



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102543678 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201110433265. 7

(22) 申请日 2011. 12. 21

(30) 优先权数据

1061052 2010. 12. 22 FR

(73) 专利权人 索泰克公司

地址 法国伯尔宁

(72) 发明人 M·布鲁尔

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 党晓林 王小东

(51) Int. Cl.

H01L 21/02 (2006. 01)

H01L 21/30 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007/0249140 A1, 2007. 10. 25, 说明书第 [0104] 段、第 [0149] 段, 附图 6.

US 2007/0249140 A1, 2007. 10. 25, 说明书第 [0104] 段、第 [0149] 段, 附图 6.

TW 200703462 A, 2007. 01. 16, 说明书第 12 页第 11 行 - 第 15 页第 8 行, 附图 1.

US 6534382 B1, 2003. 03. 18, 全文.

审查员 张斌

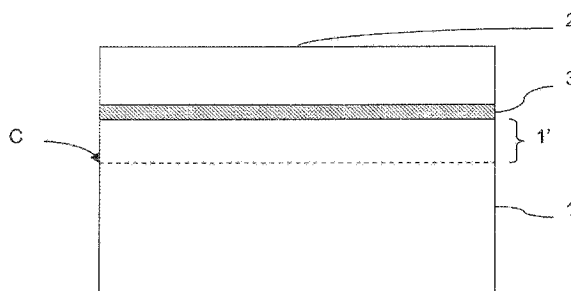
权利要求书3页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

用于使基片裂开的工艺

(57) 摘要

本发明涉及一种为了从基片 (1) 剥离膜 (1') 而使该基片裂开的工艺, 该工艺包括下列连续步骤: (i) 形成所谓的应力产生结构 (2), 该应力产生结构局部结合至所述基片 (1) 的表面, 并且设计成在热处理的作用下在平行于所述基片 (1) 的表面的平面中膨胀或收缩; 和 (ii) 向所述结构施加热处理, 该施加步骤设计成导致所述结构 (2) 膨胀或收缩从而在所述基片 (1) 中产生多个局部应力, 这些局部应力的结合在平行于所述基片的表面的裂开平面 (C) 中产生比所述基片的机械强度大的应力以限定待剥离的所述膜 (1'), 所述应力导致所述基片 (1) 在所述平面 (C) 的范围内的裂开。



1. 一种为了从基片(1)剥离膜(1')而使该基片裂开的工艺,该工艺包括下列连续步骤:

(i) 形成所谓的应力产生结构(2),该应力产生结构局部地结合至所述基片(1)的表面,并且设计成在热处理的作用下在平行于所述基片(1)的所述表面的平面中膨胀或收缩;和

(ii) 向所述应力产生结构施加热处理,该施加步骤被设计成使所述应力产生结构(2)膨胀或收缩从而在所述基片(1)中产生多个局部应力,这些局部应力的组合在平行于所述基片的所述表面的裂开平面(C)中产生比所述基片的机械强度大的应力,所述平面(C)限定待剥离的所述膜(1'),所述应力导致所述基片(1)在所述平面(C)的范围内裂开,并且

所述应力产生结构(2)是蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室(2')的壁(2'')垂直于所述基片的所述表面,并且包括至少两种材料(2a, 2b),所述至少两种材料具有设计成允许所述壁在所述热处理的作用下变形的不同的热膨胀系数。

2. 根据权利要求1所述的工艺,其特征在于,所述隔室(2')的所述壁(2'')是由第一材料和第二材料(2a, 2b)形成的双材料条,所述第一材料和所述第二材料的热膨胀系数不同,比值至少为2。

3. 根据权利要求2所述的工艺,其特征在于,所述应力产生结构包括由下列材料对形成的双材料条:Si/Ag、Si/Al、Si/Cu、Si/SiO<sub>2</sub>、Ge/Ag、Ge/Al、Ge/Cu、Ge/Fe、Ge/SiO<sub>2</sub>、蓝宝石/Ag、蓝宝石/Al、蓝宝石/Cu和/或蓝宝石/SiO<sub>2</sub>。

4. 根据权利要求1所述的工艺,其特征在于,所述隔室(2')的所述壁(2'')是由第一材料和第二材料(2a, 2b)形成的双材料条,其中一种材料具有正热膨胀系数而另一种材料具有负热膨胀系数。

5. 根据权利要求4所述的工艺,其特征在于,所述双材料条由下列材料对形成:Si/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>、Cu/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>、Al/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>和/或Ag/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>。

6. 根据权利要求2至5中的任一项所述的工艺,其特征在于,所述双材料条的所述第一材料和所述第二材料通过空隙或者通过第三材料条分离,具体地所述双材料条由Ag/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>对形成,并且所述第三材料条是硅。

7. 根据权利要求1至5中的任一项所述的工艺,其特征在于,所述热处理在20至500°C之间的温度下施加。

8. 根据权利要求1所述的工艺,其特征在于,所述应力产生结构(2)还设计成在磁场的作用下膨胀或收缩。

9. 根据权利要求8所述的工艺,其特征在于,所述应力产生结构(2)是蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室(2')的壁(2'')垂直于所述基片的所述表面,并且包括至少两种材料(2a, 2b),所述材料具有设计成允许所述壁在所述热处理的作用下变形的不同的热膨胀系数,并且所述材料中的一种是磁致伸缩材料。

10. 根据权利要求9所述的工艺,其特征在于,所述磁致伸缩材料是稀土/铁合金,所述另一种材料是硅、SiC或锆。

11. 根据权利要求10所述的工艺,其特征在于,所述稀土/铁合金为terfenol-D、SmFe<sub>2</sub>、DyFe<sub>2</sub>或TbFe<sub>2</sub>。

12. 根据权利要求9至11中的任一项所述的工艺,其特征在于,所述热处理在所述磁致

伸缩材料的居里温度以下的温度下施加,并且还向所述应力产生结构施加磁场,以适于使所述磁致伸缩材料伸长或收缩。

13. 根据权利要求 12 所述的工艺,其特征在于,所述基片 (1) 具有细长形状,并且施加的所述磁场是静态的并且平行于所述基片 (1) 的最大尺寸取向。

14. 根据权利要求 12 所述的工艺,其特征在于,所述基片 (1) 呈圆盘的形状并且施加的所述磁场是旋转场。

15. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,所述应力产生结构 (2) 通过结合层 (3) 结合至所述基片 (1) 的所述表面。

16. 根据权利要求 2 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,在所述应力产生结构 (2) 被结合至所述基片 (1) 的所述表面之前,通过以下方式来制造所述应力产生结构 (2): 在所述第一材料 (2a) 形成的层中蚀刻出槽,用所述第二材料 (2b) 填充所述槽,掩蔽所述第一材料 (2a) 形成的层的旨在形成所述双材料条的部分,并且选择性地蚀刻所述层从而去除所述第一材料 (2a) 的未掩蔽部分。

17. 根据权利要求 2 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,通过以下方式将所述应力产生结构 (2) 结合至所述基片 (1): 在所述基片 (1) 的所述表面上沉积所述第一材料 (2a) 形成的层,然后在所述层中蚀刻出槽,用所述第二材料 (2b) 填充所述槽,掩蔽所述第一材料 (2a) 形成的层的旨在用于形成所述双材料条的部分,并且选择性地蚀刻所述层从而去除所述第一材料 (2a) 的未掩蔽部分。

18. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,从所述基片 (1) 剥离的所述膜 (1') 的厚度介于 1 至 100 微米之间。

