



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102325717 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 200980157357. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 12. 18

B81C 1/00(2006. 01)

B28D 1/22(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/140466 2008. 12. 23 US

61/175447 2009. 05. 04 US

61/176105 2009. 05. 06 US

(56) 对比文件

CN 101274738 A, 2008. 10. 01, 全文.

CN 1554566 A, 2004. 12. 15, 全文.

US 2007/0249140 A1, 2007. 10. 25, 全文.

US 4582559 1986. 04. 15, 说明书第 3 栏第

28 行至第 4 栏第 28 行, 图 3.

(85) PCT 国际申请进入国家阶段日

2011. 08. 23

(86) PCT 国际申请的申请数据

PCT/EP2009/067539 2009. 12. 18

审查员 王宏钧

(87) PCT 国际申请的公布数据

W02010/072675 EN 2010. 07. 01

(73) 专利权人 西尔特克特拉有限责任公司

地址 德国德累斯顿

(72) 发明人 L. 利希滕斯泰格

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 吕彩霞 艾尼瓦尔

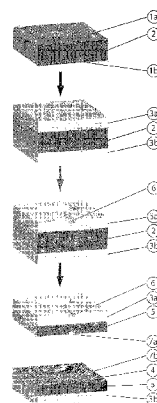
权利要求书5页 说明书31页 附图3页

(54) 发明名称

生产具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层的方法

(57) 摘要

公开了一种印刷方法,其包括步骤:提供具有至少一个暴露表面的固态材料;施加辅助层到该暴露表面上来形成复合结构,该辅助层具有应力图案;使得该复合结构经历这样的条件,该条件促进了该固态材料沿着其中某深度的平面断裂;和除去该辅助层,以及随之一起除去在断裂深度处终止的固体材料层,所除去的固态材料层的暴露表面具有对应于所述应力图案的表面拓扑。



1. 一种印刷方法,其包括步骤:

提供具有至少一个曝露表面的固态材料;

施加包含聚合物的辅助层到所述曝露表面上,来形成复合结构;

通过在所述辅助层中建立预定的温度分布谱使所述聚合物的玻璃化转变温度处于这个温度分布谱的最小和最大温度之间时,使得所述辅助层调温至低于所述聚合物的玻璃化转变温度的部分与所述辅助层调温至高于所述玻璃化转变温度的另一部分相比更硬,使得所述复合结构经历在所述辅助层和所述固态材料中诱导形成应力图案的条件,由此促进了所述固态材料基本上沿着其中某深度的平面断裂,其中所述聚合物的玻璃化转变温度低于室温;和

除去所述辅助层,以及随之一起除去在所述断裂深度处终止的所述固态材料层,所除去的固态材料层的曝露表面具有对应于所述应力图案的表面拓扑。

2. 权利要求 1 的方法,其中所述辅助层的至少一种材料性能根据图案而变化,所述变化取决于在该辅助层中的位置。

3. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层是复合结构。

4. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能影响了所述辅助层在经历所述应力诱导条件时,所诱导的局部应力的的大小和/或方向。

5. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能影响了在所述固态材料断裂过程中裂纹延伸的动力学。

6. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能影响了在经历所述应力诱导条件时,该辅助层材料体积变化的程度。

7. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能是热膨胀系数。

8. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能影响了当吸收溶剂时,该辅助层材料溶胀的程度。

9. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能是弹性模量。

10. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能是该辅助层的局部厚度。

11. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能是通过至少一种活动装置来局部改变的,该活动装置局部植入到该辅助层中。

12. 权利要求 11 的方法,其中所述局部植入到所述辅助层中的至少一种活动装置是压电传动器。

13. 权利要求 2 的方法,其中所述辅助层的至少一种根据图案而变化的材料性能在该方法进行过程中还随着时间而变化。

14. 权利要求 1 或者 2 的方法,其中所述应力诱导条件根据图案变化,所述变化取决于在该辅助层中的位置。

15. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件影响了该辅助层在经历所述应力诱导条件时,所诱导的局部应力的的大小和/或方向。

16. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件影响了在该固态材料断裂过程中裂纹

延伸的动力学。

17. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件影响了该辅助层材料体积的变化。

18. 权利要求 14 的方法,其中所述根据图案变化的应力诱导条件是在辅助层不同位置处所保持的不同的温度。

19. 权利要求 14 的方法,其中所述根据图案变化的应力诱导条件是在辅助层不同位置处所保持的不同的化学品浓度。

20. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件是施加到该辅助层上的外机械力。

21. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件影响了该辅助层的弹性模量。

22. 权利要求 14 的方法,其中所述根据图案变化的应力诱导条件影响了局部植入到该辅助层中的至少一种活动装置。

23. 权利要求 22 的方法,其中所述局部植入到该辅助层中的至少一种活动装置是压电传动器。

24. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件在所述方法进行过程中随时间而变化。

25. 权利要求 24 的方法,其中在所述方法进行过程中随时间变化的所述应力诱导条件包含施加到该辅助层上的温度的至少一种变化。

26. 权利要求 24 的方法,其中在所述方法进行过程中随时间变化的所述应力诱导条件包含冷却该辅助层到低于室温。

27. 权利要求 14 的方法,其中所述应力诱导条件包含通过至少部分该辅助层来吸收溶剂。

28. 权利要求 1 的方法,其中所述固态材料的断裂是在该固态材料的某深度处诱导的,并且基本上沿着这样的平面进行,该平面基本上平行于辅助层和固态材料之间的界面。

29. 权利要求 1 的方法,其中所述除去步骤曝露出该固态材料新的曝露表面,其具有与所除去的固态材料层的表面拓扑互补的表面拓扑。

30. 权利要求 1 的方法,其中所述固态材料的至少一个曝露表面具有预先存在的表面拓扑。

31. 权利要求 1 的方法,其中所述固态材料的至少一个曝露表面包含预先存在的微电子和 / 或微机械装置。

32. 权利要求 1 的方法,其进一步包括步骤:

施加新的辅助层到所除去的固态材料层的曝露表面上,来形成新的复合结构,该复合结构由该新的辅助层、所除去的固态材料层和在先施加的辅助层组成;

使得该新的复合结构经历这样的条件,该条件在该新的辅助层、固态材料和在先施加的辅助层中诱导了新的应力图案,由此促进了所除去的固态材料层基本上沿着其中的新深度平面断裂;和

除去该新的辅助层,以及随之一起除去在所述新断裂深度处终止的新的固态材料的层,该新的所除去的固态材料层的曝露表面具有对应于该新的应力图案的表面拓扑。

33. 权利要求 29 的方法,其进一步包括步骤:

施加新的辅助层到该固态材料新的曝露表面,来形成新的复合结构;

使得该新的复合结构经历这样的条件,该条件在该新的辅助层和所述固态材料中诱导

了新的应力图案,由此促进了该固态材料基本上沿着其中的新深度平面断裂;和

除去该新的辅助层,以及随之一起除去在新的断裂深度处终止的新的固态材料的层,该新的所除去的固态材料层的曝露表面具有对应于该新的应力图案的表面拓扑。

34. 一种印刷方法,其包括步骤:

提供具有至少两个曝露表面的固态材料;

施加多个辅助层到多个所述至少两个曝露表面上,来形成复合结构,并且每个这些曝露表面具有一个单独的辅助层;

使得该复合结构经历这样的条件,该条件在该多个辅助层和固态材料中诱导了应力图案,由此对于每个辅助层来说,促进了该固态材料基本上沿着该固态材料的某深度平面断裂;和

除去该多个辅助层,以及与每个辅助层一起除去在断裂深度处终止的固态材料层,对于每个辅助层来说,所除去的固态材料层的曝露表面具有对应于该辅助层的应力图案的表面拓扑,其中至少两个所述断裂平面是基本上重合的,并且相应的所除去的固态材料层的表面拓扑基本上对应于所涉及的辅助层的应力图案的叠加。

35. 一种印刷方法,其包括步骤:

提供具有两个相对并且基本上平行的曝露表面的固态材料;

施加辅助层到每个所述曝露表面上来形成复合结构;

使得该复合结构经历这样的条件,该条件在该两个辅助层和所述固态材料中诱导了应力图案,由此促进了该固态材料基本上沿着所述两个相对曝露表面之间的某深度的平面的断裂;和

除去所述两个辅助层,并且随着第一辅助层除去在断裂深度终止的第一固态材料层,该第一除去的固态材料层的曝露表面具有对应于所述两个辅助层的应力图案叠加的表面拓扑,和随着第二辅助层除去第二固态材料的层,对于初始提供的固态材料来说,该第二固态材料层与所述第一除去的固态材料层是互补的,并且所述第二所除去的固态材料层的曝露表面具有与所述第一所除去的固态材料层的表面拓扑互补的表面拓扑,

其中所述固态材料包括选自下面的结构:基底、晶片、芯片和盘片,并且

其中所述结构包含预先存在的微电子和/或微机械装置。

36. 权利要求 32, 34 或 35 的方法,其中至少一个所述辅助层的至少一种材料性能是根据任一权利要求 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 和 13 的方法而变化的。

37. 权利要求 36 的方法,其中至少一个所述辅助层的至少一种材料性能是根据这样的图案而变化的,该图案不同于至少另一个辅助层的相同材料性能的变化图案。

38. 权利要求 36 的方法,其中至少一个所述辅助层的至少一种材料性能是根据这样的图案而变化的,该图案与至少另一个辅助层的相同材料性能的变化图案是基本互补的。

39. 权利要求 32, 34 或 35 的方法,其中所述应力诱导条件是根据任一权利要求 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 和 27 的方法而变化的。

40. 权利要求 39 的方法,其中对于至少一个所述辅助层来说,该应力诱导条件是根据这样的图案变化的,该图案不同于至少另一个辅助层的应力诱导条件的变化的图案。

41. 权利要求 39 的方法,其中对于至少一个所述辅助层来说,该应力诱导条件是根据这样的图案变化的,该图案与至少另一个辅助层的应力诱导条件的变化的图案是基本互补

的。

42. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中提供固态材料包括提供包含半导体材料的结构。

43. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中提供固态材料包括提供包含硅、锗、刚玉、碳化硅、砷化镓、氮化镓、氧化锌和 / 或石英的结构。

44. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或者几个辅助层包括施加至少一个包含聚合物的辅助层。

45. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个包含聚二有机硅氧烷的辅助层。

46. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个包含聚二甲基硅氧烷的辅助层。

47. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个包含金属的辅助层。

48. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个包含铝的辅助层。

49. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个包含复合结构的辅助层，该复合结构包含聚合物和非聚合物。

50. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个辅助层，其包括植入到包含聚二甲基硅氧烷的基质中的一种或多种无机材料的结构。

51. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中施加一个或几个辅助层包括施加至少一个辅助层，其特征为热膨胀系数与所提供的固态材料的热膨胀系数相差至少 $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。

52. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中所述固态材料的断裂是进一步如下来促进的：在使得所述复合结构经历诱导应力的条件之前，在该固态材料中提供一个或多个具有相对低的断裂韧性的区域。

53. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中所述固态材料的断裂是进一步如下来促进的：在使得所述复合结构经历诱导应力的条件的同时，在该固态材料中提供一个或多个具有相对低的断裂韧性的区域。

54. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中在除去所述辅助层和随之的固态材料层之后，将该辅助层从所除去的固态材料层上除去。

55. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中所产生的表面拓扑基本上对应于这样的表面的拓扑，对该表面来说，在该复合结构中的垂直应力强度因子 K_{II} 是 0。

56. 权利要求 1 或者 34 的方法，其中辅助层施加到其上的至少一个曝露表面具有曲率。

57. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中所产生的表面拓扑是基本上镜面对称的。

58. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中所产生的表面拓扑包含基本上周期性的图案。

59. 权利要求 1、34 或者 35 的方法，其中所产生的表面拓扑包含基本上周期性的图案，并且空间周期小于 10 微米。

60. 权利要求 30 的方法，其中诱导所述应力图案以使预先存在的表面拓扑对于所除去的层的曝露表面的表面拓扑的影响最小。

61. 权利要求 31 或者 35 的方法，其中诱导所述应力图案以使预先存在的微电子和 / 或

微机械装置对于所除去层的暴露表面的表面拓扑的影响最小。

62. 权利要求 32 的方法, 其中诱导所述新的应力图案以使所除去层的暴露表面的表面拓扑对于该新除去层的暴露表面的表面拓扑的影响最小。

生产具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及固态材料层的生产,特别是涉及用于生产相对薄的、独立式(free-standing)固态材料层例如微电子材料的技术。本发明还涉及用于在这样的层的表面上产生几何结构的技术。

背景技术

[0002] 微电子装置的制作典型地包括两组明显不同的加工步骤:第一,从大块固态材料(例如半导体材料例如硅)上切割相对薄的独立层,和第二,使用多种另外的加工步骤和技术来在这种独立层上,特别是在它的表面上形成结构。通常,这些表面结构不包括任何另外的材料,而仅通过使独立层表面上的所述材料成形(例如通过蚀刻)来产生。

[0003] 作为一个例子,在第一组加工步骤中,可以从单晶硅晶块上切割(例如使用线锯)薄的晶片。然后进一步加工(例如通过抛光)该晶片表面来获得光滑表面。在第二组加工步骤中,然后在晶片表面上形成几何结构例如沟槽,角锥,平台,针等等。这是通过(通常复杂和昂贵的)次序步骤来实现的,例如掩模沉积,掩模成图(例如通过影印),下面的晶片表面的成图,例如通过干(例如 RIE)或者湿各向异性(例如 KOH)或者各向同性(例如基于 HF)蚀刻,和最终除去掩模。可以使用在晶片表面上形成的结构来例如提高太阳能电池的光电转化效率,例如,通过在晶片表面上产生无规的反转角锥结构,其提高了太阳能电池工作区域中的光分散。在这种简单的情况中,可以不需要掩模,并且单个蚀刻步骤(例如通过 NaOH 湿蚀刻)会是足够的。在更复杂的例子中,可以在晶片表面上产生结构例如“光子晶体”,其促进了晶片材料的电-光特性的改变(特别是带隙)。因为在这样的应用中必需精确控制结构的局部排列,因此该技术典型地包括多得多的加工要求(例如高质量的掩模和 RIE 蚀刻),因此是非常昂贵的。其他应用包括微-电机系统,这里在晶片表面上产生结构(例如沟槽,平台)经常代表生产复杂的三维装置例如传感器和传动器的一个或多个早期步骤。

