



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101471203 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 05

(21) 申请号 200910005912. 7

(22) 申请日 2005. 04. 25

(30) 优先权数据

60/564, 580 2004. 04. 23 US

60/564, 572 2004. 04. 23 US

60/564, 571 2004. 04. 23 US

60/564, 573 2004. 04. 23 US

60/564, 594 2004. 04. 23 US

(62) 分案原申请数据

200580017738. 8 2005. 04. 25

(73) 专利权人 研究三角协会

地址 美国北卡罗来纳

(72) 发明人 戴维·E·道施 斯考特·H·古德温

(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 11038

代理人 李渤

(51) Int. Cl.

H01H 59/00 (2006. 01)

B81B 7/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 00/73839 A1, 2000. 12. 07, 全文.

EP 0608816 A2, 1994. 08. 03, 全文.

CN 1448333 A, 2003. 10. 15, 全文.

CN 1365504 A, 2002. 08. 21, 全文.

US 6621022 B1, 2003. 09. 16, 全文.

WO 01/45127 A1, 2001. 06. 21, 全文.

审查员 刘昊

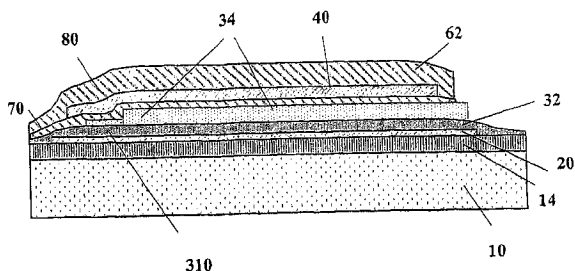
权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 10 页

(54) 发明名称

柔性静电激励器

(57) 摘要

一种静电激励器, 其具有包括第一电极 (20) 的基部 (10), 并且具有柔性膜 (50), 该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极 (40)。该柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反且与基部间隔开的自由端部。柔性膜的自由端部构成为在静电力下相对于基部移动。该静电激励器还包括设在柔性膜的上表面、柔性膜的下表面和基部的上表面其中至少一个表面上的非浸润化合物。



1. 一种静电激励器,包括:
包括第一电极的基部;
柔性膜,其包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层,至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极;
该柔性膜包括:
连接到基部的固定端部,和
与固定端部相反的且与基部间隔开的自由端部,
该柔性膜的所述自由端部构成为在静电力下相对于基部移动;以及
设在柔性膜的上表面、柔性膜的下表面和基部的上表面其中至少一个表面上的非浸润化合物。
2. 根据权利要求1的静电激励器,其中
所述第二电极至少具有由第三部分分隔开的第一和第二部分,
通过第一和第二部分一起限定出设在所述固定端部附近的台阶,在第一和第二电极之间形成分级的缝隙,该缝隙在所述固定端部的附近变窄,以及
在柔性膜内,第二电极以连续的方式过渡跨过第一和第二部分。
3. 根据权利要求1的静电激励器,其中
所述第二电极至少具有由第三部分分隔开的第一和第二部分,
通过第一和第二部分一起限定出设在所述固定端部附近的台阶,在第一和第二电极之间形成分级的缝隙,该缝隙在所述固定端部的附近变窄,以及
在柔性膜内,第二电极沿着第二电极的长度在所述台阶处过渡跨过第一和第二部分。
4. 根据权利要求1的静电激励器,其中第一电极在被限定为朝着固定端部的方向上延伸过第二电极的一端。
5. 根据权利要求1的静电激励器,还包括:
远离柔性膜的固定端部而布置在柔性膜上的增强件。
6. 根据权利要求1的静电激励器,其中基部包括衬底、布置在衬底上的第一绝缘层、布置在第一绝缘层上的所述第一电极和布置在第一电极上的第二绝缘层。
7. 根据权利要求1的静电激励器,其中柔性膜还包括:
机械偏置构件,其从固定端部延伸到没有附着于基部的自由端部的一部分上,并且构造为压迫柔性膜。
8. 根据权利要求1的静电激励器,还包括:
柔性膜上的第一电触点;
基部上的第二电触点;和
所述第一和第二电触点形成了通过柔性膜的运动控制的电气开关的相对触点。
9. 根据权利要求1的静电激励器,还包括:
延伸贯穿基部的孔;和
所述柔性膜具有构造为覆盖所述孔的密封表面;和
所述柔性膜和所述基部包括通过柔性膜的运动控制的阀。
10. 根据权利要求1的静电激励器,其中
所述柔性膜包括光吸收材料和光反射材料中的至少一个,和

柔性膜和基部形成通过柔性膜的运动激励的光学开关。

11. 根据权利要求 10 的静电激励器,还包括:

构造为沿着柔性膜的表面引导光的光源,
所述光被柔性膜的光反射材料反射。

12. 根据权利要求 10 的静电激励器,还包括:

构造为引导光贯穿基部的光源,
所述光被柔性膜的光吸收材料吸收。

13. 根据权利要求 1 的静电激励器,还包括:

构造为检测电磁辐射的辐射检测器;

其中所述柔性膜包括将电磁辐射与辐射检测器屏蔽开的光吸收材料或光反射材料。

14. 根据权利要求 13 的静电激励器,其中柔性膜包括多个柔性膜,并且辐射检测器构造为检测穿过基部的电磁辐射。

15. 根据权利要求 14 的静电激励器,其中辐射检测器包括多个辐射检测器。

16. 根据权利要求 1 所述的静电激励器,其中所述非浸润化合物包括聚合物。

17. 根据权利要求 9 所述的静电激励器,其中所述孔包括延伸贯穿基部且沿着远离固定端部的方向延伸的细长孔。

18. 根据权利要求 9 所述的静电激励器,还包括:

偏转件,被构造为使流体流从孔朝着柔性膜的自由端部偏转的流体流导向件。

19. 根据权利要求 18 所述的静电激励器,其中所述偏转件包括连接至基部的附着端部和与附着端部相反的可动端部。

20. 根据权利要求 17 所述的静电激励器,其中所述孔在其朝向自由端部的一侧具有比其朝向固定端部的一侧更大的流体传输截面。

21. 根据权利要求 20 所述的静电激励器,其中所述孔包括朝着固定端部逐渐变窄的三角形开口。

22. 根据权利要求 17 所述的静电激励器,其中所述孔包括在柔性膜的纵向长度方向上伸长的长条孔。

23. 根据权利要求 17 所述的静电激励器,其中所述孔包括共同形成锥形或长条形中至少一个的多个孔。

24. 根据权利要求 9 所述的静电激励器,包括远离柔性膜的固定端部而布置在柔性膜上的增强件。

25. 根据权利要求 24 所述的静电激励器,其中所述增强件包括设在柔性膜上的一个位置处的孔盖,用于当柔性膜接触基部时覆盖孔。

26. 根据权利要求 25 所述的静电激励器,其中所述孔盖包括圆形构件、三角形构件和长条形构件的至少一个。

27. 根据权利要求 25 所述的静电激励器,其中孔盖与孔之间的面积比为 0.5 到 20。

28. 根据权利要求 25 所述的静电激励器,其中孔盖的厚度为 0.1 到 3 微米。

29. 根据权利要求 25 所述的静电激励器,其中孔盖包括导电材料。

30. 根据权利要求 29 所述的静电激励器,其中孔盖连接到第二电极。

31. 根据权利要求 25 所述的静电激励器,其中孔盖包括绝缘材料。

32. 根据权利要求 24 所述的静电激励器,还包括:
在柔性膜上的第一电触点;
基部上的第二电触点;和
所述第一和第二电触点形成了通过柔性膜的运动控制的电气开关的相对触点。
33. 根据权利要求 9 所述的静电激励器,其中第一电极在被限定为朝向固定端部的方向上延伸经过第二电极的一端。
34. 根据权利要求 9 所述的静电激励器,其中所述柔性膜还包括:
机械偏置构件,其从固定端部延伸到没有附着于基部的自由端部的一部分上,并且构造为压迫柔性膜。
35. 根据权利要求 9 所述的静电激励器,其中,突起和凹陷被布置在所述柔性膜的横向边缘的接触表面上。
36. 根据权利要求 35 所述的静电激励器,其中被布置在所述柔性膜的横向边缘的接触表面上的突起面向基部,所述突起朝着基部延伸。
37. 根据权利要求 36 所述的静电激励器,其中所述突起包括朝着柔性膜中心部分延伸的流体传输通道。
38. 根据权利要求 36 所述的静电激励器,包括柔性膜周边边缘上的波浪形状。
39. 根据权利要求 35 所述的静电激励器,包括柔性膜周边边缘上的波浪形状。
40. 根据权利要求 2 或 3 所述的静电激励器,其中所述台阶降低移动柔性膜所需的静电电压量。

柔性静电激励器

[0001] 本申请是申请日为 2005 年 4 月 25 日、申请号为 200580017738.8、名称为“柔性静电激励器”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请涉及并要求 2004 年 4 月 23 日提交的名称为“Releasing Structures (释放结构)”、序列号为 No 60/564,594 的美国临时申请的优先权,该临时申请的全部内容以引用的方式结合于此。本申请涉及并要求 2004 年 4 月 23 日提交的名称为“Electrostatic Valve with Non-Wetting Layer (具有非浸润层的静电阀)”、序列号为 No 60/564,580 的美国临时申请的优先权,该临时申请的全部内容以引用的方式结合于此。本申请涉及并要求 2004 年 4 月 23 日提交的名称为“Flow Control for Higher Operating Pressures (用于较高操作压力的流量控制)”、序列号为 No 60/564,573 的美国临时申请的优先权,该临时申请的全部内容以引用的方式结合于此。本申请涉及并要求 2004 年 4 月 23 日提交的名称为“Strong and Flexible Valve Closing for Flexible Electrostatic Film (为柔性静电膜关闭的强柔性阀)”、序列号为 No 60/564,572 的美国临时申请的优先权,该临时申请的全部内容以引用的方式结合于此。本申请涉及并要求 2004 年 4 月 23 日提交的名称为“Higher Operating Voltages for Flexible Film Actuators (用于柔性膜激励器的较高操作电压)”、序列号为 No 60/564,571 的美国临时申请的优先权,该临时申请的全部内容以引用的方式结合于此。本申请涉及美国专利 No 6,236,491,该专利的全部内容以引用的方式结合于此。本申请涉及美国专利 No. 6,456,420,该专利的全部内容以引用的方式结合于此。

技术领域

[0004] 本发明涉及微机电激励器结构,并且更具体地涉及静电激励的微加工出的激励器结构。

背景技术

[0005] 薄膜技术的进展使得复杂集成电路得以发展。这种半导体技术被调整形成微机电系统 (MEMS) 结构。已经形成了很多不同种的 MEMS 器件,包括微型传感器、微型齿轮、微型马达和其它显微设计制造的器件。例如,微型悬臂已经用来施加旋转机械力以旋转微加工的弹簧和齿轮。使用电磁场来驱动微型马达。使用压电力来可控地移动微加工的结构。激励器或其它 MEMS 部件的受控热膨胀已经被用来形成用于驱动微型器件的力。

