

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B81C 1/00 (2006.01)

G01C 19/56 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02800295.4

[45] 授权公告日 2006 年 2 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 1242913C

[22] 申请日 2002.1.30 [21] 申请号 02800295.4

[30] 优先权

[32] 2001.2.12 [33] KR [31] 6695/01

[86] 国际申请 PCT/KR2002/000135 2002.1.30

[87] 国际公布 WO2002/064497 英 2002.8.22

[85] 进入国家阶段日期 2002.10.14

[71] 专利权人 (株) 英特尔智微

地址 韩国首尔特别市

共同专利权人 金容权

[72] 发明人 金容权 金声赫

审查员 黄军容

[74] 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司

代理人 刘国平

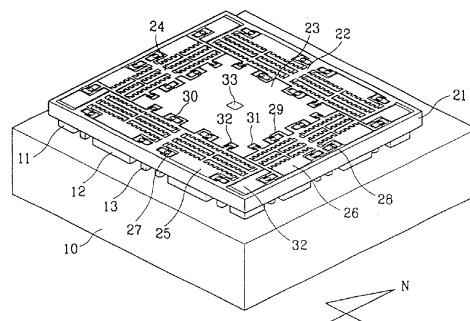
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 9 页

[54] 发明名称

陀螺仪及其制造方法

[57] 摘要

一种陀螺仪，包括：一个固定的驱动固定电极(26)；一个位于驱动固定电极对面并且能够在第一方向上位移的驱动位移电极(24)；一个连接到驱动位移电极(24)、根据驱动位移电极(24)的第一方向位移在第一方向上位移、并且当施加一个角速率时在第二方向上位移的惯性块(23)；一个连接到惯性块(23)并且能够根据惯性块(23)的第二方向位移在第二方向上位移的传感位移电极(22)；以及一个在传感位移电极对面并且被固定的传感固定电极(25)。驱动位移电极(24)由一个可在第一方向上移动的折叠弹簧(31)支撑，传感位移电极由一个可在第二方向移动的折叠弹簧(32)支撑。



- 1、一种陀螺仪，包括：
- 一个固定的驱动固定电极；
- 一个位于驱动固定电极对面并且能够在第一方向上位移的驱动位移电极；
- 5 一个连接到驱动位移电极、根据驱动位移电极的第一方向位移在第一方向上位移、并且当施加一个角速率时在第二方向上位移的惯性块；
- 一个连接到惯性块并且能够根据惯性块的第二方向位移在第二方向上位移的传感位移电极；和
- 一个在传感位移电极对面并且被固定的传感固定电极，
- 10 其中驱动位移电极和惯性块由没有固定轴并且可以在第二方向上移动的折叠弹簧连接，传感位移电极和惯性块由没有固定轴并且可以在第一方向上移动的折叠弹簧连接。
- 2、根据权利要求1所述的陀螺仪，其中驱动位移电极由一个可在第一方向上移动的折叠弹簧支撑，传感位移电极由一个可在第二方向移动的折叠弹簧支
- 15 撑。
- 3、根据权利要求1所述的陀螺仪，其中提供了两个传感位移电极，惯性块的两侧各有一个，并且陀螺仪进一步包括一个用于连接两个传感位移电极的边缘万向架。
- 4、根据权利要求1所述的陀螺仪，其中在惯性块的中央提供了一个空腔，
- 20 并且陀螺仪进一步包括一个位于空腔中心的并且被固定的位移限制轴。
- 5、根据权利要求1所述的陀螺仪，其中陀螺仪进一步包括对称地形成在传感位移电极两侧、起到电弹簧作用以改变传感位移电极的谐振频率和控制传感灵敏度的调谐电极。
- 6、根据权利要求5所述的陀螺仪，其中在传感位移电极的表面和调谐电极
- 25 的面对传感位移电极的表面上分别形成了间隔的齿形，传感位移电极的齿部分面对调谐电极的齿部分，传感位移电极的齿部分之间的间隔面对调谐电极的齿

部分之间的间隔。

7、根据权利要求1所述的陀螺仪，其中将间隔齿形提供到驱动固定电极和驱动位移电极的相对两侧，并且提供到传感固定电极和传感位移电极的相对两侧，以便相互交错地排列。

陀螺仪及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种显微机械加工的陀螺仪及其制造方法。

背景技术

微惯性传感器是各种显微机械加工技术应用领域中的一种应用。由于用硅制造的显微机械加工的惯性传感器便宜、可以成批制造、并且可以集成，因而在过去的十多年中有关商品化惯性传感器的研究一直在积极地进行。但是，尽管在几年前已经制造和生产出实际商品化的陀螺仪，迄今为止显微机械加工的陀螺仪尚未实现商品化。为了使它们商品化，需要从噪声中识别低输出值、有选择地感测低输出值，并且需要得到高灵敏度和宽的操作范围。还需要使用最好能够与现有半导体的加工过程兼容的加工过程，或使用更简单的加工过程来得到便宜的元件。此外，还必须保证元件的可靠性和高生产率。

在1998年，仿真设备有限公司（Analog Devices Inc., ADI）为了制造\$30的陀螺仪，使用表面显微机械加工方法开发了在真空环境下操作的集成陀螺仪原型。但是，由于为汽车和照相机分别使用了\$15和\$5的压电元件，因而需要有一种新的方法与这些昂贵的器件竞争。因此，ADI通过使元件尺寸最小化和进行封装处理来开发便宜的陀螺仪。为了使元件尺寸最小，减小了占据元件大量空间的电路部分。通过增大陀螺仪的机械部分解决了减小电路部分造成的问题，因而减小了元件的整体尺寸。此外，当增大机械部分时，元件可以在低Q值下操作，从而满足了商业化的两个目的：小尺寸元件和取消真空密封。真空密封过程构成了成本的80%，而一般集成电路封装过程只占成本的50%。因而需要取消真空密封过程以降低陀螺仪的成本。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种能够在大气压下操作的陀螺仪。

本发明的另一个目的是提供一种在高频率下具有大驱动位移的陀螺仪。

本发明的再一个目的是提供一种消除了驱动模式与传感模式之间的机械干扰的陀螺仪。

本发明的再一个目的是提供一种无需频率调谐而产生高灵敏度的陀螺仪。

为了达到上述目的,通过一个惯性块和一个折叠弹簧连接一个驱动位移电极和一个传感位移电极,以消除驱动位移电极与传感位移电极之间的机械干扰。

在本发明的一个方面提供了一种陀螺仪,包括:一个固定的驱动固定电极;一个位于驱动固定电极对面并且能够在第一方向位移的驱动位移电极;一个连接到驱动位移电极、根据驱动位移电极的第一方向位移在第一方向位移、并且当施加一个角速率时在第二方向位移的惯性块;一个连接到惯性块并且能够根据惯性块的第二方向位移在第二方向位移的传感位移电极;以及一个位于传感位移电极的对面并且固定的传感固定电极,其中驱动位移电极和惯性块由没有固定轴并且可以在第二方向上移动的折叠弹簧连接,传感位移电极和惯性块由没有固定轴并且可以在第一方向上移动的折叠弹簧连接。

