



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103476702 B

(45) 授权公告日 2016. 02. 10

(21) 申请号 201080071046. 2

G23C 16/40(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 12. 07

(56) 对比文件

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2013. 07. 02

US 2007/0231943 A1, 2007. 10. 04, 说明书第  
0042-0047 段、第 0104-140 段以及附图 4.

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2010/059238 2010. 12. 07

CN 1594066 A, 2005. 03. 16, 全文.

CN 1334594 A, 2002. 02. 06, 全文.

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02012/078139 EN 2012. 06. 14

US 2006/0121630 A1, 2006. 06. 08, 全文.

US 2006/0211163 A1, 2006. 09. 21, 全文.

(73) 专利权人 SPTS 科技有限公司  
地址 英国新港

审查员 薛蕾

(72) 发明人 丹尼尔·J·迈斯特珂

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有  
限公司 11270

代理人 徐川 张颖玲

(51) Int. Cl.

B81C 1/00(2006. 01)

B81B 7/02(2006. 01)

G23C 16/44(2006. 01)

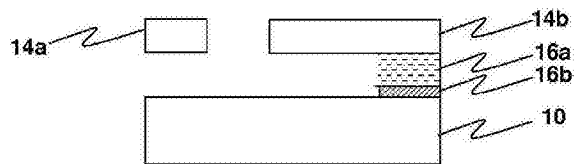
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

用于制造机电系统的方法

(57) 摘要

本申请描述了一种在由机械器件和衬底组成的微机电系统 (MEMS) 或纳机电系统 (NEMS) 的氢氟酸蒸汽 (VHF) 释放过程中避免静摩擦力的方法。在所述衬底与氧化物牺牲层之间和 / 或在器件层与所述氧化物牺牲层之间, 和 / 或在所述器件层背对所述氧化物牺牲层的一侧上提供氮化硅层, 并且在去除牺牲氧化物的一部分的同时, 利用 VHF 将所述氮化硅层转化为更厚的六氟硅酸铵。所述六氟硅酸铵在制作过程中用作限制器件移动的临时的支撑物、垫片、楔状物或系链, 并且之后在加热和 / 或减压下通过升华来去除。



1. 一种用于制造由机械器件和衬底组成的微机电系统或纳机电系统的方法,所述方法包括:

- a) 在所述机械器件与所述衬底之间沉积牺牲氧化硅;
- b) 在选自以下位置组成的组中的一个或多个位置提供氮化硅层:
  - i) 在所述衬底与所述牺牲氧化硅之间;
  - ii) 在所述牺牲氧化硅与所述器件之间;以及
  - iii) 在所述器件上;
- c) 在一定条件下引入氢氟酸蒸汽,以同时
  - i) 去除所述牺牲氧化硅的至少一部分;且
  - ii) 将所述氮化硅的至少一部分转化为六氟硅酸铵,以提供限制器件移动的临时的支撑物、垫片、楔状物或系链;
- d) 在避免液体形成的压力和温度条件下使所述六氟硅酸铵升华,

其中,临时的六氟硅酸铵支撑物、垫片、楔状物或系链直到一个或者多个中间步骤进行之后才通过升华来去除,所述中间步骤选自分割、封装和金属化中,由此在所述一个或多个中间步骤中防止移动。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述器件选自自由非晶硅、多晶硅、硅-锗、铝、钨、钛、氮化钛、铝合金、钨合金、钛合金、它们的组合以及金属-氧化硅堆叠体组成的组中。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述氢氟酸蒸汽包括氢氟酸以及醇或水。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述器件、衬底、氧化硅和氮化硅在所述微机电系统或所述纳机电系统的制作过程中以层提供,并且氮化硅层提供在器件层的每一侧。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述器件、衬底、氧化硅和氮化硅在所述微机电系统或所述纳机电系统的制作过程中以层提供,并且第一氮化硅层提供在衬底层面对器件层的一侧,第二氮化硅层提供在所述器件层面对所述衬底层的一侧,且氧化硅层提供在所述第一氮化硅层与所述第二氮化硅层之间。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述器件、衬底、氧化硅和氮化硅在所述微机电系统或所述纳机电系统的制作过程中以层提供,并且器件层由设计为彼此相对移动或者相对于所述衬底移动的区域组成,其中氮化硅层提供为系链的形式,以在制作过程中限制所述区域彼此相对移动,其中在允许所述区域彼此相对移动时,通过升华来去除氮化硅系链。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述牺牲氧化硅的一部分未被去除而用作锚。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述氮化硅由等离子体增强化学气相沉积或者低压化学气相沉积制造,由等离子体增强化学气相沉积制造的所述氮化硅比由低压化学气相沉积制造的所述氮化硅反应快。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,基于所述氮化硅的至少一部分转化为所述六氟硅酸铵,形成的所述六氟硅酸铵与所述氮化硅的一部分相比具有更大的体积。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,通过所述氢氟酸蒸汽与所述氮化硅的反应形成的所述六氟硅酸铵的量和位置通过选择所述氮化硅的位置、厚度和质量来控制。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述器件选自自由非晶硅、多晶硅、硅-锗、铝、钨、钛、氮化钛、铝合金、钨合金、钛合金、它们的组合以及金属-氧化硅堆叠体组成的组中,其中所述氢氟酸蒸汽包含氢氟酸以及醇或水,其中所述牺牲氧化硅的一部分未被去除而用作

