

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F04B 43/04 (2006.01)

F15C 5/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00811300.9

[45] 授权公告日 2008年7月16日

[11] 授权公告号 CN 100402850C

[22] 申请日 2000.6.27 [21] 申请号 00811300.9

[30] 优先权

[32] 1999. 6. 28 [33] US [31] 60/141,503

[32] 1999. 8. 30 [33] US [31] 60/147,199

[32] 2000. 3. 3 [33] US [31] 60/186,856

[86] 国际申请 PCT/US2000/017740 2000.6.27

[87] 国际公布 WO2001/001025 英 2001.1.4

[85] 进入国家阶段日期 2002.2.4

[73] 专利权人 加利福尼亚技术学院

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 M·A·昂格尔 周厚圃

T·A·索尔森 A·谢雷尔

S·R·奎克

[56] 参考文献

EP0829360A 1998.3.18

EP0592094A 1994.4.13

EP0779436A 1997.6.18

EP07033464A1 1996.3.27

ELASTOMERIC LIGHT VALVES. QIND
TEAL. Advanced Materials, Vol. 9 No. 5. 1997

MICOMACHINES ON THE MARCH. BRY-
ZEK J ET AL. IEEE SPECTUM (US, IEEE INC.
NEW YORK), Vol. 31 No. 5. 1994

RAPID PROTOTYPING OF MICROFLUIDIC
SYSTEMS INPOLY (DIMETHYLSILOXANE).
DUFFY, D. C. ET AL. ANAL. CHEM, Vol. 70 .
1998

审查员 李双庆

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 闻 卿

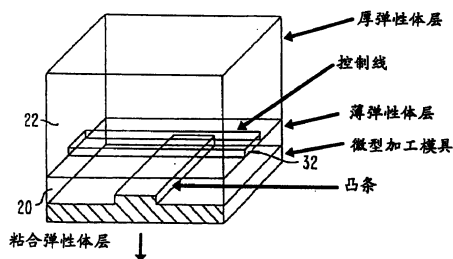
权利要求书 5 页 说明书 53 页 附图 39 页

[54] 发明名称

微型制造的弹性体的阀和泵系统

[57] 摘要

一种制造弹性体结构的方法，它包括：在第一微型制造的模具的顶上形成一第一弹性体层，第一微型切削加工的模具具有一凸起的第一突部，该突部形成了沿第一弹性体层的底面延伸的一第一凹部；在第二微型制造的模具的顶上形成一第二弹性体层，第二微型切削加工的模具具有一第二凸起的突部，该突部形成了沿第二弹性体层的底面延伸的一第二凹部；将第二弹性体层的底面粘合在第一弹性体层的顶面上，这样一控制槽形成在第一和第二弹性体层之间的第二凹部中；以及将第一弹性体层定位在一平面的基底的顶上，这样一流动槽形成在第一弹性体和平面的基底之间的第一凹部中。



1. 一种弹性体结构，它包括：

一弹性体块，它至少在其中形成有第一和第二微型制造的凹部，所述第一和第二微型制造的凹部由弹性体块的一膜片部分隔开，当所述膜片被致动时，弹性体块的膜片可偏转入第一和第二微型制造的凹部之一内。

2. 如权利要求1所述的弹性体结构，其特征在于，第一和第二凹部具有范围在10微米至200微米之间的宽度。

3. 如权利要求1所述的弹性体结构，其特征在于，膜片部分具有在约1微米至100微米之间的厚度。

4. 如权利要求1所述的弹性体结构，其特征在于，膜片部分基本线性地响应于所施加的致动力。

5. 如权利要求1所述的弹性体结构，其特征在于：

所述第一凹部包括一第一微型制造的槽，所述第二凹部包括一第二微型制造的槽；并且

膜片部分包括一弹性体膜片，当膜片被致动时，该膜片可偏转入第一或第二微型制造的槽之一内。

6. 如权利要求1所述的弹性体结构，其特征在于：

所述第一凹部包括一第一微型制造的槽；并且

膜片部分包括一弹性体膜片，当膜片被致动时，该膜片可偏转入第一微型制造的槽内。

7. 如权利要求6所述的弹性体结构，其特征在于，第二微型制造的凹部包括一第二微型制造的槽。

8. 如权利要求6所述的弹性体结构，其特征在于，当第二微型制造的凹部被加压时，膜片可偏转入第一槽内。

9. 如权利要求7所述的弹性体结构，其特征在于，它还包括：

与第二槽平行设置的第三和第四槽，其中第二、第三和第四槽分别通过可偏转入第一槽内的第一、第二和第三膜片与第一槽隔开。

10. 如权利要求9所述的弹性体结构，其特征在于，当第二、第三和第四槽

分别被施压时，第一、第二和第三膜片可偏转入第一槽内。

11. 如权利要求 7 所述的弹性体结构，其特征在于，还包括与第一槽平行的一第三微型制造的槽，第二槽具有沿它的长度设置的宽的部分和窄的部分，其中宽的部分相邻于第一槽设置，而窄的部分相邻于第三槽设置。

12. 如权利要求 6 所述的弹性体结构，其特征在于，膜片具有一弯曲的底面，以使第一槽的顶部是弯曲的。

13. 如权利要求 1 所述的弹性体结构，其特征在于，弹性体结构包括从以下组群中选择材料，该组群包括：

聚异戊二烯、聚丁二烯、聚氯乙烯、聚异丁烯、聚(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯)、聚氨酯、硅树脂或者脂肪族类的二丙烯酸尿烷酯。

14. 如权利要求 13 所述的弹性体结构，其特征在于，弹性体结构包括从以下组群中选择材料，该组群包括聚二甲基硅氧烷(PDMS)和脂肪族类的二丙烯酸尿烷酯。

15. 如权利要求 14 所述的弹性体结构，其特征在于，聚二甲基硅氧烷(PDMS)包括通用电气公司生产的 RTV615、陶氏化学公司生产的 Sylgard 182, 184 或 186, 脂肪族类的二丙烯酸尿烷酯包括由 UCB 化学公司生产的 Ebecryl 270 或 Irr 245。

16. 如权利要求 1 所述的弹性体结构，其特征在于，弹性体结构包括从以下组群中选择材料，该组群包括：

聚(二(含氟烷氧基)膦腈)(PNF, Eypel-F), 聚(碳硼烷-硅氧烷)(Dexsil), 聚(丙烯腈-丁二烯)(丁腈橡胶), 聚(1-丁烯), 聚(三氟氯乙烯-二氟乙烯)共聚物(Kel-F), 聚(乙基乙烯基醚), 聚(二氟乙烯), 聚(二氟乙烯-六氟丙烯)共聚物(Viton)。

17. 如权利要求 1 所述的弹性体结构，其特征在于，弹性体结构包括从以下组群中选择材料，该组群包括：

聚氯乙烯(PVC), 聚砜, 聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)或聚四氟乙烯(特氟隆)的弹性体成分。

18. 如权利要求 1 所述的弹性体结构，其特征在于，膜片部分以 100Hz 或更高的速度被致动。

19. 如权利要求 1 所述的弹性体结构，其特征在于，膜片部分以达到 75Hz 的速度被致动。

20. 如权利要求 1 所述的弹性体结构, 其特征在于, 当膜片部分被致动时, 结构基本不包含无用容积。

21. 如权利要求 1 所述的弹性体结构, 其特征在于, 它还包括一平面基底, 其中所述平面基底形成所述第一或第二微型制造的凹部的一壁。

22. 如权利要求 21 所述的弹性体结构, 其特征在于, 所述平面基底由玻璃制成。

23. 一种致动弹性体结构的方法, 它包括:

设置一其中形成有第一和第二微型制造的凹部的弹性体块, 第一和第二微型制造的凹部通过弹性体块的一膜片部分隔开, 该膜片部分响应一致动力可偏转入第一和第二凹部之一内; 以及

对膜片部分施加致动力, 以使膜片部分偏转入第一和第二凹部之一内。

24. 如权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 施加致动力的步骤包括对第二微型制造的凹部施加一压力, 以使膜片部分偏转入第一微型制造的凹部内。

25. 一种控制液体流或气体流通过一弹性体结构的方法, 它包括:

设置一弹性体块, 该弹性体块具有第一、第二和第三微型制造的凹部, 并且弹性体块具有一通过其中的第一微型制造的槽, 第一、第二和第三微型制造的凹部由相应的可偏转入第一槽的第一、第二和第三膜片与第一槽隔开; 以及

以重复的次序使第一、第二和第三膜片偏转入第一槽内, 从而蠕动地泵送一流体流通过第一槽。

26. 如权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 通过在第一、第二和第三凹部内增压使第一、第二和第三膜片偏转入第一槽内。

27. 一种微型制造一弹性体结构的方法, 它包括:

设置一第一微型制造的弹性体结构, 其中具有至少一第一凹部;

设置一第二微型制造的弹性体结构, 其中具有至少一第二凹部;

在所述第一和第二微型制造的凹部之间设置弹性体结构的一膜片部分, 所述膜片部分可偏转入第一和第二微型制造的凹部之一内; 以及

将第一弹性体结构的一表面粘合到第二弹性体结构的一表面上。

28. 如权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 它还包括:

将第二弹性体结构定位在第一弹性体结构的顶上; 以及

将第二弹性体结构的底面粘合到第一弹性体结构的顶面上。

29. 如权利要求 28 所述的方法, 其特征在于:

在具有至少一凸起的突部的一第一微型加工模具上制造第一弹性体结构, 该突部在第一弹性体结构的底中形成所述至少第一凹部; 并且

在具有至少一凸起的突部的一第二微型加工模具上制造第二弹性体结构, 该突部在第二弹性体结构的底中形成所述至少第二凹部。

30. 如权利要求 28 所述的方法, 其特征在于, 它还包括:

连续地增加更多的弹性体结构, 由此每一结构通过下列方法添加:

微型制造一顺序的弹性体结构; 以及

将顺序的弹性体结构的底面粘合到弹性体结构的顶面上。

31. 如权利要求 28 所述的方法, 其特征在于, 第一和第二弹性体结构由相同材料制成。

32. 如权利要求 31 所述的方法, 其特征在于, 第一和第二弹性体结构均包括一交联剂。

33. 如权利要求 28 所述的方法, 其特征在于, 第一和第二弹性体结构由一层胶粘剂粘合。

34. 如权利要求 33 所述的方法, 其特征在于, 胶粘剂包括未固化的弹性体, 该弹性体固化后可将第一和第二弹性体结构粘合在一起。

35. 如权利要求 28 所述的方法, 其特征在于, 通过曝露于氧等离子而使第一和第二弹性体结构以化学方式激发, 以利于所述诸层的粘合。

36. 一种可偏转的膜片的用途, 以控制弹性体结构的一微型制造的槽中的流体流, 所述弹性体结构至少在其中形成有第一和第二微型制造的凹部, 所述微型制造的凹部之一形成所述微型制造的槽, 并且其中所述可偏转的膜片使所述第一和第二微型制造的凹部隔开, 并且当所述膜片被致动时偏转入第一或第二微型制造的凹部之一内。

37. 如权利要求 36 的用途, 其特征在于, 在所述微型制造的槽中的流体流的控制通过对所述膜片施加一致动力实现。

38. 如权利要求 36 的用途, 其特征在于, 所述微型制造的弹性体结构是单块的。

39. 如权利要求 36 的用途, 其特征在于, 在所述微型制造的槽中的流体流的控制通过对弹性体结构的一第二微型制造的槽加压以使所述膜片偏转而实现。

40. 一种粘合的弹性体层的用途，以制造一弹性体装置，所述弹性体装置包括：一第一微型制造的弹性体结构，其中具有至少一第一凹部；一第二微型制造的弹性体结构，其中具有至少一第二凹部；以及位于所述第一和第二微型制造的凹部之间的弹性体结构的可偏转的一膜片部分，所述膜片部分可偏转入第一和第二微型制造的凹部之一内。

41. 一种弹性体材料的用途，以制造一弹性体装置，所述弹性体装置包括：一第一微型制造的弹性体结构，其中具有至少一第一凹部；一第二微型制造的弹性体结构，其中具有至少一第二凹部；以及位于所述第一和第二微型制造的凹部之间的弹性体结构的一可偏转的膜片部分，所述膜片部分可偏转入第一和第二微型制造的凹部之一内，还包括基本不带有无用容积的一微型制造的流体阀或一微型制造的蠕动的泵。

微型制造的弹性体的阀和泵系统

相关申请参照条目

本非临时性专利申请要求下列在先提交的临时专利申请的权益：1999年6月28日提交的美国临时专利申请 No. 60/141,503、1999年8月3日提交的美国临时专利申请 No. 60/147,199 以及 2000年3月3日提交的美国临时专利申请 No. 60/186,856。这些先前的临时专利申请的本文结合在此处以作参考。

对在联邦政府支助的研究和发展下作出的本发明权利的声明

美国政府具有本发明中的付款凭证以及在特定的情况中的权利，可要求专利拥有者特许由国家健康协会颁布的 Grant No. HG-01642-02 条款中提出的其它合理的项目。

技术领域

本发明涉及微型制造的结构以及用于生产微型制造的结构的方法，以及涉及用于调节流体流动的微型制造的系统。

发明背景

迄今为止，人们已尝试了各种设计微型流体泵和阀的方法。遗憾地是，这些方法中的每一种都存在它本身的限制。

两种最普通的生产如泵和阀之类的微电子机械（MEMS）结构的方法分别是：以硅为基础的块微型切削加工（这是一种减去的制造方法，由此单晶硅为通过平版印刷而形成一定图案，而后被蚀刻成三维的结构），以及表面微型切削加工（这是一种添加的方法，其中如多晶硅、氮化硅、二氧化硅以及各种金属之类的半导体材料层连续被添加并形成一定图案，从而产生三维的结构）。

以硅为基础的微型切削加工的第一种方法限制在于由于所使用的半导体材料是刚性的，所以必须要有高的致动力，而这导致了设计大而复杂。实际上，由于所使用的材料的刚性，块与平面的微型切削加工方法均受到限制。另外，所制造的装置的不同层之间的粘合也是个问题。例如，在块微型切削加工中，必须使用晶片压

焊技术以产生多层结构。另一方面，在表面微型切削加工时，在装置的不同层之间的热应力限制了装置的整体厚度，通常约为 20 微米。无论使用上述方法中的任何一种，都需要在干净的室内进行制造以及要有严格的质量控制。

发明内容

本发明提出了用于制造和操作例如开/关阀，转换阀以及泵之类的微型制造的结构系统，这些微型制造的结构是由各种弹性体层粘合在一起而制成的。本发明的结构和方法理论上适于控制和引导流体运动，但不仅限于此。

在一个较佳方面，本发明使用了一种多层软平版印刷的过程以建立完整的（即单块的）微型制造的弹性体结构。

通过将若干层软的弹性体材料粘合在一起而制造出的本发明的结构的优点包括这样一个情况，即所产生的装置与以硅为基础的装置相比其尺寸的减小在两个数量级以上。另外还可以实现快速形成原型、制造简易以及生物相容性等优点。

在本发明的较佳方面，分离的弹性体层在微型切削加工的模具的顶上制造出，从而凹部形成在各个不同的弹性体层上。通过这些各种弹性体层粘合在一起，这些沿不同的弹性体层延伸的凹部形成为通过所产生的单块的、完整的弹性体结构的流动槽和控制线。在本发明的各个方面，这些形成弹性体结构中的流动槽和控制线可以被致动以用作微型泵和微型阀的用途，这将在下文中进一步描述。

在本发明另外可选择的方面，这种单块的弹性体结构被密封在平坦的基底的顶上，其中流动槽形成在平坦的基底的表面与沿弹性体结构的底面延伸的凹部之间。

在一较佳的方面，本发明的单块的弹性体结构通过将两分离的弹性体层粘合在一起而构成，各弹性体层首先单独地在微型切削加工的模具上铸造而成。较佳地是，所使用的弹性体为两种成分附加固化的材料，其中底部弹性体层具有的一种成分的过量，同时顶部弹性体层具有的另一成分的过量。在一示范性的实施例中，所使用的弹性体为硅橡胶。两弹性体层分别地固化。各层分别在顶层定位在底层上之前固化。而后，两层结合在一起。较佳的是，各层具有的两种成分中的一种的过量，这样反应的分子可留在两层之间的分界面上。顶层组装在底层的顶上并被加热。两层不可逆地粘合，这样分界面的强度接近或等于块状的弹性体的强度。这样产生的一单块的三维的形成一定图案的结构，该结构完全由两层粘合在一起的弹性体层构成。通过简单地重复该过程就可添加上附加层，其中各具有一相对“极性”的一

层的若干新层被固化，并由此粘合在一起。

在第二较佳的方面，第一光致抗蚀剂层附着在第一弹性体层的顶上。而后，该第一光致抗蚀剂层形成一定的图案，从而在第一弹性体层的顶面上留下光致抗蚀剂层的若干线条的图案或一线条。然后添加另一层弹性体层，并使其固化，包围住光致抗蚀剂层的若干线条的图案或一线条。一第二光致抗蚀剂层被添加并形成一定的图案，而另一层弹性体层被添加并固化，留下包围在一单块的弹性体结构中的光致抗蚀剂的线条或线条的图案。可以重复此过程以添加更多的被包围的图案与弹性体层。其后，光致抗蚀剂被去除，在已被光致抗蚀剂所占据的空间中留下流动槽（许多流动槽）或控制线（许多控制线）。可以重复此过程，从而产生带有多个层的弹性体结构。

使用光致抗蚀剂方法使形成一定图案的中等大小的特征（ ≥ 10 微米）的优点在于可使用高分辨率的透明胶片作为一接触的掩盖物。这使得一名研究者通常可在 24 小时之间完成设计、印刷、成图形，并产生一套新的铸造的弹性体装置。

本发明的上述任一实施例的另外一个优点在于，由于它的单块或整体的特性（即所述的层由相同的材料构成），可完全避免夹层粘合失败以及热应力的问题。

本发明较佳地可使用硅橡胶或如通用电气公司生产的 RTV 615 等弹性体，它的另外的优点在于，它是透明的，光可以看得见，使制造多层的光学线路成为可能，由此可以对微型流体的装置中的各种槽或腔进行光学观察。由于适当成形的弹性体层可用作为透镜以及光学元件，层的粘合允许产生多层的光学线路。另外，GE RTV 615 是生物相容的。由于它是柔软的，即使在流动槽内存在小的微粒，闭合的阀也可形成良好的密封。特别是在与单晶体硅相比时，硅橡胶也是生物相容的，而且也不贵。

单块弹性体阀和泵还避免了许多基于电渗透流的影响流动系统的实际问题。具有代表性的是，电渗透流系统会遭受到围绕在电极周围形成的气泡，而流动主要依靠流动介质的组成物。气泡的形成严重限制了在微型流体装置中电渗透流的使用，使得难以构成功能一体化的装置。流体的量以及甚至于它流动方向通常以一个复杂的模式依据于离子强度与种类、表面活性剂的存在以及在流动槽的壁上的负荷。另外，由于连续发生电解，也可以达到最终的抵抗 pH 改变的缓冲剂（buffer）的容量。另外，电渗透流总是与电泳现象竞争发生。由于不同的分子可能具有不同的电泳迁移率，在电渗透流中可能发生不希望的电泳分离。最终，电渗透流可不利于使流体停止、中止扩散或平衡压力差。

本发明的单块的弹性体阀或泵结构的另一个优点是，它们可以非常高的速度被致动。例如，本发明的发明人达到过对于其中带有含水的溶液的阀的反应时间在千分之一秒的数量级上，这样阀可在接近或超过 100Hz 的速度打开或闭合。具体地说，对于阀结构的打开或闭合的循环速度的一系列非限制性的范围包括约在 0.001 到 10000 毫秒之间，约在 0.01 到 1000 毫秒之间，约在 0.1 到 100 毫秒之间，约在 1 到 10 毫秒之间。该循环速度依据用于特定用途的阀的组成和结构以及致动的方法，因此在所列范围之外的循环速度将会落在本发明的范围之内。

本发明的泵和阀的另外的优点在于，它们小的尺寸使它们更快，而它们柔软的特点使它们持久耐用。另外，由于它们是随差动的施加的压力线性地闭合，这种线性关系使得即使在高的背压的情况下流量计和阀也可闭合。

在本发明的许多方面，多个流动槽通过弹性体结构，其中第二流动槽在上方延伸越过第一流动槽。在本发明的这个方面，一弹性体的薄的膜片将第一和第二流动槽分隔开。如下文中所要描述的，此膜片向下的移动（由于第二流动槽被加压或膜片被致动）将切断流体通过下面流动槽。

在本发明的可选择的良好方面，多个可单独设定地址的阀形成为在一弹性体结构中连接在一起，而后被依次激活，从而达到蠕动的泵送作用。以下还将描述一些更复杂的系统，这些系统包括网络工作或多路控制系统，设置在多个阀的格栅、网络工作的或多路的反应腔系统中的可选择地设定地址的阀以及生物高聚物合成的系统。

根据本发明的微型制造的弹性体结构的一种实施例包括其中形成有第一和第二微型制造的凹部的一弹性体块，当弹性体块的一部分被致动时，该部分可偏转。

微型制造弹性体结构的一种方法的一实施例包括以下步骤：微型制造一第一弹性体层，微型制造一第二弹性体层，将第二弹性体层定位在第一弹性体层的顶上，以及将第二弹性体层的底面粘合到第一弹性体层的顶面上。

一种微型制造弹性体结构的方法的第一可替换的实施例包括以下步骤：在第一微型制造的模具的顶上形成一第一弹性体层，第一微型切削加工的模具具有至少一第一凸起的突部，该突部在第一弹性体层的底面中形成至少一个第一槽。一第二弹性体层形成在一第二微型制造的模具的顶上，第二微型切削加工的模具具有至少一第二凸起的突部，该突部在第二弹性体层的底面中形成至少一个第二槽。第二弹性体的底面粘合到第一弹性体层的顶面上，从而至少一第二槽封闭在第一和第二弹性体层之间。

根据本发明的一种用于微型制造弹性体结构的方法的第二替换的实施例包括以下步骤：在基底的顶上形成一第一弹性体层，使第一弹性体层固化，以及使一第一牺牲层附着在第一弹性体层的顶面上。去除第一牺牲层的一部分，使得牺牲材料的第一图案留在第一弹性体层的顶面上。第二弹性体层形成在第一弹性体层上，由此使牺牲材料的第一图案被包围在第一和第二弹性体层之间。第二弹性体层固化，而后去除牺牲材料，由此在第一和第二弹性体层之间形成至少一第一凹部。

根据本发明的致动弹性体结构的方法的一实施例包括设置其中带有第一和第二微型制造的凹部的一弹性体块，第一和第二微型制造的凹部通过该结构的一部分被分隔开，该部分可偏转入第一或第二凹部。一个凹部被加压，从而使第二凹部与第一凹部分隔开的弹性体结构的一部分偏转入两个凹部中的另一个。

在其它可选择的较佳的方面，可添加磁性或传导材料，以使弹性体层导磁或导电，从而可产生所有的弹性体电磁装置。

附图说明

第一部分：图 1 到图 7 示出了制造本发明的第一种方法的连续步骤，附图如下：

图 1 为形成在由微型切削加工模具的顶部的一第一弹性体层的示图。

图 2 为形成在由微型切削加工模具的顶部的一第二弹性体层的示图。

图 3 为图 2 的弹性体层的示图，它从微型切削加工的模具中移出，并被定位在图 1 的弹性层的顶部上。

图 4 为与图 3 相应的示图，但它示出了定位在第一弹性体层的顶部上的第二弹性体层。

图 5 为与图 4 相应的示图，但它示出了结合在一起的第一和第二弹性体层。

图 6 为与图 5 相应的示图，但它示出了移开的第一微型切削加工模具以及定位在其位置中的平面基底。

图 7A 为与图 6 相应的示图，但它示出了在平面基底上密封的弹性体结构。

图 7B 为与图 7A 相应的正视截面示图，它示出了一开口流动槽。

图 7C-7G 为示出了用于形成一弹性体结构的方法的步骤，该弹性体具有由一单独的弹性体层形成的一膜片。

第二部分：图 7H 示出了通过对一第二流动槽施加压力使第一流动槽闭合，附图如下：

图 7H 与图 7A 相应，但它示出了通过在第二流动槽中施压而闭合的一第一流动槽。

第三部分：图 8 到图 18 示出了制造本发明的第二种方法的连续的步骤，附图如下：

图 8 为置于平面基底上的一第一弹性体层的示图。

图 9 为示出了置于图 8 的第一弹性体层的顶部上的一第一光致抗蚀剂层的示图。

图 10 为示出的图 9 中的系统的示图，但其中移去了第一光致抗蚀剂层的一部分，仅留下了光致抗蚀剂的一第一线条。

图 11 为示出了在图 10 中的光致抗蚀剂的第一线条上、在第一弹性体层的顶部上涂覆的一第二弹性体层的示图，由此将光致抗蚀剂装入第一与第二弹性体层之间。

图 12 与图 11 相应，但它示出了在第一与第二弹性体层结合在一起后产生的完整的单块的结构。

图 13 为示出了置于图 12 中的完整的弹性体结构的顶部上的一第二光致抗蚀剂层的示图。

图 14 为示出了图 13 中的系统的示图，但其中去除了第二光致抗蚀剂层的一部分，仅留有一光致抗蚀剂的第二线条。

图 15 为示出了涂覆于图 14 的光致抗蚀剂的第二线条上以及第二弹性体层的顶上的一第三弹性体层的示图，由此将光致抗蚀剂的第二线条封装在图 12 的弹性体结构与第三弹性体层之间。

图 16 与图 15 相应，但它示出了固化后的第三弹性体层，从而使它与由先前已结合在一起的第一与第二弹性体层构成的单片结构相粘结。

图 17 与图 16 相应，但它示出了被去除的光致抗蚀剂的第一和第二线条，从而提供了两垂直但不相交的通过完整的弹性体结构的流动槽。

图 18 为示出了图 17 中的系统的示图，但其中除去了位于下面的平面基底。

第四部分：图 19 和图 20 示出了不同的流动槽横截面的其它细节，附图如下：

图 19 示出了第一流动槽的矩形横截面。

图 20 示出了具有一弯曲的上表面的流动槽的横截面。

第五部分：图 21 到图 24 示出了由本微形制造阀的较佳实施例得到的实验结果：

图 21 示出了对各种流动槽的阀开口与施加的压力的关系。

图 22 示出了一 100 微米×100 微米×100 微米 RTV 微型阀的时间响应。

第六部分：图 23A 到图 33 示出了各种不同的微型制造的结构，根据本发明的若干方面将这些结构连网在一起：

图 23A 为一开/关阀的俯视图。

图 23B 为沿图 23A 中的线 23B-23B 截取的截面正视图。

图 24 为一蠕动的泵送系统的俯视图。

图 24B 为沿图 24A 中的线 24B-24B 截取的截面正视图。

图 25 为一图表，其中示出了对于图 24 的蠕动的泵送系统的一实施例的实验所得到的泵送速率与频率的关系。

图 26A 为同时致动多条流动线的一控制线的俯视图示意图。

图 26B 为沿图 26A 中线 26B-26B 的截面正视图。

图 27 为适于允许通过各种槽流动的一种多路系统的示意图。

图 28A 为一可设定地址的反作用腔结构的一流动层的平面图。

图 28B 为一可设定地址的反作用腔结构的一控制槽层的仰视图。

图 28C 为通过图 28B 的控制槽层与图 28A 的流动层的顶部粘合所形成的可设定地址的反作用腔结构的分解立体图。

图 28d 为沿图 28C 中的线 28D-28D 截取的、与图 28C 相应的截面正视图。

图 29 为适于选择性地引导流体流动进入任何一种反作用壁的阵列的一种系统的示意图。

图 30 为适于在平行的流动槽之间可选择的横向流动的系统的示意图。

图 31A 为可变换的流动阵列的弹性体的第一层（即流动槽层）的仰视图。

图 31B 为可变换的流动阵列的一控制槽层的仰视图。

图 31C 示出了图 31A 的弹性体的第一层的排列，它在图 31B 的弹性体的第二层中具有一组控制槽。

图 31D 也示出了图 31A 的弹性体的第一层的排列，它在图 31B 的弹性体的第二层中具有另外一组控制槽。

图 32 为用于生物聚合物合成的一综合的系统的示意图。

图 33 为用于生物聚合物合成的另外一综合的系统的示意图。

图 34 为具有粘合在一起的七层弹性体的一测试结构的一截面的光显微照片。

图 35A-35D 示出了用于制造具有通过在其中形成的一垂直面的一弹性体层的一方法的一实施例的步骤。

图 36 示出了根据本发明的一分组装置的一种实施例。

图 37 示出了根据本发明的在半导体晶片上使生产气体流动的装置的一种实施例。

图 38 示出了根据本发明的一微型镜像排列结构的一种实施例的分解示图。

图 39 示出了根据本发明的一折射装置的第一实施例的立体图。

图 40 示出了根据本发明的一折射装置的第二实施例的立体图。

图 41 示出了根据本发明的一折射装置的第三实施例的立体图。

图 42A-42J 示出了根据本发明的一常闭阀结构的一实施例的示图。

图 43 示出了根据本发明的用于实现分离的装置的一种实施例的平面图。

图 44A-44D 示出了说明根据本发明的细胞笔 (cell pen) 结构的一实施例的操作的平面图。

图 45A-45B 示出了说明根据本发明的细胞笼 (cell cage) 结构的一实施例的操作的平面图与截面图。

图 46A-46B 示出了说明根据本发明的细胞研磨器 (cell grinder) 结构的一实施例的操作的截面图。

图 47 示出了根据本发明的压力振荡器结构的一种实施例的平面图。

图 48A 和图 48B 示出了说明根据本发明的侧面致动阀结构的一实施例的操作的平面图。

图 49 图示了杨氏模量与 GE SF96-50 硅酮油对 GE RTV 615 弹性体的稀释百分比的关系。

具体实施方式

本发明包括多种可用作阀和泵的微型制造的弹性体结构。还阐明了较佳的弹性体结构的制造方法。

制造本发明的方法

这里将提供两种示范性的制造本发明的方法。应理解的是本发明并不限于

使用这些方法中的一种或另一种来进行制造。当然，也仔细考虑了制造本微型结构的其它适当方法（包括修改本方法）。

图 1 至 7 示出了第一种制造本微型结构的较佳方法的连续步骤（该微型结构将被用作泵或阀）。图 8 至 18 示出了第二种制造本微型结构的较佳方法的连续步骤（该微型结构也将被用作泵或阀）。

应予解释的是，图 1 至 7B 的较佳方法包括使用预先固化的弹性体层，将该弹性体层装配并粘合起来。相反地，图 8 至 18 的较佳方法包括“在适当位置”固化每一层弹性体。在下面的叙述中，“槽”指的是弹性体结构中的凹部，它可以容纳流体流或气流。

第一种示范性的方法

请参见图 1，该图中设有一第一微型加工模具 10。可用多种传统的硅处理法来制造微型加工模具 10，包括但不限于光蚀刻法、离子研磨和电子束平印术。

可以看到，微型加工模具 10 具有一沿其延伸的凸条或突出部分 11。如图所示，将一第一弹性体层 20 铸在模具 10 的顶部，以使弹性体层 20 的底面中形成一第一凹部 21（凹部 21 的尺寸与突出部分 11 对应）。

在图 2 中可以看到，该图中也设有一第二微型加工模具 12，该第二微型加工模具具有一沿其延伸的、凸起的突出部分 13。如图所示，将一第二弹性体层 22 铸在模具 12 的顶部，以使其底面中形成一凹部 23，该凹部的尺寸与突出部分 13 对应。

在图 3 和 4 所示的连续步骤中可以看到，从模具 12 上去除第二弹性体层 22，并将第二弹性体层放置在第一弹性体层 20 的顶部。可以看到，沿第二弹性体层 22 的底面延伸的凹部 23 将形成一流动槽 32。

请参见图 5，分离的第一和第二弹性体层 20 和 22（图 4）粘合在一起，形成一体的（即单片的）弹性体结构 24。

在图 6 和 7A 的连续步骤中可以看到，从模具 10 上去除弹性体结构 24，并将弹性体结构置于平面基片 14 的顶部。在图 7A 和 7B 中可以看到，当弹性体结构 24 的底面密封在平面基片 14 上时，凹部 21 将形成一流动槽 30。

本弹性体结构几乎可以与任何光滑的平面基片形成一可逆的气密封。以该方式形成密封的优点是可剥落、清洗及重复使用弹性体结构。在较佳的方面，平面基片 14 是玻璃。使用玻璃的又一优点是玻璃是透明的，可以用光线来查询弹性体的

槽和蓄液池。或者，可用如上所述的相同方法将弹性体结构粘结在一平的弹性体层上，以形成一永久的和高度的粘结。在使用较高背压时，可证明其优越性。

在图 7A 和 7B 中可以看到，最好相互成角度地放置流动槽 30 和 32，一基片 24 的较小薄膜 25 将流动槽 30 的顶部与流动槽 32 的底部分隔。

在较佳的方面中，平面基片 14 是玻璃。使用玻璃的优点是可剥落、清洗和重复使用本弹性体结构。使用玻璃的又一优点是可使用光学检测。或者，平面基片 14 可以是一弹性体本身，在使用较高背压时，可证明其优越性。

可以对刚才叙述的制造方法进行变化，来形成一具有薄膜的结构，该薄膜包括一弹性体物质，该弹性体材料与形成装置的槽的侧壁的弹性体材料不同。图 7C-7G 示出了这种不同的制造方法。

请参见图 7C，该图中设有一第一微型加工模具 10。微型加工模具 10 具有一沿其延伸的凸条或突出部分 11。在图 7D 中，将第一弹性体层 20 铸在第一微型加工模具 10 的顶部，以使第一弹性体层 20 的顶部与凸条或突出部分 11 平齐。根据凸条 11 的已知高度，仔细地调节旋压成形至模具 10 上的弹性体材料的体积以实现所述情况。或者，也可用注塑模制来形成所需的形状。

在图 7E 中，也设有第二微型加工模具 12，该第二微型加工模具具有一沿其延伸的、凸起的突出部分 13。如图所示，第二弹性体层 22 铸在第二模具 12 的顶部，因而在其底面中形成对应于突出部分 13 的尺寸的凹部 23。

在图 7F 中，从模具 12 上去除第二弹性体层 22，并将第二弹性体层放置在第三弹性体层 222 的顶部。使用下面将详细叙述的技术，使第二弹性体层 22 粘合于第三弹性体层 20，以形成一体的弹性体块 224。在该过程中，凸条 13 先前所占据的凹部 23 将形成流动槽 23。

在图 7G 中，将弹性体块 224 放置在第一微型加工模具 10 和第一弹性体层 20 的顶部。然后弹性体块和第一弹性体层 20 相互粘合，形成一体的（即：单片的）弹性体结构 24，该结构具有一由分离的弹性体层 222 构成的薄膜。

结合图 7A，在以上述方式将弹性体结构 24 的底面密封于平面基片时，凸条 11 先前所占据的凹部将形成流动槽 30。

上面结合了图 7C-7G 示出的不同制造方法可提供允许薄膜部分由一分离的材料、而不是由剩余结构的弹性材料构成的优点。由于薄膜的厚度和弹性性能在装置的运行中起关键作用，因此该优点相当重要。此外，该方法可轻易地使分离的弹性体层处在与弹性体结构结合之前的条件下。如下面将详细讨论的那样，潜在的理想

条件的示例包括引入磁力或电力的引导物质来激励薄膜，和/或将掺杂剂引入薄膜以便改变其弹性。

虽然上面示出的方法与一微型加工模具顶部上的重复模制形成的多种成形的弹性体层有关，但本发明并不限于该技术。可采用其它技术来形成将要粘合在一起的、成形的弹性体材料的诸单层。例如，用激光切削或注塑模制，或利用化学蚀刻和/或牺牲材料的方法来形成弹性体材料的成形层，这将结合第二种示范性方法在下面进行讨论。

第二种示范性的方法

在图 8-18 所示的连续步骤中阐述了制造可用作泵或阀的弹性体结构的第二种示范性的方法。

在本发明的该方面，一弹性体层表面（或可以包括玻璃的其它基片）上的第一形成图案的光致抗蚀剂可形成流动及控制槽，所述弹性体层在需要槽之处形成一凸条形的光致抗蚀剂。然后，将第二弹性体层加在所述第一弹性体层上，第二光致抗蚀剂在第二弹性体层上形成图案，在需要槽之处形成一凸条形的光致抗蚀剂。将第三弹性体层置于第二弹性体层上。最后，使用一适当的溶剂溶解光致抗蚀剂，以使光致抗蚀剂去除出弹性体，去除光致抗蚀剂所形成的空隙将变成穿过基片的流动槽。