驱动位移电极由一个可在第一方向移动的折叠弹簧支撑,传感位移电极由一个可在第二方向移动的折叠弹簧支撑。

两个传感位移电极设置在惯性块的两侧,并且陀螺仪进一步包括一个用于连接两个传感位移电极的边缘万向架。

在惯性块的中央带有一个空腔,并且陀螺仪进一步包括一个在空腔中心提供并且固定的位移限制轴。

陀螺仪进一步包括调谐电极,每个调谐电极对称地形成在传感位移电极的两侧,起到改变传感位移电极的谐振频率和控制传感灵敏度的电弹簧的作用。

用。

附图说明

与说明书结合并且构成说明书一部分的附图示出了本发明的一个实施例，并且与说明书一同用于解释本发明的原理：

图 1 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的透视图；

图 2 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的平面布置图；

图 3 示出了图 1 的一个放大部分；

图 4 示出了根据本发明的一个优选实施例制造的陀螺仪的局部扫描电子显微镜（SEM）照片；

图 5 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的一个驱动或传感弹簧的放大图；

图 6 示出了根据本发明的一个优选实施例制造的陀螺仪的一个驱动或传感弹簧的 SEM 照片；

图 7 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的驱动或传感连接弹簧的示意图；

图 8 示出了根据一个位移限制器的谐振驱动和传感位移的曲线图；和

图 9 (a) 至图 9 (h) 示出了制造根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的过程。

具体实施方式

在以下的详细说明中，简单地通过说明发明人认为是实施本发明的最佳模式的方式，仅仅显示和说明了本发明的优选实施例。应当知道，在不背离本发明的情况下，可以在各个明显的方面对本发明做出修改。因此，实际上应当将图和叙述看成是对本发明的说明，而不是限制。

图 1 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的透视图，图 2 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的平面布置图，图 3 示出了图 1 的一个放大部分，图 4 示出了根据本发明的一个优选实施例制造的陀螺仪的局部 SEM 照片。

根据本发明的优选实施例的陀螺仪包括一个玻璃基底 10 和一个在其上形成的硅结构。在玻璃基底 10 上形成了用于支撑硅结构和固定硅结构的固定轴的支撑柱 11、12 和 13。

硅结构包括一个驱动器、一个传感器、多个弹簧、一个调谐电极 34 和一个位移限制轴 33。驱动器包括一个驱动固定电极 26、一个驱动位移电极 24 和一个惯性块 23。传感器包括一个传感固定电极 25、一个传感位移电极 22 和一个边缘万向架 21。弹簧包括用于支撑和使驱动位移电极 24 能够振动的驱动弹簧 28 和 29、用于支撑和使传感位移电极 22 和边缘万向架 21 能够振动的传感弹簧 27 和 30、一个用于连接驱动位移电极 24 与惯性块 23 的驱动连接弹簧 31，以及一个用于连接传感位移电极 22 与惯性块 23 的传感连

接弹簧 32。驱动弹簧 28 和 29 被分别分为一个外驱动弹簧 28 和一个内驱动弹簧 29，传感弹簧 27 和 30 被分别分为一个外传感弹簧 27 和一个内传感弹簧 30。

现在对这些组件的结构和功能进行进一步的详细说明。

驱动器的驱动固定电极 26 由玻璃基底 10 的支撑柱 12 支撑，并且具有一个间隔的齿形部分。驱动位移电极 24 由外驱动弹簧 28 和内驱动弹簧 29 支撑，仅能够在东西方向（参考图 1 和图 2 中的罗盘方向）上移动，并且也具有一个间隔的齿形部分。驱动固定电极 26 的间隔齿形部分的齿与驱动位移电极 24 的间隔齿形部分的齿相互交错排列。外驱动弹簧 28 和内驱动弹簧 29 由玻璃基底 10 的支撑柱 13 固定，并且由于它们是片簧和设置在南北方向，因而它们仅能够在东西方向上移动。由于惯性块 23 通过驱动连接弹簧 31 连接到驱动位移电极 24，当驱动位移电极 24 在东西方向上振动时，惯性块 23 与驱动位移电极 24 一起振动。在这种情况下，由于驱动连接弹簧 31 没有固定轴，并且仅能够在南北方向上移动，因而它将驱动位移电极 24 的东西方向的振动传递到惯性块 23。

接下来，由玻璃基底 10 的支撑柱 12 固定的传感器的传感固定电极 25 具有一个间隔的齿形部分。传感位移电极 22 由外传感弹簧 27 和内传感弹簧 30 支撑，仅能够在南北方向（参考图 1 和图 2 的罗盘方向）上移动，并且也具有间隔的齿形部分。传感固定电极 25 的间隔齿形部分的齿与传感位移电极 22 的齿形部分的齿相互交错排列。外传感弹簧 27 和内传感弹簧 30 由玻璃基底 10 的支撑柱 13 固定，并且由于它们是片簧和设置在东西方向，因而它们仅能够在南北方向上移动。传感位移电极 22 通过传感连接弹簧 32 连接到惯性块 23，因而，当惯性块 23 在南北方向上振动时，使传感位移电极 22 与惯性块 23 一同振动。在这种情况下，由于传感连接弹簧 32 没有固定轴，并且仅能够在东西方向上移动，因而传感连接弹簧 32 将惯性块 23 在南北方向上的振动不变地传递到传感位移电极 22。边缘万向架 21 完全地包围

着驱动器和传感器,并且连接位于惯性块 23 的南北两侧的传感位移电极 22。因此,可以以相同的方向和相同的位移操作两侧的传感位移电极 22。

调谐电极 34 一共有四个,每个调谐电极 34 形成在两个南北传感位移电极 22 的东西两侧,并且由玻璃基底 10 的支撑柱 11 固定。在面对传感位移电极 22 的调谐电极的表面上形成有间隔的齿形部分,并且在面对调谐电极 34 的传感位移电极的表面上也形成有间隔的齿形部分。传感位移电极 22 的齿面对调谐电极 34 的齿,并且传感位移电极 22 的间隔面对调谐电极 34 的间隔。

在惯性块 23 中央形成的空腔中心形成的位移限制轴 33 防止惯性块 23 位移超过预定距离,并且它是由玻璃基底 10 的一个支撑柱(未示出)固定的。当惯性块 23 被停止时,位移限制轴 33 在一侧与惯性块 23 以预定间隙分开。