[0006] 柔性复合物静电激励器通常包括由柔性电极和绝缘体制造的柔性复合物。柔性复合物附着至包括固定电极的衬底并能在静电力下朝着衬底偏转。绝缘体布置在柔性复合物和衬底之间以避免柔性电极和固定电极的短路。通过在柔性电极和固定电极之间施加电压,柔性复合物通过静电吸引而被拉向衬底。没有电压时,通常是柔性复合物中的应力使柔性复合物卷曲而远离衬底。柔性复合物激励器的应用包括气体或流体阀、光学快门、射频移相器、红外检测器的断路器、微型激励器、电气开关以及可变射频电容器。

[0007] 图 1 中示出了美国专利 No. 6, 236, 491 的常规激励器。其中的激励器包括固定复合物 130 和柔性复合物 50。固定复合物 130 包括衬底 10、固定电极 20 和衬底绝缘体 30。包括柔性电极 40 的柔性复合物 50 置于固定复合物 130 上方, 并且包括固定部分 70、中间部分 80 和末端部分 100。固定部分 70 基本上附着于下面的衬底 10 或中间层。中间部分 80 从固定部分 70 延伸并且在没有施加静电力的情况下保持在适当的位置, 从而在下面的平表面和中间部分 80 之间限定出气隙 120。

[0008] 在完成激励器时, 中间部分 80 和末端部分 100 都从下面的固定复合物 130 释放。末端部分 100 在操作中自由移动、卷曲而远离下面的平表面并改变与它的间距。一旦柔性复合物 50 弯曲, 中间部分 80 能朝着下面的平表面卷曲、远离下面的平表面卷曲、或者与之保持恒定的间距。

[0009] 在横截面上, 柔性复合物 50 可以具有包括至少一个电极层 40 的多层, 并且可以包括偏置层以机械地增强柔性复合物上面对固定部分 70 的一部分。层的数目、层的厚度、层的布置以及所使用材料的选择可以选择为使得柔性复合物能朝向下面的微电子衬底电极卷曲、远离下面的微电子衬底电极地卷曲、或者与之保持平行。

[0010] 柔性复合物 50 通常包括聚合物膜 60、柔性电极 40 以及另一聚合物膜 62。在去除制造该结构时使用的释放层 34 之后, 柔性复合物 50 的各层之间不同的热膨胀系数将中间部分 80 和末端部分 100 机械地偏置为卷曲而远离下面的表面 32。末端部分 100 可以以可变或恒定的曲率半径卷曲。

[0011] 因为中间部分与末端部分类似地构造, 电极 40 和聚合物膜之间不同的热膨胀系数倾向于使中间部分卷曲。然而, 可以在第二层聚合物膜上可选地施加聚合物膜、金属或其它材料的附加层以用作偏置控制结构以便在去除释放层之后抵消中间部分卷曲的倾向并保持中间部分在适当的位置。或者, 可以向材料施加固有应力以增强卷曲的倾向并增加柔性复合物和衬底表面之间距离。

[0012] 尽管常规激励器很精巧, 但是还有很多问题影响激励器的可靠性和性能。这些在下面详述的问题在本发明的各个实施例中得以解决。

发明内容

[0013] 本发明的一个目标是提供一种在减小的工作电压条件下关闭的激励器, 所述减小的工作电压不大可能在激励器的绝缘材料中引起介电击穿。

[0014] 本发明的另一个目标是提供一种激励器, 其柔性膜在结构上增强以维持相对于加压流体的关闭。

[0015] 本发明的另一个目标是提供一种激励器, 其关闭电压对于给定的所施加流体压力而言被降低, 并且因此不大可能在激励器的绝缘材料中引起介电击穿。

[0016] 本发明的又一个目标是减少异物粘着于激励器的柔性膜, 并且因此提供了柔性膜在电气偏置之下更加可预测的运动。

[0017] 本发明的又一个目标是减少激励器中局部高电场的区域, 并且因此不大可能在激励器的绝缘材料中引起介电击穿。

[0018] 这些和其它目标在本发明的实施例中提供。

[0019] 在一个示例性的实施例中, 提供了一种静电激励器, 其具有包括第一电极的基部,

并且具有柔性膜,该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极。柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反的自由端部。柔性膜的自由端部构成为在静电力下相对于基部移动。该静电激励器还包括设在柔性膜的上表面、柔性膜的下表面和基部的上表面其中至少一个表面上的非浸润化合物。

[0020] 在另一个示例性的实施例中,提供了一种静电激励器,其具有包括第一电极的基部,并且具有柔性膜,该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极。柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反的自由端部。作为柔性膜的一部分,增强件远离固定端部而布置在柔性膜上。

[0021] 在另一个示例性的实施例中,提供了一种静电激励器,其具有包括第一电极的基部,并且具有柔性膜,该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极。柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反的自由端部。静电激励器包括延伸贯穿基部并且沿着远离固定端部的方向延伸的细长孔。

[0022] 在另一个示例性实施例中,提供了一种静电激励器,其具有包括第一电极的基部,并且具有柔性膜,该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极。柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反的自由端部。基部的第一电极在朝向固定端部的方向上延伸过柔性膜的第二电极的一端。

[0023] 在另一个示例性实施例中,提供了一种静电激励器,其具有包括第一电极的基部,并且具有柔性膜,该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极。柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反的自由端部。柔性膜包括构造为与柔性膜内部相通的周边或侧面切口 (cutout)。

[0024] 在另一个示例性实施例中,提供了一种静电激励器,其具有包括第一电极的基部,并且具有柔性膜,该柔性膜包括至少两个彼此相接触的不同材料材料层。至少一个材料层包括与第一电极电隔离的第二电极。柔性膜包括连接到基部的固定端部以及与固定端部相反的自由端部。激励器具有布置在柔性膜上表面、柔性膜下表面和基部下表面之中的至少一个上的非浸润化合物。

[0025] 应当理解到,本发明的前述概括描述和下面的详细描述都是示例性的,而非是对于本发明的限制。

附图说明

[0026] 参照下面结合附图的详细描述能更好地理解本发明,因此易于获得本发明更加彻底的理解及其很多附带优点,在附图中:

[0027] 图 1 是示出常规微机械激励器的示意性侧视图;

[0028] 图 2 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性侧视图,该激励器利用阶梯式减小来减小柔性膜和固定衬底层之间的缝隙;

[0029] 图 3 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性透视图,该激励器包括增强件;

[0030] 图 4A 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性透视图,该激励器包括锥形阀

孔；

[0031] 图 4B 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性透视图,该激励器包括细长阀孔；

[0032] 图 5 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性透视图,该激励器包括阀孔上的偏转件；

[0033] 图 6 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性分解图,该激励器包括阀孔上的偏转件；

[0034] 图 7 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性侧视图,该激励器包括柔性膜和固定衬底层上的非浸润层；

[0035] 图 8A 是示出常规微机械激励器的示意性侧视图,其中示出了局域电场增强点；

[0036] 图 8B 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性侧视图,其中转移了局域电场增强点；

[0037] 图 8C 是示出根据本发明的齿结构的示意性顶视图,该齿结构连接柔性膜和固定衬底层；

[0038] 图 9 是示出根据本发明的齿结构的 SEM 显微照片；

[0039] 图 10 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性透视图,该激励器包括柔性膜下侧表面上的变化；

[0040] 图 11A 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性侧视图,该激励器包括由微机械激励器接触的电气开关触点；和

[0041] 图 11B 是示出根据本发明的微机械激励器的示意性侧视图,该激励器形成由该微机械激励器激励的光学器件。

具体实施方式

[0042] 现在参照附图,其中同样的附图标记在所有附图中标识相同或相应的部件,本发明的各个方面通过本发明下面的示例性实施例进行描述。

[0043] 激励器的“工作电压”通常指的是施加于固定电极和柔性电极(比如图 2 中的电极 20、40)之间以关闭激励器的电势并且通常由“开始拉下电压”限定,“开始拉下电压”指的是施加以开始关闭的电势。更具体地,开始“拉下”电压将柔性复合物 50 拉动至与固定复合物 130 相接触。在开始接触之后,可以使用较低的电压来逐渐地将柔性复合物 50 的其余部分拉动至与固定复合物 130 相接触,从而以例如拉链状的方式关闭激励器。

[0044] 在本发明的一个实施例中,如图 2 所示,通过将电极 20 和 40 之间远离末端部分 100 的至少一部分缝隙 120 变窄,能降低激励器的工作电压。在这个实施例中,淀积和构图释放层 34(为示例的目的示出并且工作的激励器中没有),使得释放层顶面的形状复制柔性复合物 50 的下侧表面的形状。如上所述,释放层的去除允许柔性复合物 50 远离固定电极 20 地卷曲、在没有偏置之下如图 1 所示在柔性复合物 50 的中间和末端部分 80、100 之间形成出口角。

[0045] 在固定和柔性复合物 130、50 之间得到的由释放层 34 的厚度所确定的缝隙 120 影响用来开始拉下柔性膜 50 的开始拉下电压。释放层通常可以为 2000 \AA 厚。对于紧紧卷曲的柔性复合物 50,可能需要 200V 的开始拉下电压。所得到的 10 MV/cm 的电场超过了大多介

电材料的击穿强度。较薄的释放层 34 减小了柔性和固定复合物 50、130 之间的缝隙 120，从而降低了开始拉下电压。然而，过薄的释放层（例如远小于 1000 \AA ）会导致因为释放层中的不连续性或缺陷会妨碍柔性复合物一些部分的释放而导致难以释放激励器。

[0046] 在本发明的这个实施例中，释放层 34 的厚度在距固定部分 70 一定距离处减小，如图 2 中示意性地示出。这样，所得到的柔性复合物 50 的电极 40 在更靠近固定部分 70 的那些区域中与衬底电极 20 分开一个减少量，从而形成分级的缝隙 120。因而，在固定部分 70 附近形成较小的缝隙，就产生了较低的开始拉下电压，而释放层 34 的主体足够地厚以确保适当的释放蚀刻。

[0047] 在一个示例性的例子中，释放层 34 的主体可以为 $1000\text{--}2000 \text{ \AA}$ 厚，而在释放层 34 的分级部分可以为 100 至 1000 \AA 厚。为了形成分级部分，释放层 34 可以分阶段地淀积；在柔性复合物 50 的固定部分 70 附近可以执行释放层较大的蚀刻，和 / 或可以用灰度级光刻来提供厚度上更加“模拟的”减小。虽然图 2 仅示出了两个台阶，但是可以形成多个台阶，例如 2000 \AA 、 1000 \AA 、 500 \AA 和接着的 250 \AA 来最小化释放层的变薄部分的面积同时在紧邻固定部分处将缝隙减少至其最小的可能距离以最小化拉下电压。例如，对于释放层厚度为 2000 \AA 且关闭电压为 72V 的柔性膜激励器，在固定部分附近将释放层厚度减少至 500 \AA 就将关闭电压减小至 64V ，减少大约 10% 。对于释放层厚度为 2000 \AA 且关闭电压为 310V 的激励器，将释放层厚度减少至 500 \AA 就将该电压减小至 245V ，减少大约 20% 。

[0048] 形成台阶的一种方法将是释放膜的掩盖淀积，随后是多次光刻掩模，每次掩模之后是局部蚀刻暴露的释放膜。或者，如果用升离技术来淀积释放膜，则多次掩模和淀积可以用来分阶段地形成释放层。

