



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780044181.6

[43] 公开日 2009 年 9 月 23 日

[11] 公开号 CN 101542717A

[22] 申请日 2007.9.27

[21] 申请号 200780044181.6

[30] 优先权

[32] 2006. 9. 27 [33] US [31] 60/847,831

[32] 2007. 9. 26 [33] US [31] 11/862,178

[86] 国际申请 PCT/US2007/079723 2007.9.27

[87] 国际公布 WO2008/105938 英 2008.9.4

[85] 进入国家阶段日期 2009.5.27

[71] 申请人 明锐有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 陈东敏 威廉·斯宾塞·沃利

陈黄南

[74] 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限公司

代理人 王安武 南 霆

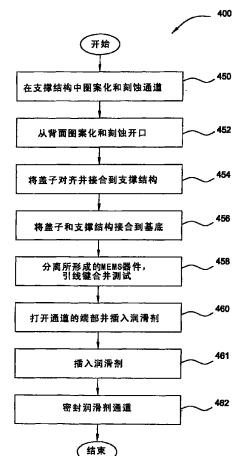
权利要求书 3 页 说明书 32 页 附图 23 页

## [54] 发明名称

形成具有微流体润滑剂通道的微机械装置的方法

## [57] 摘要

本发明涉及一种微机械器件组件，包括：包封在处理区域内的微机械器件；以及润滑剂通道，其被形成在所述处理区域的内壁上并与所述处理区域流体连通。润滑剂经由毛细力注入到所述润滑剂通道中，并且通过所述润滑剂对所述润滑剂通道的内表面的表面张力保持在所述润滑剂通道内。容纳润滑剂的润滑剂通道提供了新鲜润滑剂的现用供应，防止了在布置在处理区域中的微机械器件的相互作用的元件之间发生粘连。



1. 一种形成微机械器件组件的方法，包括如下步骤：

形成微机械器件；以及

形成延伸穿过所述微机械器件的处理区域的内壁的润滑剂通道，其中，所述润滑剂通道的基本长度延伸到所述内壁中，从而被其完全包封。

2. 如权利要求 1 所述的方法，还包括形成穿过所述微机械器件组件的外表面的通道入口的步骤，其中所述通道入口与所述润滑剂通道流体连通。

3. 如权利要求 2 所述的方法，还包括紧邻所述微机械器件组件的所述外表面密封所述通道入口的步骤。

4. 如权利要求 1 所述的方法，还包括将颗粒过滤器布置在所述润滑剂通道内的步骤。

5. 如权利要求 1 所述的方法，还包括将所述润滑剂通道的所述内表面涂敷有机钝化材料的步骤。

6. 一种在具有微机械器件和用于所述微机械器件的处理区域的封装中存储润滑剂的方法，包括如下步骤：

形成延伸穿过所述处理区域的内壁的润滑剂通道，其中，所述润滑剂通道的基本长度延伸到所述内壁中，从而被其完全包封；以及

将润滑剂添加到所述润滑剂通道中。

7. 如权利要求 6 所述的方法，还包括在添加所述润滑剂的步骤之前密封所述封装的步骤。

8. 如权利要求 7 所述的方法，还包括：

形成从外部到达所述润滑剂通道的孔；以及

通过所述孔经由毛细力将所述润滑剂注入到所述润滑剂通道中。

9. 如权利要求 6 所述的方法，还包括在添加所述润滑剂的步骤之后密封所述封装的步骤。

10. 如权利要求 9 所述的方法，还包括将盖体置于所述润滑剂通道中紧邻到所述处理区域中的所述润滑剂通道的开口的步骤，其中所述盖体包

括响应于光学辐射或加热变为多孔材料的材料。

11. 一种将润滑剂注入到微机械器件组件的润滑剂通道中的方法，包括如下步骤：

形成从外部到达所述润滑剂通道的孔；以及

通过所述孔经由毛细力将所述润滑剂注入到所述润滑剂通道中。

12. 如权利要求 11 所述的方法，其中，形成所述孔的步骤包括利用短脉冲激光器和长脉冲激光器中的一种进行激光钻孔的步骤。

13. 如权利要求 12 所述的方法，还包括利用能量源密封所述孔的步骤，其中，所述能量源是短脉冲激光器、长脉冲激光器和电子束源中的一种。

14. 如权利要求 12 所述的方法，还包括利用油脂密封所述孔的步骤。

15. 如权利要求 11 所述的方法，还包括保持所述润滑剂通道和外部的压差使得所述润滑剂通道内的压力高于所述外部的压力的步骤。

16. 一种在具有微机械器件和用于所述微机械器件的处理区域的封装中将润滑剂以气体形式输送到所述微机械器件的方法，包括如下步骤：

将润滑剂存储在与所述处理区域流体连通的润滑剂通道中，所述润滑剂通道的宽度介于  $10 \mu\text{m}$  到  $800 \mu\text{m}$ ，并且所述润滑剂通道的深度介于  $10 \mu\text{m}$  到  $200 \mu\text{m}$ ；以及

加热所述封装。

17. 如权利要求 16 所述的方法，其中，所述润滑剂通道到所述处理区域中的开口中布置有盖体，所述盖体由响应于光学辐射或加热变为多孔的材料制成。

18. 如权利要求 17 所述的方法，还包括在加热步骤之前将所述盖体暴露于光学辐射的步骤。

19. 如权利要求 16 所述的方法，其中，所述润滑剂通道具有开口通道构造。

20. 如权利要求 16 所述的方法，其中，所述润滑剂通道的基本长度延伸到所述处理区域的内壁中，从而被其完全包封。

21. 一种形成封装的微机械器件的方法，所述封装包括基底、插入器

和盖子，所述方法包括如下步骤：

在所述基底上形成微机械器件；

在所述基底、插入器和盖子中的至少一个中形成润滑剂通道，其中，所述润滑剂通道与所述微机械器件的处理区域流体连通；以及

将所述插入器接合到所述基底，并将所述盖子接合到所述插入器。

22. 如权利要求 21 所述的方法，其中，所述插入器通过环氧层接合到所述基底，所述盖子通过环氧层接合到所述插入器。

23. 如权利要求 22 所述的方法，还包括在接合步骤之前将润滑剂添加到所述润滑剂通道的步骤。

24. 如权利要求 23 所述的方法，还包括将盖体插入所述润滑剂通道中紧邻所述润滑剂通道到所述处理区域的开口的步骤。

25. 如权利要求 21 所述的方法，还包括在接合步骤之后将润滑剂添加到所述润滑剂通道中的步骤，其中，所述插入器通过高温接合工艺接合到所述基底，所述盖子通过高温接合工艺接合到所述插入器。

## 形成具有微流体润滑剂通道的微机械装置的方法

### 技术领域

本发明的实施例一般性地涉及微电子机械系统和纳电子机械系统，并且更具体地，涉及具有一个或多个微流体润滑剂通道的上述系统。

### 背景技术

众所周知，随着器件变得越来越小，器件的元件之间原子级和微观级的力变得越来越关键。在微机械器件（例如微机电系统（MEMS）和纳机电系统（NEMS））的领域中，与这些类型的力有关的问题非常普遍。尤其是，彼此接触的运动部件之间在工作过程中产生的“粘连”力（不管是有意的还是无意的）是微机械器件的普遍问题。当彼此接触的运动部件之间产生的界面吸引力超过回复力时，发生粘连类型的失效。结果，这些部件的表面永久地或者暂时地彼此粘附，造成器件失效或故障。粘连力是复杂的表面现象，通常包括毛细力、范德华力和静电吸引力。这里所用的术语“接触”泛指两个表面之间的任何相互作用，而不限于这些表面之间的实际实体接触。典型的微机械器件的一些示例是 RF 开关、光学调制器、微齿轮、加速度计、蜗轮、换能器、流体喷嘴、陀螺仪以及其他类似的器件或致动器。应该注意，术语“MEMS 器件”此后用于一般地描述微机械器件，并且将上述的 MEMS 和 NEMS 两者包括在内。

在诸如 RF 开关、光学调制器、微齿轮以及其他致动器中，粘连问题是尤为突出的问题。在以几赫兹（Hz）至几吉赫兹（GHz）之间的频率工作的过程中，这些器件中的各个元件经常彼此相互作用。各种分析已经表明，在不对这些类型的器件增加某种形式的润滑以减小元件表面之间的粘连和磨损的情况下，产品寿命的范围可能只在几次接触至几千次接触之间，这通常大大低于商业上实用的寿命。因此，MEMS 和 NEMS 工业面对的最大挑战之一就是粘连面中的接触微结构的长期可靠性。

在各种文献中已经讨论了一些技术来解决两个接触表面之间的粘连。这些技术包括将表面纹理化（例如微图案化或激光图案化）以通过减小有效接触面积来减小总的粘附力，以及为制造接触表面而选择特定的材料以降低表面能、降低元件之间的带电或者接触电势差。

此外，一些现有文献已经提出了在相互作用的器件周围的区域中插入“润滑剂”来减小与粘连相关的失效的几率。取决于材料的特性、以及润滑剂所处的温度和压力或环境，这样的润滑剂通常是固体或液体状态。总的来说，术语“固体”润滑剂或“液体”润滑剂是在环境条件（ambient conditions）下处于固体或液体状态的润滑剂，所述环境条件通常被定义为室温和大气压。一些现有技术文献描述了处于“气体”状态的润滑剂。这些文献用术语“气相润滑剂”来概述成分的混合物，所述成分包含载气（例如氮气）和气化的第二成分，所述第二成分在接近环境条件（例如 STP）的温度和压力下是固体或液体。在大多数常规应用中，在比室温高得多的温度和及比大气压低得多的条件下，固体或液体润滑剂将保持在固体或液体状态。

在环境条件下以及远高于环境温度的温度下处于固体或液体的典型润滑剂的示例可以在诸如美国专利 No.6,930,367 的文献中找到。这些现有技术的润滑剂包括利用气相沉积处理而沉积在各个相互作用的元件上的二氯二甲基硅烷（“DDMS”）、十八烷基三氯硅烷（“OTS”）、全氟辛基三氯硅烷（“PFOTCS”）、全氟癸酸（“PFDA”）、全氟癸基三氯硅烷（“FOTS”）、全氟聚醚（“PFPE”）和/或全氟烷基三氯硅烷（“FOTS”），所述气相沉积处理例如大气压化学气相沉积（APCVD）、低压化学气相沉积（LPCVD）、等离子体增强化学气相沉积（PECVD）或其他类似的沉积处理。

在 MEMS/NEMS 元件的表面上形成低表面能的有机钝化层的技术在本领域中通常称为“气相润滑”涂层。利用低表面能的有机钝化层（例如 SAM 涂层）的一个严重缺点是它们通常只有一个单分子层的厚度（虽然业已报道了有几个单分子层的涂层）。通常，这些类型的涂层的可用受用非常有限，因为它们由于各个运动部件的相互作用所产生的冲击或磨损而容

易损坏或移位。这在有接触表面的 MEMS 器件（例如光调制器和 RF 开关）中是不可避免地发生的，所述 MEMS 器件在使用中发生频繁接触并在产品寿命期间发生许多次接触。在不采用一些方式来可靠地恢复或修复受损涂层的情况下，粘连将不可避免地再现，造成器件损坏。

如图 1A 所示，一种用于润滑 MEMS 元件的途径是在 MEMS 器件 108 的阵列所在的封装 100（包括基底 102、盖子 104 和密封件 106）内设置吸气剂（getter）110。图 1B 图示了一种传统的封装 120，它包含位于封装 120 的头部空间 124 内的 MEMS 器件 108 和吸气剂 110。封装 120 还包含封装衬底 128、窗口 126 和隔板环 125。美国专利 No.6,843,936 和美国专利 No.6,979,893 中分别进一步描述了这两种构造。这些传统器件采用了某种类型的可逆吸收吸气剂来在沸石晶体中或微管的内部空间中储存润滑剂分子。在这些类型的设计中，在吸气剂 110 中保持润滑剂的供应，并在正常工作过程中排放对 MEMS 器件 108 进行润滑所需的润滑剂量。但是，增加可逆吸收的吸气剂或储备来保持液体润滑剂增大了封装尺寸和封装的复杂性，并给制造处理增加了步骤，从而增加了零件成本以及 MEMS 或 NEMS 器件的总体制造成本。因此，使用这些技术来形成器件一般需要许多劳动密集并且昂贵的处理步骤，例如将吸气剂材料混合、将吸气剂材料应用到包含器件的封装、将吸气剂材料固化、对吸气剂材料进行调节（conditioning）或活化（activate）、然后将 MEMS 器件和吸气剂密封在密封封装中。

在我们日常的大气环境中存在的颗粒、水分和其它污染物负面影响 MEMS 制造工艺的器件产率和 MEMS 器件的平均寿命。在防止制造过程的污染的努力中，用于形成 MEMS 器件的多个工艺步骤通常在超高级别清洁室环境（例如 10 级或更好）中完成。由于产生和维护 10 级或更好的清洁室环境所需的高的成本，所以需要这样的清洁室环境的 MEMS 器件制造步骤越多，使得 MEMS 器件就越昂贵。因此，需要创建一种 MEMS 器件制造工艺，其减少了需要超高级别清洁室环境的处理步骤的数量。

如上所述，在将 MEMS 元件与日常大气环境隔离的努力中，MEMS 器件制造商通常将 MEMS 器件封闭在器件封装内，从而在 MEMS 器件周

围形成密封环境。传统的器件封装工艺通常需要在 MEMS 器件封装密封过程（特别是晶片级气密封装）中将包含在 MEMS 器件附装内的润滑剂暴露于高温。通常，传统的密封工艺（诸如玻璃浆料键合或共晶键合）需要将 MEMS 器件、润滑剂以及其它器件元件加热到约 250 °C -450 °C 之间的温度。这些高键合温度严重限制了可以用于器件封装的润滑剂的种类，并且还使得润滑剂在延长的暴露时间之后被蒸发掉或分解。此外，在高温接合工艺过程中的蒸发的润滑剂可以稍后重新冷凝到密封表面上并污染密封表面。因此，还需要一种 MEMS 器件封装制造工艺，其消除或最小化在器件制造过程中润滑剂对于高温的暴露。

## 发明内容

本发明一般地涉及用于形成微机械器件的方法，所述微机械由于一个或多个通道的存在而具有改善的可用寿命，所述一个或多个通道容纳和输送润滑剂，所述润滑剂可以减小在器件的各个运动部件之间发生粘连的几率。

本发明的实施例阐明了一种形成微机械器件组件的方法、一种在具有微机械器件和用于所述微机械器件的处理区域的封装中存储润滑剂的方法、一种将润滑剂注入到微机械器件组件的润滑剂通道中的方法、一种在具有微机械器件和用于所述微机械器件的处理区域的封装中将润滑剂以气体形式输送到所述微机械器件的方法以及一种形成封装的微机械器件的方法，其中所述封装包括基底、插入器和盖子。

根据本发明的实施例，一种形成微机械器件组件的方法包括如下步骤：形成微机械器件；以及形成延伸穿过所述微机械器件的处理区域的内壁的润滑剂通道，其中，所述润滑剂通道的基本长度延伸到所述内壁中，从而被其完全包封。该方法可以还包括形成穿过所述微机械器件组件的外表面的通道入口的步骤，其中所述通道入口与所述润滑剂通道流体连通。

根据本发明的实施例，一种在具有微机械器件和用于所述微机械器件的处理区域的封装中存储润滑剂的方法包括如下步骤：形成延伸穿过所述处理区域的内壁的润滑剂通道，其中，所述润滑剂通道的基本长度延伸到

所述内壁中，从而被其完全包封；以及将润滑剂添加到所述润滑剂通道中。所述润滑剂可以在密封所述封装之前或之后添加。当润滑剂在所述封装被密封之前添加时，盖体被置于所述润滑剂通道中紧邻到所述处理区域中的所述润滑剂通道的开口的步骤，其中所述盖体包括响应于光学辐射或加热变为多孔材料的材料。

根据本发明的实施例，一种将润滑剂注入到微机械器件组件的润滑剂通道中的方法包括如下步骤：形成从外部到达所述润滑剂通道的孔；以及通过所述孔经由毛细力将所述润滑剂注入到所述润滑剂通道中。所述孔可以通过利用短脉冲激光器或长脉冲激光器进行激光钻孔来形成，并随后由激光器、电子束源或油脂来密封。在一些实施例中，保持所述润滑剂通道和外部的压差使得所述润滑剂通道内的压力高于所述外部的压力的步骤。

根据本发明的实施例，一种在具有微机械器件和用于所述微机械器件的处理区域的封装中将润滑剂以气体形式输送到所述微机械器件的方法包括如下步骤：将润滑剂存储在与所述处理区域流体连通的润滑剂通道中，所述润滑剂通道的宽度介于  $10 \mu\text{m}$  到  $800 \mu\text{m}$ ，并且所述润滑剂通道的深度介于  $10 \mu\text{m}$  到  $200 \mu\text{m}$ ；以及加热所述封装。所述润滑剂通道到所述处理区域中的开口中布置有盖体，所述盖体由响应于光学辐射或加热变为多孔的材料制成。

根据本发明实施例，一种形成具有基底、插入器和盖子的封装微机械器件的方法包括如下步骤：在所述基底上形成微机械器件；在所述基底、插入器和盖子中的至少一个中形成润滑剂通道，其中，所述润滑剂通道与所述微机械器件的处理区域流体连通；以及将所述插入器接合到所述基底，并将所述盖子接合到所述插入器。接合可以在高温下进行，例如阳极键合、共晶接合或玻璃浆料接合，或者在低温下通过使用环氧层和环氧接合来进行。当使用高温接合时，润滑剂在接合步骤之后被添加润滑剂通道中。另一方面，当使用环氧接合时，润滑剂在接合步骤之前被添加润滑剂通道中。

本发明的一个优点在于润滑剂的储备被形成在器件封装内，使得一定量的"新鲜"润滑剂材料可以被输送到可能发生粘连的区域。在一个方面

中，润滑剂材料被容纳在适用于将移动润滑剂均匀输送到 MEMS 器件的相互作用区域的一个或多个微通道中。在另一个方面中，不同的润滑剂材料可以以顺序方式经由一个通道带到器件中，或者不同的润滑剂材料可以被同时容纳在多个单独的通道中。结果，相对于传统的润滑剂输送方案，本文所述的润滑剂输送技术更可靠并成本效率更高地防止了与粘连相关的器件失效。

### 附图说明

下面可以参照实施例对以上简要说明的本发明进行更具体的说明，以详细理解本发明的上述特征，一些实施例图示于附图中。但是应当注意，附图仅仅图示了本发明的典型实施例，因此不应认为限制了其范围，因为本发明可以采用其他等效的实施方式。

图 1A 示意性图示了包含吸气剂的现有技术器件封装的剖视图。

图 1B 示意性图示了包含吸气剂的另一现有技术器件封装的剖视图。

图 2A 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的剖视图。

图 2B 示意性图示了根据本发明一个实施例的单一反射镜组件的剖视图。

图 2C 示意性图示了根据本发明一个实施例处于偏转状态的单一反射镜组件的剖视图。

图 3A 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的剖视平面图。

图 3B 和 3C 图示了根据本发明一个实施例的图 3A 中的局部剖面和润滑剂通道的放大图。

图 3D 图示了根据本发明一个实施例的润滑剂通道，所述润滑剂通道中布置有一定体积的润滑剂，以向处理区域提供润滑剂的现成供应。

图 3E 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的剖视平面图。

图 3F 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的剖视平面图，所述器件封装组件在处理区域内部具有通道。

图 3G 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的剖视平面图，所述器件封装组件在处理区域的内表面上具有含润滑剂通道。

