[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[7]
G01C 19/56

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95116838.X

[45]授权公告日 2001 年 5 月 9 日

[11]授权公告号 CN 1065627C

[22]申请日 1995.9.20 [24]颁证日 2001.1.27
[21]申请号 95116838.X
[30]优先权
[32]1994.9.20 [33]JP [31]251248/1994
[73]专利权人 阿尔卑斯电气株式会社
地址 日本东京
共同专利权人 富川义朗
[72]发明人 富川义朗 大西一正 佐藤昭
审查员 52 40

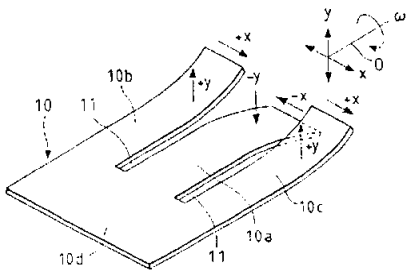
[74]专利代理机构 北京三幸商标专利事务所
代理人 刘激扬

权利要求书 4 页 说明书 20 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 振动陀螺仪

[57]摘要

一振动器,其具有形成在弹性件前面和背面上的压电材料层。在振动器上形成 第一、第二和第三弹片。电极层产生施加到第二弹片上的第一和第二力偶,驱 动该弹片使其在某个时间点的 +x 方向上起动,并同时使第三和第一弹片产生 振动,且分别在 +x 和 -y 方向产生变形。当振动器转动时,第二和第三弹片 在某个时间点上沿 +y 方向振动,而第一弹片则在 -y 方向振动。第二弹片与 第三弹片的外侧端和基部的侧端之间形成平面差结构。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种振动陀螺仪，包括：振动器，其具有相同宽度、相同长度的三个弹性片，三个弹性片由在板形弹性件上形成的两个互相分离的具同一宽度的缝隙所分隔；第一驱动/检测装置，其能够使弹性片在压电效应下产生沿板表面方向的变形或者能够检测因弹性片沿板表面方向变形而产生的电压；和第二驱动/检测装置，其能够使弹性片在压电效应下产生沿板厚方向的变形或能够检测因所说弹性片沿板厚方向变形而产生的电压；用所说的其中一个驱动/检测装置测得的电压来确定振动器的角速度，所说角速度是在科里奥利力引起弹性片产生变形振动时产生的，而科里奥利力是在振动器转动且弹性件在另一个驱动/检测装置作用下产生变形振动的情况下产生的，其中三个弹性片和两个缝隙的宽度加在一起的总宽度小于振动器上未形成弹性片的基部宽度。

2. 如权利要求1所述的振动陀螺仪，其中所说的振动器在弹性片和基部的交界处有平面差，左边弹性片的外端与基部的左边外端处于不同平面，右边弹性片的外端与基部的右边外端处于不同平面。

3. 如权利要求2所述的振动陀螺仪，其中在宽度方向上该平面差的深度小于每个弹性片宽度的0.8倍。

4. 如权利要求3所述的振动陀螺仪，其中用变形振动模式来驱动三个弹性片，而且使侧边的弹性片在相同的方向上起动，而使中间的弹性片在相反的方向上起动。

5. 一种振动陀螺仪，包括：带有具有相同宽度、相同长度的三个弹性片的振动器，三个弹性片由在板形弹性件上形成的两个互相分离的具同一宽度的缝隙相分隔；第一驱动/检测装置，其能够使所说弹性片在压电效应作用下产生沿板表面方向的变形或能够检测因弹性件沿板表面方向变形而产生的电压；和第二驱动/检测装置，其能够使所说弹性片在压电效应作用下产生沿板厚方向的变形或能够检测因所说弹性片沿板厚方向变

形而产生的电压，通过由所说驱动/检测装置之一测得的电压来确定振动器的角速度，该角速度是在科里奥利力引起弹性件产生变形振动时形成的，而科里奥利力是在振动器转动且弹性件在另一个驱动/检测装置作用下产生变形振动的情况下形成的，其中所说的第一驱动/检测装置带有一对电极，其能够以力偶的形式提供变形力，所说的力偶作用在相反方向上，它能使弹性片绕着在板厚方向上延伸的中轴线转动，而且所说的第二驱动/检测装置也具有一对电极，其能够提供力偶形成的变形力，该力偶作用在相反的方向上且能使弹性片在板厚的范围内绕着在板表面方向上延伸的中轴线转动。

6. 如权利要求5所述的振动陀螺仪，其中用变形振动模式来驱动三个弹性片，而且使侧边的弹性片在相同的方向上起动，而使中间弹性片在相反的方向上起动。

7. 一种振动陀螺仪，包括：带有具有相同宽度、相同长度的三个弹性片的振动器，三个弹性片由在板形弹性件上形成的两个互相分离的具同一宽度的缝隙相分隔；第一驱动/检测装置，其能够使所说弹性片在压电效应作用下产生沿板表面方向的变形或者能够检测因所说弹性片沿板表面方向变形而产生的电压；和第二驱动/检测装置，其能够使所说弹性片在压电效应作用下产生沿板厚方向的变形或者能够检测因所说弹性片沿板厚方向变形而产生的电压，通过用所说驱动/检测装置之一测得的电压可确定振动器的角速度，该角速度是在科里奥利力使弹性片产生变形振动时产生的，而科里奥利力是在振动器转动且弹性件在另一个驱动/检测装置作用下产生变形振动的情况下形成的，其中当弹性片以次级或更高次谐振模式沿板厚方向振动时，所说第二驱动/检测装置分别检测弹性片表面上的压缩和拉伸部分。

8. 如权利要求7所述的振动陀螺仪，其中第二驱动/检测装置由压电材料层和形成在压电材料层上的电极层构成，当每个弹性片以次级或更高次谐振模式产生沿板厚方向的振动时，

压电材料层在每个弹性片表面上的压缩部分和拉伸部分处具有不同的极化方向。

9. 如权利要求8所述的振动陀螺仪，其中用变形振动模式来驱动所说的三个弹性片，而且使侧边的弹性片在相同的方向上起动，而使中间弹性片在相反的方向上起动。

10. 如权利要求8所述的振动陀螺仪，其中所说的弹性片以次级谐振模式产生沿板厚方向的振动，在基部一侧上每个弹性片的检测区长度小于弹性片总长度的0.5倍。

11. 如权利要求7所述的振动陀螺仪，其中所说的第二驱动/检测装置由当每个弹性片以次级或更高次谐振模式产生沿板厚方向的振动时，在每个弹性片表面的压缩部分和拉伸部分处具有相同极化方向的压电材料层和形成在每个压电材料层的压缩部分上的分离电极层构成。

12. 如权利要求11所述的振动陀螺仪，其中以变形振动模式来驱动三个弹性片，而且使侧边的弹性片在相同的方向上起动，而使中间的弹性片在相反的方向上起动。

13. 如权利要求11所述的振动陀螺仪，其中所说的弹性片以次级谐振模式沿板厚方向振动，在基部侧上每个弹性片的检测区长度小于弹性片总长度的0.5倍。

14. 一种振动陀螺仪，包括：带有具有相同宽度、相同长度的三个弹性片的振动器，三个弹性片由在板形弹性件上形成的两个互相分离的具同一宽度的缝隙相分隔；第一驱动/检测装置，其能够使所说弹性片在压电效应的作用下产生沿板表面方向的变形或能够检测因所说弹性片沿板表面方向变形而产生的电压；和第二驱动/检测装置，其能够使所说弹性片在压电效应作用下产生沿板厚方向的变形或能够检测因所说弹性片沿板厚方向变形而产生的电压，用由所说的驱动/检测装置之一测得的电压确定振动器的角速度，该角速度是在科里奥利力使弹性片产生变形振动时形成的，而科里奥利力是在振动器转动且

弹性件在另一个驱动/检测装置作用下产生变形振动的情况下形成的，其中所说的振动器具有层压到弹性件前后面上的压电材料层和在压电材料层上形成的电极层，电极层和压电材料共同形成第一和第二驱动/检测装置。

15. 如权利要求14所述的振动陀螺仪，其中用变形振动模式来驱动三个弹性片，而且使侧边的弹性件以相同的方向起动，而使中间弹性件在相反方向上起动。

说　明　书

振动陀螺仪

本发明涉及一种利用振动器振动旋转时产生的科里奥利力对转动角速度进行检测的振动陀螺仪，更确切地说，涉及一种尺寸小、能够大批量生产和能够稳定地进行角速度检测的振动陀螺仪。

虽然在例如飞机或轮船的惯性导航系统中已经使用陀螺仪来检测转动角速度，但是近年来，陀螺仪已越来越多地用于交通导航系统或机器人或非手动操作装置的姿态控制、电视机或录像机的防振装置和与娱乐活动有关的装置中。

为了使陀螺仪适用于各种应用场合，要求它们具有小的尺寸，由此把注意力集中到了振动陀螺仪上。

图13表示振动陀螺仪的基本结构。

该振动陀螺仪具有压电驱动元件2和压电检测元件3，元件2和3均粘贴在由弹性合金(铁镍铬合金)构成的柱形振动器1上。

当通过压电驱动元件2沿X轴方向对振动器1 施加弯曲振动而使得振动器1绕轴O转动时，科里奥利力沿Y 轴方向作用在振动器1上。通过压电元件3检测由科里奥利力沿Y 轴方向施加到振动器1上的弯曲振动而产生的电压。

