



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99803935.7

[45] 授权公告日 2004 年 7 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1156675C

[22] 申请日 1999.3.10 [21] 申请号 99803935.7

[30] 优先权

[32] 1998.3.14 [33] GB [31] 9805358.0

[86] 国际申请 PCT/GB1999/000730 1999.3.10

[87] 国际公布 WO1999/047891 英 1999.9.23

[85] 进入国家阶段日期 2000.9.12

[71] 专利权人 BAE 系统公共有限公司

地址 英国汉普郡

[72] 发明人 克里斯托夫·费尔

科林·亨利·约翰·福克斯

审查员 雒晓明

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

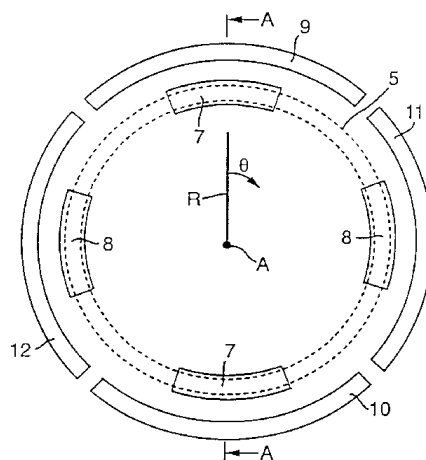
代理人 张兆东

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 8 页

[54] 发明名称 两轴陀螺

[57] 摘要

一种两轴陀螺，具有基本上为平面的谐振器(5)，该谐振器大体为环形或圈形结构，载体模型驱动装置(7)用于使谐振器(5)以 $\text{Cosn}\theta$ 面外载体模型产生振动，其中 n 为 2 或更大的整数，支承装置(6)用于柔性支承谐振器(5)，载体模型拾取装置(8)用于检测谐振器(5)的面外运动，X 轴响应模型拾取装置(9)用来检测谐振器的面内 $\text{Cosn}_1\theta$ 响应模型运动，该运动是随陀螺绕 X 轴旋转所产生的响应，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ，Y 轴响应模型拾取装置(11)用于检测谐振器(5)的面内 $\text{Sinn}_1\theta$ 响应模型运动，该运动是随陀螺绕 Y 轴旋转所产生的响应，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ，与 X 轴响应模型的取值相同。



1. 一种两轴陀螺，包含有基本为平面的谐振器，该谐振器基本呈环形或圈形结构，其内外圆周环绕一条公共轴线延伸，载体模型驱动装置用于使谐振器以 Z 轴的 $\text{Cos}n\theta$ 面外载体模型产生振动，其中 n 为 2 或更大的整数；支承装置用于柔性支承谐振器并且使谐振器能够相对于支承装置振动，该振动是对载体模型驱动装置产生的响应；载体模型拾取装置用于检测谐振器的面外运动；X 轴响应模型拾取装置用来推测谐振器的面内 $\text{Cos}n_1\theta$ 响应模型运动，该运动是随陀螺绕 X 轴旋转所产生的响应，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ；以及 Y 轴响应模型拾取装置用于检测谐振器的面内 $\text{Sinn}_1\theta$ 响应模型运动，该运动是随陀螺绕 Y 轴旋转所产生的响应，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ，与 X 轴响应模型的取值相同，其中，X、Y、Z 是相互垂直的轴，谐振器在 Z 轴上以面外载体模型振动，X 轴用于谐振器的面内响应模型运动，该运动是对陀螺绕 X 轴的旋转运动的响应，Y 轴用于谐振器的面内响应模型运动，该运动是对陀螺绕 Y 轴的旋转运动的响应， θ 角是相对于谐振器平面内的一固定参考轴的角。

2. 如权利要求 1 所述的陀螺，其特征在于：包含有 X 轴响应模型驱动装置，用于抵消谐振器的 X 轴响应模型运动，使陀螺以强迫反馈方式运转。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的陀螺，其特征在于：包含有 Y 轴响应模型驱动装置，用于抵消谐振器的 Y 轴响应模型运动，使陀螺以强迫反馈方式运转。

4. 如权利要求 3 所述的陀螺，其特征在于：支承装置包含有若干个柔性支架，将谐振器柔性连接到支承上，支架的数量由 $N=4n_1$ 给出，各支架之间的角度间隔为 $360/N$ 度。

5. 如权利要求 4 所述的陀螺，其特征在于：谐振器由金属、石英、多晶硅或块硅制成。

6. 如权利要求 5 所述的陀螺，其特征在于：驱动装置和/或拾取

装置为静电、电磁、压电或光学装置。

7. 如权利要求 1 所述的陀螺, 其特征在于: 载体模型为面外 $\text{Cos}2\theta$ 模型, X 轴响应模型为面内 $\text{Sin}\theta$ 模型, Y 轴响应模型为面内 $\text{Cos}\theta$ 模型, 载体模型驱动装置包含两个驱动元件, 位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度和 180 度的位置, 载体模型拾取装置包含两个拾取元件, 位于与固定参考轴成 90 度和 270 度的位置, X 轴拾取装置含一个拾取元件, 位于与固定参考轴成 0 度的位置, Y 轴拾取装置含一个拾取元件, 位于与固定参考轴成 90 度的位置, X 轴驱动装置含一个驱动元件, 位于与固定参考轴成 180 度的位置, Y 轴驱动装置含一个驱动元件, 位于与固定参考轴成 270 度的位置。

8. 如权利要求 1 所述的陀螺, 其特征在于: 载体模型为面外 $\text{Cos}2\theta$ 模型, X 轴响应模型为面内 $\text{Sin}3\theta$ 模型, Y 轴响应模型为面内 $\text{Cos}3\theta$ 模型, 载体模型驱动装置包含两个驱动元件, 位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度和 180 度的位置, 载体模型拾取装置包含两个拾取元件, 位于与固定参考轴成 90 度和 270 度的位置, X 轴拾取装置含三个拾取元件, 位于与固定参考轴成 0 度、120 度和 240 度的位置, Y 轴拾取装置含三个拾取元件, 位于与固定参考轴成 30 度、150 度和 270 度的位置, X 轴驱动装置含三个驱动元件, 位于与固定参考轴成 60 度、180 度和 300 度的位置, Y 轴驱动装置含三个驱动元件, 位于与固定参考轴成 90 度、210 度和 330 度的位置。

9. 如权利要求 1 所述的陀螺, 其特征在于: 载体模型为面外 $\text{Cos}3\theta$ 模型, X 轴响应模型为面内 $\text{Sin}2\theta$ 模型, Y 轴响应模型为面内 $\text{Cos}2\theta$ 模型, 载体模型驱动装置包含三个驱动元件, 位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度、120 度和 240 度的位置, 载体模型拾取装置包含三个拾取元件, 位于与固定参考轴成 60 度、180 度和 300 度的位置, X 轴拾取装置含两个拾取元件, 位于与固定参考轴成 0 度和 180 度的位置, Y 轴拾取装置含两个拾取元件, 位于与固定参考轴成 45 度和 225 度的位置, X 轴驱动装置含两个驱动元件, 位于与固定参考轴成 90 度和 270 度的位置, Y 轴驱动装置含两个驱动元件, 位于与固定参