图 4A-4C 图示了根据本发明一个实施例用于形成包含润滑剂通道的 MEMS 器件封装的工序。

图 5A-5P 图示了在执行了图 4A, 4B 和 4C 示出的工序中的各个步骤之后 MEMS 器件封装的一个或多个元件的各种状态。

图 6A 图示了根据本发明一个实施例在执行了图 4A 示出的工序中的多个步骤之后器件封装组件的剖视平面图。

图 6B 和 6C 图示了根据本发明一个实施例形成到润滑剂通道中的通道入口。

图 6D 图示了根据本发明一个实施例在润滑剂被抽吸到润滑剂通道中之后器件封装组件的剖视平面图。

图 6E 图示了根据本发明一个实施例盖体被安装在通道入口上以密封润滑剂通道。

图 6F 和 6G 图示了根据本发明的实施例利用 IR 激光密封润滑剂通道的方法。

图 7A 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的剖视平面图。

图 7B 图示了根据本发明一个实施例的器件封装组件的局部剖视放大图。

图 7C 图示了根据本发明一个实施例的图器件封装组件的局部剖视放大图。

图 7D 图示了根据本发明一个实施例的图 7C 所示的局部剖视放大图。

图 7E 图示了根据本发明一个实施例的图器件封装组件的局部剖视放大图。

图 8 图示了根据本发明一个实施例的图器件封装组件的局部剖视放大图。

图 9A 和 9B 图示了根据本发明一个实施例的图器件封装组件的局部剖视放大图。

图 10A 是根据本发明一个实施例的 MEMS 器件封装的平面图，所述 MEMS 器件封装具有形成有颗粒阱的润滑剂通道。

图 10B 是根据本发明一个实施例的 MEMS 器件封装的平面图，所述

MEMS 器件封装具有形成有非线性颗粒阱的润滑剂通道。

为了清楚起见，相同的标号被用于指代附图之间相同的元件。应该想到，一个实施例中的特征可以被合并到其它实施例中，即使没有进行这样的描述。

### 具体实施方式

本发明一般地涉及如下的微机械器件，所述微机械器件由于存在一个或多个容纳并输送可以减小器件的各个运动部件之间的粘连发生的可能性的润滑剂的通道，而具有改善的可用寿命。

本发明的实施例包括封闭的器件封装及其形成方法，其中，所述封闭器件封装具有一个或多个润滑剂通道，所述一个或多个润滑剂通道用于将润滑剂输送到布置在器件封装的封闭区域内的 MEMS 器件。该一个或多个含润滑剂通道用作“新鲜”润滑剂的现成供应，以防止布置在器件封装的封闭区域内的器件的相互作用的元件之间发生粘连。“新鲜”润滑剂的现成供应还可以用来补充各种接触表面之间的受损的润滑剂（磨损、分解等）。在一种示例中，本发明的一些方面尤其适用于制造微机械器件（例如 MEMS 器件、NEMS 器件或其他类似的热学或流控器件）。

在一个实施例中，布置在通道内的润滑剂的量和类型被选择，使得新鲜润滑剂可以现成地以气相或蒸气相扩散或传输到处理区域的全部区域，以降低与粘连相关的失效的几率。在另一个实施例中，润滑剂和处理区域的壁表面（具体地，表面的可润湿性）被选择，使得新鲜润滑剂以液相通过毛细力运输到处理区域的壁表面上，并且随后作为分子或分子蒸气被释放到器件的内部区域。

本领域技术人员可以理解，这里所用的术语“润滑剂”应当认为表示适于提供润滑、抗粘连、和/或抗磨损特性的材料。另外，这里所用的术语“润滑剂”概述了器件的工作和储存过程中处于液体、蒸气和/或气体状态的润滑剂。

本发明的一些方面利用了微流控技术的特性。具体地，考虑将被使用的润滑剂，来构造微通道或润滑剂通道，使得毛细力可以被用于操控液体

润滑剂进入一个或多个与 MEMS 器件的处理区域流体连通的润滑剂通道中。润滑剂通道具有至少两种应用。第一种应用是在 MEMS 器件的使用寿命内充当润滑剂的储备。第二种应用是提供一种用于以良好控制方式将润滑剂输送到处理区域中的可控方式。在一些情况下，例如，来自移液管或泵的简单外部机械压力可以被单独使用或与毛细力组合使用，以将液体润滑剂操控到润滑剂通道中。

### 示例性系统的概述

为了努力防止污染物影响 MEMS 或 NEMS 元件寿命，这些器件通常被包封在与可能对所形成的器件的寿命造成影响的外部污染物、颗粒或其他材料隔离开的环境中。图 2A 图示了一种典型 MEMS 器件封装 230 的剖视图，该 MEMS 器件封装包含 MEMS 器件 231，MEMS 器件 231 被包封在盖子 232、插入器 235 与基底 233 之间形成的处理区域 234 内。通常，盖子 232、插入器 235 与基底 233 以气密性或非气密性的方式密封，使得处理区域 234 内的元件与可能对器件的使用造成干扰的外部污染物和颗粒隔离开。

图 2B 图示了一种可以在 MEMS 器件 231（图 2A）内形成的代表性微机械器件，本申请中用该微机械器件来说明本发明的各种实施例。图 2B 所示的器件示意性地图示了空间光调制器（SLM）中包含的单一反射镜组件 101 的剖视图。应当注意，图 2B 所示 MEMS 器件不应认为以任何方式对本申请所描述的发明的范围造成限制，因为本领域技术人员可以理解，这里所述的各种实施例可以用在其他 MEMS、NEMS、大规模致动器或传感器、或者经受粘连或其他类似的有关问题的可比拟的器件中。尽管下文的讨论具体地讨论了本发明的各种实施例使用 MEMS 或 NEMS 类型器件的应用，但是这些配置也不应认为对本发明的范围造成了限制。

一般来说，单一的反射镜组件 101 可以包含反射镜 102、基底 103 和柔性部件 107，柔性部件 107 将反射镜 102 连接到基底 103。基底 103 通常设有形成于基底 103 的表面 105 上的至少一个电极（元件 106A 或 106B）。基底 103 可以由在机械方面大体上稳定的任何合适的材料制造，

并可以用通常的半导体处理技术形成。在一个方面中，基底 103 由半导体材料（例如含硅材料）形成，并根据标准的半导体处理技术进行处理。在本发明的可选实施例中可以使用其它材料。电极 106A、106B 可以由导电的任何材料制造。在一个方面中，电极 106A、106B 由沉积在基底 103 的表面 105 上并且被刻蚀形成所需形状的金属（例如铝、钛）制造。2004 年 7 月 28 日提交的、共同转让的美国专利申请 No.10/901,706 中描述了这种类型的 MEMS 器件。

反射镜 102 一般包含反射表面 102A 和反射镜基底 102B。反射表面 102A 一般是通过将金属层（例如铝或其他合适的材料）沉积在反射镜基底 102B 上形成的。反射镜 102 由柔性部件 107 附装到基底 103。在一个方面中，柔性部件 107 是悬臂弹簧，其适于响应于所施加的力而弯折，并随后在撤去所施加的力之后返回其初始形状。在一个实施例中，基底 103 由第一单片材料制造，柔性部件 107 和反射镜基底 102B 由第二单片材料制造，例如单晶硅。重要的是，在器件的工作过程中使一个元件（例如反射镜 102）的表面能够接触另一元件（例如基底 103）的表面从而导致与粘连相关的问题的任何器件构造的使用总的来说都落在本发明的范围内。例如，响应于所施加的力而围绕铰链枢转而使得悬臂梁的一端接触器件另一表面的简单悬臂梁落在本发明的范围内。

在一个方面中，基底 103 的表面 105 上形成有一个或多个任选的着陆焊盘（landing pad）（图 2B 中的元件 104A 和 104B）。着陆焊盘例如通过沉积包含铝、氮化钛、钨或其他合适材料的金属层而形成。在其他构造中，着陆焊盘可以由硅（Si）、多晶硅（poly-Si）、氮化硅（SiN）、碳化硅（SiC）、类金刚石碳（DLC）、铜（Cu）、钛（Ti）和/或其他合适的材料制造。

图 2C 图示了由于施加静电力  $F_E$  而处于形变状态的单一反射镜组件 101，该静电力是用电源 112 在反射镜 102 与电极 106A 之间施加电压  $V_A$  而产生的。如图 2C 所示，常常希望将着陆焊盘（例如元件 104A）偏置到与微反射镜 102 相同的电势，以消除接触区域相对于反射镜 102 的电击穿和静电荷充电（electrical static charging）。在通常的工作过程中，单一反

射镜组件 101 受到致动，使得反射镜 102 接触着落焊盘 104A，以确保反射镜 102 与基底 103 之间获得所需的角度，从而使入射的光学辐射“A”沿所需方向“B”反射离开反射镜 102 的表面。由施加电压  $V_A$  而使反射镜 102 朝向电极 106A 的偏转因为柔性部件 107 的弯折而产生了回复力  $F_R$ （例如力矩）。回复力  $F_R$  的大小一般由柔性部件 107 的实体尺寸和材料特性、以及柔性部件 107 所受到的扭转大小来限定。最大回复力  $F_R$  通常受到由施加最大可允许电压  $V_A$  所能产生的静电力  $F_E$  所施加的扭矩的限制。为了确保反射镜 102 与着陆焊盘 104A 之间的接触，静电力  $F_E$  必须大于最大回复力  $F_R$ 。

随着反射镜 102 与着陆焊盘 104A 之间的距离减小，这些元件的表面之间的相互作用总体上产生了作用于反射镜 102 上的一个或多个粘连力。当粘连力等于或超过了回复力  $F_R$  时，就发生了器件失效，因为阻止了当电压  $V_A$  产生的静电力被撤去或减小时反射镜 102 运动到不同的位置（即被释放）。

如本申请前文所述，粘连力是复杂的表面现象，通常包括三个主要分量。第一个分量是所谓的“毛细力”，该力由于液体表面处的分子间力的不平衡（例如拉普拉斯压差）产生了粘附类型的吸引力而在液体和固体之间的界面处产生。MEMS 和 NEMS 器件中的毛细力相互作用通常发生在液体薄层陷在两个接触元件的表面之间的时候。一个典型示例是常规环境中的水蒸气。粘连力的第二个主要分量是范德华力，该力是在原子或分子彼此非常靠近时产生的基本量子力学上的分子间力。当器件元件彼此接触时，由于一个元件的原子的存在，在第二元件的原子中引起的极化产生了范德华力。对于非常平的结构（例如 MEMS 和 NEMS 器件中的那些结构），这些类型的粘连力由于有效接触面积的大小而可能很显著。粘连力的第三个主要分量是由相互作用的元件中陷入的电荷之间的库仑引力而产生的静电力。

### 器件封装构造

图 3A 图示了图 2A 所示的 MEMS 器件封装 230 的平面图，该 MEMS

器件封装 230 中形成有微流控通道或润滑剂通道 301。为了清楚起见，MEMS 器件封装 230 以盖子 232 的局部 391 被去除的情形示出。润滑剂通道 301 是微通道，即水力直径为几个微米到小于约 1 mm 的管道，并且被形成在包封处理区域 234 的壁的任何一个中。在一个实施例中，如图 3A 所示，润滑剂通道 301 被形成在插入器 235 中、紧邻盖子 232 下方。或者，润滑剂通道 301 可以被形成在 MEMS 器件封装 230 的盖子 232 中或基底 233 中。

在一个实施例中，润滑剂通道 301 从包封处理区域 234 的壁中的一个的内表面 235B 延伸到通道入口 302（参见图 3B）。通道入口 302 穿透外表面 235A，以允许一种或多种润滑剂可以被引入到润滑剂通道 301 中。在可选的其它实施例中，润滑剂通道 301 不延伸到外表面（参见图 5L），并且可以被形成在包封处理区域 234 的壁中的一个上（见图 3G）。

为了防止颗粒、水分和其它污染物从外部环境进入处理区域 234 和润滑剂通道 301，润滑剂通道 301 被构造成被与外部环境密封。在一个实施例中，通道入口 302 在润滑剂（为了清楚起见没有示出）被引入到润滑剂通道 301 之后用封闭物 302A 密封，如图 3B 所示。下面结合图 6F 和 6G 描述根据本实施例用于形成用于密封通道入口 302 的封闭物 302A 的方法。

在另一实施例中，在润滑剂通道 301 填充润滑剂之后，盖体 304 被布置在通道入口 302 上方，如图 3C 所示。盖体 304 可以是聚合物（例如环氧树脂或硅酮），也可以是用传统密封技术接合到外表面 235A 的其他固体材料。在一个方面中，盖体 304 是在润滑剂通道 301 填充了润滑剂之后布置在通道入口 302 内的材料塞子。密封通道入口 302 的材料塞子可以是铟金属塞子，其可以作为熔融焊料滴被施加到通道入口 302，而不用可能成为污染物的助熔剂。这是因为铟与硅形成合金，并因此润湿外表面 235A 和通道入口 302。密封通道入口 302 的材料塞子也可以包括疏水高真空气脂，诸如 Krytox<sup>®</sup>。

润滑剂通道 301 适于容纳期望量的润滑剂（未示出），该润滑剂随着时间而蒸发或扩散到处理区域 234 中。润滑剂向处理区域中迁移的速率受

到包括润滑剂通道 301 的几何特性、润滑剂的分子量、润滑剂对处理区域表面的键合强度（例如物理吸附或化学吸附）、润滑剂对润滑剂通道 301 内的表面的表面张力所产生的毛细力、润滑剂的温度以及处理区域 234 中所含体积的压力在内的多种因素的影响。

在一个实施例中，润滑剂通道 301 适于容纳约 0.1 纳升 (nl) 与约 1000nl 之间的润滑剂体积。参考图 3B，润滑剂通道 301 的体积由所形成的长度乘以润滑剂通道 301 的截面积来限定。润滑剂通道 301 的长度是从外表面 235A 到内表面 235B 延伸的通道长度，即，图 3B 所示片段 A、B 和 C 的长度之和。通道长度介于 10 微米-1 mm 之间。在一个方面中，润滑剂通道 301 的横截面是矩形的，并且截面积（未示出）由润滑剂通道 301 的深度（未示出）和宽度 W 来限定。在一个实施例中，润滑剂通道 301 的宽度 W 在约 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 和约 800 $\mu\text{m}$  之间，深度在约 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 和约 200 $\mu\text{m}$  之间。润滑剂通道 301 的截面不一定要正方形或矩形，在不脱离本发明基本范围的情况下可以是任何期望的形状。

图 3D 图示了其中布置有一定体积的润滑剂 505 以向处理区域 234 提供润滑剂的现成供应的润滑剂通道 301。在 MEMS 器件 231 的正常工作期间，润滑剂分子倾向于迁移到处理区域 234 内的所有区域。润滑剂 505 到 MEMS 器件 231 的可能发生粘连的区域的连续迁移有利于防止两个相互作用的 MEMS 元件之间的接触区域处与粘连相关的失效。在 MEMS 器件 231 的工作过程中，随着润滑剂分子在接触区域处分解和/或吸附到处理区域 234 中的其他表面上，来自润滑剂通道 301 的新鲜的润滑剂分子代替了被分解的或被吸附的润滑剂分子，从而使润滑剂通道 301 中的润滑剂能够用作润滑剂储备。

润滑剂 505 的分子的运动或迁移一般通过两种输运机制来执行。第一种机制是表面扩散机制，其中，润滑剂分子扩散穿过处理区域 234 的内部表面，从而到达两个相互作用的 MEMS 元件之间的接触区域。在一个方面中，润滑剂 505 被选择为在处理区域 234 内所包含的表面上具有良好的扩散性。第二种机制是存储在润滑剂通道 301 中的润滑剂 505 向两个相互作用的 MEMS 元件之间的接触区域的蒸气相或气相迁移。在一个方面中，存

储在器件封装的润滑剂通道 301 中的润滑剂 505 被选择，使得润滑剂 505 的分子从这些区域解吸，并作为蒸气或气体进入处理区域 234。在器件的工作过程中，润滑剂分子在处理区域 234 内达到平衡分压，然后以蒸气或气体状态到达处理区域 234 和 MEMS 器件 231 的相互作用的表面之间的区域。

因为这两种运输机制有助于建立润滑剂层，由此降低运动的 MEMS 元件的相互作用，所以对 MEMS 器件的暴露区域输送润滑剂的动作在下文中总称为润滑剂层的“补充”，通过任一种运输机制而输送的润滑剂称为“移动润滑剂”。总的来说，在润滑剂通道 301 内存储了足够量的补充润滑剂分子，使得足够的润滑剂分子可用来防止在产品的整个寿命期间 MEMS 器件的相互作用区域处的粘连类型的失效。

在一个实施例中，如图 3E 所示，润滑剂通道 301 的尺寸被选择，并且内表面 234A 被选择性处理，使得液体润滑剂 505 对润滑剂通道 301 表面和内表面 234A 的表面张力造成润滑剂 505 被从 MEMS 器件封装 230 外的位置抽吸到润滑剂通道 301 中，然后抽取到处理区域 234 中。以此方式，润滑剂通道 301 用作液体注入系统，该系统使得用户能够利用当润滑剂 505 与润滑剂通道 301 的壁接触时产生的毛细力，将一定量的润滑剂 505 输送到处理区域 234 中。在一种示例中，润滑剂通道 301 的横截面是矩形的，润滑剂通道 301 的宽度在约 100 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 与约 600 $\mu\text{m}$  之间，深度在约 100 微米 ( $\mu\text{m}$ )  $\pm 50\mu\text{m}$  之间。在使用时，毛细力可以用来输送比润滑剂通道 301 的体积小或大的量的润滑剂 505。在这种构造中，可以通过同一润滑剂通道 301 顺序输送不同体积的两种或更多种不同的润滑剂。或者，可以通过该润滑剂通道 301 传递第一润滑剂，然后在随后的步骤中将第二润滑剂保持在润滑剂通道 301 中。

在另一个实施例中，润滑剂 505 被选择为使得润滑剂的一部分在器件的正常工作过程中蒸发以在处理区域中形成蒸气或气体。在 MEMS 器件是空间光调制器 (SLM) 的情况下，通常的器件工作温度和/或环境温度可以在约 0°C 与约 70°C 之间的范围内。润滑剂形成蒸气或气体的能力取决于润滑剂的平衡分压，该平衡分压随着润滑剂的温度、润滑剂周围区域的压

力、润滑剂对处理区域 234 的内表面的键合强度及润滑剂分子量的变化而变化。

在另一个实施例中，因为润滑剂 505 沿着处理区域 234 内的表面迅速扩散的能力而被选择。在本实施例中，处理区域 234 的内表面 234B 和/或润滑剂通道 301 可以被处理，以用作润滑剂 505 的润湿表面，如图 3F 所示。以此方式，润滑剂 505 以液体形式被带入到处理区域 234 中，在整个 MEMS 器件寿命内用作用于 MEMS 器封装 230 的移动润滑剂的储备。为了防止与处理区域 234 内的接触表面发生干扰，处理区域 234 的内表面 234C 的选定区域可以被处理，以用作用于润滑剂 505 的非润湿表面。以此方式，移动润滑剂的储备可以被形成在处理区域 234 中，而不会有与 MEMS 器件 231 的元件发生干扰的危险。在一个方面中，通道或沟槽 234D 被形成在处理区域 234 的一个或多个内表面上，以更好地保持润滑剂 505，如图 3G 所示。

在另一个实施例中，润滑剂 505 适用于在介于约 0°C-约 70°C 的扩展工作温度范围内的温度下工作。在另一个实施例中，润滑剂被选择，使得在器件被暴露于在典型的 MEMS 或 NEMS 封装工艺过程中可能经历的温度，即约 -30°C- 约 400°C 时，润滑剂将不分解。