[0049] 灰度级光刻是在释放层的厚度上形成模拟（即较平滑）变化的第三种方式。灰度级光刻涉及形成光掩模，该光掩模在掩蔽膜的不透明性上具有变化或者具有不能在抗蚀膜上一对一地分辨的不透明和透明区域的非常精细的图案。在任一情况下，曝光剂量选择为只是部分地显影去掩模灰度级区域之下抗蚀剂的厚度，因为照射抗蚀膜的 UV 辐射量在晶片的表面上经受横向的转变，从没有不透明材料的完全曝光（在显影期间完全去除抗蚀剂）到掩模完全不透明的无曝光（并且没有去除抗蚀剂）。因而抗蚀膜的厚度逐渐变化，而不是图 2 所示接近垂直的台阶。例如，在本发明的一个实施例中，倾斜的转变能以 RIE 台阶传送到下面的释放层，所述 RIE 台阶以大致相同的速率蚀刻光掩模和释放层。

[0050] 在本发明的另一实施例中，如图 3 中示意性地示出，激励器提供为用作气体或流体阀，并且相对于较大的压力保持关闭而没有显著增大工作压力。“压力”指的是相对于柔性复合物 50 的下侧表面通过气体或液体施加的力，所述气体或液体通过固定复合物 130 中的孔 320 朝着柔性复合物 50 的下侧表面流动并撞击该下侧表面。

[0051] 如图 3 所示，这个实施例中的柔性复合物 50 包括孔帽 310，其可由布置在柔性复合物 50 之上或之内的一层增强材料形成。增强材料可以通过淀积金属层和通过升离技术构图而形成，或者通过淀积聚合物、氧化物或氮化物层并通过化学或等离子蚀刻构图而形成。增强材料可以是金属，比如 Cr、Au、Au 合金、或者 Al，不过根据本发明也可以使用其它金属和非金属，包括例如氧化物、氮化物或聚酰亚胺。除了形成孔帽 310，在没有施加偏置时，中间部分中的一层增强材料影响柔性复合物的出口角。如果增强材料是导电的，则可以将电

压施加至孔帽 310 以在柔性和固定复合物 50、130 之间产生或增大静电吸引。导电的增强材料可以通过蚀刻的通路电连接至柔性复合物中的柔性电极。在某些实施例中,柔性电极在固定复合物的孔之上可不连续。通过电连接导电的增强层,在固定复合物的孔周围提供了附加的静电力。

[0052] 不管是否有电压施加于孔帽 310,孔帽 310 都通过在孔 320 附近具有增大的机械强度而提供了更加牢固的密封。帽增大的机械强度允许较大面积的周围电极的静电力来帮助相对于固定复合物 130 保持柔性复合物 50。在单个激励器内可包括多个孔和相应的孔帽。优选地,包含孔帽的面积大于孔的面积。如果孔帽的面积小于孔的面积,那么柔性复合物 50 的总体硬度将仅仅增大很小的量,并且不能获得增大的压力的能力。虽然示出为孔帽,但是除了靠近孔的那些区域之外,增强件还可以施加于柔性复合物 50 的其它区域。控制孔帽和柔性复合物 50 硬度的变量包括增强材料的选择、增强材料的机械属性(例如杨氏模量)、材料的厚度、孔帽 310 的形状、孔帽和孔口之间的重叠量、以及孔帽 310 是布置在柔性复合物(顶面或底面)上还是之内。金属增强件和孔口之间面积比的优选范围为从 1.4 至 9,不过其它范围也适用于本发明。增强件(例如孔帽)厚度的优选范围从 $0.5\mu\text{m}$ 至 $1.5\mu\text{m}$,不过其它范围也适用于本发明。一种优选的金属是具有铬粘附层的金。适合的孔帽形状包括圆形帽或与激励器转轴(hinge)(宽度方向)平行的多排平行杆。已经示出,对于孔尺寸为 70 微米的阀激励器,应用增强帽将压力保持能力增大 20 至 50%。

[0053] 如图 4A、4B 和 5 所示,本发明的另一实施例通过将气流或液流导向柔性复合物 50 远离固定部分 70 的更末端部分(即自由端),降低了用于闭合柔性膜的工作电压。通过孔的气流或液流相对于柔性复合物 50 的下侧施加压力,从而阻止柔性复合物 50 靠近固定复合物 130。

[0054] 根据本发明,图 4A 的激励器能通过修改孔 420 的形状来将流体导向到更远的末端部分。锥形孔,比如图 4A 所示的三角形孔 420,具有朝向柔性复合物 50 的固定部分 70 布置的单个尖端 430。通过将穿过孔的流体导向远离柔性复合物的固定部分 70,孔 420 方便了激励器的开始关闭。在激励器关闭时,柔性复合物 50 被气流或液流撞击的总体面积就减少,并且静电力随着间距的减少而增大,从而方便了柔性复合物 50 在孔 420 的其余部分上的闭合。优选但非必要地,三角形孔 420 与柔性复合物的固定端垂直的尺寸应当至少为该三角形平行于该方向的尺寸的两倍,并且更优选地为 3 倍,从而形成如图 4A 所示的细长三角形形状。

[0055] 根据替换实施例,通过孔的流量可以在柔性复合物的下表面上均匀地分布。如图 4B 所示,这通过在固定复合物中形成长条形(oblongshaped)孔来实现。分配流量将起到与偏转流量类似的作用(如上所述并如图 4 所示),因为分配流量将减少集中于更靠近柔性复合物中间部分的区域中的流量。当在柔性复合物下面固定复合物的心中具有圆形孔时,较大的流量将集中于更靠近中间部分。这种较大的集中流量将降低柔性复合物(具体地说在圆形孔的位置处)封盖固定复合物表面的能力。通过长条形孔提供的分配流量将在孔上增大关闭能力。另外,与圆形孔具有相同面积的细长孔将具有柔性复合物在孔的位置处需要跨越的较小孔距离(即圆形孔在孔位置处更宽,长条形孔更窄)。这种较小的距离转变为在孔位置处与固定复合物相接触的增大柔性电极面积,这增大了相对于固定复合物 130 保持柔性复合物 50 的静电力。长条形孔的宽度将大大地小于通常的圆形孔的宽度以提供与

圆形孔相同的流动面积但是具有更长的长度。在某些实施例中,长条形孔的长度可以为柔性复合物长度的 30 至 90%。

[0056] 在本发明的另一实施例中,图 5 的激励器采用偏转件 590 来将气流或液流朝着柔性复合物 50 的更末端部分偏转。这样,偏转件 590 将流体流导向柔性复合物 50 的更末端或自由部分,从而方便了激励器以上述例子中的方式关闭。偏转件 590 可将部分气体或流体完全偏转离开柔性复合物 50;并且从而减小了来自远离柔性复合物 50 下侧表面法线方向的流体流的抑制压力。

[0057] 在本发明的这个实施例中,偏转件 590 可以例如布置为在孔 320 之上延伸的悬臂式翼片;并且机械被动(即不是电驱动的)。如图 6 示意性地示出,偏转件 590 可以包括布置在介电层 30 和衬底 10 之间的铬层 690。铬层 690 可被构图以限定出孔 320 之上的偏转翼片 590 的横向尺寸。如果孔 320 从固定复合物的衬底 10 一侧蚀刻出来,那么衬底的蚀刻将停止于暴露在孔 320 中的铬和聚酰亚胺膜 30。在停止于释放层 34 之前,可使用例如氧气 RIE 步骤来蚀刻暴露的聚酰亚胺膜。

[0058] 根据本发明用来制造偏转件 590 的一种工艺是利用升离技术在硅衬底的顶面上蒸发和构图 Cr 层。然后,淀积聚酰亚胺基层,随后淀积和构图底部电极和覆盖底部电极的固定聚酰亚胺绝缘体。淀积和构图释放层,随后进行其余的标准工艺序列以形成覆盖阀孔的柔性膜 30。在背面蚀刻硅以形成贯穿衬底的孔(其停止于 Cr 或聚酰亚胺并且不会将它们蚀刻)之后,对背面执行 O₂ RIE 步骤以蚀刻暴露释放层的暴露聚酰亚胺。Cr 偏转件防止了 Cr 上的聚酰亚胺被蚀刻。一旦释放层被蚀刻掉,形成于柔性膜中的翼片就是自由的。Cr 层 690 和 Cr 上的聚酰亚胺层 30(由于 Cr 的掩蔽而没有被蚀刻)用作偏转件 590。这两层(即 Cr 和聚酰亚胺)仍然彼此附着。覆盖阀孔的柔性膜翼片的制造不会受到偏转件制造的影响。

[0059] 本发明的另一实施例,如图 7 所示,防止柔性复合物 50 与固定复合物 130 的静摩擦。如果流体或其它杂质淀积在激励器表面上,那么在电操作(打开或关闭)期间会发生静摩擦。在将柔性复合物相对于固定复合物保持平状所需的电压被去除时,静摩擦将阻止柔性复合物卷曲离开固定复合物。例如,如果水或油浸润了柔性和固定复合物的表面,在去除电压时,如果由于中间流体层所引起的表面张力大于柔性复合物中的恢复应力,柔性复合物将不会卷曲离开固定复合物。

[0060] 为了降低静摩擦,本发明的这个实施例将非浸润层(例如疏水或疏油层)710、720、730 布置于固定复合物 130 的顶面、柔性复合物 50 的底面和柔性复合物 50 的顶面之中的至少一个或多个上。或者,如果给定的非浸润材料具有适合的介电和机械性质,或者反之亦然,层 30、60、62 可以由非浸润层 710、720、730 替换或用作非浸润层 710、720、730。

[0061] 非浸润层 710、720、730 防止不期望的浸润成分(例如水或油)的粘附;或者使得该成分形成为液珠而非连续的膜。非浸润层描述为一种增大淀积在表面上的流体的接触角以使得流体在该表面上形成液滴或液珠的材料。对于非浸润性质,优选地接触角大于 90°。对于低的接触角,流体将在表面上浸润或展开并且不会形成液滴或液珠。浸润行为会导致柔性复合物与固定复合物的静摩擦。例如,如果水或油浸润柔性和固定复合物的表面,在去除电压时,如果由中间流体层引起的表面张力超过柔性复合物中的恢复应力(导致卷曲的应力),柔性复合物将不会卷曲离开固定复合物。如果表面是非浸润的并且水或油成珠,那

么就不会发生静摩擦；另外，激励器的打开和关闭动作（卷曲和伸展开）将会把液珠或液滴推出器件的工作区域。

[0062] 在水或油被引入激励器环境时静摩擦尤其普遍。于是，本发明的备用材料包括用于疏水、疏油或化学惰性表面的聚合物或其它适合材料。更具体地，聚合物可以包括含氟复合物（例如聚四氟乙烯[®]）、硅氧烷聚合物（例如聚二甲基硅氧烷或PDMS）、以及自组合单层（SAM），例如十八烷基硅烷（ODS）、二氯二甲基硅烷（DDMS）、全氟代癸基三氯硅烷（FDTS）。根据本发明，这些涂层能施加于释放的活动挡板器件暴露的亲水表面，即固定的电介质（例如聚酰亚胺或SiO₂）和金属表面，以使得暴露的表面变得疏水。例如，聚合物可作为附加的旋涂层集成到激励器制造过程中；并且与聚酰亚胺层同时地被光学限定和蚀刻，这是因为可以使用相同的蚀刻化学物质（例如O₂等离子体）。通过在卷曲聚合物层之前施加稀释的聚合物溶液并通过离心法除去（spin off）多余部分，非浸润层还可施加为单层；例如，类似于用于光致抗蚀剂的增粘剂工艺，其中多余的增粘剂被通过离心法除去以仅留下单层。

