



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98123744.4

[45] 授权公告日 2003 年 8 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1119624C

[22] 申请日 1998.11.4 [21] 申请号 98123744.4

[30] 优先权

[32] 1997.11.4 [33] JP [31] 316634/1997

[32] 1998.1.30 [33] JP [31] 32297/1998

[32] 1998.10.14 [33] JP [31] 306434/1998

[71] 专利权人 日本碍子株式会社

地址 日本爱知县

[72] 发明人 菊池尊行 乡治庄作 大杉幸久

相马隆雄

审查员 李 璐

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

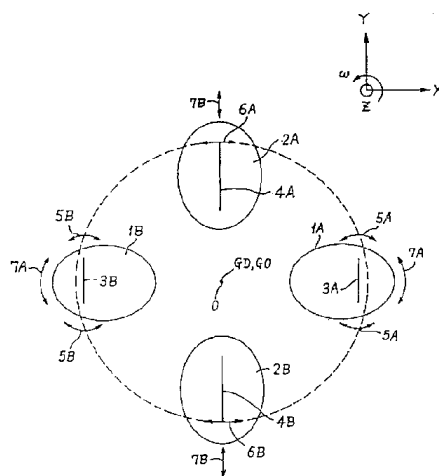
代理人 杨 凯 叶恺东

权利要求书 4 页 说明书 28 页 附图 52 页

[54] 发明名称 振子、振动式陀螺仪、线加速计及
旋转角速度测定方法

[57] 摘要

提供一种特别是对于在规定面内延伸的振子使其在该规定面内旋转时,能检测其旋转角速度的新的振动式陀螺仪。检测旋转系统的旋转角速度用的振动式陀螺仪备有:振子;激励起振子的驱动振动的激振装置;以及检测因振子的旋转在振子中产生的检测振动的检测装置。振子至少具有包含径向振动分量的第一振动系统 1A、1B,以及包含周向振动分量的第二振动系统 2A、2B。多个振动系统在与转轴相交的规定面内延伸地形成。



1. 一种以规定的转轴为中心旋转用的振子，其特征在于：该振子至少备有多个振动系统，这些振动系统在与转轴相交的规定面内延伸地形成，振动系统备有包括从振子的重心看时振动系统的振动中心在
5 规定面内沿径向振动的径向振动分量的第一振动系统，以及包括从振子的重心看时振动系统的振动中心在規定面内沿周向振动的周向振动分量的第二振动系统。

2. 根据权利要求1所述的振子，其特征在于：上述转轴与上述规定面正交。

10 3. 根据权利要求1或2所述的振子，其特征在于：上述振子备有基部，上述振子的重心位于该基部内，上述第一振动系统和上述第二振动系统两者中的至少一者从上述基部的周边部延伸。

4. 根据权利要求3所述的振子，其特征在于：从上述振子的重心看时，上述第一振动系统和上述第二振动系统都从上述基部的周边部
15 呈放射状地延伸。

5. 根据权利要求1或2所述的振子，其特征在于：上述振子备有框架部，在该框架部的内侧形成中空部，上述第一振动系统和上述第二振动系统两者中的至少一者沿上述框架部的内侧延伸。

6. 根据权利要求1或2所述的振子，其特征在于：设有多个上述
20 第一振动系统，将这些第一振动系统设置在以上述振子的重心为中心互相旋转对称的位置上。

7. 根据权利要求1或2的振子，其特征在于：设有多个上述第一振动系统，所有的上述第一振动系统整体的振动重心位于上述振子的重心附近的区域内。

25 8. 根据权利要求1所述的振子，其特征在于：上述第一振动系统分别备有第一弯曲振动片，该弯曲振动片的振动至少包含上述径向振动分量。

9. 根据权利要求8所述的振子，其特征在于：上述第一弯曲振动片的两端被支撑。

30 10. 根据权利要求8所述的振子，其特征在于：在上述第一振动系统中设有多个上述第一弯曲振动片。

11. 根据权利要求8至10中的任意一项所述的振子，其特征在

于：上述第一振动系统备有从上述基部突出的支撑部，上述第一弯曲振动片向与上述支撑部正交的方向延伸。

12. 根据权利要求 8 至 10 中的任意一项所述的振子，其特征在于：上述第一振动系统备有从上述框架部向内侧突出的支撑部，上述
5 第一弯曲振动片向与上述支撑部正交的方向延伸。

13. 根据权利要求 1、2、8-10 的任意一项所述的振子，其特征在于：多个上述第一振动系统通过连接部连接，由各第一振动系统及上述连接部形成包围上述振子的重心的环状振动系统。

14. 根据权利要求 1、2、8-10 的任意一项所述的振子，其特征
10 在于：设有多个上述第二振动系统，将这些第二振动系统设置在以上述振子的重心为中心互相旋转对称的位置上。

15. 根据权利要求 1、2、8-10 的任意一项所述的振子，其特征在于：设有多个上述第二振动系统，所有的上述第二振动系统整体的振动重心位于一定区域内。

16. 根据权利要求 1、2、8-10 的任意一项所述的振子，其特征
15 在于：上述第二振动系统分别备有第二弯曲振动片，该弯曲振动片的振动至少包含上述周向振动分量。

17. 根据权利要求 16 所述的振子，其特征在于：上述第二弯曲振动片从上述基部的周边部起以上述振子的重心为中心沿径向突出。

18. 根据权利要求 16 所述的振子，其特征在于：上述第二弯曲振
20 动片从上述框架部起以上述振子的重心为中心沿径向突出。

19. 根据权利要求 1、2、8-10 的任意一项所述的振子，其特征在于：上述振子备有与上述规定面平行的一对主面和侧面，在该侧面上设有沿其纵向延伸的凸起，该凸起从上述侧面开始算起的高度为上述
25 述振子厚度的 $1/3 \sim 1/7$ 。

20. 根据权利要求 3 所述的振子，其特征在于：上述振子备有与上述规定面平行的一对主面和侧面，在上述基部的上述侧面上设有沿其纵向延伸的凸起。

21. 根据权利要求 11 所述的振子，其特征在于：上述振子备有与
30 上述规定面平行的一对主面和侧面，在上述支撑部的上述侧面上设有沿其纵向延伸的凸起。

22. 一种检测旋转系统的旋转角速度用的振动式陀螺仪，其特征

在于备有：权利要求 1 至 21 中的任意一项所述的振子；设置在上述第一振动系统和上述第二振动系统两者之一中的激励起该振子的驱动振动的激振装置；以及设置在上述第一振动系统和上述第二振动系统两者中的另一者中的利用上述振子的旋转检测上述振子上发生的检测振动的检测装置。

23. 根据权利要求 22 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：备有在上述振子的检测振动时的最小振幅区域内支撑上述振子的支撑构件。

24. 根据权利要求 23 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述振子备有上述基部，上述振子被支撑在该基部内的上述振子的重心附近区域内。

25. 根据权利要求 23 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述振子备有上述框架部，上述振子由该框架部支撑。

26. 根据权利要求 23 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述振子备有位于从上述第一振动系统起远离上述振子的重心的方向的固定片部，用该固定片部支撑上述振动式陀螺仪。

27. 根据权利要求 22 至 26 中的任意一项所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述振子由压电性单晶构成，上述激振装置及上述检测装置都由电极构成。

28. 根据权利要求 22 至 26 中的任意一项所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述第一振动系统备有上述第一弯曲振动片，在上述第一弯曲振动片上设有沿其纵向延伸的凹部乃至贯通孔。

29. 根据权利要求 22 至 26 中的任意一项所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述第二振动系统备有上述第二弯曲振动片，在上述第二弯曲振动片上设有沿其纵向延伸的凹部乃至贯通孔。

30. 根据权利要求 28 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：在面對上述第一弯曲振动片或上述第二弯曲振动片的上述凹部或上述贯通孔的内側面上设有上述电极，能利用该电极对上述各弯曲振动片沿上述规定面的面内方向施加电压。

31. 根据权利要求 22 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：上述第一振动系统备有上述第一弯曲振动片，在上述第一弯曲振动片中在比上述激振装置或上述检测装置更靠近前端一侧设有凹部乃至贯通孔。

32. 根据权利要求 22 或 31 所述的振动式陀螺仪，其特征在于：

上述第二振动系统备有上述第二弯曲振动片，在上述第二弯曲振动片中，在比上述激振装置或上述检测装置更靠近前端一侧设有凹部乃至贯通孔。

振子、振动式陀螺仪、线加速计及旋转角速度测定方法

5 本发明涉及检测旋转系统内的旋转角速度用的角速度传感器中使用的振子、振动式陀螺仪、线加速计及旋转角速度的测定方法。

以往,使用压电体的振动式陀螺仪作为检测旋转系统内的旋转角速度用的角速度传感器被用来确认飞机、船舶、宇宙卫星等的位置。最近在民用领域中被用于汽车驾驶导向、VTR、以及静物照相机的手振动的检测等。

10 这样的压电振动式陀螺仪利用在将角加速度加在振动的物体上时便在其振动方向垂直的方向上产生科里奥利力的现象。然后,用力学模型分析其原理(例如,“弹性波元件技术手册”,才-ム公司,第491~497页)。而且,作为压电式振动陀螺仪至今已提出了种种设计。例如,已知有斯佩里音叉式陀螺仪、瓦特生音叉式陀螺仪、正三角柱形音片陀螺仪、圆筒形音片陀螺仪等。

20 本发明者对振动式陀螺仪的应用进行了各种研究,例如研究了将振动式陀螺仪应用于汽车的车体转速反馈式的车辆控制方法中使用的转速传感器。在这样的系统中,操舵轮本身的方向由手轮的旋转角度来检测。与此同时,由振动陀螺仪检测车体实际旋转的转速。然后,对操舵轮的方向和车体实际的转速进行比较,求出两者之差,根据该差,对车轮转矩、以及操舵角进行修正,以实现稳定的车体控制。

25 可是,上述的现有的压电振动式陀螺仪在任何一例中如果不将振子相对于转轴平行配置(所谓的纵置),就不能检测旋转角速度。可是,通常欲测定的旋转系统的转轴相对于安装部分呈垂直状态。因此,在安装这样的压电振动式陀螺仪时,不能降低压电振动式陀螺仪的高度,即不能减小沿转轴方向看振动式陀螺仪时所看到的尺寸。

30 近年来,在特开平8-128833号公报中提出了即使将振子相对于转轴垂直配置(所谓的横置)也能检测旋转角速度的压电振动式陀螺仪的设计。可是,即使在这样的振动式陀螺仪中,沿转轴方向看振动式陀螺仪时所看到的尺寸的减小存在极限。

本发明的课题是提供一种特别是对于在规定面内延伸的振子、使其在该规定面内旋转时,能检测其旋转角速度的新的振动式陀螺仪。

本发明的振子是一种以规定的转轴为中心旋转用的振子，其特征在于：该振子至少备有多个振动系统，这些振动系统在与转轴相交的规定面内延伸地形成，振动系统备有包括从振子的重心看时振动系统的振动重心在规定的规定面内沿径向振动的径向振动分量的第一振动系统，以及包括从振子的重心看时振动系统的振动重心在规定的规定面内沿周向振动的周向振动分量的第二振动系统。

另外，本发明的振子的特征在于：备有基部，以及从该基部的周边部分呈放射状延伸的多个互相分离的振动系统，基部及振动系统在规定的规定平面内延伸。

10 另外，本发明的振动式陀螺仪是一种检测旋转系统的旋转角速度用的振动式陀螺仪，其特征在于备有：上述的振子；设置在第一振动系统和第二振动系统两者之一中的、激励起该振子的驱动振动的激励装置；以及设置在第一振动系统和第二振动系统两者中的另一者中的利用振子的旋转检测振子发生的检测振动的检测装置。

15 另外，本发明的振动式陀螺仪的特征在于备有：振子；激励起振子的驱动振动的激励装置；以及利用振子的旋转来检测振子上发生的检测振动的检测装置，振子备有多个振动系统，这些振动系统在与转轴相交的规定面内延伸地形成，在这些振动系统中至少在其中的一个上设有激励装置，在未设置该激励装置的振动系统中至少在其中的一个上设有检测装置。

20 另外，本发明是一种振动式陀螺仪，其特征在于备有：振子；激励起振子的驱动振动的激励装置；以及利用振子的旋转来检测振子上发生的检测振动的检测装置，振子在规定面内延伸，振子备有多个振动系统，激励装置和检测装置设置在不同的振动系统中，激励起振子的驱动振动时驱动振动的整体重心位于振子重心的附近区域内。

25 另外，本发明是一种检测旋转系统的旋转角速度用的振动式陀螺仪，其特征在于备有：以规定的转轴为中心使之旋转用的振子；激励起该振子的驱动振动的激励装置；以及利用振子的旋转来检测振子上发生的检测振动的检测装置，振子在规定面内延伸，振子备有多个振动系统，激励装置和检测装置设置在不同的振动系统中，激励起振子的驱动振动时振子的重心位于由该驱动振动引起的位移是微小的微小位移部分内。

另外,本发明是一种检测旋转系统的旋转角速度用的振动式陀螺仪,其特征在于备有:以规定的转轴为中心使之旋转用的振子;该振子的驱动振动的激振装置;以及利用振子的旋转来检测振子上发生的检测振动的检测装置,振子在规定面内延伸,振子备有多个振动系统,激振装置和检测装置设置在不同的振动系统中,在振子上发生检测振动时振子的重心位于由该检测振动引起的位移是微小的微小位移部分内。

另外,本发明是一种检测旋转系统的旋转角速度的方法,其特征在于:振子至少备有多个驱动振动系统和一个以上的检测振动系统,这些振动系统在与转轴相交的规定面内延伸形成,使该振子以转轴为中心旋转,这时对多个驱动振动系统同时激励起驱动振动,使各驱动振动系统的振动的至少一部分相抵消,在检测振动系统中检测振子的检测振动。

另外,本发明是一种检测旋转系统的旋转角速度的方法,其特征在于:振子备有多个振动系统,这些振动系统在与转轴相交的规定面内延伸地形成,这时,以振子的重心为中心时,在一个以上的振动系统中激励起径向振动分量,振子旋转时利用径向振动分量产生周向的科里奥利力,在其它振动系统中利用该科里奥利力检测振子中发生的振动。

另外,本发明是一种检测旋转系统的旋转角速度的方法,其特征在于:振子备有多个振动系统,这些振动系统在与转轴相交的规定面内延伸形成,这时,以振子的重心为中心时,在一个以上的振动系统中激励起周向振动分量,振动式陀螺仪旋转时利用周向振动分量产生径向的科里奥利力,在其它振动系统中利用该科里奥利力检测振子发生的振动。

图1是示意性地说明本发明的振动式陀螺仪的原理的说明图。

图2(a)、(b)分别是举例表示第一振动系统的振动形态用的示意图。

图3是举例表示第一振动系统的振动形态用的示意图。

图4(a)、(b)分别是举例表示第二振动系统的振动形态用的示意图。

图5(a)、(b)分别是举例表示第二振动系统的振动形态用的示意图。

图。

图 6 是说明本发明的振子的驱动振动的重心 G 的位置的示意图。

图 7 是示意地表示各振动系统从基部呈放射状突出的一种实施例的振动式陀螺仪的振子。

5 图 8 是说明第一振动系统从基部突出的振子、第二振动系统从框架部向内侧突出的振子用的示意图。

图 9 是说明第二振动系统从基部突出的振子、第一振动系统从框架部向内侧突出的振子用的示意图。

10 图 10 是说明第一振动系统和第二振动系统都从框架部向内侧突出的振子用的示意图。

图 11 是简略地表示本发明的另一实施例的振子的平面图。

图 12 表示图 11 中的振子的各点在驱动振动模式下最大振动时的振幅的相对比率。

15 图 13 表示图 11 中的振子的各点在驱动振动模式下最大振动时的振幅的相对比率。

图 14 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的平面图。

图 15 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的平面图。

图 16 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的平面图。

图 17 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的平面图。

20 图 18 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的平面图。

图 19(a)是表示图 18 中的振子的驱动模式的线图, (b)是表示振子的检测模式的线图。

图 20 是简略地表示使用由硅半导体工艺成形的振子的振动式陀螺仪的平面图。

25 图 21 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的平面图。

图 22 表示图 21 中的振子的各点在驱动振动模式下最大振动时的振幅的相对比率。

图 23 表示图 21 中的振子的各点在检测振动模式下最大振动时的振幅的相对比率。

30 图 24 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 25 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 26 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 27 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 28 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 29 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 30 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

5 图 31 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 32 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 33 表示图 32 中的振子的各点在驱动振动模式下最大振动时的
振幅的相对比率。

10 图 34 表示图 32 中的振子的各点在检测振动模式下最大振动时的
振幅的相对比率。

图 35 是简略地表示本发明的又一实施例的振子的斜视图。

图 36 是举例表示图 24 中的振子的具体形态的斜视图。

图 37(a)、(b)是表示在图 36 所示的振子中驱动系统或检测系统
的各弯曲振动片上的电极的安装形态的剖面图。

15 图 38 是举例表示图 24 中的振子的具体形态的斜视图。

图 39(a)、(b)是表示在图 38 所示的振子中驱动系统或检测系统
的各弯曲振动片上的电极的安装形态的剖面图。

图 40 是举例表示图 24 中的振子的具体形态的斜视图。

20 图 41(a)、(b)是表示在图 40 所示的振子中驱动系统或检测系统
的各弯曲振动片上的电极的安装形态的剖面图。

图 42 是表示本发明的测定方法中能使用的相位检测装置 62 的
例子的框图。

图 43 是本发明的另一实施例的陀螺仪的简略斜视图，将通孔设
置在支撑部上。

25 图 44 是本发明的另一实施例的陀螺仪的简略斜视图，驱动用的
弯曲振动片处于弯曲状态。

图 45 是本发明的另一实施例的陀螺仪的简略斜视图。

图 46 是本发明的另一实施例的陀螺仪的简略斜视图，形成了环
状振动系统 71C。

30 图 47 是本发明的另一实施例的陀螺仪的简略斜视图。

图 48 是表示弯曲振动片的长度及相对于其侧面的凸起的厚度的
比率，以及驱动及检测的各固有振动频率之差在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 时的最

大值和最小值的差的曲线图。

图 49 是本发明的另一实施例的陀螺仪的平面图，在振子的侧面上形成了凸起。

图 50 是本发明的另一实施例的陀螺仪的平面图，在各弯曲振动片的前端侧形成通孔。

图 51 是说明弯曲振动片的刻蚀的进行情况用的示意图。

图 52 是本发明的另一实施例的陀螺仪的平面图，在各弯曲振动片的前端侧设有扩展部，在扩展部内形成了通孔。

本发明者对能用于振动式陀螺仪的振子的振动原理进行了基础研究，但在该研究过程中成功地开发了基于完全新的原理和振子及振动式陀螺仪。现参照图 1-图 10 所示的各典型示意图说明这一点。

这里，O 是转轴 Z 和振子的规定面的交点（旋转中心）。G0 是振子的整体重心（非振动时），GD 是驱动振动的重心。在重心 G0、GD 的周围存在多个振动系统。以下说明在图 1-图 10 中全部设置 4 个振动系统的情况，但振动系统的总数可以进行各种变化。

如图 1 所示，在彼此旋转对称的位置上将第一振动系统 1A 和第一振动系统 1B 设置在重心 G0、GD 的周围。在各振动系统 1A、1B 都以重心 G0 为中心时有沿径向振动的分量 5A、5B。在重心 G0 的周围还设有第二振动系统 2A 和 2B，在它们都以重心 G0 为中心时有沿周向振动的分量 6A、6B。

另外，所谓沿周向振动的振动分量，是指从重心 G0 看在规定面内沿圆周方向振动的振动分量。所谓沿径向振动的分量，是指从重心 G0 看在规定面内沿直径方向振动的振动分量，就是说，是指沿远离重心 G0 的方向和靠近重心 G0 的方向交替振动的分量而言。

上述的第一振动系统和第二振动系统都以某种形式连接，形成在规定面内延伸的振子。通过使这样的振子以转轴 Z 为中心、沿箭头 ω 方向旋转，可进行旋转角速度的检测。

例如，在将第一振动系统 1A、1B 内的各振动体 3A、3B 作为驱动振动体使用、将径向的振动分量 5A、5B 作为驱动振动使用时，旋转后科里奥利力 7A 发生作用，与此相应地在第二振动系统 2A、2B 内的振动体 4A、4B 中发生周向的振动分量 6A、6B。检测该振动分量，并根据该检测值算出旋转角速度。

另外，在将第二振动系统内的各振动体 4A、4B 作为驱动振动体使用、将周向的振动分量 6A、6B 作为驱动振动使用时，旋转后科里奥利力 7B 发生作用，与此相应地在第一振动系统 1A、1B 内的振动体 3A、3B 上发生径向的振动分量 5A、5B。检测该振动分量，并根据该检测值算出旋转角速度。

如果采用这样的振子及振动式陀螺仪，则振子的驱动振动及检测用的振动都能在规定面内进行，即使在将振子设置得使振子的振动臂沿与转轴相交的方向延伸的情况下，也不必从振子向转轴方向设置一定重量的突出部，就能以足够大的灵敏度检测旋转角速度。

而且，在现有的振动式陀螺仪中，任何驱动振动臂的驱动振动都以某种形态使检测臂变形而受到影响，检测信号中会发生噪声。可是，如果采用本发明，则将各驱动振动系统和各检测振动系统设置成以重心 G0 为中心呈放射状延伸，构成一种不易将驱动振动的影响传递给检测振动系统的形态。即，驱动振动被缓冲、抵消，驱动振动的影响不易传递给检测振动系统。其结果，能抑制乃至防止检测信号中不可避免地发生的噪声。在这方面，本发明解决了振动式陀螺仪中内在的根本性的问题。

另外，如图 1 或图 6 所示，例如在将第一振动系统 1A、1B 内的径向的振动分量 5A、5B 作为驱动振动使用时，第一振动系统被设置在以重心 G0 为中心旋转对称的位置，其结果，各驱动振动互相抵消。因此，驱动振动对用于检测出检测振动的第二振动系统的影响变小。

这样，在本发明中，设置多个第一振动系统，且能将各振动系统设置在以重心 G0 为中心互相旋转对称的位置上。例如在图 1、图 6 中，第一振动系统 1A 和 1B 被设置在以重心 G0 为中心两次对称的位置上。

另外，设置多个第二振动系统，且最好将各第二振动系统设置在以重心 G0 为中心互相旋转对称的位置上。例如在图 1、图 6 中，第二振动系统 2A 和 2B 以重心 G0 为中心被设置在两次对称的位置上。

这里，所谓各振动系统位于以重心 G0 为中心旋转对称的位置上，意味着将重心 G0 作为中心，使成问题的多个振动系统在规定面内呈分别离开规定角度的状态。因此，如果进行使一个振动系统在规定面内旋转规定角度的操作，则它便位于另一振动系统的位置上。例

如，在图 1、图 6 中，第一振动系统 1A 和 1B 彼此离开 180° ，所以如果进行使振动系统 1A 旋转 180° 的操作，它便来到振动系统 1B 的位置上。

具体地说旋转对称最好为两次对称、三次对称、四次对称。另外，
5 驱动振动系统是第一振动系统时或是第二振动系统时，由于将多个驱动振动系统设置在以重心 G_0 为中心旋转对称的位置上，特别是由于能抑制对较微小的检测振动的影响，所以效果好。

特别是驱动振动系统（例如第一振动系统 1A、1B）的振动的整体重心 G_D 最好位于重心 G_0 的附近区域，因此能抑制对检测振动系统
10 （例如第二振动系统）的影响。例如图 6 示意性地所示，在各振动系统 1A、1B 内的振动体 3A、3B 具有沿径向振动的分量时，这些振动分量 5A 和 5B 的振动相位变成相反的，因此这意味着振动分量 5A 和 5B 互相抵消。

所谓驱动振动的重心 G_D 位于振子的重心 G_0 的附近区域，具体地说，
15 意味着实际上最好位于重心 G_0 上，但也可存在于距离重心 G_0 直径为 1mm 的圆内。

