



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102320562 A

(43) 申请公布日 2012. 01. 18

(21) 申请号 201110307854. 0

B81B 3/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2006. 08. 17

G02B 26/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

60/710, 019 2005. 08. 19 US

(62) 分案原申请数据

200680030211. 3 2006. 08. 17

(71) 申请人 高通 MEMS 科技公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 桂成斌 笹川照夫 董明豪

王春明 斯蒂芬·泽

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

代理人 刘国伟

(51) Int. Cl.

B81C 1/00 (2006. 01)

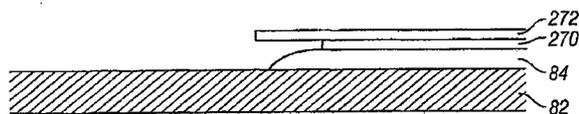
权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 18 页

(54) 发明名称

用于在 MEMS 装置内形成层以实现锥形边缘的方法

(57) 摘要

本发明涉及用于在 MEMS 装置内形成层以实现锥形边缘的方法。某些 MEMS 装置包含经图案化以具有锥形边缘的层。一种形成具有锥形边缘的层的方法包含使用蚀刻前导层。另一种形成具有锥形边缘的层的方法包含沉积其中上部部分可以比下部部分快的速率蚀刻的层。另一种形成具有锥形边缘的层的方法包含使用多个反复蚀刻。另一种形成具有锥形边缘的层的方法包含使用具有包含负角的孔的剥离掩模层,使得可在所述剥离掩模层上沉积一层并去除所述掩模层,从而留下具有锥形边缘的结构。



1. 一种制造 MEMS 装置的方法,其包括:
 - 在衬底上形成电极层;
 - 在所述电极层上形成牺牲层;
 - 图案化所述牺牲层以形成延伸穿过所述牺牲层的至少一个锥形孔;
 - 形成上覆在延伸穿过所述牺牲层的所述锥形孔上的包含孔的掩膜层,所述掩膜层包括在所述掩膜层中的所述孔周围延伸的悬置部分;
 - 在所述掩膜层上沉积支撑层;
 - 经由剥离工艺去除所述掩膜层,从而形成至少部分位于延伸穿过所述牺牲层的所述锥形孔内的支撑结构;以及
 - 在邻近于所述支撑结构处形成可移动层。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述支撑结构包括锥形边缘。
3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述支撑层直接沉积在延伸穿过所述牺牲层的所述锥形孔的侧壁上。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其额外包括执行释放蚀刻以去除所述牺牲层,从而形成位于所述电极层与所述可移动层之间的气隙。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中形成所述可移动层包括:
 - 在所述牺牲层上形成反射子层;以及
 - 在所述反射子层上形成机械子层。
6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述 MEMS 装置包括干涉式调制器。
7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中在形成所述支撑结构之后形成所述可移动层。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述掩膜层包括光致抗蚀剂材料。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述掩膜层包括双层光致抗蚀剂。
10. 根据权利要求 8 所述的方法,其中形成所述掩膜层包括:
 - 沉积剥离材料层;
 - 沉积光致抗蚀剂材料层;
 - 图案化所述光致抗蚀剂材料以形成延伸穿过所述光致抗蚀剂材料的上部孔;以及
 - 蚀刻下伏在延伸穿过所述光致抗蚀剂材料的所述上部孔下的所述剥离材料,其中所述蚀刻包括对所述光致抗蚀剂材料层进行底切以形成所述掩膜层的所述悬置部分,从而形成延伸穿过所述掩膜层的所述孔。
11. 根据权利要求 8 所述的方法,其中图案化所述牺牲层以形成锥形孔额外包括使用所述掩膜层来图案化所述牺牲层以形成锥形孔。
12. 根据权利要求 1 所述的方法,其中经由蒸发或溅镀工艺来沉积所述支撑层。
13. 根据权利要求 1 所述的方法,其额外包括在经由剥离工艺去除所述掩膜层之前将所述支撑层暴露于超声波能量。
14. 一种通过根据权利要求 1 所述的方法形成的 MEMS 装置。
15. 一种制造 MEMS 装置的方法,其包括:
 - 在衬底上形成电极层;
 - 在所述电极层上形成掩模,其中所述掩模包括围绕所述掩模的外围延伸的负角;
 - 在所述掩模上沉积牺牲材料层;

经由剥离工艺去除所述掩模,从而形成包括锥形孔的牺牲层;
形成至少部分位于所述锥形孔内的支撑结构;以及
在邻近于所述支撑结构处形成可移动层。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其额外包括执行释放蚀刻以去除所述牺牲层,从而形成位于所述可移动层与所述电极层之间的气隙。

17. 根据权利要求 15 所述的方法,其中形成所述支撑结构包括:

在图案化牺牲层上沉积支撑材料层;以及图案化所述支撑材料层以形成至少部分位于所述孔内的支撑结构,其中所述可移动层沉积在所述支撑结构上。

18. 根据权利要求 15 所述的方法,其中所述掩模包括光致抗蚀剂材料。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,其中所述掩模包括双层光致抗蚀剂。

20. 根据权利要求 18 所述的方法,其中形成所述掩模包括:

沉积剥离材料层;

沉积光致抗蚀剂材料层;

图案化所述光致抗蚀剂材料以形成延伸穿过所述光致抗蚀剂材料的孔;以及

蚀刻下伏在延伸穿过所述光致抗蚀剂材料的所述孔下的所述剥离材料,其中所述蚀刻包括对所述光致抗蚀剂材料层进行底切以形成所述掩模层的悬置部分。

21. 根据权利要求 15 所述的方法,其中经由物理气相沉积工艺来沉积所述牺牲材料层。

22. 一种通过根据权利要求 15 所述的方法形成的 MEMS 装置。

23. 一种 MEMS 装置,其包括:

在衬底上形成下部电极层;

在所述电极层上形成牺牲层;

形成上覆在所述牺牲层上的掩模层,所述掩模层包括孔,所述孔具有在所述孔的边缘周围延伸的悬置部分;

在所述掩模层上沉积电极材料层;

经由剥离工艺去除所述掩模层,从而形成具有向外成锥形的边缘的至少一隔离电极部件。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,其额外包括:

形成上覆在所述隔离电极部件上的第二牺牲层;

图案化所述第二牺牲层以形成暴露所述隔离电极部件的至少一部分的孔;以及

在所述第二牺牲层上沉积机械层。

25. 根据权利要求 23 所述的方法,其额外包括经由释放蚀刻去除所述牺牲层,从而形成位于所述隔离电极部件与所述下部电极层之间的气隙。

26. 根据权利要求 23 所述的方法,其中所述掩模层包括光致抗蚀剂材料。

27. 根据权利要求 23 所述的方法,其中经由蒸发或溅镀工艺来沉积所述电极材料层。

28. 一种通过根据权利要求 23 所述的方法形成的 MEMS 装置。

29. 一种微机电系统 (MEMS) 装置,其包含:

电极层,其位于衬底上;

导电可移动层,其位于所述导电层上,其中,所述导电可移动层的至少一部分通过气隙

从所述电极层隔开；

至少一个支撑结构，其邻近所述导电可移动层，其中，所述支撑结构的外围包含向外成锥形的边缘。

30. 根据权利要求 29 所述的装置，其额外包含介电层，其位于所述电极层上。

31. 根据权利要求 29 所述的装置，其中，所述至少一个支撑结构下伏于所述导电可移动层的至少一部分。

32. 根据权利要求 29 所述的装置，其中，所述至少一个支撑结构上覆于所述导电可移动层的至少一部分。

33. 根据权利要求 29 所述的装置，其中，所述至少一个支撑结构经由剥离工艺形成。

34. 根据权利要求 29 所述的装置，其中，所述 MEMS 装置包含干涉式调制器。

35. 根据权利要求 29 所述的装置，其额外包含：

处理器，其经配置以与所述导电可移动层通信，所述处理器经配置以处理图像数据；以及

存储器装置，其经配置以与所述处理器通信。

36. 根据权利要求 29 所述的装置，其额外包含驱动电路，其经配置以发送至少一个信号到所述导电可移动层。

37. 根据权利要求 29 所述的装置，其额外包含控制器，其经配置以发送所述图像数据的至少一部分到所述驱动电路。

38. 根据权利要求 29 所述的装置，其额外包含图像源模块，其经配置以发送所述图像数据到所述处理器。

39. 根据权利要求 29 所述的装置，其中，所述图像源模块包含接收器、收发器和发送器中的至少一个。

40. 根据权利要求 29 所述的装置，其额外包含输入装置，其经配置以接收输入数据并将所述输入数据传送至所述处理器。

41. 一种微机电系统 (MEMS) 装置，其包含：

电极层，其位于衬底上；

导电可移动层，其位于所述电极层上，其中，所述导电可移动层的至少一部分通过气隙从所述电极层隔开；

至少一个支撑结构，其邻近所述导电可移动层，其中，所述至少一个支撑结构包含促进装置，其用于促进上覆层的共形沉积。

42. 根据权利要求 41 所述的装置，其中所述促进装置包含在所述支撑结构的外围处的向外成锥形的边缘。

43. 根据权利要求 41 所述的装置，其中，所述至少一个支撑结构下伏于所述导电可移动层的至少一部分。

44. 根据权利要求 41 所述的装置，其中，所述至少一个支撑结构上覆于所述导电可移动层的至少一部分。

用于在 MEMS 装置内形成层以实现锥形边缘的方法

[0001] 分案申请的相关信息

[0002] 本申请为发明名称为“用于在 MEMS 装置内形成层以实现锥形边缘的方法”的原中国发明专利申请的分案申请。原申请的申请号为 200680030211.3；原申请的申请日为 2006 年 8 月 17 日；原发明专利申请案的优先权日为 2005 年 8 月 19 日。

[0003] 相关申请案的交叉参考

[0004] 本申请案根据 35U. S. C. § 119(e) 主张 2005 年 8 月 19 日申请的第 60/710,019 号美国临时申请案的优先权,所述临时申请案全文以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0005] 无

背景技术

[0006] 微机电系统 (MEMS) 包含微机械元件、激活器和电子元件。可使用沉积、蚀刻和 / 或其它蚀刻去除衬底和 / 或已沉积材料层的部分或者添加层以形成电装置和机电装置。微加工工艺来产生微机械元件。一种类型的 MEMS 装置称为干涉式调制器。如本文所使用,术语干涉式调制器或干涉式光调制器指的是一种使用光学干涉原理选择性地吸收且 / 或反射光的装置。在某些实施例中,干涉式调制器可包括一对导电板,其中之一或两者可能整体或部分透明且 / 或具有反射性,且能够在施加适当电信号时进行相对运动。在特定实施例中,一个板可包括沉积在衬底上的固定层,且另一个板可包括通过气隙与固定层分离的金属薄膜。如本文更详细描述,一个板相对于另一个板的位置可改变入射在干涉式调制器上的光的光学干涉。这些装置具有广范围的应用,且在此项技术中,利用且 / 或修改这些类型装置的特性使得其特征可被发掘用于改进现有产品和创建尚未开发的新产品,将是有益的。

发明内容

[0007] 在一个实施例中,提供一种制造 MEMS 装置的方法,所述方法包含形成电极层;在所述电极层上形成掩模;使用所述掩模图案化所述电极层以形成隔离电极部件;以及使所述电极部件成锥形以形成向外成锥形的边缘部分,其中所述掩模的至少一部分在成锥形期间保持在适当位置。

[0008] 在另一实施例中,提供一种制造 MEMS 装置的方法,所述方法包含在衬底上形成牺牲层;图案化所述牺牲层以形成孔;在所述图案化牺牲层上形成支撑层;在所述支撑层上形成掩模;使用所述掩模图案化所述支撑层以形成至少部分位于所述牺牲层中的所述孔内的至少一个支撑结构;以及使所述支撑结构成锥形以形成锥形边缘,其中所述掩模的至少一部分在成锥形期间保持在适当位置。

[0009] 在另一实施例中,提供一种制造 MEMS 装置的方法,所述方法包含在衬底上形成电极层;在所述电极层上形成牺牲层;图案化所述牺牲层以形成延伸穿过所述牺牲层的至少

一个锥形孔；形成上覆在延伸穿过所述牺牲层的所述锥形孔上的包含孔的掩模层，所述掩模层包含在所述掩模层中的所述孔周围延伸的悬置部分；在所述掩模层上沉积支撑层；经由剥离工艺去除所述掩模层，从而形成至少部分位于延伸穿过所述牺牲层的所述锥形孔内的支撑结构；以及在邻近于所述支撑结构处形成可移动层。

[0010] 在另一实施例中，提供一种制造 MEMS 装置的方法，所述方法包含在衬底上形成电极层；在所述电极层上形成掩模，其中所述掩模包含围绕所述掩模的外围延伸的负角；在所述掩模上沉积牺牲材料层；经由剥离工艺去除所述掩模，从而形成包含锥形孔的牺牲层；形成至少部分位于所述锥形孔内的支撑结构；以及在邻近于所述支撑结构处形成可移动层。

[0011] 在另一实施例中，提供一种制造 MEMS 装置的方法，所述方法包含在衬底上形成下部电极层；在所述电极层上形成牺牲层；形成上覆在所述牺牲层上的掩模层，所述掩模层包含孔，所述孔具有在所述孔的边缘周围延伸的悬置部分；在所述掩模层上沉积电极材料层；经由剥离工艺去除所述掩模层，从而形成具有向外成锥形的边缘的至少一隔离电极部件。

附图说明

[0012] 图 1 是描绘干涉式调制器显示器的一个实施例的一部分的等角视图，其中第一干涉式调制器的可移动反射层处于松弛位置，且第二干涉式调制器的可移动反射层处于激活位置。

[0013] 图 2 是说明并入有 3×3 干涉式调制器显示器的电子装置的一个实施例的系统方框图。

[0014] 图 3 是图 1 的干涉式调制器的一个示范性实施例的可移动镜位置对所施加电压的图。

[0015] 图 4 是可用于驱动干涉式调制器显示器的一组行和列电压的说明。

[0016] 图 5A 说明图 2 的 3×3 干涉式调制器显示器中的显示数据的一个示范性帧。

[0017] 图 5B 说明可用于对图 5A 的帧进行写入的行和列信号的一个示范性时序图。

[0018] 图 6A 和 6B 是说明包括多个干涉式调制器的视觉显示装置的实施例的系统方框图。

[0019] 图 7A 是图 1 的装置的横截面。

[0020] 图 7B 是干涉式调制器的替代实施例的横截面。

[0021] 图 7C 是干涉式调制器的另一替代实施例的横截面。

[0022] 图 7D 是干涉式调制器的又一替代实施例的横截面。

[0023] 图 7E 是干涉式调制器的额外替代实施例的横截面。

[0024] 图 8 是其中个别元件包括支撑结构的干涉式调制器元件阵列的俯视平面图。

[0025] 图 9A-9J 是说明制造包括位于可移动层上方的支撑结构的干涉式调制器元件的方法的示意性横截面。

[0026] 图 10A-10F 是说明制造包括与机械层部分分离的反射层的干涉式调制器元件的方法的示意性横截面。

[0027] 图 11A-11B 是说明通过使用蚀刻前导层形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的方法的

示意性横截面。

[0028] 图 12A-12B 是说明通过使用蚀刻前导层形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的替代方法的示意性横截面。

[0029] 图 13 是说明在形成 MEMS 结构层期间通过改变支撑结构层的特性来形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的方法中的步骤的示意性横截面。

[0030] 图 14 是说明通过形成具有不同特性的一系列子层以形成 MEMS 结构层来形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的方法中的步骤的示意性横截面。

[0031] 图 15 是说明通过形成具有与 MEMS 结构层的较差粘附力的上覆掩模层来形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的方法中的步骤的示意性横截面。

[0032] 图 16A-D 是说明通过使用反复灰化和蚀刻工艺形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的方法的示意性横截面。

[0033] 图 17A-17E 是说明通过使用多种蚀刻形成具有锥形边缘的 MEMS 结构的方法的示意性横截面。

[0034] 图 18A-18C 是说明通过使用剥离 (liftoff) 工艺形成具有锥形边缘的支撑结构的方法的示意性横截面。

[0035] 图 19A-19C 是说明形成用于剥离工艺中的具有倒锥度的掩模层的方法的示意性横截面。

[0036] 图 20 是说明形成具有锥形孔的牺牲层的方法中的步骤的示意性横截面。

[0037] 图 21 是说明形成具有锥形边缘的隔离电极部件的方法中的步骤的示意性横截面。

具体实施方式

[0038] 以下详细描述针对本发明的某些特定实施例。然而,本发明可以许多不同方式实施。在本描述中参看了附图,在整个附图中相同部分用相同标号表示。如从以下描述中将了解,所述实施例可实施在经配置以显示不论运动(例如,视频)还是固定(例如,静止图像)的且不论文本还是图画的图像的任何装置中。更明确地说,预期所述实施例可实施在多种电子装置中或与多种电子装置关联,所述多种电子装置例如(但不限于)移动电话、无线装置、个人数据助理(PDA)、手提式或便携式计算机、GPS 接收器/导航器、相机、MP3 播放器、摄像机、游戏控制台、手表、时钟、计算器、电视监视器、平板显示器、计算机监视器、汽车显示器(例如,里程表显示器等)、座舱控制器和/或显示器、相机视图的显示器(例如,车辆中后视相机的显示器)、电子相片、电子广告牌或指示牌、投影仪、建筑结构、包装和美学结构(例如,关于一件珠宝的图像的显示器)。具有与本文中描述的装置类似的结构 of MEMS 装置也可用于例如电子切换装置的非显示器应用中。