首先请参见图 8，该图中设有一平面基片 40。然后将一第一弹性体层 42 放置并固化在平面基片 40 的顶部。请参见图 9，然后将一第一光致抗蚀剂层 44A 放置在弹性体层 42 的顶部上方。请参见图 10，去除一部分光致抗蚀剂层 44A，以便只保留如图所示的第一光致抗蚀剂条 44B。请参见图 11，然后将一第二弹性体层 46 放置在第一弹性体层 42 的顶部上方以及如图所示的第一光致抗蚀剂条 44B 的上方，借此将第一光致抗蚀剂条 44B 装在第一弹性体层 42 和第二弹性体层 46 之间。请参见图 12，然后将固化在层 42 上的弹性体层 46 与诸层粘合在一起，以形成一单片的弹性体基片 45。

请参见图 13，然后将一第二光致抗蚀剂层 48A 放置在弹性体结构 45 的上方。请参见图 14，去除一部分第二光致抗蚀剂层 48A，只保留如图所示的在弹性体结构 45 顶部上的第二光致抗蚀剂条 48B。请参见图 15，然后将一第三弹性体层 50 放置在弹性体结构 45（包括第二弹性体层 42 和第一光致抗蚀剂条 44B）和如图所示的第二光致抗蚀剂条 48B 的顶部上方，借此将第二光致抗蚀剂条 48B 装在弹性体结构

45 和第三弹性体层 50 之间。

请参见图 16，然后将第三弹性体层 50 和弹性体结构 45（包括粘合在一起的第一弹性体层 42 和第二弹性体层 46）粘合在一起，形成一单片的弹性体结构 47，如图所示，该弹性体结构具有穿过所述弹性体结构的光致抗蚀剂条 44B 和 48B。请参见图 17，然后去除光致抗蚀剂条 44B 和 48B（例如使用一溶剂），以使一第一流动槽 60 和一第二流动槽 62 设置在它们的位置，并如图所示地穿过弹性体结构 47。最后请参见图 18，可从一体的单片结构的底部去除平面基片 40。

图 8-18 所述的方法利用封闭在弹性体材料中的光致抗蚀剂的发展来制造形成图案的弹性体结构。然而，本发明的方法并不限于使用光致抗蚀剂。诸如金属之类的其它材料也可用作牺牲材料，从周围的弹性体材料中有选择地去除牺牲材料的方法将保持在本发明的范围中。例如，可使用适当的化学混合剂对 RTV 615 弹性体中有选择地对金进行蚀刻，下面将结合图 35A-35D 进行详细地叙述。

层与槽的较佳尺寸

微型制造指的是本发明的实施例制造的弹性体结构的特征尺寸。通常将至少一种微型制造结构的尺寸变动控制在微米级别中，并且具有至少一种显微镜可见的尺寸（即 1000 微米以下）。微型制造通常包括半导体或 MEMS 制造技术，例如光蚀刻法和旋涂技术，对这些技术进行设计，以产生显微镜可见级别的特征尺寸，并且至少有一些微型制造结构的尺寸需要一显微镜以便合理地分辨/影像该结构。

在较佳方面，流动槽 30、32、60 和 62 的较佳宽深比约为 10: 1。根据本发明的实施例，宽深比的其它范围的非唯一的数列是 0.1: 1 至 100: 1，较佳的是 1: 1 至 50: 1，较佳的是 2: 1 至 20: 1，以及最佳的是 3: 1 至 15: 1。在一示范性的方面中，流动槽 30、32、60 和 62 的宽度约为 1 至 1000 微米。根据本发明的实施例，流动槽宽度的其它范围的非唯一的数列是 0.01 至 1000 微米，较佳的是 0.05 至 1000 微米，较佳的是 0.2 至 500 微米，较佳的是 1 至 250 微米，以及最佳的是 10 至 200 微米。示范性的槽的宽度包括 0.1 微米、1 微米、2 微米、5 微米、10 微米、20 微米、30 微米、40 微米、50 微米、60 微米、70 微米、80 微米、90 微米、100 微米、110 微米、120 微米、130 微米、140 微米、150 微米、160 微米、170 微米、180 微米、190 微米、200 微米、210 微米、220 微米、230 微米、240 微米和 250 微米。

流动槽 30、32、60 和 62 的深度约为 1 至 100 微米。根据本发明的实施例，

流动槽深度的其它范围的非唯一的数列是 0.01 至 1000 微米,较佳的是 0.05 至 500 微米,较佳的是 0.2 至 250 微米,以及较佳的是 1 至 100 微米,较佳的是 2 至 20 微米,以及最佳的是 5 至 10 微米。示范性的槽的深度包括 0.01 微米、0.02 微米、0.05 微米、0.1 微米、0.2 微米、0.5 微米、1 微米、2 微米、3 微米、4 微米、5 微米、7.5 微米、10 微米、12.5 微米、15 微米、17.5 微米、20 微米、22.5 微米、25 微米、30 微米、40 微米、50 微米、75 微米、100 微米、150 微米、200 微米和 250 微米。

流动槽并不限于这些特定的尺寸范围以及上面给定的示例,其宽度将可以变化以便影响偏转薄膜所需力的大小,下面将结合图 27 进行详细地讨论。例如,十分狭窄的流动槽约具有 0.01 微米的宽度,该流动槽可以用在光学及其它应用中,下面将进行详细地讨论。本发明还考虑到包括比上述流动槽宽的流动槽部分的弹性体结构,以及使用这种包括蓄液池和混合槽结构的较宽流动槽的应用示例。

为了机械的稳定性,可将弹性体层 22 铸厚。在一示范性的实施例中,层 22 的厚度为 50 微米至几厘米,较佳的厚度大约为 4 毫米。根据本发明的其它实施例,弹性体层的厚度范围的非唯一的数列约在 0.1 微米至 10 厘米、1 微米至 5 厘米、10 微米至 2 厘米、100 微米至 10 毫米之间。

因此,可隔开流动槽 30 和 32 的图 7B 的薄膜 25 的厚度通常约在 0.01 至 1000 微米,较佳的在 0.05 至 500 微米,较佳的在 0.2 至 250 微米,较佳的在 1 至 100 微米,较佳的在 2 至 50 微米,以及最佳的在 5 至 40 微米之间。这种弹性体层 22 的厚度约为弹性体层 20 的厚度的 100 倍。示范性的薄膜厚度包括 0.01 微米、0.02 微米、0.03 微米、0.05 微米、0.1 微米、0.2 微米、0.3 微米、0.5 微米、1 微米、2 微米、3 微米、5 微米、7.5 微米、10 微米、12.5 微米、15 微米、17.5 微米、20 微米、22.5 微米、25 微米、30 微米、40 微米、50 微米、75 微米、100 微米、150 微米、200 微米、250 微米、300 微米、400 微米、500 微米、750 微米和 1000 微米。

类似地,第一弹性体层 42 的较佳厚度约与弹性体层 20 或 22 的厚度相等;第二弹性体层 46 的较佳厚度约与弹性体层 20 的厚度相等;以及第三弹性体层 50 的较佳厚度约与弹性体层 22 的厚度相等。

多层软平版印刷术的构造技术和材料:

软平板印刷术粘合:

较佳的弹性体层 20 和 22 (或弹性体层 42、46 和 50) 可以化学的方式粘合在

一起, 并使用聚合体固有的化学性质来组成形成图案的弹性体层。粘合剂最好包括两部分“另外固化”的粘合剂。

在一较佳方面, 用不同成分构成的粘合剂将具有不同化学性质的多层弹性体结合在一起。或者, 在具有相同化学性质的所有层中使用均匀同质的粘合剂。第三, 用一粘合剂有选择地将相应的弹性体层胶合在一起。在第四方面中, 弹性体层可以通过加热粘合在一起的热固性弹性体。

在均匀同质的粘合剂的一方面中, 弹性体层由相同的弹性体材料构成, 一层中相同的化学实体与另一层中相同的化学实体发生反应以使诸层粘合在一起。在一实施例中, 由于光照、热量或者与一单独化学物质的化学反应, 类似弹性体层的聚合物链之间的粘合剂可由激活交联剂产生。

或者在不同成分构成的方面, 弹性体层由不同的弹性体材料构成, 一层中的第一化学实体与另一层中的第二化学实体发生反应。在一示范性的不同成分构成的方面, 用来将相应的弹性体层结合在一起的粘合过程可以包括将两层 RTV 615 硅酮粘合在一起。RTV 615 硅酮是两部分的另外固化的硅酮橡胶。部分 A 包括乙烯基组群和催化剂; 部分 B 包括硅氯化物 (Si-H) 组群。RTV 615 的传统比率是 10A: 1B。对于粘合剂, 可用 30A: 1B (即过量的乙烯基组群) 制成一层, 用 3A: 1B (即过量的 Si-H 组群) 制成另一层。分别对每一层进行固化。当两层互相接触并在高温下加热时, 它们将不可逆地粘合成一单片的弹性体基片。

在本发明的一示范性方面中, 使用 Sylgard 182、184 或 186 或者诸如 (但不限于) UCB Chemical 公司生产的 Ebecryl 270 或 Irr 245 之类的脂肪族二丙烯酸尿烷酯来形成弹性体结构。

在本发明的一实施例中, 用纯净的丙烯酸酯尿烷 Ebe 270 制造两层弹性体结构。在 170°C 的温度下, 以 8000 转/分的速度对一薄底层进行 15 秒的旋涂。最初使用 Electrolite 公司制造的型号为 ELC 500 的装置在氮气下使顶、底层在紫外光下固化 10 分钟。然后装配层还将固化另外 30 分钟。使用 Ciba-Geigy Chemicals 公司制造的 Irgacure 500 的 0.5% vol/vol 混合物对该反应进行催化。得到的弹性体材料可展现出适度的弹性并可附着在玻璃上。

在本发明的另一实施例中, 用 25% 的 Ebe 270/ 50% 的 Irr245/ 25% 的异丙醇的化合物作为薄底层, 用纯净的丙烯酸酯尿烷 Ebe 270 作为顶层, 来制造两层弹性体结构。最初使用 Electrolite 公司制造的型号为 ELC 500 的装置在氮气下使薄底层在紫外光下固化 5 分钟、顶层在紫外光下固化 10 分钟。然后将装配层固化另外

30 分钟。使用 Ciba-Geigy Chemicals 公司制作的 Irgacure 500 的 0.5%vol/vol 混合物对该反应进行催化。得到的弹性体材料可展现出适度的弹性并可附着在玻璃上。

或者，可使用包括激发弹性体表面的其它粘合方法，例如使用等离子曝露，以使弹性体层/基片在接触放置时粘合在一起。例如，在《分析化学》(1998), 70, 4974-4984 的“聚(二甲基硅氧烷)中的微型流体系统的快速制成原型”(Duffy 等人著)中阐述了一种将相同材料构成的弹性体层粘合在一起的可行方法，这里将援引该文作为参考。该论文讨论了聚二甲基硅氧烷(PDMS)层曝露在氧气等离子体中的会使表面氧化，而且在两氧化层接触放置时会发生不可逆的粘合作用。

而另一种将弹性体的连续层粘合在一起的方法是利用未固化弹性体的粘合性能。可将未固化弹性体的薄层(例如 RTV 615)特别地施加在第一固化弹性体层的顶部。随后，将第二固化弹性体层放置在未固化弹性体层的顶部。然后固化未固化弹性体层的中间薄层，以产生一单片的弹性体结构。或者，可将未固化弹性体施加在第一固化的弹性体层的底部，并且将第一固化弹性体层放置在第二固化弹性体层的顶部。固化中间薄层再次形成单片的弹性体结构。

在图 8-18 中，封闭的牺牲层可用来制造如上所述的弹性体结构，在先前固化的弹性体层以及任何在该弹性体层上形成图案的牺牲材料的上方灌注未固化的弹性体，可以实现连续弹性体层的粘合。由于一未固化弹性体层的聚合物链与一固化弹性体层的聚合物链之间相互渗透并反应，因此两弹性体层之间发生粘合。随后，弹性体层的固化将形成两弹性体层之间的粘合，并形成一单片的弹性体结构。

请参见图 1-7B 的第一种方法，以 2000 转/分的速度在微型制造模具 12 上对一 RTV 混合物进行 30 秒的旋涂，以形成一厚度约为 40 微米的第一弹性体层 20。在微型制造模具 11 上旋涂一 RTV 混合物，可以形成一第二弹性体层 22。在约 80 °C 的温度下分别对层 20 和 22 进行 1.5 小时的烘烤或固化。在约 80 °C 的温度下约 1.5 小时，可以将第二弹性体层 22 粘合在第一弹性体层 20 上。

微型制造模具 10 和 12 可以是在硅晶片上形成图案的光致抗蚀剂。在一示范性方面，使 Shipley SJR 5740 光致抗蚀剂以 2000 转/分的速度旋转形成图案，并带有一高清晰透明度的薄膜罩，然后发展获得一高度约为 10 微米的倒置槽。当光致抗蚀剂在约 200 °C 的温度下被烘烤约 30 分钟时，该光致抗蚀剂回流，倒置槽被弄圆。在较佳方面，在每次使用之前，用三甲基氯硅烷(TMCS)蒸汽对诸模具可以进行约一分钟的处理，以防止硅酮橡胶的粘合。

本发明人使用多种这里阐述的多层软平板印刷术的构造技术和材料，通过实验成功地形成了通道网络，该通道网络所包括的单独的弹性体层可达到七层的厚度，每一层的厚度约为 40 微米。可以预见到由超过七层单独的弹性体层粘在一起组成的装置可得到发展。

适当的弹性体材料：

Allcock 等人所著的《现代聚合体化学（第二版）》叙述了通常在其玻璃态转变温度和液化温度之间的一温度以聚合体形式存在的弹性体。由于聚合物链可轻易地承受扭转运动，因此弹性体材料可展现出弹性，以使主链响应于作用力而退卷，而且在力消失时主链将重新绕卷以恢复原先形状。通常在施加作用力时，弹性体发生变形，但在作用力去除时，它们回复至原来的形状。弹性体材料展现的弹性可由杨氏模量作为特征。本发明利用的弹性体材料的杨氏模量约在 1 帕- 1×10^{12} 帕之间，较佳的约在 10 帕- 100×10^9 帕之间，较佳的约在 20 帕- 1×10^9 帕之间，较佳的约在 50 帕- 10×10^9 帕之间，以及较佳的约在 100 帕- 1×10^9 帕之间，尽管还可以根据特定应用的需要来使用具有上述范围之外的杨氏模量的弹性体材料。

本发明的系统可由多种宽度的弹性体制成。在一示范性的方面，弹性体层 20、22、42、46 和 50 最好可以由硅酮橡胶制成。然而，也可使用其它适当的弹性体。

在本发明的一示范性方面，本系统由一弹性体聚合物制成，例如 GE RTV 615（成分）、一乙烯硅烷交联（型）硅酮弹性体（族）。然而，本系统并不限于这一成分、类型或该族聚合物；几乎任何弹性体聚合物都是合适的。对于本微型阀的最佳制造方法来说，最重要的要求是将多层弹性体粘合在一起的能力。在多层软平板印刷术的情况下，分别对多层弹性体进行固化，然后将它们粘结在一起。该方案需要固化层具有充分的反应能力，以便将它们粘合在一起。如果该多层属于同一类型，可将它们自身粘合在一起，如果它们属于两种不同的类型，则可将它们相互粘合。其它可能性包括在两层之间使用粘合剂以及使用热固弹性体。

如果在聚合物化学性质、产物母体、合成方法、反应条件和潜在添加剂的巨大差异性的情况下，有大量可行的弹性体系统可用来制造单片的弹性体微型阀或泵。使用材料的变化最有可能是由需要特定的材料特性而产生的，即耐溶剂性、刚度、透气性或温度稳定度。

有很多种弹性体聚合物。这里列出了最普通的弹性体种类的简单介绍，将它们示出的意图是即使具有相对“标准”聚合物，也还存在着许多关于粘合作用的可

能性。普通的弹性体聚合物包括聚异戊二烯、聚丁二烯、聚氯乙烯、聚异丁烯、聚（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯）、聚氨酯和硅酮。

聚异戊二烯、聚丁二烯、聚氯乙烯：

聚异戊二烯、聚丁二烯和聚氯乙烯都是由二烯系单体聚合而成，因此在聚合时，其每一单体具有一双键。硫化作用可使该双键允许聚合体转化成弹性体（实质上，通过加热使硫形成双键之间的交联）。通过结合的诸层的不完全硫化作用可方便地采用均匀同质多层软平版印刷术；一相似的机构将使封闭光致抗蚀剂成为可能。

聚异丁烯：

纯净的聚异丁烯没有双键，但通过在聚合作用中加入少量（~1%）的异戊间二烯使其交联成一聚合物。异戊间二烯单体在聚异丁烯的主链上给出下垂的双键，该主链将象上面那样进行硫化。

聚（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯）

活性阴离子的聚合作用产生聚（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯），（也就是说，反应步骤中没有天然端链步骤），因此“活性”聚合物的端部可存在于固化的聚合体中。使其成为本光致抗蚀剂封闭系统的天然候选者（灌注在固化层顶部的液体层中含有大量未反应单体）。不完全固化可采用均匀同质多层软平版印刷术（A 至 A 粘合）。该化学性质还可促使构成具有额外的丁二烯（“A”）和联结剂的一层，缺乏丁二烯的另一层（“B”）（对于异质多层软平版印刷术而言）。SBS 是“热固弹性体”，其含义是在某一温度之上发生熔化并变成塑料（与弹性相反）；降低温度可再次获得弹性体。因而，可通过加热将诸层粘合在一起。

聚氨酯：

聚氨酯是由二异氰酸酯（A-A）和二乙醇或二元胺（B-B）形成；由于二异氰酸酯和二乙醇/元胺的种类极多，因此聚氨酯的不同类型的数量巨大。然而，聚合物的 A 对 B 性质对异质多层软平版印刷术十分有用，正如 RTV 615 那样：在一层中使用过量的 A-A，在另一层中使用过量的 B-B。

硅酮：

硅酮聚合物可能具有最多的结构变化，而且几乎具有最大数量的可购得的成分。已经讨论过 RTV 615（它允许异质多层软平版印刷术以及光致抗蚀剂的封闭）的乙烯-（Si-H）的交联，但这只是硅酮化学聚合体中使用的若干交联方法之一。

交联剂：

除了使用上面讨论的简单的“纯净”聚合物以外，也可加入交联剂。一些试剂（类似关于硫化作用带有下垂双键的单体）适于同质（A至A）多层软平板印刷术或光致抗蚀剂的封闭；在这种方法中，将相同的试剂结合在两弹性体层中。互补剂（即带有下垂双键的单体和带有下垂 Si-H 组群的另一单体）适于异质（A至B）多层软平板印刷术。在该方法中，将互补剂加入相邻层中。

其它材料：

另外，也可使用结合有以下材料的聚合物：例如氯硅烷或甲基、乙基、苯基硅烷，以及诸如 Dow 化学公司生产的 Sylgard 182、184 或 186 之类的聚二甲基硅氧烷（PDMS），或者诸如（但不限于）UCB Chemical 公司生产的 Ebecryl 270 或 Irr 245 之类的脂肪族二丙烯酸尿烷酯。

下面是本发明可使用的弹性体材料的非唯一的名单：聚异戊二烯、聚丁二烯、聚氯乙烯、聚异丁烯、聚（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯）、聚氨酯和硅酮聚合物；或者聚（二（含氟氧烷基）膦腈）（PNF, Eypel-F）、聚（碳硼烷-硅氧烷）（Dexsil）、聚（丙烯腈-丁二烯）（丁腈橡胶）、聚（1-丁烯）、聚（三氟氯乙烯-亚乙烯基氟化物）共聚物（Kel-F）、聚（乙基乙烯基醚）、聚（亚乙烯基氟化物）、聚（亚乙烯基氟化物-六氟丙烯）共聚物（Viton）、聚氯乙烯（PVC）的弹性体成分、聚砜、聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）和聚四氟乙烯（Teflon）。

掺杂和稀释：

也可在弹性体中掺杂相同类别的、不可交联的聚合物链。例如可将 RTV 615 用 GE SF96-50 硅酮油稀释。这将减少未固化弹性体的粘性并降低固化弹性体的杨氏模量。实际上，添加“惰性”聚合物链会使可交联的聚合物链进一步伸展开来，因此称为“稀释”。在达到 90% 的稀释时，RTV 615 固化，并使杨氏模量急剧降低。

图 49 标出了在使用了 A：B 比率为 30：1 的 GE RTV 615 弹性体的 GE SF96-50 稀释剂时的杨氏模量与稀释百分比的关系。图 49 示出了可在装置的制造过程中对弹性体材料的柔性以及阀门薄膜对施加的驱动力的响应度进行控制。

掺杂弹性体材料的其它示例包括导电或磁性物质的引入，下面将结合驱动装置的薄膜的替代方法进行详细的叙述。如果需要的话，掺杂折射率与弹性体材料不同的细微粒（即二氧化硅、钻石、蓝宝石）也被考虑成用于改变材料折射率的系统。可加入强吸收或不透明颗粒以使弹性体着色或对入射辐射不透明。可以想象上述情况在一光学寻址系统中将十分有益。

最后，在弹性体中掺杂特定的化学物质可使这些掺杂的化学物质呈现在弹性

体表面上，因而可作为进一步化学衍生的定位点或起始点。

预处理和表面涂覆：

一旦将弹性体材料模制或蚀刻成合适的形状，可以需要对材料进行预处理，以便结合特定应用来促进运行。

例如，一种本发明的弹性体装置的可行应用是对生物实体进行分类，例如细胞或 DNA。在这种应用中，生物实体的疏水性质可使其附着于槽壁的疏水弹性体。因此，对弹性体结构进行预处理，以便将疏水特性赋予槽壁是十分有用的。在本发明的实施例中使用通用电气公司生产的 RTV 615 弹性体，在酸液（例如，水中含有 0.01% HCl、pH 值为 2.7、在 60°C 的温度下蒸煮 40 分钟）中蒸煮成形弹性体可实现上述作用。

本发明还考虑了其它类型的弹性体材料预处理。例如，可对弹性体的某些部分进行预处理以形成用于表面化学反应的固定位置（例如肽链的形成），或用于抗体的结合部位，这将在某些场合十分有利。弹性体材料预处理的其它示例包括将反射材料引入弹性体表面，这将结合微型镜面的排列应用在下面进行详细叙述。

本发明的操作方法

图 7B 和 7H 共同示出了对一第二流动槽加压以使一第一流动槽关闭的情况，图 7B（沿对应图 7A 的流动槽 32 切开的正剖视图）示出了一敞开的第二流动槽 30；图 7H 示出了对第二流动槽 32 加压以使第一流动槽 30 关闭的情况。

请参见图 7B，该图示出了第二流动槽 30 和第一流动槽 32。薄膜 25 分隔两流动槽，并形成第二流动槽 30 的顶部和第一流动槽 32 的底部。可以看到，第二流动槽 30 是“敞开”的。

从图 7H 中可以看到，对第二流动槽 32 加压（通过引入其中的气体或液体）可使薄膜 25 向下偏转，借此夹断流过第二流动槽 30 的流动 F。因此，改变槽 32 中的压力，可提供一实际为可线性开动的阀系统，以使根据需要来移动薄膜 25，使第二流动槽 30 打开或关闭。（只是为了示意，图 7G 所示的槽 30 处于一“几乎全部封闭”的位置，而不是一“完全封闭”的位置）。

应予理解的是可用流动槽 60 和 62 来精确地实现打开或关闭相同阀门的方法。由于移动槽顶自身的顶部（即移动薄膜 25）可驱动这种阀门，使用该技术生产的阀和泵不存在真正的无用容积，因此使用该技术制成的开关阀具有基本上与阀门的有效容积相等的无用容积，例如约为 $100 \times 100 \times 10$ 微米 = 100×10^{-12} 升。移动薄

膜所消耗的该无用容积和区域基本上比已知传统的微型阀小约两个数量级。本发明还考虑了较小或较大的阀和开关阀，无用容积范围的非唯一的数列包括 1×10^{-18} 升至 1×10^{-6} 升、 100×10^{-18} 至 100×10^{-9} 升、 1×10^{-15} 升至 10×10^{-9} 升、 100×10^{-15} 升至 1×10^{-9} 升和 1×10^{-12} 升至 100×10^{-12} 升。

本发明的泵和阀传送极小容积的能力可带来实质性的优点。尤其是，人工可以测量的已知流体的最小容积为 0.1 微升左右。自动系统可以测量的最小已知容积约将扩大十倍（1 微升）。使用本发明的泵和阀一般可测量及分配 10nl 或更小的液体容量。本发明可精确测量的极小流体容积在大量的生物学（包括诊断测试和化验）应用中具有极高的价值。

方程式 1 表示一高度简化的数学模型，该模型是将一压力施加于均匀厚度的矩形、线性、有弹性的、各向同性的平板的偏转的模型：

$$(1) \quad w = (BPb^4) / (Eh^3), \text{ 式中:}$$

w = 板的偏转；

B = 形状系数（取决于长宽比和板边缘的支承）；

P = 施加的压力；

b = 板的宽度；

E = 杨氏模量；以及

h = 板的厚度。

即使在这一极度简化的表达式中，弹性体薄膜响应于压力所产生的偏转是下列条件的函数：薄膜的长度、宽度和厚度、薄膜的柔度（杨氏模量）以及施加的驱动力。由于每一所述参数将根据本发明的特定弹性体装置的实际尺寸和物理成分发生巨大的变化，因此本发明将考虑到薄膜的厚度和弹性、槽的宽度以及驱动力的较宽范围。

由于薄膜的厚度通常是不均匀的，与薄膜的长度和宽度相比，其厚度并非很小，与薄膜的长度、宽度或厚度相比，薄膜的偏转也并非很小，因此应予以理解的是刚才所示的公式只是一估计值。然而，该方程式可作为一用来调节可变参数的有用指引，以获得理想的对施加的力的偏转响应。

图 21a 和 21b 示出了一 100 微米宽的第一流动槽 30 和一 50 微米宽的第二流动槽 32 的阀门开口与施加压力的关系。一层通用电气公司生产的硅酮 RTV 615 形成该装置的薄膜，所述硅酮层的厚度约为 30 微米，杨氏模量约为 750 千帕。图 21a 和 21b 示出了阀门的打开程度在施加压力的大部分范围中基本呈线性。然而，本发

明不需要这种线性驱动性能，这里将插入本发明的实施例。

通过一根 10 厘米长的塑料管施加空气压力，以驱动装置的薄膜，该根塑料管的外径为 0.025 英寸，它与一根 25 毫米长的、外径为 0.025 英寸、内径为 0.013 英寸的不锈钢皮下注射管相连。将该管沿垂直于控制槽的方向插入弹性体块，使其与控制槽相接触。空气压力将通过一 Lee 公司制造的外部 LHDA 微型电磁阀施加于皮下注射管。

传统的微型流体装置与外部流体流的连接会产生许多问题，刚才所述的外部结构可避免这些问题。问题之一是与外部环境的连接十分脆弱。特别是传统的微型流体装置由坚硬的、不可弯曲的材料（例如硅）构成，将与外部元件相连的管道或管子必须连接到该材料。传统材料的刚性在接触点上产生巨大的物理应力，所述接触点与小的、脆弱的外部管道接触，致使传统的微型流体装置在这些接触点处易于发生破裂和渗漏。

相反地，本发明的弹性体具有柔性，可轻易地被坚硬的材料构成的管子穿透用于外部连接。例如，在使用图 1-7 所示方法制造的弹性体结构中，在从模具上去除上弹性体片之后（如图 3 所示）、在将该片粘合于下弹性体片之前（如图 4 所示），将金属的皮下注射管穿过弹性体，能够形成从结构的外表面伸入控制槽的一孔。在这些步骤之间，控制槽的顶部暴露于使用者的视线，并可用于插入以及到达孔的正确定位。在完成装置的制造之后，将金属的皮下注射管插入孔中，以完成流体连接。

此外，本发明的弹性体将响应于外部连接的接触点处的物理应力发生挠曲，以使外部的物理连接更加坚固。该柔性基本上可减少本装置发生渗漏或破裂的可能性。

传统的微型流体装置的另一缺点是很难在装置及其外部连接之间建立一有效的密封装置。由于这些装置的槽的直径十分狭窄，因此即使流体以中等速度流动，也需要十分高的压力。装置和外部连接之间的连接处会产生不需要的渗漏。然而，本装置的弹性体的柔性也可有助于克服与压力相关的渗漏。尤其是可弯曲的弹性体材料会产生挠曲以便于周围的插入管一致，因而形成一耐压的密封装置。

虽然至此为止已叙述了利用施加的空气压力来控制通过装置的材料流动，但也可使用其它流体。例如，空气是可压缩的，因而会经历在外部电磁阀施加压力时和薄膜经受该压力时之间的有限延迟。在本发明的另一实施例中，可从一外部源向诸如水或液压油之类不可压缩的流体施加压力，造成向薄膜接近瞬时地传送施加的压力。然而，如果阀门的排出容积较大或控制槽较窄，控制流的高粘性将有助于驱

动的延迟。因此，传送压力的最佳介质将取决于特定应用和装置构造，本发明还考虑了气态和液态的介质。

虽然泵/槽系统已经通过一压力调节器和外部微型阀施加了上述外部施加压力，但本发明还考虑了施加外部压力的其它方法，包括储气罐、压缩机、活塞系统和液柱。还考虑到使用自然产生的压力源（例如在生物机体内部形成的压力源），例如血压、胃压、存在于脑脊髓流体之中的压力、存在于眼内空间的压力以及肌肉在正常屈曲期间施加的压力。还考虑到调节外部压力的其它方法，例如微型阀、泵、宏观的蠕动泵、节流阀以及本技术领域内已知的其它类型的流体调节装备。

可以看到，对本发明实施例的阀进行试验，所示阀的响应度在其移动的大部分范围中几乎完全为线性，而且迟滞性最小。因此，该阀完全适合微型流体测量和流体控制。阀响应的线性证明单个阀门是虎克定律的极好模型。此外，增加驱动压力能够简单地抵抗流动槽中的高压（即背压）。通过实验，本发明人可使阀门在 70 千帕的背压下关闭，但更高的压力也在考虑之中。下面是本发明所包括的背压的非唯一的系列：10 帕至 25 兆帕、100 帕至 10 兆帕、1 千帕至 1 兆帕、1 千帕至 300 千帕、5 千帕至 200 千帕和 15 千帕至 100 千帕。

虽然阀和泵不需要线性驱动力来打开和关闭，但线性的响应度无法更加方便地将阀门作为测量装置。在本发明的一实施例中，部分地将阀的开度驱动到已知的闭合程度，以使用阀的开度来控制流动速率。线性的阀门驱动可更为容易地确定将阀门关闭为所需闭合程度需要的驱动力的数量。线性驱动的另一益处是可以通过流动槽中的压力来容易地确定阀门驱动需要的力。如果驱动是线性的，将相同压力（每一单位面积上的力）施加于阀的驱动部分，可以抵抗流动槽中所增加的压力。

阀的线性取决于结构、组成和阀门结构的驱动方法。此外，线性是否是阀门的理想特性将取决于实际应用。因此，线性和非线性的驱动阀门都在本发明的考虑之中，阀线性驱动的压力范围将随着特定实施例发生变化。

图 22 示出了如上所述的 100 微米×100 微米×10 微米的 RTV 微型阀的时间响应（即：阀的闭合是响应于施加压力变化的时间函数），所述微型阀带有从芯片连接到气动阀的 10 厘米长的空气管。

图 22 所示的是数字控制信号的两个时期，该信号是管和阀门开口的端部处的实际空气压力。施加在控制线上的压力为 100 千帕，该压力显著高于阀门关闭所需的压力~40 千帕。因此，当阀门关闭时，大于所需压力的 60 千帕的压力将推动阀门关闭。然而，当阀门打开时，阀门自身的弹力（≤40 千帕）只能使其退回静止

位置。因此， τ_{close} 将小于 τ_{open} 。由于使用微型阀来控制压力具有局限性，因此在控制信号和控制压力响应之间也存在一滞后。将该滞后称为 t ， $1/e$ 称为时间常数 τ ，所述数值为： $t_{open}=3.63$ 毫秒、 $\tau_{open}=1.88$ 毫秒、 $t_{close}=2.15$ 毫秒、 $\tau_{close}=0.51$ 毫秒。如果将每次打开和关闭估计为 3τ ，那么当阀中充满水溶液时，该阀可在 75 赫兹下轻松自如地运行。

如果使用另一种不会受到打开和关闭滞后影响的驱动方法，那么该阀门可运行在 ~ 375 赫兹下。请注意可通过改变薄膜的厚度来调节弹性常数；该调节对快速打开或快速关闭十分有利。也可通过改变薄膜的弹性（杨氏模量）来调节弹性常数，例如将掺杂剂引入薄膜或利用不同的弹性体材料构成薄膜（上面已结合图 7C-7H 进行了叙述）也是可行的方法。

如图 21 和 22，在通过实验测量阀门性能之时，使用荧光来测量阀门的开度。在这些实验中，流动槽中充满缓冲剂中的异硫氰酸盐荧光素（FITC）（ $\text{pH} \geq 8$ ），荧光的面积占据槽中心面积的 $1/3$ ，并在表面荧光的显微镜以及具有 10 千赫兹带宽的光电倍增管中对该槽进行监控。通过几乎相同的气动连接，由同时用控制线增压的惠斯顿电桥压力传感器（SenSym SCC15GD2）来监控压力。

流动槽的横截面

根据它们的应用要求，可任意地将本发明的流动槽的横截面设计成不同的尺寸和形状，提供不同的优点。例如，下流动槽的横截面形状可有弯曲的顶面（沿其全长或者在上横向槽下方的区域中）。如下所述，这种弯曲的顶面有助于阀门的密封。

请参见图 19，该图中示出了沿流动槽 30 和 32 截取的横截面图（类似于图 7B）。可以看到，流动槽 30 的横截面形状为矩形。在本发明的另一较佳方面，如图 20 所示，流动槽 30 的横截面有一上曲面。

首先请参见图 19，在对流动槽 32 进行加压时，分隔流动槽 30 和 32 的弹性体块 24 的薄膜部分 25 向下移动至虚线 25A、25B、25C、25D 和 25E 所示的顺序位置。可以看到，靠近平面基片 14 的流动槽 30 的边缘有可能会产生不完全的密封。

在图 20 的可替代的较佳实施例中，流动槽 30a 具有一弯曲顶壁 25A。在对流动槽 30a 加压时，薄膜部分 25 将向下移动至虚线 25A2、25A3、25A4 和 25A5 所示的连续位置，薄膜的边缘部分将首先移入流动槽，薄膜的顶部将随后移入。薄膜 25A 的这种弯曲顶面的优点是：在对流动槽 32 加压时，会形成更完全的密封。尤

其是流动槽 30 的顶壁将形成抵靠在平面基片 14 上的连续接触边缘,因而可避免图 19 在侧壁 25 和流动槽 30 的底部之间可见的接触“岛”。

具有一弯曲的流动槽顶面的薄膜 25A 的另一优点是:薄膜可响应于驱动,更为方便地与流动槽的形状和容积一致。尤其是在该处使用矩形流动槽必须将整个周长($2 \times$ 流动槽高度+流动槽宽度)强行压入流动槽。然而,在该处使用弧形的流动槽必须将材料的较小周长(只有半圆形的弧形部分)强行压入槽中。使用该方式,只需对用于驱动的薄膜周长作较小的变化,因而可更好地响应于施加的驱动力来阻塞流动槽。

在另一方面中(图中未示出),流动槽 30 的底部是弄圆的,以使其曲面与上述图 20 所示的曲形顶壁 25A 配合。

总之,被驱动的薄膜所受的实际形态变化取决于特定弹性体结构的构造。形态变化尤其将取决于薄膜轮廓的长度、宽度和厚度、它与其他结构的附连装置、流动及控制槽的高度、宽度和形状以及弹性体使用的材料的性能。由于与薄膜响应于施加压力的致动与响应于磁性或静电力的致动略有不同,因此形态变化可以取决于驱动的方法。

此外,薄膜中理想的形态变化还会根据弹性体结构的特定应用产生变化。在上述最简单的实施例中,阀门可以打开或关闭,以测量阀门闭合的控制程度。然而,在其它实施例中,更为理想的是改变薄膜和/或流动槽的形状,以便实现更复杂的流动规则。例如,流动槽可以在薄膜部分的下方设置有一凸起的突出部分,因而薄膜在驱动力的作用下可关闭一定百分比的通过流动槽的流体,并且流体的阻塞百分比对施加的驱动力不敏感。

本发明考虑了多种薄膜的厚度轮廓和流动槽横截面,包括矩形、梯形、圆形、椭圆形、抛物线形、双曲线形和多边形,以及上述形状的剖面。本发明还考虑了更复杂的横截面形状,例如上面刚刚讨论到的具有突出部分的实施例,或者在流动槽中具有凹处的实施例。