在本发明的振动式陀螺仪中，当第一振动系统和第二振动系统之一方为驱动振动系统时，另方便为检测振动系统。在本发明中，特别设有多个驱动振动系统，最好是相对于一个驱动振动系统另一个驱动
20 振动系统存在于距此为 90° 以上的位置上。在多个驱动振动系统之间最好设有检测振动系统。这是因为，各驱动振动系统的驱动振动互相抵消，对检测振动系统的影响进一步减小。

在本发明的振子中，多个振动系统在规定面内延伸，其中包括厚度在 1mm 以下的范围内形成多个振动系统的情况。另外，上述振动
25 系统以外的部分可以从上述的规定面突出，但最好在规定面内形成全部振子。

另外，规定面与转轴构成的角度以 $60-120$ 度为好，最好为 $85-95$ 度，如果正交那就更好。

在本发明中，不限定第一振动系统及第二振动系统的具体形态。
30 在适当的形态下各振动系统分别备有弯曲振动片。参照图 2-图 5，主要说明使用弯曲振动片的实施例。

在图 2(a) 中，在第一振动系统 1A、1B 中设有弯曲振动片 13A、

13B 分别作为前面所述的振动体 3A、3B (参照图 1)。本实施例的弯曲振动片分别在中央部分设有固定部 8, 两端设有自由端 9。其结果, 各弯曲振动片 13A、13B 的自由端一侧分别以固定部 8 为中心振动。这些振动中主要是利用径向振动分量 5A、5B。

5 在图 2(b)中, 在第一振动系统 1A、1B 中设有弯曲振动片 23A、23B。本实施例的弯曲振动片分别在其两端设有固定部 8, 加以约束。其结果, 各弯曲振动片 23A、23B 的中央部分进行较大的振动。

在图 3 中, 在第一振动系统 1A、1B 中设有弯曲振动片 33A、33B。本实施例的弯曲振动片分别被约束住一端, 其另一端呈自由端。其结果, 各弯曲振动片 33A、33B 的另一端部分进行较大的振动。这时, 选择各振动的相位、振幅及各弯曲振动片上的自由端的位置, 以便使弯曲振动片 33A 的振动和弯曲振动片 33B 的振动互相抵消。

10 在图 4(a)中, 第一振动系统 1A、1B 是图 1 所示的振动系统, 但在第二振动系统 2A、2B 中分别设有弯曲振动片 14A、14B。本实施例的弯曲振动片分别在振子的重心 G0 附近存在固定部 8, 远离重心 G0 一侧的端部呈自由端。其结果, 各弯曲振动片 14A、14B 远离重心 G0 一侧的端部进行较大的周向振动。

在图 4(b)中, 第一振动系统 1A、1B 是图 1 所示的振动系统, 但在第二振动系统 2A、2B 中分别设有弯曲振动片 24A、24B。本实施例的弯曲振动片分别在远离振子的重心 G0 一侧的末端存在固定部 8, 靠近重心 G0 一侧的端部呈自由端。其结果, 各弯曲振动片 24A、24B 靠近重心 G0 一侧的端部进行较大的振动。该振动也主要由周向振动分量 6A、6B 构成, 但也包含径向振动分量。

25 在图 5(a)中, 在第二振动系统 2A、2B 中分别设有弯曲振动片 34A、34B。本实施例的弯曲振动片分别在中央部分设有固定部 8, 两端呈自由端。其结果, 各弯曲振动片 34A、34B 的两端如 6A、6B、6C、6D 所示那样振动。

在图 5(b)中, 在第二振动系统 2A、2B 中分别设有弯曲振动片 44A、44B。本实施例的弯曲振动片分别在两端设有固定部 8。其结果, 各弯曲振动片 44A、44B 的中央部分进行较大的振动。

30 另外, 在图 1 中, 旋转中心 (转轴和规定面的交点) O 与振子的重心 G0 及驱动振动整体的重心 GD 一致, 但在图 2-图 6 中未特别示

出旋转中心 0。这是因为旋转中心 0 与振子的重心不一致时，或旋转中心 0 位于振子的外部时，本申请的发明的振子也基本上是有用的，仍能用于本发明的振动式陀螺仪中。这是因为振子旋转时，旋转中心 0 和振子的重心 G_0 不一致时的振子各部分的位移是旋转中心 0 和振子的重心 G_0 一致时的振子各部分的位移（由旋转引起的振子各部分的位移）和振子的各部分的由平行运动引起的位移的矢量和。而且，振子的各部分的由平行运动引起的位移不产生科里奥利力，所以不用振动式陀螺仪检测就能消去。

在本发明的一个优选例中，振子备有基部、以及从该基部的周边呈放射状延伸的多个互相分离的振动系统，基部及振动系统在规定面内延伸。另外，振子的重心 G_0 位于基部内，最好使第一振动系统和第二振动系统两者中的至少一者从基部延伸，在此情况下，能使第一振动系统和第二振动系统分别从基部呈放射状延伸。

参照图 7，说明这些实施例。在图 7 中，11 是基部，第一振动系统 1A 和 1B 及第二振动系统 2A、2B 从基部 11 的周边 11a 呈放射状地突出。

另外，在本实施例中，各振动系统之所以从基部的周边呈放射状地突出，是因为没有必要准确地从基部的中心呈放射状地延伸，只要从基部的周边向远离振子的重心 G_0 的方向延伸即可。

第一振动系统备有例如从基部的周边部分沿径向突出的支撑部、以及沿与该支撑部相交的方向延伸的弯曲振动片。另外，第二振动系统作为最简单的形态是由从基部的周边部分沿径向突出的弯曲振动片构成。由于将重量部设置在该弯曲振动片上，所以能缩短弯曲振动片的总体尺寸。

另外，将框架部设置在本发明的振子上，在该框架部的内侧形成中空部，使第一振动系统和第二振动系统两者中的至少一者能向框架部的内侧延伸。图 8 - 图 10 是该实施例的振动系统。

在图 8 中，基部 11 被设置在框架部 19 内侧的中空部 70 内。而且，第二振动系统 2A、2B 在框架部 19 内侧向基部 11 的方向突出，第一振动系统 1A、1B 从基部 11 的边缘向远离振子的重心 G_0 的方向延伸。

在图 9 中，基部 11 被设置在框架部 19 内侧的中空部 70 内。而

且, 第一振动系统 1A、1B 在框架部 19 内侧向基部 11 的方向突出, 第二振动系统 2A、2B 从基部 11 的边缘向远离振子的重心 G0 的方向延伸。

5 在图 10 中, 基部 11 未设置在框架部 19 内侧的中空部 70 内。而且, 第一振动系统 1A、1B 及第二振动系统 2A、2B 在框架部 19 内侧向重心 G0 的方向突出。

各振动系统中各径向和周向的各振动分量的比率最好如以下所述。

10 (A) 第一振动系统中的径向振动分量和周向振动分量的振幅的大小最好取 1: 0-3, 若取 1: 0-1 就更好。第二振动系统中的径向振动分量和周向振动分量的振幅的大小最好取 0-1: 5, 若取 0-1: 10 就更好。但是, 这里所说的各振动分量的各振幅是指存在于作为对象的振动系统内的互相不抵消反向振动时的各振动分量的各振幅而言。

15 (B) 第一振动系统中的径向振动分量和周向振动分量的振幅的大小最好取 5: 0-1, 若取 10: 0-1 就更好。第二振动系统中的径向振动分量和周向振动分量的振幅的大小最好取 0-1: 5, 若取 0-1: 10 就更好。但是, 这里所说的各振动分量的各振幅是指存在于作为对象的振动系统内的互相抵消了反向振动后残余的各振动分量的各振幅而言。

20 以下说明本发明的更具体的实施例。

本发明的振子在规定面内发生位移。因此, 能用同一个压电单晶形成振子的全体。在此情况下, 首先制作压电单晶薄片, 通过对该薄片进行刻蚀、研磨加工, 能制成振子。虽然能用另外的构件分别形成振子的各部分, 但最好是整体形成。

在用平板状的材料、例如石英等压电晶体的平板状的材料通过刻蚀工艺形成振子时, 往往要在振子的各弯曲振动片等各构成片上形成特定形状的突起、例如细长突起。严格地说, 这样的突起成为使设计时预定的振子的对称性下降的原因。可是, 即使存在这样的突起也可以, 突起的高度以小为好, 突起的高度如果在振子的构成片的宽度的 1/5 以下, 一般来说在使用上没有问题。振子上存在由其它制造上的原因引起的突起以外的非对称性部分时情况也一样。

另外,在振子上以这种方式存在突起等的情况下,通过用激光加工等方法消除该突起的一部分,或者通过用激光加工等方法消除该突起以外的部分,刻蚀加工后能进行调整,以便驱动时使驱动振动系统的重心位于振子的重心附近区域内。

- 5 另外,振子的材料不作特别限定,但最好使用由石英、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、铌酸锂-钽酸锂固溶体($\text{Li}(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$)单晶、硼酸锂单晶、Rangasite 单晶等构成的压电单晶。

在上述的单晶中, LiNbO_3 、 LiTaO_3 、铌酸锂-钽酸锂固溶体单晶的电气机械耦合系数特别大。另外,如果将 LiNbO_3 单晶和 LiTaO_3 单晶加以比较,则 LiTaO_3 单晶比 LiNbO_3 单晶的电气机械耦合系数更大,而且温度稳定性也更好。

如果使用压电单晶,则能提高检测灵敏度,同时能减小检测噪声。而且,如果使用压电单晶,则能制成对温度的变化特别不敏感的振子,这样的振子适合于要求温度稳定性的车载用振子。以下进一步说明这一点。

15 作为使用音叉式振子的角速度传感器,有例如特开平 8-128833 号公报中记载的压电振动式陀螺仪。可是在这种振子中,振子沿两个方向振动。因此,特别是由压电单晶形成振子时,必须使压电单晶的两个方向的特性一致。可是,实际上压电单晶是各向异性体。

20 一般来说,在压电振动式陀螺仪中,为了提高测定灵敏度,要求驱动的振动模式的固有共振频率和检测的振动模式的固有共振频率之间保持一定的振动频率差。可是,压电单晶具有各向异性的特性,如果晶面发生变化,则振动频率随温度变化的程度不同。例如,沿某特定的晶面切断时,振动频率几乎不随温度变化,但沿另一晶面切断时,振动频率对温度变化较敏感。因此,如果振子沿两个方向振动,则两个振动面中至少有一个面是振动频率随温度变化较大的晶面。

25 与此不同,如本发明所述,由于使全体振子在规定面内振动,而且由压电单晶形成振子,所以能在振子中只利用单晶的温度特性最好的晶面。

30 即,由于设计成使全体振子在规定面内振动,所以能只利用压电单晶中振动频率几乎不随温度变化的晶面来制造振子。因此,能提供温度稳定性高的振动式陀螺仪。

在用压电性材料形成本发明的振子的情况下，将驱动电极及检测电极设置在该振子上。作为压电性材料，除了压电单晶外，还有PZT等压电陶瓷。

另外，还能用埃林瓦尔镍铬合金等恒弹性金属形成本发明的振子。这时，有必要将压电体安装在振子上的规定位置。

图11是简略地表示备有本发明的一实施例的压电单晶制的振子的振动式陀螺仪的平面图。基部11A以振子的重心G0为中心呈4次对称的正方形。两个驱动振动系统1A、1B（在本例中为第一振动系统）和两个检测振动系统2A、2B（在本例中为第二振动系统）从基部11A的周边部11a向四方呈放射状突出，各振动系统互相分离。驱动振动系统1A和1B以重心G0为中心呈2次对称，检测振动系统2A和2B以重心G0为中心呈2次对称。

驱动振动系统1A、1B备有从基部11A的周边部11a突出的支撑部12A、12B，以及从支撑部12A、12B的前端12b一侧沿与支撑部正交的方向延伸的第一弯曲振动片13C、13D。这些弯曲振动片13C、13D如图2(a)所示，其中央部分被约束，两端自由。更详细地说，第一弯曲振动片由弯曲振动片16A、16B及16C、16D构成。在各弯曲振动片上分别设有驱动电极15A、15B。检测振动系统2A、2B由细长的周向弯曲振动片14C、14D构成（参照图4(a)），在各弯曲振动片上设有检测电极14A、14B。

将该振子的驱动振动的驱动模式示于图12。可知各弯曲振动片以支撑部12A、12B的前端部分12b附近为中心进行弯曲振动。

将该振子的检测振动的模式示于图13。可知支撑部12A、12B以固定部12a为中心沿周向进行弯曲振动，与此相对应，检测振动系统的弯曲振动片14C、14D进行弯曲振动。

另外，关于图11中的振子，本发明者为了研究驱动振动及检测振动模式对振子的整体产生的影响，按有限元素法进行了固有模式分析。而且，用石英制成振子，求出了振子上各点的振动幅度对最大振动幅度点的比率分布。

图12中示出了振子上各点在驱动振动模式下最大振动时振幅的相对比率，图13中示出了振子上各点在检测振动模式下最大振动时振幅的相对比率。在图12及图13中各个不同颜色的区域分别表示与

不同的最大振动振幅点的比率的区域。橙色部分是振幅最小的区域。

从图 12 可以看出，伴随各驱动振动系统的振动，拉伸应力加在各支撑部 12A、12B 对基部 11A 的固定部 12a 的近边上而发生变形。可是，由于各驱动振动系统 1A 和 1B 被配置在 2 次对称的位置上，所以该变形的影响在基部内互相抵消。因此，在基部的中心附近，而且在被驱动振动系统夹着的检测振动系统 2A、2B 中看不到由驱动振动产生的影响。

由图 13 可见，从各驱动振动系统 1A 和 1B 加在基部上的影响互相抵消。而且，由于各检测振动系统被配置在 2 次对称的位置上，所以从检测振动系统 2A、2B 加在基部上的影响也在基部内互相抵消。其结果，在基部的中心附近 21A 处（参照图 11 及图 13）看不到由检测振动产生的影响。

因此，在本发明的振动式陀螺仪中，将振子支撑固定在驱动振动的检测振动的振幅为最小的区域内。因此，能不使因科里奥利力而发生的检测振动衰减而有效地发生振动，检测振动的 Q 值变高，能提高灵敏度。由于由科里奥利力产生的检测振动小，所以为了提高灵敏度，将振子支撑在检测振动的振幅最小的区域内特别有效。

而且，在本例中从图 12、图 13 可知，驱动振动的振幅最小的区域和检测振动的振幅最小的区域如图 11 中的 21A 所示，被局限在基部的中央部分，所以支撑并固定该区域 21A。这时，不特别限定支撑振子的具体方法，可以采用所有的支撑方法、固定方法。

例如，作为压电材料的粘接方法可以使用众所周知的一切粘接方法。作为其一例，将规定的支撑孔 20A 设置在区域 21A 内，将某种支撑器具插入支撑孔 20A 内，就能将振子固定。例如，使支撑器具从支撑振子用的夹具突出，将支撑器具插入支撑孔 20A 内就能固定。将支撑器具插入支撑孔中固定时，将支撑器具的表面上设置金属化层，以及/或者在支撑孔 20A 的内周面上设置金属化层，然后对支撑器具和支撑孔 20A 的内周面进行软钎焊或硬钎焊。或者将树脂配置在支撑器具和支撑孔 20A 之间，将振子固定起来。

该支撑孔 20A 可贯通振子，也可以贯通振子。在是支撑孔 20A 贯通振子的贯通孔的情况下，虽然也可使支撑器具穿过支撑孔 20A，但也可以不使支撑器具穿过。

另外,在不将支撑孔设置在振子上的情况下,可将支撑器具焊接或用树脂粘接在振子上的区域 21A 的表面及/或背面上。

另外,在本例的振子及振动式陀螺仪中,如图 11、图 12 所示,振子的重心 G0 位于驱动振动时振子的微小位移部分内。这里所说的
5 驱动振动时振子的微小位移部分是指具有驱动振动时的最大振幅的 1/1000 以下的振幅的部分而言。

另外,在本例的振子及振动式陀螺仪中,如图 11、图 13 所示,振子的重心 G0 位于检测振动时振子的微小位移部分内。这里所说的
10 检测振动时振子的微小位移部分是指具有驱动振动时的最大振幅的 1/1000 以下的振幅的部分而言。

在第一振动系统中,支撑部的纵向和各弯曲振动片的纵向虽然不一定必须垂直,但最好是垂直。

图 14~图 18 都是简略地表示本发明中各振动系统从基部突出的
15 实施例的振子及振动式陀螺仪的平面图。在这些实施例中,图中都省略了激振装置及检测装置,但除了上述的驱动电极及检测电极外,可以采用众所周知的驱动装置、检测装置。

在图 14 所示的振动式陀螺仪的振子中,基部 11B 呈圆形。四个驱动振动系统 1A、1B、1C、1D 和两个检测振动系统 2A、2B 从基部 11B 的周边部 11a 呈放射状地突出。各振动系统互相分离。驱动振动
20 系统 1A、1B、1C、1D 以重心 G0 为中心呈四次对称,检测振动系统 2A 和 2B 以重心 G0 为中心呈两次对称。

各驱动振动系统备有从基部 11B 的周边部 11a 沿径向突出的支撑部 12A、12B、12C、12D,以及从各支撑部的前端 12b 一侧沿与支撑部正交的方向延伸的弯曲振动片 13C、13D、13E、13F。这些弯曲振
25 动片如图 2(a)所示,其中央部分被约束,两端自由。更详细地说,各弯曲振动片由弯曲振动片 16A、16B、16C、16D、16E、16F、16G、16H 构成。各检测振动系统 2A、2B 由细长的周向弯曲振动片 14C、14D 构成。

在该振子的驱动振动模式中,各弯曲振动片以各支撑部的前端部分 12b 附近为中心,主要沿径向进行弯曲振动。在检测振动模式中,各支撑部 12A、12B、12C、12D 以固定部 12a 为中心,如箭头 C 所示,沿周向进行弯曲振动,与此相对应,各检测振动系统 2A、2B 如箭头
30

6A、6B所示进行弯曲振动。另外，在图14中，用细线表示检测模式时各部分的动作。

另外，在图14中，21B是驱动振动时振幅最小的区域和检测振动时振幅最小的区域的重叠区域，如上所述，最好支撑并固定该区域
5 21B。

在图15所示的振动式陀螺仪的振子中，基部11C由正三角形的中央部11d、以及与中央部11d的各片连续的正方形的突出部11a、11b、11c构成。该基部11以振子的重心G0为中心呈三次对称形状。三个驱动振动系统1A、1B、1C和三个检测振动系统2A、2B、2C从基部11C的各突出部11a、11b、11c的周边部11e呈放射状地突出。各
10 振动系统互相分离。

驱动振动系统1A、1B、1C以O为中心呈三次对称，检测振动系统2A、2B、2C以重心G0为中心呈三次对称。在本实施例中，各检测振动系统虽然不是准确地从重心G0呈放射状地延伸，但如果从基部的周边部11e看，向着远离周边部的方向呈放射状地延伸。
15

在该振子的驱动振动模式中，各弯曲振动片13C、13D、13E以各支撑部的前端部分12b附近为中心，如箭头5A所示，主要沿径向进行弯曲振动。在振子的检测振动模式中，各支撑部12A、12B、12C以固定部12a为中心，沿周向进行弯曲振动，与此相对应，各检测振
20 动系统的各弯曲振动片14C、14D、14E如箭头F所示进行弯曲振动。

驱动振动时振幅最小的区域和检测振动时振幅最小的区域的重叠区域21C存在于基部11C的中央部分内。如上所述，最好支撑并固定该区域21C。例如在该区域21C内形成支撑孔20B，如上所述，利用该支撑孔21B支撑振子。

在图16所示的振子中，基部11D呈4次对称的正方形，两个驱动振动系统1A、1B和两个检测振动系统2A、2B从其周边部11a呈放射状地突出。各振动系统互相分离。
25

在基部11D内设有4个支撑孔20C，在4个支撑孔之间形成连接部分22。各驱动振动系统及各检测振动系统的振动模式与上述相同。

图17中的振子的形态与图11所示的振子的形态相同，但以包围振子的基部、驱动振动系统及检测振动系统的方式形成框架部19。
30 框架部19的内侧面通过连接部分25与基部11A的四个角连接。在本

发明的振动式陀螺仪中，虽然支撑 21A 是较为理想的，但支撑框架部 19 也较为理想。

在图 18 所示的振子中，两个驱动振动系统 1A、1B 和两个检测振动系统 2A、2B 从基部 11A 的周边部 11a 向四方呈放射状地突出，各振动系统互相分离。驱动振动系统 1A 和 1B 以 O 为中心呈 2 次对称，检测振动系统 2A 和 2B 以重心 G0 为中心呈 2 次对称。

驱动振动系统 1A、1B 备有从基部 11A 的周边部 11a 突出的支撑部 12A、12B，以及从各支撑部的前端 12b 一侧沿与支撑部正交的方向延伸的弯曲振动片 13I、13J。各弯曲振动片 13I、13J 如图 2(a) 所示，中央部分被固定，由弯曲振动片 16I、16J、16K、16L 构成。各驱动振动系统在各径向弯曲振动片的前端侧备有与各弯曲振动片垂直地延伸的弯曲振动片 27A、27B、27C、27D。

检测振动系统 2A、2B 分别由细长的周向弯曲振动片 14A、14B 构成（参照图 4(a)），重量部 26A、26B 被设置在各周向弯曲振动片 14A、14B 上。

将该振子的驱动振动模式示于图 19(a)。各弯曲振动片 16I、16J、16K、16L 如箭头 5A、5B 所示，以前端部分 12b 附近为中心进行弯曲振动，与此同时，各弯曲振动片 27A、27B、27C、27D 如箭头 H 所示进行弯曲振动。

将该振子的检测振动模式示于图 19(b)。支撑部 12A、12B 以固定部 12a 为中心，沿周向进行弯曲振动，与此相对应，弯曲振动片 14E、14F 如箭头 6C、6D 所示进行弯曲振动。另外，突出部分 28 是通过激光加工来调整驱动振动的频率用的区域。

构成本发明的振动式陀螺仪的振子除了使用上述的压电材料或恒弹性合金形成以外，还能象硅微机中被使用的那样通过硅半导体工艺来形成。这时，驱动振子时利用静电力等。

图 20 中的振子是通过硅半导体工艺制成的。该振子通过在硅片上形成槽状的空隙获得。振子的形态本身与图 11 所示的基本上相同。振子的基部 11E 以重心 G0 为中心呈 4 次对称的正方形。两个驱动振动系统 1A、1B 和两个检测振动系统 2A、2B 从基部 11E 的周边部 11a 向四方呈放射状地突出，各振动系统互相分离。

驱动振动系统 1A、1B 备有从基部的周边部 11a 突出的支撑部

12A、12B, 以及从各支撑部的前端 12b 一侧沿与支撑部正交的方向延伸的各弯曲振动片 13K、13L。各弯曲振动片 13K、13L 由弯曲振动片 16M、16N、16P、16Q 构成。检测振动系统 2A、2B 由细长的周向弯曲振动片 14G、14H 构成。

- 5 静电驱动电极 30A、30C、30E、30G 被设置在各弯曲振动片 16M、16N、16P、16Q 的侧面, 各静电驱动电极 30B、30D、30F、30H 被设置在框架 29 的与各径向弯曲振动片相对的侧面上。由这些电极以静电方式驱动各弯曲振动片。

- 10 另外, 在各周向弯曲振动片 14G、14H 的侧面上分别设有静电检测电极 31A、31C, 在框架 29 的与各周向弯曲振动片相对的侧面上分别设有静电驱动电极 31B、31D。

- 15 可以设置特定的金属掺杂的半导体掺杂区代替静电检测电极, 能由该半导体掺杂区构成压敏电阻元件。在此情况下, 振子旋转时测定由加在各周向弯曲振动片的各压敏电阻元件上的应力引起的电阻值的变化, 作为旋转角速度的指标进行检测。另外, 12a 是支撑部 12 的固定部分。