[0063] 在某些实施例中，疏水或非浸润层将施加于释放的激励器器件。这将需要汽相淀积的聚合物，例如通过物理汽相淀积（例如蒸发）、化学汽相淀积、用喷雾进行喷涂或者利用非常稀释的溶液进行浸涂。

[0064] 或者，聚合物表面可以被等离子处理以改变那些表面的浸润行为。聚合物表面的等离子处理可以从例如美国专利 No. 5, 147, 678 所述的现有技术中知道；该专利的全部内容以引用的方式结合于此。在那种情况下，无需其它聚合物。例如，根据本发明可以使用比如氟等离子或化学等离子处理（例如CF₄、CHF₃、SF₆、和HF）之类的表面处理。根据本发明还可以使用氢等离子或化学处理（例如H₂、SiH₄、CH₄、有机硅烷）来修改释放的活动挡板器件暴露的亲水表面的化学结构（通过结合F或H离子），以使得暴露的表面疏水。

[0065] 尽管本发明中所述的进步或无论如何使用上述实施例，由于激励器的工作电压所产生的电场会导致激励器中的电介质击穿。防止电介质击穿的措施可允许激励器采用更高的工作电压。而且，电介质击穿的减少可以保护和增加激励器的潜在应用。

[0066] 本发明的一个实施例解决了由固定和柔性电极20、40的边缘和角部导致的电介质击穿。如图8A所示，柔性和固定电极40、20的阶梯结构导致了相应的边缘/角部880、890。与沿着电极40、20的平表面的电场相比，这些边缘/角部880、890可以提高这些角部附近的局部电场。尽管插入了介电层30，但是电场增强仍然会导致电介质击穿。

[0067] 在本发明的一个实施例中，形成电场增强点的边缘/角部880、890被平滑化以防止形成电场增强点。平滑化角部的一种方法是以标准的微型制造技术淀积和构图底部电极，然后旋转淀积在底部电极的上边缘上比周围区域薄的薄平材料。然后通过对平状材料和底部电极具有相似蚀刻速率的蚀刻方法进行蚀刻，以便在蚀刻周围电极任何部分之前去除底部电极的上角部，将其平滑化。或者，也可以使用前述的灰度级光刻来平滑化角部。

[0068] 在本发明的另一实施例中，如图8B所示，固定电极20在朝向柔性复合物50的固定部分70的方向上延伸经过柔性电极40。因此，柔性电极40的凹形边缘/角部880被去除，并且固定电极20的凸形边缘/角部890被重新定位，以使得柔性电极40不再布置在固定电极20的边缘/角部890上，并且介电层30在电极20、40的末端边缘/角部之间的跨度增大。

[0069] 本发明的另一实施例，如图8C所示，解决了由将柔性复合物50附着至固定复合物

130 的突起或齿 850 所引起的电介质击穿。齿优选地为形成于柔性复合物的底层中的结构，其突出贯穿释放层并附着于固定复合物的介电层。齿通过释放层的缺失而形成，使得柔性复合物和固定复合物能在与固定区域 70 垂直且相邻的狭窄区域中连接起来。齿可以控制（优选地降低）柔性复合物 50 相对于固定复合物 130 的出口角。通过降低出口角，可以降低工作电压。齿 850 限定了固定区域 70 在激励器的制造期间延伸入中间区域 80 的区域。图 9 是柔性复合物 50 的 SEM 显微照片，其中柔性复合物 50 已经被弯曲至沿着齿的顶面撕裂的点。这个显微照片示出了齿与柔性复合物 50 和固定复合物 130 之间的关系。

[0070] 由于柔性复合物 130 的该结构，柔性电极 40 有效地向下进入齿的部分，并且在齿的角部会出现电击穿。三维角部形成于齿区域中柔性电极更靠近衬底处，并且由于该角部的局部几何形状而在该角部处存在着电场的集中和增大。通过圆化齿 850 的角部以产生如图 8C 所示的齿 860，角部的锐度降低并且电介质击穿的发生也减少。

[0071] 在本发明的另一实施例中，柔性复合物 50 沿着其外侧边缘具有表面变化，比如凸起和凹陷，以减轻与 MEMS 工艺相关的一个制造问题。图 10A 示出了用聚酰亚胺覆盖的柔性复合物 50 的顶视图。柔性复合物 50 沿着其横向外侧边缘 60c 具有突起 60a。突起 60a 示出为通过从柔性复合物 50 的横向边缘进行圆柱形提取去除而形成。

[0072] 在 MEMS 器件的量级，由于表面性质导致的力通常相对于由于体积性质导致的力占主导地位。在完成湿式蚀刻以将柔性复合物 50 从固定复合物 130 释放时，进行漂洗以去除蚀刻剂；并且然后还去除漂洗所残留的液体。如果柔性复合物 50 没有适当地干燥，所导致的表面张力可以将柔性复合物 50 的部分朝着固定复合物 130 偏转而向下返回。换言之，即使柔性复合物 50 在释放蚀刻之后被卷曲离开固定复合物 130，随后由于干燥而导致的表面张力也会导致柔性复合物 50 朝着固定复合物 130 伸展开并变得与之接触。

[0073] 结果，柔性复合物 50 可以推压固定复合物 130。柔性复合物 50 和固定复合物之间得到的静摩擦可能足够地强以致于在完成干燥之后保持复合物 50、130。避免这个问题的方法包括上述的在介电层 30 和 60 上形成非浸润层 710、720；用干法蚀刻来蚀刻释放层 34，例如基于气体的 RIE；或者激励器的超临界干燥。

[0074] 超临界干燥采用了流体的液态和气态之间的临界点。通过将超临界的流体加压到其临界点压力之上、将其加热到临界点温度之上、并且然后在升高的温度下给腔室减压、超临界液体就被转变为气体而不会形成液气界面。超临界干燥的一个非限制性的例子采用 CO₂ 作为超临界流体。在这个例子中，从水槽中取出漂洗过的激励器，放入异丙醇槽，然后放入甲醇槽。然而将激励器和一些甲醇放置在超临界腔室中，其中加入液体 CO₂ 并且腔室被清洗至在腔室中仅留下 CO₂。然而，超临界干燥并不是完美的工艺。因而，各种液体（例如水、异丙醇、甲醇和液体 CO₂）会不同程度地与柔性复合物 50 的表面（例如聚酰亚胺表面）相互作用，以致于柔性复合物 50 呈现不同的卷曲和形状。已经看出，柔性复合物 50 的卷曲能在漂洗槽中反转，柔性复合物在所述倾斜槽中试图卷曲向下进入衬底而非向上离开衬底。在此情况下，柔性复合物 50 的边缘将与固定复合物 130 相接触并且从上面看柔性复合物将呈凸起枕头形。这会导致在超临界干燥工艺期间漂洗流体滞留在柔性复合物 50 下面并且滞留的液体会导致柔性复合物和固定复合物 130 之间的静摩擦。

[0075] 如图 10A 所示，固定复合物 130 和柔性复合物 50 之间的静摩擦可以通过所示突起 60a 而减少，所述突起使得流体能沿着外侧边缘在接触表面区域下面流动。另外作为替代

方式,如图 10B 所示,固定复合物 130 和柔性复合物 50 之间的静摩擦可以通过在横向边缘的接触表面上布置变化(例如突起 60d 和凹陷 60b)来降低。横向边缘的接触表面上的这种变化例如可以通过形成不同厚度的释放层 34 来形成。当在释放层 34 上构造柔性复合物 50 时,这些变化转变为横向边缘 60c 的表面。如果柔性复合物 50 在干燥期间伸展开,该变化就防止了横向边缘 60c 和固定复合物 130 之间的密封,从而使得干燥剂(例如液体 CO₂)可在柔性复合物 50 下面接近任何流体,例如蚀刻剂或漂洗剂。类似的结果,即在干燥期间防止横向边缘 60c 和固定复合物 130 之间的密封,也可以通过在柔性复合物 50 的横向边缘 60c 中形成突起变化 60d 而获得。

[0076] 因此,本发明提供了激励器的不同实施例,其减少或消除常规微型激励器所遇到的共同问题。包括本发明一些或所有实施例的激励器的制造通常可以利用如上述美国专利 No. 6, 236, 491 所述的常规显微光刻技术进行。不过,下面仍将详述适用于本发明的制造工艺的示例性细节。

[0077] 参照附图,衬底 10 限定了其上可以构造静电 MEMS 器件的平表面 12。在某些实施例中,衬底包括硅晶片,因为贯穿硅衬底地蚀刻出高纵横比孔的能力是最先进的,不过也可以使用具有平表面的任何适合衬底材料。其它半导体、玻璃、塑料或其它材料可用作衬底 10。为了形成偏转结构,比如偏转件 590,淀积和构图金属层,比如铬层。铬层也可用于增强件,比如孔帽 310。铬是优选的,因为其不会被用来限定出贯穿例如聚酰亚胺的阀孔 320 的氧 RIE 步骤所蚀刻。另外,铬在聚酰亚胺和硅之间提供了良好的粘着,并且不会被用来去除释放层的普通湿式蚀刻剂所腐蚀。铬的淀积可以通过蒸发来进行并且利用升离光刻来构图。

[0078] 在本发明的一些实施例中,绝缘层 14 覆盖衬底 10 的平表面并且提供了电绝缘。在某些实施例中,绝缘层 14 包括基于非氧化物的聚合物,比如聚酰亚胺。在某些实施例中,如果在去除释放层的过程中使用了某些酸,那么就不能使用基于氧化物的绝缘体。如果释放层材料和兼容的酸或蚀刻剂用于去除释放层,那么可以使用其它绝缘体,甚至基于氧化物的绝缘体。例如,如果使用不包含氢氟酸的蚀刻剂,那么二氧化硅可用作绝缘层。绝缘层通过将适合的材料淀积在微机电衬底的平表面上而形成。聚酰亚胺可以利用旋涂工艺淀积,并通过在氧 RIE 等离子体中蚀刻膜而构图。或者,可以淀积并通过 UV 曝光而构图可光成像的聚酰亚胺材料。

[0079] 在本发明的一些实施例中,衬底电极 20 布置为附着于下面的绝缘层 14 的表面上大致平坦的层。在某些实施例中,衬底电极 20 包括淀积在绝缘层 14 的顶面上的金层。可在衬底电极 20 上淀积铬的薄层以使得能更好地粘着至衬底。或者,也可以使用其它金属或导电材料,只要这些材料不会被释放层处理操作所腐蚀。Cr 和 Au 膜可以通过蒸发来淀积并利用升离光刻技术来构图。衬底电极 20 的表面积和形状可以根据形成期望的静电力的需要而变化。

[0080] 在本发明的一些实施例中,可以在衬底电极 20 上淀积第二绝缘层 30,以电绝缘衬底电极 20 并防止与柔性电极 40 短路。第二绝缘层可以作为位于衬底电极 20 和柔性复合物 50 之间的具有预定厚度的介电层而提供。在某些实施例中,第二绝缘层 30 包括聚酰亚胺,不过也可以使用能够耐受释放层处理的其它无机介电绝缘体或聚合物。第二绝缘层 30 可以有大致平坦的表面 32。