锚,其中基于所述氮化硅的至少一部分转化为所述六氟硅酸铵,形成的所述六氟硅酸铵与  
所述氮化硅的一部分相比具有更大的体积。

12. 一种根据权利要求 11 所述的方法制造的微机电系统或纳机电系统。
13. 一种根据权利要求 1 所述的方法制造的微机电系统或纳机电系统。

## 用于制造机电系统的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及制造包括纳机电系统 (NEMS) 和微机电系统 (MEMS) 的机电系统的领域。更具体地,本发明涉及使用氢氟酸蒸汽刻蚀来制作 MEMS 和 NEMS 的方法。

### 背景技术

[0002] NEMS 是现代机械系统,其中,一个或者多个机械零件在所有方向上都小于一微米。NEMS 和较早的 MEMS 技术是熟知的由支撑大的平板的细长梁构成的器件,这些梁在牺牲层的顶部形成图案并且在一个或者多个点锚定于下面的衬底上。在器件完成后,牺牲层被刻蚀掉,并且平板和梁除了锚定点之外可以自由移动。

[0003] 许多专利和其它出版物公开了制作 NEMS 和 MEMS 的各种方法。例如,Mastrangelo 在美国专利 5258097 中公开了一种通过沉积能够用湿法刻蚀技术去除的牺牲层(例如,二氧化硅)来在硅衬底上制作微结构的方法。在牺牲层中形成空隙区域,并且之后通过在至少一个孔沉积抗牺牲层刻蚀剂的支柱形成层以填充空隙区域和下凹区域,所述支柱形成层之后在残余的牺牲层的湿法刻蚀过程中向结构层提供支撑。

[0004] 其它的解决了与 NEMS 有关而与 MEMS 无关的问题,例如 Carley 在美国专利公开 2010/0061143 中通过将梁构建为独立的不相连的物体解决了构建纵横比小的梁的问题。Rueckers 等在美国专利 6911682 中解决了对用于存储单元生长的纳米管线或纳米管带的几何的统计方差进行控制的问题。Beyer 等在美国专利 7078352 中通过刻蚀孔并且在孔中沉积导电材料解决了通过使用氢氟酸 (HF) 溶解  $\text{SiO}_2$  牺牲层的空气腔的互连线之间隔离的问题。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种在制造 NEMS 或者 MEMS 的过程中对器件层的移动部件进行固定的方法。本发明的另一目的在于提供一种制造 NEMS 或者 MEMS 的方法,该方法在牺牲氧化物的去除过程中或者之后不产生静摩擦力。又一目的在于提供包括通过现有技术方法无法达到的尺寸、形状和 / 或位置特征的 MEMS 和 NEMS。

[0006] 这些目的以及从下面的公开内容和附图中将变得明显的其他目的通过本发明实现,本发明从一个方面包含在制造 NEMS 或者 MEMS 的过程中对器件层的移动部件进行固定的方法以及所得的 MEMS 或 NEMS。在衬底与氧化物牺牲层之间和 / 或在器件层与氧化物牺牲层之间,和 / 或在器件层背对氧化物牺牲层的一侧上提供氮化硅层,并且在去除牺牲氧化物的一部分的同时,利用氢氟酸蒸汽 (VHF) 将氮化硅层转化为更厚的六氟硅酸铵。六氟硅酸铵在制作过程中充当限制器件移动的临时的支撑物、垫片、楔状物或系链 (tether),并且之后在加热和 / 或减压下通过升华来去除。在某些实施方式中,直到进行一个或者多个中间步骤之后才通过升华来去除氮化硅,所述中间步骤选自切割、封装和金属化中,从而在一个或者多个中间步骤期间防止移动。

[0007] VHF 刻蚀通常用作对小型 MEMS 或 NEMS 的湿法刻蚀进行改进的方法,特别是涉及

静摩擦力的时候。当两个平坦的小部件的表面上残留的水拉动它们使这两个部件在范德华力的约束下相互接触时出现静摩擦力。对于大的牺牲氧化物间隙 ( $> 1\mu\text{m}$ ), VHF 方法参数 (例如, 压强、温度和反应物的比例) 能够有助于最小化或消除静摩擦力的影响。然而, 当氧化物牺牲层变得非常薄, 和 / 或柔性部件 (compliant feature) (例如, 梁和弹簧) 之间的间隙变得非常窄时 (正如 NEMS 的情况), 可能存在将水减少到能够防止静摩擦力的水平的限制。一个关键原因是, VHF 刻蚀反应的副产物是水。所以, 在方法中不存在水的情况下进行刻蚀在物理上是不可能的。一种是仅能够通过降低反应速率来减少产生的水的流量, 由此降低了刻蚀速率。根据已知的配方和方法制成并引入 VHF, 并且 VHF 包含氢氟酸以及醇或水。