可以布置在润滑剂通道 301 内并用于防止 MEMS 器件内的相互作用的元件的粘连的润滑剂 505 的实例是全氟聚醚(PFPE)、自组装单层 (SAM) 或其它液体润滑剂。一些已知种类的 PFPE 润滑剂是可从 New Jersey 的 Thorofare 的 Solvay Solexis, Inc. 获得的 Y 型或 Z 型润滑剂(例如 Fomblin® Z25)、可从 DuPont 获得的 Krytox® 以及可从 Daikin Industries, LTD. 获得的 Demnum®。SAM 的实例包括二氯二甲基硅烷("DDMS")、十八烷基三氯硅烷 ("OTS")、全氟辛基三氯硅烷 ("PFOTCS")、全氟癸基三氯硅烷 ("FOTS")、全氟烷基三氯硅烷 ("FOTS")。

在可选的实施例中，可能理想的是，改性润滑剂通道 301 内的表面的性能，以改变润滑剂与润滑剂通道 301 的内部区域 305 (图 3B 所示) 的表面键合强度。例如，理想的是，用有机钝化材料 (诸如自组装单层 (SAM)) 对润滑剂通道 301 的表面进行涂层。可用的 SAM 材料包括但

不限于有机硅烷类化合物，诸如十八烷基三氯硅烷（OTS）、全氟癸基三氯硅烷（FDTS）。润滑剂通道 301 的表面也可以通过将其暴露于微波、UV 光、热能或其他形式的电磁辐射来改性，以改变润滑剂通道 301 的表面的性能。

如上所述，需要向 MEMS 器件封装增加可逆吸收吸气剂来保持润滑剂的传统技术明显增大了器件封装尺寸和形成器件的复杂性，并给制造工艺增加了步骤。这样的器件封装设计由于增加了额外的吸气剂元件而提高了零件成本以及总体制造成本。因此，通过将移动润滑剂置于形成在包封处理区域的一个或多个壁中的润滑剂通道中，可以形成便宜和可靠的 MEMS 器件。润滑剂通道 301 的使用消除了对于可逆吸收吸气剂的需要，因此减小了器件封装尺寸、降低了制造成本和零件成本。在此所述的实施例还通过减小在工作期间位于处理区域内的附加的元件（诸如吸气剂材料）接触器件封装内的运动或相互作用的 MEMS 元件的几率而提高了器件的可靠性。

### 润滑剂通道形成工艺

根据本发明的实施例，类似于 MEMS 器件封装 230 的润滑剂通道 301 的润滑剂通道可以被形成在包含 MEMS 或任何其他粘连敏感器件的包封的一个或多个壁中。通常，利用芯片级或晶片级封装工艺将 MEMS 器件包封在 MEMS 器件封装 230 中，如上面的图 2A 所示。芯片级封装工艺的实例可以在美国专利 No. 5,936,758 和美国专利公开 No. 20050212067 中找到。下面所讨论的工序也可以应用于晶片级气密封装，其中，多个 MEMS 器件通过将多个硅和玻璃晶片排列和组装成叠层而被同时封装。例如，通过使用将由其形成 MEMS 器件封装 230 的基底 233，经由晶片级气密封装，可以形成多个与 MEMS 器件 230 基本相似的 MEMS 器件封装。多个 MEMS 器件 231 可以被形成在基底 233 上或单独地接合到基底 233。密封的 MEMS 器件 230 可以通过接合基底 233、插入器晶片和玻璃晶片来形成。然后，通过划片、激光切割或其他管芯分离方法来使得接合的晶片叠层个体化，来形成单个的 MEMS 器件封装。在晶片级气密封装和管芯个体化之

后的其余封装组装和测试工艺不需要超高清洁室环境，因此减小了制造器件的整体封装成本。此外，下面所述的本发明的实施例较之传统的 MEMS 器件封装工艺具有突出的优点，因为其消除了如下的要求：在用于形成密封的处理区域 234 的步骤中将 MEMS 器件润滑剂暴露于高温。

虽然下面的讨论集中在晶片级封装方法上，但是技术和总体工序不必限于这样类型的制作工艺。因此，在此所述的本发明的实施例不是意在限制本发明的范围。可以受益于在此所述的本发明的一个或多个实施例的 MEMS 器件封装和形成 MEMS 器件封装的工艺的实例在如下的共同转让的专利申请中有进一步描述：美国专利申请 No. 10/693,323，律师案卷号 No. 021713-000300, 2003 年 10 月 24 日递交；美国专利申请 No. 10/902,659，律师案卷号 No. 021713-001000, 2004 年 7 月 28 日递交；以及美国专利申请 No. 11/008,483，律师案卷号 No. 021713-001300, 2004 年 12 月 8 日递交。

图 4A 示出了根据本发明的一个实施例用于形成包含润滑剂通道 301 的 MEMS 器件封装 230 的工序 400. 图 5A-5F 示出了在执行了工序 400 的每一个步骤之后 MEMS 器件封装 230 的一个或多个元件的各种状态。图 5A 是可以用于形成如图 5F 所示的多个 MEMS 器件封装 230 的晶片 235C 的剖视图。晶片 235C 可以由诸如硅 (Si)、金属、玻璃材料、塑料材料、聚合物材料或其它合适的材料之类的材料形成。

现在参考图 4A 和 5B，在步骤 450 中，使用传统的图案化、光刻和干法刻蚀技术在晶片 235C 的顶表面 404 形成润滑剂通道 301 和任选的凹入 401。润滑剂通道 301 和凹入 401 的深度 D 由在晶片 235C 上执行的传统干法刻蚀工艺的时间和刻蚀速率来设定。应当注意，润滑剂通道 301 和凹入 401 可以通过其他传统的刻蚀、消融或其他制造技术来形成，而不偏离基础发明的范围。

现在参考图 4A 和 5C，在步骤 452 中，使用传统的图案化、光刻和干法刻蚀技术来穿过凹入 401 的底壁 403 从背表面 405 去除材料，以形成限定内表面 235B 的通孔 402。内表面 235B 与盖子 232 和基底 233（在图 5E-5F 中示出）一起限定 MEMS 器件封装 230 的处理区域 234。也可以通过传

统的刻蚀、消融或其他类似制造技术执行从壁 235C 去除材料以形成通孔 402 的工艺。或者，晶片 235C 可以在在先的步骤中由通孔 402 来形成。

在步骤 454 中，如图 4A 和 5D 所示，盖子 232 被接合到晶片 235C 的顶表面 404，以包封润滑剂通道 301 并封盖各个通孔 402 的一端。典型的接合工艺可以包括阳极键合（例如电解工艺）、共晶接合、熔融接合、共价键合和/或玻璃浆料熔融接合工艺。在一个实施例中，盖子 232 是显示器级玻璃材料（例如 Corning® Eagle 2000™）且晶片 235C 是含硅材料，并且通过使用传统的阳极键合技术将盖子 232 接合到晶片 235C 上。通常，在传统的阳极键合工艺过程中，MEMS 器件封装中的一个或多个元件的温度达到约 350°C-约 450°C 之间。在共同转让的 2005 年 1 月 3 日递交的美国专利申请 No. 11/028,946 中提供了与阳极键合工艺相关的其它信息，该申请通过引用被全文包含于此。

在图 456 中，如图 4A 和 5E 所示，其上安装有多个 MEMS 器件 231 的基底 233 被接合到晶片 235C 的背表面 405，以形成 MEMS 器件 231 保留在其中的包封的处理区域 234。通常，利用阳极键合（例如电解工艺）、共晶接合、熔融接合、共价键合和/或玻璃浆料熔融接合工艺将基底 233 接合到晶片 235C。在一个实施例中，基底 233 是含硅衬底且晶片 235C 是含硅晶片，并且利用玻璃浆料接合工艺将基底 233 接合到晶片 235C 上。通常，在玻璃浆料接合工艺过程中，MEMS 器件封装中的至少一个或多个元件的温度达到介于约 350°C-约 450°C 之间的温度。在共同转让的 2005 年 1 月 3 日递交的美国专利申请 No. 11/028,946 中提供了与玻璃浆料接合工艺相关的其它信息，该申请通过引用被全文包含于此。

现在参考图 4A 和 5F，在步骤 458 中，通过使用传统的划片技术分离由基底 233、晶片 235C 和盖子 232 构成的晶片叠层，以形成多个 MEMS 器件封装 230。在划片工艺之后留下的多余或零碎材料 411 可以被遗弃。作为步骤 458 的一部分，可以对所形成的 MEMS 器件执行传统的引线键合和测试，以保证其耐久性并将 MEMS 器件准备用于可以利用 MEMS 器件封装 230 的系统。也可以使用其他的划片技术来首先暴露焊盘，以允许晶片级探测和管芯分类，然后进行完全个体化。

图 6A 是利用图 4A 所示的步骤 450-步骤 458 可以形成的具有部分形成的润滑剂通道 301 的 MEMS 器件封装 230 的平面图。为了清楚起见，MEMS 器件封装 230 以去除了盖子 232 的局部 601 情形示出。如图所示，润滑剂通道 301 仅仅部分地形成在插入器 235 中，使得润滑剂通道 301 靠近外表面 235A 的端部被具有材料厚度 502 的多余插入器材料 501 阻断。一般来说，材料厚度 502 可以较薄，以允许容易地去除多余的插入器材料 501，并且厚度可以为约 10 微米( $\mu\text{m}$ )到约 1 mm。在此构造中，润滑剂通道 301 被形成为从穿透内表面 235B 的出口 303 延伸到被多余的插入器材料 501 阻断的相反一端。以此方式，处理区域 234 保持密封，直至如下所述的图 4A 的步骤 460 中多余的插入器材料 501 被去除以将润滑剂注入到润滑剂通道 301 中。

在工序 400 的步骤 460 中，通道入口 302 被形成到润滑剂通道 301 中，如图 6B 和 6C 所示。通道入口 302 可以通过对多余的插入器材料 501 进行穿孔的步骤来形成，如图 6B 所示。或者，可以通过执行传统的磨蚀、研磨或抛光技术来去除基本所有的多余插入器材料 501 以暴露润滑剂通道 301，来形成通道入口 302，如图 6C 所示。在一个方面中，可能理想的是，从润滑剂通道 301 清洁和去除在多余的插入器材料被去除时产生的任何颗粒，以保证颗粒不能进入到处理区域 234 中。因为可以去除 MEMS 器件封装 230 的多余的插入器材料 501 的精度受到限制，在形成润滑剂通道 301 的过程中可以靠近润滑剂通道 301 形成厚度控制缝隙 503，如图 6A 所示。在工艺步骤 458 的过程中，缝隙 503 的右侧的材料被去除，以暴露缝隙 503。厚度控制缝隙 503 的存在允许在去除多余的插入器材料 501 中的公差 504（参见图 6A），而不会影响材料厚度 502。

在一个实施例中，如图 6B 所示，通过输送能量（诸如激光脉冲或电子束脉冲）产生通道入口 302，以钻出穿过多余的插入器材料 501 并进入润滑剂通道 301 的孔。通道入口 302 的激光钻孔可以利用短脉冲激光器（诸如紫外（UV）激光器）或长脉冲激光器（诸如红外（IR）激光器）或连续波（CW）激光器来执行。例如，当多余的插入器材料 501 是含硅材料并且材料厚度 502 为约 100-200  $\mu\text{m}$  厚时，可以使用 Rofin 20E/SHG

532nm Q-开关激光器。在此情况下，对于钻孔工艺的平均功率设置为约 1.0-约 2.5W 之间，使用约 3000-6000 个脉冲（取决于多余的插入器材料 501 的确切厚度和组分），Q 开关频率小于约 15000Hz，并且脉冲宽度介于约 6 ns 和 18 ns。或者，可以将 IR 激光器用于激光钻孔，以形成通道入口 302，例如使用具有 1.06  $\mu\text{m}$  激光波长的 20 W 纤维激光器。在此情况下，约 2000-10000 个脉冲被输送，这取决于材料厚度 502 的确切值，并且脉冲以 25 kHz-40 kHz 之间的频率输送。据信，与 UV 激光器相比，使用 IR 激光器将减小在钻孔工艺过程中产生的颗粒数量，这是由于在这些波长下更高的能量吸收，这导致被加热的材料形成趋向于粘附到润滑剂通道 301 的内表面上的液体。因此，使用 IR 激光器可以导致在润滑剂通道 301 和/或处理区域 234 中形成的颗粒污染物的显著减少。

本发明人还确定了通过优化激光器的设置，可以最小化在 IR 激光钻孔过程中的颗粒产生。例如，当多余的插入器材料 501 是含硅材料并且材料厚度 502 为约 100-200  $\mu\text{m}$  厚时，通过调节 IR 激光器以形成直径介于约 10-约 30  $\mu\text{m}$  的通道入口 302，也可以最小化颗粒产生。此外，为了使得步骤 460 的激光钻孔过程中多余的插入器材料 501 的氧化最小化，激光钻孔工艺可以在无氧环境中执行。例如，步骤 460 可以在填充有惰性气体（例如氮气）或稀有气体（例如氩）的腔室中进行。或者，惰性气体或稀有气体可以被用作局域化净化气体保护。

在一个实施例中，在 MEMS 器件封装 230 的形成过程中，用气体填充处理区域 234 至大于大气压的压力，使得在去除多余的插入器材料 501 的过程中产生的任何颗粒通过逸出气体被驱离处理区域 234。在一个方面中，在步骤 456，即将基底 233 接合到晶片 235C 的背表面 405 的工艺的过程中，用气体填充处理区域 234 至大于大气压的压力。在此情况下，执行步骤 456 的环境被保持在高于大气压的压力下，使得高于大气压的净化气体在处理区域 234 被完全形成时陷入其中。保留在处理区域 234 中的气体可以惰性气体，诸如氮气或氩。

在另一个实施例中，器件被置于具有透明壁的 O 型圈密封的容器中，以允许 UV 或 IR 激光束透过。在激光钻孔以形成通道入口 302 之前，容器

被抽空到毫托量级的真空压力。在处理区域 234 和抽空的腔室之间的大的压差进一步抑制了在通道入口 302 的形成过程中由激光钻孔产生的颗粒进入到润滑剂通道 301。容器和器件随后用期望的气体（诸如干燥氮气或氩）回充，然后将器件从密封的容器取出。

参考图 4A，在步骤 461 中，一种或多种润滑剂被引入到润滑剂通道 301 中。如上结合图 3E 所述的，润滑剂通道 301 和通道入口 302 可以被构造成使得毛细力将润滑剂 505 抽吸到润滑剂通道 301 中，如图 6D 所示。因此，通过利用注射器、移液管或其它类似的器件将合适量的润滑剂 505 置于外表面 235A 上通道入口 302 附近，润滑剂通道 301 可以被填充到润滑剂通道 301 中。

参考图 4A，在步骤 462 中，通道入口 302 被密封以将润滑剂通道 301、处理区域 234 和置于其中的润滑剂 505 与 MEMS 器件封装 230 的外部环境隔离。在一个实施例中，盖体 304 被安装在通道入口 302 上方，以密封润滑剂通道 301，如图 6E 所示。盖体 304 的组成在上面结合图 3C 进行了描述。在另一个实施例中，点焊方法（诸如激光焊接）可以被用于密封通道入口 302。在一个方面中，长脉冲激光或连续波激光（诸如 IR 激光）被用于此工艺。为了使得制造成本最小化，也可以将与用于步骤 460（即穿过多余的插入器材料 501 形成通道入口 302 的步骤）的激光器基本相似的 IR 激光器用于步骤 462，即密封润滑剂通道 301 的步骤。例如，当多余的插入器材料 501 是含硅材料并且通道入口 302 的直径介于约  $10 \mu\text{m}$  到约  $30 \mu\text{m}$  时，可以以单脉冲模式使用激光波长为  $1.06 \mu\text{m}$  的 Rofin StarWeld 40 来密封通道入口 302，其中脉冲宽度为约  $1 \text{ ms}$ ，能量介于约  $0.1\text{-}0.6 \text{ J}$ ，并且光斑尺寸介于约  $100 \mu\text{m}$  到  $400 \mu\text{m}$ 。

图 6F 示出了根据一个实施例利用 IR 激光器密封润滑剂通道 301 的方法，其中激光器被用于加热邻近通道入口 302 的区域，多余的插入器材料 501 中的一些由此被熔融并且扩展到通道入口 302 上。在此实施例中，利用 IR 或其它长脉冲激光器在外表面 235A 上形成熔池 520，并且熔池 520 的一部分 521 被移到通道入口 302 上方，由此密封润滑剂通道 301。

图 6G 示出了根据一个实施例利用 IR 激光器密封润滑剂通道 301 的另

一种方法，其中一个或多个激光脉冲被用于加热外表面 235A 上的区域，以在润滑剂通道 301 内创建一个或多个密封 522。在此实施例中，如图所示，利用足够的能量在密封区域 524 中形成一个或多个熔池 523，以在内部密封润滑剂通道 301。润滑剂通道 301 的几何形状在焊接区域 524 中可以被构造成确保熔池 523 完全将润滑剂通道 301 从周围环境密封。例如，润滑剂通道 301 对应于熔池 523 的位置的部分较之润滑剂通道 301 的其余部分可以被布置成更靠近外表面 235A 和/或可以被形成为明显更窄。如图 6G 所示利用熔池 523 来密封润滑剂通道 301 可以使得密封中包含的被氧化材料的量最小化。

图 4B 示出了根据一个实施例用于形成包含润滑剂通道 301 的 MEMS 器件封装 230 的工序 410。工序 410 中的步骤 450 和 452 与工序 400 中的步骤 450 和 452 基本相同，并且在上面结合图 4A、5A、5B 和 5C 进行了描述。

现在参考图 4B，在步骤 494 中，具有多个通道入口 302 的盖子 432 与晶片 235C 的顶表面 404 对齐并与之接合，以包封润滑剂通道 301 并封盖各个通孔 402 的一端，如图 5G 所示。图 5G 是在接合之后的晶片 235C 和盖子 432 的剖视图。步骤 494 与工序 410 的步骤 454 基本类似，不同之处在于盖子 432 包含多个通道入口 302，所述多个通道入口 302 被布置成与形成在晶片 235C 中的各润滑剂通道 301 的一部分对齐。或者，通道入口 302 可以在盖子 432 被接合到晶片 235C 之后形成在盖子 432 中。在此情况下，通道入口 302 可以通过本领域公知公用的光刻、消融和/或刻蚀技术来形成。在任一情况下，通道入口 302 的形成或对齐是晶片级工艺的一部分。如上所述，较之芯片级工艺，晶片级工艺通常减小了制造器件的成本。

在步骤 496，如图 4B 和 5H 所示，其上安装有多个 MEMS 器件 231 的基底 233 被接合到晶片 235C 的背表面 405，以形成 MEMS 器件 231 留在其中的包封的处理区域 234。步骤 496 与图 4A 中的工序 400 的步骤 456 基本类似。

在步骤 498 中，如图 4B 和 5I 所示，在晶片级工艺中将润滑剂 505 引

入到各个润滑剂通道 301 中。在此实施例中，在将润滑剂 505 引入到润滑剂通道 301 之前，不必将由基底 233、晶片 235C 和盖子 232 构成的晶片叠层划片成多个 MEMS 器件封装 230。更确切地说，通过使用注射器、移液管或其它类似的器件并且利用毛细力将润滑剂 505 抽吸到各个润滑剂通道 301 中，可以将稳定量的润滑剂 505 置于盖子 432 的上表面 432A 上的通道入口 302 中的各个开口附近。这样，使得制造 MEMS 器件封装 230 所需的芯片级制造步骤的数量被最小化。