现在说明驱动上述结构的陀螺仪的方法和传感方法。

当给驱动固定电极 26 提供电力时,驱动位移电极 24 依照提供给驱动固定电极 26 的电力的频率被静电驱动,并且在东西方向上振动。惯性块 23 也以和驱动位移电极 24 相同的方式振动。当在这种状态下向陀螺仪施加扭矩时,惯性块 23 受到南北方向的力,并且在南北方向上振动。惯性块 23 的南北方向振动被不变地传递到传感位移电极 22,并且使传感位移电极 22 以相同的方式振动。当传感位移电极 22 振动时,使传感固定电极 25 与传感位移电极 22 之间产生的电容改变,并且通过对变化的传感计算出一个角速率。在这种情况下,调谐电极 34 起到一个电弹簧的作用,并且它改变传感固定电极 25 的谐振频率,以调节传感灵敏度。位移限制轴 33 将惯性块 23 的驱动位移限制在一个均衡值内,以便在一个宽频率范围内保持均衡的位移。这将在随后说明。

现在参考图 5 和图 6,详细地说明应用于本发明的优选实施例的驱动或传感弹簧 27、28、29 和 30 的结构。

图 5 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的驱动或传感弹簧的放大图,图 6 示出了根据本发明的一个优选实施例制造的陀螺仪的驱动或传感弹簧的 SEM 照片。

驱动或传感弹簧包括一个固定轴 1、一个连接器 2、一个内片 3 和一个外片 4。固定轴 1 由玻璃基底 10 的支撑柱 13 固定,连接器 2 将内片 3 与外片 4 连接在一起。内片 3 连接在固定轴 1 与连接器 2 之间,外片 4 连接在连接器 2 和驱动或传感位移电极(是根据驱动弹簧或传感弹簧确定的)之间。这种结构的弹簧被称为折叠弹簧。

参考图 5,提供在硅结构上的薄层是一个金属层。形成这个金属层的目的是在陀螺仪上进行倒装片结合。图 1 至图 4 中省略了这个说明。

参考图 6,在结构周围形成的连接器 2 和空腔被用于在蚀刻玻璃时注入蚀刻剂,以便在制造过程中在空气中升高结构。因此,在结构除了固定轴和窄弹簧片 3 和 4 之外的所有部分上都形成有空腔。

现在参考图 7,详细说明应用于本发明的优选实施例的驱动或传感连接弹簧 31 或 32 的结构。

图 7 示出了根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的驱动或传感连接弹簧的示意图。

连接弹簧包括一个连接器 2、一个内片 3 和一个外片 4,并且没有固定轴。连接器 2 连接内片 3 和外片 4,内片 3 连接到一个驱动位移电极或一个传感位移电极(这是根据驱动连接弹簧或传感连接弹簧确定的),外片 4 连接到惯性块 23。

接下来说明位移限制器的功能。

图 8 示出了根据一个位移限制器的谐振驱动和传感位移的曲线图。

在一个高 Q 值的谐振结构的情况下,由于根据真空度和频率变化的位移变化是很大的,并且使结构的对应输出相应地变化,因而它具有的问题是输出性能对于外部噪声(真空度或频率变化)十分敏感。为了克服这一问题,

本发明的陀螺仪在惯性块中部提供了一个用于限制驱动位移的机械位移限制器，以便将惯性块和驱动器的位移保持在一个均衡值，并且在宽频率范围内保持均衡的位移。此外，如图8所示，尽管在现有陀螺仪的情况下，需要调谐谐振频率以便防止在由于处理误差造成的驱动和传感谐振频率不同时灵敏度降低，而在采用了一个位移限制器的本发明的陀螺仪的情况下，驱动位移被均衡地保持在驱动位移的宽频率范围内，并且将驱动位移均衡地保持在传感谐振频率范围中，因此，能够在传感谐振频率下操作陀螺仪，而无需附加的调谐。

现在说明制造上述结构的陀螺仪的方法。

图9(a)至图9(h)示出了制造根据本发明的一个优选实施例的陀螺仪的过程。

如图9(a)所示，在380℃，将800V电压提供到一个低电阻硅晶片20和Pyrex #7740之类的玻璃基底10两个小时，以进行阳极结合。

如图9(b)所示，利用KOH水溶液蚀刻硅晶片20。在蚀刻之后，硅晶片20的厚度成为70 μm左右，这代表50 μm的硅结构的最终厚度与用于通过化学机械抛光(CMP)产生镜面的20 μm的额外厚度之和。在这种情况下，蚀刻剂是在80℃使用的36%重量的KOH的水溶液，并且对应的蚀刻速度是0.93 μm/min左右。在KOH蚀刻之后，在硅表面上形成了小丘和凹孔。

如图9(c)所示，通过CMP将硅晶片20的表面处理成为镜面。

如图9(d)所示，为了形成用于倒装片结合的电极，沉积厚度分别为200 Å和300 Å的Cr和Au，以形成一个Cr/Au层40。

在图9(e)中，在Cr/Au层40上沉积一个氧化层(未示出)，在其上涂覆光致抗蚀剂，并且进行光处理过程，以形成一个用于定义一个硅结构图形的光致抗蚀剂图形50。在这种情况下，光致抗蚀剂图形包括一个用于形成蚀刻玻璃基底和浮起硅结构所需的蚀刻剂渗透空腔的图形。

如图9(f)所示，利用光致抗蚀剂图形50作为蚀刻掩模蚀刻氧化层，

并且利用光致抗蚀剂图形 50 和氧化层作为蚀刻掩模进行反应离子蚀刻 (RIE)，以形成硅结构图形。然后将其上形成了硅结构图形的硅晶片 20 和玻璃基底 10 切割和分离成小的单元。

如图 9 (g) 所示，为了从玻璃基底 10 分离硅结构 20，在 49% HF 溶液中蚀刻玻璃基底 10。在这种情况下，如上所述，在除了固定轴和弹簧片之外的硅结构的所有部分上形成了空腔，因而蚀刻剂可以到达玻璃基底 10。在这里，通过使结构在玻璃基底上浮起足够的距离，以将空气阻尼降至最小，从而能够制造出在大气压下操作的陀螺仪，并且当使用 HF 溶液蚀刻玻璃时，可以制造出在玻璃基底上浮起至少 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的结构。在这种情况下，必须使结构在玻璃基底上浮起足够的距离，以将空气阻尼降至最低。通过将玻璃基底 10 蚀刻大约 8 分钟，可以使硅结构 20 以大约 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的间隙在玻璃基底 10 上浮起。