考轴成 135 度和 315 度的位置。

10. 如权利要求 1 所述的陀螺,其特征在于:载体模型为面外 $\text{Cos}3\theta$ 模型, X 轴响应模型为面内 $\text{Sin}4\theta$ 模型, Y 轴响应模型为面内 $\text{Cos}4\theta$ 模型, 载体模型驱动装置包含三个驱动元件, 位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度、120 度和 240 度的位置, 载体模型拾取装置包含三个拾取元件, 位于与固定参考轴成 60 度、180 度和 300 度的位置, X 轴拾取装置含四个拾取元件, 位于与固定参考轴成 0 度、90 度、180 度和 270 度的位置, Y 轴拾取装置含四个拾取元件, 位于与固定参考轴成 22.5 度、112.5 度、202.5 度和 292.5 度的位置, X 轴驱动装置含四个驱动元件, 位于与固定参考轴成 45 度、135 度、225 度和 315 度的位置, Y 轴驱动装置含四个驱动元件, 位于与固定参考轴成 67.5 度、157.5 度、247.5 度和 337.5 度的位置。

两轴陀螺

本发明涉及一种两轴陀螺。振动结构陀螺可通过将多种不同结构作为谐振元件来加以制造。这些结构包括梁、音叉、圆筒、半球壳以及环。成功的商业开发有赖于优化设备性能并尽量缩减成本。对于某些应用而言，另外一个目标是减小设备的体积。

一些传统的振动结构陀螺设计方案适合于采用现代微机械技术加以制造。它们可由块硅、多晶硅或电子成型金属构造而成。这些制造方法为实现低成本地大量生产微型陀螺提供了可能。

陀螺仪器的许多应用要求对至少两条轴线具有速率敏感性。传统的振动结构陀螺只对单一轴线具有速率敏感性，因此需要两个设备沿正交轴线相互对准。因此，与能够固有地同时对两条轴线进行检测的谐振器合为一体的振动结构陀螺会大有益处。这样可用一个设备来取代两个传统的单轴部件，具有明显的成本收益。并且，无需两个单轴陀螺的安装与对准过程。

因此，需要一种能够同时检测两条轴线之速率的改进型振动结构陀螺。

根据本发明的一个方面，提供了一种两轴陀螺，其包含有：基本为平面的谐振器，该谐振器基本呈环形或圈形结构，其内外圆周环绕公共轴线延伸；载体模型驱动装置，用于使谐振器以 $\cos n\theta$ 面外载体模型产生振动，其中 n 为 2 或更大的整数；支承装置，用于柔性支承谐振器并且使谐振器能够相对于支承装置振动，该振动是对载体模型驱动装置产生的响应；载体模型拾取装置，用于检测谐振器的面外运动；X 轴响应模型拾取装置，用于检测谐振器的面内 $\cos n_1\theta$ 响应模型运动，该运动是随陀螺绕 X 轴旋转而产生的响应，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ；以及 Y 轴响应模型拾取装置，用于检测谐振器的面内 $\sin n_1\theta$ 响应模型运动，该运动是随陀螺绕 Y 轴旋转而产生的响应，其中 n_1 取

值为 $n+1$ 或 $n-1$ ，且与 X 轴响应模型的取值相同。

优选地，陀螺含有 X 轴响应模型驱动装置，用于抵消谐振器的 X 轴响应模型运动，使陀螺以强迫反馈方式运转。

优选地，陀螺含有 Y 轴响应模型驱动装置，用于抵消谐振器的 Y 轴响应模型运动，使陀螺以强迫反馈方式运转。

优选地，支承装置含有若干将谐振器柔性连接到基座的柔性支架，支架的数目由 $N = 4n_1$ 给出，支架之间的角度间隔为 $360/N$ 度。

优选地，谐振器由金属、石英、多晶硅或块硅制成。

优选地，驱动装置和/或拾取装置为静电、电磁、压电或光学装置。

优选地，载体模型为面外 $\cos 2\theta$ 模型，X 轴响应模型为面内 $\sin \theta$ 模型，Y 轴响应模型为面内 $\cos \theta$ 模型，载体模型驱动装置包含两个驱动元件，位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度和 180 度的位置，载体模型拾取装置包含两个拾取元件，位于与固定参考轴成 90 度和 270 度的位置，X 轴拾取装置包含一个拾取元件，位于与固定参考轴成 0 度的位置，Y 轴拾取装置包含一个拾取元件，位于与固定参考轴成 90 度的位置，X 轴驱动装置包含一个驱动元件，位于与固定参考轴成 180 度的位置，Y 轴驱动装置含一个驱动元件，位于与固定参考轴成 270 度的位置。

优选地，载体模型为面外 $\cos 2\theta$ 模型，X 轴响应模型为面内 $\sin 3\theta$ 模型，Y 轴响应模型为面内 $\cos 3\theta$ 模型，载体模型驱动装置含有两个驱动元件，位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度和 180 度的位置，载体模型拾取装置包含两个拾取元件，位于与固定参考轴成 90 度和 270 度的位置，X 轴拾取装置包含三个拾取元件，位于与固定参考轴成 0 度、120 度和 240 度的位置，Y 轴拾取装置包含三个拾取元件，位于与固定参考轴成 30 度、150 度和 270 度的位置，X 轴驱动装置包含三个驱动元件，位于与固定参考轴成 60 度、180 度、300 度的位置，Y 轴驱动装置包含三个驱动元件，位于与固定参考轴成 90 度、210 度和 330 度的位置。

优选地,载体模型为面外 $\text{Cos}3\theta$ 模型, X 轴响应模型为面内 $\text{Sin}2\theta$ 模型, Y 轴响应模型为面内 $\text{Cos}2\theta$ 模型,载体模型驱动装置含有三个驱动元件,位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度、120 度、240 度的位置,载体模型拾取装置包含三个拾取元件,位于与固定参考轴成 60 度、180 度和 300 度的位置。X 轴拾取装置包含两个拾取元件,位于与固定参考轴成 0 度和 180 度的位置, Y 轴拾取装置包含两个拾取元件,位于与固定参考轴成 45 度和 225 度的位置, X 轴驱动装置包含两个驱动元件,位于与固定参考轴成 90 度和 270 度的位置; Y 轴驱动装置包含两个驱动元件,位于与固定参考轴成 135 度和 315 度的位置。

优选地,载体模型为面外 $\text{Cos}3\theta$ 模型, X 轴响应模型为面内 $\text{Sin}4\theta$ 模型, Y 轴响应模型为面内 $\text{Cos}4\theta$ 模型,载体模型驱动装置含有三个驱动元件,位于谐振器所在平面内与固定参考轴成 0 度、120 度、240 度的位置,载体模型拾取装置包含三个拾取元件,位于与固定参考轴成 60 度、180 度和 300 度的位置, X 轴拾取装置包含四个拾取元件,位于与固定参考轴成 0 度、90 度、180 度、270 度的位置, Y 轴拾取装置包含四个拾取元件,位于与固定参考轴成 22.5 度、112.5 度、202.5 度、292.5 度的位置, X 轴驱动装置包含四个驱动元件,位于与固定参考轴成 45 度、135 度、225 度、315 度的位置, Y 轴驱动装置包含四个驱动元件,位于与固定参考轴成 67.5 度、157.5 度、247.5 度和 337.5 度的位置。

为了更好地理解本发明并展示如何将本发明投入实际应用,下面将借助示例并参照附图加以说明,图中:

图 1a 是不同于本发明的振动梁结构陀螺的示意图;

图 1b 是图 1a 中陀螺的三条正交轴线的示意图;

图 2a 和 2b 是根据本发明的两轴陀螺在三条轴线上的振动模型形状示意图,采用的是 $\text{Cos}n\theta$ 面外载体模型,其中 $n=1$;