如果把振动器1的质量定为m，把通过压电驱动元件2沿X轴方向加到振动器1上的振动速度定为V(矢量值)，把绕O 轴转动的角速度定为ω(矢量值)，则由公式1可确定互补力F(矢量值)：

$$F = 2m(V \times \omega) \qquad \text{(矢量值)}$$

该公式表明科里奥利力正比于角速度ω。 通过压电检测元件3把由互补力F引起的振动器1沿Y 轴方向的变形振动转换成电压并根据测得的电压来确定角速度。

然而，在图13所示的陀螺仪中，要把非常昂贵的弹性合金加工成柱形，从而使得材料来源极其缺乏。此外，由于需要把材料加工成具有高精度的柱形，所以导致了较高的加工费。而且，在这种陀螺仪中，当压电驱动元件2 把弯曲振动加到振动器1上时，需要将柱形振动器1部分切除才能对谐振频率进行调节，这使得调色操作十分麻烦。

为了克服这些缺陷，本发明的发明者对采用由弹性合金制成的板形振动器4的传统音叉型振动器进行了研究， 这种振动器示于图14中。在这种陀螺仪中，振动器4 的中部形成缝隙4a，该缝隙将板分成两个弹性片4b和4c。如图15A所示， 在驱动元件作用下，弹性片4b和4c以其各自固有的谐振频率沿板的方向产生振动。在某个时间点上，弹性片4b和4c的振动分别产生在＋X方向和－X方向，从而使它们的相位相反。如图15B 所示，当振动器4在施加到其上的振动的作用下围绕O轴产生转动时，由于科里奥利力的作用而分别在－Y和＋Y的方向上产生变形。该变形可用压电检测元件进行检测，并将测得的畸变转换成电压以便确定角速度ω。

如图14和15所示的板形传统音叉型振动器4 具有以下缺点：

(1) 弹性片4b和4c产生不对称振动，这会在整个振动器上产生扭曲应力，这样无法获得稳定的角速度检测。此外，在驱动期间对谐振频率进行调节时需要分别对弹性片4b和4c进行微调，这使谐振频率的调色操作变得麻烦。此外，在调节期间，可能会使弹性片4b和4c处于不对称状态，这会使精度降低。

(2) 当在科里奥利力的作用下使每个弹性片4b和4c沿Y 方向产生变形振动时，振动节点线位于图14所示振动器的区域(a)和(b)中。因此，需要通过例如位于振动器后端中部处的支撑杆以悬臂梁的形式来支撑振动器4，这限制了支撑结构。 在通过支撑杆5的悬臂梁的形式支撑振动器的结构中， 机械支撑强度不太稳定，这使得振动器4更容易受外部振动的影响。

为了克服已有技术中的上述缺陷，本发明的目的是提供一种振动陀螺仪，这种陀螺仪采用了价格低廉的板形振动器而且容易制造并能进行稳定的角速度检测和容易进行频率调节，而且其允许使用稳定的支撑结构。

按照本发明，所提供的振动陀螺仪的主要部分包括具有三个弹性片的振动器，三个弹性片由两个在板形弹性件上形成的缝隙分隔形成；第一驱动/检测装置能够借助压电效应使弹性片产生沿板表面分向的变形，或能够根据弹性片沿板表面方向的变形进行电压检测；第二驱动/检测装置能够借助压电效应使弹性片产生沿板厚方向的变形或者能够根据所说弹性片沿板厚度方向的变形进行电压检测，其中振动器的角速度是由用其中一个驱动/检测装置测得的电压确定的，所说的电压是从由科里奥利力引起的弹性片的变形振动中产生的，当另一个驱动/检测装置使弹性片产生变形振动并使振动器转动时产生科里奥利力。

按照本发明的上述振动陀螺仪，三个弹性片和两个缝隙加在一起的总宽度小于振动器上未形成弹性片的基部的宽度。

为了使上述宽度不同，例如使弹性片和基部形成在振动器的不同平面上，使左弹性片的外端与基部的左边外端处于不同平面，并使右弹性片的外端与基部的右边外端处于不同平面。

在这种情况下，沿宽度方向平面差的深度小于每个弹性片宽度的0.8倍。

可以这样设置本发明振动陀螺仪的上述主要部分，即使得第一驱动/检测装置带有一对能提供变形力的电极，所施加的变形力是一对作用方向相反的力，该力能使弹性片围绕着在板厚度方向上延伸的中轴线产生转动，而且第二驱动/检则装置具有一对能够施加变形力的电极，所施加的变形力是一对作用方向相反的力，该力能使弹性片在板厚度的范围内围绕着沿板表面方向延伸的中轴线转动。

可以这样设置本发明振动陀螺仪的上述主要部分，即当弹

性片沿板厚方向以次级或高次谐振模式振动时，第二驱动/检测装置分别检测弹性片表面上的压缩部分和拉伸部分。

按照本发明，第二驱动/检测装置可以由压电材料层和形成在压电材料层上的电极层构成，压电材料层在每个弹性片以次级或较高次谐振动模式沿板厚度方向振动时，使每个弹性片表面上的压缩部分和拉伸部分处有不同的极化方向，或者是第二驱动/检测装置可以由压电材料层和形成在每个压电材料层的压缩部分和拉伸部分上的分离电极层构成，所说的压电材料层在每个弹性片沿板厚度方向以次级或较高次谐振模式振动时，在每个弹性片表面上的压缩部分和拉伸部分处有相同的极化方向。

按照上述振动陀螺仪，当每个弹性片沿板厚方向以次级谐振模式振动时，最好是使主要部分侧上每个弹性片的检测区长度位于小于弹性片全长0.5倍的范围内。

按照本发明，上述振动器带有层压在弹性件前面和背面上的压电材料层和形成在压电材料层上的电极层，电极层和压电材料层共同形成所说的第一和第二驱动/检测装置。

在前面的所有描述中，用变形振动模式来驱动三个弹性地，其中在相同的方向上驱动侧面的弹性片，同时在相反的方向上驱动中间的弹性片。

虽然不是唯一的，但是本发明的振动陀螺仪可以包括与上述有关的所有特征。

正如从以上描述中可以清楚认识到的那样，按照本发明的振动陀螺仪，振动器是板形的，这样就可以用低成本进行大批量生产。此外，由于可以使用刚性体的支撑结构，所以支撑状态是稳定的。而且，通过对中间的弹性片进行微调就可简单地调整谐振频率，由此可以容易地设置频率。

使所形成的弹性片最外侧端和振动器基部的侧端处于不同平面中的防止扭曲应力作用在基部上，这使得振动器能稳定地谐振。

通过设置能借助于为偶以H模式和V模式驱动弹性片的电极可以用H模式式V模式对弹性片进行有效的和良好的驱动，和对由科里奥利力引起的振动器变形进行高精度检测。

当弹性片沿板厚方向以次级或更高次谐振动模式产生振动时，分别检测压缩部分和拉伸部分，以便用附加的输出信号来检测弹性片沿Y方向的变形。

由于有压电效应，所以通过在弹性件的前面和背面上层压压电材料层而形成的振动器结构允许较大的变形力作用在弹性片上，由此可以高精度地检测弹性片中的应变。通过冲制层压结构而形成的振动器不需定位和粘贴各压电材料层，所以容易生产出具有较高精度的陀螺仪。

图1是振动器基本形状和工作状态的透视图；

图2是振动器支撑结构的透视图；

图3A是振动器优选的平面形状的平面图，而图3B是它的侧视图；

图4是表示采用图3所示形状的振动器的振动陀螺仪检测精度的曲线图；

图5是测得的振动陀螺仪衰减电压的矢量图；

图6是表示图3中不同平面位置13和谐振动频率之间关系的曲线图；

图7是振动器另一个实施例的平面图；

图8A是每个弹性片上电极层的放大端视图，而图8B是弹性片上不同电极层的放大端视图；

图9 是表示弹性片沿板厚方向以次级谐振动模式产生的变形；

图10A和10B是能够有效地检测图9 所示变形的检测部分结构的侧视图；

图11是表示图10中L_1部分的长度和等效电容之间关系的曲线图；

图12A、12B和12C是振动器的平面图、侧视图和底视图，

其表示形成在振动器中的电极层的具体实例；

图13是传统振动陀螺仪中振动器的透视图；

图14是用板片制成的传统音叉型振动器的透视图；和

图15A是表示在驱动元件驱动下图14 中振动器振动状态的视图，而图15B 是表示因科里奥利力而引起的振动器变形的视图。

下面将参照附图对本发明进行说明。

图1 是表示用于本发明振动陀螺仪中的振动器基本结构如工作状态的透视图，而图2是图1中振动器支撑结构的透视图。

参照附图，板形振动器10主要由弹性合金(铁镍铬合金)构成。在本发明的优选实施例中，将压电材料层整体层压到弹性合金板材的两面上，并在压电材料层上形成电极层。

上述弹性合金(铁镍铬合金)是一种当温度在室温左右变化时其杨氏模量变化很小的材料。这种合金的实例包括Fe(铁)、Ni(镍)、Cr(铬)和Ti(钛)合金，这些合金中加有Co(钴)。

在下面的描述中，将板形振动器上每个弹性片的板厚方向设为“Y”，而将垂直于板厚方向的板表面方向设为“X”。如图1所示，用ω表示振动器沿X和Y方向的转动角速度。

如图1所示，振动器10上具有两个在其上形成的缝隙11，当从板材的前端测量时，这两个缝隙的长度相同。缝隙11是这样形成的，那沿着板厚度方向(Y 方向)将振动器10切开，其中三个分离的弹性片全部都沿X方向构成，即中间弹性片10a，和中间弹性片两侧的左、右弹性片10b和10c。