[0039] 在包括一系列连续沉积层的 MEMS 装置的制造过程中,通常有利地提供锥形或成角度结构,例如下伏层或具有锥形边缘的结构,以便有助于上覆层的共形沉积而没有断裂或不牢固的较薄部分。在某些实施例中,可使用蚀刻方法向(例如)镜/电极或支撑结构提供此类锥形边缘。在特定实施例中,这些蚀刻方法可包含使用上覆于待蚀刻层上的蚀刻前导层。在其它特定实施例中,这些蚀刻方法可包含反复蚀刻和/或灰化工艺。在其它实施例中,可使用剥离工艺来形成具有锥形边缘的结构。

[0040] 图 1 中说明包括干涉式 MEMS 显示元件的一个干涉式调制器显示器的实施例。在这些装置中,像素处于明亮状态或黑暗状态。在明亮(“接通”或“开启”)状态下,显示元件将入射可见光的大部分反射到用户。当在黑暗(“断开”或“关闭”)状态下时,显示元件将极少的入射可见光反射到用户。依据实施例而定,可颠倒“接通”和“断开”状态的光反射性质。MEMS 像素可经配置而主要在选定的颜色处反射,从而允许除了黑白显示以外的彩色显示。

[0041] 图 1 是描述视觉显示器的一系列像素中的两个相邻像素的等角视图,其中每一像素包括 MEMS 干涉式调制器。在一些实施例中,干涉式调制器显示器包括这些干涉式调制器的一行/列阵列。每一干涉式调制器包含一对反射层,其定位成彼此相距可变且可控制的距离以形成具有至少一个可变尺寸的谐振光学腔。在一个实施例中,可在两个位置之间移动所述反射层之一。在第一位置(本文中称为松弛位置)中,可移动反射层定位成距固定部分反射层相对较大的距离。在第二位置(本文中称为激活位置)中,可移动反射层定位成更紧密邻近所述部分反射层。视可移动反射层的位置而定,从所述两个层反射的入射光建设性地或破坏性地进行干涉,从而为每一像素产生全反射状态或非反射状态。

[0042] 图 1 中像素阵列的所描绘部分包含两个相邻干涉式调制器 12a 和 12b。在左侧干涉式调制器 12a 中,说明可移动反射层 14a 处于距包含部分反射层的光学堆叠 16a 预定距离处的松弛位置中。在右侧干涉式调制器 12b 中,说明可移动反射层 14b 处于邻近于光学堆叠 16b 的激活位置中。

[0043] 如本文所引用的光学堆叠 16a 和 16b(统称为光学堆叠 16)通常包括若干熔合层(fused layer),所述熔合层可包含例如氧化铟锡(ITO)的电极层、例如铬的部分反射层和透明电介质。因此,光学堆叠 16 是导电的、部分透明且部分反射的,且可通过(例如)将上述层的一者或一者以上沉积到透明衬底 20 上来制造。所述部分反射层可由例如各种金属、半导体和电介质的多种部分反射的材料形成。部分反射层可由一个或一个以上材料层形成,且每一层可由单一材料或材料组合形成。

[0044] 在一些实施例中,光学堆叠 16 的层经图案化成为多个平行条带,且如下文中进一步描述,可在显示装置中形成行电极。可移动反射层 14a、14b 可形成为沉积金属层(一层或多层)的一系列平行条带(与行电极 16a、16b 垂直),所述金属层沉积在柱 18 和沉积于柱 18 之间的介入牺牲材料的顶部上。当蚀刻去除牺牲材料时,可移动反射层 14a、14b 通过所界定的间隙 19 而与光学堆叠 16a、16b 分离。例如铝的高度导电且反射的材料可用于反射层 14,且这些条带可在显示装置中形成列电极。

[0045] 在不施加电压的情况下,腔 19 保留在可移动反射层 14a 与光学堆叠 16a 之间,其中可移动反射层 14a 处于机械松弛状态,如图 1 中像素 12a 所说明。然而,当将电位差施加到选定的行和列时,形成在相应像素处的行电极与列电极的交叉处的电容器变得带电,且静电力将所述电极拉在一起。如果电压足够高,那么可移动反射层 14 变形且被迫抵靠光学堆叠 16。光学堆叠 16 内的介电层(在此图中未图示)可防止短路并控制层 14 与 16 之间的分离距离,如图 1 中右侧的像素 12b 所说明。不管所施加的电位差的极性如何,表现均相同。以此方式,可控制反射像素状态对非反射像素状态的行/列激活在许多方面类似于常规 LCD 和其它显示技术中所使用的行/列激活。

[0046] 图 2 到 5B 说明在显示器应用中使用干涉式调制器阵列的一个示范性工艺和系统。

[0047] 图 2 是说明可并入有本发明各方面的电子装置的一个实施例的系统方框图。在所述示范性实施例中,所述电子装置包含处理器 21,其可为任何通用单芯片或多芯片微处理器(例如 ARM、Pentium[®]、Pentium II[®]、Pentium III[®]、Pentium IV[®]、Pentium[®] Pro、8051、MIPS[®]、Power PC[®]、ALPHA[®]),或任何专用微处理器(例如数字信号处理器、微控制器或可编程门阵列)。如此项技术中常规的做法,处理器 21 可经配置以执行一个或一个以上软件模块。除了执行操作系统外,所述处理器可经配置以执行一个或一个以上软件应用程序,包含网络浏览器、电话应用程序、电子邮件程序或任何其它软件应用程序。

[0048] 在一个实施例中,处理器 21 还经配置以与阵列驱动器 22 连通。在一个实施例中,所述阵列驱动器 22 包含将信号提供到显示器阵列或面板 30 的行驱动器电路 24 和列驱动器电路 26。在图 2 中以线 1-1 展示图 1 中说明的阵列的横截面。对于 MEMS 干涉式调制器来说,行/列激活协议可利用图 3 中说明的这些装置的滞后性质。可能需要(例如)10 伏的电位差来促使可移动层从松弛状态变形为激活状态。然而,当电压从所述值减小时,可移动层在电压降回 10 伏以下时维持其状态。在图 3 的示范性实施例中,可移动层直到电压降到 2 伏以下时才完全松弛。因此在图 3 中说明的实例中存在约 3 到 7V 的所施加电压的窗口,在所述窗口内装置在松弛状态或激活状态中均是稳定的。此窗口在本文中称为“滞后窗口”或“稳定窗口”。对于具有图 3 的滞后特性的显示器阵列来说,可设计行/列激活协议使得在行选通期间,已选通行中待激活的像素暴露于约 10 伏的电压差,且待松弛的像素暴露于接近零伏的电压差。在选通之后,所述像素暴露于约 5 伏的稳态电压差使得其维持在行选通使其所处的任何状态中。在此实例中,每一像素在被写入之后经历 3-7 伏的“稳定窗口”内的电位差。此特征使图 1 中说明的像素设计在相同的施加电压条件下在激活或松弛预存在状态下均是稳定的。因为干涉式调制器的每一像素(不论处于激活还是松弛状态)本质上是由固定反射层和移动反射层形成的电容器,所以可在滞后窗口内的一电压下维持此稳定状态而几乎无功率消耗。本质上,如果所施加的电压是固定的,那么没有电流流入像素中。

[0049] 在典型应用中,可通过根据第一行中所需组的激活像素确认所述组列电极来产生显示帧。接着将行脉冲施加到行 1 电极,从而激活对应于所确认的列线的像素。接着改变所述组已确认列电极以对应于第二行中所需组的激活像素。接着将脉冲施加到行 2 电极,从而根据已确认的列电极而激活行 2 中的适当像素。行 1 像素不受行 2 脉冲影响,且维持在其在行 1 脉冲期间被设定的状态中。可以连续方式对整个系列的行重复此工艺以产生帧。通常,通过以每秒某一所需数目的帧的速度连续地重复此工艺来用新的显示数据刷新且/或更新所述帧。用于驱动像素阵列的行和列电极以产生显示帧的广泛种类的协议也是众所周知的且可结合本发明使用。

[0050] 图 4、5A 和 5B 说明用于在图 2 的 3×3 阵列上形成显示帧的一个可能的激活协议。图 4 说明可用于使像素展示出图 3 的滞后曲线的一组可能的列和行电压电平。在图 4 实施例中,激活像素涉及将适当列设定为 $-V_{bias}$, 且将适当行设定为 $+\Delta V$, 其分别可对应于 -5 伏和 +5 伏。松弛像素是通过将适当列设定为 $+V_{bias}$, 且将适当行设定为相同的 $+\Delta V$, 从而在像素上产生零伏电位差而实现的。在行电压维持在零伏的那些行中,不管列处于 $+V_{bias}$ 还是 $-V_{bias}$, 像素在任何其最初所处的状态中均是稳定的。同样如图 4 中所说明,将了解,可使用具有与上述电压的极性相反的极性的电压,例如,激活像素可涉及将适当列设定为

$+V_{\text{bias}}$, 且将适当行设定为 $-\Delta V$ 。在此实施例中, 释放像素是通过将适当列设定为 $-V_{\text{bias}}$, 且将适当行设定为相同的 $-\Delta V$, 从而在像素上产生零伏电位差而实现的。

[0051] 图 5B 是展示施加到图 2 的 3×3 阵列的一系列行和列信号的时序图, 所述系列的行和列信号将产生图 5A 中说明的显示器布置, 其中被激活像素为非反射的。在对图 5A 中说明的帧进行写入之前, 像素可处于任何状态, 且在本实例中所有行均处于 0 伏, 且所有列均处于 +5 伏。在这些所施加的电压的情况下, 所有像素在其既有的激活或松弛状态中均是稳定的。

[0052] 在图 5A 的帧中, 像素 (1,1)、(1,2)、(2,2)、(3,2) 和 (3,3) 被激活。为了实现此目的, 在行 1 的“线时间 (line time)”期间, 将列 1 和 2 设定为 -5 伏, 且将列 3 设定为 +5 伏。因为所有像素均保留在 3-7 伏的稳定窗口中, 所以这并不改变任何像素的状态。接着用从 0 升到 5 伏且返回零的脉冲选通行 1。这激活了 (1,1) 和 (1,2) 像素且松弛了 (1,3) 像素。阵列中其它像素均不受影响。为了视需要设定行 2, 将列 2 设定为 -5 伏, 且将列 1 和 3 设定为 +5 伏。施加到行 2 的相同选通接着将激活像素 (2,2) 且松弛像素 (2,1) 和 (2,3)。同样, 阵列中其它像素均不受影响。通过将列 2 和 3 设定为 -5 伏且将列 1 设定为 +5 伏来类似地设定行 3。行 3 选通设定行 3 像素, 如图 5A 中所示。在对帧进行写入之后, 行电位为零, 且列电位可维持在 +5 或 -5 伏, 且接着显示器在图 5A 的布置中是稳定的。将了解, 可将相同程序用于数十或数百个行和列的阵列。还将应了解, 用于执行行和列激活的电压的时序、序列和电平可在上文所概述的一般原理内广泛变化, 且上文的实例仅为示范性的, 且任何激活电压方法均可与本文描述的系统和方法一起使用。

[0053] 图 6A 和 6B 是说明显示装置 40 的实施例的系统方框图。显示装置 40 可为 (例如) 蜂窝式电话或移动电话。然而, 显示装置 40 的相同组件或其稍微变化形式也说明例如电视和便携式媒体播放器的各种类型的显示装置。

[0054] 显示装置 40 包含外壳 41、显示器 30、天线 43、扬声器 45、输入装置 48 和麦克风 46。外壳 41 通常由所属领域的技术人员众所周知的多种制造工艺的任一者形成, 所述工艺包含注射模制和真空成形。另外, 外壳 41 可由多种材料的任一者制成, 所述材料包含 (但不限于) 塑料、金属、玻璃、橡胶和陶瓷, 或其组合。在一个实施例中, 外壳 41 包含可去除部分 (未图示), 所述可去除部分可与其它具有不同颜色或含有不同标记、图画或符号的可去除部分互换。

[0055] 如本文中所描述, 示范性显示装置 40 的显示器 30 可为包含双稳态显示器 (bi-stable display) 在内的多种显示器的任一者。在其它实施例中, 如所属领域的技术人员众所周知, 显示器 30 包含例如如上所述的等离子、EL、OLED、STN LCD 或 TFT LCD 的平板显示器, 或例如 CRT 或其它电子管装置的非平板显示器。然而, 出于描述本实施例的目的, 如本文中所描述, 显示器 30 包含干涉式调制器显示器。

[0056] 图 6B 中示意说明示范性显示装置 40 的一个实施例的组件。所说明的示范性显示装置 40 包含外壳 41 且可包含至少部分封围在所述外壳 41 中的额外组件。举例来说, 在一个实施例中, 示范性显示装置 40 包含网络接口 27, 所述网络接口 27 包含耦合到收发器 47 的天线 43。收发器 47 连接到处理器 21, 处理器 21 连接到调节硬件 52。调节硬件 52 可经配置以调节信号 (例如, 对信号进行滤波)。调节硬件 52 连接到扬声器 45 和麦克风 46。处理器 21 也连接到输入装置 48 和驱动器控制器 29。驱动器控制器 29 耦合到帧缓冲器 28 且

耦合到阵列驱动器 22, 所述阵列驱动器 22 进而耦合到显示器阵列 30。根据特定示范性显示装置 40 设计的要求, 电源 50 将功率提供到所有组件。

[0057] 网络接口 27 包含天线 43 和收发器 47 使得示范性显示装置 40 可经由网络与一个或一个以上装置通信。在一个实施例中, 网络接口 27 也可具有某些处理能力以减轻对处理器 21 的要求。天线 43 是所属领域的技术人员已知的用于传输和接收信号的任何天线。在一个实施例中, 所述天线根据 IEEE 802.11 标准 (包含 IEEE 802.11(a)、(b) 或 (g)) 来传输和接收 RF 信号。在另一实施例中, 所述天线根据 BLUETOOTH 标准来传输和接收 RF 信号。在蜂窝式电话的情况下, 所述天线经设计以接收 CDMA、GSM、AMPS 或其它用于在无线手机网络内通信的已知信号。收发器 47 预处理从天线 43 接收到的信号, 使得处理器 21 可接收所述信号并进一步对所述信号进行处理。收发器 47 还处理从处理器 21 接收到的信号使得可经由天线 43 从示范性显示装置 40 传输所述信号。

[0058] 在一替代实施例中, 收发器 47 可由接收器代替。在又一替代实施例中, 网络接口 27 可由可存储或产生待发送到处理器 21 的图像数据的图像源代替。举例来说, 所述图像源可为存储器装置, 例如数字视频光盘 (DVD) 或含有图像数据的硬盘驱动器, 或产生图像数据的软件模块。

[0059] 处理器 21 大体上控制示范性显示装置 40 的全部操作。处理器 21 接收例如来自网络接口 27 或图像源的压缩图像数据的数据, 并将所述数据处理成原始图像数据或处理成易被处理成原始图像数据的格式。处理器 21 接着将已处理的数据发送到驱动器控制器 29 或发送到帧缓冲器 28 以供存储。原始数据通常是指识别图像内每一位置处的图像特性的信息。举例来说, 这些图像特性可包含颜色、饱和度和灰度级。

[0060] 在一个实施例中, 处理器 21 包含微控制器、CPU 或逻辑单元以控制示范性显示装置 40 的操作。调节硬件 52 通常包含放大器和滤波器, 以用于将信号传输到扬声器 45, 且用于从麦克风 46 接收信号。调节硬件 52 可为示范性显示装置 40 内的离散组件, 或可并入在处理器 21 或其它组件内。

[0061] 驱动器控制器 29 直接从处理器 21 或从帧缓冲器 28 取得由处理器 21 产生的原始图像数据, 并适当地重新格式化所述原始图像数据以供高速传输到阵列驱动器 22。具体来说, 驱动器控制器 29 将原始图像数据重新格式化为具有类似光栅的格式的数据流, 使得其具有适于在显示器阵列 30 上进行扫描的时间次序。接着, 驱动器控制器 29 将已格式化的信息发送到阵列驱动器 22。尽管驱动器控制器 29 (例如 LCD 控制器) 通常与系统处理器 21 关联而作为独立的集成电路 (IC), 但可以许多方式实施这些控制器。其可作为硬件嵌入处理器 21 中, 作为软件嵌入处理器 21 中, 或与阵列驱动器 22 完全集成在硬件中。

[0062] 通常, 阵列驱动器 22 从驱动器控制器 29 接收已格式化的信息且将视频数据重新格式化为一组平行波形, 所述波形以每秒多次的速度被施加到来自显示器的 x-y 像素矩阵的数百且有时数千个引线。

[0063] 在一个实施例中, 驱动器控制器 29、阵列驱动器 22 和显示器阵列 30 适用于本文描述的任意类型的显示器。举例来说, 在一个实施例中, 驱动器控制器 29 是常规显示器控制器或双稳态显示器控制器 (例如, 干涉式调制器控制器)。在另一实施例中, 阵列驱动器 22 是常规驱动器或双稳态显示器驱动器 (例如, 干涉式调制器显示器)。在一个实施例中, 驱动器控制器 29 与阵列驱动器 22 集成。此实施例在例如蜂窝式电话、手表和其它小面积显

示器的高度集成系统中是普遍的。在又一实施例中,显示器阵列 30 是典型的显示器阵列或双稳态显示器阵列(例如,包含干涉式调制器阵列的显示器)。

[0064] 输入装置 48 允许用户控制示范性显示装置 40 的操作。在一个实施例中,输入装置 48 包含例如 QWERTY 键盘或电话键区的键区、按钮、开关、触敏屏幕、压敏或热敏薄膜。在一个实施例中,麦克风 46 是用于示范性显示装置 40 的输入装置。当使用麦克风 46 将数据输入到所述装置时,用户可提供声音命令以便控制示范性显示装置 40 的操作。

[0065] 电源 50 可包含此项技术中众所周知的多种能量存储装置。举例来说,在一个实施例中,电源 50 是例如镍镉电池或锂离子电池的可再充电电池。在另一实施例中,电源 50 是可再生能源、电容器或太阳能电池,包含塑料太阳能电池和太阳能电池涂料。在另一实施例中,电源 50 经配置以从壁式插座接收功率。