[0008] 本发明利用了在对另一标准半导体材料氮化硅 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 使用 VHF 刻蚀方法时发生的两个独特的现象。已知的是, 氮化硅在 VHF 处理中能够反应并且转化为氟化铵 ( $(\text{NH}_4)\text{F}$ ) 和 / 或六氟硅酸铵 ( $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ )。它们是氟化物盐且这些盐的转化层趋于变厚, 与开始的氮化硅材料相比具有更大的晶粒度。结合的双材料膜 (氮化硅上有硅氟酸铵) 在暴露于刻蚀方法时厚度增长。转化的氮化硅盐的另一现象在于, 根据下面的方程式, 转化的氮化硅盐能够在相对低温和真空压力下升华。



[0010] 本发明利用这两个现象以开发一种在 VHF 释放 (release) 过程中或者在 VHF 释放的后续处理过程中对器件层的移动部件进行固定的新方法。该方法通过使用邻接于氧化物牺牲层或者横跨两个或者更多个移动部件的一个或者多个氮化物层来完成。在氮化物层位于器件层和氧化物层之间和 / 或位于氧化物层和衬底层之间的实施方式中, 氮化物层的厚度选择为, 在氧化物牺牲层被刻蚀后, 转化后的氮化物层的最终厚度接近但未完全填充器件层和衬底之间的间隙。这就保证最初由氮化物 / 牺牲氧化物堆叠体支撑的器件现在由一个或多个氟硅酸铵层支撑。在这些实施方式中, 可以在器件层上放置额外的氮化物层以抵消氮化物层被转化时器件层下的氮化物层的挠曲力。在氮化物层用作器件层之上的系链的实施方式中, 氮化物同时转化为氟硅酸铵以及系链、梁状物、弹簧或器件层的其他部件, 使得它们在进一步处理中不会损坏。在某些实施方式中, 器件层由设计为彼此相对移动或者相对于衬底移动的区域组成, 其中氮化硅层提供为系链的形式, 以在制作过程中限制所述区域彼此相对移动, 并且其中在允许所述区域彼此相对移动时, 通过升华去除氮化硅系链。

[0011] 之后该结构在低于升华曲线的温度和压力条件下暴露到真空烘干中, 由此对硅氟酸铵支撑结构进行升华, 从而在没有水作为释放方法的一部分的情况下释放器件。

[0012] 器件层可以是本领域所使用的任何适合的材料, 包括例如非晶硅、多晶硅、硅-锗、铝、钨、钛、氮化钛、铝合金、钨合金、钛合金、它们的组合以及金属-氧化硅堆叠体。

## 附图说明

[0013] 在阅读下面的详细说明并且参考附图的基础上, 本发明的其它目的和优点将变得明显, 其中:

[0014] 图 1a 到 1j 为根据本发明的 NEMS 堆叠体的一系列横断面视图, 该横断面视图示出了通过将包括三个氮化硅层的层沉积到衬底上、图案化堆叠体、VHF 刻蚀步骤以及升华步骤来建立 NEMS 堆叠体的连续步骤;

[0015] 图 2a 到 2d 为根据本发明的 NEMS 堆叠体的一系列横断面视图,该横断面视图示出了包括两个氮化硅层的形成图案的 NEMS 堆叠体的 VHF 刻蚀以及升华步骤的连续步骤;

[0016] 图 3a 到 3d 为只有一个氮化硅层、由 VHF 部分处理完成 VHF 步骤并升华以释放器件层的形成图案的 NEMS 堆叠体的一系列横断面视图;

[0017] 图 4a 到 4d 为包含氮化硅系链层的形成图案的 NEMS 堆叠体的一系列部分截面图的透视图,所述氮化硅系链层起到维持器件层部件在 VHF 刻蚀以及后续工序步骤中不移动的作用,并在升华步骤中被去除。

[0018] 图 5a 到 5d 为不同于图 4a 到 4d 的实施方式的包含氮化硅系链层的形成图案的 NEMS 堆叠体的一系列部分截面图的透视图,该氮化硅系链层起到维持器件层部件在 VHF 刻蚀以及后续工序步骤中不移动的作用,并在升华步骤中被去除。

### 具体实施方式

[0019] 虽然本发明的 NEMS 方面的几个实施方式在下面会详细说明,但是在利用 VHF 的释放过程中避免静摩擦力以及在处理步骤中防止器件构件(例如,梁、弹簧以及类似物)移动的问题适用于 MEMS 和 NEMS,本领域技术人员将会且应该理解,本发明同样适用于其它的微机电系统(MEMS)以及纳机电系统(NEMS)。

[0020] 首先参考图 1a 到 1j 对根据本发明的方法的实施方式进行说明,其中,在一系列步骤中建立并且最终释放 NEMS 堆叠体。初始衬底 10 示在图 1a 中。根据实施方式,沉积一个或多个氮化硅层。图 1b 示出了第一氮化硅层 11,随后是氧化物牺牲层 12(图 1c)、氮化硅中间层 13(图 1d)、结构或器件层 14(图 1e)以及氮化物顶层 15(图 1f)的沉积。在示出的实施方式中, SiN 层为 200 埃厚,且氧化物层为 500 埃厚。如本领域所知,结构或器件层的厚度可以变化,即使在具体的层叠体内也可以变化。在示出的实施方式中,器件层 14 为 500 埃厚。

