



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1828224 B

(45) 授权公告日 2010.07.28

(21) 申请号 200610073968.2

(22) 申请日 2006.03.06

(30) 优先权数据

106717/05 2005.03.04 JP

176870/05 2005.06.16 JP

176871/05 2005.06.16 JP

380330/05 2005.12.28 JP

(73) 专利权人 索尼株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 高桥和夫 稻熊辉往 相泽学

领木浩二 佐佐木伸 中盐荣治

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 陶凤波 侯宇

(51) Int. Cl.

G01C 19/56 (2006.01)

(56) 对比文件

JP 特开平 10-148529 A, 1998.06.02, 全文.

US 5635642 A, 1997.06.03, 全文.

JP 特开平 11-351874 A, 1999.12.24, 说明

书第 0004、0011、0026 至 0059 段以及图 1 至图 9.

US 6578420 B1, 2003.06.17, 说明书第 9 栏第 33 行至 40 行以及图 12.

US 5765046 A, 1998.06.09, 说明书第 15 栏第 39 行至第 16 栏第 49 行、第 30 栏第 10 行至 18 行以及图 13、14.

说明书第 26 栏第 51 行至第 27 栏第 14 行以及图 32.

JP 特开平 7-113643 A, 1995.05.02, 全文.

JP 特开 2004-93158 A, 2004.03.25, 全文.

CN 1334914 A, 2002.02.06, 全文.

US 5796000 A, 1998.08.18, 全文.

审查员 张筠

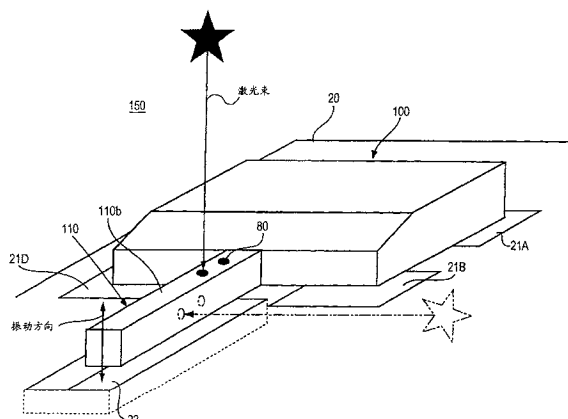
权利要求书 3 页 说明书 27 页 附图 61 页

(54) 发明名称

振动陀螺传感器和调节振动陀螺传感器的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种包括振动陀螺传感器元件的振动陀螺传感器,该振动陀螺传感器元件包括悬臂振动器,该悬臂振动器在第一表面上包括压电膜、驱动电极和一对检测电极,以及在其上安装该振动陀螺传感器元件的支撑基底。将该振动陀螺传感器元件安装在该支撑基底上以使该悬臂振动器的第一表面面对该支撑基底。将除了该悬臂振动器的第一表面之外的区域界定为激光加工区域,在该激光加工区域中将形成用于调节该悬臂振动器的振动特性的凹陷。



1. 一种振动陀螺传感器,包括:

包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件,所述悬臂振动器包括在第一表面上的压电膜、驱动电极和一对检测电极;以及

在其上安装所述振动陀螺传感器元件的支撑基底,其中,

将所述振动陀螺传感器元件安装在所述支撑基底上以使所述悬臂振动器的第一表面面对所述支撑基底,以及

将除了所述悬臂振动器的第一表面之外的区域界定为激光加工区域,在所述激光加工区域中形成用于调节所述悬臂振动器的振动特性的凹陷。

2. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述凹陷被形成以调节所述悬臂振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差。

3. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述凹陷被形成以调节从所述一对检测电极输出的信号之间的差。

4. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述凹陷被形成以调节所述悬臂振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从所述一对检测电极输出的信号之间的差。

5. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述激光加工区域是与所述第一表面相对的表面。

6. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述激光加工区域是连接与所述第一表面相对的表面和与所述第一表面相邻的侧面的脊线区域。

7. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述激光加工区域是与所述第一表面相邻的侧面。

8. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述凹陷是在不同位置形成的多个凹陷。

9. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述凹陷位于距离所述悬臂振动器的底部超过 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的位置,所述底部位于与所述悬臂振动器的尖部相对的一侧。

10. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述凹陷是以步进状图案提供的多个凹陷。

11. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中提供所述凹陷以调节所述悬臂振动器的共振频率。

12. 根据权利要求11的振动陀螺传感器,其中所述凹陷位于距离所述悬臂振动器的底部超过所述悬臂振动器总长度五分之四的位置,所述底部位于与所述悬臂振动器的尖部相对的一侧。

13. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中熔化所述激光加工区域的至少一部分以形成平滑表面。

14. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中连接与所述第一表面相对的表面和与所述第一表面相邻的侧面的脊线区域在所述悬臂振动器的横截面上看是弯曲的。

15. 根据权利要求1的振动陀螺传感器,其中所述悬臂振动器的底部两侧是弯曲的,所述底部位于与所述悬臂振动器的尖部相对的一侧。

16. 一种调节振动陀螺传感器的方法,所述振动陀螺传感器包括振动陀螺传感器元件和在其上安装所述振动陀螺传感器元件的支撑基底,所述振动陀螺传感器元件包括悬臂振

动器,所述悬臂振动器在第一表面上具有压电膜、驱动电极和一对检测电极,所述方法包括步骤:

在所述支撑基底上安装所述振动陀螺传感器元件以使所述悬臂振动器的第一表面面对所述支撑基底;以及

通过在激光加工区域上实施激光加工而调节所述悬臂振动器的振动特性,所述激光加工区域是除了所述悬臂振动器第一表面之外的区域。

17. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中在调节步骤中,将所述悬臂振动器的振动方向调节为垂直于所述支撑基底的方向。

18. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中,
测量所述悬臂振动器的垂直和水平初始共振频率的频率差,和
基于所述测量的频率差确定所述悬臂振动器的激光加工区域。

19. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中基于从所述一对检测电极输出的左和右初始检测信号来确定所述悬臂振动器的激光加工区域。

20. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中通过基于所述悬臂振动器的垂直和水平初始共振频率的频率差以及从所述一对检测电极输出的左和右初始检测信号来确定所述悬臂振动器的激光加工区域,同时实施频率调节以及左和右检测信号的调节。

21. 根据权利要求 20 的调节振动陀螺传感器的方法,还包括步骤:

测量在当垂直振动所述悬臂振动器时通过从所述左和右检测信号读出工作频率而得到的垂直共振频率和在水平振动所述悬臂振动器时通过从所述左和右检测信号读出工作频率而得到的水平共振频率之间的频率差,从而得到失调水平,并且测量当垂直振动所述悬臂振动器时所述左和右检测信号之间的差以获得差分信号;以及

加工基于在测量步骤得到的所述失调水平和差分信号而确定的所述悬臂振动器的激光加工区域,

其中重复所述测量步骤和加工步骤直到在测量步骤中得到的失调水平和差分信号达到目标值。

22. 根据权利要求 21 的调节振动陀螺传感器的方法,其中,

通过加工所述悬臂振动器的底部的区域而进行粗调,和

通过加工所述悬臂振动器的尖部的区域而进行细调,所述底部位于与所述悬臂振动器的尖部相对的一侧。

23. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中通过确定所述激光加工区域而将所述悬臂振动器调节到垂直方向上的振动模式,从而当所述悬臂振动器在水平共振频率振动时使从所述一对检测电极输出的信号之间的差为最小。

24. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,还包括步骤:

通过在距离所述悬臂振动器的底部超过所述悬臂振动器总长度五分之四的位置实施激光加工来调节所述悬臂振动器的共振频率,所述底部位于与所述悬臂振动器的尖部相对的一侧。

25. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,还包括步骤:

在调节所述悬臂振动器的振动特性之前利用激光束照射所述激光加工区域来熔化和平滑所述悬臂振动器的激光加工区域。

26. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中,
通过在硅基底上蚀刻 U 形凹槽来形成所述悬臂振动器的外部形状,和
通过实施过度蚀刻而弯曲脊线区域,所述脊线区域是连接与所述悬臂振动器第一表面
相对的表面和与所述第一表面相邻的侧面的区域。

27. 根据权利要求 16 的调节振动陀螺传感器的方法,其中,
通过在硅基底上蚀刻 U 形凹槽而形成所述悬臂振动器的外部形状,和
从所述悬臂振动器相应的侧面在所述悬臂振动器的底部的区域向外弯曲所述 U 形凹
槽的每个边,所述底部位于与所述悬臂振动器的尖部相对的一侧。

振动陀螺传感器和调节振动陀螺传感器的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种例如用于摄像机的抖动检测、虚拟现实设备中的运动检测或汽车导航系统中的方向检测的角速度传感器,以及,更具体而言涉及一种包括悬臂振动器的小型振动陀螺传感器及其调节方法。

背景技术

[0002] 作为一种公知的商业角速度传感器,广泛使用振动陀螺传感器,该振动陀螺传感器被配置为通过使悬臂振动器以预定共振频率振动和使用压电装置检测由于该角速度而产生的科里奥利 (Coriolis) 力。

[0003] 已知振动陀螺传感器的优点在于它具有简单的机构、短起动时间以及低制造成本。将这种已知振动陀螺传感器安装在诸如摄像机,虚拟现实设备或汽车导航系统的电子装置上,以分别起到抖动检测传感器、运动检测传感器或方向检测传感器的作用。

[0004] 通过使用机械来切割压电材料从而构造具有预定形状的振动器来制造已知的振动陀螺传感器。由于安装在已知振动陀螺传感器上的部件的尺寸和重量被减小,且该部件的功能和性能被提高,所以需要该振动陀螺传感器具有更小的尺寸和更高的性能。然而,由于机械加工精度的限制,很难制造高精度的小型振动器。

[0005] 因此,近来提出一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器,通过应用半导体加工中使用的薄膜技术而在硅基底上形成一对中间夹有压电薄膜的电极层(例如,参考日本未审查专利申请公开 No. 7-113643)。通过减小尺寸和厚度,这种振动陀螺传感器可以与用于其它目的的传感器结合而构成复杂而先进的系统。

[0006] 振动陀螺传感器的振动器通常被形成为为棱形的形状,但是通过机械加工或薄膜形成工艺很难制造完全对称的振动器。因此,所制造的振动器相对于中心线是不对称的。当不对称的振动器振动时,该振动器的振动方向将相对于该振动器的中心线倾斜,并且不垂直于该支撑基底。当该振动器的振动方向倾斜时,在该振动器上对称提供的检测电极对所产生信号的幅度将会不一致。因此,该振动器的特性将是不稳定的。

[0007] 因而,对于已知的振动陀螺传感器,使该不对称振动器的表面接地以调节该振动器的质量平衡(参见日本未审查专利申请公开 No. 2000-65579),或者在该振动器被固定到该支撑基底的位置调节该振动器的振动特性(参见日本未审查专利申请公开 No. 2001-330440)。

发明内容

[0008] 然而,对于使用半导体工艺制造的精密的小型振动陀螺传感器,应用上述调节已知振动陀螺传感器的方法是非常困难的。

[0009] 而且,还存在这种可能,即当调节精密的小型振动陀螺传感器的振动时,会破坏在振动器表面上提供的压电薄膜和各种电极薄膜,导致稳定的压电特性的丧失。还有这种可能,即在振动器表面上执行的、用于调节振动器振动特性的处理所引起的振动器强度减少

会降低该振动器的耐用性。

[0010] 本发明考虑到了上述问题,进而提供一种具有振动器的振动陀螺传感器,可以调节该振动器的振动特性,同时能保持稳定的特性和较高的强度,以及一种调节该振动陀螺传感器的方法。

[0011] 为了解决上述问题,根据本发明一个实施例的振动陀螺传感器包括具有悬臂振动器的振动陀螺传感器元件和在其上安装该振动陀螺传感器元件的支撑基底,该悬臂振动器包括压电薄膜、驱动电极和在第一表面上的一对检测电极。将该振动陀螺传感器元件安装在该支撑基底上以使该悬臂振动器的第一表面面对该支撑基底,和将除了该悬臂振动器的第一表面之外的区域界定为激光加工区域,其中将形成用于调节该振动器的振动特性的凹陷。

[0012] 根据本发明的一个实施例,一种调节振动陀螺传感器的方法,该振动陀螺传感器包括振动陀螺传感器元件和支撑基底,在该支撑基底上安装该具有悬臂振动器的振动陀螺传感器元件,该悬臂振动器具有压电薄膜、驱动电极和在第一表面上的一对检测电极,该方法包括的步骤为:将该振动陀螺传感器元件安装在该支撑基底上以使该悬臂振动器的第一表面面对该支撑基底,和通过在激光加工区域实施激光加工而调节该振动器的振动特性,该区域是除了该悬臂振动器的第一表面之外的区域。

[0013] 如上所述,根据本发明的一个实施例,当将该振动陀螺传感器元件安装在该支撑基底上以使包含在该振动陀螺传感器中的该振动器的第一表面面对该支撑基底时,通过在激光加工区域对该振动器面对该振动陀螺传感器元件上表面的表面实施激光加工而形成用于调节该振动特性的凹陷。该凹陷在一个位置形成,从而可以以这种方式调节不对称振动器的振动特性而使该振动器在预定方向上振动。

[0014] 该振动器上的激光加工区域面对安装在该支撑基底上的该振动陀螺传感器元件的上或侧表面,可以通过使用激光束照射该激光加工区域而容易地调节该振动器的振动特性。由于在该振动器安装到支撑基底上之后调节该振动特性,所以可以防止该振动特性在安装前后发生变化,并且可以通过在安装后观察该振动特性,而于安装后在工作范围内调节每个单独的振动陀螺传感器元件。

[0015] 该激光加工区域是指与提供该压电薄膜等的该第一表面相对的表面,或者连接这些表面的脊线区域(ridge line area)。因此,由于该激光加工区域是距离该第一表面有一定距离的区域,所以必须尽可能地防止由于激光加工期间所产生的热量而导致的压电质量和/或极化状态的变化。

[0016] 为了获得具有稳定质量的角速度传感器,需要将由于该振动器形状变化而引起的垂直和水平共振频率的频率差与共振时的左和右信号波形的幅度和相位相匹配。根据本发明的一个实施例,在调节之前监视该频率差和检测信号的波形差以确定要处理的部分。

[0017] 更具体地,把从该振动器在垂直共振状态振动时产生的检测信号中读出的工作频率定义为垂直共振频率。把这对检测信号的差定义为差分信号。然后,把从该振动器在水平共振状态振动时产生的检测信号中读出的工作频率定义为水平共振频率。该水平共振频率和垂直共振频率之间的差被定义为失调(detuning)水平。重复上述过程直到该失调水平和差分信号到达目标值。

[0018] 该调节效果取决于被激光加工部分的位置。由于随着该被激光加工的部分从振动

器的底部向顶部移动时该频率差和检测信号平衡之间的变化量会变小,所以可以通过处理该底部而进行粗调和通过处理该顶部而进行细调。通过控制该被激光加工部分的位置和激光加工的深度,可以保持该振动器抵抗下落冲击(dropping impact)的强度和耐用性。

[0019] 如上所述,对于根据本发明一个实施例的安装在支撑基底上的振动陀螺传感器元件的振动器,在除了该振动器的提供压电层等的表面之外的区域形成用于调节振动特性的凹陷。因而,能够在安装该振动器之后调节该振动器的振动特性,并且可以防止该压电薄膜在调节期间的变化。

[0020] 因为该振动特性是通过在振动器的其上设置该压电薄膜等的表面上进行激光加工而调节的,所以通过半导体加工生产的该小型振动陀螺传感器元件能够保持抵抗外部冲击的稳定的检测性能和高耐用性,同时可以很容易地进行精密和准确的调节。

附图说明

[0021] 图 1A 和 1B 示出了根据本发明第一实施例的振动陀螺传感器元件的示意性透视图;

[0022] 图 2 示出了图 1 所示振动陀螺传感器元件的示意性底视图;

[0023] 图 3 示出了安装在支撑基底上的图 1 所示振动陀螺传感器元件的示意性透视图;

[0024] 图 4A 和 4B 示出了图 1 所示振动陀螺传感器元件的削边和熔化面(chamfering and melted face)的透视图;

[0025] 图 5 示出了图 1 所示振动陀螺传感器元件的驱动检测器电路的框图;

[0026] 图 6 示出了制造图 1 所示振动陀螺传感器元件的工艺中的主要步骤的流程图;

[0027] 图 7A 和 7B 示出了图 1 所示振动陀螺传感器元件的制造工艺的示意图,其中图 7A 是单晶硅基底的平面图,图 7B 是沿图 7A 中的 VIIB-VIIB 线得到的横截面图;

[0028] 图 8A 和 8B 示出了图 7A 和 7B 中所示基底去除热氧化膜后的示意图,其中图 8A 是平面图,图 8B 是沿图 8A 中的 XIIIB-XIIIB 线得到的横截面图;

[0029] 图 9A 和 9B 示出了图 7A 和 7B 中所示基底去除热氧化膜后的示意图,其中图 9A 是平面图,图 9B 是沿图 9A 中的 IXB-IXB 线得到的横截面图;

[0030] 图 10A 和 10B 示出了图 7A 和 7B 中所示基底执行各向异性腐蚀后的示意图,其中图 10A 是平面图,图 10B 是沿图 10A 中的 XB-XB 线得到的横截面图;

[0031] 图 11 示出了图 10B 所示基底中的区域 W 的放大图;

[0032] 图 12A 和 12B 示出了提供了下电极薄膜、压电薄膜和上电极薄膜的图 10B 所示基底的放大图,其中图 12A 是平面图,图 12B 是沿图 12A 中的 XIIB-XIIB 线得到的横截面图;

[0033] 图 13A 和 13B 示出了提供了检测电极的图 10B 所示基底的放大图,其中图 13A 是平面图,图 13B 是沿图 13A 中的 XIIIB-XIIIB 线得到的横截面图;

[0034] 图 14A 和 14B 示出了提供了压电薄膜的图 10B 所示基底的放大图,其中图 14A 是平面图,图 14B 是沿图 14A 中的 XIVB-XIVB 线得到的横截面图;

[0035] 图 15A 和 15B 示出了提供了下电极薄膜的图 10B 所示基底的放大图,其中图 15A 是平面图,图 15B 是沿图 15A 中的 XVB-XVB 线得到的横截面图;

[0036] 图 16 示出了提供了布线基膜的图 10B 所示基底的放大图;

[0037] 图 17 示出了沿图 16 中的 XVII-XVII 线得到的横截面图;

- [0038] 图 18 示出了提供了压平的保护膜的图 10B 所示基底的放大图；
- [0039] 图 19 示出了沿图 18 中的 XIX-XIX 线得到的横截面图；
- [0040] 图 20 示出了提供了布线连接端的图 10B 所示基底的放大图；
- [0041] 图 21 示出了沿图 20 中的 XXI-XXI 线得到的横截面图；
- [0042] 图 22 示出了提供了极化轨 (polarization rails) 的图 10B 所示基底的放大图；
- [0043] 图 23 示出了提供了绝缘保护膜 of 图 10B 所示基底的放大图；
- [0044] 图 24 示出了沿图 23 中的 XXIV-XXIV 线得到的横截面图；
- [0045] 图 25 示出了图 10B 所示基底的放大图,其中提供了 Cu 引线；
- [0046] 图 26 示出了沿图 25 中的 XXVI-XXVI 线得到的横截面图；
- [0047] 图 27 示出了提供了 Cu 引线的图 10B 所示整个基底的放大图；
- [0048] 图 28 示出了当在该基底上提供背侧停止膜 (backside stopper film) 时该基底的横截面图；
- [0049] 图 29 示出了该基底的放大平面图,在其上通过过去该基底而形成的凹槽来界定振动器悬臂；
- [0050] 图 30 示出了沿图 29 中的 XXX-XXX 线得到的横截面图；
- [0051] 图 31 示出了沿图 29 中的 XXXI-XXXI 线得到的横截面图；
- [0052] 图 32 示出了当该背侧停止膜被去除时该基底的放大平面图；
- [0053] 图 33 示出了沿图 32 中的 XXXIII-XXXIII 线得到的横截面图；
- [0054] 图 34 示出了沿图 32 中的 XXXIV-XXXIV 线得到的横截面图；
- [0055] 图 35A 和 35B 示出了用于稳定该压电特性的极化化工艺,其中图 35A 示出了该整个基底的平面图,图 35B 是该基底的放大平面图；
- [0056] 图 36A 和 36B 示出了在该极化化工艺之后去除不需要的 Cu 引线的基底,其中图 36A 示出了该整个基底的平面图,图 36B 是该基底的放大平面图；
- [0057] 图 37A 和 37B 示出了用于可拆卸芯片 (flit-chip) 的金 (Au) 凸起,其中图 37A 示出了该整个基底的平面图,图 37B 是该基底的放大平面图；
- [0058] 图 38A 和 38B 示出了为了分离作为压电薄膜传感器工作的每个振动陀螺传感器元件而提供的分割线,其中图 38A 示出了该整个基底的平面图,图 38B 是该基底的放大平面图；
- [0059] 图 39 示出了作为压电薄膜传感器工作的振动陀螺传感器元件的平面图；
- [0060] 图 40 示出了安装在 IC 基底上的振动陀螺传感器元件的示意性透视图；
- [0061] 图 41 示出了包括被覆盖的振动陀螺传感器元件的角速度传感器的平面图；
- [0062] 图 42A 和 42B 示出了振动器的对称性和振动模式之间的关系,其中图 42A 示出了具有对称形状的振动器的振动模式,图 42B 示出了具有不对称形状的振动器的振动模式；
- [0063] 图 43A、43B 和 43C 示出了振动陀螺传感器的调节；
- [0064] 图 44 示出了在其上进行激光加工的示例激光加工区域的示意性平面图；
- [0065] 图 45 示出了在激光加工区域上进行的激光加工量和信号平衡的改变之间的关系；
- [0066] 图 46 示出了当通过基于该采样的初始条件确定激光加工区域和进行激光加工而将平衡调节到目标值时平衡的变化；

[0067] 图 47 示出了在悬臂振动器的背表面中心提供的用于激光加工的激光加工区域的示意性平面图；

[0068] 图 48 示出了在激光加工区域中的激光加工量和失调水平变化之间的关系；

[0069] 图 49 示出了在激光加工区域中的激光加工量和平衡变化之间的关系；

[0070] 图 50 示出了当通过基于该采样的初始条件确定激光加工区域和进行激光加工而将失调水平调节到目标值时失调水平的变化；

[0071] 图 51 示出了用于确定当该被激光加工调节过的悬臂振动器以 $100\ \mu\text{m}$ 的振幅振动时,该振动器是否在由激光加工所形成的点断裂的实验结果；

[0072] 图 52 示出了一个柱状图,显示当包括未处理振动器的陀螺传感器被固定到 200-g 刚体上并下落时该振动器断裂的高度；

[0073] 图 53 示出了一个柱状图,显示当包括利用激光加工过的悬臂振动器的陀螺传感器被固定到 200-g 的刚体上并下落时该振动器断裂的高度,其中是在包括图 51 所示的三角形点的范围内对该振动器进行激光加工；

[0074] 图 54 示出了一个柱状图,显示当包括利用激光加工过的悬臂振动器的陀螺传感器被固定到 200-g 的刚体上并下落时该振动器断裂的高度,其中是在包括图 51 所示的圆形点的范围内对该振动器进行激光加工；

[0075] 图 55 示出了具有阶梯形模式 (step-like pattern) 而互相不重叠的激光加工的点的悬臂振动器；

[0076] 图 56 示出了一个柱状图,显示当包括未处理振动器的陀螺传感器被固定到 200-g 的刚体上并下落时,具有以阶梯形模式提供的激光加工点的悬臂振动器断裂的高度；

[0077] 图 57 示出了在与悬臂振动器的后表面中心不重合的位置提供的用于激光加工的激光加工区域的示意性平面图；

[0078] 图 58 示出了在激光加工区域中的激光加工量和失调水平变化之间的关系；

[0079] 图 59 示出了在激光加工区域中的激光加工量和信号平衡变化之间的关系；

[0080] 图 60 示出了由于激光加工而引起的失调水平和平衡的变化；

[0081] 图 61 示出了由于激光加工而引起的失调水平和平衡的变化；

[0082] 图 62A 和 62B 示出了根据本发明第二实施例的悬臂振动器的振动特性,其中图 62A 示出了该振动器的前视图,图 62B 示出了该频率特性；

[0083] 图 63A、63B 和 63C 示出了图 62A 和 62B 中所示振动器的调节过程,其中图 63A 示出了该振动器的前视图,图 63B 示出了该频率特性,图 63C 示出了用于显示该被调节振动器中的问题的频率特性；

[0084] 图 64 示出了配置成驱动悬臂振动器的驱动检测电路的功能框图；

[0085] 图 65A 和 65B 示出了根据本发明第二实施例的悬臂振动器的操作,其中图 65A 示出了该振动器的前视图,图 65B 示出了该频率特性；

[0086] 图 66 示出了根据本发明第三实施例的激光加工区域、共振频率和失调水平之间的关系；

[0087] 图 67 示出了用于调节失调水平的激光加工区域和用于调节共振频率的激光加工区域的示意性平面图；

[0088] 图 68A 和 68B 示出了悬臂振动器的对称性和振动模式之间的关系,其中图 68A 示

出了具有对称形状的悬臂振动器的振动模式,图 68B 示出了具有不对称形状的悬臂振动器的振动模式;

[0089] 图 69A 和 69B 示出了形成界定悬臂振动器外部形状的穿透 (penetration) 部分的工艺,其中图 69A 示出了从该振动器的纵轴方向观察的该主要部分的横截面图,图 69B 示出了从与该振动器纵轴方向正交的方向观察的该穿透部分的主要部分的横截面图;

[0090] 图 70A 和 70B 示出了根据本发明第四实施例的悬臂振动器的操作,其中图 70A 示出了对称振动器的振动模式,图 70B 示出了不对称振动器的振动模式;

[0091] 图 71 示出了振动陀螺传感器元件中的悬臂振动器的基部形状的示意性平面图;

[0092] 图 72A 和 72B 示出了悬臂振动器底部形状的对称性和振动模式之间的关系,其中图 72A 示出了具有对称基部的悬臂振动器的振动模式,图 72B 示出了具有不对称基部的悬臂振动器的振动模式;

[0093] 图 73 示出了根据本发明第五实施例的穿透部分的主要部分的平面图,其中显示了该穿透部分的形成工艺;

[0094] 图 74 示出了根据本发明第五实施例的振动陀螺传感器元件的操作的示意性平面图;和

[0095] 图 75A、75B 和 75C 示出了悬臂振动器基部形状的形成工艺。

具体实施方式

[0096] 下面参照附图将描述本发明的实施例。下面的所述实施例没有限制本发明的范围,在本发明的范围内可以提供该实施例的各种变形。

[0097] 第一实施例

[0098] 图 1A 和 1B 示出了根据本发明一个实施例的振动陀螺传感器元件 100。图 1A 是示出了该整个振动陀螺传感器元件 100 的外部透视图。图 1B 是示出了该振动陀螺传感器元件 100 的振动器 110 的放大透视图。如图 1A 和 1B 所示,从单晶硅基底上切割的振动陀螺传感器元件 100 包括作为悬臂提供的悬臂振动器 110。该悬臂振动器 110 被成形为棱形的形状,从而,该悬臂振动器 110 的与悬臂振动器 110 的纵轴方向正交的横截面是正方形。

[0099] 振动陀螺传感器元件 100 具有 $300\ \mu\text{m}$ 的厚度 t_1 , 3mm 的长度 t_2 , 和 1mm 的宽度 t_3 。该实际振动的悬臂振动器 110 具有 $100\ \mu\text{m}$ 的厚度 t_4 , 2.5mm 的装饰板长度 t_5 和 $100\ \mu\text{m}$ 的宽度 t_6 。该振动的悬臂振动器 110 的共振频率为大约 40kHz 。在这里,这些尺寸仅仅被提供作为例子,并且可以根据振动陀螺传感器元件 100 的使用频率和预期大小而设定为其他任何值。

[0100] 振动陀螺传感器元件 100 被安装在支撑基底 20 上 (参照图 3)。该振动陀螺传感器元件 100 的安装表面是与该支撑基底 20 相对的表面,在图 2 中示出 (底面)。

[0101] 在悬臂振动器 110 的该表面上,参考电极 104a 和压电体 105a 依序堆叠。在压电体 105a 上,将驱动电极 106a 与一对检测电极 106b 和 106c 相互平行地设置在悬臂振动器 110 的纵轴方向上,从而使驱动电极 106a 与一对检测电极 106b 和 106c 不会互相接触。分别为驱动电极 106a、检测电极 106b、检测电极 106c 和参考电极 104a 提供布线连接端 101A、101B、101C 和 101D。

[0102] 压电体 105a 是一种压电薄膜,其例如由诸如钛锆酸铅 (PZT) 的压电陶瓷、或诸如

石英或钽酸镧 (LaTaO_3) 的压电单晶体组成。参考电极 104a、驱动电极 106a 以及检测电极 106b 和 106c 由金属电极或导电氧化物电极构成。

[0103] 图 3 示出了角速度传感器 (振动陀螺传感器) 150 的主要部件的透视图, 该角速度传感器 150 被配置为将振动陀螺传感器元件 100 安装在支撑基底 20 上。如图 2 所示, 将该振动陀螺传感器元件 100 安装在支撑基底 20 上, 面向下朝向该支撑基底 20。根据本实施例, 在振动陀螺传感器元件 100 的布线连接端 101A、101B、101C 和 101D 上提供金属凸起。该布线连接端 101A、101B、101C 和 101D 分别经金属凸起而连接到支撑基底 20 上的焊盘 (lands) 21A、21B、21C 和 21D。

[0104] 参考电极 104a、压电体 105a、驱动电极 106a 以及检测电极 106b 和 106c 在悬臂振动器 110 的前表面 (第一表面) 上堆叠, 该前表面面对支撑基底 20。因此, 与前表面相对的悬臂振动器 110 的表面, 即其上没有设置压电体和各种电极薄膜的悬臂振动器 110 的后表面 110b 面朝上, 如图 3 所示。在与悬臂振动器 110 相对的支撑基底 20 上, 以正交于支撑基底 20 的方向形成具有预定大小和深度的凹陷 (陷窝 (flank)) 22。

[0105] 如下所述, 通过在硅基底上进行反射离子蚀刻 (RIE) 来限定悬臂振动器 110 的外形。此时, 根据蚀刻条件和晶片的位置, 悬臂振动器 110 的形状可以不关于振动方向对称。如果悬臂振动器 110 是不对称的, 则悬臂振动器 110 的重心位置将被偏移到该悬臂振动器 110 的右侧或左侧, 并且会失去悬臂振动器 110 的质量平衡。因此, 悬臂振动器 110 将不会在垂直于支撑基底 20 的方向上振动, 相反地, 而是在向较小质量一侧倾斜的方向上振动。如果悬臂振动器 110 的振动方向被倾斜, 则从左右检测电极 106b 和 106c 输出的检测信号将会有较大差异。因此, 将不能进行精确的角速度检测。

[0106] 因此, 根据本实施例, 在将振动陀螺传感器元件 100 安装到支撑基底 20 上之后, 如图 3 所示, 通过应用下述方法使用激光束照射悬臂振动器 110 的后表面 110b 以形成凹陷 80, 从而将振动陀螺传感器元件 100 的悬臂振动器 110 调节到垂直振动模式。以这种方式, 可以调节悬臂振动器 110 的质量平衡以实现最优的振动模式。通过利用激光束照射悬臂振动器 110 的与前表面 (后表面 110b) 相邻的侧面以形成上述凹陷 80, 从而获得相同的优点。

[0107] 由于悬臂振动器 110 的后表面 110b 在该安装到支撑基底 20 上的振动陀螺传感器元件 100 的上侧露出, 所以可以通过进行激光加工而很容易地调节悬臂振动器 110 的振动特性。此外, 由于是在将振动陀螺传感器元件 100 安装到支撑基底 20 上之后调节该振动特性, 所以可以防止该振动特性在安装振动陀螺传感器元件 100 前后发生变化。另外, 可以在安装振动陀螺传感器元件 100 之后, 在每个单独的振动陀螺传感器元件 100 的使用范围内调节该振动特性。

[0108] 由于用于振动调节的激光加工区域被设置在与振动陀螺传感器元件 100 上提供压电体 105a 等的前表面分离设置的表面上, 所以能够尽可能地防止由在激光加工期间所产生的热量引起的影响, 诸如压电薄膜的质量变化和 / 或极化状态变化。因为悬臂振动器 110 的前表面与振动陀螺传感器元件 100 的底面齐平并且面对支撑基底 20, 所以悬臂振动器 110 受到诸如来自外部的光和热的干扰的影响较小, 从而可以稳定地保持振动陀螺传感器元件 100 的检测性能。

[0109] 在硅基底的表面上有非常细微的凸起和微裂纹。如上所述, 通过在硅基底上执行反射离子蚀刻 (RIE) 来限定悬臂振动器 110 的外形。同时, 由于等离子体在悬臂振动器 110

后表面 110b 和脊线区域上的流动而形成细微条纹,该脊线区域连接悬臂振动器 110 的后表面 110b 和侧面。这种细微凸起和微裂纹将被总称为“细微凸起 127”,如图 4A 所示。在图 4A 中,该细微凸起 127 被放大。

[0110] 当对振动陀螺传感器元件 100 施加较大冲击时,例如当振动时,压力集中在存在于悬臂振动器 110 后表面 110b 和脊线区域中的细微凸起 127 上。因此,在悬臂振动器 110 上可能产生损伤和裂缝。

[0111] 根据本实施例,利用激光束照射悬臂振动器 110 的脊线区域、后表面 110b 和侧面以熔化该硅基底的表面和获得削边部分 130 或熔融表面 134,如图 4B 所示。以这种方式,去除该细微凸起 127。从而,即使当对悬臂振动器 110 施加外部载荷时,也可以防止集中在细微凸起 127 上的压力,从而增加悬臂振动器 110 的机械强度。

[0112] 削边部分 130 和熔融表面 134 的形成是在调节悬臂振动器 110 的振动特性之前进行的。并且使用该用于调节工艺的同一激光设备进行该形成工艺。通过使用同一激光设备,可以容易地形成削边位置 130 和熔融表面 134 而无须进行机械加工,例如精度抛光。然而,用于形成削边位置 130 和熔融表面 134 的激光设备并不限于该用于调节工艺的同一激光设备,也可以使用不同的激光设备。

[0113] 如图 5 所示,当工作且作为配置成用于检测根据角速度产生的科里奥利力的角速度传感器(振动陀螺传感器)时,具有上述结构的振动陀螺传感器元件 100 连接到集成电路(IC)40。IC 40 包括与支撑基底 20 上的振动陀螺传感器元件 100 装配在一起的 IC 装置和其他电子元件(图 3)。

[0114] IC 40 包括加法器电路 41、放大器电路 42、移相电路 43、自动增益控制器 44、差分放大器电路 45、同步检测电路 46 和平滑电路 47。

[0115] 振动陀螺传感器元件 100 的一对检测电极 106b 和 106c 连接到加法器电路 41 和差分放大器电路 45。振动陀螺传感器元件 100 的驱动电极 106a 连接到自动增益控制器 44 的输出端。

[0116] 该角速度传感器组成移相振荡器电路,该移相振荡器电路包括加法器电路 41、放大器电路 42、移相电路 43、自动增益控制器 44 和振动陀螺传感器元件 100。该移相自激励电路在振动陀螺传感器元件 100 的参考电极 104a 和驱动电极 106a 之间施加电压,以自激励悬臂振动器 110 的振动。悬臂振动器 110 的振动方向是悬臂振动器 110 的厚度方向。

[0117] 在该角速度传感器中,该对检测电极 106b 和 106c 连接到加法器电路 41 和差分放大器电路 45,差分放大器电路 45 的输出端连接到同步检测电路 46,以及该同步检测电路 46 连接到平滑电路 47。这些电路以及压电体 105a 作为检测单元工作,该检测单元被配置成用于检测悬臂振动器 110 的角速度。