如图 9 (h) 所示，最后将包括玻璃基底 10、硅结构和 Cr/Au 层 40 的陀螺仪结构 200 倒装片结合在一个用于在一个印刷电路板 (PCB) 100 上布线的电极结构上。在这种情况下，将结合剂 300 与陀螺仪结构 200 的固定轴部分接触。

在上述方法中，在形成硅结构图形时使用了光致抗蚀剂和氧化层作为蚀刻掩模，但是，也可以仅使用光致抗蚀剂。

现在说明根据本发明的陀螺仪的特征。

陀螺仪是根据十分简单的过程制造的，并且在整个过程中仅执行了一次用于制造陀螺仪结构的光刻过程。制造的陀螺仪仅具有一个结构层，并且最后进行了倒装片结合，从而将陀螺仪连接到一个电路。

陀螺仪结构的驱动器和传感器采用了一种梳状结构，并且被设计为通过增大离开基础表面的间隙使空气阻尼降至最小，以及保留了大气压下的高 Q 值，从而能够确定现有陀螺仪设计中没有考虑过的 Q 值公式，并且可以根据布置形式预测结构的 Q 值，以便使机械灵敏度最高。在这种情况下，考

虑了库爱特流动、斯托克斯流动和挤压阻尼以预测 Q 值。

此外，为了获得最高灵敏度，将一个最大的电极结构集成在给定的陀螺仪区域中，以便具有大到 $10\ \mu\text{m}$ 的大驱动位移，并且设计了对应的机械结构，以使陀螺仪的机械干扰最小以及对外部噪声不敏感。为了消除外部噪声的影响，将结构的驱动和传感频率设计为大于 5kHz ，并且将驱动和传感频率设计为不匹配，而是间隔大约 50Hz ，以便增大带宽。驱动和传感频率被分别预定为 $7,088\text{Hz}$ 和 $7,132\text{Hz}$ 。

此外，在根据本发明的陀螺仪的情况下，将一个人工地限制位移的位移限制器附加到陀螺仪，这使得在宽频率范围内保持驱动位移以加宽带宽，并且减小了调谐的必要性。

陀螺仪结构具有基本上与二维结构相同的形式，并且驱动模式和传感模式存在于相同的平面中。由于陀螺仪的灵敏度随惯性块的增大而提高，因而陀螺仪的整体质量必须大。此外，也使结构中的梳状电极结构的数量最大，以便使驱动和传感灵敏度最大，并且采用了边缘万向架，以便使机械干扰最小。陀螺仪结构的尺寸是 $8\text{mm}^2 \times 8\text{mm}^2$ ，并且考虑到用于密封的外部框架，整体尺寸是 $10\text{mm}^2 \times 10\text{mm}^2$ 。如上所述，使用了具有优良机械特性的单晶硅，并且将结构的厚度设计为 $50\ \mu\text{m}$ 。此外，使陀螺仪结构在玻璃基底上浮起 $50\ \mu\text{m}$ ，从而减小了阻尼。

如上所述，在以水平方向振动的结构的情况下，为了计算 Q 值，要计算出一个阻尼值，众所周知的阻尼系数以及计算它们的公式如下：

库爱特流动的粘性阻尼系数 $B_{\text{Couette}} = \mu \frac{A}{g}$ ，其中 g 代表空气膜的厚度， A 代表一个球体的面积；

斯托克斯流动的阻尼系数 $B_{\text{Stokes}} = \mu \frac{A}{\delta}$ ，其中 δ 代表渗透深度，其定义为 $\delta(\omega) = \sqrt{\frac{2\nu}{\omega}}$ ， A 表示结构的面积；

挤压阻尼系数 $H_{Hagen} = 7.2\mu l \left(\frac{h}{g}\right)^3$, 其中 g 代表两个片之间的空气膜的厚度,

l 是结构的重叠长度, h 指示结构的高度。

$$Q \text{ 因数} = \frac{\sqrt{K_{SYSTEM} M_{SYSTEM}}}{B} = \frac{\sqrt{K_{SYSTEM} M_{SYSTEM}}}{B_{Couette} + B_{Stokes} + B_{Hagen}}, \text{ 其中 } \mu \text{ 代表空气的绝对粘}$$

性 ($1.78 \times 10^{-5} [\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2]$)。

驱动器具有 426 个梳状电极结构和 6 个用于驱动的折叠弹簧结构。当弹簧的长度设置为 $192 \mu\text{m}$ 时, 弹性系数计算为 2,684, 并且驱动谐振频率计算为 8,299Hz。考虑到整体结构尺寸计算的大气压力下的 Q 因数为 3,565。

当把驱动电压设置为 $V(t) = v_d + v_s \cos \omega_{DRIVE} t = 15 + 3 \cos(2\pi \cdot f_{DRIVE} \cdot t) [\text{V}]$ 时, 如下计算驱动力和驱动位移。

驱动力:

$$F(t) = 4 \cdot \varepsilon_0 \cdot N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \cos \omega_{DRIVE} t = 6.789 \times 10^{-6} \cos \omega_{DRIVE} t [\text{N}]$$

驱动位移:

$$x(t) = 4 \cdot \varepsilon_0 \cdot N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \frac{Q_{DRIVE}}{K_{DRIVE}} \cdot \cos \omega_{DRIVE} t = 9.017 \cos \omega_{DRIVE} t [\mu\text{m}]$$

检测器具有 692 个梳状电极结构和 6 个折叠弹簧。当把弹簧的长度设置为 $157 \mu\text{m}$ 时, 检测器的谐振频率是 8,269Hz, 这个频率稍微小于驱动谐振频率。检测器的 Q 因数计算为 3,765。在这种情况下, 按如下方法计算由输入角速率产生的科里奥利力和对应的位移。

科里奥利力:

$$\begin{aligned} F_{CORIOLIS} &= 2M_{SHUTTLE} V \cdot \Omega \\ &= 2M_{SHUTTLE} \cdot 4\varepsilon_0 N_{DRIVE} \frac{h}{g} v_d v_s \frac{Q_{DRIVE}}{K_{DRIVE}} \omega_{DRIVE} \sin \omega_{DRIVE} t \cdot \Omega_{rad} \\ &= 1.126 \times 10^{-8} \sin \omega_{DRIVE} t \cdot \Omega_{deg} \end{aligned}$$

传感位移:

$$y(t) = \frac{Q_{SENSE}}{K_{SENSE}} \cdot F_{CORIOLIS} = 0.008 \sin \omega_{SENSE} t [\mu\text{m}/(\text{deg}/\text{sec})]$$

因此，陀螺仪的机械灵敏度计算为 $0.008[\mu\text{m}/(\text{deg}/\text{sec})]$ ，电灵敏度计算为 $1.939[\text{fF}/\text{deg}/\text{sec}]$ 。