可替代的阀门驱动技术

除了基于上述驱动系统的压力以外,还考虑了可任选的静电和磁性驱动系统,如下所述。

在单片的弹性体结构中直接导入相反电荷的电极(在将电压差施加在电极上时,电极将趋于相互吸引)可实现静电驱动。例如,请参见图 7B,将一可任选的

第一电极 70（以虚线示出）放置在薄膜 25 上（或中），并且将一可任选的第二电极 72（同样以虚线示出）放置在平面基片 14 上（或中）。当电极 70 和 72 充有相反极性时，两电极之间的引力将使薄膜 25 向下偏转，藉此使“阀门”关闭（即：关闭流动槽 30）。

为使薄膜电极充分地导电以支持静电驱动，但在机械上不过于僵直会阻碍阀门的运动，因此必须在薄膜 25 中或上方设有一足够柔软的电极。可在这种电极上设置一较薄的金属镀层，在聚合物中掺杂导电材料，或用导电材料制成表面层。

在一示范性的方面，用诸如溅射一薄金属层（例如 20 纳米的金）之类的方法可设置一薄金属镀层，该金属薄层可设置在使薄膜偏转的电极上。除了通过溅射来形成金属镀膜以外，还可使用其它的金属化法，例如化学外延、蒸发、电镀和化学镀。还可使用物理的方法将金属层转移至弹性体的表面，例如将一金属蒸发在附着性能较差的平面基片上，然后将弹性体放置在金属上并使金属从基片上剥落。

在干燥粉末上擦拭或者将弹性体暴露在浮有炭黑的、使弹性体膨胀的溶剂中（例如在 PDMS 情况下的氯化溶剂），使炭黑（即 Cabot Vulcan XC72R）沉积在弹性体表面上，也可以形成一导电电极 70。或者，在弹性体外部的整层结构 20 中掺入导电材料（即炭黑或细微分开的金属微粒）以形成电极 70。再或者，通过静电积附或化学反应产生的碳来形成电极。在本发明人进行的实验中，所示导电性随着炭黑的浓度从 5.6×10^{-16} 至约 5×10^{-3} （欧姆-厘米）⁻¹ 逐渐增加。无需移动的较低电极 72 可以是上述的柔顺性电极，也可以是一传统的电极，例如蒸发的金、一金属板或一掺杂半导体的电极。

或者，可使用磁极化的材料（例如铁）或永磁性材料（例如极化的 NdFeB）来制造分隔流动槽的薄膜，以实现流动槽的磁性驱动。在本发明人所进行的实验中，加入重量达到铁的 20% 的铁粉（微粒的尺寸约为 1 微米）可形成具有磁性的硅酮。

薄膜由磁极化的材料制成的场合，响应于施加磁场的吸引力可以驱动该薄膜。薄膜由保持永磁性的材料制成的场合，首先将材料放置在足够高的磁场中，使该材料得到磁化，然后根据所施加的不均匀的一磁场的极性产生吸引力或排斥力，来驱动所述薄膜。

可用多种式产生驱动薄膜的磁场。在一实施例中，用一非常小的感应线圈在弹性体薄膜中或附近产生磁场。该磁性线圈的驱动作用是局部性的，可驱动单个泵和/或阀结构。或者，可用一更大、更强的源产生磁场，该情况下的驱动是全局性的，可同时驱动多个泵和/或阀结构。

还可以将压力驱动与静电或磁性驱动相结合。尤其是可静电或磁性地驱动与凹部流体连通的风箱结构来改变凹部中的压力，并因而驱动一靠近凹部的薄膜结构。

除了上述电力或磁性驱动以外，本发明还考虑了可任选的电解和动电驱动系统。例如，薄膜上方的凹部中的电解反应可引起薄膜上的驱动压力。在该实施例中，凹部中的电极会将电压加在凹部中的电解液的两端。该电位差将在电极处产生电化学反应，并导致气体物质的产生，引起凹部中的压力差。

或者，控制槽中的动电流体可产生薄膜上的驱动压力。在该实施例中，控制槽的相对端部处的电极将电位势差加在控制槽中的电解液的两端。电解液中的电荷物质向相应的电极迁移，可引起压力差。

最后，还可藉助热膨胀或液体中产生气体，通过引起基于热能应用的控制槽中的流体流可驱动装置。类似地，化学反应所产生的气态产物可使足以驱动薄膜的压力增加。

网络系统

图 23A 和 23B 是单个开/关阀的示意图，该阀等同于上面阐述的系统（例如如图 7A 中的系统）。图 24A 和 24B 示出了一蠕动泵系统，该系统包括多个图 23 所示的可寻址的单个开/关阀，但所述阀通过网络连接在一起。图 25 是一曲线图，该曲线图示出了通过实验获得的泵的速率与图 24 的蠕动泵系统的频率的关系。图 26A 和 26B 是多条流动槽的示意图，一单根控制线可控制所述流动槽。该系统还包括多个图 23 的可寻址的单个开/关阀，这些阀被多路地连接在一起，但其排列与图 23 中的排列不同。图 27 是一可使流体通过选定槽流动的多路连接系统的示意图，该系统包括多个图 23 的单个开/关阀，所述单个阀结合或通过网络连接在一起。

首先请参见图 23A 和 23B，该图中示出了流动槽 30 和 32 的示意图。最好有一流体（或气流）F 通过流动槽 30。对流动槽 32（这里已经解释过，流动槽 32 横穿过流动槽 30）进行加压，以便将分隔两流动槽的薄膜 25 压入流动槽 30 的通道中，如同已经解释的那样，切断流过该槽的流体 F 的通路。因而，也可将“流动槽”32 称作在流动槽 30 中驱动单个阀的“控制线”。在图 23 至 26 中，以多种设置方式将多个这种可寻址阀结合或通过网络连接在一起，形成可蠕动抽取流体的泵，以及其它流体的逻辑应用。

请参见图 24A 和 24B，该图中设有一用于蠕动泵的系统，如下所述。一流动槽

30 具有多条大致平行的、通过其上的流动槽（即：控制线）32A、32B 和 32C。对控制线 32A 加压，在薄膜 25A 下方的控制线 32A 和流动槽 30 相交处切断流过流动槽 30 的流体 F。相似地（但图中未示出），对控制线 32B 加压，在薄膜 25B 下方的控制线 32B 和流动槽 30 的相交处切断流过流动槽 30 的流体 F 等等。

每一控制线 32A、32B 和 32A 都可单独寻址。因此，用 32A 和 32C 共同驱动的模式来驱动蠕动泵，随后用 32A 驱动，随后用 32A 和 32B 共同驱动，随后用 32B 驱动，随后用 32B 和 C 共同驱动等等。该过程对应于一连续的“101, 100, 110, 010, 011, 001”模式，其中“0”表示“阀门打开”、“1”表示“阀门关闭”。该蠕动模式也被称为 120° 模式（涉及三只阀门之间的驱动相位角）。其它蠕动模式也是可行的，包括 60° 和 90° 模式。

在本发明人完成的实验中，通过测量细管（内径为 0.5 毫米）中的水柱的行进距离可测量 2.35×10^{-9} 升/秒的泵送速率；而且在驱动压力为 40 千帕下的阀为 $100 \times 100 \times 10$ 微米。泵送速率将随着驱动频率而增加，直至频率为 75Hz 左右，然后泵送速率将基本不变，直至频率在 200Hz 以上。阀和泵十分坚固耐用，没有发现弹性体薄膜、控制槽或粘合出现失效的情况。在本发明人完成的实验中，这里所述的蠕动泵中的阀门在超过四百万次驱动之后没有任何磨损或疲劳的迹象。除耐久性以外，它们也是和缓的。从槽中泵送的 E. Coil 溶液经过测试后显示有 94% 的存活率。

图 25 是一曲线图，该曲线图示出了通过实验获得的泵送速率与图 24 的蠕动泵系统的频率的关系曲线。

图 26A 和 26B 示出了装配多个图 21 的可寻址阀的另一方式。特别是设置多个平行的流动槽 30A、30B 和 30C。流动槽（即：控制线）32 从其上横越过流动槽 30A、30B 和 30C。通过下压位于控制线 32 和流动槽 30A、30B 和 30C 的相交处的薄膜 25A、25B 和 25C，对控制线 32 加压并同时切断流体 F1、F2 和 F3。

图 27 是一可有选择地使流体流过选定槽的多路连接系统的示意图，如下所述。从其上通过的一控制线分隔相应的流动槽的薄膜将向下偏转（例如图 26A 和 26B 中的薄膜 25A、25B 和 25C）完全取决于薄膜的尺寸。因此，通过改变图 26A 和 26B 中的流动槽控制线 32 的宽度，可使控制线穿过多条流动槽的上方，然而仅驱动（即：密封）需要流动槽。图 27 示出了这种系统的示意图，如下所述。

将多条平行的流动槽 30A、30B、30C、30D、30E 和 30F 定位在多条平行的控制线 32A、32B、32C、32D、32E 和 32F 的下方。控制线 32A、32B、32C、32D、32E 和

32F 可使用任何一种具有以下修改的上述阀系统来切断通过平行流动槽 30A、30B、30C、30D、30E 和 30F 的流体流 F1、F2、F3、F4、F5 和 F6。

每一控制线 32A、32B、32C、32D、32E 和 32F 都具有宽部和窄部。例如，控制线 32A 的加宽部分位于流动槽 30A、30C 和 30E 的上方。类似地，控制线 32B 的加宽部分位于流动槽 30B、30D 和 30F 的上方，控制线 32C 的加宽部分位于流动槽 30A、30B 和 30E 和 30F 的上方。

在相应的控制线加宽处，对其加压可将隔离流动槽和控制线的薄膜 25 明显地压入流动槽，藉此阻塞流体流动的通道。相反地，在相应的控制线变窄处，薄膜 25 也将变窄。因此，相同程度的加压不会将薄膜 25 压入流动槽 30。因此，不会阻塞下方的流体通道。

例如，在对控制线 32A 加压时，它将阻塞流动槽 30A、30C 和 30E 中的流动 F1、F3 和 F5。类似地，在对控制线 32C 加压时，它会阻塞流动槽 30A、30B、30E 和 30F 中的流动 F1、F2、F5 和 F6。可以理解的是，可同时驱动一根以上的控制线。例如，可对控制线 32A 和 32C 同时加压，以阻塞除 F4 之外的所有流体流（32A 阻塞 F1、F3 和 F5；32C 阻塞 F1、F2、F5 和 F6）。

有选择地对不同控制线 32 进行共同地和多种顺序地加压，可以最大程度地控制流体流。此外，通过将本系统扩充为超过六条平行的流动槽 30 和超过四条平行的控制线 32，通过改变控制线的加宽区域和变窄区域的位置，可制造更加复杂的流体控制系统。这种系统的特性是只用 $2(\log_2 n)$ 条控制线即可控制 n 条流动槽中的任何一条。

本发明人已经成功地制造出密度为 30 只装置/毫米²的微型流体结构，但还可得到更大的密度。

沿流线的选择性可寻址反应室：

如图 28A、28B、28C 和 28D 所示，在本发明的又一实施例中，设有一将流体流选择性地导入一或多个沿流线布置的反应室的系统。

图 28A 示出了一流动槽 30 的俯视图，沿该流动槽布置有多个反应室 80A 和 80B。较佳的流动槽 30 和反应室 80A 和 80B 可共同地在弹性体的第一层 100 的底面中形成凹部。

图 28B 示出了另一弹性体层 110 的仰视图，该弹性体层 110 具有两条通常较窄的控制线 32A 和 32B，但所述控制线的加宽部分 33A 和 33B 在弹性体中形成凹部。

在图 28C 的分解示意图和图 28D 的组装示意图中可以看到，弹性体层 110 位于弹性体层 100 的上方。层 100 和 110 粘合在一起，一体的系统运行时有选择地将流体 F（通过流动槽 30）导入反应室 80A 和 80B 之一或两者，如下所述。对控制线 32A 的加压会使薄膜 25（即：位于延伸部分 33A 下方和反应室 80A 的区域 82A 上方的弹性体层 100 的较薄部分）受压，从而切断区域 82A 中的流体通道，并有效地将反应室 80 与流动槽 30 密封开来。还可以看到，延伸部分 33A 宽于控制线 32A 的其余部分。因而，对控制线 32A 的加压不会导致控制线 32A 密封流动槽 30。

可以理解的是，可立即驱动控制线 32A 和 32B 之一或全部。在对控制线 32A 和 32B 共同加压时，流动槽 30 中的取样流体不会进入任一反应室 80A 或 80B。

选择性地控制流体以将流体引入沿流线（图 28）布置的多个可寻址反应室的概念可以与选择性地控制流体以使流体通过一或多根平行流线（图 27）的概念相互结合，以产生将一或多个取样流体能被送入一排反应室中的任一特定反应室的系统。图 29 提供了这种系统的示例，如上所述，具有延伸部分 34（均以虚线示出）的平行控制槽 32A、32B 和 32C 有选择地将流体流 F1 和 F2 引入一排反应井 80A、80B、80C 或 80D 中的任何一个；而控制线 32C 和 32D 的加压可有选择地分别切断流动 F2 和 F1。

然而在另一新实施例中，平行流动槽之间的流体通道是可行的。请参见图 30，可以降低控制线 32A 或 32D 之一或全部的压力，以使流体流过横向通道 35（在平行流动槽 30A 和 30B 之间）。在本发明的该方面，对控制线 32C 和 32D 加压可切断 35A 和 35B 之间的流动槽 30A，也可切断横向通道 35B。因而，以 F1 流入的流体将继续流经 30A、35A，并以流体 F4 流出 30B。

可转换的流动排列

然而在另一新实施例中，可以有选择地沿两垂直方向之一将流体引入通道。图 31A 至 31D 提供了这种“可转换的流动排列”系统的示例。图 31A 示出了弹性体 90（或任何适当的基片）的第一层的仰视图，该弹性体的底面具有一排固体支柱 92 形成的凹部图案，并形成流动槽的栅格，该流动槽通过每一立柱的周围。

在较佳方面，将弹性体的附加层结合在层 90 的顶面，以便有选择地沿方向 F1 或垂直方向 F2 引导流体移动。图 31 是弹性体 95 的第二层底面的仰视图，该图示出了交替的“垂直”控制线 96 和“水平”控制线 94 的形状形成的凹部。如图所示，“垂直”控制线 96 的宽度相同，而“水平”控制线 94 具有交替的宽部和窄部。

将弹性体层 95 放置在弹性体层 90 的顶部上方, 以使如图 31C 所示, “垂直”控制线 96 位于支柱 92 的上方, 以及如图 31D 所示, “水平”控制线 94 用宽部位于支柱 92 之间。

图 31C 中可以看到, 在“垂直”控制线 96 加压时, 最初位于层 90 和 95 之间的区域 98 中的弹性体层形成的一体结构的薄膜将向下偏转在一排流动槽上方, 因而流体只能沿如图所示的流动方向 F2 通过。

图 31D 中可以看到, 在“水平”控制线 94 加压时, 最初位于层 90 和 95 之间的区域 99 中的弹性体层形成的一体结构的薄膜将向下偏转在一排流动槽上方 (但只是在最宽的区域中), 因而流体只能沿如图所示的流动方向 F1 通过。

图 31 所示的设计只允许用两弹性体层构成一转换流动排列, 并且不需要通过不同弹性体层中的控制线之间的垂直通道。如果将所有的垂直流动控制线 94 连接起来, 它们将通过一输入口加压。将所有水平流动控制线 96 连接起来也将是相同的情况。

生物聚合物合成

本弹性体阀结构还可以用于生物聚合物的合成, 例如, 合成低聚核苷酸、蛋白质、肽、DNA 等。在一较佳方面, 这种生物聚合物合成系统包括一综合系统, 该系统包括一系列蓄液池; 用于从特定蓄液池中选择流体的流体逻辑装置 (根据本发明); 一系列槽或蓄液池, 可以在该槽或蓄液池中完成合成; 以及流体逻辑装置 (同样根据本发明), 该装置可用于确定选定反应物所流入的槽。图 32 中示出了这种系统 200 的示例, 如下所述。

如图所示, 分别具有基部 A、C、T 和 G 的四蓄液池 150A、150B、150C 和 150D 位于该系统中。四流动槽 30A、30B、30C 和 30D 与蓄液池 150A、150B、150C 和 150D 相连。将四控制线 32A、32B、32C 和 32D (以虚线示出) 放置成与流动槽交叉, 并且在控制线 32A 加压时, 控制线 32A 只允许流体流过流动槽 30A (即: 密封流动槽 30B、30C 和 30D)。类似地, 在控制线 32B 加压时, 它只允许流体流过流动槽 30B。因而, 有选择地对控制线 32A、32B、32C 和 32D 加压, 随后从所需蓄液池 150A、150B、150C 和 150D 中选择所需基部 A、C、T 和 G。那么, 流体将通过流动槽 120 流入多路通道流量控制器 125, (包括诸如图 26A 至 31D 所示的任何系统), 该控制器将流体依次导入一或多个可实现固相合成的合成槽或室 122A、122B、122C、122D 和 122E。

图 33 示出了该系统的另一扩充应用，其中多个蓄液池 R1 至 R13（可以包括基部 A、T、C 和 G，或任何其它可用于组合化学的反应物）与图 32 阐述的系统 200 相连。系统 200 与多路通道流量控制器 125 相连，（包括诸如图 26A 至 31D 所示的任何系统），该控制器与可转换的流动排列依次相连（例如图 31 所示）。该系统的一优点是相同的压力输入 170 和 172 可以控制多路通道流量控制器和流体选择系统 200，只要还提供一“接近水平”和一“接近垂直”的控制线（160 和 162，图中以虚线示出）。

在本发明的又一可替代方面，可使用多个多路通道流量控制器（例如 125），每一流量控制器最初相互堆叠在不同的弹性体层的上方，弹性体层之间具有垂直通路和连接（可以通过以下方法产生：使用平版印刷术在弹性体层顶部的抗蚀层上形成图案，然后蚀刻弹性体，最后在加入弹性体的最后一层之前去除抗蚀剂）。

例如，在一微型加工模具上蚀刻一向下通至凸条的孔，可以在弹性体层中形成一垂直通路，并粘结下一层，以使槽通过孔的上方。在本发明的该方面，可以使用多个多路通道流量控制器 125 进行复合合成。

粘结模制弹性体的连续层，形成图 34 所示的多层结构，该多层结构是一由七层弹性体构成的、测试结构的截面的光学显微照相。图 34 的定标线条为 200 微米。

图 35A-35D 所示的是一种利用在多层结构中制造具有垂直通道特征的弹性体层的方法。图 35A 示出了微型加工模具 3502 上方的弹性体层 3500 的形成，所述微型加工模具包括凸条 3502a。

图 35 示出了弹性体层 3500 上方的金属蚀刻阻塞层 3504 的形成，将形成图案的光致抗蚀掩膜 3506 放置在蚀刻阻塞层 3504 的上方，以便将遮盖区域 3508 覆盖并使未遮盖区域 3510 保持外露。图 35C 示出了接触溶剂的部分，该溶剂可去除未遮盖区域 3510 中的蚀刻阻塞层 3504。

图 35D 示出了形成图案的光致抗蚀剂的去除，随后对未遮盖区域 3510 中的底部弹性体层 3500 进行蚀刻，以形成垂直通道 3512。随后根据周围的弹性体 3500 和模具 3502，使用溶剂接触的方法有选择地去除遮盖区域 3508 中的剩余蚀刻阻塞层 3504。于是，多层软平版印刷术使该弹性体层与一弹性体结构结合。

可以根据需要重复这一系列步骤，以形成具有所需数量和方向的垂直通道的多层结构，所述垂直通道位于连续弹性体层的诸槽之间。

本发明的发明人成功地使用有机溶剂中含氟的 Tetrabutylammonium 毫摩尔溶剂蚀刻出一通过 GE RTV 615 层的通道。可将金作为蚀刻阻塞材料，利用一 $KI/I_2/H_2O$

混合物可选择地将金从 GE RTV 615 上去除。

或者，可利用一负遮盖技术来形成连续弹性体层中的诸槽之间的垂直通道。在该方法中，在一金属箔片的负遮片上形成图案，金属箔片随后将抑制蚀刻阻塞层的形成。如上所述，一旦在蚀刻阻塞层材料上形成图案，将去除负向金属箔片的遮盖，以便有选择地蚀刻弹性体。

在另一方法中，应用施加的激光束所发出的辐射，使弹性体材料烧熔，以在弹性体层中形成垂直通道。

虽然上述方法与生物聚合物的合成相关，但本发明并不限于该应用。本发明还可以在多种组合化学的合成方法中起作用。

其它应用

本单片的微型制造弹性体阀和泵的有利应用为数众多。因此，本发明并不限于任何特定的应用或其使用。在较佳方面，本发明考虑了下面的使用和应用。

1. 细胞/DNA 分类

本微型流体泵和阀还可用在细胞分类和 DNA 尺寸测量的流动血细胞计数器中。基于尺寸的物体分类在许多技术领域十分有用。

例如，生物学中许多化验要求确定分子大小的实体的尺寸。特别重要的是在不均匀的溶液中测量 DNA 分子的分布长度。通常使用凝胶电泳来完成该测量，其中在施加电场的凝胶基体中的它们的不同迁移率使分子分离，通过辐射的吸收或发射来检测它们的位置。然后从 DNA 分子的迁移率推断出 DNA 分子的长度。

然而强大的电泳方法具有缺点。对于中等至较大的 DNA 分子，分辨率——即可以区别不同分子长度的最小长度差别——局限在总长度的约 10%。对于非常大的 DNA 分子，无法使用传统的分类过程。此外，凝胶电泳是一相对冗长的过程，需要用约几小时或几天的时间来完成该过程。

细胞大小的实体的分类也是一项重要的任务。传统的流量细胞分类器被设计成一带喷嘴的流动室，这些分类器基于流体动力的主要为壳体流动的原理。大多数传统细胞分类器结合了压电产生的下降和静电偏转技术，以实现微滴产生 (droplet generation) 和较高的分类速度。然而，该方法具有一些重要的缺陷。一缺陷是分类装置的复杂性、尺寸和费用要求该分类装置可重复使用以节约成本。重复使用将产生残留材料污染样品和紊流流动的问题。

因此，在本技术领域需要一种简单、廉价和易于制造的分类装置，该分类

装置将依靠流体流的机械控制，而不是微粒和溶液之间的电气相互作用。

图 36 示出了本发明的一分类装置的实施例。分类装置 3600 由可转换的阀结构构成，阀结构由弹性体块中的诸槽形成。特别地，流动槽 3602 呈 T 形，流动槽 3602 的主干 3602a 与试样蓄液池 3604 流体连通，该试样蓄液池可容纳由不同种类的形状（方形、圆形、三角形等）表示的可分类实体 3606。流动槽 3602 的左分支 3602b 与废液池 3608 流体连通。流动槽 3602 的右分支 3602c 与集液池 3610 连通。

控制槽 3612a、3612b 和 3612c 位于流动槽 3602 的主干 3602a 的上方，弹性体薄膜部分 3614a、3614b 和 3614c 分别将所述控制槽与所述主干隔开。流动槽 3602 的主干 3602a 和控制槽 3612a、3612b 和 3612c 共同构成第一蠕动泵结构 3616，该蠕动泵结构与上面结合图 24a 详细叙述的泵结构类似。

控制槽 3612d 位于流动槽 3602 的右分支 3602c 的上方，弹性体薄膜部分 3614d 将所述控制槽与所述右分支隔开。流动槽 3602 的右分支 3602c 和控制槽 3612d 共同构成第一阀结构 3618a。控制槽 3612e 位于流动槽 3602 的左分支 3602c 的上方，弹性体薄膜结构 3614e 将所述控制槽与所述左分支隔开。流动槽 3602 的左分支 3602c 与控制槽 3612e 共同构成第二阀结构 3618b。

如图 36 所示，随着流动槽 3602 的主干 3602a 向邻接于主干 3602a、右分支 3602b 和左分支 3602c 的连接点的检测窗 3620 靠近，该主干明显变窄。检测窗 3620 的宽度足以均匀地照亮该区域。在一实施例中，检测窗处的主干宽度将从 100 微米缩小至 5 微米。可以使用上述软平版印刷术或光致抗蚀剂封装制造技术精确地构成检测窗处的主干的宽度，该宽度取决于待分类实体的性质和尺寸。

下面是本发明的一实施例的分类装置的操作过程。

对试样进行稀释至这样的程度，使在任何时间下检测窗中只出现单个可分类实体。如上所述，流过控制槽 3612a-c 的流体激活蠕动泵 3616。另外，流过控制槽 3612e 的流体关闭第二阀结构 3618b。由于蠕动泵 3616 的泵送作用和第二阀 3618b 的阻塞作用，流体将通过检测窗 3620 从试样蓄液池 3604 流入废液池 3620。由于主干 3604 较为狭窄，因此这种规则的流体流每次一个地使试样蓄液池 3604 中的可分类实体流过检测窗 3620。

将来自源 3642 的辐射 3640 引入检测窗 3620。由于弹性体材料具有可传送性，因此上述方法是可行的。可以用检测器 3644 来检测可分类实体 3606 对辐射的吸收或发射。

如果分类装置 3600 分离和汇集检测窗 3620 中的可分类实体 3606a，将激活第

一阀 3618a 并使第二阀 3618b 不被驱动。该方法将可分类实体 3606a 拉入集液池 3610, 并同时第二可分类实体 3606b 转移入检测窗 3620。如果第二可分类实体 3602b 被识别为适于收集, 则蠕动泵 3616 将继续使流体通过流动槽 3602 的右分支 3602c 流入集液池 3610。然而, 如果不能收集第二实体 3606b, 则第一阀 3618a 打开, 第二阀 3618b 关闭, 第一蠕动泵 3616 会重新泵送液体通过流动槽 3602 的左分支 3602b 进入废液池 3608。

虽然这里结合图 36 叙述了分类装置的特定实施例以及操作方法, 但本发明并不限于该实施例。例如, 不仅可以用蠕动泵结构使流体流过流动槽, 也可使用在压力下仅控制流动方向的弹性体阀来代替。然而在另一实施例中, 简单地用下一分类结构的主干来替代图 36 的废液池, 可以串联地装配多个分类结构, 以便完成连续的分类操作。

此外, 可采用一种处理量较高的分类方法, 维持流体连续地通过窗和结点从试样蓄液池流入废液池, 直至窗中检测出需要收集的实体。一旦检测到需要收集的实体, 泵结构的流动方向将会暂时变换, 以便将所需的微粒通过结点送回集液池。在该方法中, 分类装置可利用较高的流率, 在检测到所需实体时具有原路返回的能力。当待收集的实体很少时, 可使用一种替代的高处理量的分类技术, 该技术将很少需要原路返回。

按照本发明的分类过程可避免使用传统电流动分类的缺点, 例如形成水泡、流动的数值和方向严重依赖于溶液的成分和表面的化学作用、不同化学物质的迁移率的差异以及活性生物体在流动介质中存活能力的降低。

2. 半导体加工

本发明还考虑了用于半导体气流控制的系统(特别是用于精确测量少量气体的外延应用)。例如, 在半导体装置的制造过程中, 使用化学气相淀积(CVD)将固体材料沉积在半导体基片顶部。将基片暴露在气体先驱材料的混合物中以完成该过程, 因而这些气体可发生反应并且生成的产物结晶在基片的顶部上。

在该 CVD 的过程中, 必须仔细地控制条件, 确保材料无缺陷地均匀沉积(缺陷能够削弱电设备的运动)。至基片上方区域的反应气体的流速变化可能会导致不均匀性。对气流速度的控制不佳也会导致自始至终流动的层的厚度发生变化, 这是误差的另一个来源。不幸的是, 控制流入处理室的气体数量, 维持传统气体输送系统中的稳定流率具有一重大问题。

因此, 图 37A 示出了本发明的一实施例, 该实施例适合在 CVD 的过程中以精

确控制的流动速率将加工气体传送至半导体晶片的表面上方。特别地，半导体晶片 3700 位于晶片支承 3702 的上方，晶片支承位于 CVD 室中。弹性体结构 3704 包括大量均匀分布的小孔 3706，该弹性体结构恰好位于晶片 3700 表面的上方。

贮液槽 3708a 和 3708b 中的多种加工气体以仔细调节的速度流过弹性体块 3704 中的流动槽，并且从小孔 3706 中流出。由于晶片 3700 上方的加工气流得到精确控制，因此可以沉积出结构十分均匀的固体材料 3710。

以下原因表明利用本发明的阀和/或泵结构来精确测量反应气体的流率是可行的。首先，根据上面结合图 21A 和 21B 进行的讨论，气体可以流经以线性方式响应于施加的驱动压力的阀。或者，除了用阀门测量气流以外，还可以使用本发明的泵结构的可预测性能来精确测量加工气流。

除了上述化学汽相淀积过程以外，本技术在控制气流技术中也十分有用，例如分子束的外延和反应离子蚀刻。

3. 微型镜像排列

虽然本发明所述的实施例与完全由弹性体材料构成的结构的运行较为相关，但本发明并不限于这种结构。尤其是与传统的硅基半导体结构相结合的弹性体结构也处于本发明的范围之内。

例如，进一步地考虑本微型制造的泵和阀在光学显示中的使用，其中反射光线的弹性体结构中的薄膜是平面或曲面将取决于薄膜是否激活。因而薄膜可作为一可转换的像素。一排具有适当的控制线路的可转换像素可用作数字或模拟的微型镜像排列。

因此，图 38 示出了按照本发明的微型镜像排列的一实施例的一部分的分解图。

微型镜像排列 3800 包括顶层的第一弹性体层 3802 和底层的半导体结构 3804，第二弹性体层 3806 将所述顶层和底层隔开。半导体结构 3804 的表面 3804a 带有多个电极 3810。如本技术领域普通熟练人士众所周知的，电极 3810 可通过行导线和列导线单独地寻址。

第一弹性体层 3802 包括多根相交槽 3822，所述相交槽位于导电、反射的弹性体薄膜部分 3802a 的下方。将第一弹性体层 3802 排列在第二弹性体层 3806 和底层的半导体装置 3804 的上方，以使槽 3822 的相交点位于电极 3810 的上方。

在本发明的制造方法的一实施例中，第一弹性体层 3822 的形成方法是：将弹性体材料旋涂在模制特征的相交槽上，固化弹性体，去除模具上的成形弹性体以及将导电的掺杂物引入成形弹性体的表面区域。或者，结合上面的图 7C-7G 所述，第

一弹性体层 3822 通过下列方法由两层弹性体构成：将弹性体材料插入一包括相交槽的模具，以使弹性体材料与槽壁的高度平齐，然后将一单独掺杂的弹性体层粘结于现有的弹性体材料，形成一顶面上的薄膜。

或者，第一弹性体层 3802 可由导电弹性体制成，该弹性体的导电性是由于掺杂或弹性体材料的内在特性而形成的。

在反射结构 3800 的运行过程中，电信号沿选定的行线和列线向电极 3810a 传递。在电极 3810a 上施加的电压将在电极 3810a 和上层薄膜 3802a 之间产生吸引力。该吸引力激活一部分薄膜 3802a，使该薄膜部分向下挠曲，并进入由槽 3822 的相交部分形成的空穴中。由于薄膜 3802a 从平面向凹面扭曲，因此在弹性体结构 3802 表面的该点处反射的光线与周围的平面薄膜表面反射的光线不同。因此形成一像素图像。

该像素图像的外观是可变的，可通过改变施加在电极上的电压大小来控制该像素图像的外观。在电极上施加较高的电压将增加薄膜部分上的吸引力，并进一步使其扭曲。在电极上施加较低的电压会减少薄膜上的吸引力，减少其形状的平面扭曲度。任一所述变化都将对生成的像素图像的外观产生影响。

所述可变的微型镜像排列结构可以使用在多种应用中，包括图像的显示。根据本发明的一实施例，可变的微型镜像排列结构的又一种应用是用于光纤通讯系统的高容量的开关，每一像素都会影响反射，并传送一入射光信号的成分。

4. 折射结构

刚才所述的微型镜像排列可以控制入射光的反射。然而，本发明并不限于控制反射。本发明的又一实施例可精确地控制入射光的折射，从而形成透镜和滤色镜结构。

图 39 示出了本发明的折射结构的一实施例。折射结构 3900 包括第一弹性体层 3902 和第二弹性体层 3904，它们是由可以传送入射光 3906 的弹性体材料构成的。

第一弹性体层 3902 具有凸部 3902a，固化具有凹部的微型加工模具上方所形成的弹性体材料，可形成所述凸部。第二弹性体层 3904 具有一流动槽 3905，该流动槽是由如上所述的具有凸条的微型加工模具形成的。

将第一弹性体层 3902 粘结于第二弹性体层 3904，以使凸部 3902a 位于流动槽 3905 的上方。该结构可适合多种目的。

例如，入射在弹性体结构 3900 上的光线聚焦在底层的流动槽中，可将光线通

过流动槽。或者，在本发明的弹性体装置的一实施例中，可使荧光或磷光流过流动槽，曲面折射从流体发出的光线以形成一显示屏。

图 40 示出了本发明的折射结构的又一实施例。折射结构 4000 是一基于 Fresnel 透镜设计的多层光学系列。特别地，折射结构 4000 由四层连续的弹性体层 4002、4004、4006 和 4008 粘合共同构成。每一第一、第二和第三弹性体层 4002、4004 和 4006 的顶层带有均匀的锯齿状突起 4010，所述锯齿状突起有规律地以一距离 X 隔开，该距离 X 远大于入射光的波长。锯齿状突起 4010 可用来聚焦入射光，可使用如上所述的微型加工模具来形成该锯齿状突起。如本技术领域中的熟练人士可以理解的，第一、第二和第三弹性体层 4002、4004 和 4006 起到 Fresnel 透镜的作用。

第四弹性体层带有均匀的锯齿状突起 4012，该锯齿状突起的尺寸远小于诸上层弹性体层的锯齿状突起的尺寸。锯齿状突起 4012 也由一距离 Y 隔开，该距离远小于上层弹性体层的锯齿状突起，而且 Y 约为入射光的波长，以使弹性体层 4008 起到衍射光栅的作用。

图 41 示出了本发明的折射结构的一实施例，该实施例主要利用材料折射率的差异来实现衍射。折射结构 4100 包括上弹性体部分 4104 覆盖的下弹性体部分 4102。下弹性体部分 4102 和上弹性体部分 4104 由可传输射光 4106 的材料构成。下弹性体部分 4102 包括多条弯曲的流动槽 4108，弹性体凸面 4110 将所述流动槽隔开。流动槽 4108 包括流体 4112，该流体的折射率与构成弹性体凸面 4110 的弹性体材料的折射率不同。泵结构 4114 的运行泵送流体 4112 通过弯曲的流动槽 4108，所述泵结构由平行控制槽 4116a 和 4116b 构成，所述控制槽位于流动槽 4108 的入口部分 4108a 的上方，可移动的薄膜 4118 将所述控制槽与所述入口部分隔开。

入射在折射结构 4100 上的光线 4106 将遇到一排均匀分布的、充满流体的流动槽 4108，弹性体凸面 4110 将所述诸流动槽隔开。由于呈现在相应流体/弹性体区域中的材料的光学性质各不相同，因此入射光部分不能均匀地折射，还会相互影响，形成一干涉模式。以刚才所述方式层叠的折射结构可使入射光实现更为复杂和专门的折射。

刚才所述的折射弹性体结构可实现多种目的。例如，弹性体结构可作为滤色镜或光学开关来阻塞入射光的选定波长。此外，可以根据特定应用的需要方便地调整该结构的折射性能。

例如，可变化流过流动槽的流体的成分（以及由此得到的折射率）来影响衍

射。或者，结合改变流过的流体的个性，可以在制造结构的过程中精确地控制分隔相邻流动槽的距离，以便产生一具有理想特性的光学干涉图案。

5. 常闭阀结构

上面的图 7B 和 7H 描述了一阀结构，其中弹性体薄膜可以从第一松弛位置向阻塞流动槽的第二激发位置移动。然而，本发明并不限于这种特定的阀结构。

图 42A-42J 示出了多种常闭阀结构的示意图，该阀结构中的弹性体薄膜可利用一负控制压力从第一松弛位置向第二激发位置移动，所述第一松弛位置可阻塞一流动槽，所述第二激发位置的流动槽是敞开的。

图 42A 示出了处于未激发状态下的常闭阀 4200 的平面图，图 42B 示出了沿线 42B-42B' 截取的该常闭阀的剖视图。基片 4205 上方的弹性体块 4206 中形成了流动槽 4202 和控制槽 4204。流动槽 4202 包括一第一部分 4202a 和一第二部分 4202b，分离部分 4208 将上述两部分隔开。控制槽 4204 位于分离部分 4208 的上方。如图 42B 所示，当阀处于松弛状态时，未激发部分——位于流动槽 4202a 和 4202b 之间的分离部分 4008——断开流动槽 4202。