[0118] 更特别地,如果在悬臂振动器 110 的纵轴方向周围产生角速度,而该振动陀螺传感器元件 100 的悬臂振动器 110 由于上述移相振荡器电路的自激励而振动,则该悬臂振动器 110 的振动方向根据该科里奥利力而改变。在这种情况下,该检测电极 106b 和 106c 的输出中的之一增加,而另一输出减少。通过 IC 40 检测和测量该输出中的至少一个的变化量以确定该悬臂振动器 110 纵轴方向附近的输入角速度。

[0119] 接下来,将说明具有上述结构的根据本实施例的振动陀螺传感器元件 100 的示例制造工艺。图 6 示出振动陀螺传感器元件 100 的制造过程中的主要步骤。

[0120] [基底制备]

[0121] 首先,获得如图 7A 和 7B 所示的硅 (Si) 基底 1。Si 基底 1 的大小可以是取决于要使用的薄膜工艺线的任何大小。根据本示例的 Si 基底 1 是具有 4 英寸直径的晶片。Si 基底 1 的厚度基于可用性和成本来确定,并且大于悬臂振动器 110 的厚度。根据本示例的 Si 基底 1 的厚度是 $300\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0122] 在各向异性湿法蚀刻期间作为保护掩模使用的热氧化膜 (SiO_2 膜) 2A 和 2B 被设置在 Si 基底 1 的两侧。热氧化膜 2A 和 2B 的厚度并不受限制。根据本示例的热氧化膜 2A 和 2B 的厚度是大约 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 。根据本示例的 Si 基底 1 是 N 型基底。然而,该基底的类型不仅限于此。该基底被切割以使如图 7A 所示 Si 基底 1 的平面是 (100) 定向平面和使如图 7B 所示 Si 基底 1 的横截面是 (110) 定向平面。

[0123] [膜片形成]

[0124] 下面,如图 8A 和 8B 所示,提供具有开口的抗蚀剂图案膜 (resist patternfilm) 3,该开口对应于将从设置在 Si 基底 1 后表面上的热氧化膜 2B 去除的区域。作为一种形成该抗蚀剂图案膜 3 的方法,应用在标准半导体薄膜生产过程中使用的光刻技术。根据本示例的该抗蚀剂材料是 Tokyo Ohka KogyoCo.,Ltd 生产的 OFPR-8600。然而,该抗蚀剂材料的类型并不仅限于此。包括应用抗蚀剂、预烘干、曝光和显影的光刻工艺与标准薄膜工艺相同。在这里,不再描述该光刻工艺的细节。光刻技术也被应用于下述其它工艺中。在这种情况下,也不对该光刻工艺进行详细说明,除非对该光刻工艺应用了特殊的光刻技术。

[0125] 在图 8A 所示的每个开口处形成振动陀螺传感器元件。该开口的形状基于设定以形成悬臂 (悬臂振动器 110) 的该悬臂最终形状、Si 基底 1 的厚度和蚀刻宽度 t_7 (图 30 和 31 中所示) 而确定。蚀刻宽度 t_7 将在下面说明。根据本示例的蚀刻宽度 t_7 是 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0126] 该开口的所需宽度 (膜片宽度 t_9) 等于 [振动悬臂宽度 t_6] + [蚀刻宽度 t_7] $\times 2$ (对于左和右的裕量)。如果 Si 基底 1 的厚度是 $300\text{ }\mu\text{m}$,则振动悬臂的厚度是 $100\text{ }\mu\text{m}$,以及通过应用湿法蚀刻法将具有 $300\text{ }\mu\text{m}$ 厚度的 Si 基底减少到 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以获得该振动悬臂的厚度,则膜片深度 t_{10} 将是 $200\text{ }\mu\text{m}$,如图 11 所示。同时,将以 $\theta_1 = 55^\circ$ 的角度蚀刻 Si 基底 1。因而,需要通过在宽度方向的左和右边缘增加 $t_{10} \times 1/\tan 55^\circ = 140\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度来补偿该角度。因此,在本示例中, [膜片宽度 t_9] = $t_6 + t_7 \times 2 + 140 \times 2 = 100 + 200 \times 2 + 140 \times 2 = 780\text{ }\mu\text{m}$ 。类似地, [膜片长度 t_8] = [振动悬臂长度 t_5] + [蚀刻宽度 t_7] + $140 \times 2 = 2,500 + 200 + 140 \times 2 = 2,980\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0127] 下面,如图 9A 和 9B 所示,去除热氧化膜 2B 上与该开口对应的区域。去除方法可以是诸如离子蚀刻或湿法蚀刻之类的物理蚀刻。然而,当考虑到 Si 基底 1 表面的平滑度时,理想的是应用仅去除该热氧化膜 2B 的湿法蚀刻。在本示例中,用于湿法蚀刻的化学溶剂是氟化铵。当湿法蚀刻进行了较长时间后,侧面蚀刻即在开口侧面的蚀刻进程会变得非常显著。因此,需要在该热氧化膜 2B 与开口对应的区域被去除时结束该蚀刻工艺。

[0128] 接下来,如图 10A、10B 和 11 所示,在从该开口露出的 Si 基底 1 上进行湿法蚀刻以在该开口处将 Si 基底 1 的厚度减少到预定振动悬臂厚度 t_4 。在本示例中,将 20% 的四甲基铵 (TMAH) 溶液用于蚀刻 Si 基底 1。该溶液的温度被维持在 80°C ,并且进行浸泡蚀刻。

[0129] 图 11 示出了图 10B 所示区域 W 的放大图。在上述条件下,进行六小时的蚀刻以蚀刻 $200\text{ }\mu\text{m}$ 的 Si 基底 1,即把膜片深度 t_{10} 减少到 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。作为进行蚀刻的结果, Si 基底 1

中开口的两侧形成为具有湿法蚀刻角度 $\theta_1 (= 55^\circ)$,如图 11 所示。作为用于湿法蚀刻的化学溶剂,可以使用氢氧化钾 (KOH) 溶液或乙二胺邻苯二酚水 (EDP, ethylenediamine-pyrocatechol-water) 溶液代替 TMAH。在本示例中,由于对于热氧化膜 2A 和 2B 的蚀刻灵敏度较大,所以使用 TMAH。

[0130] 在本示例中应用湿法蚀刻以便将 Si 基底的厚度减少到相应于振动悬臂 110 的厚度。然而,该减少 Si 基底 1 的厚度的方法并不仅限于此。

[0131] 通过执行上述方法在每个开口内部形成膜片。通过执行湿法蚀刻而得到的最终膜片厚度 t_{11} 等于振动悬臂厚度 t_4 。

[0132] 在下面的图中,图 10A 和 10B 中所示区域 W 中包含的元件之一被放大。为了简化起见,该放大元件的尺寸可以与实际尺寸不同。此后,将通过面朝下的如上所述提供的该膜片的开口和热氧化膜 2B 来说明该元件,如图 12A 和 12B 所示。

[0133] [电极膜形成]

[0134] 接下来,如图 12A 和 12B 所示,提供下电极膜 4、压电膜 5 和上电极膜 6。为了提高压电膜 5 的质量,使用包含钛 (Ti) 基膜 (膜厚度小于 50nm,例如 20nm) 和堆叠在该 Ti 基膜上的铂 (Pt) 膜 (膜厚度是 100nm) 的膜层叠作为下电极膜 4。可以使用其他金属例如金 (Au)、铑 (Rh) 或铼 (Re) 代替铂,并且可以使用钽代替钛。

[0135] 在形成下电极膜 4 的步骤中,首先使用磁控管溅射设备形成 Ti 膜,然后形成 Pt 膜。在本示例中,在 0.5Pa 气压下,以 0.5kW 的射频 (RF) 功率形成具有 20nm 厚度的 Ti 膜和具有 100nm 厚度的 Pt 膜。该 Pt 膜被提供作为用于 PZT 的基膜,而 Ti 膜被提供以增加 Pt 和 Ti 膜的粘附性。

[0136] 接下来,形成压电膜 5。在形成压电膜 5 的步骤中,形成压电膜 5。在本示例中,在 0.2 到 3Pa 的氧气气压和室温下,在 0.1 到 5kW 的 RF 功率下,采用 $\text{Pb}_{1.02}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ 氧化物靶使用磁控管溅射设备形成具有 $1.4\mu\text{m}$ 厚度的压电膜 5。下面说明形成压电膜 5 的方法的细节。

[0137] 在随后的形成上电极膜 6 的步骤中,将 Pt 膜堆叠在如上所述提供的压电膜 5 的表面上。在本示例中,在 0.5Pa 的气压下和 0.5kW 的 RF 功率下,使用磁控管溅射设备形成具有 200nm 厚度的 Pt 膜。

[0138] [电极膜加工]

[0139] 接下来,如图 13A 和 13B 所示,将上电极膜 6 加工成预定形状。如图 13A 所示,将上电极膜 6 分为三个部分。中间部分是驱动电极 6a,其被配置成产生用于驱动该振动悬臂的功率。在驱动电极 6a 的左边和右边,提供配置成检测科里奥利力的检测电极 6b 和 6c。在宽度方向上驱动电极 6a 的中心与该振动悬臂的中心匹配,并且设置该检测电极 6b 和 6c 关于驱动电极 6a 对称。在上电极膜 6 的直线边缘提供用于与布线连接的连接部分。

[0140] 在本示例中,该驱动电极宽度 t_{13} 是 $50\mu\text{m}$,检测电极宽度 t_{14} 是 $10\mu\text{m}$,上电极长度 t_{12} 是 2mm,而驱动电极 6a 与检测电极 6b 和 6c 之间的每个距离是 $5\mu\text{m}$ 。这些尺寸都不被限制。然而,上电极膜 6 的总大小必须小于该振动悬臂的最终大小。具有布线图案的连接部分的形状如下所述,也不是限制性的。在本示例中,该连接部分宽度 t_{16} 是 $50\mu\text{m}$,连接部分长度 t_{15} 是 $50\mu\text{m}$ 。

[0141] 作为一种加工该上电极膜 6 的方法,首先应用光刻技术以形成具有预定图案的抗

蚀膜。然后,通过离子蚀刻去除上电极膜 6 的非必要区域。该加工上电极膜 6 的方法不仅限于此。

[0142] 接下来,如图 14A 和 14B 所示,加工该压电膜 5 以形成预定形状。压电膜 5 的形状是不受限制的,只要压电膜 5 完全覆盖上电极膜 6。在本示例中,压电膜长度 t_{17} 是 2.2mm,压电膜宽度 t_{18} 是 $90\mu\text{m}$ 。压电膜在宽度方向上的中心与振动悬臂的中心相匹配。压电膜宽度 t_{18} 必须小于振动悬臂宽度 t_4 。在本示例中,加工压电膜 5 以便在上电极膜 6 的外周边附近提供 $5\mu\text{m}$ 的裕量。该裕量是基于该整个元件的形状而确定的。

[0143] 作为一种加工压电膜 5 的方法,首先应用光刻技术以形成具有与要得到的压电膜 5 相同形状的抗蚀剂图案膜。然后,去除压电膜 5 的非必要部分。在本示例中,使用氢氟酸和硝酸的混合物通过湿法蚀刻去除压电膜 5。该去除方法并不限于此,也可以应用其他方法例如利用离子蚀刻的物理去除或利用 RIE 的化学去除。

[0144] 接下来,如图 15A 和 15B 所示,加工下电极膜 4 以形成预定形状。下电极膜 4 的形状不被限制,只要下电极膜 4 完全覆盖压电膜 5。在本示例中,下电极膜长度 t_{19} 是 2.3mm,下电极膜宽度 t_{20} 是 $94\mu\text{m}$ 。下电极膜在宽度方向上的中心与振动悬臂的中心相匹配。下电极膜宽度 t_{20} 必须小于振动悬臂宽度 t_4 。在本示例中,加工下电极膜 4 以便在压电膜 5 的外周边附近提供 $5\mu\text{m}$ 的裕量。该裕量是基于该整个元件的形状而确定的。为了电连接下电极膜 4 和外部元件,提供下电极接合部分 4A,如图 15A 所示。该下电极接合部分 4A 必须具有足够大的区域以提供引线。在本示例中,下电极接合部分长度 t_{21} 是 $200\mu\text{m}$,下电极接合部分宽度 t_{22} 是 $100\mu\text{m}$ 。

[0145] 作为一种加工下电极膜 4 的方法,首先应用光刻技术以形成具有与下电极部分相同形状的抗蚀剂图案膜。然后,通过离子蚀刻去除下电极膜 4 的非必要部分。该去除方法并不限于此,也可以应用除了离子蚀刻之外的方法。

[0146] [布线膜形成]

[0147] 接下来,如图 16 和 17 所示,提供布线基膜 7。如下所述,提供布线基膜 7 以保持布线膜 9 的粘附性。布线基膜 7 由绝缘材料构成。布线基膜 7 的形状不被限制,只要该振动器、驱动电极 6a 与检测电极 6b 和 6c 的电极连接部分、和该振动器附近的蚀刻区域不被覆盖即可。在本示例中,布线基膜 7 与上电极膜 6 和下电极膜 4 重叠 $5\mu\text{m}$,以提高该电极膜的粘附性。

[0148] 作为一种形成布线基膜 7 的方法,首先应用光刻技术以形成具有预定形状开口的抗蚀剂图案膜。然后,通过溅射形成该布线电极膜,并且通过剥离蚀刻 (liftoff etching) 去除下电极膜 4 的非必要部分。在本示例中,选择氧化铝作为布线基膜 7 的材料并且沉积为 75nm 的厚度。然而,该布线基膜 7 的材料和形成方法不仅限于此。

[0149] 接下来,如图 18 和 19 所示,在驱动电极 6a 与检测电极 6b 和 6c 的电极连接部分上提供压平抗蚀剂膜 8。提供压平抗蚀剂膜 8 以允许如下所述的布线膜 9 和上电极膜 6 之间的平滑电连接。当布线膜 9 和上电极膜 6 物理连接时,线路必须穿过压电膜 5 和下电极膜 4 的边缘。因为根据本示例,压电膜 5 是通过湿法蚀刻形成的,所以压电膜 5 的边缘是倒锥形或基本上垂直的。因此,如果提供布线而不提供压平抗蚀剂膜 8,则该线路会在这些边缘处断开。另外,由于下电极膜 4 是露出的,如果不提供用于绝缘的压平抗蚀剂膜 8,就会发生电短路。基于这些原因,提供压平抗蚀剂膜 8。

[0150] 压平抗蚀剂膜 8 的形状是不受限制的,只要该压平抗蚀剂膜 8 能够覆盖布线膜 9,如下所述。在本示例中,压平抗蚀剂膜宽度 t_{23} 是 $200\ \mu\text{m}$,压平抗蚀剂膜长度 t_{24} 是 $50\ \mu\text{m}$ 。

[0151] 作为一种形成压平抗蚀剂膜 8 的方法,首先应用光刻技术以在抗蚀剂膜上形成预定图案。然后,通过将该抗蚀剂膜加热到 280°C – 300°C 而固化该图形抗蚀剂膜。在本示例中,该抗蚀剂膜的厚度是大约 $2\ \mu\text{m}$ 。期望改变抗蚀剂膜的厚度以使其大于压电膜 5 和下电极膜 4 的总厚度。

[0152] 在本示例中,使用光敏抗蚀剂膜作为压平抗蚀剂膜 8。然而,压平抗蚀剂膜 8 的材料并不仅限于此。可以应用任何不导电材料及其形成方法。

[0153] 接下来,如图 20 和 21 所示,提供布线膜 9 以连接上电极膜 6 与外部元件。提供布线膜 9 以有利于与外部元件的电连接。布线膜 9 穿过压平抗蚀剂膜 8 的上表面并且连接到布线膜 9 的连接部分。上电极膜 6 (驱动电极 6a 与检测电极 6b 和 6c) 的形状是不受限制的。然而,期望它们大于 $5\ \mu\text{m}^2$ 以减少电阻抗。在本示例中,通过具有 Au 凸起的倒装片建立与外部元件的电连接。如图 20 所示,通过提供电焊盘 101A、101B、101C 和 101D 来限定 Au 凸起区域。

[0154] 电焊盘 101A、101B、101C 和 101D 的大小必须足够大以形成 Au 凸起。在本示例中,电焊盘长度 t_{25} 是 $120\ \mu\text{m}$,电焊盘宽度 t_{26} 是 $120\ \mu\text{m}$ 。因为该被包含在上电极膜 6 中的驱动电极 6a、检测电极 6b 和 6c 以及该下电极膜 4 中的每个都需要与外部元件的电连接,所以需要为提供驱动电极 6a、检测电极 6b 和 6c 以及下电极膜 4 提供单独的布线膜 9。电焊盘 101A、101B、101C 和 101D 被设置在元件区域 AR 中。

[0155] 在这个骤中,还提供极化轨 (polarizing rail) 111 和 112。极化根据本实施例的振动器以稳定压电特性。通过在 Si 基底 1 上的同一行中极化振动陀螺传感器元件 100 而有效地进行极化工艺。为了同时极化这些振动陀螺传感器元件 100,必须预先提供用于施加电压的电线和接地 (GND) 线。在本示例中,如图 22 所示,以线性方式提供该电线作为极化轨 111 和 112。这工艺的此刻,振动陀螺传感器元件 100 与极化轨 111 和 112 是电独立的 (electrically independent)。然而,如下所述,通过提供铜 (Cu) 引线 11 来连接用于施加电压的电线和 GND 线。

[0156] 作为形成布线膜 9 的一种方法,首先应用光刻技术以形成具有预定形状开口的抗蚀剂图案膜。然后,通过溅射形成布线膜 9,并且通过剥离蚀刻去除非必要部分。为了形成布线膜 9,沉积 $20\ \text{nm}$ 的厚度的提高粘附力的钛 (Ti)。然后,在该 Ti 层上,沉积 300nm 的厚度的具有低电阻并且廉价的铜 (Cu)。最后,在该 Cu 层上,沉积 500nm 的厚度的改善与 Au 凸起的连接的金 (Au)。该布线膜 9 的材料和形成方法并不仅限于此。

[0157] [绝缘保护膜形成]

[0158] 接下来,如图 23 和 24 所示,在振动悬臂和电线上提供绝缘保护膜 10。提供该绝缘保护膜 10 以防止由于诸如潮湿之类的外部因素导致的电极之间的漏电,以及防止电极膜的氧化。振动器 110 上的保护膜宽度 t_{27} 大于下电极宽度 t_{20} 并且小于振动悬臂宽度 t_6 。在本示例中,保护膜宽度 t_{27} 是 $98\ \mu\text{m}$ 。振动器 110 上的保护膜长度 t_{28} 大于下电极长度 t_{19} 并且小于振动器长度 t_5 。在本示例中,振动器保护膜长度 t_{28} 是 1.95mm 。绝缘保护膜 10 覆盖所有布线膜 9。然而,绝缘保护膜 10 必须不能覆盖形成 Au 凸起的四个电极焊盘和用于 Cu 引线 11 的四个连接部分。

[0159] 作为一种形成绝缘保护膜 10 的方法,首先应用光刻技术以形成具有预定形状开口的抗蚀剂图案膜。然后,通过溅射形成绝缘保护膜 10,并且通过剥离蚀刻去除绝缘保护膜 10 的非必要区域。在本示例中,为了形成布线膜 9,将用于提高粘附性的 Al_2O_3 沉积到 50nm 的厚度。然后,在该 Al_2O_3 层上,将具有高电阻的 SiO_2 沉积到 750nm 的厚度。最后,作为顶层,将用于在振动悬臂形成期间提高该抗蚀剂膜的粘附性的 Al_2O_3 沉积到 50nm 的厚度。起到绝缘保护膜作用的沉积 SiO_2 层必须具有至少两倍于上电极膜 6 的厚度。然而,因为如果该厚度超过 $1\mu\text{m}$,则在剥离期间就很容易形成毛边 (burrs),所以在本示例中将该厚度设定为 750nm。而且,在本示例中,在 0.4Pa 的氩 (Ar) 气压下形成 SiO_2 层以提高该层的密度,其中 0.4Pa 是放电的下限。

[0160] 接下来,如图 25 和 26 所示提供 Cu 引线 11。Cu 引线 11 中的之一被提供以将上电极膜 6 的驱动电极 6a 和检测电极 6b 及 6c 连接到极化轨 111,用于施加电压,并且提供另一 Cu 引线 11 以将下电极膜 4 连接到与 GND 相连接的极化轨 112。在 Si 基底 1 上的每个振动陀螺传感器元件 100 中建立 Cu 引线 11 的连接,如图 27 所示。使用铜作为引线是因为当在极化后进行湿法蚀刻时铜容易熔化,从而,可以将振动陀螺传感器元件 100 再次断开电连接而不造成损伤。该引线的材料并不仅限于铜,只要该材料是导电的并且容易去除而不破坏该振动陀螺传感器元件 100 即可。期望将该引线宽度 t29 (图 29) 设定为 $30\mu\text{m}$ 或更大以便在极化期间保持导电性。

[0161] 作为一种形成 Cu 引线 11 的方法,首先应用光刻技术以形成具有预定形状开口的抗蚀剂图案膜。然后,通过溅射形成 Cu 引线 11,并且通过剥离蚀刻去除 Cu 引线 11 的非必要部分以及抗蚀剂膜。在本示例中,将 Cu 层的厚度设定为 400nm 以便在极化期间保持导电性。用于形成该 Cu 引线 11 的方法并不限于此。

[0162] 接下来,如图 28 所示,形成背侧停止膜 12。如下所述,提供背侧停止膜 12 以防止当在振动悬臂形成期间执行贯穿蚀刻 (through-etching) 时,由于等离子体在底面集中而导致的该振动悬臂边缘区域的变形。在本示例中,通过溅射将 SiO_2 在整个背部上沉积到 500nm 的厚度。

[0163] [振动悬臂形成]

[0164] 接下来,如图 29、30 和 31 所示,通过去除薄膜以在悬臂周围形成凹槽而形成该振动悬臂。图 30 示出了沿图 29 中的 XXX-XXX 线得到的横截面图。图 31 示出了沿图 29 中的 XXXI-XXXI 线得到的横截面图。

[0165] 作为一种形成界定该悬臂的凹槽的方法,首先通过应用光刻技术形成具有与穿透部分 13 相同形状的开口的抗蚀剂图案膜。然后,进行离子蚀刻以去除热氧化膜 2A。随后,蚀刻 Si 基底 1 直到穿透 Si 基底 1。可以应用湿法蚀刻来去除热氧化膜 2A。然而,当考虑到由于侧面蚀刻而导致的尺寸误差时,理想的是使用离子蚀刻。

[0166] 在本示例中,将振动悬臂厚度 t14 (膜片厚度 t11) 设定为 $100\mu\text{m}$ 。因而,根据本示例,为了穿透 Si 基底 1,必须通过蚀刻去除 $100\mu\text{m}$ 的厚度。标准离子蚀刻不具有匹配抗蚀剂膜的选择性。此外,当应用离子蚀刻时,所得到的侧壁是不垂直的。因此,在本示例中,将使用感应耦合等离子体 (ICP) 的设备用于执行 Bosch (博施) 工艺 (在蚀刻期间使用 SF_6 气体而在膜形成期间使用 C_4F_8 气体),其中重复侧壁保护膜的蚀刻和形成。以这种方式,形成具有垂直侧壁的振动悬臂。蚀刻硅材料以使得到侧壁垂直的技术已经沿用已久。在本

示例中使用了一种可商业获得的设备。然而,产生界定驱动悬臂的凹槽的方法并不仅限于此。蚀刻宽度 t_7 必须足够大以便能够使用 ICP 进行蚀刻。在本示例中,该蚀刻宽度 t_7 被设定为 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。不应该穿透 Cu 引线 11。

[0167] 在使用 ICP 完成蚀刻后,去除背侧停止膜 12。去除该背侧停止膜 12 的方法是不受限制的。然而,在本示例中,应用了使用氟化铵的湿法蚀刻。如果在去除背侧停止膜 12 之前去除界定穿透图案的抗蚀剂膜,则绝缘保护膜 10 也会被去除。因此,在去除该抗蚀剂膜之前去除背侧停止膜 12。图 32-34 中示出了去除背侧停止膜 12 和抗蚀剂膜之后的 Si 基底 1。

[0168] [极化]

[0169] 接下来,在图 35A 和 35B 中所示的振动陀螺传感器元件 100 上进行极化以稳定压电特性。为了在同一行中极化所有的振动陀螺传感器元件 100,通过作用焊盘 (application pads) 和 GND 焊盘将该振动陀螺传感器元件 100 连接到外部电源。该连接和极化方法是不受限制的。然而,在本示例中,通过引线键合 (wire bonding) 将该振动陀螺传感器元件 100 连接到外部电源,然后执行极化。

[0170] 接下来,在图 36A 和 36B 中,去除掉极化后不再需要的 Cu 引线 11。如果分离元件而不去除 Cu 引线 11,则 Cu 引线 11 和 Si 基底 1 将会在切割表面处发生漏电。因此,期望化学去除 Cu 引线 11。在本示例中,使用 Enstrip 溶液 (Meltex Inc. 的产品) 通过湿法蚀刻溶解 Cu 引线 11,从而不会损伤该振动陀螺传感器元件 100。

[0171] 通过应用薄膜形成工艺来形成振动陀螺传感器元件 100 和通过在薄膜形成工艺中提供的电线来极化振动陀螺传感器元件 100,可以以低成本稳定地生产大量振动陀螺传感器元件 100。

[0172] 去除 Cu 引线 11 的方法不限于如上所述通过湿法蚀刻溶解。在下述分离振动陀螺传感器元件 100 的步骤中,沿 Cu 引线 11 切割振动陀螺传感器元件 100。因而当利用切片机 (dicer) 分割该元件时,可以将 Cu 引线 11 磨掉。在这种情况下,Cu 引线 11 的引线宽度 t_{29} 必须小于磨石 (grinding stone) 的宽度。在本示例中,由于是通过使用具有 $40\text{ }\mu\text{m}$ 磨石宽度的切片机来分割该振动陀螺传感器元件 100,所以 Cu 引线 11 的引线宽度 t_{29} 必须被设定在 $20\text{ }\mu\text{m}$ 和 $40\text{ }\mu\text{m}$ 之间。如果 Cu 引线 11 的宽度小于 $20\text{ }\mu\text{m}$,那么 Cu 引线 11 会因为对施加的极化电压的阻抗所产生的热量而断裂。如果 Cu 引线 11 的宽度大于 $40\text{ }\mu\text{m}$,即大于磨石的宽度,那么可以在分离该振动陀螺传感器元件 100 后留下 Cu 引线 11。

[0173] [金凸起形成]

[0174] 接下来,如图 37A 和 37B 所示,为倒装片提供 Au 凸起 14。Au 凸起 14 是在四个电极焊盘上提供。

[0175] [切割]

[0176] 接下来,如图 38A 和 38B 所示,在 Si 基底 1 上形成 15 个振动陀螺传感器元件 100 并且从彼此分离,其中每个振动陀螺传感器元件 100 都能够作为压电薄膜传感器工作。当分割振动陀螺传感器元件 100 时,使用具有大于 Cu 引线 11 的桥部分宽度的宽度的磨石。在本示例中,Cu 引线 11 的桥部分的宽度是 $32\text{ }\mu\text{m}$ 。因而,使用具有 $40\text{ }\mu\text{m}$ 宽度的切石来切割 Si 基底 1。如图 38B 所示,根据每个振动陀螺传感器元件 100 的大小沿 L1 至 L3 的切割线解理 Si 基底 1。提供切割线 L1 和 L2 以切割 Cu 引线 11 的桥部分。以这种方式,通过穿透

部分 13 和切割面勾勒了能够作为压电薄膜传感器工作的振动陀螺传感器元件 100 的轮廓, 如图 39 所示。因此, 图 38B 中所示 Si 基底 1 的区域 C 被作为不想要的部分而保留。

[0177] [安装]

[0178] 例如, 如图 40 所示, 通过倒装片技术将每个振动陀螺传感器元件 100 安装在诸如 IC 基底之类的支撑基底上。IC 基底被预先设计以使可以根据要设置振动陀螺传感器元件 100 的位置来建立电连接。在图 40 所示示例中, 在 X 方向和 Y 方向安装两个振动陀螺传感器元件 100A 和 100B。以这种方式, 配置包括两个振动陀螺传感器元件 100A 和 100B 的双轴角速度传感器 150。

[0179] 如图 41 所示, 通过覆盖材料 15 来使角速度传感器 150 保持气密性和保护角速度传感器 150, 该覆盖材料 15 防止振动陀螺传感器元件 100A 和 100B 和电路与外部元件相接触。覆盖材料 15 的材料是不受限制的。然而, 期望考虑到外部噪声的效应而使用具有屏蔽效应的材料, 诸如金属。覆盖材料 15 被形成为以使不干扰该振动悬臂的振动的形状。

[0180] [调节]

[0181] 对于根据本实施例的振动陀螺传感器元件 100, 如上所述, 使用 ICP 通过 RIE 来界定悬臂振动器 110 的外形。然而, 不总是所有的包含在 Si 基底 1 中的振动陀螺传感器元件 100 都被制造成具有关于悬臂振动器 110 中线的完全对称。

[0182] 因而, 例如如图 42A 和 42B 中所示, 如果悬臂振动器 110 的横横截面形状为梯形, 该振动方向将会关于该振动中线向具有较小质量的一侧倾斜, 尽管悬臂振动器 110 的预期垂直振动方向是垂直于提供压电膜的表面的方向。如果当振动方向倾斜时, 悬臂振动器 110 以垂直共振频率振动, 则来自相对于该悬臂振动器 110 的中线对称提供的检测电极 106b 和 106c 的输出检测信号的振幅将会不同。这种差异是由于来自向悬臂振动器 110 倾斜方向提供的检测电极的检测信号将会较强而来自相对侧检测电极的检测信号将会较弱而导致的。

[0183] 根据本实施例, 为了补偿这种差异, 进行调节以实现垂直振动。为了调节该振动, 对每个分离的振动陀螺传感器元件 100 进行激光加工, 以实现从相对于该中线具有较大质量的任一侧削减该悬臂振动器 110 的一些部分。以这种方式, 平衡悬臂振动器 110 左侧的质量和右侧的质量, 并且获得垂直振动。

[0184] 虽然难于确定悬臂振动器 110 的横截面的实际形状, 但是可以比较当悬臂振动器 110 以垂直共振频率振动时从左和右检测电极输出的检测信号的振幅。以这种方式, 能够通过进行激光加工以形成凹陷而进行调节, 其中该激光加工是通过在具有输出较弱检测信号的检测电极的任一侧对该悬臂振动器 110 进行削减而完成的。

[0185] 在实际进行调节之前, 将来自振荡电路 71 的振荡输出 G0 施加至驱动电极 106a, 以在垂直共振状态驱动振动陀螺传感器元件 100, 如图 43A 所示。通过在加法器电路 72 加入来自检测电极对 106b 和 106c 的检测信号 Ga 和 Gb 而执行调节。加入的信号被返回到振荡电路 71。然后, 基于来自检测电极 106b 和 106c 的检测信号 Ga 和 Gb, 检测测振荡电路 71 的振荡频率作为垂直共振频率 f_0 , 并且将检测信号 Ga 和 Gb 之间的差作为差分信号输出。

[0186] 通过将来自振荡电路 71 的振荡输出 G1 施加至驱动电极 106a 以在水平共振状态驱动振动陀螺传感器元件 100, 从而执行调节, 如图 43B 所示。来自检测电极 106b 的检测信号 Gb-1 被返回到振荡电路 71。基于检测信号 Gb-1, 检测作为水平共振频率 f_1 的振荡电路 71 的振荡频率。通过将来自振荡电路 71 的振荡输出 G2 施加至驱动电极 106a 以在水平

共振状态驱动振动陀螺传感器元件 100,从而执行调节,如图 43C 所示。来自检测电极 106b 的检测信号 Ga-2 被返回到振荡电路 71。基于检测信号 Ga-2,检测振荡电路 71 的振荡频率作为水平共振频率 f2。

[0187] 由于从检测信号 Gb-1 检测的水平共振频率 f1 等于从检测信号 Ga-2 检测的水平共振频率 f2,所以只要检测电极 106b 和 106c 的任意之一被连接,就可以执行检测。

[0188] 上面得到的垂直共振频率 f0 与水平共振频率 f1 和 f2 之间的频率差被定义为失调水平。为了调节,确定该失调水平是否在预定范围内。此外,为了调节,确定当悬臂振动器 110 以垂直共振频率振动时,从来自检测电极 106b 和 106c 的信号得到的差分信号是否在预定范围内。通过基于与失调水平和差分信号相关的确定结果确定悬臂振动器 110 上的激光加工区域,和利用激光束照射该激光加工区域以削减该悬臂振动器 110 的一部分,从而进行调节。为了调节,重复测量和激光加工直到获得该失调水平和差分信号的目标值为止。

[0189] 通过在悬臂振动器 110 上进行激光加工而形成凹陷 80 的加工区域是除了提供压电膜和其他电极膜的悬臂振动器 110 的前表面之外的区域。加工区域可以是悬臂振动器 110 的后表面 110b 或侧面,如图 3 所示的悬臂振动器 110 的端面,或如图 44 所示的作为悬臂振动器 110 的后表面 110b 和侧面之间的边界的脊线区域。连接悬臂振动器 110 的前表面和悬臂振动器 110 的侧面的脊线区域可以被包含在该加工区域中。然而,在这种情况下,应当采取措施,诸如提供在压电膜和悬臂振动器 110 的前表面的脊线区域之间的预定距离,从而在悬臂振动器 110 的前表面上提供的压电膜将不会受形成凹陷 80 的该激光加工的影响。可以形成任意数量的用于调节失调水平和差分信号(即平衡)的凹陷。当形成多个凹陷 80 时,可以在确认对于振动的影响的同时,选择凹陷的数量和凹陷 80 的位置。以这种方式,可以逐渐进行调节直到最终获得目标值。

[0190] 通过要加工的位置和范围来确定有激光加工进行的调节的效果。如图 44 所示,可以从尖端到底部在该悬臂振动器 110 的脊线区域上界定形成凹陷 80 的激光加工区域 A、B 和 C。由于失调水平和检测信号的平衡的变化量从该悬臂振动器 110 的底部到尖端逐渐变小,所以可以通过在较接近悬臂振动器 110 底部的激光加工区域形成凹陷 80 来执行粗调,和通过在较接近悬臂振动器 110 尖端的激光加工区域形成凹陷 80 来执行细调。这里,在悬臂振动器 110 的深度方向和纵轴方向进行的加工总量被定义为“激光加工量”。因此,如果加工大而浅的区域,则激光加工量会较大。类似地,如果加工小而深的区域,激光加工量也会较大。

[0191] 图 45 示出了在用于形成凹陷 80 而执行的激光量与激光加工区域 A、B 和 C 处的平衡变化 [(Ga/Gb) db] 之间的关系。图 46 示出了当基于样品 1、2 和 3 的初始条件来选择激光加工区域 A、B 和 C 之一并且执行激光加工以形成凹陷 80 从而将该平衡调节到目标值时的平衡变化 [(Ga/Gb) db]。

[0192] 最有效的是选择激光加工区域以用于通过在悬臂振动器 110 的固定端附近进行激光加工而在悬臂振动器 110 上形成凹陷 80。然而,该激光加工区域的形状是不受限制的。被激光加工去除的悬臂振动器 110 的部分的形状和质量可以通过比较左和右检测信号而逐渐调节。

[0193] 接下来,如图 47 所示,沿着悬臂振动器 110 后表面 110b 的中心(即沿该中轴线)