[0066] 在某些实施例中,如上文中所描述,控制可编程性驻存在驱动器控制器中,其可位于电子显示器系统中的若干位置中。在某些实施例中,控制可编程性驻存在阵列驱动器 22 中。所属领域的技术人员将了解,上述优化可实施在任何数目的硬件和/或软件组件中且可以各种配置实施。

[0067] 根据上文陈述的原理而操作的干涉式调制器的结构的细节可广泛变化。举例来说,图 7A-7E 说明可移动反射层 14 及其支撑结构的五个不同实施例。图 7A 是图 1 的实施例的横截面,其中金属材料条带 14 沉积在垂直延伸的支撑件 18 上。在图 7B 中,可移动反射层 14 在系链(tether)32 上仅在隅角处附接到支撑件。在图 7C 中,可移动反射层 14 从可包括柔性金属的可变形层 34 悬垂下来。所述可变形层 34 直接或间接地连接到围绕可变形层 34 的周边的衬底 20。这些连接在本文中称为支撑结构,其可采用隔离的墩或柱和/或连续的壁或轨道的形式。图 7D 中说明的实施例具有包含支撑插塞 42 的支撑结构 18,可变形层 34 搁置在所述支撑插塞 42 上。如图 7A-7C 所示,可移动反射层 14 保持悬浮在腔上方,但可变形层 34 并不通过填充可变形层 34 与光学堆叠 16 之间的孔而形成所述支柱。确切地说,支柱 18 由用于形成支柱插塞 42 的平面化材料形成。图 7E 中说明的实施例是基于图 7D 中展示的实施例,但也可适于与图 7A-7C 中说明的实施例以及未图示的额外实施例的任一者一起发挥作用。在图 7E 中所示的实施例中,已使用金属或其它导电材料的额外层来形成总线结构 44。这允许信号沿着干涉式调制器的背面进行路由,从而消除许多原本可能必须形成在衬底 20 上的电极。

[0068] 在例如图 7 中所示的那些实施例的实施例中,干涉式调制器充当直接观看装置,其中从透明衬底 20 的前侧观看图像,所述侧与上面布置有调制器的一侧相对。在这些实施例中,反射层 14 以光学方式遮蔽在反射层的与衬底 20 相对侧的干涉式调制器部分,其包含可变形层 34。这允许对遮蔽区域进行配置和操作而不会消极地影响图像质量。这种遮蔽允许实现图 7E 中的总线结构 44,所述总线结构 44 提供使调制器的光学性质与调制器的机电性质(例如,寻址与由所述寻址导致的移动)分离的能力。这种可分离的调制器结构允许选择用于调制器的机电方面和光学方面的结构设计和材料且使其彼此独立而发挥作用。此外,图 7C-7E 中所示的实施例具有源自反射层 14 的光学性质与其机械性质脱离的额外益处,所述益处由可变形层 34 执行。这允许用于反射层 14 的结构设计和材料在光学性质方面得以优化,且用于可变形层 34 的结构设计和材料在期望的机械性质方面得以优化。

[0069] 在某些实施例中,可能需要对例如图 7A 说明的可移动反射层 14 的可移动层或图

7C-7E 的机械层 34 与可移动反射层 14 的组合提供额外的支撑。在光学 MEMS 装置（例如，干涉式调制器）中，可移动层可包括反射子层和机械子层，如下文将更详细论述。可通过可沿着个别调制器元件的边缘和 / 或在此元件内部定位的一系列支撑结构来提供此种支撑。在各种实施例中，这些支撑结构可位于可移动层上方或其下方。在替代实施例中，支撑结构可延伸穿过形成于机械层中的孔，使得从机械层的上方和下方均提供支撑。如本文所使用，术语“铆钉”通常指经图案化的层，其上覆在 MEMS 装置中的机械层上（通常在柱或支撑区域中的凹座或凹陷中）以为机械层提供机械支撑。优选地（但并非总是如此），铆钉包含翼，所述翼上覆在机械层的上表面上以给机械层的移动增加稳定性和可预测性。类似地，下伏在 MEMS 装置中的机械层下以为机械层提供机械支撑的支撑结构在本文中通常称为支“柱”。在本文的许多实施例中，优选材料是无机的，以获得相对于有机抗蚀剂材料的稳定性。

[0070] 图 8 中展示此类支撑结构的示范性布局，图 8 描绘 MEMS 元件阵列。在某些实施例中，所述阵列可包括干涉式调制器阵列，但在替代实施例中，MEMS 元件可包括具有可移动层的任何 MEMS 装置。可见，支撑结构 62（其在所说明的实施例中为下伏支柱结构，但在其它实施例中可包含上覆铆钉结构）沿着可移动层 66 的边缘以及在 MEMS 元件（在此实例中为干涉式调制器元件 60）的内部定位。某些支撑结构可包括轨道结构 64，其延伸越过两个邻近可移动层 66 之间的间隙 65。可见，可移动层 66 包括延伸穿过同一列内的多个邻近元件 60 的可变形材料条带。轨道结构 64 与下部电极平行延伸，所述下部电极界定与由可移动层 66 的条带界定的上部电极交叉的行。支撑结构 62 用于加固元件或像素 60 内的可移动层 66，并与轨道结构 64 一起分离上部与下部电极以界定上部电极可在其中垂直移动的腔。

[0071] 有利地，这些支撑结构 61 相对于调制器元件 60 的周围区域被制造得较小。由于柱限制了可移动层 66 的偏转且可能通常为不透明的，因此在支撑结构 62 下方及其紧邻周围的区域不可用作显示器中的活动区域，因为这些区域中的可移动层无法移动到完全激活的位置（例如，图 7A 的可移动层 14 的下表面的一部分与光学堆叠 16 的上表面接触的位置）。因为这可能导致围绕柱的区域中的不合意的光学作用，所以可在支撑结构与观看者之间有利地提供黑暗或“黑色”掩模层，以避免这些区域中可能冲掉期望颜色的过量反射。

[0072] 在某些实施例中，这些支撑结构可包括可移动层中的凹陷，以及可移动层上方和 / 或下方的有助于维持形状的大体刚性结构。虽然此类支撑结构可由聚合物材料形成，但优选使用具有较大刚性的无机材料，其提供优于包括聚合材料的类似结构的优点。

[0073] 举例来说，聚合支撑结构可能不能在广范围的操作温度下维持所需的刚性水平，且可能在装置的使用寿命内经受逐渐的变形或机械故障。由于此类故障可能影响可移动层与光学堆叠之间的距离，且此距离至少部分决定干涉式调制器元件所反射的波长，因此，此类故障可能导致由于随着时间的磨损或操作温度的变化而带来的反射颜色的移位。其它 MEMS 装置在支撑件由聚合物材料形成时经历类似的随着时间的降级。

[0074] 参看图 9A-9J 描述一种形成包括下伏支柱支撑结构的干涉式调制器元件的工艺。图 9A 中，可见，提供透明或透光衬底 70，其可包括（例如）玻璃或透明聚合材料。接着在透明衬底上沉积可包括氧化铟锡（ITO）的导电层 72，且在导电层 72 上沉积可包括铬的部分反射层 74。尽管在一个实施例中导电层 72 可包括 ITO 且在以下说明书中各处可如此提及，但将了解，导电层 72 可包括任何适宜的导电材料，且对于非光学 MEMS 结构来说不需要为透明的。类似地，尽管部分反射层 74 有时称为铬层，但其可包括任何适宜的部分反射层，

且对于非光学 MEMS 结构来说可省略。

[0075] 接着对导电层 72 和部分反射层 74 进行图案化和蚀刻以形成底部电极（也称为行电极），其交叉地（例如，垂直）延伸到图 8 的可移动层 66，且其将用于寻址 MEMS 元件行。在某些实施例中，导电层和部分反射层 72 和 74 还可有利地经图案化和蚀刻以去除下伏在将定位有柱结构的区域下方的 ITO 和铬，从而形成如图 9B 中描绘的孔 76。此图案化和蚀刻优选地通过形成行电极的相同工艺完成。下伏在支撑结构下方的 ITO 和铬（或其它导电材料）的去除有助于使上覆导电层（例如，可移动层）与底部电极之间短路的风险最小。因此，图 9B 和后续的图描绘由层 72 和 74 形成的连续行电极的横截面，其中隔离孔 76 已经蚀刻，所述横截面是沿着延伸穿过那些孔的线截取。在导电层 72 和部分反射层 74 未经蚀刻而形成孔 76 的其它实施例中，下文论述的介电层可针对底部电极与可移动层之间的短路提供充分的保护。

[0076] 可经由光刻图案化导电层 72 和部分反射层 74 并经由例如市售湿式蚀刻剂对其进行蚀刻。铬湿式蚀刻剂包含乙酸 ($C_2H_4O_2$) 和硝酸铈铵 $[Ce(NH_4)_2(NO_3)_6]$ 的溶液。ITO 湿式蚀刻剂包含 HCl、HCl 和 HNO_3 的混合物，或 75% / 3% / 22% 比率的 $FeCl_3/HCl/DI$ 和 H_2O 。一旦形成孔 76，就在导电层 72 和部分反射层 74 上沉积介电层 78，如图 9C 所见，从而形成光学堆叠 16。在某些实施例中，介电层可包括 SiO_2 或 SiN_x ，但可使用广范围的合适材料。

[0077] 形成光学堆叠 16 的层的厚度和定位决定了在元件激活（塌陷）从而使可移动层 66 与光学堆叠接触时干涉式调制器元件所反射的颜色。在某些实施例中，光学堆叠经配置以使得干涉式调制器元件在可移动层处于激活位置时大体上不反射任何可见光（表现为黑色）。通常，介电层 78 的厚度约为 450 Å，但将了解，所需的厚度将基于材料的折射率和在塌陷状态下由干涉式调制器反射的所需颜色而变化。虽然为了简单起见说明为平面的（如果介电层 78 为旋涂玻璃，那么可实现这一效果），但介电层 78 在由层 72 和 74 形成的经图案化的下部电极上方通常为共形的。

[0078] 如图 9D 中可见，接着在介电层 78 上沉积牺牲材料层 82。在某些实施例中，此牺牲层 82 可由可通过基于氟的蚀刻剂（明确地说， XeF_2 ）蚀刻的材料形成。举例来说，牺牲层 82 可由钼或非晶硅 (a-Si) 形成。在其它实施例中，牺牲层可包括钼或钨。可用作牺牲材料的其它材料包含氮化硅、某些氧化物以及有机材料。沉积的牺牲层 82 的厚度将决定光学堆叠 16 与可移动层 66 之间的距离，因此界定干涉式间隙 19（见图 7A）的尺寸。由于间隙 19 的高度决定了干涉式调制器元件在未激活位置时反射的颜色，因此牺牲层 82 的厚度将依据干涉式调制器的所需特性而变化。举例来说，在形成在未激活位置反射绿色的调制器元件的实施例中，牺牲层 82 的厚度可大约为 2000 Å。在其它实施例中，牺牲层在 MEMS 装置阵列上可具有多种厚度，例如在其中使用不同的干涉式间隙大小来产生不同颜色的多色显示系统中。

[0079] 在图 9E 中可见，牺牲层 82 已经图案化和蚀刻以形成锥形孔 86。孔 86 上覆在切入 ITO 和铬的层 72 和 74 中的孔 76 上。可使用光刻法通过遮蔽牺牲层并接着执行湿式或干式蚀刻来去除牺牲材料部分，而形成这些孔 86。合适的干式蚀刻剂包含（但不限于） SF_6 、 CF_4 、 Cl_2 或这些气体与 O_2 或稀有气体（例如 He 或 Ar）的任何混合物。适合于蚀刻 Mo 的湿式蚀刻剂包含 PAN 蚀刻剂，其可为以 16 : 1 : 1 : 2 比率的磷酸、乙酸、硝酸和去离子水的混合物。可通过包含 KOH 和 HF 硝酸盐的湿式蚀刻剂来蚀刻非晶硅。然而优选地使用干式

蚀刻来蚀刻牺牲层 82, 因为干式蚀刻允许对锥形孔 86 的形状的较多控制。

[0080] 在图 9F 中, 在图案化牺牲层 82 上沉积无机支柱材料层 84, 使得无机支柱层 84 还涂覆锥形孔 86 的侧壁和基底。在某些实施例中, 无机支柱层 84 比牺牲层 82 薄, 且在牺牲层 82 上方是共形的。在某些实施例中, 无机支柱层 84 可包括氮化硅 (SiN_x) 或 SiO_2 , 但可使用多种多样的其它材料, 下文更详细论述其中一些材料。

[0081] 在图 9G 中, 图案化并蚀刻无机支柱层 84 以形成无机支柱 88。因此, 无机支柱层 84 优选地可相对于下伏牺牲层 82 选择性地蚀刻, 以便允许在使牺牲层 82 不受影响的同时蚀刻无机支柱层 84。然而, 如果无机支柱层 84 不可相对于牺牲层 82 选择性地蚀刻, 那么可在无机支柱层 84 与牺牲层 82 之间提供蚀刻停止层 (未图示。)

[0082] 在图 9G 中可见, 无机支柱 88 的边缘优选地成锥形, 其如同孔 86 的锥形或倾斜侧壁一样有助于上覆层的连续和共形沉积。可见, 在所说明的实施例中, 无机支柱 88 的厚度比牺牲层 82 的厚度薄, 且包括大体上平坦的基底部分 89、倾斜侧壁部分 87 和在牺牲材料的一部分上延伸的大体上水平翼部 85。因此, 支柱 88 有利地在用于支撑上覆可移动层 66 (见图 9H) 的支柱的边缘处提供大体上平坦的表面, 从而使如果可移动层 66 沉积在较不平坦的边缘上则可能发生的应力和所产生的不合需要的偏转最小。下文参看图 11A-21 论述关于如何使如图 9H 的支柱 88 的结构成锥形的细节。

[0083] 在一个实施例中, 无机支柱层 84 和所得支柱 88 包括类金刚石碳 (DLC)。除了非常硬且坚固 (比 SiO_2 硬大约 10 倍) 外, 还可用 O_2 干式蚀刻剂来蚀刻 DLC 无机支柱层 84。有利地, O_2 干式蚀刻剂对广泛种类的牺牲材料 (包含 (但不限于) Mo 和 a-Si 牺牲材料, 以及上文论述的其它牺牲材料) 具有高度选择性。因此, 包括 DLC 的无机支柱提供非常坚固的支柱, 从而减小当 MEMS 操作期间向下拉动上覆移动或机械层时支柱 88 的边缘向下挠曲的可能性以及向下挠曲量, 同时允许使用对广泛种类的材料相对亲和的蚀刻剂。

[0084] 在图 9H 中, 可见, 将形成可移动层 66 (例如见, 图 7A 中的可移动反射层 14) 的组件接着沉积在经蚀刻的牺牲层 82 上, 从而镶衬锥形孔 86。在图 9H 的实施例中, 首先沉积高度反射层 90 (也称为镜或镜层), 之后沉积机械层 92。高度反射层 90 由于其广波长谱上的高反射率的缘故可由铝或铝合金形成。机械层 92 可包括例如 Ni 和 Cr 等金属, 且优选地经形成使得机械层 92 含有残余拉伸应力。所述残余拉伸应力提供当调制器未激活或“松弛”时将可移动层 66 拉离光学堆叠 16 的机械力。为了方便起见, 高度反射层 90 与机械层 92 的组合可共同称为可移动层 66, 但将了解, 如本文使用的术语可移动层还包含部分分离的机械和反射层, 例如图 7C 的机械层 34 和可移动反射层 14。

[0085] 在将通过 XeF_2 蚀刻剂来“释放”蚀刻牺牲层的实施例中, 反射层 90 与机械层 92 两者优选地对 XeF_2 蚀刻具有抵抗力。如果这些层中的任一者不具有抵抗力, 那么可使用蚀刻停止层来保护暴露于释放蚀刻剂的不具抵抗力的层表面。类似地, 支柱 88 优选地对释放蚀刻剂具有抵抗力, 或者另外由蚀刻停止层保护。还可见, 支柱 88 的边缘的锥度有助于反射层 90 和机械层 92 的共形沉积。如果没有此锥度, 可能难以沉积这些层使得所述层在孔 86 外部和内部的表面上具有大体上均匀的厚度。

[0086] 在替代实施例中, 可移动层 66 可包为单一层, 其高度反射并具有所需的机械特性。然而, 两个不同层的沉积允许选择原本如果用作可移动层 66 中的唯一材料则可能不适宜的高度反射材料, 并类似地允许选择适宜的机械层 (具有某种挠性和固有张力) 而不考

虑其反射性。在另外的实施例中,可移动层可为与电和机械层很大程度脱离的反射子层,使得反射层可垂直平移而不弯曲(例如见,图 10A-10F 和附带描述)。

[0087] 在所形成的 MEMS 装置包括非光学 MEMS 装置(例如, MEMS 开关)的其它实施例中,将了解,可移动层 66 不需要包括反射材料。举例来说,在 MEMS 装置(例如, MEMS 开关)形成为包括本文论述的支撑结构的实施例中,可移动层 66 的下侧不需要具有反射性,且可有利地是仅基于其机械特性或其它合乎需要的特性而选择的单一层。

[0088] 接下来,在图 9I 中,可见,使用光刻来图案化机械层 92,并蚀刻可移动层 66(即,机械层 92 和反射层 90)以形成蚀刻孔 100,所述蚀刻孔 100 暴露牺牲层 82 的若干部分以便有助于牺牲层的“释放”蚀刻。在某些实施例中,使用多种蚀刻剂来暴露牺牲层。举例来说,如果机械层 92 包括镍且反射层 90 包括铝,那么可使用 HNO_3 来蚀刻机械层 92,且可使用磷酸或例如 NH_4OH 、 KOH 、 THAM 或 NaOH 等碱来蚀刻反射层 90。此图案化和蚀刻还可用于通过在可移动层 66 的条带之间蚀刻出间隙 65(见图 8)从而使 MEMS 装置列彼此分离,而界定图 8 中所见的条带电极。