第一和第二驱动/ 检测装置由整体形成在弹性合金件两面上的压电材料层和形成在弹性合金件上的电极层构成。下面将对电极层的结构进行详细说明。借助压电效应，第一驱动/ 检测装置能够沿板表面的方向(X方向)驱动每个弹性片10a、 10b和10c。当每个弹性片沿板表面方向(X方向)产生变形时，可以通过固压电效应而产生的电压来检测变形。借助压电效应，第二驱动/检测装置能够沿板厚方向(Y方向) 驱动每个弹性片10a

、10b和10c。当弹性片沿板厚方向(Y方向)产生变形时，可以通过固压电效应而产生的电压来检测弹性片的变形。

振动器10上弹性片10a、10b和10c 的振动模式包括沿板表面的振动模式，在该模式中每个弹性片都沿板表面方向(X方向)振动(以下称为“H模式”，和沿板厚方向的振动模式，其中每个弹性片都沿板厚方向(Y方向)振动(以下称为“V模式”)。

在用于检测角速度(ω)的方法中，由于压电效应，第一驱动/检测装置驱动中间弹性片两侧的弹性片10b和10c 使其振幅方向在某个确定的时间点上都处于＋X方向，同时该驱动/检测装置驱动中间弹性片10a 使它的振幅方向在某个确定的时间点上处于－X方向(H模式振动)。当振动的振动器10以某个角速度ω转动时，产生科里奥利力，该力使弹性片10b和10c产生振幅方向为＋Y方向的变形振动并使中间弹性片10a产生振幅方向相反或为－Y方向的变形振动(V模式振动)。通过第二驱动/ 检测装置利用科里奥利效应检测因振动而引起的每个弹性片沿Y 方向的变形电压。根据上述公式1，由于科里奥利力正比了角度速度ω，所以例如通过检测因振动引起的每个弹性片沿Y 方向的变形量电压可以确定角速度ω。

在另一种检测角速度ω的方法中，用第一驱动/ 检测装置产生振动并以相同的相位只驱动侧边弹性片10b和10c使其振动幅在某个时间点上处于＋X方向。弹性片10b和10c在＋X方向上的振动可产生使中间弹性片10a在－X方向上形成与上述弹性片10b和10c相反相位的振动的反作用力。振动着的振动器的角速度ω转动而形成能使弹性片10b、10c和10a 振动的科里奥利力。弹性片10b和10c以这样的方式振动，即在某个时间点上它们的振幅都在＋Y方向。另一方面，中间弹性片10a的振动方式是，在某个时间点上它的振幅处在相反的或－Y方向。用第二驱动/检测装置检测每个弹性片沿Y方向的变形以便确定角速度ω。

在另一种检测角速度的方法中，用第二驱动/ 检测装置沿Y方向驱动每个弹性片(V模式)。在这种情况下，使所有弹性片

10a、10b和10c振动并以预定的频率对其进行驱动以便如图1所示，使弹性片10b和10c在某个时间点上产生＋Y 方向的变形而使中间弹性片10a产生－Y方向的变形。当使振动的振动器转动时，产生能使弹性片10a、10b和10c沿板表面方向(X方向)变形并形成谐振的科里奥利力(H模式)。用第一驱动/检测装置以电压的形式测出因弹性片以图1 所示相位产生振动而引起的变形以便确定角速度ω。

还可以沿Y 方向只驱动中间弹性片两侧上的弹性片 10b和10c。在这种情况下，反向力使中间弹性片10a产生振动并在与弹性片10b和10c位移方向相反的方向上产生移动。肌箍梢匝到方向只驱动中间弹性片10a。在这种情况下， 反向力使中间弹性片两侧的弹性片10b和10c产生变形并在与中间弹性片10a 的变形方向相反的方向上产生位移。在这两种情况下，当振动的振动器10转动时，如图1所示， 由此而产生的科里奥利力使弹性片10a、10b和10c沿X方向形成变形。用第一驱动/ 检测装置对该变形振动进行检测。

如美国序列号08/278776 中所公开的本申请的在先申请中所描述的那样，当左、右弹性片10b和10c以及中间弹性片 10a以相反相位沿Y方向振动时，只需改变中间弹性片10a的长度就可完成对谐振频率的调节操作。在仅通过改变中间弹性件 10a的长度来调节频率时，振动器10的结构保持对称，这样在进行调节时不会使振动器的结构不对称，从而消除了扭曲振动。在沿Y方向对谐振频率进行上述调节时， 改变中间弹性片的长度不影响弹性片10a、10b和10c中任一个沿X方向的谐振频率。因此，能够容易地将每个弹性片10a、10b和10c沿Y方向的次级谐振调节成沿X方向的接近初级的谐振频率。

换句话说，通过调节弹性片10a 的长度使每个弹性片以初级谐振模式沿X方向振动并以次级谐振动模式产生沿Y方向的谐振，可以使两种谐振模式下沿X和Y方向的振动量几乎相同。

在振动动器10中，当振动发生在Y方向时，中间弹性片10a

和中间弹性片两侧的弹性片10b和10c产生相位相反的振动，因此在未形成缝隙11的基部10d的端部处振幅极小。此外， 在基部10d处很少产生扭曲振动。因此，如图2所示，可以采用这样的支撑结构，即用刚性体12a和12b来夹持振动器10基部10d 的端部。采用这种用刚性体构成的支撑结构，不会对振动器的振动模式产生影响。

按照本发明，振动陀螺仪具有作为重要部分的振动器10，振动器具有图1所示的形态并能够产生V振动模式和H 振动模式的振动。然而，图3中振动器10 的形状能使其更稳定地振动和以更高的精度检测角速度(ω)。图3A是振动器10的平面图，而图3B是它的侧视图。

振动器10是一种层压件，层压件具有用板形弹性合金制作的弹性件A(板厚为Ta)构成的中心层，弹性件A的前面和背面上整体地层压有压电材料层B(板厚为Tb)。

图3A中的振动器10相对于中线O1－O1的左右侧(图中的顶侧和底侧)是对称的。三个弹性片10a、10b和10c都具有相同的宽度(Wa)。将弹性片分开的两个缝隙11的尺寸为Wb。三个弹性片10a、10b和10c具有相同的长度(La)，而且基部10d和弹性片起始边之间的长度(或基部10d的长度)尺寸为Lb。

如图3A所示，在弹性片10b和10c的左右外侧端14b 和基部10d的两侧编14a之间形成平面差部分13。呈直角的平面差部分13构成凹进的形状。呈直角的平面差部分13和缝隙11的底部处于相同的线D上。平面差部分13沿宽度方向切下的深度为Ws 。应这样确定该尺寸，即使得用公式3 x Wa + 2 x Wb表示的三个弹性片10a、10b及10c的宽度(或Wa)和两个缝隙11的尺寸(或Wb)的总和比基部10d的宽度Wo小(2 x Ws)。

由于在振动器10的弹性片10b和10c外侧端14b和基部10d的侧端14a之间存在平面差，所以当弹性片10a、10b和10c沿X和Y方向振动时，通过平面差部分13可消除侧端14b处产生的应力，这样就使应力很难达到由刚性支撑的基部10d的基部端。 结果

是，很少会发生因弹性片10a、10b和10c振动而使基部10d产生沿扭曲方向的无益振动，这使得弹性片能稳定的振动并能以较高精度检测角速度。

图4表示用带有平面差部分13的振动器10 进行的角速度测量。虽然在实验中使用的是图12中所示的振动体，但是其各部分的尺寸等示于图3中。

在用于实验的振动体10上，Wa＝7mm，Wb＝0.6mm，Ws＝2.0mm，La＝20mm，Lb＝30mm，Ta＝0.6mm，而Tb＝0.25mm。 在振动器10中，第一驱动/检测装置使弹性片10b和10c 在某个时间点上以＋X方向的振幅产生振动而使中间弹性片10a在某个时间点以－X方向的振幅产生振动，振动期间振动器10 产生角速度为ω的转动。如图1所示，这时在沿Y方向的振动模式下，因振动而产生的科里奥利力使弹性片产生变形，该变形通过第二驱动/检测装置以电压的形式测出。

在图5中，矢量Vo表示在带有振动器10的振动陀螺仪中，根据因科里奥利力导致的弹性片沿 Y方向的变形测出的电压。V_1表示在振动器10不旋转时产生的漏输电压，而V_2表示振动器10转动时产生的与角速度ω成正比的电压。φ表示V_0和V_1之间的相位差。图4中设有用$V_0 \cdot \mathrm{Cos}\varphi$表示的横轴和用$V_0 \cdot \mathrm{Sin}\ \varphi$表示的竖轴以便清楚地表示用具有图3所示形状的振动器10 检测到的角速度ω和所获得的稳定电压V_2。图4 的曲线图中向上和向下延伸的虚线表示测量值的变化，而每个黑点表示变化的平均值。图4表示在两种情况下测量值的变化不大。 这表明用带有平面差部分13的振动器10可以实现很高精度的角速度检测。

图6表示上述平面差部分13深度Ws 的变化范围对谐振频率的影响。

在该实验中使用的振动器上，Wa＝2.6mm，Wb＝0.2mm，La＝6mm，Lb＝10mm，Ta＝0.2mm，和Tb＝0.1mm。 制作多个具有不同深度Ws(由Wo变化而来)的平面差部分13的振动器10。针对每种振动器类型确定图1中所示的沿X方向(H振动模式)和沿Y方

