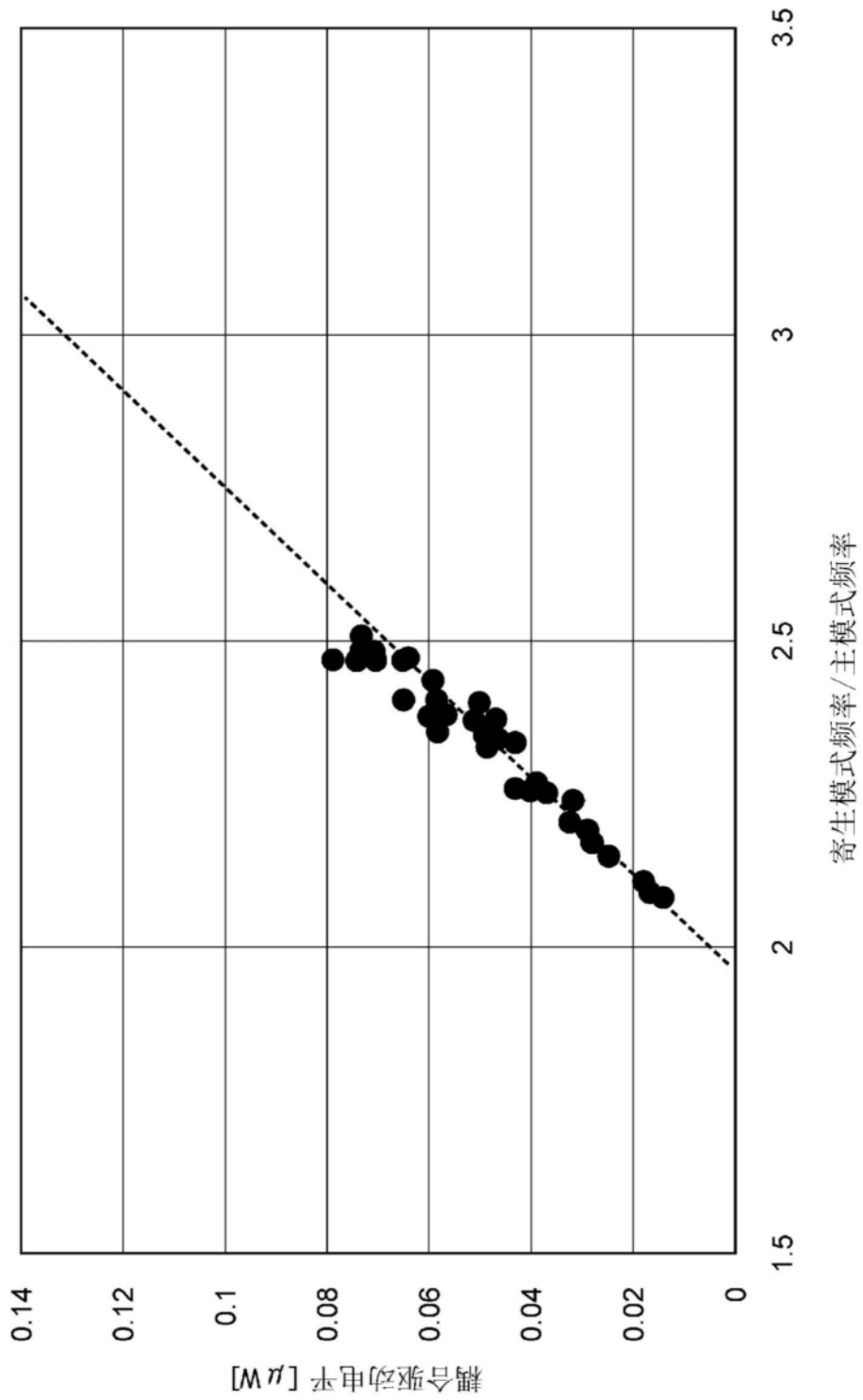


图9

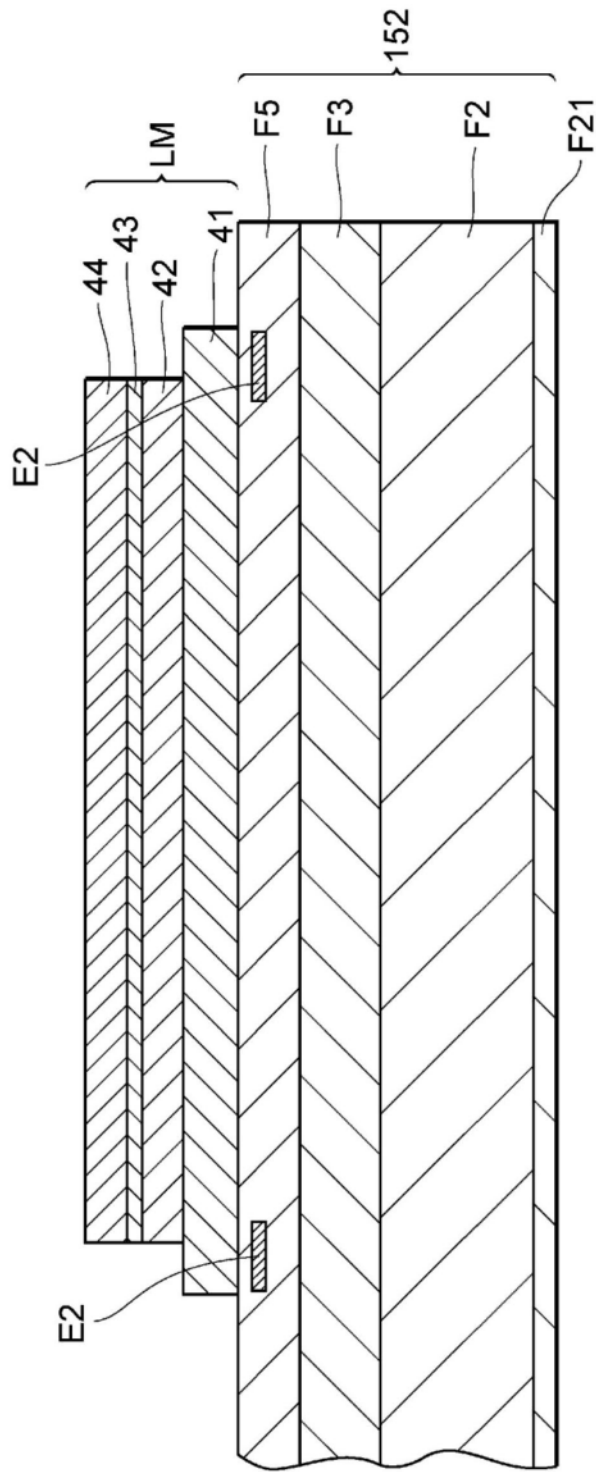