从悬臂振动器 110 的顶部到底部定义形成凹陷 80 的激光加工区域 A0、B0 和 C0。图 48 中示出了在每个激光加工区域 A0、B0 和 C0 的激光加工量和失调水平 [Hz] 变化之间的关系。该激光加工区域距离悬臂振动器 110 的底部越近,失调水平变化就越大。图 49 中示出了在每个激光加工区域 A0、B0 和 C0 的激光加工量和平衡变化 $[(Ga/Gb) = 1]$ 之间的关系。无论激光加工区域如何,该平衡 $[(Ga/Gb) \text{ db}]$ 不变化。图 50 示出了当基于样品 1、2 和 3 的初始条件来选择激光加工区域 A0、B0 和 C0 之一并进行激光加工而将该平衡调节到目标值时的变化。

[0194] 图 51 示出了用于确定当以 $100 \mu\text{m}$ 振动幅度驱动悬臂振动器 110 时悬臂振动器 110 是否会在已经被激光束加工的激光加工区域断裂的实验结果。

[0195] 在图 51 中,在曲线上绘出的三角点,当以小于 $100 \mu\text{m}$ 的振动幅度驱动时悬臂振动器 110 在激光加工区域断裂。图 51 所示的结果表示当在悬臂振动器 110 底部附近进行深加工时悬臂振动器 110 更容易断裂。

[0196] 图 52、53 和 54 示出了显示当其上固定有包含悬臂振动器 110 的陀螺传感器的 200g 的刚体下落时悬臂振动器 110 断裂高度的柱状图,该柱状图分别是对于未加工的振动器,在包括图 51 中三角点的范围内进行激光加工的振动器,和在包括图 51 中圆点的范围内进行激光加工的振动器。

[0197] 如图 52 所示,对于没有用激光束加工的悬臂振动器,当从大约 150cm 高度下落时断裂。换句话说,构成悬臂振动器的 $100 \mu\text{m}$ 的硅棱柱具有图 52 所示的强度。对于在包括图 51 中三角点的范围内用激光束进行加工的悬臂振动器,当从大约 50cm 高度下落时该悬臂振动器断裂。换句话说,与未加工的悬臂振动器相比,该悬臂振动器抵抗外部冲击的强度被减小了一半。该断裂源自于该悬臂振动器的激光加工区域。

[0198] 对于在包括图 51 中三角点的范围内用激光束加工的悬臂振动器,该悬臂振动器直到到达大约 150cm 的高度才断裂,并且保持了与未加工的悬臂振动器相同的强度。

[0199] 在这种情况下,悬臂振动器 110 不在激光加工区域断裂,而是从集中最大压力的悬臂振动器 110 的底部断裂。换句话说,图 54 显示,只要使用了具有根据本示例的大小的悬臂振动器 110,就会在预期不再增加强度的区域发生断裂。

[0200] 如图 55 所示,当该激光加工的点不重叠并且以步进状图案提供,那么当以 $100 \mu\text{m}$ 或更少的振动幅度驱动时,该悬臂振动器 110 断裂的区域将会变得更小,如图 56 所示。与图 51 中所示情况不同,即使当增加该激光加工的深度时,悬臂振动器 110 也不会图 51 所示的位置断裂。换句话说,通过以步进状图案加工悬臂振动器 110 来增加悬臂振动器 110 的强度。

[0201] 然而,即使以步进状图案加工悬臂振动器 110,当加工距离悬臂振动器 110 底部 $100 \mu\text{m}$ 内的区域时,悬臂振动器 110 抗断裂的强度也不会改变。假定距离该底部 $100 \mu\text{m}$ 内的区域具有非常低的对于激光加工的容限。因此,期望在距离悬臂振动器 110 底部 $100 \mu\text{m}$ 内的区域中不进行激光加工。

[0202] 根据上述结果,期望在距离悬臂振动器 110 底部 $100 \mu\text{m}$ 内的区域中不进行激光加工,且期望随着该激光加工区域被提供得距离该悬臂振动器 110 底部更远,进行更深的激光加工。如果以这种方式进行激光加工,悬臂振动器 110 的强度将会与未加工悬臂振动器的强度基本相同。当悬臂振动器 110 的振动幅度是 $100 \mu\text{m}$ 时,对于该悬臂振动器 110 的底

部施加大约 0.5Gpa 的应力。

[0203] 由于该激光加工区域和激光加工深度取决于悬臂振动器的大小,所以对具有与要使用的悬臂振动器相同形状的悬臂振动器进行测试。然后,基于表示可以执行而不会导致悬臂振动器断裂的激光加工位置和深度的测试结果,对于要使用的实际悬臂振动器进行激光加工。

[0204] 接下来,如图 57 所示,从悬臂振动器 110 后表面 110b 的中心向外(沿中轴线)定义激光加工区域 A1、B1 和 C1。图 58 中示出了在该激光加工区域 A1、B1 和 C1 的激光工艺量和失调水平变化 [Hz] 之间的关系。无论激光加工区域如何,失调水平不变。然而,当在悬臂振动器 110 的纵轴方向上进行相当长度的激光加工时,失调水平会变化。在这种情况下,激光加工区域的失调水平变化在任何激光加工区域 A1、B1 和 C1 之间都是相同的。图 59 示出了在每个激光加工区域 A1、B1 和 C1 的激光加工量和平衡变化 [(Ga/Gb)db] 之间的关系。该平衡变化从悬臂振动器 110 的中心向外变大。

[0205] 图 60 示出了由于在每个激光加工区域 A1、B1 和 C1 上进行激光加工而导致的失调水平和平衡变化。图 61 示出了由于在激光加工区域 B1 上进行激光加工而导致的失调水平和平衡变化。图 61 所示的情况表示,可以利用公共凹陷(common depressions)同时进行该左和右检测信号之间的失调水平调节和平衡调节。尤其是,可以通过利用公共凹陷形成用于调节失调水平的第一凹陷和用于调节平衡的第二凹陷,来同时进行该左和右检测信号之间的失调水平调节和平衡调节。根据本方法,由于可以同时该左和右检测信号之间的失调水平调节和平衡调节,所以可以减少调节所需的时间,并且也可以减少凹陷数量,防止悬臂振动器 110 的机械强度的降低。

[0206] 用于调节该失调水平和平衡的凹陷 80 的形状不限于如图 57 所示的直线。而是,凹陷 80 可以被提供为步进状图案的多个激光加工点,如图 55 所示。通过以步进状图案提供凹陷 80,由于可以增加该激光加工区域和激光加工量,所以可以增加上述振动器的机械强度,并且能够实现高精度的调节。通过在悬臂振动器 110 的侧面上为凹陷 80 提供激光加工区域,不仅平衡调节而且失调水平调节也可以同时进行。该加工区域不限于该悬臂振动器 110 的一个侧面,例如可以在后表面、侧面和脊线区域中的至少一个上形成一个凹陷 80 以调节该振动器。当将多个凹陷 80 提供为步进状图案的点时,凹陷 80 不必为失调水平调节和平衡调节所共用,如上所述。相反地,可以形成仅用于调节失调水平或仅用于调节平衡的多个凹陷 80。

[0207] 根据本实施例,即使当悬臂振动器 110 以倾斜的角度振动时,也可以调节该振动以获得预期的垂直振动,并且可以控制和调节在垂直共振频率处的左和右检测信号的幅度以使其彼此相等。更具体而言,通过调节由于悬臂振动器 110 的形状缺损而导致的、左和右检测信号在垂直共振频率上的频率差和幅度差,可以很容易地获得具有稳定检测性能的振动陀螺传感器元件 100。通过改变激光加工区域而进行调节,可以减少进行激光加工的次数和调节所需的时间。通过减少激光加工的次数,可以制造出用于角速度传感器的高可靠性悬臂振动器。通过应用一种调节工艺的算法,可以制造出自动调节设备以提高产率。

[0208] 第二实施例

[0209] 如上所述,为了调节根据本发明一个实施例的振动陀螺传感器元件,在悬臂振动器 110 后表面 110b 上进行激光加工直到能够获得目标振动特性,该悬臂振动器 110 被包含

在安装到支撑基底 20 上的振动陀螺传感器元件 100 上,如图 3 所示。

[0210] 悬臂振动器 110 主要有两项需要调节:垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差,以及左和右检测信号的幅度差。通过调节该频率差,可以提高传感器的灵敏度,同时通过调节左和右检测信号的幅度差,可以减少传感器的噪声。

[0211] 在上述第一实施例中,当悬臂振动器 110 在垂直共振频率振动时,比较左和右检测信号的幅度,并且通过激光加工在悬臂振动器 110 的一部分上形成凹陷,该部分包括输出具有较小幅度的检测信号的检测电极。以这种方式,将悬臂振动器 110 调节为垂直方向上的振动模式。换句话说,根据第一实施例,仅基于工作频率(垂直共振频率)来匹配左和右检测信号的幅度和相位。当左和右检测信号匹配时,就认为悬臂振动器 110 被调节为垂直方向上的振动模式。

[0212] 如图 62A 所示,当悬臂振动器 110 以一个倾斜角度振动时,在左和右检测信号之间存在差异($G_a < G_b$)。图 62B 示出了差分信号的频率特性($G_a - G_b$) [dbm]。在这种情况下,一个明显的峰出现在水平共振频率 F_h 处。垂直共振频率 F_v 是悬臂振动器 110 的工作频率。根据上述第一实施例,仅考虑了工作频率(垂直共振频率 F_v),且在悬臂振动器 110 的后表面 110b 上选择用于减少峰值水平的激光加工区域,用激光束照射该区域以形成凹陷(在下文中该工艺被称为“激光修饰”)。如图 63A 所示,以这种方式,将悬臂振动器 110 的振动调节为垂直方向上的振动模式,从而减少左和右检测信号的幅度差。如图 63B 所示,对于两点 F_v 和 F_h 最小化左和右检测信号的幅度差。

[0213] 然而,如图 63B 所示,当从在垂直方向上振动的悬臂振动器 110 出的左和右检测信号的幅度初始相同时,可以通过将该振动调节为垂直方向上的振动模式而减小该左和右检测信号的幅度差。换句话说,因为用于输出该检测信号的检测电极被堆叠在位于悬臂振动器 110 前表面上的压电膜上,所以在一些情况下,由于在生产悬臂振动器 110 期间产生的一些原因而导致以不对称的形式提供该压电膜。这种不对称的主要原因是根据晶片(基底)的位置而发生的压电膜厚度和/或成分的改变,因为从一个硅基底一次生产多个悬臂振动器 110。

[0214] 因此,如上所述,对于左和右检测信号有差异的悬臂振动器 110,即使进行了基于工作频率(垂直共振频率 F_v)的激光修饰,通常也不能减少该水平共振频率 F_h 的峰值水平,如图 63C 所示。如果使用这种悬臂振动器 110 来构造振动陀螺传感器,该传感器将会很容易收到外部噪声的影响,因而会衰减该传感器的输出。以下将说明该传感器输出的衰减机制。

[0215] 如图 64 所示,IC 40 的 G0 端连接到悬臂振动器 110 的驱动电极 106a,以将具有频率 F_0 的驱动信号施加到根据本实施例的振动陀螺传感器。第一检测电极 106b 连接到 IC 40 的 G_a 端以输出检测信号 V_{ga} ,同时第二检测电极 106c 连接到 IC 40 的 G_b 端以输出检测信号 V_{gb} 。在 IC 40,自激励振荡电路 30 包括加法器电路 41、放大器电路 42、移相电路 43 和自动增益控制器 44,这些都参照图 5 说明。在图 64 中,第一计算电路 31 相当于图 5 中的差分放大器电路 45,而第二计算电路 32 相当于图 5 中的同步检测电路 46 和平滑电路 47。

[0216] 当悬臂振动器 110 接收到输入信号 V_{g0} 以及分别来自检测电极 106b 和 106c 的输出检测信号 V_{ga} 和 V_{gb} 时开始振动。对该检测信号进行幅度调制以生成差分信号($V_{ga} - V_{gb}$)。该差分信号在第二计算电路 32 被转换为直流并输出以检测施加至悬臂振动器

110 的角速度。此刻,如果具有频率 F_a 的干扰噪声影响悬臂振动器 110 的输出信号,则该悬臂振动器 110 在包括该噪声频率 F_a 的输入信号的频率 ($F_0 \pm F_a$) 振动。因此,频率成分 $F_0 \pm F_a$ 将被包含在用于该检测信号的差分信号中 ($V_{ga} - V_{gb}$)。结果,包括叠加噪声信号 F_a 的输出信号将从第二计算电路 32 输出。

[0217] 如上所述,如果悬臂振动器 110 的振动处于很容易产生频率成分 $F_0 \pm F_a$ 的状态,那么该传感器的输出将会受到噪声的严重影响,并且会减少该角速度的检测精度(即,会衰减该抑制比)。使该悬臂振动器 110 的振动处于很容易生成频率成分 $F_0 \pm F_a$ 的状态是一种在其中在工作频率(垂直共振频率 F_v)附近大约 200–300Hz 之间的频带中观察到的峰值的状态,其中该峰值不在工作频率上。一般地,为了保持角速度传感器中使用的悬臂振动器的振动特性,将水平共振频率 F_h 设定在该垂直共振频率 F_v 附近。垂直共振频率 F_v 和水平共振频率 F_h 的差是失调水平。该传感器输出很容易受到具有对应于该失调水平的频率附近的频率的干扰噪声的影响。

[0218] 根据本实施例,调节悬臂振动器 110 的振动特性以使从左和右检测信号得到的差分信号从该悬臂振动器 110 输出,同时在水平共振频率 F_h 驱动该悬臂振动器 110。换句话说,当调节该悬臂振动器 110 的振动特性时,如图 65A 和 65B 所示,考虑了水平共振频率 F_h 的峰值水平,以及在悬臂振动器 110 上进行激光修饰以最小化该水平共振频率 F_h 的峰值水平。更具体而言,确定当悬臂振动器 110 在水平共振频率 F_h 振动时从该检测电极 106b 和 106c 得到的差分信号是否在预定范围内。基于从该结果得到的差分信号的幅度,选择悬臂振动器 110 上用于调节的激光加工区域,并且通过激光加工进行修饰。重复该测量和激光加工步骤直到获得目标值为止。

[0219] 如上所述,根据本实施例,调节悬臂振动器 110 的振动特性,以使悬臂振动器 110 不在除了引起该悬臂振动器 110 在正常振动方向(垂直方向)振动的频率之外的频率振动。因此,即使具有对应于该失调水平的频率(例如根据本示例为 50Hz 或 100Hz)附近的频率的干扰噪声影响该输入信号,也可以减小对于该检测信号的影响并且增加了该传感器输出对噪声的信号比(信噪(SN)比)。以这种方式,实现不易受干扰噪声影响的振动陀螺传感器。

[0220] 当由于该压电膜的不对称而导致在以垂直振动模式振动的悬臂振动器 110 的左和右检测信号中存在差异时,能够同时进行失调水平调节和对该左右检测信号的调节,并且针对干扰采取措施。以这种方式,可以提高产率、产量和质量。

[0221] 第三实施例

[0222] 如上所述,根据本发明的一个实施例的振动陀螺传感器包括振动陀螺传感器元件 100A 和 100B,该振动陀螺传感器元件 100A 和 100B 具有相同结构并且以不同轴向安装在同一支撑基底上。以这种方式,该振动陀螺传感器能够以两个轴向检测角速度(参照图 40)。该振动陀螺传感器在同一支撑基底上包括电子元件,例如 IC 芯片。此外,将该振动陀螺传感器设置在包括各种传感器元件和电子装置的主体(main body)内部。因此,需要通过防止一对振动陀螺传感器元件之间、支撑基底上的元件例如 IC 元件之间以及包含在主体中的电子装置之间的串扰而提高该传感器输出的精度。

[0223] 为了调节失调水平和调节安装在根据本发明一个实施例的振动陀螺传感器的支撑基底 20 上的振动陀螺传感器元件 100 的检测信号,在悬臂振动器 110 的后表面 110b 上

进行激光修饰。在该调节工艺中,能够防止该振动陀螺传感器之间和其他电子元件和电子装置之间的串扰。

[0224] 在根据本实施例的悬臂振动器 110 的振动特性的调节中,调节各种振动特性例如失调水平以及该悬臂振动器 110 的检测信号的平衡。随后,进行激光修饰以调节该垂直和水平共振频率。

[0225] 因为悬臂振动器 110 被成形为悬臂,所以该振动频率与该悬臂长度的平方成反比,以如下公式表示,其中 f_n 表示该悬臂的共振频率, E 表示 Young 的模, I 表示该悬臂的横截面副力矩, ρ 表示密度, A 表示悬臂的横截面面积, L 表示该悬臂的长度, λ 表示比例系数。基于该公式在该悬臂振动器 110 的尖端进行激光修饰以减少该悬臂的刚性和实际长度,结果,增加了该悬臂的共振频率。

$$[0226] \quad f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A L^4}} = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \frac{1}{L^2} \quad (1)$$

[0227] 当调节该共振频率时,必须防止已经被调节的失调水平发生改变。图 66 示出了表示当该激光加工深度是 $11 \mu\text{m}$ 而悬臂长度是 1.9mm 时,通过测量该悬臂上的激光加工区域以及该共振频率和失调水平的变化而得到的数据点的曲线图。通过在距离该悬臂底部(即该振动器的后座(rear anchor))超过 1.6mm 的区域(大于该振动器总长度的五分之四)进行激光加工,可以增加该共振频率而不改变失调水平(对应于 94Hz)。

[0228] 因此,如图 67 所示,在悬臂振动器 110 的后表面 110b 上距离悬臂振动器 110 的底部大于该振动器总长度五分之四的距离处的区域,是用于形成激光加工凹陷 90 以调节共振频率的区域,而除了这一区域之外的悬臂振动器 110 上的区域是用于形成激光加工凹陷 80 以调节该失调水平以及左右检测信号的平衡的区域。以这种方式,可以将悬臂振动器 110 的共振频率调节到预定频带而不改变失调水平,该预定频带较少地受到该主体中串扰的影响。要形成的凹陷 90 的数量是不受限制的,并且可以是单个凹陷或多个凹陷。形成凹陷 90 的激光加工区域不限于与悬臂振动器 110 的轴线对齐的位置。而且,形成凹陷 90 的该激光加工区域不限于悬臂振动器 110 的后表面 110b,而是可以在悬臂振动器 110 的尖端。除了通过形成凹陷 90 来调节共振频率,也能够通过在悬臂振动器 110 中轴线的左和右侧的不对称位置形成凹陷 90,从而根据激光加工区域的位置来调节左和右检测信号的平衡。

[0229] 为了防止在一对振动陀螺传感器元件之间的串扰,期望将振动陀螺传感器元件的共振频率设定为相隔至少 1kHz 。

[0230] 第四实施例

[0231] 在根据第一实施例的形成用于从 Si 基底 1 上切割悬臂振动器 110 的外形的穿透部分 13 的工艺中(图 29 至 31),应用了感应耦合等离子体活性离子蚀刻(ICP-RIE)。在以高纵横比(aspect ratio)形成具有垂直于 Si 基底 1 的侧壁的凹槽方面,ICP-RIE 是非常有优势的。

[0232] 当 Si 基底 1 的大小(即晶片直径)增加时,以预定垂直角度在 Si 基底 1 上形成所有悬臂振动器 110 的侧壁变得很难,如图 68A 中的示意图所示,并且由于等离子体工艺室中的气流分布和等离子体分布,振动器 110 会形成为不对称形状,特别是在 Si 基底 1 的外周边区域中,如图 68B 图例的示意图所示。

[0233] 如果悬臂振动器 110 是对称的,该振动模式将是垂直的,这是期望的振动方向(图

68A), 并且从在悬臂振动器 110 前表面上提供的左和右检测电极 106b 和 106c 输出的检测信号将是平衡的而不具有差异。然而, 当悬臂振动器 110 不对称时, 从左和右检测电极 106b 和 106c 输出的检测信号将是不平衡的 (图 68B)。当左和右检测信号不同时, 所检测的悬臂振动器 110 的旋转方向中的角速度将不同, 或者对于顺时针和逆时针旋转速度的灵敏度将不同。

[0234] 如上所述, 为了调节左和右检测信号的平衡, 通过在形成振动陀螺传感器元件 100 之后发射激光束来修饰悬臂振动器 110 的预定区域。然而, 当仅使用这种方法来平衡该检测信号时, 调节所需的时间较多。而且, 因为通过使用激光加工可调节的左和右检测信号的最大差异大约是 30%, 所以如果差异大于 30%, 则悬臂振动器 110 不能被接受为产品, 导致产率降低。

[0235] 根据本实施例, 为了缩短调节所需的时间和增加无缺陷产品的生产率, 过度执行用于勾勒悬臂振动器 110 外形的蚀刻, 直到在穿透部分 13 底部露出的悬臂振动器 110 的脊线被弯曲为止。

[0236] 当从顶部观察时, 图 69A 所示的穿透部分 13 是 U 形。穿透部分 13 是通过应用蚀刻工艺沿悬臂振动器 110 的外形切割被热氧化膜 2A 掩蔽的 Si 基底 1 来形成的。当蚀刻深度到达对应于要生产的悬臂振动器 110 的厚度的点时, 完成该蚀刻工艺。此时, 在 Si 基底 1 背面提供的背侧停止膜 12 限制该蚀刻深度。

[0237] 在根据本实施例形成穿透部分 13 的工艺中, 即使在该蚀刻形成的凹槽底部到达背侧停止膜 12 之后仍然继续蚀刻 (即执行过蚀刻 (over-etching))。如图 69B 的示意图所示, 当进行过蚀刻时, 在背侧停止膜 12 上的电荷或蚀刻剂存储层 (在图 69B 中用参考字符 E 表示) 引起针对穿透部分 13 的侧壁的蚀刻效应。因而, 悬臂振动器 110 的较低脊线区域被修饰为锥形或弧形结构, 如图 69B 所示。

[0238] 这种现象被称为“切口 (notching)”, 并且通常控制该蚀刻条件以在标准工艺中防止切口。严重的切口发生在脊线区域, 在这里随着穿透部分 13 越倾斜, 背侧停止膜 12 的角度和穿透部分 13 的侧壁会变得越来越尖锐。图 69A 是示出了从纵轴方向观察的悬臂振动器 110 的横截面图。图 69B 是示出了从与悬臂振动器 110 的纵轴方向正交的角度观察的主要部件的横截面图。

[0239] 在本实施例中, 在穿透部分 13 形成期间, 由过蚀刻导致的切口被用于减少因悬臂振动器 110 形状的不对称而导致的悬臂振动器 110 振动方向的倾斜。

[0240] 当悬臂振动器 110 具有不对称形状时, 与如图 68B 所示的常规蚀刻 (即没有使用过蚀刻) 所产生的悬臂振动器 110 的振动方向相比, 如图 70B 所示的过蚀刻所产生的悬臂振动器 110 的振动方向更接近垂直方向。这是因为对于悬臂振动器 110 的左和右脊线 110VL 和 110VR, 无论哪一个具有更尖锐的角度, 都会在蚀刻工艺期间受到切口更多的影响, 并且在该脊线区域的悬臂振动器 110 的更大的质量被去除。因此, 更好地平衡了悬臂振动器 110 的左和右平分的重量, 并且将振动调节到垂直方向上的振动模式。

[0241] 如图 68A 所示, 对于具有对称形状的悬臂振动器 110, 当通过使用过蚀刻形成穿透部分 13 时, 左和右脊线 110VL 和 110VR 都会因切口而弯曲, 如图 70A 所示。然而, 在这种情况下, 通过蚀刻去除的质量对于左和右脊线 110VL 和 110VR 基本相同, 并且保持悬臂振动器 110 形状的对称性。因此, 与没有应用过蚀刻时相似, 悬臂振动器 110 在垂直方向上振动。

[0242] 图 68 和 70 所示的悬臂振动器 110 被倒置显示,以使容易理解该描述。当实际的振动器 110 面对前表面时振动,在这里向下的提供检测电极 106b 和 106c 以及驱动电极 106a。

[0243] 可以通过控制常规的蚀刻时间而执行过蚀刻,即把加工时间设定为比常规蚀刻设定的时间要长。根据各种规格例如悬臂振动器 110 的大小和形状以及驱动频率,而将被切口加工的该悬臂振动器 110 的左和右脊线 110VL 和 110VR 的区域的长度设定为预定长度。根据按照第一实施例的振动陀螺传感器元件 100 的形状,被加工的区域长度是 $5\mu\text{m}$ 或更长。而且,因为如果加工的区域太大就要减少悬臂振动器 110 的强度,所以加工的区域期望长度是 $20\mu\text{m}$ 或更少。

[0244] 如上所述,根据本实施例,即使在发生切口以形成该悬臂振动器 110 的锥形或弧形脊线之后,原本具有对称形状的悬臂振动器的振动模式仍然保持在期望的方向。而且,如果是由于原本的不对称形状而在倾斜角度振动的悬臂振动器 110,在悬臂振动器 110 的较低脊线处发生的切口也可以减少悬臂振动器 110 的不对称,并且将振动调节到接近垂直方向的振动模式。因此,可以通过激光加工对由于不充分调节而导致振动模式不平衡的悬臂振动器进行调节。以这种方式,可以提高产率和产量。

[0245] 发明人确认,对于从一个 Si 基底上生产的多个已知振动陀螺传感器元件,在执行调节之前左和右检测信号差别小于 30% 的无缺陷元件的产量是大约 43%,而对于根据本实施例从一个 Si 基底上生产的多个振动陀螺传感器元件,无缺陷元件的产量是大约 87%,这大约是已知的振动陀螺传感器元件的产量的两倍。

[0246] 第五实施例

[0247] 在根据第一实施例形成用于从 Si 基底 1 切割出悬臂振动器 110 的外形的穿透部分 13 的工艺中,应用了感应耦合等离子体活性离子蚀刻 (ICP-RIE)。在以高纵横比 (aspect ratio) 形成具有垂直于 Si 基底 1 的侧壁的凹槽方面,ICP-RIE 是非常有优势的。

[0248] 通常,当通过蚀刻形成线性凹槽时,该凹槽的壁没有形成精确的直角 (即该凹槽宽度方向上的边和该凹槽纵轴方向上的边没有构成直角),并且相反的是弯曲的。因此,当形成穿透部分 13 时,悬臂振动器 110 对应于悬臂振动器 110 两侧面和振动陀螺传感器元件 100 的底部之间的边界区域的底部区域 110R1 和 110R2 具有从顶部观察为弯曲的形状,如图 71 所示。

[0249] 然而,悬臂振动器 110 的底部区域 110R1 和 110R2 很容易变得不对称。如图 72A 所示,如果悬臂振动器 110 的形状是对称的,悬臂振动器 110 的振动模式将是垂直方向的,并且来自在悬臂振动器 110 的表面上提供的检测电极 106b 和 106c 的检测信号将是平衡的。相反的,如上所述,如果悬臂振动器 110 的底部区域 110R1 和 110R2 是不对称的,那么悬臂振动器 110 的振动模式就会倾斜,如图 72B 所示。

[0250] 当该振动模式是倾斜角度时,来自左和右检测电极 106b 和 106c 的检测信号将是不平衡的。当左和右检测电极 106b 和 106c 是不平衡时,在悬臂振动器 110 的旋转方向上检测的角速度会不同,或者对于顺时针和逆时针旋转速度的灵敏度将会不同。

[0251] 如上所述,为了调节左右检测信号之间的平衡,通过在形成振动陀螺传感器元件 100 之后发射激光束而修饰悬臂振动器 110 的预定区域。然而,当仅应用该方法来平衡该检测信号时,调节所需的时间较多。而且,因为通过使用激光束可调节的左和右检测信号的最大差异是大约 30%,所以如果该差异大于 30%,则悬臂振动器 110 就不能被接受为产品,导

致产率降低。

[0252] 根据本实施例,为了缩短调节所需的时间和增加无缺陷产品的生产率,执行用于勾勒悬臂振动器 110 外形轮廓的蚀刻,以使穿透部分 13 的两端部部分 13A 和 13B 向外成锥形或弯曲(参照图 73)。

[0253] 图 73 示出了在形成外部凹槽工艺中的 Si 基底 1 的示意图。穿透部分 13 被形成成为 U 形,围绕悬臂振动器 110 的外部。穿透部分 13 的端部 13A 和 13B 向悬臂振动器 110 的外部弯曲。穿透部分 13 被形成以蚀刻被热氧化膜 2A 掩蔽的 Si 基底 1(此时,压电膜、上电极膜以及包括端子和引线的布线图案被保护膜覆盖)。当构图热氧化膜 2A 时,与穿透部分 13 弯曲的区域对应的 U 形的开口的两边被弯曲,如图 73 所示。

[0254] 因此,穿透部分 13 的端部 13A 和 13B 沿热氧化膜 2A 的开口形状弯曲。如图 74 所示,将悬臂振动器 110 的底部区域 110R1 和 110R2 形状的对称性提高到该形状基本相同的程度。以这种方式,将把悬臂振动器 110 的振动保持在垂直方向上的振动模式,并且提高检测信号之间的平衡。

[0255] 图 75A 至 75C 示出了悬臂振动器 110 的底部区域 110R2(110R1)。图 75A 示出了形成成为圆形和具有预定曲率的椭圆形的悬臂振动器 110 的底部区域 110R2。图 75B 示出了以具有不同倾角的锥形形成的悬臂振动器 110 的底部区域 110R2。图 75C 示出了在角度相对于振动陀螺传感器元件 100 的底部逐渐变小的多个连接的斜面上形成的悬臂振动器 110 的底部区域 110R2。

[0256] 悬臂振动器 110 的底部区域 110R1 和 110R2 不限于上述形状,只要底部区域 110R1 和 110R2 是锥形或弧形以使该底部区域 110R1 和 110R2 的宽度向着悬臂振动器 110 外侧逐渐变大即可。底部区域 110R1 和 110R2 的曲率半径可以设置为任何值,诸如 $5\mu\text{m}$ 。

[0257] 如上所述,根据本实施例,由于从一开始就通过将穿透部分 13 的端部 13A 和 13B 形成成为弧形而弯曲底部区域 110R1 和 110R2,所以悬臂振动器 110 的形状是基本对称的。以这种方式,可以将悬臂振动器 110 的振动保持在垂直方向上的振动模式。因而,可以通过激光加工而调节由于不充分调节而以不平衡振动模式振动的悬臂振动器。以这种方式,可以提高产率和产量。

[0258] 本发明人确认,对于从一个 Si 基底上生产的多个已知振动陀螺传感器元件,在进行调节之前,左右检测信号差别小于 30% 的无缺陷元件的产量是大约 38%,然而,对于根据本实施例从一个 Si 基底上生产的多个振动陀螺传感器元件,无缺陷元件的产量被显著提高到大约 82%。这里该振动器的底部曲率半径被设定为 $20\mu\text{m}$ 。

[0259] 根据本发明的振动陀螺传感器元件及其制造方法还包括以下结构:

[0260] (1) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件,其中该振动器具有至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差的第一凹陷和至少一个用于调节从设置在该振动器上的一对检测电极输出的信号差的第二凹陷;

[0261] (2) 根据 (1) 的振动陀螺传感器元件,其中将该第一和第二凹陷设置为至少一个公共凹陷;

[0262] (3) 根据 (1) 的振动陀螺传感器元件,其中在该振动器的第一表面上设置压电膜、驱动电极和该检测电极对,并且在除了该第一表面之外的区域设置第一和第二凹陷;

[0263] (4) 根据 (1) 的振动陀螺传感器元件,其中在振动器的尖端区域设置用于调节该

振动器的共振频率的至少一个第三凹陷；

[0264] (5) 根据 (4) 的振动陀螺传感器元件, 其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该第三凹陷；

[0265] (6) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器上设置至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷；

[0266] (7) 根据 (6) 的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器的第一表面上设置压电膜、驱动电极和该检测电极对, 并且在除了该第一表面之外的区域设置该凹陷；

[0267] (8) 根据 (6) 的振动陀螺传感器元件, 其中在振动器的尖端区域设置用于调节该振动器的共振频率的至少一个凹陷；

[0268] (9) 根据 (8) 的振动陀螺传感器元件, 其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该凹陷；

[0269] (10) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件, 其中该振动器具有至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差的第一凹陷和至少一个用于调节从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的第二凹陷, 并且当该振动器在水平共振频率振动时, 在最小化该信号差的位置形成该第二凹陷；

[0270] (11) 根据 (10) 的振动陀螺传感器元件, 其中该第一和第二凹陷被设置作为至少一个公共凹陷；

[0271] (12) 根据 (10) 的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器的第一表面上设置压电膜、驱动电极和该检测电极对, 并且在除了该第一表面之外的区域设置第一和第二凹陷；

[0272] (13) 根据 (10) 的振动陀螺传感器元件, 其中在振动器的尖端区域设置用于调节该振动器的共振频率的至少一个第三凹陷；

[0273] (14) 根据 (13) 的振动陀螺传感器元件, 其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该第三凹陷；

[0274] (15) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器上设置至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷, 并且当该振动器在水平共振频率振动时, 在最小化该信号差的位置形成该凹陷；

[0275] (16) 根据 (15) 的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器的第一表面上设置压电膜、驱动电极和该检测电极对, 并且在除了该第一表面之外的区域设置该凹陷；

[0276] (17) 根据 (15) 的振动陀螺传感器元件, 其中在振动器的尖端区域设置用于调节该振动器的共振频率的至少一个凹陷；

[0277] (18) 根据 (17) 的振动陀螺传感器元件, 其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该凹陷；

[0278] (19) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器上设置用于调节该振动器的共振频率的至少一个凹陷；

[0279] (20) 根据 (19) 的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器上设置至少一个用于调节从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷；

[0280] (21) 根据 (19) 的振动陀螺传感器元件, 其中在该振动器上设置至少一个用于调

节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差的凹陷；

[0281] (22) 根据 (19) 的振动陀螺传感器元件,其中在该振动器上设置至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷；

[0282] (23) 一种制造包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件的方法,包括步骤:在该振动器上形成至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差的第一凹陷,和在该振动器上形成至少一个用于调节从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的第二凹陷,其中当该振动器在垂直共振频率振动时,在最小化该信号差的位置形成该第二凹陷；

[0283] (24) 根据 (23) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中在测量该频率差和信号差之后多次重复该形成第一和第二凹陷的步骤；

[0284] (25) 根据 (23) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中将该第一和第二凹陷设置为至少一个公共凹陷；

[0285] (26) 根据 (23) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,还包括在该振动器的尖端区域形成用于调节该振动器的共振频率的至少一个第三凹陷的步骤；

[0286] (27) 根据 (26) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该第三凹陷；

[0287] (28) 一种制造包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件的方法,包括步骤:在该振动器上形成至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷,其中当该振动器在垂直共振频率振动时,在最小化该信号差的位置形成该凹陷；

[0288] (29) 根据 (28) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中在测量该频率差和信号差之后多次重复该形成凹陷的步骤；

[0289] (30) 根据 (28) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,还包括在该振动器上形成用于调节该振动器的共振频率的至少一个凹陷的步骤；

[0290] (31) 根据 (30) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该凹陷；

[0291] (32) 一种制造包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件的方法,包括步骤:在该振动器上形成至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差的第一凹陷,和在该振动器上形成至少一个用于调节从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的第二凹陷,其中当该振动器在水平共振频率振动时,在最小化该信号差的位置形成该第二凹陷；

[0292] (33) 根据 (32) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中在测量该频率差和信号差之后多次重复该形成第一和第二凹陷的步骤；

[0293] (34) 根据 (32) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中将该第一和第二凹陷设置为至少一个公共凹陷；

[0294] (35) 根据 (32) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,还包括在该振动器的尖端区域形成用于调节该振动器的共振频率的至少一个第三凹陷的步骤；

[0295] (36) 根据 (35) 的制造振动陀螺传感器元件的方法,其中在距离该振动器超过该

振动器总长度的五分之四的位置设置该第三凹陷；

[0296] (37) 一种制造包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件的方法，包括步骤：在该振动器上形成至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷，其中当该振动器在水平共振频率振动时，在最小化该信号差的位置形成该凹陷；

