

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 41/083

H01L 41/22



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95121197.8

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1123939C

[22] 申请日 1995. 12. 21 [21] 申请号 95121197.8

[30] 优先权

[32] 1994. 12. 21 [33] JP [31] 318080/1994

[71] 专利权人 日本碍子株式会社

地址 日本爱知县

[72] 发明人 武内幸久 七泷努

[56] 参考文献

EP0606767A1 1993. 12. 24 H01L41/09

EP0629007A1 1994. 06. 08 H01L41/09

EP0629007A1 1994. 06. 08 H01L41/09

审查员 樊晓东

[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

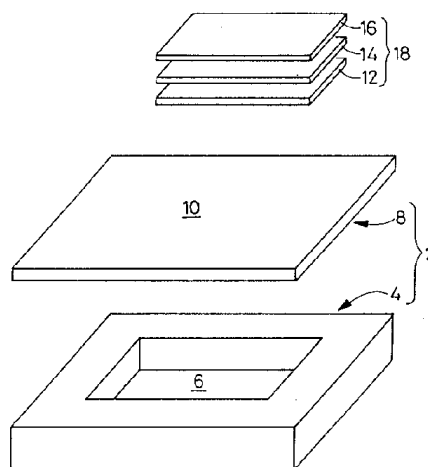
代理人 杜日新

权利要求书 7 页 说明书 33 页 附图 13 页

[54] 发明名称 具有至少一个应力释放端部的压电/
电致伸缩膜元件

[57] 摘要

一种压电与/或电致伸缩膜元件，包括陶瓷基片 2，基片上的压电单元 18，且包括在下、上电极 12，16 间的压电层 14。基片有窗口 6，由膜部 10 封闭。单元置于膜部上，其至少一个相对端在向膜部中心的方向上和窗口的边缘分开。与窗口边缘分开的膜部的端部向上凸或向下凹，从而提供应力释放部分，用来将应力转换成膜部的位移。还披露了通过烧结基片膜部上的未烧结的压电/电致伸缩层，形成应力释放部分的方法。



ISSN 1008-4274

1. 一种压电/电致伸缩膜元件，包括：

陶瓷基片（2，22），它包括具有至少一个窗口（6，38）的基部（4，30），以及作为所述基部的一个整体部分形成的并封闭每个所述至少一个窗口的膜部（10，26）；

膜状的压电/电致伸缩单元（18，24），它包括下电极（12，40），压电/电致伸缩层（14，42）和上电极（16，14），它们按所说明的顺序利用膜形成方法形成在所述膜部的外表面上；

所述压电/电致伸缩单元（18，24）被如此置于所述膜部上，使得所述压电/电致伸缩单元的相对端面中的至少一个和所述每个窗口的周边的相对部分中的相应的一个朝向所述膜部的中心的方向分开；

应力释放部分（20），由所述膜部的相对端部中的至少一个构成，它位于所述压电/电致伸缩单元的相对端面中的所述至少一个端面和相应的所述每个窗口的周边的相对部分中的至少一个之间，所述应力释放部分在没有激励电压施加在所述压电/电致伸缩单元上时，相对于包括所述基部（4，30）主表面的平面被弯曲，在所述基部上的所述每个窗口被所述膜封闭。

2. 如权利要求1的压电/电致伸缩膜元件，其特征在于所述每个窗口的所述周边的所述相对部沿平行于一直线的方向彼此相对，所述直线平行于所述基部（4，36）的所述主表面的平面，并通过每个窗口（6，38）的中心，沿所述直线每个所述窗口具有最短的尺寸，所述应力释放部分（20）的尺寸当沿所述方向测量时不大于所述每

个窗口的最短尺寸的40%。

3. 如权利要求1或2的压电/电致伸缩元件，其特征在于其中所述膜部(10, 26)具有至少一个挠曲点。

4. 如权利要求1的压电/电致伸缩膜元件，其特征在于所述应力释放部分包括和相应的所述每个窗口的周边的相对部分的一个相邻的端部，所述端部沿离开所述基部(4, 30)主表面的所述平面的方向被弯曲而突出。

5. 如权利要求1的压电/电致伸缩膜元件，其特征在于所述压电/电致伸缩单元(18, 24)被如此放置，使得所述压电/电致伸缩单元的两个所述相对的端面与相应的所述每个窗口(6, 38)的周边的相对部沿朝向所述膜部的中心方向离开，所述应力释放部分(20)被提供在位于所述压电/电致伸缩单元的相对端面和相应的所述每个窗口的周边的相对部之间的所述膜部的相对的端部的每个上。

6. 如权利要求1的压电/电致伸缩膜元件，其中所述压电/电致伸缩单元(18, 24)被如此设置，使得只有所述压电/电致伸缩单元的相对端面中的一个和所述相应的每个窗口(6, 38)的周边的所述相对部中的一个沿朝向所述膜部中心的方向分开，所述应力释放部分(20)只被提供在位于所述压电/电致伸缩单元的相对端面的一个和相应的所述每个窗口的周边的所述相对部的一个之间的所述膜部的所述相对端部的一个上。

7. 如权利要求1的压电/电致伸缩膜元件，其特征在于所述应力释放部分(20)具有沿离开所述每个窗口(6, 38)的方向从所述平面突出的向上凸的形状。

8. 如权利要求 5 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于所述提供在所述膜部 (10, 26) 的每个相对端部的应力释放部分 (20) 具有沿离开所述每个窗口 (6, 38) 从所述平面向上凸的形状, 所述膜部包括一个中心部分, 在其上形成有所述压电/电致伸缩单元 (18, 24), 所述中心部分具有沿朝向所述每个窗口 (6, 38) 的方向从所述平面伸出的向下凹的形状。

9. 如权利要求 6 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于其中所述仅提供在所述膜部 (10, 26) 的相对端的一个上的应力释放部分 (20) 具有沿离开所述每个窗口 (6, 38) 的方向从所述平面伸出的向上凸的形状, 包括所述相对端部的另外的相对端并在其上形成有压电/电致伸缩单元的所述膜部的部分具有向着所述每个窗口 (6, 38) 的方向从所述平面向下凹的形状。

10. 如权利要求 7—9 任一个的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于所述陶瓷基片包括模板 (8, 26), 它包括所述的膜部 (10, 26), 并被如此形成在所述基部 (4, 30) 的所述主要表面上, 使得所述膜部封闭所述每个窗口 (6, 38), 所述应力释放部分 (20) 的向上凸的形状的高度不大于所述膜部 (10, 26) 的两倍厚度, 所述高度从远离所述基部的所述模板的相对的主要表面中的一个进行测量。

11. 如权利要求 1 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于其中所述应力释放部分 (20) 具有沿朝向所述每个窗口 (6, 38) 的方向向下凹的形状。

12. 如权利要求 11 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于其中所述应力释放部分 (20) 被提供在所述压电/电致伸缩单元 (18,

24) 的相对侧的至少一个上。

13. 如权利要求 11 或 12 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于其中所述陶瓷基片包括模板 (8, 26), 它包括所述膜部 (10, 26), 并被如此形成在所述基部 (4, 30) 的所述主要表面上, 使得所述膜部封闭所述每个窗口 (6, 38), 所述应力释放部分 (20) 的所述向下凹的形状具有不大于所述膜部 (10, 26) 两倍厚度的深度, 所述深度从远离所述基部的所述模板的相对的主表面中的一个进行测量。

14. 如权利要求 1 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于所述应力释放部分 (20) 具有波纹形状, 并具有至少一个向上的凸部和至少一个向下的凹部。

15. 如权利要求 1 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于所述膜部 (10, 26) 具有不大于 $5\mu\text{m}$ 的平均晶粒尺寸。

16. 如权利要求 1 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于其中所述膜部 (10, 26) 具有不大于 $30\mu\text{m}$ 的厚度。

17. 如权利要求 1 的压电/电致伸缩膜元件, 其特征在于其中所述压电/电致伸缩单元 (18, 24) 具有不大于 $100\mu\text{m}$ 的厚度。

18. 一种生产压电/电致伸缩膜元件的方法, 所述膜元件包括: 陶瓷基片 (2, 22), 它包括具有至少一个窗口 (6, 38) 的基部 (4, 30), 和作为所述基部的一个整体部分而形成的并封闭每个所述窗口的膜部 (10, 26); 以及膜状的压电/电致伸缩单元 (18, 24), 它包括下电极 (12, 40), 压电/电致伸缩层 (14, 42) 和上电极 (16, 44), 它们按照说明的顺序被用膜形成方法形成在所述膜部的外表面

上,所述方法包括下列步骤:

制备所述陶瓷基片(2,22),其中所述膜部(10,26)具有沿离开所述窗口(6,38)的方向向上伸出的凸形;

利用膜形成方法在所述膜部的向上凸的外表面上如此形成至少所述下电极(12,40)和所述压电/电致伸缩单元(18,24)的所述压电/电致伸缩层(14,42),使得所述单元的相对端面的至少一个和所述窗口的周边的相对部分中的相应的一个沿朝向所述膜部的中心的方向分开;以及

如此烧结所述压电/电致伸缩层,使得在膜部上形成有所述压电/电致伸缩单元的所述部分向下弯曲,从而具有沿朝向所述窗口向下伸出的凹形,而所述膜部的相对端部的所述至少一个被向上弯曲,从而使其具有沿离开所述窗口的方向向上伸出的凸形,借以使所述膜部的相对端部的至少一个提供应力释放部分(20)。

19. 如权利要求18的方法,其特征在于其中所述形成至少所述下电极和所述压电/电致伸缩层的步骤包括这样形成所述下电极和所述压电/电致伸缩层,使得所述压电/电致伸缩单元的两个所述相对端面 and 相应的所述窗口的所述周边的相对部分沿朝向所述膜部的中心方向分开,所述烧结所述压电/电致伸缩层的步骤包括这样烧结所述压电/电致伸缩层,使得所述膜部的两个所述相对端部向上弯曲,从而使所述相对端部的每个提供所述的应力释放部分(20),而在所述相对端部之间的所述膜部向下弯曲。

20. 如权利要求18的方法,其特片在于,其中所述形成至少下电极和所述压电/电致伸缩层的步骤包括这样形成所述下电极和所述压电/电致伸缩层的步骤,使得只有所述压电/电致伸缩单元的所

述相对端面的一个和相应的所述窗口的所述周边的相对部分中的一个沿朝向所述膜部的中心方向分开,所述烧结所述压电/电致伸缩层的步骤包括这样烧结所述压电/电致伸缩层的步骤,使得只有所述膜部的所述相对端部的一个向上弯曲,从而提供所述应力释放部分(20),而包括所述相对端部中的其它端部的并在其上形成有压电/电致伸缩单元(18, 24)的所述膜部的部分被向下弯曲。

21. 一种用来生产压电/电致伸缩膜元件的方法,所述膜元件包括:陶瓷基片(2, 22),它包括具有至少一个窗口(6, 38)的基部(4, 30),以及作为所述基部的一个整体部分而形成的并封闭每个所述窗口的膜部(10, 26);以及膜状的压电/电致伸缩单元(18, 24),它包括下电极(12, 40),压电/电致伸缩层(14, 42)和上电极(16, 14),它们按所说明的顺序被用膜形成方法形成在所述膜部的外表面上,所述方法包括下列步骤:

制备所述陶瓷基片(2, 22),其中所述膜部(10, 26)被形成波纹,并具有几个沿离开所述窗口(6, 38)的方向向上凸的部分和几个沿朝向所述窗口的方向向下凹下的部分,所述凸部和所述凹部被交替地排列;

用膜形成方法形成至少所述下电极(12, 40)和所述压电/电致伸缩单元(18, 24)的压电/电致伸缩层(14, 42),它们被这样形成在有波纹的所述膜部的外表面上,使得所述单元的相对端面的至少一个和相应的所述窗口的周边的相对部分的一个沿朝向所述膜部的中心方向分开;以及

如此烧结所述压电/电致伸缩层,使得在膜部上形成所述压电/电致伸缩单元的所述部分向下弯曲,从而具有沿朝向所述窗口的方

向向下凹下的形状，而所述膜部的相对端部中的所述的至少一个保持波纹状，从而使所述膜部的相对端部中的所述至少一个的每一个提供应力释放部分 (20)。

22. 一种用于生产压电/电致伸缩膜元件的方法，所述膜元件包括：陶瓷基片 (2, 22)，它包括具有至少一个窗口 (6, 38) 的基部 (4, 30) 以及作为所述基部的一个整体部分而形成的并封闭所述每个窗口的膜部 (10, 26)；和膜状的压电/电致伸缩单元 (18, 24)，它包括下电极 (12, 40)，压电/电致伸缩层 (14, 42) 和上电极 (16, 44)。它们按所说明的顺序用膜形成方法形成在所述膜部的外表面上，所述方法包括下列步骤：

制备所述的陶瓷基片 (2, 22)，其中和所述每个窗口的周边的相对部分相邻的所述膜部 (10, 26) 的每个相对的端部被向下弯曲，从而具有沿朝向所述每个窗口的方向向下凹下的形状，而在所述相对端部之间的所述膜部的中心部分被向上弯曲，从而具有沿离开所述窗口 (6, 38) 的方向向上凸的形状；

用膜形成方法，在所述膜部的所述向上弯曲的中心部分的外表面上至少形成所述下电极 (12, 40) 和所述压电/电致伸缩单元 (18, 24) 的压电/电致伸缩层 (14, 42)；以及

如此烧结至少所述压电/电致伸缩层，使得每个具有所述向下凹形状的所述膜部的所述相对端部提供两个应力释放部分 (20)。

23. 如权利要求 22 的方法，其特征在于，其中所述制备所述陶瓷基片 (2, 22) 的步骤包括这样形成所述膜部 (10)，使得所述膜部总体上具有沿离开所述窗口的方向向上凸的形状，并对着所述膜部的至少中心部沿朝向每个窗口的方向压一夹具 (21)。

具有至少一个应力释放端部的压电/电致伸缩膜元件

本发明涉及一种单压电晶片 (uni-morph)、双压电晶片 (bi-morph) 或其它类型的压电与/或电致伸缩膜元件, 它以弯曲或挠曲产生或检测位移, 它可以用作激励器, 滤波器, 显示装置, 变量器, 麦克风, 发声体 (例如扬声器), 各种谐振器, 振荡器或振动器, 识别器, 陀螺仪, 传感器以及其它元件和装置。本发明还涉及一种方法, 用来生产这种压电或电致伸缩膜元件。此处所用“元件”一词指的是一种能够变换或转换电能成为机械能即机械位移。变形或振动的元件, 也指转换机械能成电能的元件。