[0089] 最后,在图 9J 中,可见,执行释放蚀刻以去除牺牲层,从而产生干涉间隙 19,可移动层 66 可穿过所述干涉间隙 19 移动。在某些实施例中,使用 XeF_2 蚀刻剂来去除牺牲层 82。因为 XeF_2 适当地蚀刻优选的牺牲材料且相对于上文论述的工艺中使用的其它材料非常具有选择性,所以使用 XeF_2 蚀刻剂有利地允许去除牺牲材料而对周围结构的影响非常小。

[0090] 如上文所论述, MEMS 装置且明确地说干涉式调制器的某些实施例包括可移动层,所述可移动层包括与机械层部分脱离的反射层。图 10A-10F 说明用于形成在此类 MEMS 装置中下伏于机械层下方的分离的镜结构的示范性工艺,所述 MEMS 装置在所说明的实施例中为干涉式调制器。此工艺可包含(例如)参看图 9A-9D 描述的步骤,其中沉积光学堆叠且在光学堆叠上沉积牺牲层。

[0091] 在图 10A 中可见,在牺牲层 82 上沉积反射层 90。在某些实施例中,反射层 90 可包括单一反射材料层。在其它实施例中,反射层 90 可包括反射材料薄层,其中较刚性材料层(未图示)上覆于牺牲材料薄层上。由于此实施例的反射层将与上覆机械层部分脱离,所以反射层 90 优选地具有足够的刚性以便即使当部分脱离时也相对于光学堆叠 16 维持在大体上平坦的位置,且在反射层的远离光学堆叠定位的一侧上包含加强层可用于提供所需的刚性。

[0092] 在图 10B 中,图 10A 的反射层 90 经图案化以形成图案化镜层 200。在一个实施例中,图案化镜层 200 包括其中已形成有对应于支撑结构的位置(但宽于或窄于支撑结构)的孔的邻接层。在另一实施例中,图案化镜层 200 可包括彼此脱离的多个反射部分。

[0093] 在图 10C 中,第二牺牲层 196 沉积在图案化镜层 200 上。优选地,第二牺牲层 196 由与第一牺牲层 82 相同的材料形成,或者可通过与第一牺牲层 82 相同的蚀刻剂相对于周围材料选择性地蚀刻。

[0094] 在图 10D 中,形成锥形孔 86,其延伸穿过第二牺牲层 196 和第一牺牲层 82 两者。在图 35D 中还可见,孔 208 形成在第二牺牲层 196 的上覆于图案化镜层 200 上的一部分上,从而暴露图案化镜层 200 的至少一部分。

[0095] 在图 10E 中,机械层 92 沉积在图案化牺牲层 196 和 82 以及图案化镜层 200 的暴露部分上。明确地说,可见,机械层 92 至少部分填充孔 208(见图 10D),使得形成连接机械

层 92 与图案化镜层 200 的连接部分 202。

[0096] 在图 10F 中, 执行释放蚀刻, 其去除第一牺牲层 82 和第二牺牲层 196 两者, 藉此在图案化镜层 200 与光学堆叠之间形成干涉间隙 19。因此, 形成光学 MEMS 装置, 其包含包括机械层 92 的可移动层 66, 图案化镜层 200 从机械层 92 处悬浮, 其中图案化镜层 200 与机械层 92 部分脱离。此光学 MEMS 装置可以是 (例如) 例如参看图 7C 以及本申请案中其它地方描述的干涉式调制器。在非光学 MEMS 中, 悬浮的上部电极不需要具有反射性。

[0097] 在图 10F 的实施例中, 图案化镜层 200 不需要具有凹入边缘表面, 因为如果入射光反射离开凹入边缘表面并朝向观察者反射, 那么对镜层进行底切可导致不合需要的光学效应。图案化镜层 200 希望包括平坦的下表面使得图案化镜层 200 所反射的任何光均在统一方向上反射。一种确保图案化镜层 200 包括大体上平坦表面而不进行显著底切的方法是蚀刻镜层使得图案化镜层包括锥形边缘。另外, 如果图案化镜层 200 包括锥形边缘, 那么可在图案化镜层 200 上共形地较可靠地沉积第二牺牲层和其它上覆层 (例如, 机械层), 厚度不均一性和较尖锐 90 度隅角处产生的应力的风险较小。

[0098] 因此, 通常需要在 MEMS 装置中的多种位置中形成锥形边缘, 包含当将在图案化层上共形地沉积上覆层时, 或当需要避免凹入轮廓时。下文揭示用于形成此类锥形边缘的若干方法。虽然主要相对于上文参看图 9A-9J 论述的支柱实施例描述所述方法, 但预期结构和方法的其它用途 (例如在图 10A-10F 的镜层 200 的图案化过程中), 且可通过修改以下结构和方法来实现所述其它用途。在某些实施例中, 这些工艺包含对层进行图案化以形成所需结构并使所述结构的边缘成锥形。尽管有时描述为两个不同步骤, 但将了解图案化和成锥形通常将包括单一步骤, 且在另外的实施例中, 当对结构进行图案化时将发生部分成锥形, 使得图案化和成锥形可能需要同时进行。

[0099] 在参看图 11A-11B 描述的一个实施例中, 使用蚀刻前导层来实现具有所需锥度的蚀刻。在图 11A 中, 可见, 无机支柱材料层 84 沉积在牺牲层 82 上。蚀刻前导层 270 沉积在支柱层 84 上, 且掩模 272 形成在无机支柱将处于的区域上。在此实施例中, 蚀刻前导层选择为对于特定蚀刻来说将具有比下伏材料 (或者在所说明的实施例中为支柱材料 84) 的蚀刻速率快的蚀刻速率的材料。在某些实施例中, 支柱层 84 可包括 SiO_2 或 SiN_x 。蚀刻前导层可包括多种多样的材料, 包含在低温下沉积的 SiO_2 或 SiN_x 层; 其孔明显多于下伏层; 以 SiN_x 层中不同的氮成分沉积; 或者形成为尤其富含氧或氮。类似地, 可使用富含氢的 SiN_x 层, 或在低温下沉积的 SiN_x 层。当使用 HF/HNO_3 蚀刻剂时 Si 的蚀刻快于 SiO_2 , 且当使用 $\text{HF}+\text{H}_3\text{PO}_4$ 蚀刻剂时 Al 的蚀刻将快于 SiO_2 。并且, 当使用 HF/HNO_3 或 $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{H}_3\text{PO}_4$ 任一蚀刻剂时 Mo 的蚀刻将快于 SiO_2 。通常使用 BHF 来蚀刻 SiN_x , 但可使用其它适宜的蚀刻剂。视无机支柱层 84 的成分而定, 可使用多种多样的其它蚀刻剂和蚀刻前导层。视待使用的蚀刻剂而定, 掩模 272 可由 (例如) 例如 Ni 等硬掩模或光致抗蚀剂掩模形成。明确地说, 当使用湿式蚀刻剂时, 掩模 272 可包括硬掩模。图 11B 描绘暴露于蚀刻剂 (优选为各向同性蚀刻剂) 之后图 11A 的实施例。如可见, 蚀刻前导层 270 已比支柱层 84 更快地被蚀刻, 从而将支柱层 84 的顶部和侧部暴露于蚀刻剂。因为从顶部且从侧部蚀刻支柱层 84, 所以通过此蚀刻已形成锥形侧。随后, 可去除掩模 272 和剩余蚀刻前导层 270 的一者或两者 (未图示)。

[0100] 图 11A-11B 的结构和方法可适用于形成具有锥形边缘的图案化镜层。在一个实施例中, 图 11A-11B 的无机支柱层 84 可由铝层代替, 且蚀刻前导层 270 可以是 (例如) 经沉积

的铝层使得其将蚀刻得较快。这可（例如）通过在比下部铝层的沉积高的压力下沉积蚀刻前导层来实现。在替代实施例中，蚀刻前导层可包括具有比铝高的蚀刻速率的铝合金。在另外其它实施例中，可使用具有所需的机械特性和比铝高的蚀刻速率的任何适宜的材料。

[0101] 参看图 12A-12B 论述以上实施例的变化形式，且所述变化形式包含图 11A 的步骤。在此实施例中，蚀刻前导层 270 和下伏层（在所说明的实施例中，为无机支柱材料 84）可相对于彼此选择性地蚀刻。在图 12A 中，可见，已经由第一（优选各向同性）蚀刻相对于支柱层 84 选择性地蚀刻所述蚀刻前导层 270，从而暴露支柱层 84 的顶部的一部分。在图 12B 中，已使用第二（优选各向同性）蚀刻从上方以及从侧部蚀刻支柱层 84，从而产生图中所见的锥形边缘。可通过允许第一蚀刻去除蚀刻前导层 270 的程度以及通过第二蚀刻扩散到掩模 272 与支柱层 84 之间的空间中的速率，来控制锥角。如果第二蚀刻蚀刻支柱层 84 使得其对蚀刻前导层 270 进行底切，那么可执行第三蚀刻（其可使用与第一蚀刻相同的蚀刻）以便去除蚀刻前导层 270 的悬置部分，使得在没有不合需要的悬置部分的情况下形成锥形边缘。

[0102] 图 12A-12B 的结构和方法也可适用于形成具有锥形边缘的图案化镜层。在一个实施例中，图 12A-12B 的无机支柱层 84 可由铝层代替，且蚀刻前导层 270 可包括可相对于铝选择性地蚀刻的镍层。可首先（例如）经由相对于铝层具有选择性的 HNO_3 湿式蚀刻剂来蚀刻镍蚀刻前导层。接着可经由相对于镍层具有选择性的 H_3PO_4 湿式蚀刻剂来蚀刻铝层。如果必要，执行后续 HNO_3 蚀刻以去除镍层的任何伸出锥形铝层之上的部分。

[0103] 如上文所论述，可在蚀刻无机支柱层之后去除蚀刻前导层和掩模中的一者或两者。在另一实施例中，本文论述的实施例的任一者的蚀刻前导层可经选择使得其可在单一工艺中被蚀刻掉或以另外的方式去除。在特定实施例中，蚀刻前导层是聚合材料，例如 PMGI 或 PMMA，且掩模是光致抗蚀剂掩模。可在光刻工艺期间实现底切，且其不需要额外蚀刻步骤。在此实施例中，单一蚀刻（不同于第一蚀刻）可去除 PR 掩模和聚合蚀刻前导层两者，从而简化制造工艺。

[0104] 在另一实施例中，可通过沉积在层中不同高度处具有不同特性的支柱层 84 使得层 84 的上部部分将以比层 84 的下部部分快的速率被蚀刻，而不使用单独的蚀刻前导层，来实现所需的锥度。图 13 描绘此实施例，其中层 84 的特性在层成形（例如，沉积）期间变化，使得层 84 已被蚀刻为锥形形状。这些变化的特性可以多种方式实现。举例来说，在等离子体化学气相沉积期间，可改变（通过厚度分级）例如气体、功率和 / 或压力等工艺条件以便使稍后沉积的材料的成分可通过特定蚀刻剂较快地蚀刻。此变化还可在使用溅镀蚀刻工艺的同时实现。

[0105] 类似地，如图 14 中可见，可通过沉积具有稍许不同特性的多个层来近似具有不同特性的单一无机支柱材料层 84。在此实施例中，制造三个单独层 84a、84b 和 84c，使得当暴露于特定蚀刻剂时层 84b 和 84c 的蚀刻速率快于 84a，且 84c 的蚀刻速率快于 84b。在各种实施例中，可沉积具有不同或均一厚度的较多或较少的层以形成此分层支柱层。如上文所论述，可在各个支柱层的沉积之间修改 CVD 或溅镀蚀刻工艺的各种特性以便实现每一层的所需相对蚀刻速率。此工艺也可应用于沉积镜层或任何其它层。

[0106] 在另一实施例中，如图 15 中所描绘，可在支柱层 84 上沉积掩模层 272 使得掩模 272 与支柱层 84 之间的粘附力有意地较差。在蚀刻支柱层 84 期间，掩模 272 将脱离支柱层

84,从而允许从上方以及从侧部蚀刻支柱层 84,从而产生所需的锥形形状。优选地,用于蚀刻支柱层 84 的蚀刻剂是湿式蚀刻剂或各向同性干式蚀刻剂。可在制造工艺期间通过(例如)降低掩模 272 的烘焙温度或对支柱层 84 的上表面进行化学处理以减小与抗蚀剂 272 或其它掩模材料的粘附力来修改抗蚀剂粘附力。此工艺也可应用于蚀刻镜层或任何其它层。

[0107] 在又一实施例中,可通过在无机支柱层上沉积光致抗蚀剂掩模并使用连续蚀刻和灰化工艺以逐步去除所述光致抗蚀剂掩模的若干部分从而形成阶梯状结构,来近似锥形边缘。图 16A-16D 描绘在例如图 9J 的支柱的无机结构的边缘处形成此阶梯状图案的方法。图 16A 中,可见,已在支柱材料层 84 与牺牲层 82 之间形成蚀刻阻挡层 280。接着在支柱层 84 上沉积掩模层 282。

[0108] 图 16B 中,执行蚀刻以去除暴露的支柱层 84 的一部分。如所说明的实施例中所示,此蚀刻可仅去除暴露的支柱层 84 的一部分,但在其它实施例中,第一蚀刻剂可蚀刻停留在蚀刻阻挡层 280 上的支柱层的整个暴露部分。

[0109] 图 16C 中,已例如通过灰化工艺去除掩模 282 的一部分,且执行另一蚀刻以去除支柱层 84 的另一新暴露的部分。接着重复此工艺直到支柱层 84 在某些部位已被向下一直蚀刻到蚀刻阻挡层 282 为止,如图 36D 中可见。因此,可制造无机支柱 290,其具有近似锥形边缘的带有阶梯状轮廓的边缘。虽然可使用任何适当数目的连续蚀刻和灰化(或其它掩模缩减或收缩)步骤,但在一个实施例中,三个此类重复提供锥形边缘的可接受的近似。

[0110] 这种重复蚀刻和灰化(或其它掩模缩减或收缩)工艺也可应用于蚀刻镜层。在一个实施例中,遮蔽镜层,且使用第一蚀刻剂(其可以是 H_3PO_4 蚀刻剂)来蚀刻暴露的镜层的一部分。接着使掩模部分灰化,从而暴露镜层的先前未蚀刻部分,且接着经由第二蚀刻剂蚀刻镜层,所述第二蚀刻剂在某些实施例中可与第一蚀刻剂相同,且在其它实施例中可以是不同的蚀刻剂(例如, TMAH 蚀刻剂),其相对于下伏牺牲或蚀刻停止层可能较具选择性。

[0111] 在另一实施例中,可使用交替的重复蚀刻工艺来形成具有锥形边缘的图案化镜层。图 17A 中,可见,已在第一牺牲层 82 上沉积反射层 90,且已在反射层 90 上沉积蚀刻前导层 290,之后沉积光致抗蚀剂掩模 292。在所说明的实施例中,可通过一蚀刻剂(例如,含氟的)来蚀刻所述蚀刻前导层 290,所述蚀刻剂还将蚀刻牺牲层 82,且明确地说可包括与牺牲层相同的材料(例如,钼)。

[0112] 图 17B 中,已例如通过使用 PAN 蚀刻剂部分蚀刻反射层 90,所述 PAN 蚀刻剂将蚀刻铝和钼两者,但可见,下伏牺牲层 82 尚未通过此蚀刻剂暴露。图 17C 中,已使用相对于牺牲材料具有选择性的蚀刻剂(例如, H_3PO_4 蚀刻剂)蚀刻暴露的反射层 90 的剩余部分。通过使下伏牺牲材料不暴露于将充分蚀刻牺牲材料的蚀刻剂,可避免对反射层 90 的底切,且获得所需的锥形形状。

[0113] 图 17D 中,已剥离掩模 292。图 17E 中,已通过相对于反射层 90 具有选择性的蚀刻剂(例如, SF_6/O_2 蚀刻剂)去除蚀刻前导层 290。尽管可通过此蚀刻剂去除下伏牺牲材料 92 的一部分,但其不会对图案化反射层 90 的锥形形状产生影响,因为所述蚀刻剂相对于反射层 90 具有选择性且不会从下方蚀刻反射层 90。

[0114] 将了解,尽管已主要相对于支柱边缘的定形而论述上述形成锥形边缘的方法,但这些方法可经修改并应用于形成所揭示的 MEMS 装置中的其它层(例如,电极层或牺牲层)的锥形边缘(尤其当打开支撑区中的锥形孔时)。另外,本文揭示和描述的工艺可经修改以

包含这些步骤,只要所述工艺可受益于对层进行蚀刻使得其包括锥形边缘。这些工艺还可结合其它形成 MEMS 装置(例如,所揭示的干涉式调制器)的方法来利用。

[0115] 结合或代替在层上形成锥形边缘,还可通过改进层边缘处的阶梯覆盖的若干替代方法来促进上覆层的沉积。在某些实施例中,可使溅镀沉积偏移,使得以一角度沉积所沉积的一些或所有材料,以便在隅角处提供较好的覆盖,从而减少使阶梯成锥形的需要。在另一实施例中,上面沉积这些层的衬底可向目标结构倾斜一角度,且在另外的实施例中可在沉积期间旋转。在另一实施例中,溅镀沉积中使用的目标结构的轮廓可经优化使得某些部分与材料被溅镀到的衬底成所需角度。在又一实施例中,上面沉积所述层的衬底来回摇摆。