[0004] 目前用于生产具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层的方法的一种通常缺点是它们典型地需要许多的加工步骤,以用于生产该独立层本身和随后用于其表面的结构化这二者。这使得这样的技术是昂贵和缓慢的,特别是必须控制表面结构的局部排列而要求使用掩模和平版印刷加工时。另外一个问题是固态材料的消耗:例如,当使用线锯从晶块上切割薄的晶片时,损失了大约 50% 的晶块材料,这就是所谓的“锯口损失”(锯末等等)。在抛光该晶片以及随后的结构形成步骤例如蚀刻中进一步损失了材料。因为该固态材料通常是昂贵的,因此这明显增加了生产成本。此外,虽然对大部分应用来说,非常薄的固态材料层足以(并且确实通常在例如电子或者光学性能方面更有利)来生产期望的装置,但是大部分目前的方案不能经济地制造这样的薄的独立式固态材料层。

[0005] 最近,已经描述了用于生产薄的独立式固态材料层的方法,其具有最小的锯口损失。但是,仍然需要以比目前方法更简单和更经济的可控方式在这样的薄的独立层表面上产生局部可定义的结构。

发明内容

[0006] 根据本发明的实施方案,具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层的生产是这样提高的:将层的生产与之前分开进行的表面结构的生产相组合。本发明的实施方案提供了单个、简单和不昂贵的方法,其避免了上述的大部分缺点。本发明的实施方案可以生产薄的、独立式固态材料层,其具有局部可控的厚度和局部可定义的表面结构图案。

[0007] 在多种实施方案中,具有局部可控的表面结构图案的薄的、独立式固态材料层是通过在固态材料中诱导局部可控的三维应力图案来生产的。例如,局部受控的应力可以在粘合到该固态材料上的辅助层中建立。该辅助层可以通过足够强的附着来结合到固态材料的工件上。该辅助层是以这样的方式制备的,即,允许在这个层的期望位置上诱导不同大小的局部所定义的应力。这还在粘接工件中诱导了局部所定义的应力。

[0008] 例如,该辅助层的可以组成由图案区域组成,一些具有相对高的热膨胀系数(CTE),一些(或者其余的)具有相对低的CTE。如果该辅助层所粘合的工件的CTE更接近于所述辅助层的“低CTE”而非“高CTE”,并且如果复合结构(辅助层-工件)经历了温度变化,则在这些具有高CTE的辅助层区域中将诱导产生比这些具有低CTE的区域更大的应力。同样,这将在固态材料的粘接工件中诱导直接相关的局部所定义的应力图案。

[0009] 例如,该辅助层可以包含这样的聚合物,其特征为CTE(“高CTE”)在室温大于约 $50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。优选地,该聚合物的特征为CTE在室温大于约 $100 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,更优选地,该聚合物的特征为CTE在室温大于约 $200 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。该聚合物的图案化可以具有“空白”区域(即,在这里将聚合物材料局部除去的区域)。如果该材料是穿透辅助层的整个厚度而除去的(“孔”),则在辅助层的这些区域中没有局部诱导产生应力,并且所形成的效果类似于这些区域的辅助层具有局部不同的CTE(“低CTE”),其等于粘接工件的CTE(例如,对于硅工件来说,该CTE在室温是大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)。如果这些“空白”区域仅仅是凹痕(即,该辅助层中局部除去的材料仅仅高达该辅助层内的某个深度),则局部诱导的应力的大小处于前述情况和没有材料从该辅助层中除去的另一极端情况之间。所形成的效果因此类似于这些区域中的辅助层具有局部不同的CTE(“低CTE”),其处于下层工件的CTE和未处理的辅助层材料的CTE(“高CTE”)之间。

[0010] 在另一个例子中,代替局部除去聚合物,还可以局部物理或者化学处理该聚合物,来例如局部提高该聚合物的交联度,其可以例如导致CTE的局部降低(从“高CTE”到“低CTE”)。“高CTE”和“低CTE”之间的差异(需要其来获得期望效果,用于由粘接工件来生产具有结构化表面的薄的、独立式层)取决于这些表面结构期望的尺寸,粘接工件的CTE,和辅助层和工件材料的其他机械性能(特别是它们的厚度和弹性模量)。例如,如果该辅助层包含聚二甲基硅氧烷或者PDMS(在未图案化的状态时在室温的CTE是大约 $300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$),并且该工件包含CTE是大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的硅,则图案化该辅助层(其带有这样的区域,与其余的辅助层相比,CTE差异是至少1%)足以在工件上生产结构化表面(例如,可以使用包含PDMS的辅助层(具有CTE在室温是 $297 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的区域和在室温CTE是 $300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的其他区域)来在包含硅的工件上生产结构化表面)。

[0011] 在又一个例子中,该辅助层可以包含这样的材料(例如金属),其特征为CTE与工件的CTE相差的绝对值在室温至少为 $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。例如,对于室温CTE是大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

的硅工件来说,可以使用室温 CTE 是大约 $24 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的含铝辅助层,并且该辅助层可以通过局部除去铝来图案化(完全或者部分地除去到该辅助层中任何期望的深度)。

[0012] 在又一个例子中,非局部 CTE 的局部材料性能可以用于在该辅助层中产生局部可控的应力图案,例如局部溶胀(参见下面)。另外,该辅助层中的其他局部材料性能(其可以不必在该辅助层中主动产生应力图案,但是其会影响这样的应力图案的动力学进展)可以局部改变,来在工件上产生局部所定义的表面结构,例如,可以局部改变该辅助层中的弹性模量(例如杨氏模量),例如通过局部改变辅助层中聚合物的交联度来改变。

[0013] 可以使用其他方案来在辅助层中产生局部可控的应力图案,如下所述。不管使用何种机理来在该辅助层中产生局部所定义的应力图案,这在固态材料的粘接工件中诱导了直接相关的局部所定义的应力图案。

[0014] 在适当的条件下,机械应力图案导致了薄层从工件上剥离,其基本上与工件和辅助层之间的界面平行(“散裂”)。并且,在适当的条件下,在所产生的薄层的面上(其事先处于工件内)形成了表面结构图案,并且这种图案按照辅助层中的局部应力图案形成。此外,同时,在通过薄层剥离而新暴露的工件的面上形成了表面结构图案,并且这种图案是与脱离的层表面上所形成的图案是基本镜像的(更准确的,三维互补的)。剥离的薄层的区域与辅助层的区域大致匹配。当该薄层从工件上剥离而形成的两个图案化表面中的每个可以再次使用,即,另外一个辅助层可以施加到工件新暴露的面上或者剥离的层新暴露的面上。因此,本发明的一些实施方案便于重复的剥离操作,产生了具有表面结构的另外的层,其来自于工件的剩余部分和剥离的层两者。

[0015] 本发明的一些实施方案还涉及由单晶或者多晶半导体材料来生产具有结构化表面的薄的独立固态材料层。本发明可以用于此,薄的单-或者多晶硅盘片是需要的或者期望的(例如归因于成本考虑),并且这些薄的盘片的一个或者两个面待被图案化为具有由与盘片本身相同的材料组成的表面结构。有利的应用包括成本有效和有效率地生产单晶硅太阳能电池,其具有基本上充当抗反射层或者光子晶体的表面结构,或者用于在薄的机械柔性基底上的微机电装置的结构。例如,本发明的一些实施方案便于从平的单晶硅片上剥离厚度为大约 $50 \mu\text{m}$ 的具有结构化表面的层。在这些薄的硅层上,例如,本发明促进了产生表面-结构部件,其具有从明显低于 1 毫米到高达几厘米的侧向尺寸。这些部件的高度(即,在该部件处薄层的局部厚度)可以控制到从 0(即,在薄层中相应成形的孔)到高于几百微米,这还取决于所述部件的侧向尺寸。此外,每个这些“宏观”部件可以进一步被赋予所选择的特定“微观”表面粗糙图案,这里这些微观图案的组成是或者包括基本上周期性的结构例如线,谷,边缘等,其具有从低于 100 纳米到高于几微米的垂直和侧向尺寸,和从低于 100 纳米到几十微米的空间周期。所产生的“宏观”和“微观”部件二者的尺寸可以通过辅助层中的局部所定义的应力图案以及辅助层的机械性能来控制。

[0016] 通常,在复合材料(辅助层和粘接工件)中局部所定义的应力图案(需要其来根据本发明的实施方案来生产具有局部可控图案的表面结构的薄的、独立固态材料层)可以通过使得该复合材料经历一种或多种外活化因子(例如温度变化)来产生。外活化能够通过两种不同方案来产生局部所定义的应力图案:在一种方案中,可以使用均匀的外活化(例如,整个复合材料经历了相同的温度变化),但是辅助层是非均匀的,即,它的至少一种材料性能是在该辅助层中根据预定的图案而变化的(例如,该辅助层的 CTE 是根据所述图

案来局部变化的)。在第二方案中,可以使用均匀的辅助层,但在这里外活化根据某个图案非均匀(例如,将在每个地方具有相同 CTE 的辅助层在某些预定位置冷却得更厉害)。两种方案可以单独使用或者组合使用。应力可以例如通过该辅助层材料的局部体积变化而局部产生。这可以使用特定的活动元件来进行(例如,通过将小的传动器例如压电元件植入到该辅助层材料中,然后选择性启动它们的子组),或者,更被动的,使用该辅助层的材料性能来进行(例如,在该辅助层的不同位置诱导不同的热膨胀)。还有其他材料性能(其影响复合材料(辅助层-工件)中的应力图案)可以进行局部改变,特别是辅助层的厚度和/或辅助层的弹性模量。最后,影响该应力图案的动力学进展的材料性能(例如,该应力图案在薄层的剥离过程中如何局部改变,例如,裂纹延伸的动力学例如裂纹尖端的振动)也可以局部改变,特别是弹性模量。例如,已知的是对于牵引规定的边界值问题来说,双材料体系的非二维弹性模量相关性可以表示为两个双材料参数: σ (两种材料的刚度比)和 ϵ (摆动指数)。还已知的是对双材料体系来说(该体系由一种材料的工件和第二材料的辅助层(每个材料采用各向同性和线性弹性的,并且预先存在于该工件中的半无穷裂纹平行于界面,和该工件和该辅助层假定为无穷长的)组成),用于散裂问题的稳态方案(例如,所产生薄层的厚度)基本上取决于辅助层的厚度以及刚度比 σ ,但是仅仅很低程度地取决于摆动指数 β 。所以,在本发明一个实施方案的一个实施例中,所产生的薄层厚度中局部所定义的和相对大的变化是通过局部改变该辅助层的厚度和/或它的刚度来实现的。并且,局部改变摆动指数允许改变相对更小(在厚度变化方面,即,振幅)、基本周期性的结构的局部性能(例如周期或者振幅),所述结构通过在裂纹尖端处的摆动行为在薄层表面上产生。

[0017] 本发明的主要优点在于明显减少了生产具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层所需的加工步骤的数目。与传统的方法相反,将从更厚的固态材料块上切割薄层的过程,和随后在这些层上形成可控的表面结构的过程(例如抛光,清洁,掩模沉积,掩模成图,图案转移和表面蚀刻,掩模除去)全部合并到单个的、简单得多的和明显更便宜的加工次序中。此外,本发明的方案明显降低了在具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层的生产过程中发生的材料损失。与使用例如锯切,研磨,抛光或者蚀刻的现有的方法相反,本发明的方案几乎不产生有价值的供料材料的损失。当从工件上剥离图案化的薄层时,该供料几乎完全存留并在剥离层和工件的剩余部分之间分配,并且在该薄层和工件上的表面结构图案基本上是彼此互补。

[0018] 本发明另一优点是能够使用明显更便宜的装置来进行它。本发明的一些实施方案能够容易地整合到现有的生产方法中,例如,用于生产具有结构化表面的薄的硅太阳能电池。

[0019] 最后,本发明的一个优点是它能够用于许多不同类型的固态材料。

附图说明

[0020] 借助于作为举例给出并且通过附图来说明的实施方案的说明将更好地理解本发明,其中:

[0021] 图 1 以透视图示意性说明了本发明方法的四步方法次序(从顶到底);

[0022] 图 2 以透视图示意性说明了本发明方法的四步方法次序(从顶到底);

[0023] 图 3 以透视图示意性说明了本发明方法的四步方法次序(从顶到底)。

具体实施方式

[0024] 本发明是涉及一种生产具有结构化表面的薄的、独立式固态材料层的方法。下面参照图 1 来描述本发明说明性的实施方案。

[0025] 在第一实施方案中,工件 2 是一种市售单晶硅晶片。图 1 以透视图示意性说明了根据本发明的一种代表性的四步方法次序(从顶到底)。下面的附图标记参见图 1。

[0026] 步骤 1:这里的基础原料是单晶硅晶片 2,按照它用于例如微电子或者光电工业时的 Czochralski 方法来生产。晶片 2 的直径是大约 76mm,厚度是大约 0.4mm。该晶片是轻微 n- 或者 p- 掺杂的,具有大约 10 Ohm cm 的比电阻率,并且它的两个面 1a 和 1b 是平行于 <100> 晶体平面定向的。该晶片的一个或者两个面 1a 和 / 或 1b 可以是镜面抛光的或者简单蚀刻和重叠的。晶片 2 可以从晶片生产后直接使用,或者它可以使用常规方法进行大致的预清洁(例如用有机溶剂和水,或者用等离子体氧化清洁)。