近年来, 在光学以及精密定位或机械加工领域中, 不断增加着对这类元件的需要, 这些元件的位移可被控制, 用于在几分之一微米 (μm) 的数量级上调节或控制光路长度或装置的构件和组件的位置, 并用于检测由电变化引起物体的极小的位移。为满足这些要求, 已经研制了压电与/或电致伸缩膜元件 (以后称为 P/E 膜元件), 用作激励器或传感器, 这些元件包括压电材料, 例如铁电体材料, 并利用反的或逆的压电效应, 当对其施加电场时产生机械位移, 或利用压电效应, 当施加压力或机械应力时产生电场。在这些元件当中, 例如常规的单变体型 P/E 膜元件已经满意地用于扬声器。

已经提出了用于不同目的的陶瓷 P/E 膜元件, 如 JP—A—3—128681 (即待审的美国专利申请序列号 NOS. 07/550, 977, 07/860,

128。08/102, 960。08/384, 469。08/392, 083, 以及 08/452, 092) 以及 JP—A—5—49270 (即美国专利号 NO. 5, 210, 455 和美国专利申请序列号 NO. 08/013, 046), 它们由本发明的受让者提出申请。所披露的元件的一个例子具有陶瓷基片, 基片具有至少一个窗口, 并和闭合窗口的薄膜形成一个整体, 从而提供至少一个薄壁的膜片部或振动部, 在陶瓷基片的每个膜片部的外表面上, 形成一个压电/电致伸缩单元 (以后称 “P/E 单元”, 它是一个完整的迭层结构, 包括下电极, 压电/电致伸缩层 (以后称 P/E 层) 和上电极。P/E 单元由合适的膜形成方法或对陶瓷基片的相应的膜部进行处理形成。这样形成的 P/E 膜相当小并且不贵, 而且可用作具有高可靠性的机电传感器。此外, 这种元件具有高的操作响应并通过加上低电压便提供相当大的位移, 从而产生相当大的力。这样, 上述元件适用于作为激励器, 滤波器, 显示装置, 传感器或其它元件或装置。

为了生产上述的 P/E 膜元件, 每个 P/E 单元的下电极。P/E 层和上电极通过合适的膜形成方法按这一顺序层迭在陶瓷基片的膜片部, 并据需要进行热处理 (烧或烧结), 从而 P/E 单元整体地形成在膜片部。本发明人的进一步研究指示了, 这种元件的压电/电致伸缩特性由于在形成 P/E 单元期间, 更具体地说在形成 P/E 层期间的热处理 (烧或烧结) 而变差。

具体地说, P/E 层在 P/E 层的热处理期间和陶瓷基片的膜部接触的 P/E 层或 P/E 单元由于烧结收缩而受到应力, 在烧结之后, 应力保持在其中这阻止了 P/E 膜元件具有足够密的烧结结构。在这种情况下, P/E 膜元件不会是现所需的或所期望达到的压电/电致伸缩特性。在烧结之后, P/E 层的剩余应力不希望地使压电/电致伸缩特

性变差，具体地说，在激励 P/E 单元时产生的膜部的位移会减少。

为了生产用于显示装置的激励器，例如通过陶瓷基片以合适的图形形成几个窗口，上述的 P/E 单元被形成在封闭相应窗口的各个薄壁膜部。在这种情况下，膜部的位移量由于在烧结之后 P/E 层中剩余的应力会大大减少，尤其是当两个或多个相邻的 P/E 单元被同时激励时，比单个的 P/E 单元被激励时的位置相比减少相当多。这就是说，当相邻的 P/E 单元被同时激励时，例如，承载两个 P/E 单元中的一个的膜部的位移量会干扰承载另一个 P/E 单元的膜部的位移量，结果使这些膜部的位移量减少，当相邻 P/E 单元之间的间隔减少以满足近来需要每单位面积具有大量的 P/E 单元的要求时，这种膜部位移量的减少是严重的。

因此，本发明的第一个目的在于，提供一种压电/电致伸缩膜元件，其中每个压电/电致伸缩单元通过膜形成方法在陶瓷基片的薄壁膜部的外表面形成，并且这种压电/电致伸缩膜元件可以在施加相当低的电压时，有效地将在 P/E 单元中产生的应力转换成大的位移量，并且当两个或多个 P/E 单元形成在各自的膜部并被同时激励时不会使位移量相当地减少。

本发明的第二个目的在于，提供一种用于生产呈现上述优异特性的压电/电致伸缩元件的方法。

按照本发明的第一方面，上述第一目的通过提供一种压电/电致伸缩膜元件来实现，其中包括：(a) 具有至少一个窗口的基部陶瓷基片，以及和基部以整体部分形成的膜部，它们封闭至少一个窗口的每个；(b) 膜状压电/电致伸缩单元，包括下电极，压电/电致伸缩层和上电极，它们按所述顺序由膜形成方法形成在膜部的外表面。压

电/电致伸缩单元被如此置于膜部上,使得压电/电致伸缩单元的相对端面中的至少一个沿朝向膜部的中方向和相应于每个窗口周边的相对部分之一分开;以及(c)应力释放部分,由位于所述压电/电致伸缩单元的至少一个相对端部和相应于每个窗口周边的至少一个相对部之间的膜部的相对端部的至少一个构成,应力释放部分相对于包括基部主要表面的平面而弯曲,在所述基部,每个窗口被膜部封闭。

在按本发明构成的压电/电致伸缩膜元件中,应力释放部分被形成在陶瓷基片的膜部的至少一个相对端部上,在这一端部不设置压电/电致伸缩单元。在存在应力释放部分的情况下,压电/电致伸缩单元不易被来自陶瓷基片的力所影响,从而在压电/电致伸缩单元中产生的应力可以高效率地转换为位移,因而在对压电/电致伸缩单元施加相当低的电压时,保证膜部产生大的位移量。

此外,所述膜元件具有多个压电/电致伸缩单元,即使这些单元被同时激励时,和每个压电/电致伸缩单元被单独激励时相比,基本上也不会减少这些压电/电致伸缩单元的位移量。这样本发明的膜就保证每个膜部的位移量基本上恒定,并保证基本一致的操作特性,而与同时激励的压电/电致伸缩单元的数量无关。

按照本发明的第一方面的最佳实施例,每个窗口周边的相对部分沿着平行于一直线的方向彼此相对,所述直线平行于基部主要表面的平面,并通过每个窗口的中心,并沿着所述直线,每个窗口具有最短的尺寸。在这种情况下,沿着该方向测量的应力释放部分的尺寸不大于每个窗口最短尺寸的40%。

按照本发明的第一方面的第二最佳实施例,膜部具有至少一个

挠曲点，

按照本发明的第一方面的第三最佳实施例，应力释放部分包括和相应的每个窗口的周边的相对部的一个相邻的端部，该端部被弯曲，并朝向离开基部主表面的平面的方向凸出，

按照本发明的第一方面的第四最佳实施例，压电/电致伸缩单元被这样放置，使得压电/电致伸缩单元的相对的两个端面沿向着膜部的中心方向与相应的每个窗口的周边的相对部分离开。在这种情况下，应力释放部分被提供在位于压电/电致伸缩单元的相对的端面 and 相应的每个窗口的周边的相对端部之间的膜部的每个相对端部上。

按照本发明第一方面的第五最佳实施例，压电/电致伸缩单元被这样放置，使得只有压电/电致伸缩单元的两对端面中的一个沿向着膜部的中心方向与相应的每个窗口的周边的相对部的一个分开。在这种情况下，应力释放部分仅在位于压电/电致伸缩的相对端面的一个和相应的每个窗口周边的相对部分的一个之间的膜部的相对端部的一个上提供。

按照本发明的第一方面的第六最佳实施例，应力释放部分具有向上的凸起的形状，沿离开每个窗口的方向从所述平面中凸出。

按照本发明第一方面的第四最佳实施例的优点和特点，提供在膜部的每个相对端部的应力释放部分具有向上的凸形，从沿离开每个窗口的方向从所述平面中凸出，所述膜部包括中心部分，在其上形成有压电/电致伸缩单元，中心部具有向下的凹下形状，从沿朝向每个窗口的方向的平面凸出。

按照本发明的第一方面的第五实施例的优点和特点，只提供在膜部分的相对侧中的一个上的应力释放部分具有向上的凸起形状，

从沿离开每个窗口的方向的平面凸出。包括相对端部的另一个的并在其上形成有压电/电致伸缩单元的膜部的部分具有下凹下的形状，从沿朝向每个窗口方向的平面凸出。

按照本发明的第一方面的第六实施例的一个优点和特点，陶瓷基片包括模板，它包括膜部并被形成在基部的主要表面上，使得膜部封闭每个窗口。在这种情况下，应力释放部分的向上凸起的形状具有不大于膜部的两倍厚度的高度。该高度从远离基部的模板的一个相对的主要表面测量。

按照本发明的第一方面的第七最佳实施例；应力释放部分具有向下凹下的形状，沿朝向每个窗口的方向凹下。

按照本发明的第七最佳实施例的优点和特点，应力释放部分被提供在压电/电致伸缩单元的至少一个相对侧上。

按照本发明的第一方面的第七最佳实施例的另一优点和特点，陶瓷基片包括模板，它包括膜部并被形成在基部 (base portion) 的主要表面上，使得膜部闭合每个窗口，应力释放部分向下的凹形具有不大于膜部两倍厚度的高度，所述高度由远离基部的模板的一个相对的主要表面测量。

在按照本发明构成的压电/电致伸缩膜元件中，应力释放部分可具有波纹形状，具有至少一个向上凸起部分和至少一个向下凹下部分。膜部可具有不大于 $5\mu\text{m}$ 的平均晶粒尺寸，以及不大于 $30\mu\text{m}$ 的厚度。压电/电致收缩单元可以具有不大于 $100\mu\text{m}$ 的厚度。

上述的第二目的可以按照本发明的第二方面实现，提供一种生产压电/电致伸缩膜元件的方法，该元件包括：陶瓷基片，它包括至少具有一个窗口的基部，作为一个整体形成在基部上并闭合至少一

个窗口的每一个的膜部；以及一个膜状的压电/电致伸缩单元，包括下电极，压电/电致伸缩层和上电极，它们按上述顺序用膜形成方法形成在膜部的外表面上，所述方法包括下列步骤：制备一种陶瓷基片，其中膜部具有向上凸起形状，沿离开每个窗口的方向凸出；通过膜形成，形成至少下电极和压电/电致伸缩单元的压电/电致伸缩层，它们被如此形成在向上凸出的膜部的外表面上，使得所述单元的相对端面的至少一个和每个窗口的周边的一个相对侧沿向着膜部中心方向分开；以及烧结压电/电致伸缩层，使得其上形成有压电/电致伸缩单元的膜部的一部分向下弯曲，从而具有沿向着每个窗口方向凸出的向下凹形状，同时膜部的相对端部的至少一个向上弯曲，使得具有沿离开每个窗口的方向凸起的向上凸起的形状，所述膜部的相对端部的至少一个提供应力释放部分。

按照本发明的生产压电/电致伸缩膜元件的方法，允许在工业上以改进的效率制造膜元件。

按照本发明第二方面的第一最佳实施例，形成至少下电极和压电/电致伸缩层的步骤包括：如此形成下电极和压电/电致伸缩层，使得压电/电致伸缩单元的两个相对的端面沿向着膜部分的中心方向下相应的每个窗口的周边的相对部分分开，烧结压电/电致伸缩层的步骤包括：如此烧结压电/电致伸缩层，使得膜部的两个相对端部向上弯曲，从而每个相对端部提供一个应力释放部分，同时使位于所述相对端部之间的膜部的中心部分被向下弯曲，

按照本发明的第二方面的第二最佳实施例，形成至少下电极和压电/电致伸缩层的步骤包括这样形成下电极和压电/电致伸缩层的步骤，使得只有压电/电致伸缩单元的相对端的一个沿向着膜部中心

方向与相应的每个窗口的周边的相对部分的一个分开。烧结压电/电致伸缩层的步骤包括这样烧结压电/电致伸缩层,使得只有膜部的相对端部的一个向上弯曲,从而提供应力释放部分,同时包括其它相对端部的并在其上形成有压电/电致伸缩单元的膜部被向下弯曲。

本发明的上述第二目的可以按照本发明的第三方面实现,提供一种生产压电/电致伸缩膜元件的方法,该元件包括:包括一个基部并具有至少一个窗口的陶瓷基片,和基部作为一个整体形成的并封闭至少一个窗口的膜部;以及膜状的压电/电致伸缩单元,它包括下电极,压电/电致伸缩层以及上电极,它们按所述顺序用成膜法形成在膜部的外表面,所述方法包括下列步骤:制备一种陶瓷基片,其中膜部呈波纹状,并具有沿离开每个窗口的方向向上的凸起部分以及几个沿朝着每个窗口方向向下的凸出的凹下部分,凸出部分和凹下部分被交替排列;通过膜形成法,在膜部的波纹的外表面这样形成至少下电极和压电/电致伸缩单元和压电/电致伸缩层,使得所述单元的相对端面的至少一个沿着朝向膜部的中心方向和相应的每个窗口的周边的相对端部的一个分开;以及烧结压电/电致伸缩层,使得其上形成有压电/电致伸缩单元的膜部的部分向下弯曲,从而具有沿朝每一窗口的方向凸出的向下的凹下形状,而膜部相对端面的至少一个保留波纹形,从而使膜部的至少一个相对端部提供应力释放部分。

本发明的上述第二目的可按照本发明的第四方面实现,其中提供一种生产压电/电致伸缩膜元件的方法,该元件包括:包括一个基部并具有至少一个窗口的陶瓷基片,并包括和基片整体形成的膜部,它封闭至少一个窗口的每个;以及膜状的压电/电致伸缩单元,包括