在步骤 499 中，如图 4B 和 5J 所示，各个通道入口 302 被密封，以将润滑剂通道 301、处理区域 234 和置于其中的润滑剂 505 与 MEMS 器件封装 230 的外部环境隔离。工序 410 的步骤 499 与工序 400 的步骤 462 基本类似，不同之处在于在步骤 499 中，使用晶片级工艺而不是芯片级工艺，从而进一步减小了制造 MEMS 器件封装 230 所需的芯片级制造步骤的数量。在图 5J 所示的实施例中，润滑剂通道 301 已经利用激光焊接被密封，其中，由能量源（例如激光）形成在上表面 432A 上的熔池的一部分被移位来密封润滑剂通道 301。或者，可以通过环氧树脂、低熔点焊料、玻璃浆料或其它典型的密封材料来实现密封。

在步骤 458 中，如图 4B 和 5K 所示，通过使用传统的划片技术分离由基底 233、晶片 235C 和盖子 232 构成的晶片叠层，以形成多个 MEMS 器件封装 230。工序 410 的步骤 458 与工序 400 的步骤 458 基本类似，并在上面结合图 4A 和 5F 进行了描述。在划片工艺之后留下的多余或零碎材料 411 可以被遗弃。作为步骤 458 的一部分，可以对所形成的 MEMS 器件执行传统的引线键合和测试，以保证其耐久性并将 MEMS 器件准备用于可以利用 MEMS 器件封装 230 的系统。也可以使用其他的划片技术来首先暴露焊盘，以允许晶片级探测和管芯分类，然后进行完全个体化。

图 5L 示出了根据本发明一个实施例的器件封装组件 230 的剖视图，其中通道入口 302 被形成在盖子 432 中，并且不穿透外表面 235A。

图 4C 示出了根据本发明一个实施例用于形成包含润滑剂通道 301 和可去除润滑剂塞子的 MEMS 器件封装 230 的工序 420。工序 420 中的步骤 450 和 452 与工序 400 中的步骤 450 和 452 基本相同，并且在上面结合图

4A、5A、5B 和 5C 进行了描述。

现在参考图 4C，在步骤 484 中，将其上安装有多个 MEMS 器件 231 的基底 233 与晶片 235C 的背表面 405 对齐并利用环氧层 506 进行接合，如图 5M 所示。图 5M 是在接合之后部分地形成处理区域 234 的晶片 235C 和基底 233 的剖视图。步骤 484 的环氧接合工艺较之阳极键合、共晶接合、熔融接合、共价键合和/或玻璃浆料熔融接合是低温工艺。润滑剂塞子 508 也如图所示被形成在各个润滑剂通道 301 中，以将处理区域 234 与润滑剂通道 301 分离开。如上所述，润滑剂塞子 508 可以是当暴露于 UV 或其它波长的辐射时转变为多孔材料的聚合物（诸如光刻胶）。或者，润滑剂塞子 508 可以是当暴露于热时分解或以其它方式改变物理性能的聚合物或其它热敏性材料。

在步骤 486 中，如图 4C 和 5N 所示，一种或多种润滑剂被引入到润滑剂通道 301 中。因为在此工艺步骤中润滑剂通道 301 是开口通道，所以不必要使用毛细力将润滑剂 505 抽吸到润滑剂通道 301 中。润滑剂塞子 508 防止润滑剂 505 进入处理区域 234 中。

在步骤 487 中，如图 4C 和 5O 所示，将盖子 432 与晶片 235C 的顶表面 404 对齐并利用第二环氧层 507 进行接合，如图 5O 所示。图 5O 是在利用第二环氧层 507 接合之后晶片 235C、基底 233 和盖子 432 的剖视图。将盖子 432 接合到顶表面 404 上包封了润滑剂通道 301 和其中容纳的润滑剂 505，并且完成了 MEMS 器件 231 留在其中的处理区域 234。

在步骤 488 中，如图 4C 和 5P 所示，打破或物理改变润滑剂塞子 508 的密封，以允许润滑剂 505 进入到处理区域 234 中。去除工艺可以包括暴露于穿过盖子 232 的 UV 辐射或暴露于热。

在步骤 458 中，如图 4C 所示，通过使用传统的划片技术分离由基底 233、晶片 235C 和盖子 232 构成的晶片叠层，以形成多个 MEMS 器件封装 230。步骤 458 在上面结合图 4A 和 5F 进行了描述。

在可选的其它实施例中，润滑剂通道 301 被形成为使得润滑剂通道 301 的内容物可以透过包封处理区域 234 的光学透明的壁（诸如盖子 232）被看到。在此构造中，润滑剂通道 301 被形成在盖子 232 中或插入

器 235 中，使得润滑剂通道 301 的内容物可以透过光学透明的盖子 232 被看到。此构造是有用的，因为其允许使用者检查润滑剂通道 301 的内容物以了解在润滑剂通道 301 中剩多少润滑剂 505，从而可以根据需要采取补正措施。

在另一实施例中，通过在将润滑剂插入到 MEMS 器件封装 230 之前利用另一种液体来稀释润滑剂，来改善对于引入到润滑剂通道 301 和处理区域 234 中的润滑剂的量的控制。在一些应用中，到润滑剂通道 301 的润滑剂量的精确和可重复输送是重要的。太多的润滑剂可能使得处理区域 234 的润滑剂蒸气过饱和，导致冷凝的润滑剂液滴，这可能在相互作用的 MEMS 元件之间的接触区域处产生与粘连相关的失效。太少的润滑剂可能缩短 MEMS 器件封装 230 中包含的 MEMS 器件 231 的寿命。但是，MEMS 器件封装 230 所需的润滑剂体积可能小到纳升的量级，并且仅仅已知对于较之大一个或更多个数量级的液体体积的液体精确体积输送。本发明人已经确定，通过将润滑剂稀释在另一种液体中，引入到 MEMS 器件封装 230 中的液体的体积可以被显著增大（例如 10 倍或 100 倍），而不会增大引入到 MEMS 器件封装 230 中的润滑剂的量。在本实施例的一个方面中，润滑剂用明显更大体积的溶剂稀释，所述溶剂的蒸汽压低于润滑剂。在将润滑剂-溶剂溶液密封在润滑剂通道 301 中之后，MEMS 器件封装 230 经过烘干和泵吸工艺以去除溶剂，因为过压导致蒸发的溶剂分子扩散出 MEMS 器件封装 230。在本实施例的另一个方面中，润滑剂与明显更大体积的液体混合，所述液体的蒸汽压高于润滑剂，并且与润滑剂至少轻微混溶。在将混合的润滑剂和更高蒸汽压的液体密封在润滑剂通道 301 中之后，将 MEMS 器件封装 230 在高于润滑剂的蒸发温度（例如 200 °C）并低于更高蒸汽压的液体的蒸发温度（例如 600 °C）的温度下烘干。这样，润滑剂被活化，即，被蒸发并被允许扩散到处理区域 234 中，同时含润滑剂的混溶液体保留在润滑剂润滑剂通道 301 中。

本文所述的本发明的实施例的一个优点涉及将润滑剂 505 输送到所形成的 MEMS 器件封装 230 的总体工序和时序。总体上，本文所述的一个或多个实施例提供了其中润滑剂 505 在所有高温 MEMS 器件封装工艺（例如

阳极键合和玻璃浆料接合)被执行之后输送到处理区域中。这样的工序减少或防止了在这样的高温接合工艺(达到250°C-450°C的温度)过程中发生的润滑剂的过早释放或分解。将润滑剂505在执行高温接合步骤之后置于润滑剂通道301和处理区域234中的能力允许选用将在典型的接合温度下降解的润滑剂材料并且/或者减小润滑剂材料在MEMS器件形成过程中降解或被损坏的几率。本领域技术人员将理解,利用芯片级封装工艺而不是晶片级封装工艺形成在MEMS器件封装中的润滑剂通道301也受益于在执行MEMS器件封装密封工艺(例如,阳极键合、TIG焊接、电子束焊接)之后输送润滑剂505。

本文所述的本发明的实施例的另一个优点涉及形成MEMS器件封装所需的处理步骤的数量以及需要在清洁室环境中执行的步骤的数量减少了。利用可逆吸收吸气剂的传统MEMS器件制造工艺需要如下的额外步骤:1)在形成密封的MEMS器件封装之前将吸气剂材料接合到盖子或其它元件的表面;以及2)将封装加热以活化吸气剂器件。这些步骤的省略减小了需要在清洁室环境中执行的工序步骤的数量,由此降低了形成MEMS器件的成本。传统的可逆吸收吸气剂的存在还限制了可以密封MEMS器件封装(尤其是对于晶片级工艺)的温度。

### 润滑剂通道构造

虽然前面的讨论仅仅说明了具有一个用于将润滑剂材料输送到处理区域234的润滑剂通道的MEMS器件封装,但是可能有利的是,形成具有不同几何特性和在MEMS器件封装230内具有不同位置的多个润滑剂通道301,以更好地在MEMS封装内分配移动润滑剂。还想到了可以将几何特征有利地结合到润滑剂通道中,以用作颗粒过滤器或颗粒阱。

各个润滑剂通道的几何属性可以被用来在产品寿命的不同阶段输送不同量的移动润滑剂。图7A是具有多个润滑剂通道301A-301B的MEMS器件封装230的剖视平面图,所述多个润滑剂通道301A-301B被形成为具有不同的长度、形状和体积。在一个方面中,理想的是,在MEMS器件封装230的不同区域中均匀地分布润滑剂通道(诸如润滑剂通道301A和

301B），使得来自润滑剂通道的润滑剂分子的分配在整个 MEMS 器件封装中较均匀。这对于具有大的管芯尺寸的器件来说是尤其有利的。在一个示例中，润滑剂通道 301A 和 301B 的长度可以被调节，以降低制造成本或者优化润滑剂通道中容纳的润滑剂的体积。

在一个实施例中，可能理想的是，形成多个润滑剂通道，每一个润滑剂通道输送或者容纳具有不同的润滑性能和/或迁移性能的不同润滑剂材料。在一个实施例中，第一类型的移动润滑剂分子可以通过润滑剂通道 301A 输运或储存在润滑剂通道 301A 中，第二类型的移动润滑剂分子可以通过润滑剂通道 301B 输运或储存在润滑剂通道 301B 中，其中第一和第二类型移动润滑剂分子在器件的正常工作过程中分别具有不同的平衡分压，和/或每种润滑剂分别具有不同的贯穿封装的迁移速率。

在另一个实施例中，第一和第二类型的移动润滑剂分子被引入到处理区域 234 中，其中，第一类型的移动润滑剂分子根据其与处理区域 234 的内表面的键合性能来选择，第二类型的移动润滑剂分子根据其与第一类型的移动润滑剂分子的键合性能来选择。这样，第一类型的移动润滑剂分子经由一个或更多个润滑剂通道被引入到处理区域 234 中，以在处理区域 234 的内表面上形成均匀的单层。然后，第二类型的移动润滑剂分子经由一个或多个润滑剂通道被引入到处理区域 234 中，以在第一润滑剂上形成一个或多个单层。于是，移动润滑剂分子的多个单层在 MEMS 器件的整个寿命内充当润滑剂储备。在一个方面中，可能理想的是，设计在此所描述的润滑剂通道的几何形状、体积和表面粗糙度，以与其中处理的润滑剂的类型相对应。

图 7B 是包含两个润滑剂通道 301D 和 301E 的壁的剖视图，所述两个润滑剂通道 301D 和 301E 具有拥有不同几何形状的出口 303A 或 303B，以控制润滑剂迁移到处理区域中的速率。如图所示，可能理想的是，使得第一润滑剂通道 301D 具有拥有小的横截面积的出口 303A，以减小润滑剂到处理区域 234 中的扩散和/或渗出，并且使得第二润滑剂通道 301E 具有拥有大的横截面积的出口 303B，以允许润滑剂迅速扩散和/或渗出到处理区域 234 中。当这样两种构造被彼此组合使用时，第二润滑剂通道 301E 可

以用来在 MEMS 器件的启动过程中迅速饱和处理区域 234 内的表面。相反，第一润滑剂通道 301D 可以用来在器件的整个寿命内向处理区域 234 缓慢输送新鲜的润滑剂。

图 7C 和 7D 示出了包含过滤区域 605 的润滑剂通道 301F 的另一个实施例，所述过滤区域 605 包含多个障碍物 601，用于使得从 MEMS 器件封装 230 的外部环境到处理区域 234 中的一定尺寸的颗粒的流入最小化。障碍物 601 通常被构造成具有期望的长度 603、宽度 604 和高度（没有示出，即垂直于纸面）并在各个障碍物 601 之间具有期望的间距 602，由此充当过滤器，以防止一定尺寸的颗粒流入到处理区域 234 中。障碍物 601 可以在形成润滑剂通道 301F 的工艺过程中利用传统的图案化、光刻和干法刻蚀技术形成在润滑剂通道 301F 中。在一个实施例中，润滑剂通道 301F 的宽度 W 和布置在润滑剂通道 301F 中的障碍物 601 的定向被构造来使得润滑剂到处理区域中的流入最大化。在另一个实施例中，润滑剂通道 301F 的宽度 W 和布置在润滑剂通道 301F 中的障碍物 601 的定向被构造来控制润滑剂的流量。一般来说，理想的是，选择障碍物 601 的数量和定向以及障碍物 601 之间的空间的间距 602 和深度（没有示出，即垂直于图 7D 的纸面），使得具有预定尺寸的颗粒不能穿过进入处理区域 234。在一个实施例中，障碍物 601 的长度介于约 50  $\mu\text{m}$  到约 200  $\mu\text{m}$ ，宽度介于约 1  $\mu\text{m}$  到约 50  $\mu\text{m}$ ，并且间距 602 介于约 1  $\mu\text{m}$  到约 20  $\mu\text{m}$ 。在此实施例中，可以防止尺寸小到 1  $\mu\text{m}$  的颗粒进入处理区域 234。在一个方面中，间距 602 的深度可以与通道的深度相同。

在另一个实施例中，润滑剂通道 301G 包含多个障碍物 601 的阵列，所述多个障碍物 601 的阵列沿润滑剂通道 301G 的长度的一部分彼此交错。在此构造中，尺寸小于过滤器的间隙（即间距 602）的颗粒也可以被有效地阻滞。在另一个实施例中，多组障碍物 601 和多个过滤区域 605 被布置在润滑剂通道的不同区域，以进一步防止颗粒进入所形成的器件的处理区域。例如，如图 7C 所示，可能理想的是，使得一个过滤区域 605A 靠近润滑剂通道的入口，以收集可能从 MEMS 器件封装的外部进入的颗粒，使得另一个过滤区域 605B 布置在靠近处理区域的润滑剂通道中，用作在

进入处理区域 234 之前的最后的过滤器件。

图 7E 是包含两个润滑剂通道的壁的剖视图，所述两个润滑剂通道具有不同的出口构造，可用于提高润滑剂到处理区域 234 的分配或输送。在一个实施例中，润滑剂通道 301G 具有多个出口（例如，出口 303C-303D），所述多个出口适用于提高润滑剂到处理区域的输送速率和/或提高润滑剂到处理区域的不同区域的分配。在另一个实施例中，润滑剂通道 301H 具有充当喷嘴的大的出口 303E，其促进了润滑剂到处理区域 234 的输送。

在另一个实施例中，如图 8 所示，可以利用电阻元件 921 和温度控制器 922 来控制容纳在润滑剂通道 301 中的润滑剂的温度，以进一步控制润滑剂的输送。在此构造中，控制器 922 适用于将期望量的功率输送到电阻元件 921，以控制置于润滑剂通道 301 中的润滑剂的温度，由此控制润滑剂到处理区域 234 的迁移速率。在另一个方面中，电阻元件 921 被安装在包封处理区域 234 的壁中的一个的外表面 235A 上，以便于对于润滑剂通道 301 内的润滑剂温度的控制。在一个方面中，电阻元件 921 是布置在包封处理区域 234 的壁中的一个的表面上的金属箔。应该注意，润滑剂从润滑剂通道 301 的迁移速率强烈依赖于润滑剂的温度，这是因为蒸发和扩散都是热活化过程。

在一个实施例中，一定体积的气体 901（图 8）可以在用盖体 304 封盖通道入口 302 之前被有意地注入到润滑剂通道 301 中，以提供控制到处理区域 234 的输送速率的缓冲和温度补偿机制。在此构造中，一定体积的气体 901 随温度升高膨胀，这导致布置在润滑剂通道 301 中的润滑剂被朝向出口 303 推挤，并且该一定体积的气体 901 在润滑剂通道 301 中的温度下降时收缩。在其中润滑剂是粘性液体和/或具有对于润滑剂通道 301 的内表面的强粘附性的一个实施例中，一定体积的气体 901 可以被添加到处于稍高于处理区域 234 中的压强的压强。这允许在气体体积膨胀以补偿压差时，气体将润滑剂缓慢地输送到处理区域。

在一个实施例中，如图 9A 所示，盖体 304A 可以被插入在出口 303 处，以将润滑剂通道 301 与处理区域 234 隔离，直至想要去除盖体 304A

以允许润滑剂 505 进入处理区域 234。在一个方面中，盖体 304 是聚合物（诸如光刻胶），其保留在出口 303 上的位置中，直至其被暴露于引起盖体 304A 中所包含的材料的相分离或物理性能的改变的某一形式的光学辐射或加热，从而将盖体 304A 转变为多孔材料。此构造尤其适用于其中润滑剂通道 301 位于盖子 232 附近的构造（参见图 2A 和 6B），所述盖子 232 由光学透明材料形成，所述光学透明材料透过期望波长的光，以分解盖体 304A 的材料。在另一个实施例中，盖体 304A 适用于在升高的温度下分解。此构造允许在用低温密封方法（例如，环氧密封）接合器件衬底之前在润滑剂通道 301 中包装期望量的润滑剂。润滑剂的释放可以在密封工艺完成之后的任何时刻来启动。

在一个实施例中，MEMS 器件元件 950 和润滑剂通道 301 的至少一部分被形成在基底 233 上，如图 9B 所示。润滑剂通道 301 的剩余部分可以被形成在插入器 235 的壁中，如图所示，或者全部形成在基底 233 中。MEMS 器件元件 950 被靠近润滑剂通道 301 的形成还在基底 233 的部分布置，使得 MEMS 器件元件 950 的一部分 951 可以被致动，以封盖润滑剂通道 301 的出口 303。MEMS 器件元件 950 可以在形成 MEMS 器件 231 的同时被形成在基底 233 中。在此构造中，MEMS 器件元件 950 可以由功率源 112 进行外部致动，以封盖或暴露出口 303，使得 MEMS 器件元件 950 用作可以调控从润滑剂通道 301 的润滑剂材料的流量的阀。部分 951 可以通过使用由功率源 112 施加的偏置进行枢转（参见图 9B 中的“P”），以封盖出口 303。

在一个实施例中，包含在包封 MEMS 器件的处理区域 234 的壁中的润滑剂通道包含一个或多个充当颗粒阱的几何特征，如图 10A 和 10B 所示。图 10A 是根据本发明一个实施例具有形成有颗粒阱 1002 的润滑剂通道 1001 的 MEMS 器件封装 1030 的平面图。为了清楚起见，MEMS 器件封装 1030 以盖子 232 的局部 1091 被去除的情形示出。如图所示，润滑剂通道 1001 被形成在插入器 235 中，并且从插入器 235 的外表面 235A 延伸到内表面 235B。润滑剂通道 1001 与上述的润滑剂通道 301 基本类似，不同之处在于润滑剂通道 1001 形成有颗粒阱 1002。颗粒阱 1002 是被形成为与润