用于制造根据本发明的陀螺仪的过程采用了一个单一的结构层深 RIE 处理过程，以及一个硅-玻璃阳极结合处理过程。通过使用这些处理过程，可以通过一个单一的光刻处理过程制造陀螺仪结构，并且可以通过倒装片方法与一个电极结构和一个 PCB 结合完成它。

用作深 RIE 蚀刻掩模的氧化层在用牛津 (Oxford) 蚀刻器形成氧化层图形的处理过程中受到底切，这个图形被反射到硅结构，最后，在深 RIE 之后的结构被制造成比现有结构窄大约 $2\mu\text{m}$ 。制造的结构厚度是 $44\mu\text{m}$ ，深 RIE 执行了 33 分钟。在蚀刻玻璃 8 分钟之后，结构完全离开基底，在这种情况下，测量的基底与结构之间的间隙是 $37\mu\text{m}$ 。

根据本发明的陀螺仪具有 426 个驱动电极和 692 个传感电极，并且通过惯性块将驱动和传感电极相互机械隔离。陀螺仪还具有一个在惯性块中央提供的、用于限制位移的位移限制器，最大位移是 $15\mu\text{m}$ 。此外，在元件的外部提供了一个用于减小机械干扰的万向架结构。

为了检查制造的器件的性能，利用大学校际半导体研究中心 (Interuniversity Semiconductor Research Center, ISRC) 的探针台，进行一次简单的驱动性能测量。以驱动器的类似方式，在检查传感器的操作的情况下，提供电压以测量谐振频率和在一个谐振频率下的最大位移，并且在表 1 中粗略地示出了制造和性能测量结果。

表 1

	梳齿	弹簧		厚度	Q	位移	频率
	宽度 (μm)	长度 (μm)	宽度 (μm)	(μm)		nt (μm)	ncy (Hz)
驱动							
设计	5	192	5	44	3565	9.017*	8907
制造的	4.3	194	4.3	44	2327	4**	6563
传感							
设计	5	165	5	44	3765	0.008/ $^{\circ}/\text{s}$	8863
制造的	4.3	167	4.3	44	2178	..	6523

在这里，*代表施加电压 $V(t) = 15 + 3\cos\omega_{drive}t[\text{V}]$ (双向) 后计算的位移，**代表施加电压 $V(t) = 7.5 + 7.5\cos\omega_{drive}t[\text{V}]$ (单向) 后测量的位移。

当把电压提供到 23 个器件以测量谐振频率时，接连检查 20 个器件的驱动器的操作、传感器的操作或者驱动器和传感器的操作。谐振频率在 5,500Hz 和 6,500Hz 范围之内，具体地讲，它们集中在 5,500Hz 与 6,000Hz 范围之间。此外，在检查器件中的驱动器和传感器的谐振的情况下，检查两个谐振频率之差是否均衡地保持在 50Hz 左右。在监视器件在驱动器或传感器方向的谐振的情况下，或在器件谐振频率之差较大的情况下，检查弹簧是否损坏，或是否粘结在一个单一的方向上。

如图 1 所示，在谐振时的位移产生一个小于实际设计的值，这是因为由于单向驱动减小了位移，由于基底与结构之间的间隙制造得窄于设计的间隙而使空气阻尼增大和 Q 值减小，以及由于梳状电极结构的底座和底切使得梳状电极之间的间隙增大。

此外，人为地提高驱动电压以检查位移限制器的功效。在位移限制器限制了位移的情况下，检查 $15\mu\text{m}$ 的驱动位移最大值是否保持在数百赫兹的范围内，从而能够阻挡外部噪声和获得宽的带宽。

本发明提供了一种静电驱动和电容传感的角速率传感器。通过使用单晶

硅显微机械加工技术，可以制造大的陀螺仪，因而提供了一种可以在大气压下操作的陀螺仪；并且使用了硅-玻璃结合技术、硅蚀刻技术和倒装片结合技术来制造陀螺仪。这代表了一种十分简单的处理过程，在这个处理过程中，通过一个单一的光刻过程提供了一个在其前侧具有蚀刻空腔的陀螺仪结构，并且进行玻璃蚀刻时无需附加的光刻过程。特别是，通过使用倒装片结合，可以把制造的陀螺仪结构直接地集成到一个电路中，而无需附加的封装过程，并且由于陀螺仪可以在大气压下操作，本发明的陀螺仪可以解决现有陀螺仪的真空密封过程的问题。

本发明设计的结构使得它可以具有尽可能多的驱动和传感电极和尽可能大的惯性块，从而在大气压下获得高灵敏度，并且它可以在高频率下具有大的驱动操作位移，从而消除了外部噪声造成的影响。由于陀螺仪结构具有在同一平面上的驱动模式和传感模式，因而它采用了可以消除现有陀螺仪的机械干扰的操作原理，并且它具有一种周边万向架结构，从而使机械干扰降至最低。此外，机械地增加了一个用于限制驱动位移的位移限制器，从而提供了一种具有无需附加调频的高灵敏度的陀螺仪，并且增加了陀螺仪操作带宽。

制造的陀螺仪可以在大气压下操作，并且在大气压下十分灵敏。

尽管结合现在认为是最可实施和优选的实施例说明了本发明，但是应当知道，本发明并不局限于公开的实施例，而是相反，本发明应当覆盖包括在附属权利要求的精神和范围内的各种修改和等效方案。