[0027] 步骤 2:在晶片 2 的每个面 1a 和 1b 上施加聚二有机硅氧烷的薄层 3a,3b(例如聚二甲基硅氧烷或者 PDMS;为了方便随后的讨论提及 PDMS,但是应当理解可以使用任何合适的硅酮聚合物或者共聚物),并且固化(或者使其固化)。这些辅助层 3a,3b 优选的厚度是 0.01mm-10mm,更优选的厚度是大约 0.3mm- 大约 3mm。两个层 3a,3b 的厚度在这个说明性实施方案中是相同的,但是在另一些实施方案中这两个层的厚度可以不同。对于 PDMS 来说可以使用例如 Dow Corning 的 SYLGARD184,并且固化剂与基础材料的混合比是 1:10。该液体 PDMS- 混合物首先真空脱气大约 1 小时,然后将它以期望的厚度施用到晶片 2 的每个面 1a,1b 上,并且在加热板上固化(例如在 100°C 固化 30 分钟)。在该说明性实施方案中,PDMS 层 3a,3b 在大部分晶片区域上具有均匀厚度。这可以通过将该晶片放置在水平表面上,并且在固化 PDMS 之前通过重力使其均匀化来实现的。在该 PDMS 固化后,将三层复合材料(PDMS3a- 晶片 2-PDMS3b)冷却到室温。此后,用快刀除去沿着晶片 2 的边沿突出的任何 PDMS,以使得晶片 2 的边缘基本上没有 PDMS,并且 PDMS 仅覆盖晶片 2 的两个面 1a,1b。可以通过将 PDMS 仔细施加到晶片面上,并且让它在水平表面上均匀化,来避免在晶片边沿上具有任何的 PDMS 突出(并因此接触该晶片的边缘);在这种方式中,PDMS 的表面张力将防止它溢流到晶片边缘。

[0028] 步骤 3:然后进行成图步骤:使用工具例如快刀或者剃刀刃来将线型和 / 或其他几何图形(例如圆形等等)的任意图案 6 切割到 PDMS 层之一 3a 的表面中。在这种实施方案中,在 PDMS 层 3a 中全部的切割具有相同的深度,其小于 PDMS 层 3a 的厚度(即,PDMS 层 3a 没有地方完全切透到晶片表面 1a)。例如,对于优选的厚度为 1mm 的 PDMS 层 3a 来说,这种切割优选的深度是 0.01mm-0.99mm,更优选 0.1mm-0.9mm。

[0029] 步骤 4:在成图步骤之后,将该复合材料(PDMS3a- 晶片 2-PDMS(3b))完全浸入到液氮浴中(温度大约 -200°C)。由于硅(大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)和 PDMS(大约 $300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)的热膨胀系数的明显差异,通过这种冷却在该复合材料中诱导了大的机械应力。但是,在图案 6 的一部分区域中(这里 PDMS 层 3a 已经被切割),机械应力是局部不同的,其取决于切割的排列和深度。在冷却几秒后,晶片 2 平行于它的表面 1a 自然分裂成两个薄的单晶硅盘片 5,每个盘片 5 的一个面仍然具有相应的 PDMS 辅助层 3a 或者 3b 粘接。

[0030] 在足够小心的操作下,两个硅盘片 5 中的每个的基本组成是一个单片,并且在发

生分裂的面在其表面 4 上显示图案 6 的图像 7a 或者 7b。在两个硅盘片 5 上的图像图案 7a 和 7b 是基本互补的。图像图案 7a 和 7b 每个中的特征可以包含不同的表面粗糙度,不同的表面高度(即,相应的硅盘片 5 的不同局部厚度)的区域,或者与周围区域相比的表面性能的其他差异。图案 6 的侧向特性是以相同的尺寸,基本上复制互补图像 7a 和 7b 的。图案 6 中的特征(其侧向尺寸大于大约 0.1mm)可以复制在图像图案 7a 和 7b 中。为了避免垂直于表面 4 的另外的断裂,盘片 5 在分裂之后可以直接从液氮浴中转移出来,转移到 100℃加热板上(并且粘接有 PDMS 辅助层 3a 或者 3b 的面朝下),直到整个 PDMS 辅助层重新升温到至少室温。无论使用何种升温方法,优选的是在盘片 5 升温时将它们仔细的压到平载体上,以使得所述层的任何卷曲被反转,来随着升温的进行使所述层变平。

[0031] 根据这种方法所生产的具有表面图案 7a 和 7b 的薄的硅盘片 5 的基本组成为具有与初始晶片 2 相同性能的单晶硅,并且可以直接使用。可选择的,还可以将 PDMS 辅助层 3a 或者 3b 从硅盘片 5 上除去,例如通过浸入到适当的液体蚀刻剂(例如,3:1 体积比的 NMP(N-甲基吡咯烷酮)和 TBAF/THF(四丁基氟化铵的 1.0M 四氢呋喃溶液)混合物,或者还通过浸入到氢氟酸)中来除去。PDMS 辅助层 3a 或者 3b 优选的除去方式是用热硫酸(H_2SO_4)蚀刻剂浴,优选在高于 150℃的温度(和更优选高于 200℃)冲洗或者浸入其中,然后机械除去所产生的白色二氧化硅泡沫(例如使用刷子,和可能的几个刷拭-蚀刻循环),最后通过浸入到氢氟酸中来清洁该硅盘片 5。

[0032] 在第二说明性实施方案中,成图步骤(步骤 3)是使用激光束照射来代替快刀切割而进行的。该激光优选具有被 PDMS 强吸收的频率(CO_2 激光器满足这个标准),优选通过自动或者手动方式控制激光束在 PDMS 层 3a 上的强度和移动来切割期望的图案。市售激光切割器(例如 VERSA 激光 VLS6.60,具有 60 瓦 CO_2 激光器)是可接受的。切割深度可以通过任意的几种可以单独或者组合使用的方式来改变:激光束可以聚焦到不同的深度,激光强度可以改变,激光束在 PDMS 表面 3a 上的扫描速度可以改变,激光的脉冲速率可以改变,激光束可以重复地通过 PDMS 表面 3a 上的相同点(在这些通过之间可能具有表面清洁步骤)。

[0033] 在第三实施方案中,成图步骤是使用化学蚀刻代替快刀切割来进行的,可能在 PDMS 表面上使用掩模层,并且可能与刀子或者激光切割组合使用。

[0034] 在第四实施方案中,成图步骤是通过在所选择的位置局部燃烧 PDMS 表面 3a 来进行的,但是代替使用激光束,将具有浮雕形状的期望图案的火印压到 PDMS 表面 3a 上。该火印优选的温度高于 PDMS 分解温度,更优选高于 550℃。

[0035] 在第五实施方案中,成图步骤是使用任何不同可能的切割机制来进行的,例如前述的那些。但是,在这种情况下,不仅在 PDMS 表面 3a 中切割出线,而且还切割出侧向延伸的二维特征例如盘片,其也施加于 PDMS 表面 3a 中。这可以例如使用光栅形式的激光来进行,以基于图像数据来产生这些特征,所述数据被用于以扫描器的方式控制激光的激发。

[0036] 在第六实施方案中,本发明方法中的成图步骤是使用任何不同的切割机制来进行的,例如前述的那些。但是,这里切割深度在整个图案 6 中并不保持一致,而是以预定方式局部变化。换句话说,图案 6 的特征可以被赋予不同的深度。例如,在这种方式中,可以在图像图案 7a 和 7b 中产生具有局部不同高度的特征。在一种极端的例子中,切割可以穿透 PDMS 层 3a 到达晶片 2 的表面 1a 上来进行。如果这样,例如形成由实心圆(即,盘片)组成的图案 6,则两个所产生的盘片 5 中的一个将具有通孔的图像图案 7a,另一个将具有相应的

互补的成型平台图案 7b, 其具有与初始晶片 2 相同的厚度。

[0037] 在第七实施方案中, 成图步骤不是通过将图案切割到 PDMS 辅助层 3a 中来进行的, 而是在某些对应于期望图案特征的位置, 通过局部改变 PDMS 层 3a 的性能来进行的。例如, PDMS 的机械性能, 特别是它的 CTE, 可以使用下面的技术来局部改变 [Huck 等人, Langmuir(2000), 16:3497-3501]: 将 PDMS 层 3a 在 0.25 M 的苯甲酮的二氯甲烷溶液中浸泡 5 h。然后将该 PDMS 层 3a 在空气中黑暗中干燥 24 小时。这种处理提高了 PDMS 对于紫外 (UV) 光辐射的敏感性, 因为苯甲酮 (光敏剂) 在被照射时产生了自由基; 这些自由基交联了 PDMS。该 PDMS 层 3a 然后通过一个表现出期望图案 6 的振幅光掩模来曝露于 UV 辐射 (例如 254nm, 10-30min)。PDMS 层 3a 的曝露区域变得更硬并且弹性降低, 并且其的 CTE 和弹性模量不同于周围区域的。代替通过用掩模图案化的 UV 光照射敏化的 PDMS, 该敏化的 PDMS 可以改为例如使用 UV 激光器曝光。此外, 在对应于期望图案特征的位置上选择性提高 PDMS 的交联 (这局部的改变了它的 CTE 和其他能够影响局部应力产生的机械性能) 可以例如通过用红外激光器辐射来实现, 其选择性地加热 PDMS 层 3a 表面上的某些图案, 而非烧掉它。

[0038] 在第八实施方案中, 成图步骤不是通过将图案切割到 PDMS 辅助层 3a 中来进行的, 而是在对应于期望图案特征的位置, 通过局部改变 PDMS 层 3a 的性能来进行的。例如, PDMS 的机械性能, 特别是它的 CTE 和 / 或它的弹性模量, 可以通过局部植入具有不同性能 (例如不同的 CTE 和 / 或不同的弹性模量) 的其他材料 (玻璃珠, 空气气泡, 金属粒子, 纤维等) 到 PDMS 层中来局部改变。

[0039] 在第九实施方案, 成图步骤是通过使用非均匀的辅助层 3a 来进行的, 该辅助层包含至少一个图案化的层和至少另一个非图案化的层, 它们可能是由不同材料制成的并且可能具有不同的性能 (例如不同的 CTE)。在一种方案中, 在施加 PDMS 之前, 将具有图案 6 的金属结构沉积到晶片 2 的表面上, 例如, 使用丝网印刷技术或者平版印刷和物理气相沉积来进行。然后将 PDMS 施加到这个金属结构和晶片二者上 (由此部分植入该金属结构), 然后固化。因为对于该金属结构来说, 性能例如 CTE 不同于 PDMS 的这些, 因此所产生的薄盘片 5 的表面结构图案 7a 和 7b 基本上是该金属结构的图案 6 的图像。

[0040] 在第十实施方案中, 使用本发明的方法来将晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5, 并且所用的图案 6 是镜面对称图案。这产生了两个薄的盘片 5, 其具有基本相同的图像图案 7a 和 7b, 即, 可以“在一步内” (即, 仅仅使用了一次本发明的方法) 产生两个相同的产物 (“装置”)。PDMS 辅助层 3a 和 3b 的性能 (例如它们的厚度) 可以这样选择, 即, 使得两个所产生的薄的盘片 5 的厚度相同, 或者它们是彼此不同的。

[0041] 在第十一实施方案中, 本发明的方法这样使用, 即, 在晶片的一个面上的 PDMS 层 3a 中具有某些图案 6, 在该晶片的另一个面上的 PDMS 层 3b 中具有另外一种图案 6'。图案 6' 可以与图案 6 相同, 或者它可以是不同的图案。通过这种实施方案的方法所生产的薄的盘片 5 上的图像图案 7a 和 7b 因此基本上是图案 6 和 6' 的组合 (例如叠加)。

[0042] 在第十二实施方案中, 本发明的方法首先使用 PDMS 层 3a 中的某图案 6 和 / 或 PDMS 层 3b 中的图案 6' 来生产两个薄的盘片 5, 一个具有相应的图像图案 7a, 另一个在一个面上是相应的镜面图像图案 7b。两个盘片 5 中的每个通常仍在另一个面上粘接有 PDMS 层 3a 或者 3b。这些层然后可以用新的 PDMS 层代替, 但是优选的是留下这些层 3a 和 3b 粘接到

它们各自的盘片 5 上。不管它们是否被替代或者重新使用,如果期望可以图案化这些层 3a 和 / 或 3b,或者如果它们已经在所述方法的第一次重复操作过程中(即,用于生产两个薄的盘片 5)进行了图案化(用图案 6 或者 6'),则它们的图案可以改变。该方法然后如下来再次使用:将用于接下来的反复操作的新的 PDMS 辅助层沉积到两个薄的盘片 5 还没有粘接 PDMS 层的这些面上(即,具有表面结构图案 7a 或者 7b 的面)。如果期望,这些新的 PDMS 辅助层的一个或者两个可以进行图案化(用任何期望的图案)或者不图案化。该方法的第二反复操作因此产生了总共四个更薄的盘片,其中这四个更薄的盘片中的两个(通常)在两个面上具有局部可控图案的表面结构,即,相当于双面印刷:在一个面上,它们具有图像图案 7a(或者它分别的镜面图像 7b),其对应于在第一反复操作过程中在旧的 PDMS 辅助层 3a 和 3b 上的图案 6 和 6' 叠加,在另一个面上,它们具有图像图案,其对应于在旧 PDMS 辅助层 3a(或者 3b)上的任何(可能改变的)图案和在相应的新的 PDMS 辅助层上任何图案的叠加。以此方式,能够生产在两个面上具有类似的或者不同的结构化表面的薄的独立固态材料层。(根据这种实施方案的方法同时还产生了两个其他更薄的盘片,其仅仅在一个面上具有表面结构,对应于来自第二反复操作的图像图案)。要注意的是在第一反复操作过程中所产生的薄的盘片 5 上的表面结构可以对应力图案稍有影响,并且因此影响在第二反复操作过程中所产生的表面结构,但是,这种影响通常是小的(因为所产生的表面结构的厚度通常远小于盘片的厚度),它还可以用第二反复操作的辅助层的适当成图来补偿。