图 3a 和 3b 是根据本发明的陀螺在三条轴线上的振动模型示意图,采用的是 $\text{Cos}n\theta$ 面外振动模型,其中 $n=2$;

图 4a 和 4b 是根据本发明的陀螺在三条轴线上的模型形状示意

图, 其中 $n=3$;

图 5a 至 8b 为面内振动模型形状的 Y-X 平面示意图, 图 5a 和 5b 为 $n_1=1$, 图 6a 和 6b 为 $n_1=2$, 图 7a 和 7b 为 $n_1=3$, 图 8a 和 8b 为 $n_1=4$;

图 9a 和 9b 是根据本发明的陀螺之谐振器的 Y-X 平面示意图, 其受激以 $\cos 2\theta$ 面外载体模型绕 X 轴旋转, 图中示出了所产生的径向科里奥利力分量;

图 10a 和 10b 示出了与图 9a 和 9b 相似的科里奥利力分量, 但它是由绕 Y 轴旋转产生的;

图 11 为根据本发明第一实施例的两轴陀螺的局部示意图, 示出了驱动元件与拾取元件的取向;

图 12 是沿图 11 中 A-A 平面所做的剖视图, 且含有图 11 中未示出的其它部件;

图 13 是根据本发明第二实施例的两轴陀螺的示意图, 示出了驱动元件与拾取元件;

图 14 是根据本发明第三实施例的两轴陀螺的示意图, 示出了驱动元件与拾取元件;

图 15 是根据本发明第四实施例的两轴陀螺的示意图, 示出了驱动元件与拾取元件。

所有传统型振动结构陀螺设计的共同特点是它们都保持简谐式载体模型振荡。当陀螺绕适当轴线旋转时, 其提供了产生科里奥利力 F_c 的线性动量。该力的大小由下式给出:

$$F_c = 2\Omega m v \quad \dots \quad (1)$$

其中 Ω 是所施加的速率, m 是质量, v 是线性速度。沿相互正交轴线分布的速度矢量、旋转矢量和力矢量如附图 1a 所示。

振动结构陀螺的最简单实现方法之一是图 1a 中所示的梁 1。载体模型振动是如图 1a 和 1b 所示的在 XZ 平面内的挠曲运动。梁 1 绕其轴线 (Z 轴) 的旋转将产生科里奥利力, 该力使梁 1 在 YZ 平面内以载体频率产生运动。沿该轴的运动幅度将所施加的旋转速率成正比。通过对结构进行设计从而使科里奥利力直接激发简谐模型, 可以增强这种设

备的敏感度。于是运动的幅度被响应模型的 Q 所放大。对于由各向同性材料制成的简单梁 1 来说, 利用 X 向与 Y 向尺寸相同的正方形截面的梁可实现这一点。

绕 Y 轴的旋转也将在梁 1 中产生科里奥利力。这些力沿梁的长度 (Z 轴) 方向作用。梁在此方向是非常刚硬的, 因此对这些力不敏感。然而沿单一轴线的这种简单线性振动能够产生绕两条轴线的旋转。要基于这些响应来制成实际陀螺, 就需要设计一谐振器, 它能够使这些科里奥利力分量沿适当轴线直接耦合形成响应模型。

采用 $\text{Cosn}\theta$ 面外载体模型的平面环形结构固有地具有两条轴线速率敏感性。载体模型运动是沿单一方向 (Z 轴) 的, 因此当该结构绕面内任意轴线旋转时, 将产生科里奥利力。为了实际用做陀螺, 由科里奥利力所产生运动的幅度必须足以提供适当的速率检测敏感性。若该力能够直接耦合面内谐振模型, 从而使所产生的运动被响应模型的 Q 所放大, 则可能获得这种检测敏感性。

对于理想的环形谐振器结构, $\text{Cosn}\theta$ 面外振动模型是以相互成 $(90/n)$ 度角的简并偶形式存在。选用谐振器所在平面内的固定参考轴 R , 这些模型偶的形状表现为 $\text{Cosn}\theta$ 及 $\text{Sinn}\theta$ 位移。模型图中 $\theta = 0$ 度的固定参考轴 R 是沿 Y 轴的正向。 $n=1$ 的模型形状示于图 2a 和 2b 中。图中示出了在单个振动循环过程中, 模型偶的每个模型与未受激的环位置之间的两个最大位移极点。对于半径为 1.0 (任意单位) 的环, 各轴线表示出与未受激的环位置 (虚线) 之间的位移。模型处在相互夹角为 90 度之处。 $n=2$ 的模型形状同样示于图 3a 和 3b 中。这些模型位于相互夹角为 45 度之处。 $n=3$ 时相应的模型形状示于图 4a 和 4b 中, 其位于夹角为 30 度之处。

采用 $\text{Cosn}\theta$ 面外载体模型, 沿环所在平面内的轴线旋转时将会产生科里奥利力。绕 Y 轴的旋转将产生沿 X 轴向作用的科里奥利力。这些力的分布随着角位置 θ 而改变, 并且可以被分解为径向分力和切向分力。对于绕 Y 轴旋转的转速 Ω_y 而言, 这些分力由下式给出:

$$F_{cr}(\theta) = F_{(n+1)r} \Omega_y \text{Sin}(n+1)\theta + F_{(n-1)r} \Omega_y \text{Sin}(n-1)\theta \quad \Lambda \quad (2)$$

$$F_{ct}(\theta) = F_{(n+1)t} \Omega_y \sin(n+1)\theta + F_{(n-1)t} \Omega_y \sin(n-1)\theta \quad \Lambda \quad (3)$$

其中 $F_{cr}(\theta)$ 为面内径向科里奥利力的分布函数, $F_{ct}(\theta)$ 为面内切向力的分布函数。参数 $F_{(n+1)r}$, $F_{(n-1)r}$ 和 $F_{(n+1)t}$, $F_{(n-1)t}$ 为常量, 取决于环和支承装置的精确几何形状、材料以及 n 的取值。

对于相同的载体模型, 绕 X 轴的旋转将产生沿 Y 轴向作用的科里奥利力。这些力同样也可分解为径向分力和切向分力, 对于这种旋转的转速 Ω_x , 各分力由下式给出:

$$F_{cr}(\theta) = F_{(n+1)r} \Omega_x \cos(n+1)\theta + F_{(n-1)r} \Omega_x \cos(n-1)\theta \quad \Lambda \quad (4)$$

$$F_{ct}(\theta) = F_{(n+1)t} \Omega_x \sin(n+1)\theta + F_{(n-1)t} \Omega_x \sin(n-1)\theta \quad \Lambda \quad (5)$$

这些分力可用于直接激励环形谐振器产生面内振动模型。图 5a 至 8b 分别图示了 $n=1, 2, 3, 4$ 时的面内振动模型形状。这些模型是以相互夹角成 $(90/n)$ 度角的简并偶形式存在。对于标称半径为 1.0 (任意单位) 的环, 图中示出了与环的静态位置之间的最大位移。至于这些模型的受激方式, 将借助一特定载体模型例子来加以说明。