下电极,压电/电致伸缩层和上电极,它们用膜形成方法按所述顺序形成在膜部的外表面,该方法包括下列步骤:制备一种陶瓷基片,其中和每个窗口的周边的相对部相邻的膜部的每个相对端部被向下弯曲,从而具有沿每个窗口的方向凸出的向下凹形状,而在相对端部之间的膜部的中心部分被向上弯曲,使得具有从离开每个窗口方向凸出的向上凸起的形状;借助于膜形成法,形成至少下电极和压电/电致伸缩单元的压电/电致伸缩层,它们在膜部的向上弯曲的中心部分的外表面上形成;烧结至少压电/电致伸缩层,使得每个具有向下凹形状的膜部的相对端部提供两个应力阻尼部分。

按照本发明的第四方面的一个最佳实施例,制备陶瓷基片的步骤包括:这样形成一个膜部,使得它总体上具有沿离开每个窗口的方向向上凸的形状,并沿朝向每个窗口的方向,对着至少膜部的中心部分压上一个夹具(jig)。

本发明的上述目的的特点和优点通过结合附图详细说明本发明的最佳实施例将会更好地理解,其中:

图1是按照本发明构成的压电/电致伸缩膜元件的基本结构的一个例子的透视图;

图2是图1中的压电/电致伸缩膜元件的纵截面图;

图3是图1中的膜元件的横截面的放大图,它是在平行于窗口的短边的并通过窗口的中心的平面内取的;

图4是相应于图3的图,表示本发明的压电/电致伸缩膜元件的另一实施例;

图5是相应于图3的图,表示本发明的压电/电致伸缩膜元件的另一实施例;

图6是相应于图3的图,表示本发明的压电/电致伸缩膜元件的另一实施例;

图7是相应于图3的图,仍然表示本发明的P/E膜元件的另一个例子;

图8(a) — (c) 是横截面局部放大图,表明图3的压电/电致伸缩膜元件的生产方法;

图9(a) — (c) 是局部放大的横截面图,表明图4的压电/电致伸缩膜元件的生产方法;

图10(a) — (c) 是放大的局部图,表明图5的P/E膜元件的生产方法;

图11(a) — (c) 是放大的局部图表示图6和图7的P/E膜元件的生产方法;

图12(a) 和 12(b) 是局部放大的横截面图表示生产图11中方法使用的陶瓷基片的步骤;

图13是透视图,表示本发明的具有多个压电/电致伸缩单元的P/E膜元件的另一个例子;

图14是沿图13中线14—14取的截面图; 以及

图15是相应于图14的截面图,表示本发明的具有多个P/E单元的P/E膜元件的另一个例子。

下面描述本发明的P/E膜元件的一个实施例,其中用膜形成法在封住陶瓷基片的窗口的膜部的外表面上形成P/E单元,并其中适当尺寸的应力释放或阻尼部分被形成在膜部的至少一个部分上,在该部分上没有配置P/E单元。在本实施例中,陶瓷基片具有一个窗口。

参见图 1 图 2，它们表示按照本发明的压电/电致伸缩膜元件（简称为 P/E 膜元件）的一个例子。陶瓷基底 2 具有一种整体结构，包括具有预定厚度的基板 4，具有尺寸合适的矩形窗口 6 的基板 4，以及封闭窗口 6 的相当薄的膜板 8。膜板 8 迭放在作为支撑件的基板 4 的一个主要表面上。膜板 8 具有相应于基板 4 的窗口 6 的膜部 10。在平面的陶瓷基片 2 的膜部 10 的外表面上，下电极膜 12，压电/电致伸缩层（以后称为“P/E 层”）14 以及上电极膜 16 按上述顺序用已知的膜形成方法层迭着，从而形成膜状的压电/电致伸缩单元（以后称为 P/E 单元）18。如现有技术一样，通过引线部分未示出）把适当的电压加到上下电极 16、12 上。

如上所述结构的 P/E 膜元件被用作激励器时，电压以公知的方式加在 P/E 单元 18 的两个电极 12、16 之间，从而 P/E 层 14 暴露在电场中，并经受由电场引起的机械形变。因而，P/E 单元 18 产生挠曲、弯曲或挠曲位移或力，这是由于 P/E 层 14 的变形的横向效应所致。结果使位移或力沿着垂直于基片 2 的平面或主要表面的方向作用在陶瓷基片 2（膜部 10）上。

按照本发明的 P/E 膜元件具有合适的应力释放部分，它作为陶瓷基片 2 的膜部 10 的一部分被形成在没有 P/E 单元 18 形成的部分上。更具体地说，在本 P/E 膜元件中，形成在膜部 10 上的 P/E 单元 18（见图 2）的相对端面的至少一个位于膜部 10 的内部，从而使 P/E 单元 18 的端面向内偏离或与形成在陶瓷基片 2 中的窗口 6 的相应端隔开。换句话说，应力释放部分包括位于 P/E 单元 18 的相对端面的至少一个和相应的窗口 6 的端部之间的膜部的部分。在图 3 所示的 P/E 膜元件中，例如，两个应力释放部分 20，20 形成在 P/E 单

元 18 的两个相对侧 (见图 3), 在位于 P/E 单元 18 的相对端和相应的窗口 6 的相对端之间的膜部 10 的部分处。换句话说, 两个应力释放部分 20, 20 包括上述的膜部 10 的部分, 它具有各自的宽度 n, n' 如图 3 所示, 并且其上没有 P/E 单元 18。如图 3 所示, 每个应力释放部分 20 具有沿离开窗口 6 的底部的方向向外凸出的向上弯曲的凸起形状。在存在这样形成的膜部 10 的应力释放部分 20 的情况下, 在 P/E 单元 18 中产生的应力可以高效率地转换成位移, 因而借助于对 P/E 单元 18 施加相当低的电压膜部 10 就可以产生足够大的位移。此外, 上述的应力释放部分 20 的存在, 有效地防止当两个或多个相邻的 P/E 单元 (18) 被同时激励时使膜部 10 的位移量减少。这样, 应力释放部分 20 使得能够满足增加 P/E 膜元件的每单位面积的 P/E 单元 18 的密度的要求。

膜部 10 具有两个应力释放部分 20, 20, 它们分别形成在 P/E 单元的相对侧, 并具有如图 3 所示的向上的凸起形状, 当激励形成在膜部 10 上的 P/E 单元 18 时, 膜部 10 就被向下位移, 如图 3 中箭头所示, 换句话说, 被向窗口 6 挠曲。在存在上述形成的应力释放部分 20, 20 的情况下, 在 P/E 单元被激励时, 其中产生的应力不易受来自陶瓷基片 2 (即基板 4) 的基部的力的影响, 从而在 P/E 单元 18 中产生的应力高效率地被转换成位移。此外, 膜部 10 通过施加相当低的电压便可以产生足够大的位移。应力释放部分 20 有效地避免或减少来自陶瓷基片 2 的基部的力的影响, 这种力在 P/E 单元 18 激励时会作为在其上。因而, 每个膜部 10 的位移量即使在两个或多个相邻的 P/E 单元 18 被同时激励时也不会减少, 并且被同时激励的 P/E 单元 18 的位移量不会和每个 P/E 单元 18 被独立于其它 P/E 单元被

激励时的位移量有所不同。

图3的P/E膜元件具有膜部10。其中心部分承载着P/E单元18，以凸出的形状向窗口6内弯曲，从而膜部10总体上呈“M”形的横截面。具体地说，本P/E膜元件具有“M”形的膜部10，它具有两个应力释放部分20，20，分别形成在P/E单元18的相对端，便有效地产生了上述优点。P/E单元18的“端面”一词指的是P/E单元18的三层12，14，16的端面，它们彼此对齐。当P/E层14和上电极16大于下电极12时，如图3的虚线所示，P/E单元18的端面就被定义为下电极12的端面。这样，每个应力释放部分20的宽度 n ， n' 就由P/E单元18的三层中最短的一个端面确定。

应当理解，按照本发明的P/E膜元件的结构决不限于图3的膜元件的结构。例如，两个应力释放部分20、20不必对称地位于P/E单元18的相对侧。本发明的原理可以体现在图4到图7所示的P/E膜元件的形式中，它们基本上具有上述的优点。

在图4所示的P/E膜元件中，P/E单元18被这样形成在膜部10上，使得P/E单元18朝向窗口6的一个相对的端部偏离膜部10的中心部分，这样便仅提供一个应力释放端20，位于远离上述的窗口6的端部的P/E单元的端面的一侧上。即，应力释放部分20包括膜部10，它位于上述的P/E单元18的端面和相应的窗口6的端部之间。如图4所示，应力释放部分20具有沿离开窗口6的方向向外凸出的弯曲的凸形。另一方面，其上形成有膜部10的其它部分具有向着窗口6的底部向内凸的弯曲的凹形。在本P/E膜元件中，其中膜部10包括向上弯曲的凸出部分和向下弯曲的凹下部分，彼此相连。凸起的部分作为应力释放部分20，当两个或多个P/E单元18被同

时激励时,改善 P/E 特性(即压电/电致伸缩特性)。此外,承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的凹下的部分,当对 P/E 单元 18 施加电压时沿其位移的方向作为整体可有效地减少膜部 10 的刚度。这样,本 P/E 膜元件能够确保足够的大的位移量。在图 4 所示的膜元件中,远离应力释放部分 20 的 P/E 单元 18 的端面位于相应的膜部 10 的凹下部分的相应的端部。然而, P/E 单元 18 的这一端面可以伸到相应于窗口 6 的端部之外,即可以延伸过基板 4,如图 4 的点划线所示。

参见图 5,说明本发明的 P/E 膜元件的另一形式。图 5 的膜元件与图 3 的相同,其中应力释放部分 20,20 分别形成在 P/E 单元 18 的相对侧,不象图 3 中的应力释放部分 20 由单个的向上弯曲的凸部构成,图 5 中的 P/E 膜元件中的应力释放部分 20 呈波纹形,其中凸部和凹部彼此相接。这样形成的应力释放部分 20 具有上述相同的优点。虽然两个应力释放部分 20,20 在图 5 的膜元件中被提供在 P/E 单元 18 的相对侧上,单个的波纹状的应力释放部分 20 可以提供在 P/E 单元 18 的相对侧的一个上,如图 4 中的膜元件。

参见图 6 图 7,表示了本发明的另一种形式的 P/E 膜元件。在图 3 至 5 所示的膜元件中,与窗口 6 的相应端部相邻的应力释放部分 20 的端部沿离开窗口 6 的方向向外凸出。与此相反,图 6 和图 7 的应力释放部分 20 的相应的端部朝窗口 6 的底部向里凸出。

在图 6 的 P/E 膜元件中,承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的中心部分在窗口 6 的一侧上向下弯曲,而在图 7 的膜元件中,承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的中心部分沿离开窗口 6 的方向向外凸出并向上弯曲。具体地说,图 6 的 P/E 膜元件的结构当施加电压时,沿膜部 10 的位移方向能有效地减少膜部 10 的刚性,从而保证大的位移量。

在图 6 图 7 的 P/E 膜元件中，两个凹下的应力释放部分 20，20 分别形成在 P/E 单元 18 的相对侧。然而，图 6 图 7 的膜元件可以这样改型，使得一个应力释放部分 20 形成在 P/E 膜单元 18 的相对侧的一个上，如图 4 中的膜元件一样。

从上述说明应当理解，与窗口 6 的相应端部相邻的应力释放部分 20 的端部最好构成凸起或凹下形状的一部分。即，希望应力释放部分 20 不具有和陶瓷基片 2 的上表面相齐平的并从窗口 6 的周边直线延伸的平的端部，应力释放部分 20 的平的或直的端部会使基应力释放效果变差，换句话说，当它们被同时激励时，会减小 P/E 单元 18 的位移量。因为这种平的端部不会呈现足够高的应力释放效果，所以由弯曲部分和平的部分相结合而构成的应力释放部分当单位面积的膜元件的 P/E 单元 18 的密度高时是不利的。最好是位于 P/E 单元的端面和窗口的相应的端部之间的每个应力释放部分的宽度 (n, n') 尽量小，同时又保证足够的应力释放效果。

从上所述可清楚地看出，按照本发明构成的具有应力释放部分 20 的膜部 10 最好具有至少一个挠曲点，从而维持并增加应力释放效果。即，膜部 10 最好具有至少一个凸部和至少一个凹部，它们彼此相连，从而在膜片 10 中提供至少一个挠曲点。应当说明，挠曲点可以处于应力释放部分 20 中或处于承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的部分中。

按照本发明作为膜部 10 的一部分提供的应力释放部分 20，只要其沿着陶瓷基片 2 的窗口 6 的周边形成，就会呈现上述的所需的应力释放效果。更有利地，应力释放部分 20 沿着膜部 10 的周边部分被形成，其宽度 n, n' 不大于矩形窗口 6 的短边的 40%，其测量沿

平行于窗口 6 的矩形的短边的并通过窗口 6 的中心的直线进行。尺寸 n, n' 最好不大于尺寸 (m) 的 30%，不大于 15% 更好。应当说明，宽度 n, n' 不必彼此相等。

从 P/E 膜元件的位移特性的观点看来，按照本发明构成的应力释放部分 20 最好具有向上弯曲的凸部，或向下弯曲的凹部。应力释放部分 20 的凸部的最大高度（图 3、4 中用 “a” 表示）和凹部的最大深度（图 6、7 中用 “d” 表示）当从基片 2 的上表面测量时最好这样确定，使得其不超过膜部 10 两倍的厚度。具体地说，最大高度 “a” 和最大深度 “d” 被确定为不小于 $1\mu\text{m}$ 且不大于膜部 10 的厚度。

承载 P/E 单元 18 的陶瓷基片 2 由公知的陶瓷材料制成，最好从稳定的氧化锆，局部稳定的氧化锆，氧化铝及它们的混合物中选择。使用本发明的在美国专利 NO. 5, 430, 344 中披露的材料尤为有利，其中包含作为主要成分的氧化锆，它通过添加化合物例如钇的氧化物被局部稳定，并具有基本由正方晶状态或由立方的、正方的以及单晶状态中至少两类的混合物构成的晶体状态。由上述材料构成的陶瓷基片 2 即使在小的厚度下也具有高的机械强度和韧度，并不易和压电/电致伸缩材料起化学反应。陶瓷基片 2 最好这样生产：1) 制备用于基板 4 的未加工的片，并使用金属模或超声波加工或机械加工形成孔（窗口 6），2) 在用作基板 4 的未加工的片上迭放薄的未加工的片用来形成膜板 8（膜部 10）并利用热压使未加工的片粘在一起，以及 3) 把未加工的片烧结成整体结构。这样获得的陶瓷基片 2 具有高的可靠性。为了保证足够高的机械强度，用作承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的陶瓷材料的平均晶粒尺寸一般控制为不大于 $5\mu\text{m}$ ，最好不大于 $2\mu\text{m}$ ，不大于 $1\mu\text{m}$ 更好。为了保证元件足够高的操