[0043] 在第十三实施方案中,代替在 PDMS 层 3a 中局部不同的 CTE 的图案 6 的区域和使得所述复合结构经历温度变化,还可以使用其他机制来在 PDMS 层 3a 中诱导局部不同的应力(即,应力图案)。例如,代替使用对于整个 PDMS 辅助层的相同的温度变化,不同的温度变化可以施加到 PDMS 辅助层中的不同位置,例如通过比其他区域更强的选择性冷却该辅助层中的某些区域来进行,例如通过与浮雕有期望图案 6 的冷却印接触,或者通过冷却整个层和例如用激光选择性的重新加热某些区域。以此方式,甚至使用均匀的 PDMS 辅助层时(对于这种实施方案来说,优选的是使用具有相对低的热导率的辅助层材料例如 PDMS),也可以产生局部不同应力的图案。更通常的,局部可定义的应力图案可以如下来产生:使该辅助层经历局部变化,外部施加的物理或者化学条件(其还可以进一步随时间变化)的图案 6,例如光图案,热图案(具有不同温度的不同区域),溶剂图案(具有不同溶剂浓度的不同区域),电或者磁场图案,作用于辅助层上的外机械力的图案等等。该辅助层优选包含至少一种材料,其通过(局部)改变它的体积而与外部施加的物理或者化学条件的这些图案 6 相互作用(例如,在 UV 光下,或者在电/磁场中等膨胀的材料)。

[0044] 在第十四实施方案中,用于诱导局部不同应力图案的另外一种替换性方法是在 PDMS 层 3a 某些位置处包含活动装置例如压电传动器并且启动它们(例如电启动,光启动)来在 PDMS 层 3a 中产生应力图案。更通常的,局部可定义的应力图案可以通过向 PDMS 层 3a 中植入不同材料的图案 6 来生产,所述材料当通过化学或者物理机理来活化时,经历了不同的体积变化。除了温度变化之外,能够实现这样的体积变化的机理包括湿度变化(例如溶胀,脱水),溶剂组成和 / 或离子强度的变化(例如渗透压传动器,聚电解质凝胶,离子聚合物-金属复合材料,导电聚合物,碳纳米管传动器),pH 变化,相变(例如植入溶剂的冷冻),化学反应(例如聚合物凝胶),电活化(例如压电或者电致伸缩材料,静电传动器,电活化聚合物),磁性活化(例如“磁性”凝胶),光活化(例如液晶弹性体,光反应性材料)

等等,以及任何或者全部的它们的组合。而且,代替局部植入不同材料的图案到 PDMS 层 3a 中,可以局部改变该 PDMS 本身(化学的)来实现期望的局部不同体积变化行为,例如通过局部加入不同的功能侧链到聚合物中,或者局部改变交联度例如通过 UV 辐射改变。

[0045] 在第十五实施方案中,通过提供在晶片表面的某些特定位置具有一种或多种结构上较弱的区域的晶片 2 促进了步骤 4 中的分裂的启动并且提高了对于分裂过程的控制。例如,可以在晶片 2 的边缘产生一个或多个小缺损区域。这样的缺损区域可以如下来产生:机械产生(例如通过用锋利尖头锤撞击晶片边缘的某些点来产生,由此使得晶体结构局部碎散和产生凹痕或者刻痕,或者通过锯切,锉或者研磨等来产生凹槽或者缺口),化学产生(例如局部蚀刻一个凹槽),光学产生(例如使用激光局部熔融所述材料,或者熔化它来产生凹槽结构),或者通过其他合适的机理来产生。分裂然后优选在这些缺损区域开始,并且从这里延伸到其他晶片区域。特别地,这是有利的,因为通过改变这些缺损区域的位置,可以更好的控制分裂的初始深度,即,所产生的薄的盘片 5 在它们的边缘处的厚度,并且通常提高了盘片 5 边缘的品质。例如,在两个面 1a 和 1b 之间一半处的晶片 2 的边缘中的凹槽(即,在边沿周围)可以便于相同厚度并且具有光滑切割的边缘的两个薄的盘片 5 的分裂。根据这种实施方案,较弱的区域可以在工件中诱导应力之前产生(例如在冷却之前),或者它们可以在晶片已经处于应力下的同时产生。该第二方法还允许在分裂开始时更好的及时控制时间:如果晶片中的应力积累到刚刚稍低于该分裂过程将自然发生的临界值的大小时,则一产生缺损就将开始分裂,优选从缺损所处位置开始。

[0046] 在第十六实施方案中,代替简单的让晶片自然分裂,步骤 4 中分裂的开始是通过使得晶片 2 经历受控的振动例如短振动波来促进的。例如,晶片中的振动波可以通过用机械装置例如锤子的一个或多个受控的击打(锤击),通过传递超声脉冲或者通过强的激光脉冲等来诱导。这样的振动波的空间分布、强度和时间特性促进了对于分裂过程的调节和更好的控制。

[0047] 在第十七实施方案中,将本发明的方法用于晶片 2 上,其已经在它的两个面 1a 或者 1b 的至少一个上具有现有的表面结构。这样的现有表面结构(例如沟槽,平台,隔膜,悬臂,角锥等等)可以由晶片材料本身形成,或者它们可以包含另外的材料(例如金属触点,防反射层,介电层,外延层等等),或者其的任意组合。该 PDMS 然后施加到这些现有的结构,覆盖并共形地包围在它们周围,以使得在 PDMS 固化之后,这些现有的结构变成部分的植入到 PDMS 层 3a 和 / 或 3b 中。当晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5 时,这些现有的表面结构存留在每个盘片 5 的面上,该面仍然具有粘接在其上的相应的 PDMS 辅助层 3a 或者 3b,而每个盘片 5 的另一面表现出通过本发明的方法产生的新的表面结构 7a 或者 7b,作为图案 6 的图象。以此方式,可以生产这样的薄的、独立层,其在一个面上具有复杂的表面结构(还可能包含另外的材料,甚至提供完全功能性装置例如电子,光学,化学或者微机械装置),在另一个面上具有其他表面结构,这些其他表面结构是由该晶片材料形成的,并且通过 PDMS 层中的图案 6 决定。要注意的是面 1a 和 / 或 1b 上预先存在的表面结构会对应应力图案稍有影响,并因此影响所产生的表面结构 7a 和 7b,但是,这种影响经常是小的(因为该预先存在的表面结构的厚度经常远小于盘片的厚度),它还可以使用辅助层 3a 和 / 或 3b 的适当成图来补偿。

[0048] 在第十八实施方案中,将本发明的方法用于晶片 2 上,其已经具有现有的内部(本

体)结构,例如一种或多种掺杂剂梯度。当晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5 时,这些现有的内部结构存留在相应的薄的盘片 5 中。以此方式,可以生产具有内部(本体)结构例如掺杂剂梯度的具有结构化表面的薄的独立层。

[0049] 在第十九实施方案中,结合前述两种实施方案的方面,将本发明的方法用于晶片 2 上,其已经具有现有的表面结构和现有的内部(本体)结构二者。特别地,该晶片在它的面 1a 和 / 或 1b 之一或者两个上具有部分的或者完全的功能性装置(电子,光学,微机械,化学等)。这样的装置可以包括 LED,激光二极管,太阳能电池,串联太阳能电池,功率放大器,通常的集成电路,微机电装置例如传感器或者传动器等等。该 PDMS 然后施加到晶片面上的这些现有的装置上,覆盖该装置,并共形地包围在它们的外面,这样在 PDMS 固化后,这些现有的装置变成部分的植入到 PDMS 层 3a 和 / 或 3b 中。当晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5 时,这些现有的装置存留在每个盘片 5 的面上,该面仍然具有分别粘接的相应的 PDMS 辅助层 3a 或者 3b,而每个盘片 5 的另一面表现出新的表面结构 7a 或者 7b,其是作为图案 6 的图像而产生的。以此方式,可以生产薄的独立固态材料层,其在一个面上具有复杂的、部分的或者已经完全的功能性装置,在另一面上具有其他表面结构,这些其他表面结构是由晶片材料形成的,并且取决于 PDMS 层中的图案 6。

[0050] 作为前述实施方案应用的一个说明性的例子,考虑了构成常规的硅太阳能电池的正面部分(即,在常规操作过程中被照亮的面)的表面结构和内部结构(例如正面掺杂的层,包括 pn- 结,正面金属接触栅格,防反射涂层),并且在下面称作“正面结构”。现在,代替仅仅在晶片一个面上生产这些“正面结构”(如常规所作的那样),这样的“正面结构”是在厚的单晶硅晶片 2 的两个面 1a 和 1b 上制造的。然后如上所述将这个晶片 2 分裂成两个更薄的盘片 5,由此存留了装置层,这样这些两个盘片 5 的每个现在具有“正面结构”,但是仅仅在一个面上(即,所述的面仍然具有粘接的相应的 PDMS 层 3a 或者 3b)。在两个盘片 5 每个的另一面上是由本体晶片材料组成的“新”表面,具有取决于 PDMS 中的图案 6 的表面结构 7a 或者 7b。两个盘片的“新”表面现在可以使用常规的制造硅太阳能电池背面(例如背面区域掺杂,背面接触金属化等等)的方法来进行进一步加工,以完成两个硅太阳能电池的制造。这个例子显示出诸多的优点:大部分的太阳能电池制造步骤可以在相对厚的(因此不太易碎的)晶片 2 上进行,其便于使用不昂贵的方法例如触点的丝网印刷,和通常简化了晶片的处理。而且,相同的(正面)掺杂剂可以散布到晶片的整个表面中,即,它的面 1a 和 1b 二者中,并且这里不需要例如随后从晶片背面除去掺杂剂(因为其是通过分裂过程自动实现的)。这对于例如防反射涂层也是同样有效的,其也可以在整个晶片上生产(例如, SiO_2 的氧化生长和 / 或 Si_3N_4 氮化物的 PECVD 沉积),然后通过分裂过程自动限制到一个面上。以此方式,通过使用本发明的方法,可以取消或者简化许多用于太阳能电池制造的加工步骤。这些好处在另外一个说明性例子中是特别明显的,其中代替具有前面和后面触点的常规太阳能电池,制造了背接触太阳能电池:其中几乎全部的功能性结构处于该电池的一个面上(背面)。如果这样的背面结构是在厚的单晶硅晶片 2 的两个面 1a 和 1b 上制造的,则在使用本发明的方法分裂之后,两个所生产的薄的盘片 5 就已经是几乎完成的背接触电池(可能仅仅需要将防反射涂层沉积到另一个面上)。所以,本发明方法可以用于生产薄的单晶硅背接触太阳能电池,而不需在大部分处理中操作薄的晶片。

[0051] 在另一方面,本发明涉及一种装置,其包含通过间隙分开成两片的固态材料板

(块,晶块,盘片等等),一个片与另一个片是几何互补的,这样通过将间隙降低到零,可以重新得到初始板的形状、尺寸和质量,并且基本上没有任何材料损失(例如没有内部空隙等等)。这两个片中的至少一个是薄层,即,它基本是平的或者曲面的片,具有至少 1cm^2 的面积,并且在这个面积的整个内它的厚度小于 2mm ,优选小于 0.5mm 。至少一个该薄层片本身具有至少一个另外的固态材料层(辅助层),其粘合到间隙的对面上。对于两个片的每个来说,这些面朝间隙的表面不包含所述板本体材料之外的材料(除了如果该表面与空气是反应性的,并且暴露于空气,则可能有例如天然的氧化物层)。

[0052] 在另外一种实施方案中,本发明涉及一种上述的装置,但是这里对于两个片的每个来说,面朝间隙的表面表现出根据一些图案的结构,并且一个片上的表面结构 7a 与另一个片上的表面结构 7b 是基本上互补的,在粘合到两个片的至少一个上的至少一个另外的固态材料(辅助层)的至少一个层中,所述图案是基本上对应于图案 6 的全尺寸的图像。辅助层中的图案 6 是如下来实现的:通过该辅助层的部分表现出不同于包围区域的这些的局部材料性能(例如局部不同的 CTE 或者局部不同的弹性模量),其例如可以包括这样的部分,在这里该辅助层的材料被部分或者完全除去(即,空白结构)。在另外一种实施方案中,图案 6 可以是应力图案,其是通过在辅助层上施加外部物理或者化学影响图案(例如光图案,热图案,作用于该辅助层上的外机械力的图案等等)来在该辅助层中随时间诱导的。

[0053] 本发明的方案还可以用于由这样的工件来生产具有结构化表面的薄的、独立式层,所述工件的组成为非单晶硅的固态材料(例如多晶硅,刚玉,锗,石英或者无定形材料例如玻璃)。并且,这种方案可以使用这样的工件,其包含几种不同的材料(均匀的或者非均匀的复合材料等等)或者其具有内部结构(层合体等等)。例如,该方案可以用于由单晶硅晶片组成的工件,所述晶片在它的表面上具有外延生长的层例如氮化镓(GaN)。此外,对于施加到工件上的辅助层来说,可以使用非 PDMS 的材料例如通常其他聚硅氧烷(其可以包括有机金属基团,用于例如电活性),其他弹性体,其他聚合物或者塑料,或者金属例如铝或者银等。还可以利用这样的辅助层,其包含几种不同的材料(均匀的或者非均匀的复合材料等等)或者其具有内部结构(层合体等等)。通常,该工件是相对易碎的固态材料。在整个处理中应当实现和保持工件和辅助层之间良好的粘合,并且该辅助层应当便于处理以赋予足够强的应力图案,而不破坏该辅助层本身。

[0054] 并且,该辅助层的 PDMS(或者其他聚合物)可以通过除加热板加热外的方式来固化(即,它的聚合物链交联)。例如,它可以如下来加热:通过向它上面吹热气,或者用例如红外光照射它。作为替代或者另外,固化可以使用化学添加剂,紫外辐射或者电子束来进行。PDMS(或者其他聚合物,或者该辅助层中的任何通常材料)还可以被化学修饰来促进了具体形式的固化(或者通常固体化,可能在固体化过程中已经在所述层中产生了内部应力),例如,通过 UV 辐射来固化 PDMS 可以例如如下来促进:通过将 PDMS 浸入到苯甲酮(一种光敏剂,其在辐射下产生自由基)中,或者通过例如用光反应性取代基来取代 PDMS 中的甲基。

[0055] 类似的,在所述方法结束时,可以使用许多可选择的方法来从盘片 5 上除去辅助层。代替的,或者在用上述的化学蚀刻除去辅助层同时,所述的层还可以通过机械,辐射,电子束和/或热来除去。例如如果 PDMS 层对面的盘片的面是临时固定(例如胶合)到载体上,则 PDMS 辅助层可以从单晶硅的薄的盘片 5 上机械剥离,例如从角部开始,通过将该 PDMS