- 20 图 21 是简略地表示另一实施例的振子的平面图。驱动振动系统 1A、1B、检测振动系统 2A、2B 及它们的工作情况与图 11 所示的相同。框架部 32A、32B 从其基部 58 的检测振动系统一侧的两片边缘 58a 延伸, 各检测振动系统被包围在各框架部中。各框架部分别备有与各检测振动系统平行延伸的连续部分 32a、以及支撑固定振子用的支撑框架 32b。将驱动振动时及检测振动时振幅最小的区域支撑固定在框架部 32A、32B 中。

- 25 在图 22 中示出了图 21 所示的振子上的各点在驱动振动模式下最大振动时的振幅的相对比率, 在图 23 中示出了该振子上的各点在检测振动模式下最大振动时振幅的相对比率。

- 30 根据图 22 可知, 伴随各振动系统的振动, 拉伸应力加在各支撑部 12A、12B 对基部 58 的固定部 12a 的近边上而发生变形。在框架部的连接部分 32a 上也能看出一些其影响。可是, 由于这些影响互相抵消, 所以在基部的中心附近、弯曲振动片 14C、14D 及框架部的支撑框架 32b 上看不到由驱动振动产生的影响。

根据图 23, 从各驱动振动系统、各检测振动系统加在基部 58 上

的影响互相抵消，其结果，在基部 58 的中心附近 21A 处看不到由检测振动产生的影响。可是，不仅如此，由于支撑框架 32b 内的区域 21D 的振幅变为最小，所以还可以支撑固定该区域 21D。

另外，在本例的振子及振动式陀螺仪中，如图 21、图 22 所示，
5 振子的重心 G0 位于驱动振动时振子的微小位移部分内。另外，如图 21、图 23 所示，振子的重心 G0 位于检测振动时的振子的微小位移部分内。

图 24 是简略地表示备有本发明的一实施例的振子的振动式陀螺仪的斜视图。基部 11E 呈长方形。两个驱动振动系统 1A、1B（在本
10 例中为第一振动系统）和两个检测振动系统 2A、2B（在本例中为第二振动系统）从基部 11E 的周边部呈放射状突出，各振动系统互相分离。驱动振动系统 1A 和 1B 以振子的重心 G0 为中心呈 2 次对称，检测振动系统 2A 和 2B 以重心 G0 为中心呈 2 次对称。

驱动振动系统 1A、1B 备有从基部的周边部突出的支撑部 35，以
15 及沿与支撑部正交的方向延伸的第一弯曲振动片 23C、23D。这些弯曲振动片 23C、23D 如图 2(b) 所示，其两端部分分别被约束，其中央部分进行较大的振动。最好使各弯曲振动片 23C 及 23D 的整体振动重心 GD 在振子的重心 G0 上，或者在重心 G0 附近的区域内，激励起各弯曲振动片的振动。

20 在图 25 所示的振子中，两个驱动振动系统 1A、1B 和两个检测振动系统 2A、2B 从基部 11A 的周边部呈放射状突出，各振动系统互相分离。驱动振动系统 1A 和 1B 以振子的重心 G0 为中心呈 2 次对称，检测振动系统 2A 和 2B 以重心 G0 为中心呈 2 次对称。

驱动振动系统 1A、1B 备有从基部的周边部突出的支撑部 12A、
25 12B，以及从各支撑部的前端沿与支撑部正交的方向延伸的第一弯曲振动片 13C、13D（参照图 2(a)）。各弯曲振动片 13C、13D 由弯曲振动片 16A-16D 构成。在这些弯曲振动片的外侧还设有第一弯曲振动片 23C、23D（参照图 2(b)），弯曲振动片 13C、13D 和 23C、23D 互相连接，形成框架及中空部 36。在弯曲振动片 23C、23D 中，其中
30 央部分如箭头 5A、5B 所示进行较大的振动。在此情况下，弯曲振动片 13C、13D、23C、23D 的整体振动重心 GD 在重心 G0 上，或者在 G0 附近的区域内，激励起各弯曲振动片的振动。

在图 26 所示的振子中，两个驱动振动系统 1A、1B 和一个检测振动系统 2A 从基部 11A 的周边部呈放射状突出，各振动系统互相分离。驱动振动系统 1A 和 1B 以 G0 为中心呈 2 次对称。各驱动振动系统备有从基部的周边部突出的支撑部 12A、12B，以及从各支撑部的前端沿与支撑部正交的方向延伸的第一弯曲振动片 13C、13D（参照图 2(a)）。

另一方面，检测振动系统 2A 是上述的系统，但在夹住重心 G0 的相对的一侧设有重量部 37 及固定片部 38。在此情况下，如果驱动振动系统的整体重心位于重心 G0 附近的区域，则能抑制对检测振动系统的影响，其结果即使是一个检测振动系统，也能在某种程度上进行准确的检测。在此情况下，最好将振子支撑在与检测振动系统一起夹住交点的相对的一侧的位置（乃至旋转对称的位置）的延长线上。

在图 27 所示的振子中，驱动振动系统 1A 和 1B 与上述的相同。该振子是与图 8 所示的类型相当的振子。另一方面，检测振动系统 2A、2B 分别备有从基部 11A 突出的框架部 19A、19B，还备有从各框架部 19A、19B 向重心 G0 方向突出的第二弯曲振动片 24C、24D。如图 4(b) 所示，这些弯曲振动片 24C、24D 呈这样的形态，即在远离 G0 的一侧有固定部 8，在靠近 G0 的一侧有自由端，如箭头 6A、6B 所示那样地振动。

在图 28 所示的振子中，在框架部 19C 的内侧朝向重心 G0 方向分别形成两个第一振动系统和两个第二振动系统。该振子是与图 10 所示的类型相当的振子。

各驱动振动系统备有从框架部 19C 向重心 G0 方向沿直线延伸的支撑部 12C、12D，以及从各支撑部的前端沿与支撑部正交的方向延伸的第一弯曲振动片 13M、13N（参照图 2(a)）。各弯曲振动片 13M、13N 由弯曲振动片 16R、16S、16T、16U 构成。

各检测振动系统备有分别从框架部 19C 向重心 G0 方向沿直线延伸的第二弯曲振动片 24C、24D。这些弯曲振动片 24C、24D 的形态如图 4(b) 所示。

在本发明中，通过用相对于振子的重心沿周向延伸的连接部连接多个第一振动系统，能形成由各第一振动系统及连接部包围交点的环状的振动系统。

例如,在图 29 所示的振子中,两个驱动振动系统 1A、1B 和两个检测振动系统 2A、2B 从基部 11A 的周边部呈放射状突出。驱动振动系统 1A 和 1B 以 G0 为中心呈 2 次对称,检测振动系统 2A 和 2B 以 G0 为中心呈 2 次对称。

5 驱动振动系统 1A、1B 备有从基部的周边部突出的支撑部 12A、12B,以及从各支撑部的前端沿与支撑部正交的方向延伸的第一弯曲振动片 13P、13Q (参照图 2(a))。这些弯曲振动片 13P、13Q 由连接部 39A、39B、39C、39D 连接,由各连接部及弯曲振动片 13P、13Q 形成以 G0 为中心的环状振动系统 71A。

10 在图 29 所示的驱动振动模式中,各弯曲振动片 16A、16B、16C、16D 如箭头 6A、6B 所示那样振动,与其相对应,各连接部如箭头 I 所示振动。如果使该振子旋转,则会感应出图 30 所示的检测振动的振动模式。即各驱动振动系统如箭头 A、B 所示沿周向振动,与其相对应,环状的振动系统的整体体变形。为了对此取得平衡,各检测振
15 动系统的弯曲振动片 14C、14D 如箭头 6A、6B 所示那样振动。另外,40 是设置在各弯曲振动片 14C、14D 上的重量部。

在图 31-图 35 中,只说明基部小、与弯曲振动片宽度相同的例子。

在图 31、图 32 中,驱动振动系统和检测振动系统的支撑部 12A、
20 12B、弯曲振动片 13R、13S、13C、13D 是与上述相同的。可是,基部 11F 存在于支撑部 12A、12B 和弯曲振动片 14C、14D 相交的部分处,具有与它们相同的宽度。

在图 31 中,将直线状的延伸部 41 设置在从支撑部 12A、12B 的前端侧远离重心的方向,各延伸部分别与固定片部 42 连接。因此,
25 如上所述,各驱动振动系统 1A、1B 在一对固定片部 42 之间振动。在图 32 中,不存在固定片部及延伸部。

在图 33 中,示出了图 32 中的振子上的各点在驱动振动模式下最大振动时的振幅的相对比率,在图 34 中,示出了振子上的各点在检测振动模式下的最大振动时的振幅的相对比率。对这些附图的判断方
30 法与图 12、图 13 中所示的相同。

由图 33 可知,在振子的检测振动系统及支撑部中几乎看不到由驱动振动系统的振动产生的形变。根据图 34,由于各检测振动系统

被配置在呈2次对称的位置,所以在基部11F内及其附近看不到由检测振动产生的影响。其结果,可知最好将各检测振动系统至少支撑在基部11F内。

5 在本例的振子及振动式陀螺仪中,如图32、图33所示,振子的重心G0位于驱动振动时的振子的微小位移部分内。如图32、图34所示,振子的重心G0位于检测振动时的振子的微小位移部分内。

在图35所示的振子中,两个检测振动系统2A、2B从基部11F延伸。这些检测振动系统分别由弯曲振动片44C及44D构成。弯曲振动片44C及44D的前端侧分别通过连接部46连接在弯曲振动片23C、23D上。各弯曲振动片23C、23D分别构成驱动振动系统1A、1B,且
10 与弯曲振动片44C、44D大致平行延伸。由驱动振动系统的各弯曲振动片23C、23D及这些连接部46构成以重心G0为中心呈一体振动的环状振动系统71B。

如图2(b)所示,弯曲振动片23C、23D的两端被固定,其中中央部分如箭头5A、5B所示进行较大的振动。另外,各弯曲振动片44C、44D如图5(b)所示那样振动。另外,在本例中将在基部附近形成的突出部45作为固定片部使用,也能支撑这些固定片部。

其次,再说明驱动各弯曲振动片、或检测各弯曲振动片的振动的方法之一例。图36所示的振子的动作与图24中的振子完全相同。但是该振子的晶轴方向是a轴沿规定面的方向延伸,c轴沿垂直于振子的方向延伸。这样的晶轴方向相当于例如使用石英的情况。
20

在图36中,将驱动电极15A、15B分别设置在驱动侧的弯曲振动片23C、23D上。将其剖面图示于图37(a)。另外,将检测电极16A、16B分别设置在检测一侧的弯曲振动片14C、14D上。将该部分的剖面图示于图37(b)。
25

另外,在本发明的振子中,可以在各振动系统的振动体上、特别是在弯曲振动片上设置沿其纵向延伸的贯通孔或凹部。由此能降低弯曲振动片振动的固有共振频率,能进一步地提高驱动振动或检测的Q值。图38~图41是表示该实施例的各振动式陀螺仪。

30 在图38中,在各弯曲振动片23C、23D、14C、14D上分别形成沿弯曲振动片的纵向延伸的贯通孔47、48。而且,在各弯曲振动片23C、23D上如图39(a)所示,驱动电极49A、49D被设置在各贯通孔

47 的外侧壁面上, 驱动电极 49B、49C 被设置在内侧壁面上。另外, 在各弯曲振动片 14C、14D 上如图 39(b) 所示, 检测电极 50A、50D 被设置在各贯通孔 48 的外侧壁面上, 检测电极 50B、50C 被设置在内侧壁面上。

5 在本实施例中, 象石英那样使用具有在规定平面内三次对称轴的 a 轴的压电单晶片。在各弯曲振动片上如图 39(a) 所示, 外侧面上的驱动电极 49A、49D 与交流电源连接, 内侧面上的驱动电极 49B、49C 接地。其结果, 在驱动电极 49A - 49B 的组合和驱动电极 49C - 49D 的组合之间电压的施加方向相反, 所以弯曲振动片发生弯曲。

10 另外, 在检测侧的弯曲振动片上, 检测电极 50A - 50B 一侧和 50C - 50D 一侧之间发生的电场方向相反。

而且, 如本实施例所示, 在各弯曲振动片上的各贯通孔中, 在各贯通孔的两侧, 将一对驱动电极设置在内侧面和外侧面上, 这样能使一片弯曲振动片弯曲。在检测侧也一样。因此, 将电压加在激振效率最高的 a 轴方向上, 能驱动弯曲振动片, 还能检测其振动。

15 在上述的实施例中, 通过将电压加在压电单晶的 a 轴方向上, 来驱动各臂。与此不同, 例如在铌酸锂、钽酸锂、铌酸锂 - 钽酸锂固溶体单晶的情况下, 如图 40 所示, 将 a 轴配置在平行于纸面的方向, 使 c 轴与纸面之间构成 50° 的角度, 从温度特性的观点来看非常有利。在此情况下, 将电压加在与纸面垂直的方向上, 使各弯曲振动片进行弯曲振动。

20 在图 40 中, 使用钽酸锂的 130°Y 片, c 轴与振子的主面之间构成 50° 。在该角度下振子的温度特性最好。在驱动侧的弯曲振动片 23C、23D 上分别形成沿弯曲振动片的纵向延伸的贯通孔 47。在检测侧的弯曲振动片 14C、14D 上分别形成沿弯曲振动片的纵向延伸的贯通孔 48。

30 如图 41(a) 所示, 在各贯通孔 47 的两侧位置上设有细长的驱动电极 99A、99B、99C、99D。由于在驱动电极 99A - 99B 和驱动电极 99C - 99D 之间电压的施加方向相反, 所以弯曲振动片发生弯曲。另外, 如图 41(b) 所示, 在检测侧的各弯曲振动片上, 在各贯通孔 48 的两侧位置上设有细长的检测电极 51A、51B、51C、51D, 在检测电极 51A - 51B 和检测电极 51C - 51D 之间产生的电场方向相反。

另外，在上述的各例中，能将贯通孔 47、48 代之以形成具有与它们的平面形状相同的凹部。即，在各弯曲振动片上也可以不将贯通孔 47、48 穿通，而是设有薄壁。

5 另外，在本发明的旋转角速度的测定方法的优选实施例中，将为了产生驱动振动而使用的电信号作为参照信号，利用检测装置将伴随驱动振动而发生的具有与驱动振动不同的振动模式的振动作为电信号取出，将所取出的信号作为输出信号时，检测参照信号和输出信号的相位差，根据所检测的相位差的变化来检测角速度。

10 图 42 是表示在这种方法中使用的相位差检测装置之一例的框图。

在图 42 所示的相位差检测装置 62 中，输出信号被 AC 放大器 61 放大后，被供给相位差检测电路 63。在参照信号前处理电路 64 中进行了波形等整理的前处理后，同样将参照信号供给相位差检测电路 63。在相位差检测电路 63 中检测所供给的进行过前处理的参照信号
15 和输出信号的相位差。将检测出的相位差供给低通滤波器 65 及 DC 放大器 66，变成具有对应于相位差的大小的直流信号。将由上述的相位差检测装置 62 求得的直流信号供给旋转角速度检测电路 67。在旋转角速度检测电路中根据预先求得的直流信号的大小和旋转角速度的关系，求出旋转角速度。

20 另外，由于在上述的电路 62 中不能将输出信号和参照信号的相位差作为直接数值求出，所以要根据与相位差对应的直流信号的大小，求得旋转角速度，但也可以直接将相位差作为数值求出，根据预先求得的相位差和旋转角速度的关系，求得旋转角速度。

本发明的振动式陀螺仪特别适合于检测这样的相位差的方法，可知在相位差和旋转角速度之间能获得较高的线性关系。判明了在陀螺信号和漏信号的比为 1: 7 以上的区域即漏信号大的区域中，特别是在相位差和旋转角速度之间能获得极高的线性关系。另外，如果漏信号过大，则不管怎样使用压电单晶，也会超越检测极限。因此，能根据振动式陀螺仪的检测灵敏度来确定漏信号的上限。

30 这样，在漏信号比陀螺信号大的区域、特别是在陀螺信号和漏信号的比为 1: 7 以上的区域中，检测灵敏度下降时反而能提高相位差和旋转角速度之间的线性关系。

另外，可通过将两个以上的压电层重叠起来，制作本发明的振子。在此情况下，最好使各压电层的分极轴的方向互不相同，各压电层的分极轴的方向最好分别与振子的主面正交。

如果采用使用了本发明的振子的线加速计，则能显著地降低使振子驱动振动时由基部的伸缩振动产生的噪声信号，所以能防止由该噪声信号随温度变化产生的误差。

另外，使用本发明的振子能制作同时测量转速和线加速度的传感器。在将转速和线加速度同时加在本发明的振子上的情况下，在振子上同时发生与转速对应的检测信号以及与线加速度对应的信号。在这时的检测信号中，与驱动信号频率相同的信号分量的振幅变化与转速成比例，直流电压信号分量的变化与线加速度成比例。

图 43~图 47 是简略地表示本发明的另一例的陀螺仪的斜视图。图 43 中的振子基本上与图 11 所示的振子相同。可是，在各驱动振动系统 1A、1B 的各支撑部 12E、12F 上设有沿其纵向延伸的通孔 72。因此，使得各支撑部的机械强度下降。可以设置凹部来代替通孔 72。

图 44 中的陀螺仪在原理上也与图 11 中的陀螺仪相同。可是，其振子的 a 轴是 x 轴方向，c 轴与规定面构成 50° 的角度。因此，驱动电极 99A~99D、检测电极 51A~51D 与图 40 所示的相同。另外，驱动振动系统 1A、1B 的各弯曲振动片 16V、16W、16X、16Y 分别弯曲成圆弧状。

图 45 中的陀螺仪基本上与图 35 中的陀螺仪相同。但是，在各连接部 46 与各弯曲振动片 44C、44D 结合的部分中朝向振子的外侧设有凸起 78A、78B。但是，该凸起 78A、78B 可以省去。另外，各弯曲振动片 44C、44D 与基部 11H 相连接。基部 11H 备有大致呈正方形的框部 74，一对电桥 76A、76B 从框部 74 的内侧面开始延伸，中央部 97 支撑在各电桥的中间。重心 GD、GB、GO 存在于中央部 97 中。突出部 77A、77B 再从中央部 97 朝向空隙 75A、75B 突出。72A、72B 是空隙，73 是圆弧。

在本例中，能支撑各凸起 78A、78B，还能支撑中央部 97，还能支撑突出部 77A、77B，因此能使由支撑产生的对检测振动的灵敏度的影响减小最小限度。

在图 46 中的陀螺仪中，各驱动振动系统的各弯曲振动片 23C、

23D 通过一对连接部 80 分别与弯曲振动片 44C、44D 连接, 而且形成环状振动系统 71C。各连接部 80 备有沿 X 轴方向延伸的连接部 80a、80c, 以及连接 80a 和 80c 的沿 Y 轴方向延伸的连接部 80b。各弯曲振动片 44C、44D 分别与基部 11A 结合。72A、72B 是空隙部。

5 在图 47 中的陀螺仪中, 驱动振动系统 1A、1B、检测振动系统 2A、2B、基部 11A 都与图 11 中的陀螺仪相同。另外, 在驱动振动系统 1A、1B 的外侧设有驱动振动系统 1E、1F。各振动系统 1E、1F 分别由弯曲振动片 23C、23D 构成, 各弯曲振动片 23C、23D 的各末端通过连接部 100 连接在各弯曲振动片 44C、44D 的两末端上。

10 陀螺仪的灵敏度随驱动振动和检测振动的各固有共振频率的差而变化。可是, 如果温度变化, 各固有共振频率就变化, 所以其差也变化。各固有共振频率的差在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 时变化 10% 左右。因此, 在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 时, 最好使各固有共振频率的差为恒定值。

为了解决该问题, 振子在备有与规定面平行的一对主面和侧面
15 时, 将沿其纵向延伸的凸起设置在侧面, 最好使从该凸起的侧面算起的高度为振子的厚度的 $1/3 \sim 1/7$ ($1/4 \sim 1/5$ 更好)。另外, 在将该凸起设置在弯曲振动片上的情况下, 最好使该弯曲振动片的长度在 7mm 以下, 特别是在 6mm 以下就更好。

在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 本发明者测定了弯曲振动片的本发明的
20 的驱动振动及检测振动的各固有共振频率, 两者之差在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 时的最大值和最小值如图 48 中的曲线所示。这里, 弯曲振动片的长度为 6、8、10mm, 其厚度为 0.3mm, 其宽度为 1.0mm, 其材料为石英。

由图 48 中的结果可知, 使弯曲振动片的长度为 6mm 以下, 再通
25 过控制凸起的高度, 能将 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 时的各共振频率的差的最大值和最小值控制在 2.5Hz 以下, 甚至在 2.0Hz 以下, 能将陀螺仪的灵敏度的变化控制在 5% 以下。

另外, 通过将沿其纵向延伸的凸起设置在基部的侧面, 更能减少
由驱动振动产生的对检测振动的影响。这时, 将凸起设置在相对于基
30 部的重心呈点对称的位置, 有利于抑制检测振动的失真。

另外, 各驱动振动系统或检测振动系统在备有弯曲振动片及其支撑部的情况下, 最好将沿其纵向延伸的凸起设置在支撑部的侧面, 设

置在两侧的侧面就更好。由此能减少弯曲振动片的振动对基部的影响。另外，通过将凸起设置在检测振动边的至少一个侧面上，在振子不旋转时，检测振动边不易受驱动振动的影响，能减少这时的噪声。

图 49 表示该实施例的陀螺仪。在其振子中，在基部 11A 的周边部分的侧面上设有凸起 90G、90I、90H、90J，这些凸起相对于基部 11A 的重心呈点对称的关系。另外，在各驱动振动系统 1A、1B 的各支撑部 12A、12B 的两侧的各侧面上分别形成了凸起 90A、90B、90C、90D。还在检测振动系统 2A、2B 的各弯曲振动片 14C、14D 的一侧的侧面上形成了凸起 90E、90F。

另外，在通过刻蚀制造振子时，对于不同批量制造的振子来说，在刻蚀的时间或刻蚀的浓度方面存在离散性。由于该离散性的缘故，振子的弯曲振动片的驱动振动、检测振动的各固有振动频率的差方面产生离散性，因此振子的灵敏度方面也产生离散性。为了防止这一点，可以将凹部或通孔设置在弯曲振动片中比激振装置或检测装置更靠前端一侧的位置上。

图 50 是简略地表示该实施例的陀螺仪的平面图。该陀螺仪基本上与图 11 所示的陀螺仪相同。但是，在各弯曲振动片 16A、16B、16C、16D、14C、14D 中将通孔 91A、91B、91C、91D 设置在比驱动电极或检测电极更靠前端一侧的位置上。各通孔乃至凹部最好设置在与各电极相距 0.3mm 以上的位置上。

现说明这样的通孔乃至凹部的作用及效果。如图 51 所示，在通过刻蚀制造弯曲振动片时，有时相对于用实线表示的设计图形如虚线所示那样进行刻蚀。这时，如果进行其前端面 101 的刻蚀，则能减少弯曲振动片的质量，所以共振频率增大。另一方面，如果进行侧面 102 的刻蚀，则弯曲振动片变细，所以共振频率下降。其结果，从整体来说，侧面 102 的刻蚀的效果较大。

可是，由于设有通孔 91A~91D，所以如虚线所示那样进行侧面 102 的刻蚀时，通孔 91A~91D 的刻蚀也如虚线所示那样进行，故弯曲振动片前端侧的质量减少了。

例如，弯曲振动片由水晶构成，其长度为 6mm、宽度为 1.0mm、厚度为 0.3mm 时，如果侧面 102 比设计值多刻蚀 1 微米，则驱动、检测的各共振频率之差相对于设计值约变化 2.85Hz。与此不同，通过