图 42C 示出了阀 4200 的剖视图，其中分离部分 4208 处于激发位置。当控制槽 4204 中的压力减少到流动槽中的压力之下时（例如使用真空泵），一激发力将分离部分 4208 拉入控制槽 4204。结果该激发力使薄膜 4208 突出进入控制槽 4204 中，藉此去除物质流过流动槽 4202 的障碍，并形成一通道 4203。当控制槽 4204 中的压力升高时，分离部分 4208 将恢复其自然状态，放松回入流动槽 4202 并将该槽阻塞。

顶层控制槽的宽度变化可以改变薄膜响应于驱动力的特性。因此，图 42D-42H 示出了常闭阀 4201 的可替代实施例的平面图和剖视图，图中的控制槽 4207 基本上宽于分离部分 4208。如沿图 42D 的线 42E-42E' 截取的剖视图 42E-F 所示，由于在激发期间需要移动一面积较大的弹性体材料，因此有必要减少施加的驱动力。

图 42G 和 H 是沿图 40D 的线 40G-40G' 截取的剖视图。与图 42G 所示的未激发的阀结构相比，图 42H 示出了较宽的控制槽 4207 中的减压会在特定情况下产生将底层弹性体 4206 拉离基片 4205 的不需要的结果，因而形成不符合要求的空隙 4212。

因此，图 42I 示出了阀结构 4220 的平面图，图 42J 示出了沿图 42I 的线 42J-42J' 截取的阀结构的剖视图，除了重叠在分离部分 4208 上的部分 4204a 以外，该阀结构的控制线 4204 具有最小的宽度，该特征可避免上述问题。如图 42J 所示，即使在激发状态下，控制槽 4204 的较窄横截面也能减少底层弹性体材料 4206 上的

吸引力，藉此防止该弹性体材料被拉离基片 4205 并形成一不符合要求的空隙。

虽然图 42A-42J 所示的是响应于压力激发的常闭阀结构，但是本发明的常闭阀并不限于该结构。例如，可用如上所述的电场或磁场来代替地控制阻塞流动槽的分离部分。

6. 材料的分离

在本发明的又一应用中，可利用一弹性体结构来完成材料的分离。图 43 示出了该装置的一实施例。

分离装置 4300 的特征是一弹性体块 4301，该弹性体块包括与流动槽 4304 连通的贮液池 4302。蠕动泵结构 4310 通过流动槽 4308 从贮液池 4306 中泵送流体，先前已经详细叙述的该蠕动泵结构由控制槽 4312 置于流动槽 4304 上方构成。或者，在本发明的蠕动泵结构不能提供足够的背压的场合，可利用一外部泵将弹性体结构外部的蓄液池中的流体抽入弹性体装置。

流动槽 4304 通向分离柱 4314，该分离柱是装有分离基质 4316 的槽的形式，所述分离基质在多孔烧结物 4318 之后。在色谱技术中众所周知的是，分离基质 4316 的成分取决于待分离的材料性质以及所采用的特定的色谱技术。弹性体分离结构适合多种色谱技术，包括但不限于凝胶排除、凝胶渗透、离子交换、反相、疏水性相互作用、亲和色谱法、快速蛋白液相色谱法（FPLC）以及高压液相色谱法（HPLC）的所有形式。用于 HPLC 的高压需要使用尿烷、二聚环戊二烯或其它弹性体化合物。

介绍流体通过负荷槽 4319 流入分离柱 4314 的示例。负荷槽 4319 可容纳通过泵 4321 从试样蓄液池 4320 中抽出的流体。当阀 4322 打开并且泵 4321 运转时，试样从负荷槽 4319 流入流动槽 4304。泵结构 4312 的作用使试样流过分离柱 4314。由于多种试样成分在分离基质 4316 中的迁移率各不相同，因此这些试样成分将逐渐分离并且在不同的时候从柱 4314 中淘析出来。

当分离柱 4314 中析出多种试样成分时，所述试样成分进入检测区域 4324。在色谱技术中是众所周知的是，可用多种技术来确定析入检测区域 4324 的材料个性，包括但不限于荧光、UV/可见/IR 光谱学、放射性标签、安培计检测、质谱学和核磁共振（NMR）。

本发明的分离装置提供了尺寸极小的优点，从而在分离过程中只消耗极少量的流体和试样。另外，该装置提供了增加灵敏度的优点。在传统的分离装置中，试样回路的尺寸会延长将试样注射在柱上的过程，并且有可能使淘析波峰的宽度相互

重叠。极小的负荷槽的尺寸和容量通常可防止波峰扩散性能成为问题。

图 43 所示的分离结构只是该装置的一个实施例，本发明还考虑了其它结构。例如，虽然图 43 的分离装置的流动槽、负荷回路和分离柱定位在一个平面中，但本发明可不需要如此设置。可用结合上面的图 35A-D 详细叙述的结构将一或多个蓄液池、试样蓄液池、流动槽、负荷回路和分离柱定位成相互垂直和/或垂直于弹性体材料的平面。

7. 细胞笔/细胞笼/细胞研磨器

在本发明的又一实施例中，可利用弹性体结构来处理有机体或其它生物物质。图 44A-44D 示出了本发明的细胞笔结构的一实施例的平面图。

细胞笔阵列 4400 的特征是一排正交定位的流动槽 4402，在交替的流动槽的相交处具有放大的“笔”结构 4404。阀 4406 位于每一笔结构 4404 的入口和出口处。蠕动泵结构 4408 位于每一水平流动槽上以及没有细胞笔结构的垂直流动槽上。

图 44A 的细胞笔阵列 4400 已装有细胞 A-H，可能先前就已经使用结合上面的图 36 所述的分离结构对所述细胞 A-H 进行了分类。图 44B-44C 示出了使单独储存的细胞 C 进入和去除的方法：1) 打开靠近笔 4404a 和 4404b 任何一侧的阀 4406；2) 抽取水平流动槽 4402a，使细胞 C 和 G 移动；以及然后 3) 抽取垂直流动槽 4402b，以去除细胞 C。图 44D 示出了通过反转流过水平流动槽 4402a 的液体的方向，使第二细胞 G 移回其原先在细胞笔阵列 4400 中的位置。

上述细胞笔阵列 4404 可在一选定的、可寻址的位置上储存材料以便访问。然而，诸如细胞之类的活性生物体要求连续不断的摄取食物和排泄废物，以便保持存活能力。因此，图 45A 和 45B 分别示出了本发明的细胞笼结构的一实施例的平面图和剖视图（沿线 45B-45B' 截取）。

细胞笼 4500 由弹性体块 4503 中的流动槽 4501 的扩大部分 4500a 构成，该弹性体块与基片 4505 接触。除了细胞笼 4500 的端部 4500b 和 4500c 没有完全地封装内部区域 4500a 以外，细胞笼 4500 与图 44A-44D 中所述的单个细胞笔类似。笼 4500 的端部 4500a 和 4500b 由多个可伸缩的支柱 4502 构成。支柱 4502 可以是上面结合图 42A-42J 所述的常闭阀结构的薄膜结构的一部分。

特别地，控制槽 4504 位于支柱 4502 上方。当控制槽 4504 中的压力减少时，将弹性体支柱 4502 向上地拉入控制槽 4504，从而打开细胞笼 4500 的端部 4500b，并且允许细胞进入。当控制槽 4504 中的压力升高时，支柱 4502 将松弛地向下抵靠在基片 4505 上，并防止细胞离开笼 4500。

弹性体支柱 4505 具有足够的尺寸和数量以防止细胞运动离开笼 4500, 但弹性体支柱还包括可使营养基流入笼内部 4500a 的空隙 4508, 以使存储在其中的细胞得到维持。相对端 4500c 上的支柱 4502 具有类似的构造, 该构造位于第二流动槽 4506 的下方, 可根据需要打开笼子以及去除细胞。

在某些条件下, 可以需要研磨/破坏细胞或其它生物材料, 以便存取成分块。

因此, 图 46A 和 46B 分别示出了本发明的细胞研磨器结构的一实施例的平面图和剖面图(沿线 46B-46B' 截取)。细胞研磨器 4600 包括在流动槽 4604 中相互交叉的支柱 4602 的系统, 在驱动一体的薄膜时, 所述流动槽借助顶层的控制槽 4608 闭合在一起。通过闭合在一起可使支柱 4602 碾碎两者之间的材料。

支柱 4602 可适当地间隔分布以破坏给定尺寸的实体(细胞)。为了破坏细胞物质, 支柱 4602 相隔约 2 微米的间距是较为适当的。在本发明的细胞研磨结构的可替代实施例中, 支柱 4602 可全部位于上方的薄膜或控制槽的底面上。

8. 压力振荡器

在本发明的又一应用中, 可用一弹性体结构形成一压力振荡器结构, 该压力振荡器类似于电子学范围中频繁使用的振荡器线路。图 47 示出了该压力振荡器结构的一实施例的平面图。

压力振荡器 4700 包括一弹性体块 4702, 该弹性体块以其内部构成的流动槽 4704 为特征。流动槽 4704 包括一靠近压力源 4706 的初始部分 4704a, 以及远离压力源 4706 的弯曲部分 4704b。初始部分 4704a 与通道 4708 接触, 该通道与形成在弹性体块 4702 中的控制槽 4710 流体连通, 该控制槽位于流动槽 4704 的平面上方。控制槽 4710 所处的位置比通道 4708 更为远离压力源 4706, 一弹性体薄膜将该控制槽与流动槽 4704 隔开, 藉此形成先前所述的阀 4712。

压力振荡器结构 4700 的运行如下。首先, 压力源 4706 通过通道 4708 沿流动槽 4704 和控制槽 4710 提供压力。由于流动槽 4704b 的形状弯曲, 因此与流动槽 4710 相比, 区域 4704b 中的压力较低。在阀 4712 处, 弯曲的流动槽部分 4704b 和顶层的控制槽 4710 之间的压力差最终使阀 4712 的薄膜向下突入弯曲的流动槽部分 4704b, 使阀 4712 关闭。然而, 由于压力源 4706 的连续作用, 闭合的阀 4712 后面的弯曲的流动槽 4704b 中的压力开始增加。最后, 压力将与控制槽 4710 和弯曲的流动槽部分 4704b 之间的压力相等, 并且使阀 4712 打开。

假定压力源将连续作用, 上述压力的增大和释放将无限地继续下去, 并产生有规则的压力振荡。该压力振荡器装置可以实现任意数量的可行的作用, 包括但不

限于计时。

9. 侧激发阀

虽然上面的叙述集中于微型制造的弹性体阀结构，所述结构中的控制槽位于顶层的流动槽上方，一插入的弹性体薄膜将所述控制槽与所述流动槽隔开，但是本发明并不限于该结构。图 48A 和 48B 示出了本发明的一实施例的侧激发阀结构的实施例的平面图。

图 48A 示出了未激发位置中的侧激发阀结构 4800。流动槽 4802 形成在弹性体层 4804 中。邻接于流动槽 4802 的控制槽 4806 也形成在弹性体层 4804 中。弹性体薄膜部分 4808 将控制槽 4806 与流动槽 4802 隔开。一第二弹性体层（图中未示出）粘合在底部弹性体层 4804 上方，以封闭流动槽 4802 和控制槽 4806。

图 48B 示出了未激发位置中的侧激发阀结构 4800。响应于控制槽 4806 中的压力增加，薄膜 4808 变形进入流动槽 4802 中，并阻塞流动槽 4802。一旦控制槽 4806 中的压力得到释放，薄膜 4808 将松弛并返回进入控制槽 4806，并打开流动槽 4802。

虽然图 48A 和 48B 中示出了响应于压力激发的侧激发阀结构，然而本发明的侧激发阀并不限于该结构。例如，位于邻接的流动槽和控制槽之间的弹性体薄膜部分可以用上述的电场或磁场来替代地控制。

10. 其它应用

下面代表了本发明的又一方面：本阀和泵可用于药物输送（例如，在一可移植的药物输送装置中）；以及用于生物流体的试样（例如，在带有隔离其间液体的诸柱塞的一柱中顺序地储存诸试样，其中诸试样可以分流在不同的存储槽中，或者直接通过适当的传感器）。这样的流体试样装置还可以移植在病人的体内。

本系统还可用于使用微型阀或泵来减少体内过压的装置。例如，一可移植的、生物相容的微型阀可用来减少可导致青光眼的眼内过压。可以考虑到的本可转换微型阀的其它用途包括移植在输精管或输卵管中，因而不使用药品即可长、短期可逆地控制生育。

本发明的又一用途包括 DNA 的排序，从而待排序的 DNA 设有聚合酶和底料，然后同时受到一种 DNA 基底（A、C、T 或 G）的影响，因而迅速地对基底合并进行化验。在这种系统中，基底必须流入系统并且被迅速地冲洗掉过量基底。本发明的弹性体微型阀打开的压力驱动的流体可理想地适合这种试剂的迅速流动和清洗。

可以考虑到的本微型阀和微型泵系统的其它用途包括 DNA 芯片的使用。例如，可使一试样流入环槽并且用蠕动作用将该试样抽至该环的周围，因而试样可在 DNA

的排列的探头上多次通过。这种装置可将位于不良探头上通常会浪费的试样结合在良好的探头上。这种环形流动系统的优点是可以减少试样的必要容量，并藉此增加化验的灵敏度。

又一应用在于高处理量的筛选，通过较小容量的液体的分配或基于水珠的化验对该应用有利，特别灵敏的检测基本上可以提高化验的灵敏度。

考虑到的又一应用是多种化学物质阵列的沉积，尤其是低聚核苷酸，借助通过靠近所需基片的弹性体装置中的流动槽出口的接触打印或者与喷墨打印类似的过程，在沉积成基片上的图案或阵列之前，在装置的先前作用下可以或不可以用化学方法来制造该化学物质。

本微型制造弹性体阀和泵还可以用于分配试剂、低聚核苷酸、肽或其它生物聚合物的混合和用于合成的反应。

本发明的又一应用包括喷墨打印头，其中该打印头的小孔可用来产生一足以驱出微滴的压力脉冲。一适当激活的本发明的微型阀可形成一压力脉冲。本微型阀和泵还可用于计数地分配墨水或色素，其数量无需与单个微滴一样小。微滴可以与待打印的介质接触，不再需要通过空气喷射。

本系统的另一用途是用在流体逻辑线路中，该线路提供可用于抗辐射场合的优点。这种流体逻辑线路的另一优点是非电性，电磁传感器不可探测该流体逻辑线路，从而提供安全的好处。

本发明的又一用途是利用该结构与诸如玻璃之类的底层基片的易于脱离和再附着的优点，利用靠粘结或其它物质形成图案的玻璃基片。这可形成图案的基片和弹性体结构的单独结构。例如，可用一DNA微型排列在一玻璃基片上形成图案，并在随后的步骤中在阵列上方密封弹性体阀和泵结构。

11. 发明的其它方面

下面代表了本发明的又一方面：使用可偏转的薄膜来控制弹性体结构的微型制造槽中的流体流动；用弹性体层制成一微型制造的弹性体装置，该弹性体装置包括一微型制造的可移动部分；以及用弹性体材料制成一微型制造的阀或泵。

本发明的一实施例的微型制造的弹性体结构包括一弹性体块，该弹性体块中形成有一微型制造的凹部，在该部分被激活时可偏转的弹性体块的一部分。凹部包括一第一微型制造的槽和一第一微型制造的凹部，所述部分包括一弹性体薄膜，该弹性体薄膜在激活薄膜时可偏转入第一微型制造的槽中。凹部宽度的范围是10微米至200微米，所述部分的厚度约在2微米至50微米之间。可以100Hz或更大的

速度下来激发微型制造的弹性体结构，在激发所述部分时，该弹性体结构基本上不包括无用容积。

激发弹性体结构的方法包括提供一弹性体块，该弹性体块中形成有第一和第二微型制造的凹部，弹性体块的一薄膜部分将第一与第二微型制造的凹部隔开，该薄膜部分可响应于驱动力偏转入第一和第二凹部之一，将一驱动力施加在薄膜部分上，以使薄膜部分偏转入第一和第二凹部之一。

本发明的一实施例的弹性体制造方法包括在一基片上形成一第一弹性体层，固化第一弹性体层，以及使在第一弹性体层上方的第一牺牲材料形成图案。第一弹性体层上形成一第二弹性体层，从而将第一形成图案的牺牲层封装在第一和第二弹性体层之间，固化第二弹性体层，以及有选择地对第一弹性体层和第二弹性体层去除第一形成图案的牺牲层，从而在弹性体的第一和第二层之间至少形成一第一凹部。

制造方法的可替代实施例还包括在形成第一弹性体层之前使基片上方的第二牺牲层上形成图案，以便在第一形成图案的牺牲层的去除期间去除第二形成图案的牺牲层，从而沿第一弹性体层的底部至少形成一凹部。

本发明的一实施例的微型制造的弹性体结构包括一弹性体块；一第一槽和一第二槽，弹性体结构的分离部分将所述第一槽和第二槽隔开；以及一微型制造的凹部，凹部位于靠近分离部分的弹性体块中，从而可以驱动分离部分偏转入微型制造的凹部 66 中。分离部分的偏转使第一和第二槽之间的通道打开。

控制流体或气体流过弹性体结构的方法包括提供一弹性体块，弹性体块具有第一、第二和第三微型制造的凹部，和弹性体块具有通过其中的一第一微型制造的槽，可偏转入第一槽的第一、第二和第三薄膜分别将第一、第二和第三微型制造的凹部与第一槽隔开，第一、第二和第三薄膜以重复的顺序偏转入第一槽，以便蠕动地泵送流体流通过第一槽。

微型制造弹性体结构的方法包括微型制造一第一弹性体层，微型制造一第二弹性体层；将第二弹性体层放置在第一弹性体层的顶部；以及将第二弹性体层的底面粘结在第一弹性体层的顶面上。

虽然这里结合特定的实施例对本发明进行了叙述，然而前面还揭示了一些修改、种种变化和替代，应当清楚的是在不背离前面阐述的本发明范围的情况下，可采用本发明的一些特征而不相应使用其它特征。因此，在不背离本发明的实质范围和精神的情况下，可进行多种修改使特定的情况或材料适合本发明的主旨。应予以

解的是本发明并不限于最佳条件下完成本发明的特定实施例,本发明将包括所有落在权利要求范围中的实施例和等价物。

这里结合了附件 A “由多层软平版印刷法制造的单片的微型制造阀和泵” (unger 等人, 科学研究, 卷 288, 第 113-116 页, 2000 年 4 月 7 日) 的全部内容作为本说明书的一部分, 该附件将出现在权利要求之前, 并将构成本说明书的一部分。

由多层软平版印刷法生产的单块微型制造的阀和泵

发明概述

Marc A. Unger, Hou-Pu Chou, Todd Thorsen,
Axel Scherer, tephren R. Quake*

软平版印刷法是以硅为基础的微型切削加工法的一种替代方法，它使用了非传统的弹性体材料的复制品模制以制造压印和微型流体的槽。我们此处描述的是软平版印刷范例的扩展部分——多层软平版印刷——以这些方法可由软性材料制造成含有多层的装置。我们已使用这种技术建立了含有完全使用弹性体的开-关阀、换向阀以及泵的活动的微型流体的系统。这些材料的柔软性使得这些装置所占面积与以硅为基装置的装置相比可减少两个数量级以上。另外，还可以获得例如快速产生原型、制造简易以及生物相容性等软平版印刷的优点。

微型切削加工技术的用途快速拓展是由一些关键性的应用所取得的引人注目的成绩所推动的，这些关键性的应用例如微型制造的加速计（Roylance, L. M. 等人，《IEEE Trans. 电子装置》ED-26:1911(1979)；Yazdi, N. 等人《Proc. IEEE》86:1640(1998)），压力传感器（Tufte, O. N. 等人，《应用物理杂志》33:3322(1962)），以及喷墨打印头（Kuhn, L. 等人，《IEEE Trans. 电子装置》ED-25: 1257 (1978)）。在其它领域中出现了新的应用，具体地说有纤维光通讯（Lin, L. Y. 等人，《IEEE J. Selected Top. 量子电子》5: 4 (1999)；Muller, R. S. 等人，《Proc. IEEE》86: 1705(1998)），显示器（Hornbeck, L. J. 等人，《OSA Tech. Dig. Ser.》8:107(1988)），以及微型射流技术（Harrison, D. J. 等人，《科学研究》261: 895 (1993)；Jacobson, S. C. 等人，《分析化学》66: 1114(1994)；Kopp, M. U. , 《科学研究》280: 1046(1998)；Shoji, S. , 《当代化学精华》(Top. Curr. Chem) 194: 163 (1998)；Gravesen, P. 等人，《微型机械微型工程学杂志》3: 168 (1993)）。两种最普遍的用于生产微型电子机械结构（MEMS）的方法是块微型切削加工以及表面微型切削加工。块微型切削加工是一种减少性的制作方法，由此单晶硅由平版印刷地形成一定的图案，而后被蚀刻形成三维（3D）的结构。相反，表面微型切削加工是一种添加的方法，其中半导体类型的材料（如多晶硅、金属、氮化硅、二氧化硅等等）的诸层依次被添加并形成一定的图形从而制作出 3D 的结构。

所使用的材料限制了块和表面微型切削加工的方法。通常在块与表面微型切削加工中所使用的半导体类型的材料需为杨氏模量 $\sim 100 \times 10^9$ 帕的刚性材料 (Buchaillet, L. 等人, 《Jpn. 应用物理杂志》2: 36, L794 (1997))。由于微型切削加工的致动器所产生的力是有限的, 故材料的刚性限制了许多装置的最小的尺寸。另外, 由于必须构造成多层以制作出活动的装置, 层与层之间的粘合是实践中非常关心的一个问题。对于块微型切削加工, 必须使用晶片粘合技术以生产出多层的结构。对于表面微型切削加工, 在层与层之间的热应力限制了装置总的厚度约为 20 微米。需要干净的空间制造以及对过程情况的严格的控制以实现可接受的装置的产量。

一种基于复制模塑法的可替换的微型制造技术越来越普及。具有代表性的是, 一弹性体通过在一微型制造的模具上固化形成一定的图案。该技术不严格地被称为软平版印刷术, 它曾经被用于制作发光的光栅镜片 (Xia, Y. N. 等人, 《科学研究》273:347 (1996)), 用于化学的形成图案的压制 (Xia, V. N., 等人《Angew. chem. Int. Ed. Engl.》37:550(1998)); 以及微型流体的装置 (Effenhauser, C. S. 等人, 《分析化学》69:3451(1997); Delamarche, E. 等人, 《科学研究》276:779(1997); Fu, A. Y. 等人, 《自然生物技术》17:1109(1999); Hosokawa, K. 等人, 《分析化学》71:4781(1999); Duffy, D. C. 等人, 《微型机械微型工程学杂志》9:211(1999))。软平版印刷术的优点包括可用于快速产生原型、无需昂贵的资金设备的简易的制造以及宽松的加工参数。对于例如微型射流技术的带有中等大小特征 (≥ 20 微米) 的应用, 可以通过使用一种高清晰度的透明的胶片作为用于一厚的光致抗蚀剂层的一接触掩盖物而使模具形成一定的图案 (Duffy, D. C. 等人, 《分析化学》70:4974(1998))。单个研究者可对模具进行设计、印刷、形成图案, 并且在一天之内产生一套新的浇铸弹性体的装置, 以及随后弹性体铸件仅需几小时即可制作出来。对于弹性体浇铸所容许的工艺参数使得装置无需在一干净的空间中而可在环境实验室的条件中生产。然而, 软平版印刷也有其局限性: 它从根本上说是一种减少性的方法 (在模具确定了弹性体被去除的地方的意义上), 而对于仅具有一层弹性体层它很难创造出活动的装置或移动部件。先前已描述了一种通过等离子体氧化作用使弹性体各部分粘合的方法 (Duffy, D. C. 等人, 《分析化学》70:4974(1998)), 这种方法已用于使抵靠平坦的基底的微型流体的槽密封 (Duffy, D. C. 等人, 《微型机械微型工程学杂志》9:211(1999); Kenis, P. J. A. 等人, 《科学研究》285:83(1999))。

我们此处所描述了一种被称为“多层软平版印刷术”的技术，它将软平版印刷术与形成一定图案的多层弹性体粘合的能力相结合。多层结构由若干弹性体层粘合而成，每一层弹性体层在一微型切削加工的模具（图 1A）中单独的浇铸而成。该弹性体层为两种成份附加固化的硅橡胶。底层具有一种成分（A）过量，相反上层具有另一种成分（B）过量。当各层单独固化之后，上层从它的模具上移出而置于下层的顶部上，在此它形成一气密封。由于各层具有两种成分中一种过量，这样起反应的分子便留在了层与层之间的分界面上。进一步的固化使得两层不可逆转地粘合在一起：分界面的强度等于块状弹性体的强度。这种加工过程创造出了完全由弹性体构成的形成一定图案的单块的三维的结构。通过简单的重复此过程就可添加附加的层：每次当装置被密封在相反“极性”（A 对 B）的一层上并固化时，另一层就被添加上去。

（图 1）

图 1（A）多层软平版印刷的工艺流程。此处所使用的弹性体为通用电气硅树脂 RTV 615。部分“A”含有带有乙烯基基团的 polydimethylsilyloxane 以及一铂催化剂；部分“B”含有含氢化硅（Si-H）基团的一交联剂，它形成了与乙烯基基团的共价键。RTV 615 通常以 10A:1B 的比率使用。为了粘合，一层以 30A:1B（乙烯基基团过量）的比率制造，而另一层以 3A:1B（Si-H 基团过量）制造。为了机械的稳定性，顶层为厚浇铸（约 4 毫米），相反其它的层为薄浇铸。这种薄层是通过将 RTV 混合物以连续 30 秒每分钟 2000 转的速度旋转覆盖在一微型制造的模具上，产生的厚度约 40 微米。各层单独在 80°C 的温度下烘烤 1.5 小时。而后厚层被密封在薄层上，而两层在 80°C 的温度 1.5 小时的条件下被粘合在一起。模具在硅晶片上形成一定图案的光致抗蚀剂。使 Shipley SJR 5740 光致抗蚀剂以 2000 转/分钟的速度旋转，形成图案带有作为一掩盖物的高清晰度的透明胶片，并进而产生高为 10 微米的反向槽。当在 200°C 的温度下烘烤 30 分钟时，光致抗蚀剂再次流动而反向槽变圆。模具在使用前以三甲基氯硅烷蒸汽处理 1 分钟以防止硅橡胶粘合。（B）为用于方的和圆的槽的阀闭合的示意图。虚线表示了当压加增加时对于矩形（左）和圆形（右）槽的的顶部的轮廓。阀的密封情况可以通过在光学显微镜下观察弹性体基底的分界面而检测到：它呈现出一清晰可见的边缘。当与矩形槽不完全密封时呈现出如在流动槽中的接触的一个“孤岛”；完全的密封（如对圆形槽观察所得）给出的是连接流动槽的左右边缘的一连续的接触边缘。

生产多层的简易性使得具有多层射流技术成为可能，而这对传统的微型切削加工来说是一项困难的任务。我们用这种方法制作了达七层的形成图案的测试结构，（对于多层，一厚层如先前所述；各薄层在 80°C 下烘烤 20 分钟。不断增加的厚层被组装到各新的薄层上，通过在 80°C 下烘烤 20 分钟后粘合在一起。通过这种方法，已生产了七层的装置；不存在明显的对层的数量的限制。）每层约为 40 微米厚（图 2F）。由于装置是单块的（即所有的层由相同的材料构成），这样就可以完全避免层间粘合失败以及热应力等问题。微粒对层间粘合的干扰是非常小的，可能完全没有。对于微型结构的致动可能最重要的是，弹性体为杨氏模量(Lotters, J. C. 等人,《微型机械微型工程学杂志》7:145(1997))约 750 千帕的软性材料,它可允许以很小的致动力产生很大的偏转。还可以控制材料的物理特性。我们通过添加细小的铁粉末产生了弹性体的磁性层,以及通过掺杂入渗透界限以上的碳黑而产生了导电层(导电硅可通过添加细小的碳黑(Vulcan XC72; Cabot, Billerica, MA)达到重量的 10%或更高的浓度而产生。导电率随着碳黑的浓度从 5.6×10^{-16} 到 $\sim 5 \times 10^{-3}$ (欧姆·厘米) $^{-1}$ 增加。磁性硅通过将铁粉末(颗粒大小为约 1 微米)添加到铁的重量比达 20%而产生。对于导电和磁性硅树脂,多层粘合功能是正常的。)。这样就可能产生完全弹性体的电磁装置(Ikuta, K. 等人,在《国际微型电子机械结构 94 会议会刊 IEEE》中(IEEE, Piscataway, NJ, 1994), pp. 1-6)。

为了显示多层软平版印刷的能力,我们制造了活动的阀和泵。单块的弹性体的阀和泵,如同其它的机械的微型流体装置,避免了影响基于电渗透流(Harrison, D. J. 等人,《科学研究》261:895(1993); Jacobson, S. C. 等人,《分析化学》66:1114(1994); Duffy, D. C. 等人,《微型机械微型工程学杂志》9:211(1999); Schasfoort, R. B. M. 等人,《科学研究》286:942(1999); Jacobson, S. C. 等人,《分析化学》71:4455(1999); Effenhauser, C. S. 等人,《电泳》18:2203(1997))或双向电泳(Washizu, M. 等人,《IEEE Trans. 工业应用》30:825(1994); Pethig, R. 等人,《生物技术发展方向 15:426》(1997))的流动系统的几个实际问题,例如在电极周围的电解的汽泡的形成以及在流动介质的组成上的强的流动的依赖性(Brechtel, R. 等人,《色谱杂志》A716:97(1995); Lucy, C. A. 等人,《分析化学》68:300(1996); 流动的量(甚至于它的方向)以一种复杂的方式依据离子的强度与类型、表面活性剂的存在以及流动槽的壁上的负荷;另外,由于连续地发生电解,缓冲剂抵抗 pH 值改变的能力是有限的。因此,对于流动的精确的控制需要对各新的缓冲剂或溶质的校准,而在预先不知道样品的准确成分时,这种控制是很困难的。电渗透流动还

可能引发不希望的分子的电泳分离，产生分层的现象。双向电泳无需电解，因此不会导致气泡形成，但还是会受到样品或溶剂灵敏度的影响。) 尽管电解的气泡的形成对于实验装置不是个问题，但它严重限制了电渗透流在整体的微型流体的装置中的使用。同样，电渗透或双向电泳流动都很难用于使流动停止或平衡压差。

我们使用一交叉的槽的构造(图 1A)制造了我们的阀。通常槽为 100 微米宽，10 微米高，使阀的活动面积为 100 微米×100 微米。在槽之间的聚合物膜片制造成相对较薄(通常为 30 微米)。当对上部槽(“控制槽”)施加压力时，膜片向下偏转。充足的压力使下部槽(“流动槽”)闭合。为了光学观察，我们通常用玻璃作为底层来密封我们的结构；与玻璃的这种粘合是可逆的，所以装置可被剥离、清洗并重新使用。我们还制造了底层是另一层弹性体层的装置，它可在使用较高背压时使用。以这种方式致动的装置的响应时间约为 1 毫秒，而施加的压力约为 100 千帕，这样 100 微米×100 微米的区域给出了约 1 毫牛的致动力。气压致动使得活动装置可被严密地包装起来；我们构造出了密度为每平方毫米 30 个装置的微型射流系统，并还可以达到更高的密度。这种致动速度、压力以及装置的密度足够用于大多数的微型射流的应用。

流动槽的形状对于阀(图 1B)的适当的致动是很重要的。矩形的或甚至梯形的槽在从上施加的压力下将不能完全闭合。具有圆形截面的流动槽可完全闭合；圆形的形状将从上施加的力转移到槽的边缘上，使得槽从边缘向中心闭合。我们发现梯形槽上的 100 微米×100 微米×10 微米的阀即使在施加 200 千帕的压力下也不能完全闭合，而圆形槽仅在 40 千帕下就可完全密闭。

在一个装置中制作多个单独致动的阀仅需对各控制线所施加的压力进行单独控制(各控制槽与微型的三向开关阀(LHDA1211111H; Lee Valve, Westbrook, 康奈提格州)的公共口相连，通过一快速齐纳二极管电路供电并由一数字数据获得卡(AT-DI032HS; National Instruments, Austin, 德克萨斯州)控制。向常闭的口提供调节的外部压力，该压力通过开关微型阀使得控制槽被加压或与大气贯通。)。图 2, A 到 E 分别示出了产生开一关阀(图 2, A 和 B)、一泵(图 2C)、一泵的格栅(图 2D)以及一换向阀(图 2E)的简单结构。每条控制线可同时致动多个阀。由于控制线的宽度可以是不同的，而膜片的偏转主要根据膜片的尺寸，所以可使控制线经过多条流动槽的上方而仅致动所希望的若干条。活动元件是槽本身的顶，故由此技术生产的简单开一关阀(和泵)确实具有的无效容积为零；换向阀具有无效容积约与一个阀的活动容积相同，即 100 微米×100 微米×10 微米=100×10⁻¹² 升。

所需的无效容积以及由活动的膜片消耗的区域各约比资料所表明的任何微型阀 (Shoji, S., Top. Curr. Chem. 194:163(1998)) 小两个数量级。

(图 2)

图 2 不同阀和泵结构的光学显微图; 控制线是垂直定向的。(A) 具有 200-微米控制线和 100-微米流动线 (“200 × 100”) 的简单的开关阀。(B) 30 × 50 开关阀。(C) 蠕动泵。仅有所示的四个控制线的三个用于致动。(D) 开-关阀的格栅。(E) 换向阀。通常, 仅有最内部的两控制线用于致动。(F) 上述的七层测试结构的截面。所有的定标线条为 200 微米。

阀的开口可以通过施加到控制线上的压力的改变而被精确地控制。如图 3A 所示, 阀的响应在它大部分的移动范围上几乎完全是线性的, 而滞后现象达到最小。因此, 这些阀可以用于微型流体的计量以及流量控制。阀响应的线性度证明了各个阀是以虎克定律弹性而被很好模拟的。另外, 可以通过简单地增加致动压力能够抵抗在流动槽中的高压 (“背压”)。在我们能够测试的实验的范围内 (至 70 千帕的背压), 对于零背压时的最小闭合压力可以通过简单地增加背压来实现阀闭合。

(图 3)

图 3 (A) 是阀开口与施加压力的关系曲线。“50 × 100” 表示了具有 50 微米宽的控制槽与 100 微米宽的流体槽的一微型阀。100 × 50 闭合与开口的数据 (未图示) 基本与 50 × 100 的数据相同。(B) 带有从芯片到一气动阀相连的 10 厘米长的空气管的 100 微米 × 100 微米 × 10 微米的 RTV 微型阀的时间响应。此处示出了数字控制的两个阶段, 管的端部处的实际的空气压力与阀的开口。施加在控制线上的压力为 100 千帕, 这比所需配置给阀 ~40 千帕的压力高得多。因此, 当闭合时, 阀由比所需压力的大 60 千帕一压力推动闭合。然而当打开时, 阀仅由它自身的弹簧力 (≤ 40 k 帕) 驱动回它的停止位置。因此, 希望 τ_{close} 比 τ_{open} 小。由于用于控制压力的微型阀的限制, 在控制信号与控制压力响应之间也存在滞后。将滞后时间称为 t 而 $1/e$ 时间常数为 τ , 值分别为 $t_{\text{打开}} = 3.63$ 毫秒, $\tau_{\text{打开}} = 1.88$ 毫秒, $t_{\text{闭合}} = 2.15$ 毫秒以及 $\tau_{\text{闭合}} = 0.51$ 毫秒。如果允许 3τ 用于打开与闭合, 当阀充满水的溶剂时, 阀宽裕地以 75Hz 运行 (如果使用不会受到打开与闭合滞后影响的另

一种致动方法，该阀可以 375Hz 运行。弹性常数可以通过改变膜片的厚度调节；这使得快速打开或快速闭合达到最优。)。阀的打开可由荧光测量。流动槽充满了在缓冲剂中异硫氰酸盐荧光素的溶剂 ($\text{pH} \geq 8$)，占据槽中心三分之一的平面积的荧光由具有光电倍增管的外-荧光显微镜以 10kHz 频宽检测。压力通过几乎相同的气动连接的控制线同时加压的惠斯通电桥压力传感器 (SCC15GD2; Sensym, Milpitas, 加利福尼亚州) 检测。

如此处所述而制造的单块的弹性体阀可以惊人的速度致动。对于充满水溶液的阀的时间响应约 1 毫秒，如图 3B 所示。尽管阀不是完全打开，但它仍以 100Hz 的频率打开与闭合。阀几乎可瞬时响应施加的压力，但施加的压力还是基本滞后于控制信号。(如果使用不会受到打开与闭合滞后影响的另一种致动方法，该阀可以 375Hz 的频率运行。弹性常数可以通过改变膜片的厚度调节；这使得快速打开或快速闭合达到最优。)