[0081] 释放层在本发明中用来从例如固定复合物 130 构造柔性复合物 50 的上部结构。释

放层 34 首先淀积在上面覆盖的柔性复合物 50 的中间部分 80 和末端部分 100 下面的区域中的平表面 32 上。释放层仅施加于柔性复合物没有被附着于下面的平表面的那部分下面的区域中。在某些实施例中,释放层包括在施加酸时可被蚀刻掉的氧化物或其它适合的材料。释放层也可以在柔性复合物 50 的中间部分 80 附近淀积或蚀刻至减薄的厚度,以减小在释放层被蚀刻掉时所得到的缝隙 120,从而形成阶梯形表面。

[0082] 在已经淀积覆盖层之后,通常通过标准的微型制造酸性蚀刻技术来去除释放层,比如氢氟酸蚀刻。在已经去除释放层之后,柔性复合物 50 的中间和末端部分与下面的平表面 32 分离,在其间形成气隙。在某些实施例中,释放层是通过 PECVD 淀积的 SiO_2 。用光致抗蚀剂掩模层将释放层构图,并且利用湿 HF 或其它酸性蚀刻或 RIE 蚀刻来溶解 SiO_2 。在柔性复合物 50 的周边周围的锚(anchor)或沟槽处形成阶梯形表面的处理类似地通过光致抗蚀剂掩模层以及湿 HF 或其它酸性或 RIE 蚀刻来进行。

[0083] 柔性复合物 50 的层通常覆盖平表面 32,并且在去除释放层之前也覆盖释放层。这些层垂直地布置和示出,而所述部分沿着柔性复合物水平地布置。可以用已知的集成电路制造工艺来构造包括柔性复合物 50 的这些层。第一层的聚合物膜 60 施加于释放层和平表面 32 的暴露区域。可以用聚酰亚胺作为第一层的聚合物膜,不过也可以使用包括与释放层处理相兼容的聚合物或无机材料的其它柔性薄膜。至少,两个层可以构成柔性复合物 50:第一层的聚合物膜 60 和第二层的柔性电极 40。或者,最少的两层可以包括第一层的柔性电极 40 和第二层的聚合物膜 62。柔性复合物 50 可以包括所有这三层。

[0084] 具有一层柔性导电材料的柔性电极 40 淀积覆盖第一层的聚合物膜 60。在某些实施例中,柔性电极 40 包括金,不过也可以使用其它能够耐受酸但是柔性的导体,比如导电聚合物膜。柔性电极 40 的面积或构造可以根据形成希望的静电力的需要而变化或者作为距变形点 105 的距离的函数而变化。

[0085] 在本发明的某些实施例中,第二层柔性聚合物膜 62 可以施加于柔性电极层 40 上。或者,可在柔性电极层上淀积一薄层铬以使得能更好地粘着于层状聚合物膜。无论在什么情况下使用金层,如果改善金与临近材料的粘着需要,则可施加铬。通常,聚合物膜是柔性的,并且具有与电极层 40 不同的热膨胀系数。因为电极层 40(如果包括了的话,还有偏置层 110)和柔性复合物的聚合物膜以不同的比率膨胀,所以柔性复合物就朝着具有更高热膨胀系数的层卷曲。在某些实施例中,用聚酰亚胺作偏置层,并且用旋涂工艺来淀积聚酰亚胺。

[0086] 阀孔 320 上的增强层可以通过在聚合物层 62 顶上淀积金属膜而形成。在本发明的某些实施例中,金属可以是金,并且具有通过蒸发而淀积并且用剥离技术构图的铬胶粘层。也可以使用其它金属或材料,只要这些金属具有适合的机械强度和硬度以及对释放蚀刻的耐化学性。

[0087] 在完成柔性复合物 50 之后,下一步骤通常涉及贯穿衬底地形成阀孔 320。利用施加于衬底背面的光致抗蚀剂掩模,进行深层硅 RIE 以蚀刻贯穿衬底 10,并且停止于绝缘层 14 或偏转件 590 上。然后用氧 RIE 继续进行蚀刻,再次从背面蚀刻直到暴露出释放层。然后可以用湿 HF 蚀刻方法来蚀刻释放层以将柔性复合物膜从衬底释放。

[0088] 然后可以漂洗衬底,并在超临界干燥器中干燥,以避免柔性膜与衬底的静摩擦。然后可以通过用聚合物材料涂覆或通过用等离子或化学处理改变暴露的表面以形成疏水质,对任一暴露表面施加疏水表面处理。疏水表面使得器件能在通过阀孔引入有流体杂质

的情况下运行。疏水表面处理防止了柔性复合物部分和衬底之间由于流体淀积在暴露的表面上而引起的静摩擦。

[0089] 如上所述,静电激励器具有很多应用,包括应用为光学快门、射频移相器、红外检测器的断路器、微型激励器、电气开关、阀、以及可变射频电容器。本发明的各个实施例可以单独地或组合地应用于这些应用。

[0090] 这种应用的一个例子包括将本发明的激励器用于在继电器中具有过度驱动结构的电气开关。在这种应用中,一个触点设在柔性复合物 50 的下侧上,而另一个触点设在固定复合物 130 的表面上。如图 11 所示,两个触点 22 和 26 布置为使得,当使柔性膜向下至衬底时,触点 22 和 26 分别接触到开关 23 和 27。如果触点之间的释放膜与触点周围具有相同的厚度,那么当释放膜被蚀刻掉并且触点闭合时,触点所能做的只是配合,并且接触面没有强的闭合力,这是因为激励器电极仅包围触点。通过在接触区域上将释放膜变薄(整个区域或部分区域),当使柔性膜向下至衬底时,触点将首先接触在一起,并且然后周围电极区域将接触。这就将部分闭合力从激励电极传递到接触区域,带来更好的电接触和较低的电阻。

[0091] 另一例子包括根据本发明在固定复合物中包含用作气体或流体阀器件的孔(例如参见图 3、4A 和 4B 中的孔)的激励器器件。阀器件可以通过贯穿固定复合物蚀刻出具有高纵横比的孔而形成(例如利用深度 RIE 蚀刻硅晶片)。可以用作固定复合物的其它衬底包括玻璃、石英或塑料衬底。除了深度 RIE 之外,固定复合物中的孔也可以通过化学蚀刻或激光钻孔而形成。阀器件的静电激励使得能控制流体或气体流,其中柔性复合物相对于固定复合物的密封防止了气体或流体流穿过孔(即封闭该阀)。

[0092] 本发明的其它应用包括用于调节电磁辐射的光学开关、快门或断路器。对于光学开关,可以通过改变柔性复合物顶表面上的向外反射角来调节电磁辐射。当静电激励器通过将电压施加于电极而相对于固定复合物变平时,根据入射角,与没有施加电压时激励器卷曲时相比,辐射将以不同的角度反射离开静电激励器。这种器件可用于光学开关的微型镜阵列。另外作为替代,柔性膜包括光吸收材料(由于电极材料而增加或固有的)。这样,当柔性膜覆盖孔时,穿过例如孔的光将被切断。图 11B 是根据本发明的微机械激励器的示意性侧视图,其构成了由微机械激励器激励的光学器件。元件 325 和 325b 分别表示通过光学通路 320 传输或接收光的光源或光学检测器。

[0093] 例如在快门或断路器中,电磁辐射可通过透明的固定复合物(其中光学通路 320 构成整个衬底)。用作固定复合物的透明衬底的选择取决于电磁辐射的波长。例如,石英能用于 UV 或可见辐射光的传输,玻璃能用于可见辐射,而蓝宝石、ZnS、Si 或 Ge 可用于 IR 辐射。对于这种应用,通过将电压施加至电极来使柔性复合物变平引起了辐射的反射,从而没有施加电压的卷曲激励器就允许辐射通过衬底。各个器件或快门或断路器的阵列可以与需要这种调节器的任何电磁辐射检测器一起使用或与之集成,比如 CCD 阵列;HgCdTe 红外检测器;用于 UV 或 IR 的 Si、GaAs 或其它半导体光电二极管;或未冷却的热电或微辐射计红外检测器。