向(V振动模式)的谐振频率(KHz)。

在图6中，横轴表示Ws/Wa，而纵轴表示谐振频率(KHz) 。参照该图，在H振动模式(用黑点表示)中谐振频率不受Ws/Wa值的影响，其表示谐振频率是稳定的。另一方面，在V 振动模式中谐振频率受Ws/Wa值的影响。然而，如果Ws/Wa小于0.8mm ，那么既使是Ws/Wa发生变化，V振动模式中的谐振频率也只出现轻微的改变。

更具体地说，如图4所示，尽管平面差部分13 能防止振动器10出现扭曲振动从而提高了角速度的检测精度，但是当例如Ws/Wa大于0.8时，由于制造误差等因素会使Ws/Wa 发生变化，由此可使V振动模式中的谐振频率发生变化。图6中示出 Ws/Wa优选小于0.8或者是小于0.8但大于0.5，最好优选小于0.75 或者是小于0.75但大于0.5，或优选小于0.65或者小于0.65 但大于0.5。当Ws/Wa 落入上述任何范围内时， 因制造误差引起的Ws/Wa的改变几乎不会导致谐振频率发生变化。 借助于所设置的平面差部分13和将Ws/Wa设定在上述任何范围值之内， 既使在以低精度生产产品和进行粗加工的情况下也不会引起谐振量的改变，所以能够恒定地获得图4中所示的稳定的角速度检测。应注意到，在图4的实例中使用的振动器10的Ws/Wa是0.5。

通过在弹性片10b和10c的左右侧端14b和基部 10d 的侧端14a之间形成平面差部分13，使侧端14b和14a 不处于相同的平面上即可实现上述优点。平面差部分13不必一定为直角。侧端14b和14a可以是曲线。如图7所示，可使基部10d的边界和弹性片起始点之间的宽度 W_1略大于W_0以便在这个边界和弹性片10b和10c之间形成平面差部分13。图3和图7中的整个振动器10 可用压电材料制成。

图8表示用于驱动上述振动器10的电极层。图8A是图3A 中振动器10的弹性片10a、10b和10c前端的放大视图。图8B 是只表示弹性片10b端部的另一个放大视图。

图8A和8B中的振动器10具有将压电材料层B压到弹性件A前

面和背面上的层压结构。

假设图8A和图8B中的振动器10以与图1 所示相同的振动模式产生谐振。

驱动每个弹性片10a、10b和10c使它们以初级谐振H模式产生沿板表面方向(x方向)的振动，而且当振动器10转动时， 弹性片10a、10b和10c借助科里奥利力以次级谐振V模式产生沿板厚方向的振动。

如图1所示， 用相同的相位驱动中间弹性片左右侧上的弹性片10b和10c，使其振幅在某个时间点上处于＋x方向。因此，可用具有相同结构的第一驱动/检测装置沿 x 方向驱动弹性片10b和10c。

在图8A中，在每个弹性片的相同区域范围内层压到弹性件A前面和背面上的压电材料层B的极化方向是相同的。在图8A中，沿厚度方向压电材料层B的极化方向为相反的方向，如白色箭头所示，极化方向朝向压电材料层的表面。

可以看出，在图中的上侧将一对电极层21a和22a层压在压电材料层B上而构成了弹性片10b。向每个电极层21a和22a提供交流(ac)电压，其中在某个时间点上将正(＋)电压提供给电极层21a，而将负电压(－)提供给电极层22a。如图3A所示，在提供这种电压时，在形成电极层21a部分处的压电材料层B 上作用有拉伸力f_1(沿拉伸方向的应力)，而在形成电极层22a 部分处作用有压缩力f_2(沿压缩方向的应力)。由于这对电极层21a 和22a是在x平面内形成的，所以作用在相反方向上的力f_1和f_2是一对作用在x平面内的力。 这些力f_1和f_2是能使弹性片绕中轴转动的力偶，所述中轴是沿弹性片的板厚方向(y方向)伸延的虚线Oy。当向电极层21a施加负ac电压(－)和向电极层22a施加正(＋)ac电压时， f_1和f_2作用在相反的方向上。

这种作用在形成有一对电极层21a和22a的压电材料层B 上且引起绕中轴Oy转动的力偶使弹性片10b产生±x方向的有效振动。

在图8A的实施例中，在图中下部压电材料层B上还形成一对电极层21b和22b。施加到每个电极层21b和22b上的电压相位分别与施加到上述电极层21a和22a上的电压相位相同。因此，当把与施加到上部压电材料B 上的电压相位相同的电压相位施加到下部压电材料层B上时，这种能引起绕虚线Oy所示中轴转动的力偶作用在图8中下侧的压电材料层B上。所以，弹性片10b 受到通过其前面和背面上形成的两个压电材料层B 施加的方向相反的力f_1和f_2的作用，这样使弹性片在±x方向上振动和起动。该力偶使弹性片10b总是在±x方向上起动，这可以减少能量损失。

图8中左手侧所示的弹性片10c带有与弹性片10b 相同的电极层。更具体地说，在弹性片10b中，在图8A 上部的压电材料层B上形成有一对电极层21a和22a，而在下部的压电材料层B上形成电极层21b和22b。用与弹性片10b 相同的参考标号表示的弹性片10c 的电极层驱动电压与施加到其上的电压相位和极性均相同。因此，与弹性片10b相同，弹性片10c由力偶驱动，当力f_1和f_2在弹性片的前面和背面作用于相反的方向上时，该力偶致使弹性片围绕虚线Oy所示的中轴转动。

在图8A中部的弹性片10a中，在上部压电材料层B上沿x方向分离地形成一对电极层23a和24a，而在下部压电材料层B 上同样沿x方向分离地形成一对电极层23b和24b。 在某个时间点上将不同极性的电压施加到电极层23a和24a以及电极23b和24b上。因此，将力偶也施加到中间弹性片10a上， 力偶会引起弹性片绕沿板厚方向(y方向)延伸的虚线Oy转动。

在这个实施例中，第一驱动/检测装置由压电材料层B和在压电材料B的前面和背面上形成的电极21a，21b，22a， 22b，23a，23b，24a和24b构成。第一驱动/ 检测装置借助力偶沿板的方向驱动弹性片10a，10b和10c，力偶使弹性片绕中轴转动，中轴是一条沿板厚方向(y)延伸的线Oy，侧边的弹性片10b和10c在某个时间点上具有与中间弹性片的相位和振幅相反的相

位和振幅(见图1)。

其弹性臂10a，10b和10c以初级振动模式(H模式)沿板表面(x方向)驱动的振动器10转动时产生科里奥利力，该力在弹性片10a，10b和10c中形成沿y方向的力，如图1所示，其中每个弹性片都产生沿y方向的振动。该振动由第二驱动/检测装置进行检测。

为此，弹性片10b上带有一对电极层25和26，每个电极层都沿板厚方向以一定的间隔分别形成在其各自的压电材料层B上。在某个时间点上，如果在电极层25上施加正向(+)驱动电压而在电极层26上施加负向(-)电压，那么弹性片10b将沿y 方向产生弯曲。更具体地说，如图3B所示，当在某个时间点上向电极25施加正向电压时，拉伸力fa将作用在图中下部的压电材料层 B上，而当向电极26施加负向电压时，作用在图中上部压电材料层B上的是压缩力fb。这两个沿弹性片长度方向作用在相反方向上的力是以力偶的形式施加的，该力偶使弹性片 10b产生绕虚线Ox的转动，虚线Ox在弹性片10b的板厚范围内沿板表面(x方向)延伸。

然而，沿x方向驱动弹性片10b时，借助电极层21a，21b，22a，和22b的作用，可以用电极层25和26来检测当力偶引起弹性片沿y方向振动时弹性片10b产生的变形。当科里奥利力使弹性片10b在某个时间点上沿＋y方向产生振动和变形时，下部压电材料层B上作用有拉伸力，而上部压电材料层B上作用有压缩力。因此，根据压电效应可测出电极层25两端的正电压，同时测出电极层26两端的负电压。当弹性片10b产生沿－y方向的变形时，能分别测出电极层25和26两端上相反极性的电压。

例如，如果把通过电极26测得的电压极性反向并把这个电压加到用电极层25测得的电压上时，就能够检测由科里奥利力引起的弹性片10b沿y方向产生的变形。

当用包含有能形成使弹性片沿板厚方向(y方向) 转动的力偶的电极层25和26的结构来检测因科里奥利力而使弹性片产生

的变形时，可用这一对电极检测弹性片的拉伸和压缩。取测得的电极25和26的电压差来增加检测电压就能对角速度进行高精度检测。

如图1所示，在科里奥利力作用下使弹性片10c 产生与弹性片10b相同相位的振动和变形。所以，弹性片10c具有用与弹性片10b相同方式构成的电极层25和26。在检测科里奥利力时，可以用电极层25和26来检测弹性片的拉伸和压缩，用这个增大的检测输出信号可以进行较高精度的角速度检测。

中间弹性片10a以与中间弹性片两侧上弹性片10b和10c 的相位相反的相位沿y方向产生变形，而且在其前面和背面上形成电极层27和28。通过该电极层27和28，可以将力偶施加到弹性片10a上使其绕虚线Ox转动。此外，可以用电极层27和28 检测两个方向上的变形，即由科里奥利力引起的压缩和拉伸。