19. 根据权利要求 18 所述的工艺,其特征在于,从所述基片 (1) 剥离的所述膜 (1') 的厚度介于 30 至 70 微米之间。

20. 根据权利要求 19 所述的工艺,其特征在于,从所述基片 (1) 剥离的所述膜 (1') 的厚度为 50 微米。

21. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,待剥离的所述膜 (1') 的厚度与所述应力产生结构 (2) 的厚度的比率在 0.1 至 10 之间。

22. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,在步骤 (ii) 之前,在所述基片 (1) 中形成弱化区 (10),从而在所述弱化区 (10) 的范围内产生所述裂开。

23. 根据权利要求 22 所述的工艺,其特征在于,通过在所述基片中的所述裂开平面 (C) 的深度处以  $5 \times 10^{15}$  至  $5 \times 10^{16}$  原子/cm<sup>2</sup> 之间的剂量进行离子注入而形成所述弱化区 (10)。

24. 根据权利要求 22 所述的工艺,其特征在于,所述基片 (1) 和待剥离的所述膜 (1') 由硅制成,并且所述弱化区 (10) 是 Si<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub> 层,其中  $0 < x < 0.8$ ,在该 Si<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub> 层中,锗的比例在界面处的最小值和中心处的最大值之间逐渐变化。

25. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,在步骤 (ii) 之前,在所述基片 (1) 中的所述裂开平面 (C) 的深度处产生起裂部 (11)。

26. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,在步骤 (i) 之前,在待从所述基片 (1) 剥离的所述膜 (1') 中或在该膜上形成电子器件,所述电子器件用于光电子应用、光伏应用和 / 或动力应用,和 / 或用于电子电路和 / 或用于微系统。

27. 根据权利要求 1 至 5 中的任一项所述的工艺,其特征在于,在所述膜 (1') 已被从

所述基片(1)剥离之后,从所述膜(1')去除所述应力产生结构(2)。

28. 根据权利要求27所述的工艺,其特征在于,所述应力产生结构(2)在被从剥离的所述膜(1')去除之后,被重复利用,以再次利用该应力产生结构裂开基片。

29. 根据权利要求1至5中的任一项所述的工艺,其特征在于,所述基片(1)由半导体材料制成。

30. 根据权利要求1至5中的任一项所述的工艺,其特征在于,所述基片(1)是锭料,并且所述步骤(i)和(ii)被实施若干次以从所述基片(1)连续地剥离多个膜(1')。

31. 一种包括基片(1)和结合至所述基片(1)的表面的应力产生结构(2)的组件,该组件的特征在于,所述应力产生结构(2)是蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室(2')的壁(2'')垂直于所述基片(1)的所述表面,并且包括至少两种材料(2a、2b),所述至少两种材料具有适于允许所述壁在热处理的作用下变形的不同的热膨胀系数。

32. 一种用于光伏应用、光电子应用或电子应用的半导体装置,该半导体装置包括支撑件(2)和半导体材料形成的膜(1'),所述支撑件(2)是结合至所述膜的表面的蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室(2')的壁(2'')垂直于所述膜(1')的所述表面并且包括至少两种材料(2a、2b),所述至少两种材料具有适于允许所述壁在热处理的作用下变形的不同的热膨胀系数。

## 用于使基片裂开的工艺

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种为了从基片剥离膜而使所述基片裂开的工艺。

### 背景技术

[0002] 特别地在半导体工业中执行从基片剥离厚膜。

[0003] 早已知并广泛采用各种剥离工艺。

[0004] 某些工艺包括在基片内形成限定待剥离的膜的弱化区,然后将应力施加至基片或弱化区从而使基片在弱化区中裂开。这些应力可以基于热源和 / 或机械源等。

[0005] 因此, SmartCut™(智能剥离)工艺包括通过注入原子物种而在供体基片中形成限定待转移的膜的弱化区,然后将供体基片结合到受体基片并且使弱化区中的供体基片裂开,而导致膜被转移到受体基片上。

[0006] 然而,该工艺更适于转移薄膜,也就是说通常具有小于 1 微米厚度的膜。

[0007] 工业离子注入机通常具有达至 200keV 的能量,从而得到能够达至大约 2 微米的注入深度,这取决于材料和注入的离子种类。

[0008] 例如,通过将 H<sup>+</sup> 离子注入硅中,可以得到大约 1.8 微米的深度。但是得到的深度在致密的 GaN 中将较小。

[0009] 存在高能离子注入机,即,以大约 1MeV 操作,这将允许得到达至 20 微米的深度,但是该工艺在经济上不可行,因为这些机器的高成本。

[0010] 专利申请 US 2007/0249140 描述了一种从硅基片剥离层的方法,其中金属层,具体是银胶和 / 或铝胶沉积在基片的表面上。

[0011] 将热应力施加在覆盖有金属层的基片上而在基片中的与想要剥离的层的厚度对应的深度处产生裂开应力,导致基片的裂开和希望层的剥离。

[0012] 得到的裂开应力取决于金属层的材料和基片的材料之间的热膨胀系数 (TEC) 的差。

[0013] 因此,例如,硅的热膨胀系数是  $4.6 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ,而银的热膨胀系数是  $20 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ,并且铝的热膨胀系数是  $24 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 。

[0014] 然而,在硅基片上沉积金属具有污染半导体层的风险,这对由该层制造的装置的操作不利。

[0015] 而且,应力产生层的热膨胀系数取决于采用的材料的性质。

[0016] 结果,本领域技术人员必定受限于市场上可买到的材料的工艺的限定。

[0017] 具体地,他必定不能形成具有希望的热膨胀系数的应力产生层。

[0018] 最后,为了使应力产生层根据前述方法膨胀,通常必须将该层加热到高温,也就是说通常大约 800°C。

[0019] 然而,在该温度范围中硅是可延展的,使得不利于使基片裂开。

[0020] 因此,本发明的目的之一是提供一种用于从基片(通常具有 1 至 100 微米之间的厚度)剥离膜的工艺,该工艺避免了前述方法的缺点。

[0021] 更确切地说,本发明的目的是使膜能够从基片剥离而没有污染该基片的材料的风险。

[0022] 本发明的另一个目的是限制使基片裂开所需的温度。

[0023] 此外,特别是为了最优地使基片裂开,本发明也必须提供应力产生结构的热膨胀系数的更大的选择自由。

## 发明内容

[0024] 根据本发明,提出一种为了从基片剥离膜而使该基片裂开的工艺,其包括下列连续步骤:

[0025] (i) 形成所谓的应力产生结构,该应力产生结构局部结合到所述基片的表面,并且设计成在热处理的作用下在平行于该基片的平面中膨胀或收缩;和

[0026] (ii) 向所述应力产生结构施加热处理,该施加步骤设计成使所述应力产生结构膨胀或收缩从而在所述基片中产生多个局部应力,这些局部应力的结合在平行于所述基片的表面的裂开平面中产生比所述基片的机械强度大的应力,所述平面限定待剥离的所述膜,所述应力导致所述基片在所述平面范围内裂开。

[0027] 术语“结合”在本文本中被理解是指所述应力产生结构和所述基片的表面之间的内聚力必须大于在所述应力产生结构的膨胀或收缩期间施加的应力,使得在界面处没有裂缝,并且通过使所述应力产生结构变形而产生的应力被传递到所述基片以便使其裂开。

[0028] 术语“局部地”被理解是指所述应力产生结构和所述基片之间的结合仅存在于所述基片的表面的限定区域中而不是该基片的表面上所有点处。

[0029] 特别有利地,所述应力产生结构是蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室的壁垂直于所述基片的表面,并且包括具有设计成允许所述壁在所述热处理的作用下变形的不同热膨胀系数的至少两种材料,而提供双材料条作用。