[0094] 在上述教导之下,本发明的很多变型和变化都是可能的。因此应当理解,在所附权利要求的范围内,本发明可以以这里所具体描述之外的其它方式实践。

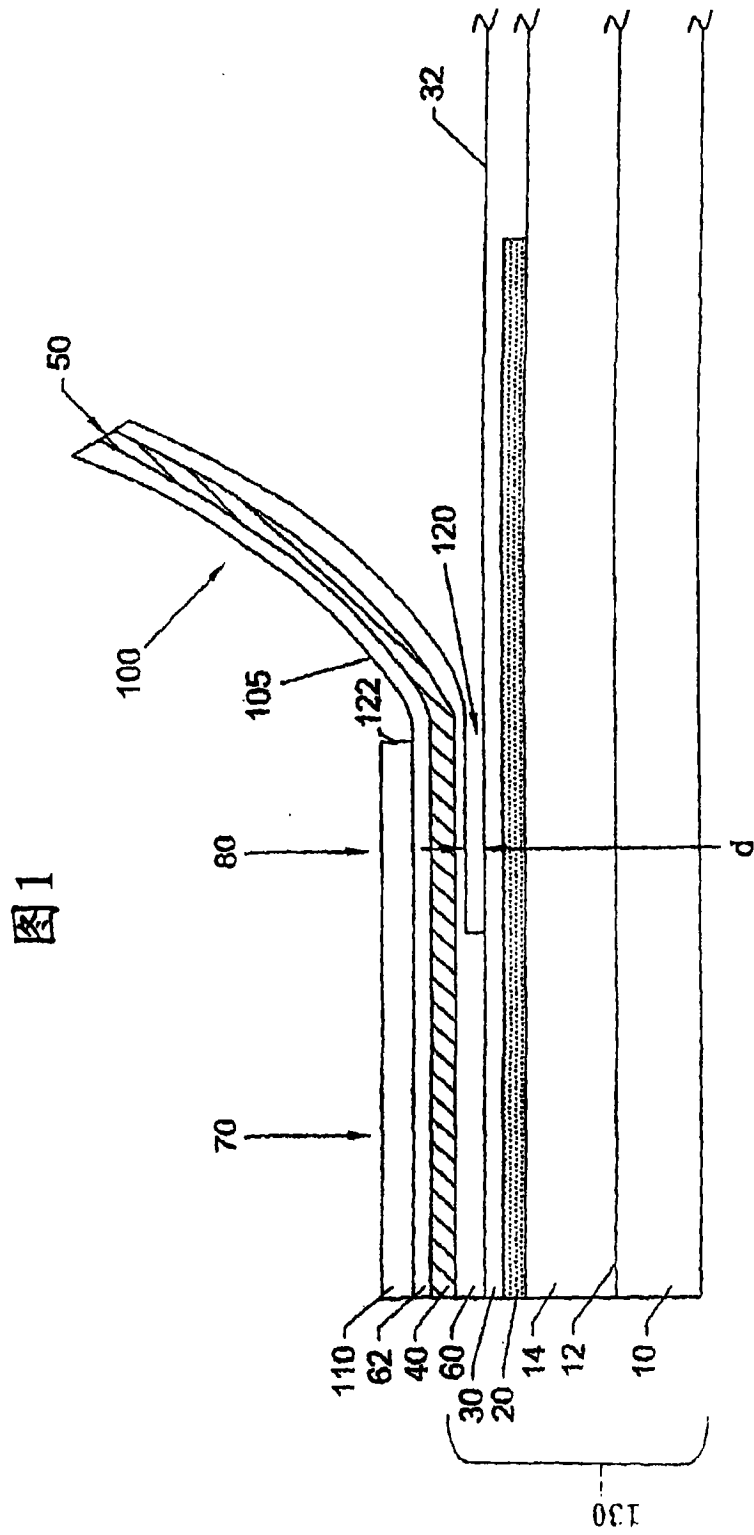


图1

图 2

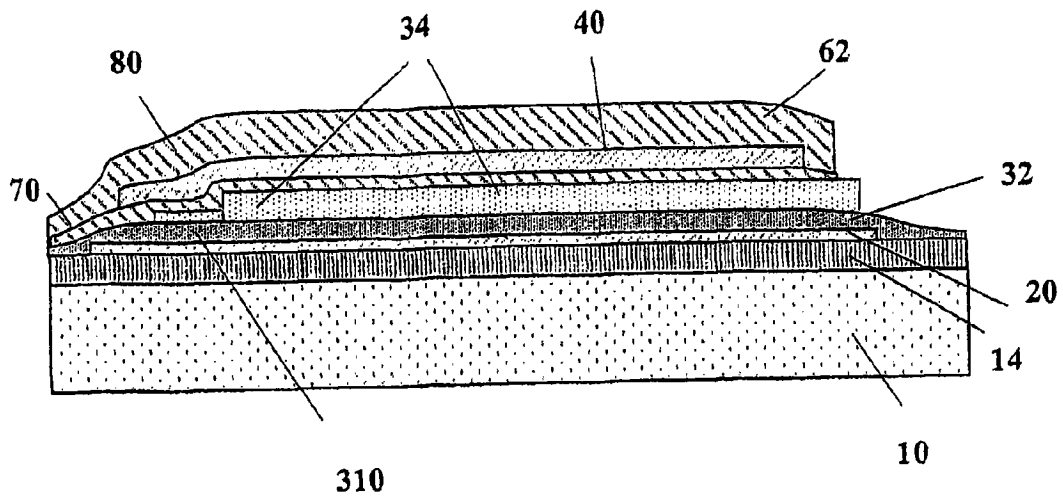
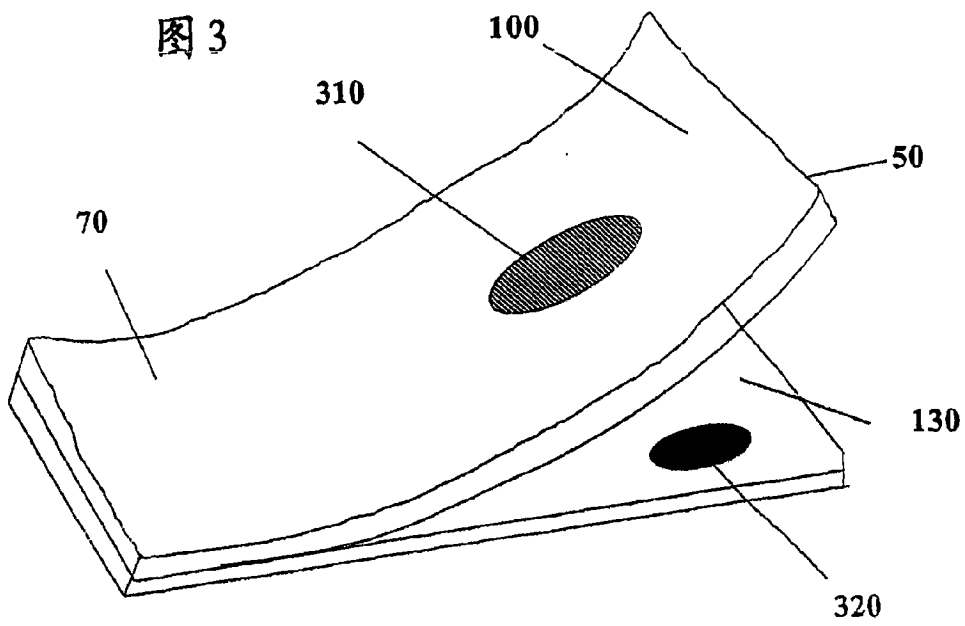
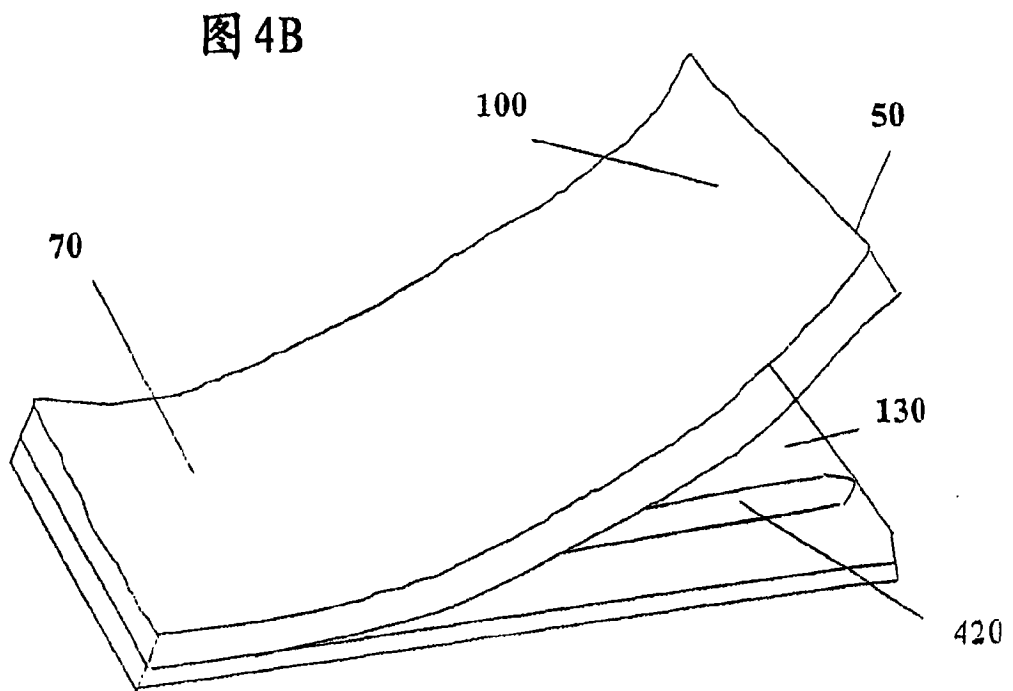
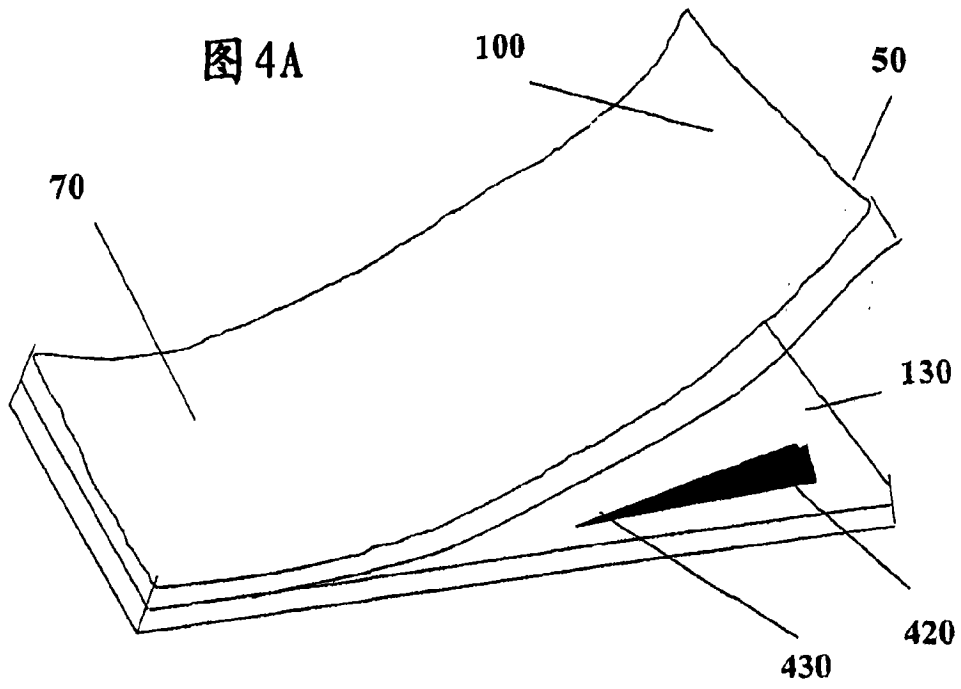
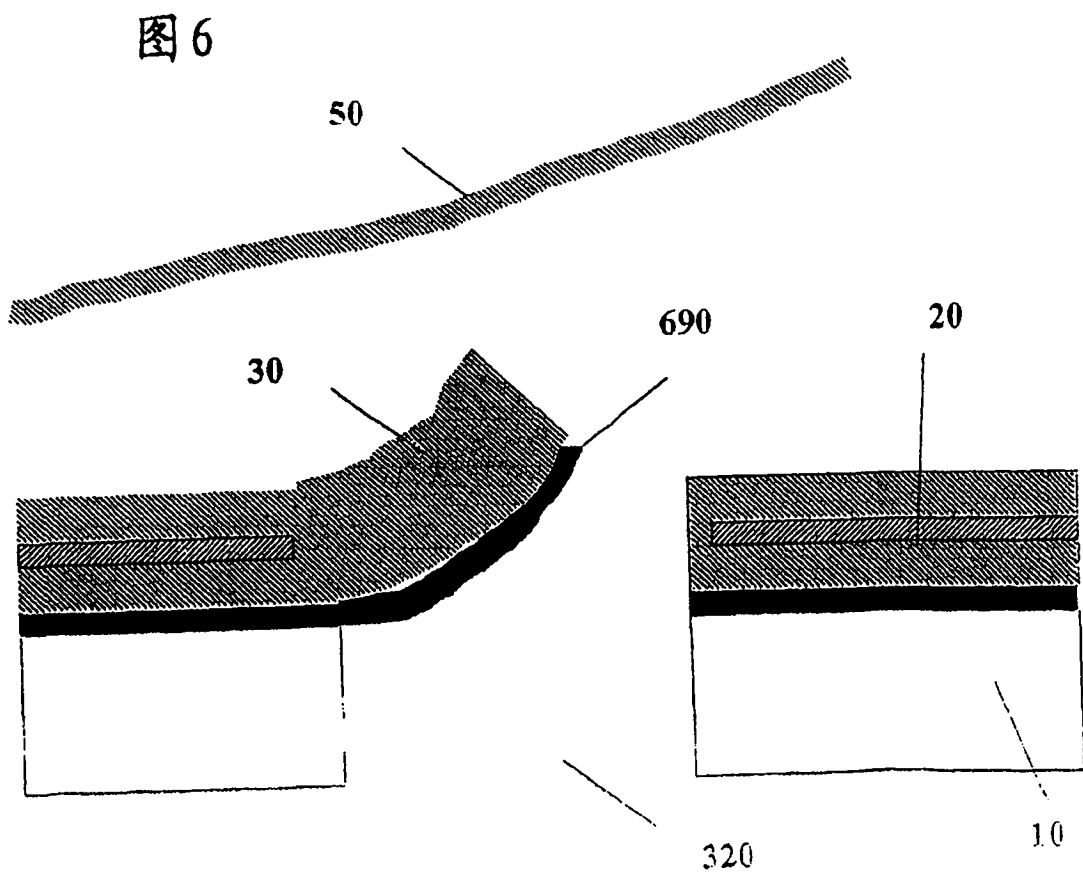
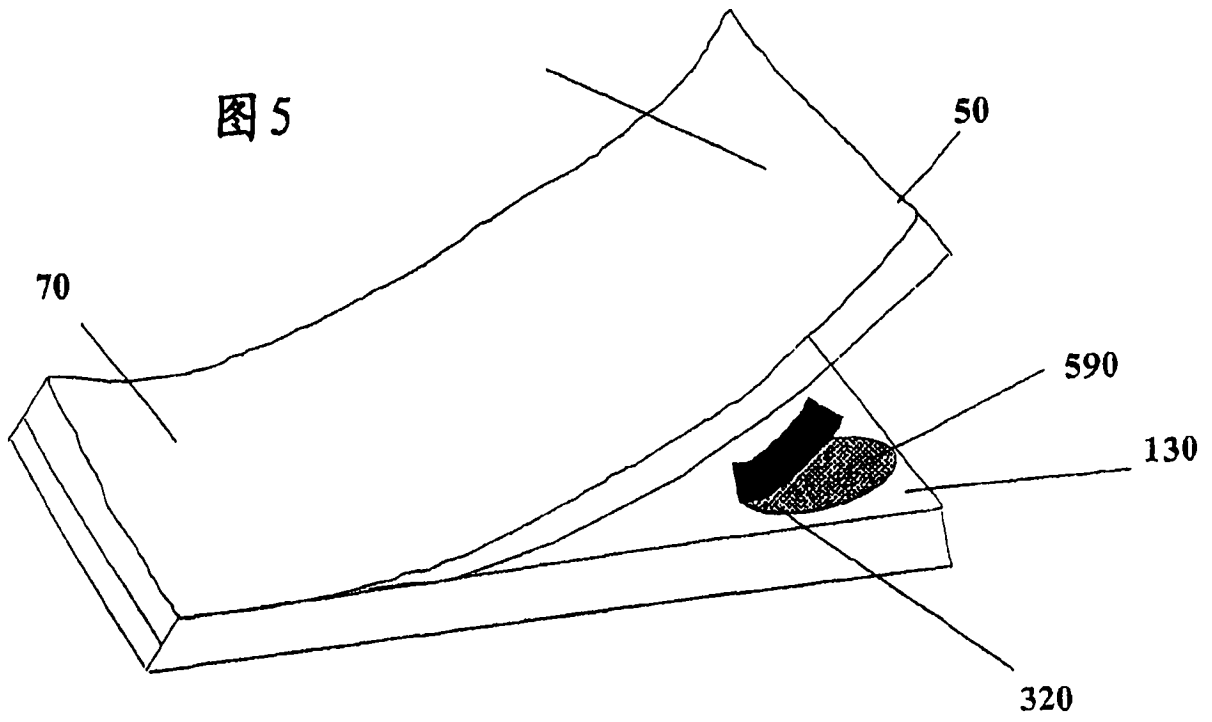