[0116] 溅镀蚀刻还可有利地用于本文描述的工艺中。除了使上面将沉积另一层的表面粗糙并清洁所述表面外(如上文所论述),溅镀蚀刻还可与溅镀沉积结合使用。在一个实施例中,沉积比必需厚度厚的层,且接着将所述层溅镀蚀刻到所需厚度,从而提供较平滑的层(例如,通过使隅角成圆形)。在又一实施例中,溅镀蚀刻和沉积可交替。也可使用偏移溅镀来改进导电衬底、导电层或导电支撑件(例如,夹盘)上的衬底上的阶梯覆盖。也可使用其它沉积工艺,例如原子层沉积(ALD)、大气压力化学气相沉积(AP-CVD)、低压化学气相沉积(LP-CVP)、高密度等离子化学气相沉积(HDP-CVD),且在另外的实施例中,这些沉积工艺可经修改以包含偏移。这些方法中的任一者可结合本文描述的工艺中的任一者使用以改进阶梯覆盖。此外,在某些实施例中,这些方法的使用可减少或排除需要在层上形成锥形边缘,或增加锥形边缘的优点。

[0117] 在其它实施例中,可利用剥离工艺在干涉式调制器的制造期间形成所需的层。在一个实施例中(参看图 18A-18C 描述),可利用剥离工艺形成邻近于可移动层的所需支撑结构,且明确地说下伏于可移动层下方的支柱结构。有利地,此剥离工艺允许沉积具有所需锥度的层(例如,无机支柱),从而促进沉积上覆层。另外,此工艺可排除需要相对于下伏材料选择性地蚀刻支柱材料。在图 18A 中,可见,牺牲材料层 82 已经图案化并蚀刻以形成锥形孔 86,且在边缘处具有负角的掩模 222 沉积在牺牲层 82 上,使得掩模 222 不延伸到孔 86 的边缘。在某些实施例中,此掩模 222 包括光致抗蚀剂材料(且在特定实施例中,可以是双层光致抗蚀剂,以促进负角的形成),但也可以是硬掩模。在特定实施例中,掩模 222 可包括用于图案化牺牲层 82 的光致抗蚀剂。

[0118] 在图 18B 中,可见,支柱材料层 84 沉积在掩模 222 上。掩模 222 的负角导致以所需无机支柱 188 的形状沉积支柱材料 84,其由于对沉积的阴影效应而具有锥形边缘。视掩模 222 的厚度和负角的度数而定,掩模 222 的形状还有利地导致掩模 222 上方的支柱材料 84 与将形成无机支柱的支柱材料 84 之间的间隙。在此实施例中,掩模 222 有利地厚于待沉积的材料,从而允许蚀刻剂或灰化化学物质接达掩模 222。优选地,经由物理气相沉积(例如,蒸发或溅镀工艺)沉积支柱材料,以免沉积掩模 222 下侧的材料,其将抑制上覆于掩模 222 上的材料的非需要部分的剥离。然而,如果形成此类连接,例如如果使用 CVD 工艺来沉积支柱层 84,那么可使用超声波能量使任何连接部分断裂,因为其将很可能相对于总体支柱层 84 的厚度在悬垂的掩模以下的阴影区中较薄。

[0119] 在图 18C 中,可见,使用剥离工艺来去除掩模 222,从而同时去除上覆于掩模 222 上的支柱材料 84。这种剥离工艺可包括用以去除掩模 222 的蚀刻剂,例如湿式蚀刻剂,或者气态或蒸汽蚀刻剂。剥离工艺还可包括用以去除不再衔接的那些材料的起皱烘焙和清洗工

艺。制造工艺进一步包括可移动层的后续沉积、图案化和释放 MEMS 装置,如上文所论述。

[0120] 也可利用类似的剥离工艺形成上覆于可移动层上的铆钉结构。明确地说,可通过在沉积掩模之前在图案化牺牲层上沉积可移动层(例如,可移动层 66)来修改图 18A-18C 的工艺。接着在掩模上沉积所需的铆钉材料层,且接着去除掩模,从而剥离多余的铆钉层而形成铆钉。有利地,如上文所论述,这可排除需要相对于下伏机械层选择性地蚀刻铆钉层。因此,可由与机械层相同的材料形成铆钉,而不需要所述两层之间的蚀刻阻挡层。

[0121] 在一个实施例中,可通过使用光致抗蚀剂掩模结合下伏剥离材料层来形成具有负角的掩模 222。图 19A-19C 描绘用于形成此掩模的工艺。在图 19A 中,可见,已在下伏层 226(其可以是(例如)牺牲层)上沉积剥离材料层 224,且已在剥离层 224 上沉积光致抗蚀剂材料层 228。在图 19B 中,光致抗蚀剂材料 228 已经图案化并选择性地去除以形成孔 229,其将允许蚀刻下伏剥离层 224。

[0122] 在图 19C 中,可见,已以某一程度的各向同性选择性地蚀刻剥离层 224 以在光致抗蚀剂 228 下方横向凹进并形成腔 230,其边缘具有负角或悬垂,如上文所论述。可(例如)通过选择性地过度蚀刻剥离层 224 来实现此负角。在一个实施例中,剥离层 224 包括聚酰亚胺释放层。在一个实施例中,剥离层 224 本身可以是可光图案化的。在一个实施例中,剥离层 224 可以是具有通过显影形成的底切的双层光致抗蚀剂。在一个实施例中,如先前在图 18 中所描绘,掩模 222 可由单一剥离层形成,而不是由剥离层结合光致抗蚀剂掩模形成。

[0123] 可利用剥离工艺在 MEMS 装置(例如,所说明的干涉式调制器)的支撑件的制造期间形成其它所需形状。在另一实施例中(参看图 20 描述),利用剥离工艺在牺牲层 82 中形成锥形孔。在此实施例中,在沉积牺牲层 82 之前首先在光学堆叠 16 上形成掩模 222。可以看到,此掩模 222 包括控制所沉积的牺牲层 82 的形状的负角。仍参看图 20,可以看到,已沉积牺牲材料层 82,使得位于衬底上的牺牲材料将具有在剥离掩模 222 和上覆牺牲材料时具有所需锥形孔的形状。

[0124] 在另一实施例中(参看图 21 描述),使用剥离工艺形成隔离电极部件,其在包括光学 MEMS 的实施例中可以是镜。此实施例包含图 9A-9D 的步骤。在图 21 中,可以看到,掩模 222 沉积在牺牲层 82 上,掩模层 222 沿着掩模层 222 的侧部具有凹入轮廓,且反射材料层 90 接着沉积在掩模层 222 上。在稍后步骤中,通过剥离工艺去除掩模 222,连同反射层 90 的上覆部分,从而形成隔离电极部件,其在此实施例中包括镜。制造工艺可如参看图 10C-10F 所论述而继续。

[0125] 将了解,以上实施例的各种组合是可能的。预期上文论述的方法的各种其它组合且所述组合在本发明范围内。另外,将了解,通过以上方法中的任一者形成的结构可与其它形成 MEMS 装置内的结构的方法组合利用。

[0126] 还将了解,以上实施例中层的次序和形成那些层的材料仅是示范性的。此外,在一些实施例中,其它层(未图示)可经沉积和处理以形成 MEMS 装置的若干部分或在衬底形成其它结构。在其它实施例中,这些层可使用替代性沉积、图案化和蚀刻材料及工艺形成,可以不同次序沉积,或由不同材料组成,如所属领域的技术人员将了解。

[0127] 还应了解,视实施例而定,除非文中另外明确且清楚地说明,否则本文描述的任何方法的动作或事件可以其它序列执行,可进行添加、合并或完全省去(例如,并非必需所有动作或事件来实践所述方法)。

[0128] 尽管以上详细描述内容已经展示、描述并指出了应用于各个实施例的本发明的新颖特征,但将了解,所属领域的技术人员可在不脱离本发明的精神的情况下,对所说明的过程的装置作出形式和细节上的各种省略、替代和变化。将认识到,本发明可包含在不提供本文所陈述的特征和益处中的所有特征和益处的形式内,因为一些特征可能与其它特征分离地使用或实践。