我们还将三个阀排列在一单个槽 (图 4A) 上制造了一种蠕动泵。泵送速率通过对在细管 (0.5 毫米内径) 中的水柱的移动的距离的测量而确定；对于 100 微米 \times 100 微米 \times 10 微米的阀，测得的最大的泵送率为 2.35×10^{-9} 升/秒 (图 4B)。与先前观察到的阀致动的速度一致，在约 75Hz 可达最大的泵送速率；在此速率以上，泵循环的增加了的数量可与不完全的阀的打开与闭合相比。泵送速率在到达超过 200Hz 以前几乎为常数，以及到达 300Hz 以前缓慢下降。阀和泵还是非常坚固的：我们还未观察到弹性体膜片、控制槽或粘合失效。在 4 百万次以上的致动之后，上述蠕动的泵中的阀没有显示出任何的磨损或疲劳迹象。除了它们的耐久性，它们还是温和的。泵送大肠杆菌溶液通过槽，测试它的生存能力显示为 94% 的存活率 (大肠杆菌以 10Hz 被泵送通过槽。已知容积的样品从输出井 (被泵送的) 及输入井 (控制) 中取得，各项的连续稀释物涂覆在 Luria-Bertani 琼脂板上，并在 37°C 的温度下经过一夜的培养。通过记算在控制和泵送的样品中的菌落以及对样品体积与稀释的纠正来估计存活率。))。

(图 4)

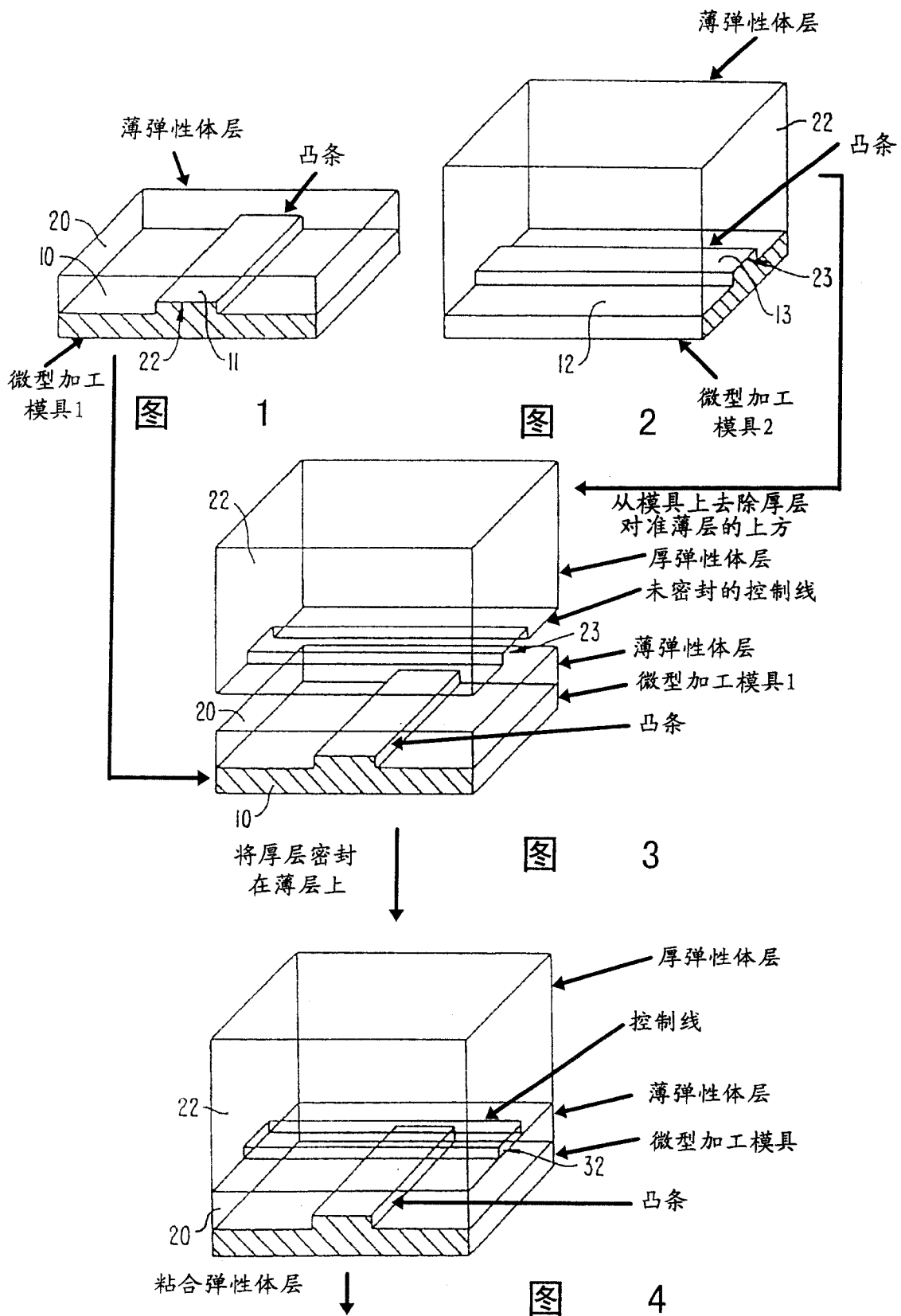
图 4 (A) 一个弹性体蠕动泵的一 3D 按比例缩小的图。槽为 100 微米宽，10 微米高。蠕动通常由模式 101, 100, 110, 010, 011, 001 致动，其中 0 和 1 分别表示“阀打开”和“阀闭合”。这种模式被称为“120°”模式，其中涉及在三个阀之间的致动的相位角。

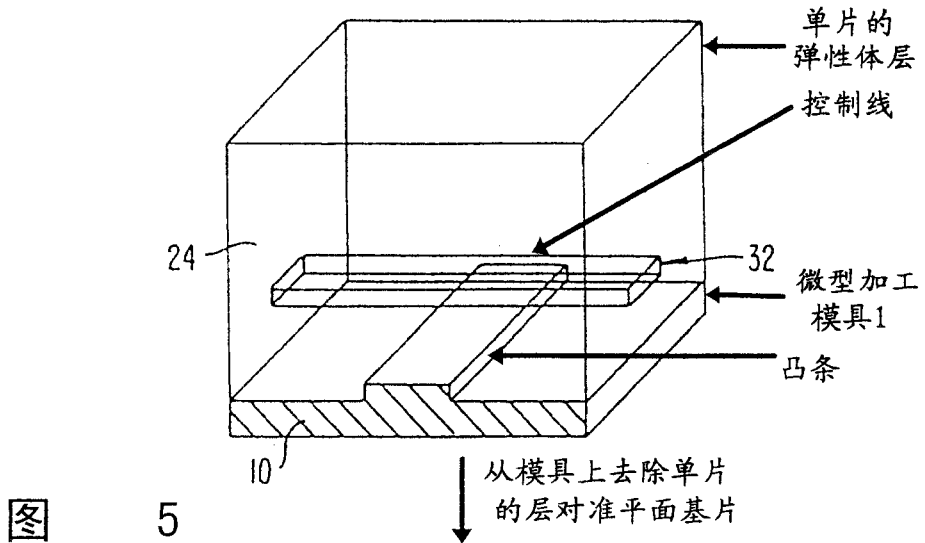
也可用其它的模式,包括 90° 和 60° 模式。在给定的模式循环的某一频率的泵送速率中的差异是最小的。(B)一蠕动的微型泵的泵送速率与各种驱动频率的关系曲线。微型阀的尺寸=100 微米 \times 100 微米 \times 10 微米;施加的空气压力=50 千帕。

如此处所述建立的单块的活动阀具有超过以硅为基础的微型流体阀的几个显著优点。由于硅橡胶的低的杨氏模量,阀的活动区域不会比槽本身长;这特别允许较低的无效容积。由于膜片的柔软性,即使在微粒存在的情况下,可轻易地达到完全的阀的密封。阀与所施加的压力呈线性关系的闭合,即使在高的背压的情况下,也允许计量以及使它们闭合。它们小的尺寸使它们更快,而尺寸和软柔性均使它们更持久耐用。小的尺寸、气动致动以及无需使它们致动可通过槽的能力允许在一个单个的、易于构造的微型流体芯片中能密集地集成多个微型流体泵、阀、混合腔以及开关阀。然而,最大的优点是易于生产。与传统的以硅为基础的微型切削加工(Shoji, S., 《当代化学精华》194:163 (1998)) (或甚至于结合聚合物的混合装置(Fahrenberg, J., 等人, 《微型机械微型工程学杂志》5:77(1995); Goll, C. 等人, 《微型机械微型工程学杂志》6:77(1996); Yang, X. 等人, 《传感器致动器》A 64:101(1998); Young, A. M. 等人, 《生物机械工程学杂志》Trans. ASME 121:2(1999)) 制成的阀和泵相比,单块弹性体阀更简单且更易于制造。

非传统材料的使用优越于传统微型切削加工使多层软平版印刷法有多种优点,包括快速产生原型、简易的制造以及宽松的加工参数。它使得多层制造不再会产生在传统微型切削加工中特有的中间层粘合的问题以及产生热应力。这种加工工艺可以用于构造出复杂的多层微型制造的结构,如光学系统、微型流体阀和泵。此种所用的硅橡胶对可见光是透明的,便于对微型流体装置进行光学检查。这种材料还是在用于制造接触透镜的类中的生物相容的材料。原材料是不贵的,特别是与单晶体硅相比时(约 0.05 美元/厘米³与约 2.5 美元/厘米³相比)。最重要的是,它的杨氏模量低,这允许甚至是小的面积的装置的致动。气动致动的阀和泵将可用在非常广泛的基于一芯片的实验的应用之中。在将来,它可用于设计电或磁致动的阀和泵,它们可用作临床应用的移植装置。

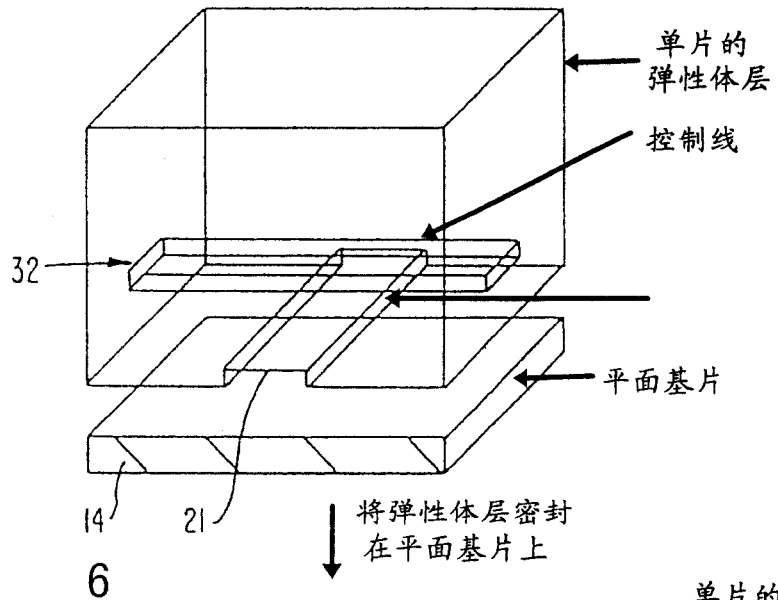
注:在此原稿的提交后,我们获悉了哈佛大学 Whitesides 小组 J. Anderson 等人的相关的工作。





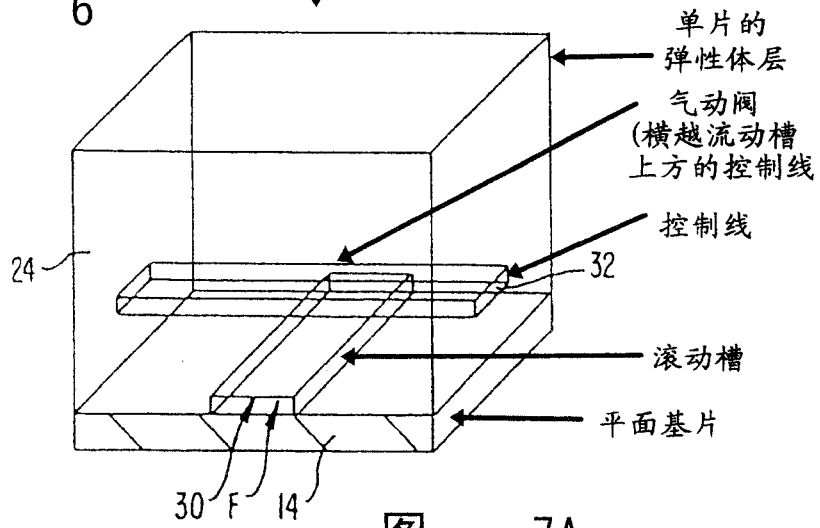
图

5



图

6



图

7A

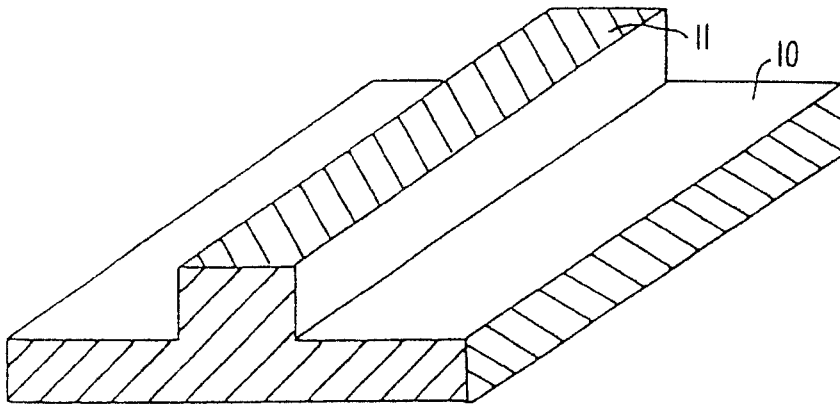


图 7C

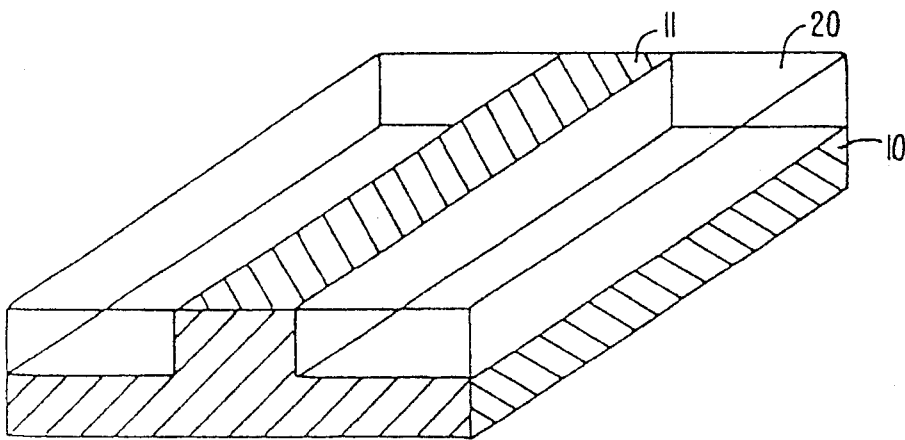


图 7D

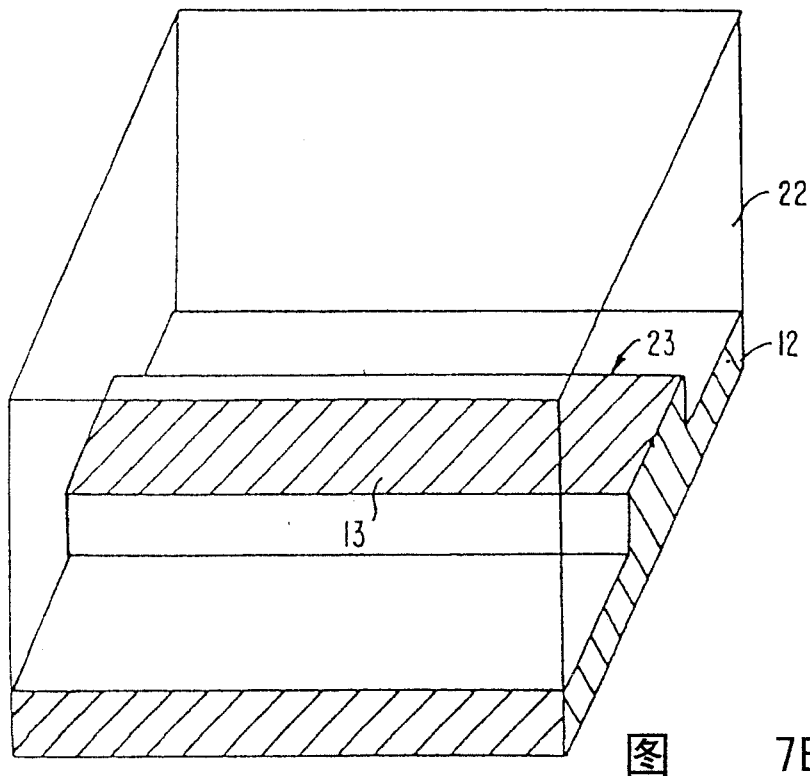


图 7E

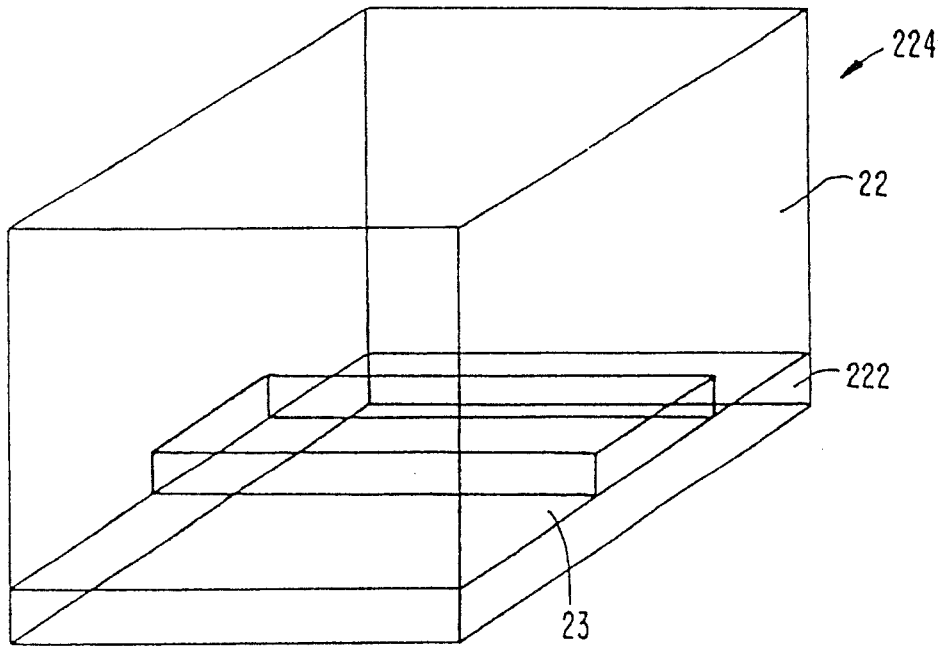


图 7F

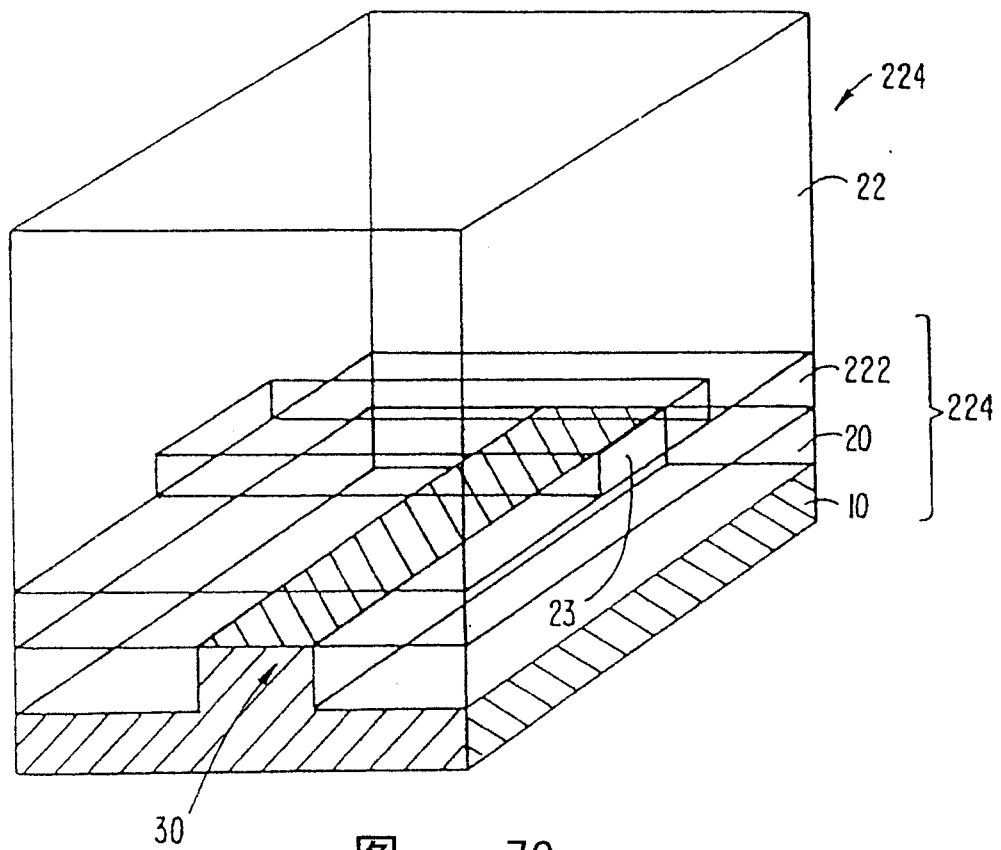


图 7G

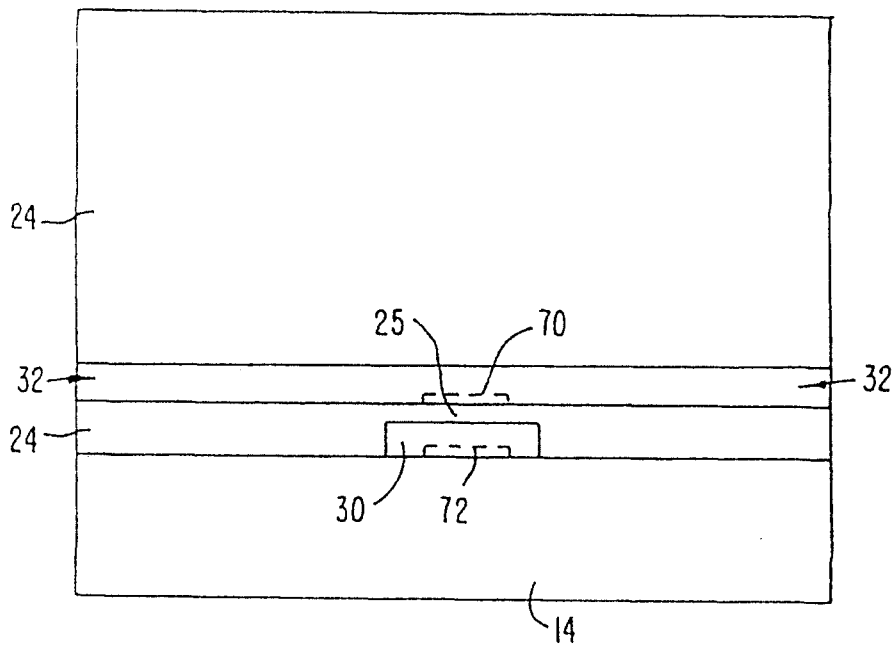


图 7B

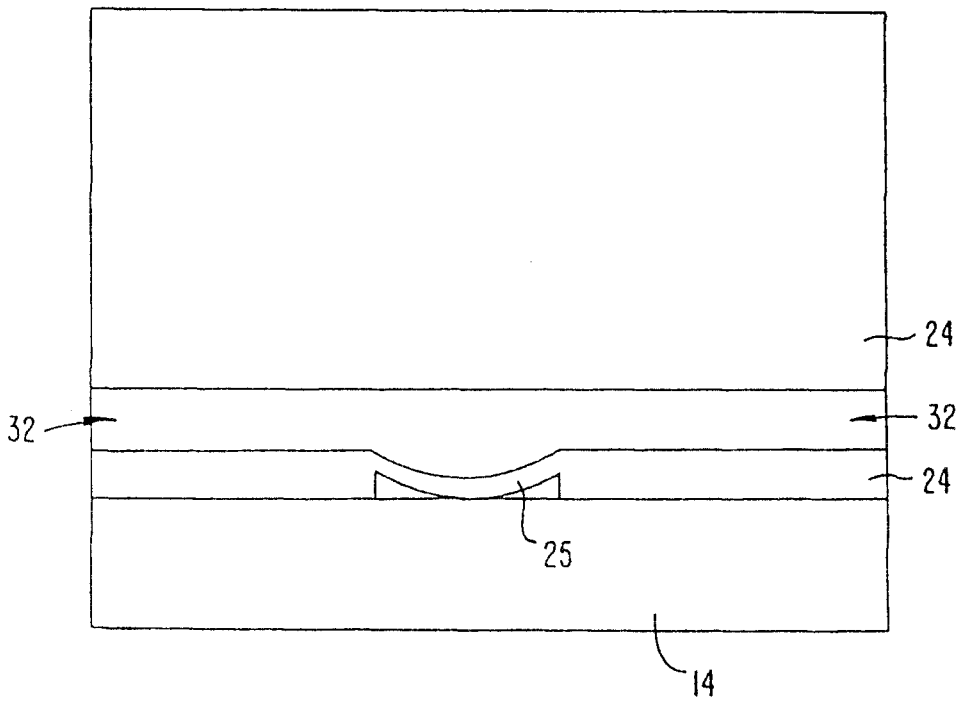


图 7H

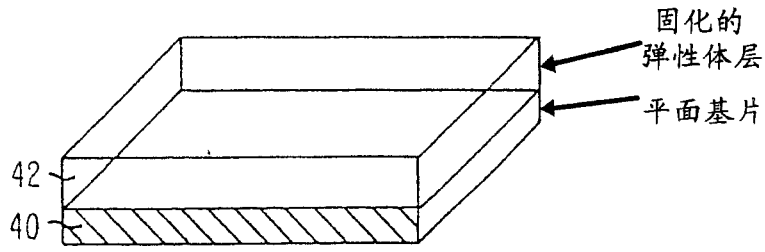


图 8

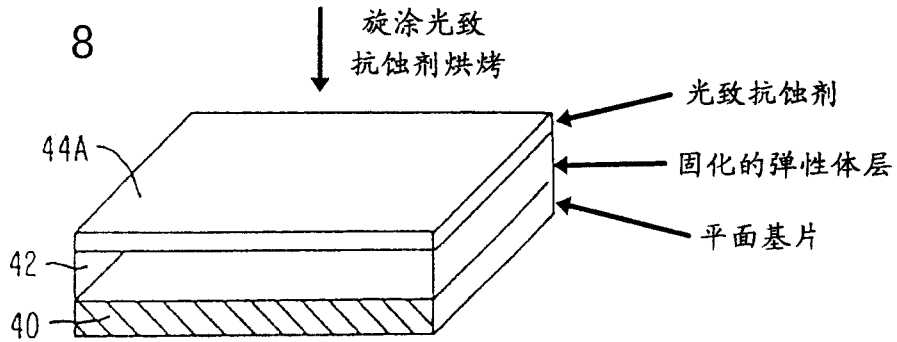


图 9

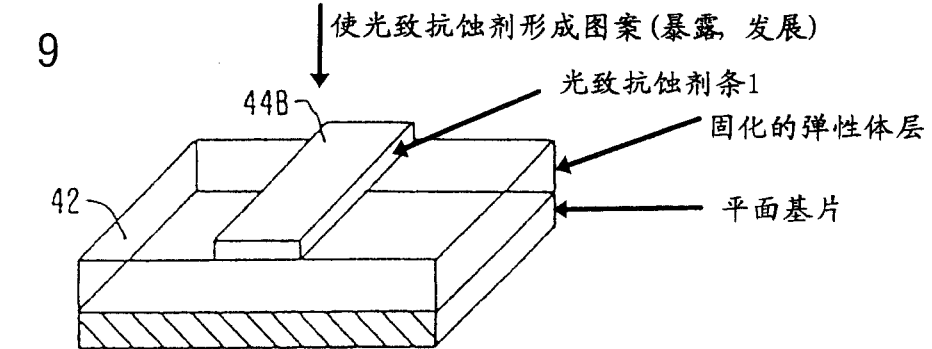


图 10

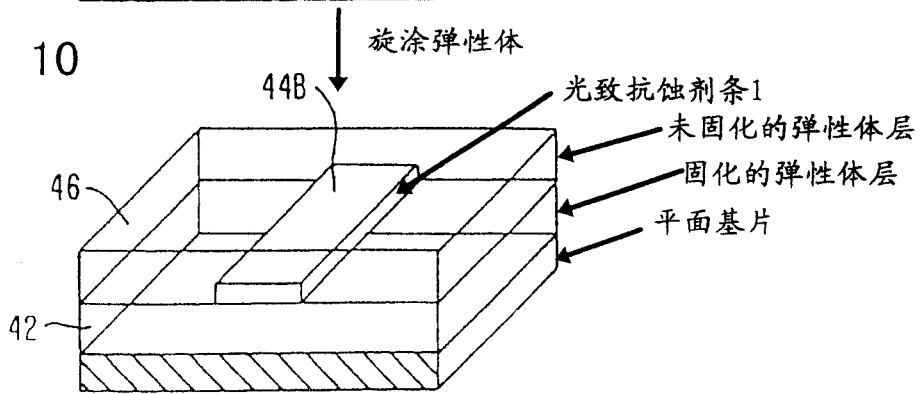
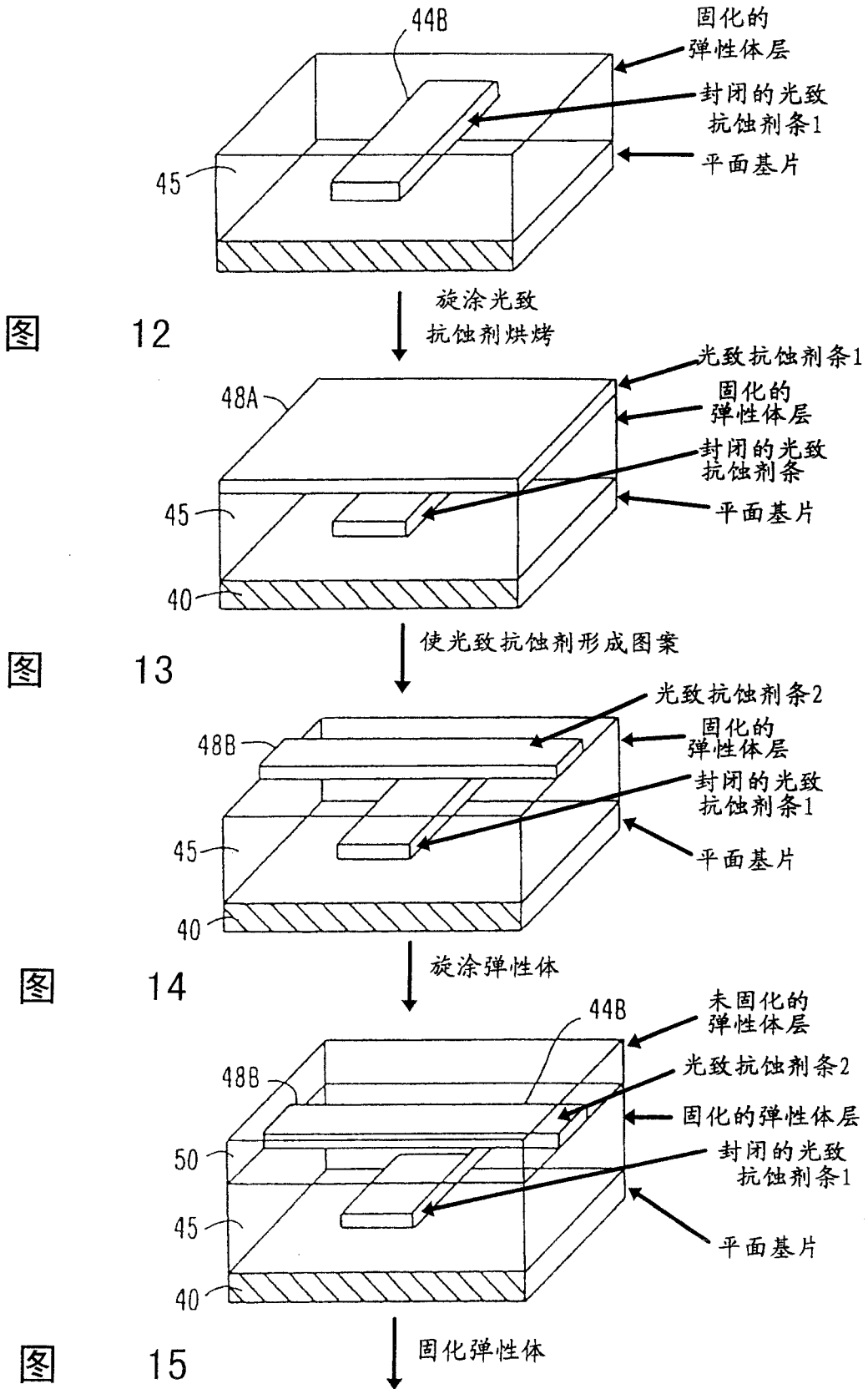
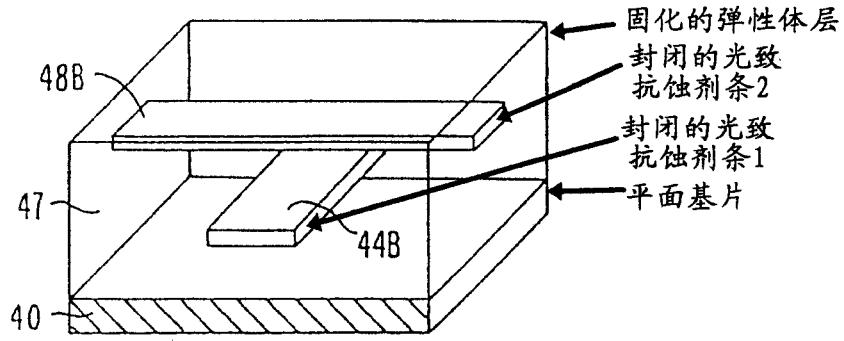