对于一个绕 x 轴旋转、受激产生 $\cos 2\theta$ 面外载体模型的环形谐振器, 径向科里奥利力分量是 $\cos \theta$ 和 $\cos 3\theta$ 的函数式。分别图示于图 9a 和 9b 中。虚线 2 表示标称半径为 1.0 (任意单位) 的环的静态位置, x 轴和 y 轴通过环的中心。作用力通过中点 $(0, 0)$ 径向作用, 其量值由实线 3 表示。利用箭头 4 更形象地加以说明, 这些箭头表示作用于环圆周上离散点的力矢量。对于切向分力也可做同样的图示。这些分力的函数式与图 5a 和 7a 中所示环的面内振动模型的函数式相匹配。绕 y 轴旋转所产生的科里奥利力分量将为 $\sin \theta$ 和 $\sin 3\theta$ 的函数式。图示于图 10a 和 10b 中。这些函数式与图 5b 和 7b 中所示的模型形式相匹配。

为实现实际的陀螺设计, 响应模型运动的幅度必须达到最大。这就要求将环尺寸设计为使载体模型与响应模型的频率相匹配。这样所合成的运动将被响应模型振动的 Q 所放大, 从而增强检测敏感性。面外模型频率深受环深度 (Z 轴尺寸) 变化的影响。面内模型频率对此变化不敏感, 因此有可能分别改变面外载体模型的频率和面内响应模型的频率, 以使它们达到平衡。通过选用合适的环尺寸, 根据本发明第

一实施例的实用两轴陀螺为 $\cos 2\theta$ 面外载体模型与 $\sin \theta$ 及 $\cos \theta$ 面内响应模型的组合。也可将选择环的尺寸使之构成本发明的另一实施例，即采用同样的载体模型与 $\sin 3\theta$ 及 $\cos 3\theta$ 面内响应模型的组合。

根据本发明的其它两轴陀螺可采用可选的其它载体模型与响应模型组合而成，如公式 2 至 5 所示。可用 $\cos 3\theta$ 面外载体模型与 $\sin 2\theta$ 及 $\cos 2\theta$ 面内响应模型相组合。该同一载体模型也可用于与 $\sin 4\theta$ 及 $\cos 4\theta$ 响应模型相组合。其它更高阶的模型组合也是可行的，但会越来越难以实现。由于模型形状复杂，需要使用复杂的驱动与拾取装置，因此限制了其实用性。

根据本发明的两轴陀螺可利用 $\cos 2\theta$ 面外载体模型与 $\sin \theta$ 及 $\cos \theta$ 面内响应模型组合构造而成。该陀螺要求三种模型的频率相匹配（一个载体模型加两个响应模型）。对于优选的具有匀厚的对称环 5， $\sin \theta$ 及 $\cos \theta$ 模型偶具有相同频率。在载体频率时，面外模型同样以相互成 45° 度角的简并偶形式存在，因此是 $\sin 2\theta$ 模型。在实际应用中，能够方便地做到故意使模型之间产生分频。这也会使载体模型位置在环 5 上固定。这样做有利于防止在面外模型之间产生任何不需要的相互作用，对于那些存在难以预计的轻微结构缺陷的实际陀螺设计来讲，这种作用会对载体模型运动产生扰动。

本发明陀螺的载体模型必须是 $\cos n\theta$ 阶的模型，其中 n 为 2 或更大的整数，例如 $\cos 2\theta$ ， $\cos 3\theta$ ， $\cos 4\theta$ 等等。响应模型必须是 $\sin n_1\theta$ 或 $\cos n_1\theta$ ，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ，例如 $\sin \theta$ ， $\sin 2\theta$ ， $\sin 3\theta$ 等等。

如正确选择环 5 所用支架（未示出）的数量和取向，则在保持面内响应模型简并性的同时，有可能使面外模型产生分频。支架将环 5 连接到中央支座 6 上且充做点弹簧质量，其对模型动力学产生局部扰动。为了防止分频，支架的数量和角位置必须与模型对称性相匹配。对于任何 $\cos n\theta$ 简并模型偶，支架数量由下式给出：

$$\text{支架数量 } N = 4n_1 \quad (6)$$

角度间隔为 $(360/N)$ 度

因此对于 $\text{Cos}\theta$ 模型偶, 采用 4 个 90 度角间隔的支架可满足此条件。支架的这种分布将使 $\text{Cos}2\theta$ 面外模型产生分频, 因此将其取向按需要固定在环 5 上。

谐振器 5 基本是平面的, 基本呈环形或圈形结构, 其内外圆周绕固定参考轴线延伸。

本发明的振动结构陀螺可利用标准的制造与加工技术来制造。它们也适合于利用微机械技术来制造。无论制造过程如何, 其运行原理和驱动与拾取装置的取向都是相同的。谐振器环 5 可采用具有适当机械特性的任何材料制造而成, 包括金属、石英、多晶硅或块硅。可采用多种驱动转换装置来驱动环 5 模型产生振荡, 这些装置包括静电、电磁、压电及光学装置。同样可利用包括静电、电磁、压电或光学拾取装置在内的多种转换装置来检测运动的幅度。驱动与拾取转换装置被定位成使其能够激发和检测面外或面内运动。

优选实施例采用静电驱动与拾取装置。该实施例中驱动与拾取装置的取向示于图 11 中。环 5 的位置用虚线表示, 其内外圆周绕公共轴线 A 延伸。面外 $\text{Cos}2\theta$ 载体模型受驱动元件 7 的驱动产生振荡, 该驱动元件 7 在与固定参考轴 R 成 0 度和 180 度的位置位于环缘正下方。环 5 相对于驱动元件 7 和拾取元件 8 保持固定电位。在这些驱动元件 7 和环 5 底面的相对弧段之间形成单独的电容。于是以载体频率施加在驱动元件 7 上的振荡电压将产生静电力, 使环 5 产生简谐振荡。位于 90 度和 270 度的拾取元件 8 以同样方式形成电容, 它们在间隙变化时用来检测环 5 的运动。

绕 X 轴的旋转将能量耦合形成 $\text{Cos}\theta$ 面内响应模型, 其在 0 度和 180 度位置为反节点。绕 Y 轴的旋转将能量耦合形成 $\text{Sin}\theta$ 模型, 其在 90 度和 270 度位置为反节点。驱动元件与拾取元件可以以任何合适的组合方式位于这些点附近。这些元件包括围绕环 5 之外圆周同心分布的碟片。与环所在平面垂直的碟片表面与环 5 的相邻弧段之间形成电容。便利地, 由位于 0 度的拾取元件来检测 X 轴响应模型运动。位于 180 度的驱动元件 10 可用于抵消模型运动, 使陀螺以强迫反馈方式运转。

当以此方式运转时，用于抵消的驱动力与所施加的速率成正比。已经知道这种运转方式的性能优于开环方式。Y 轴响应模型运动由位于 90 度的拾取元件 11 来检测。位于 270 度的驱动元件 12 使陀螺以强迫反馈方式运转。

图 12 为沿图 11 中 A-A 线、即沿 Y 轴穿过环形谐振器 5 之中心所做的剖视图，示出了该装置的其它细部。X 轴与 Y 轴的驱动与拾取元件 9, 10, 11, 12 是设在电绝缘衬层 14 表面的导电体 13。这些导体 13 通过轨道与结合区(未示出)相连，该结合区与控制电路连通。环 5 经支架(未示出)与中央支座 6 相连。该支座 6 在环 5 之下延伸，各支架自由地悬置在衬层 14 上方。面外模型的驱动与拾取元件 7, 8 与衬层 14 刚性相连，并按需要设有轨道和结合区(未示出)，从而能够与控制电路连通。

可以对图 11 和 12 中的陀螺进行其它修改。例如，可在谐振器环 5 之上增加刚性固定的第二绝缘衬层，使面外驱动与拾取电容器元件 13 加倍，这样将会增强陀螺沿 X 轴和 Y 轴的敏感性。然而，这将使制造过程复杂化且并不改变陀螺的基本设计特性或函数性。