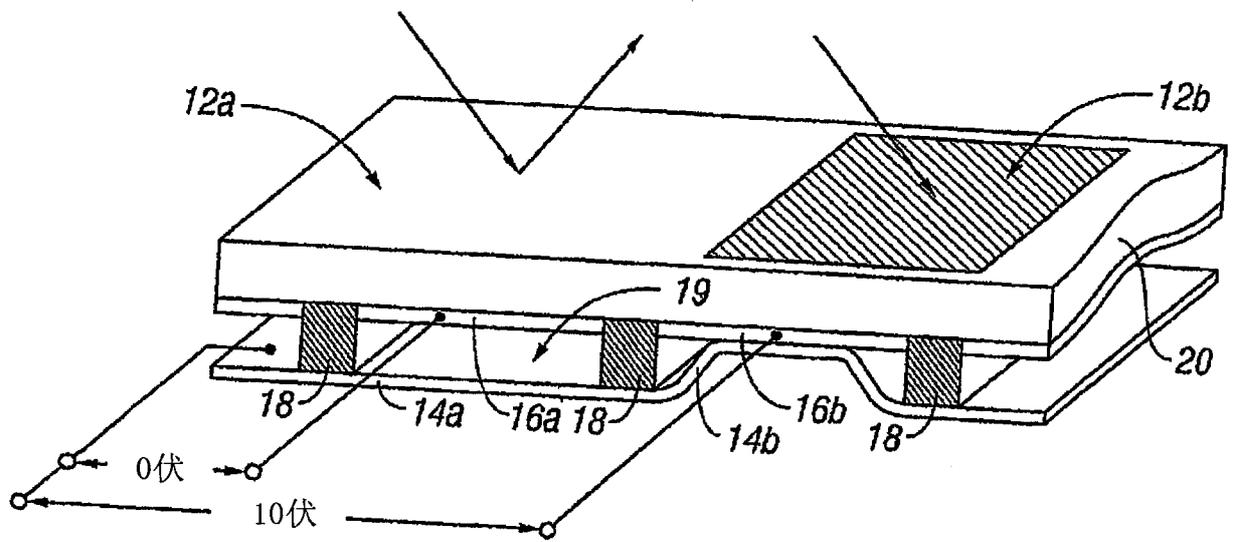


图 1

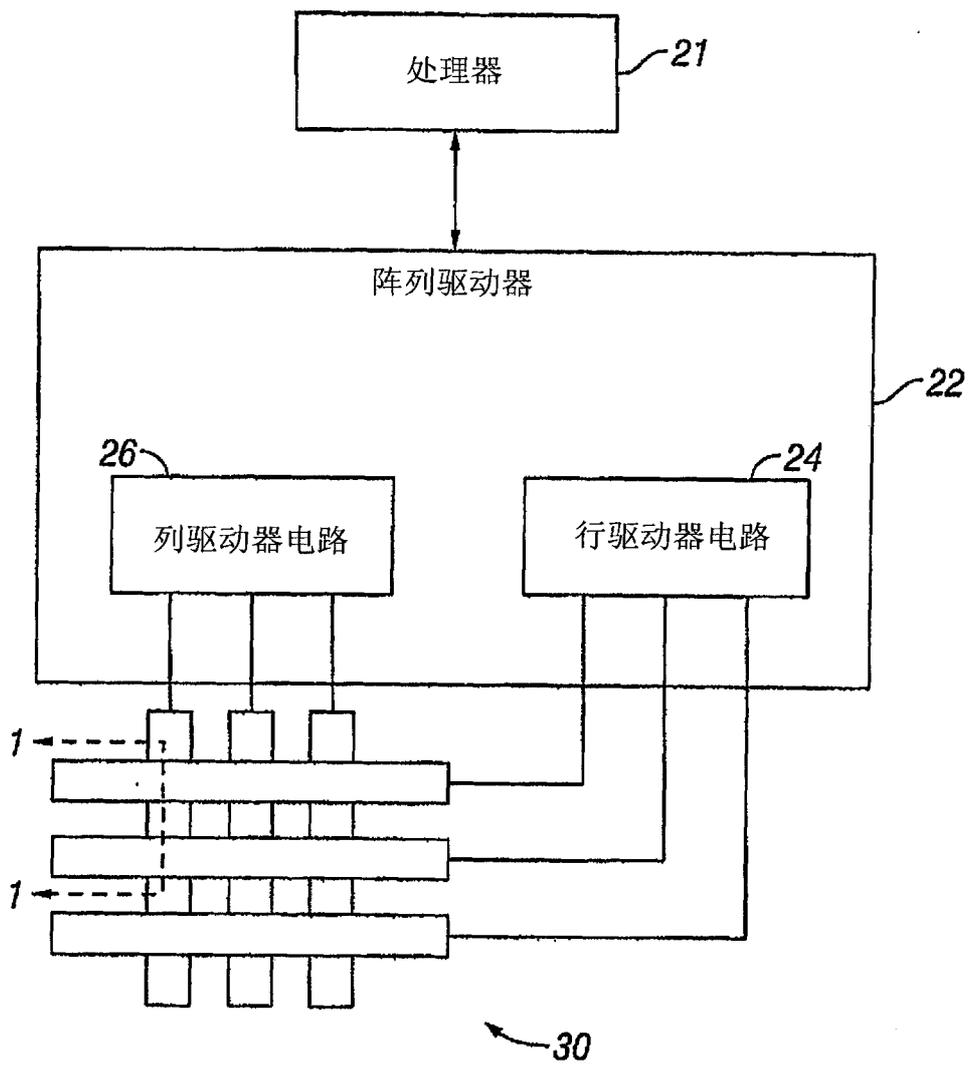


图 2

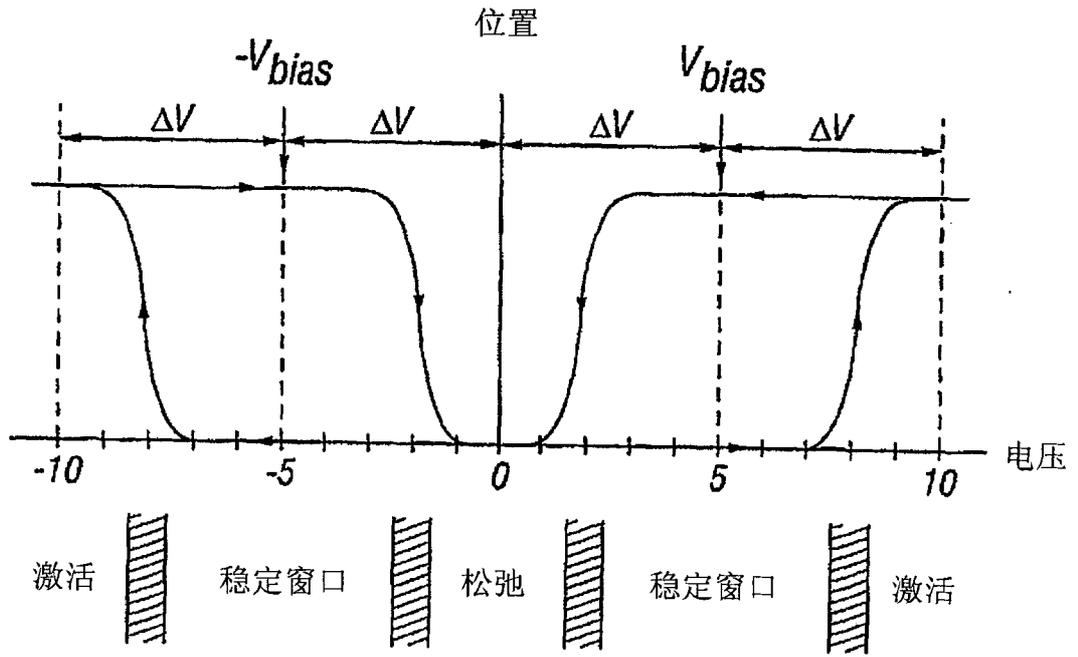


图 3

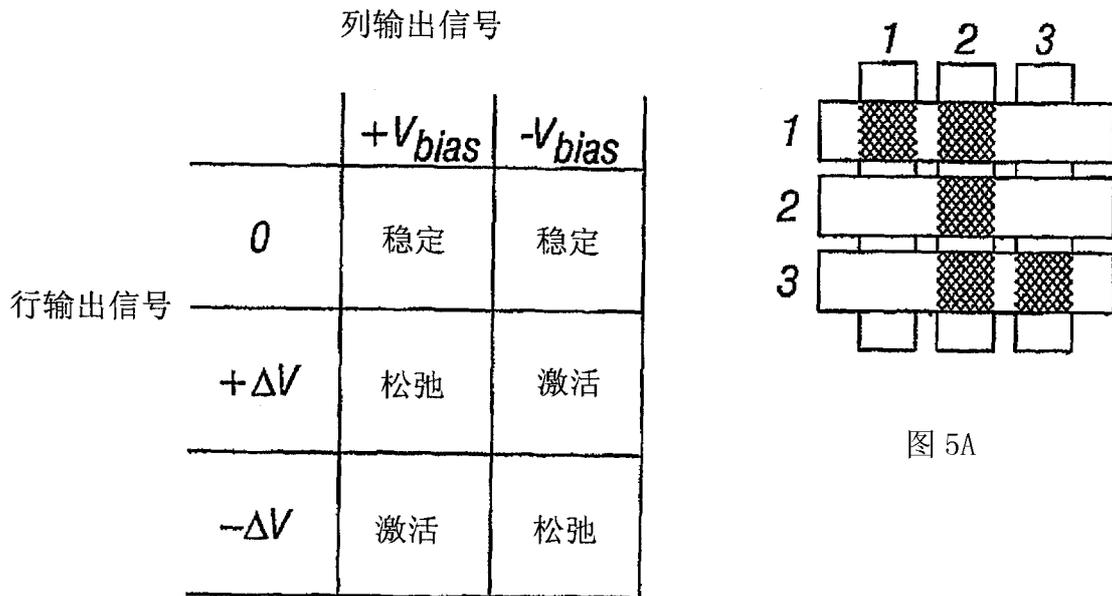


图 5A

图 4

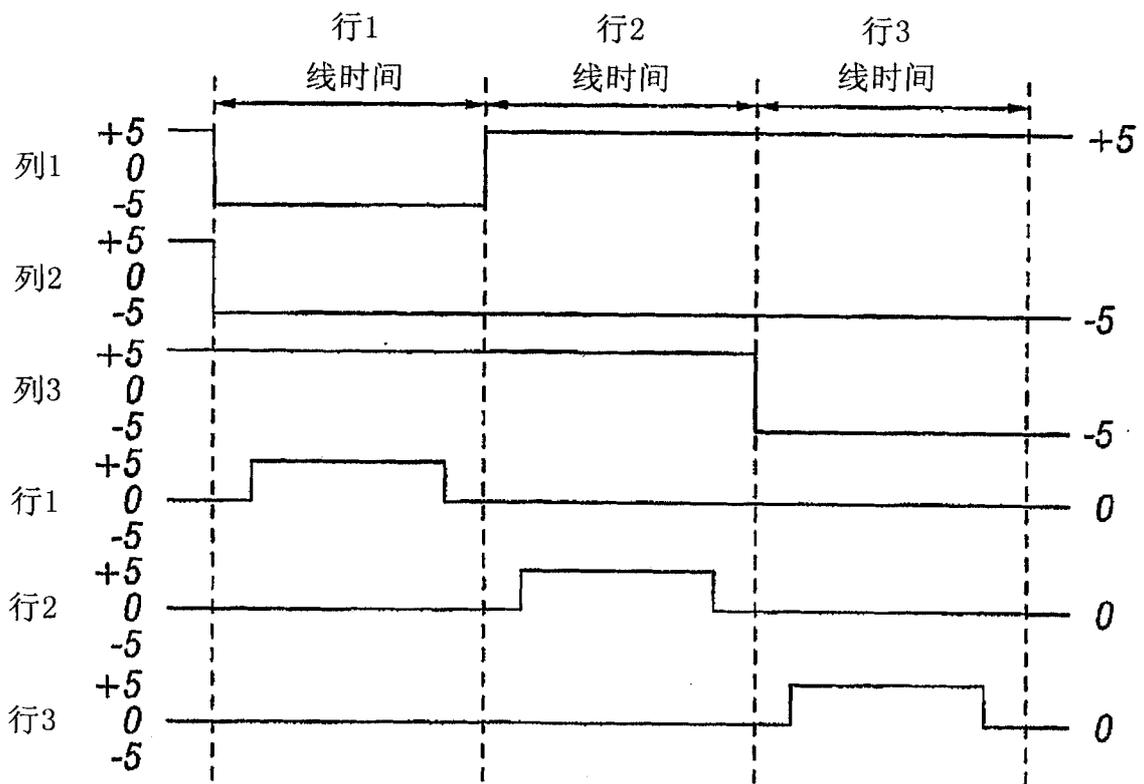


图 5B

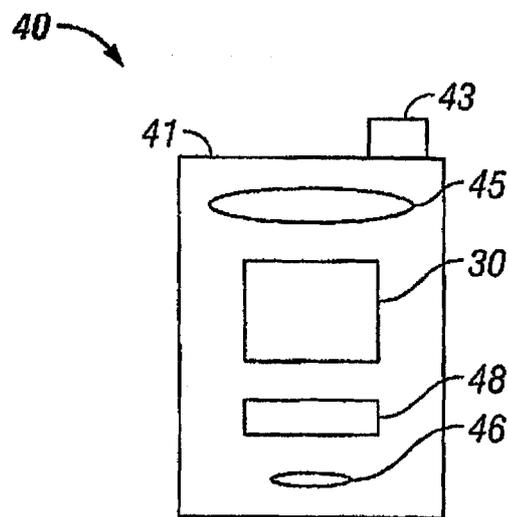


图 6A

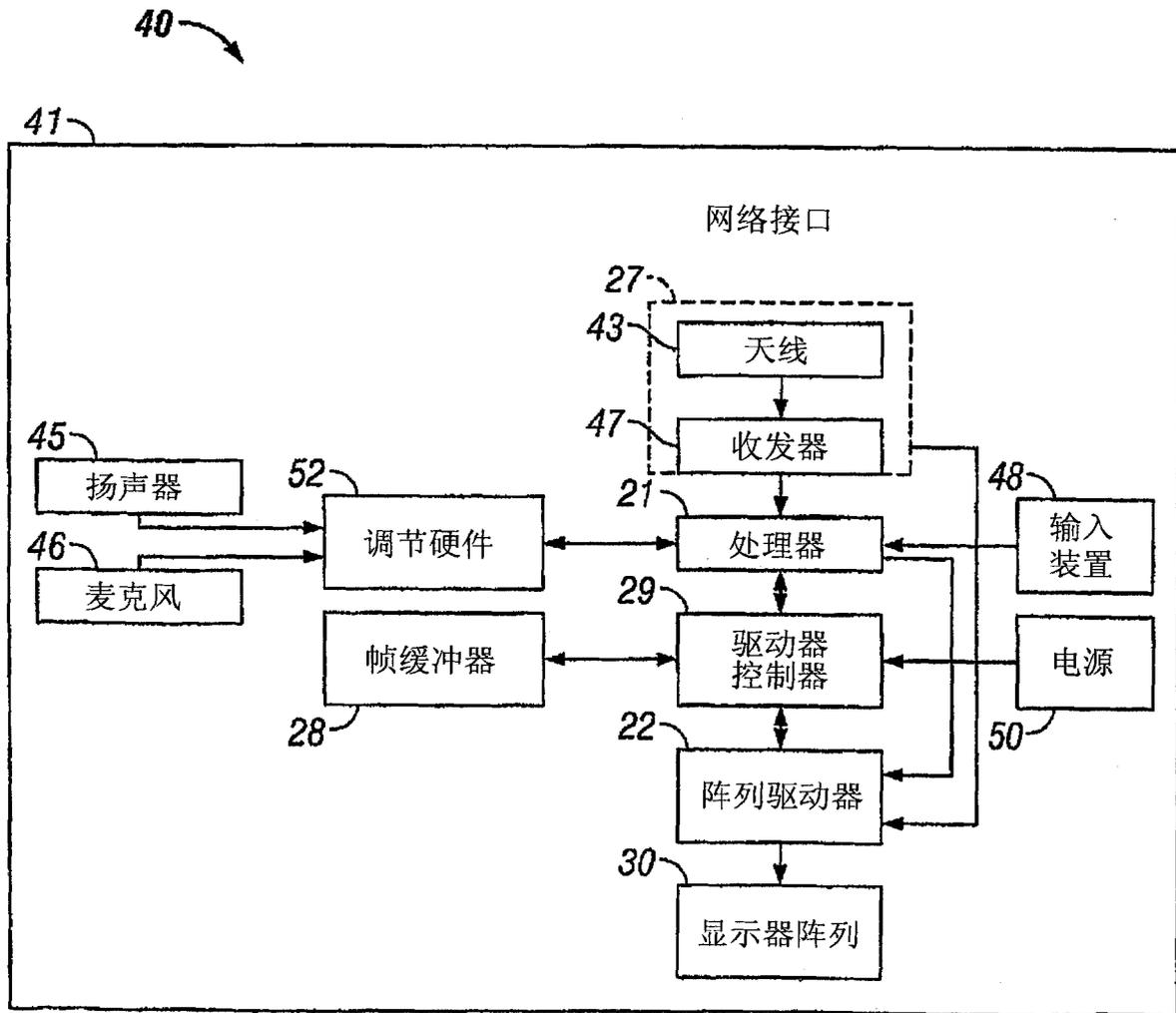


图 6B

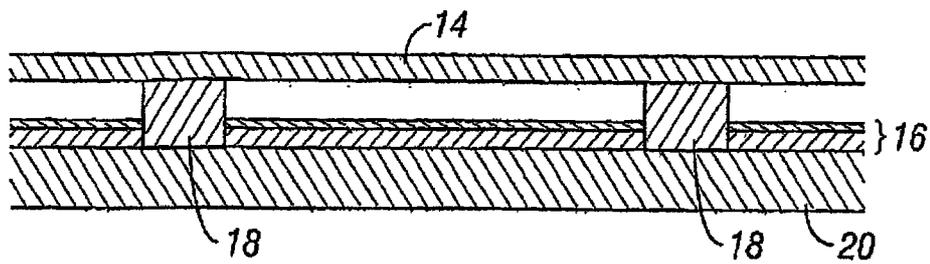


图 7A

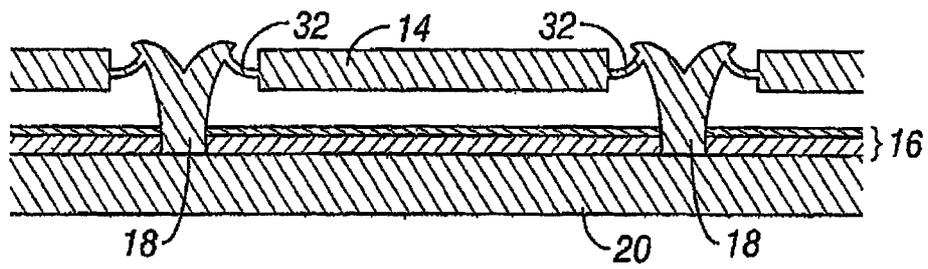


图 7B

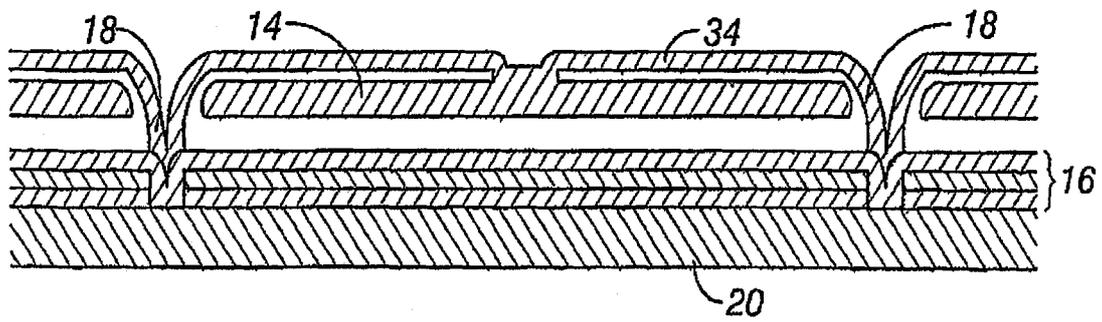


图 7C

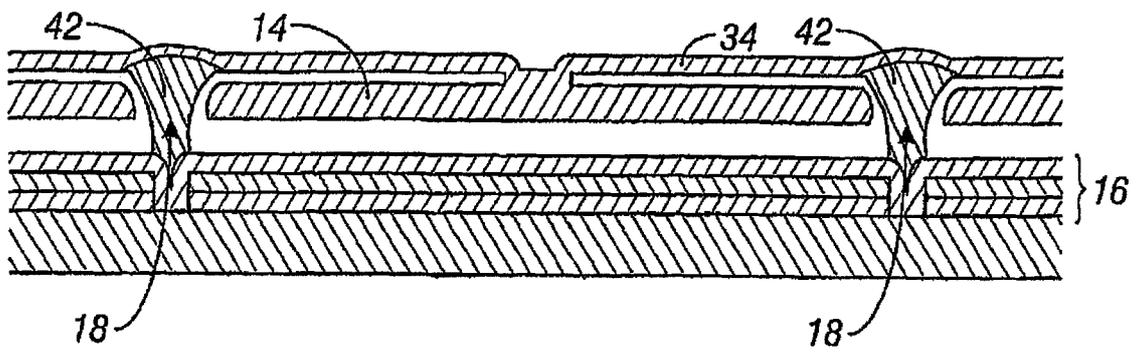


图 7D

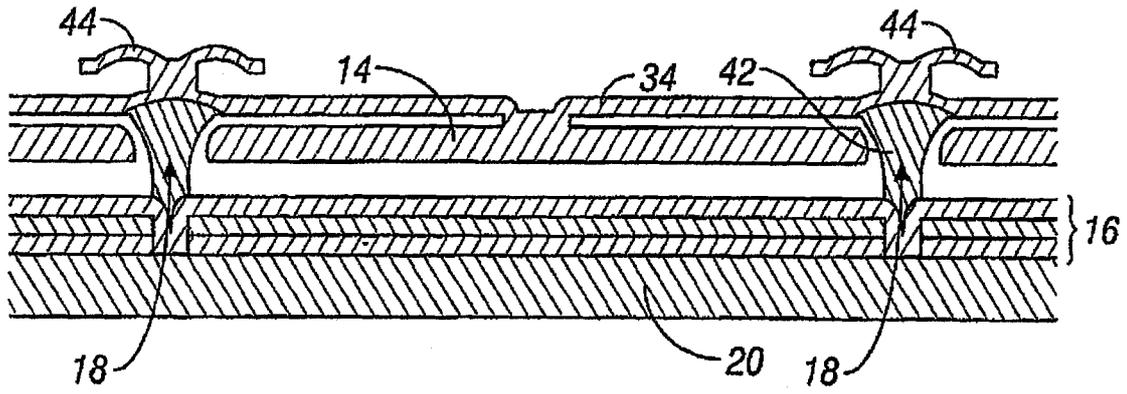


图 7E

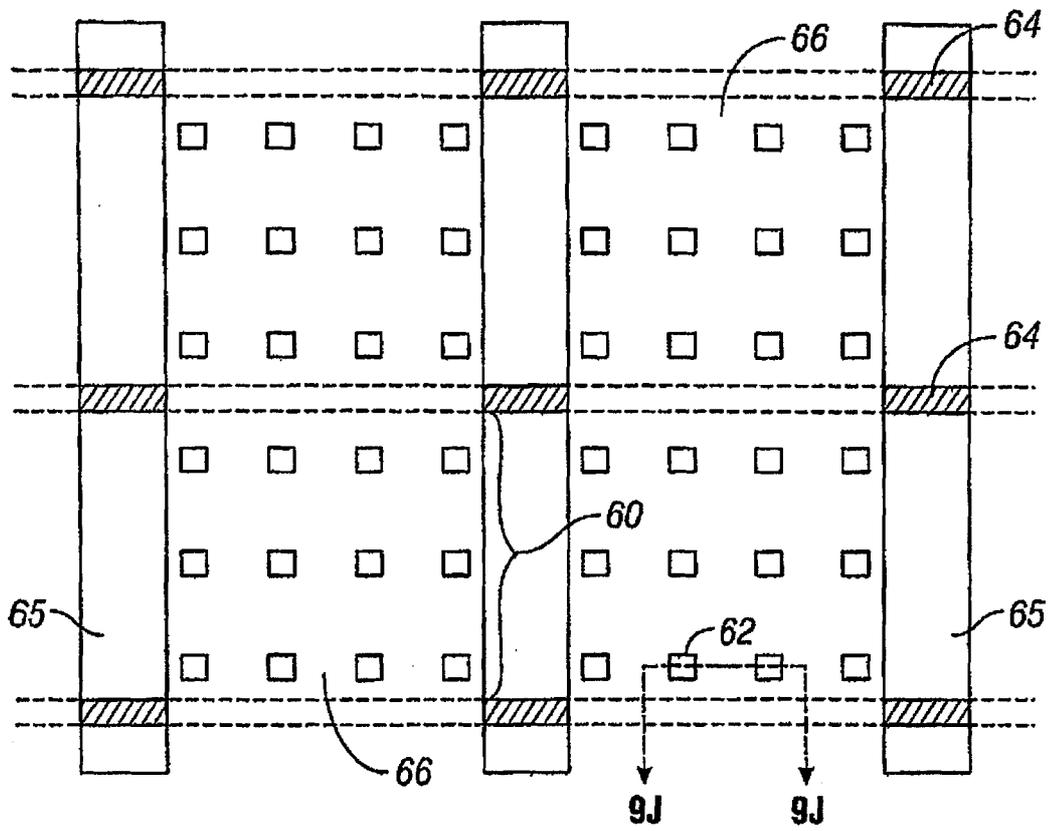


图 8

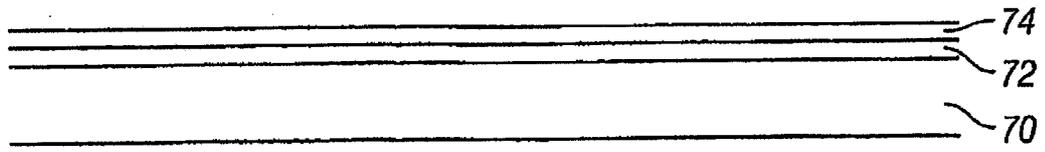


图 9A

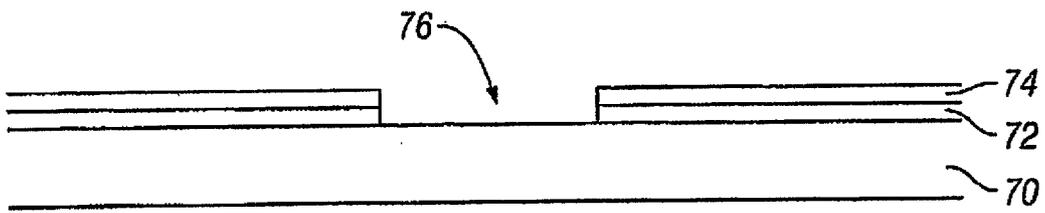


图 9B

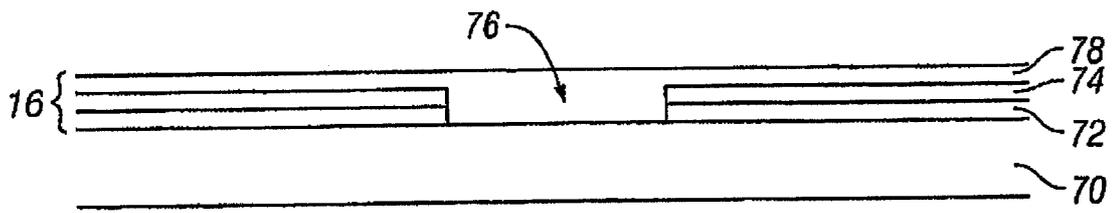


图 9C

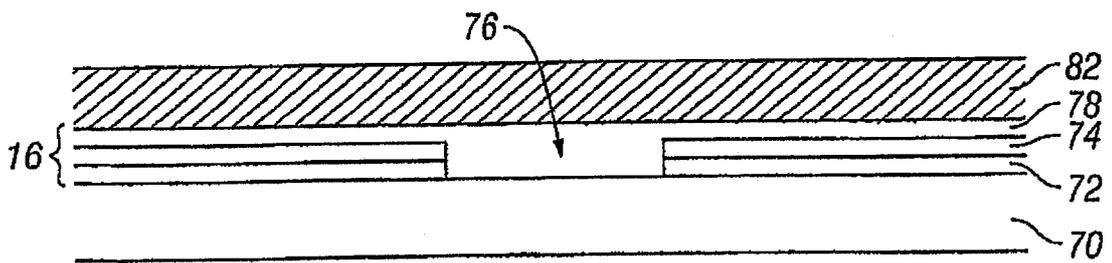


图 9D

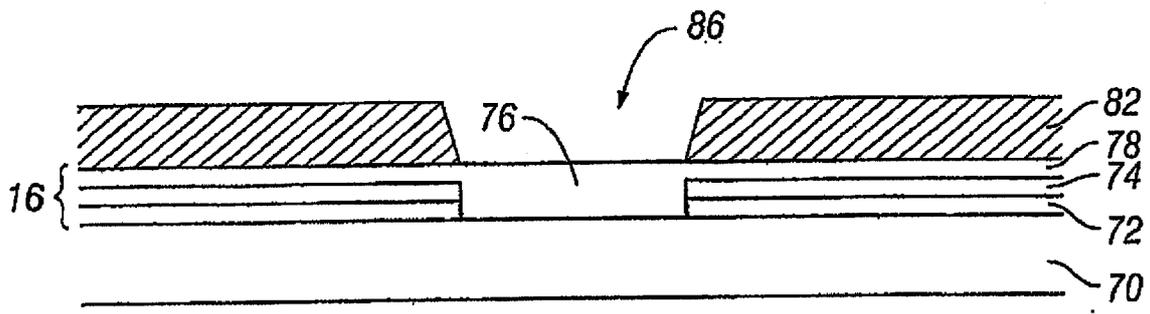