[0297] (38) 根据 (37) 的制造振动陀螺传感器元件的方法，其中在测量该频率差和信号差之后多次重复该形成凹陷的步骤；

[0298] (39) 根据 (37) 的制造振动陀螺传感器元件的方法，还包括在该振动器的尖端区域形成用于调节该振动器的共振频率的至少一个凹陷的步骤；

[0299] (40) 根据 (39) 的制造振动陀螺传感器元件的方法，其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该凹陷；

[0300] (41) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件，其中该振动器具有至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差的第一凹陷和至少一个用于调节从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的第二凹陷，并且当该振动器在垂直共振频率振动时，在最小化该信号差的位置形成该第二凹陷；

[0301] (42) 根据 (41) 的振动陀螺传感器元件，其中将该第一和第二凹陷设置为至少一个公共凹陷；

[0302] (43) 根据 (41) 的振动陀螺传感器元件，其中在该振动器的第一表面上设置压电膜、驱动电极和该检测电极对，并且在除了该第一表面之外的区域设置第一和第二凹陷；

[0303] (44) 根据 (41) 的振动陀螺传感器元件，其中在振动器的顶端区域设置用于调节该振动器的共振频率的至少一个第三凹陷；

[0304] (45) 根据 (44) 的振动陀螺传感器元件，其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该第三凹陷；

[0305] (46) 一种包括悬臂振动器的振动陀螺传感器元件，其中在该振动器上设置至少一个用于调节该振动器的垂直共振频率和水平共振频率之间的频率差以及从该振动器上设置的一对检测电极输出的信号差的凹陷，并且当该振动器在垂直共振频率振动时，在最小化该信号差的位置形成该凹陷；

[0306] (47) 根据 (46) 的振动陀螺传感器元件，其中在该振动器的第一表面上设置压电膜、驱动电极和该一对检测电极，并且在除了该第一表面之外的区域设置该凹陷；

[0307] (48) 根据 (46) 的振动陀螺传感器元件，其中在振动器的尖端区域设置用于调节该振动器的共振频率的至少一个凹陷；和

[0308] (49) 根据 (48) 的振动陀螺传感器元件，其中在距离该振动器超过该振动器总长度的五分之四的位置设置该凹陷。

[0309] 本领域技术人员应当理解，根据设计需求和其他因素可以作出各种修改、组合、子组合和替换，因它们均被包括在权利要求或其等同物的范围内。

[0310] 本发明包含分别于在 2005 年 3 月 4 日、2005 年 6 月 16 日、2005 年 6 月 16 日和 2005 年 12 月 28 日向日本专利特许厅提交的日本专利申请 JP2005-106717、JP 2005-176871、JP 2005-176870 和 JP2005-380330 相关的主题，这里通过引用结合其全部内容。