滑剂通道 1001 的内部区域 305 流体连通的腔，并且与通道通道入口 302 相对布置。因为布置了颗粒阱 1002，在通过材料去除或其它类似工艺形成通道入口 302 时被驱动到内部区域 305 中的颗粒中的大部分将被收集在颗粒阱 1002 内。这在激光钻孔工艺被用于形成通道入口 302 尤其适用。如图所示，颗粒阱 1002 是死空间，即不是作为插入器 235 的外表面 235A 和内表面 235B 之间的流体通路的一部分的“死端”。因此，当润滑剂经由通道入口 302 被引入到润滑剂通道 1001 中时，收集在颗粒阱 1002 中的颗粒不会被运输到 MEMS 器件封装 1030 内的处理区域 234。

为了进一步减小运输到处理区域 234 中的颗粒的数量，颗粒阱 1002 也可以被构造来减小在利用激光钻孔形成通道入口 302 时在内部区域 305 中产生的颗粒的数量。本发明人已经确定，在激光钻孔过程中激光束可能照耀内部区域 305 的表面，产生颗粒。内部区域 305 的内表面 1003 可能在通道入口 302 被形成之后并且在激光器关断之前被钻孔激光消融。为了使得由钻孔激光导致的表面 1003 的消融所产生的颗粒的数量最小化，颗粒阱 1002 可以被构造为使得表面 1003 远离钻孔激光的焦点 1004。焦点 1004 由射线 1006 和 1007 的交点指示，并且基本与通道入口 302 一致。通过将表面 1003 置于远离焦点 1004 和通道入口 302 之处，穿透激光束的能量密度在入射在表面 1003 上时被减小。人们相信这样做会使得在内部区域 305 中形成的颗粒更少。人们还相信，存在于内部区域 305 中的颗粒通常被熔融到表面 1003 和其它内表面上，并且因此成为不能被运输到处理区域 234 中的固定颗粒。

图 10B 示出了根据本发明一个实施例具有形成有非线性颗粒阱 1009 的润滑剂通道 1011 的 MEMS 器件封装 1031 的平面图。在此实施例中，润滑剂通道 1011 与图 10A 中的润滑剂通道 1001 基本类似，不同之处在于润滑剂通道 1011 形成有非线性颗粒阱 1009。在此实施例中，非线性颗粒阱 1009 使得表面 1013 位于离开穿透激光束的焦点 1004 一段距离处，并且进一步将收集在非线性颗粒阱 1009 中的颗粒与插入器 235 的外表面 235A 和内表面 235B 之间的流体通路隔离。在图 10B 所示的实施例中，非线性颗粒阱 1009 被构造为具有一个 90°的弯曲部，但是可以想到非线性颗粒阱

1009 也可以被构造为具有大于或小于 90°的一个或多个弯曲部，以收集在通道入口 302 的形成过程中所形成的颗粒。

### 润滑剂去除步骤

在一个实施例中，理想的是，将泵（没有示出）连接到通道入口 302（图 6B 所示），使得其可以被用来抽空处理区域，以去除其中包含的移动润滑剂中的一种或多种和/或稀释剂。在此情况下，泵可以用于将处理区域抽空到足够的压力，使润滑剂蒸发并从而将其从器件封装扫除。在另一个实施例中，可能理想的是，将气体源（未示出）连接到一个注入端口（例如图 7A 中的元件 301A），然后从另一个注入端口（例如图 7A 中的元件 301B）除去盖体（例如图 7A 中的元件 304），使得从气体源输送的气体能够用来扫除任何用过的或劣化的润滑剂材料。在任一种情况下，使用上述方法，这些类型的技术都可以用来除去旧的和/或劣化的润滑剂，使得新的润滑剂可以被添加到处理区域以延长 MEMS 器件的寿命。

尽管上文针对本发明的实施例，但是在不脱离本发明基本范围的情况下可以想到本发明其他和进一步的实施例，本发明的范围由所附权利要求来确定。

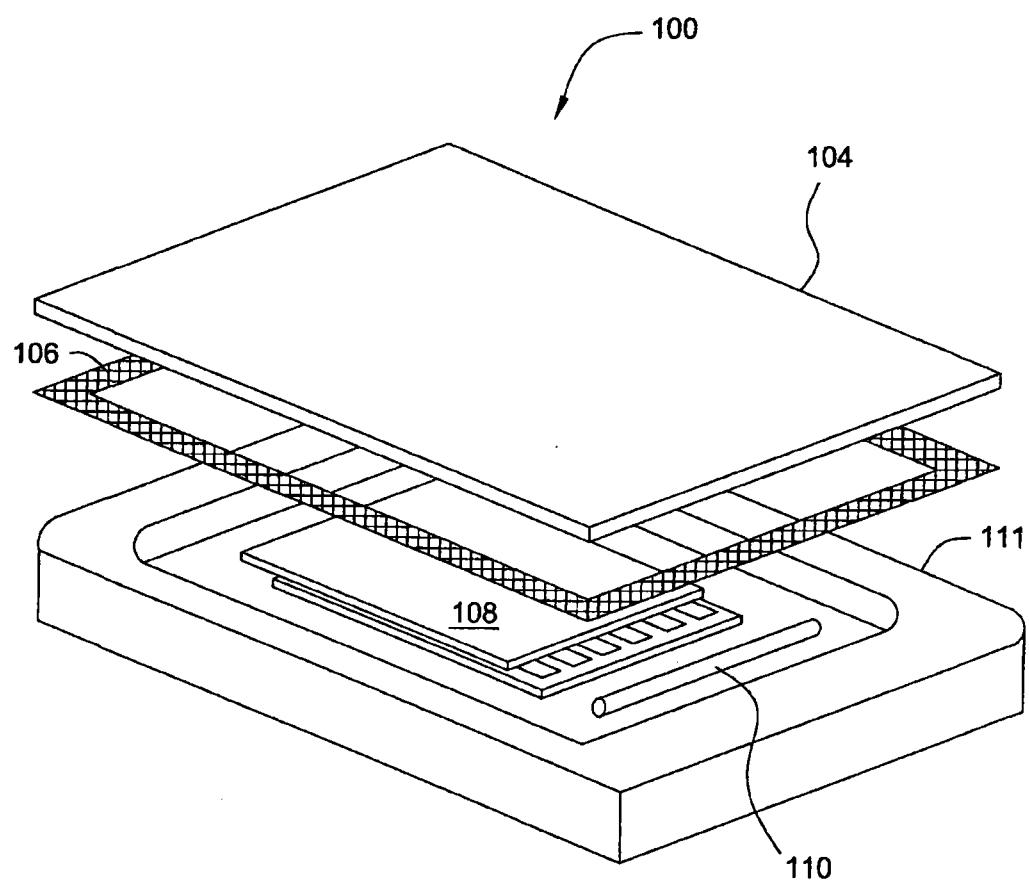


图1A  
(现有技术)

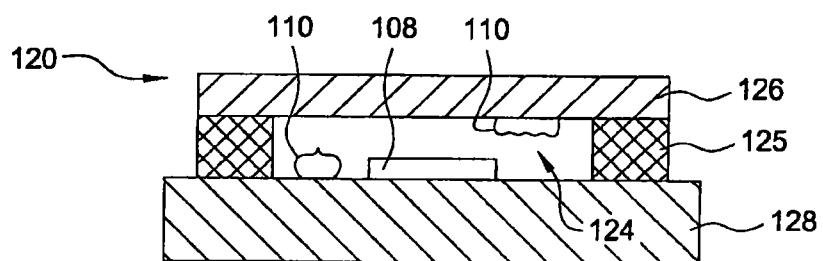


图1B  
(现有技术)