图 3







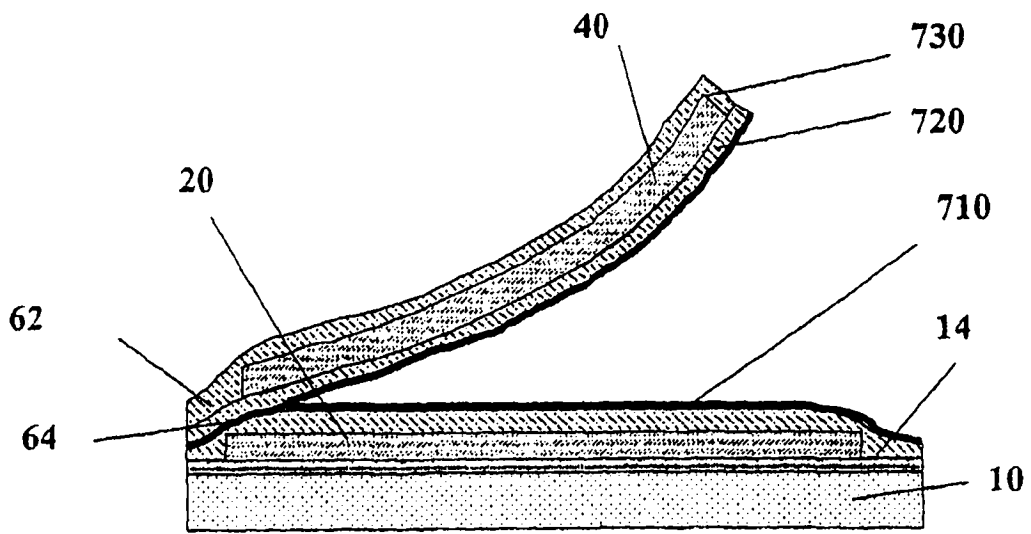


图 7

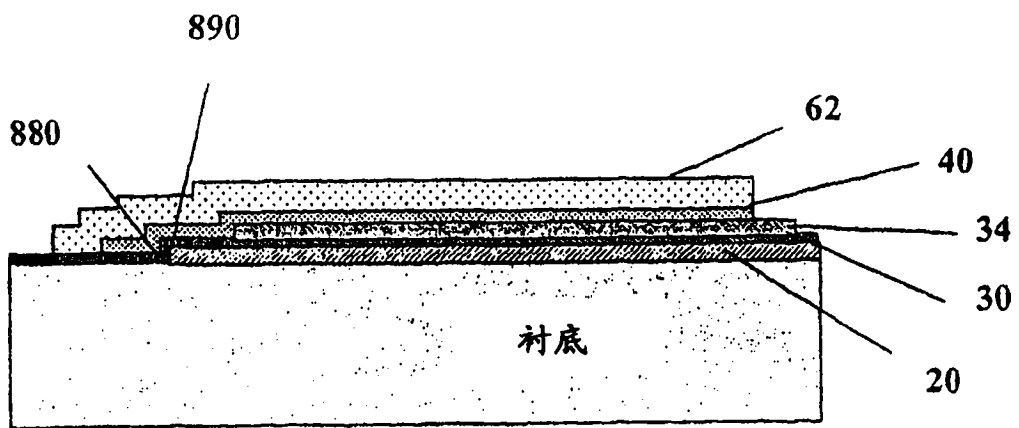


图 8A

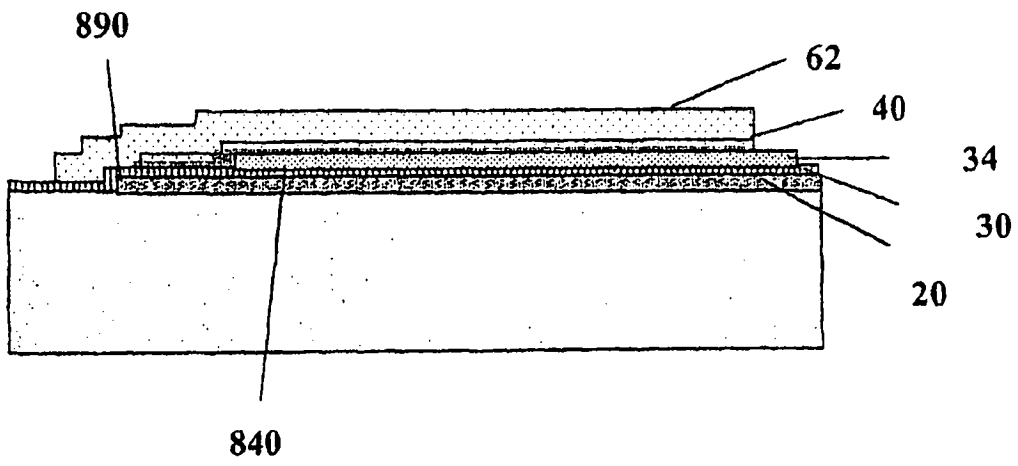


图 8B

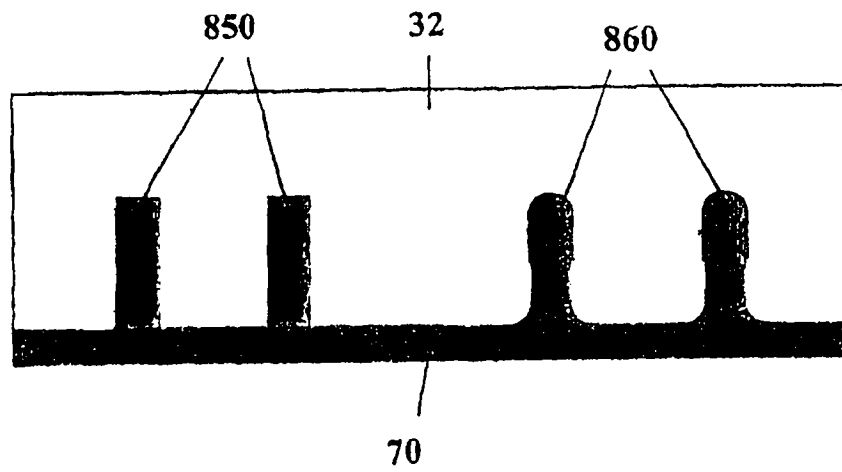


图 8C