作响应速度和大的位移，膜部 10 的厚度一般为 $50\mu\text{m}$ 或更小，最好在 $1\mu\text{m}$ — $30\mu\text{m}$ 的范围内，在 $3\mu\text{m}$ — $15\mu\text{m}$ 的范围内更好。

每个用于基板 4 和膜板 8 的未处理过的片可由几个互相重叠放置的薄片组成。虽然本实施例中的陶瓷基片 2 或膜部 10 呈矩形，但窗口 6 可以适当地选择其它形状，例如圆形，多边形和椭圆形以及这些形状的组合，根据 P/E 膜元件的应用而定。在图 3—7 的实施例中，窗口 6 具有图 1 所示的矩形，上述的尺寸 (m) 是窗口 6 的短边的长度。当窗口 6 具有圆形或椭圆形时，圆的直径或椭圆的短轴的长度是圆形或椭圆窗口 6 的最短的尺寸，沿着通过窗口中心的直线测量。这样，(m) 代表沿通过窗口中心的直线测量的任何形状的窗口 6 的最短的尺寸。

在本发明中，应力释放部分 20 最好由沿着给出最短尺寸 (m) 的窗口 6 的周边的各个相对部分形成，从而使应力释放部分提供高的应力释放效果。

上述的电极 12, 16 和 P/E 层 14 按照上述用合适的膜形成方法形成在陶瓷基片 2 的膜部 10 上，从而提供 P/E 单元 18。P/E 层 14 通过厚膜形成方法形成，例如丝网印刷、喷涂、涂覆或浸渍。厚膜形成方法利用含有以压电/电致伸缩陶瓷微粒为主要成分的软膏或粘合液，其平均微粒尺寸大约为 $0.01\mu\text{m}$ 到 $7\mu\text{m}$ ，最好 $0.05\mu\text{m}$ 到 $5\mu\text{m}$ ，从而在陶瓷基片 2 的膜部 10 上形成膜状的 P/E 层 14。在这种情况下，所得到的膜元件呈现优异的压电/电致伸缩特性。在上述的厚膜形成方法中，最好使用丝网印刷，因为它可以以相当低的成本形成精细图形。P/E 层 14 的厚度最好是 $50\mu\text{m}$ 或更小，最好在 $3\mu\text{m}$ 到 $40\mu\text{m}$ 的范围内，借以用相当低的电压提供 P/E 层 14 的相当大于

位移。

P/E 单元 18 的上下电极 16、12 由在高温下可耐受氧化的导电材料制成。例如，电极 12，16 可由单金属，金属合金，金属或全金的混合物以及电绝缘陶瓷或导电陶瓷制成。不过，电极材料最好以高熔点的贵金属为主要成分构成，例如铂，钯或铑；或合金，例如银—钯合金，银—铂合金或铂—铑合金。电极 12 也可由铂的金属陶瓷以及用作基片 2 的陶瓷材料或用作 P/E 层 14 的压电/电致伸缩材料制成。更具体地说，电极 12、16 可只由铂制成，或由包括以铂为主要成分的合金制成，当使用上述的金属陶瓷时，基片材料的含量最好保持在按体积算 5—30% 的范围内，而压电/电致伸缩材料最好在按体积算 5—20% 的范围内。

使用上述的导电材料，通过合适选择的一种公知的膜形成方法形成电极 12，16，所述方法包括上述的厚膜形成法，以及薄膜形成法，例如溅射，离子束方法，真空蒸发淀积，离子涂镀，CVD 和电镀。厚膜形成方法，例如丝网印刷，喷撒，浸渍和涂覆都可以用于形成下电极 12，而上述的薄膜形成方法以及厚膜形成方法可用于形成上电极 16。这样形成的电极 12，16 的厚度一般不大于 20 μm ，最好不大于 5 μm 。等于这些电极 12，16 和 P/E 层 14 的厚度之和的 P/E 单元 18 的总厚度最好为 100 μm 或更小，更好为 50 μm 或更小。

用来形成 P/E 单元 18 的 P/E 层 14 的压电/电致伸缩材料最好含有作为主要成分的铝锆酸盐钛酸盐 (PZT)，铅镁铌酸盐 (PMN)，铅镍铌酸盐 (PNN)，铅锰铌酸盐，铅铋锡酸盐，铅铋铌酸盐，铅钛酸盐，铅镁钽酸盐，铅镍钽酸盐，或其混合物。此外，根据需要可以在上述的压电/电致伸缩材料中加入含有下列元素的氧化物或它

以不同的步骤进行热处理（烧结），以便和基片 2 即膜部 10 形成整体，也可以在所有这些膜和层形成在膜部 10 上之后以一个步骤同时进行热处理（烧结），以便和基片 2 形成整体。此外，上述的电极膜（12，16）的热处理（烧结）根据这些膜的形成方法可能不需要。用于使电极膜和 P/E 层与膜部 10 形成整体的热处理（烧结）温度一般控制在 500°C 至 1400°C 的范围，最好在 1000°C 至 1400°C 的范围。为避免在高温下 P/E 层 14 压电/电致伸缩材料组份中的变化，需要对 P/E 层 14 进行热处理或烧结，同时控制包括压电/电致材料蒸发源的烧结气氛。还可推荐将 P/E 层 14 覆盖上适宜的覆盖件再加热，这样层 14 的表面就不会直接暴露于加热气氛中。覆盖件可以用和陶瓷基片 2 相类似的材料制成。

上述的 P/E 膜元件可用本领域人员公知的不同方法生产，其中包括下列 5 种方法。在第一种方法中，使在膜部 10 上不放置 P/E 单元 18 的部分在烧结 P/E 单元 18 的 P/E 层 14 时被形成所需的形状，这借助于控制陶瓷基片 2 和 P/E 单元 18 的热膨胀系数来实现。在第二种方法中，当 P/E 单元 18 的 P/E 层 14 被烧结时，以膜部 10 施加压力，从而使在膜部 10 上不放置 P/E 单元 18 的部分形成所需的形状。在第三种方法中，通过控制 P/E 单元 18 的 P/E 层 14 的烧结收缩和可烧结性（sinterability），使膜部 10 的周边部分形成所需的形状。在第四种方法中，使在未加工状态下的膜部 10 在烧结之前便被形成合适的形状。在第五种方法中，下电极 12 和 P/E 层 14 的厚度被控制。在本发明中，P/E 膜元件优先用图 8 到图 12 所示的方法之一生产。

参见图 8 (a) — 图 8 (c)，说明生产图 3 中的 P/E 膜元件的方法

的例子。首先,制备具有膜部10的陶瓷基片2,它具有凸出的形状,即向离开窗口6的方向凸出“h”的高度,如图8(a)所示。在陶瓷基片2被烧结之后,用合适的膜形成方法,把下电极12和P/E层14按顺序层迭在凸出的膜部10的外表面上,使得电极12和P/E层14的层迭结构和窗口6的相对边分开一预定的合适的距离 n, n' ,如图8(b)所示。当上电极16被在P/E层14上形成之后,根据需要烧结P/E层14时,P/E层14具有比已经烧过的膜部10较大的烧结收缩,从而使承载P/E单元18的膜部10的中心部分向内向窗口6弯曲或挠曲,如图8(c)所示。因而,便形成两个应力释放部分20,20,分别位于P/E单元18的相对侧,每个具有向上弯曲的凸起形状。

在图8(a)和图8(b)的处理过程中的具有向外突出的凸起的膜部10的陶瓷基片2是容易得到的,通过控制基板4和膜板8(图1,图2)的烧结速度和收缩率,适当调节膜板8在烧结之前的原始状态下的构形,或利用在两块板4,8之间的热膨胀的系数的差别便可得到。更具体地说,如果先烧结形成膜板8的原始片再烧结形成基板4的原始片,则膜部10就向外突出,或者如果烧结基板4的原始片引起的收缩大于烧结膜板8的原始片的收缩也可达到上述效果。

陶瓷基片2的膜部10的突起高度“h”一般为沿通过窗口中心的直线测得的最短尺寸(m)的1—20%,最好为2—10%。如果突出量“h”太小,在烧结P/E层14时膜部10向下的挠曲量可能过大。如果突出量“h”太大,则在烧结P/E层14时膜部10就难于向下挠曲进入窗口6。

下面说明生产图4的P/E膜元件的方法。参见图9(a) — (c)。

首先制备陶瓷基片 2, 其膜部 10 具有类似于图 8 (a) 的凸起形状。在凸出的膜部 10 的外表面上, 这样形成 P/E 单元 18, 使得 P/E 单元 18 的位置部分地超过窗口 6 的周边的相对部分的一个, 如图 9 (b) 所示。然后, 这样烧结 P/E 层 14, 使得提供具有沿着并邻近于窗口 6 的另一个相对周边部分形成的应力释放部分 20 的 P/E 膜元件, 如图 9 (c) 所示。在膜部 10 上形成有 P/E 单元 18 的部分在窗 6 的一侧上向下挠曲, 呈凹下形状, 这是由于在 P/E 层烧结时, 由于它的收缩产生的应力所致。在另一方面, 不承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的部分在烧结之后保持凸出的形状, 这便提供了向上弯曲的凸出的应力释放部分 20, 如图 9 (c) 所示。

参见图 10 (a) —10 (c), 说明图 5 所示的 P/E 膜元件的生产方法。首先, 制备陶瓷基片 2, 其膜部 10 具有如图 10 (a) 所示的波纹形状。具有波纹膜部 10 的陶瓷基片 2 可容易地用上述方法获得。例如, 通过在烧结用于膜板 8 的原始片之前烧结用于基板 4 的原始片使膜部 10 形成波纹状, 在这样制备的陶瓷基片 2 上, 形成 P/E 单元 18, 如图 10 (b) 所示。然后, P/E 单元 18 的 P/E 层 14 被烧结, 从而提供如图 10 (c) 所示的 P/E 膜元件, 其中承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的中心部在窗口 6 一侧向下挠曲, 形成凹形, 而在烧结之后, 位于 P/E 单元 18 相对侧的膜部 10 的端部保持波纹状, 如图 10 (c) 所示, 因而提供两个应力释放部分 20, 20。这样获得的 P/E 膜元件确保 P/E 单元 18 激励时膜部 10 具有改进的位移量。此外, 这种膜元件不受当相邻两个或多个 P/E 单元同时被激励时发生的不良影响, 从而防止 P/E 单元位移量的减小。

参见图 11 (a) —11 (c), 说明生产图 6 和图 7 的 P/E 膜元件方

法的一个例子。首先,制备如图 11 (a) 所示的陶瓷基片 2,其中膜部 10 具有两个槽部,形成在和窗口 6 的最短尺寸 (m) 的相对周边相邻处。膜部 10 的这两个槽部具有合适的深度,它们提供两个应力释放部分。具有两个槽部的陶瓷基片 2 可按图 12 所示的方法获得。

更具体地说,参见图 12 (a) 和图 12 (b),用图 8 的方法提供一种具有沿离开窗口 6 的方向向外突出的凸形膜部 10 的陶瓷基片 2。如图 12 (a) 所示,由陶瓷材料制成的具有预定高度的垫片 19,19 分别沿窗口 6 的相对的周边放置,使得窗口 6 位于两个垫片 19 之间。然后,一个合适的压具或压件 21 向膜部 10 的弯曲的凸面压下,同时加热膜部 10 并保持在适当温度下,使膜部 10 的凸面的端部向下弯形或挠曲进入窗口,借以使膜部 10 和窗口 6 的相对周边相邻的部分向下弯曲进入窗口 6,如图 12 (b) 所示。压具 21 向膜部 10 的凸面压下,直到压具 21 和垫片 19 接触为止。这样,膜部 10 就具有如上所述的和窗口 6 的边缘相邻的两个槽部。另一方面,膜部 10 的向上突出的中心部分被形成压具 21 的接触面的形状。在这一例子中,膜部 10 的中心部基本上是平的。因此,向上突出的中心部分的突出量小于图 11 (a) 的原始形状的突出量。垫片 19 可以和膜板 8 形成一个整体,并保留在陶瓷基片 2 上,或者可以在对膜片 10 加压处理之后被除去。

在这样制备的其膜部 10 具有按上述形成的两个槽部的陶瓷基片 2 的中心部分上,用合适的膜形成方法顺序地层迭上下电极 12 和 P/E 层 14,使得下电极 12 和 P/E 层 14 的层迭结构与窗口 6 的相对边分别分开合适的距离 n , n' , 如图 11 (b) 所示。当 P/E 层 14 在上电极 16 形成之后按照需要被烧结时, P/E 层 14 比已经烧过的膜部

10 具有较大的烧结收缩,从而膜部 10 的中心部分向窗口 6 向下挠曲,如图 11 (c) 所示。按照这一方法,每个具有凹下形状的两个应力释放部分 20, 20 被分别形成在 P/E 单元 18 的相对侧。在本方法中,虽然承载 P/E 单元 18 的膜部 10 的中心部分如图 11 (c) 所示向下弯曲,如同图 6 的 P/E 膜元件一样,但膜部 10 的中心部分也可以象图 7 的膜件一样向上弯曲。在这种情况下,通过控制膜部 10 中心部分的挠曲程度使膜部 10 制成凸出的形状,例如,通过减少 P/E 层 14 的烧结收缩度(到比图 11 的实施例中较低的值)。

在按照本发明的方法构成的压电/电致伸缩膜元件中,在 P/E 层 14 的热处理期间,由和陶瓷基片 2 的膜部 10 相接触的 P/E 层 14 的烧结收缩引起的应力可以由于应力释放部分 20 的存在而减少,从而使 P/E 层 14 可有充分大的密度,并可减少剩余应力。