[0021] 图 1g 示出了层 15、14 和 13 分隔为单独的段 15a 和 15b、14a 和 14b 以及 13a 和 13b,但未刻蚀牺牲层 12。图 1h 示出了部分 VHF 方法释放步骤的结果,所述部分 VHF 过程释放步骤去除了一些牺牲氧化物 12 并同时氮化硅 11、13a、13b、15a、15b 的其中一些转化为六氟硅酸铵 17a、17b、17c 或相比在 VHF 步骤之前存在的氮化硅占用更大体积的相关化学物质。VHF 包含氢氟酸(HF)以及醇或水蒸汽,并且引入氮气。本实施方式中,VHF 步骤在 45°C 和 100 托下进行,但是在其它实施方式中,大约 20 到 100°C 的温度和 10 托到大气(760 托)的压力都是合适的。在该释放步骤过程中, SiN 层 17b 和 17c 随着 SiN 层 17b 和 17c 与 HF 反应形成六氟硅酸铵且氧化层被去除而膨胀,直到膨胀的 SiN/六氟硅酸铵层相互非常靠近以阻止梁由于静摩擦力塌陷到衬底上为止。膨胀的 SiN/六氟硅酸铵 17a 用于抵消在层 17b 形成时由层 17b 施加的任何应力。

[0022] 图 1i 示出了完成 VHF 释放后的 NEMS 堆叠体,其中,六氟硅酸铵 17a 从顶部支撑梁 14a 和 14b,六氟硅酸铵 17b 在器件层 14a 的底部,并且六氟硅酸铵 17c 在衬底 10 的顶部。未反应的氮化硅部分 16a 和 16c 以及未反应的牺牲氧化物 16b 形成锚。在本实施方式中,锚 16a、16b、16c 支撑器件部分 14a,并且在产生图 1j 中所示的最终器件堆叠体的升华步骤之后保留在合适的位置。图 1j 示出了六氟硅酸铵 17a、17b 和 17c 已经通过升华步骤去除。

[0023] 图 2a 到 2d 为根据本发明的 NEMS 堆叠体的一系列横断面视图,该横断面视图示出

了包括两个氮化硅层 11 和 13a 到 13b 的 NEMS 堆叠体的形成图案的 VHF 刻蚀以及升华步骤的连续步骤。形成图案的堆叠体 2a 用 VHF 进行部分处理以将氮化硅层 11 和 13a 到 13b 的每一层的一部分转化为膨胀的六氟硅酸铵 17b、17c，并且同时去除牺牲氧化物 12 的一部分。图 2c 示出了经过释放和去除全部所需的牺牲氧化物 12 (图 2a) 之后，并留下用于梁 14b 的由未反应的氮化硅 16a、16c 以及未反应的牺牲氧化物 16b 组成的锚的堆叠体。梁 14b 不再被支撑并且现在按照设计自由移动。

[0024] 图 3a 到 3d 示出了只有一个氮化硅层 11 的堆叠体。图 3a 中形成图案的器件层在器件层中产生了由氧化物牺牲层 12 支撑的梁 14b 和其它构件 14a，所述氧化物牺牲层 12 在氮化硅层 11 之后沉积在初始衬底 10 的顶部。图 3b 示出了部分 VHF 释放的结果，图 3c 示出了完成的 VHF 释放，锚由未反应的氮化硅 16b 和未反应的氧化物 16a 组成，其中作为氮化硅的膨胀形态的六氟硅酸铵支撑梁 14b 和构件 14a。在产生图 3d 所示的完全释放的 NEMS 器件的升华步骤中六氟硅酸铵以无水的方式被去除。

[0025] 图 4a 到 4d 示出了本发明的另一实施方式，其中，氮化硅带 15 沉积在预形成图案的器件层 13 上以在 VHF 释放步骤中固定器件层 13 的各个段。在 VHF 处理步骤中，氮化硅 15 被转化为六氟硅酸铵 17 并且牺牲氧化物 12 的多个部分被去除，由此产生图 4b 中所示的中间堆叠体。图 4c 中牺牲氧化物 12 的设计部分未被去除并且作为图 4d 中所示的升华后的最终器件中支撑器件层的各个段或构件 13 的锚 16。

[0026] 图 5a 到 5d 为部分以横截面示出了使用至少部分转化为用作形成图案的 NEMS 堆叠体的系链的六氟硅酸铵的氮化硅的另一实施方式的一系列透视图，该系链起到维持器件层部分在 VHF 刻蚀以及后续工序步骤中不移动的作用，并在升华步骤中被去除。在此实施方式中，如图 5a 所示，器件层 13 在衬底 10 上的牺牲氧化硅层 12 上形成图案。具有刻蚀孔 18 的氮化硅层 15 完全覆盖器件层的三个移动梁构件 13。如图 5b 中所示，部分 VHF 刻蚀去除了一些氧化物牺牲层并且将氮化硅顶层的一些转化为六氟硅酸铵。图 5c 示出了完成的氧化物刻蚀，保留了作为氧化硅的剩余段或部分的锚 16。图 5d 示出了在避免液体形成的温度和压强条件下升华的结果。在此实施方式中，移动梁构件 13 (图 5c) 在各个步骤 (例如，切割、封装、金属化) 和 / 或需要保护器件特性的任何步骤中由系链保护。除了梁，MEMS 或 NEMS 中的构件 13 还可以是弹簧和 / 或其它移动部件。