用具有形成在压电材料层B上的电极层25，26，27和28 的形式构成的第二驱动/ 检测装置能够借助分离的电极通过因压电效应产生的电压来检测弹性片沿y方向的压缩和拉伸。 将测得的两个电压差相加使因科里奥利力引起的变形以高电压值的形式输出。

当驱动弹性片10a，10b和10c使其振动并产生沿y方向的变形， 和使振动器10 转动以便检测因科里奥利力引起的弹性片10a，10b和10c沿x方向产生的变形时，施加到上述电极层25，26，27和28上的驱动电压产生如图3B所示的力偶fa和fb，而且该力偶有效地沿y方向驱动弹性片。通过电极层21a，21b，22a，22b，23a，23b，24a和24b 以电压的形式测出因科里奥利力引起的沿x方向的变形。例如，当科里奥利力使弹性片10b产生沿x方向的变形时，用一对电极层21a和22a检测不同电极层的拉伸和压缩，由此获得高检测输出信号。

在图8A中，层压到弹性件A前表面上的整个压电材料层B的极化方向是相同的。这对层压到弹性件1 背面上的整个压电材料层B也适用。然而，如图8B所示，也可以改变对着电极层的部

分压电材料B的极化方向。虽然图8B中只示出了弹性片10b，但是也可以使弹性片10c和10a在与电极层相对的部分上具有不同的极化方向。

在图8B所示的实例中，当在某个时间点上弹性片10b 产生沿＋x方向的变形时，将把相电压施加到电极层21a，21b，22a和22b上。在这种情况下，借助力偶的作用使弹性片10b 在＋x方向上起动。当弹性片10b在例如＋y方向产生变形时，通过电极层25和26以电压的形式测出拉伸和压缩，电极层25和26上带有从电极25和26两端的电压中得到的相同相位(相同极性)的电压。

图9是弹性片处于以次级谐振模式沿y方向振动状态下的视图。

例如，当在某个时间点上弹性片10b 以次级谐振模式产生沿－y方向的变形时，图中上侧的层压压电材料层B 受到拉伸并在部分(a)处被拉出。另一方面，在弹性片10b和基部10d 之间的边界(b)处产生压缩应力。在下部压电材料层B上出现相反的情况。压应力出现在(a)部，而拉应力出现在(b)部。

假设在弹性片10b长度方向上的全长La范围内，相同的电极层25和26以及压电材料层构成第二驱动/检测装置。 当弹性片10b处于如图9所示的变形状态时，虽然要检测因压电材料B受拉应力而产生的上电极层26两端的电压，但是在(b)部分处的部分压电材料层B中还产生压应力，所以因压电效应在(b)部分处产生的电势与(a)部分处的电势极性相反。换句话说， 测得的因压电效应而产生的(b) 部分两端的电压能抵消在拉应力下因压电效应而产生的(b)部分处的检测电压。因此， 在检测弹性片因科里奥利效应沿y方向产生的变形时，测得的电压输出信号减小，从而会降低检测精度。

为了避免这个问题，根据图10A和10B的实施例，可以分别检测弹性片10b在(a)部分(拉伸部分)和(b)部分(压缩部分) 的变形。

图10A表示当层压到弹性件10b前面和背面上的压电材料层具有完全相同的极性方向时的情况。在这种情况下，把构成第二驱动/检测装置的弹性件10b的电极25和26分别设置在(a)部和(b)部。在图10A中，电极层25a和26a形成在(a)部，而较短的电极25b和26b则形成在(b)部。

参照图10A，当弹性片10b以次级谐振模式振动并在某个时间点上产生如图9所示的变形时，在上部压电材料层B上(a)部分处产生拉应力，利用电极层26a两端的正电压(+)可以检测该应力，同时用电极层26b两端的负电压(-)来检测(b)部分处产生的压缩应力。另一方面，在下部压电材料层上检测电极层25a两端的负电压，同时检测电极层25b两端的正(+)电压。例如，当使测得的电极层25a和26b的电压极性反向并将这些测得的电压加到检测到的电极层26a和25b的电压上时，在(a)部分处的拉应力和(b)部分处的压应力未相互抵消的情况下，检测上述电压的总和。

图10B表示如图8B中所示的相对于电极层的部分压电材料层具有不同极化方向时的情况。

在图10B中，在前面及后面部分上压电材料层B的(a)部分和(b)部分的极化方向彼此相反。在这种情况下，电极层25以La的尺寸形成在压电材料层B的整个背面上，而电极层26以La的尺寸形成在压电材料层B的整个前面上。在图10B中，当弹性片10b产生如图9所示的变形时，压电材料B上的(a)部和(b)部的极化方向不同，因此，在电极层26的(a)部分上产生作用在压电材料层上的拉应力，该应力形成负电压(-)，而在电极层26的(b)部分上，产生能形成负(-)电压的压应力。同样的力也施加在下部压电材料层上。出现在电极层25中(a)部分上的压应力产生负(-)电压，而出现在电极层25中(b)部分上的拉应力产生负(-)电压。在图10B中，虽然对拉伸部分和压缩部分分别进行检测，但是电压输出信号是相同极性的信号，因此在拉应力和压力未相互抵消的情况下，通过加入检测到的电极层25和26

的电压可以实现对因以次级谐振模式振动而导致的弹性片10b的变形进行更精确的检测。

然而，当图10A中所示电极层25b和26b的长度L1或图10B中具有不同极化方向部分的长度L1太长时，在L1的范围内以电压形式测得的拉伸和压缩相互抵消。

图11表示上述长度L1和弹性片长度La之比与检测精度有关。

图11表示振动器10上弹性片的等效电容随L1/La 变化的关系。等效电容越大，检测的角速度就越精确。图11还表示等效电容与不同压电材料层B的厚度(Tb)/弹性片A的厚度(Ta) 比值之间的关系。○表示Tb/(Ta/2)的值为1/3，□表示Tb/(Ta/2)的值为2/3，◇表示Tb/(Ta/2)的值为3/3，△表示Tb/(Ta/2)的值为4/3，而且x表示Tb/(Ta/2)的值为5/3。在图11中，横轴表示L1/La，而纵轴表示等效电容c。由于测量是在一层弹性件A 和一层压电材料层B上进行的，所以图11中的Ta值是一半。

如从图11中所能看到的，对于用△和x表示的Tb/(Ta/2)值来说，由于压电材料层B的厚度Tb比弹性件A的厚度Ta更厚一些，所以等效电压不稳定。这意味着，当压电材料层B 的厚度太大时，弹性件的质量相对于弹性件的杨氏弹性模量将变得过大，这样就不能实现稳定的谐振。因此，对于将压电材料层层压到弹性件前后面上而形成的振动器10来说，最好使压电材料层的层厚Tb等于或小于弹性件A的厚度Ta。

在图11中，用C0表示L1＝0和L1/La＝1时的等效电容。更具体地说，用C0表示由压电材料层和长度与弹性片全长La相同的电极层构成的弹性件的等效电容(即，在图10中没有L1部分的弹性件)。

当所有等效电容大于上述C0时，图10的L1 部分能够对振动变形进行更精确的检测。图11表示L1/La优选为小于0.5，最好是小于0.4，或等于或大于0.1并小于0.4。

如图10A和10B所示，还分别检测其它弹性件10c和10a上压

电材料层的拉伸部分和压缩部分。

在图9和10中， 虽然示出了弹性件以次级谐振模式振动时的变形，但是还可以在拉应力和压应力未相互抵消的情况下，高精度地测出弹性件以三次或更高次谐振模式振动时的变形。如图10所示，这是通过分别检测压电材料层的压缩部分和拉伸部分来实现的。

图12表示在弹性件A的前后面上形成有压电材料B的弹性件的整体结构，其中如图8和9所示，在压电材料层B的前、后表面上形成电极图案。图12中给出的电极层的参考标号与图8和图9中给出的电极层的标号相对应。

图12A是从图8和图10的振动器10顶部看到的平面图，图12B是振动器10的侧视图，而图12C是从图8和图10的振动器10的底部看到的底视图。

当形成在弹性件A前后面上的压电材料层B在整个振动器上具有相同的极化方向时，更具体地说，当振动器具有如图8A和图10A中所示的结构时，图12A和12C 中用阴影线表示的那些电极的驱动电压或检测电压在某个时间点上是正电压，而用空白电极表示的那些电极的驱动电压或检测电压在某个时间点上为负电压。

如图8B和图10B所示， 当与电极层相对的压电材料层部分具有不同的极化方向时，图12A中用阴影线表示的形成在电极层之下的压电材料层的极化方向朝向纸表面，而没用阴影线表示的压电材料层的极化方向离开纸表面。在图12C 所示的底视图中，阴影电极层部分的极化方向朝向纸表面，而空白电极层部分的极化方向离开纸表面。

从上述说明中可以看出，由于本发明振动陀螺仪带有板形振动器，所以其容易以低价格大批量地生产。此外，用刚性体作为支撑结构这使得支撑状态变得更稳定。而且，只需对中间弹性片进行微调就能实现谐振频率的调节，因此更容易完成频率设定。

由于在振动器的侧边弹性片的侧端或外侧与基部的侧端之间存在平面差，通常在基部上不会作用有扭曲应力，这使振动器能产生稳定的谐振。

含有能够借助力偶以H模式和V模式驱动弹性片的电极的结构能够用H模式和V模式有效地驱动弹性片，并且能高精度地检测因科里奥利力引起的变形。

当弹性片以次级或高次谐振模式沿板厚方向振动时，分别检测压缩部分和拉伸部分并将其加在一起，从而能够高精度地检测弹性片沿y方向的变形。

如果振动器是将压电材料层压制到弹性件前后面上的层压结构，则可以向弹性件提供因压电效应而产生的较大应力并能高精度地检测弹性件的变形。通过冲压出层压结构而形成的振动器不再需要定位和粘接各压电材料层，因此更容易用高精度来生产振动器。