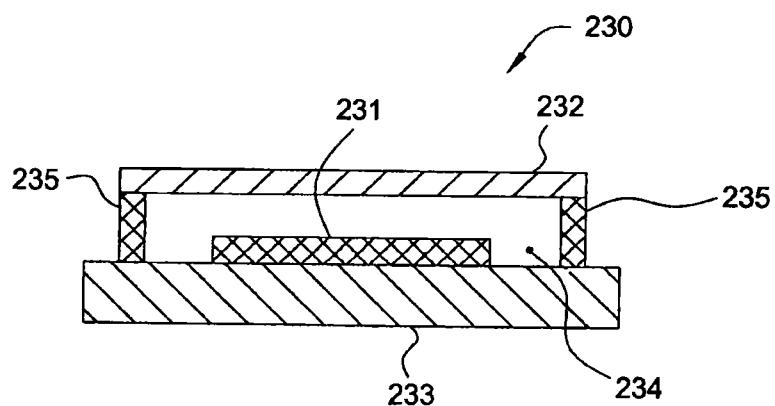


图2A

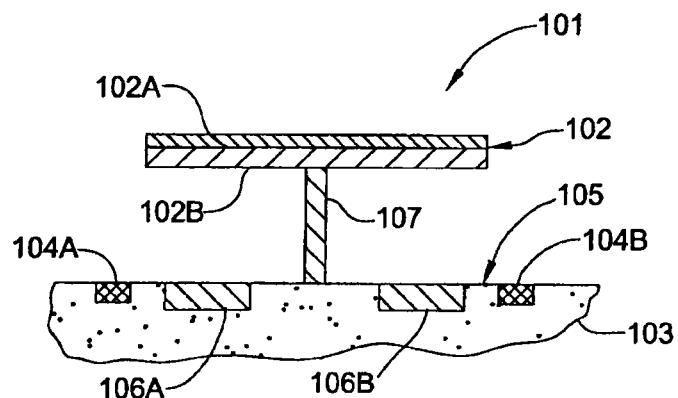


图2B

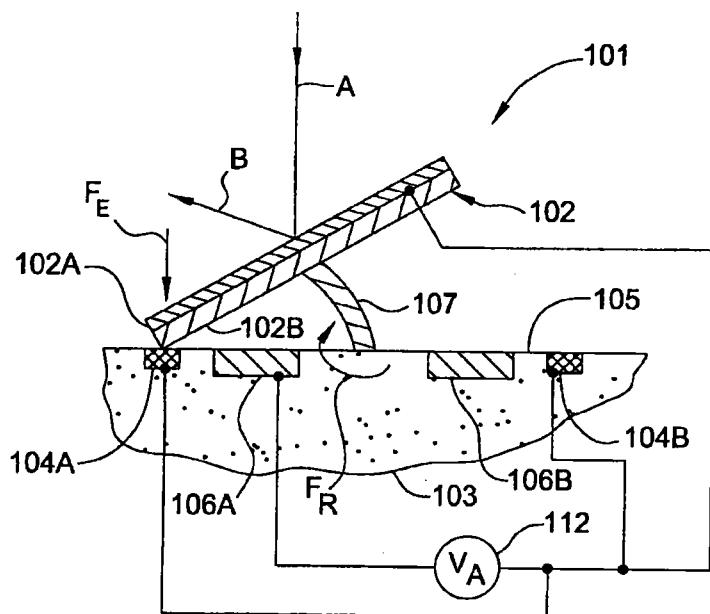


图2C

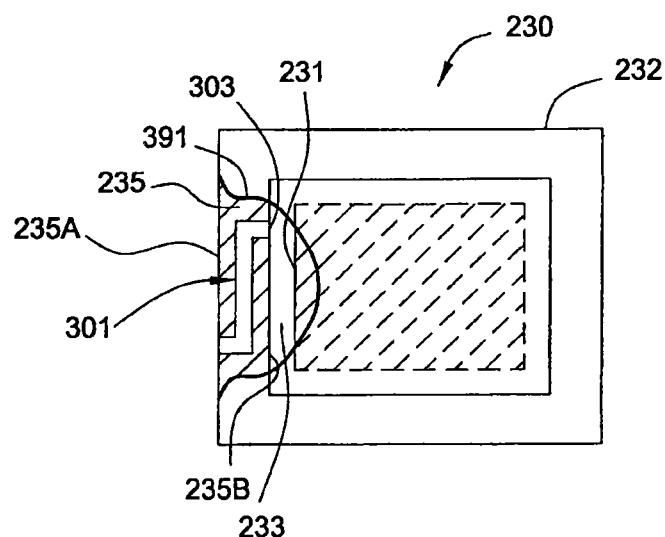


图3A

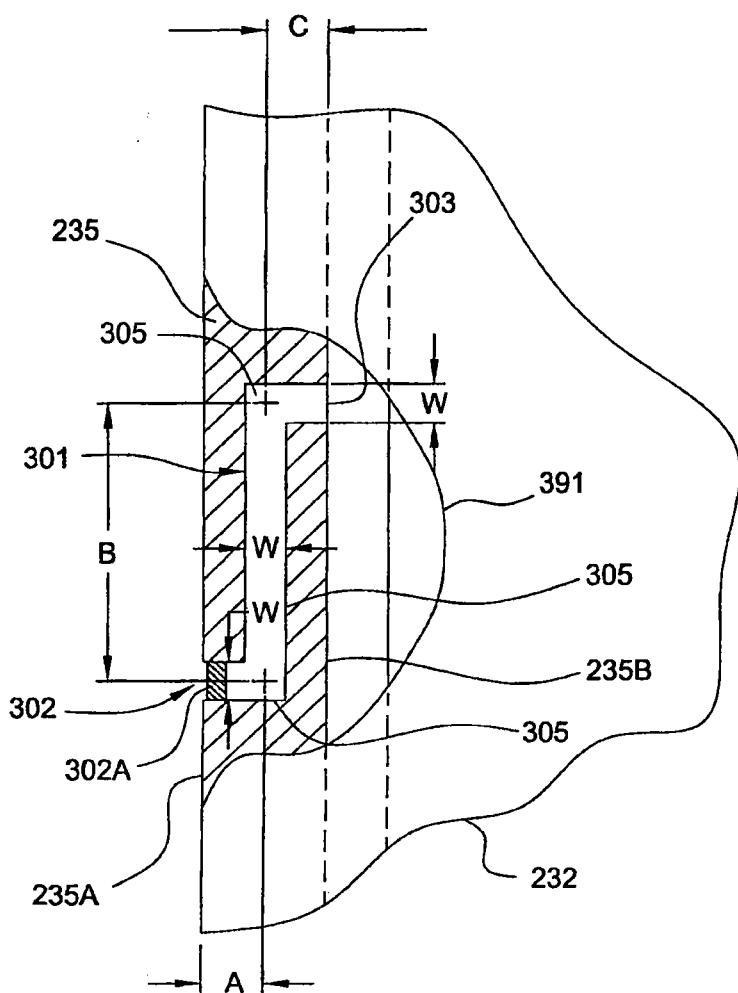


图3B

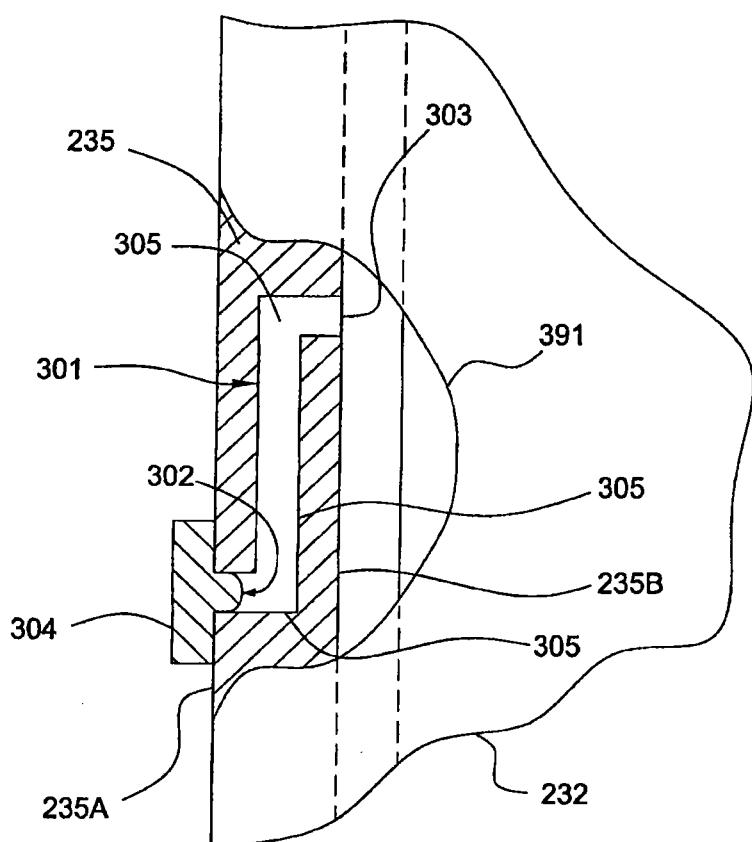


图3C

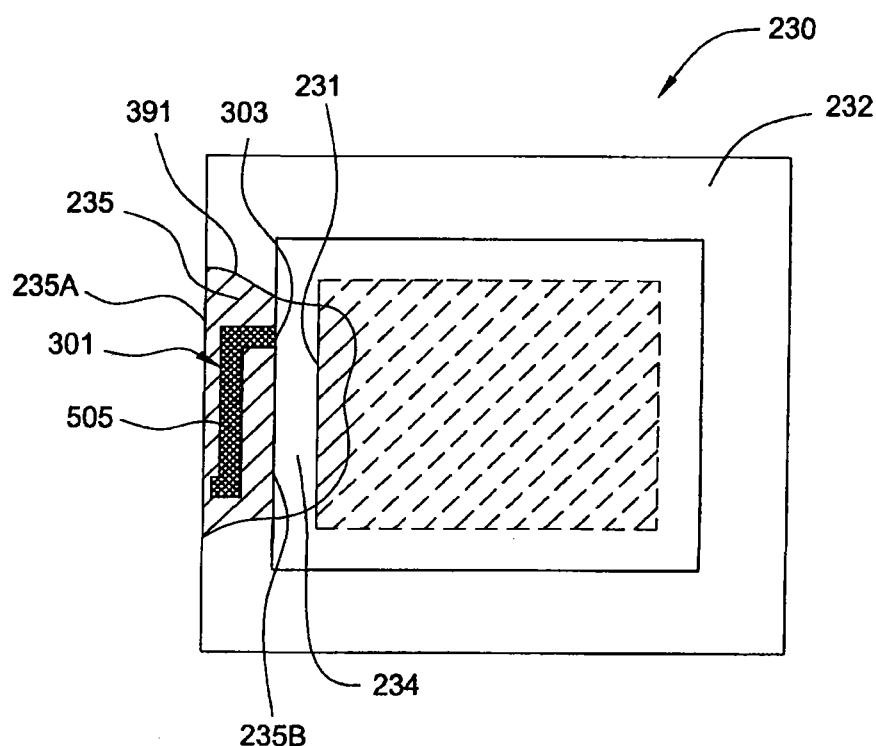


图3D

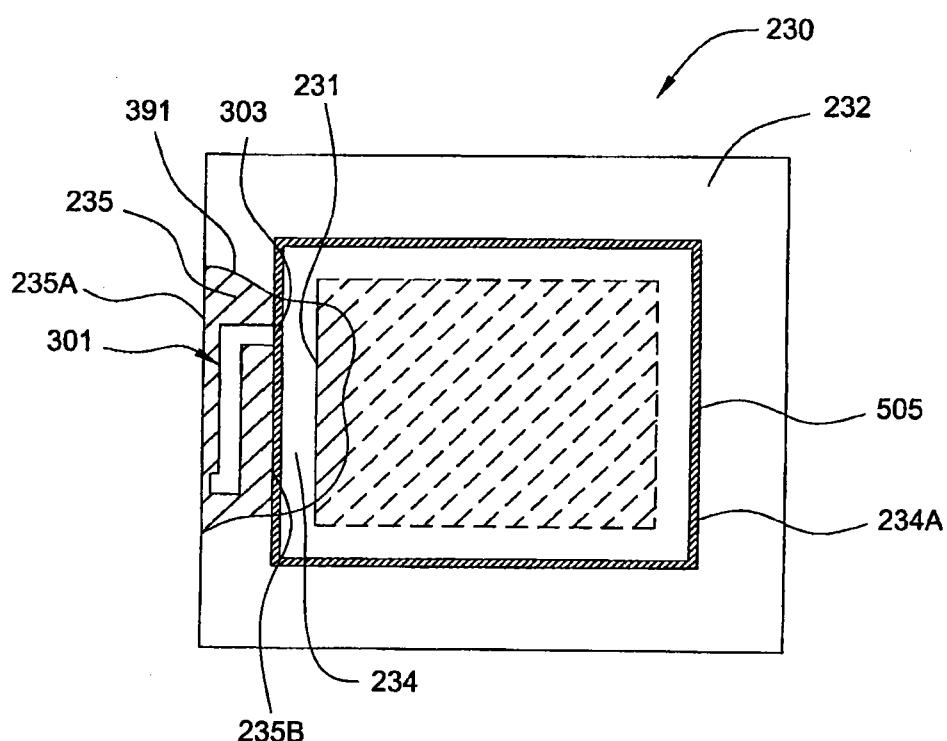


图3E

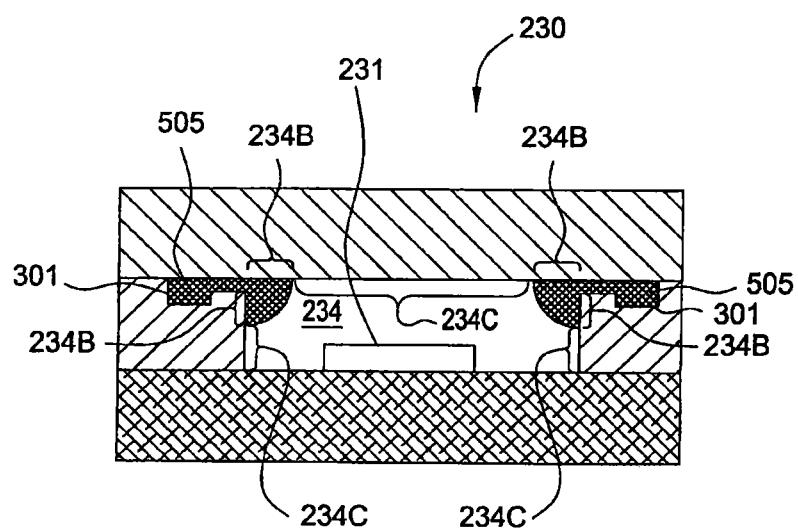


图3F

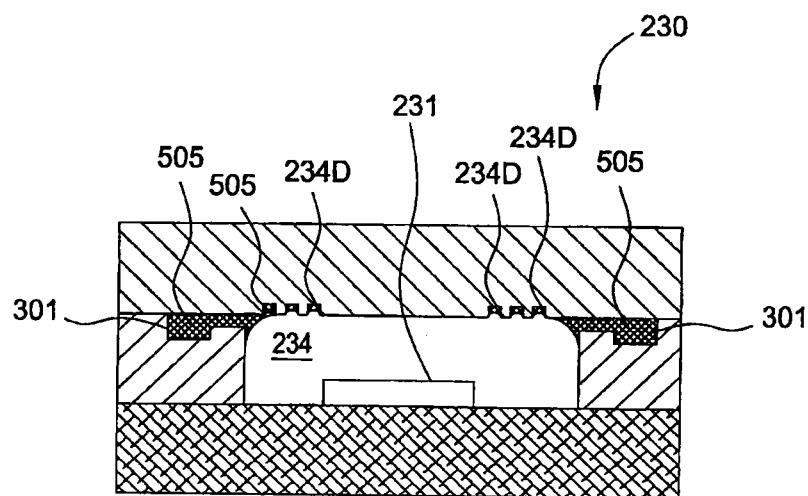


图3G

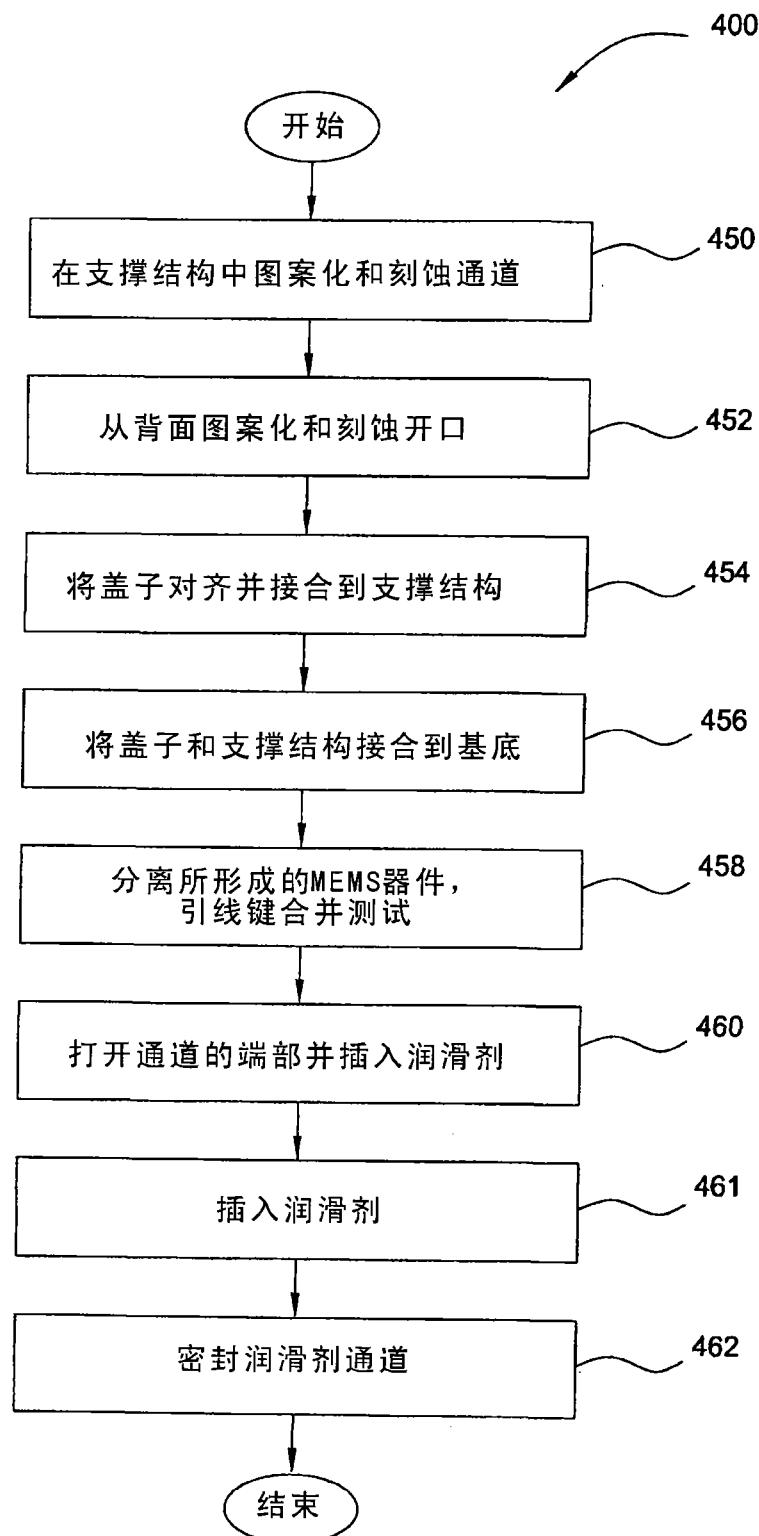


图4A

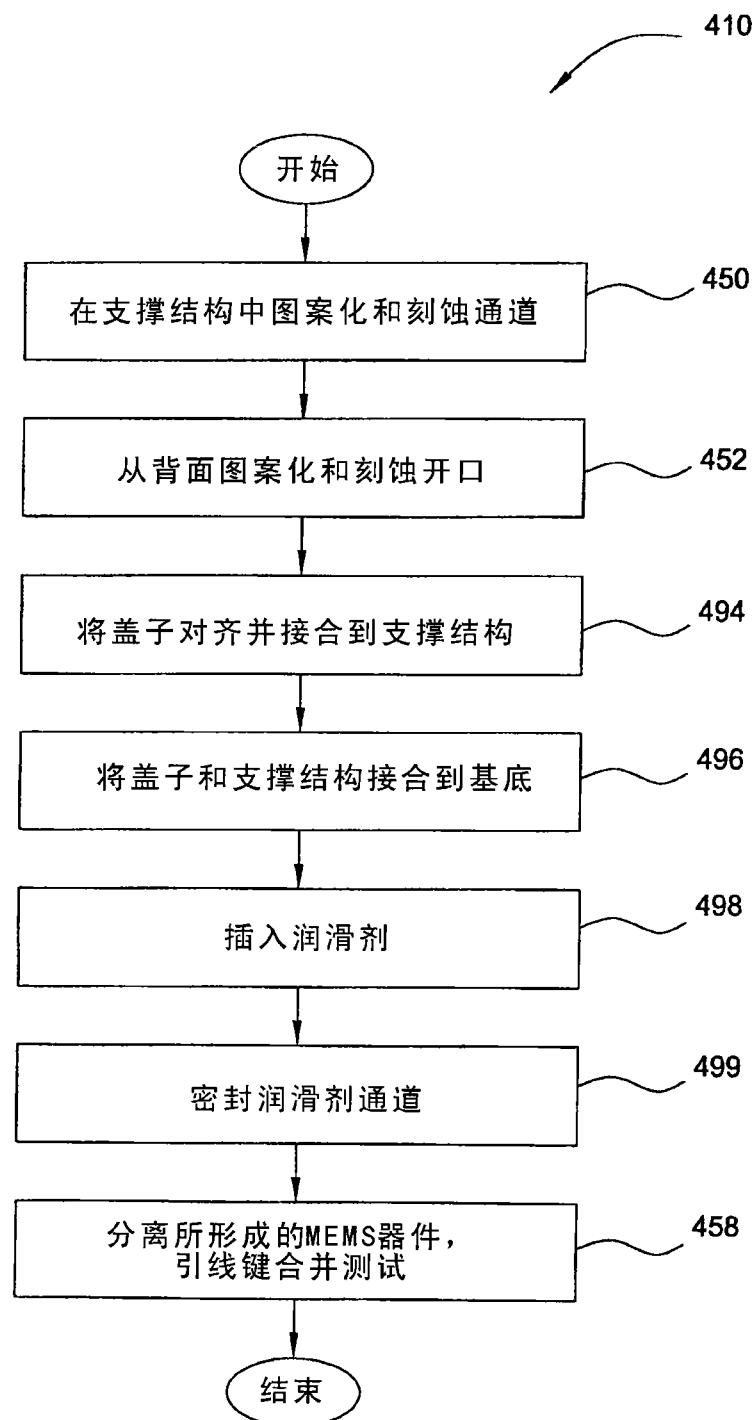


图4B

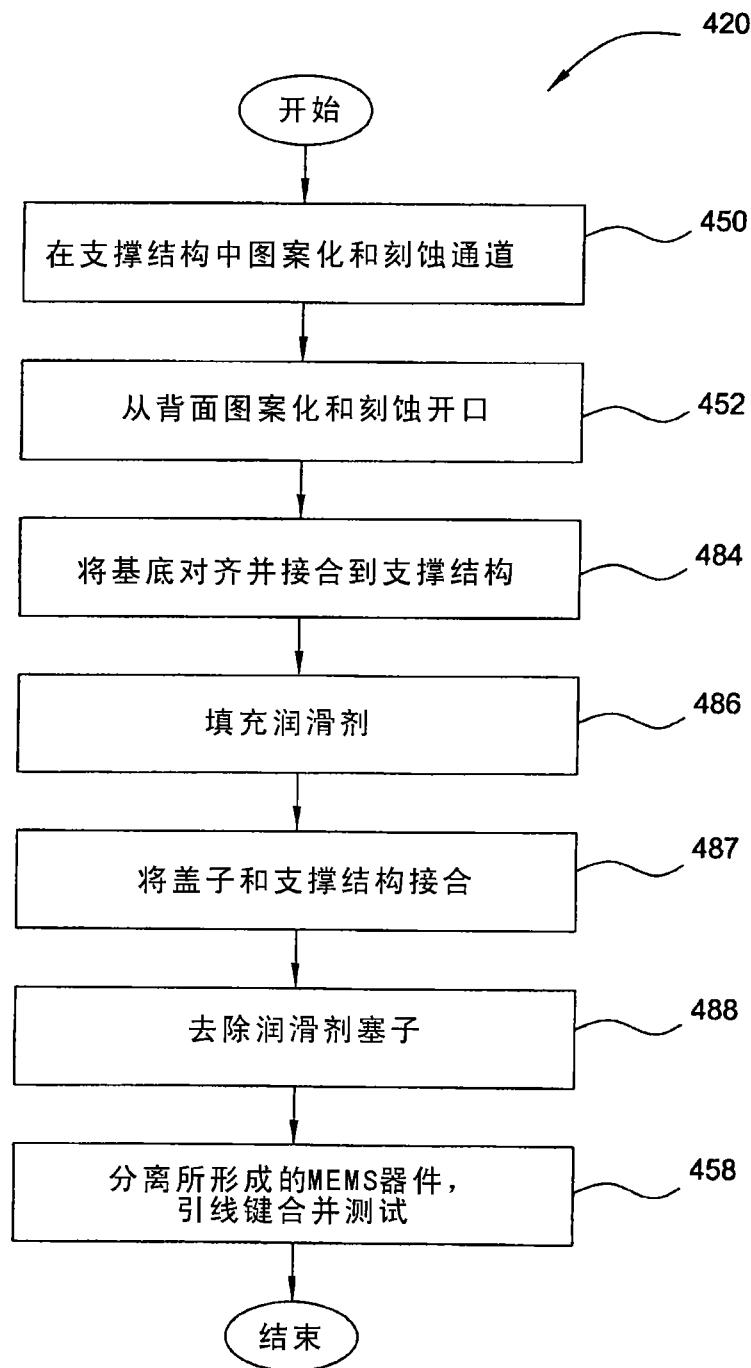


图4C

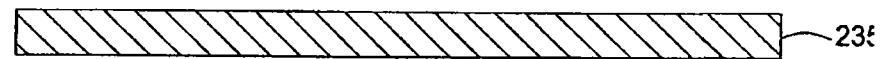
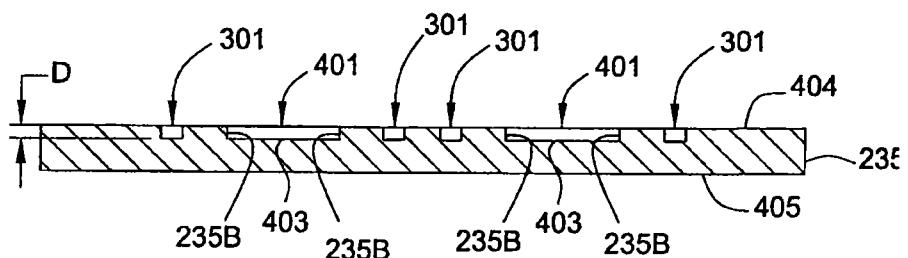
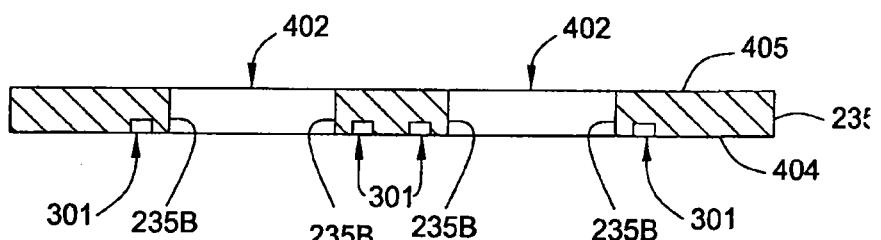
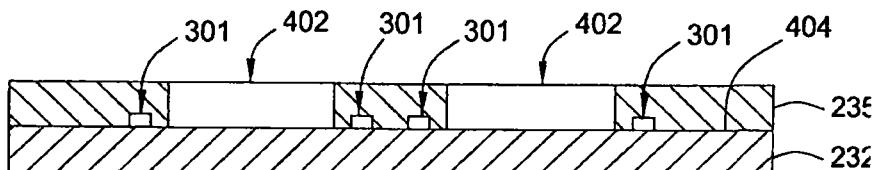
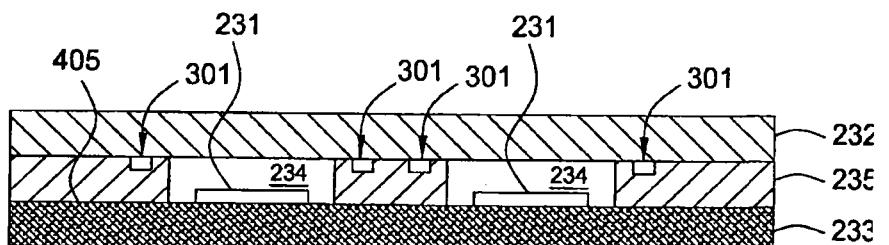
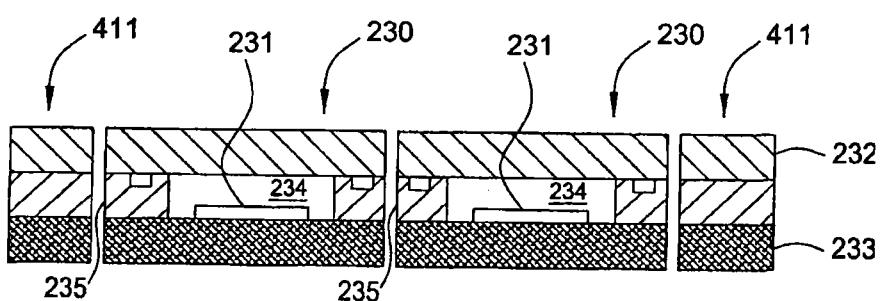
**图5A****图5B****图5C****图5D****图5E****图5F**