在上述方法中,下电极膜 12, P/E 层 14, 和上电极膜 16 利用上述的膜形成方法被形成在陶瓷基片 2 的膜部 10 的外表面上,然后在上述烧结温度下烧结,从而提供具有所需厚度值的各个膜和层。这样, P/E 单元 18 就被整体地形成在膜部 10 的合适部位上。虽然 P/E 层 14 在其形成在下电极 12 上之后按需要烧结,即在上电极 16 形成之前进行烧结,但 P/E 层 14 的烧结可在上电极 16 在 P/E 层 14 上形成之后进行。

在按照本发明这样获得的 P/E 膜元件中,膜部 10 具有形成在 P/E 单元 18 的相对侧的至少一个上的应力释放部分 20,从而可以以高的效率把在 P/E 单元 18 中产生的应力转换成膜部 10 的位移。此外,当在陶瓷基片 2 的各个膜部 10 上提供多个 P/E 单元 18 时,当两个或多个相邻的 P/E 单元 18 被同时激励时,所发生的每个膜部

10 的位移量几乎等于只有一个 P/E 单元 18 被激励时发生的位移量。因而, 这种 P/E 膜元件适用于例如作为传感器, 启动器或变换器。

这种 P/E 膜元件, 当形成在膜部 10 外表面上的 P/E 单元 18 被激励时会高效地产生位移, 适用作为过滤器 (filter), 各种传感器, 例如加速度传感器, 振动传感器, 超声波传感器或角速度传感器, 变换器, 麦克风, 发声体例如扬声器, 识别器以及各种用于电源装置和通讯装置的各种振荡器和谐振器。此外, 这种膜元件尤其适用于单压电体 (uni-morph)、双压电体 (bi-morph) 或其它类型的压电/电致伸缩启动器, 它们以弯曲或挠曲的形式产生位移, 并被用于显示装置, 伺服位移元件, 脉冲驱动电动机, 超声波电动机, 压电风扇 (Piezoelectric Fans) 以及其它元件和电动机, 见 “FUNDA—MAN-TALS TO APPLICATIONS OF PIEZOELECTRIC/ELECTROSTRICTIVE ACTUATORS”, Kenji Vchino, 日本工业技术中心, 由 Morikita—Shuppan 出版。

下面请参看图 13, 那里示意地表示按照本发明的 P/E 膜元件的一个例子。并参看图 14, 它示意地表示图 13 中沿线 14—14 取的膜元件的截面图。本发明的这种 P/E 膜元件具有整体结构, 其中包括陶瓷基片 22 和几个压电/电致伸缩单元 (以后称为 “P/E” 单元), 它们形成在陶瓷基片 22 的薄壁膜或与振动部分相关的外表面上。在操作时, 当对相应的 P/E 单元 24 加上电压时陶瓷基片 22 的每个膜部被挠曲、弯曲、变位或其它的形变。

更具体地说, 陶瓷基片 22 具有整体的多层结构, 包括相当薄的封闭板 (膜板) 26, 连接板 (基板) 28, 以及垫板 (基板) 30, 它

插在封闭板 26 和连接板 28 之间。这些板 26, 28, 30 由氧化锆制成。连接板 28 具有三个联系孔 32, 它们穿过板 28 的厚度, 其间有合适的间距。联系孔 32 的数量, 形状, 位置和其它参数根据这种膜元件的具体应用而定。垫板 30 具有几个方窗 36 (本例中为三个)。垫板 30 被如此迭放在连接板 28 上, 使得板 28 的联系孔 32 和各个窗 36 相通。封闭板 26 被迭放在垫板 30 远离连接板 28 的一个主要表面上, 使得封闭垫板 30 的窗口 36 的开口。封闭板 26, 垫板 30 和连接板 28 彼此如此迭放, 从而在陶瓷基片 22 内形成三个压力室 38, 使得室 38 通过联系孔 32 和外部空间相通。

陶瓷基片 22 是一个由合适的陶瓷材料制成的整体的烧结体, 例如上述的氧化锆材料。虽然本实施例的陶瓷基片 22 是一种包括封闭板 26 (膜板), 垫板 30 (基板) 和连接板 28 (基板) 的三层结构, 但也可以制成四层或多层的整体结构, 如图 15 所示。更具体地说, 图 15 的膜元件具有五层结构, 其中两个垫板 30 和两个连接板 28 彼此交替地迭放在远离 P/E 单元 24 的封闭板 26 的主要表面上。在这样形成的五层膜元件的整体结构中, 形成在陶瓷基片内的压力室 38 和中间室 46 通过穿过连接板 28 的厚度而形成的联系孔 48 彼此相通。

膜状的 P/E 单元 24 被形成在封闭板 26 的外表面上, 使得 P/E 单元 24 从平行于封闭板 26 的平面内看来与各自的压力室 38 对齐。每个 P/E 单元 24 包括下电极 40, 压电/电致伸缩层 (以后称 “P/E 层”) 42 和上电极 44, 它们通过合适的膜形成方法按所说明的顺序形成在封闭板 26 的与陶瓷基片 22 的一个窗口对准的部分上。在操作时, 压力室 38 中的压力由于相应的 P/E 单元 24 的激励而增加, 使含在压力室 38 内的流体通过相应的联系孔 48 有效地排出。这样构

成的 P/E 膜元件不仅可用作启动器，而且可用作传感器之类，它们适用于用来产生一个代表陶瓷基片膜部的挠曲位移的电压信号。

在上述的 P/E 膜元件中，应力释放部分形成在每个 P/E 单元 24 的相对侧上，从窗口 36 的排列方向看呈一直排。

虽然按照本发明的 P/E 膜元件可用作启动器，传感器和变换器，但它尤其适用于显示装置，扬声器，伺服位移元件，脉冲驱动电动机，超声波电动机，加速度传感器，冲击传感器，振荡器，振荡器和谐振器，应当理解，这种膜元件具有已知技术中的其它用途。

例子

为了更清楚地说明本发明，下面说明本发明的 P/E 膜元件的一些例子。不过应该理解，本发明决不限于这些例子的细节，本领域的技术人员不脱离本所附权利要求限定的发明的构思和原理可以作出各种改变和改型。

例 1

首先制备一种矩形陶瓷基片，它有四个矩形窗口，每个窗口宽度为 0.5mm 长度为 0.7mm。四个矩形窗口沿陶瓷基片的纵向排成直排，使得相邻窗口的 0.7 长的长边彼此隔开 0.2mm。窗口由各自的 10 μ m 厚的基片的膜部封闭。陶瓷基片的膜部和基部由用钇局部稳定的氧化锆粉末制成，其平均微粒尺寸为 0.4 μ m。局部稳定过的氧化锆被制成原始薄片，然后用已知方法烧结。基片的基部当其被烧结之后测量时的厚度为 200 μ m。

在陶瓷基片的每个膜部的外表面，用丝网印刷制成一层铂膏，在 120°C 下干燥 10 分钟，在 1350°C 下烧结两小时，形成厚度为 5 μ m 的下电极层。然后，在下电极上使用基本上包括铅镁铌酸盐，铅锆酸

盐和铅钛酸盐的压电或电致伸缩材料制成 P/E 层。借助于丝网印刷涂上这种材料,在 120°C 下干燥 20 分钟,在 1300°C 下烧结,形成厚度为 30 μ m 的 P/E 层。所述 P/E 层被这样形成在下电极上,使得其每个相对端面与窗口相对侧中相应的一个(窗口 6 的 0.7mm 的长边)距离为 0.1mm。由氧化铝陶瓷制成的模具被加于在各上膜部具有这样形成的下电极和 P/E 层的陶瓷基片上,使得每个膜部被氧化铝陶瓷模具夹上其相对侧。在这状态下,陶瓷基片在 1300°C 下进行再烧结。这样,便获得了如图 3 所示的具有“M”形膜部的陶瓷基片,其中在每个 P/E 层的相对侧分别形成了具有从窗口 6 向外突出的向上弯曲呈凸形的两个应力释放部分,也就是在膜部 10, 0.1mm 宽的相对端部,其每个都在窗口 6 的相对端或边之一与 P/E 层相对端面相对应的一个之间。

其后,在陶瓷基片的每个“M”形膜部上,通过溅射形成 Cr 薄膜和 Cu 薄膜,以提供总厚度为 0.3 μ m 的上电极,这样就获得了本发明中的 P/E 薄膜元件。在 P/E 单元的上、下电极间施加 100V 电压,使获得的薄膜元件极化,从而在使用薄膜元件期间,一给 P/E 单元加电压, P/E 层就在向着对应膜部的方向上错位。

作为对照例,通过使用按上述制备的陶瓷基片生产常规的 P/E 膜元件,用导电粘合剂在基片的每个膜部粘结由压电/电致伸缩材料制成的 30 μ m 厚的板。

为了评价本发明和常规膜元件的压电/电致伸缩特性,沿上述的极化处理的方向对每个膜元件的每个 P/E 单元的上下电极之间施加 30V 电压,用激光多普勒装置测量相关的 P/E 单元的位移量。用这种方式,所有 4 个 P/E 单元不被同时激励,计算这些 P/E 单元的

平均位移量。类似地，对每个元件的 4 个 P/E 单元全部施加 30V 电压，以便对其同时激励，测量各个 P/E 单元的位移量。计算出被同时激励的 4 个 P/E 单元的位移量的第二平均值。根据这样获得的结果，计算同时激励所有 P/E 单元测量得到的位移量对单个激励每个 P/E 单元测量得到的位移量之比，用（第二平均值/第一平均值）× 100（%）表示。其结果如下表 1 所示。

表 1

	同时激励/单个激励	单个激励
本发明膜元件	100%	0.23μm
常规膜元件	50%	0.11μm

从上表 1 的结果可明显看出，按照本发明的膜元件，其中陶瓷基片的每个膜部具有应力释放部分，呈向上弯曲的凸形，被形成在没有 P/E 单元形成的膜部的相对的端部，这种膜元件在同时被激励时和被单个激励时呈现基本相同的位移量。这大大改进了常规的膜元件，在常规膜元件中，所有的 P/E 单元同时激励的位移量和单个激励的位移量之比为 50%。

例 2

首先把平均微粒尺寸为 0.4μm 并由重量为 85%的用 3mol%钇局部稳定的氧化锆粉末，以及重量为 15%的氧化铝构成的陶瓷粉末和粘结剂、增塑剂以及有机溶剂混合，从而提供一种软膏，用这种软膏通过采用医生刀片法 (doctor blade method) 形成原始薄片，在烧

结之后形成厚度为 $200\mu\text{m}$ 的陶瓷基片的基板。

另一方面，用 $3\text{mol}\%$ 钇局部稳定过的氧化锆粉末，其平均微粒尺寸为 $0.3\mu\text{m}$ ，用已知方法和粘合剂，增塑剂和有机溶剂混合，制成软膏。用反转滚涂机 (reverse roll coater machine) 使这种软膏形成薄片，在烧结之后，成为厚度为 $10\mu\text{m}$ 的膜板。

然后，用合适的金属模把用作基板的原始薄片冲成图形，从而形成窗口。然后，用作膜板的原始薄片被迭放在用于基板的原始薄片上，在 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力 80°C 的温度下被粘在一起热压一分钟。这样获得的整体层结构在 1500°C 下烧结两小时，从而获得具有向上凸起距离 (h) 为 $20\mu\text{m}$ 的凸出膜部的陶瓷基片。

接着，用和例 1 相同的方式，在这样获得的陶瓷基片的每个凸出的膜部的外表面上形成下电极和 P/E 层。以例 1 的方式烧结下电极和 P/E 层之后，便得到具有如图 3 所示的“M”形的膜部的陶瓷基片。更具体地说，在所得到的陶瓷基片中，在膜部上形成有下电极和 P/E 层的中心部位被向下弯曲形成凹形。在另一方面，没有承载下电极和 P/E 层的膜部的相对的端部保持原来的从窗口向外突出的凸形，从而在 P/E 层的相对侧分别形成具有向上弯曲的凸形的两个应力释放部分。以例 1 的方式在烧结过的每个 P/E 单元的 P/E 层上形成上电极，从而提供按照本发明构成的 P/E 膜元件。

这样获得的陶瓷基片被进行极化处理。然后用例 1 的方式得到不同时激励时的所有 P/E 单元的第一平均位移量和同时激励时的所有 P/E 单元的第二平均位移量。根据这样获得的结果，计算由 $(\text{第二平均值}/\text{第一平均值}) \times 100 (\%)$ 表示的比值。结果表明，本发明的膜元件呈现出类似于例 1 的良好特性。

例 3

首先,把平均微粒尺寸为 $0.4\mu\text{m}$ 基本上由重量 99.75% 的由 3mol% 钇局部稳定的氧化锆粉末和重量为 0.25% 的氧化铝粉末构成的粉末在 500°C 下热处理两小时,然后在球磨机中用普通方法和粘合剂、增塑剂以及有机溶剂混合 30 小时,从而制成膏状物。利用医生刀片法,用获得的软膏形成原始薄片,在烧结之后形成厚度为 $200\mu\text{m}$ 的陶瓷基片的基板。

同时,具有平均微粒尺寸为 $0.2\mu\text{m}$ 并基本上由重量 70% 的用 3mol% 的钇局部稳定过的氧化锆粉末和重量 30% 的氧化铝构成的粉末在球形磨机中用普通方法和粘合剂、增塑剂和有机溶剂混合 30 小时,从而制成膏状。用反转滚涂机把软膏形成原始薄片,在烧结之后形成厚度为 $10\mu\text{m}$ 的膜板。

然后,用作基板的原始薄片用合适的金属模具冲成图形,从而形成窗口。然后,用于膜板的原始薄片被迭放在基板的原始薄片上,在 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力 80°C 的温度下热压 1 分钟使其粘结在一起。这样得到的整个层状结构在 1500°C 下烧结两小时,从而形成具有图 10 (a) 所示的波纹形状的膜部的陶瓷基片。

然后,用例 1 的方式在这样得到的陶瓷基片的每个波纹状的膜部的外表面上形成下电极和 P/E 层。烧结下电极和 P/E 层之后,便获得具有膜部的陶瓷基片,每个膜部具有分别形成在 P/E 层相对侧上的波纹状应力释放部分。即,在没有放置下电极和 P/E 层的膜部的相对端部保留着膜部的波纹形状,从而提供波纹应力释放部分。然后,以例 1 的方式在烧结过的 P/E 层上形成上电极,这样便制成了本发明的 P/E 膜元件。