[0030] 表达“提供双材料条作用”在本文本中被理解是指具有不同热膨胀系数的两种材料被放置成相互结合,使得组件在热处理的作用下并且可选地假如其中一种材料还是磁致伸缩的则在磁场的作用下通过膨胀或收缩而变形。

[0031] 根据下述实施方式,所述两种材料可以采取结合在一起的两个条的形式,所述两种材料之间的界面具有大体上垂直于所述基片的表面的表面。

[0032] 广义来说,术语“双材料条”也被理解是指呈结合在一起的多条形式的具有不同膨胀系数的两种或多种材料的任何布置,所述材料中的每一种之间的界面呈大体上与所述基片的表面垂直的表面的形式。

[0033] 因此,该定义包括三材料条,该三材料条包括例如分别由具有正热膨胀系数(TEC)的材料制成的条和具有负热膨胀系数的材料制成的条围绕的硅制成的中央条。

[0034] 根据本发明的一个实施方式,所述隔室的壁是由第一材料和第二材料形成的双材料条,所述第一材料和所述第二材料的热膨胀系数不同,比值至少为2。

[0035] 例如,所述应力产生结构包括由下列材料对形成的双材料条:Si/Ag、Si/Al、Si/Cu、Si/SiO<sub>2</sub>、Ge/Ag、Ge/Al、Ge/Cu、Ge/Fe、Ge/SiO<sub>2</sub>、蓝宝石/Ag、蓝宝石/Al、蓝宝石/Cu 和/或蓝宝石/SiO<sub>2</sub>。

[0036] 根据另一个实施方式,所述隔室的壁是由第一材料和第二材料形成的双材料条,

其中一种材料具有正热膨胀系数而另一种材料具有负热膨胀系数。

[0037] 例如,所述双材料条由下列材料对形成:Si/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>、Cu/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>、Al/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>和/或Ag/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>。

[0038] 根据另一个实施方式,所述双材料条的所述第一材料和所述第二材料由空隙或者第三材料条分开,具体地所述双材料条由Ag/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>形成,并且所述第三材料条是硅。

[0039] 特别有利地,步骤(ii)的所述热处理在20至500°C之间的温度下施加。

[0040] 根据本发明的一个特别有利的实施方式,所述应力产生结构还设计成在磁场的作用下在平行于所述基片的表面的平面中膨胀或收缩。

[0041] 为了这个目的,所述应力产生结构是蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室的壁垂直于所述基片的表面并且包括至少两种材料,所述材料具有设计成允许所述壁在所述热处理的作用下变形的不同热膨胀系数,并且所述材料中的一种是磁致伸缩材料。

[0042] 优选地,所述磁致伸缩材料是诸如terfenol-D、SmFe<sub>2</sub>、DyFe<sub>2</sub>或TbFe<sub>2</sub>的稀土/铁合金,并且另一种材料是硅、SiC或锗。

[0043] 在该情况下,优选地所述热处理在所述磁致伸缩材料的居里温度以下的温度下施加,并且还向所述应力产生结构施加磁场,以适于导致所述磁致伸缩材料伸长或收缩。

[0044] 假如所述基片具有细长形状,则施加的所述磁场优选地是静态的并且平行于所述基片的最大尺寸取向。

[0045] 假如所述基片呈圆盘形式,则所施加的磁场是旋转场,从而使所述应力产生结构沿垂直于与所述基片的表面平行的所述平面的两个方向膨胀或收缩。

[0046] 根据本发明的一个具体实施方式,所述应力产生结构通过结合层被结合至所述基片的表面。

[0047] 在被结合至所述基片之前,所述应力产生结构可以通过以下方式制造:在所述第一材料形成的层中蚀刻出槽,用所述第二材料填充所述槽,掩蔽所述第一材料制成的所述层的形成所述双材料条的部分,并且选择性地蚀刻所述层从而去除所述第一材料的未掩蔽部分。

[0048] 另选地,通过以下方式将所述应力产生结构结合至所述基片:在所述基片的表面上沉积所述第一材料层,然后在所述层中蚀刻出槽,用所述第二材料填充所述槽,掩蔽所述第一材料形成的层的待用于形成双材料条的部分,并且选择蚀刻所述层从而去除所述第一材料的未掩蔽部分。

[0049] 从所述基片剥离的所述膜的厚度介于1至100微米之间,优选地介于30至70微米之间,例如大约为50微米。

[0050] 通常,待剥离的所述膜的厚度与所述应力产生结构的厚度的比在0.1至10之间。

[0051] 根据一个具体实施方式,在步骤(ii)之前,在所述基片中形成弱化区从而在所述弱化区的范围内产生所述裂开。

[0052] 例如,通过在所述基片中的所述裂开平面的深度处以 $5 \times 10^{15}$ 和 $5 \times 10^{16}$ 原子/厘米<sup>2</sup>的剂量进行离子注入而形成所述弱化区。

[0053] 另选地,所述基片和待剥离的所述膜由硅制成,并且所述弱化区是Si<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub>层,其中 $0 < x < 0.8$ ,在该Si<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub>层中,锗的比例在界面处的最小值和中央处的最大值之间逐渐变化。

[0054] 根据一个实施方式,在步骤(ii)之前,在所述基片中的所述裂开平面的深度处产生起裂部。

[0055] 在步骤(i)之前,可以在与所述基片剥离的所述膜中或膜上形成电子器件,所述电子器件用于光电子应用、光伏应用和/或动力应用,和/或用于电子电路和/或用于微系统。

[0056] 在所述膜已被从所述基片剥离之后,可以从所述膜去除所述应力产生结构。

[0057] 例如,所述应力产生结构在被从所述剥离的膜去除之后,其可以被重复利用,以再次利用所述应力产生结构裂开基片。

[0058] 通常,所述基片由半导体材料制成。

[0059] 根据本发明的一个具体实施方式,所述基片是锭料,并且所述步骤(i)和步骤(ii)被实施若干次以从所述基片连续地剥离将多个膜。

[0060] 本发明的另一个主题是一种包括基片和结合至所述基片的表面的应力产生结构的组件,其特征在于,所述应力产生结构是蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室的壁垂直于所述基片的表面,并且包括至少两种材料,所述至少两种材料具有适于允许所述壁在热处理的作用下变形的不同的热膨胀系数。

[0061] 最后,本发明的另一个主题是用于光伏应用、光电子应用或电子应用的半导体装置,该半导体装置包括半导体材料形成的膜和支撑件,该支撑件是结合至所述膜的表面的蜂窝状结构,该蜂窝状结构的隔室的壁垂直于所述膜的表面并且包括至少两种材料,所述至少两种材料具有适于允许所述壁在热处理的作用下变形的不同热膨胀系数。

## 附图说明

[0062] 参照附图从下列详细描述中将清楚本发明的其它特征和优点,其中:

[0063] 图1是根据本发明的基片和应力产生结构的剖视图;

[0064] 图2是图1的裂开的基片和所述结构的剖视图;

[0065] 图3是本发明的一个具体实施方式的俯视图,其中所述结构由多个隔室形成,所述隔室的壁是双材料条;

[0066] 图4A至4E示出了用于生产图3的结构的工艺的步骤;

[0067] 图5是示意地示出将磁场施加于应力产生结构的剖视图;

[0068] 图6是本发明的一个实施方式的剖视图,其中待裂开的基片已被预弱化,以及

[0069] 图7是另选实施方式的剖视图,其中在待裂开的基片中产生起裂部。

[0070] 为了使更易于查看图示,不必考虑各种层的厚度的比。

## 具体实施方式

### [0071] 裂开工艺

[0072] 参看图1,在基片1的表面上形成适于在施加热处理的情况下变形的结构2。

[0073] 基片可以是任何材料(半导体、金属等)并且不管其晶体结构(单晶、多晶、非晶的)。

[0074] 优选地,基片由半导体材料,诸如Si、SiC或Ge,IV、II/VI或III/V类型的基片,诸如GaN、InGaN、GaAs或InP,和这些元素的其它二元、三元或四元合金制成。