[0027] 因为本发明的方法能够设计彼此靠近和 / 或靠近衬底且在释放步骤、分割、封装、金属化等过程中通常承受静摩擦力或者损坏的更小部件，所以本发明的方法产生了改进的独特 MEMS 和 NEMS。

[0028] 用于制作由硅制造的机械梁和衬底组成的纳米机电系统的本发明的方法包括在梁的一侧或者两侧、衬底的一侧或两侧、或在梁和衬底的至少一侧、以及氧化硅牺牲层上沉积氮化硅薄层，氮化硅薄层沉积在梁或衬底在使用氢氟酸蒸汽 (VHF) 的刻蚀步骤中去除氧化硅牺牲层时而需要支撑的位置，其中，支撑结构残留物通过在 VHF 刻蚀步骤中将氮化硅转化为氟化铵和 / 或氟硅酸铵来形成，所述支撑结构残留物被配置为在干法释放步骤中将梁或衬底与其它梁或衬底分离，干法释放，之后去除支撑结构残留物。

[0029] 因此，本发明非常适合于实现所述目的并且获得上述目标和优点，以及其它固有的优点。虽然已描述和说明了本发明，且参考本发明具体优选的实施方式限定了本发明，但是这些参考并不意味着对本发明的限制，并且不应推断为此类限制。正如本领域的普通技

术人员将想到的,本发明在形式和功能上能够进行各种修改、变更和等效替换。本发明的这些描述说明的优选实施方式仅为示例性的,而非详尽本发明的范围。因此,本发明旨在由在所有方面给出等效替代的全部认知的所附权利要求的精神和范围限定。