在基本上垂直于盘片表面的方向上拉起来缓慢和小心地剥离,可能通过在 PDMS 层和盘片 5 之间插入楔子或者类似物来促进。或者,PDMS(或者其他聚合物)可以例如用激光或者炉子简单加热到高于它的分解温度(即,通过灰化来除去)。它还可以通过在等离子体中例如氧等离子体中灰化来除去。该 PDMS 还可以被化学修饰,以使得它例如在 UV 辐射下更容易分解。最后,任何或者全部的这些方案可以合并(并且如果将非 PDMS 的材料用于该辅助层,则直接使用)。

[0056] 本发明的方案可以用于几乎任意形状的工件,并且不限于平面晶片。特别地,本发明可以用于例如直接从单晶硅晶块(其一个面是平坦的)上剥离具有结构化表面的薄片。为了剥离平坦的片,所用工件具有至少一个平坦表面是足够的。然后将辅助层施加在这个表面上。可以仅仅剥离一个片,或者几个片可以同时从工件的不同表面上剥离。最后,该本发明的方案还可以用于生产具有结构化表面的薄的、独立式曲面片或者壳。为此目的,将该辅助层施加到工件相应的曲线表面上。然后温度变化(或者其他应力诱导方法)导致薄的相应曲面片或者壳沿着工件中的图案化断裂区域与工件的其余部分分离开。这个图案化的断裂区域的任一处与工件和辅助层之间的界面有大约相同的距离,这样所产生的具有表面结构图案的片具有大致均匀的厚度(除了图案 7a 和 7b 之外,在这里可以有意产生厚度变化)。

[0057] 辅助层施加到其上的表面的表面性能不是关键的。该界面可以抛光的,或者它可以具有大的粗糙度。唯一重要的是保持到该辅助层的足够附着。特别地,在从该工件上剥离薄片时在工件的剩余部分上形成的断裂表面可以随后用作施加辅助层的表面。因此本发明的方案可以重新应用到工件的剩余部分上。以此方式,可以从单个工件上逐片连续剥离。

[0058] 并且,另外的(更薄的)层可以通过重复相同的步骤来从所剥离的具有结构化表面的薄的、独立式层上剥离。例如,使用本发明的方法,单晶硅晶片可以通过施加 PDMS 辅助层到两个面上而分裂成两个具有结构化表面的盘片;这些辅助层都不、之一或者两者具有图案 6,并且如果都具有图案,则这些图案可以是相同的或者彼此不同的。每个这些所产生的两个更薄的盘片然后可以在两个面上都提供有 PDMS 辅助层,同样它们都不、之一或者两者具有图案(6),其可以是相同的或者不同的,并且重复该方法步骤,因此可以进一步分裂成具有结构化表面的两个甚至更薄的盘片(如果期望,则具有不同的表面结构图案),以此类推。以此方式,能够由单个的单晶硅晶片来获得大量的具有结构化表面的薄的单晶盘片。例如,在三个步骤中,可以由常规的 0.4mm 厚的晶片来获得 8 个大约 50 μm 厚的盘片(具有常规结构化表面)。

[0059] 通常,因此生产的薄的独立层的尺寸(特别是它们的厚度)可以通过适当的选择应力诱导机理(例如温度变化)和/或辅助层的性能来设定。这尤其是通过适当地选择该应力诱导的时间流,所诱导的应力大小,辅助层的尺寸,辅助层的几何形状和/或辅助层的机械和/或热/光学/化学/静水力/压电/等性能来实现的。

[0060] 该辅助层可以例如以液态或者气态施加到工件的相应表面,然后在这里凝固。或者,该辅助层还可以以固态直接附着到表面上。辅助层和工件表面之间的附着可以通过化学键合,范德华力或者其他强的附着力来实现。并且对于进行本发明的方法来说,通过将辅助层和工件材料在界面处合金化,或者依靠第三材料(例如粘接剂)将辅助层粘接到工件表面上的附着是可以的。

[0061] 最后,代替液氮,可以使用其他冷却剂(例如液氮,冰水,或者冷却性固体或者冷却性气体等)来通过冷却在该辅助层-工件复合材料中建立所必需的机械应力。在某些情况中,简单的将该复合材料冷却到室温是足够的,这样将不需要专门的冷却剂。此外,在某些情况中可以通过代替降温的升温来在该复合材料中实现所必需的机械应力。在某些温度 T 建立必需的机械应力所必须的是在工件和至少部分的辅助层之间的热膨胀差异足够大,以及温度 T 和辅助层附着到工件上时的温度之间差异足够大。

[0062] 第二独立的实施方案(图 2)

[0063] 根据本发明的一个不同方面,公开了一种独立的方法,其用于通过应力诱导的分裂(散裂)由工件来生产薄的、独立式固态材料层,特别是这样一种方法,其能够在应力诱导辅助层中使用不昂贵的和较少污染性的材料例如聚合物。

[0064] 在第一实施方案中,工件 2 是一种市售单晶硅晶片。图 2 以透视图示意性说明了根据本发明的一种代表性的四步方法次序(从顶到底)。以下参照图 2。

[0065] 步骤 1:这里基础的原料是单晶硅晶片 2,它用例如微电子或者光电工业所用的 Czochralski-方法来生产。晶片 2 的直径是大约 76mm,厚度是大约 0.4mm。该晶片是轻微 n- 或者 p- 掺杂的,具有大约 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的比电阻率,并且它的两个面 1a 和 1b 是平行于 $\langle 100 \rangle$ 晶体平面定向的。该晶片的一个或者两个面 1a 和 / 或 1b 可以是镜面抛光的或者简单蚀刻和重叠的。晶片 2 可以在晶片生产后直接使用,或者它可以使用常规方法进行大致的预清洁(例如用有机溶剂和水,或者用等离子体氧化清洁)。

[0066] 步骤 2:在晶片 2 的每个面 1a 和 1b 上施加聚二有机硅氧烷的薄层 3a 和 3b(例如聚二甲基硅氧烷或者 PDMS;为了方便以下讨论中提及 PDMS,但是应当理解可以使用任何合适的硅酮聚合物或者共聚物),并且固化(或者使其固化)。这些辅助层 3a 和 3b 优选的厚度是 0.01mm-10mm,更优选的厚度是大约 0.1mm- 大约 1mm。两个层 3a,3b 的厚度在这个说明性实施方案中是相同的,但是在另一些实施方案中这两个层的厚度可以不同。对于 PDMS 来说可以使用例如 Dow Corning 的 SYLGARD184,并且固化剂与基础材料的混合比是 1:10。该液体 PDMS- 混合物首先真空脱气大约 1 小时,然后将它以期望的厚度施用到晶片 2 的每个面 1a,1b 上,并且在加热板上固化(例如在 100℃ 固化 30 分钟)。在这种说明性实施方案中,PDMS 层 3a,3b 在大部分晶片区域上具有均匀厚度。这可以通过将该晶片放置在水平表面上,并且在固化 PDMS 之前通过重力使其均匀化来实现的。在该 PDMS 固化后,将三层复合材料(PDMS3a- 晶片 2-PDMS3b)冷却到室温。此后,用快刀除去沿着晶片 2 的边沿突出的任何 PDMS,以使得晶片 2 的边缘基本上没有 PDMS,并且 PDMS 仅仅覆盖了晶片 2 的两个面 1a 和 1b。可以通过将 PDMS 仔细施加到晶片面上,并且让它在水平表面上均匀化,来避免在晶片边沿上具有任何的 PDMS 突出(并因此接触该晶片的边缘);在这种方式中,PDMS 的表面张力将防止它溢流到晶片边缘。

[0067] 步骤 3:将该复合材料(PDMS3a- 晶片 2-PDMS(3b))完全浸入到液氮浴中(温度大约 -200℃)。由于硅(大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)和 PDMS(大约 $300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)的热膨胀系数的明显差异,通过这种冷却在该复合材料中诱导了大的机械应力。在 PDMS 层 3a,3b 已经与周围的液氮浴基本上达到热平衡之后(例如,当 PDMS 层 3a,3b 周围的液氮停止剧烈“起泡”时),将该复合材料重新从溶液中取出,曝露于室温,并且允许在非常短的时间内升温。优选将这个升温时间选择的足够短以使得至少某些部分的 PDMS 层 3a 和 3b 仍然处于低于 PDMS 玻璃化转

变温度 (-125°C) 的温度, 并且足够长以使得至少某些部分的 PDMS 层 3a, 3b 达到超过 PDMS 的玻璃化转变温度的温度。例如, 对于 0.4mm 厚的 PDMS 层来说优选的升温时间是 1-5s。这导致了该辅助层中非均匀的物理条件, 即, PDMS 层 3a 和 3b 中的温度分布是非均匀的, 并且温度范围是从大约室温低到大约 -200°C 。因为 PDMS 的玻璃化转变温度是大约 -125°C , 和因为在低于玻璃化转变温度的温度时 PDMS 变得相对更硬 (即, 更大的弹性模量), 因此这导致 PDMS 层 3a 和 3b 在朝着它们与晶片 2 的界面方向上更硬 (即, 更大的弹性模量) 和在它们的外面更软 (更小的弹性模量)。

[0068] 步骤 4: 在该短的升温时间之后, 将晶片 2 例如用锋利尖头锤在晶片 2 面中的特定位置 (即, 在沿着它的边缘的点上, 其没有覆盖着 PDMS 层 3a 和 3b) 敲击 (锤击)。这导致了晶片 2 中的局部脆弱区域或者缺损, 其随之触发了断裂过程: 晶片 2 在基本上单个的、连续的裂纹延伸运动中, 平行于它的表面 1a 自然分裂成两个薄的单晶硅盘片 5, 并且每个盘片 5 的一个面仍然粘接有相应的 PDMS 辅助层 3a 或者 3b。

[0069] 在足够小心的操作下, 两个硅盘片 5 中的每个的基本组成是一个单片。为了避免垂直于表面 4 的另外的断裂, 盘片 5 在分裂之后可以直接转移到 100°C 加热板上 (并且粘接有 PDMS 辅助层 3a 或者 3b 的面朝下), 直到整个 PDMS 辅助层重新升温到至少室温。无论使用何种升温方法, 优选的是在盘片 5 升温时将它们仔细的压到平载体上, 以使得所述层的任何卷曲被反转, 来随着升温的进行而使所述层平坦。

[0070] 根据这种方法所生产的薄的硅盘片 5 的基本组成为具有与初始晶片 2 相同性能的单晶硅, 并且可以直接使用。可选择的, 还可以将 PDMS 辅助层 3a 或者 3b 从硅盘片 5 上除去, 例如通过浸入到适当的液体蚀刻剂 (例如, 3:1 体积比的 NMP (N-甲基吡咯烷酮) 和 TBAF/THF (四丁基氟化铵的 1.0M 四氢呋喃溶液) 混合物, 或者还通过浸入到氢氟酸) 中来除去。PDMS 辅助层 3a 或者 3b 的一种优选的除去方式是用热硫酸 (H_2SO_4) 蚀刻剂, 优选在高于 150°C 的温度 (更优选高于 200°C) 冲洗或者浸入其中, 然后机械除去所产生的白色二氧化硅泡沫 (例如使用刷子, 和可能的几个刷拭-蚀刻循环), 最后通过浸入到氢氟酸中来清洁该硅盘片 5。

[0071] 在第二说明性实施方案中, 在复合材料 (PDMS3a-晶片 2-PDMS3b) 仍然浸入到液氮浴中的同时, 即, 在降温过程中或者在已经达到与周围的液氮浴的热平衡之后, 进行断裂起始步骤 (步骤 4)。在这种实施方案中, 省略了短的中间升温时间。

[0072] 在第三说明性实施方案中, 可以延长步骤 3 的升温时间, 以使得当在步骤 4 过程中用锋利尖头锤撞击晶片 2 时, 热诱导的应力对断裂不够大。在这种情况下, 在步骤 4 进行后 (没有发生断裂), 将复合材料 (PDMS3a-晶片 2-PDMS3b) 通过浸入到液氮浴中重新冷却, 其因此导致了自然断裂过程的开始。

[0073] 在第四说明性实施方案中, 代替在步骤 4 过程中在晶片 2 中产生局部脆弱区域或者缺损或者另外地, 将外部应力施加到复合材料 (PDMS3a-晶片 2-PDMS3b) 外面的某些位置, 其然后通过局部将应力强度提高到超过晶片材料的断裂韧性阈值, 而触发断裂 (散裂) 过程。

[0074] 在第五说明性实施方案中, 在冷却步骤 (步骤 3) 之前, 在晶片 2 中产生局部脆弱区域或者缺损。在这种实施方案中, 这种脆弱区域的产生没有触发断裂过程, 但是允许限定这样的位置, 一旦通过将它步骤 3 中冷却而在晶片 2 中建立起足够的应力, 则断裂将优选

在所述位置开始（然后断裂在这种情况下将自然开始，但是还可以使用任一上述方法来另外触发）。

[0075] 在第六实施方案中，代替使得 PDMS 层 3a 的 CTE 基本上不同于晶片 2 的 CTE 和使得所述复合结构经历温度变化，还可以使用其他机理来在 PDMS 层 3a 中产生可预定的应力图案，其能够在晶片 2 中诱导所需的应力图案。一种这样的替代性方法为在 PDMS 层 3a 中的某些位置处包含压电传动器，并且电启动它们来在 PDMS 层 3a 中产生应力图案。更通常的，局部可定义的应力图案可以如下来产生：向 PDMS 层 3a 中植入不同材料的图案，所述材料当通过化学或者物理机理活化时经历了不同的体积变化。除了温度变化之外，能够实现这样的体积变化的机理包括湿度变化（例如溶胀，脱水），溶剂组成和 / 或离子强度的变化（例如渗透压传动器，聚电解质凝胶，离子聚合物 - 金属复合材料，导电聚合物，碳纳米管传动器），pH 变化，相变（例如植入溶剂的冷冻，结晶，蒸发），化学反应（例如聚合物凝胶），电活化（例如压电或者电致伸缩材料，静电传动器，电活化聚合物），磁性活化（例如“磁性”凝胶），光活化（例如液晶弹性体，光反应性材料）等等，以及任何或者全部的它们的组合。而且，代替局部植入不同的材料到 PDMS 层 3a 中，还可以局部改变该 PDMS 本身（化学的）来实现期望的局部不同体积变化行为，例如通过局部加入不同的功能侧链到聚合物中，或者局部改变交联度例如通过 UV 辐射改变。