设置长 0.4mm、宽 0.3mm 的通孔 91A~91D，共振频率之差相对于设计值只变化 0.08Hz。

- 另外，通过将扩展部设置在弯曲振动片的前端侧，将各通孔乃至凹部设置在该扩展部上，能使通孔乃至凹部的上述效果更大，另外即使使通孔乃至凹部小些，也能获得上述效果。

图 52 表示该实施例的陀螺仪。将具有比各弯曲振动片的宽度大的幅度的扩展部 95、96 设置在各弯曲振动片 16A、16B、16C、16D、14C、14D 的前端，在各扩展部中设有通孔 91A、91B、91C、91D。

- 如上所述，如果采用本发明，则能提供一种新的振动式陀螺仪，该振动式陀螺仪特别是对于规定面内延伸的振子使其在该规定面内旋转时，能检测其旋转的角速度。

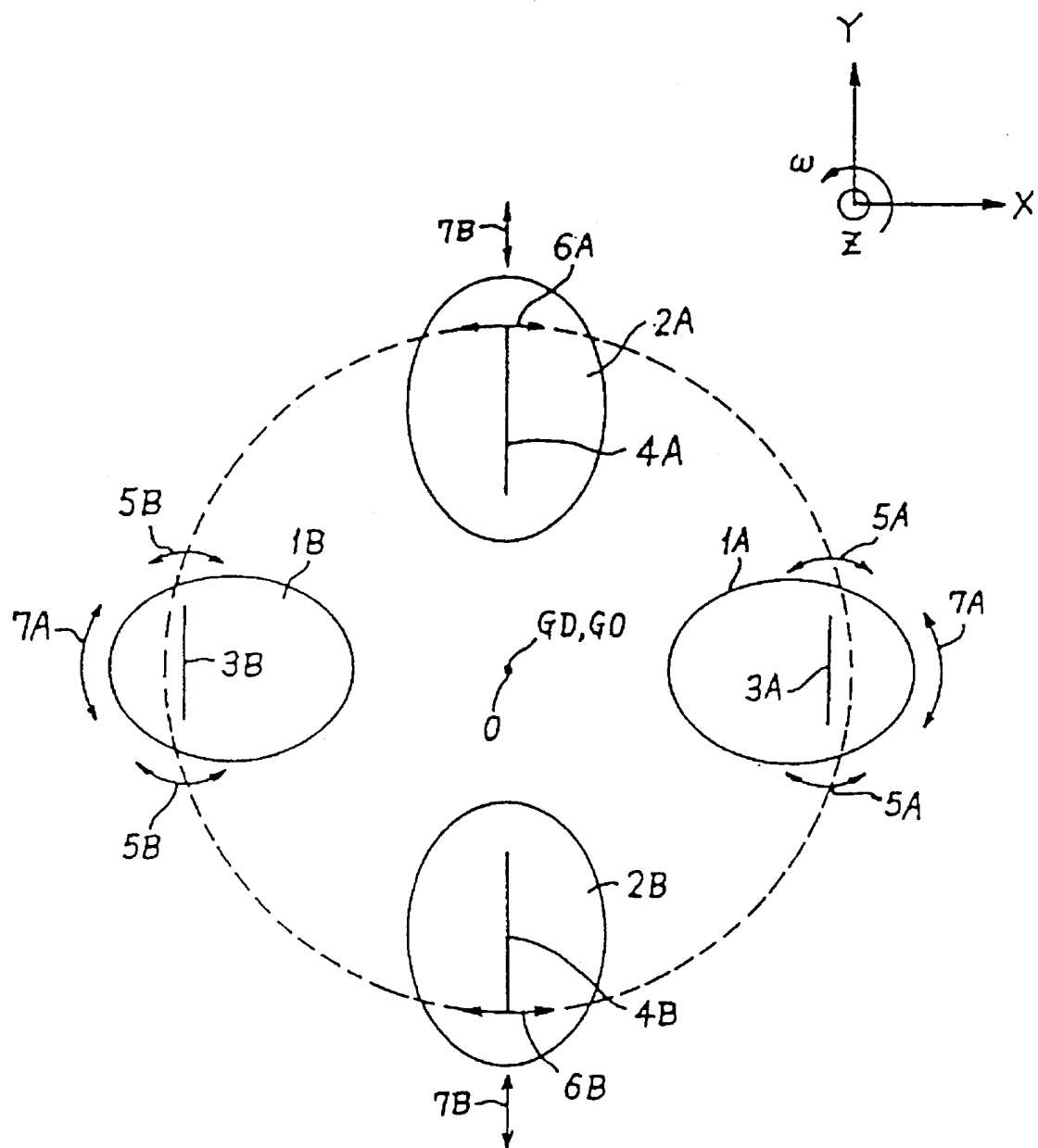


图 1

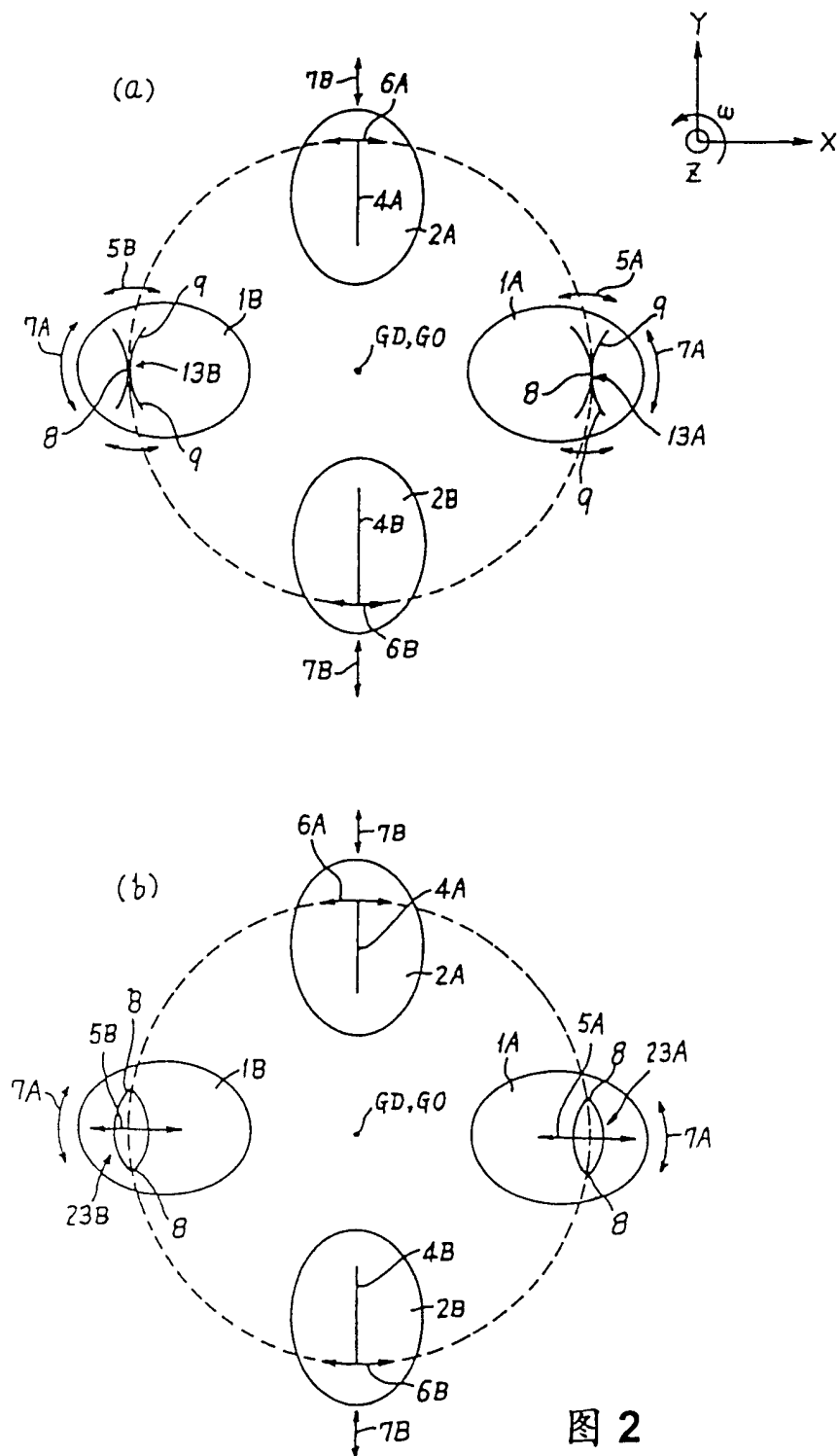


图 2

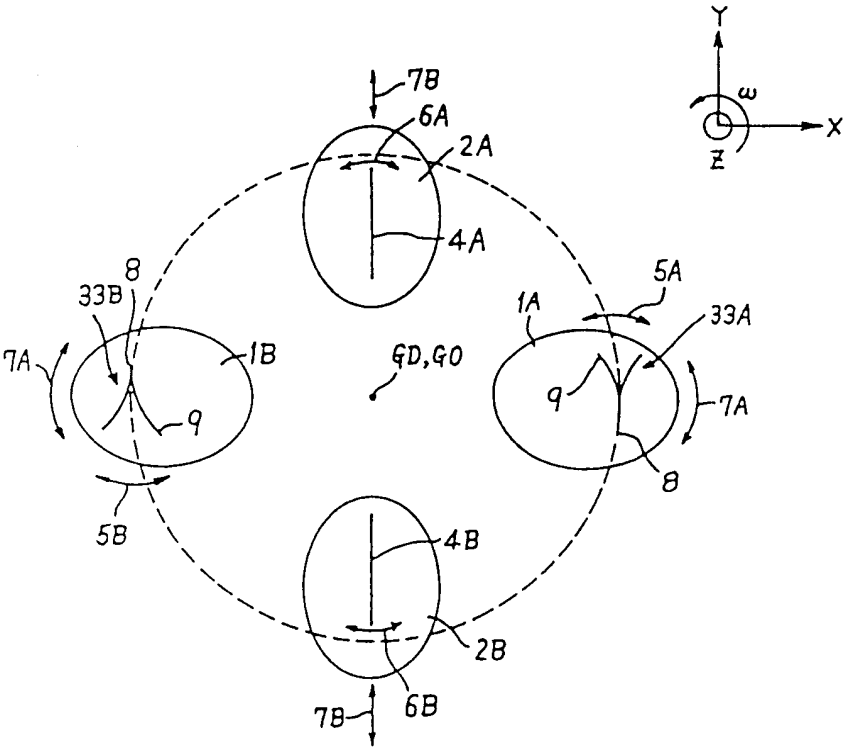
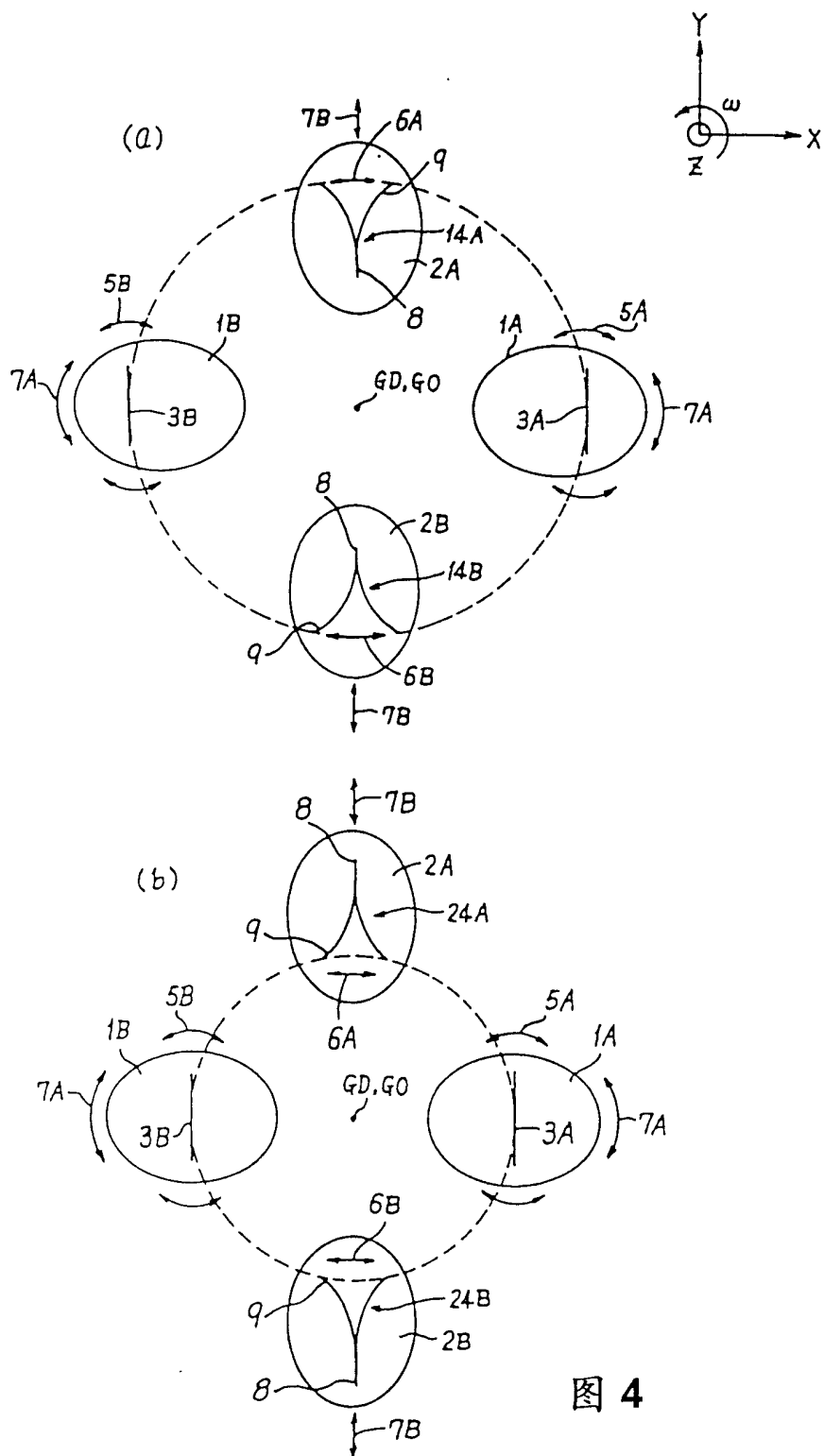
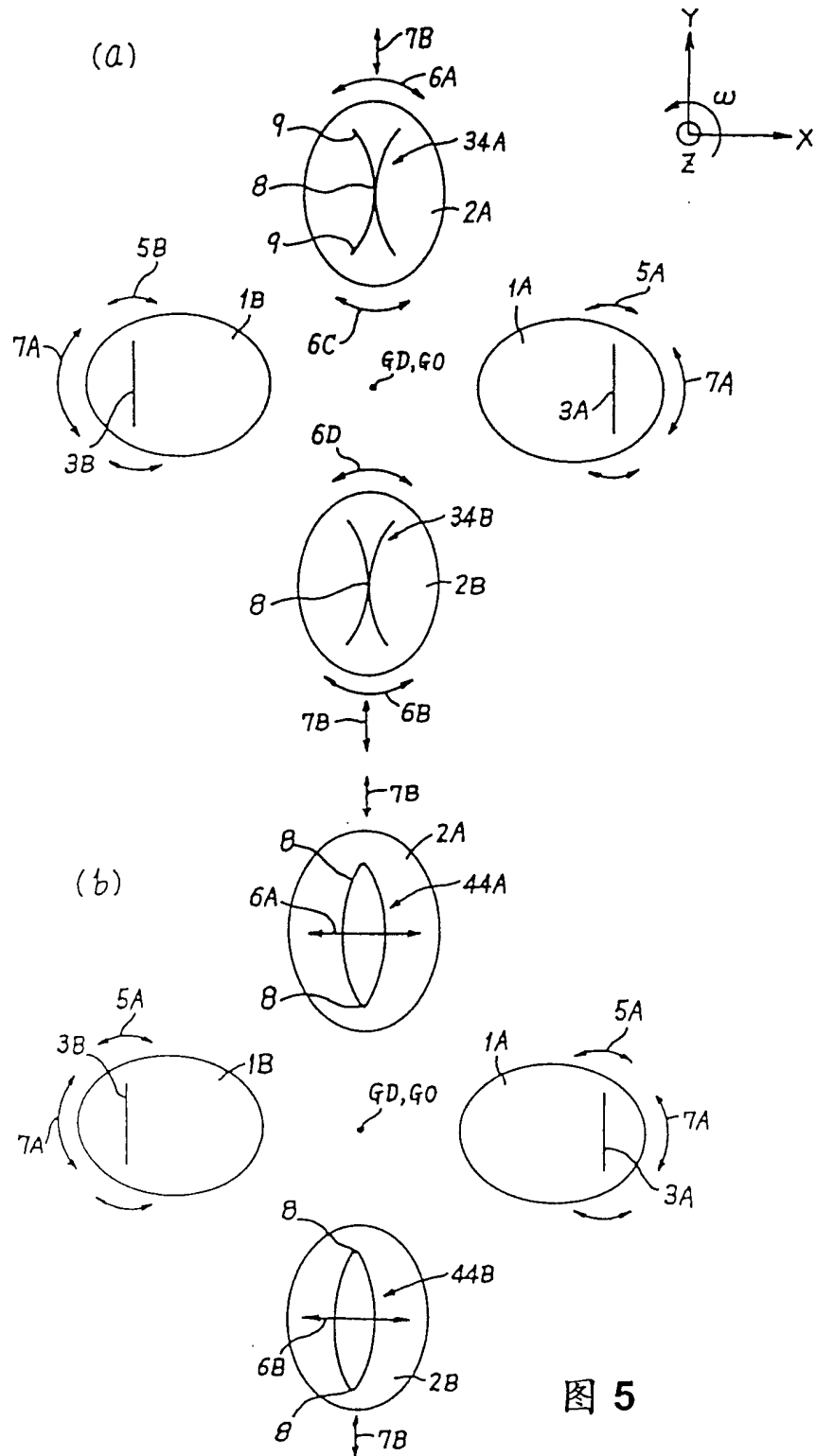