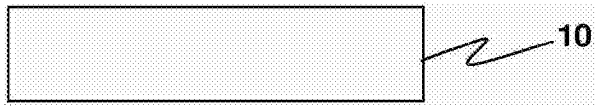


图 1a

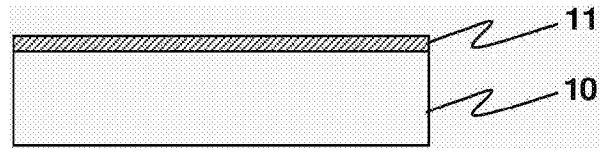


图 1b

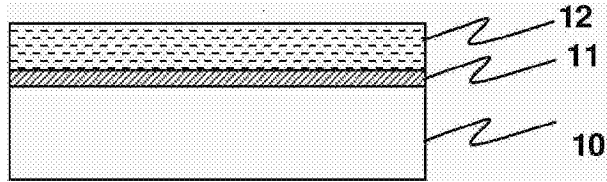


图 1c

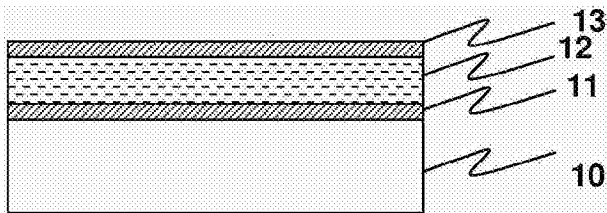


图 1d

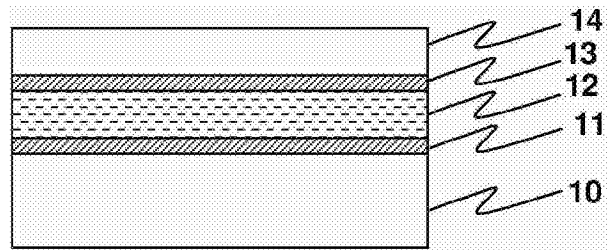


图 1e

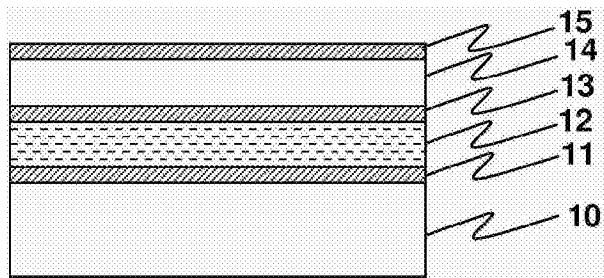


图 1f

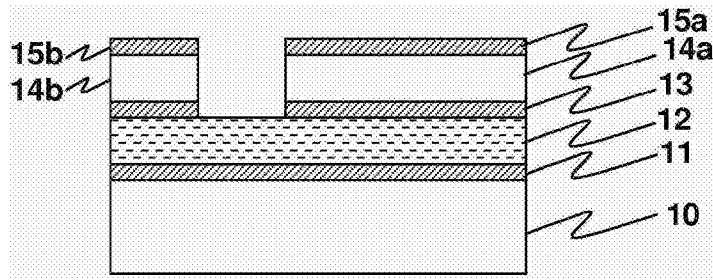


图 1g

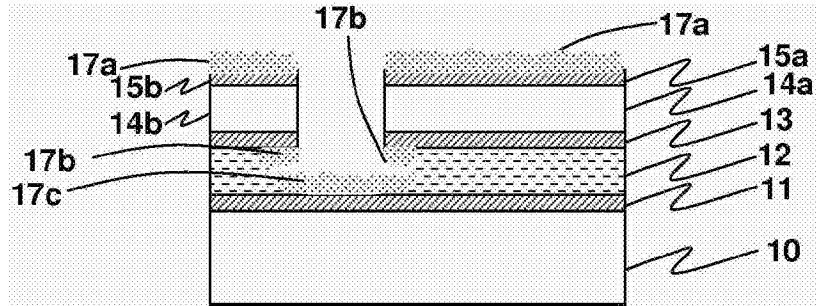


图 1h

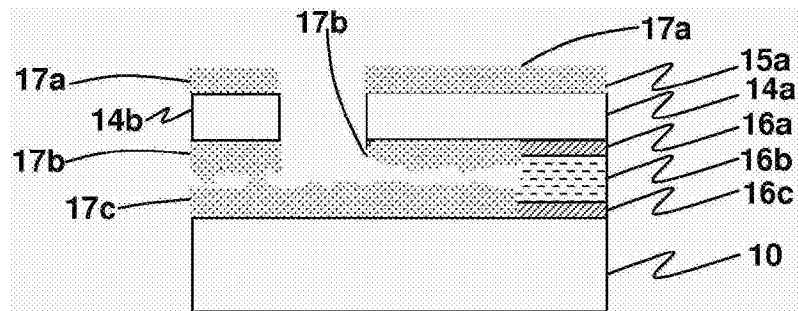