[0076] 在第七实施方案中，将本发明的方法用于晶片 2 上，其已经在它的两个面 1a 或者 1 b 的至少一个上具有现有的表面结构。这样的现有表面结构（例如沟槽，平台，隔膜，悬臂，角锥等等）可以由晶片材料本身形成，或者它们可以包括另外的材料（例如金属触点，防反射层，介电层，外延层等等），或者其的任意组合。然后施加该 PDMS 到这些现有的结构，覆盖并共形地包围在它们周围，以使得在 PDMS 固化之后，这些现有的结构变成部分的植入到 PDMS 层 3a 和 / 或 3b 中。当晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5 时，这些现有的表面结构保存在每个盘片 5 的面上，该面仍然具有粘接在其上的相应的 PDMS 辅助层 3a 或者 3b。以此方式，可以生产这样的薄的、独立式层，其在一个面上具有复杂的表面结构（还可能包括另外的材料，和甚至提供完全功能性装置例如电子，光学，化学或者微机械装置）。

[0077] 在第八实施方案中，将本发明的方法用于晶片 2 上，其已经具有现有的内部（本体）结构，例如一种或多种掺杂剂梯度。当晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5 时，这些现有的内部结构保存在相应的薄的盘片 5 中。以此方式，可以生产具有内部（本体）结构例如掺杂剂梯度的薄的独立层。

[0078] 在第九实施方案中，结合前述两种实施方案的方面，将本发明的方法用于晶片 2 上，其已经具有现有的表面结构和现有的内部（本体）结构二者。特别地，该晶片在它的面 1 a 和 / 或 1 b 之一或者两者上具有部分的或者完全的功能性装置（电子，光学，微机械，化学等）。这样的装置可以包括 LED，激光二极管，太阳能电池，串联太阳能电池，功率放大器，通常的集成电路，微机电装置例如传感器或者传动器等等。然后施加该 PDMS 到晶片面上的这些现有的装置上，覆盖该装置，并共形地包围在它们的外面，这样在 PDMS 固化后，这些现有的装置变成部分的植入到 PDMS 层 3a 和 / 或 3b 中。当晶片 2 分裂成两个薄的盘片 5 时，这些现有的装置保存在每个盘片 5 的面上，该面仍然具有粘接的相应的 PDMS 辅助层（分别是 3a 或者 3b）。以此方式，可以生产薄的独立层，其在一个面上具有复杂的、部分的或者已经完全功能性装置。

[0079] 作为前述实施方案应用的一个说明性的例子,考虑了构成常规的硅太阳能电池的正面部分的表面结构和内部结构(例如正面掺杂的层包括pn-结,正面金属接触栅格,防反射涂层),并且在下面称作“正面结构”。现在,代替仅仅在晶片一个面上生产这些“正面结构”(如常规所作的那样),这样的“正面结构”是在厚的单晶硅晶片2的两个面1a和1b上制造的。然后如上所述将这个晶片2分裂成两个更薄的盘片5,由此保留了装置层,这样这两个盘片5的每个现在具有“正面结构”,但是仅仅在一个面上(即,所述的面仍然具有粘接的相应的PDMS层3a或者3b)。在两个盘片5每个的另一面上是由本体晶片材料组成的“新”表面。两个盘片的“新”表面现在可以使用常规的制造硅太阳能电池背面(例如背面区域掺杂,背面接触金属化等等)的方法来进行进一步加工,以完成两个硅太阳能电池的制造。这个例子显示出诸多的优点:大部分的太阳能电池制造步骤可以在相对厚的(因此不太易碎的)晶片2上进行,其便于使用不昂贵的方法例如触点的丝网印刷,和通常简化了晶片的处理。而且,相同的(正面)掺杂剂可以散布到晶片的整个表面中,即,它的面1a和1b二者中,并且这里不需要例如随后从晶片背面除去掺杂剂(因为其是通过分裂过程自动实现的)。这对于例如防反射涂层也是同样有效的,其也可以在整个晶片上生产(例如, SiO_2 的氧化生长和/或 Si_3N_4 氮化物的PECVD沉积),然后通过分裂过程自动限制到一个面上。以此方式,通过使用本发明的方法,可以取消或者简化许多用于太阳能电池制造的加工步骤。这些好处在另外一个说明性例子中是特别明显的,其中代替具有前面和后面触点的常规太阳能电池,制造了背接触太阳能电池:其中几乎全部的功能性结构处于该电池的一个面上(背面)。如果这样的背面结构是在厚的单晶硅晶片2的两个面1a和1b上制造的,则在使用本发明的方法分裂之后,两个所生产的薄的盘片5就已经是几乎完成的背接触电池(可能仅仅需要将防反射涂层沉积到另一个面上)。所以,本发明方法可以用于生产薄的单晶硅背接触太阳能电池,而不需在大部分处理中操作薄的晶片。

[0080] 在另一方面,本发明涉及一种装置,其包含通过间隙分开成两片的固态材料板(块,晶块,盘片等等),一个片与另一个片是几何互补的,这样通过将间隙降低到零,可以重新得到初始板的形状、尺寸和质量,并且基本上没有任何材料损失(例如没有内部空隙等等)。这两个片中的至少一个是薄层,即,它基本是平的或者曲面的片,具有至少 1 cm^2 的面积,并且在这个面积的整个内它的厚度小于2mm,优选小于0.5mm。至少一个该薄层片本身具有至少一个另外的固态材料层(辅助层),其粘合到间隙的对面上,具有局部变化的材料性能(例如,局部变化的弹性模量)。对于两个片的每个来说,这些面朝间隙的表面不包含所述板本体材料之外的材料(除了如果该表面与空气是反应性的,并且曝露于空气,则可能有例如天然的氧化物层)。

[0081] 本发明的方案还可以用于由这样的工件来生产薄的、独立式层,所述工件的组成为非单晶硅的固态材料(例如多晶硅,刚玉,锗,石英,氧化锌或者无定形材料例如玻璃)。并且,这种方案可以使用这样的工件,其包含几种不同的材料(均匀的或者非均匀的复合材料等等)或者其具有内部结构(层合体等等)。此外,对于施加到工件上的辅助层来说,可以使用非PDMS的材料例如通常其他聚硅氧烷(其可以包括有机金属基团,用于例如电活性),其他弹性体,其他聚合物或者塑料,或者金属例如铝或者银等。还可以利用这样的辅助层,其包含几种不同的材料(均匀的或者非均匀的复合材料等等)或者其具有内部结构(层合体等等)。通常,该工件是相对易碎的固态材料。在整个处理中应当实现和保持工件

和辅助层之间良好的粘合,并且该辅助层应当便于处理以赋予足够强的应力图案,而不破坏该辅助层本身。

[0082] 并且,该辅助层的 PDMS(或者其他聚合物)通过除加热板上加热外的方式来固化(即,它的聚合物链交联)。例如,它可以如下来加热:通过向它上面吹热气,或者用例如红外光照射它。作为替代或者另外,固化可以使用化学添加剂,紫外辐射或者电子束来进行。PDMS(或者其他聚合物,或者该辅助层中的任何通常材料)还可以被化学修饰来促进了具体形式的固化(或者通常固体化,可能在固体化过程中已经在所述层中产生了内部应力),例如,通过 UV 辐射来固化 PDMS 可以例如如下来促进:通过将 PDMS 浸入到苯甲酮(一种光敏剂,其在辐射下产生自由基)中,或者通过例如用光反应性取代基来取代 PDMS 中的甲基。

[0083] 类似的,在所述方法结束时,可以使用许多可选择的方法来从盘片 5 上除去辅助层。代替的,或者在用上述的化学蚀刻除去辅助层同时,所述的层还可以通过机械,辐射,电子束和/或热来除去。例如如果 PDMS 层对面的盘片的面是临时固定(例如胶合)到载体上,则 PDMS 辅助层可以从薄的盘片 5 上机械剥离,例如从角部开始,通过将该 PDMS 在基本上垂直于盘片表面的方向上拉起来缓慢和小心地剥离。或者,PDMS(或者其他聚合物)可以例如用激光或者炉子简单加热到高于它的分解温度(即,通过灰化来除去)。它还可以通过在等离子体中例如氧等离子体中灰化来除去。该 PDMS 还可以被化学修饰,以使得它例如在 UV 辐射下或者在曝露于热时更容易分解。最后,任何或者全部的这些方案可以合并(并且如果将非 PDMS 的材料用于该辅助层,则直接使用)。

[0084] 本发明的方案可以用于几乎任意形状的工件,并且不限于平面晶片。(特别地,本发明可以用于例如直接从单晶硅晶块(其一个面是平坦的)上剥离薄片)。为了剥离平坦的片,所用工件具有至少一个平坦表面是足够的。然后将辅助层施加在这个界面上。可以仅仅剥离一个片,或者几个片可以同时从工件的不同表面上剥离。最后,该本发明的方案还可以用于生产薄的、独立式曲面片或者壳。为此目的,将该辅助层施加到工件相应的曲线表面上。然后温度变化(或者其他应力诱导方法)导致薄的相应曲面片或者壳沿着工件中的图案化断裂区域与工件的其余部分分离开。这个图案化的断裂区域的任一处在与工件和辅助层之间的界面有大约相同的距离,这样所产生的具有表面结构图案的片具有大致均匀的厚度。

[0085] 辅助层施加到其上的界面的表面性能不是关键的。该界面可以抛光的,或者它可以具有大的粗糙度。唯一重要的是保持到该辅助层的足够附着。特别地,在从该工件上剥离薄片时在工件的剩余部分上形成的断裂表面可以随后用作施加辅助的界面。因此本发明的方案可以重新应用到工件的剩余部分上。以此方式,可以从单个工件上逐片连续剥离。

[0086] 并且,另外的(更薄的)层可以通过重复相同的步骤来从所剥离的薄的、独立式层上剥离。例如,使用本发明的方法,单晶硅晶片可以通过施加 PDMS 辅助层到两个面上而分裂成两个盘片。每个这些所产生的两个更薄的盘片然后可以在两个面上都提供有 PDMS 辅助层,并且重复该方法步骤,因此可以进一步分裂成两个甚至更薄的盘片,以此类推。以此方式,能够由单个的单晶硅晶片来获得大量的薄的单晶盘片。例如,在三个步骤中,可以由常规的 0.4mm 厚的晶片来获得 8 个大约 50 微米厚的盘片。

[0087] 通常,因此生产的薄的独立层的尺寸(特别是它们的厚度)可以通过适当的选择应力诱导机理(例如温度变化)和/或辅助层的性能来设定。这尤其是通过适当地选择该

应力诱导的时间流,所诱导的应力大小,辅助层的尺寸,辅助层的几何形状,和 / 或局部机械和 / 或局部热 / 化学 / 静水力 / 压电 / 等性能来实现的。

[0088] 该辅助层可以例如以液态或者气态施加到工件的相应表面,然后在这里凝固。或者,该辅助层还可以以固态直接附着到界面上。辅助层和界面之间的附着可以通过化学键合,范德华力或者其他强的附着力来实现。并且对于进行本发明的方法来说,通过将辅助层和工件材料在界面处合金化,或者依靠第三材料(例如粘接剂)将辅助层粘接到工件界面上的附着是可以的。

[0089] 最后,代替液氮,可以使用其他冷却剂(例如液氦,冰水,或者冷却性固体或者冷却性气体等)来通过冷却在该辅助层-工件复合材料中建立所必需的机械应力。在某些情况中,简单的将该复合材料从高温冷却到室温是足够的,这样将不需要专门的冷却剂。此外,在某些情况中可以通过代替降温的升温来在该复合材料中实现所必需的机械应力。在某些温度 T 建立必需的机械应力所必须的是在工件和至少部分的辅助层之间的热膨胀差异足够大,以及温度 T 和辅助层附着到工件上时的温度之间差异足够大。

[0090] 根据本发明的这种独立的实施方案,通过应力诱导的分裂(散裂)由工件来生产薄的、独立式固态材料层是通过提供这样的方法来改进,其能够使用包含不昂贵的和较少污染性的材料例如聚合物的应力诱导辅助层。本发明的一些实施方案提供了一种简单的和不昂贵的方法,其降低了使用这样的材料的上述困难。

[0091] 在不同的实施方案中,薄的、独立式固态材料层是通过使用机械应力来生产的,该应力是通过在具有不同的材料性能(例如,不同的热膨胀系数(CTE))的互粘的固体中通过物理或者化学变化(例如温度变化)而诱导的。为此目的,除了由固态材料组成的工件(其优选的弹性模量大于 100 MPa,更优选大于 1GPa)之外,还使用了另外一种固体材料,当它经历了某些次序的物理变化例如温度变化和 / 或外部压力变化时,它的物理尺寸(例如它的体积)是以这样的方式变化的,即,其基本上不同于当该工件经历相同次序的物理变化时该工件中相应的变化(例如,固体材料的热膨胀基本上不同于该工件的热膨胀),并且其能够通过强的附着来结合到该工件上。这种另外的材料的一个层(在下面称作“辅助层”)附着到工件的表面上。该由工件和辅助层组成的复合结构然后经历一定次序的物理变化例如温度变化和 / 或外部压力变化。在适当的条件下,在该复合结构中这样诱导的机械应力导致了薄层以基本上平行于工件和辅助层之间界面的方向从工件上剥离(“散裂”)。剥离的薄固态材料层的面积与辅助层的面积大致匹配。当该薄层从工件上剥离时所形成的两个表面中的每个可以重新使用,即,另一个辅助层可以施加到该工件新曝露的面上或者剥离层新曝露的面上。因此,本发明的一些实施方案促进了从工件的其余部分和从剥离层二者上重复的剥离操作,这产生另外的(和更薄的)层。并且,对于工件的一些例子来说(例如基本上由薄片例如晶片组成的工件),有利的是可以固态材料工件的两个或者多个(可能相对的)面上形成辅助层,例如来提高工件其余部分的稳定性和避免碎散。