[0075] 根据一个具体实施方式,已被从基片剥离的膜是由多重半导体材料形成的活性膜,和/或包括用于光电子应用(例如用于LED或激光器)和/或光伏应用(诸如用于陆地和空间应用的多结电池)的电子器件。膜还可以包括具体是用于动力应用和/或微系统的电子电路。

[0076] 在将应力产生结构结合至基片之前,在待剥离的膜中或膜上形成所述器件。

[0077] 该结构必须被结合至基片的表面从而向其传递应力,这导致基片的裂开。

[0078] 因此选择了结构和基片之间结合的适当方法。

[0079] 根据具有的材料,可以通过分子粘附(通常称为直接结合)、通过焊接或者通过适当的粘合剂(尤其是对将为了导致基片裂开而进行的热处理的温度有良好抵抗性的一种粘合剂)进行结合。

[0080] 当所述结构必须被从待与基片剥离的膜去除时,优选地是提供可逆地结合的粘合剂,即,将允许结构能被非破坏性地去除的一种粘合剂。

[0081] 例如,所采用的粘合剂是环氧树脂粘合剂。

[0082] 这种粘合剂具有可水解的优点,因此它能通过100°C蒸汽的作用被去除。

[0083] 在图1所示的实施方式中,结构2借助结合层3被结合至基片1的表面。

[0084] 然而,结合层是可选的,并且根据所涉及的材料,通过使应力产生结构与基片的表面直接接触可以进行直接结合操作。

[0085] 例如如图3中所示,结构2是蜂窝状结构,稍后详细地说明用于生产所述结构的一种工艺。

[0086] 隔壁2'的壁2"包括具有显著不同的热膨胀系数的材料制成的双材料条(或者甚至是三材料条),所述壁垂直于基片的表面。

[0087] 术语“显著不同”被理解为是指,例如在两个材料的热膨胀系数之间存在大约2以上的比值,或者所述材料的热膨胀系数是异号的。

[0088] 应力产生结构和基片之间的界面限于隔壁的壁和基片接触的区域,使得应力产生结构被局部结合至基片。

[0089] 为了使基片裂开,在适于导致结构2沿平行于基片1的表面的平面的两个方向变形的温度下施加热处理。

[0090] 由于蜂窝状结构的几何形状(该几何形状赋予该结构非常高的热膨胀系数),因此20至500°C之间的温度通常足以使结构变形。

[0091] 还根据将结构结合至基片的任何粘合剂的性质选择温度,而不使其降解。

[0092] 因此,假如粘合剂是环氧树脂结合剂,则优选地它在300°C以下的温度应用。

[0093] 因为结构2被结合至基片1,所以该变形在基片中产生比基片的材料的机械强度大的应力,导致基本在平面C中裂开,该平面C平行于基片的表面并且位于某一深度处。

[0094] 基片越薄,其越柔软,则基片中的裂口越深。

[0095] 相反,较厚的基片将导致裂开较浅。

[0096] 如图2可见,裂开平面C限定了膜1',该膜1'则能为了随后的使用而被剥离,可以通过施加机械力使膜1'与基片的其余部分分离。

[0097] 一旦膜1'已被剥离,则已经用于裂开的结构2能被去除。

[0098] 假如结构2不想要被再使用,则它可以例如通过机械和/或化学去除材料而被破

坏性地去除。

[0099] 然而,也可以使结构 2 被再使用,在该情况下,结构 2 被非破坏性地从膜 1' 去除(例如通过蚀刻用于将结构结合至基片的粘合剂),然后准备好(例如通过温和抛光)为了再使用它。

[0100] 特别是当结构 2 昂贵时是有利的。

[0101] 另一个可能性是结构 2 不与已被剥离的膜 1' 分离,特别是假如所述结构在随后使用剥离的膜期间已经履行了功能。

[0102] 因此,例如,结构 2 可以被保存并且用作用于光伏薄膜的支撑件,具有的优点是其透明结构能够在光伏薄膜的背面上形成电触点。

[0103] 结构 2 还可以用于加强剥离的膜 1',特别是当膜 1' 具有太小的厚度以致不能自支撑(即,能被独立地操纵)时,也就是说典型地当其厚度小于 50 微米时。

[0104] 如果适当的话,基片的剩余部分可以准备用于结合至新的应力产生结构以便从其剥离另一个膜。

[0105] 因此该工艺可以使坯料被逐渐切割成多个膜。

[0106] 该工艺的第一个优点在于所采用的结构允许限定其热膨胀系数的大的选择自由。

[0107] 具体是,用于限定热膨胀系数的标准不仅是所采用的材料,而且是隔室的形状和尺寸。

[0108] 第二个优点在于所采用的结构具有比组成其的材料单个热膨胀系数高得多的热膨胀系数。

[0109] 而且,通过审慎地选择材料和结构的几何形状,根据要求可以形成具有正或负热膨胀系数的结构。

[0110] 因此,加热到比现有技术低的温度足以在基片中产生比其机械强度高应力。

[0111] 因此,当基片由硅制成时,它在室温下是脆的。

[0112] 因此经由基片施加应力导致比假如它处于 500°C 以上,即硅的脆韧转变以上的温度更易于使基片裂开。

[0113] 而且,该较低温度下的热处理更有利于将形成在剥离的膜中或膜上的任何装置,因为没有破坏它们或影响它们性能的风险。

[0114] 蜂窝状结构

[0115] 根据呈俯视图形式的图 3 所示的一个实施方式,应力产生结构是包括多个隔室 2' 的蜂窝状结构,该隔室 2' 的壁 2'' 是垂直于基片 1 的表面的双材料条 2a、2b。

[0116] 每个双材料条均包括具有第一热膨胀系数的第一材料 2a 和具有显著不同于第一热膨胀系数的第二热膨胀系数的第二材料 2b。

[0117] 有利地,隔室是相同的并且在平行于基片的表面的平面中以限定的图案重复。

[0118] 隔室 2' 具有能够在平行于基片的表面的平面中的两个方向上变形的适当形状。

[0119] 在图 3 所示的实施例中,隔室具有大体上的六角形形状,具有连续的凹入壁和凸起壁,并且位于隔室的内侧的材料交替地是材料 2a 和材料 2b。

[0120] 然而,因此在没有脱离本发明的范围的情况下,可以设想隔室的其它形状(诸如八角形或其它形状)。

[0121] 科学文献中公布的数学方法用来限定隔室的形状和尺寸。

[0122] 参照图 4A 至 4E 描述制造这种结构的工艺,图 4A 至 4E 为图 3 所示的截面 A-A 的线上的视图。

[0123] 图 4A 所示的第一步骤以第一材料 2a 形成的层开始。

[0124] 例如,所述层是厚度为 50  $\mu\text{m}$  的硅层。

[0125] 该层被深深地蚀刻从而产生槽 T1、T2、T3,这些槽的路径限定这些隔室的壁。

[0126] 根据所需的热膨胀特性将预先限定隔室的形状和尺寸。

[0127] 为此,尺寸可以基于下列出版物:由 R. Lakes 著的“Cellular solid structures with unbounded thermal expansion”, Journal of Material Science Letters, 15, 475-477 (1996); 和由 T. E. Bruns 和 O. Sigmund 著的“Toward the topology design of mechanisms that exhibit snap-through behaviour”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 193, Issues 36-38, 2004 年 9 月 10 日,第 3973 至 4000 页。