图 3





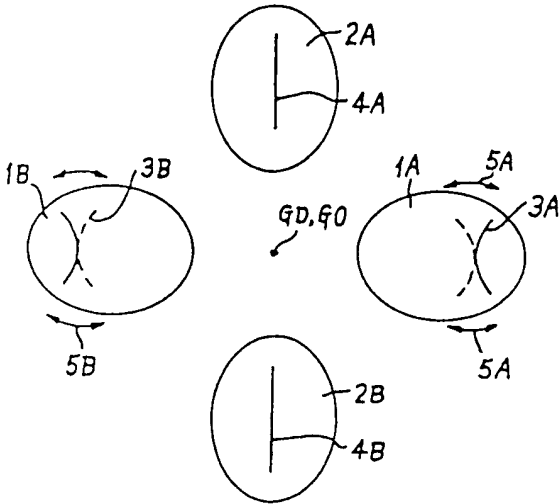


图 6

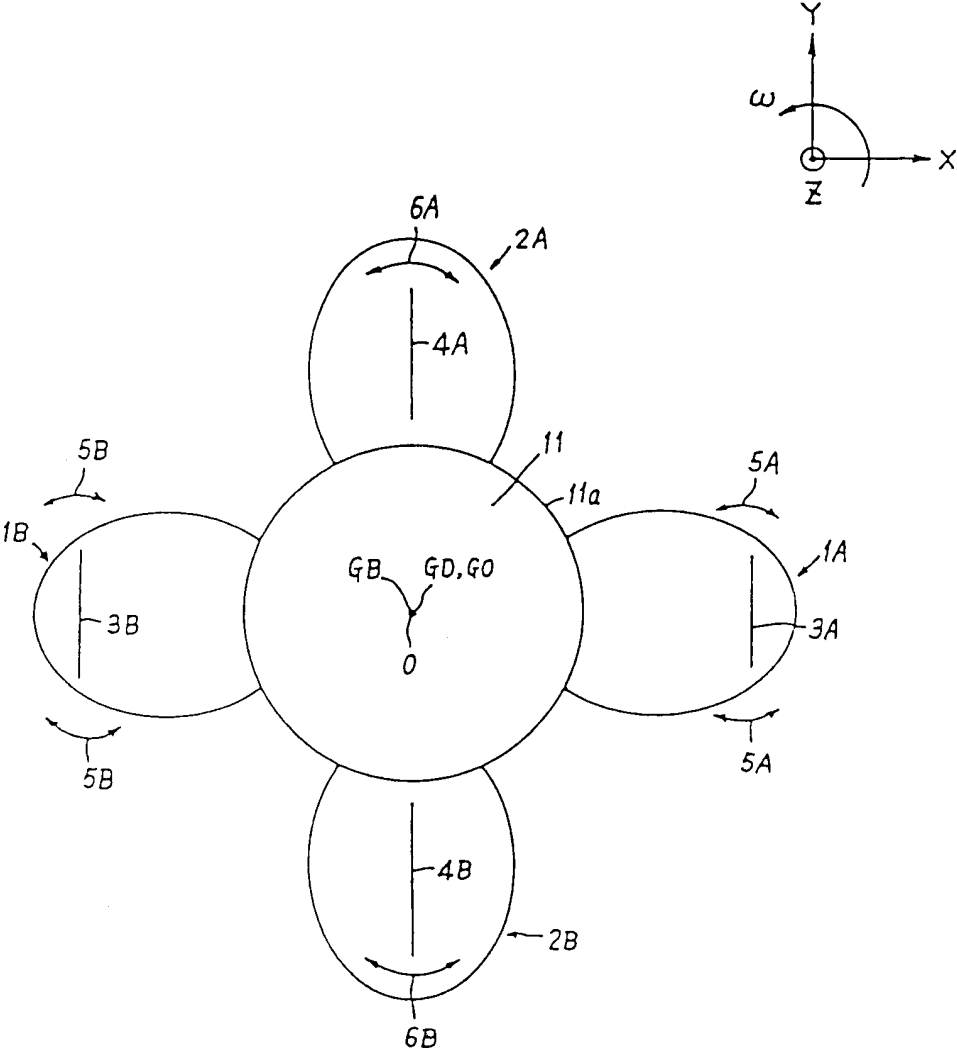


图 7

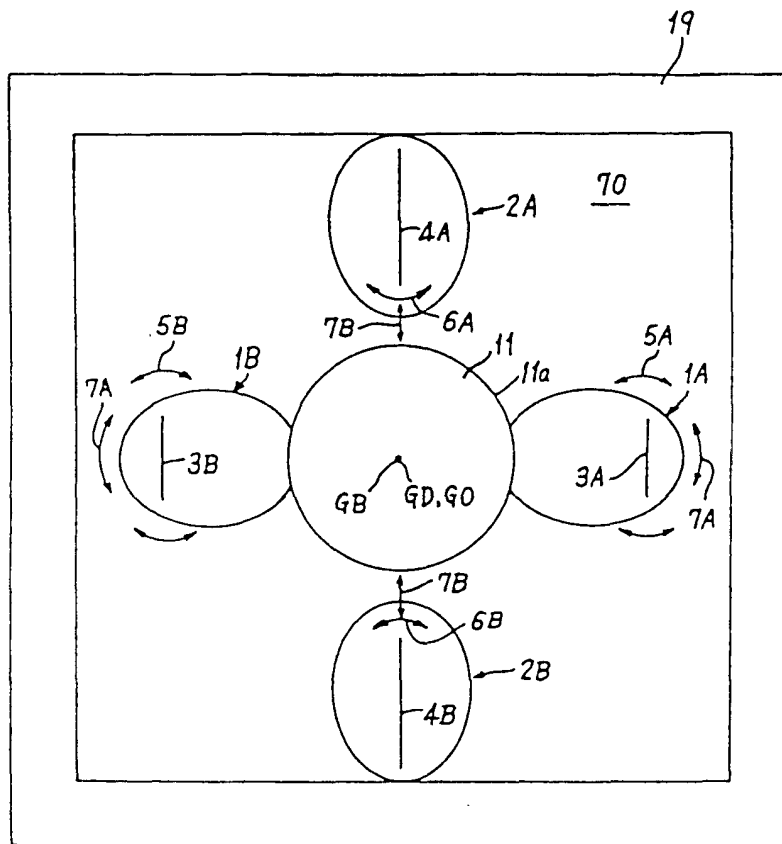


图 8

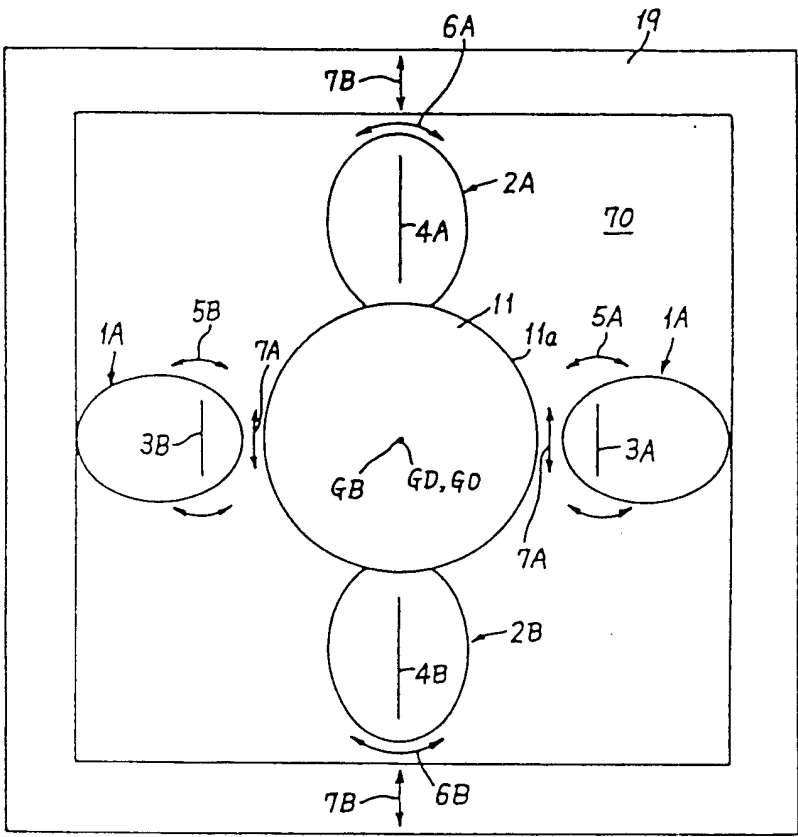


图 9

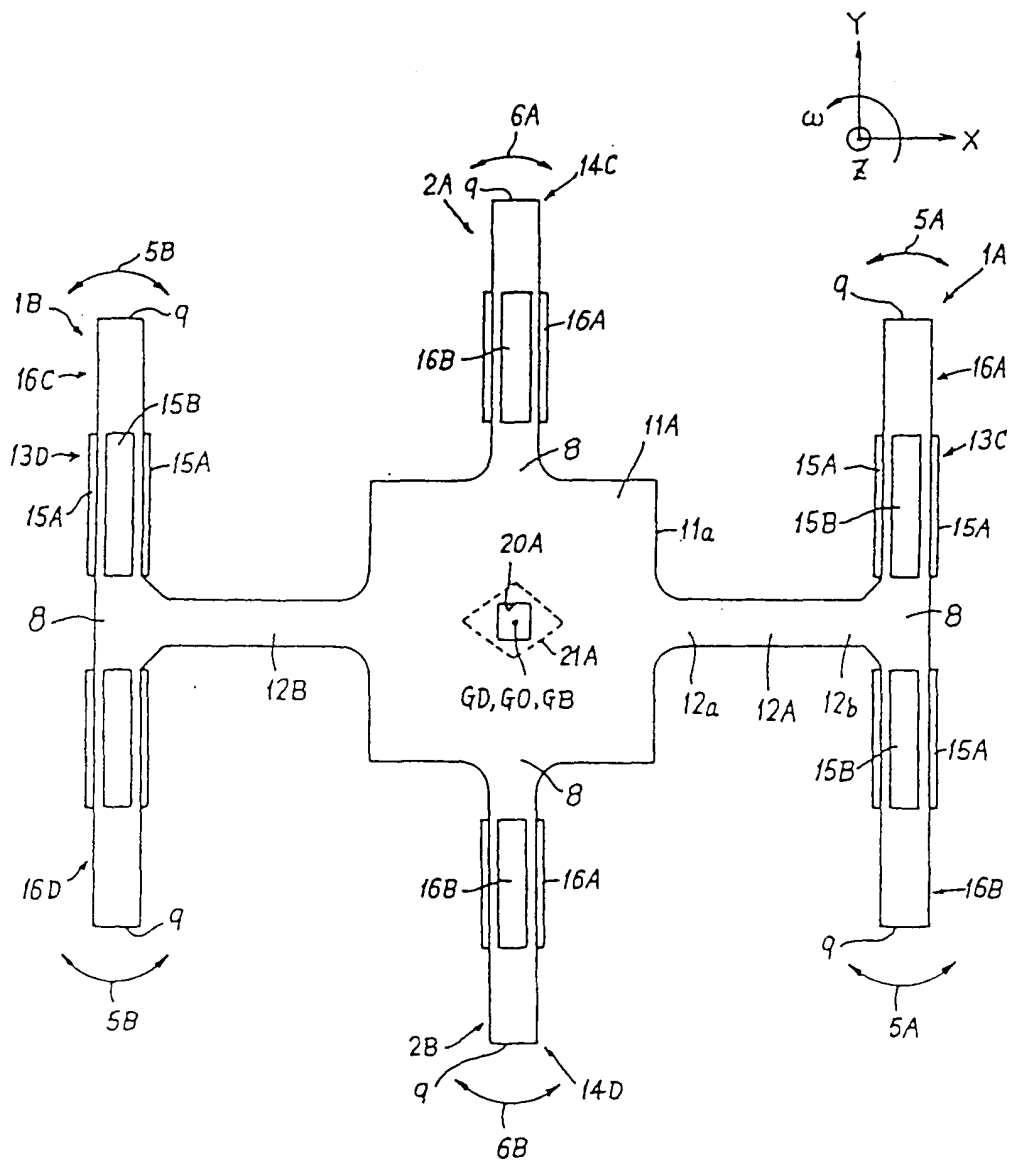


图 11

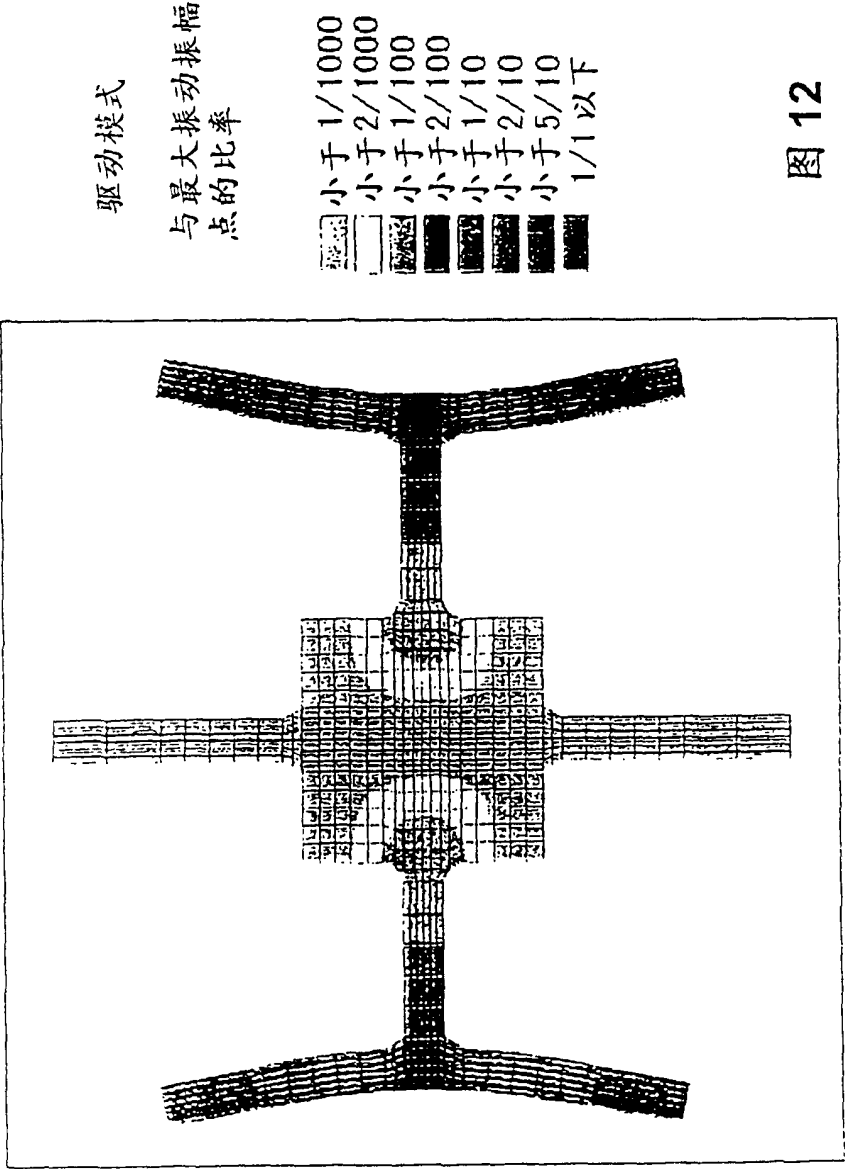


图 12

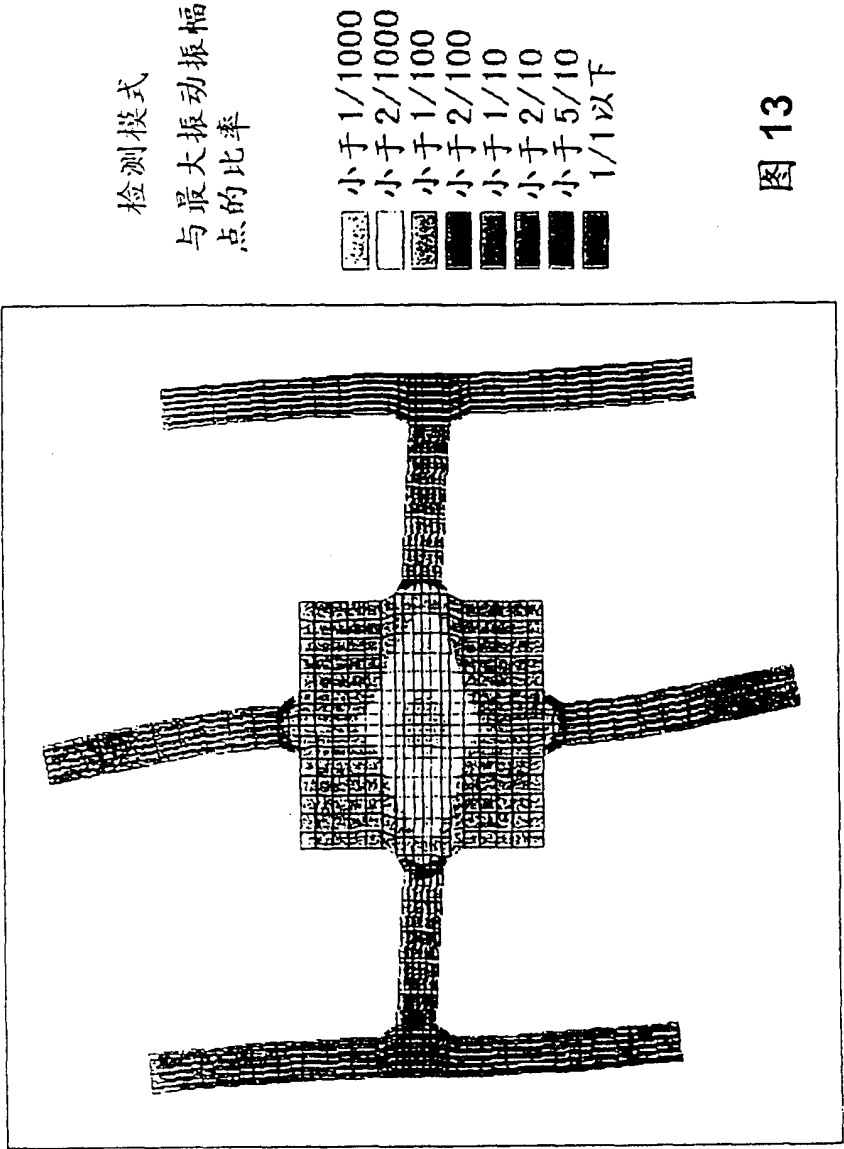


图 13

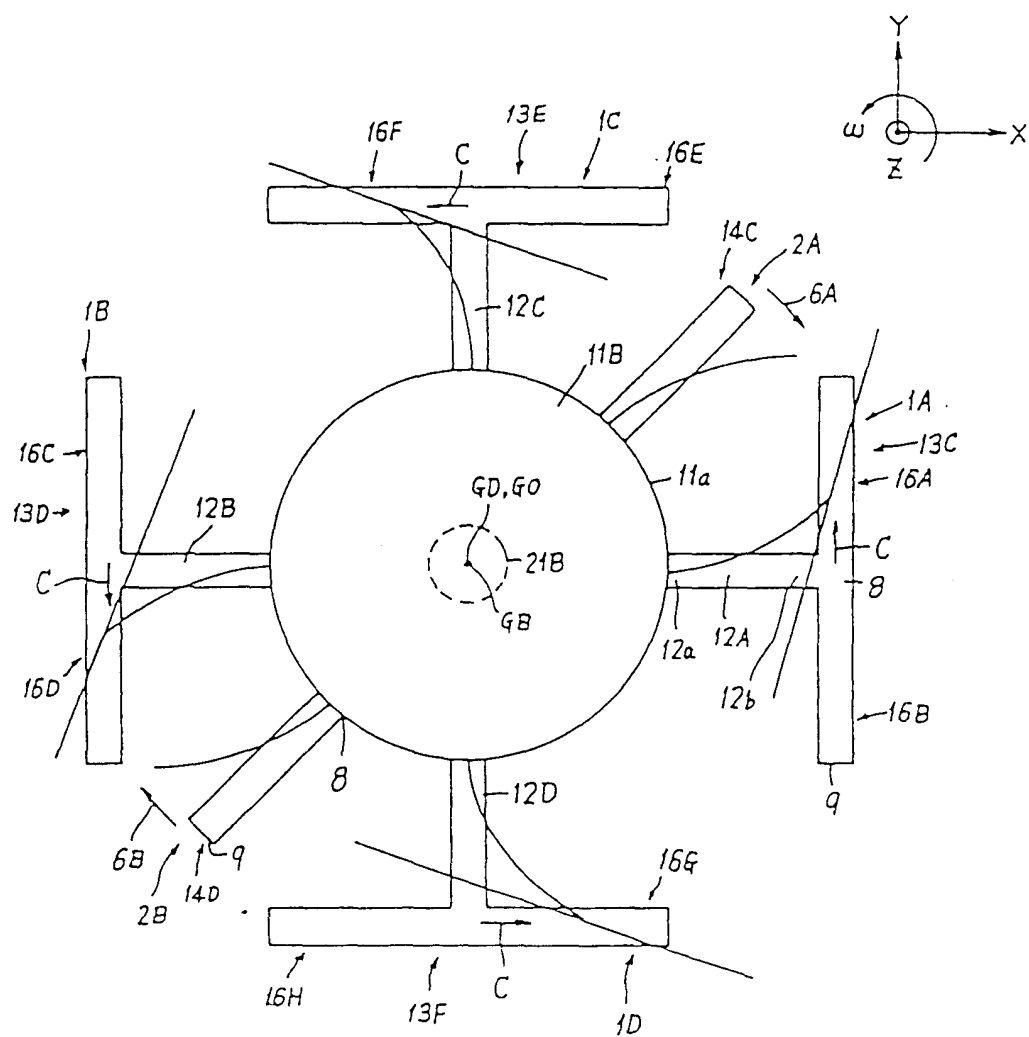


图 14

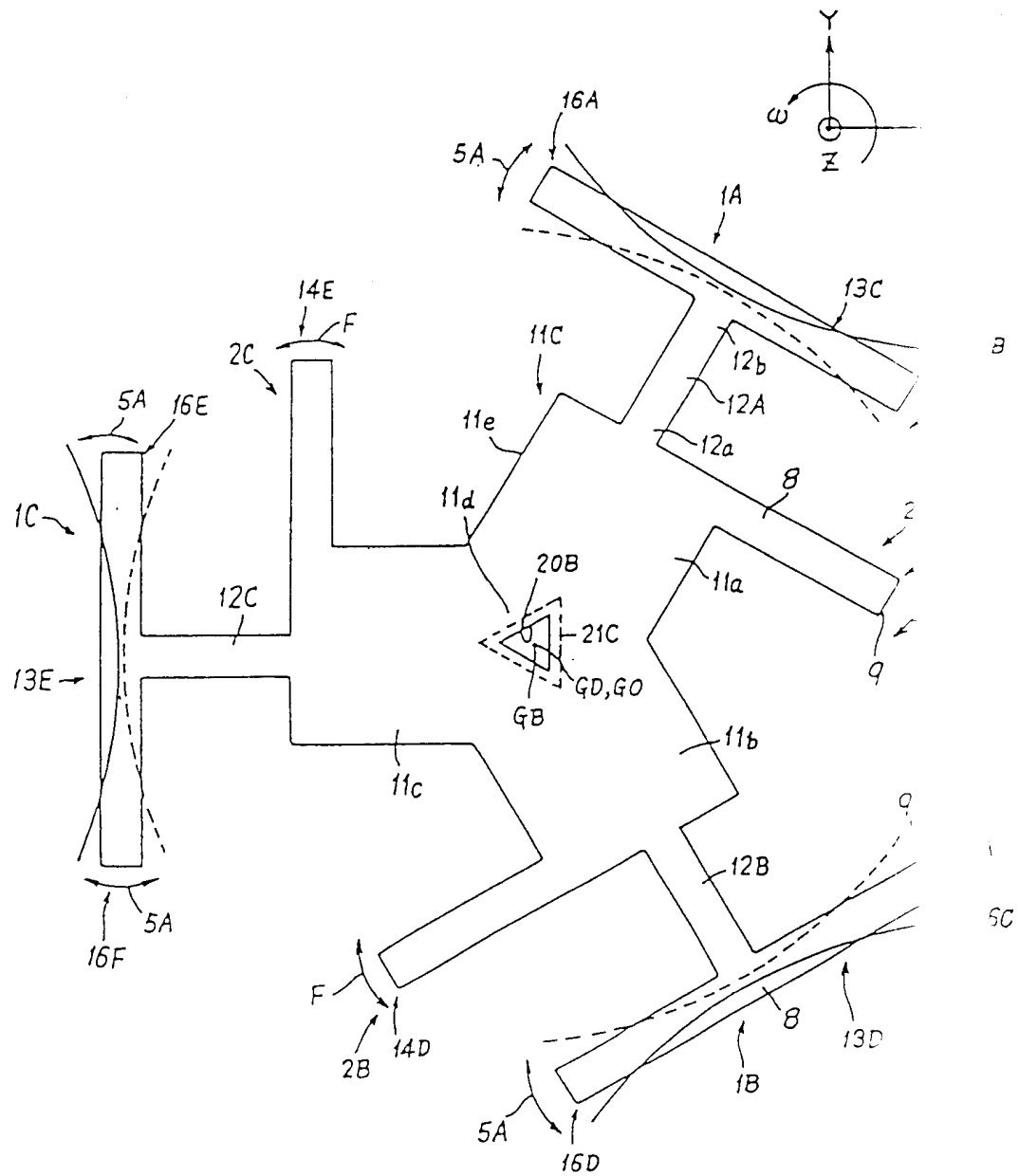
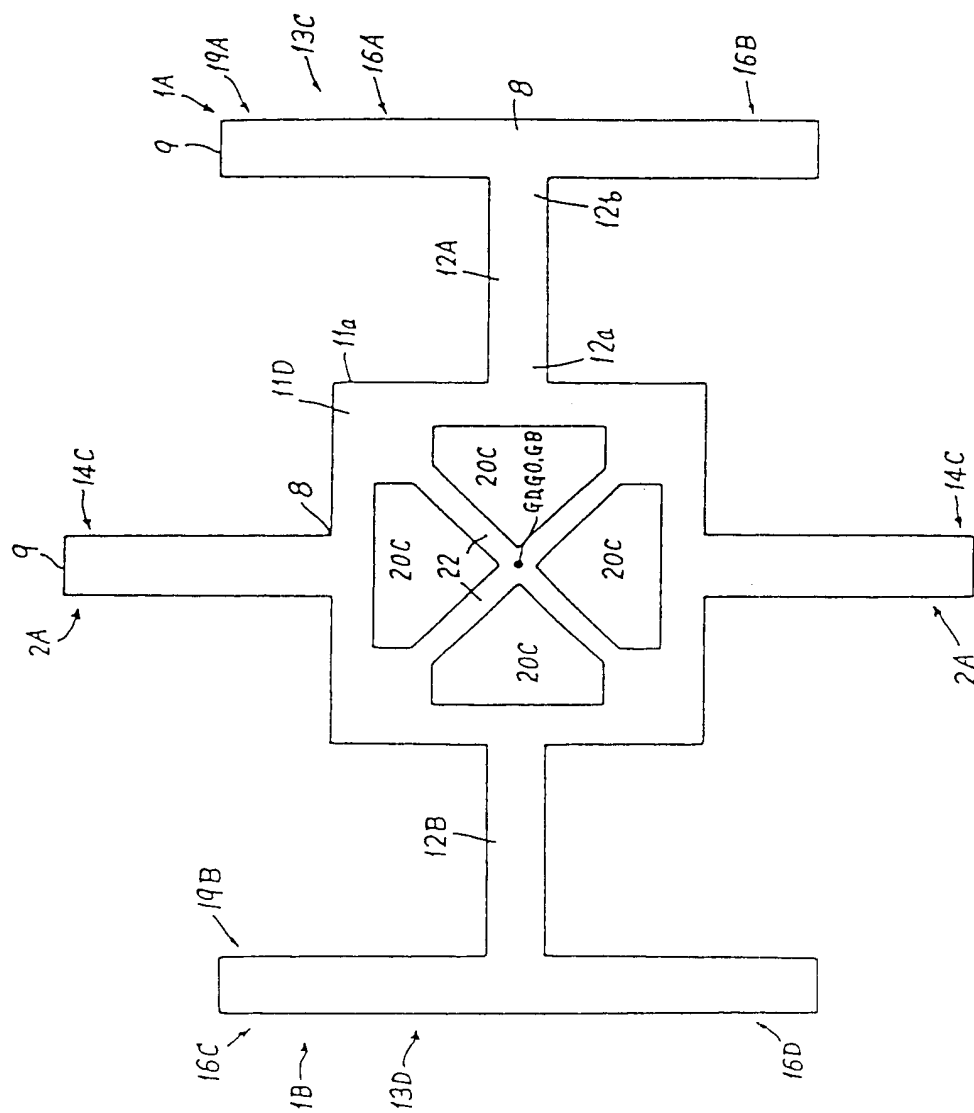