图 1i

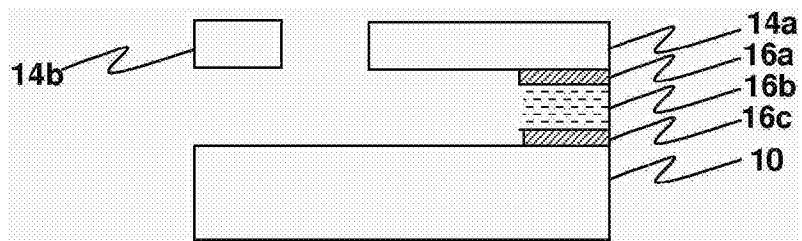


图 1j

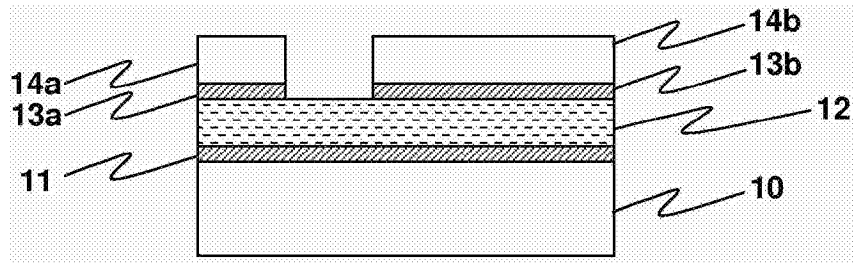


图 2a

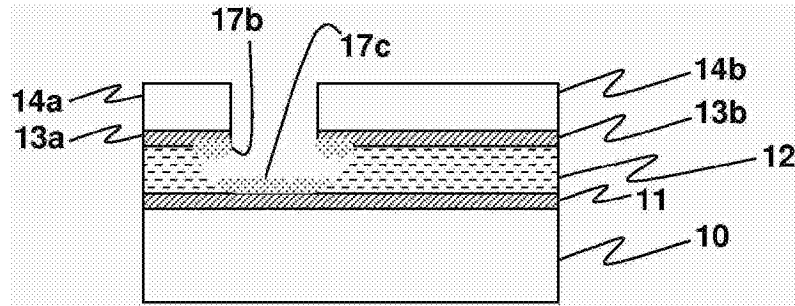


图 2b

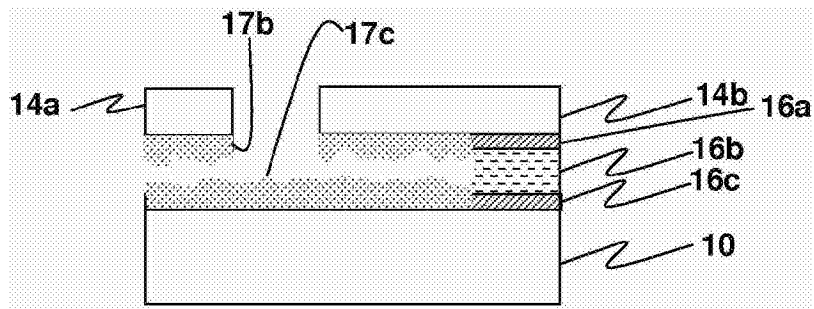


图 2c

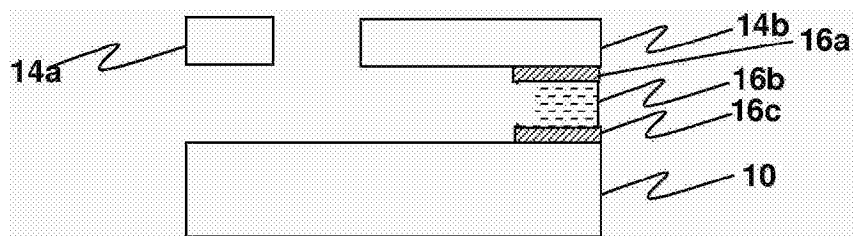


图 2d

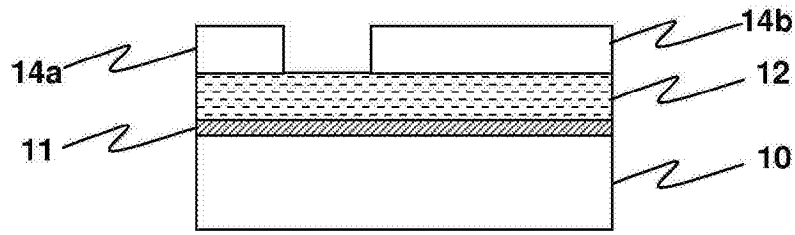


图 3a

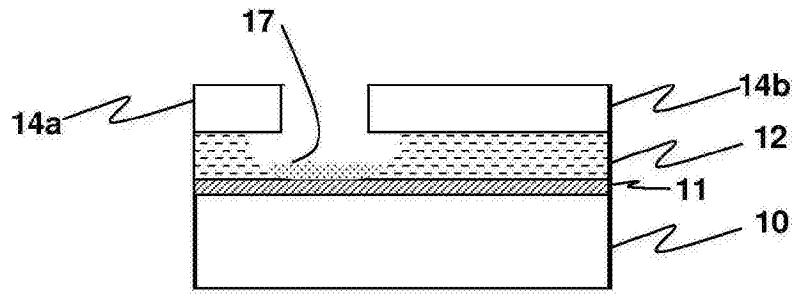


图 3b

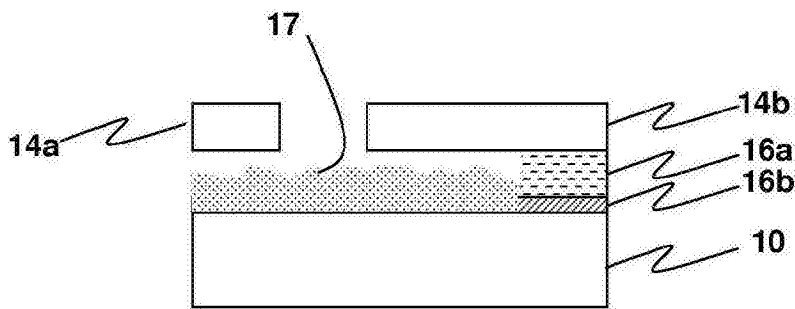


图 3c