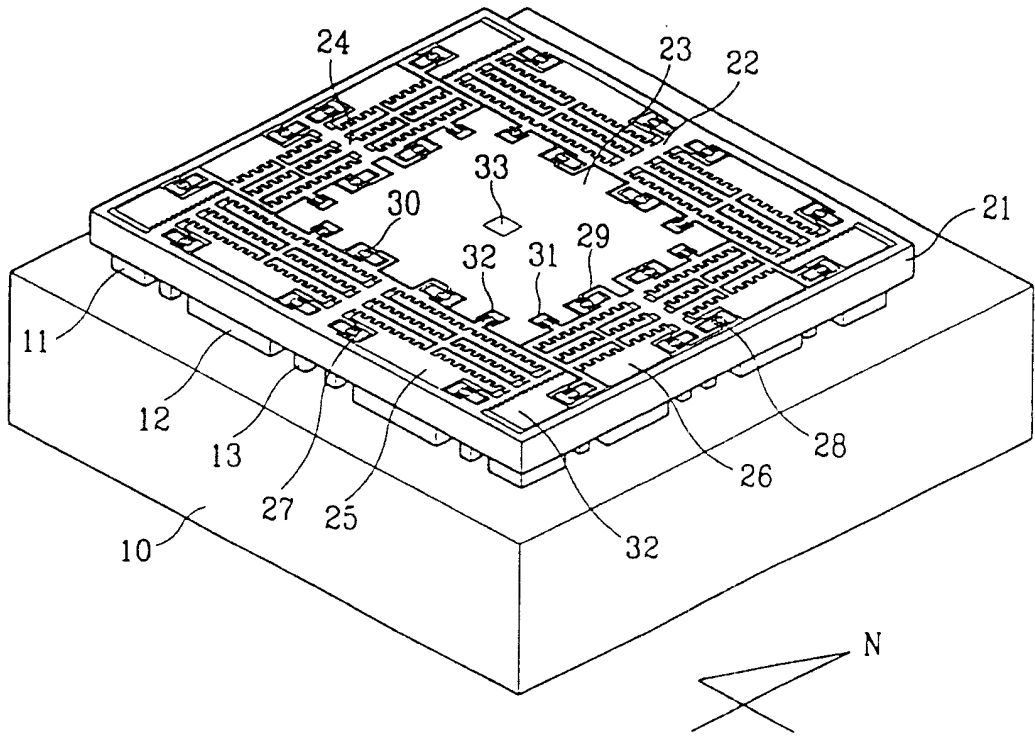


图 1

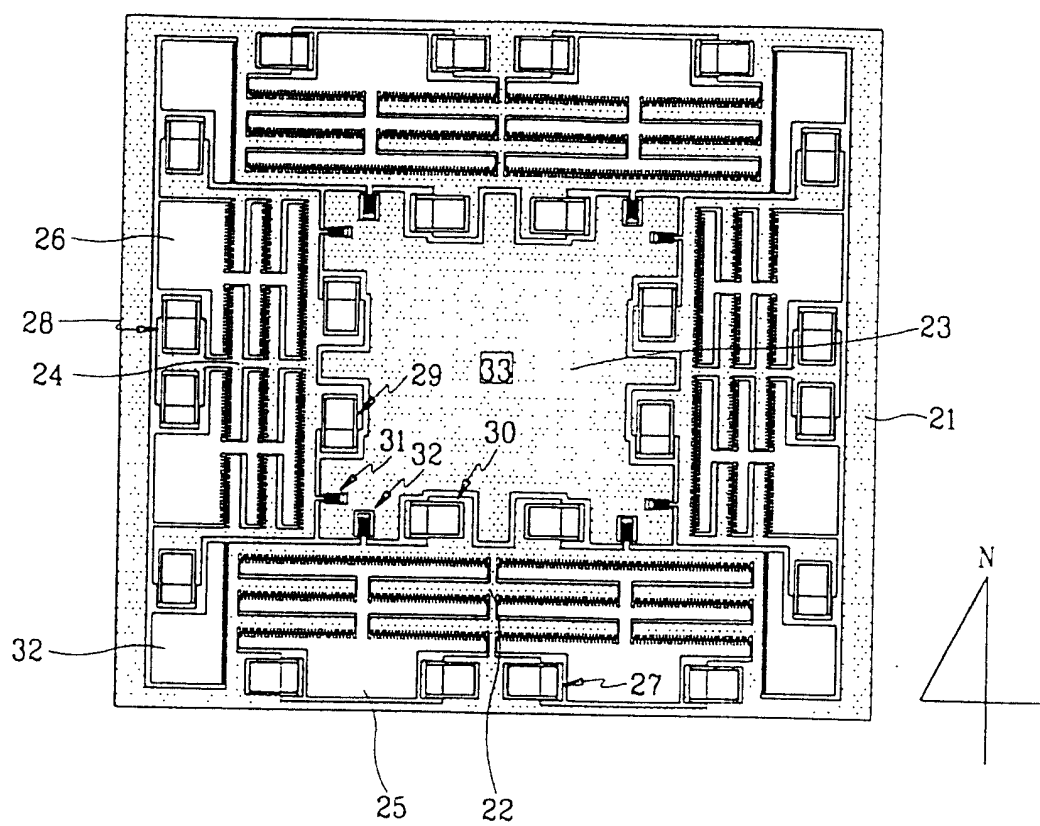


图 2

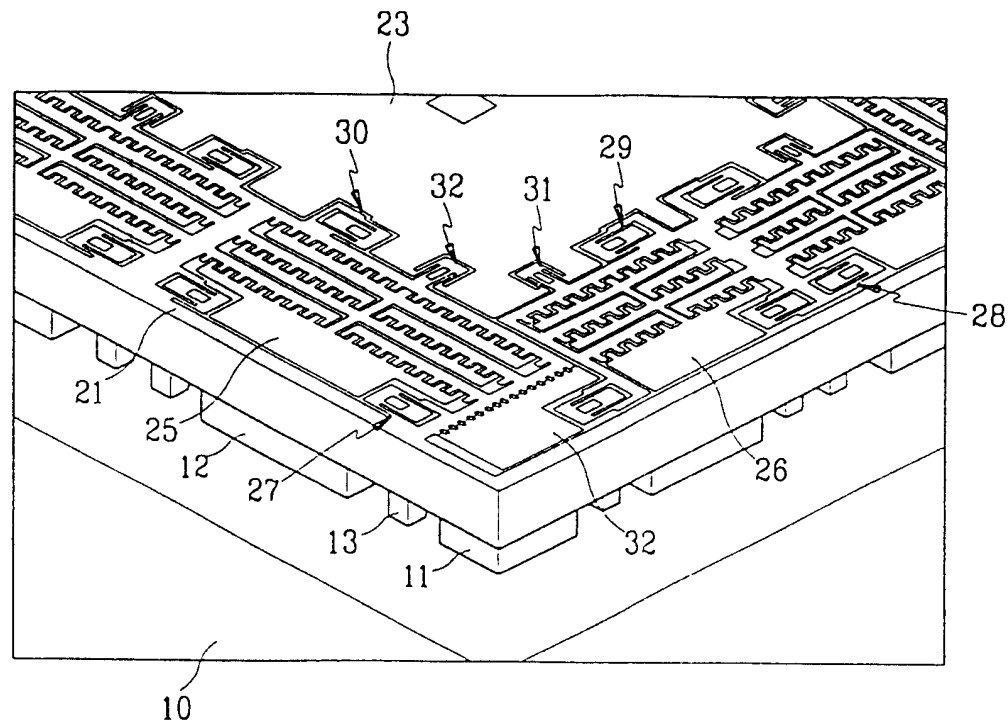


图 3

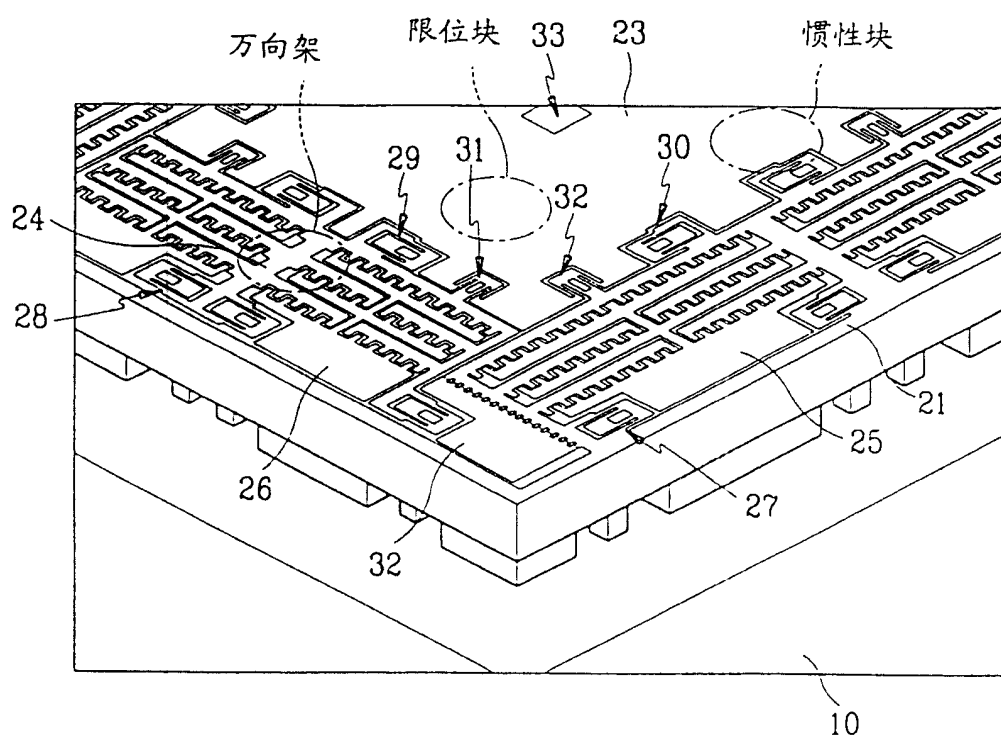


图 4

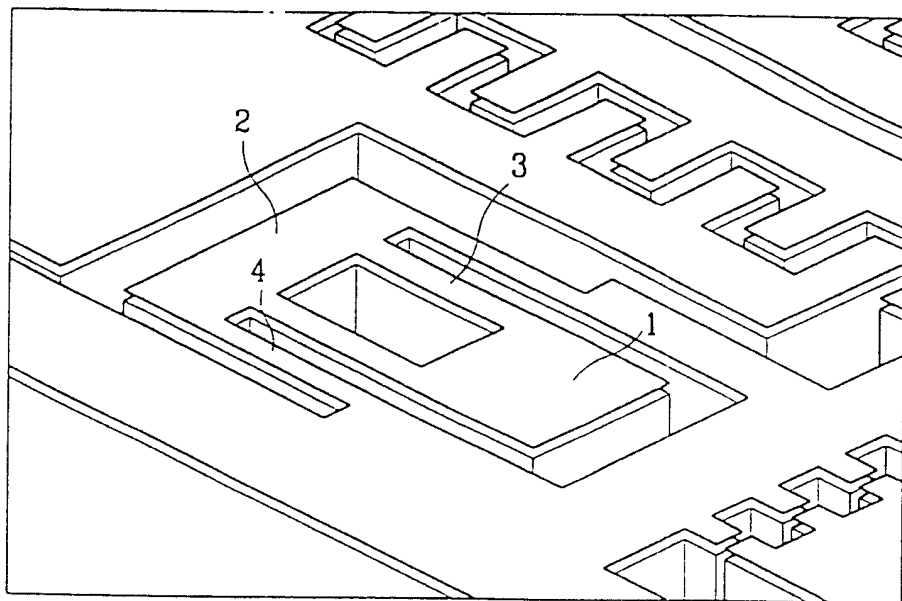


图 5