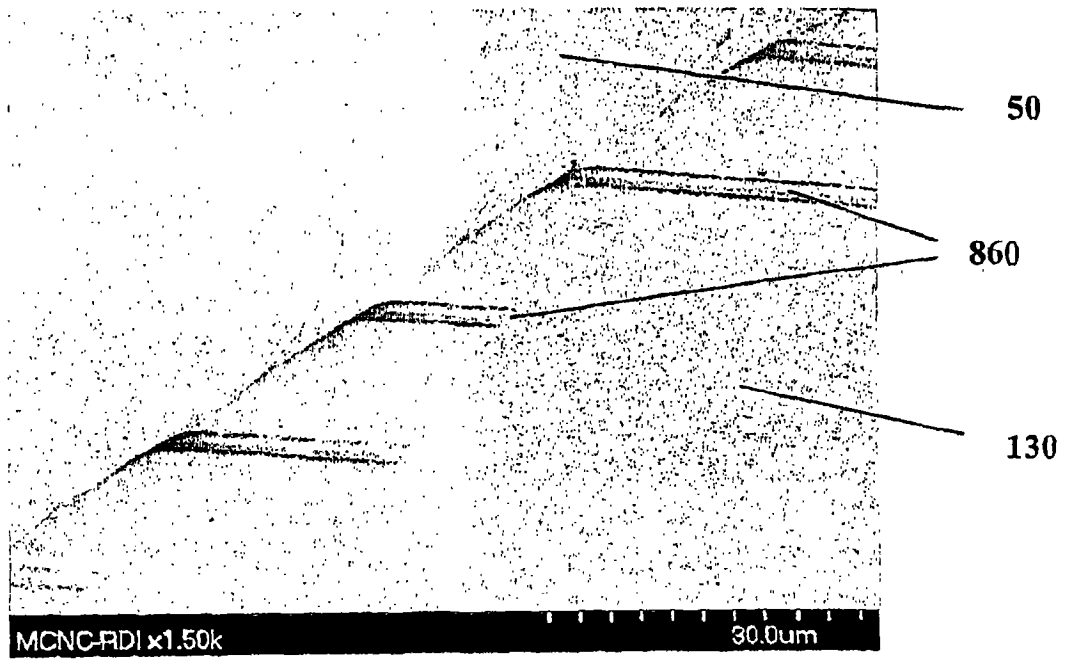


图 9

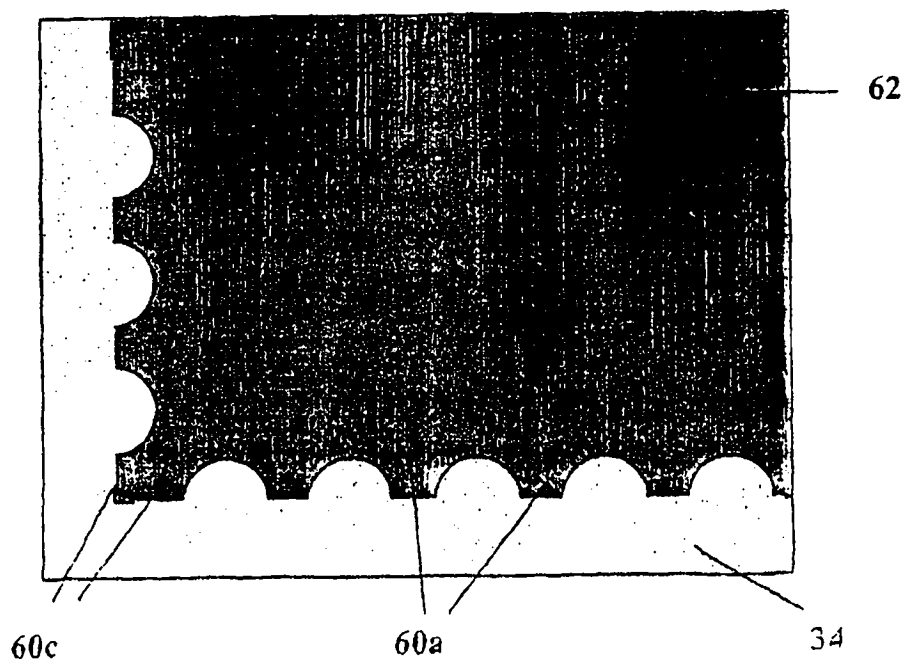


图 10A

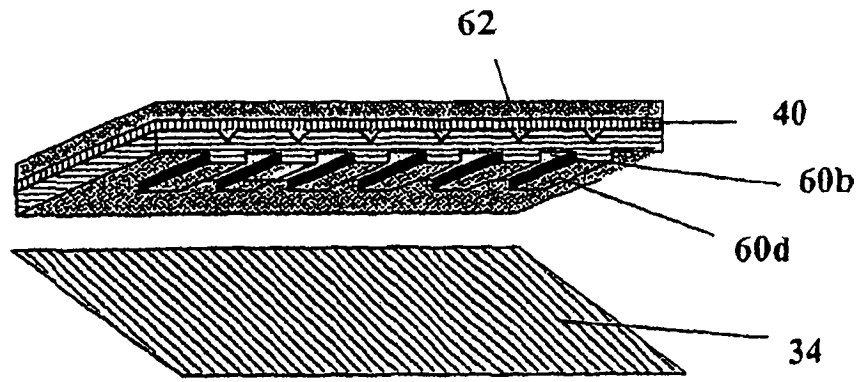
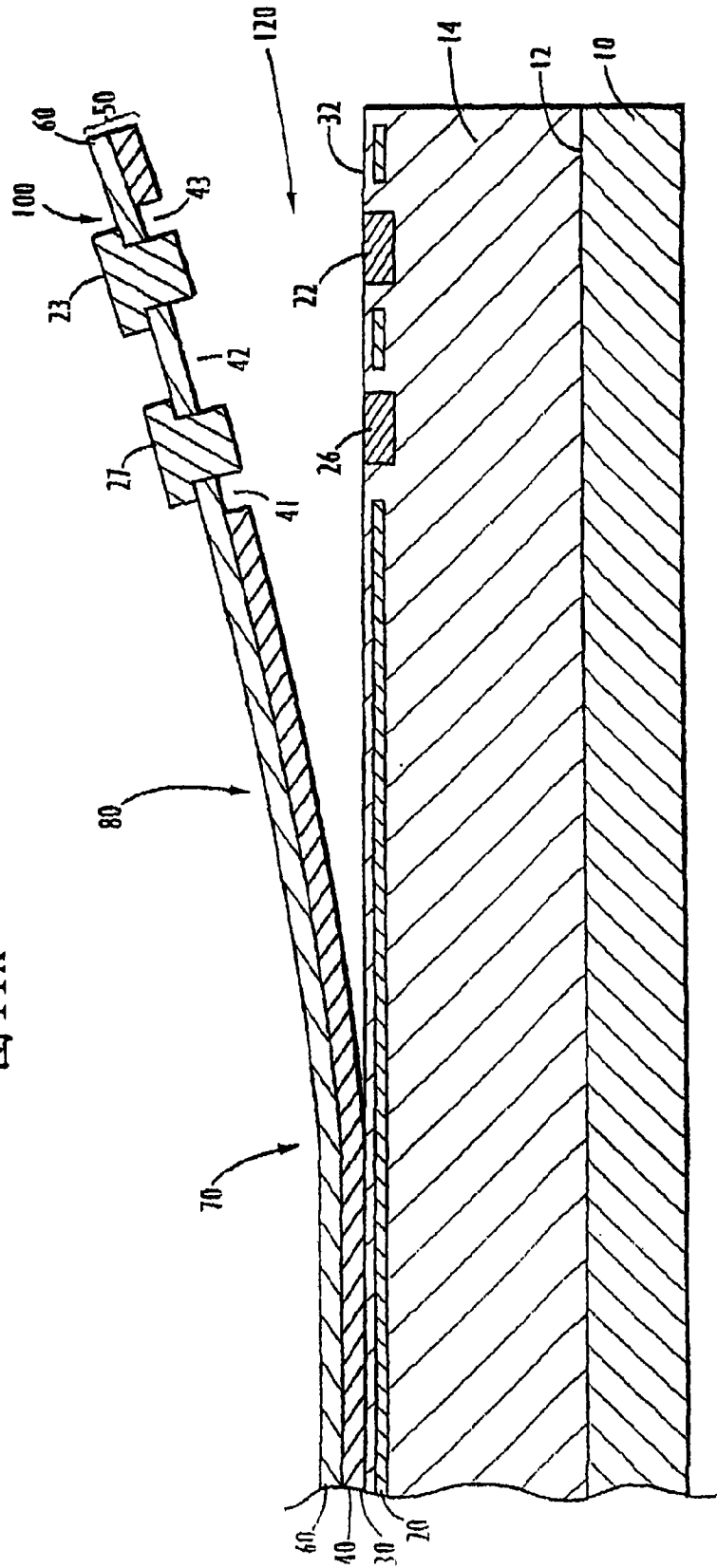


图 10B

图11A



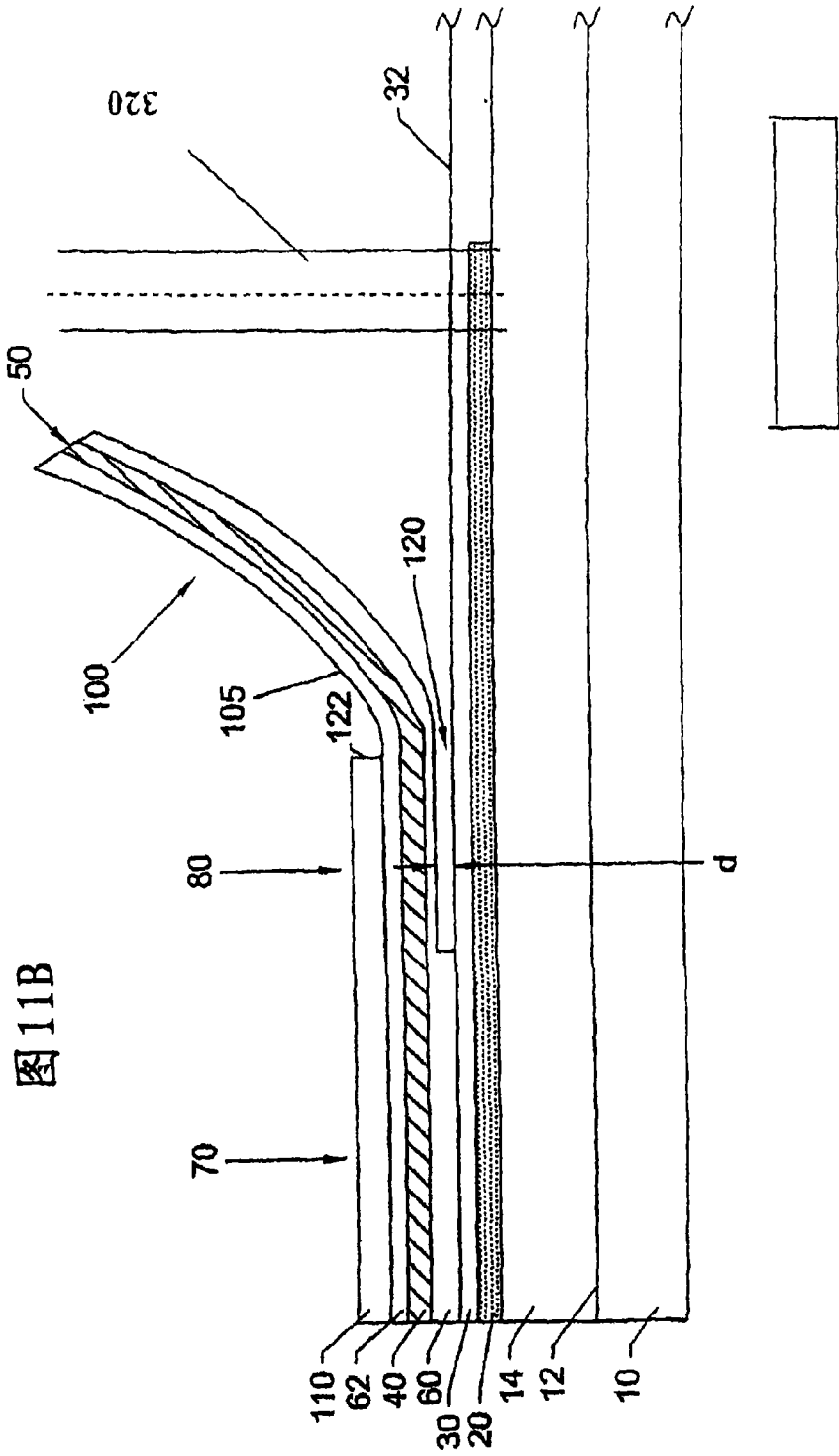


图11B