图 9E

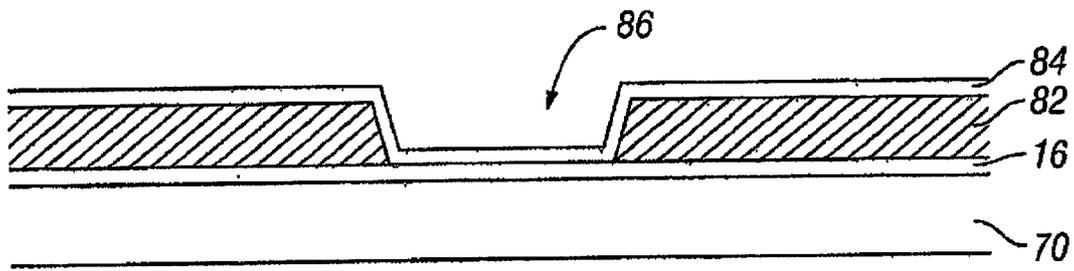


图 9F

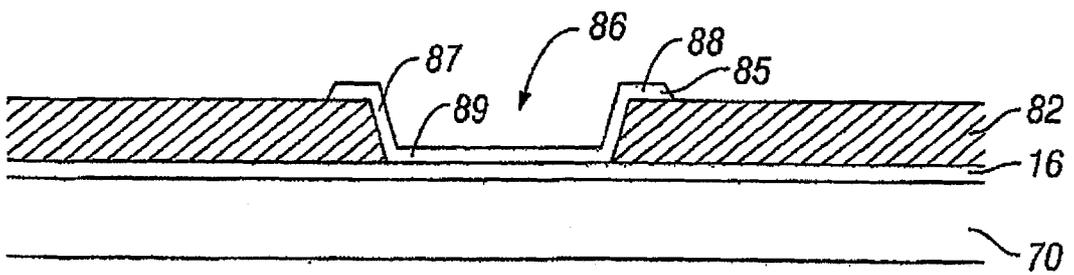


图 9G

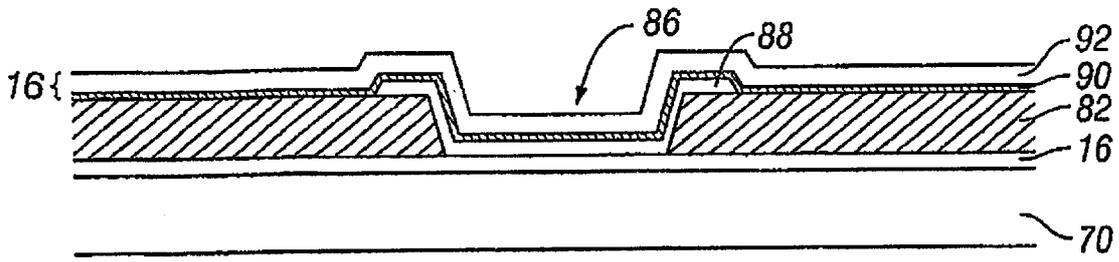


图 9H

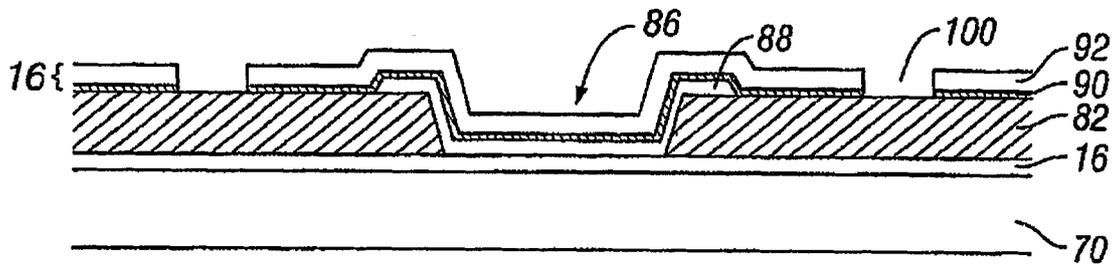


图 9I

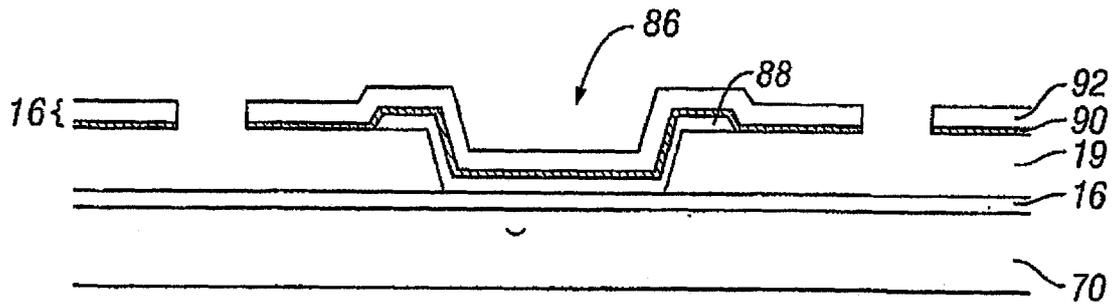


图 9J

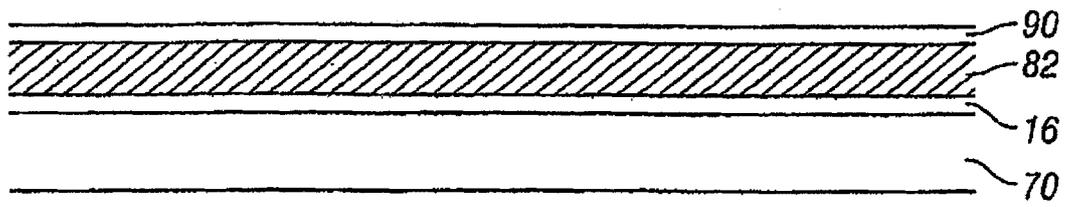


图 10A

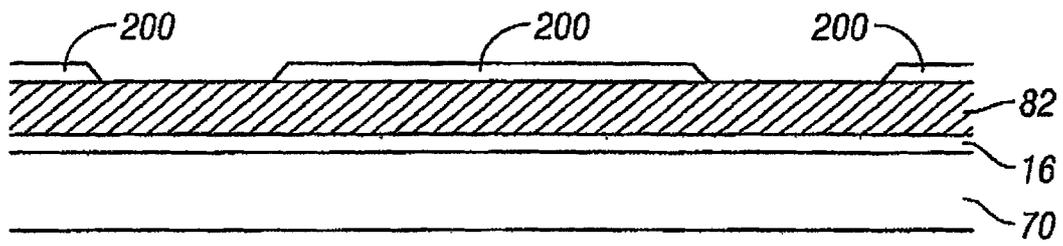


图 10B

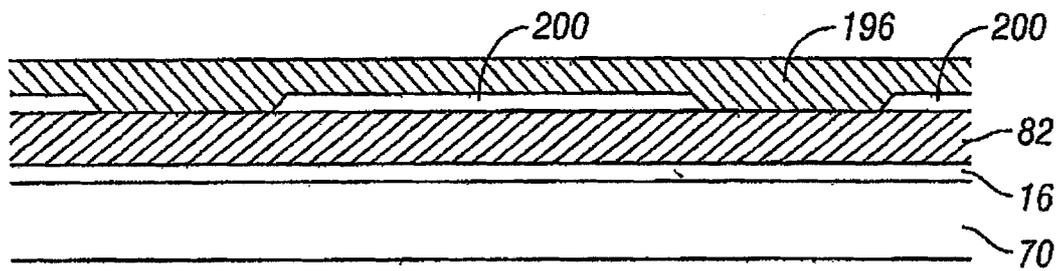


图 10C

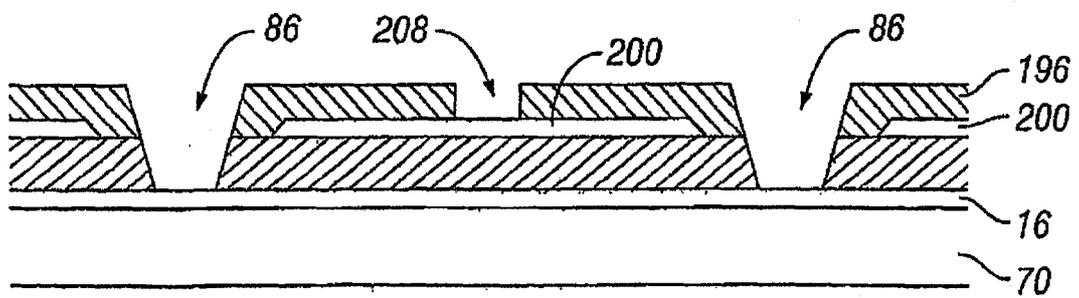


图 10D

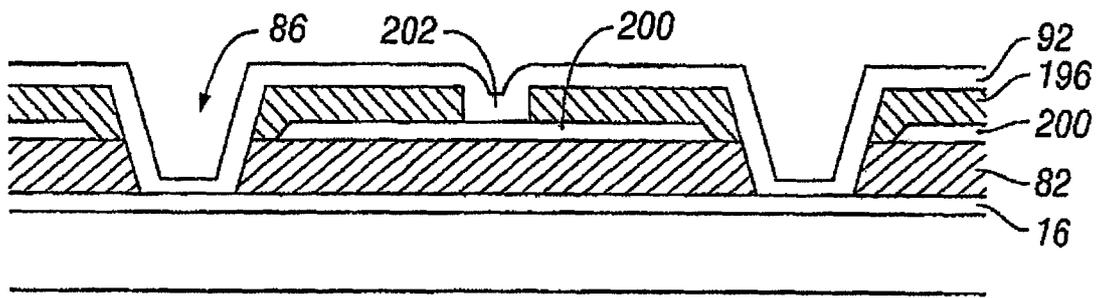


图 10E

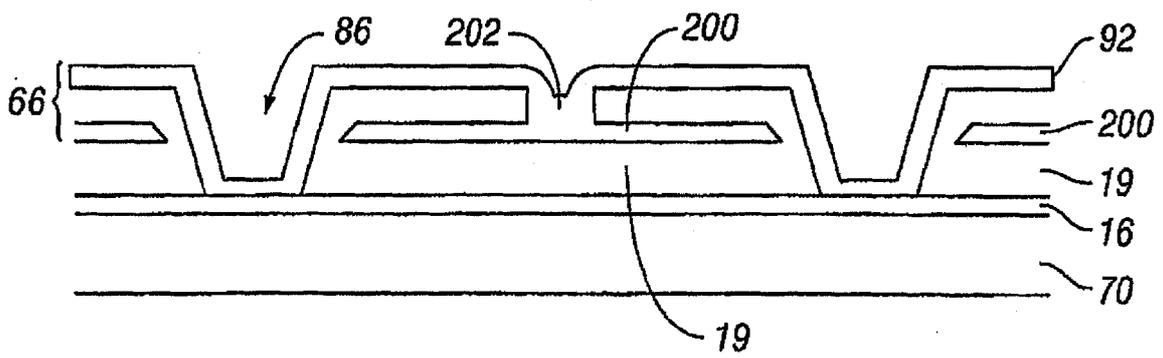


图 10F

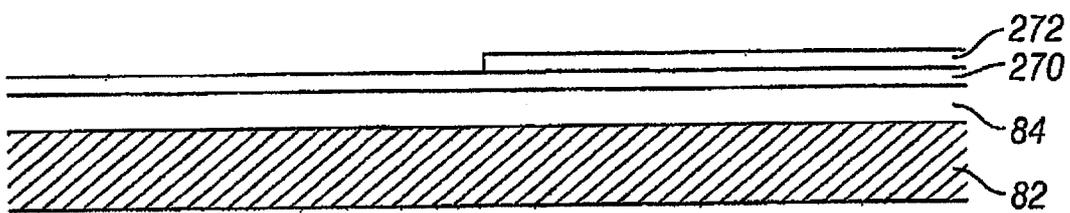


图 11A

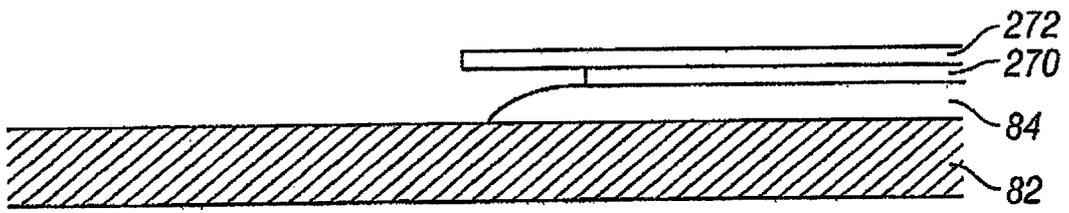


图 11B

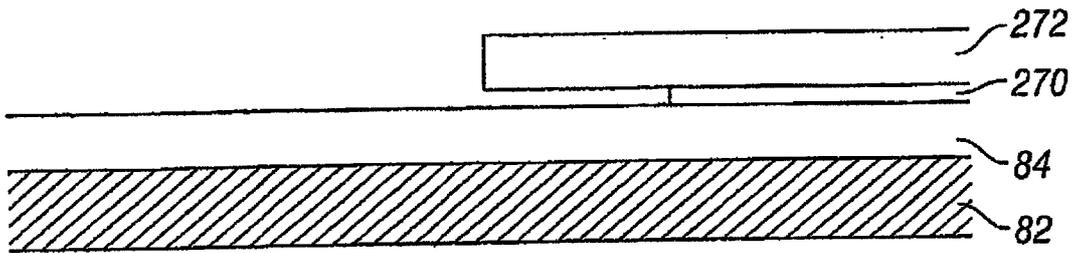


图 12A

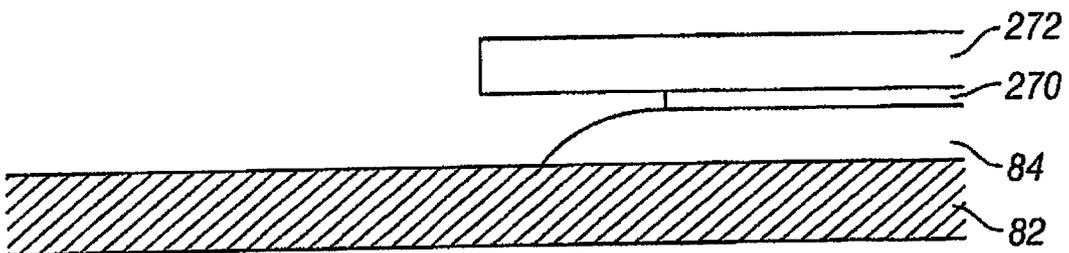


图 12B

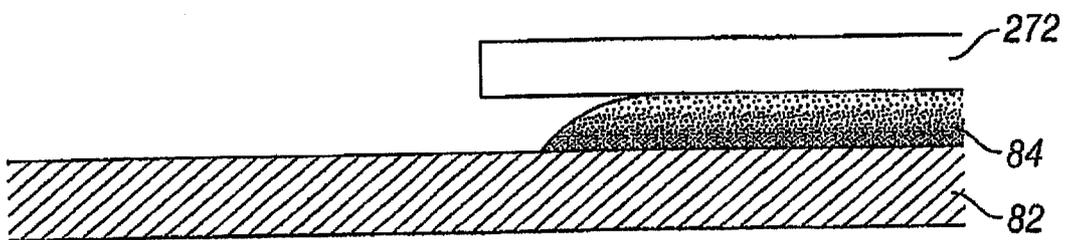


图 13

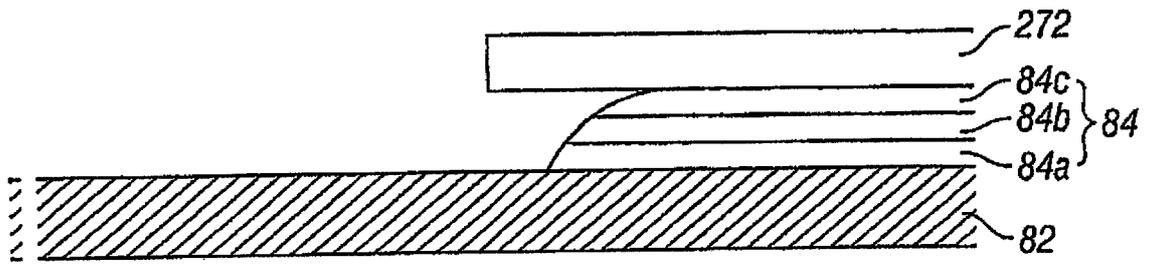


图 14