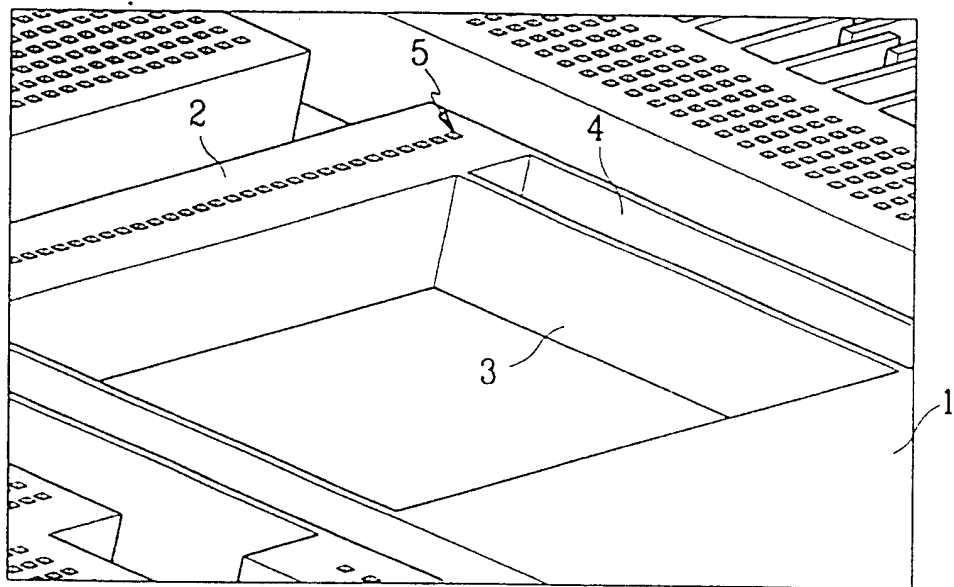


图 6

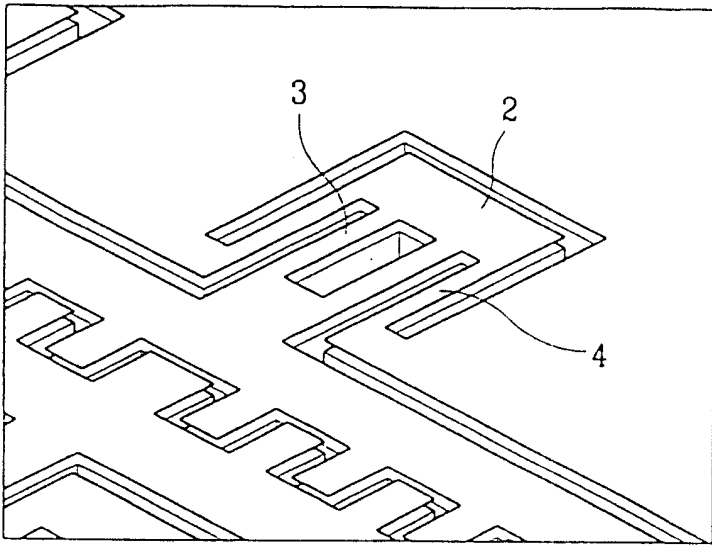


图 7

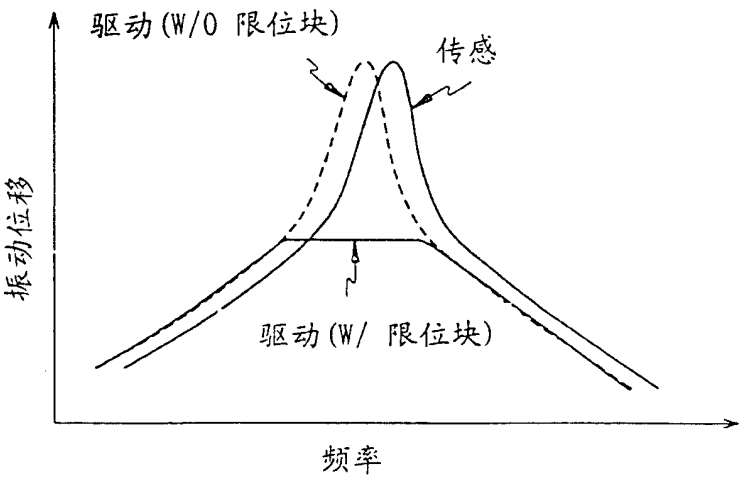


图 8

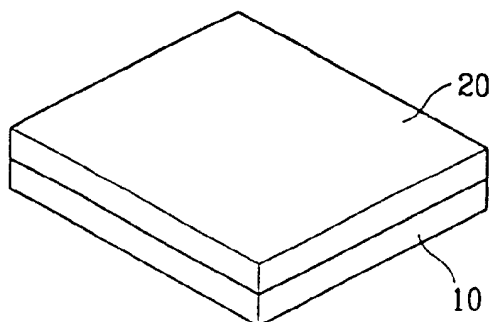


图 9 A

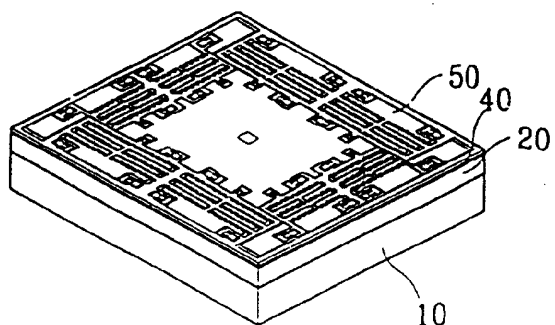


图 9 E

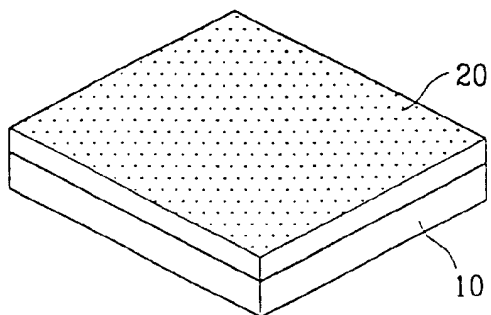