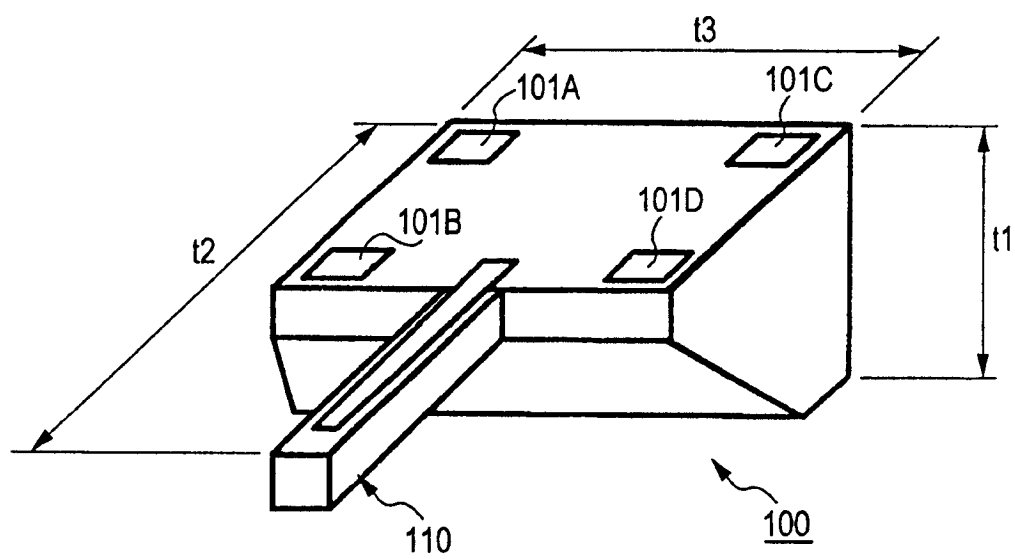


图 1A

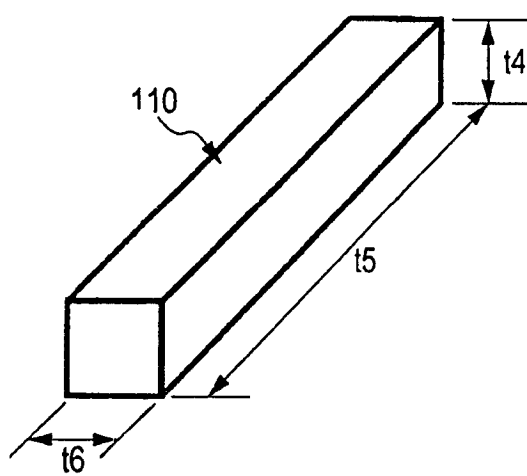


图 1B

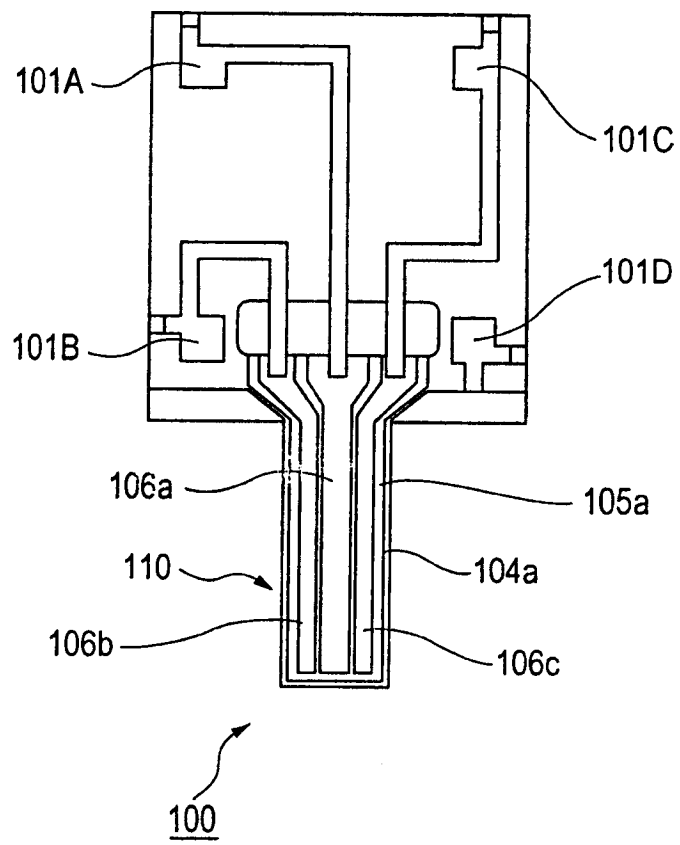


图 2

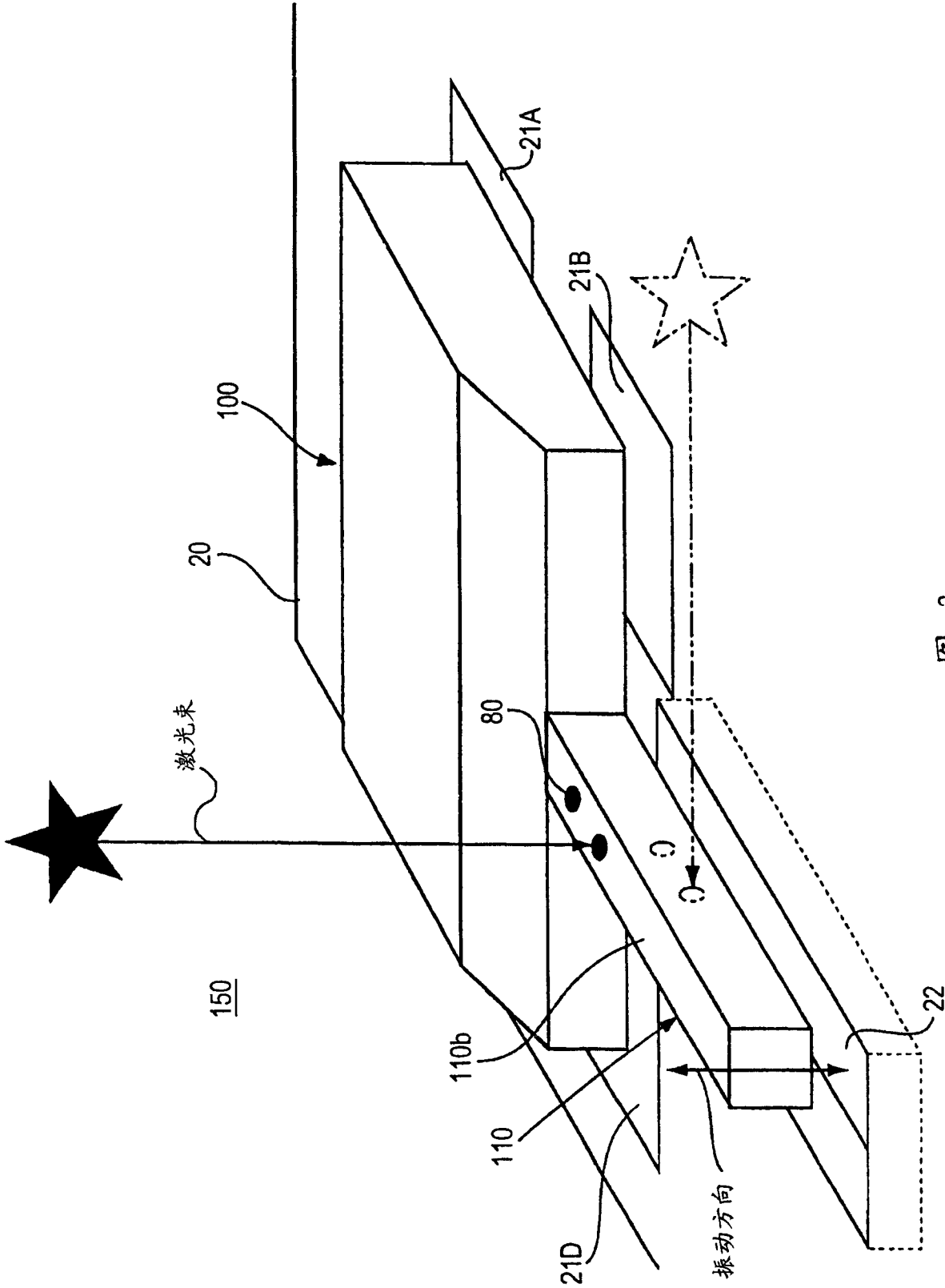


图 3

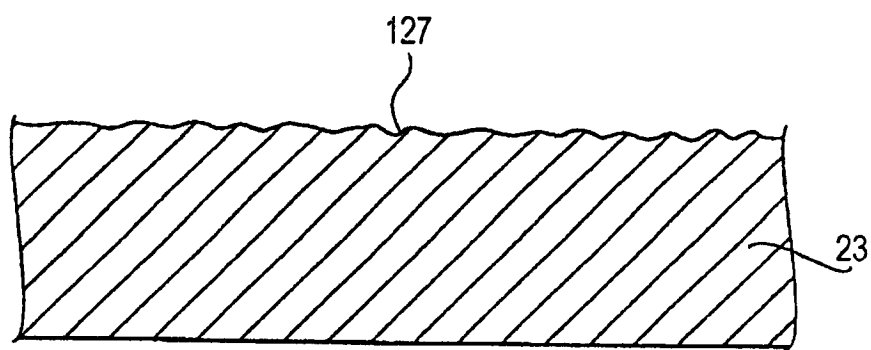


图 4A

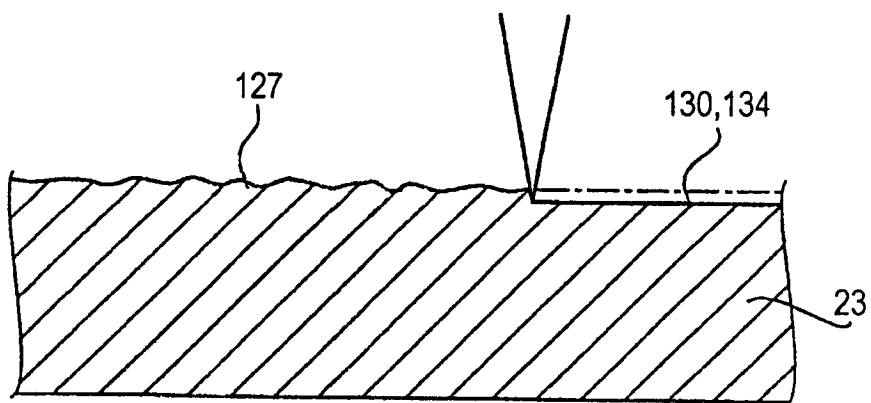


图 4B

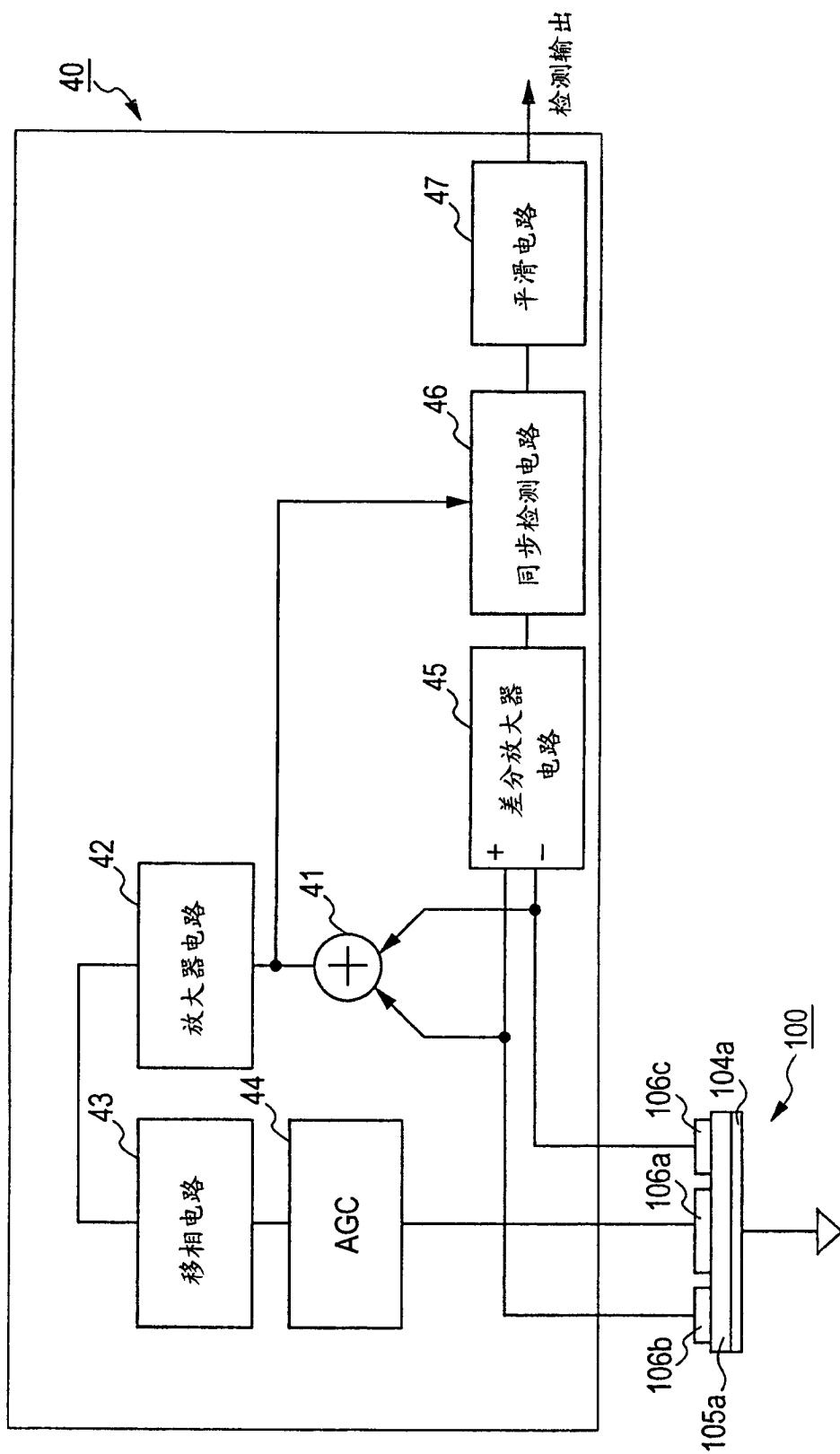


图 5

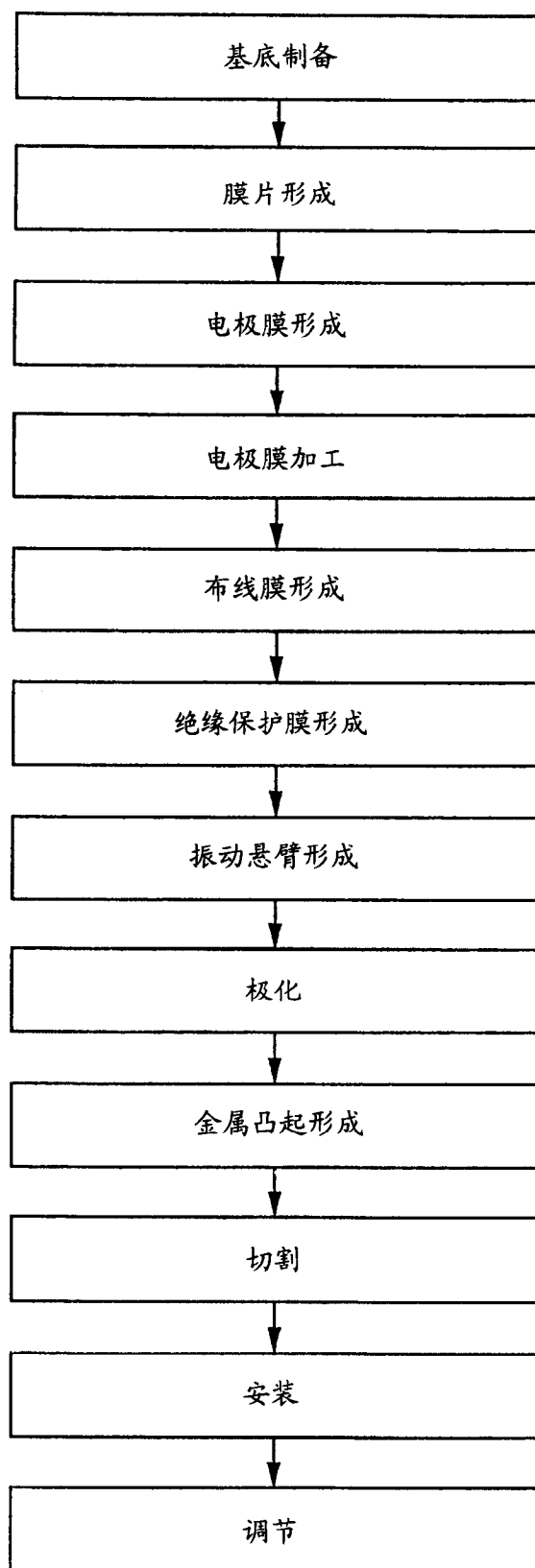


图 6

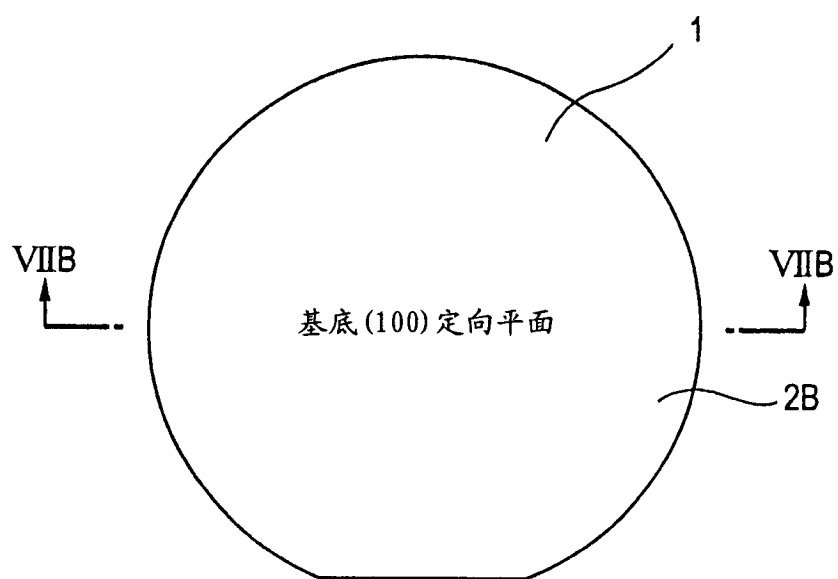


图 7A

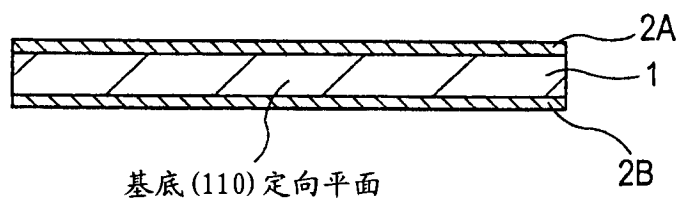


图 7B

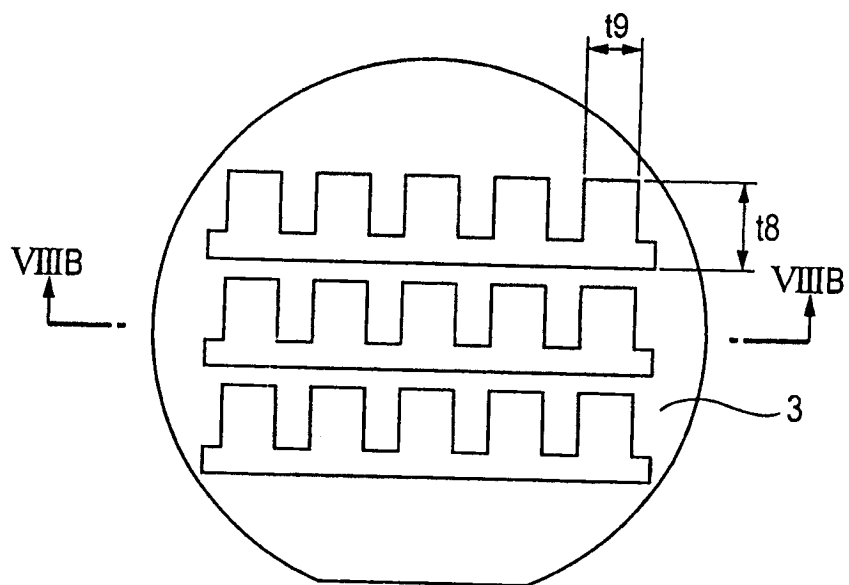


图 8A

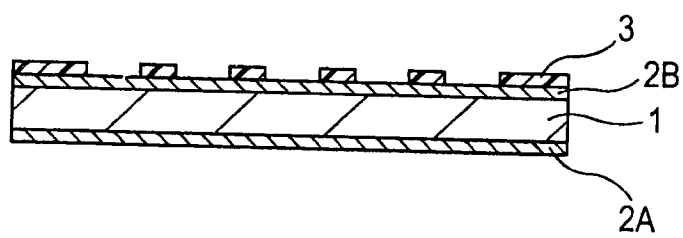


图 8B

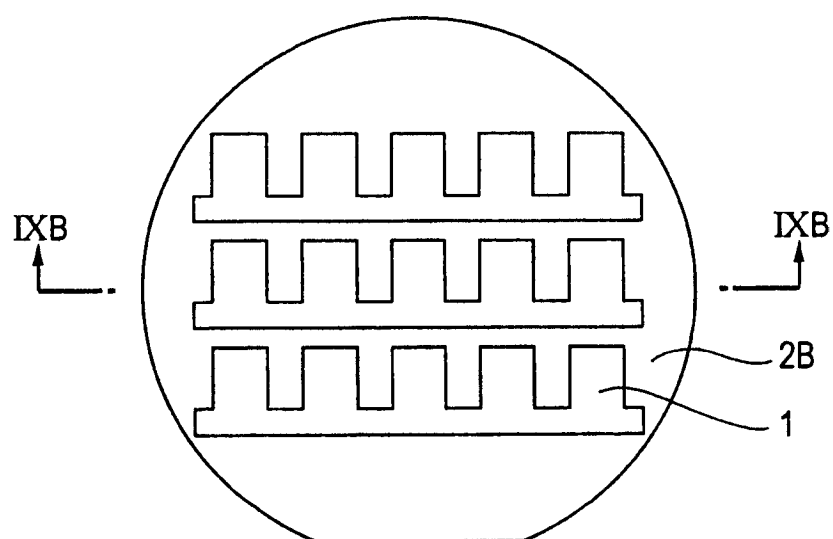


图 9A

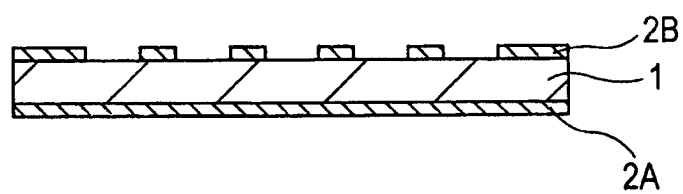


图 9B

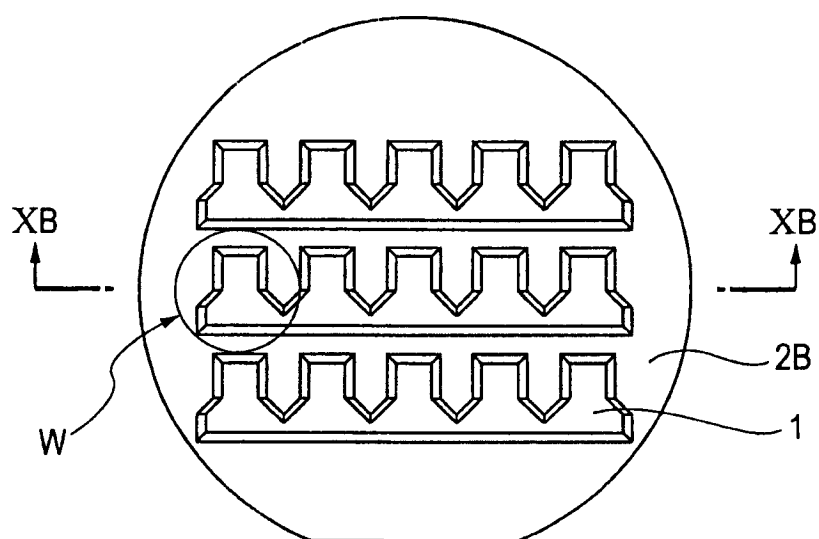


图 10A

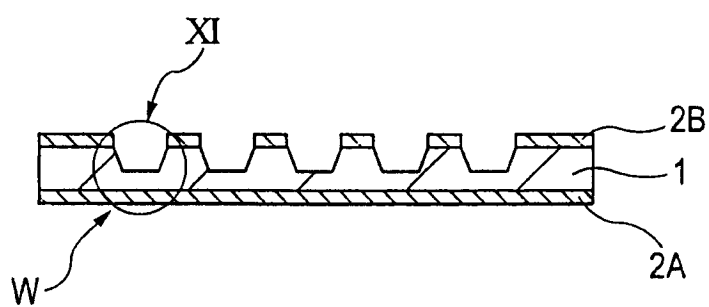


图 10B

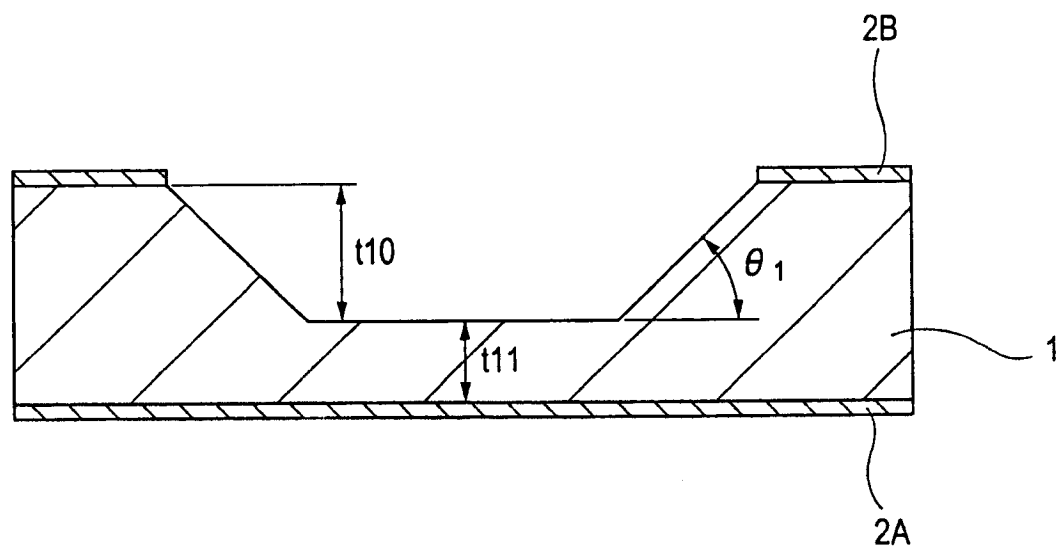


图 11

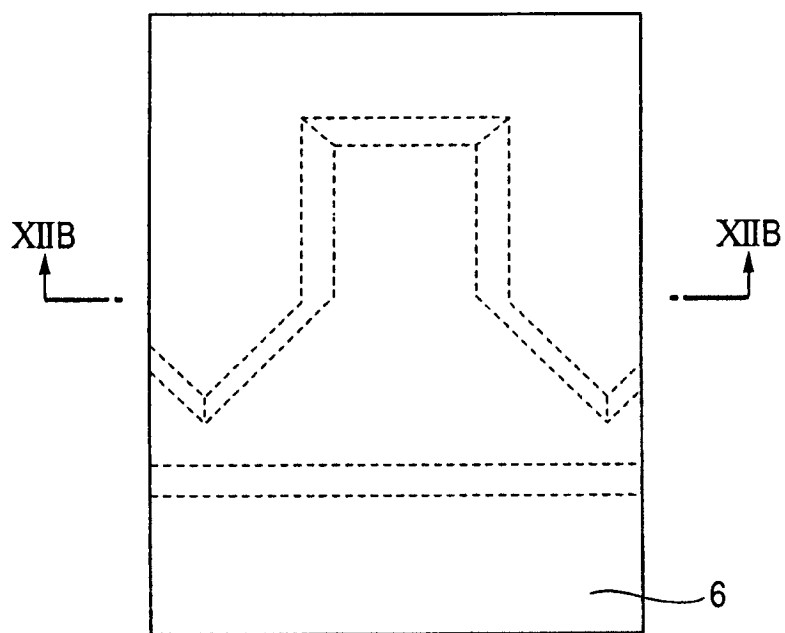


图 12A

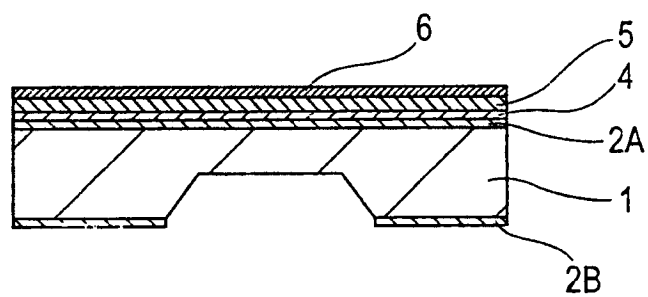


图 12B

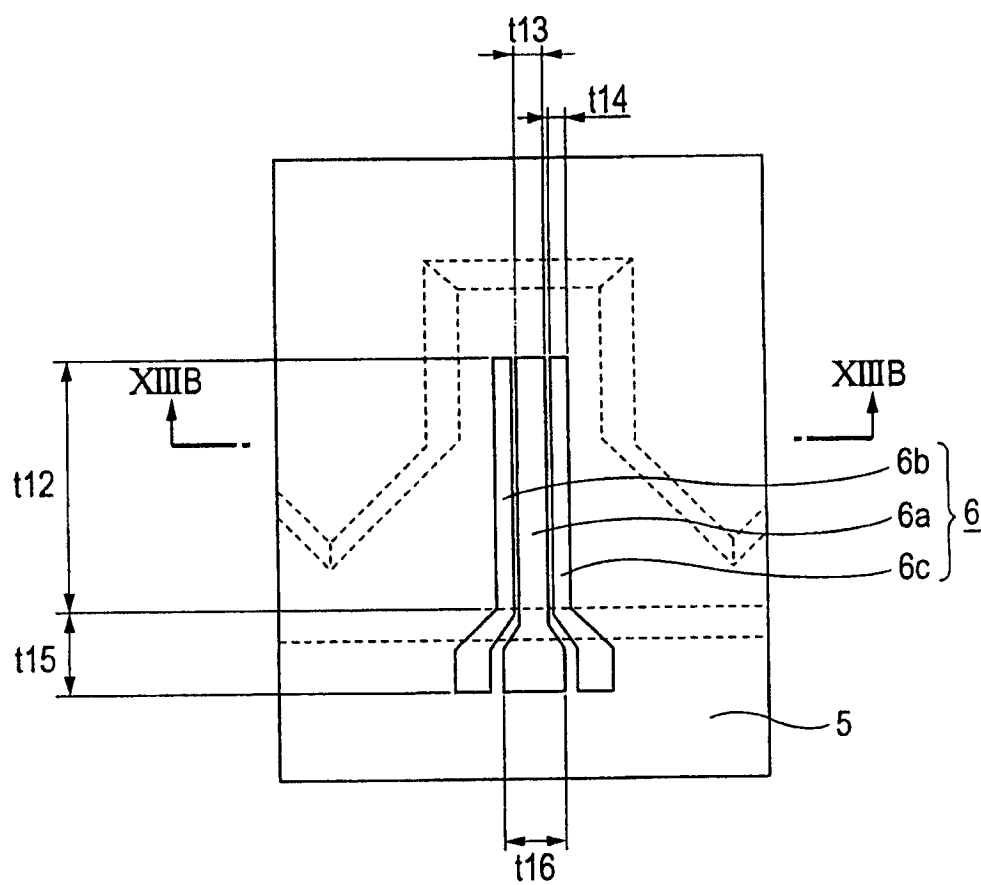


图 13A

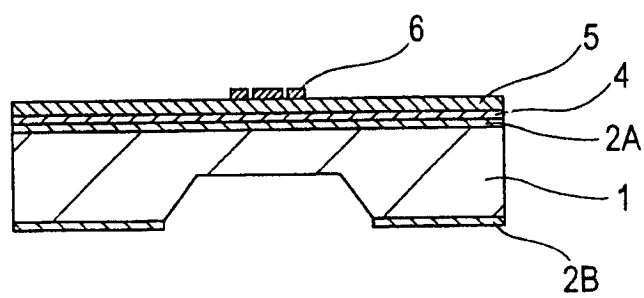


图 13B

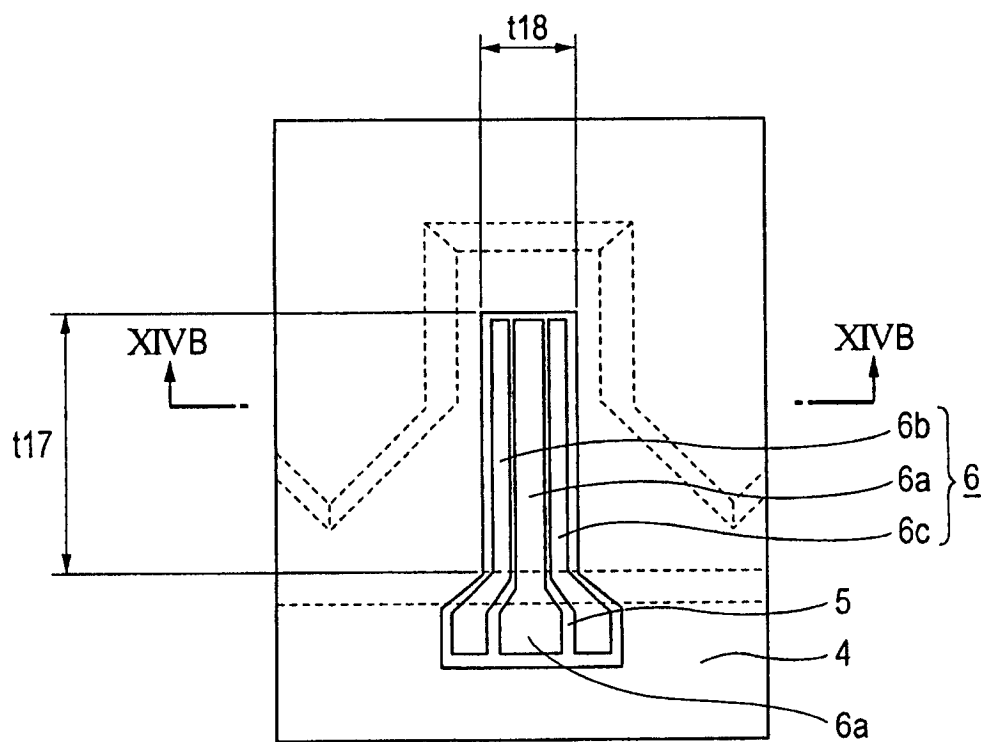


图 14A

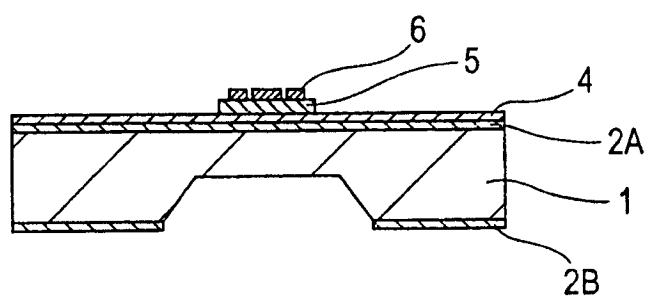


图 14B

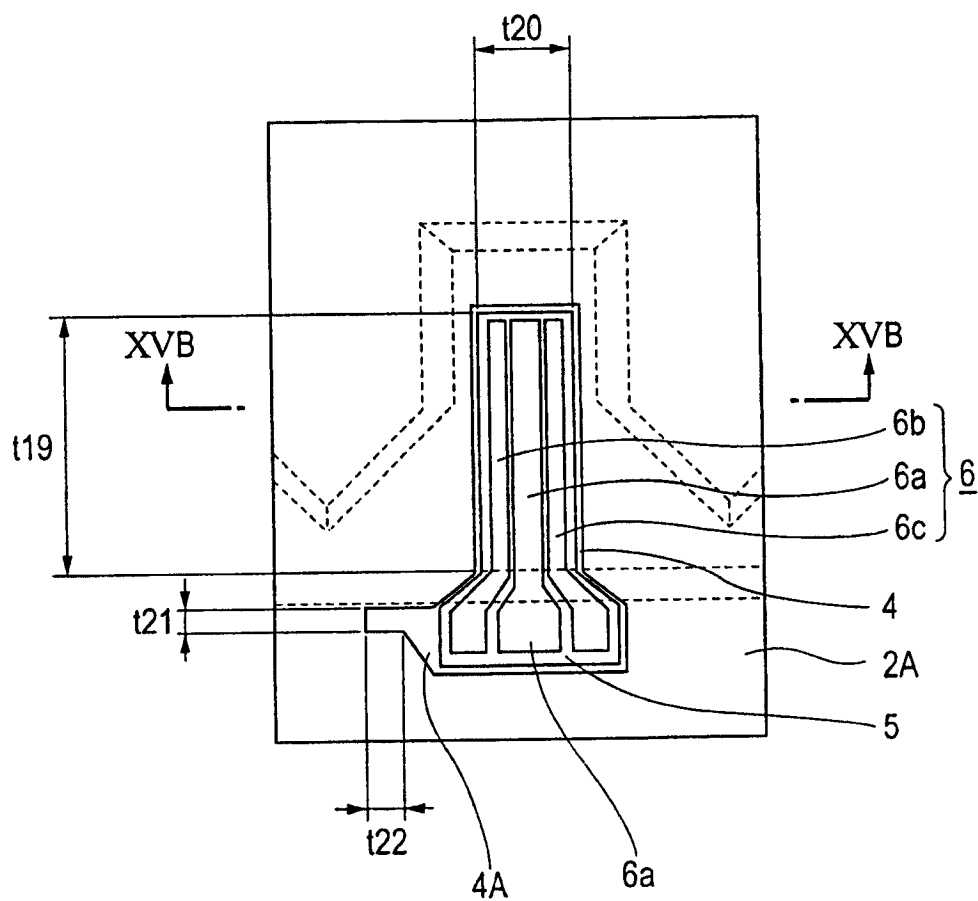


图 15A

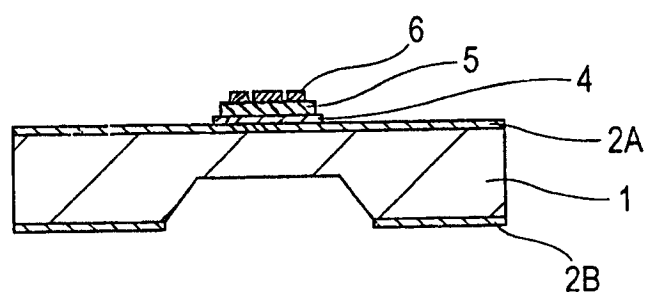


图 15B

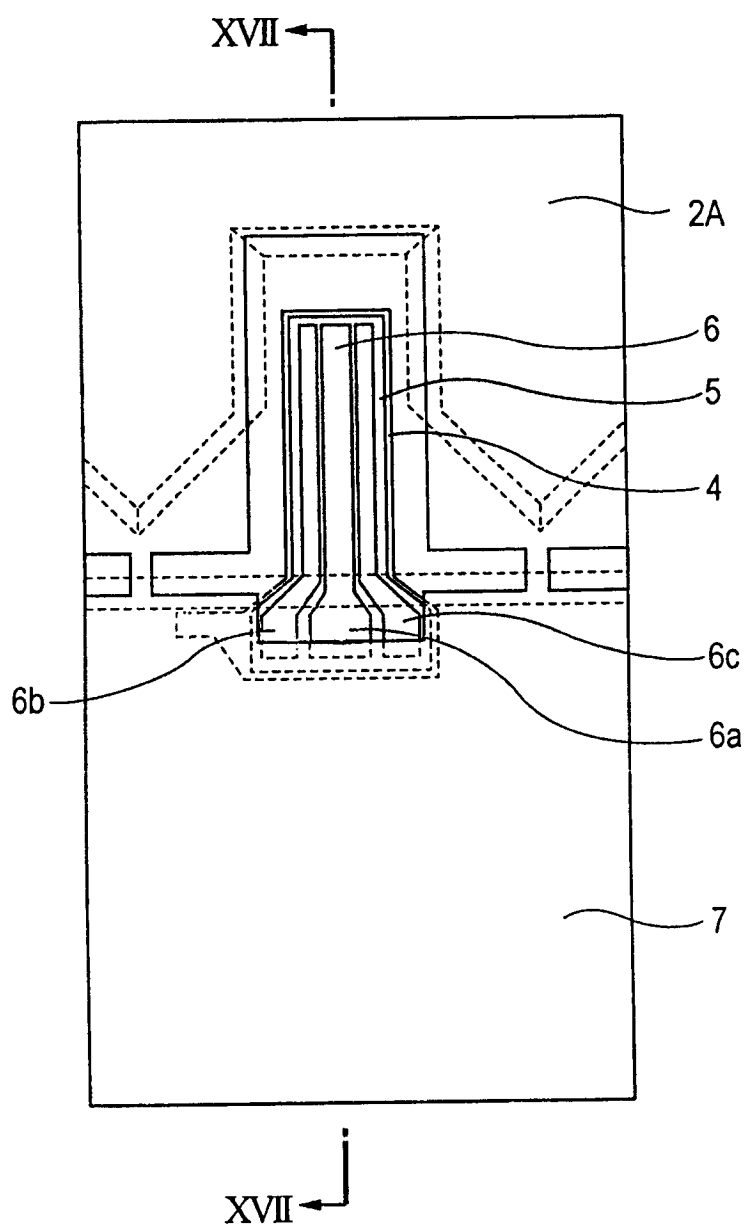


图 16

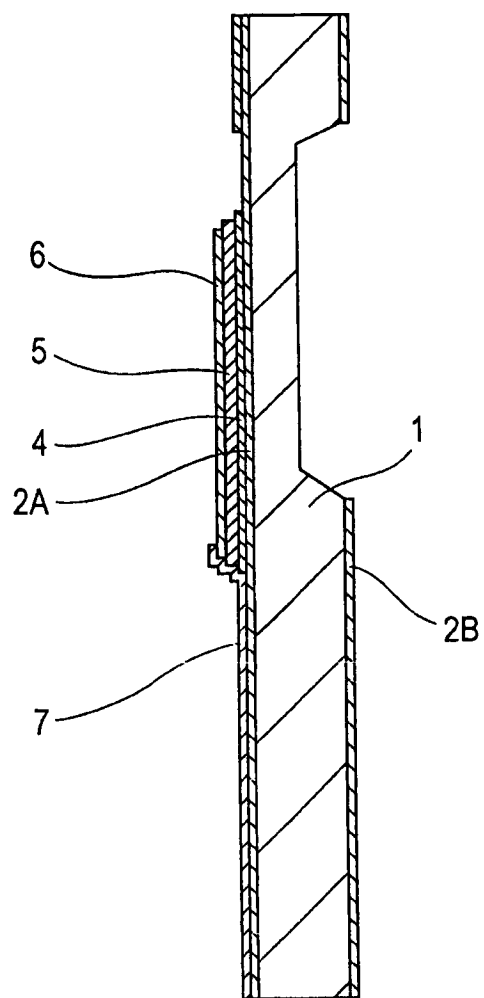


图 17

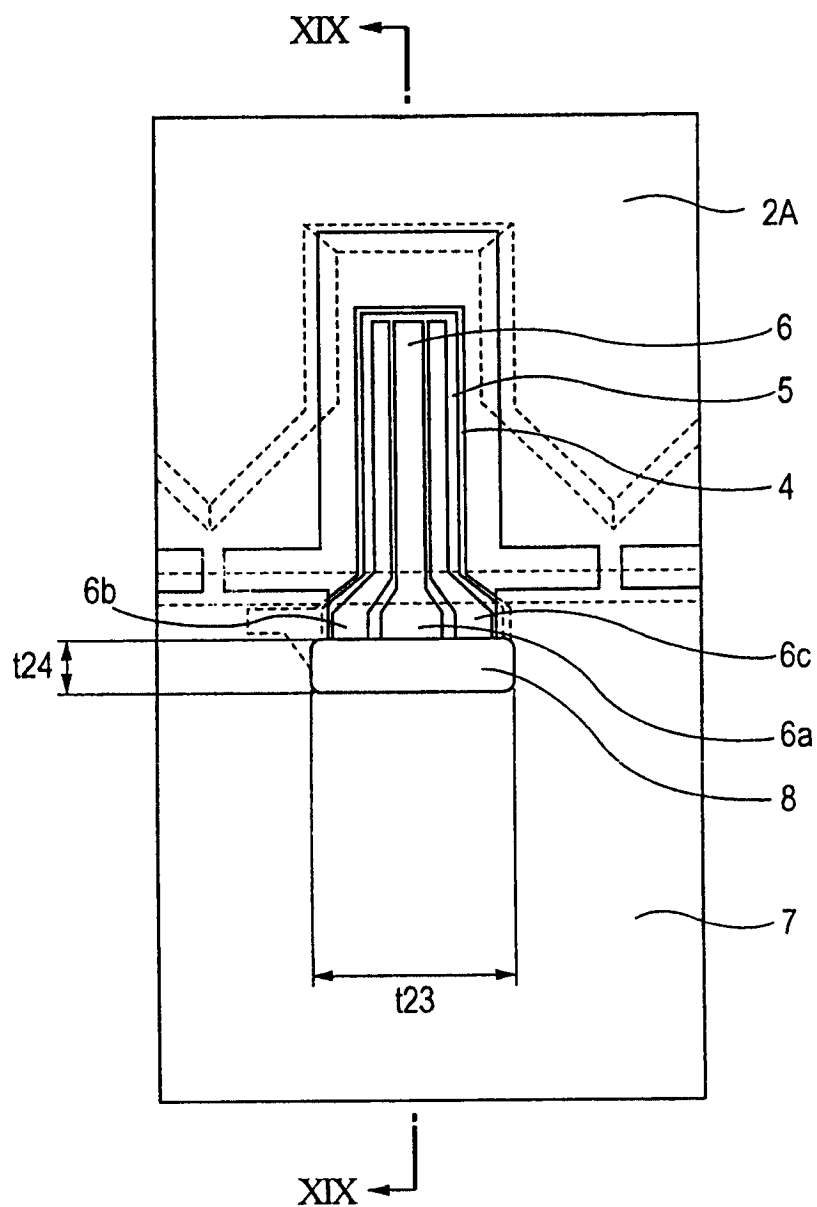


图 18

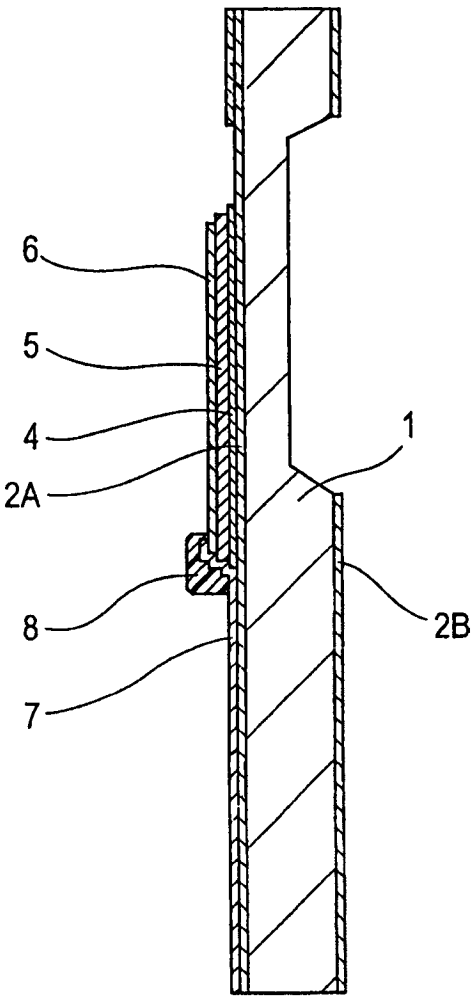