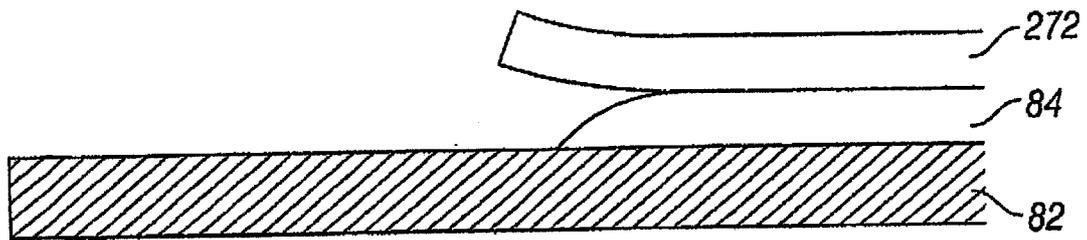


图 15

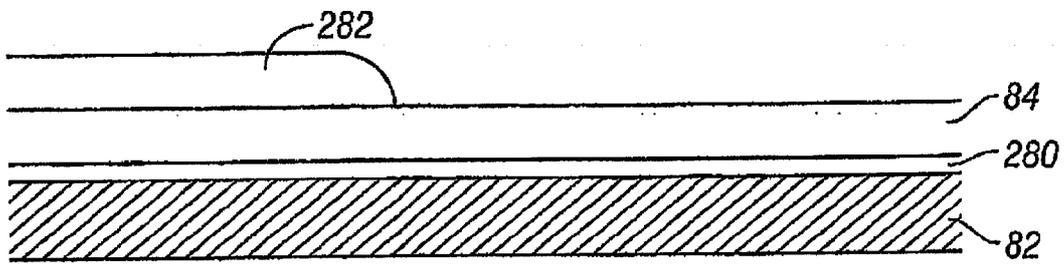


图 16A

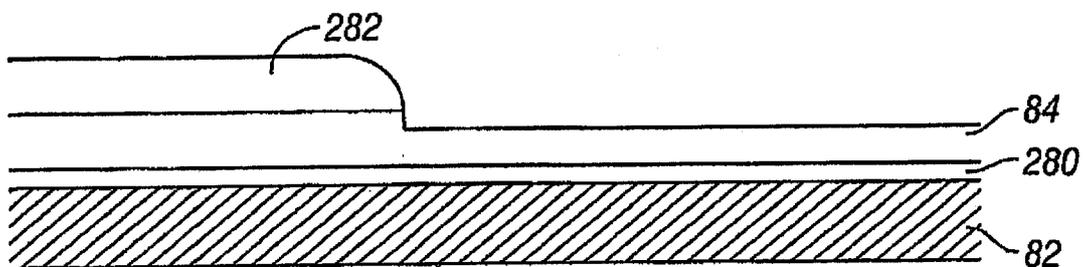


图 16B

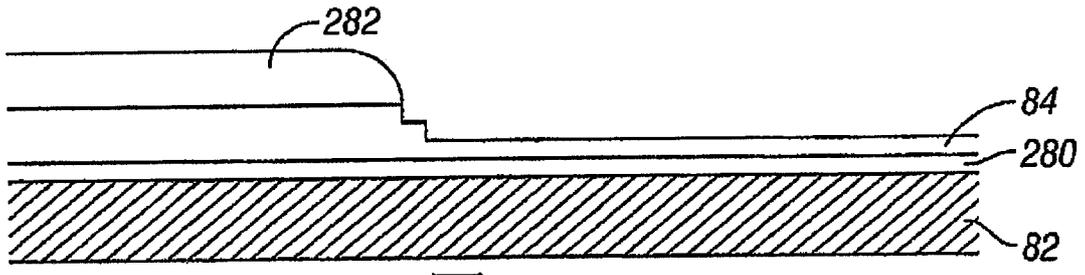


图 16C

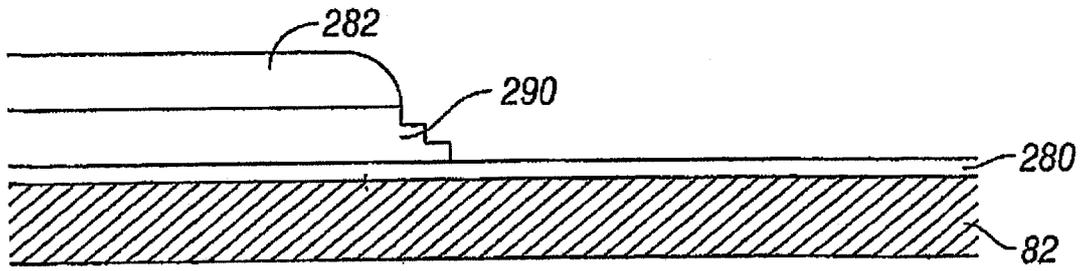


图 16D

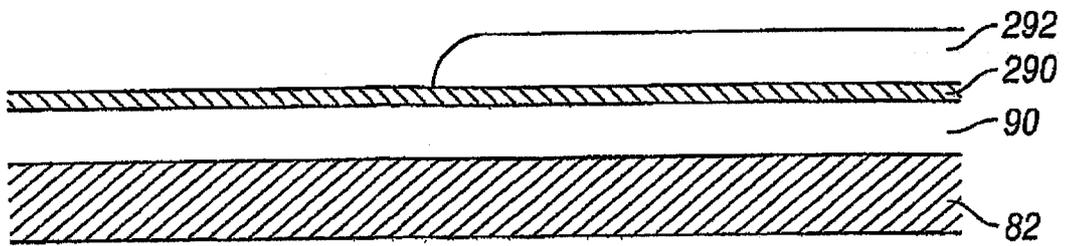


图 17A

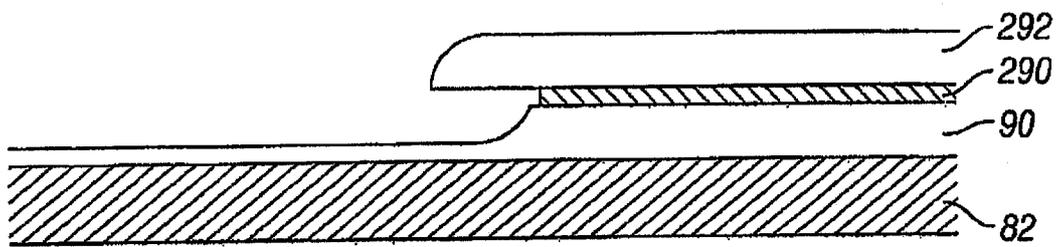


图 17B

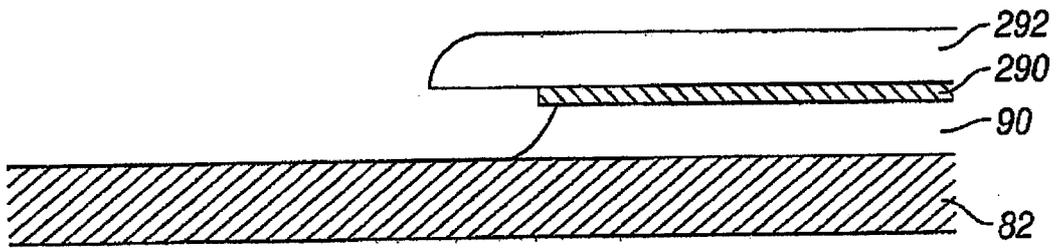


图 17C

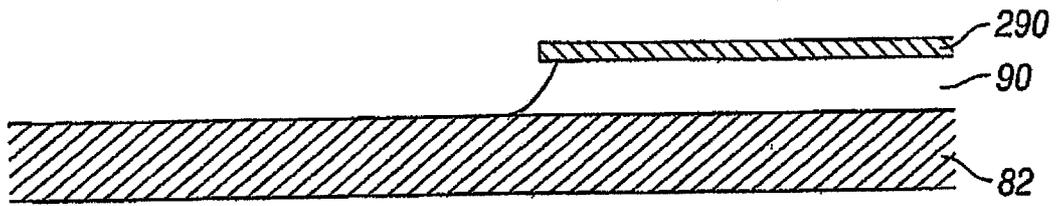


图 17D

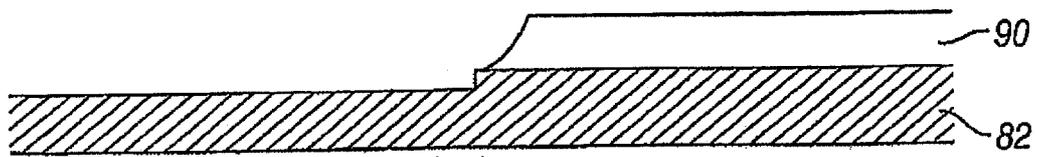


图 17E

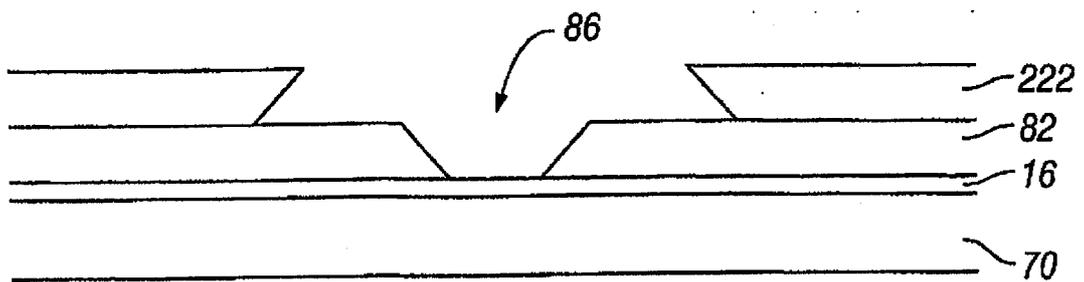


图 18A

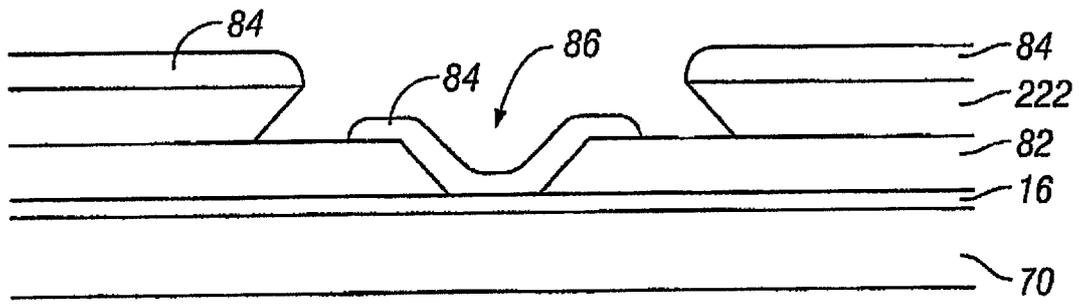


图 18B

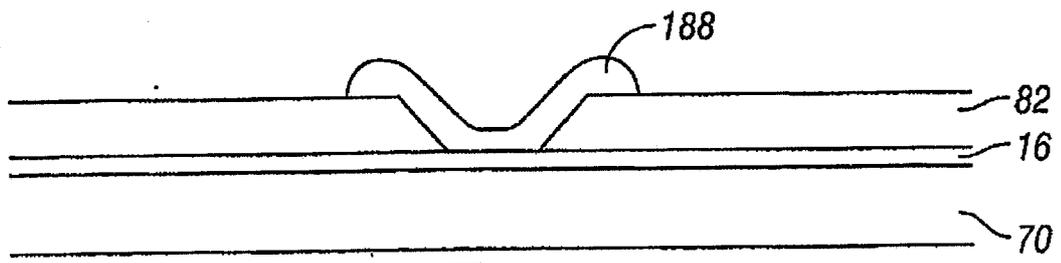


图 18C

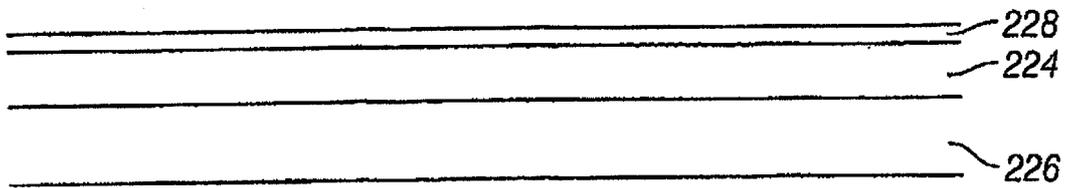


图 19A

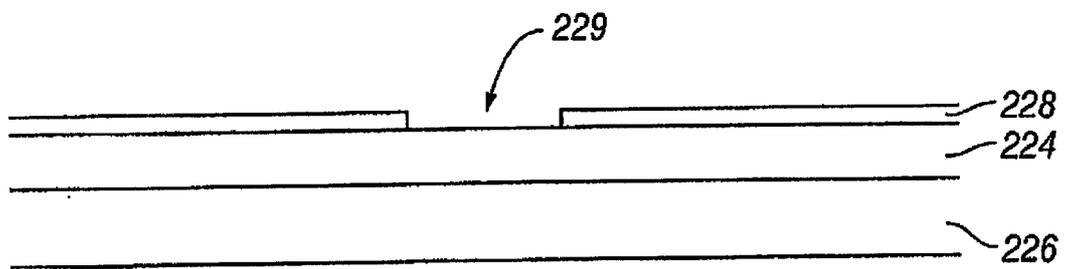


图 19B

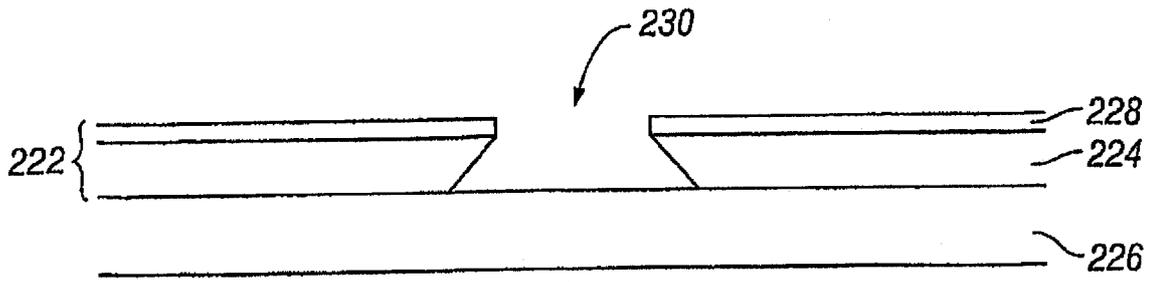


图 19C

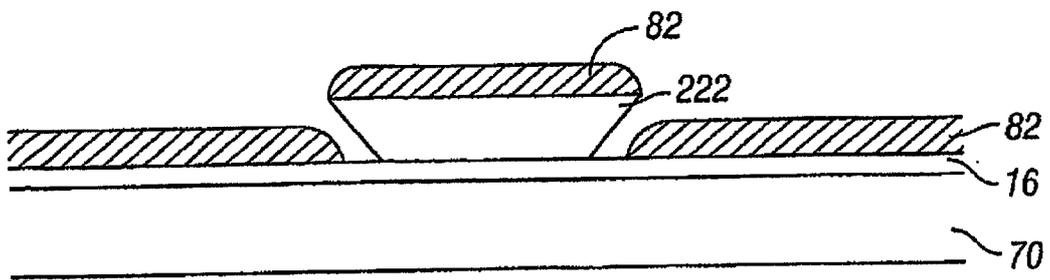


图 20

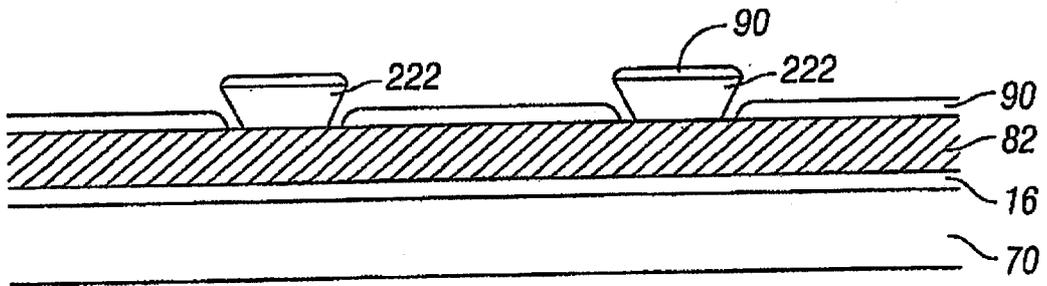


图 21