[0128] 槽的宽度例如是 10  $\mu\text{m}$ 。

[0129] 在图 4B 所示第二步骤中,在所谓的金属连接层(例如大约 10mm 的钛)已经通过真空蒸发或溅射在槽的壁上被沉积之后,沉积第二材料 2b。

[0130] 例如,第二材料是具有比硅的热膨胀系数大的金属(诸如铝或银)。

[0131] 该沉积操作用于将第二材料 2b 填充于槽 T1、T2、T3 并且还用第二材料 2b 形成的层覆盖第一材料 2a 的表面。

[0132] 在图 4C 所示的第三步骤中,覆盖第一材料 2a 的表面的过剩的第二材料通过 CMP(化学机械抛光)被去除。

[0133] 在该阶段,可选地在惰性环境中在低温(例如典型地在铝的情况下大约为 200 $^{\circ}\text{C}$ )下进行加温退火操作,以便使如此沉积的金属致密。

[0134] 接着,参看图 4D,将抗蚀剂掩模 4 沉积在第一材料 2a 形成的层上。

[0135] 该掩模被选择性地沉积从而覆盖第一材料 2a 的希望保存在最后的蜂窝状结构 2 中的部分。

[0136] 所述部分靠近填充有第二材料 2b 的槽,从而与其一起构成双材料条。

[0137] 典型地,它们具有大约 10  $\mu\text{m}$  的宽度。

[0138] 抗蚀剂掩模旨在于紧接着的蚀刻步骤期间保护靠近第二材料 2b 的第一材料 2a。

[0139] 参看图 4E,蚀刻不被掩模 4 保护的第一材料 2a,所述蚀刻被相对于第二材料 2b 选择。

[0140] 在最后的步骤中,这里未示出,掩模 4 被去除。

[0141] 因此,获得包括多个隔室 2' 的蜂窝状结构,这些隔室的壁 2'' 是双材料条 2a、2b。

[0142] 然后通过任何适当的结合方法将所述结构结合至基片 1 的表面。

[0143] 在所述的情况下,所述结构被与基片无关地制造,然后被结合至基片。

[0144] 然而,还可以结合至或沉积在第一材料 2a 形成的层的基片的表面上,并且还可以向该层应用类似于用于制造蜂窝状结构的上述工艺的工艺。

[0145] 因此,在进行将允许形成蜂窝状结构的蚀刻操作之前,通过溅射,或者优选地通过 CVD(化学蒸汽沉积)或者通过电化学方法可以将第一材料 2a 形成的层沉积在基片 1 的表面上。

[0146] 在结合蜂窝状结构或者用于沉积将形成蜂窝状结构的第一材料 2a 之前,有利地是制备基片的表面,以便促进结合至应力产生结构和 / 或通过构成应力产生结构的材料保护其不受任何污染。

[0147] 例如,可以形成具有大约 500 纳米厚的氧化硅的保护层,该保护层通过 CVD 技术沉积或者假如基片由硅制成则通过热氧化形成。

[0148] 还可以通过闪蒸步骤在所述侧层上形成具有 100 至 300 埃(ångstrom)厚的钛连接层,以促进结合至应力产生结构的金属。

[0149] 而且,在待剥离的膜中或膜上形成器件,基片的表面不再平坦并且适于结合至应力产生结构。

[0150] 因此, SiO<sub>2</sub> 层在表面上沉积到器件的高度之上,然后所述层通过例如抛光被平坦化,以结合至应力产生结构。

[0151] 在裂开操作之后,可以通过蚀刻去除氧化层,从而使得更易于去除应力产生结构。

[0152] 图 3 示出了所获得的直的 / 蜂窝状结构组件的俯视图(即,沿着垂直于基片 1 的表面的方向)。

[0153] 当施加热处理时,双材料条的第二材料 2b 延伸大于第一材料,因为其热膨胀系数较高,从而产生张力,并且每个隔室 2' 的壁伸展直到变得大体上是直的。

[0154] 因为隔室的壁被结合至基片的表面,因此伸长导致在基片内施加应力,致使它被裂开。

[0155] 因此应力不被均匀地传递到基片,而是通过每个双材料条以局部方式被传输。

[0156] 换言之,每个双材料条 2a、2b 在其结合的基片上施加离散的应力,并且如此施加的所有离散应力组合以产生比裂开平面 C 中的基片的材料的机械强度高的总应力。

[0157] 所采用的材料对的实施例

[0158] 构成双材料条的材料必须具有尽可能不同的膨胀系数。

[0159] 两种材料的热膨胀系数之间的大约 2 以上的比值是所希望的。

[0160] 因此,当双材料条中的材料中的一种是硅(在 25°C 下其 TEC 大约是  $4.6 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ),另一种材料有利地从银(TEC 大约为  $18 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ )、铝(TEC 大约为  $23 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) 或者甚至铜(TEC 大约为  $16.5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) 中选择。

[0161] 在这些情况下,获得其中硅膨胀得小于其他材料的结构。

[0162] 还可以设计表现相反方式的结构,使用硅和具有基本上低于硅的热膨胀系数的材料形成双材料条。

[0163] 这是具体地用于氧化硅(SiO<sub>2</sub>)和氮化硅(Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>)的情况。

[0164] 还可以将锆(TEC 大约为  $6.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ )用于双材料条的材料中的一种并且将上述金属中的一种或者甚至是铁(TEC 大约为  $11.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ )用于另一种材料。

[0165] 作为变型,可以选择蓝宝石(sapphire)用于双材料条的材料中的一种并且选择上述金属中的一种用于另一种材料。

[0166] 最后,可以将与具有正热膨胀系数的材料(例如银)结合的具有负热膨胀系数的材料(诸如钨酸锆 ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)用于双材料条的材料中的一种。

[0167] 这种双材料条的优点在于,不必为获得大变形而强烈地加热它,从而使其具体适于在 500°C 以下的温度范围内(其中硅是脆的)使硅裂开。

[0168] 还可以生产其壁是三材料条的蜂窝状结构,其中形成双材料条的第一材料和第二材料分别是具有高的正热膨胀系数的金属(诸如银)和具有负热膨胀系数的材料,这些材料由诸如硅的第三材料分离。

[0169] 具有中间热膨胀系数的硅赋予这种结构稳定性和机械强度。

[0170] 另选地,蜂窝状结构可以用三材料条的壁形成,其中形成双材料条的第一材料和第二材料由空腔分离。

[0171] 在以下出版物中描述了这种结构:由 O. Sigmund 和 S. Torquato 著的“Composites with extremal thermal expansion coefficients”, Appl. Phys. Lett. 69(21), 1996 年 11 月 18 日;和由 J. Mech 著的“Design of materials with extreme thermal expansion using a three-phase topology optimization method”, Phys. Solids, Vol. 45, No. 6, 第 1037 至 1067 页, 1997。

[0172] 磁致伸缩的蜂窝状结构

[0173] 根据本发明的一个特别有利的实施方式,应力产生结构还设计成在磁场的作用下变形。

[0174] 为此,双材料条的构成材料中的一种是磁致伸缩材料,同时仍具有显著不同于双材料条的另一种构成材料的热膨胀系数。

[0175] 优选地,磁致伸缩材料选自于具有绝对值大于 0.02% 的伸长率的材料,并且优选地展示所谓的“巨大”磁致伸缩,即,具有绝对值大于 50ppm 的磁致伸缩系数的材料。

[0176] 已知基于稀土/铁合金的材料呈现这种特性。

[0177] 非常适于实施本发明的磁致伸缩材料的一个实施例是 terfenol-D, 其是具有分子式  $Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe_{19}$  的稀土/铁合金,其能以多晶形或非结晶质使用。