图 15



四 16

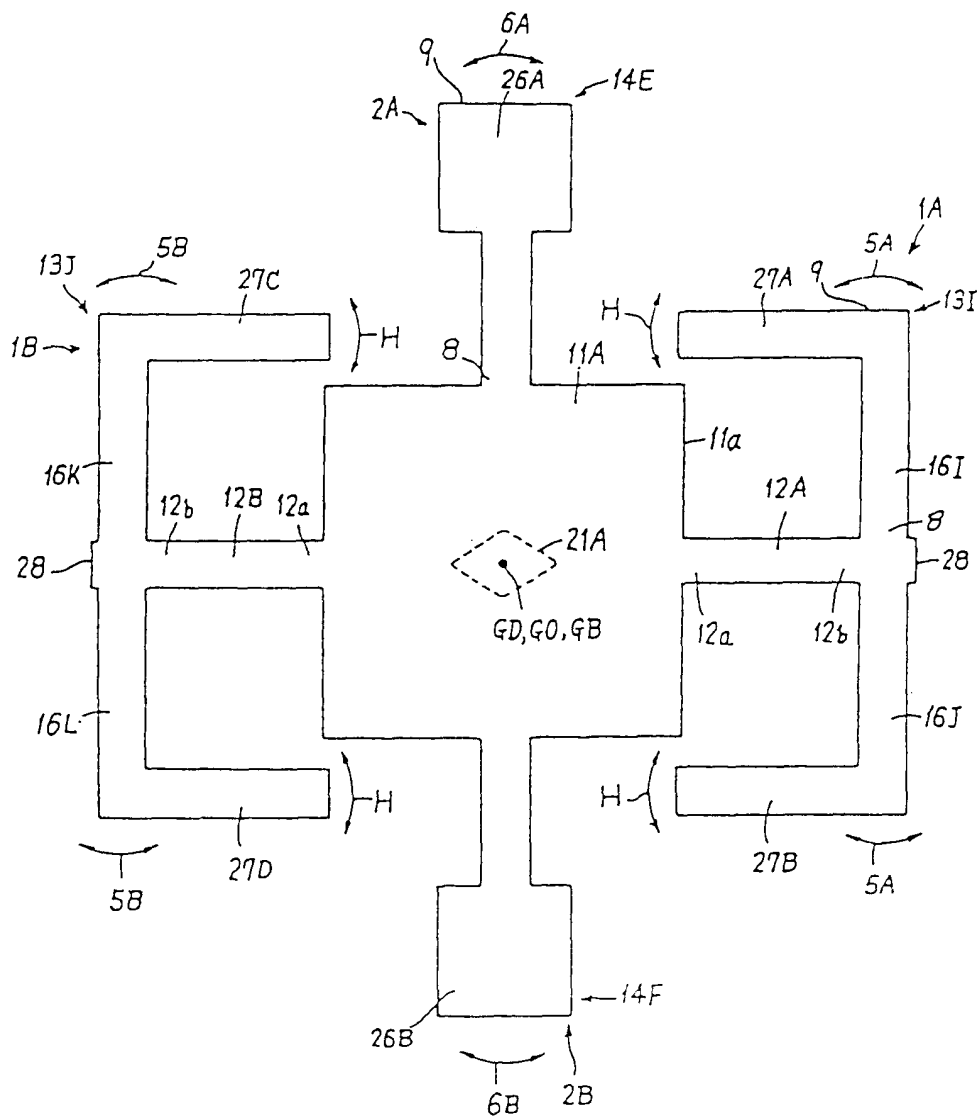
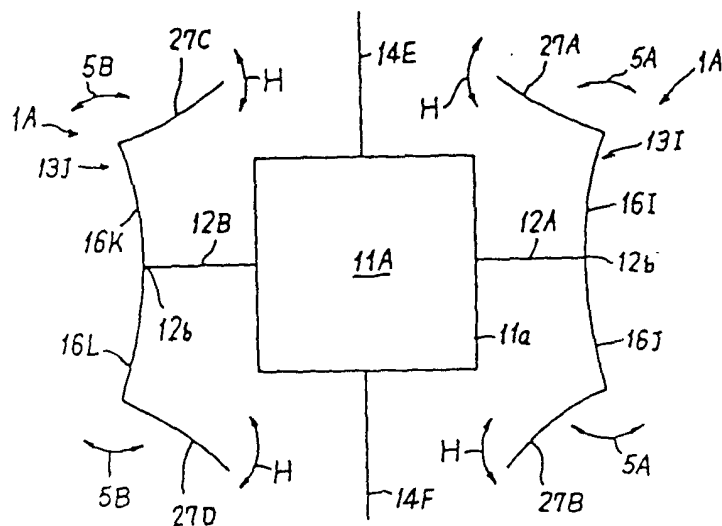


图 18

(a)



(b)