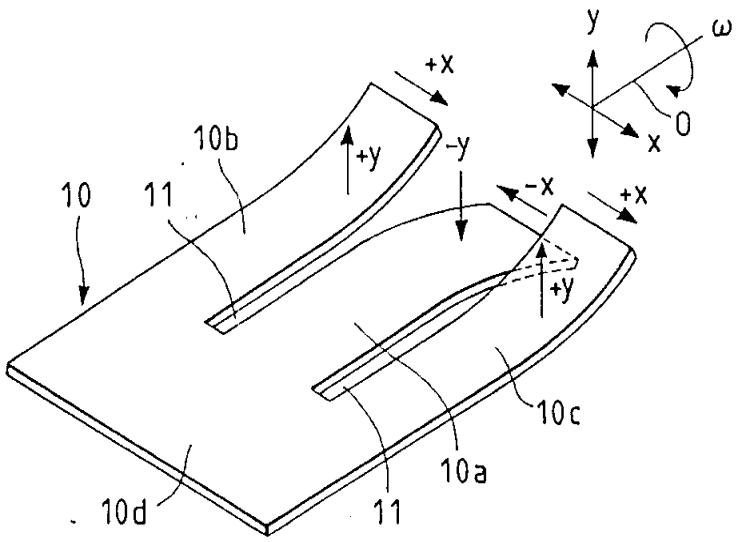

y
ω
+x
O
x
10b
+y
-y
10
11
-x
+x
+y
10c
10a
10d
11

图1

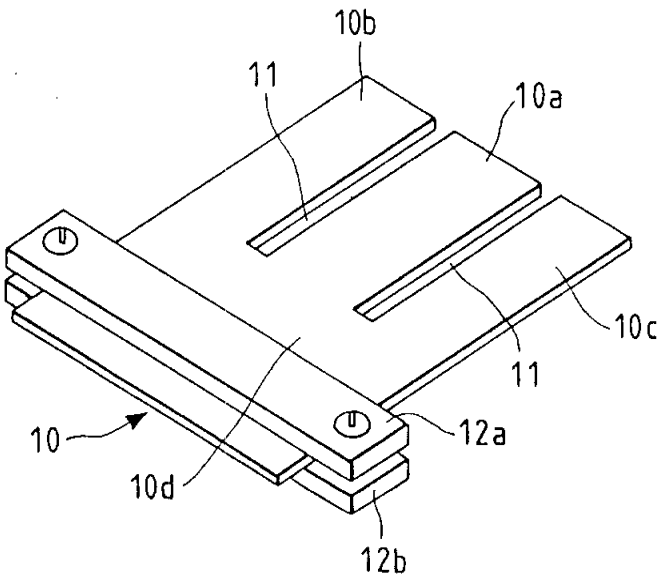

10b
11
10a
10c
11
10
12a
10d
12b

图2

图 3A

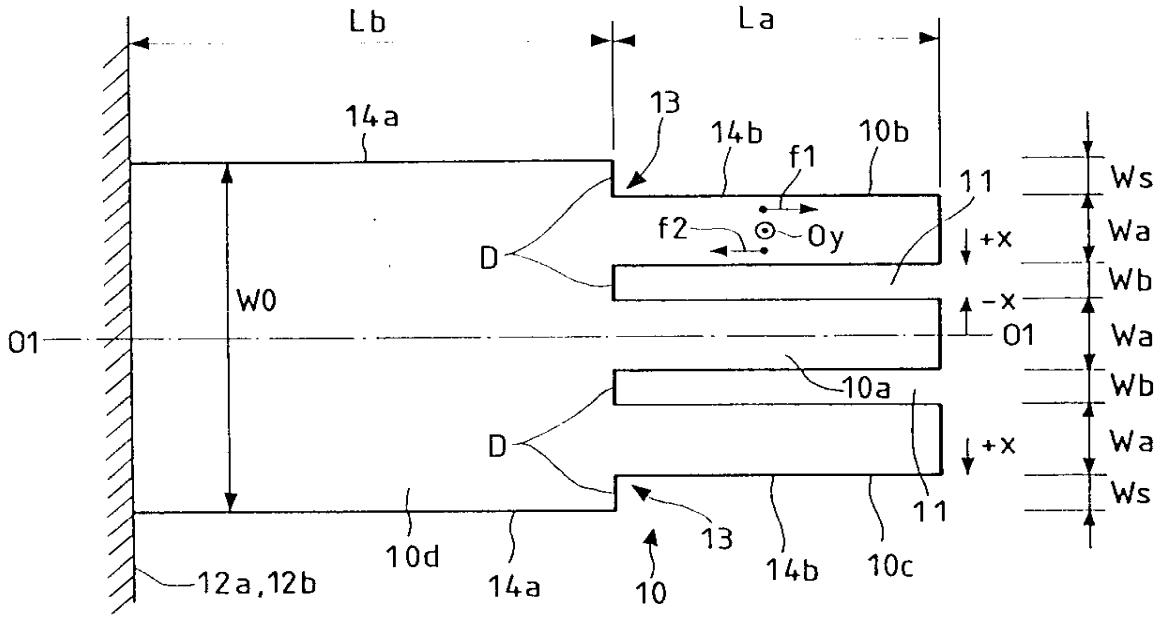
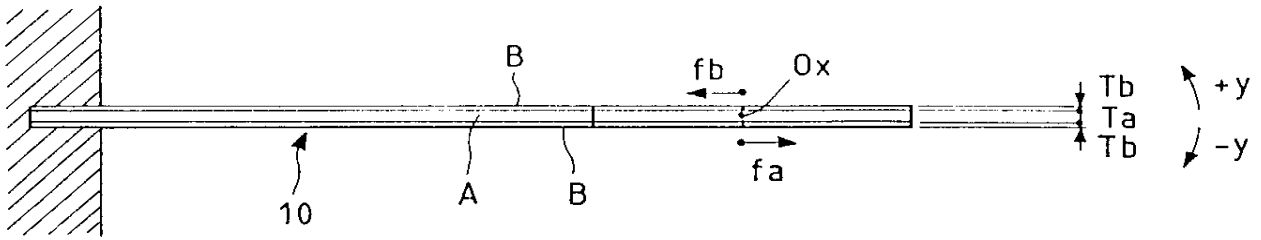

Lb
La
14a
13
14b
f1
10b
11
Ws
Wa
Wb
Wa
Wb
Wa
Ws
f2
Oy
+x
-x
O1
D
W0
O1
10a
D
+x
11
13
14b
10c
10d
14a
10
12a,12b

图 3B


B
fb
Ox
Tb
Ta
Tb
+y
-y
10
A
B
fa

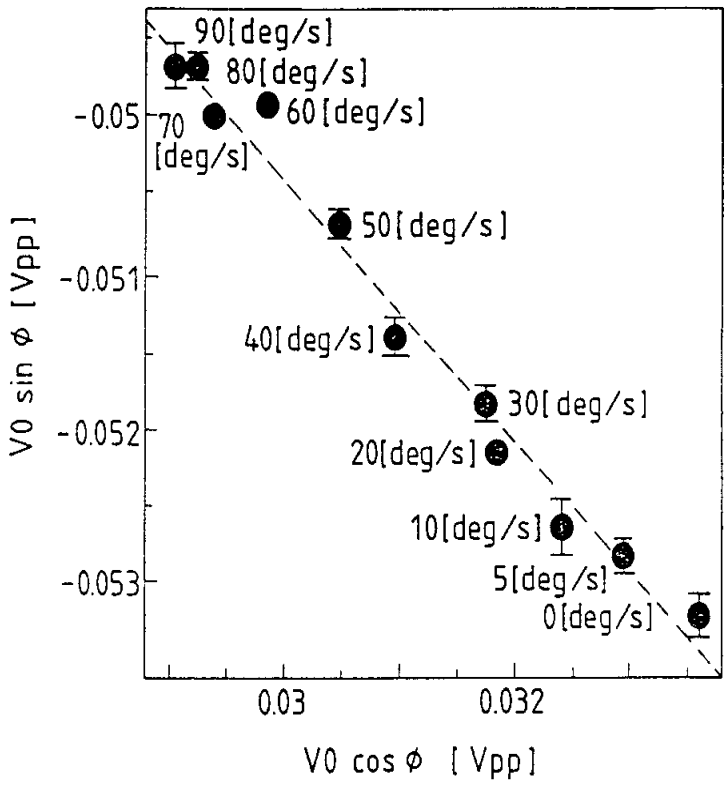

90[deg/s]
80[deg/s]
60[deg/s]
70
[deg/s]
50[deg/s]
40[deg/s]
30[deg/s]
20[deg/s]
10[deg/s]
5[deg/s]
0[deg/s]
-0.05
-0.051
-0.052
-0.053
0.03
0.032
V0 sin φ [Vpp]
V0 cos φ [Vpp]