本发明的两轴陀螺可利用同一个 $\cos 2\theta$ 面外载体模型与 $\sin 3\theta$ 及 $\cos 3\theta$ 面内响应模型组合构成。对于这种设计，必须保持 $\cos 3\theta$ 面内模型的对称性，同时使面外 $\cos 2\theta$ 模型产生分频。采用 30 度角间隔开的 12 个支架可实现此目的。

图 13 展示了驱动与拾取元件的适当分布。载体模型驱动元件 7 位于 0 度和 180 度，拾取元件位于 90 度和 270 度。绕 X 轴的旋转将激发 $\cos 3\theta$ 响应模型。X 轴响应模型拾取元件 9 位于 0 度、120 度和 240 度的位置，驱动元件 10 位于 60 度、180 度和 300 度的位置。绕 Y 轴旋转将激发 $\sin 3\theta$ 响应模型。Y 轴模型拾取元件 11 位于 30 度、150 度和 270 度的位置，驱动元件 12 位于 90 度、210 度和 330 度的位置。

本发明的两轴陀螺也可采用 $\cos 3\theta$ 面外载体模型与 $\sin 2\theta$ 及 $\cos 2\theta$ 面内响应模型组合构成。为保持面内响应模型的对称性，需要采用 45 度角间隔的 8 个支架。图 14 示出了这种实现方案中驱动与拾取元件的

方位。载体模型驱动元件 7 位于 0 度、120 度和 240 度，拾取元件 8 位于 60 度、180 度和 300 度。绕 X 轴旋转将激发 $\text{Cos}2\theta$ 响应模型。该模型中的拾取元件 9 位于 0 度和 180 度的位置，驱动元件 10 位于 90 度和 270 度的位置。绕 Y 轴旋转将激发 $\text{Sin}2\theta$ 响应模型。该模型中的拾取元件 11 位于 45 度和 225 度的位置，驱动元件 12 位于 135 度和 315 度的位置。

本发明的两轴陀螺也可采用 $\text{Cos}3\theta$ 载体模型与 $\text{Sin}4\theta$ 及 $\text{Cos}4\theta$ 面内响应模型组合构成。此时为保持面内响应模型的对称性，需要采用 22.5 度角间隔的 16 个支架。图 15 示出了这种实现方案中驱动与拾取元件的方位。载体模型驱动元件 7 位于 0 度、120 度和 240 度，拾取元件 8 位于 60 度、180 度和 300 度的位置。绕 X 轴旋转将激发 $\text{Cos}4\theta$ 响应模型。该模型中的拾取元件 9 位于 0 度、90 度、180 度和 270 度的位置，驱动元件 10 位于 45 度、135 度、225 度和 315 度的位置。绕 Y 轴旋转将激发 $\text{Sin}4\theta$ 响应模型。该模型中的拾取元件 11 位于 22.5 度、112.5 度、202.5 度和 292.5 度的位置，驱动元件 12 位于 67.5 度、157.5 度、247.5 度和 337.5 度的位置。

本发明的两轴速率陀螺也可采用更高阶的面内模型与面外模型组合构成，要求面外模型应为 $\text{Cos}n\theta$ 模型，其中 n 为 2 或更大的整数，面内 X 轴和 Y 轴响应模型应为 $\text{Cos}n_1\theta$ 及 $\text{Sin}n_1\theta$ 模型，其中 n_1 取值为 $n+1$ 或 $n-1$ ，且 X 轴和 Y 轴响应模型的取值应相等。这样就要求支架数量不断增加，以及需要更大量的驱动与拾取元件，以保持必须的模型对称性。尽管这些实施例是可行的，但其结果是使陀螺尤其是小型陀螺的制造变得越来越复杂。

在前述说明中，驱动元件与拾取元件的角位置是指在谐振器所在平面内相对于固定参考轴线 R 的位置。同样，在本发明的用于检测两条轴线之速率的陀螺中，谐振器 2 和支承装置的尺寸大小使得 $\text{Cos}n\theta$ 面外载体模型和 $\text{Sin}n_1\theta$ 及 $\text{Cos}n_1\theta$ 面外响应模型的频率相匹配。