这样获得的膜元件被进行极化处理，然后以例1的方式得到所有P/E元件被同时激励时的位移量和被单个激励时的位移量之比。结果表明，本发明的在每个P/E单元相对侧具有波纹应力释放部分的膜元件的上述比为85%。这样便证实了按上述形成的波纹状应力释放部分能有效地阻止在常规情况下当两个或多个相邻的P/E单元被同时激励时位移量的大为减少。结果还表明，当P/E单元被不同时激励时（单个激励）测得的位移量的平均值为 $0.18\mu\text{m}$ 。

例4

以例3相同的方式，形成作为基板的原始薄片，其所用的粉末的平均微粒尺寸为 $0.4\mu\text{m}$ ，基本上由99.9%重量的由4mol%钇局部稳定的氧化锆粉末，0.1%重量的氧化铝粉末组成。类似地，形成作为模板的原始薄片，其所用粉末平均微粒尺寸为 $0.4\mu\text{m}$ ，基本上由99.5%重量的由4mol%钇局部稳定的氧化锆粉末和0.5%重量的氧化铝组成。

这样获得的用作基板的原始薄片使用合适的金属模冲成图形，从而形成窗口。用作模板的原始薄片被迭放在作用基板的原始薄片上，在 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力 80°C 下热压1分钟。所获得的整个层迭结构在 1500°C 下烧结两小时，从而提供具有向外突出 $50\mu\text{m}$ 距离的凸形膜部的陶瓷基片。

在上述获得的陶瓷基片上，沿每个窗口的长边放置高度为 $20\mu\text{m}$ 的一对氧化铝垫片，使得垫片夹位每个窗口的开口，如图12(a)所示。然后，由氧化铝制成的平面多孔压具置于每个凸起的膜部上。在这种状态下，陶瓷基片在 1500°C 下烧结5小时，从而提供具有每个膜部的陶瓷基片，其膜部有凸出的中心部分高度为 $20\mu\text{m}$ ，并具有凹

下的端部，其深度为 $15\mu\text{m}$ ，分别形成在上述窗口的长边的相对端附近。然后，如图 11 (b) 所示，下电极和 P/E 层被形成在每个膜部的凸出的中心部分，这采用和例 1 相同的方式形成。通过烧结下电极和 P/E 层，膜部上形成有下电极和 P/E 层的凸出的中心部分向着窗口向下弯曲，而膜部上没有形成下电极和 P/E 层的凹下部分保持原来凹下的形状，从而形成具有凹下形状的应力释放部分。在每个烧结过的 P/E 层上形成上电极，借以生产出具有本发明结构的 P/E 膜元件。

所得到的膜元件被进行如例 1 的极化处理，并和例 1 一样得到所有 P/E 单元同时被激励时的位移量和单个 P/E 单元单独激励时的位移量之比。结果表明，在本膜元件中上述的比为 90%，本膜元件的每个膜部具有形成在相应的 P/E 单元的相对侧上的凹下的应力释放部分。这样，便证实了上述的凹下形的应力释放部分能有效地阻止当两个或多个 P/E 单元被同时激励时象常规元件那样发生位移量的减少。所得结果也表明，当所有 P/E 单元不被同时激励时发生的位移量的平均值为 $0.20\mu\text{m}$ 。