[0178] 磁致伸缩系数对于每种形式(晶状的和非结晶的)是不同的,但是保持大于 50ppm。

[0179] 在其晶形中,在磁场作用下的伸长率可以达至 0.2% 并且产生大约 1kN/cm 的压缩应力场。

[0180] 其它稀土/铁合金(诸如具有负伸长率的  $SmFe_2$ , 以及具有正伸长率的  $DyFe_2$  和  $TbFe_2$ ) 也非常适于实施本发明。

[0181] 双材料条的另一种材料则典型地是硅、SiC 或锗。

[0182] 蜂窝状结构可以通过与上述相同的工艺来制造。

[0183] 为了给出实施例,结构可以形成为具有包括硅/terfenol-D 双材料条的壁,其中硅条的厚度是 50 微米并且 terfenol-D 条的厚度是 15 微米。

[0184] 如此形成的结构能够在温度(其因此可以低于仅使用热处理来使该结构变形的情况)和磁场的结合作用下变形。

[0185] 这种蜂窝状结构的整体变形大于在磁场的作用下磁致伸缩材料的内在变形。

[0186] 例如,结构的尺寸的相对增大可以比磁致伸缩材料的相对伸长大 10 到 100 倍。

[0187] 该放大系数取决于隔室的几何设计和它们的晶格排列。

[0188] 与其中结构仅由于温度的作用而膨胀或收缩的前述实施方式相比,该放大使对于应力产生结构的给定膨胀或收缩可以施加与对基片中或基片上的温度非常敏感的电子器件的存在不矛盾的较低温热处理。

[0189] 为了使具有这种结构的基片裂开,同时施加热处理和磁场。

[0190] 所施加的温度必须保持显著低于磁致伸缩材料的居里温度  $T_c$ ,从而不会削弱应力产生结构的磁性。

[0191] 在 terfenol-D 的情况下,居里温度是  $380^\circ\text{C}$ ,使得热处理将不会在  $350^\circ\text{C}$  以上的温度下施加并且优选地将在  $300^\circ\text{C}$  以下的温度下施加。

[0192] 至于  $\text{DyFe}_2$ 、 $\text{SmFe}_2$  和  $\text{TbFe}_2$ ,居里温度在  $630$  至  $710^\circ\text{C}$  之间,因此热处理将在优选地  $600^\circ\text{C}$  以下的温度下被施加。

[0193] 参看图 5,通过围绕应力产生结构 2 的磁路 5a 施加磁场,所述磁路由导电线圈 5b 围绕。

[0194] 如由水平箭头所示,该装置产生平行于基片的表面的磁感应。

[0195] 假如基片具有细长形状,即,基片的沿着平行于表面的平面中的两个垂直方向的尺寸的比(基片因此可能被认为是一维的)至少是 10,所施加的磁场优选地是静态的并且平行于基片的最长尺寸取向。

[0196] 假如沿着平行于基片的表面的平面中的两个垂直方向的基片的尺寸是相同数量级的(例如当基片采取圆盘的形式时),则磁场以在基片的平面中产生旋转磁感应的可变场的组合的形式施加,从而导致沿着应力产生结构的两个方向的膨胀。

[0197] 所需的磁感应典型地在  $0.1$  至  $1$  特斯拉之间。

[0198] 磁处理的一个优点在于,它可以在不与应力产生结构或待裂开的基片接触的情况下进行,从而便于其执行。

[0199] 基片的预弱化

[0200] 根据本发明的一个具体实施方式,基片可以在施加热处理(并且,适当时施加磁场)之前被弱化,以便于其裂开。

[0201] 如图 6 所示,在基片的与裂开平面对应的平面中形成弱化区 10。

[0202] 弱化可以由可选地与热处理结合的离子注入引起,而可以导致在与裂开平面对应的平面中产生气孔和/或微泡。

[0203] 在该情况下,注入的离子剂量比在 SmartCut™ 技术中断裂缝所需的剂量小大约 10 倍。

[0204] 例如,在硅中的 20 微米的深度处用于 SmartCut™ 裂缝的  $\text{H}^+$  离子注入剂量大约为  $10^{17}$  原子/ $\text{cm}^2$ ,然而根据本发明用于预弱化的剂量大约为  $5 \times 10^{15}$  至  $5 \times 10^{16}$  原子/ $\text{cm}^2$ 。

[0205] 所述弱化处理也可以在基片的生产期间进行。

[0206] 因此,例如,弱化区可以由硅基片上的  $2 \mu\text{m}$  厚的  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ (其中  $0 < x < 0.8$ ) 的外延生长层形成,该层具有位于层中心的最大锗含量(达至 20%)并且在接近上界面和下界面时减小至大约 5%。

[0207] 在所述层上外延生长的是例如厚度为  $20 \mu\text{m}$  的另一个硅层。

[0208]  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  层中的锗梯度被选择为允许外延生长具有下面的 Si 层的足够的晶体质量(即,较低的错位密度和没有裂缝),该 Si 层旨在随后被剥离。

[0209] 该浓度梯度事实上可以待与下面的硅连续地匹配的  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  晶格常数,而没有通过形成位错而在层中产生应力松弛。

[0210]  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  层比在下面和在上面的硅层机械地更脆,并且裂开将发生在所述  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$

层内。

[0211] 基片中的起裂部

[0212] 另选地,通过在基片中的希望深度处提供起裂部可以便于裂开操作。

[0213] 如图 7 所示,起裂部可以采取凹口 11(典型地深度为几十微米)的形式,该凹口 11 形成在在基片 1 的侧面上,在基本上与应力产生结构必须导致裂缝的深度对应的深度处(上述平面 C)。

[0214] 这种起裂可以在应力非常高的深度范围内精确定位裂缝在基片中的位置。

[0215] 还可以减小待为裂开而施加的应力场并且因此减小温度,并且适当时减小磁感应。

[0216] 起裂部可以通过利用切削工具的机械方式和 / 或通过化学方法制造。

[0217] 例如,对于包括厚度大约 2 微米(与希望的裂缝深度对应)的 P<sup>+</sup> 掺杂硅层的 N 型硅的晶片,可以在 P<sup>+</sup> 掺杂硅层的外周进行利用邻苯二酚的选择性蚀刻以便形成凹口。

[0218] 该凹口的深度取决于化学蚀刻的持续时间。

[0219] 通常,当通过搅拌在溶液中蚀刻 10 分钟时,可以形成具有大约 50 微米的深度的凹口。

[0220] 实施例

[0221] 为了使硅基片裂开,形成如图 3 中的俯视图所示的蜂窝状结构。

[0222] 隔室的壁由硅 2a/ 银 2b 的双材料条形成。

[0223] 硅条和银条的宽度大约是 10 微米。

[0224] 蜂窝状结构的厚度(沿垂直于基片的表面的方向)大约是 40 微米。

[0225] 每个隔室均被刻成直径为 100 微米的圆,隔室的每一侧均具有大约 50 微米的长度并且被弯曲成具有大约 10 微米的垂度。

[0226] 为了避免由来自双材料条的银潜在污染基片,优选地是在将结构结合至基片之前在硅基片的表面上形成保护氧化层,所述氧化层可以在裂开基片并从剥离的膜去除结构之后被去除。

[0227] 通过从室温就能够提供高粘附能量密度的直接结合工艺,例如具有通过等离子处理制备的表面的粘附工艺,将该蜂窝状结构结合至基片的表面。已知该类型的处理能获得几百 mJ/m<sup>2</sup> 的粘附能量密度。