图 1a

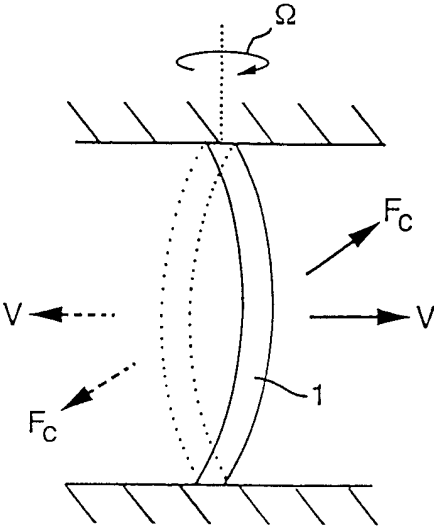


图 1b

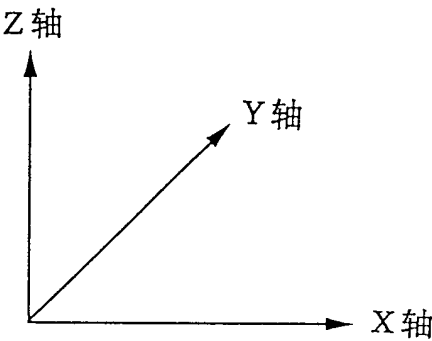


图 2a

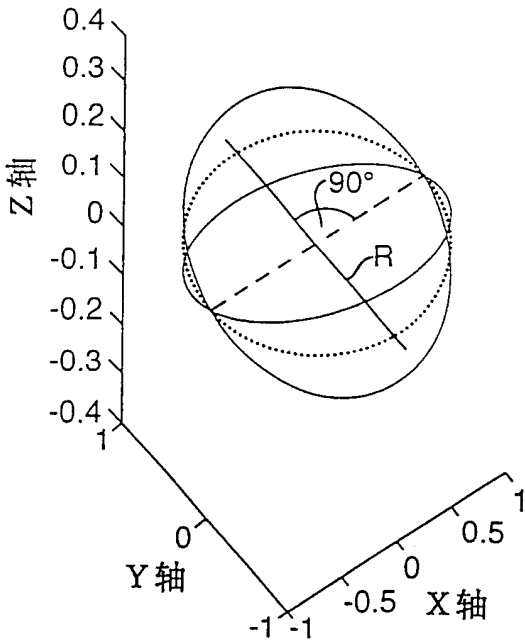


图 2b

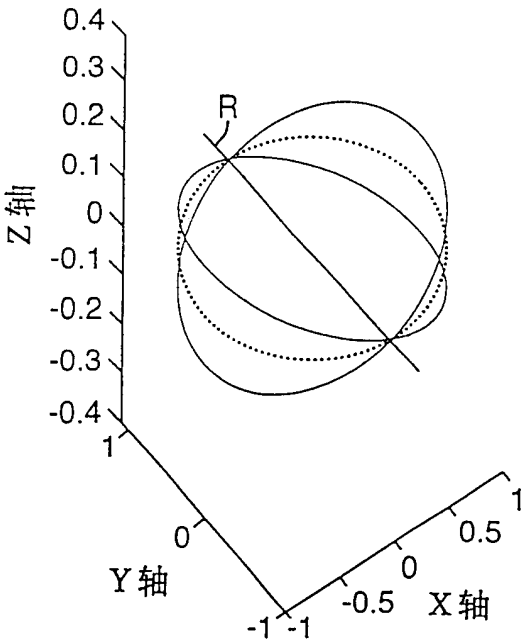


图 3a

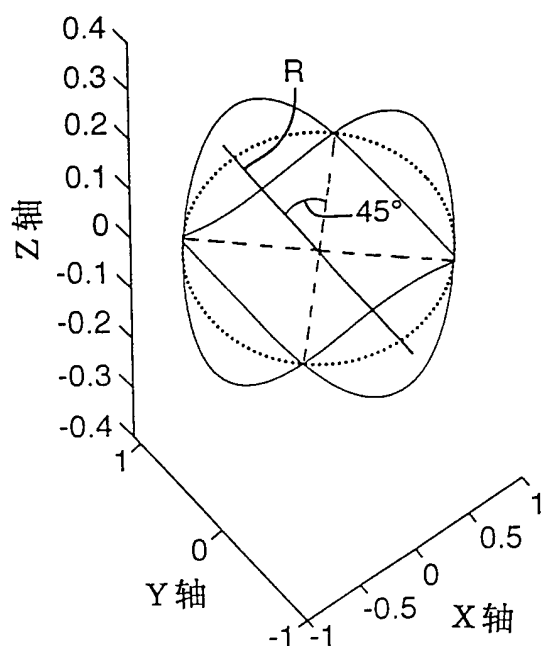


图 3b

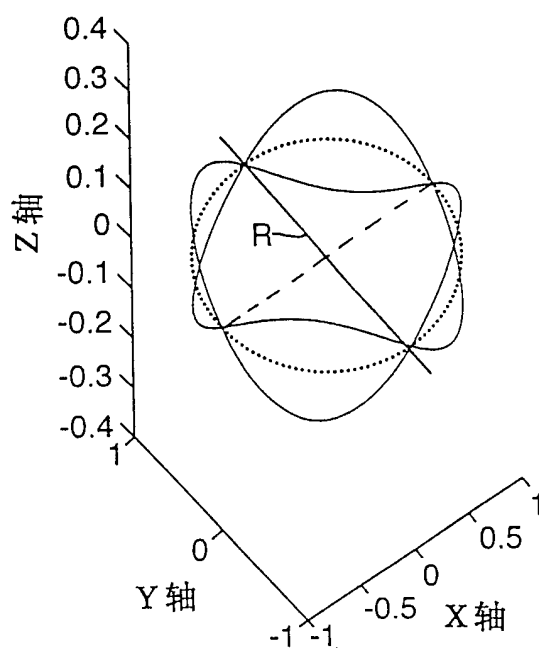


图 4a

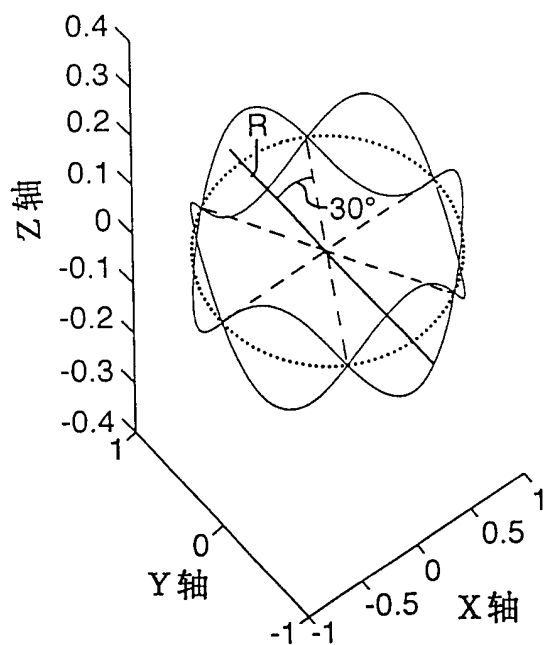


图 4b

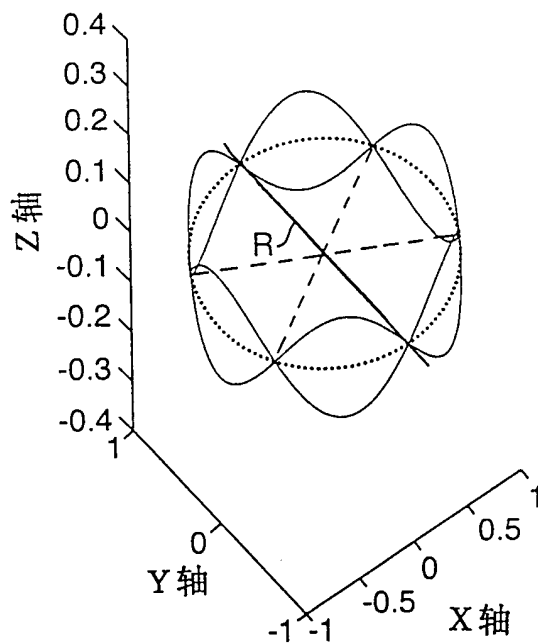