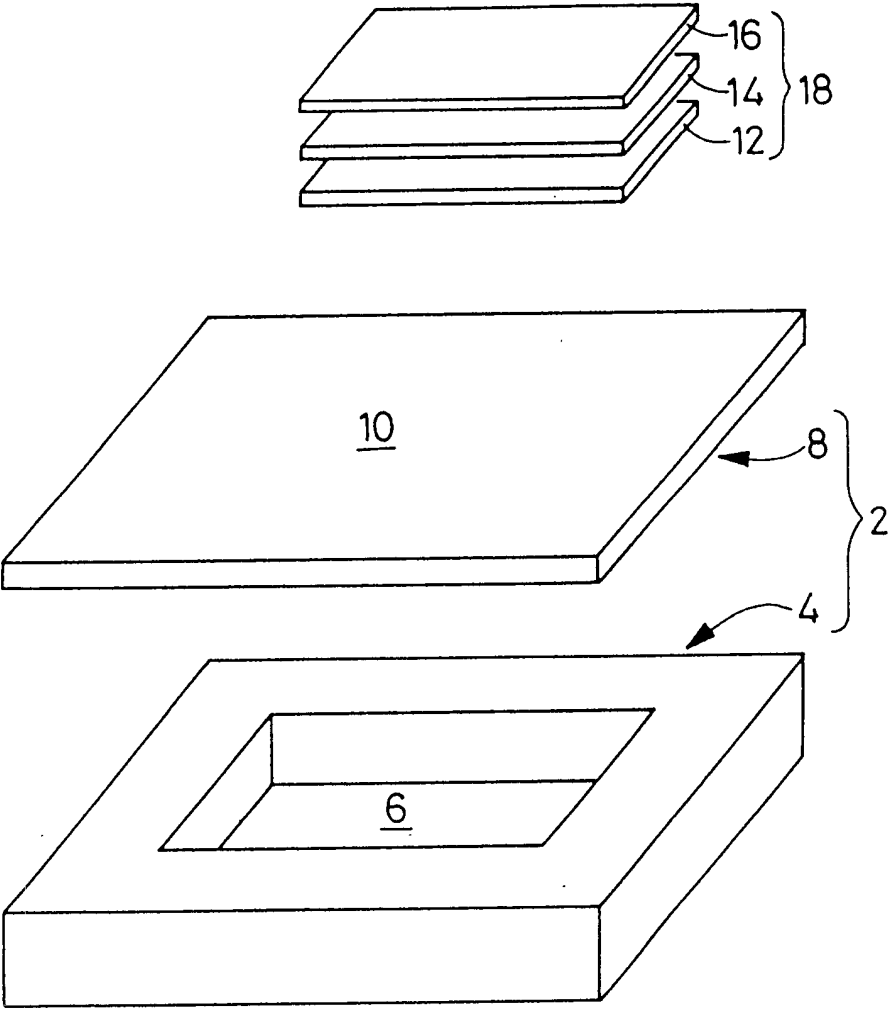


图1

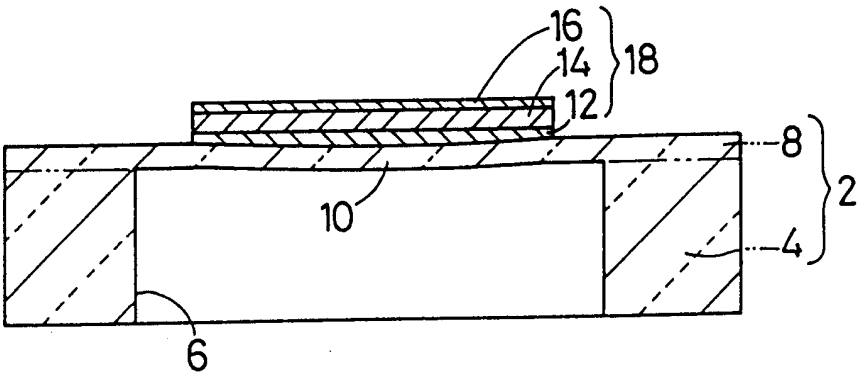


图 2

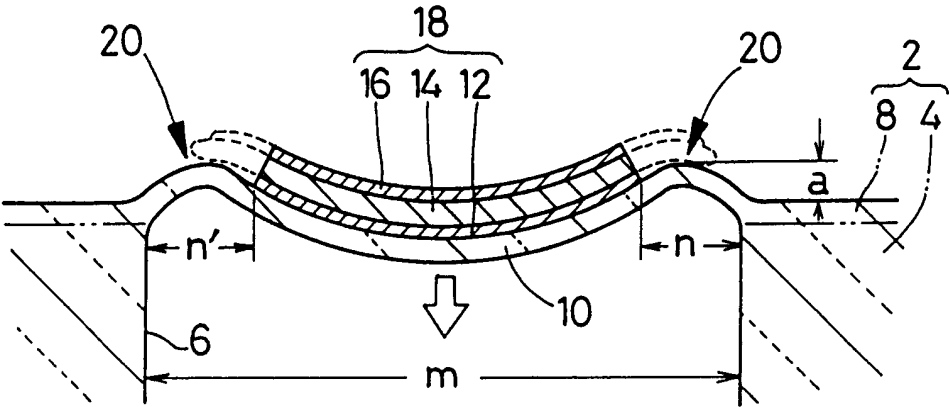


图 3

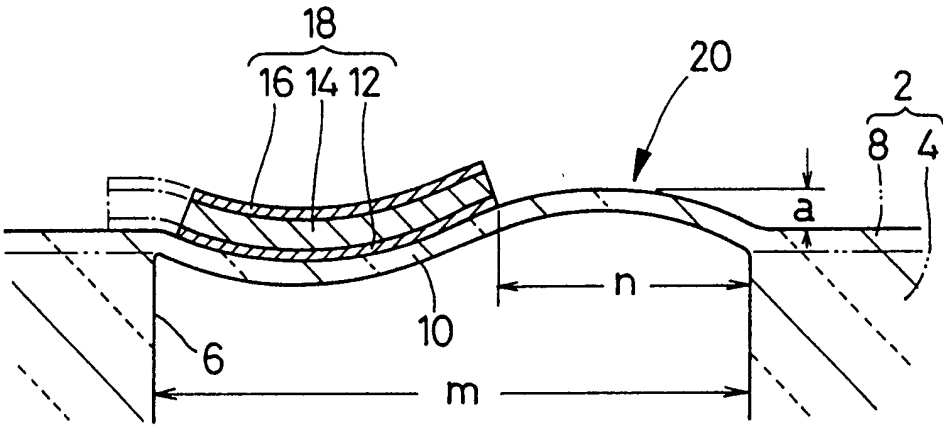


图 4

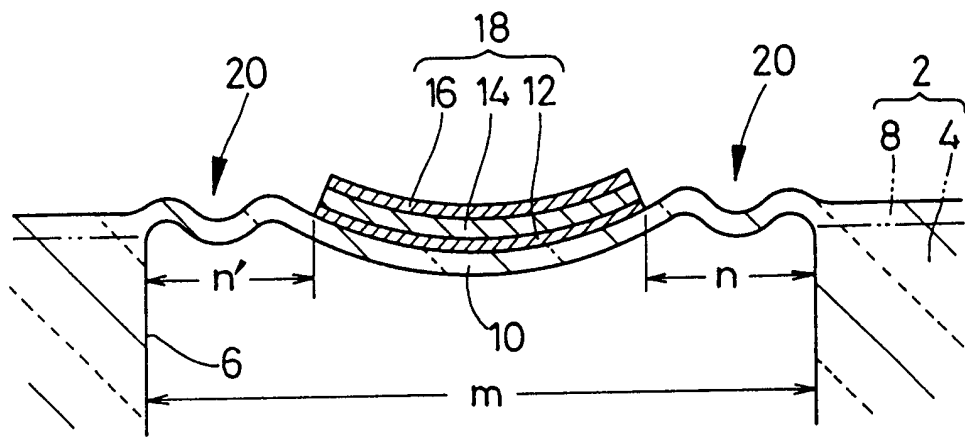


图 5

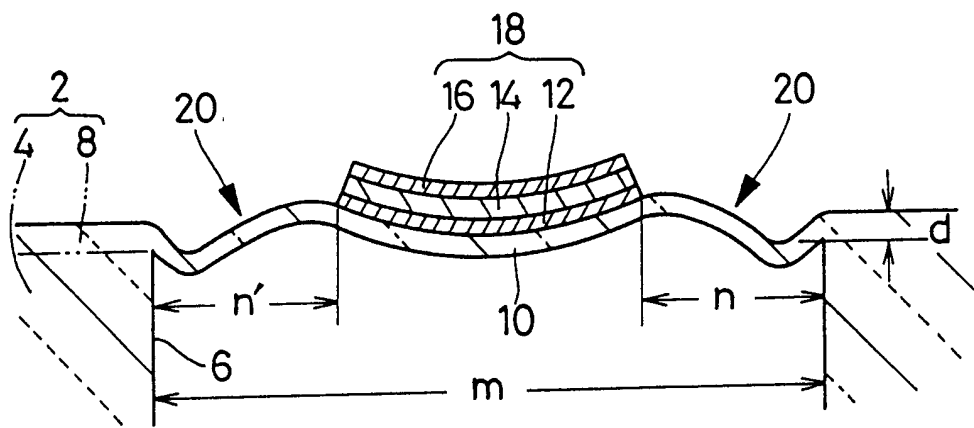


图 6

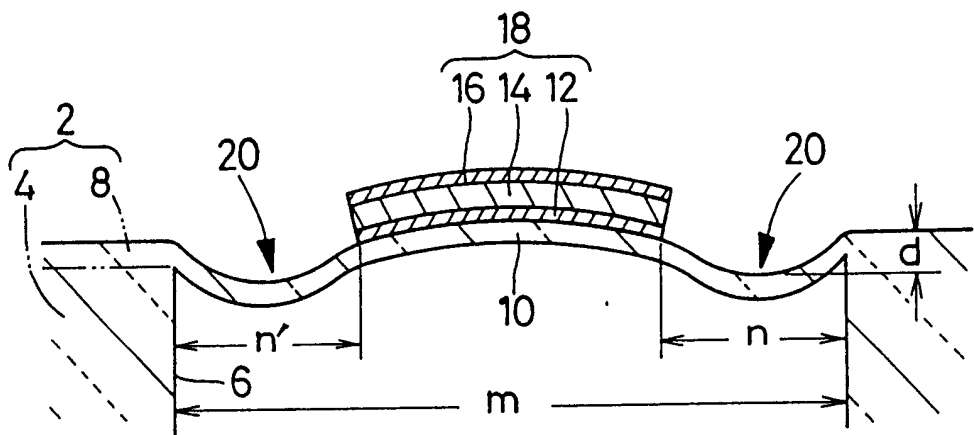
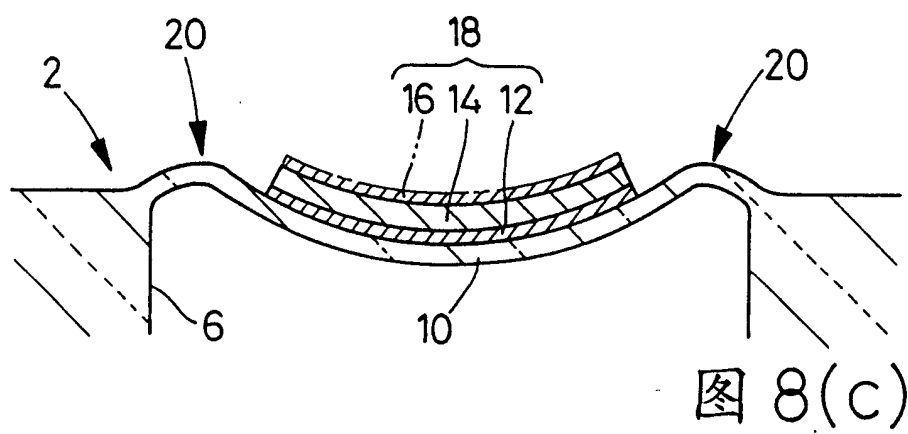
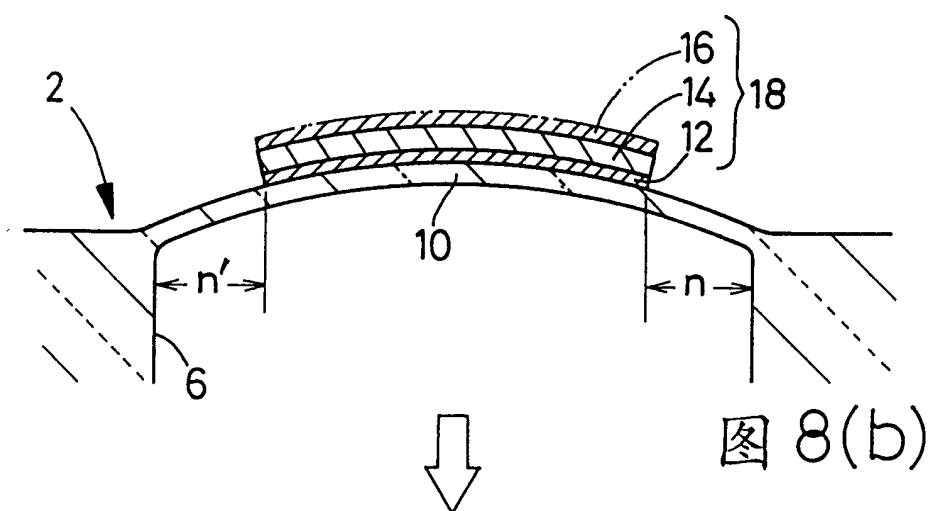
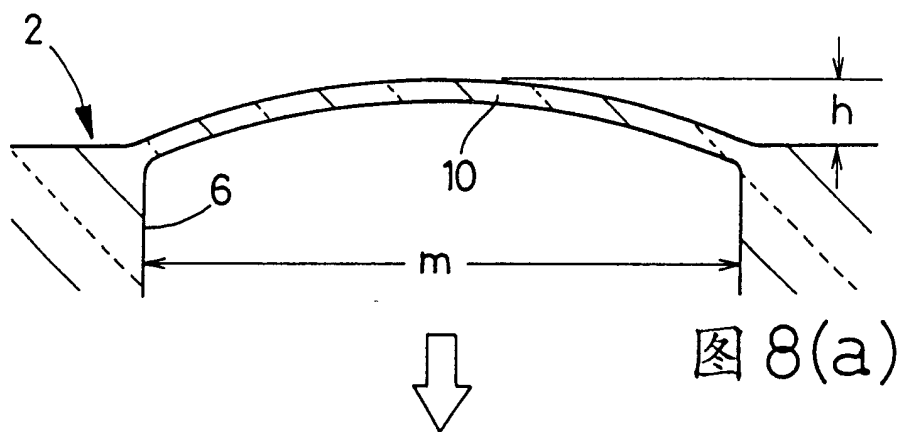


图 7



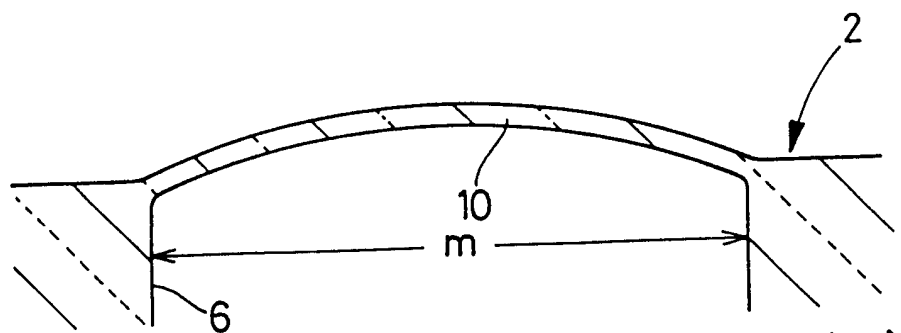


图 9(a)

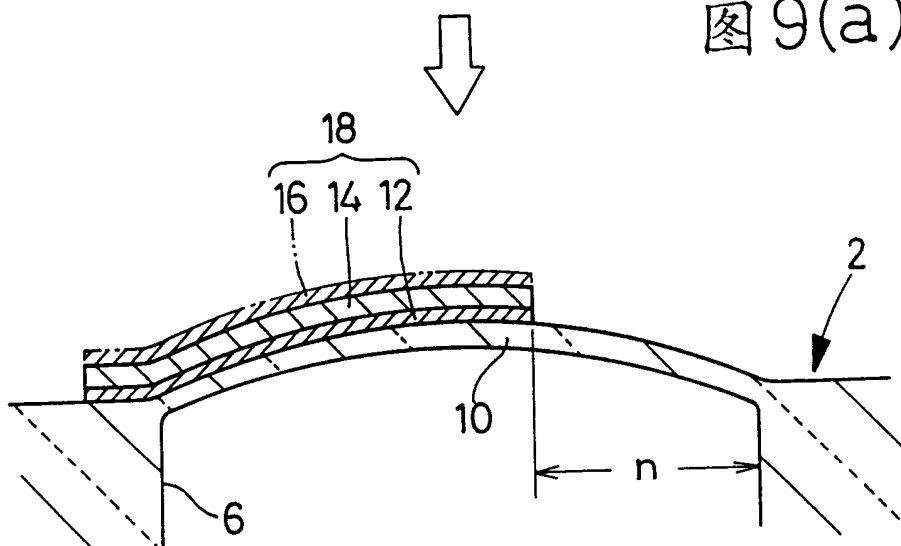


图 9(b)

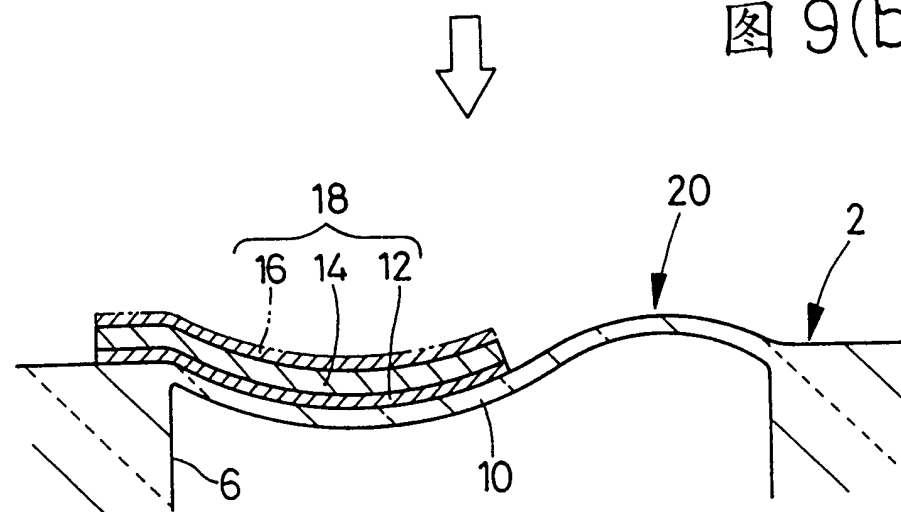
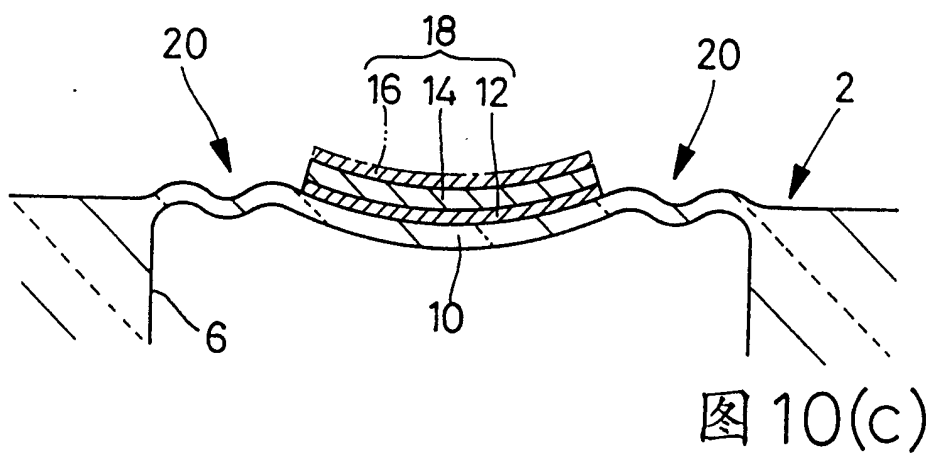
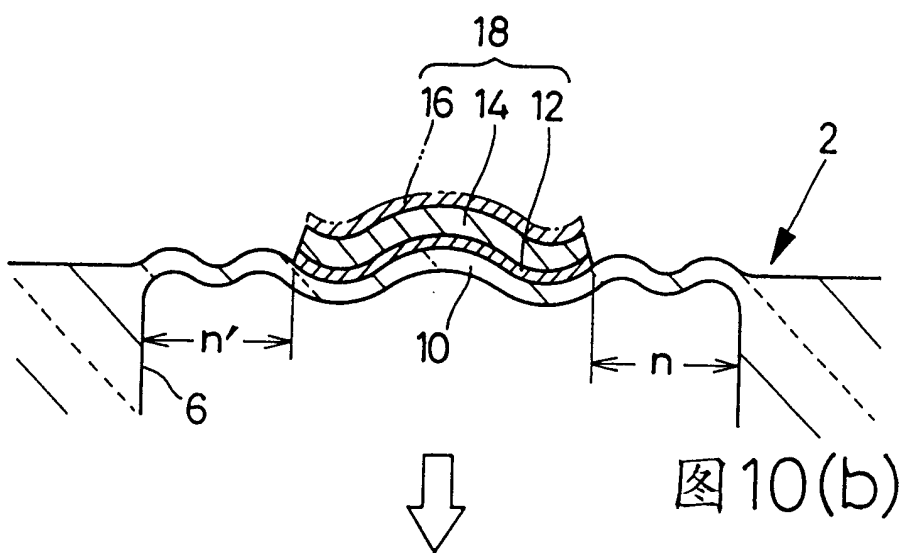
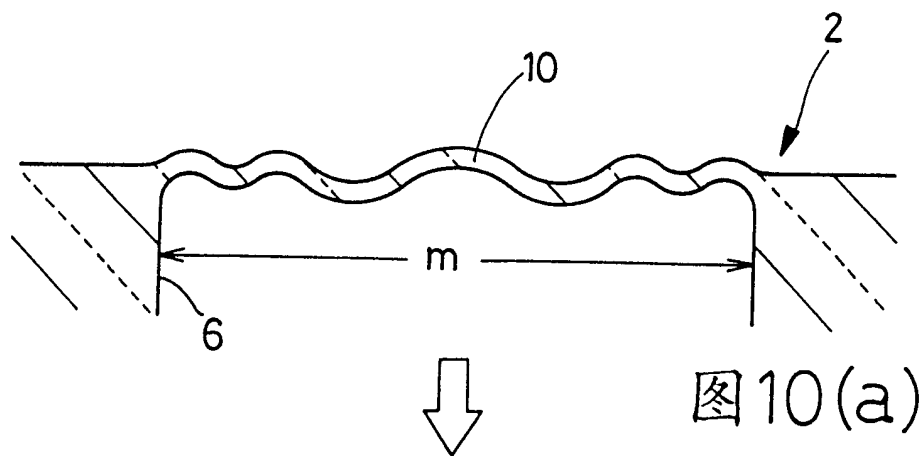
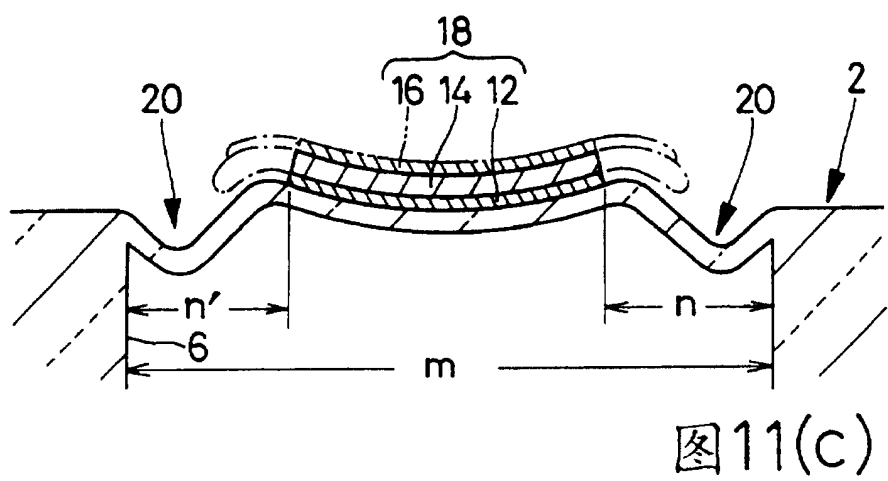
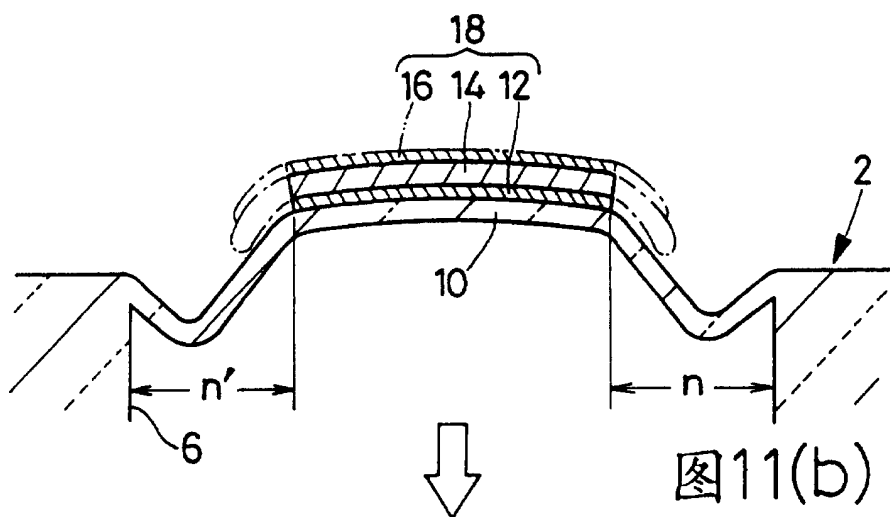
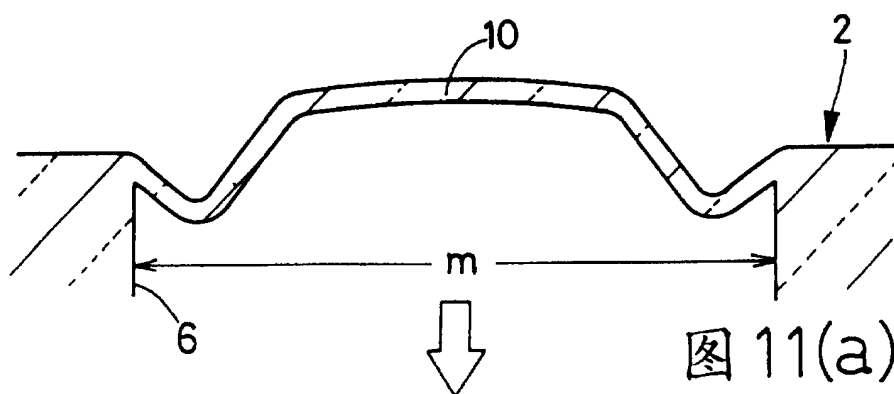
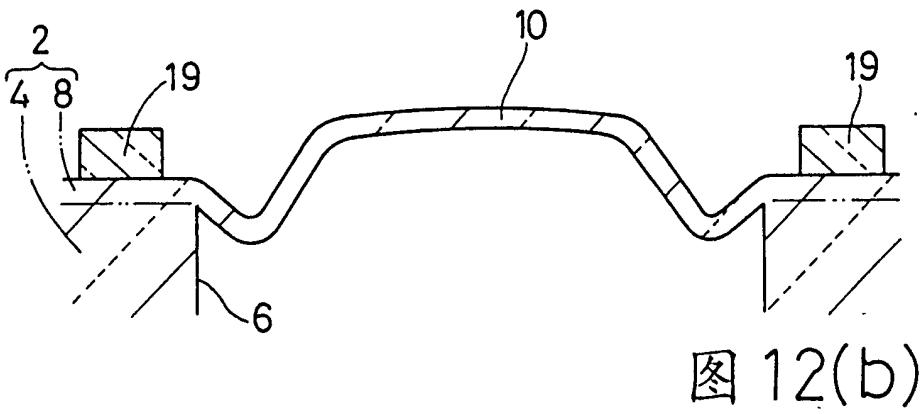
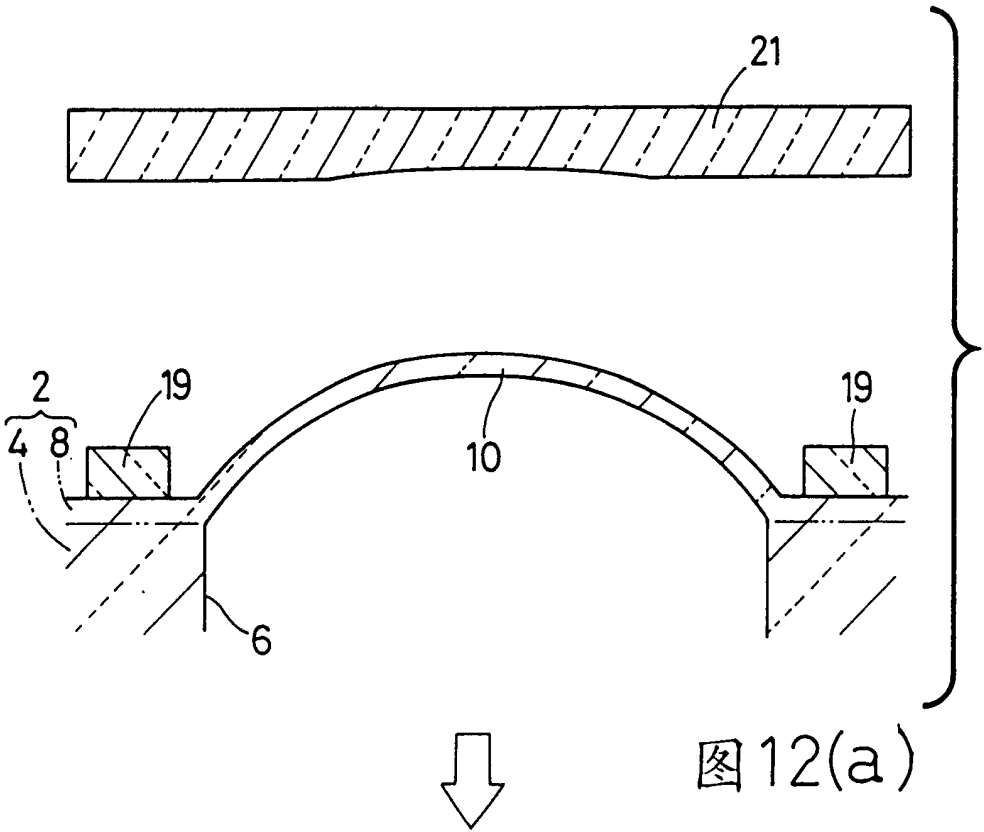