[0228] 为了使粘附工艺在蜂窝状结构的变形的任何寄生效应能基本上被施加在结合界面处之前被完全完成,则通过利用足够慢(典型地 5°C/min)的升温速率使组件的温度升高来进行粘附工艺,即,增大粘附能。

[0229] 然后组件被加热到大约 450°C 的温度。

[0230] 该温度对于通过前述保护层使双材料条的银不会污染基片是足够合适的。

[0231] 在该加热的作用下,银条大于硅条延伸,从而使弯曲的壁伸展直到它们基本上是直的。

[0232] 该变形在硅基片中产生使该硅基片能在 50 至 100 微米之间的深度处被裂开的应力。

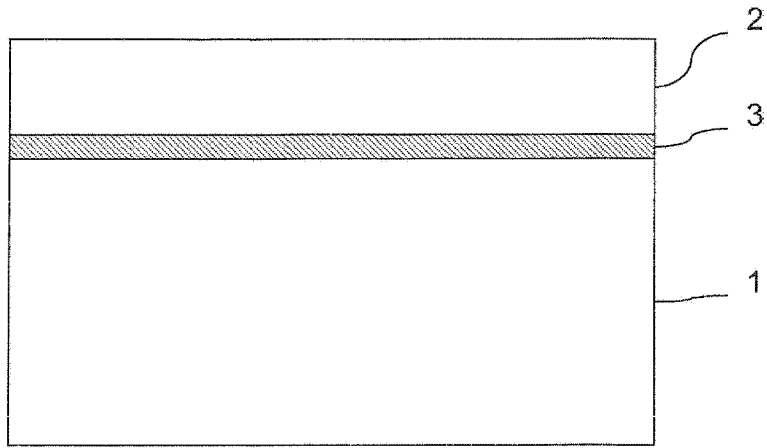


图 1

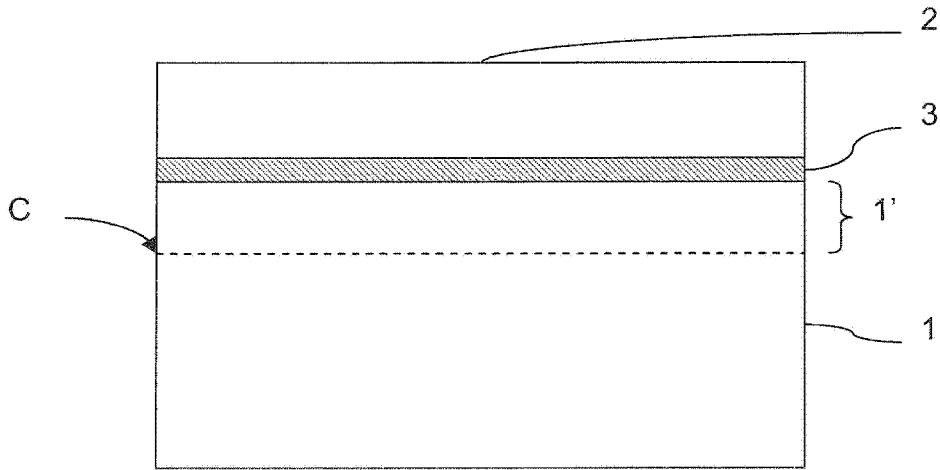


图 2

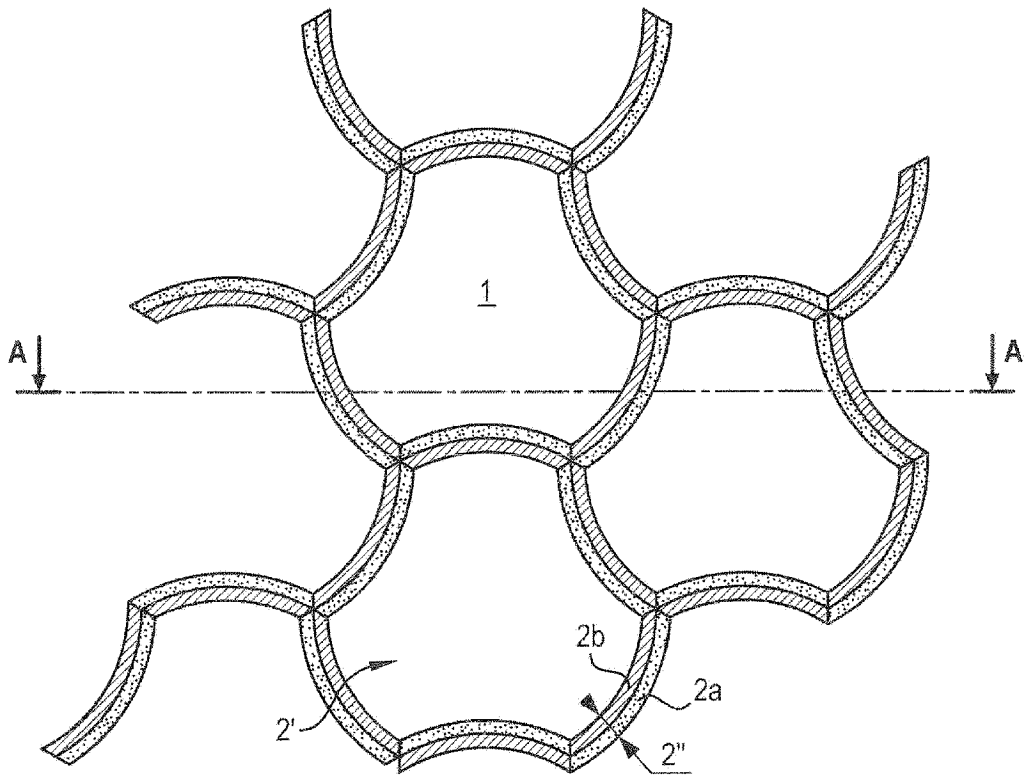