图 19

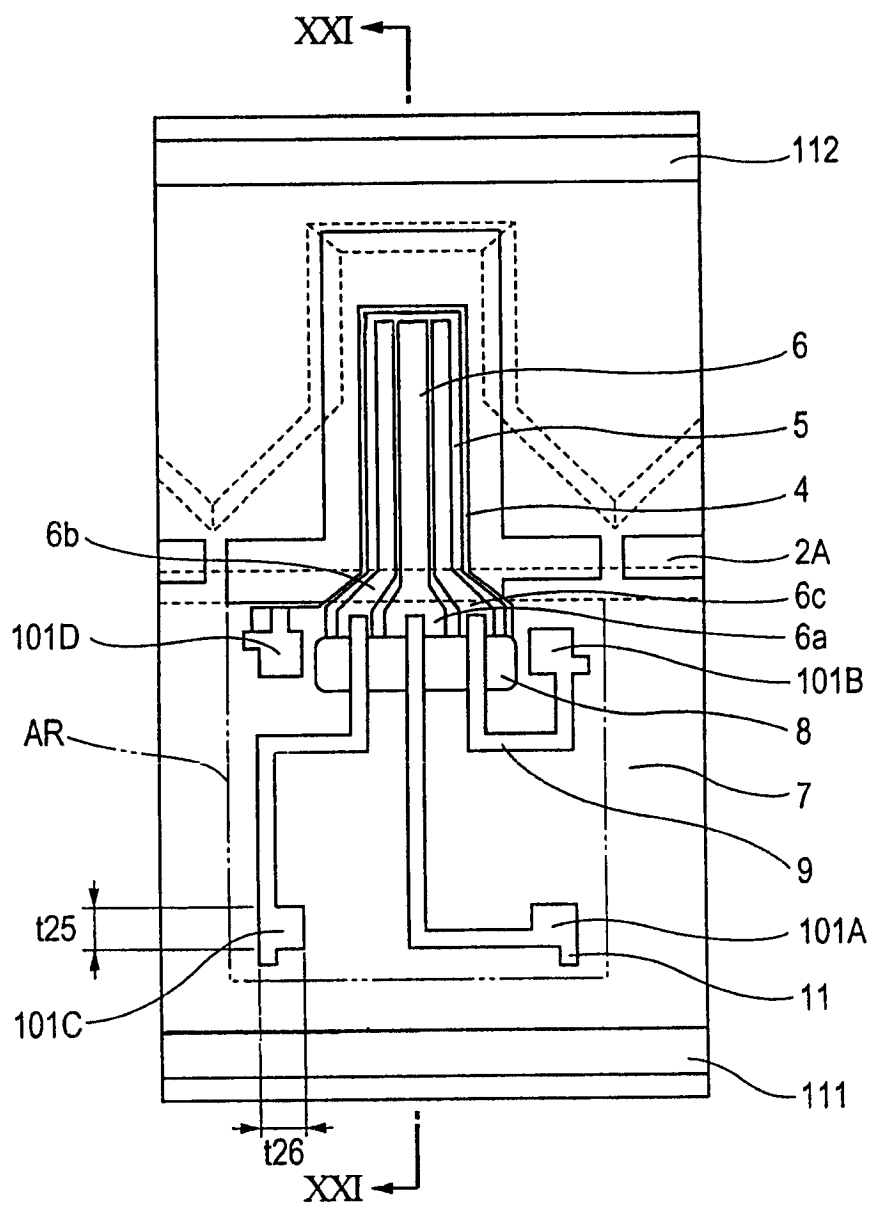


图 20

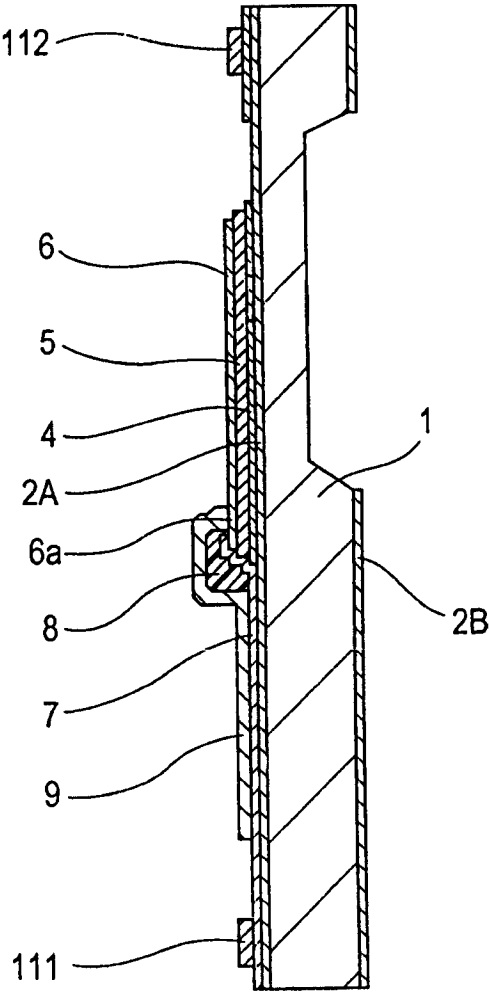


图 21

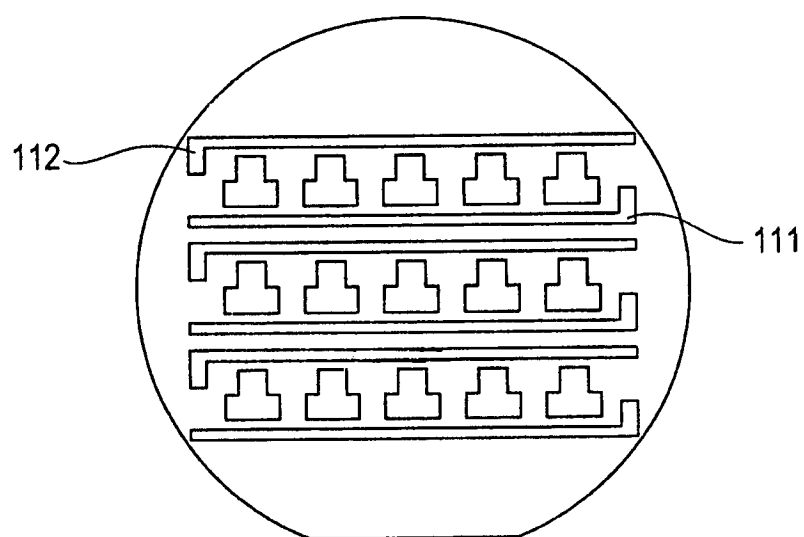


图 22

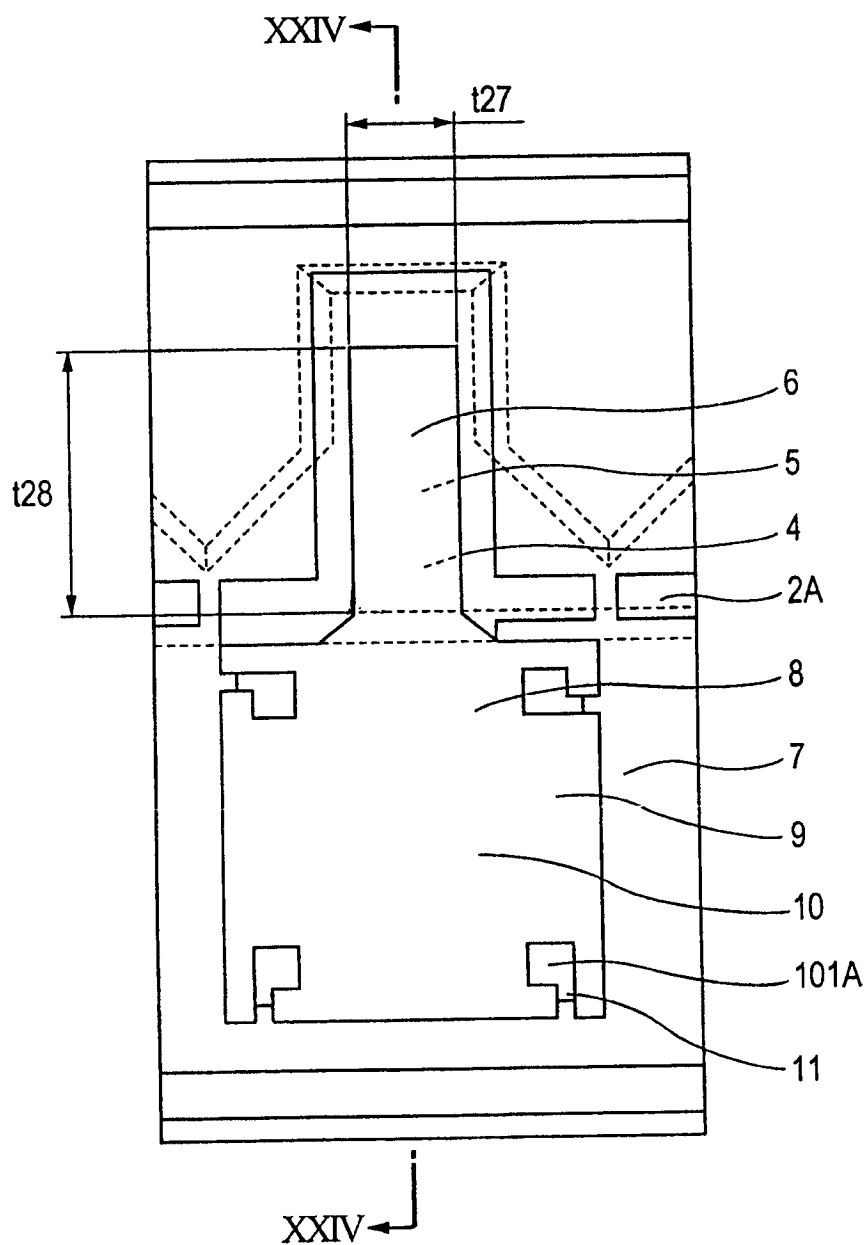


图 23

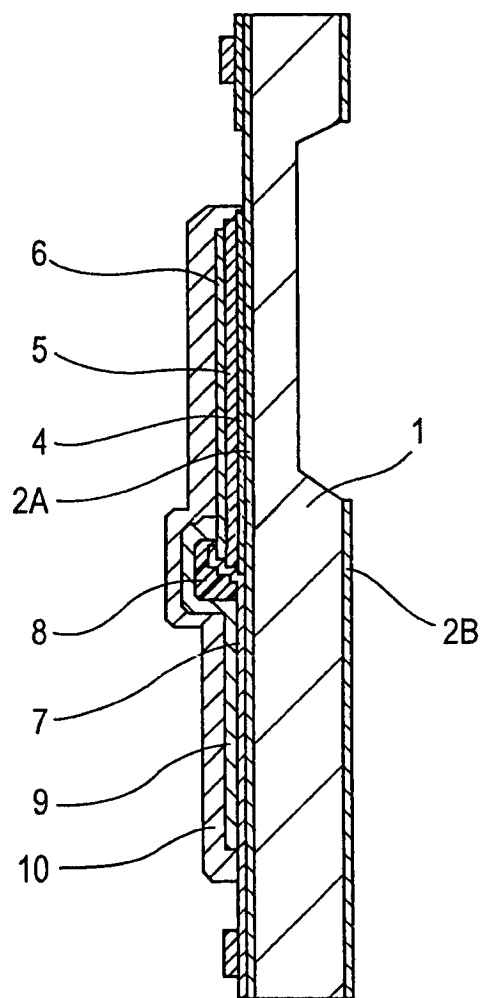


图 24

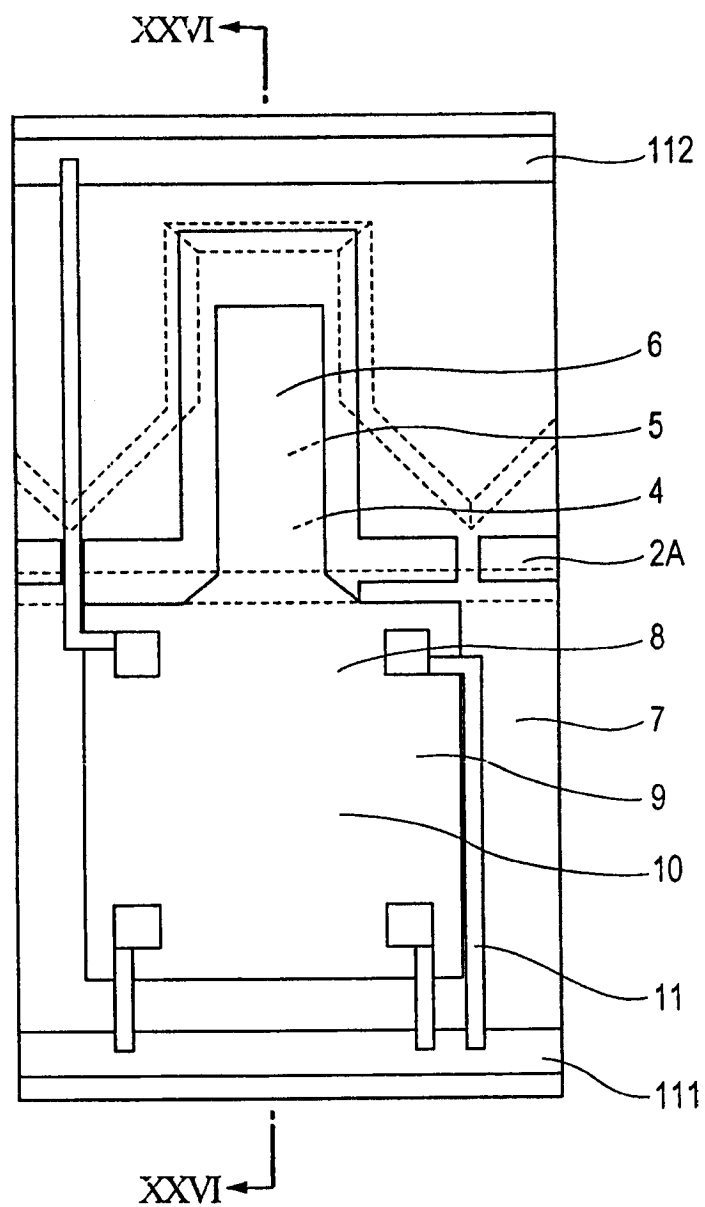


图 25

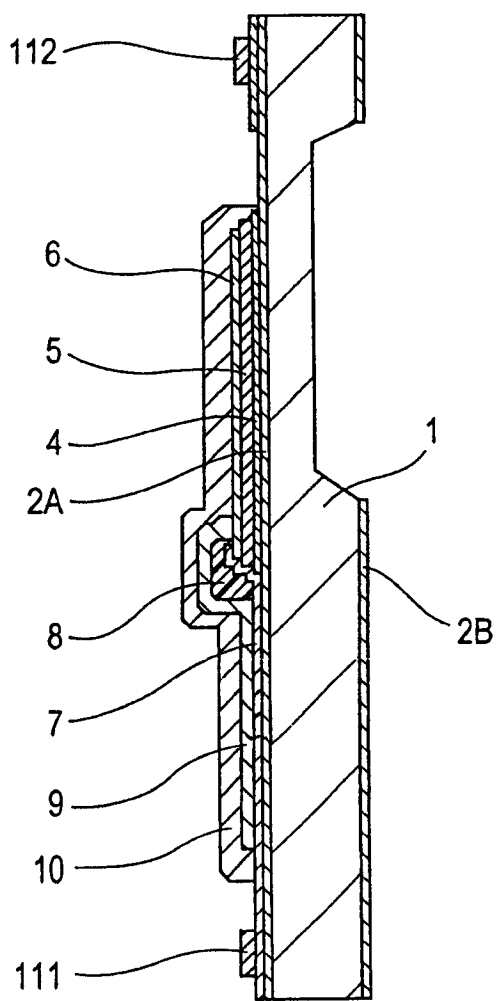


图 26

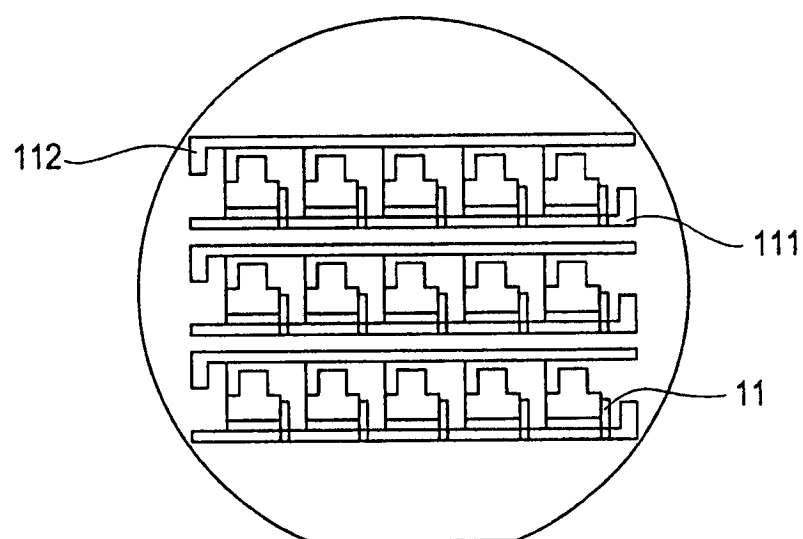


图 27

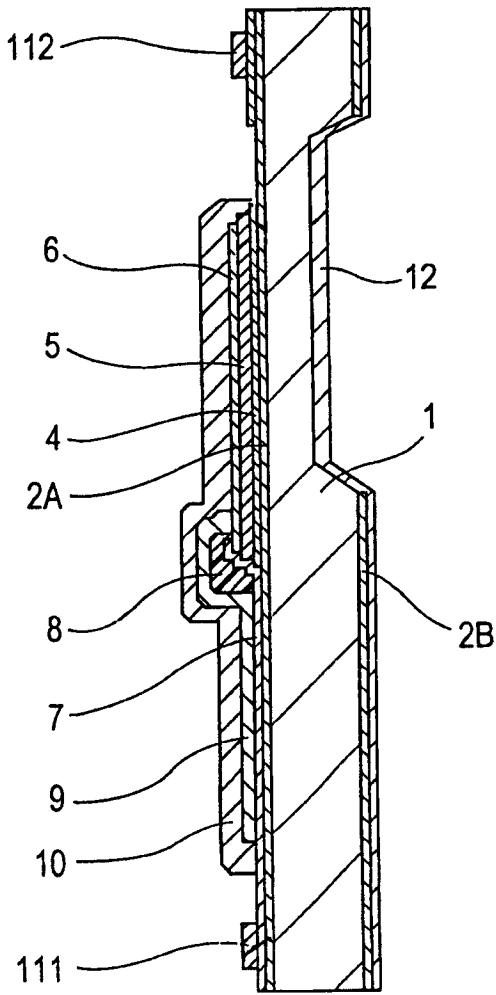


图 28

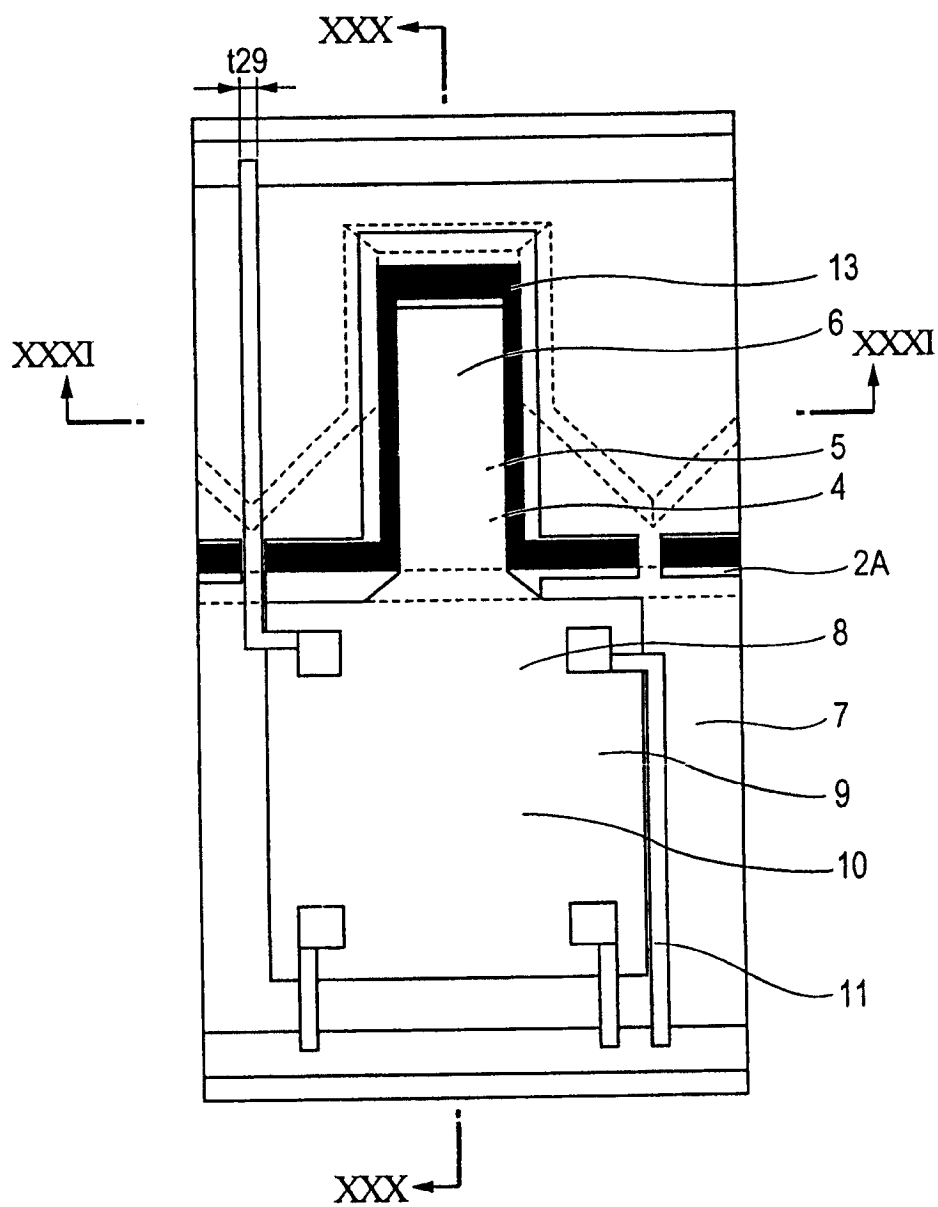


图 29

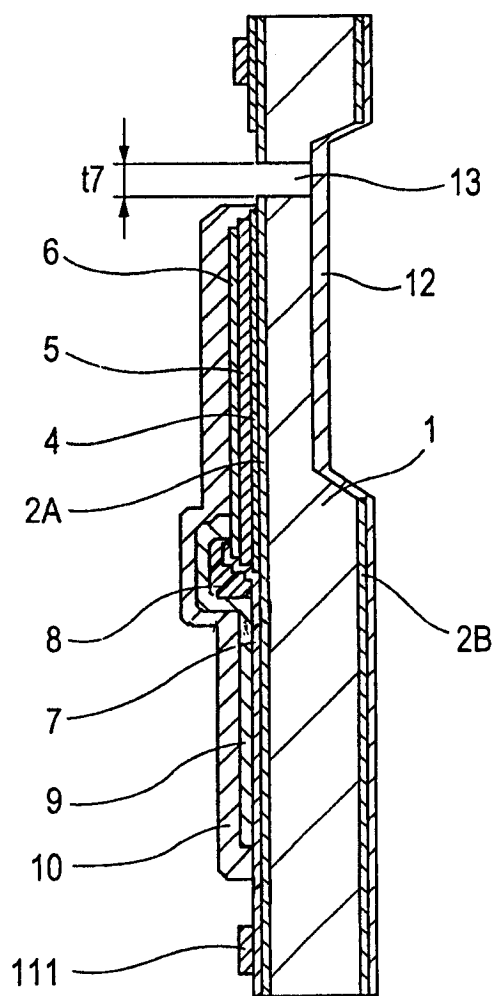


图 30

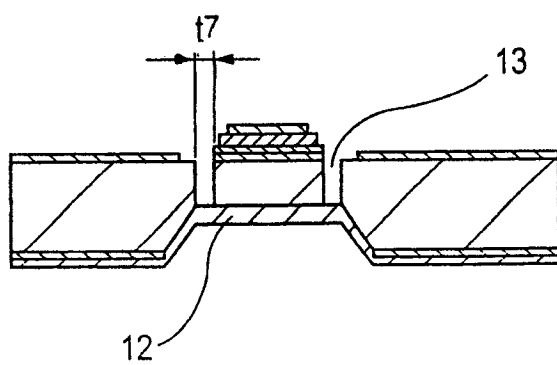


图 31

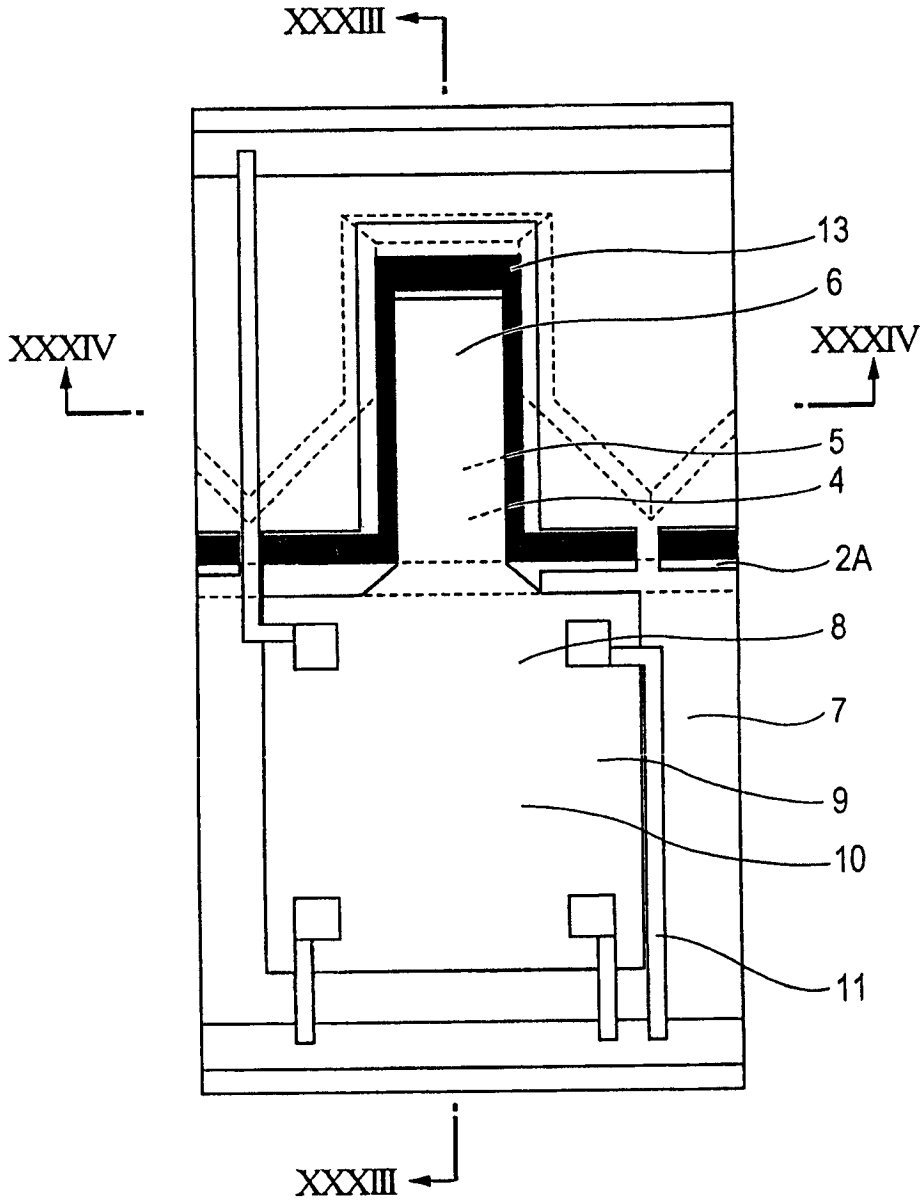


图 32

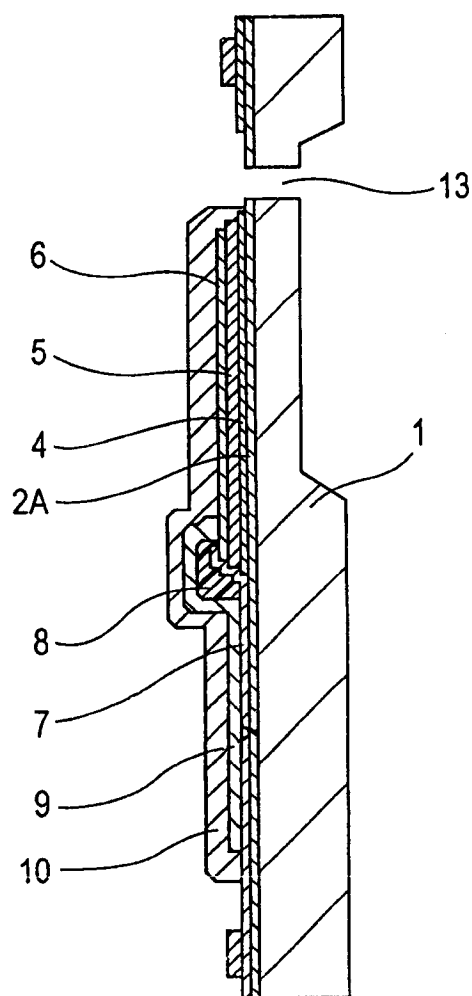


图 33

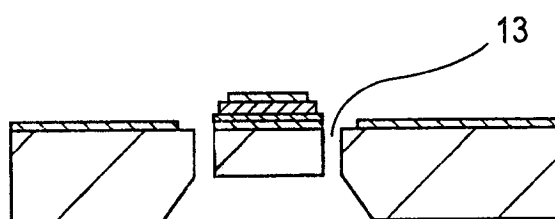


图 34

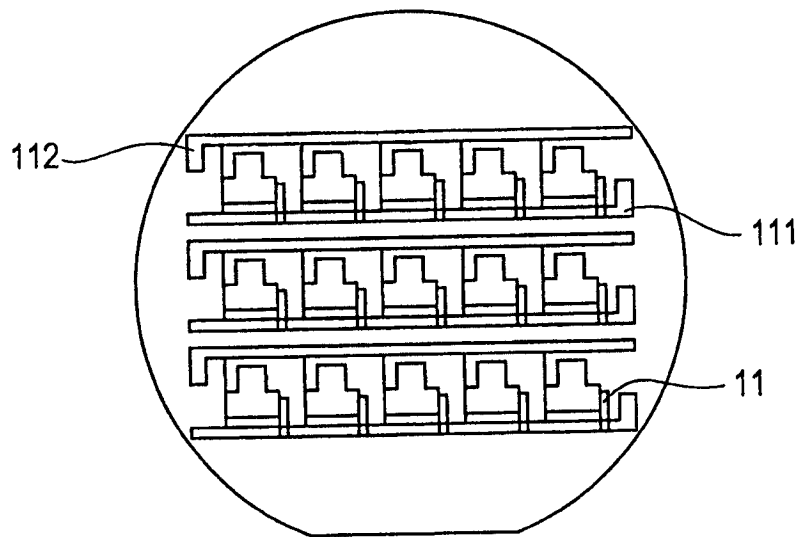


图 35A

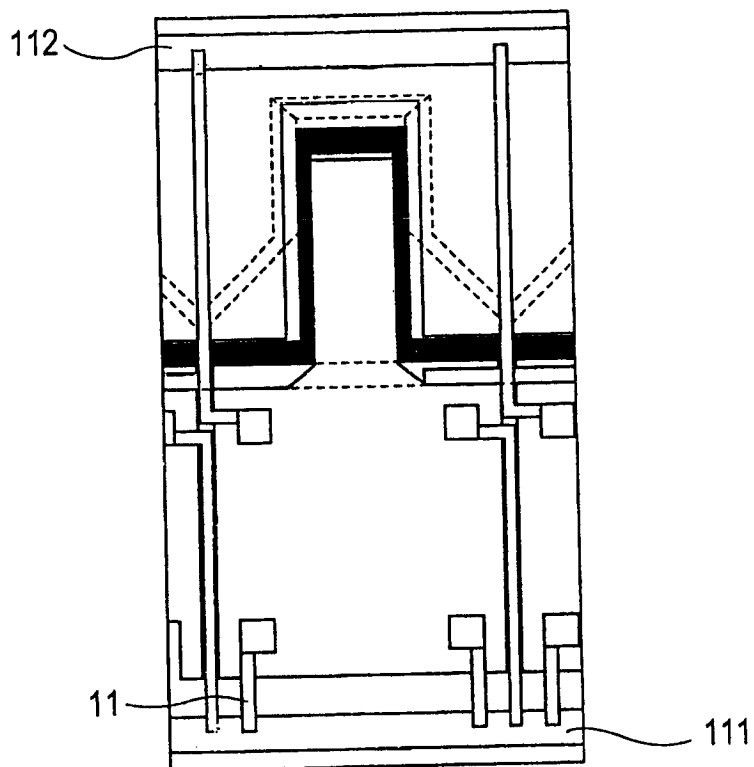


图 35B

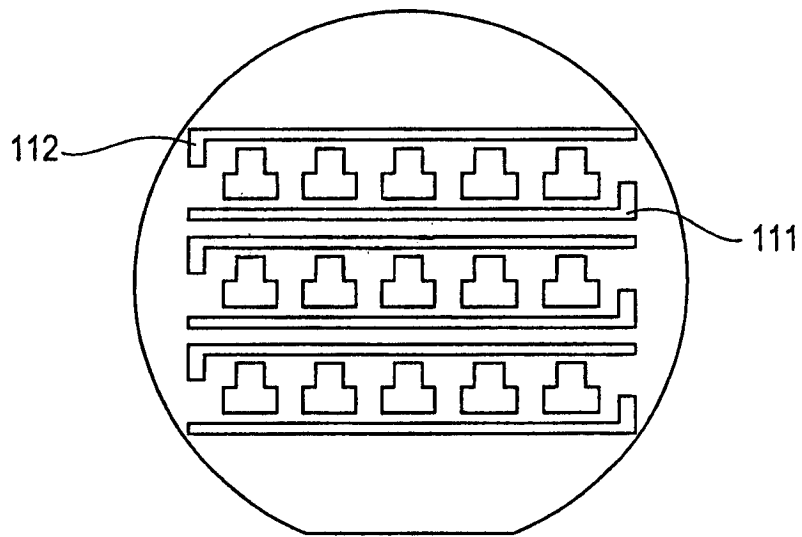


图 36A

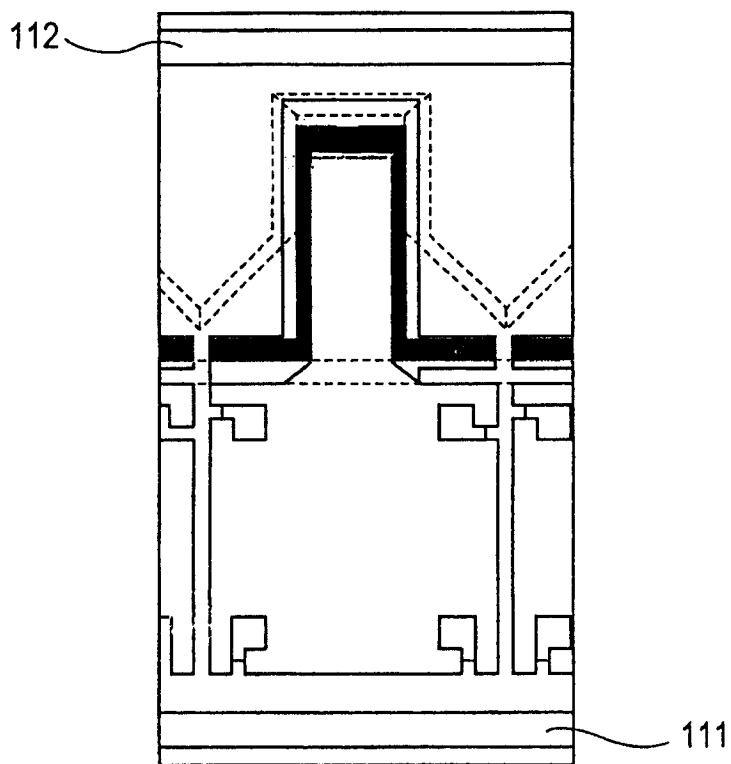


图 36B

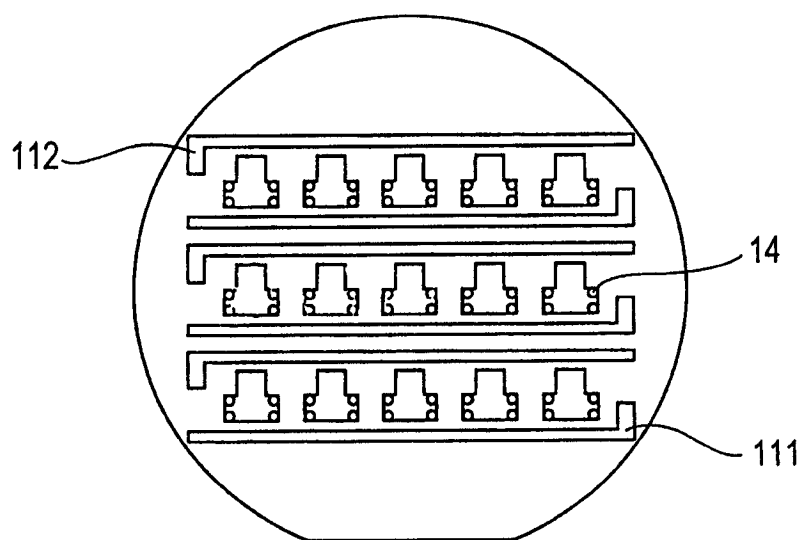


图 37A

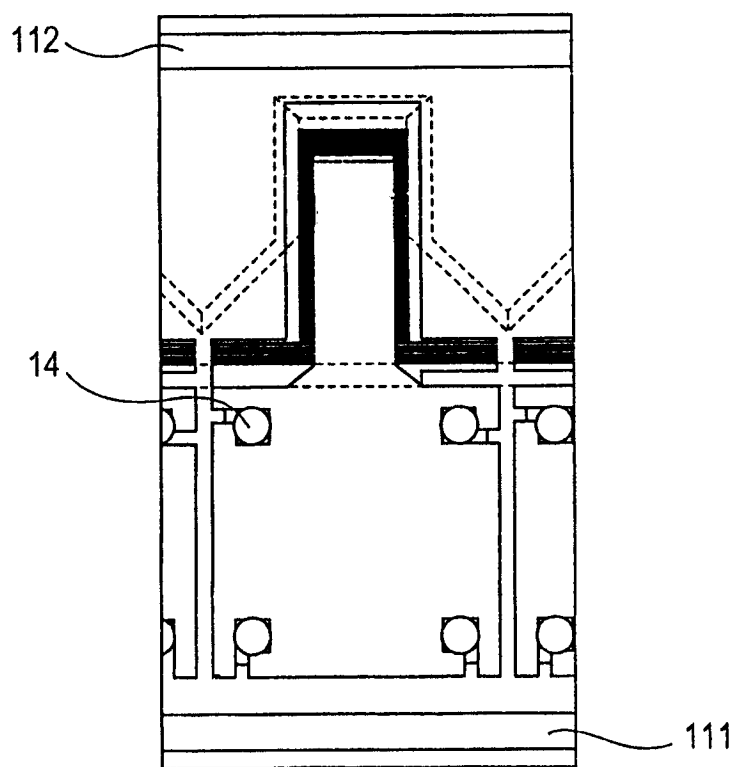


图 37B

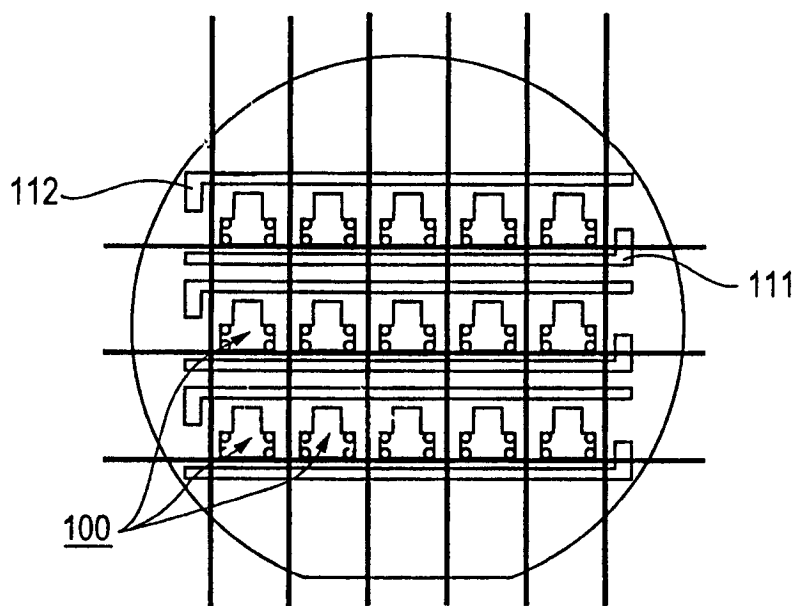


图 38A

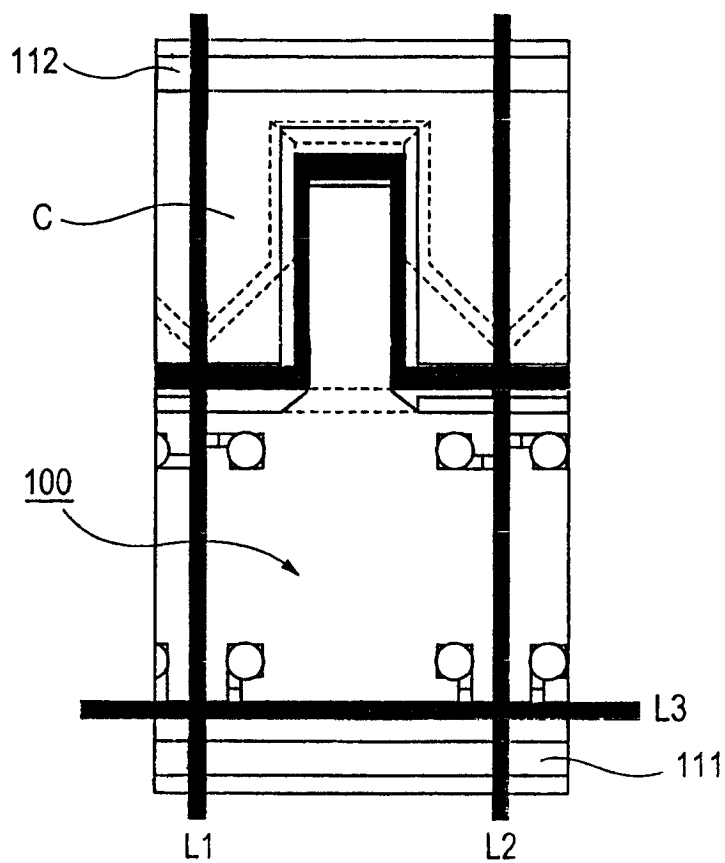


图 38B

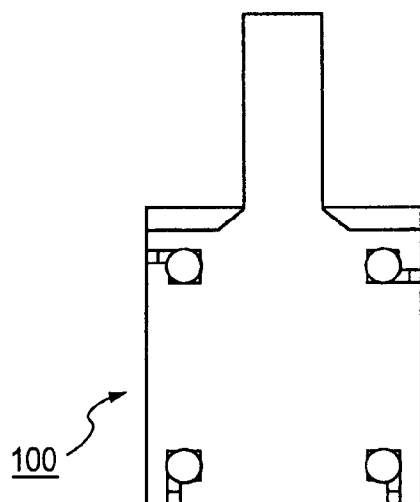


图 39

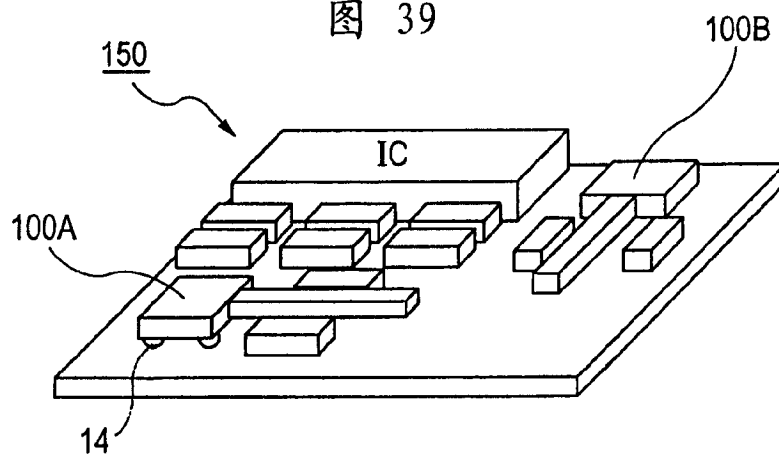


图 40

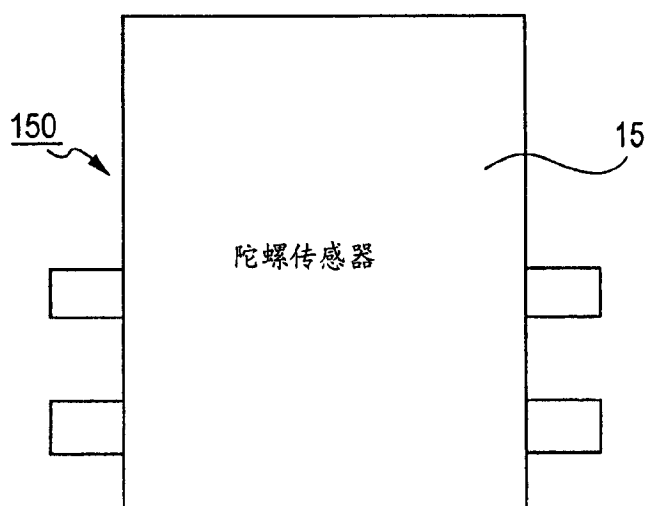


图 41

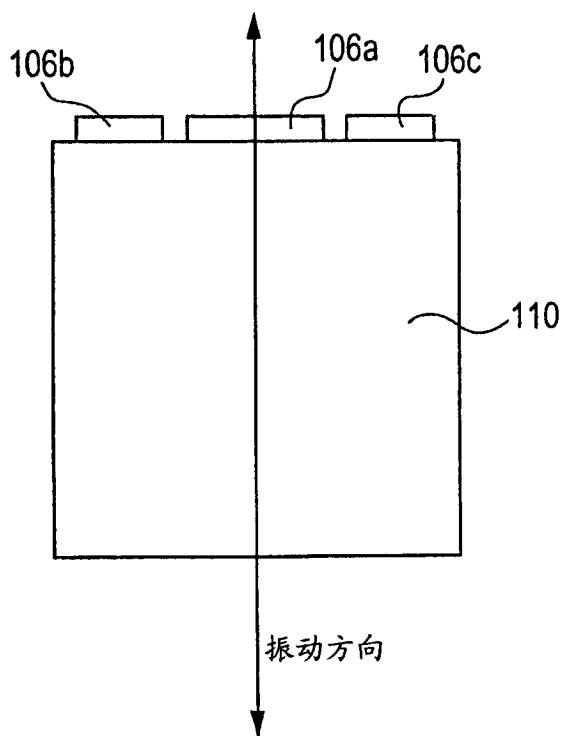


图 42A

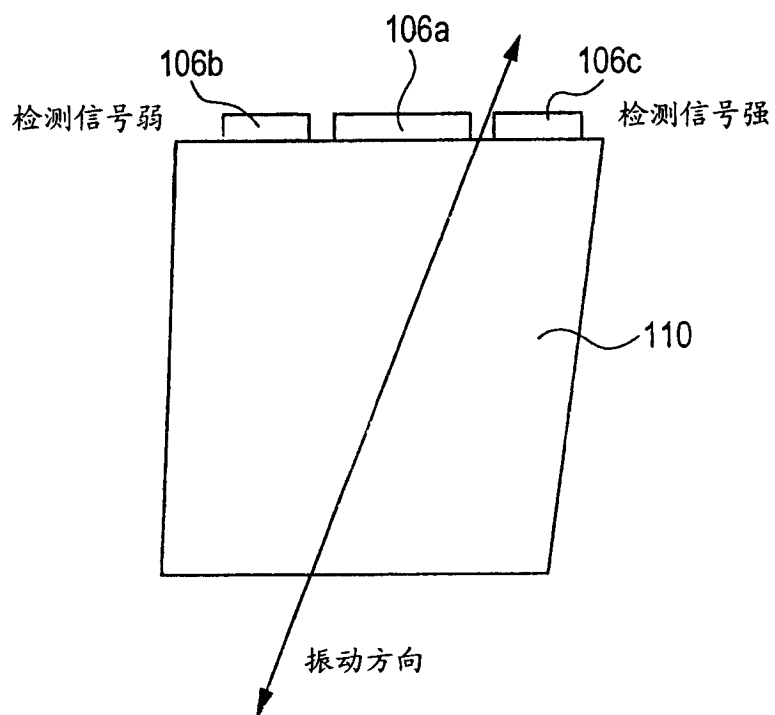
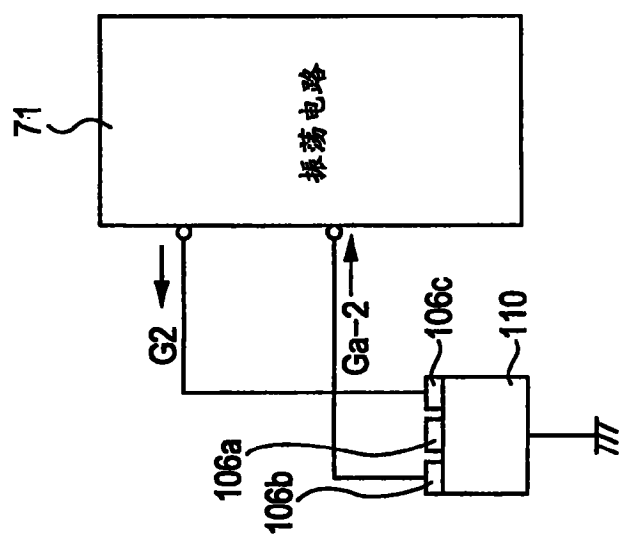