图4

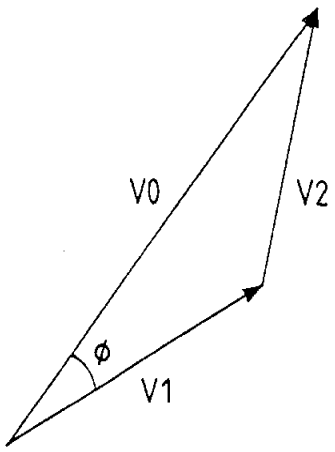

V0
V2
φ
V1

图5

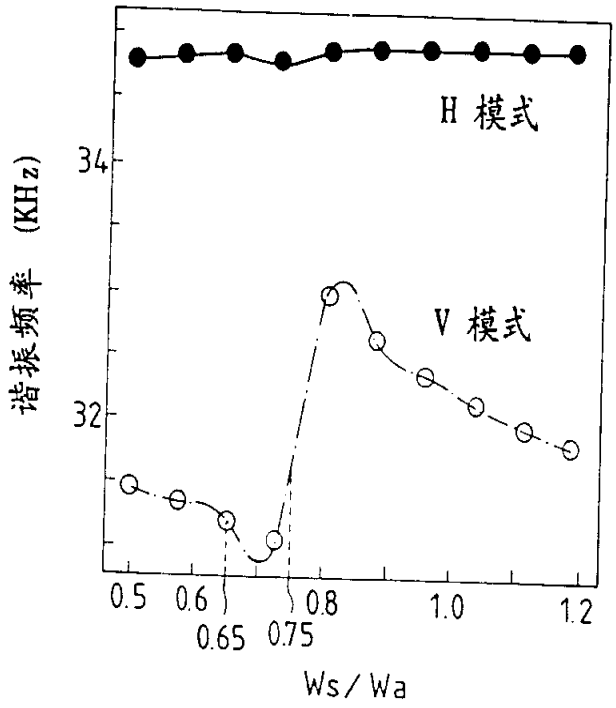

H 模式
V 模式
34
32
谐振频率 (KHz)
0.5
0.6
0.65
0.75
0.8
1.0
1.2
Ws / Wa

图6

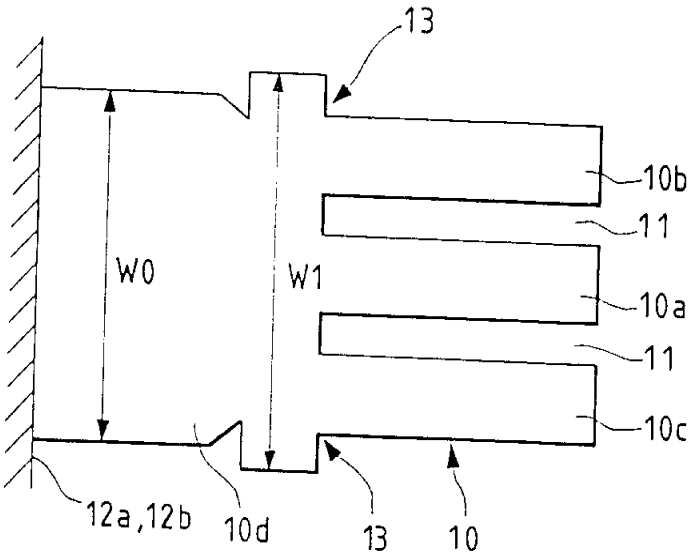

13
10b
11
W0
W1
10a
11
10c
12a,12b
10d
13
10

图7

图 8A

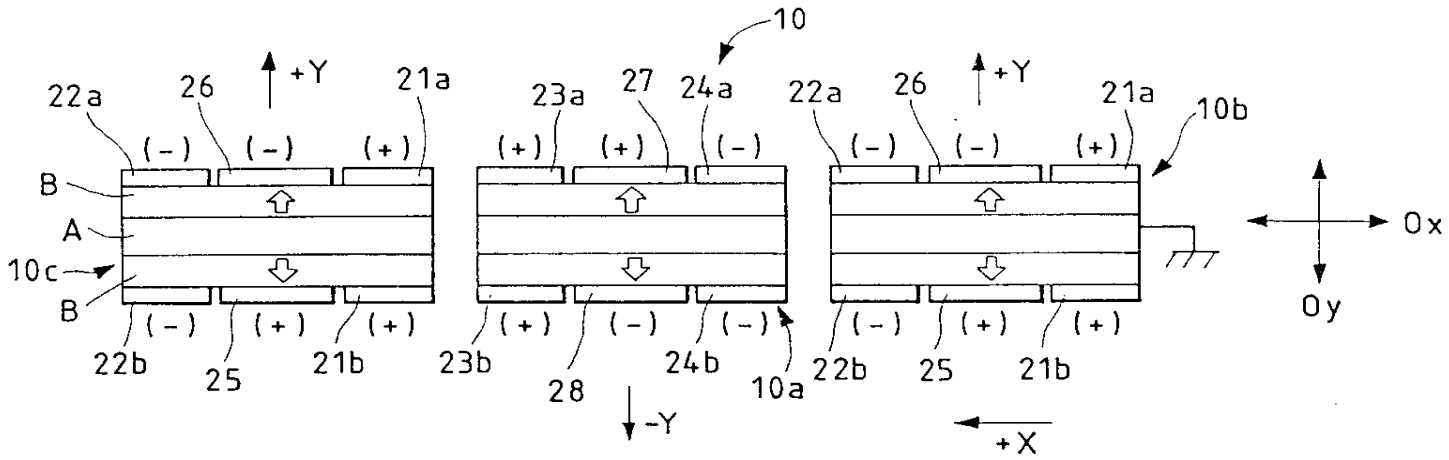
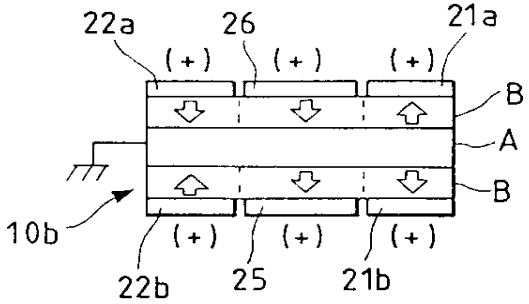

10
+Y
22a
26
21a
23a
27
24a
22a
26
+Y
21a
10b
(-)
(-)
(+)
(+)
(+)
(-)
(-)
(-)
(+)
B
A
10c
B
Ox
Oy
(-)
(+)
(+)
(+)
(-)
(-)
(-)
(-)
(+)
(+)
22b
25
21b
23b
28
24b
10a
22b
25
21b
-Y
+X