图 5a

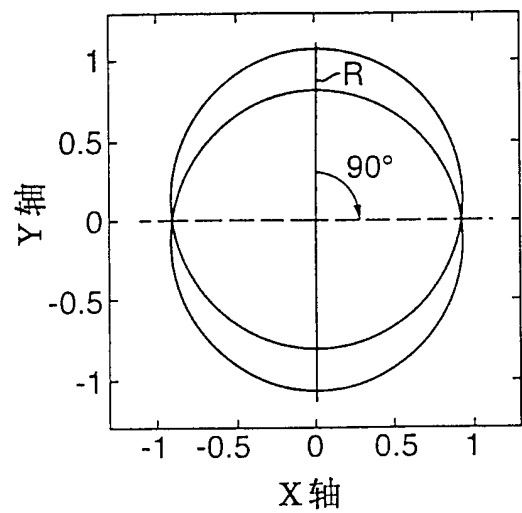


图 5b

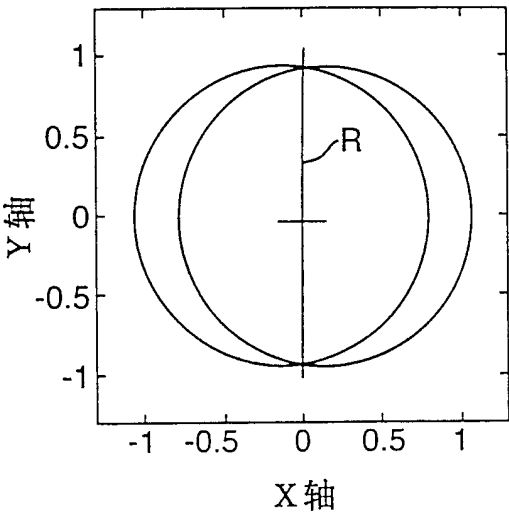


图 6a

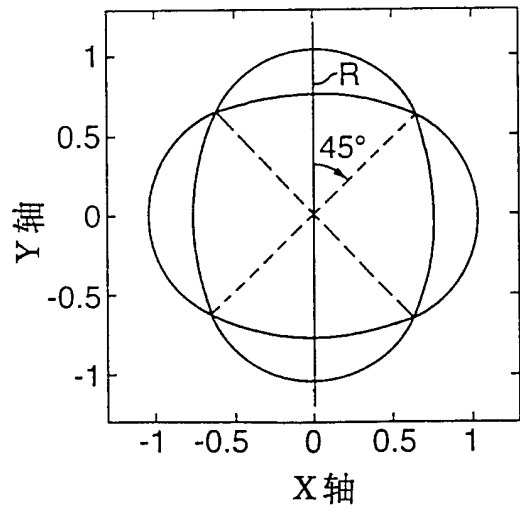


图 6b

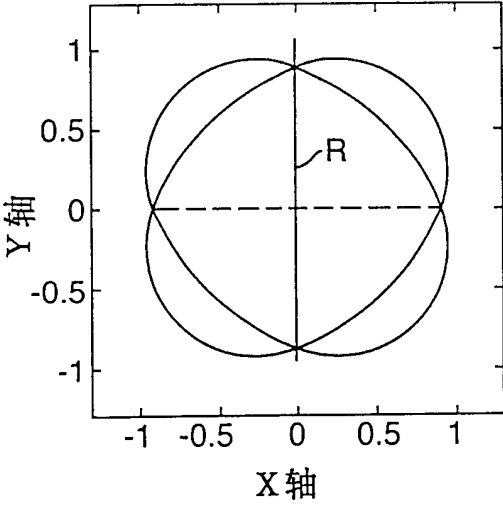


图 7a

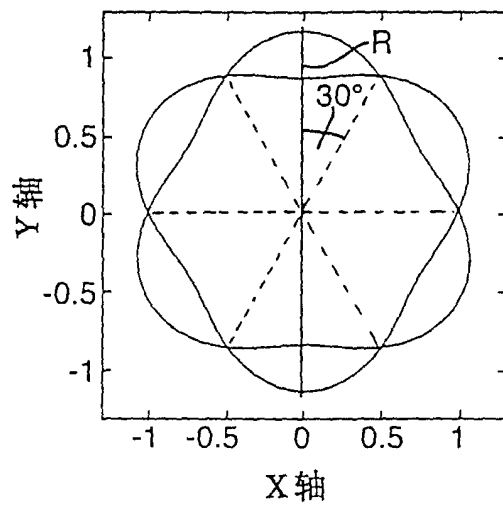


图 7b

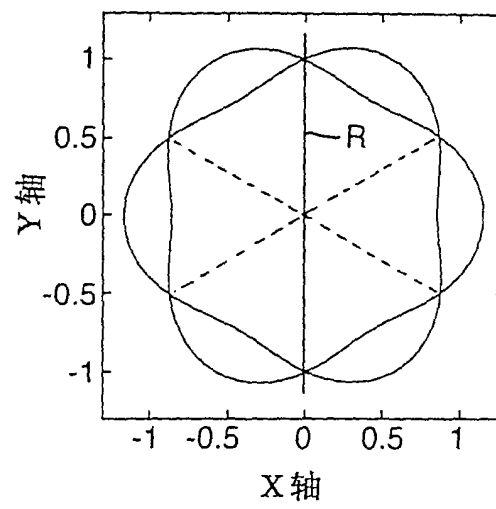


图 8a

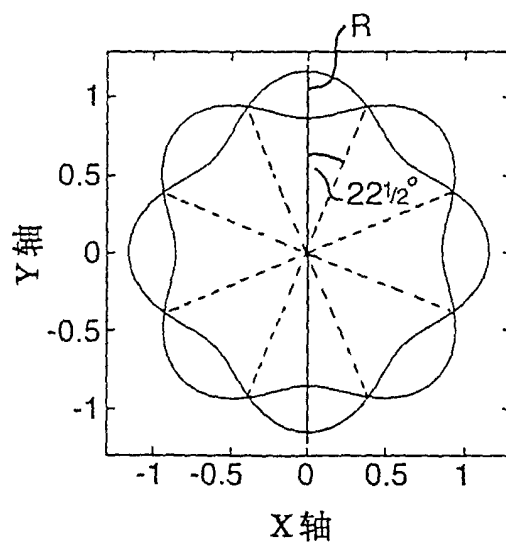


图 8b

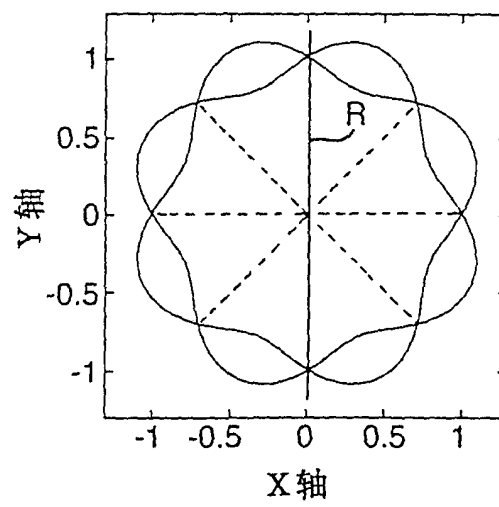


图 9a