图 11



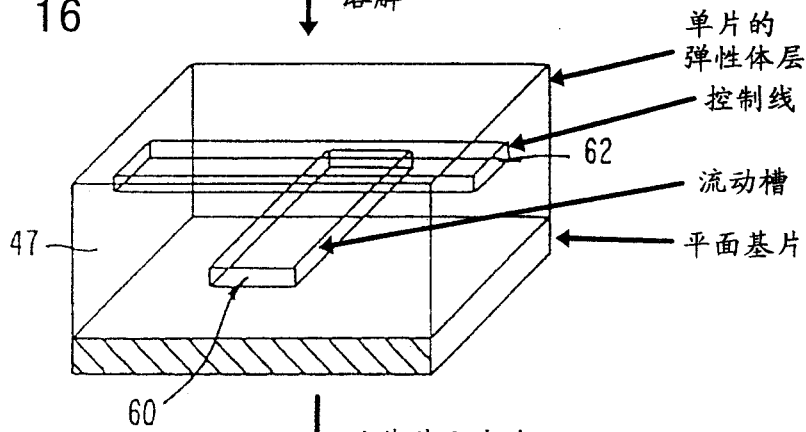




图

16

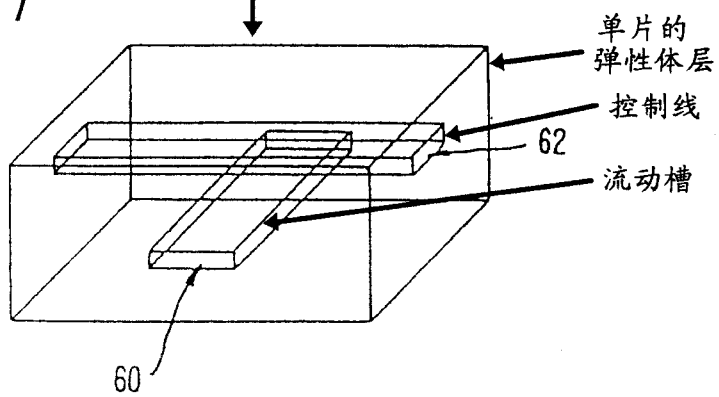
↓ 溶解



图

17

↓ 从基片上去除



图

18

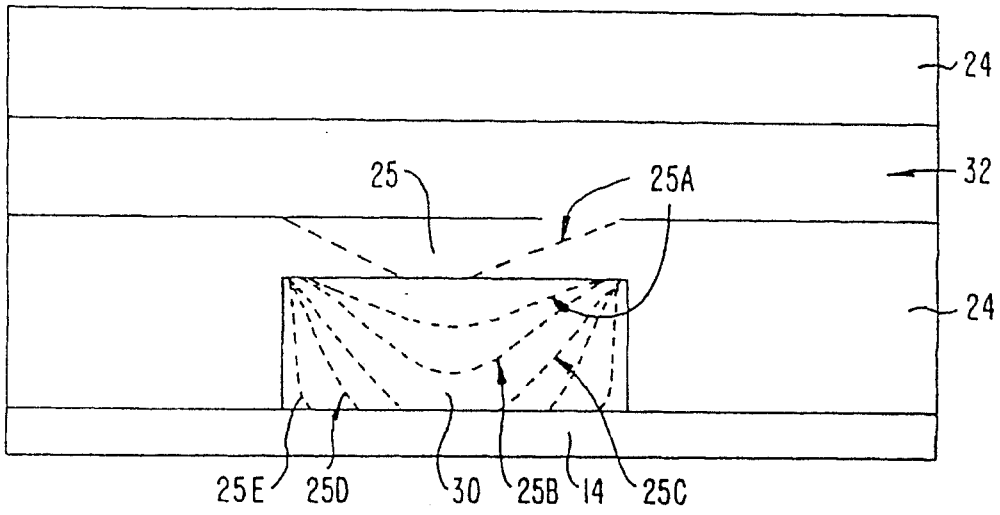


图 19

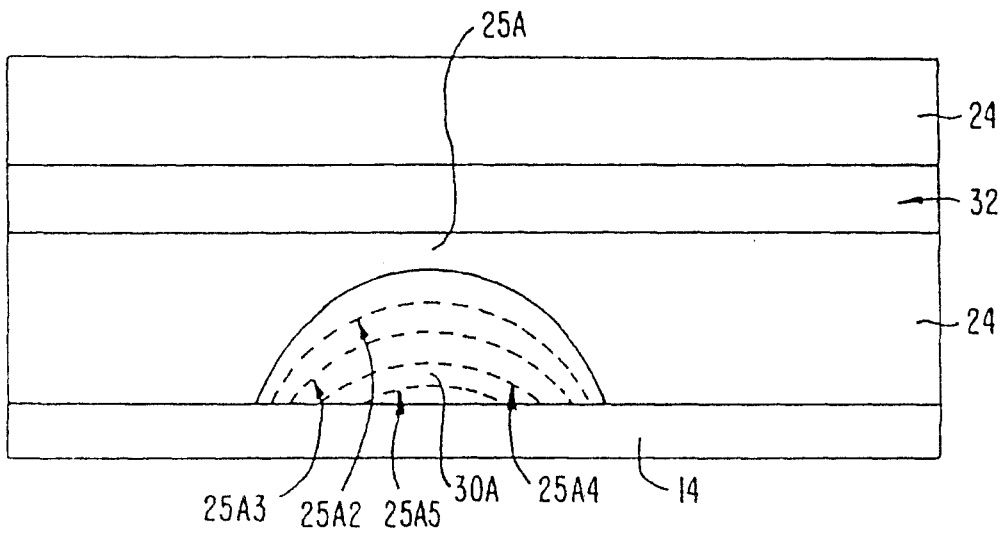


图 20

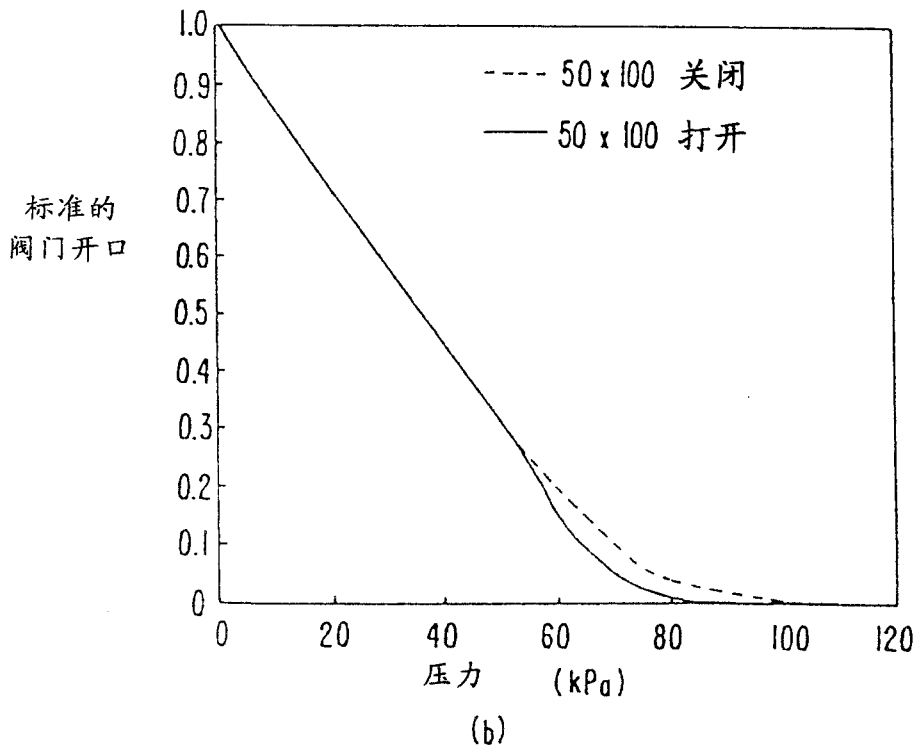
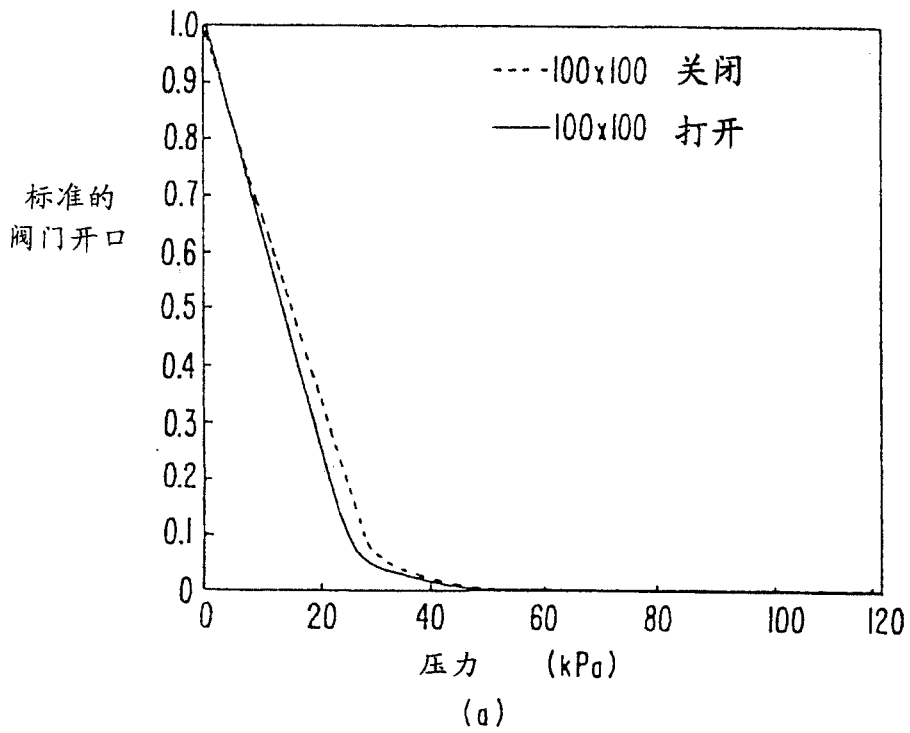
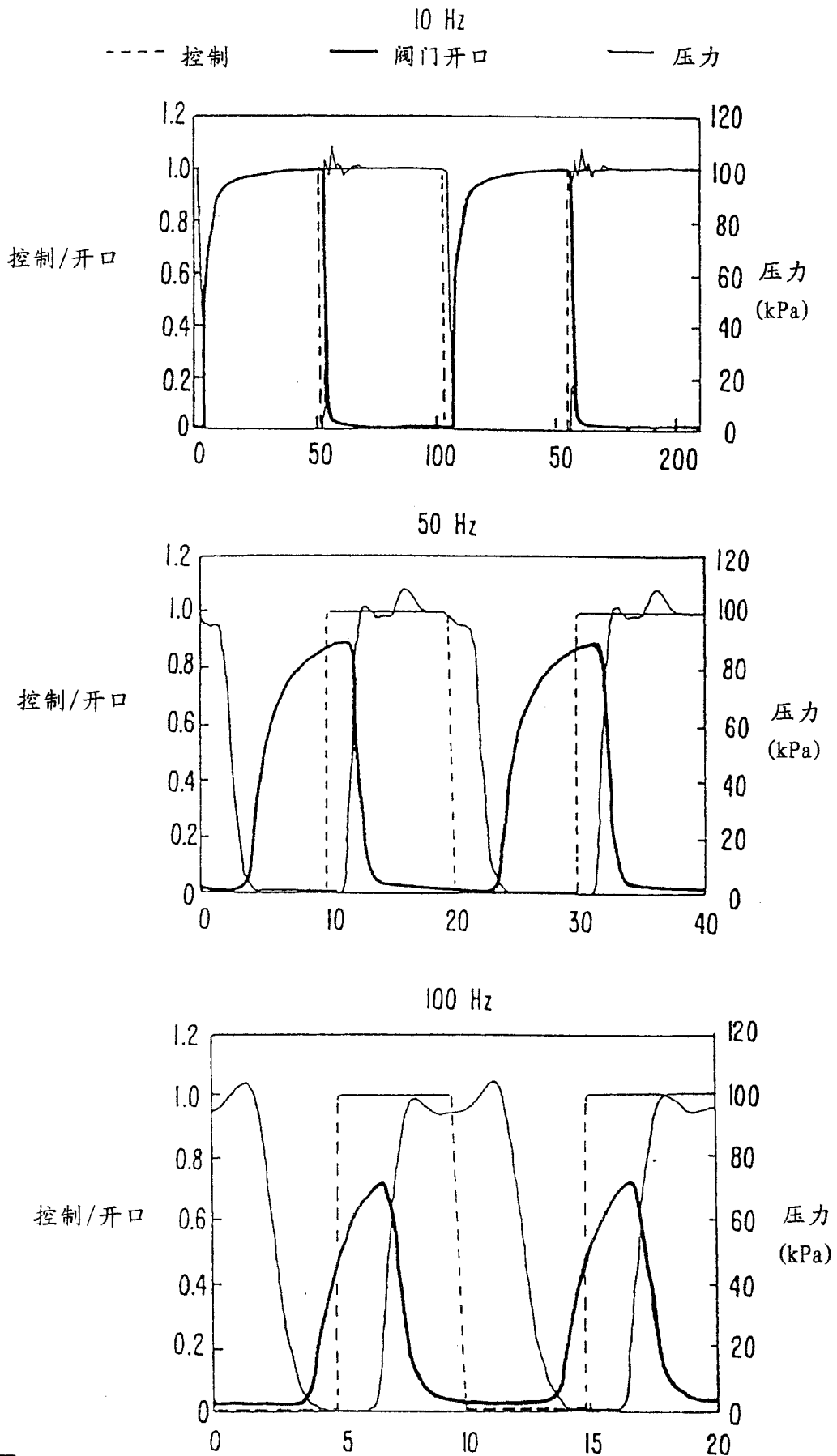