[0092] 例如,如果使用温度的一种或多种变化来诱导所需的机械应力,则工件和辅助层的 CTE 的绝对差值在室温大于 $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,优选在室温大于 $50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,更优选在室温大于 $100 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,和最优选在室温大于 $200 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。如果工件和辅助层二者能够维持大的温度绝对变化(例如,加或者减 400°C 或者更大),而不熔融或者分解或者停止彼此附着时,则可以使用相对小的 CTE 绝对差值,但是,较大的 CTE 绝对差值是优选的(例如,因为使用较高

的温度会增加通过扩散导致的交叉污染的风险)。例如,该工件可以由在室温的 CTE 是大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的硅组成,该辅助层可以包含特征为 CTE 在室温大于大约 $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的聚合物。优选地,该聚合物的特征为 CTE 在室温大于大约 $50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,和更优选该聚合物的特征为 CTE 在室温大于大约 $200 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。例如,该辅助层可以由交联的聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 组成,其的 CTE 在室温是大约 $300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。

[0093] 在本发明的不同实施方案中,提供了一种方法,其能够使用应力诱导辅助层,该层包含不昂贵的和较少污染的材料例如聚合物,特别是使用这样的材料,其在常规条件下具有相对小的弹性模量(例如小于 100 MPa,可能小于 10 MPa,或者甚至小于 1MPa)和/或小的断裂韧性(例如小于 $5 \text{ MPam}^{1/2}$,可能小于 $2 \text{ MPam}^{1/2}$,或者甚至小于 $1 \text{ MPam}^{1/2}$)。

[0094] 在一个例子中,可以使用非均匀的辅助层,其包含不同的材料,其中一种材料具有相对大的弹性模量,但是不必具有大的断裂韧性,另一种材料具有相对大的断裂韧性,但是不必具有大的弹性模量。更具体的,该非均匀层包含不同的材料,其中至少一种材料具有相对大的弹性模量,即,大于 10 MPa,优选大于 100MPa,和更优选大于 1GPa 的弹性模量,并且其中至少一种材料具有相对大的断裂韧性,即,大于工件材料断裂韧性的 1/10,优选大于工件材料的断裂韧性,和更优选大于工件材料断裂韧性的 10 倍的断裂韧性,并且其中至少一种材料具有这样的性能,即,当它经历某些次序的物理变化例如温度变化和/或外部压力变化时,它的物理尺寸(例如它的体积)变化基本上不同于经历了相同次序的物理变化的工件材料的相应变化(例如,一种材料,它的 CTE 与工件的 CTE 在室温相差至少 $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,优选在室温相差大于 $50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,更优选在室温相差大于 $100 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,和最优选在室温相差大于 $200 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$),并且其中没有单一材料具有全部这三种性能(即,基本上不同于工件的大的弹性模量,大的断裂韧性和物理尺寸变化)。不同的材料在该非均匀的辅助层中的相对浓度还可以例如取决于在辅助层中的位置,例如,越接近于固态材料工件的界面,具有大的弹性模量的材料的浓度会越高。例如,非均匀的辅助层可以如下来产生:将小的(可能纳米多孔性)二氧化硅粒子混入液体 PDMS 中,将这种混合物铺展到工件表面上,然后例如通过加热来固化(交联)它。在这个例子中,在室温时,PDMS 的剪切模量是大约 100 kPa-3 MPa 和断裂韧性是 $0.03\text{--}4 \text{ MPam}^{1/2}$ 。该二氧化硅粒子的直径优选是 0.5-10 微米,剪切模量是大约 20-40 GPa 和断裂韧性是 $0.1\text{--}1 \text{ MPam}^{1/2}$,全部为室温值。二氧化硅粒子在 PDMS 中的浓度是 1-80 重量%,优选 10-30 重量%。在另外一个例子中,二氧化硅粒子可以优选处于接近于辅助层和工件界面之处,即,它们在 PDMS 基质中的浓度接近于界面时最高,并且在辅助层的其他部分中较低(或者是 0)。

[0095] 在另外一个例子中,相同材料的不同配方可以用于辅助层的不同部分中,例如,不同的聚合物链长是根据在该辅助层中的位置来使用的。在又一个例子中,根据在辅助层中的位置来使用不同交联度的聚合物链(局部较高的交联度可以用于局部提高玻璃化转变温度,即,使得材料在辅助层可预定位置上更硬)。具有局部不同交联度的可预定图案区域可以例如通过用 UV 光源选择性辐射来产生,例如通过掩模或者通过将 UV 激光束引导到期望的区域,特别当使用可光固化的聚合物时更是如此。

[0096] 在另外一个例子中,辅助层中的材料可以局部转化成具有不同的弹性模量和/或断裂韧性的另外一种材料,例如通过辐射,热,压力或者化学反应来转化。例如,将基本上包含 PDMS 的辅助层的部分或者全部的表面曝露于例如 UV 辐射,臭氧处理或者等离子体氧

化。在适当的条件下,这导致了在辅助层中,基本上在这些暴露位置上形成了玻璃化表面层(例如归因于 $-\text{CH}_3$ 基团向 $-\text{OH}$ 端基官能度的转化),并且这种局部定义的玻璃化表面层具有更大的玻璃状性能,即,它比辅助层的其他部分更硬(更大的弹性模量)。

[0097] 在另外一个例子中,可以使用基本上包含单个材料的均匀的辅助层。在这个例子中,物理条件是这样提供的,即,使得这种材料的相关性能例如断裂韧性和/或弹性模量是根据在辅助层中的位置而变化的。例如,这样的聚合物经常是相对易碎的(即,小的断裂韧性,例如小于 $1\text{MPam}^{1/2}$),其在低于它们的玻璃化转变温度的温度具有相对大的弹性模量(即,“更硬”,例如剪切模量大于 100MPa ,或者甚至大于 1GPa),以及是更易于延展的(即,具有大的断裂韧性,例如大于 $1\text{MPam}^{1/2}$),但是在高于它们的玻璃化转变温度的温度具有相对小的弹性模量(即,“更软”,例如剪切模量小于 100MPa ,或者甚至小于 10MPa)。通过在包含这样的聚合物的辅助层中建立预定的温度分布谱(例如温度梯度),并且该聚合物的玻璃化转变温度处于这个温度分布的最小和最大温度之间时,则在该辅助层的某些可预定位置,该辅助层的材料变得更易于延展和/或“更软”,而当处于其他可预定位置时,它变得相对更易碎和/或“更硬”。例如,将工件和粘接辅助层之间的界面保持在低于辅助层包含的聚合物的玻璃化转变温度的温度,而将辅助层的对(“自由”)面保持在高于该玻璃化转变温度,这沿着该辅助层产生了温度梯度。在这个例子中,这导致了接近于界面的辅助层部分是更易碎和/或“更硬”的,接近于它的“自由”面的辅助层部分是更易于延展和/或“更软”的。

[0098] 在类似的一个例子中,辅助层中的非均匀物理条件可以用于为该辅助层材料诱导局部变化的材料性能,例如通过在该辅助层中产生预定图案的温度分布。在这个例子中,使用了更复杂的温度分布而非简单的温度梯度,其可以例如通过使用具有相对低的热导率的辅助层材料,并且使得它经历时间图案的温度变化来产生。例如,通过将该辅助层一个面保持在低于该辅助层材料的玻璃化转变温度(T_g)的温度,并且将在该辅助层对面上施加的温度从低于 T_g 的温度改变到高于 T_g 的温度,并且重新返回到低于 T_g 的温度(使用适当的温度变化速率,其取决于例如材料的热导率和热容),则可以实现这样的温度分布,即,在该辅助层内部具有高于 T_g 的最大温度,在外部低于 T_g 。以此方式,可以例如产生这样的辅助层,其在它的内部是相对易于延展和“柔软”的,在它的外面部分中是“更硬的”(和可能更易碎的)。在这个例子中,辅助层内的温度分布随着时间变化不是稳定的,因此它会优选刚好在某些预定的时刻开始薄层的剥离,例如使用下面进一步描述的动态剥离启动。

[0099] 例如,在基本上包含PDMS的辅助层中(热导率大约 $0.15\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 和玻璃化转变温度 T_g 是大约 -125°C),可以例如如下来在该辅助层实现内部温度分布最大高于 T_g 和在外部温度低 T_g :让该辅助层达到热平衡(例如在室温),然后冷却该辅助层的外部到大约 -200°C 的温度(例如,将该辅助层的外表面放入与液氮浴的热接触中)持续几秒(例如,对于大约 0.5mm 厚的层来说是2秒)。归因于PDMS相对低的热导率,以此方式,实现了辅助层在内部最大高于 T_g 和在外部温度低 T_g 这样的温度分布,所形成的辅助层内部是相对易于延展和“柔软”的和在它的外部是“更硬”的。在一些例子中,辅助层表面与液氮(或者任何其他蓄冷物)之间的热接触可以例如如下来提高:将该辅助层浸入到冷却的异戊烷浴(温度是大约 -160°C 到 0°C)中,代替将它放入与液氮的直接热接触。

[0100] 在另外一个例子中,不同的温度(还可以随时间变化)可以施加到辅助层的不同

位置上。

[0101] 在另外一个例子中,非温度的物理参数可以用于在辅助层内产生和控制非均匀的物理条件,其诱导了该辅助层材料局部变化的材料性能。例如,局部施加机械压力局部提高了某些材料的玻璃化转变温度 T_g (和对于一些材料来说,局部提高了剪切模量和 / 或降低了断裂韧性)。或者在另外一个例子中,使得某些辅助层材料例如 PDMS 经历空间和 / 或时间变化的高频 (例如 100MHz) 机械振动 (即,声波) 图案会局部诱导从橡胶状向玻璃状坚韧性的转变,即,局部提高了该辅助层材料的玻璃化转变温度和剪切模量二者。并且,向辅助层材料上施加局部化的急剧击打对于某些材料实现了类似的效果 (例如,比较公知的例子 “Silly Putty”,当用锤子急剧击打它时,其会因受到冲击而粉碎,但是如果缓慢的施加相同的压力,则它会变形,即,在急剧的击打下,它表现的如同它的 T_g 升高一样)。更通常的,可以使用公知的事实,即,通常聚合物的粘弹性 (包括玻璃化转变温度) 具有速率依赖性,并且因此可以使得所述材料经历物理参数预定的空间和 / 或时间图案变化,来在辅助层材料中诱导不同粘弹性的预定的空间和 / 或时间图案,例如声波图案,电磁场变化图案,温度变化图案等。并且,在这些例子的一些中,辅助层内所诱导的局部不同材料性能图案随着时间变化会是不稳定的,因此它会优选刚好在某些预定的时刻开始薄层的剥离,例如使用下面进一步描述的动态剥离启动。

[0102] 在另外一个例子中,辅助层内的非均匀的物理条件 (其是使用任何上述方法产生的) 可以包括在该辅助层的预定部分产生各向异性材料性能。例如,在基本上包含聚合物的辅助层的某些预定的辅助层部分中优先排列和 / 或定向聚合物链产生了预定的辅助层部分,其具有基本上各向异性弹性模量。例如,这促进了沿着工件的某些方向比沿着其他方向更优选的断裂 (散裂) 的开始和 / 或进行。在另外一个例子中,将包含一种或多种具有各向异性材料性能的材料辅助层用于由同样具有各向异性材料性能的工件来生产薄层。例如,晶体工件沿着某些晶体方向比其他方向更易碎,这导致了所生产的薄层中不期望的垂直裂纹和可能甚至断裂 (碎散)。通过选择具有各向异性材料性能 (例如各向异性弹性模量或者各向异性 CTE) 的辅助层和适当的定向这个辅助层 (相对于工件),在这个例子中降低了工件或者所生产的薄层不期望的碎散的风险。例如,如果断裂更容易发生在沿着特定方向上定位的平面上 (例如单晶硅中的 $\langle 111 \rangle$ 晶体平面) (即,断裂韧性更小),则在薄层生产过程中发生这样的断裂的风险是如下来降低的:使用它的 CTE 是各向异性的辅助层,和定向这样的方向,在其中辅助层 CTE 和工件 CTE 之间的绝对差异在基本上不垂直于这些容易断裂的平面的方向上是最大的。

[0103] 在另外一个例子中,如果该辅助层材料的 CTE 基本上取决于某些物理条件例如温度或者所施加的机械压力等,则该 CTE 还可以通过在辅助层中建立非均匀的物理条件来局部控制。

[0104] 在另外一个例子中,可以将辅助层材料中诱导局部不同材料性能 (例如依赖于位置的粘弹性) 预定图案的步骤与在该辅助层中建立期望的应力分布来从工件上剥离薄层的步骤相结合。例如,对于它的 CTE 基本上不同于工件 CTE 的辅助层材料来说,在该辅助层中建立非均匀的温度分布被用于某些辅助层材料例如 PDMS,来产生期望的材料性能非均匀分布 (例如剪切模量的非均匀分布),同时将它用于在该辅助层和粘接工件中诱导期望的应力分布。并且,如果应力是通过温度变化来诱导的,则优选的是在整个方法过程中

所用的最大温度是尽可能低的,优选不高于 100℃,更优选不高于室温,目的是降低污染物扩散到薄层中的风险。所以,在该应力诱导温度变化过程中所达到的最低温度优选明显低于 0℃,更优选低于 80℃和最优选低于 150℃,因为相对较大的温度变化能够诱导更大的应力。所以,因为在这个例子中使用温度变化来诱导应力和同时在该辅助层中产生期望的材料性能的非均匀分布,因此优选的是使用这样的辅助层,它的材料性能(例如剪切模量)在相应的温度变化过程中(其优选包含低于室温的温度)明显变化。例如,对于基本上包含聚合物的辅助层来说,该聚合物的玻璃化转变温度优选低于室温,更优选低于 0℃和最优选低于 100℃。例如,PDMS 优选在这个例子中作为辅助层材料,因为它的玻璃化转变温度是大约 -125℃,并且它的剪切模量对于高于和低于它的玻璃化转变温度的温度是明显变化的。