图 9(c)







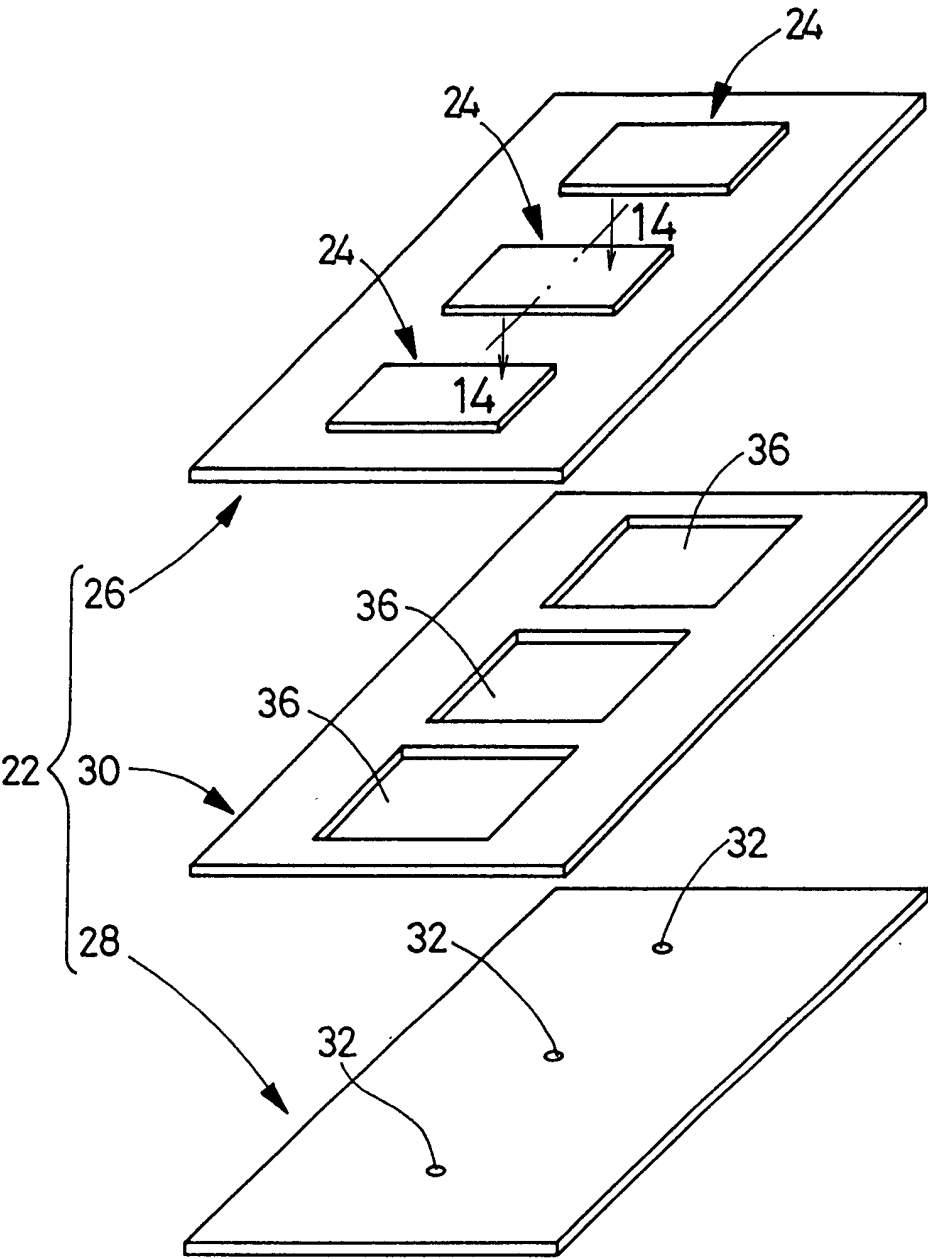


图 13

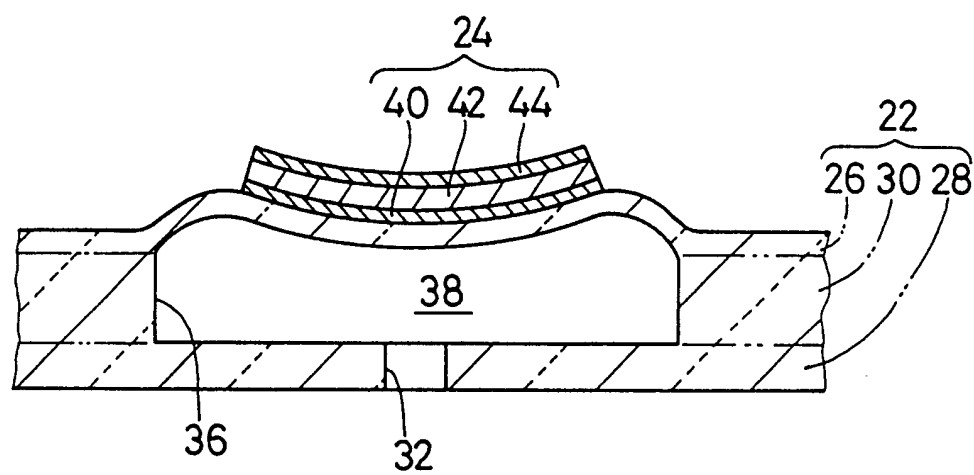


图 14

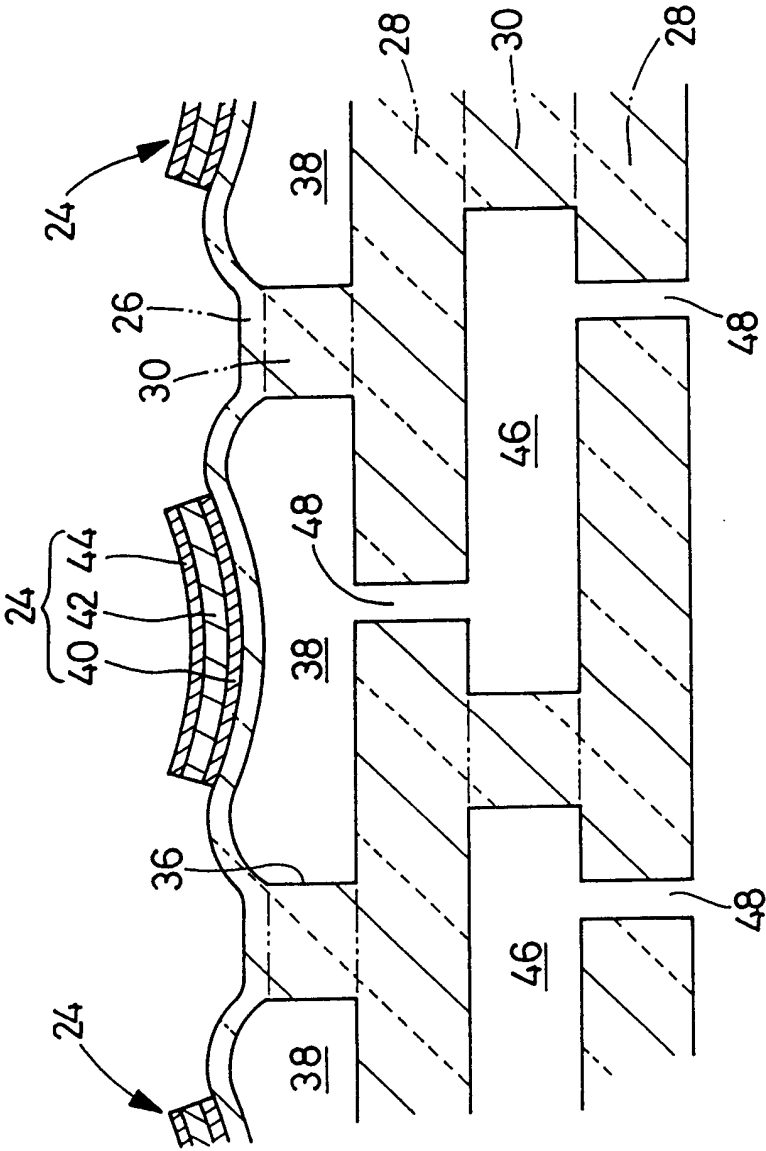


图15