图 21



图

22

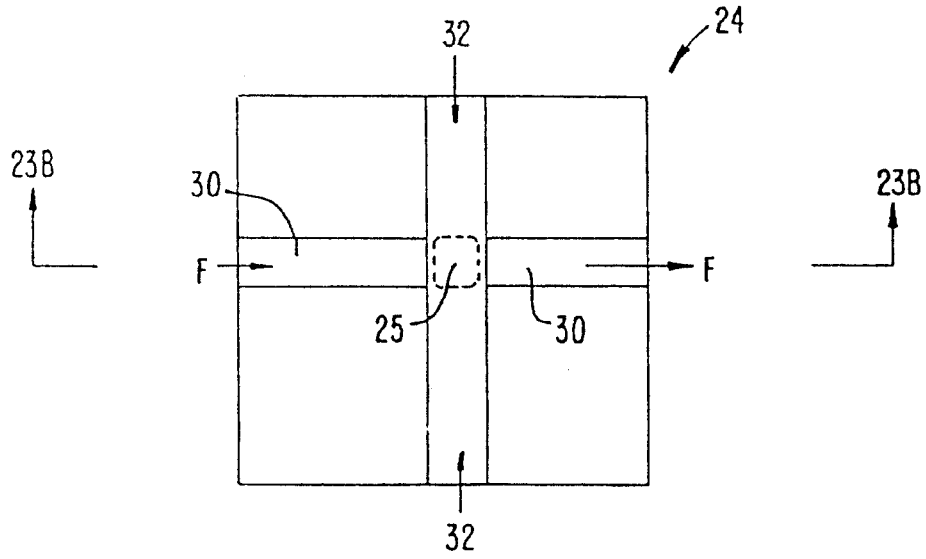


图 23A

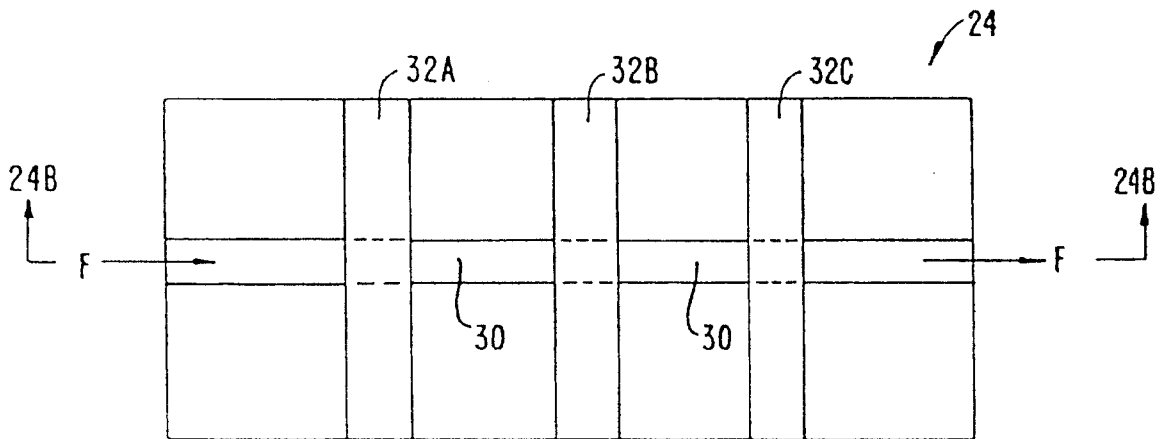


图 24A

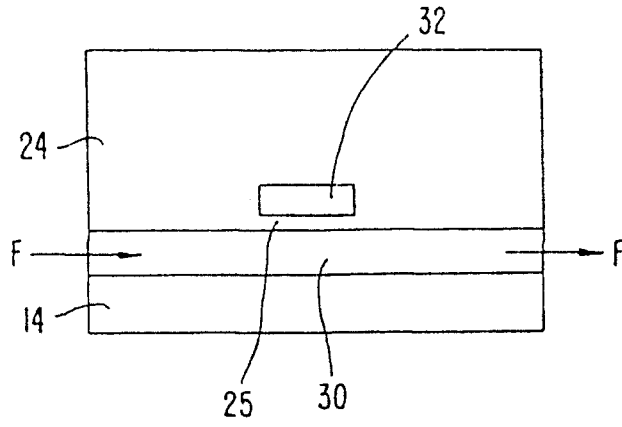


图 23B

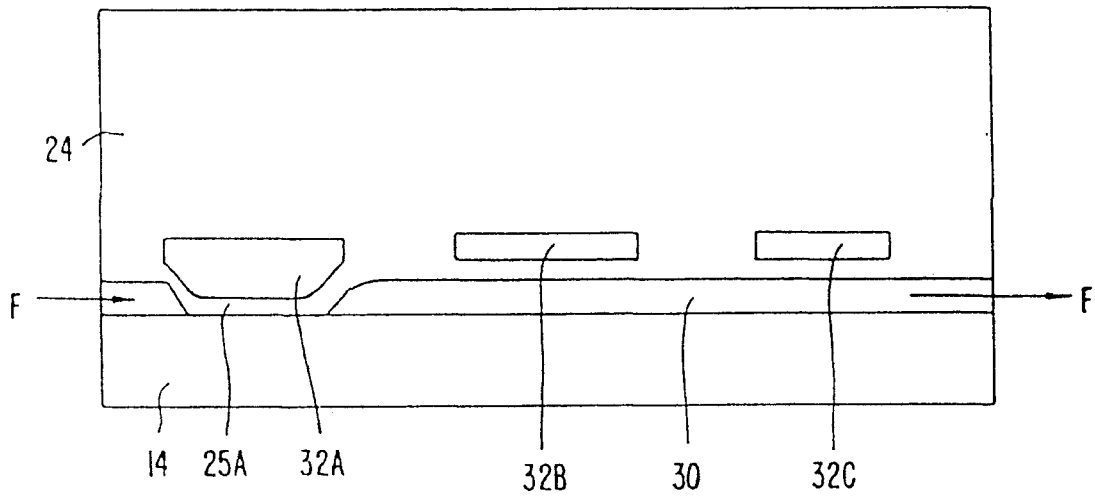


图 24B

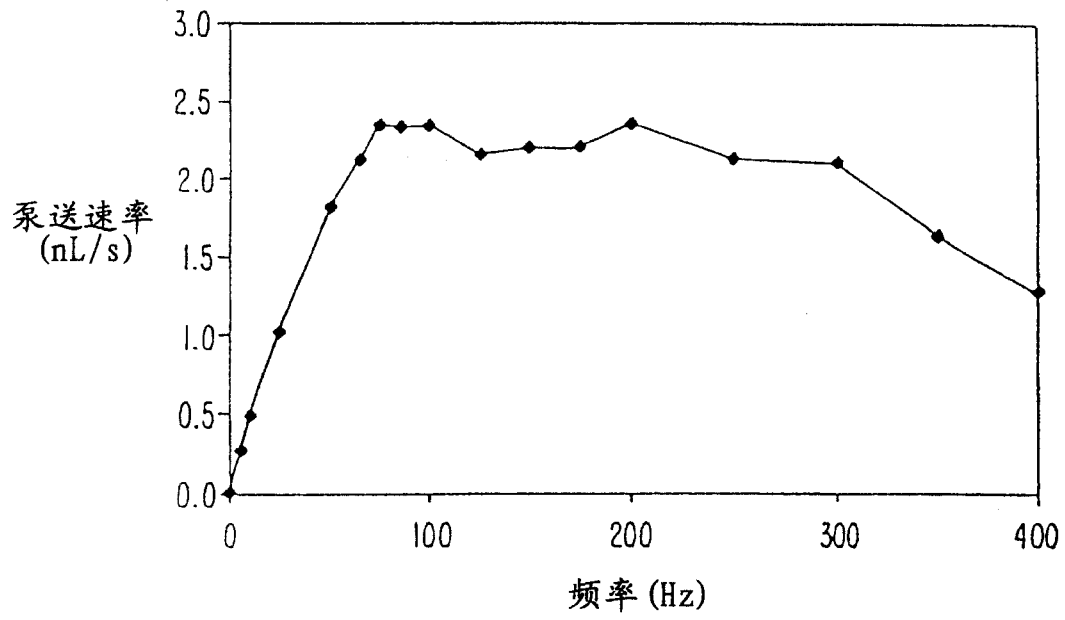


图 25

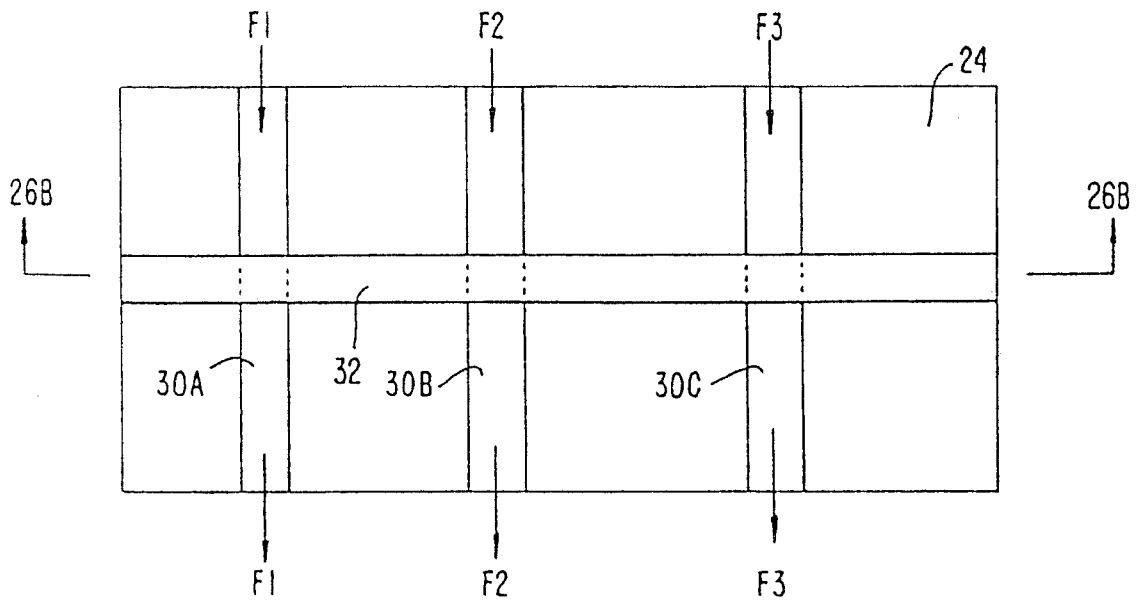


图 26A

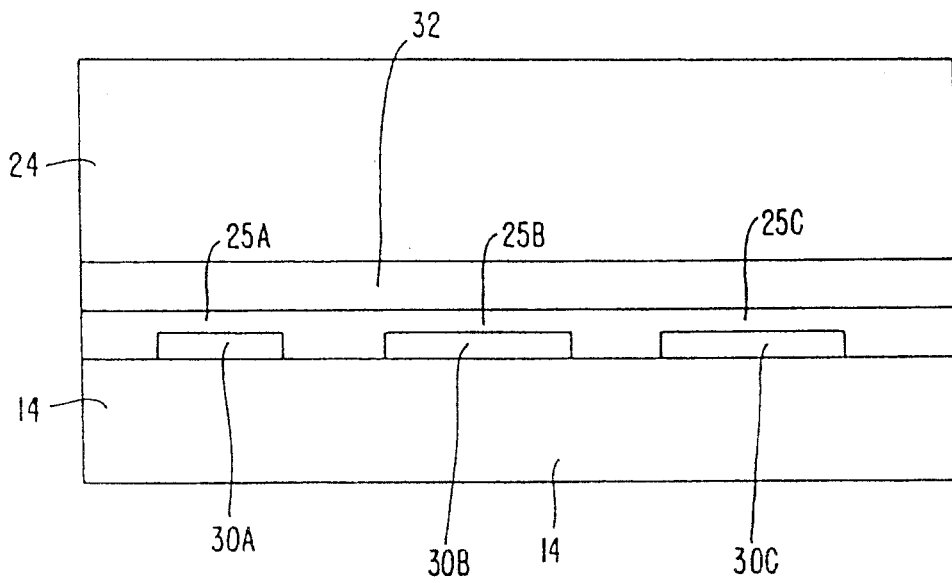


图 26B

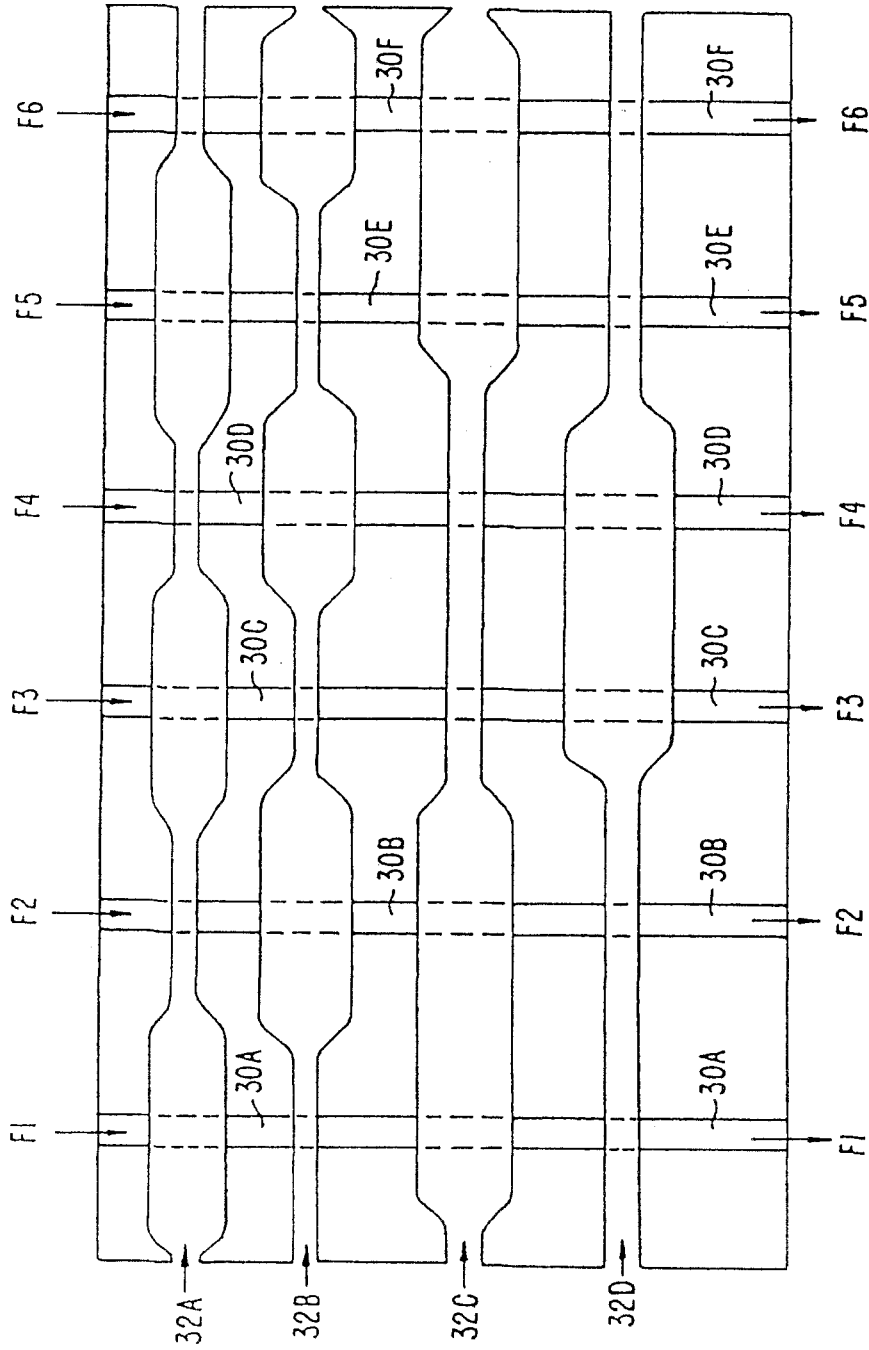


图 27

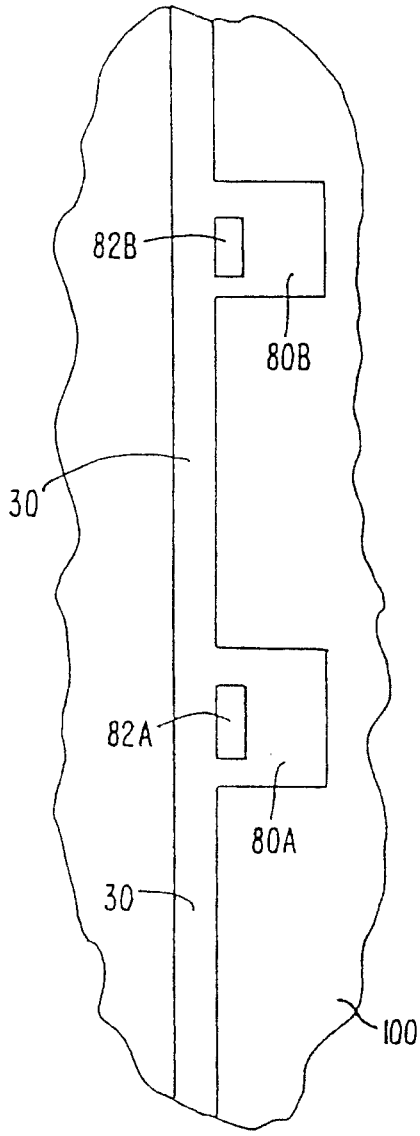


图 28A

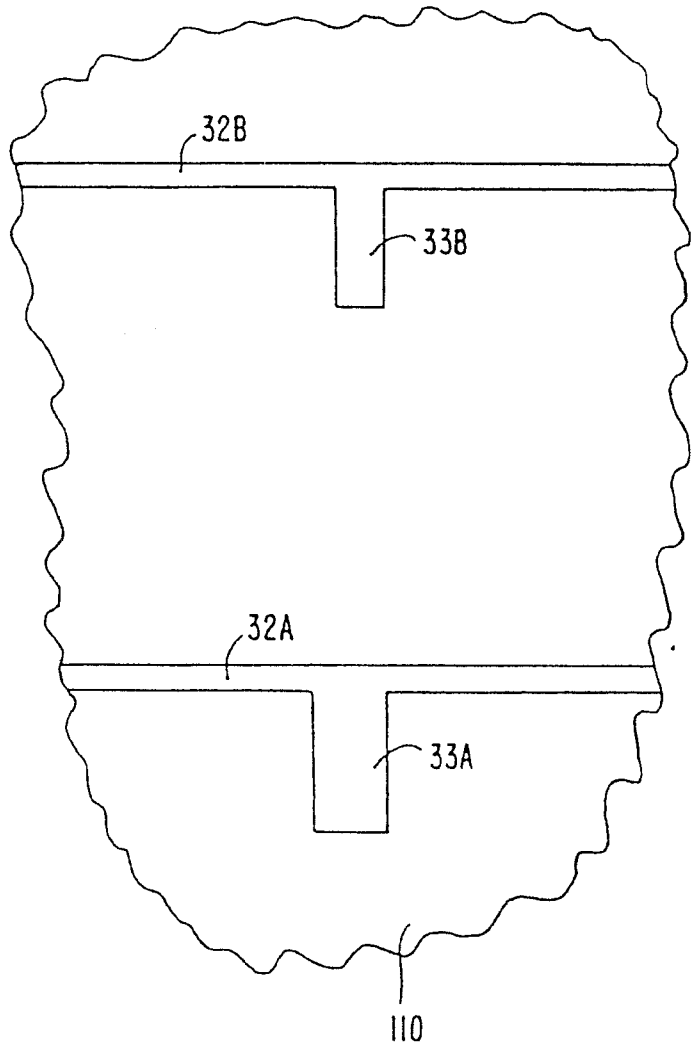


图 28B

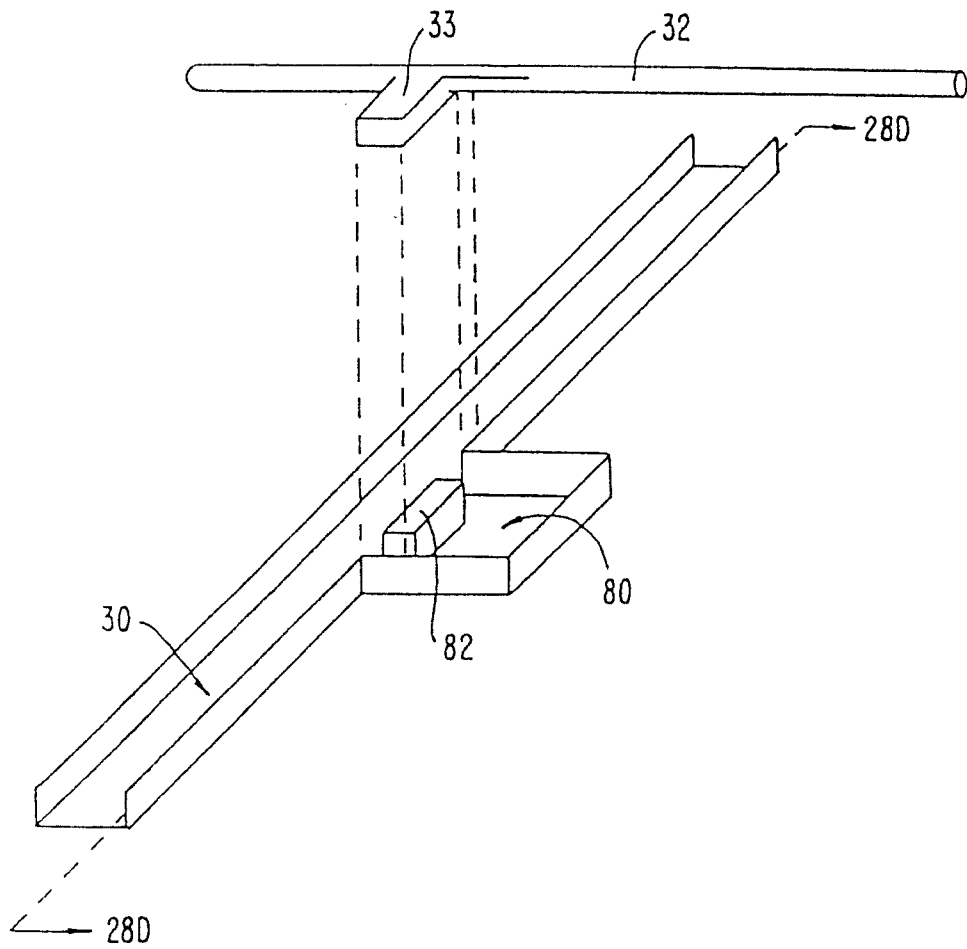


图 28C

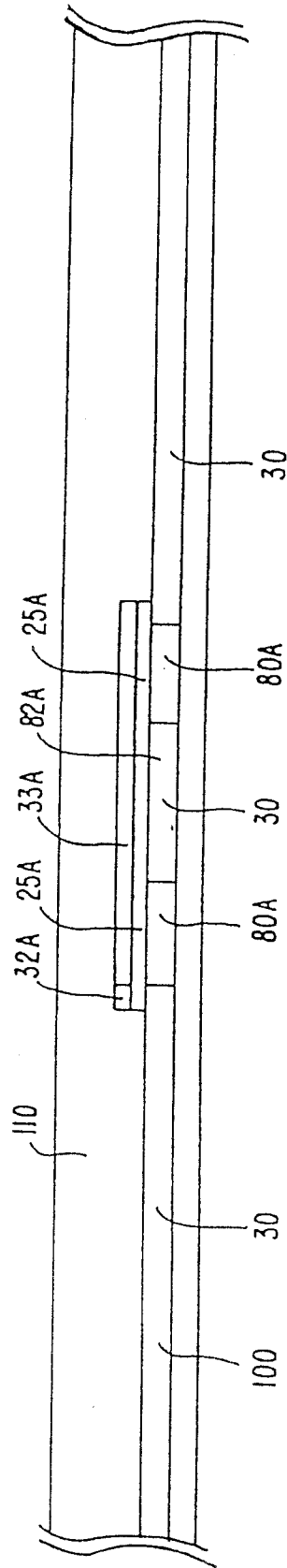


图 28D

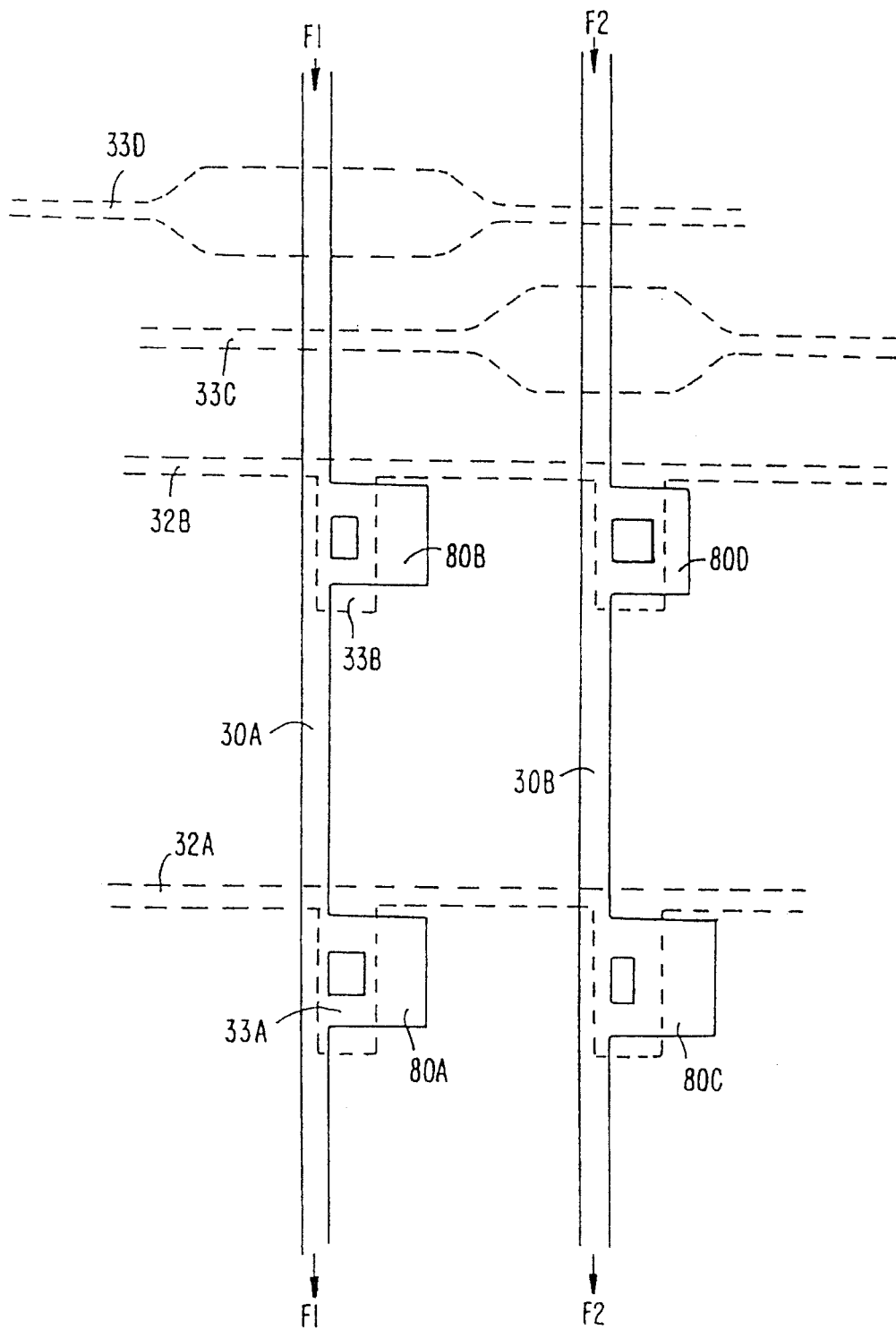


图 29

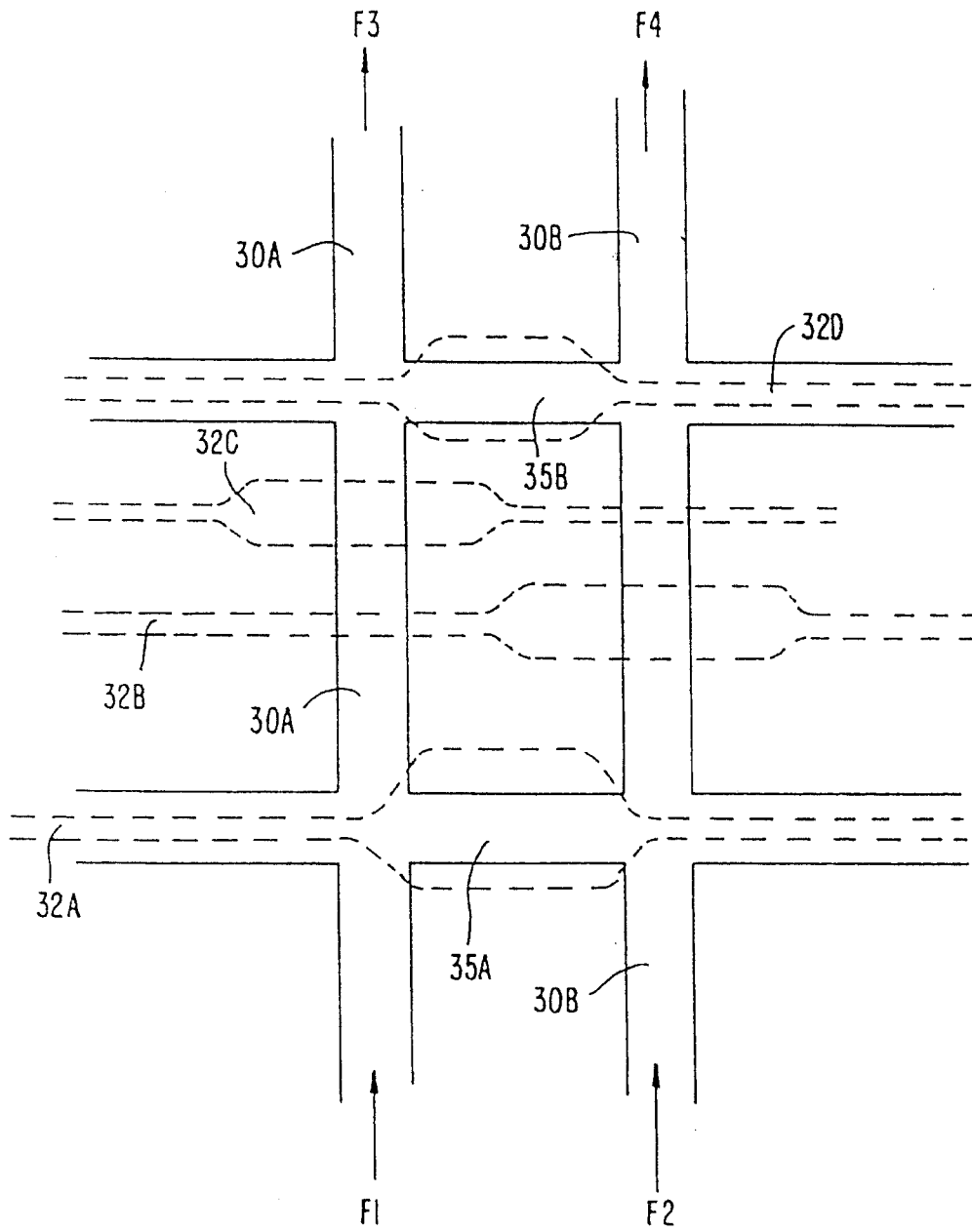


图 30

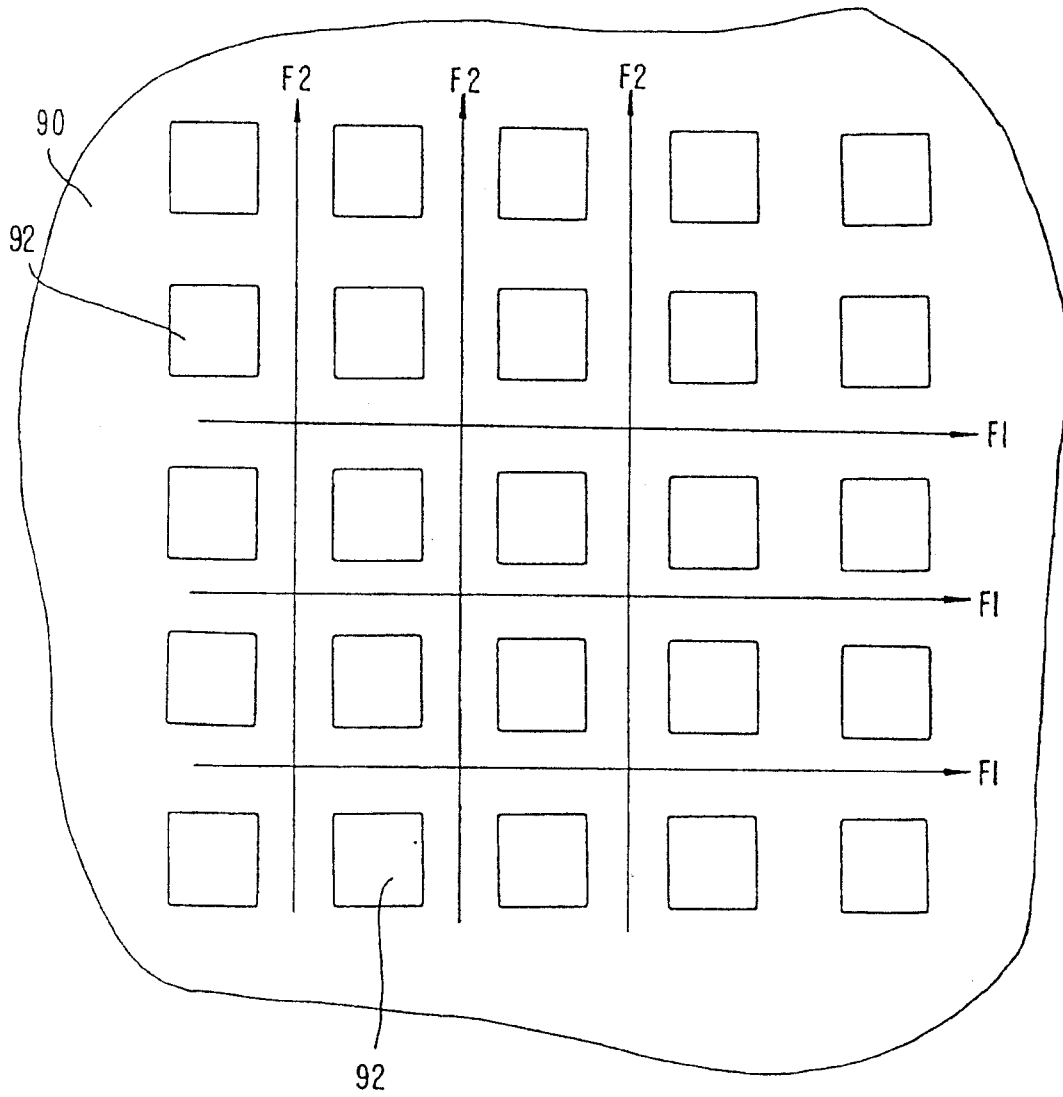


图 31A

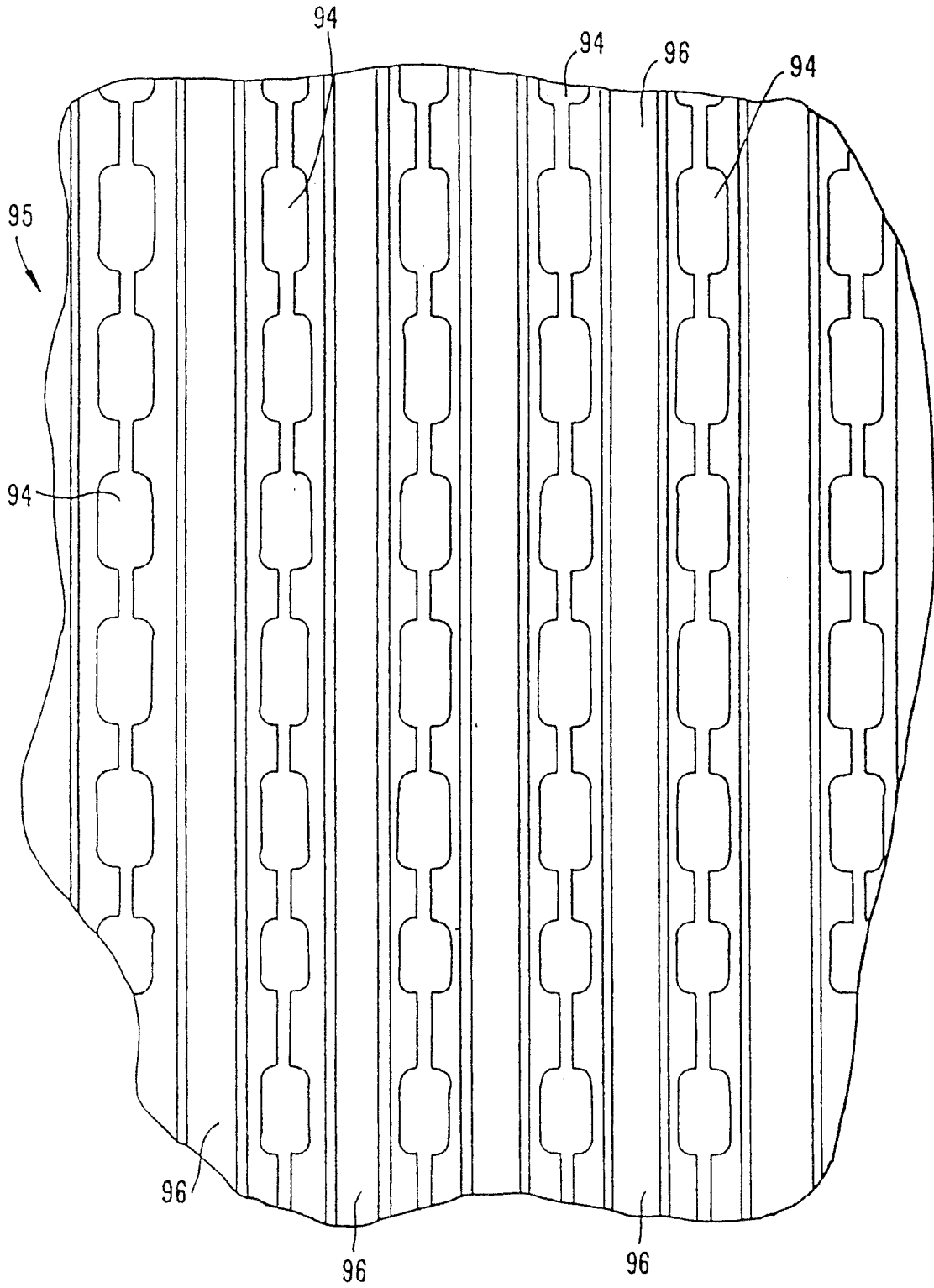


图 31B

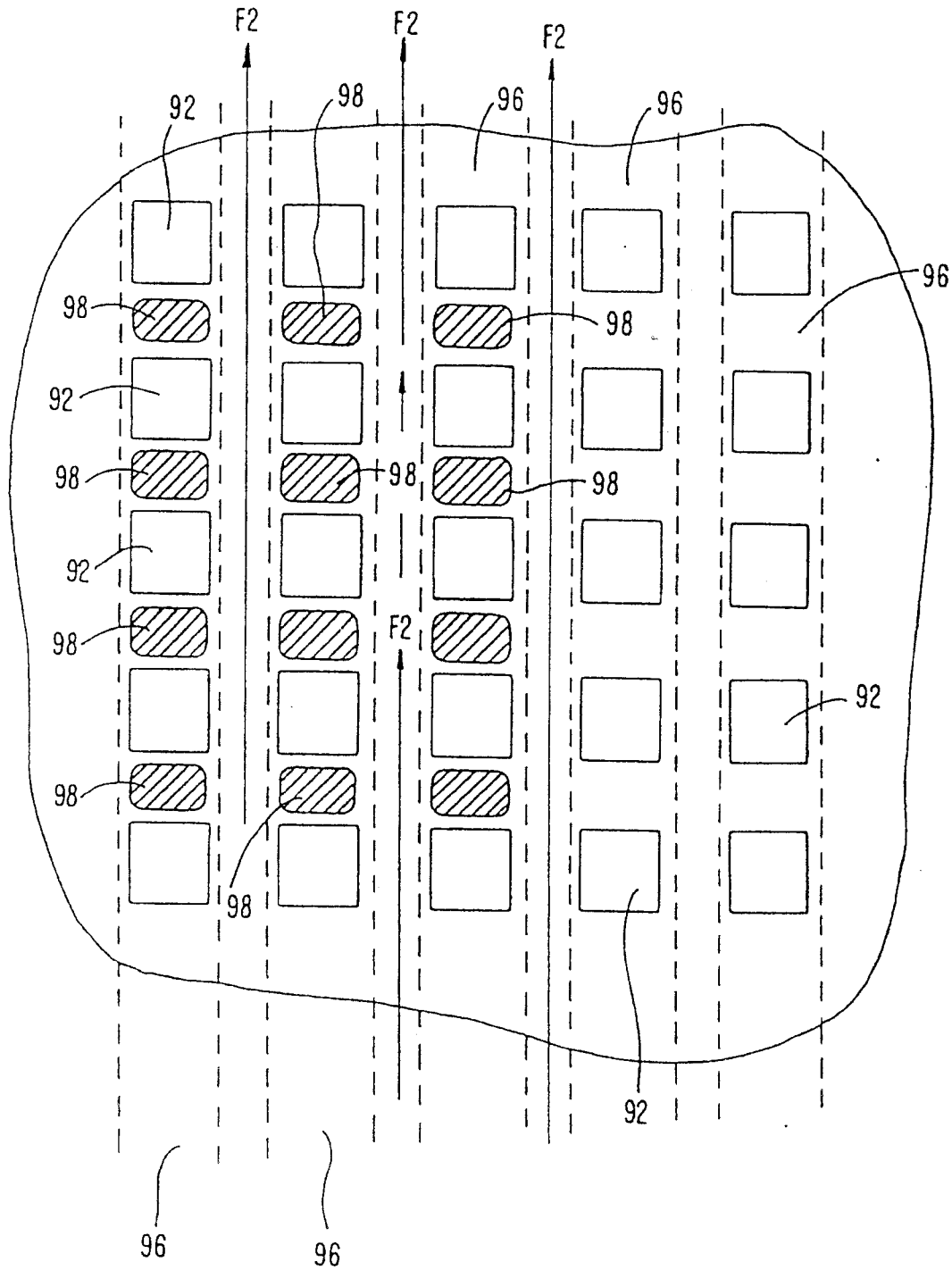


图 31C

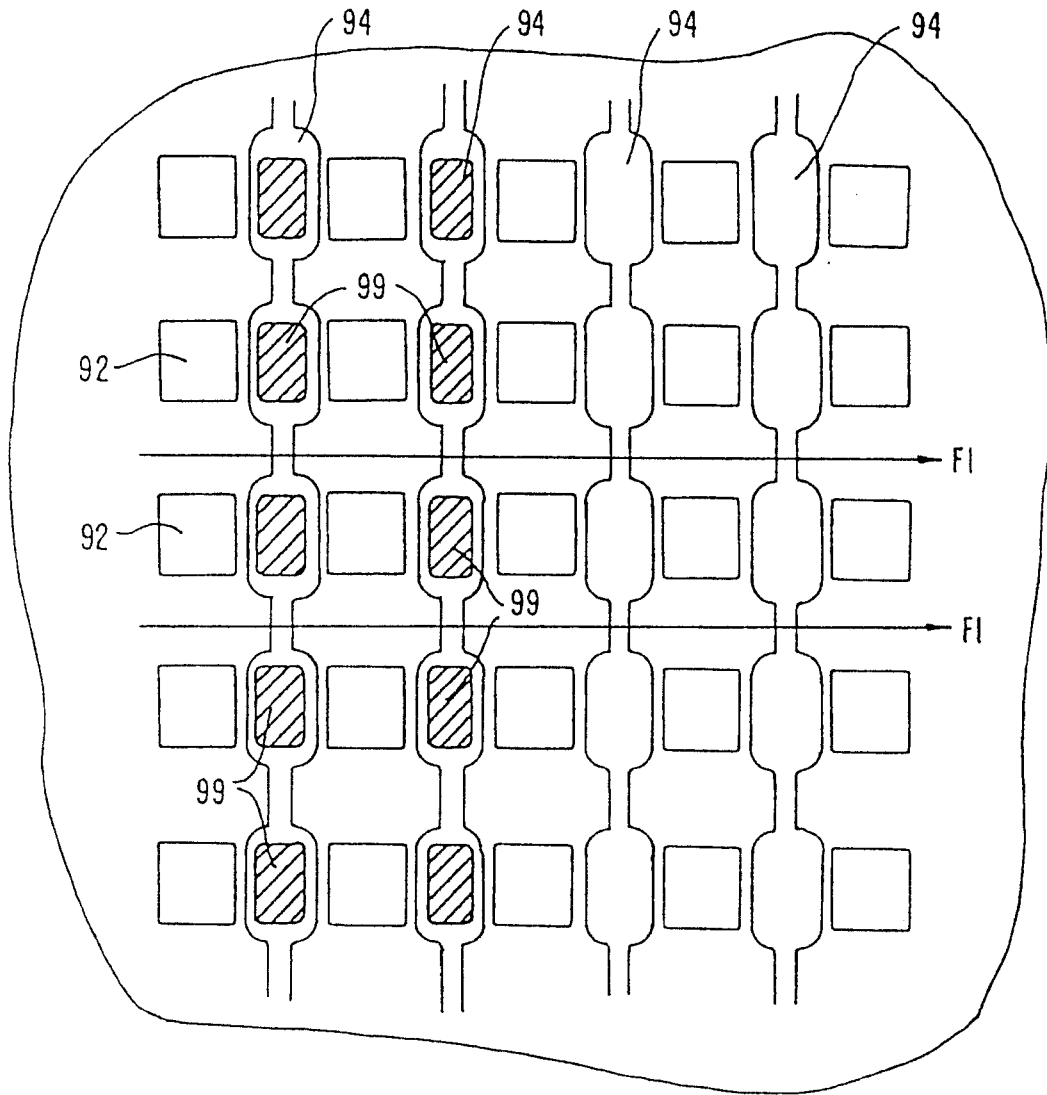


图 31D

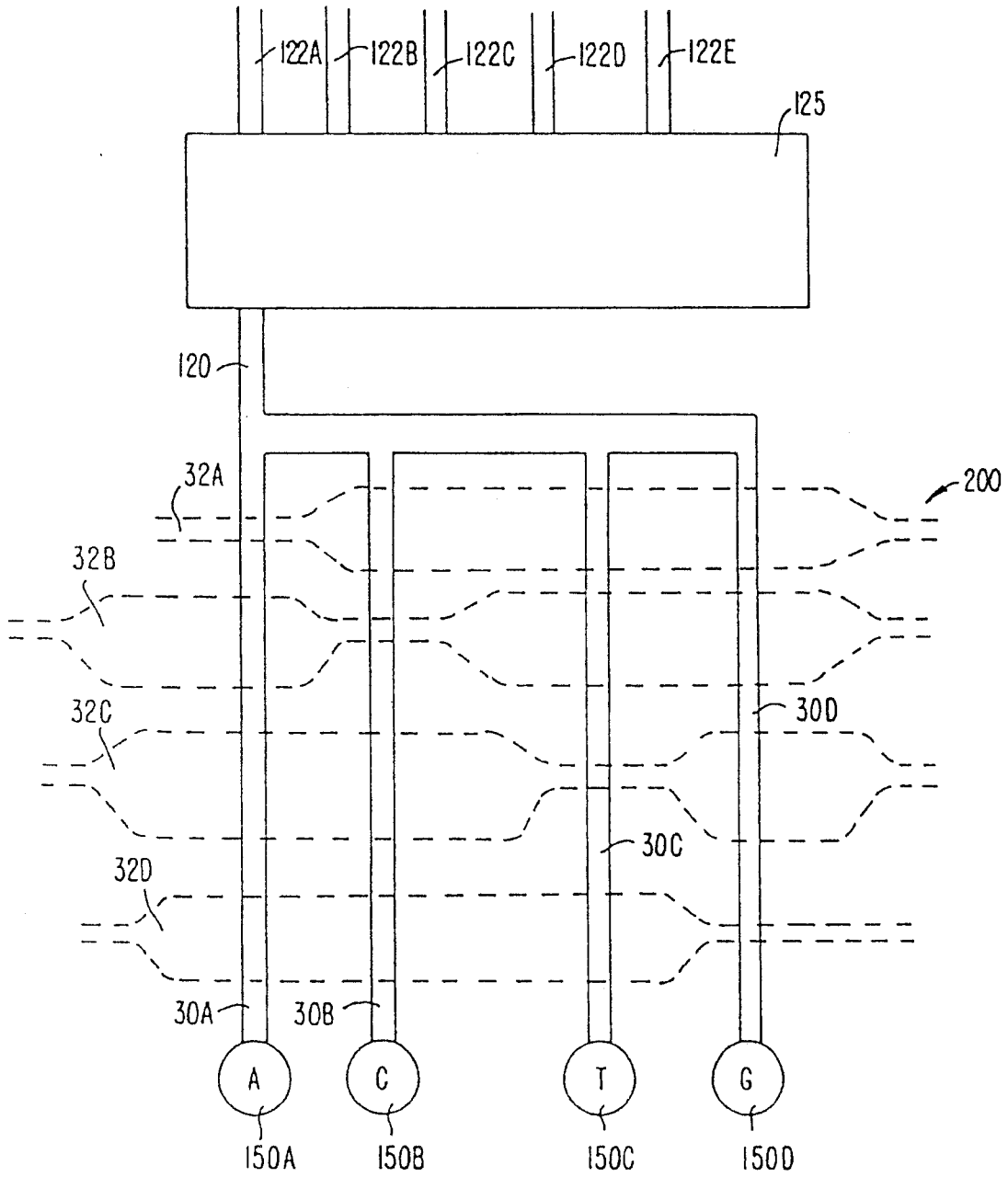


图 32

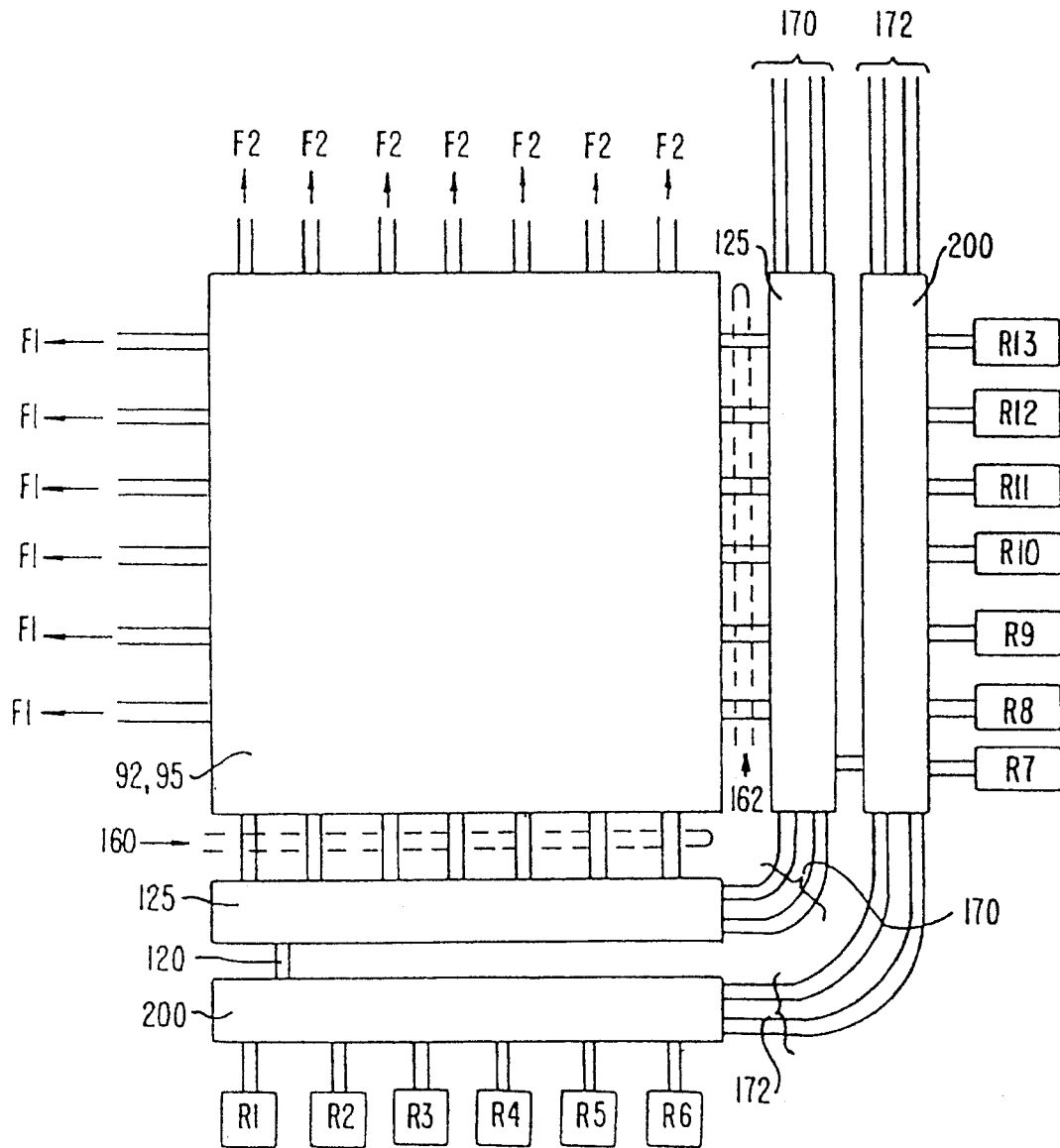


图 33

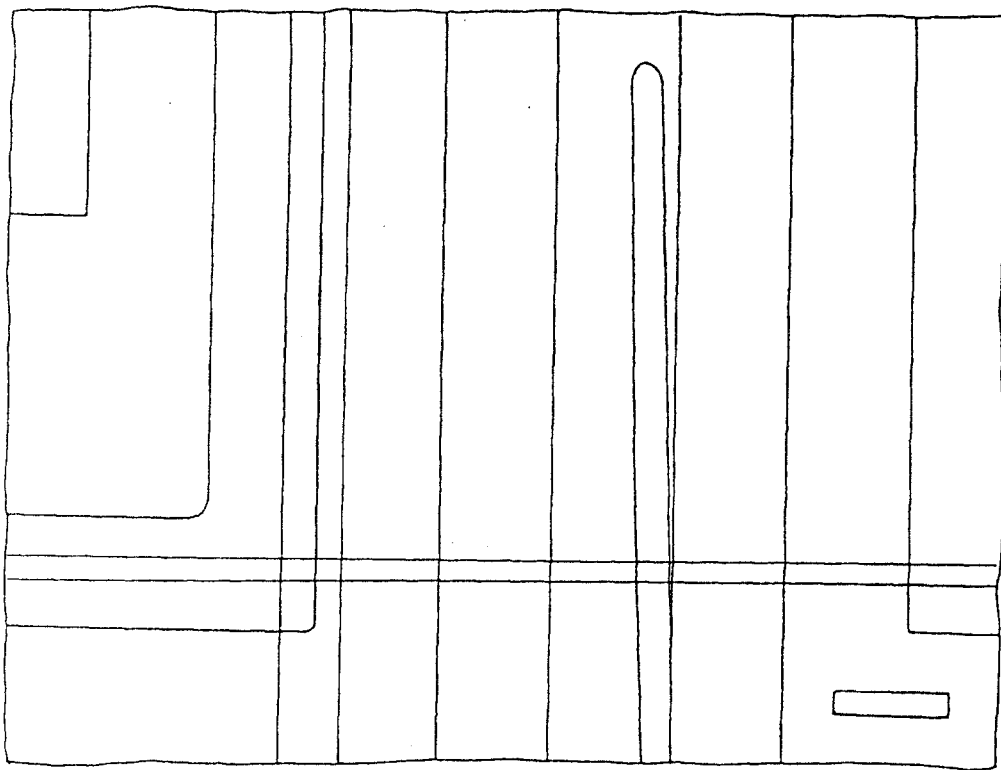
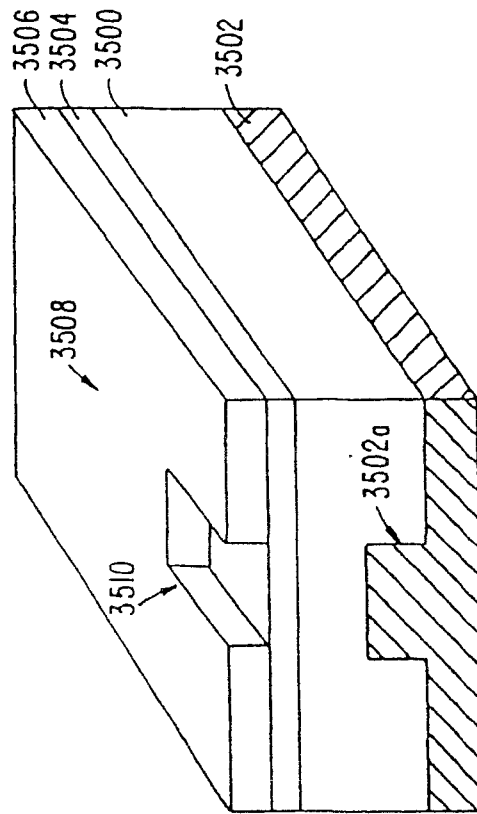
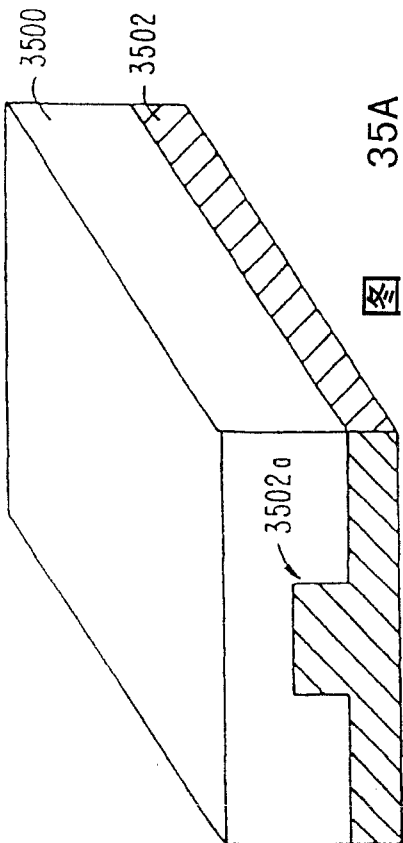
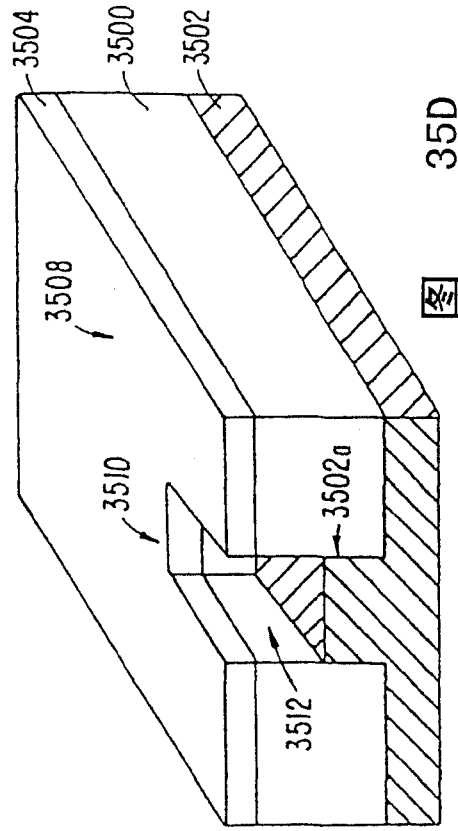
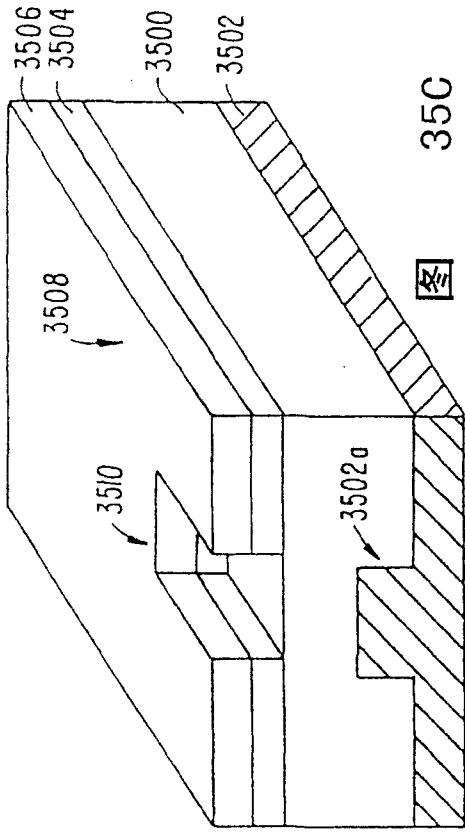