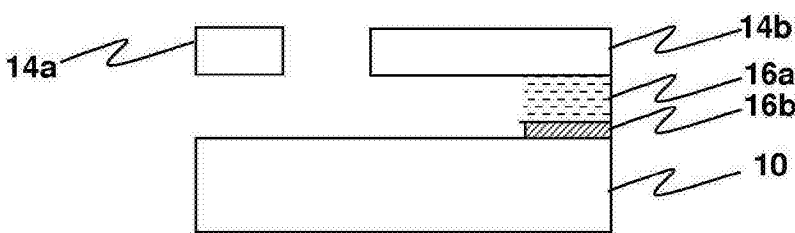


图 3d

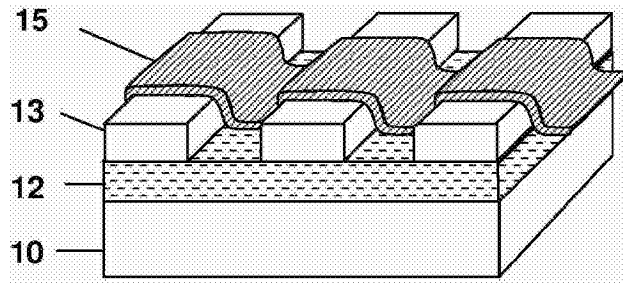


图 4a

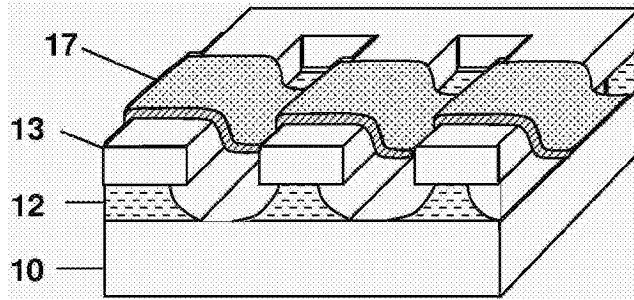


图 4b

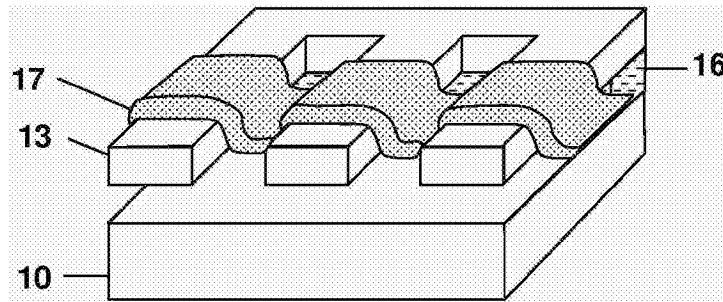


图 4c

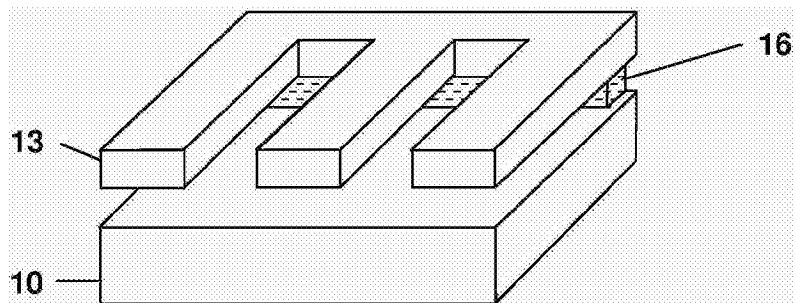


图 4d

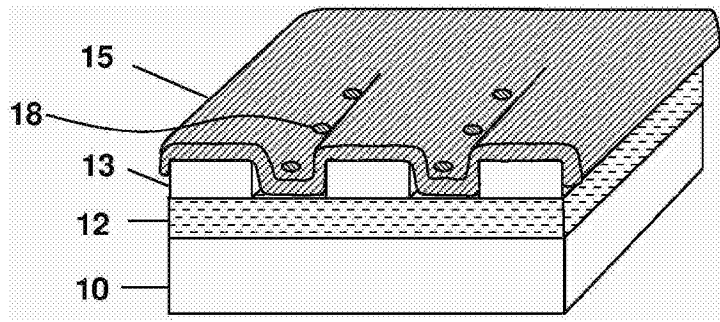


图 5a

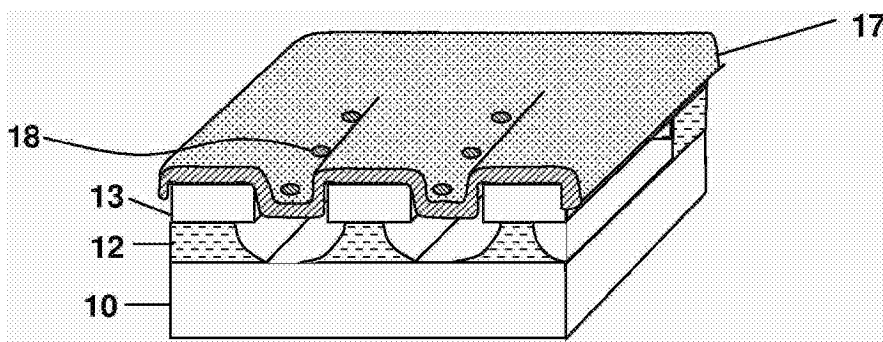


图 5b

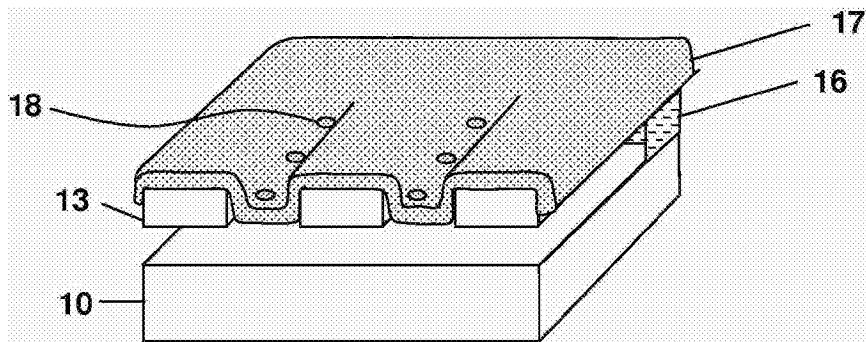


图 5c

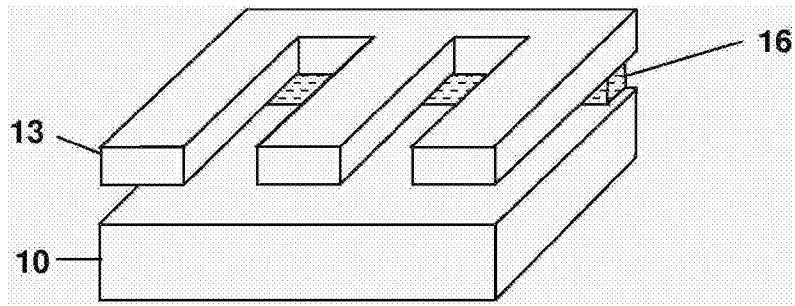


图 5d