图5G

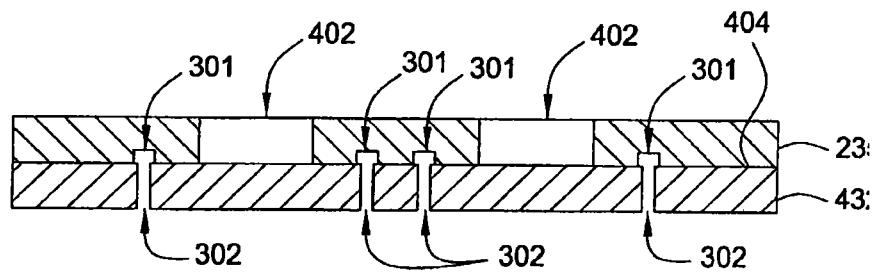


图5H

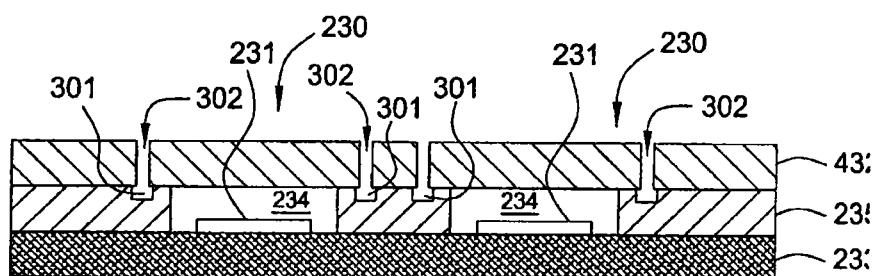


图5I

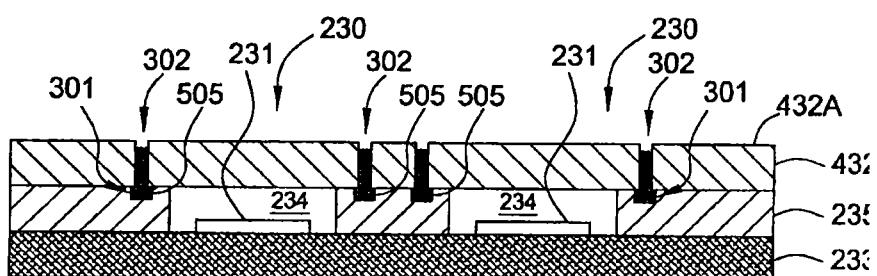


图5J

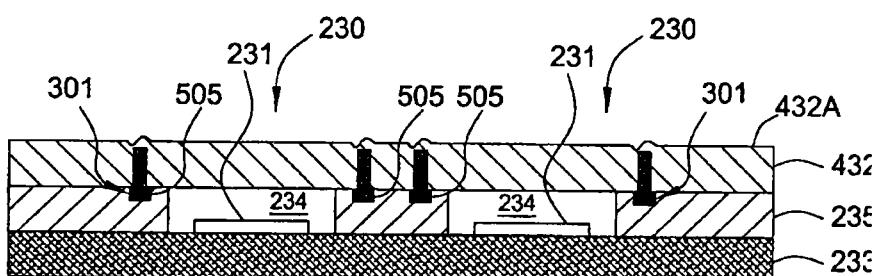
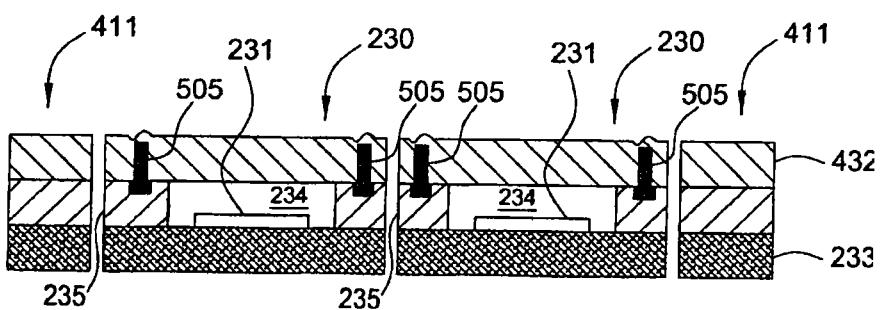


图5K



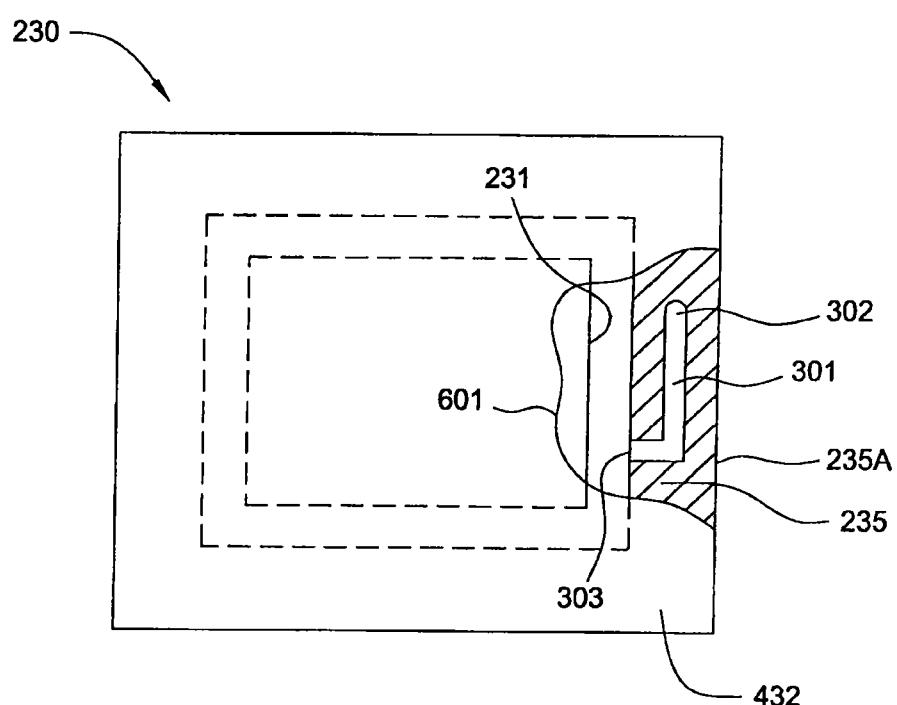


图5L

图5M

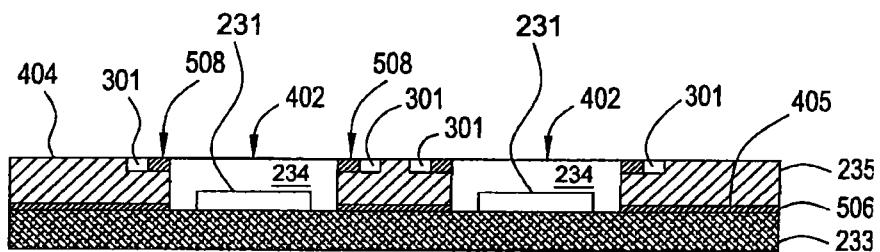


图5N

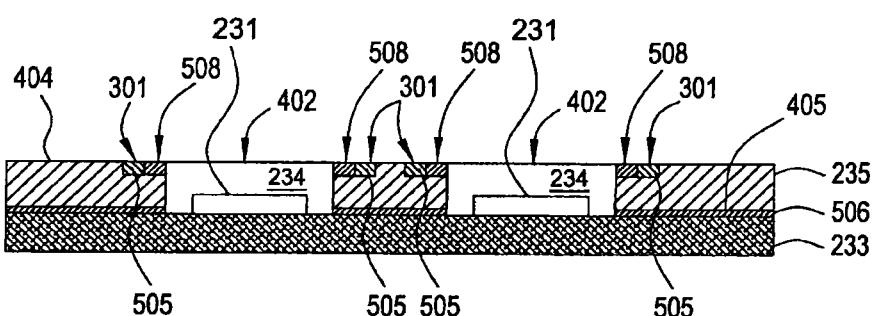


图5O

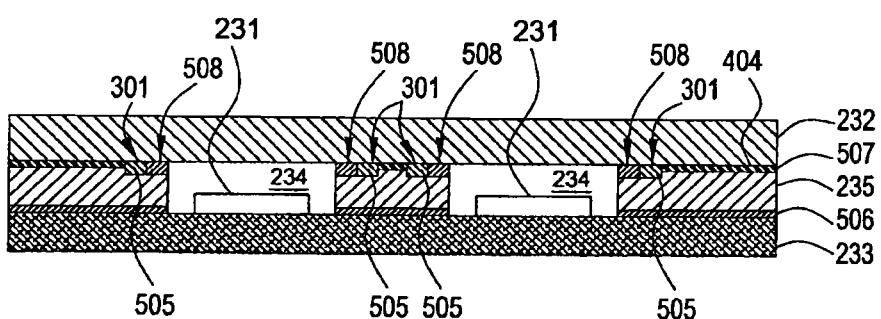
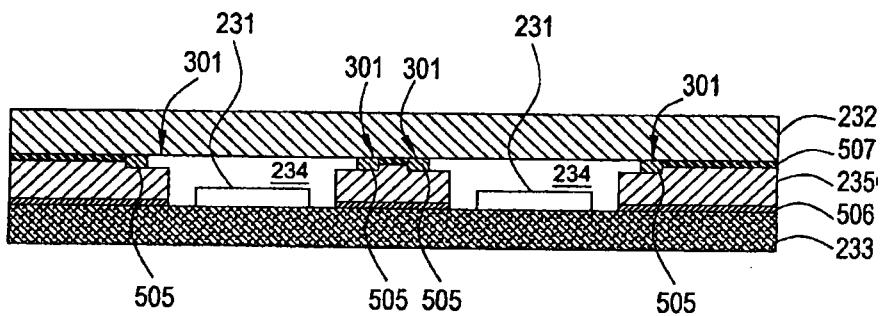