图 34



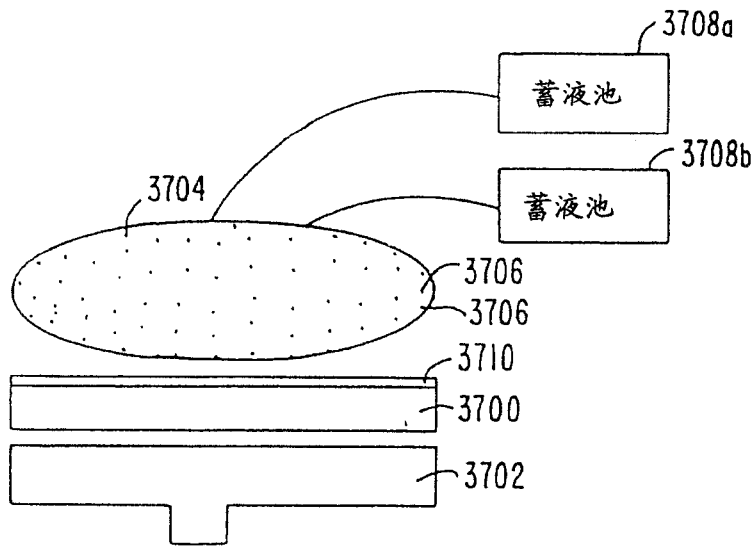


图 37

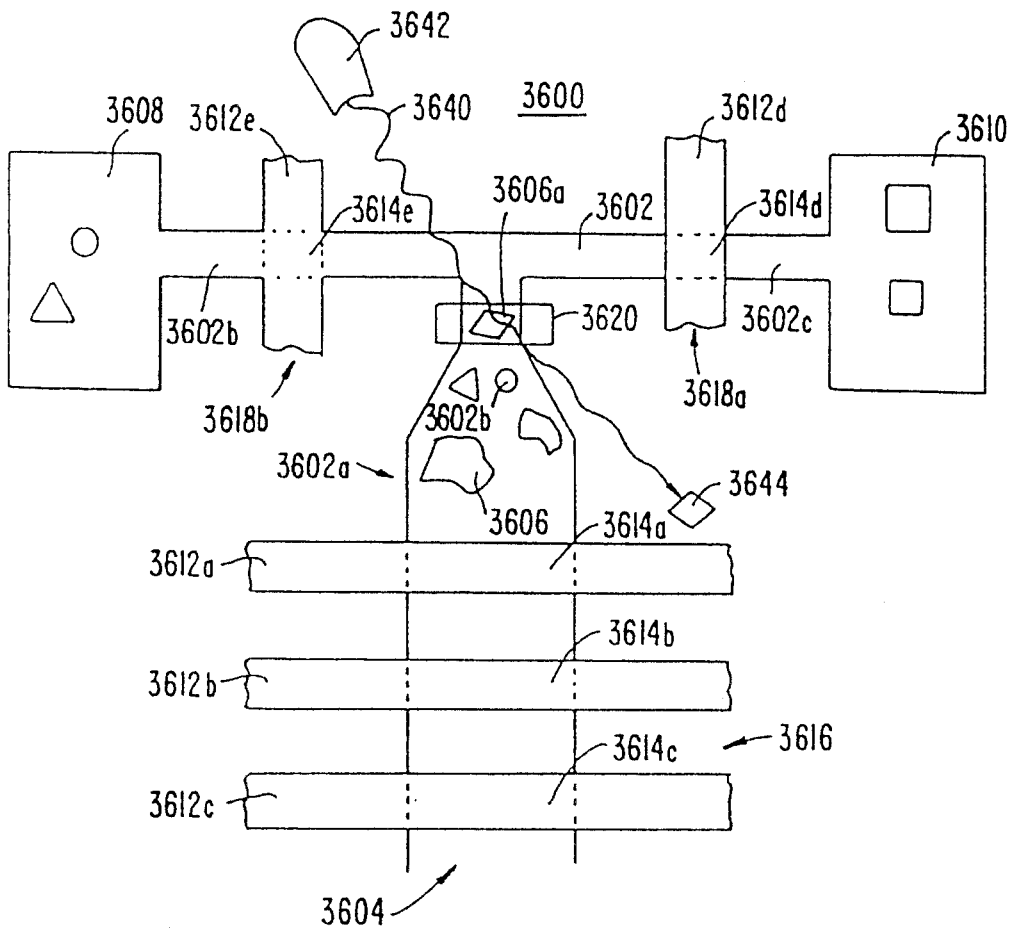
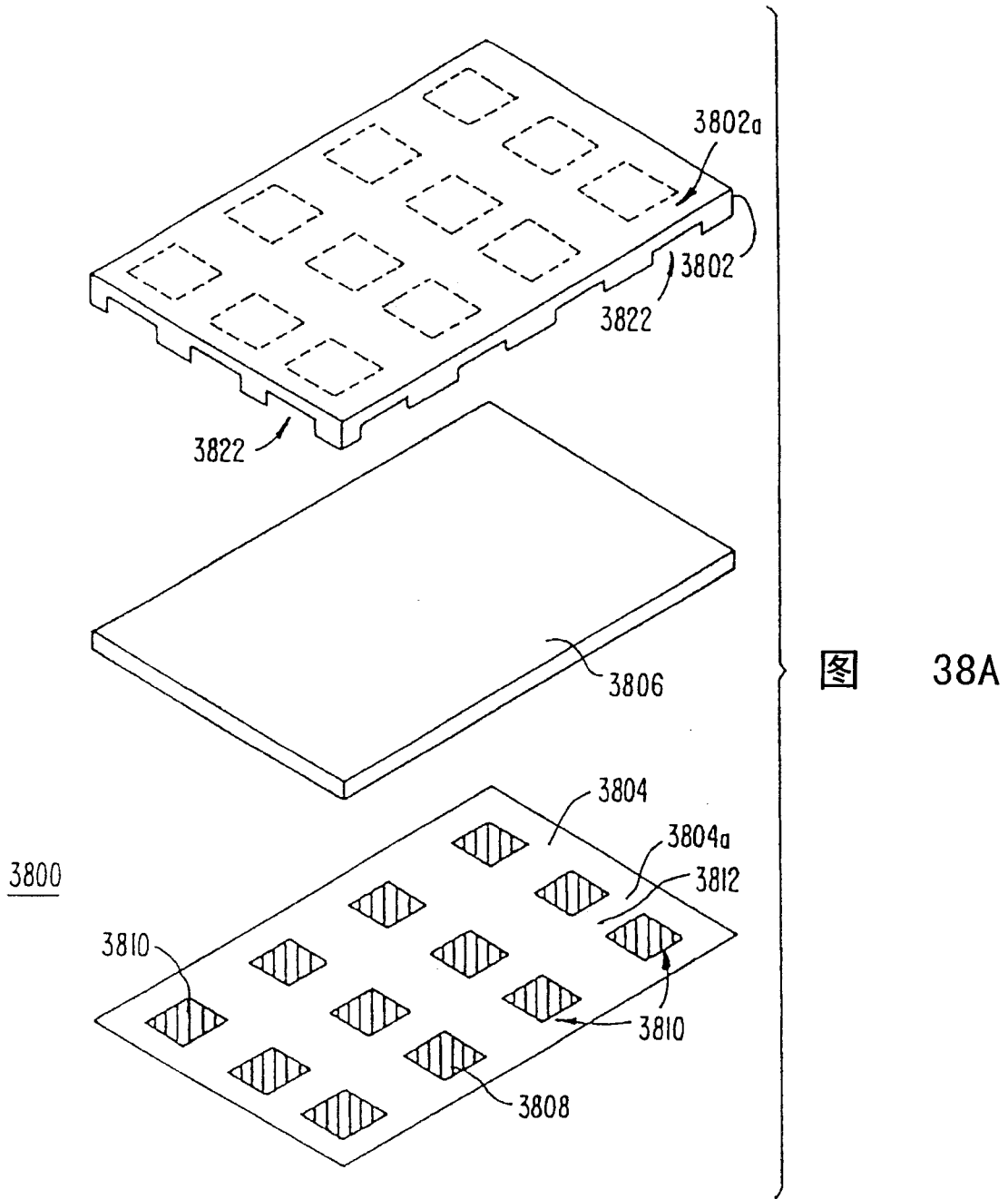


图 36



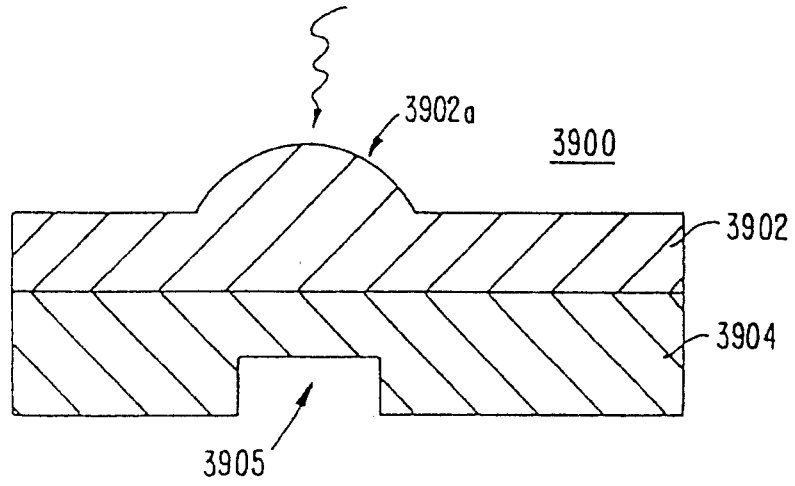


图 39

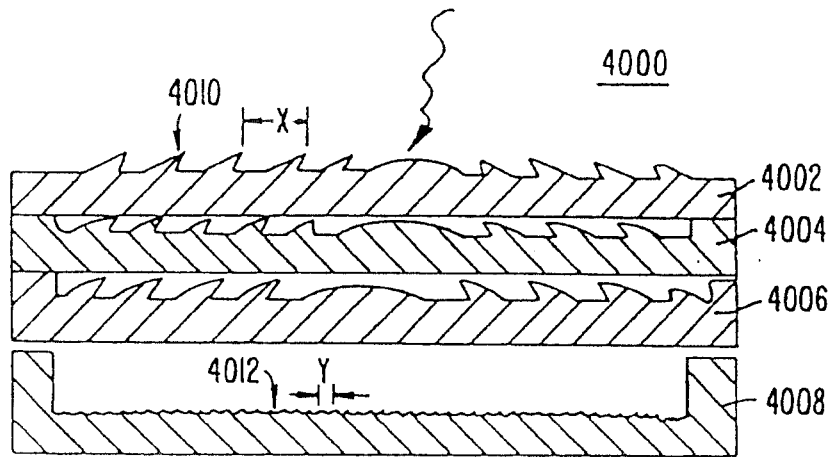


图 40

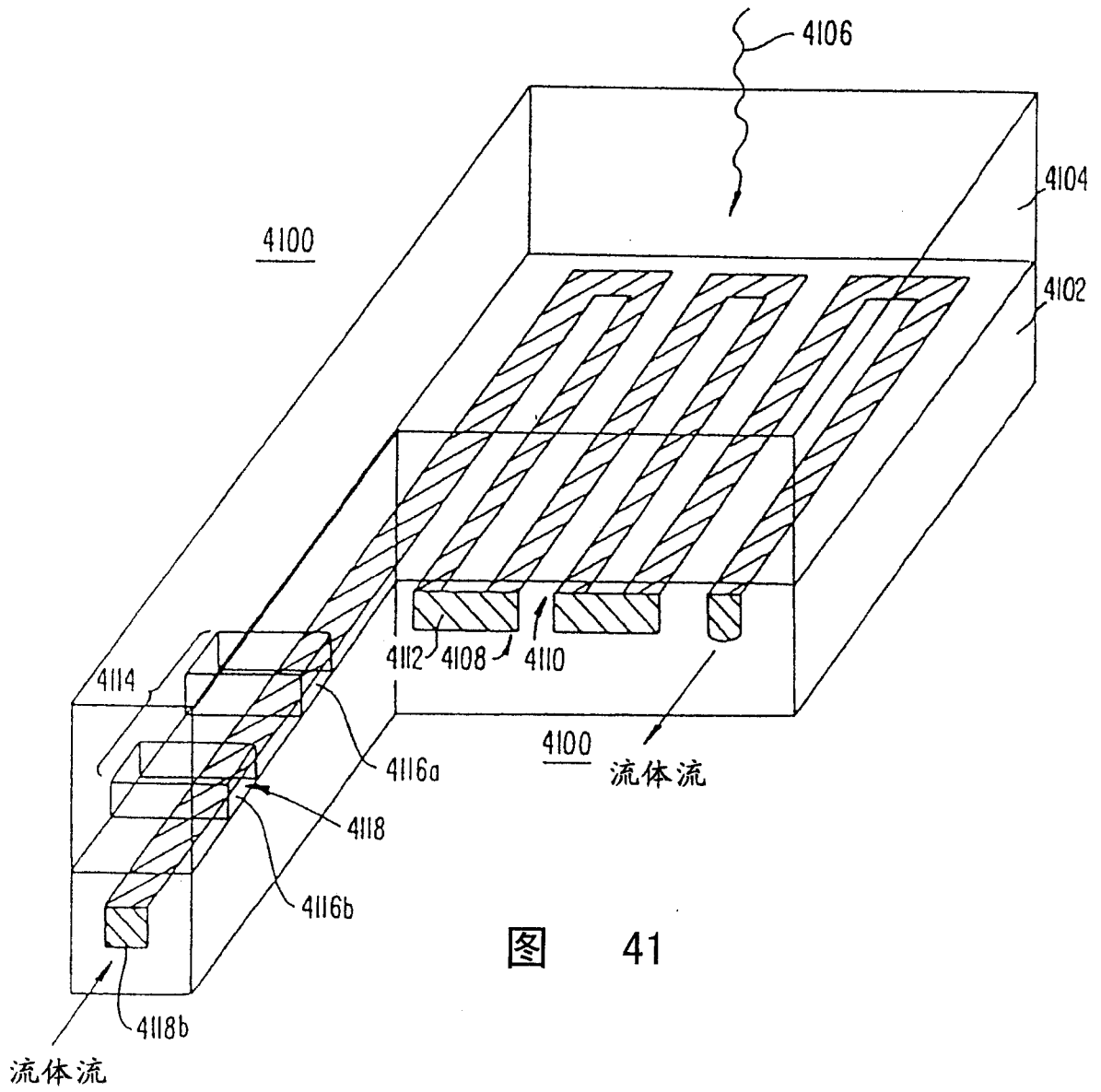


图 41

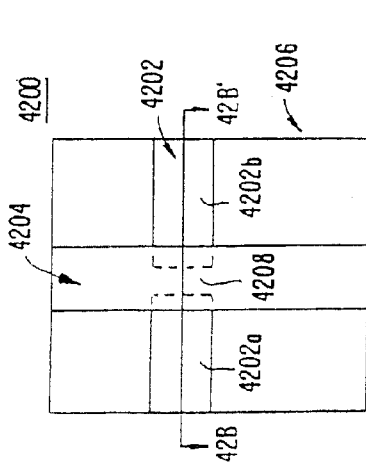


图 42A

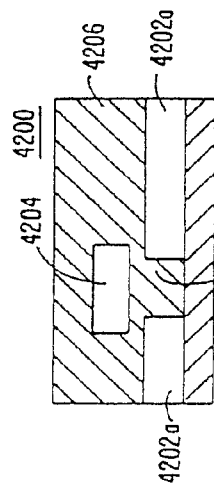


图 42B

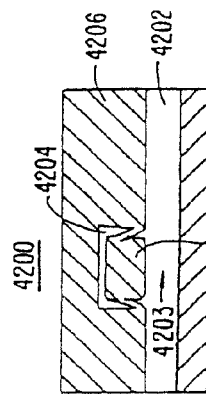


图 42C

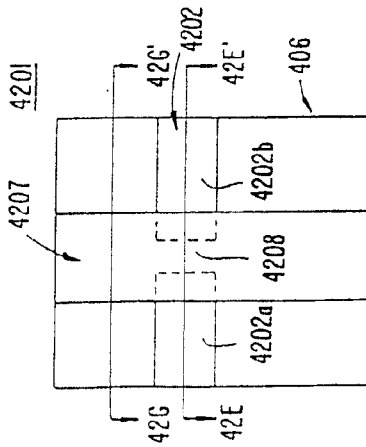


图 42D

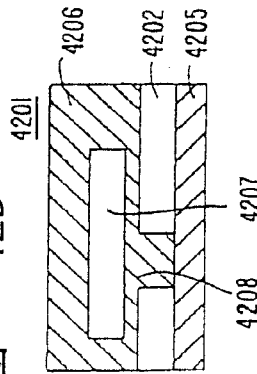


图 42E

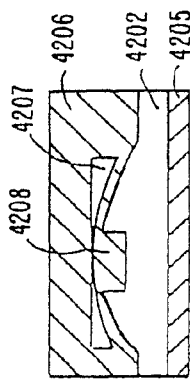


图 42F

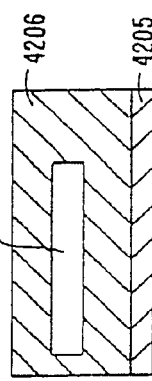


图 42G

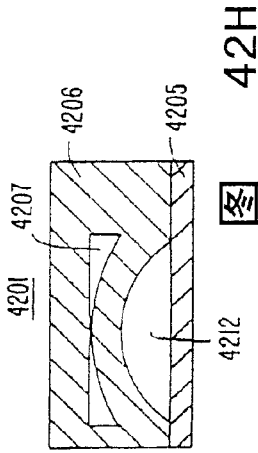


图 42H

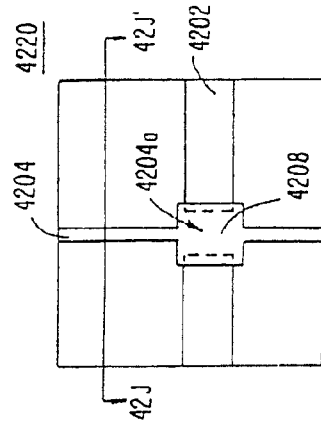


图 42I

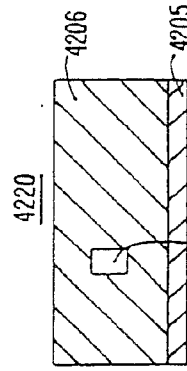


图 42J

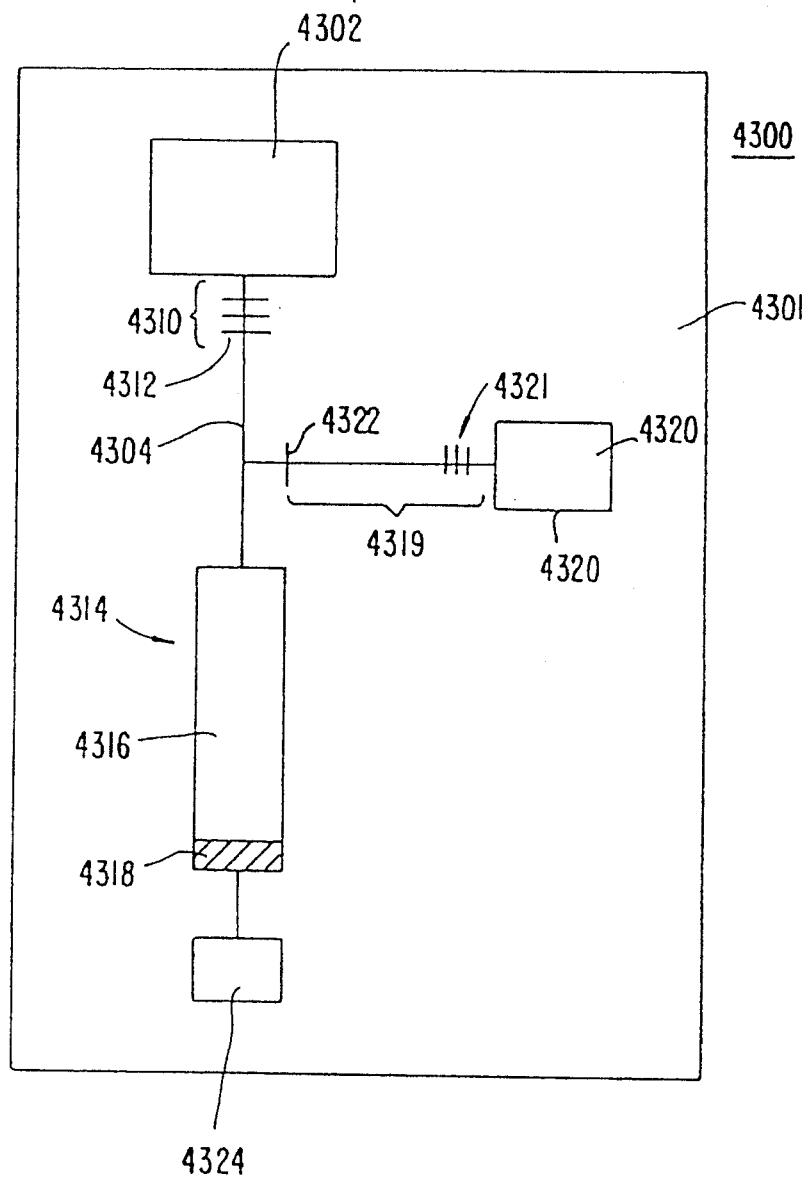


图 43

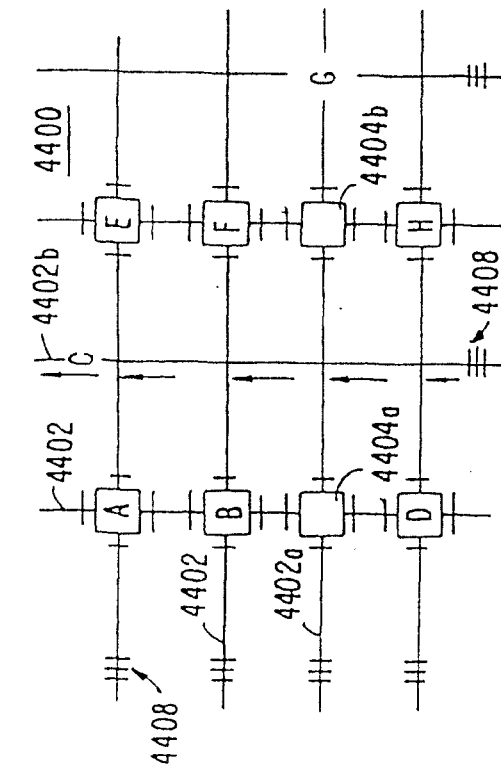


图 44C

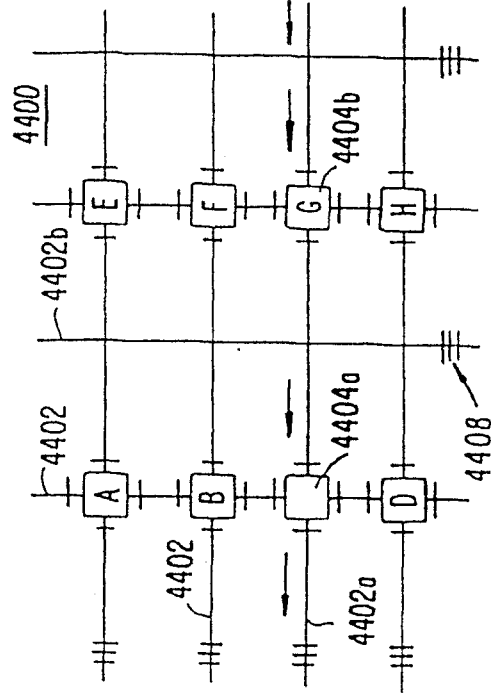


图 44D

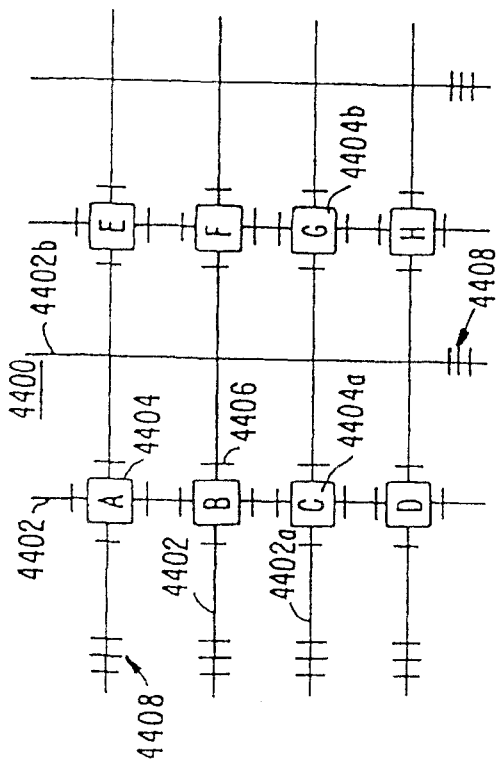


图 44A

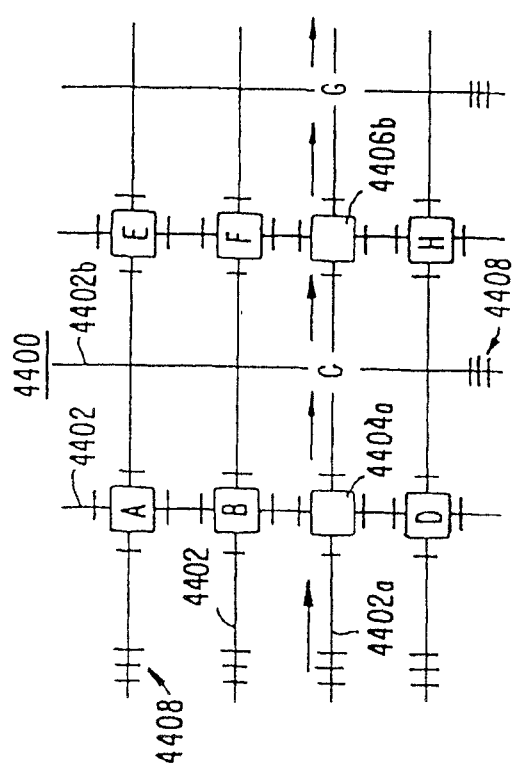


图 44B

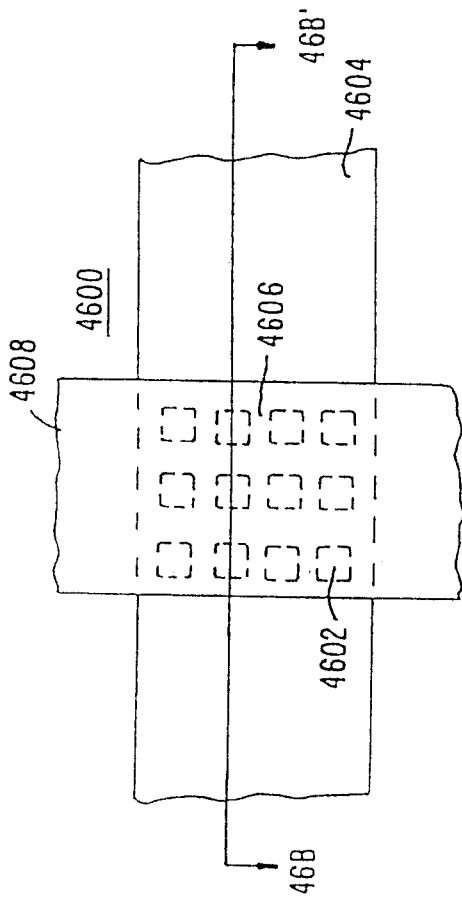


图 46A

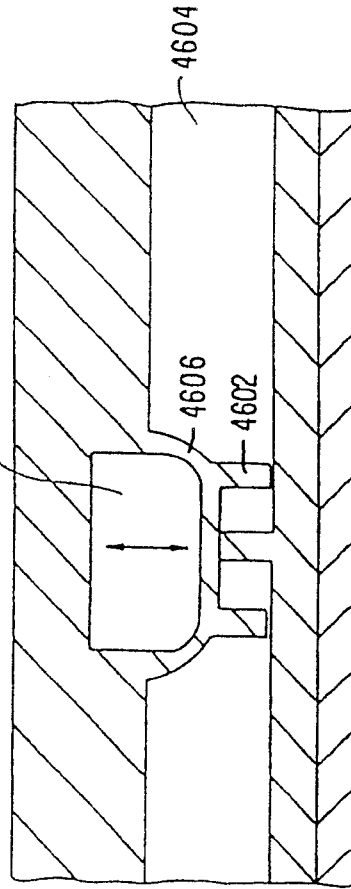


图 46B

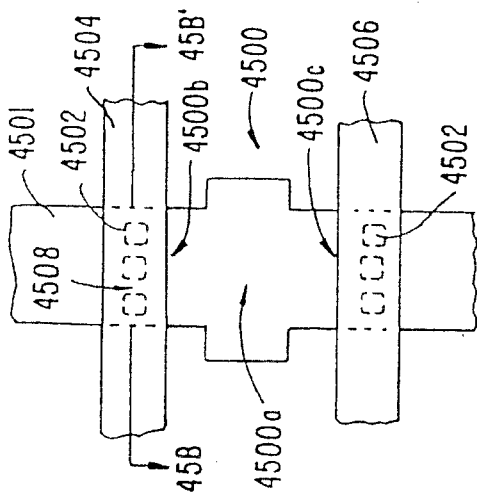


图 45A

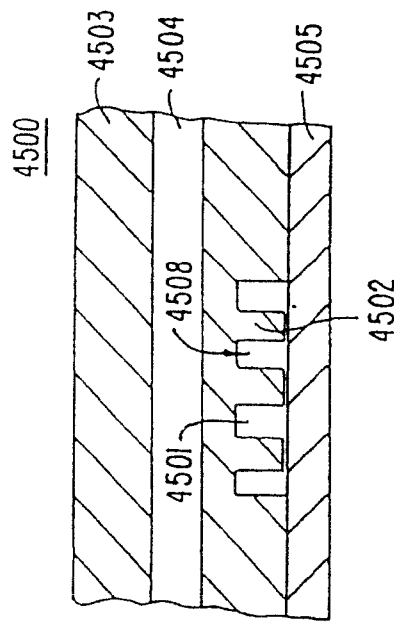


图 45B

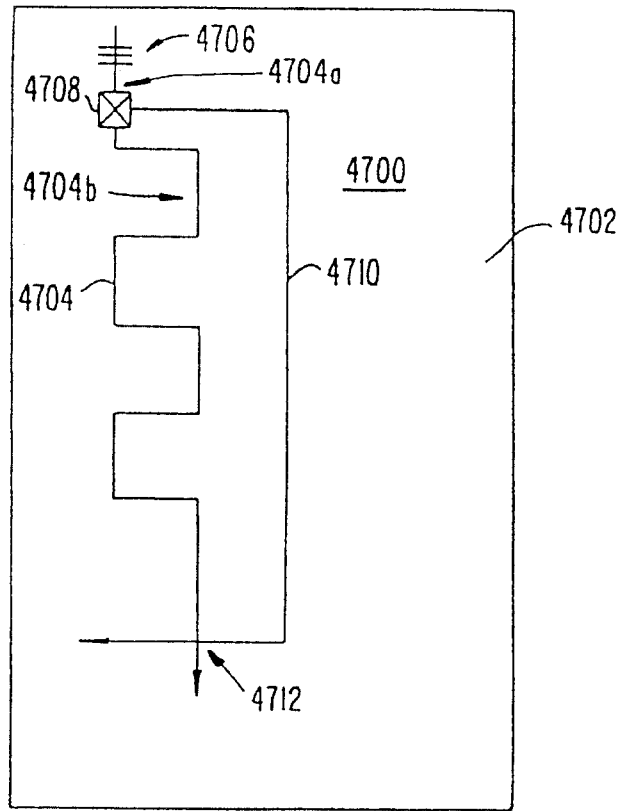


图 47

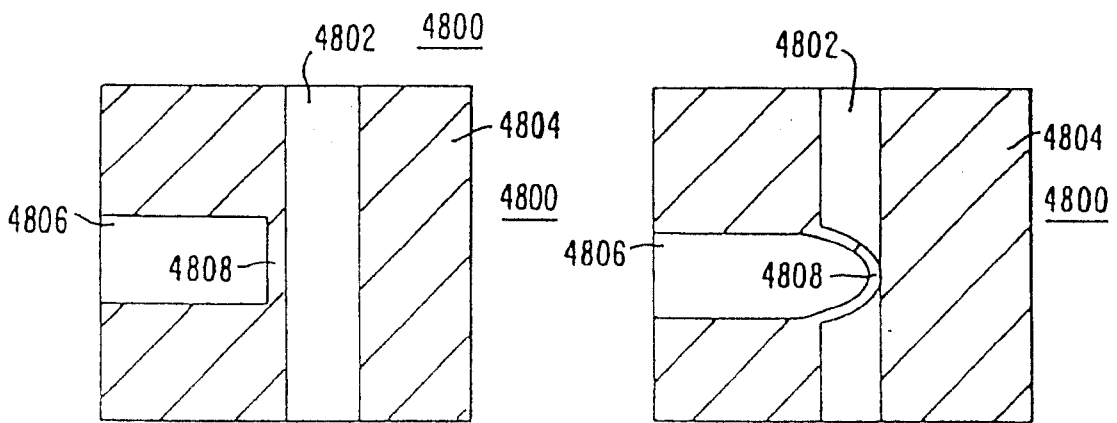


图 48A

图 48B

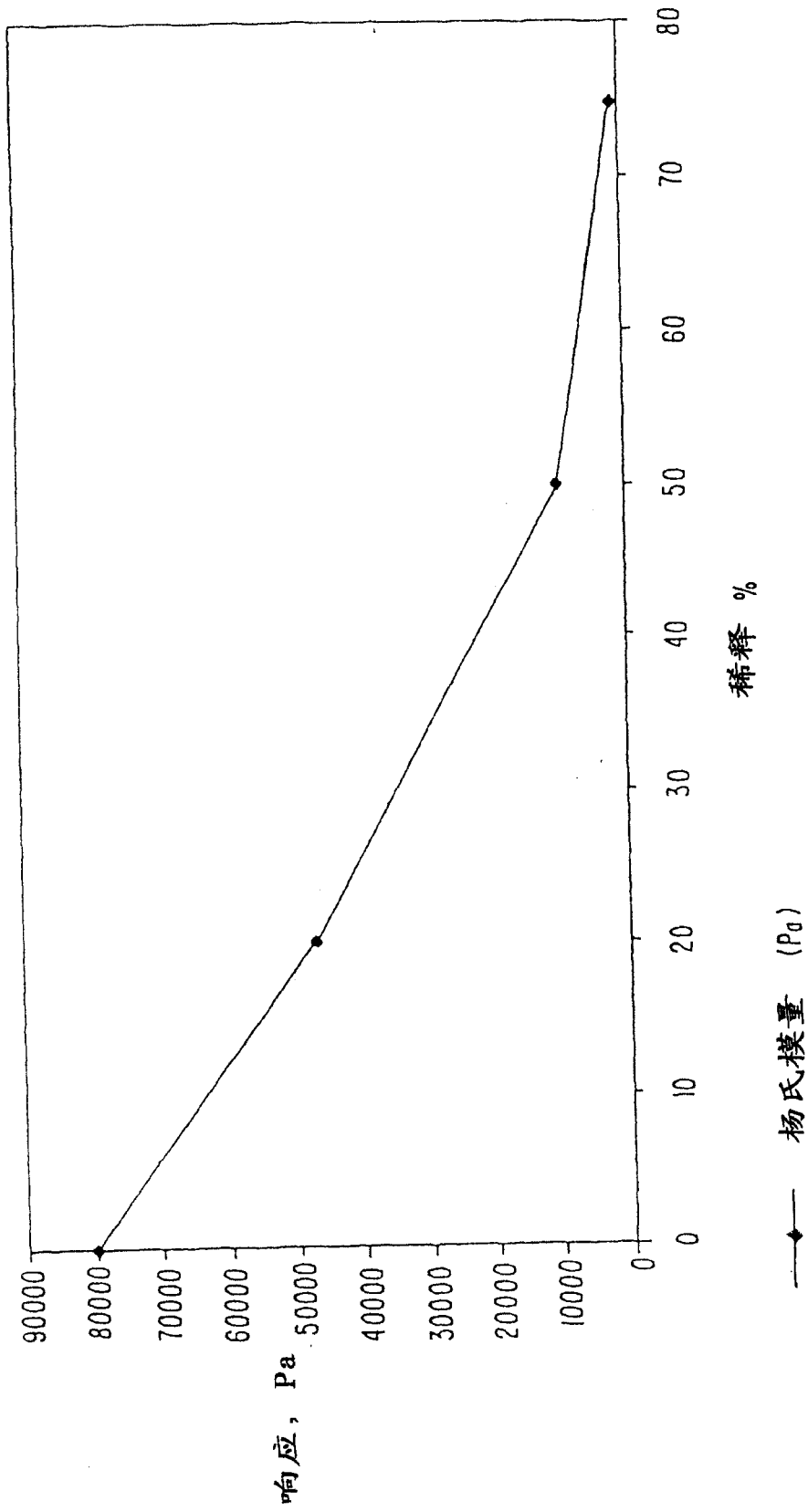


图 49