图 42B



43C

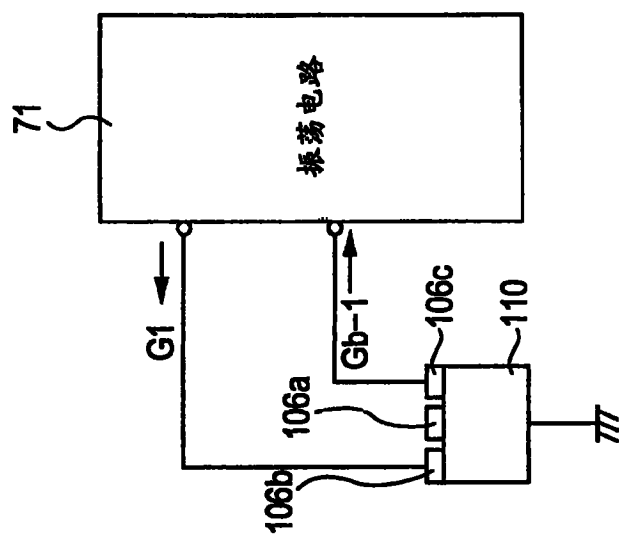


图 43B

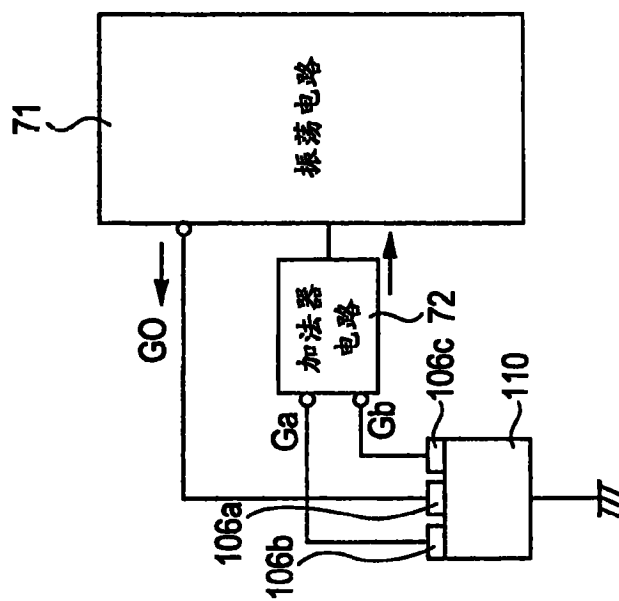


图 43A

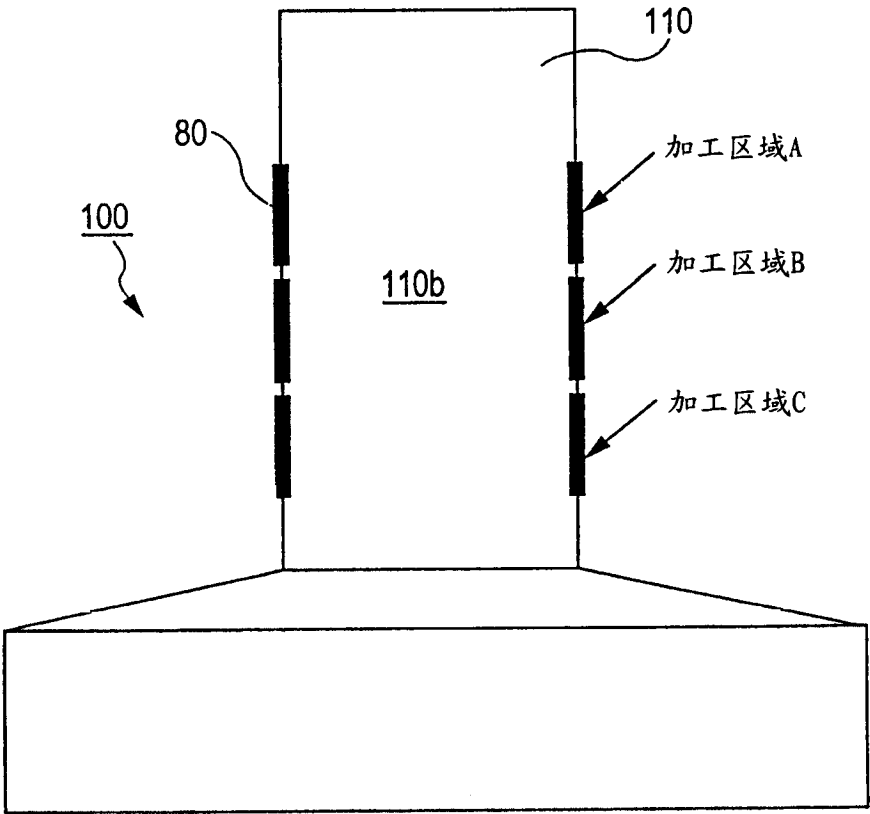


图 44

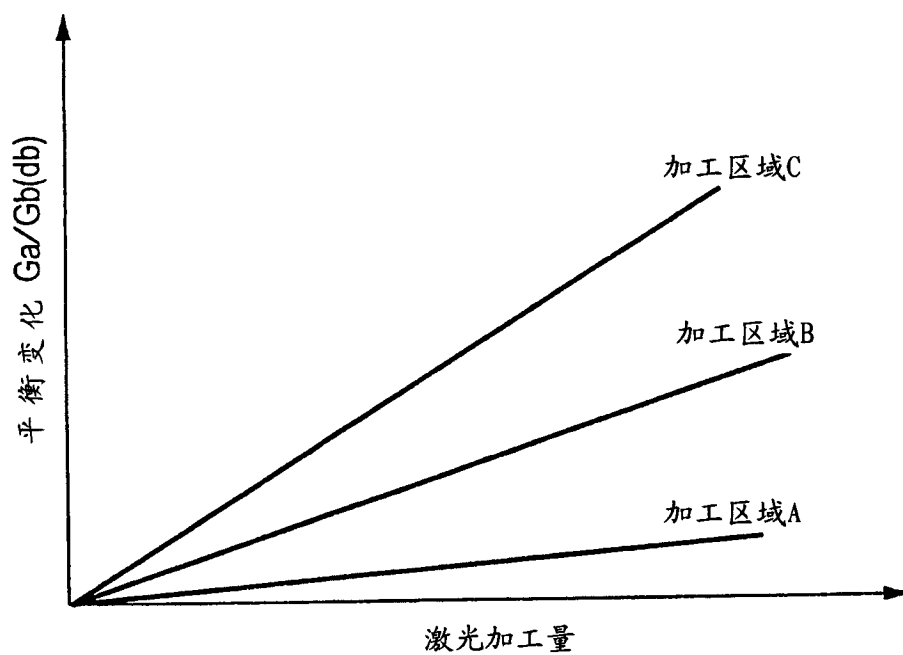


图 45

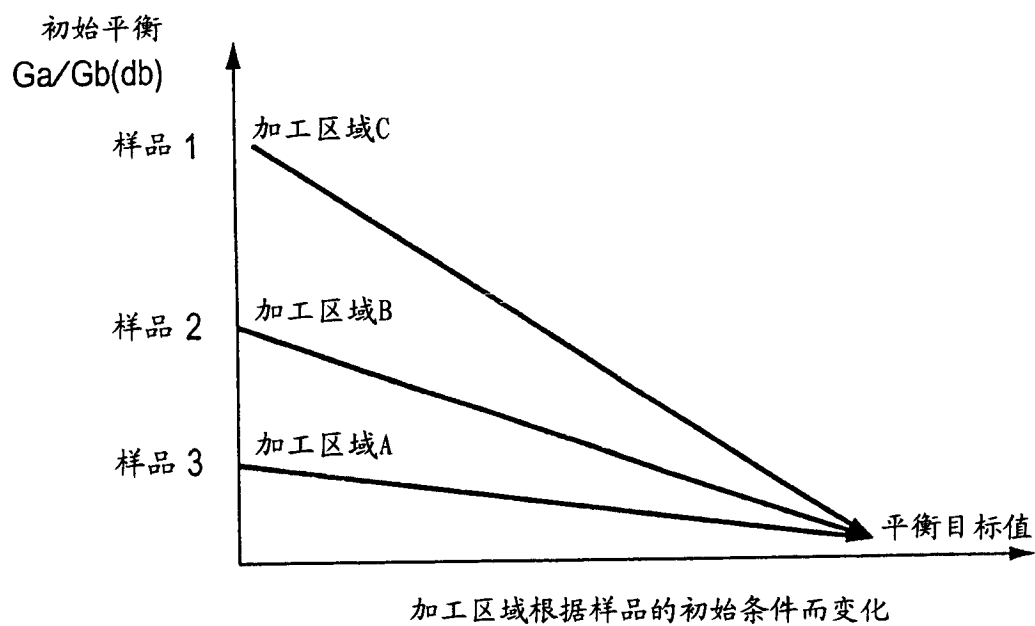


图 46

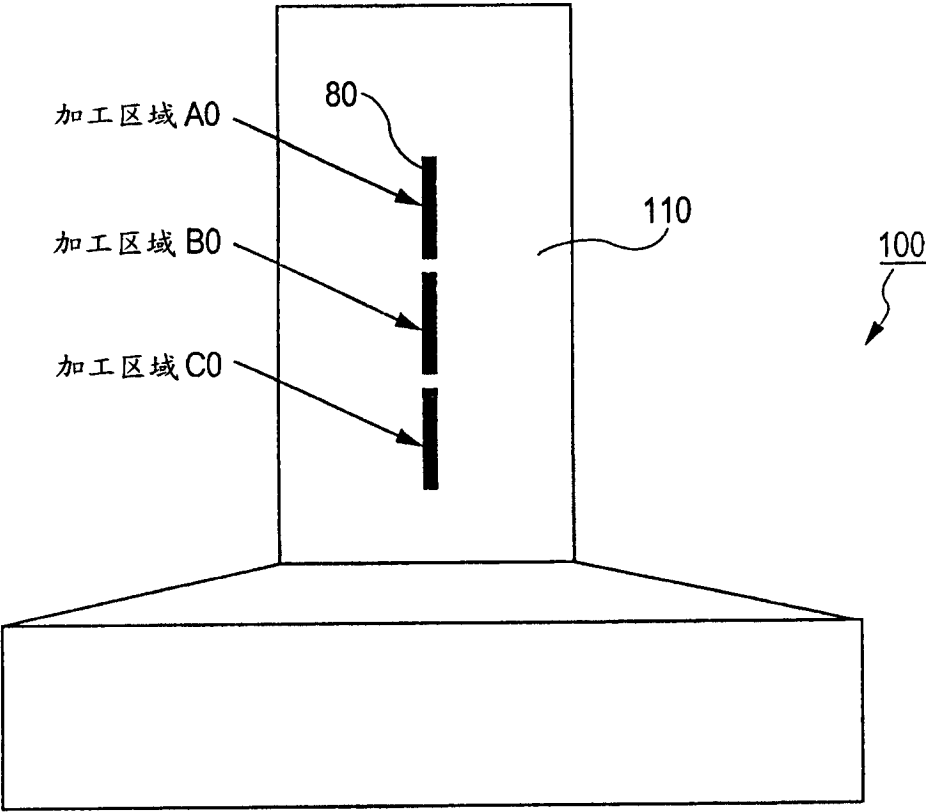


图 47

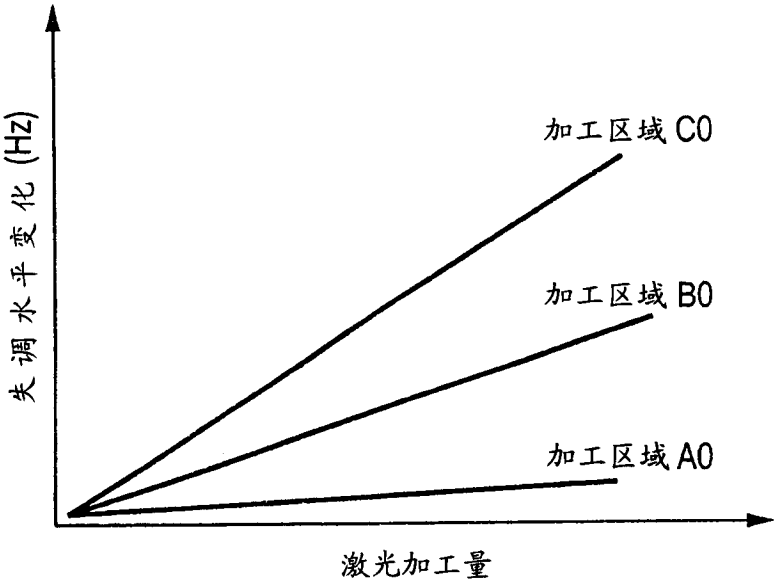


图 48

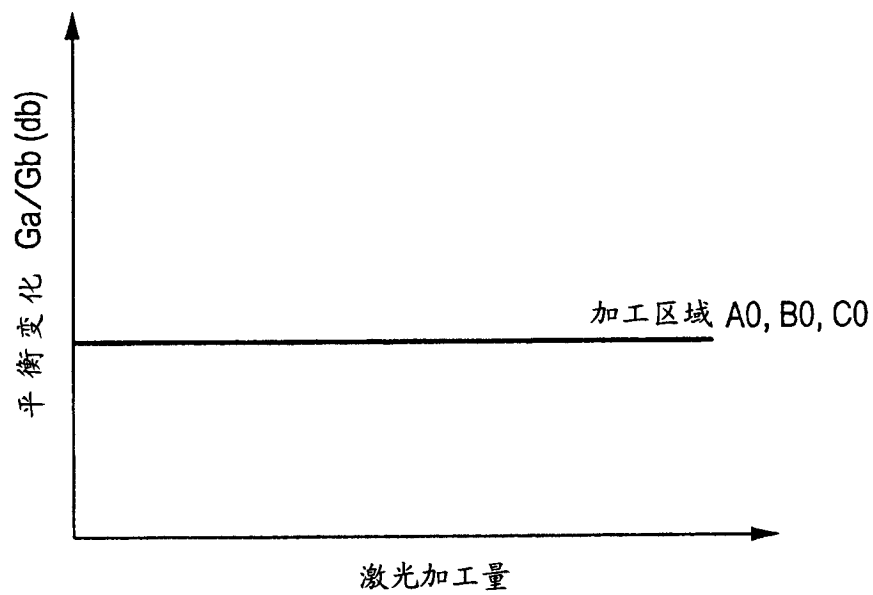


图 49

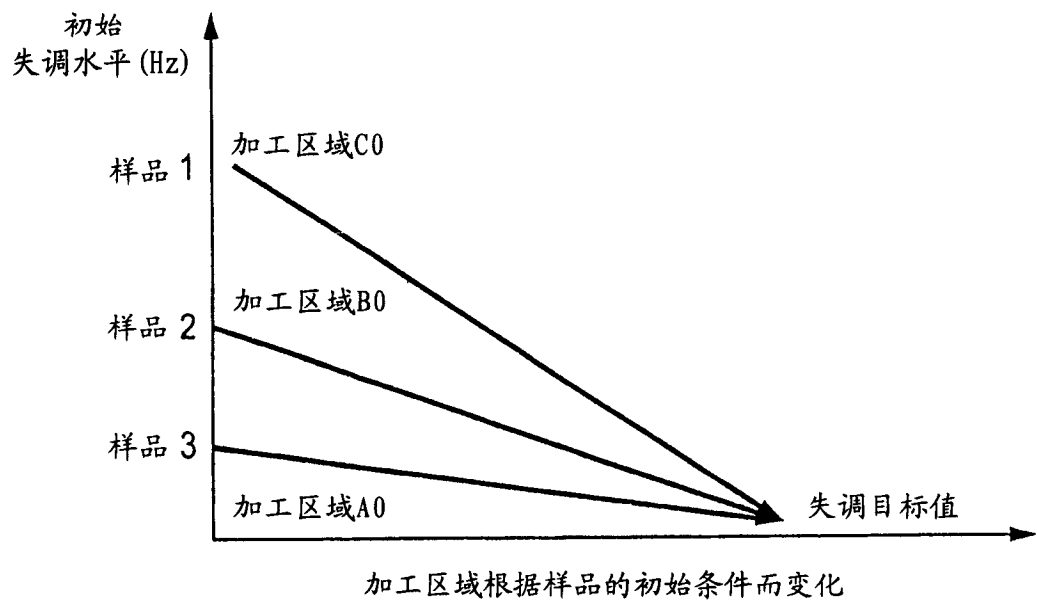


图 50

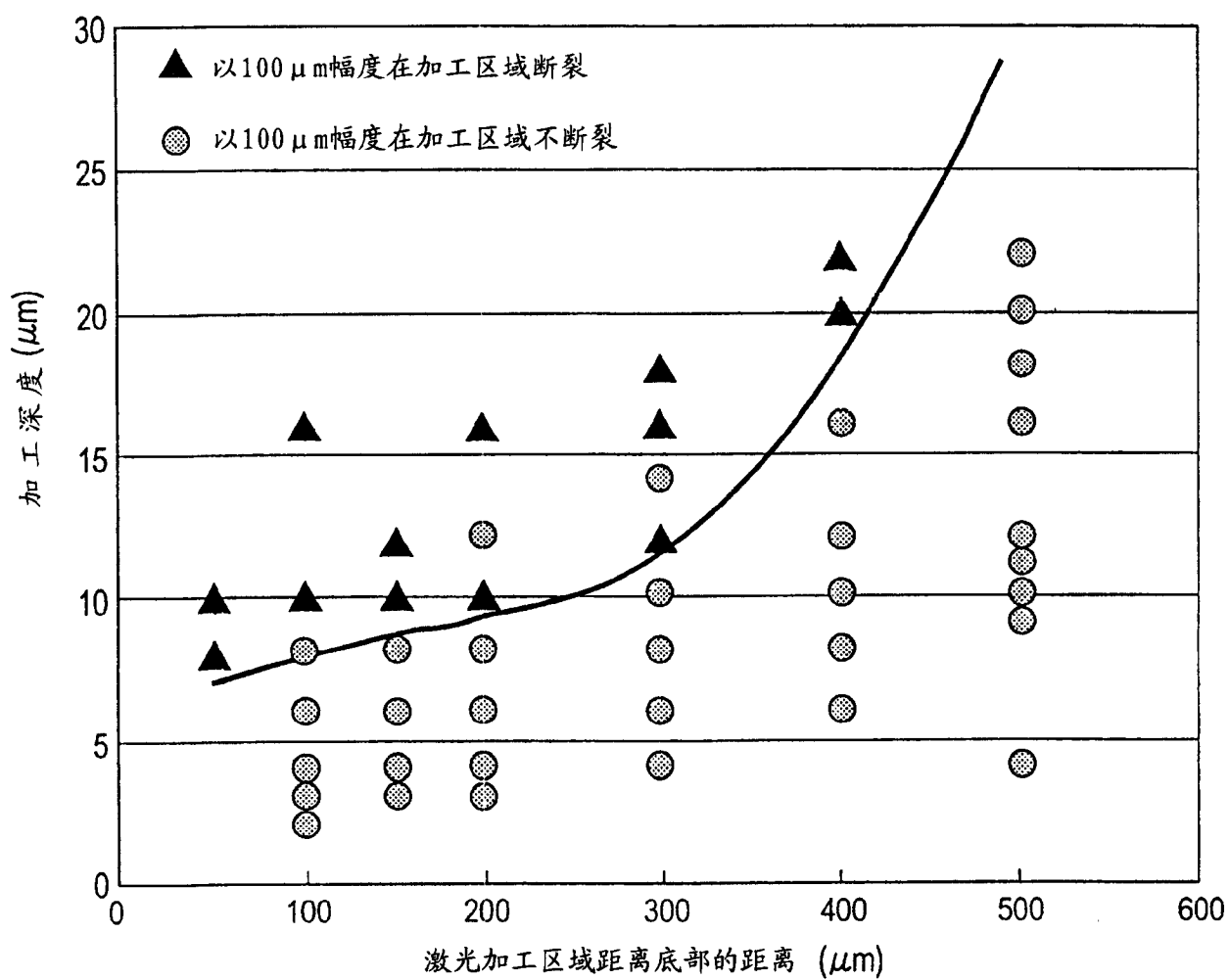


图 51

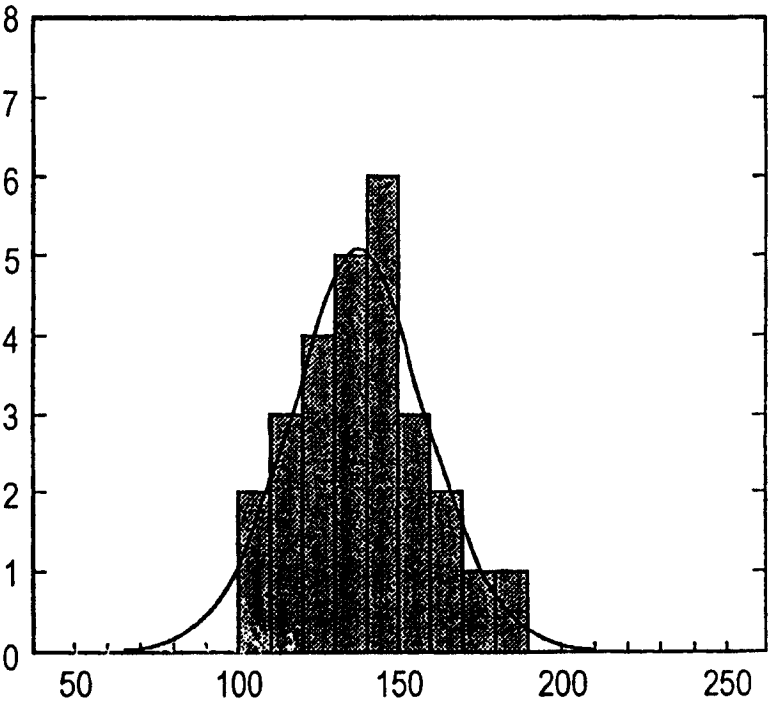


图 52

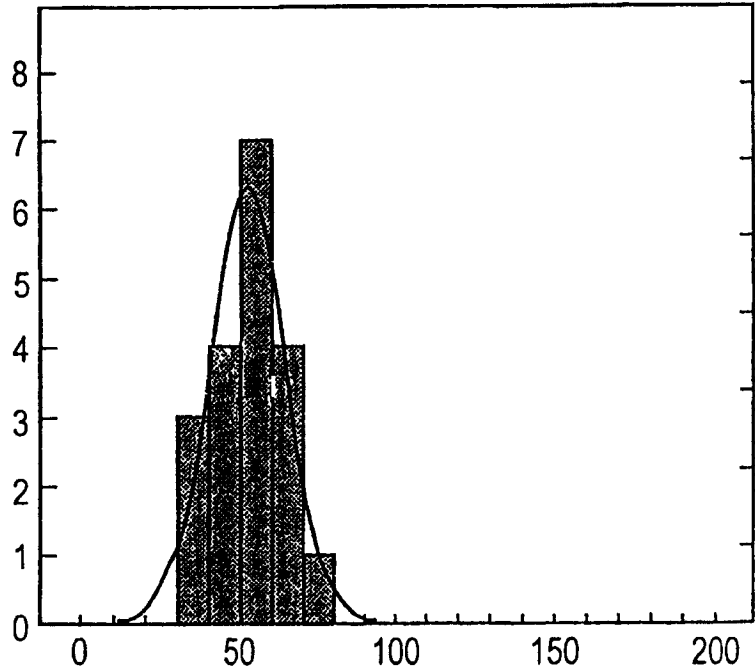


图 53

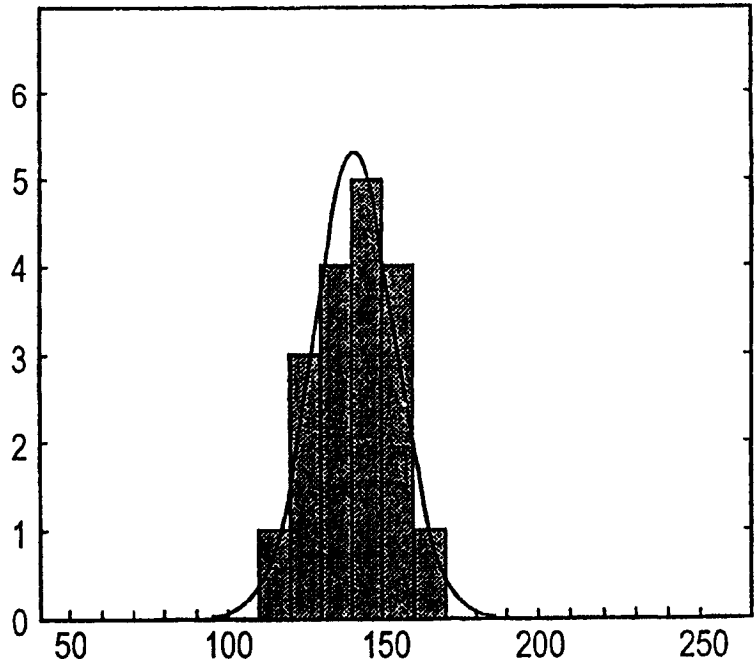


图 54

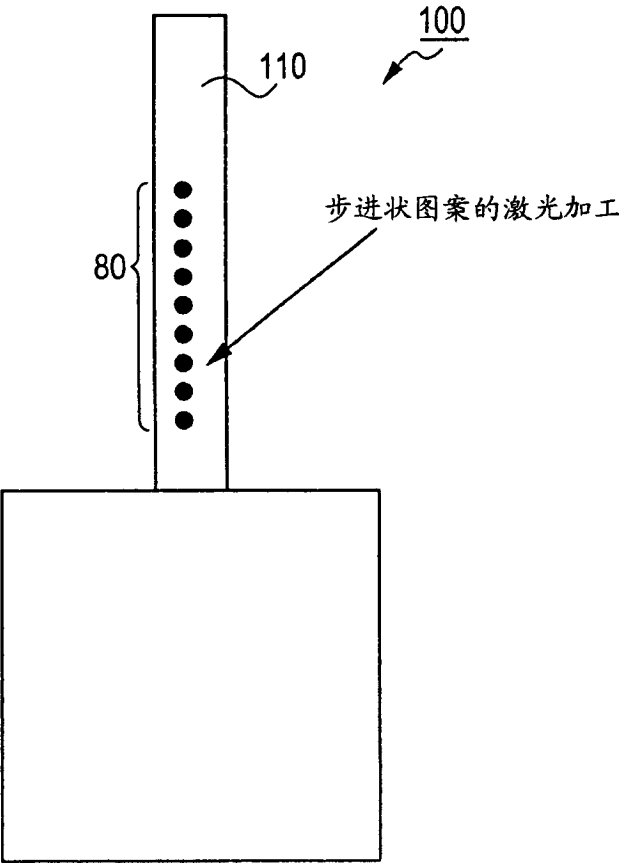


图 55

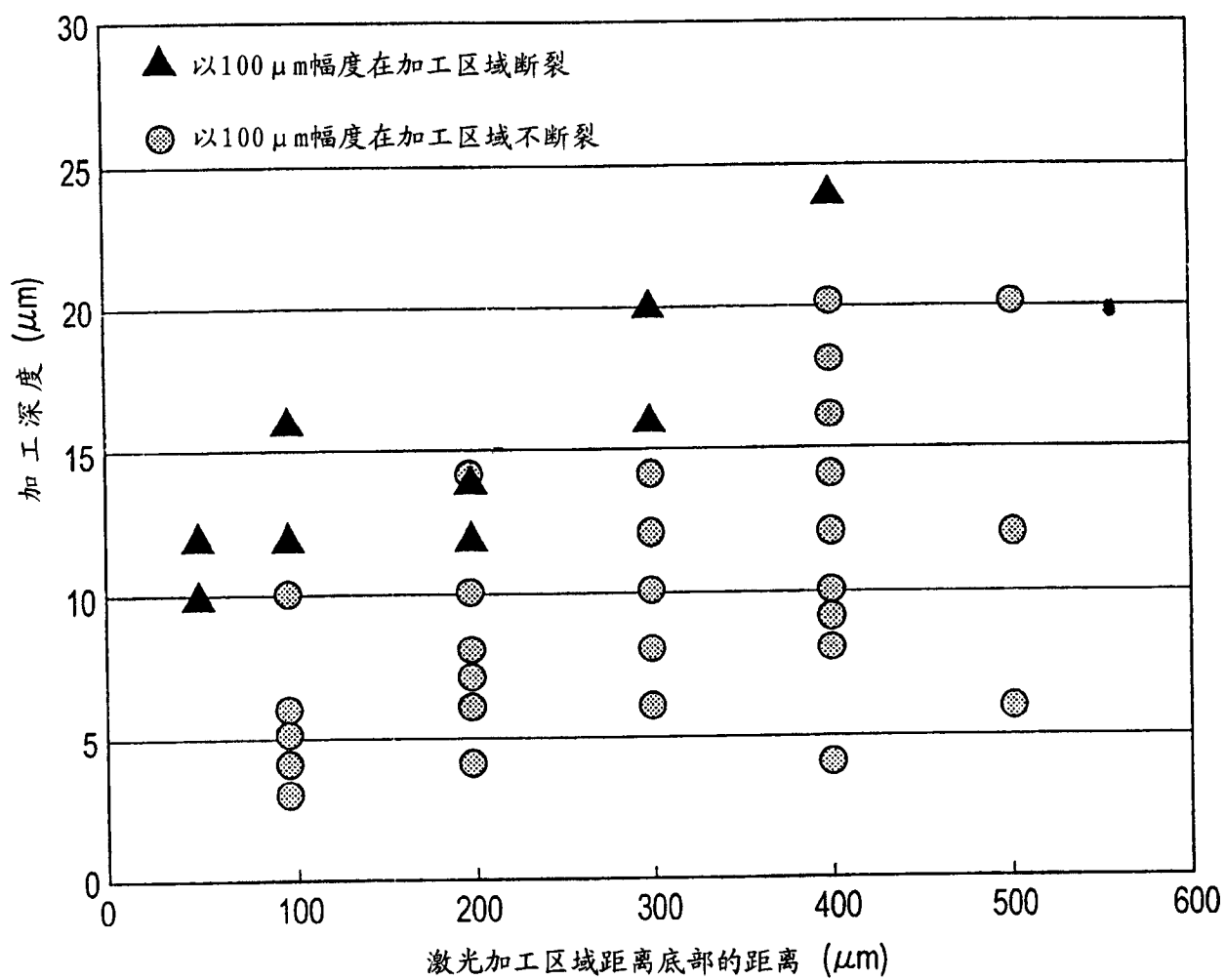


图 56

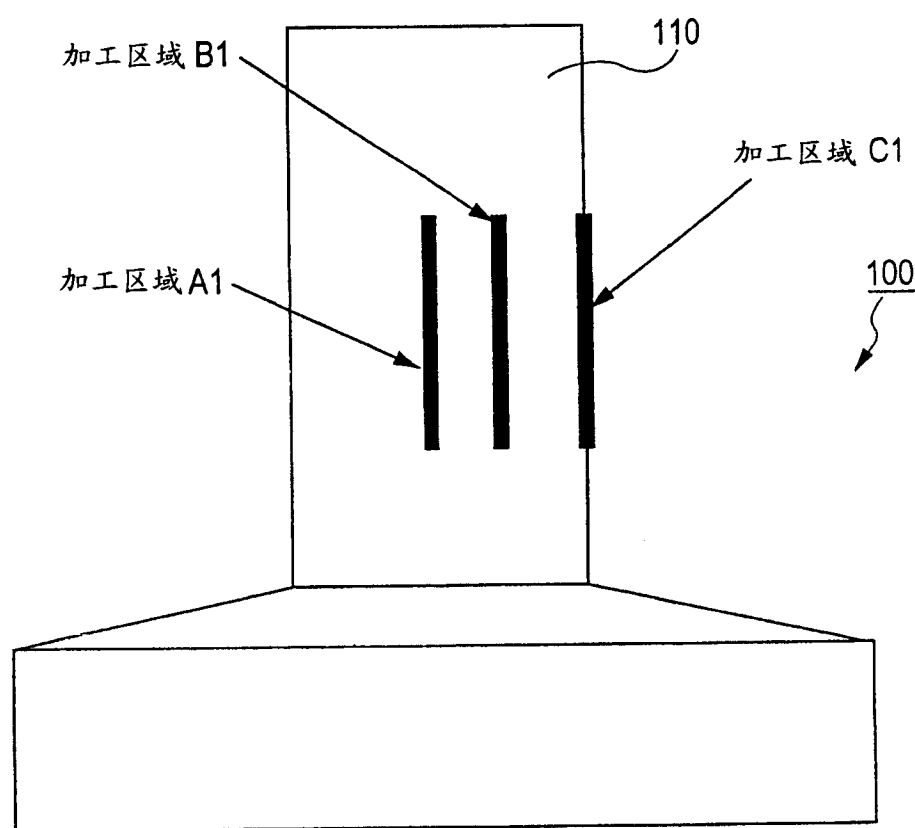


图 57

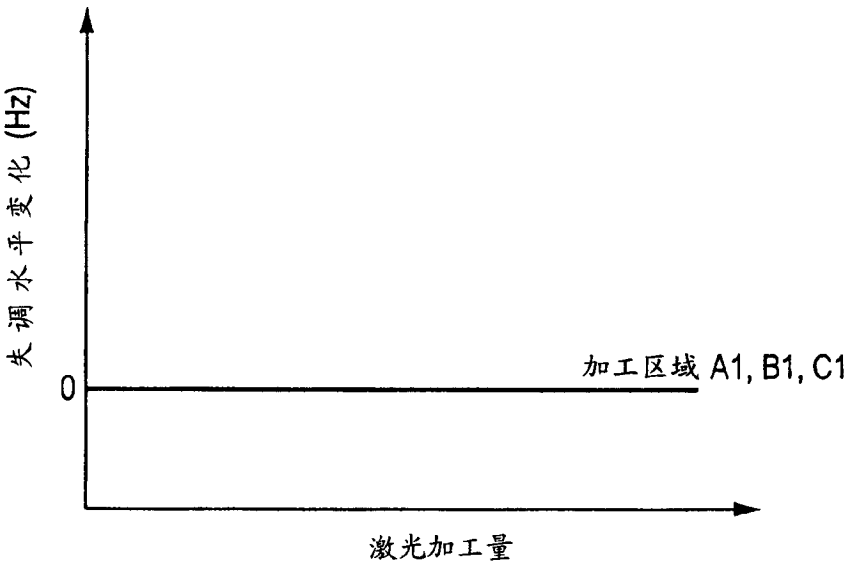


图 58

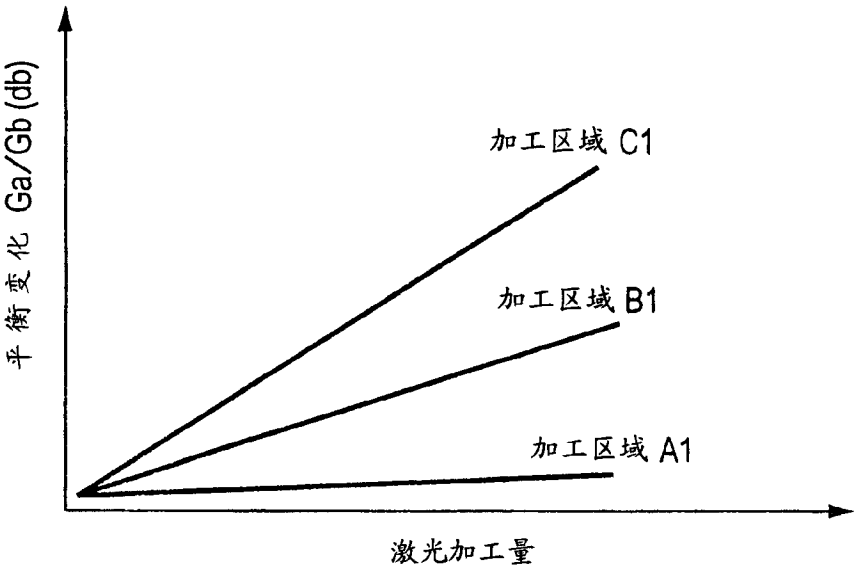


图 59

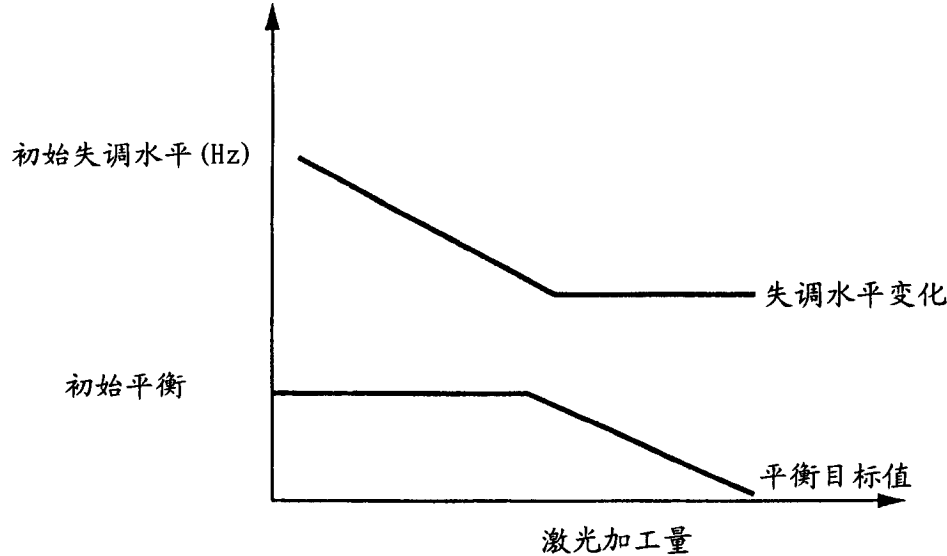


图 60

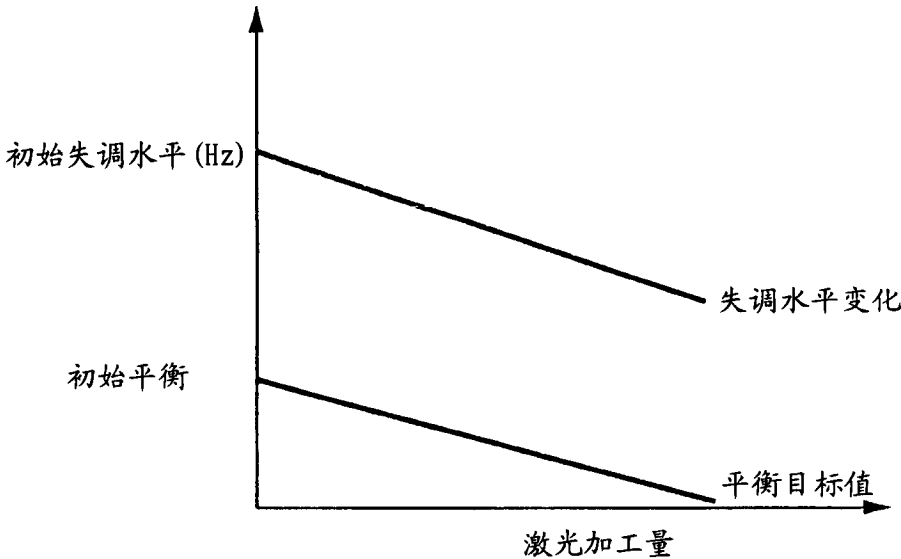


图 61

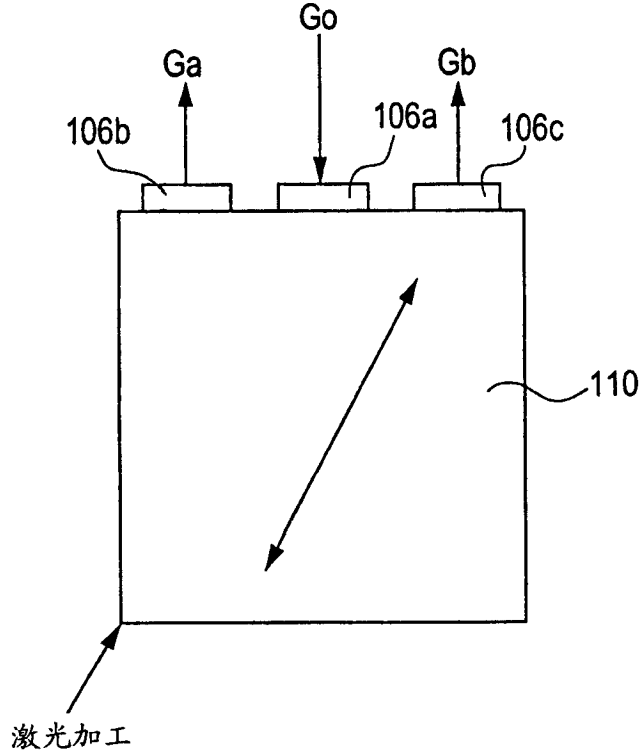


图 62A

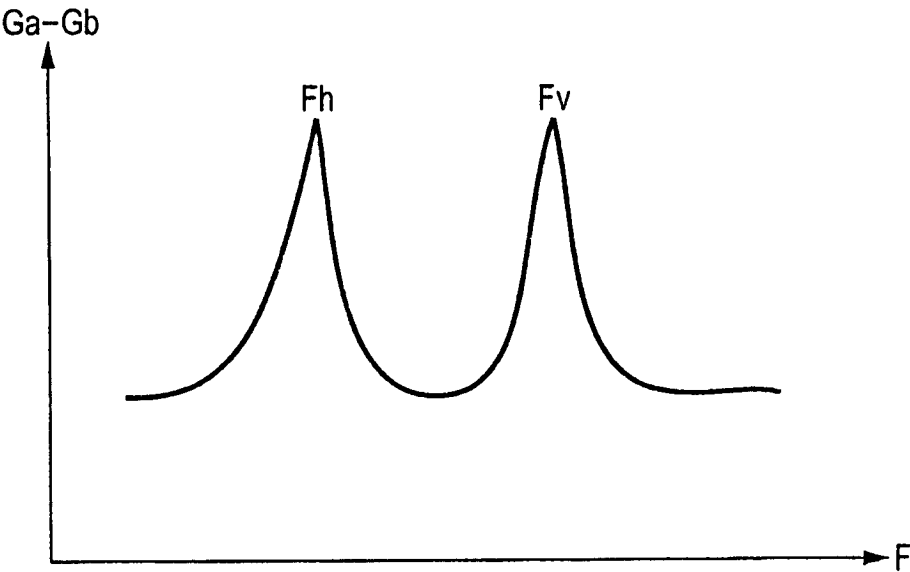


图 62B

图 63A

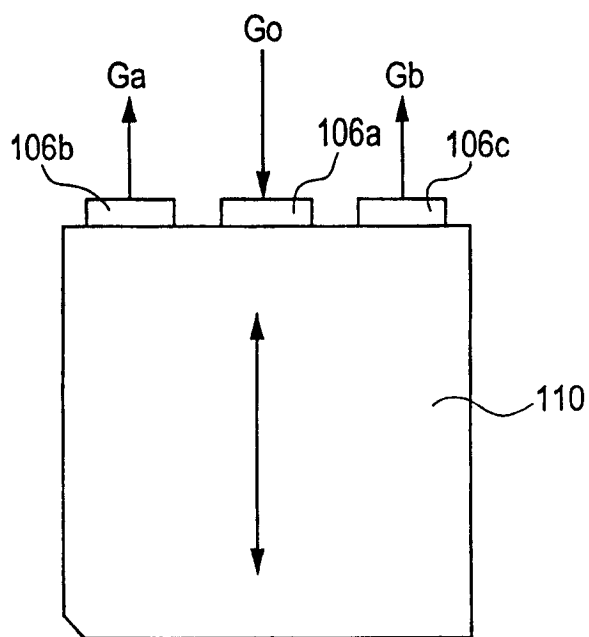


图 63B

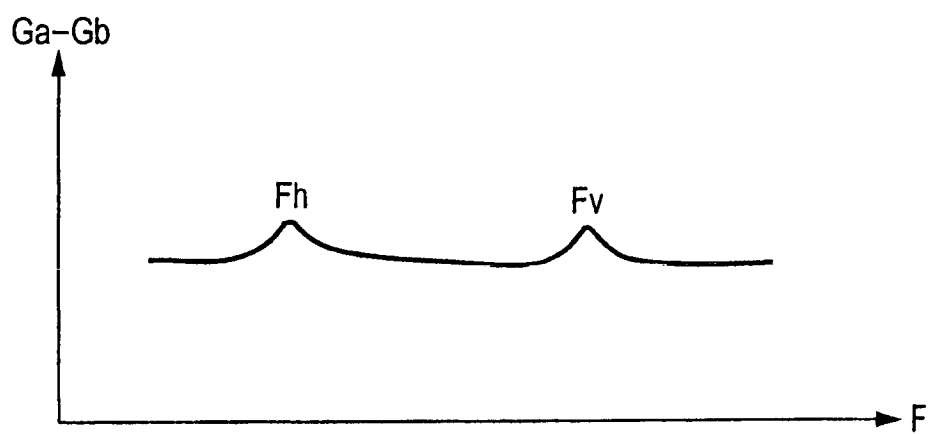
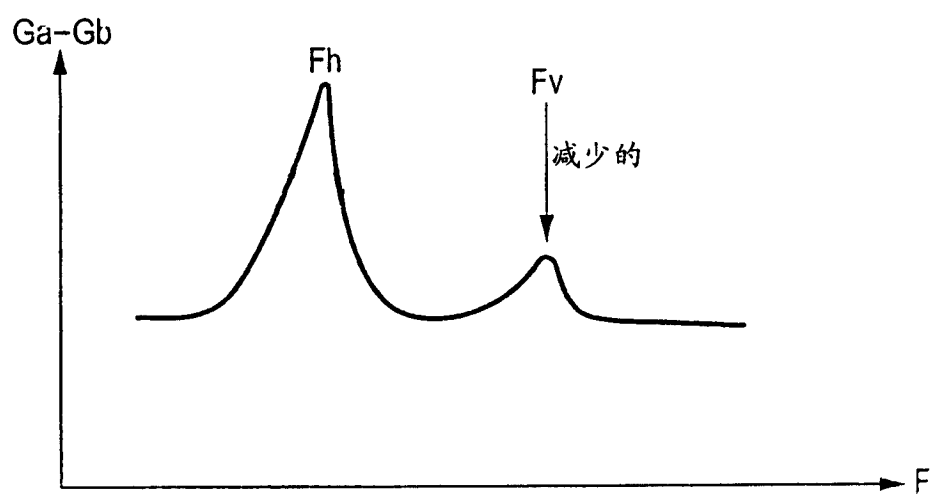