图 8B


22a
26
21a
(+)
(+)
(+)
B
A
B
10b
(+)
(+)
(+)
22b
25
21b

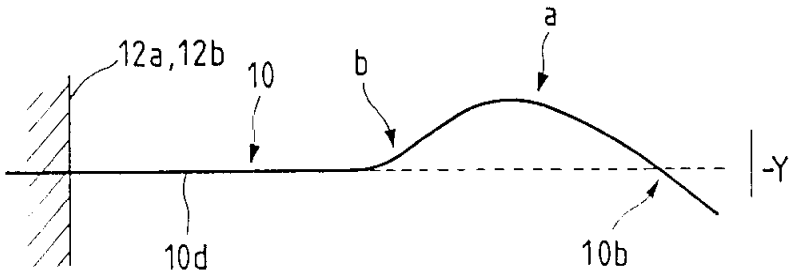


图9

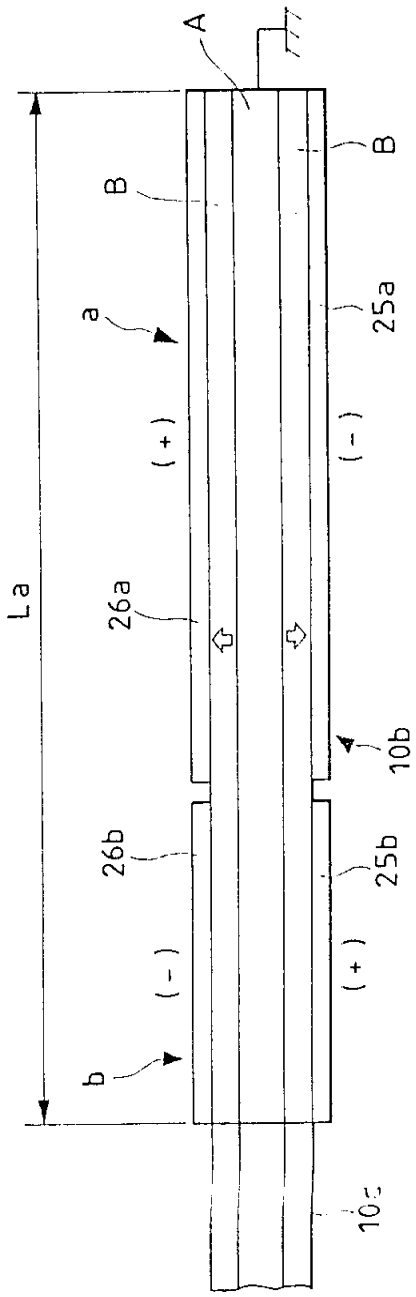


图10A

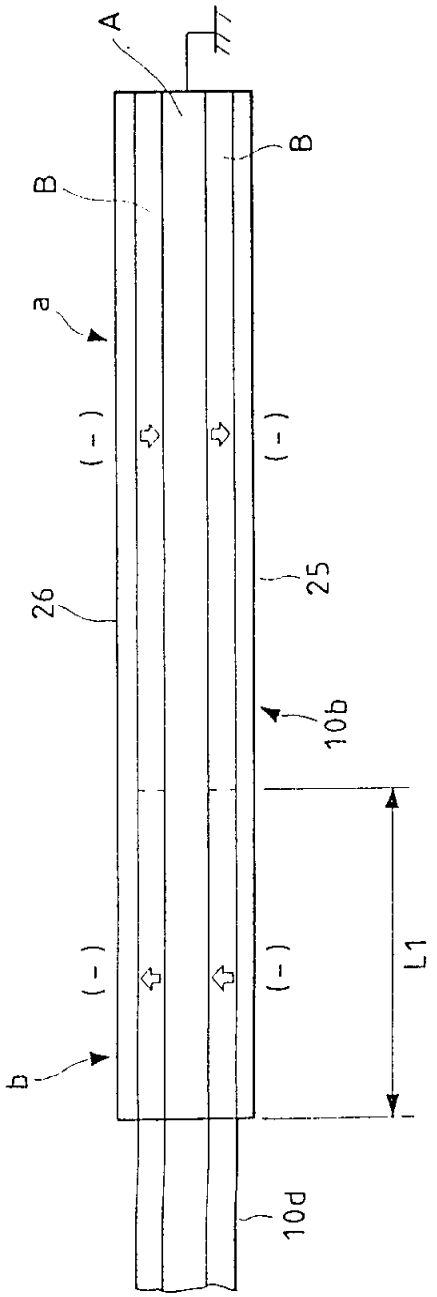


图10B

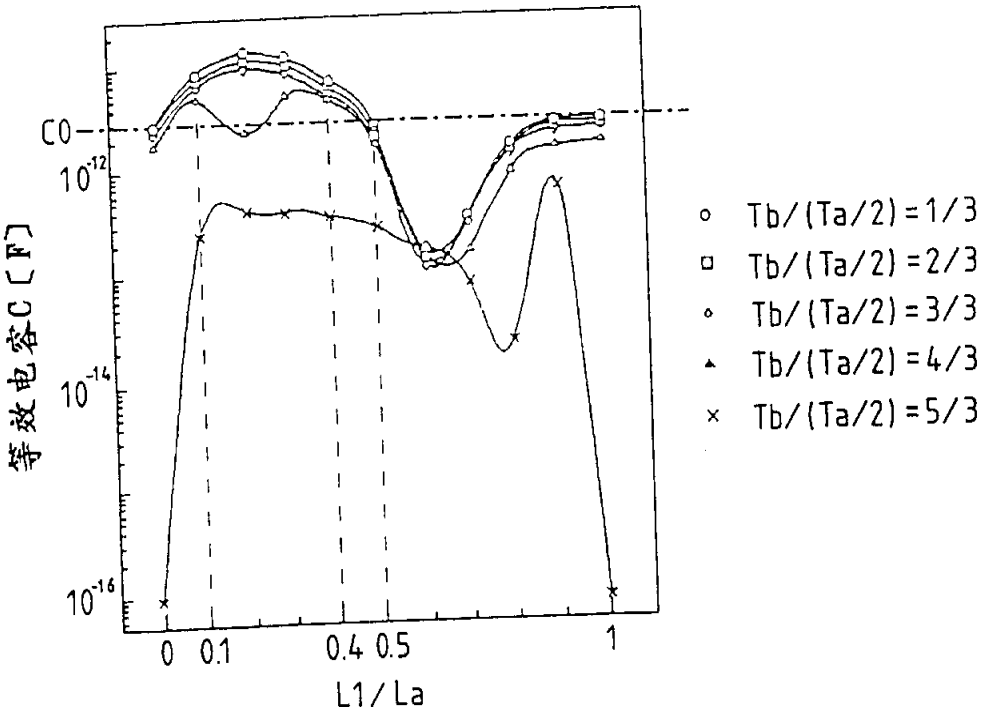

C0
10^{-12}
10^{-14}
10^{-16}
等效电容C〔F〕
0
0.1
0.4
0.5
1
L1/La
Tb/(Ta/2)=1/3
Tb/(Ta/2)=2/3
Tb/(Ta/2)=3/3
Tb/(Ta/2)=4/3
Tb/(Ta/2)=5/3

图11

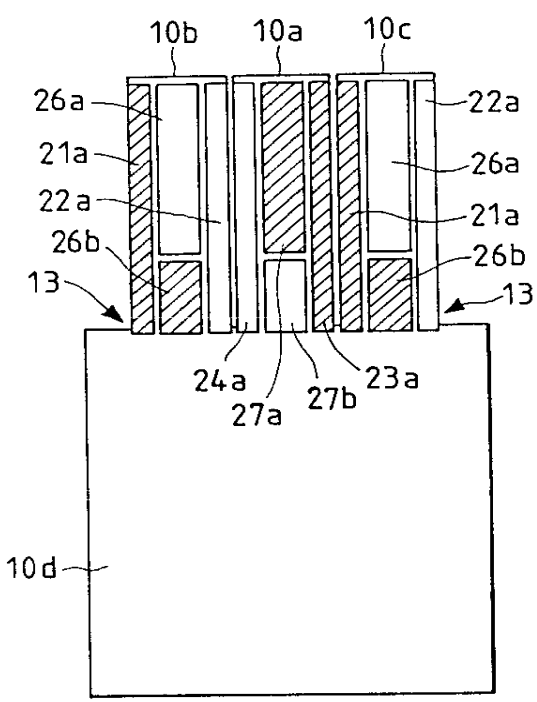


图12A



图12B

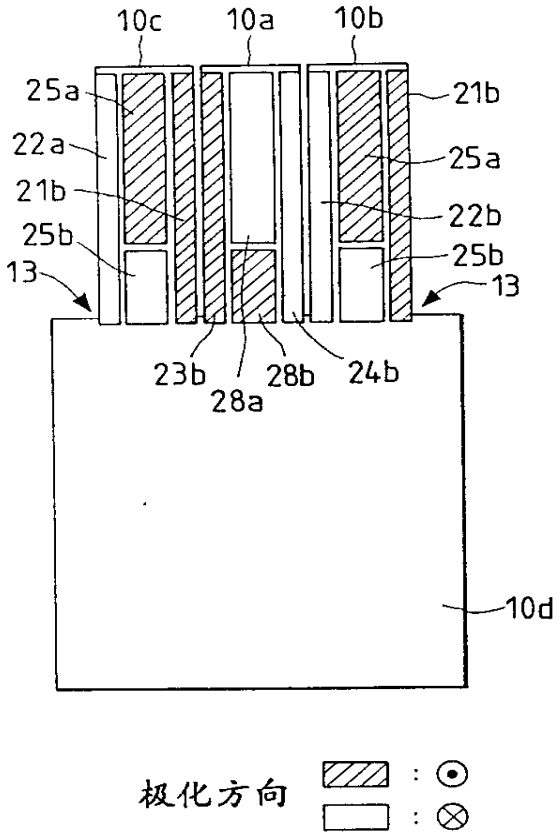


图12C

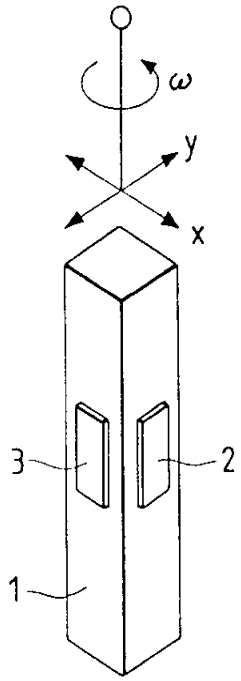


图13

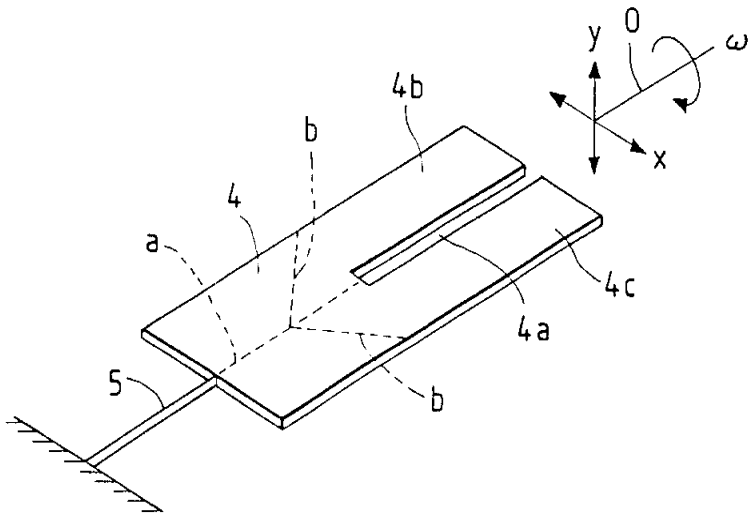


图14

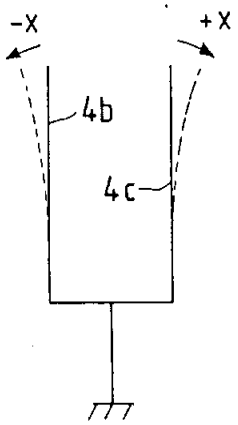


图15A

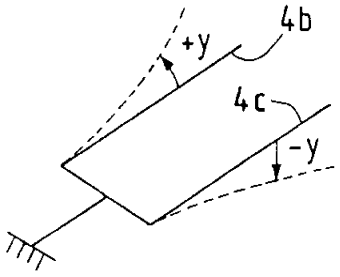


图15B