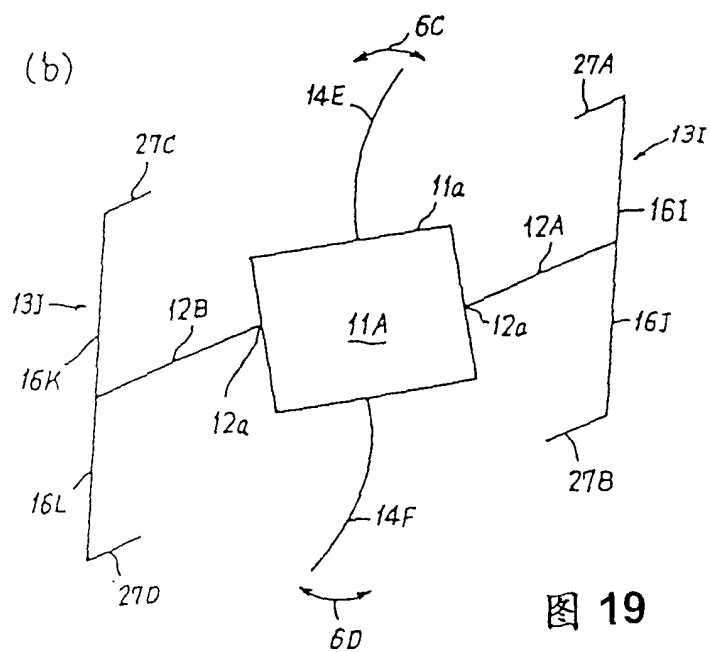


图 19

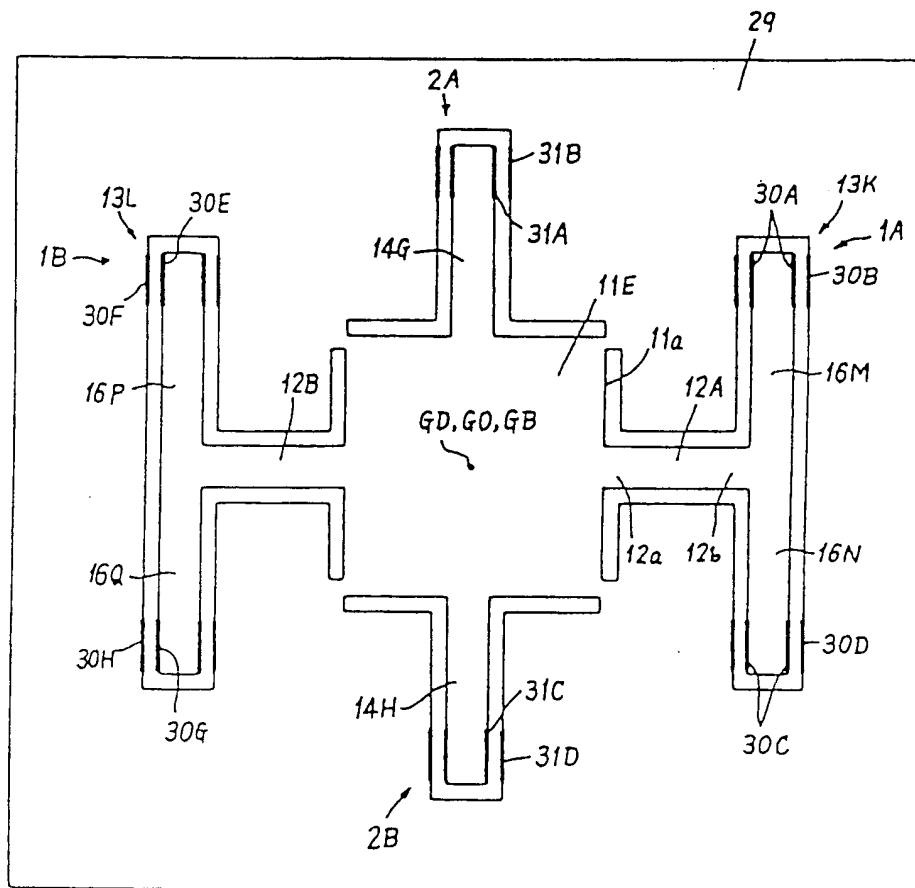


图 20

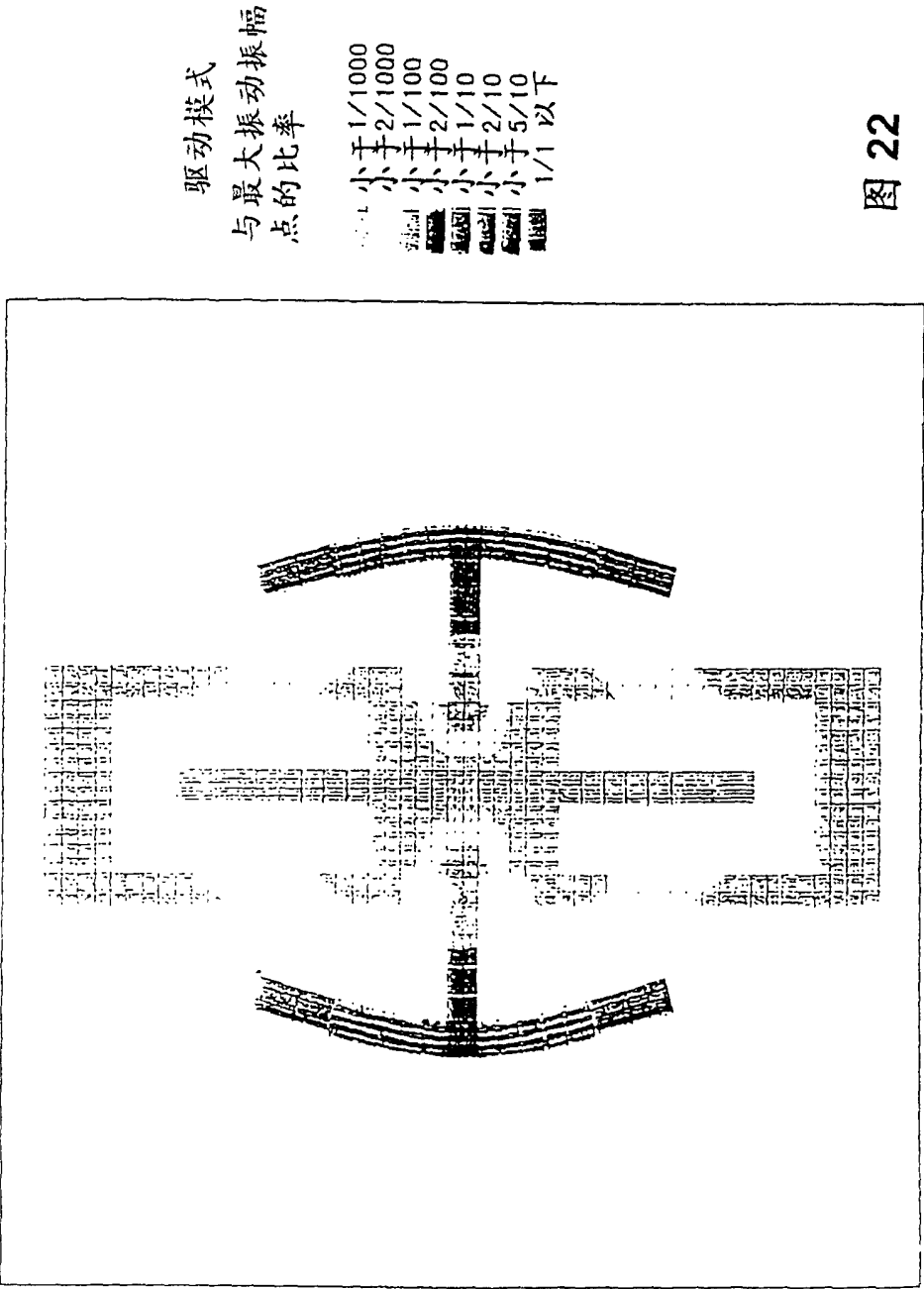


图 22

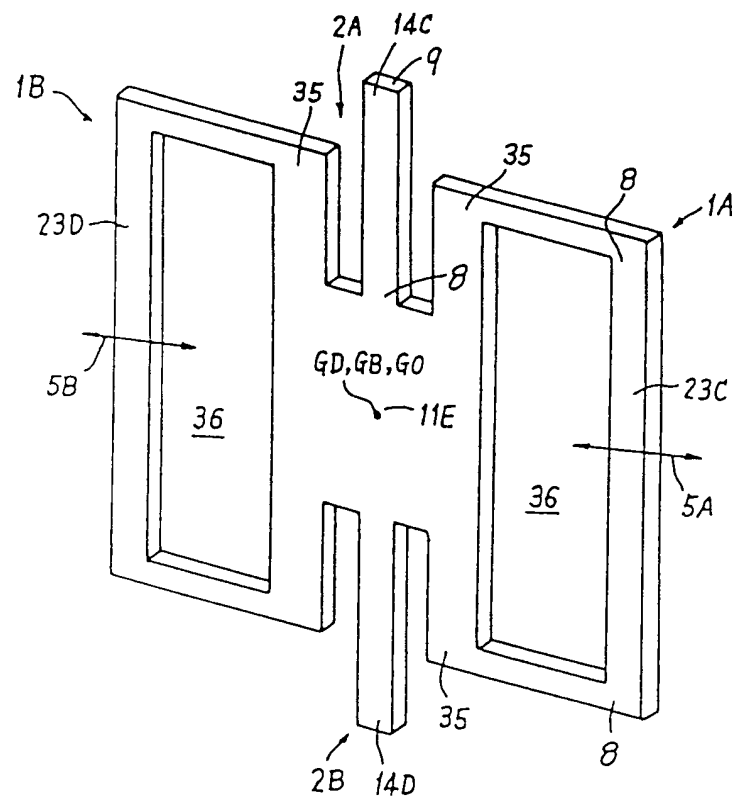


图 24

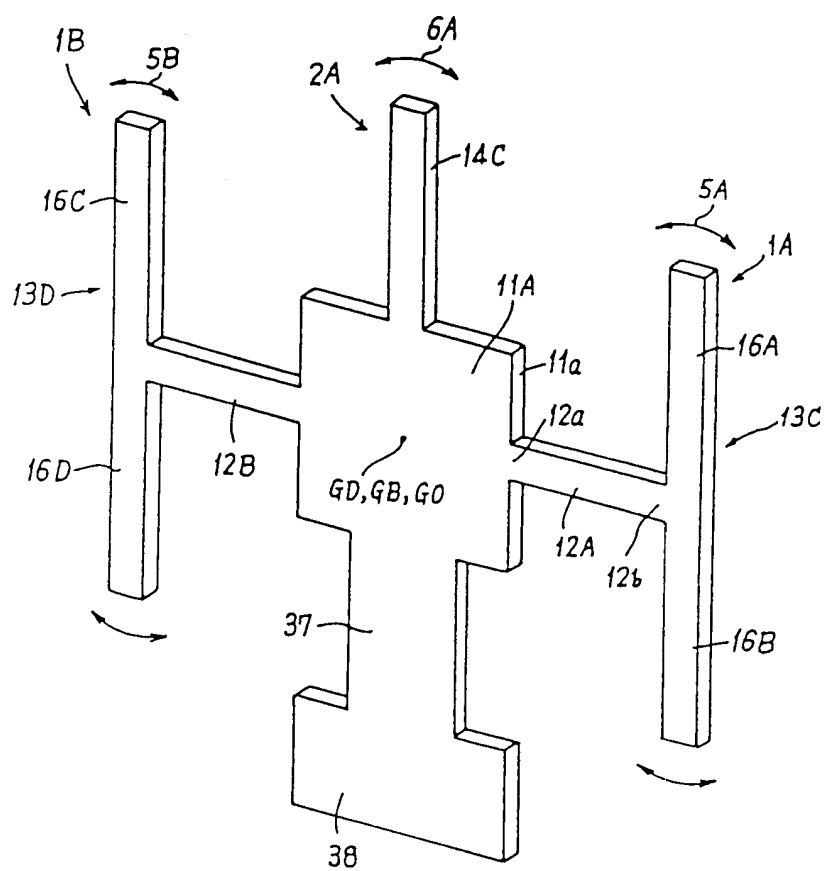


图 26

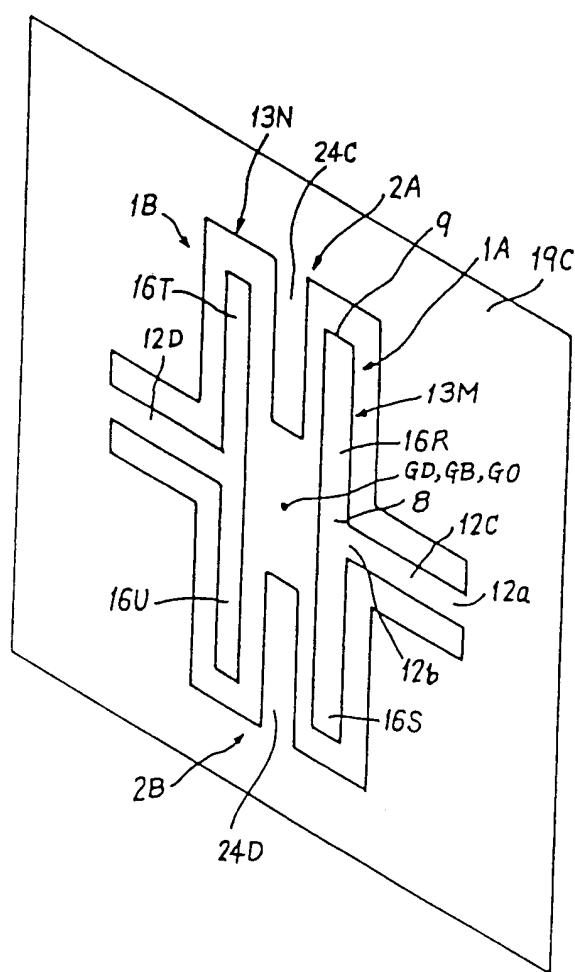


图 28

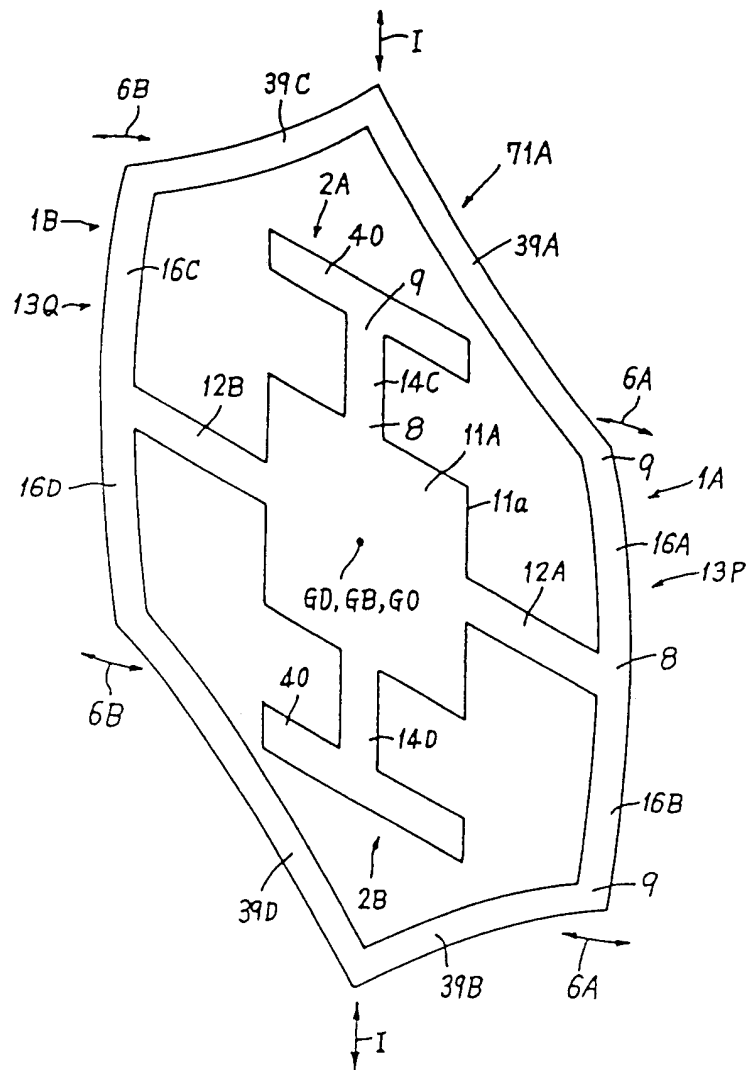


图 29

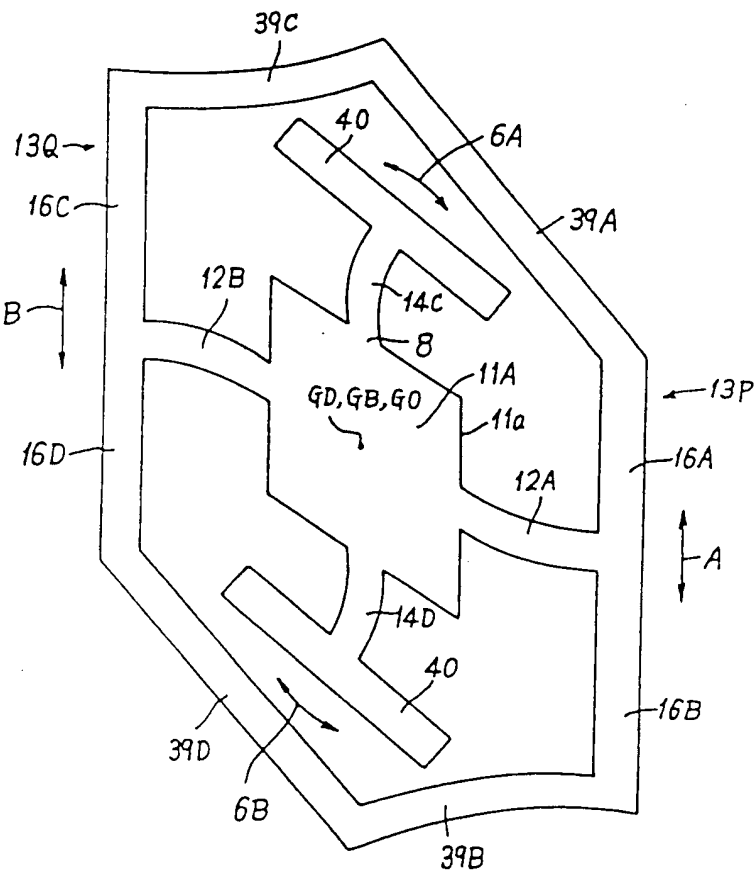


图 30

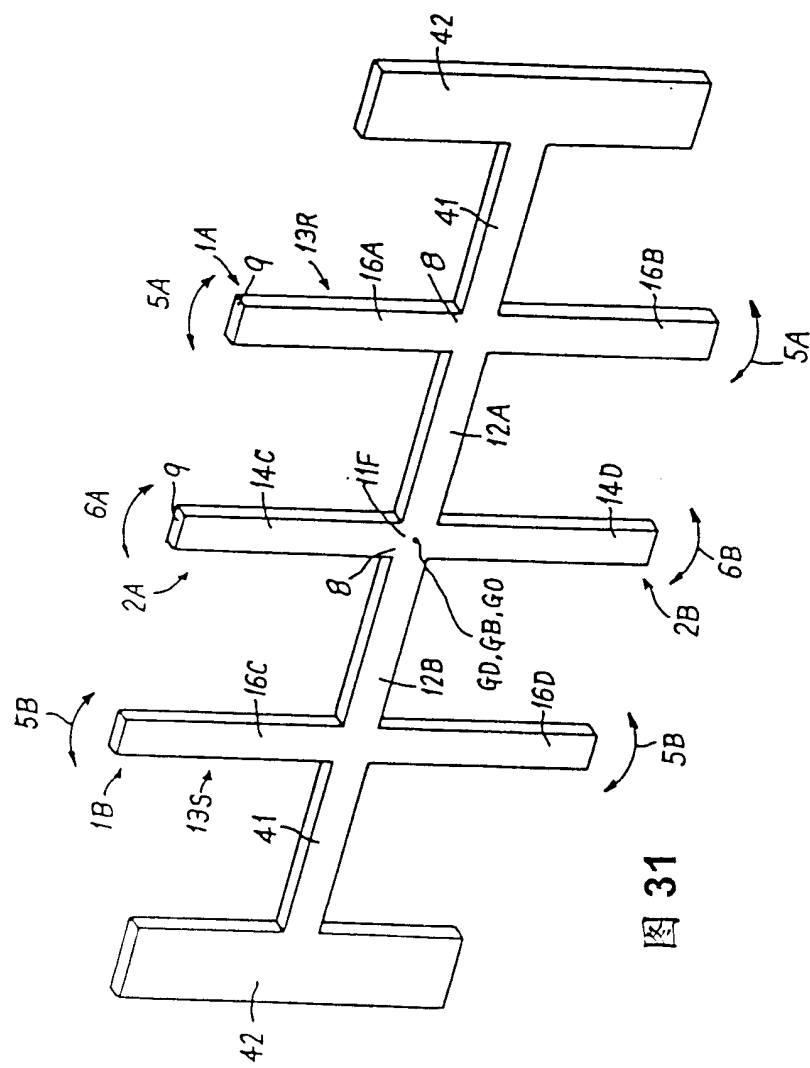


图 31

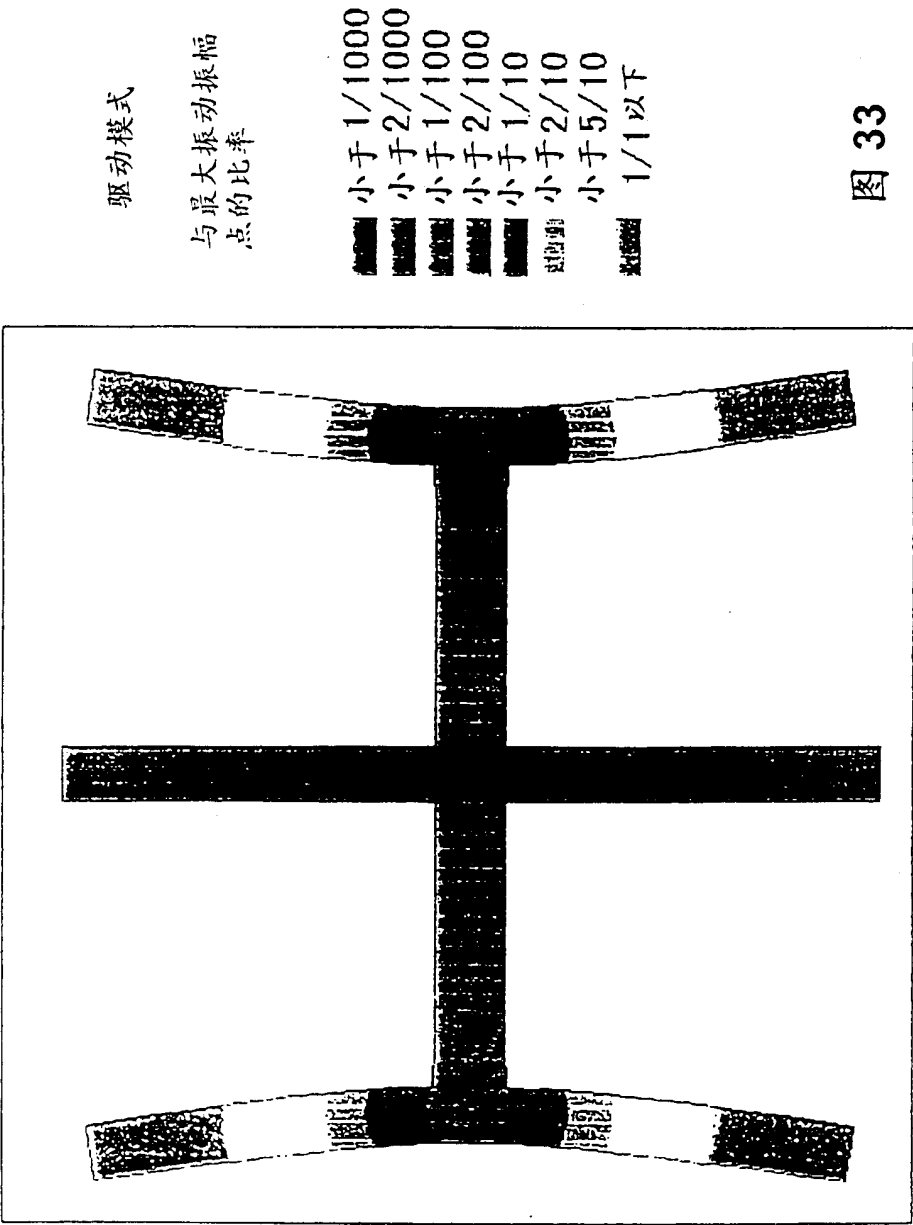
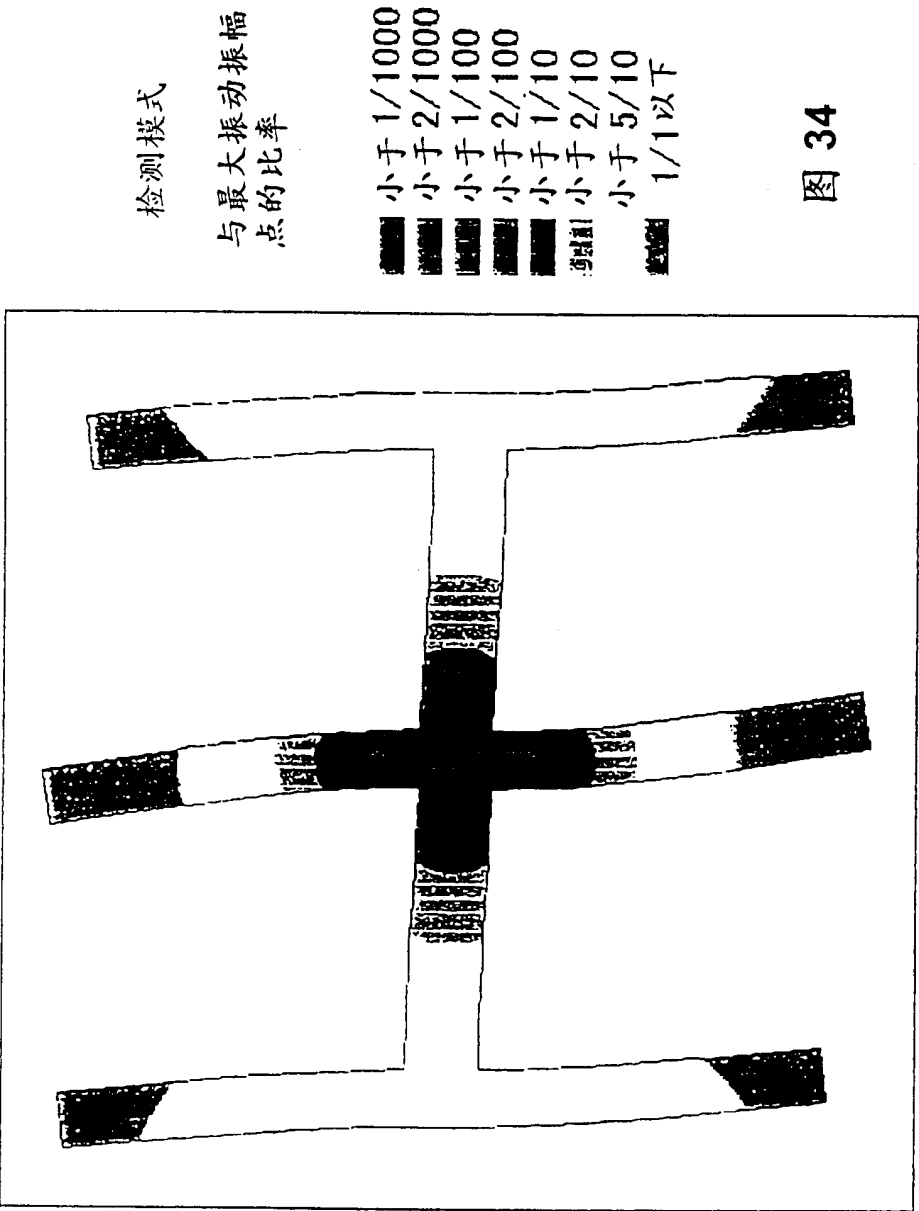
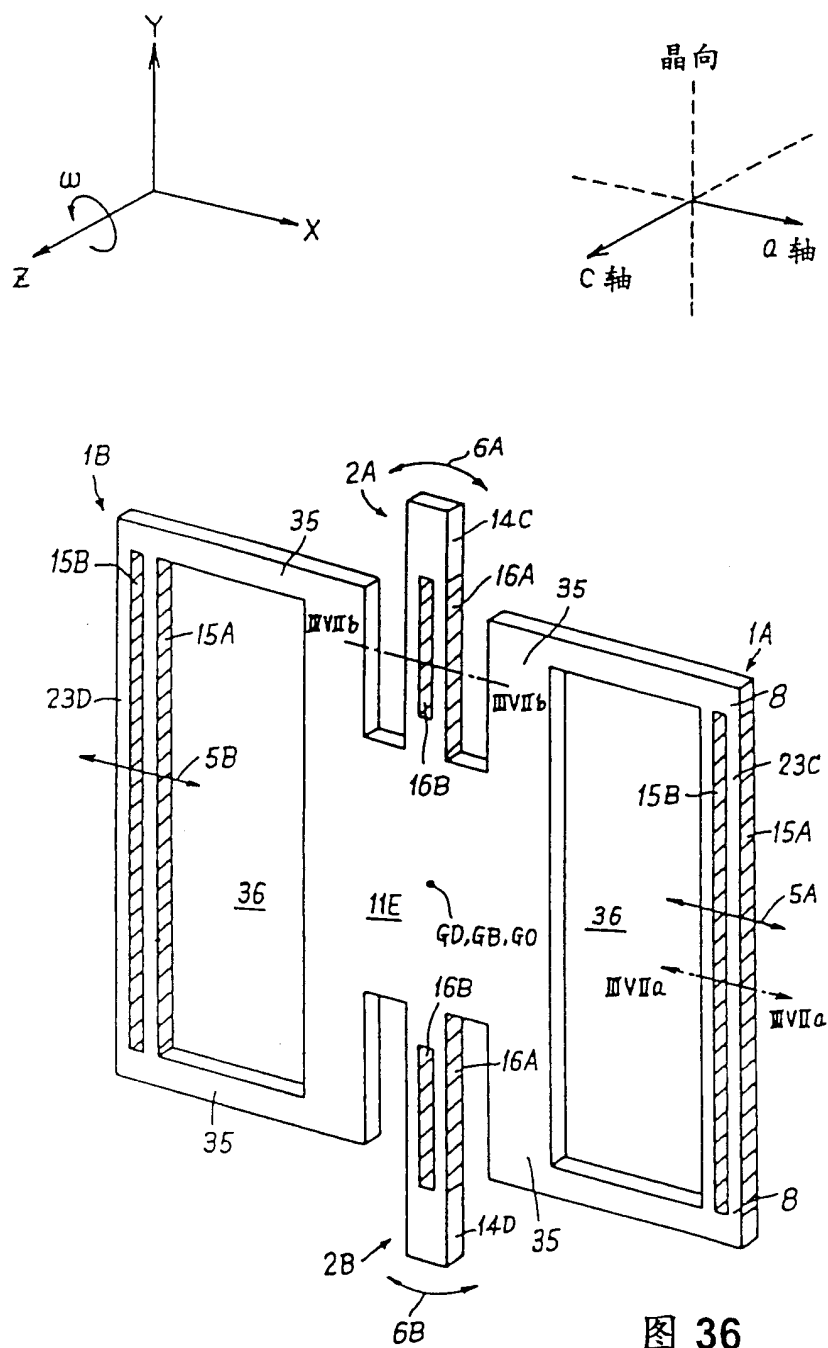


图 33





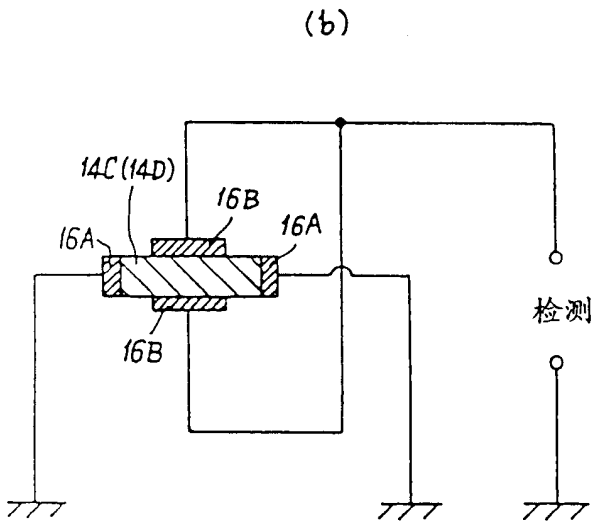
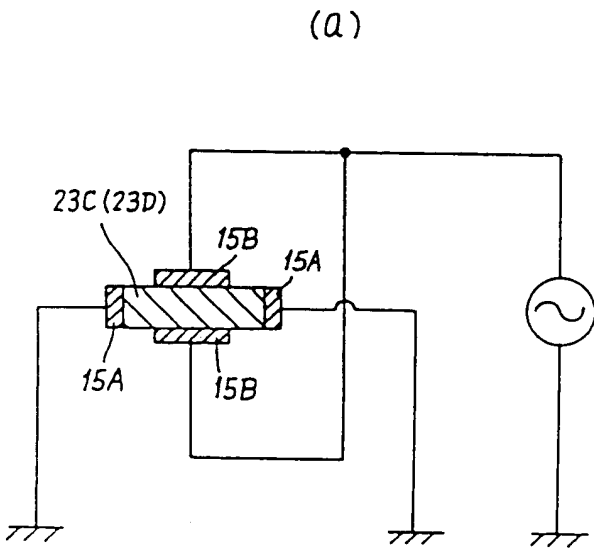


图 37

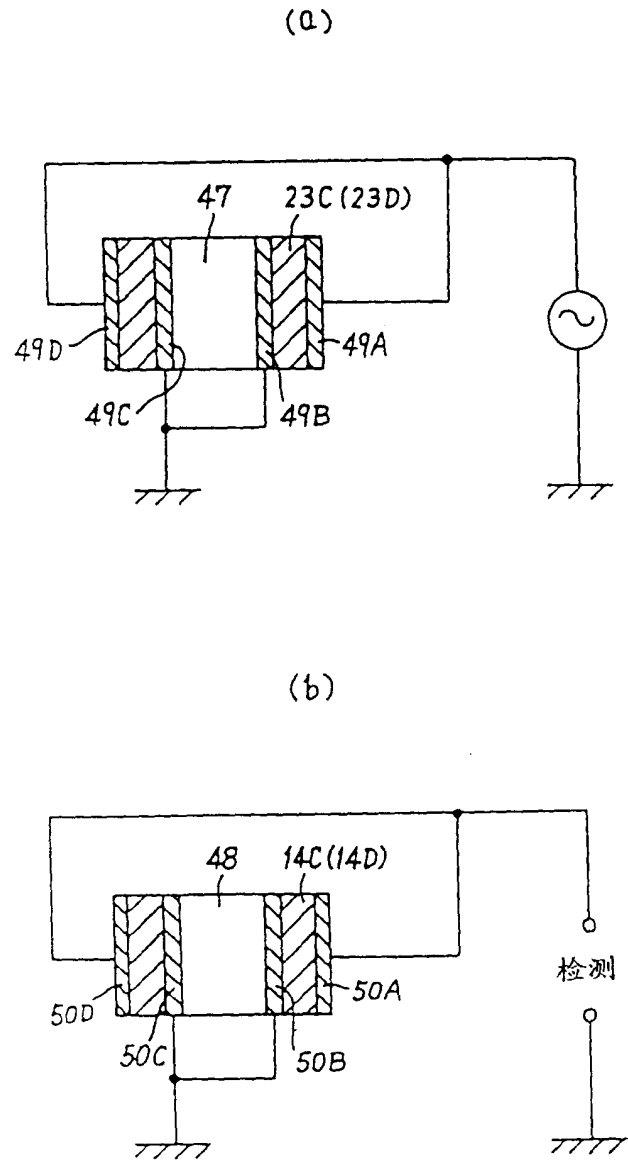


图 39

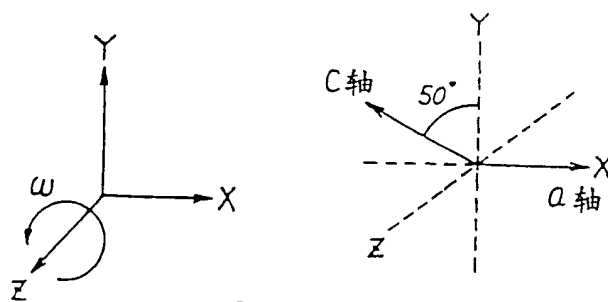
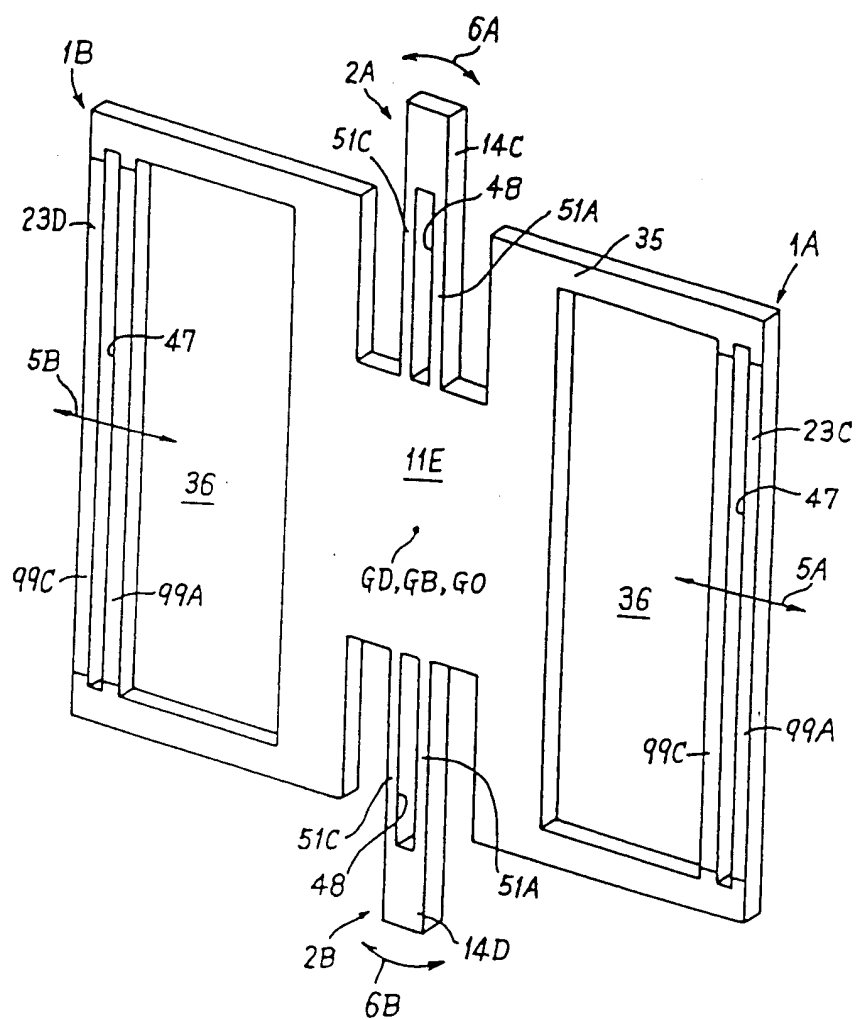
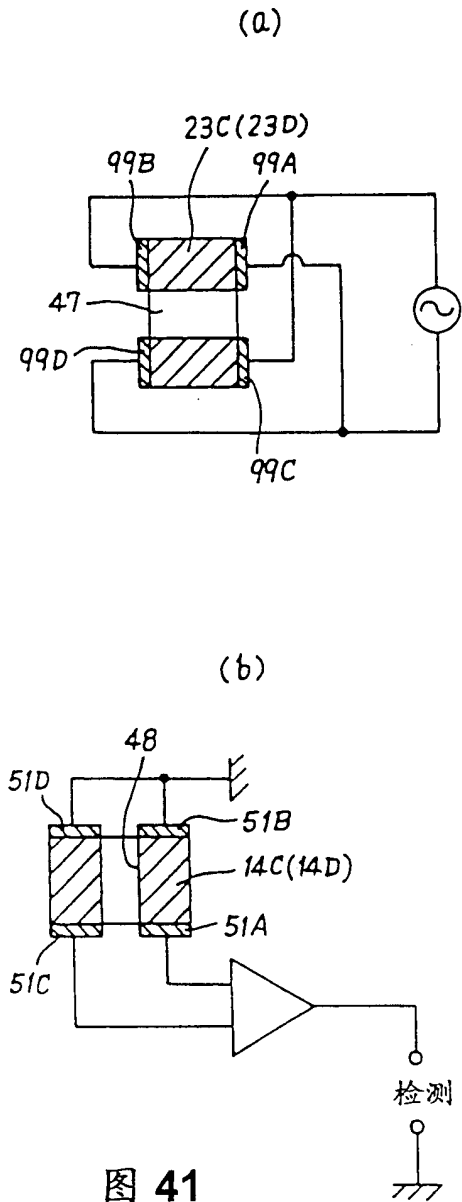