图 63C



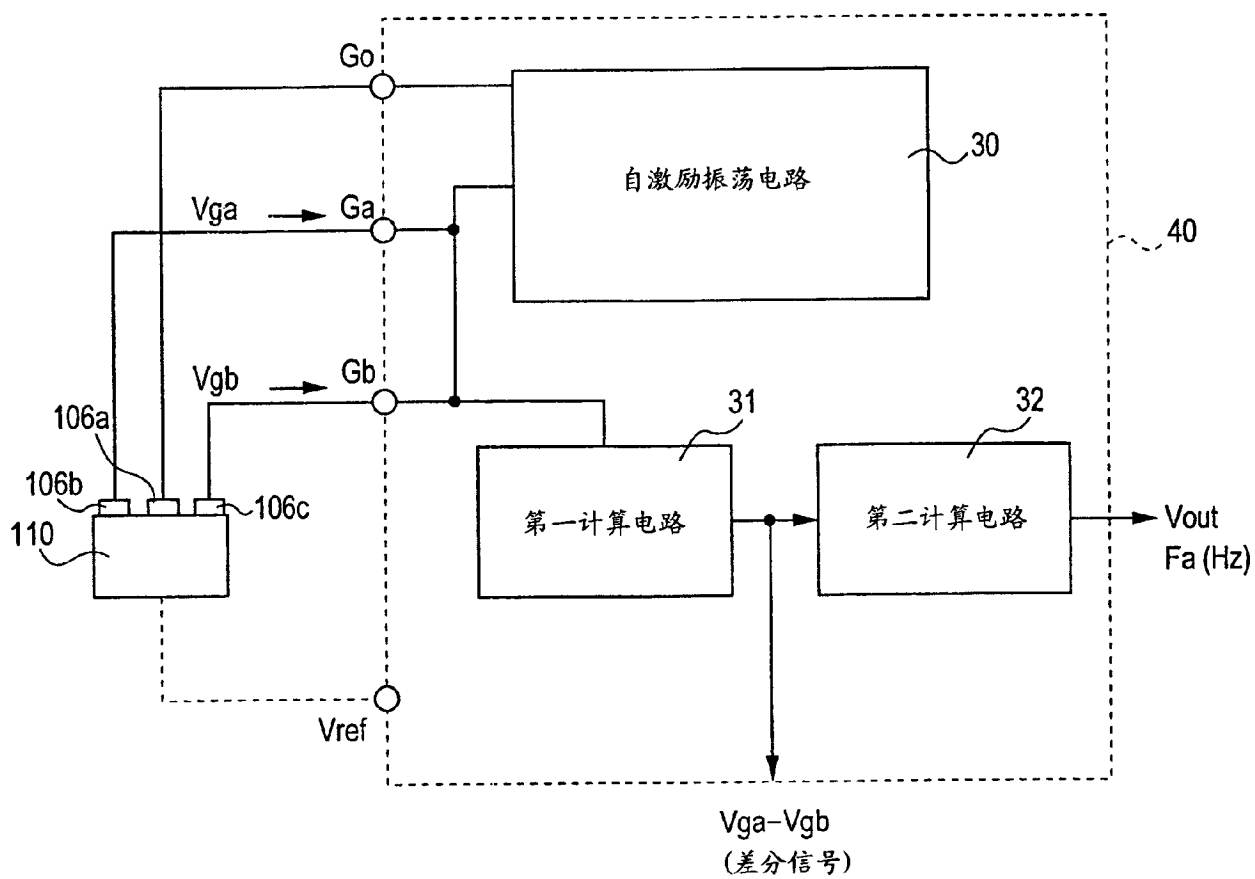


图 64

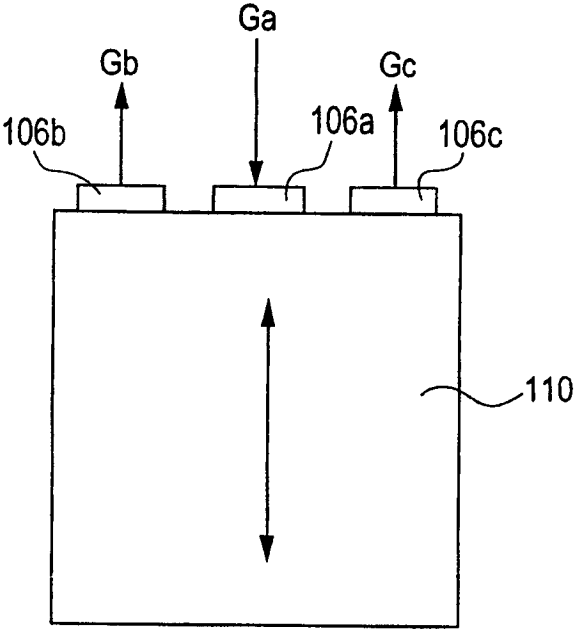


图 65A

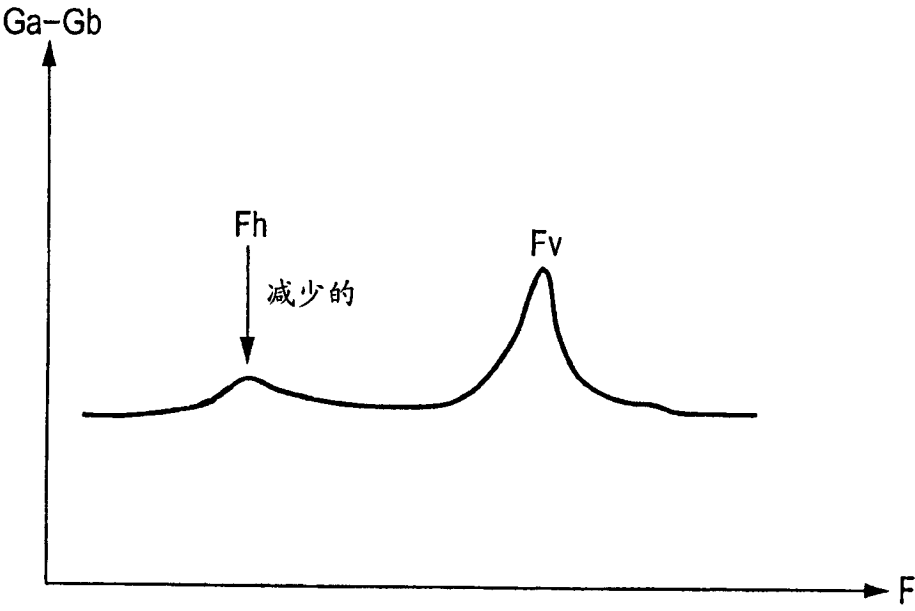


图 65B

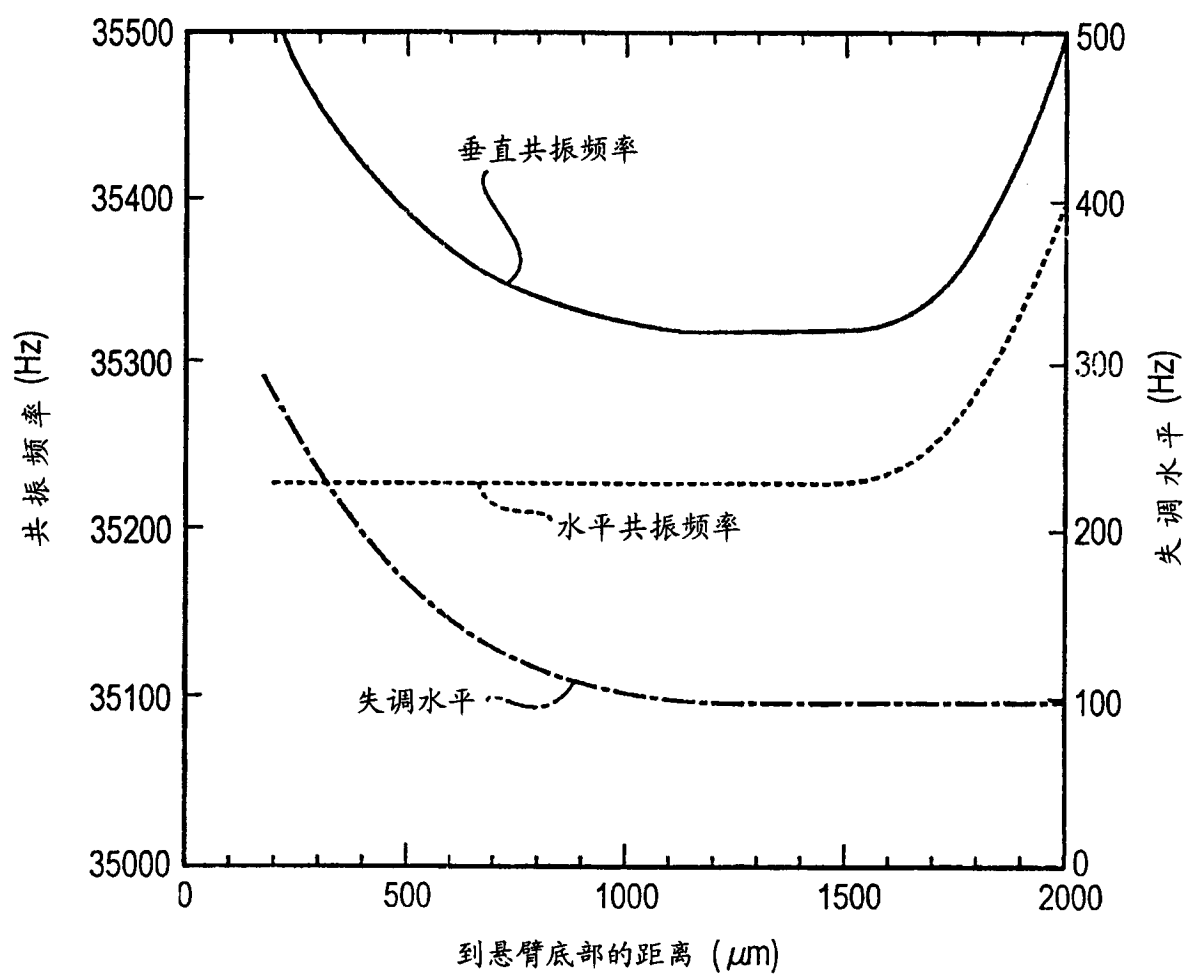


图 66

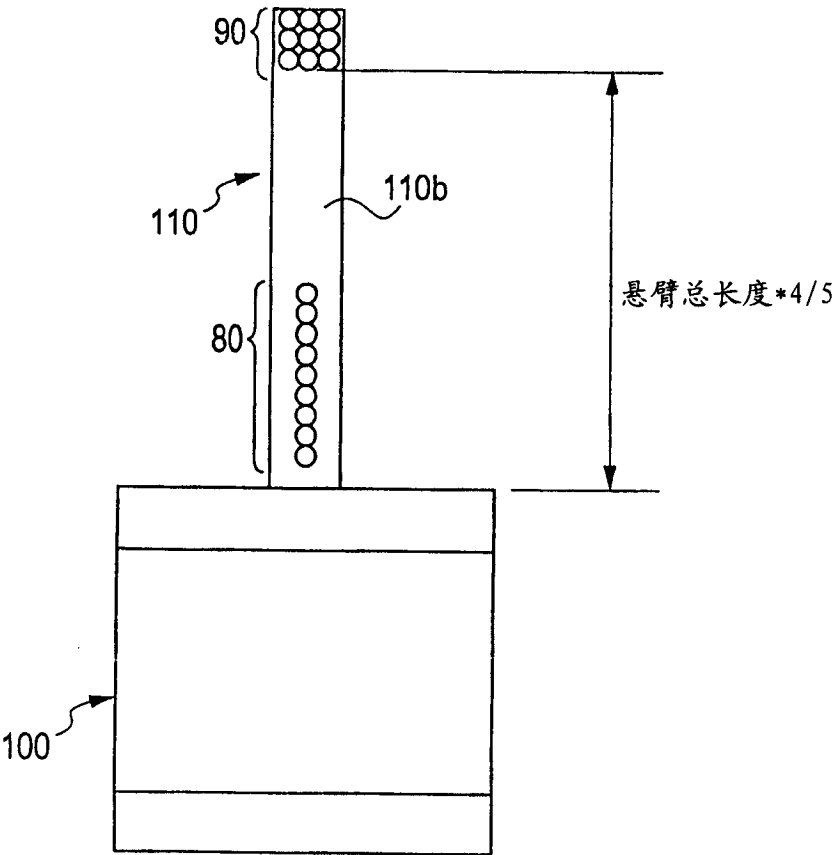


图 67

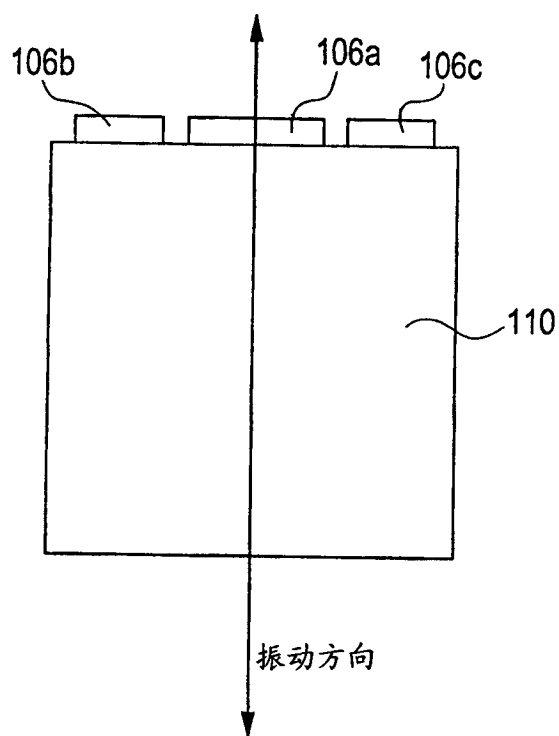


图 68A

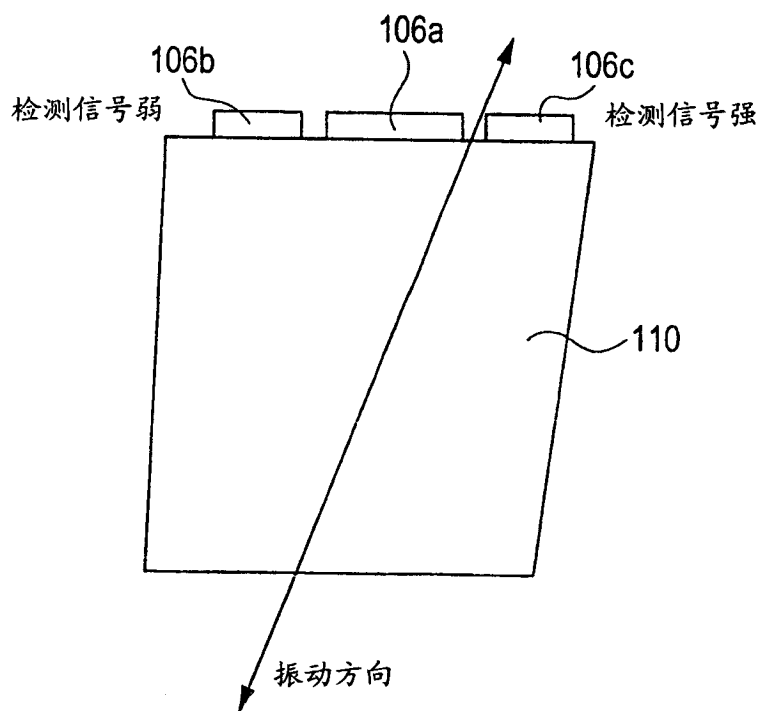


图 68B

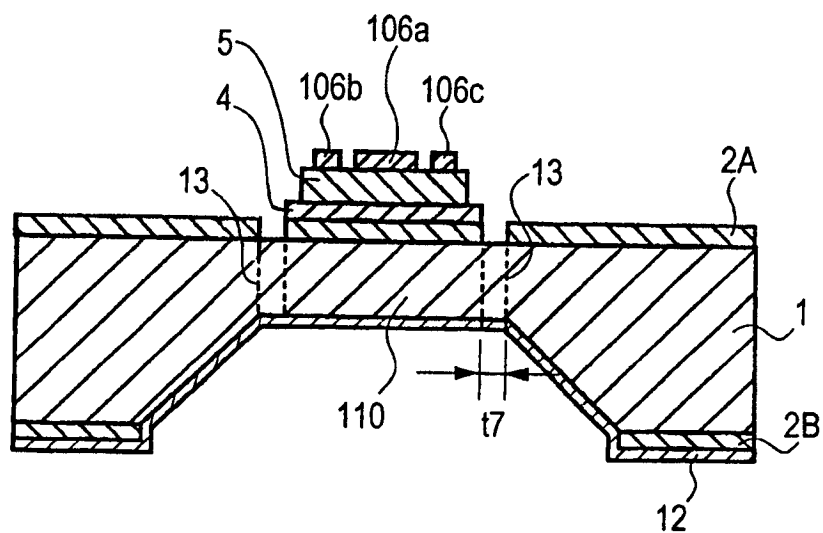


图 69A

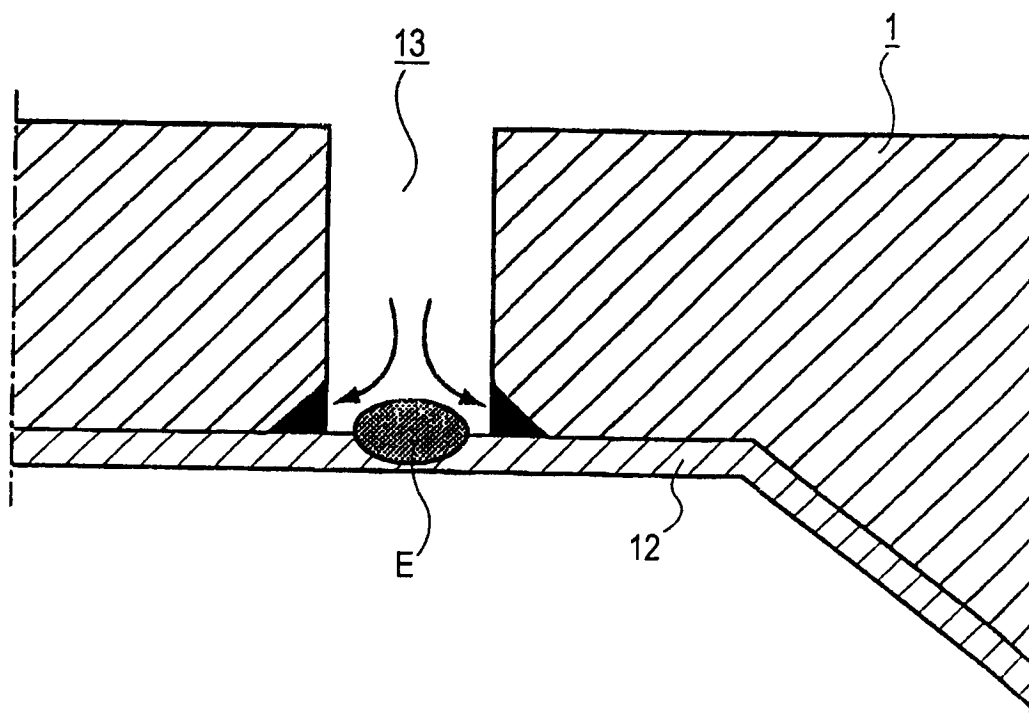


图 69B

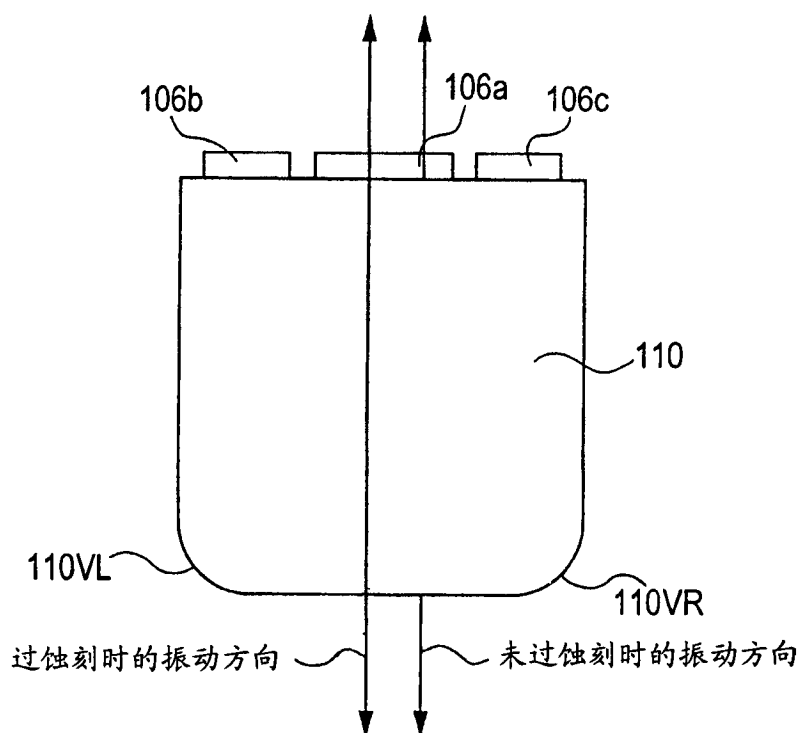


图 70A

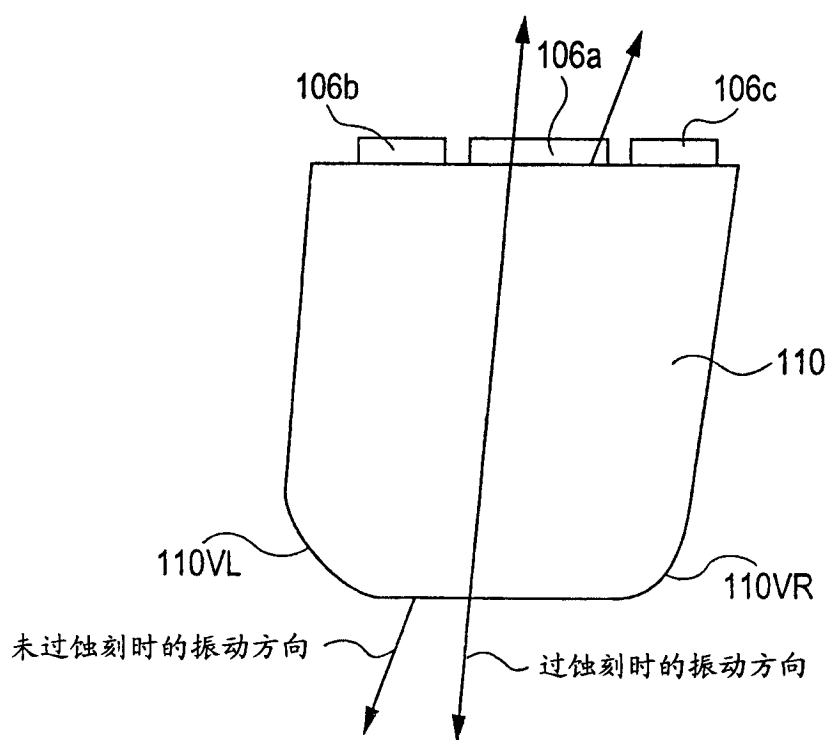


图 70B

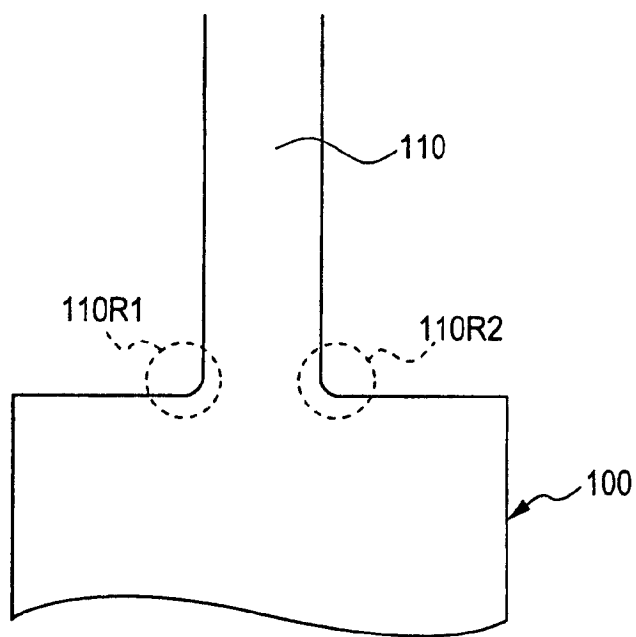


图 71

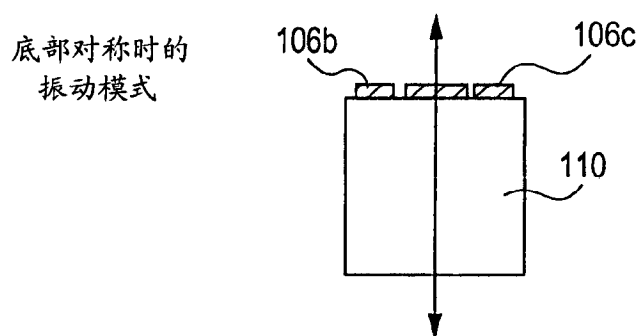


图 72A

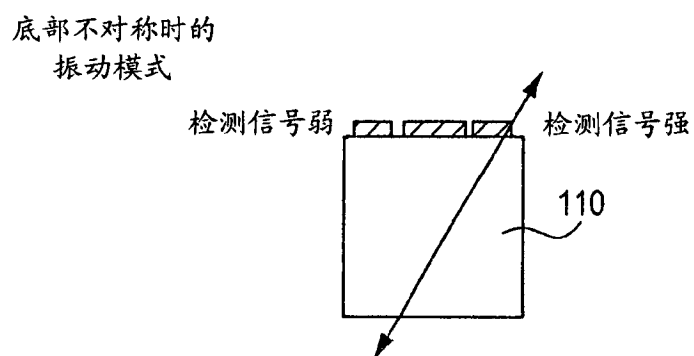


图 72B

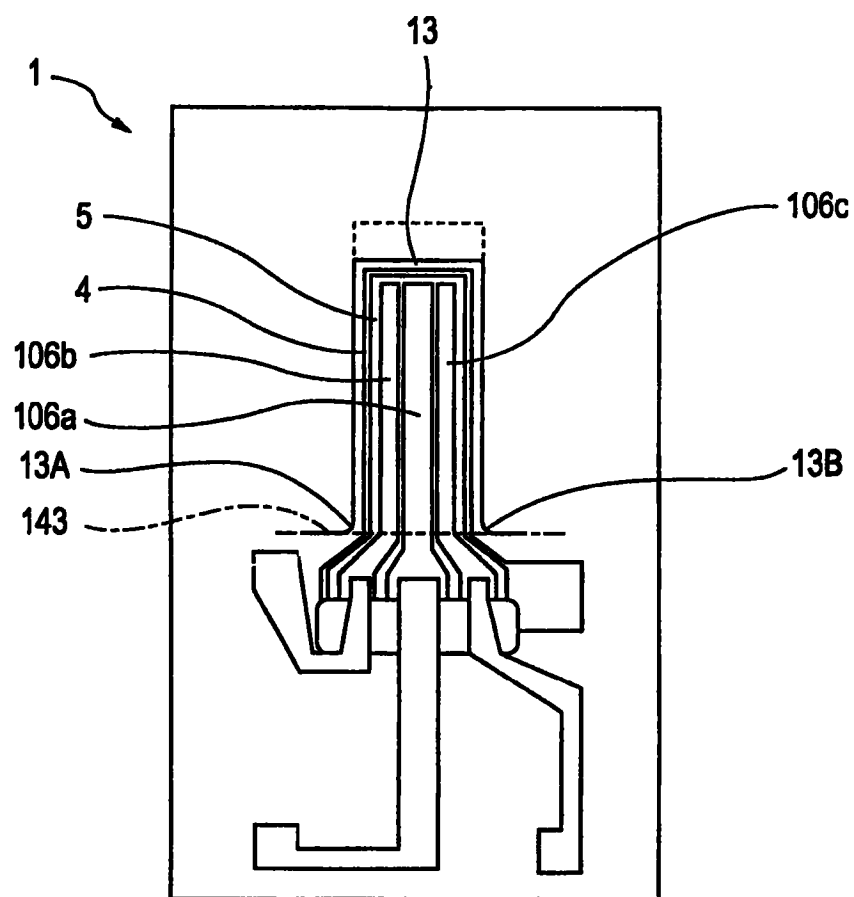


图 73

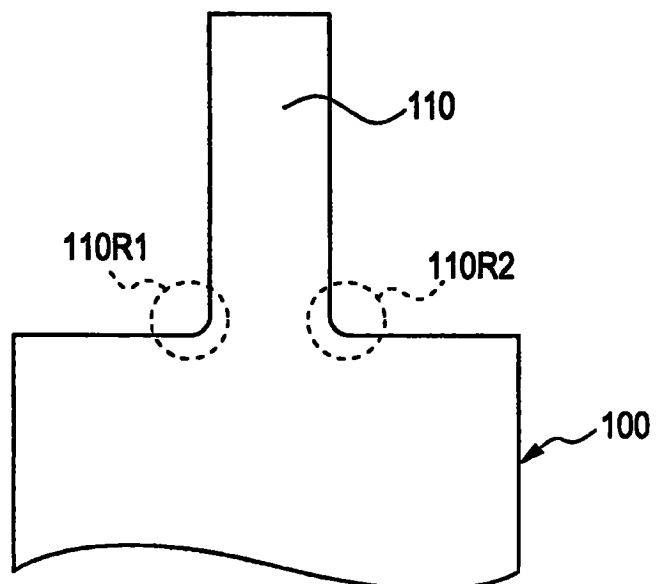


图 74

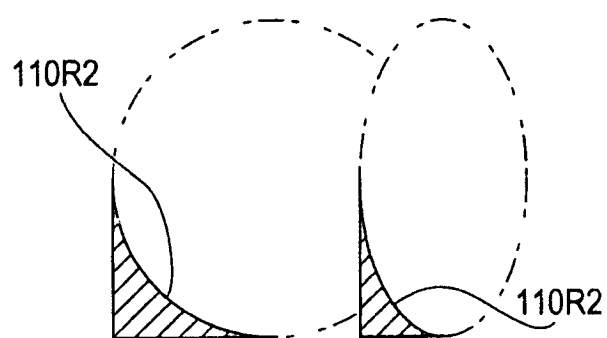


图 75A

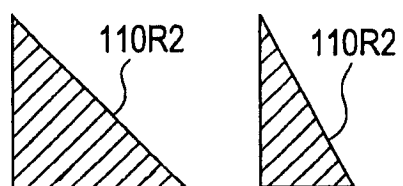


图 75B

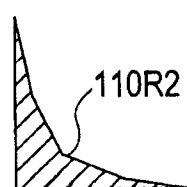


图 75C