图 3

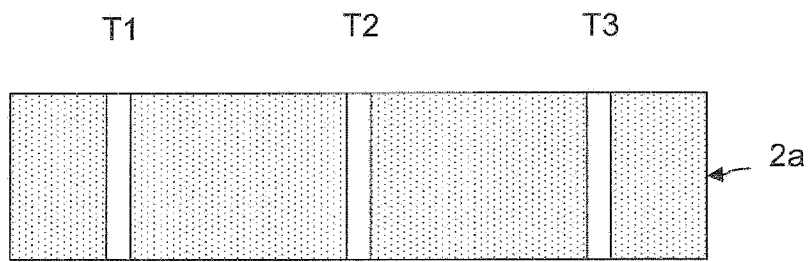


图 4A

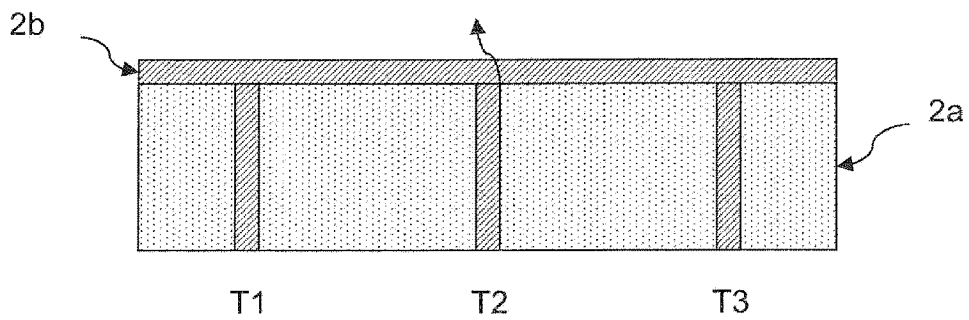


图 4B

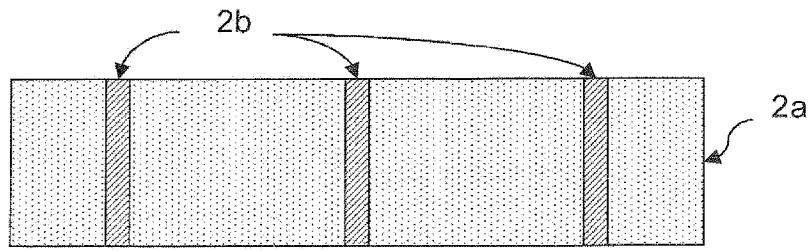


图 4C

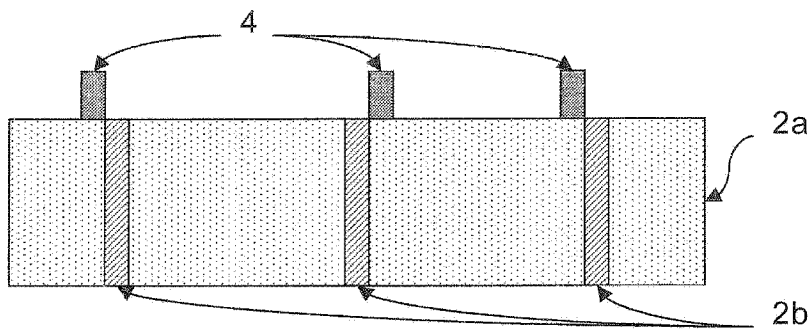


图 4D

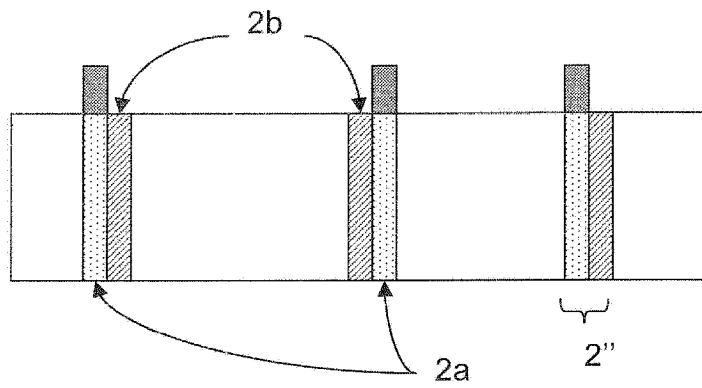


图 4E

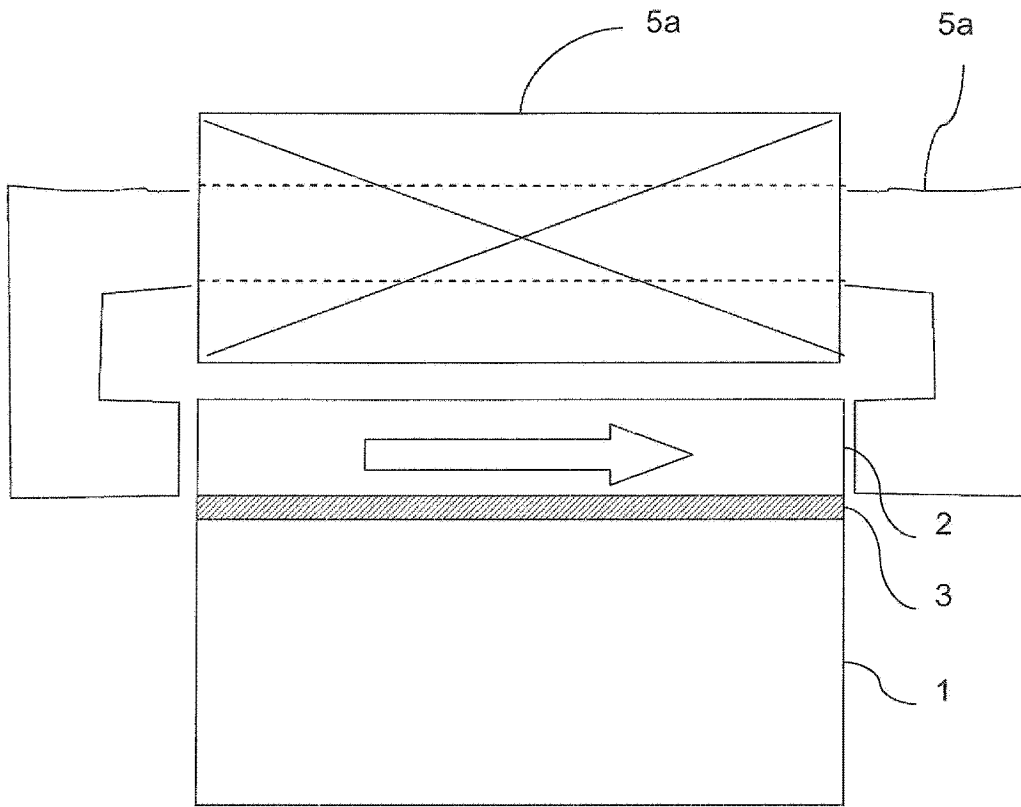


图 5

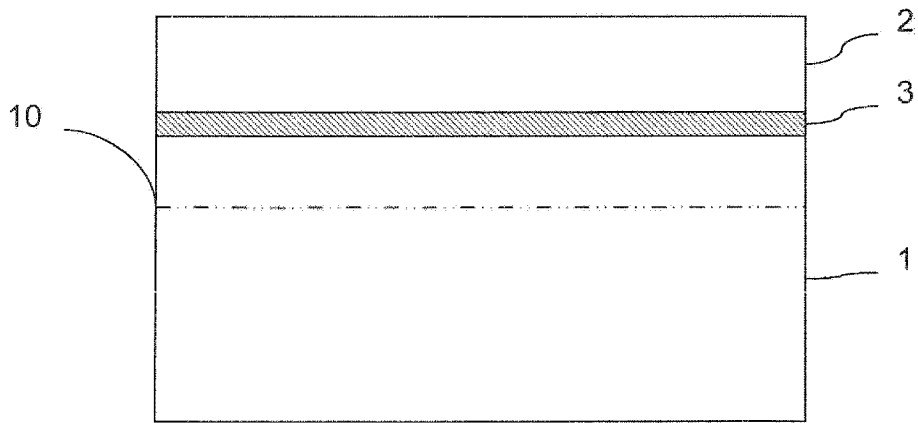


图 6

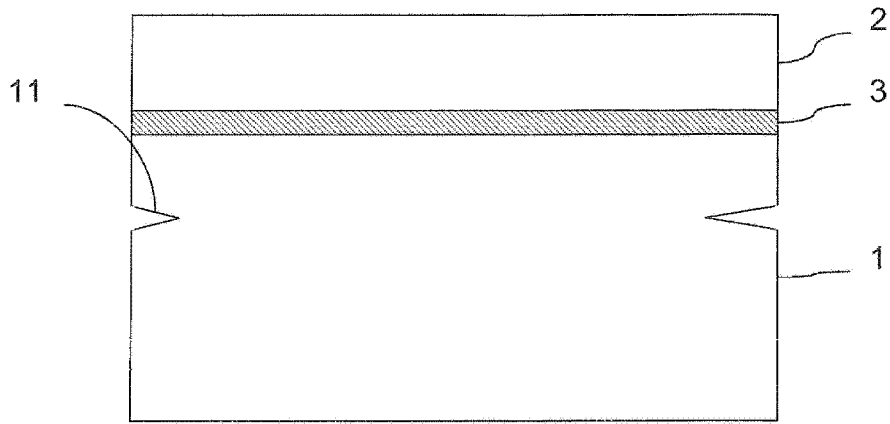


图 7