图 9 B

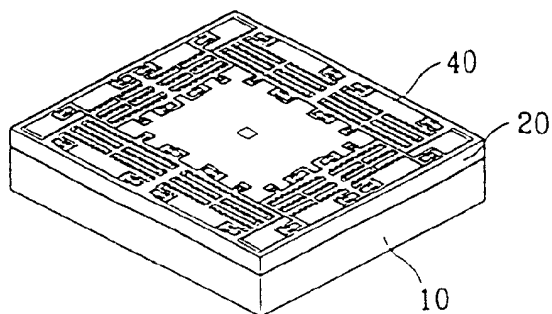


图 9 F

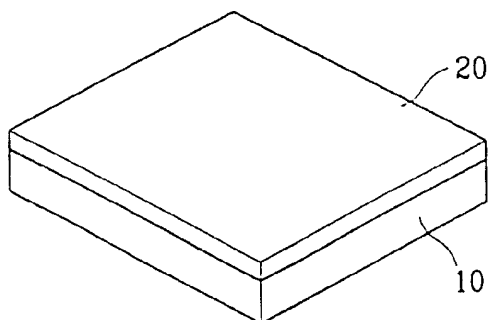


图 9 C

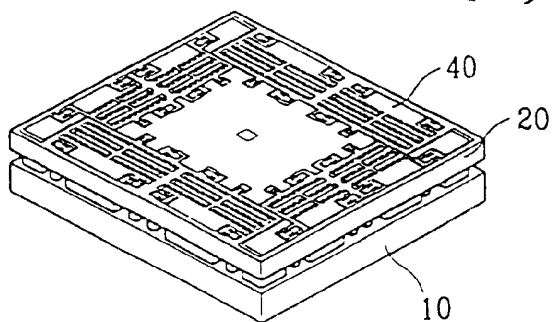


图 9 G

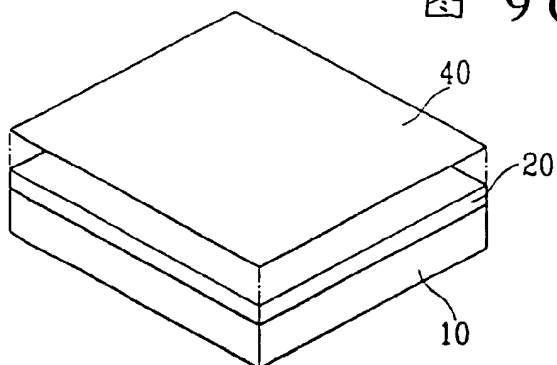


图 9 D

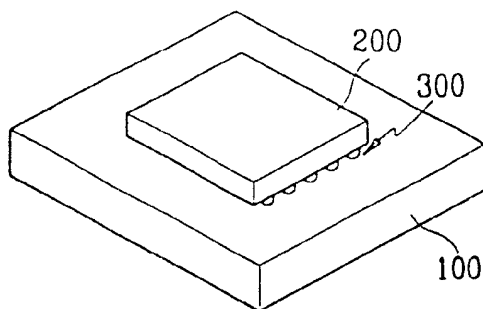


图 9 H