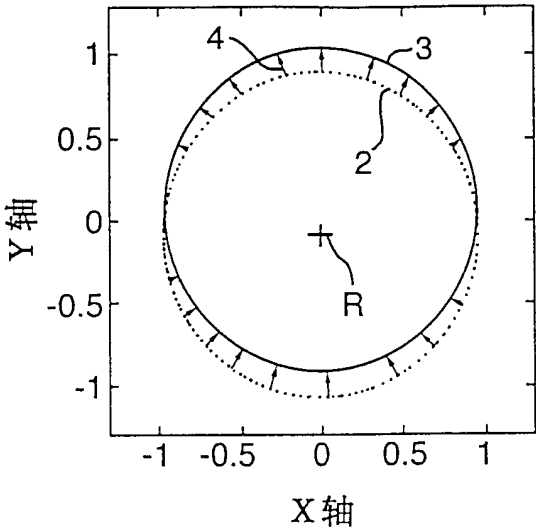


图 9b

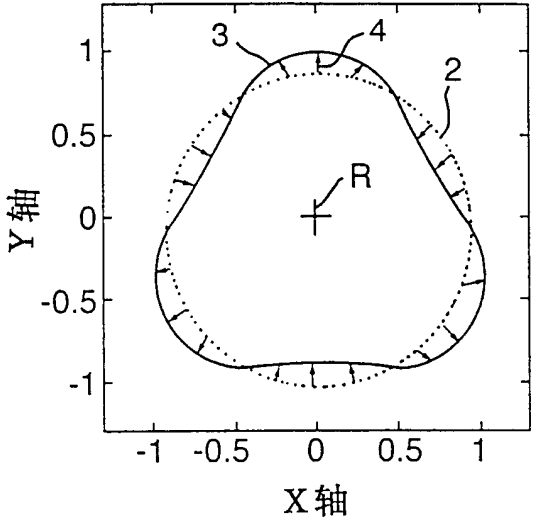


图 10a

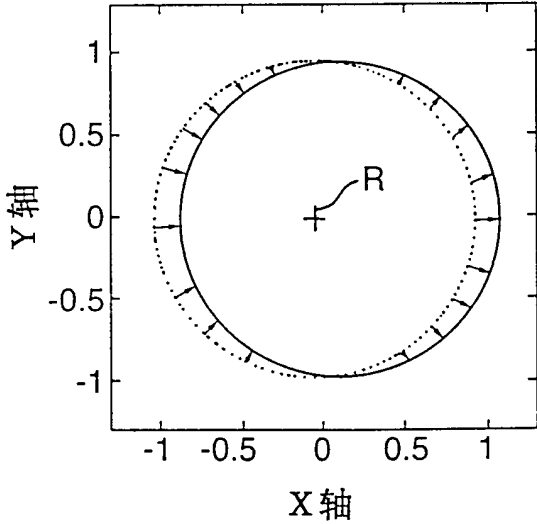


图 10b

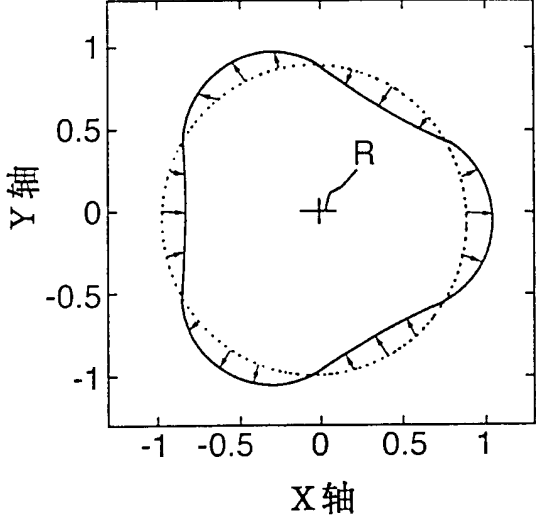


图 11

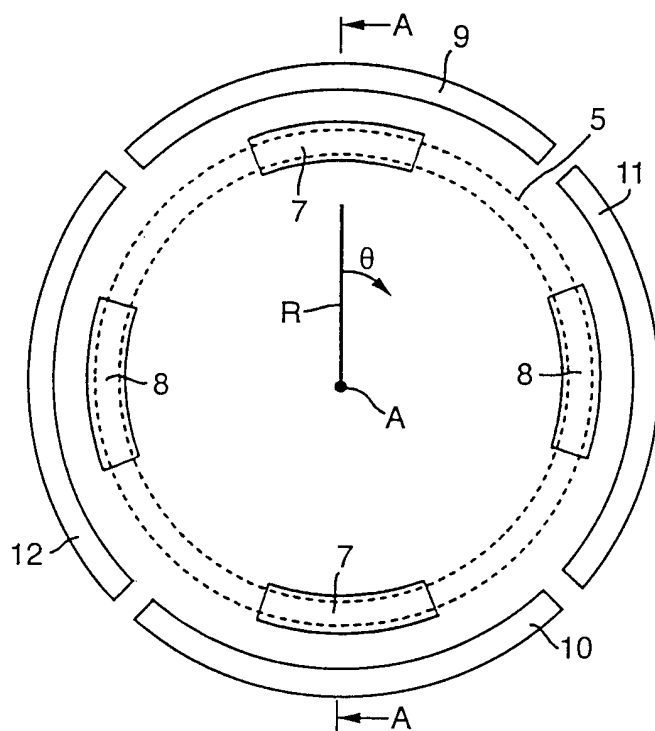


图 12

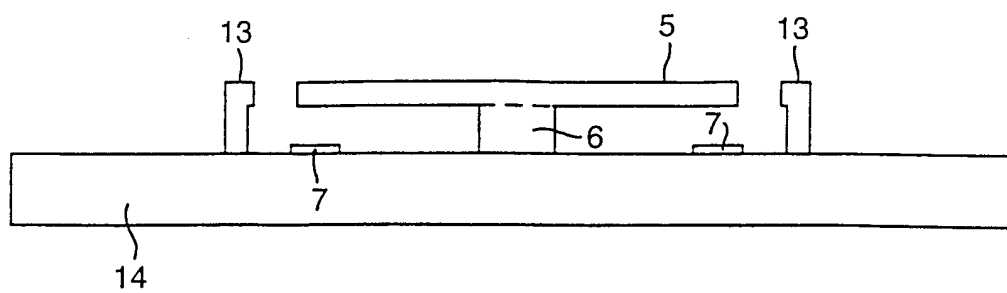


图 13

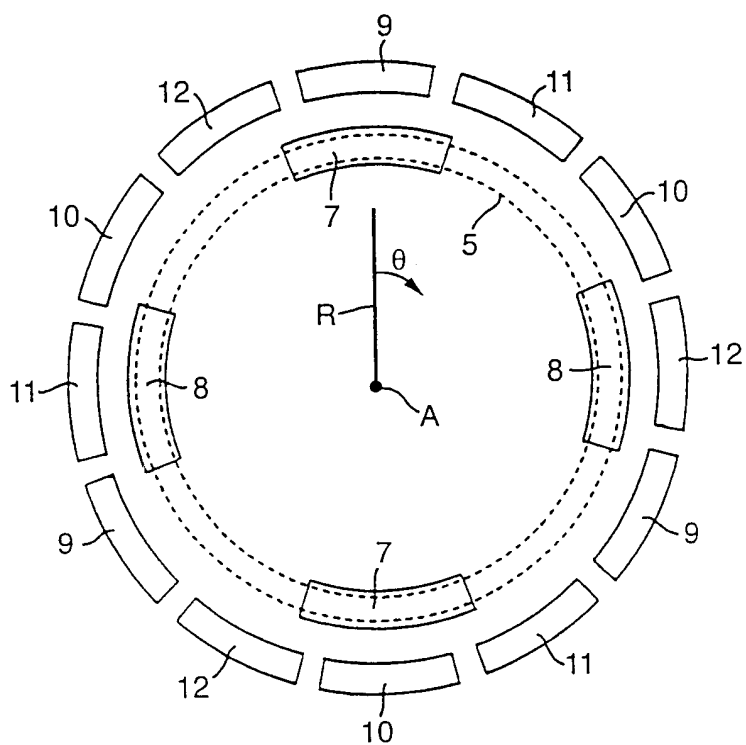


图 14

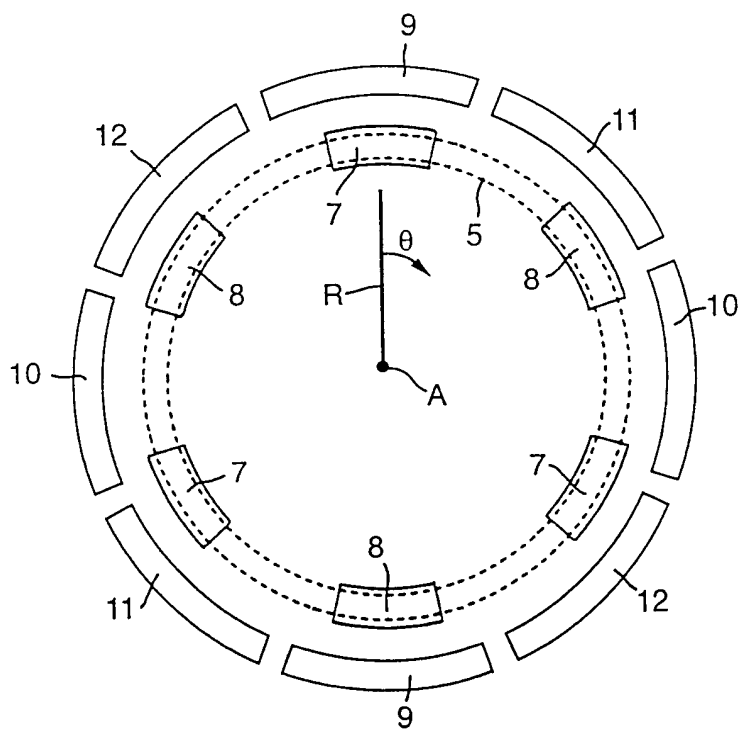


图 15