图5P



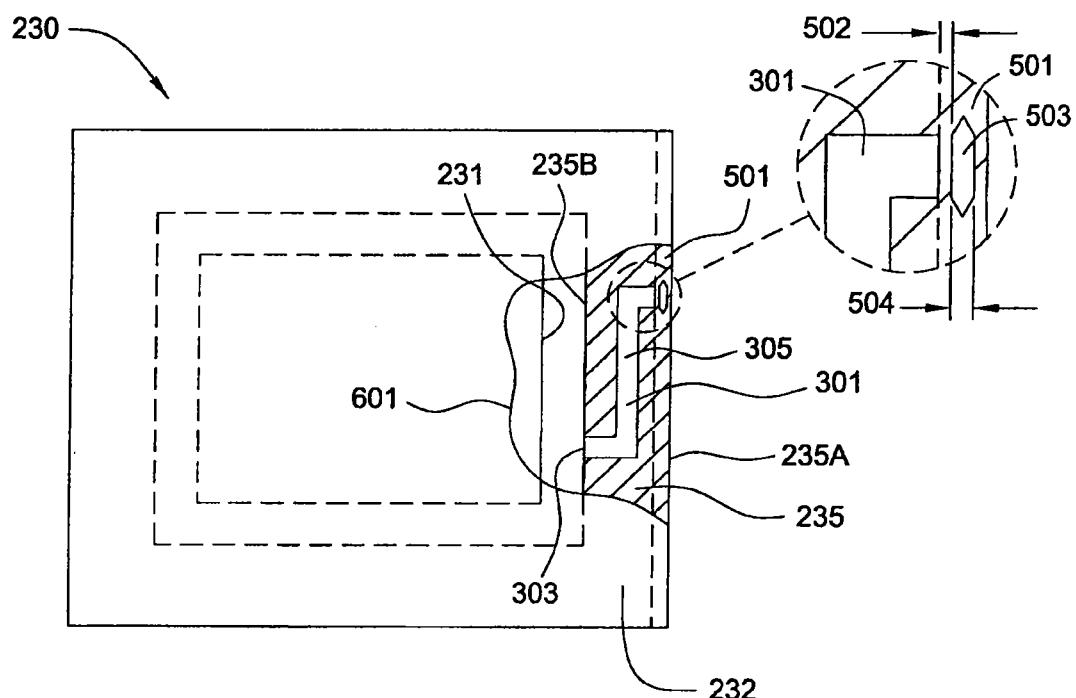


图 6A

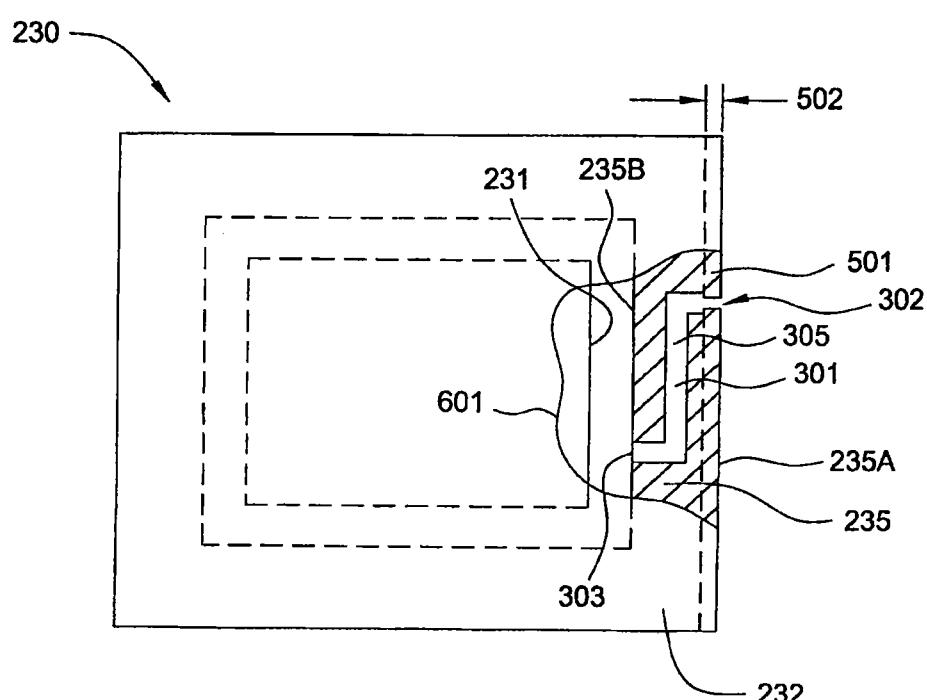


图 6B

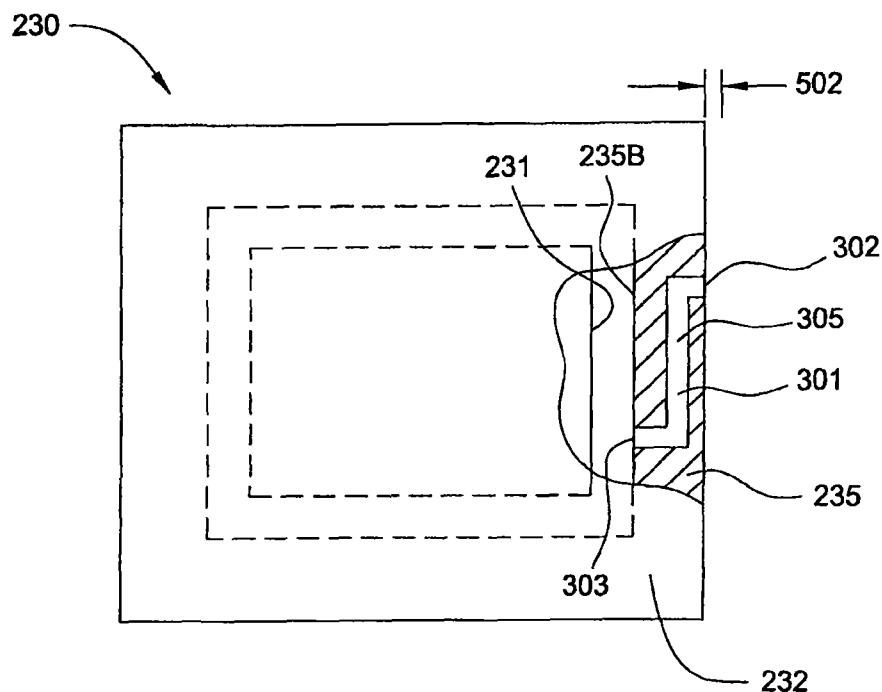


图6C

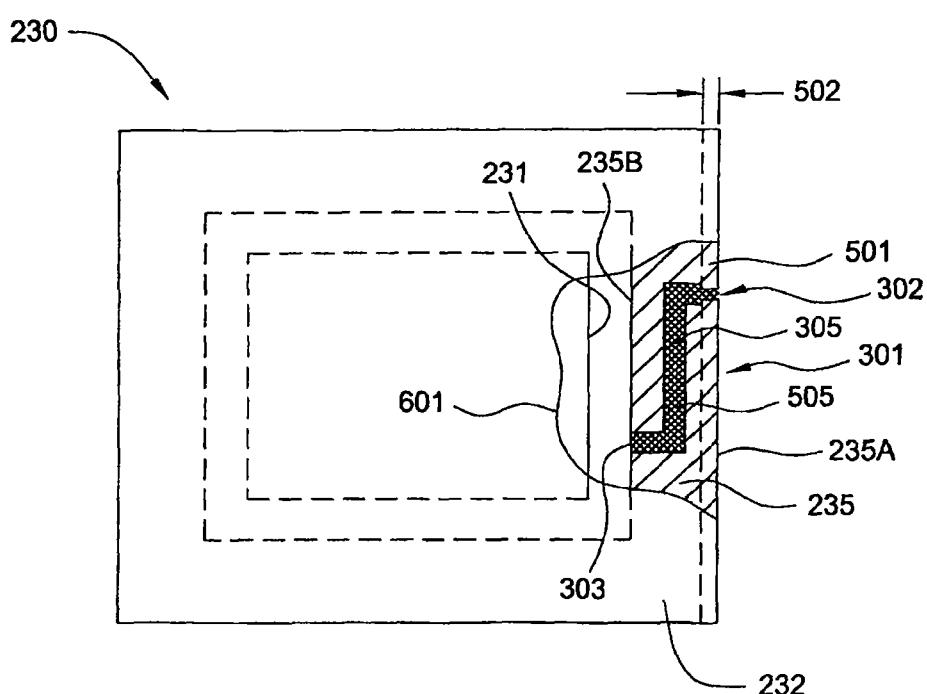


图6D

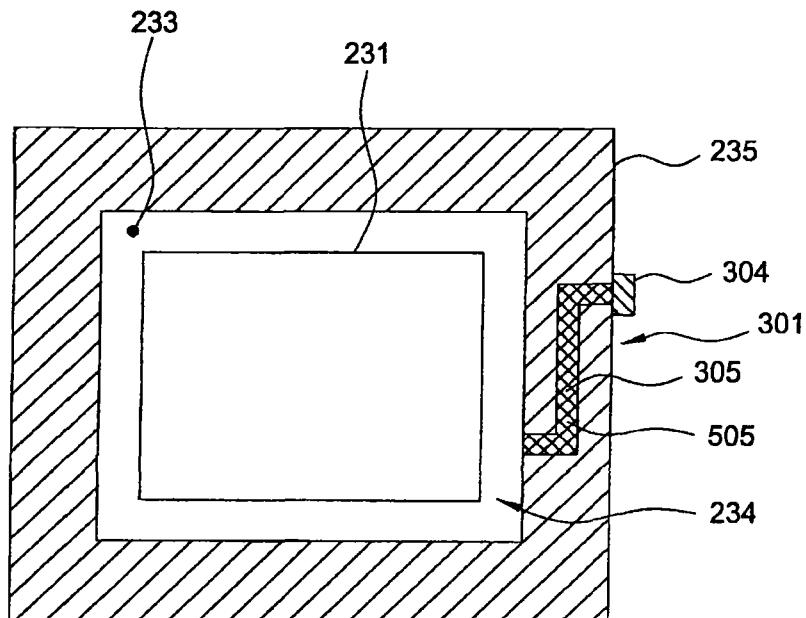


图6E

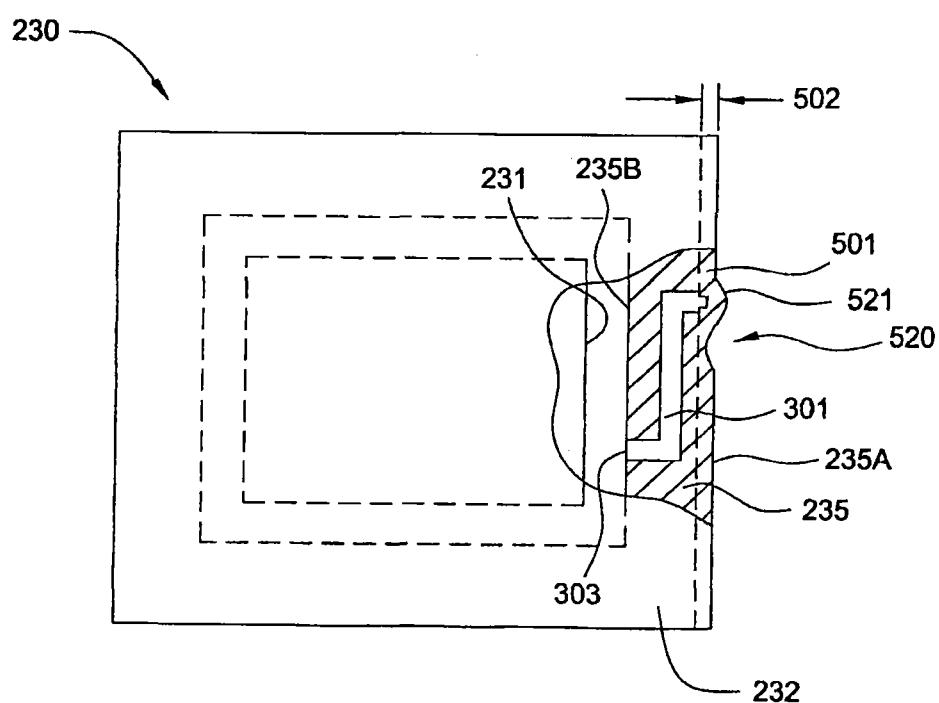


图6F

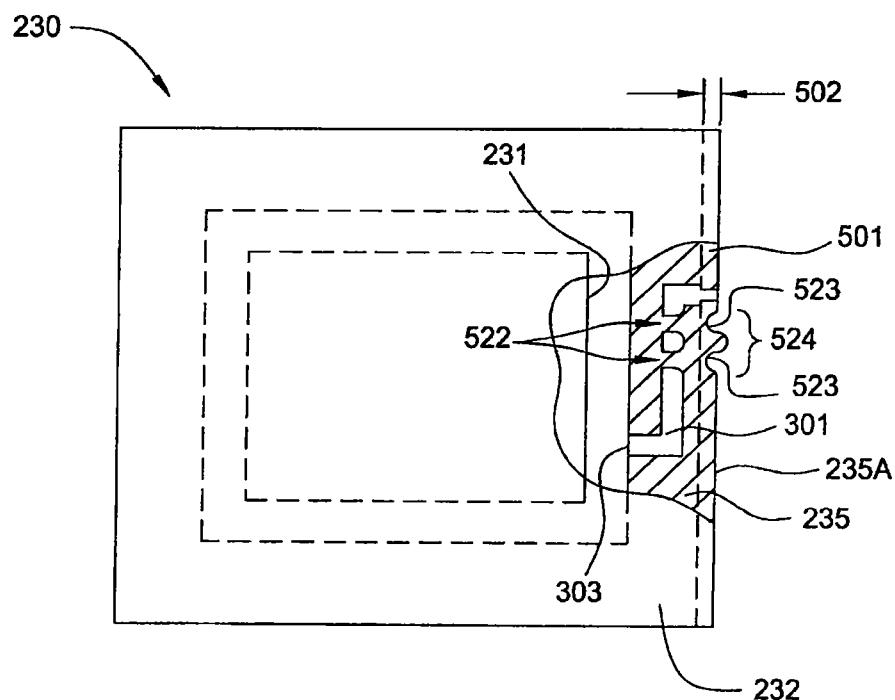


图6G

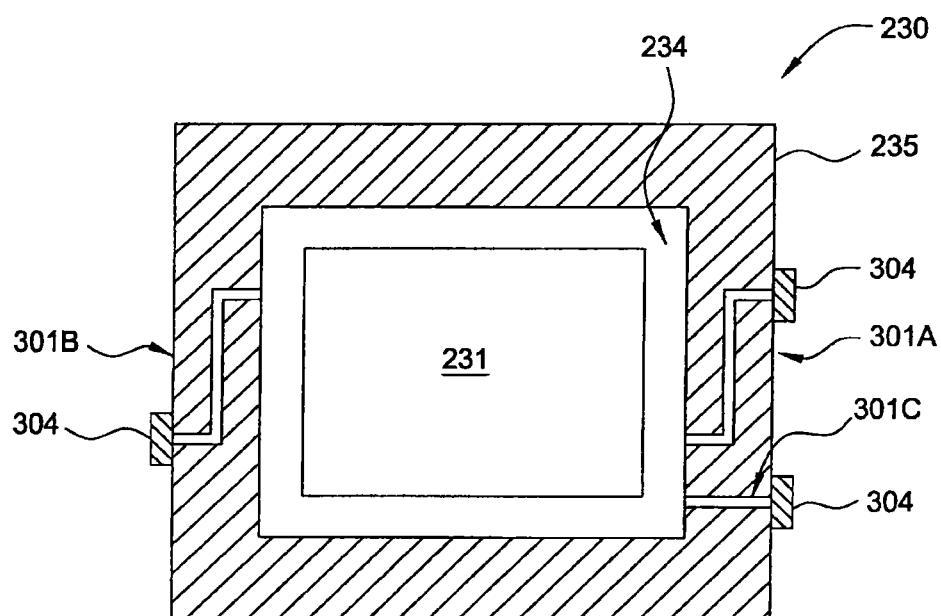


图 7A

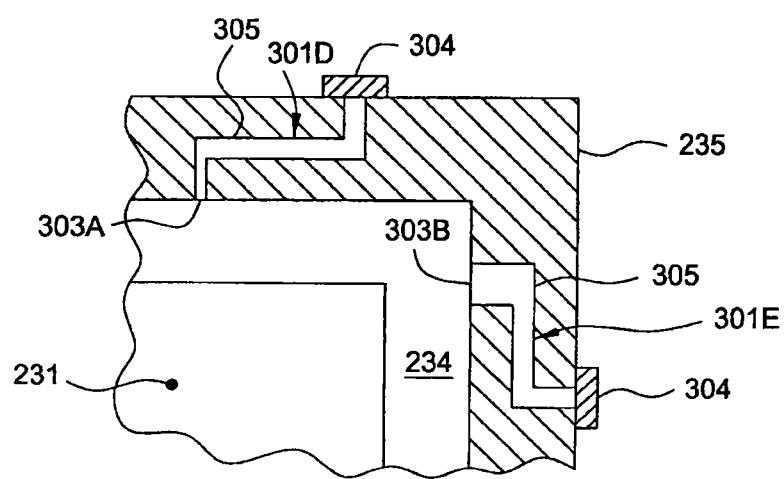


图 7B

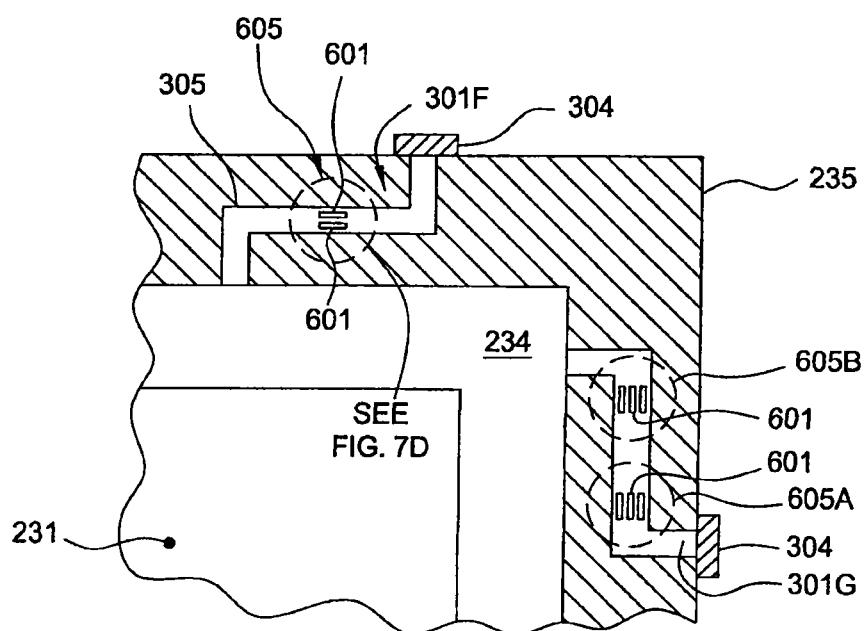


图7C

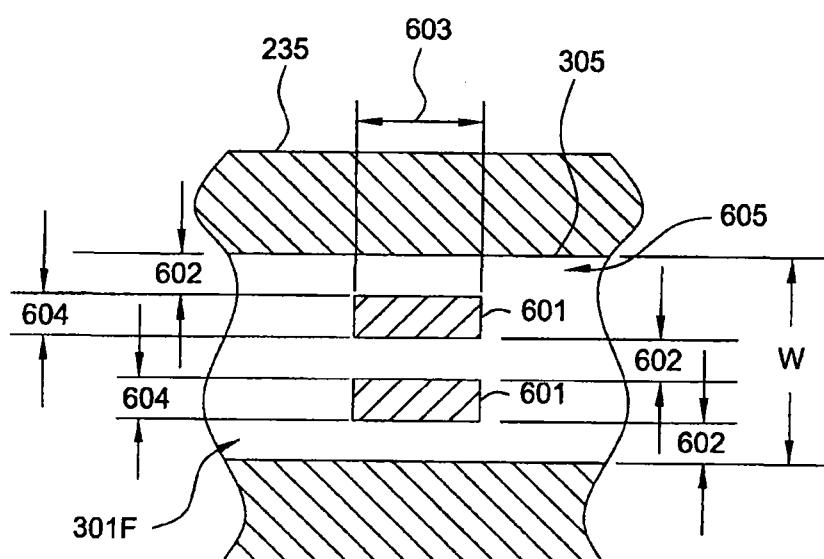


图7D

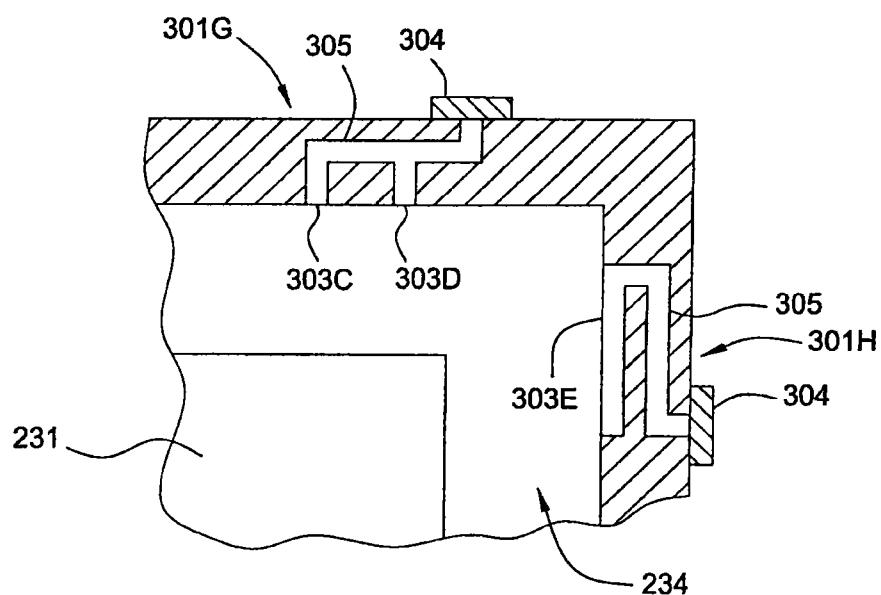


图7E

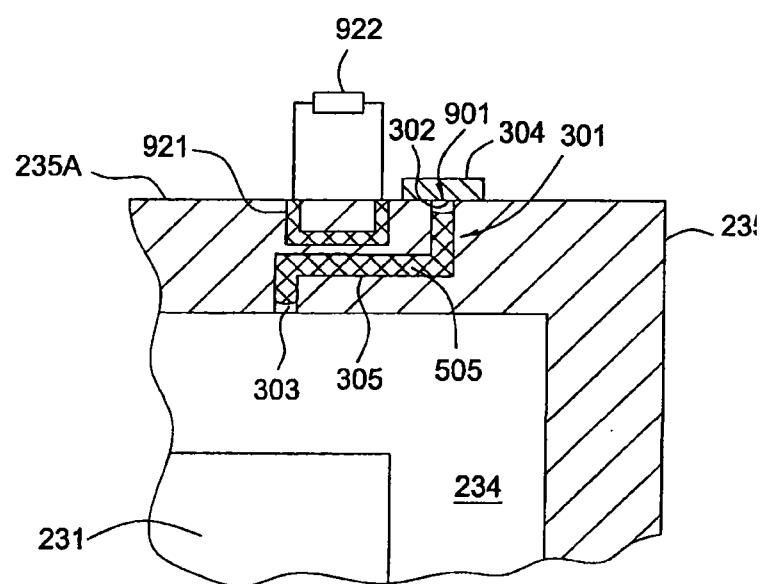


图8

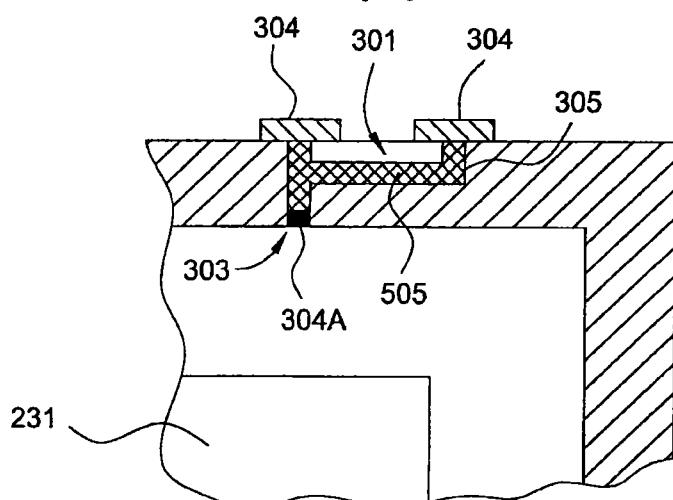


图9A

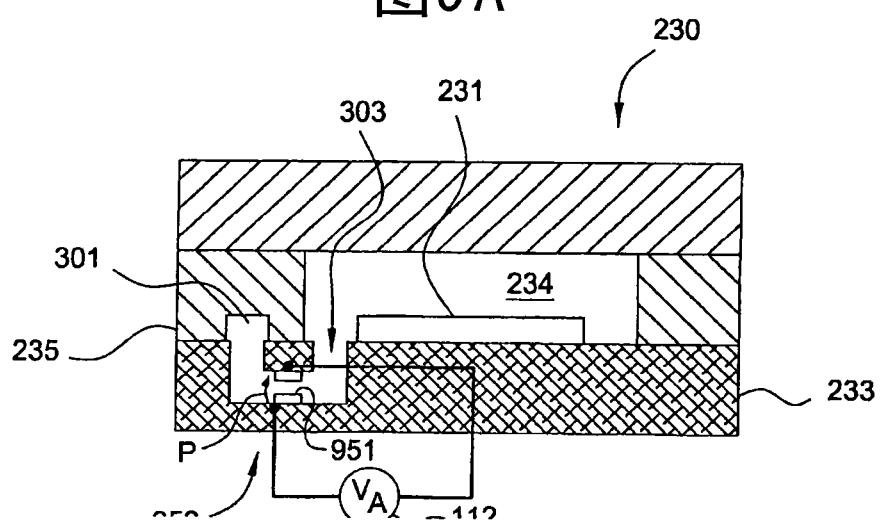


图9B

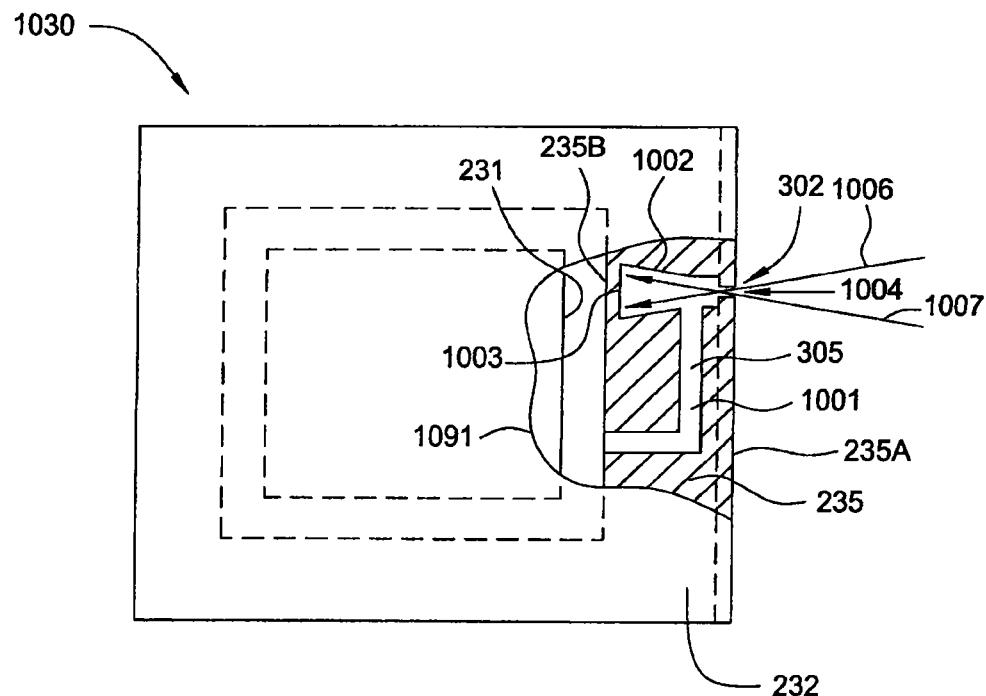


图10A

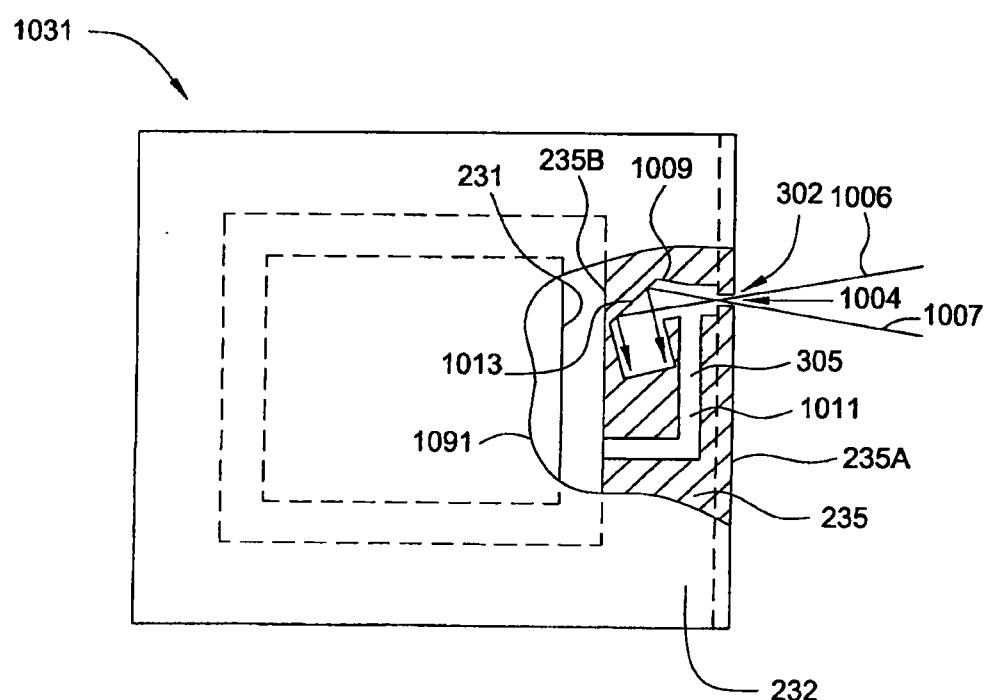


图10B