图10

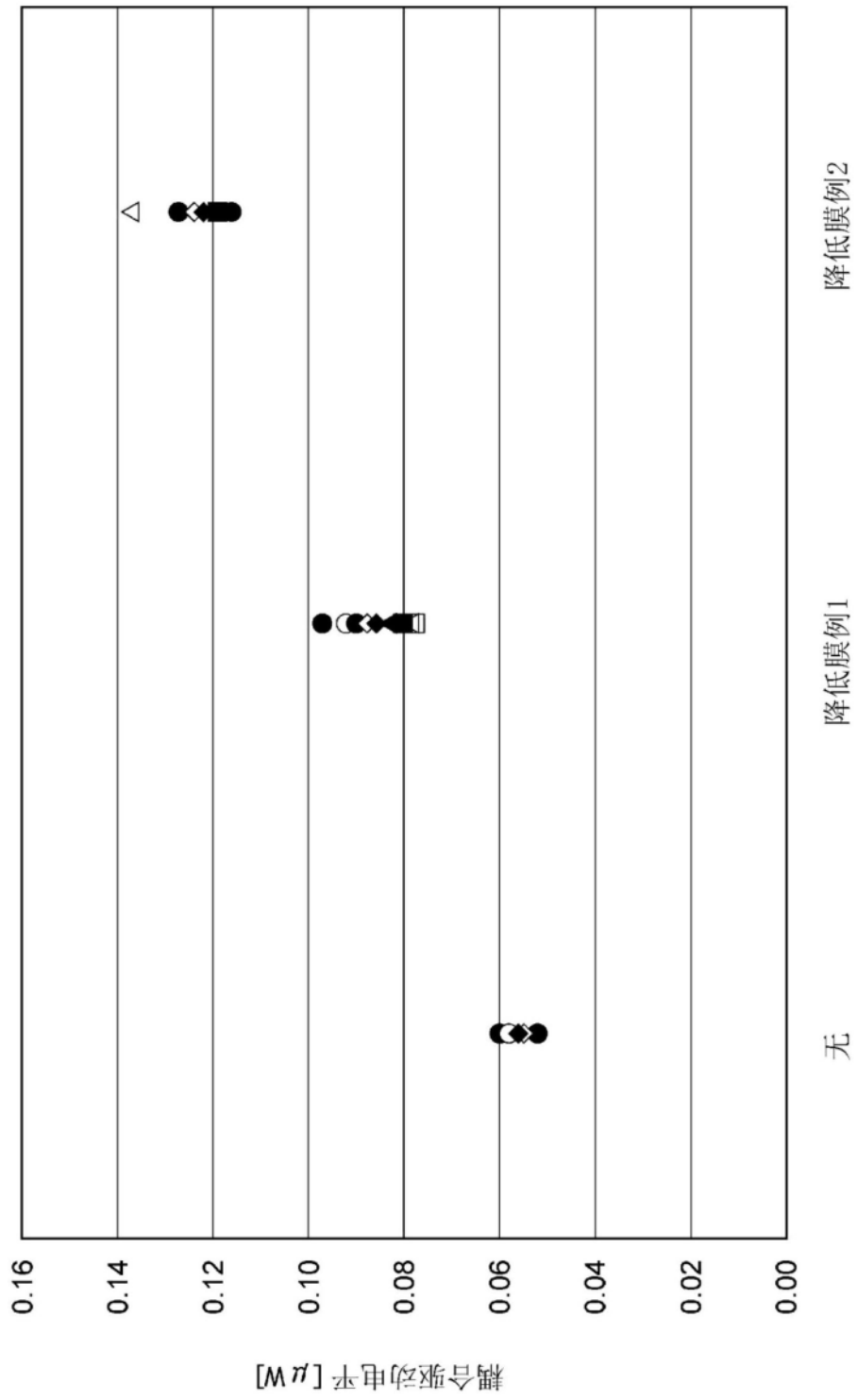


图11