图 40



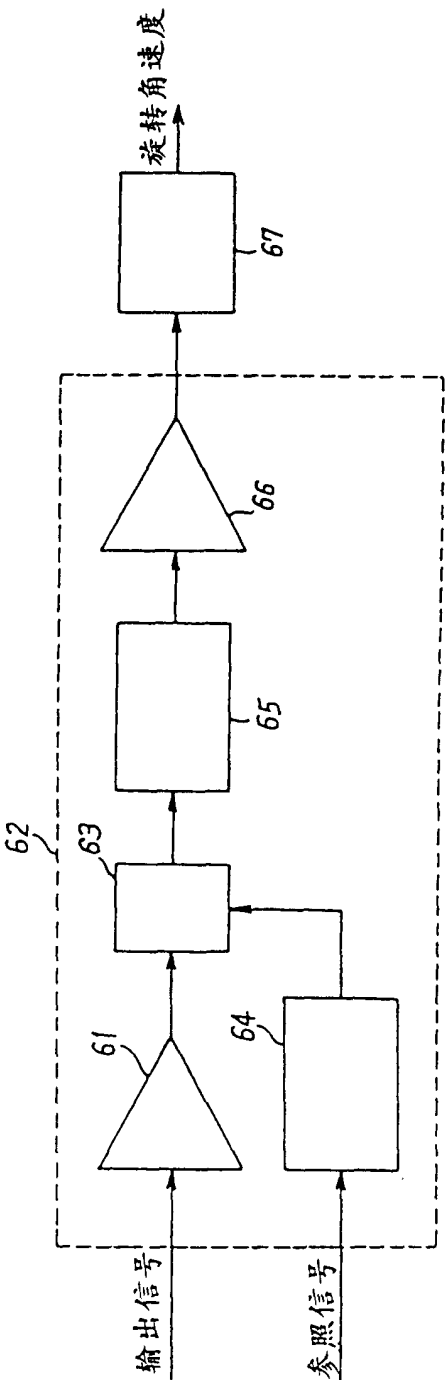
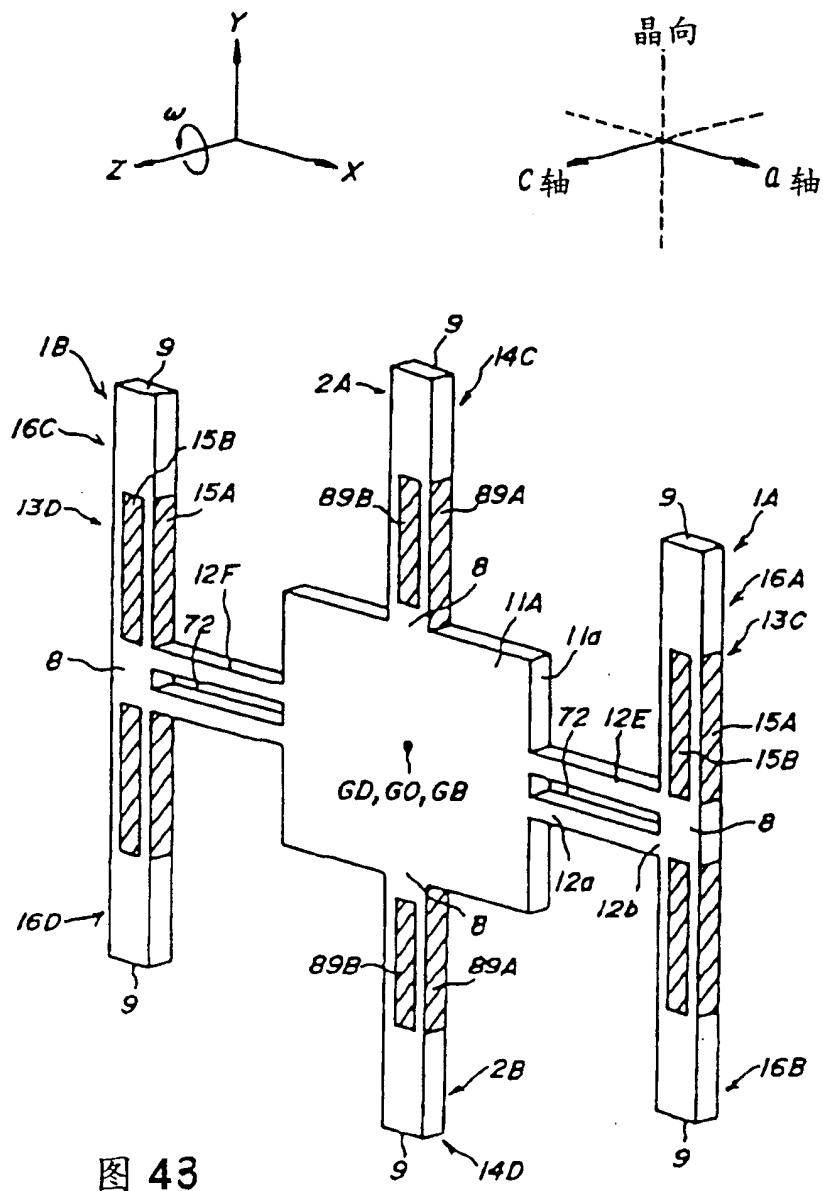


图 42



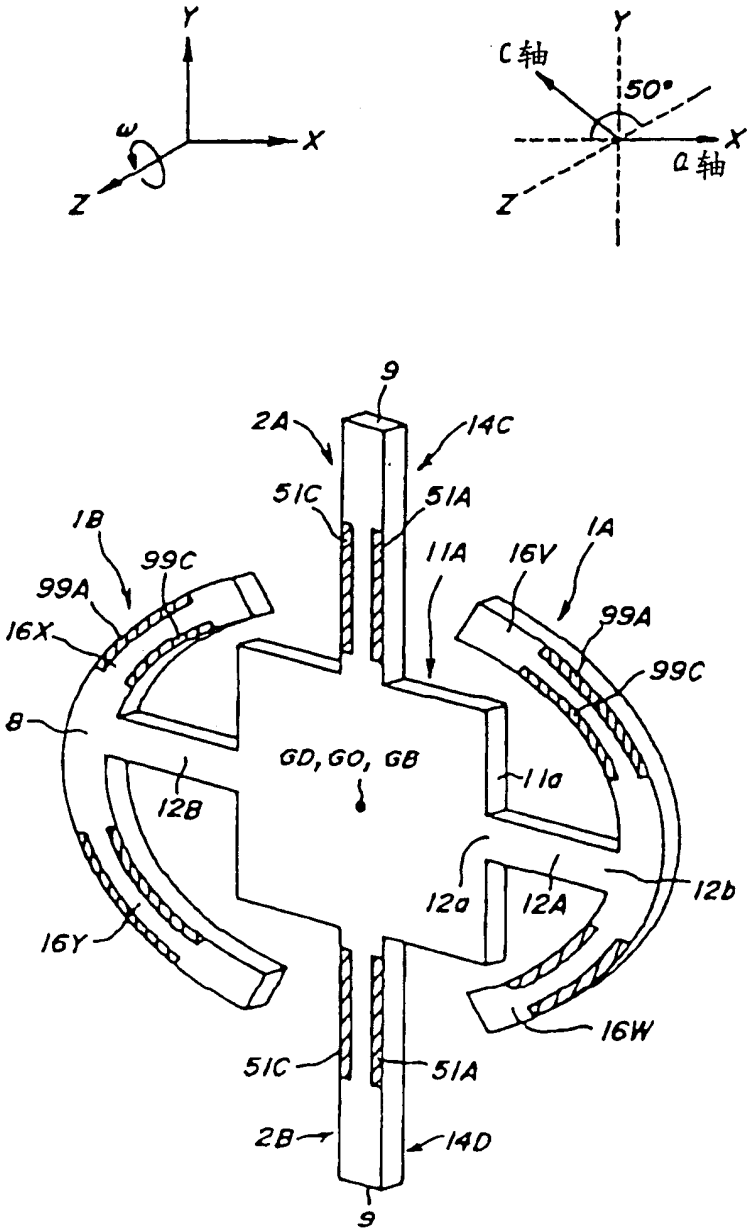


图 44

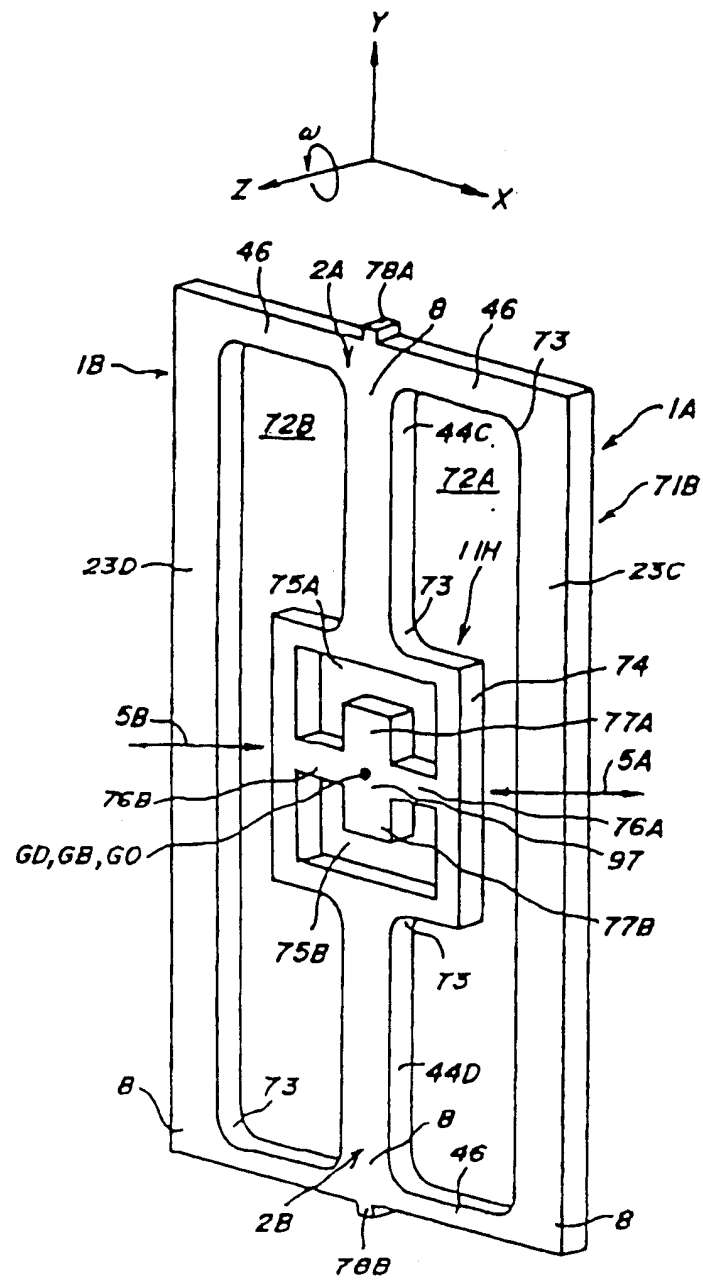


图 45

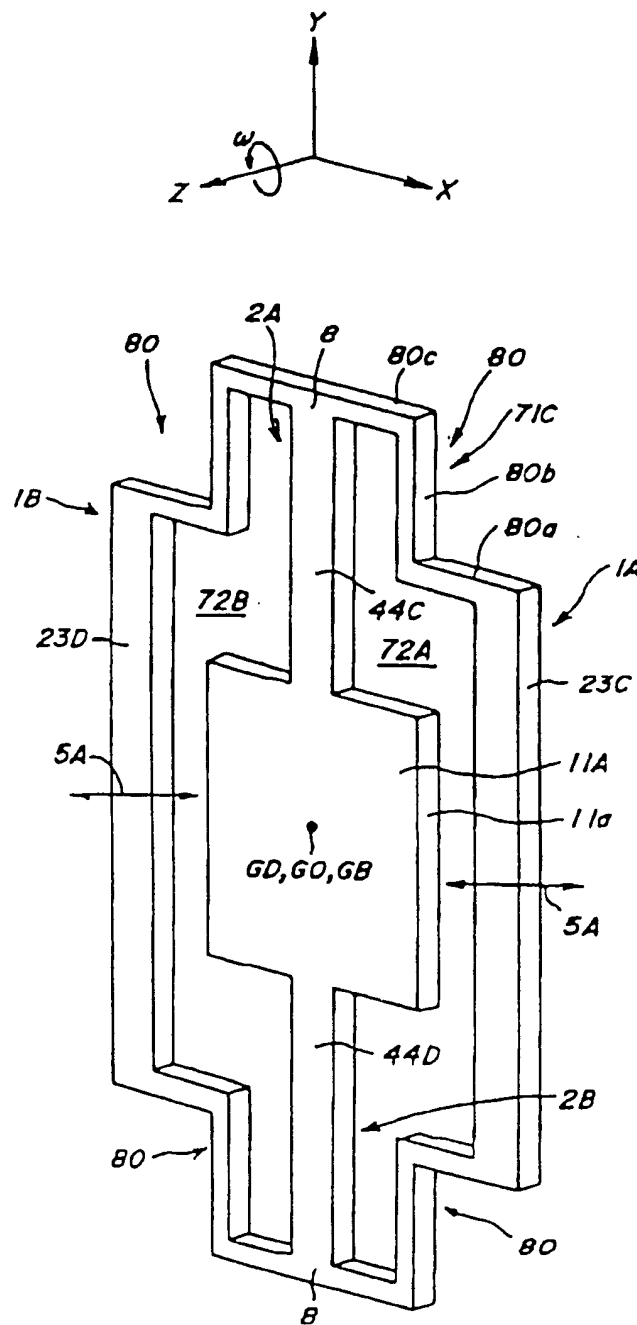


图 46

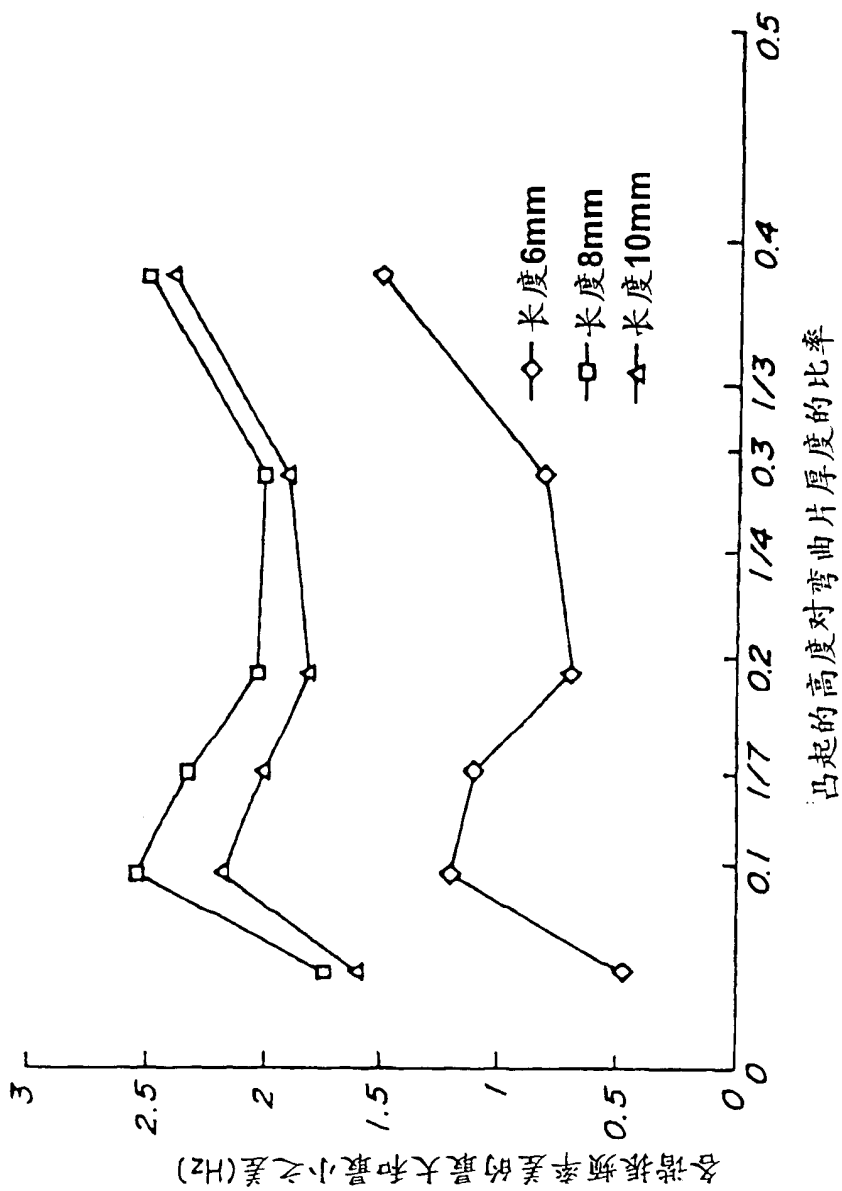


图 48

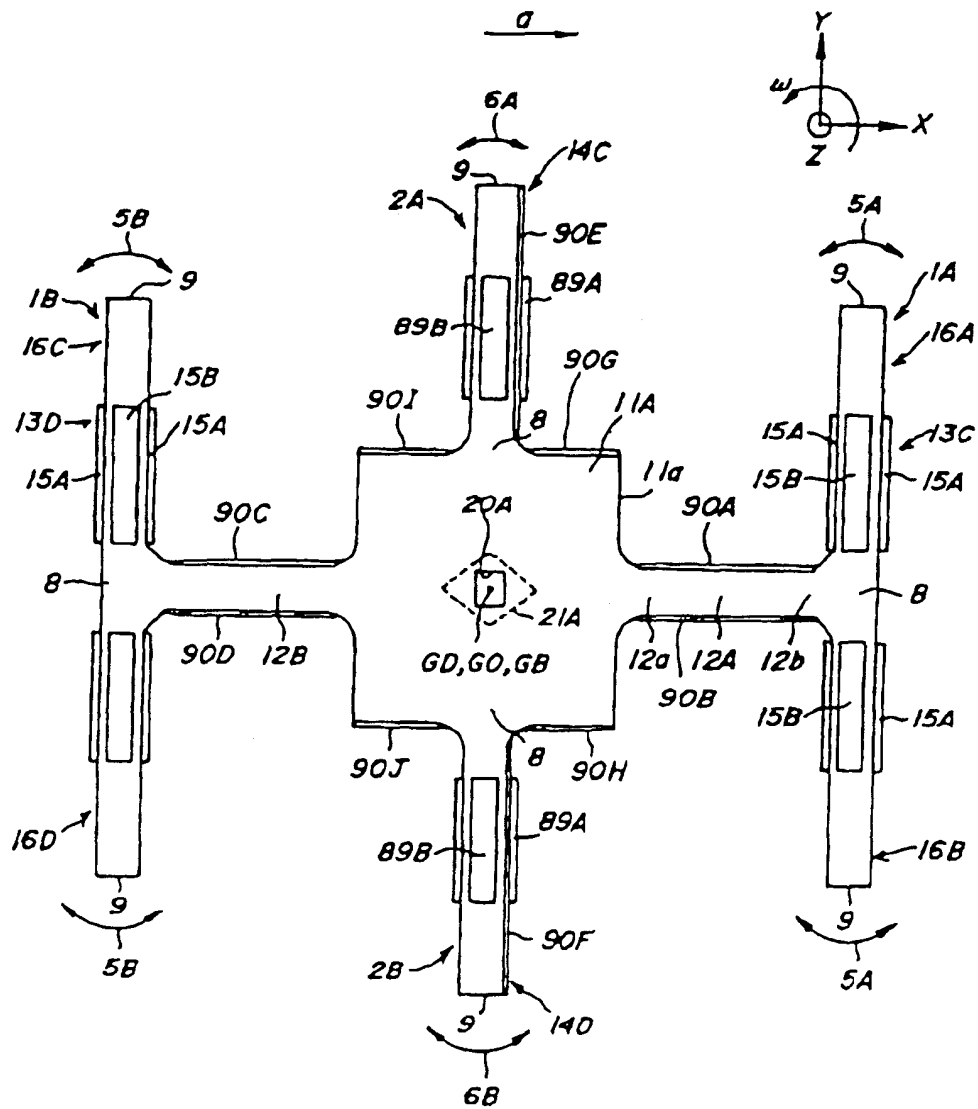


图 49

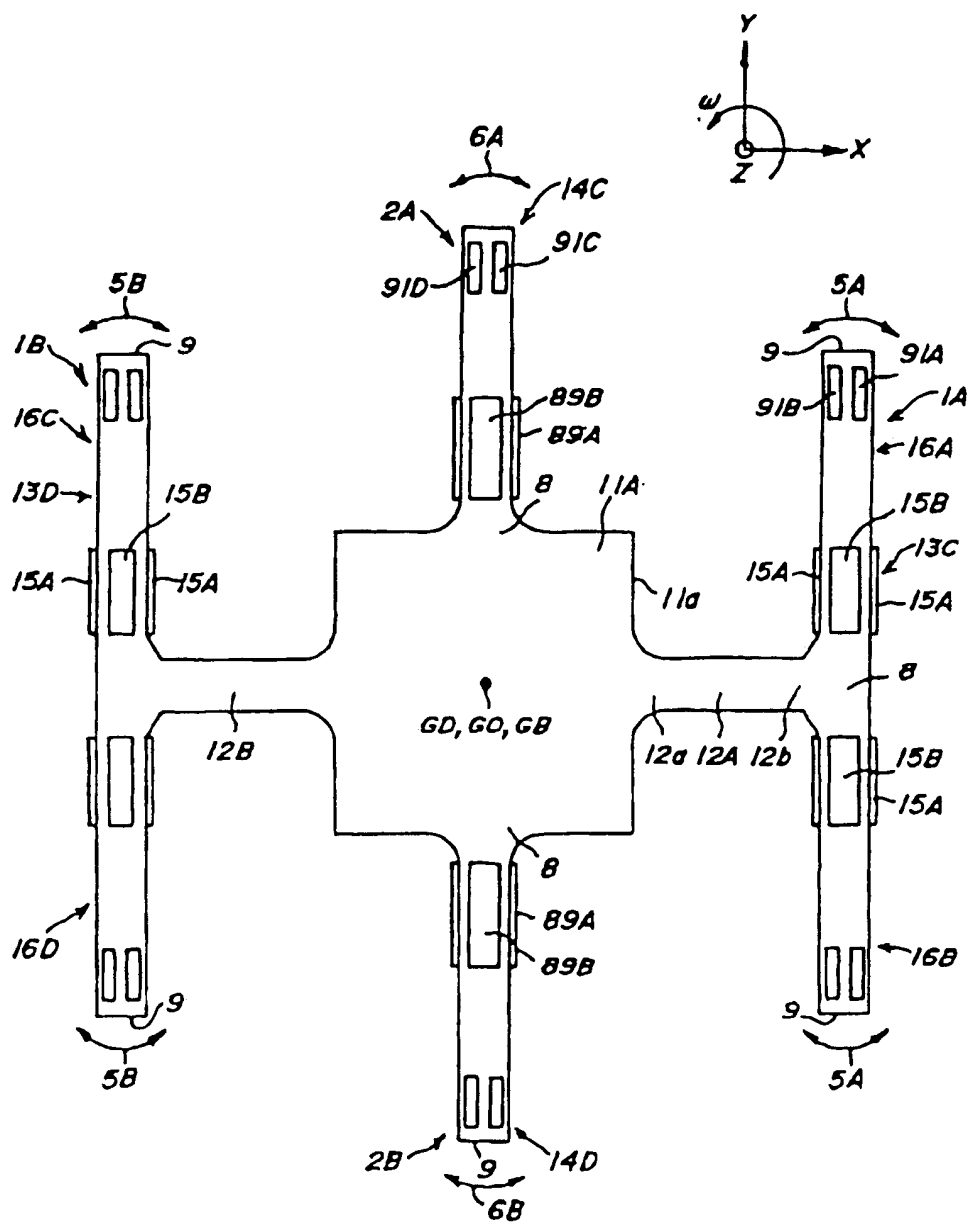


图 50

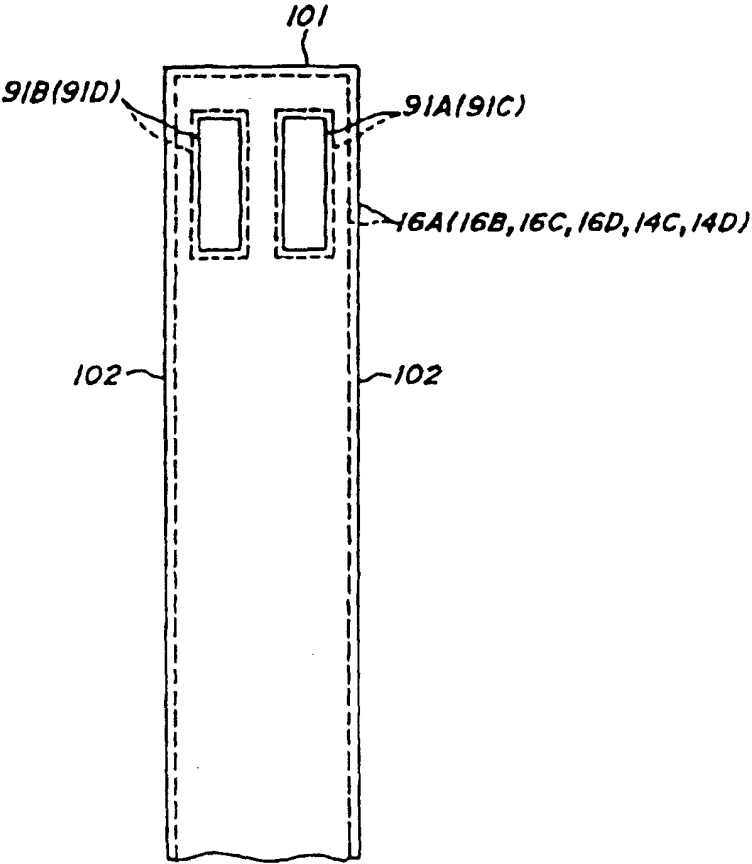


图 51