[0105] 在另外一个例子中,期望的是(例如由于辅助层中随时间变化的材料性能,参见上面)可以在特定的时间点主动触发薄层的剥离,即,一种“动态剥离启动”。因为在某些应力下固态材料工件的断裂通常优先从所述材料结构较弱的区域或者缺损处开始,并且因为一旦形成裂纹,则需要较小的应力来进一步延伸该裂纹,因此可以首先在基本上无缺损的工件中建立相对大量的应力,而不会发生任何的断裂,然后在期望的时间点人工在工件中产生变弱区域或者缺损,其然后导致了立即开始断裂过程(即,触发了薄层的剥离),而不需要进一步提高工件中的应力。这样的变弱区域或者缺损可以如下来机械产生:通过传递受控的击打到工件上(例如,用锋利尖头锤撞击工件上的某些点(锤击),由此局部粉碎了晶体结构和产生凹痕或者刻痕,或者通过传递超声脉冲,或者通过强的激光脉冲,或者通过锯切,锉或者研磨等等),化学的(例如局部蚀刻凹槽),光学的(例如用激光局部熔融所述材料,或者融化它来产生凹槽结构),或者通过其他合适的机理。在另外一个例子中,除了或者代替产生缺损区域,这样的机理还用于将工件中一个或多个明确定义的位置上的应力局部提高到超过断裂阈值,其然后也导致了受控的断裂开始。在又一个例子中,结构较弱的区域或者缺损是在工件中诱导应力之前人工在工件中产生的,或者在应力仍然建立的同时产生的。使用这个最后的例子实现了更好的控制在工件上的位置(在这里将开始该断裂方法)。在又一个例子中,优选是产生具有预定的特定几何形状的变弱区域或者缺损,因为例如已知的是尖锐的角(例如由单晶硅中各向异性 KOH 蚀刻所产生的)经常具有比本体材料的断裂韧性明显降低的断裂韧性。

[0106] 在另外一个例子中,期望的是在薄层已经从工件上剥离之后(辅助层粘接到该薄层上),在辅助层中提供非均匀的物理条件。这便于该薄层和粘接辅助层的处理和进一步加工,并且降低了在该薄层剥离后破裂的风险。例如,如果使用冷却来在由工件和粘接辅助层组成的复合结构中诱导应力,则在薄层从工件上剥离之后,该由薄层和粘接辅助层组成的复合结构仍然处于内部应力下,并且在一些例子中,在进一步加工之前,优选升温这种复合材料(薄层-辅助层)来降低这种应力。但是,在这个升温步骤中,在一些例子中,优选的是在该辅助层内提供适当的非均匀物理条件:例如,如果该辅助层包含其的 CTE 明显大于薄层的 CTE 的聚合物和如果在升温开始前聚合物处于低于或者基本接近于它的玻璃化转变温度的温度,则在升温过程中,该聚合物明显膨胀(远大于薄层),和对于某些聚合物例如 PDMS 来说,该聚合物的刚度(即,弹性模量)明显降低。所以,在这个例子中,如果升温优先发生于接近辅助层和薄层之间的界面的辅助层部分中,同时远离这个界面的辅助层部分保持冷却,则接近于所述界面的辅助层部分膨胀的更大,并且变得相对更软(即,更低的

弹性模量),而远离界面(并且冷却)的辅助层部分保持更收缩和更硬。这会导致该复合材料(薄层-辅助层)在升温过程中过度弯曲,从而可能导致薄层的断裂(形成垂直于界面的裂纹)。另一方面,如果在这个例子中,升温优先发生在远离辅助层和薄层之间的界面的辅助层部分中,而接近这个界面的辅助层部分保持冷却,则远离界面的辅助层部分膨胀的更大,并且变得相对更软(即,更低的弹性模量),而接近于界面的辅助层部分保持更收缩和更硬。这个第二种情况导致了复合材料(薄层-辅助层)明显更少的弯曲,以及明显降低了薄层断裂的风险。该辅助层中温度(和刚度)的非均匀分布例如第二种情况所述的这些是例如如下来实现的:优先加热该辅助层处于薄层界面对面的面,其是例如通过将该复合材料(薄层-辅助层)置于加热板(对于包含 PDMS 的辅助层来说,其处于例如 100℃ 的温度)上,并且该辅助层面朝下-来实现的。在这个例子中,优选的是使用具有相对低的热导率的辅助层,例如包含 PDMS 的辅助层。在另外一个例子中,该辅助层的内部保持的相对更冷,更硬和更收缩,而该辅助层的外面部分膨胀地更大和变得相对更软(由此产生例如具有“更硬的核”的辅助层)。这例如是如下来实现的:通过使用具有相对低的热导率的辅助层,并且对该辅助层外部进行强加热。取决于复合材料(薄层-辅助层)在它从工件上剥离后的残留应力,和取决于所期望的薄层的进一步的加工,可以在该辅助层中使用这样的非均匀的物理条件的不同例子。

[0107] 在另外一个例子中,可以在该辅助层内产生可预定的非均匀的物理条件,来控制 在所生产的薄的固体材料层表面上的局部可定义的结构产生。例如,已知的是对于牵引-规定的边界值问题来说,双材料体系的非二维弹性模量相关性可以表示为两个双材料参数: σ (两种材料的刚度比)和 ε (摆动指数)。还已知的是对双材料体系来说(该体系的组成为一种材料的工件和第二材料的辅助层(每个材料采用各向同性和线性弹性的,并且预先存在于该工件中的半无穷裂纹平行于界面,和该工件和该辅助层假定为无穷长的)),用于散裂问题的稳态方案(例如,所产生薄层的厚度)基本上取决于辅助层的厚度以及刚度比 σ ,但是仅仅很低程度地取决于摆动指数 β 。所以,在本发明一个实施方案的一个实施例 中,所产生的薄层厚度中局部所定义的和相对大的变化是通过局部改变该辅助层的厚度和/或它的刚度来实现的。并且,局部改变摆动指数允许改变相对更小(在厚度变化方面,即,振幅)、基本周期性的结构的局部性能(例如周期或者振幅),所述结构通过在裂纹尖端处的摆动行为在薄层表面上产生。例如,基本上包含 PDMS 的辅助层(厚度优选是 10-5000 微米),其附着到由单晶硅晶片组成的工件上(厚度优选是 10-5000 微米),其是局部图案化的(例如,通过用快刀切割 PDMS 表面,深度优选是 1 微米到该辅助层的全厚度)。以此方式,改变了辅助层的局部厚度和/或局部弹性性能。通过随后根据本发明实施方案的剥离(散裂),因此生产了具有局部可定义的结构化表面的薄的硅层(厚度是 10-500 微米)。在这些薄的硅层上,例如,所产生的表面-结构特征的侧向尺寸是从远低于 1mm 到高达几个厘米。这些特征的高度(即,在该特征处的薄层的局部厚度)可以控制为从 0(即,薄层中相应的成形孔)到高于几百微米,这还取决于该特征的侧向尺寸。此外,每个这些“宏观”特征可以进一步被赋予特定选择的“微观”表面粗糙度图案,其中这些微观图案的组成是或者包括基本周期性结构例如线,凹谷,边缘等,其具有从低于 100nm 到高于几微米的垂直和侧向尺寸,和从低于 100nm 到高于几十微米的空间周期。

[0108] 在另外一个例子中,所生产的薄的固态材料层的厚度可以通过改变辅助层的厚度

和 / 或辅助层的弹性模量来改变。例如,如果使用具有相对小的弹性模量的辅助层,则需要相对厚的辅助层来在工件中诱导足够的应力,来剥离薄的固态材料层。因为对于相对厚的辅助层来说,辅助层厚度小的绝对变化(例如归因于不正确的生产方法,例如通过例如喷涂沉积而沉积到工件上的辅助层材料量中的随机误差)累计为相当小的相对厚度变化,在所生产的薄的固态材料层中所形成的相对厚度变化也是相对小的(与使用具有较大的弹性模量的更薄的辅助层的情况相比)。此外,以类似的方式,使用相对厚的辅助层(具有相应的更小的弹性模量)也降低了该辅助层中材料性能小区域的不想要的局部变化对于所生产的薄层厚度的影响。所以,在这些例子中,使用具有相对小的弹性模量的辅助层在实现对于所生产的薄的固态材料层厚度更好的控制方面是优选的。例如,基本上包含 PDMS 的辅助层(厚度是大约 0.1-1mm)可以用于由单晶硅晶片(厚度是 0.2-1mm)来生产薄层(厚度是大约 50-300 微米),但是,基本上包含铝的辅助层需要 5-100 微米的厚度来生产同样薄的单晶硅层。因为对于 PDMS 来说,使用了厚得多的辅助层,因此在这个例子中更容易控制 PDMS 而非铝。

[0109] 最后,在一些例子中,可以将任何或者全部上述例子的方面进行结合。

[0110] 尤其地,本发明还涉及一种由单-或者多晶半导体材料来生产薄片或者盘(晶片)的方法。本发明尤其涉及需要或者期望的是薄的单-或者多晶硅盘片(例如归因于成本原因)的全部的应用盘片。可能的应用包括成本有效和有效率地生产单-或者多晶硅太阳能电池,以及机械柔性电子元件和电路。例如,使用本发明的方法,可以从单晶硅晶片上或者从截短的硅晶块上平行于它的表面剥离大约 50 微米厚的盘片。

[0111] 本发明的一个显著优点在于本发明的方法明显降低了在由具有低延展性的材料例如硅来生产薄片的过程中所发生的材料损失。与现有的方法例如锯切,研磨,抛光或者蚀刻相比,我们的方法几乎没有导致有价值的供料材料的损失。当从工件上剥离盘片,片或者壳时,该供料几乎完全分配到所剥离的盘片和工件的剩余部分上。

[0112] 本发明的另一个优点是与现有的方法例如研磨和抛光相比生产非常薄的片(小于大约 100 微米厚度)更快并且所需的劳动更少。

[0113] 本发明的另一个优点是该本发明的方法与现有的方法相比,需要明显更便宜的装置和更便宜的耗料用于它的进行。本发明的方法可以非常容易的作为子步骤整合到现有的生产方法中,例如用于生产薄的硅晶片或者太阳能电池。本发明的方法提供了简单的方式来比现有的方法更有效地利用供料。因此,由给定尺寸的工件来生产更大量的可用的薄盘片,片或者壳成为可能。

[0114] 最后,本发明的一个优点是所述方法能够用于许多不同类型的工件材料(例如,对于刚玉来说,其能够例如用于制造 LED,或者对于锗来说,其能够例如用于制造多结“串联”太阳能电池)。

[0115] 第三独立的实施方案(图 3)

[0116] 根据本发明的一个不同方面,其涉及一种独立的方法,用于生产具有表面结构的薄的独立式固态材料层。本发明下面的说明性实施方案将参照图 3 来描述。

[0117] 在第一实施方案中,工件 2 是一种市售单晶硅晶片。图 3 以透视图示意性说明了根据本发明的一种代表性的四步方法次序(从顶到底)。下面参照图 3。

[0118] 步骤 1:这里基础的原料是单晶硅晶片 2,它用例如微电子或者光电工业所用的

Czochralski-方法来生产的。晶片2的直径是大约76mm,厚度是大约0.4mm。该晶片是轻微n-或者p-掺杂的,具有大约10 Ohm cm的比电阻率,并且它的两个面1a和1b是平行于<100>晶体平面定向的。该晶片的一个或者两个面1a和/或1b可以是镜面抛光的或者简单蚀刻和重叠的。晶片2可以在晶片生产后直接使用,或者它可以使用常规方法进行大致的预清洁(例如用有机溶剂和水,或者用等离子体氧化清洁)。

[0119] 步骤2:在晶片2的每个面1a和1b上施加聚二有机硅氧烷的薄层3a和3b(例如聚二甲基硅氧烷或者PDMS;为了方便一下讨论中提及PDMS,但是应当理解可以使用任何合适的硅酮聚合物或者共聚物),并且固化(或者使其固化)。这些辅助层3a和3b优选的厚度是0.01mm-10mm,更优选的厚度是大约0.3mm-大约3mm。两个层3a,3b的厚度在这个说明性实施方案中是相同的,但是在另一些实施方案中这两个层的厚度可以不同。对于PDMS来说可以使用例如Dow Corning的SYLGARD184,并且固化剂与基础材料的混合比是1:10。该液体PDMS-混合物首先真空脱气大约1小时,然后将它以期望的厚度施用到晶片2的每个面1a,1b上,并且在加热板上固化(例如在100℃固化30分钟)。在这种说明性实施方案中,PDMS层3a和3b在大部分晶片区域上具有均匀厚度。这可以通过将该晶片放置在水平表面上,并且在固化PDMS之前通过重力使其均匀化来实现的。在该PDMS固化后,将三层复合材料(PDMS3a-晶片2-PDMS3b)冷却到室温。此后,用快刀除去沿着晶片2的边沿突出的任何PDMS,以使得晶片2的边缘基本上没有PDMS,并且PDMS仅仅覆盖了晶片2的两个面1a,1b。可以通过将PDMS仔细施加到晶片面上,并且让它在水平表面上均匀化,来避免在晶片边沿上具有任何的PDMS突出(并因此接触该晶片的边缘);在这种方式中,PDMS的表面张力将防止它溢流到晶片边缘。

[0120] 步骤3:然后将该复合材料(PDMS3a-晶片2-PDMS3b)完全浸入到液氮浴中(温度大约-200℃)。由于硅(大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)和PDMS(大约 $300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)的热膨胀系数的明显差异,通过这种冷却在该复合材料中诱导了大的机械应力。在冷却几秒后,晶片2沿平行于它的表面1a自然分裂成两个薄的单晶硅盘片5。在足够小心的操作下,两个硅盘片5中的每个的基本组成是一个单片,并且每个盘片5的一个面仍然具有所附着的相应的PDMS辅助层3a或者3b。为了避免垂直于表面4的另外的断裂,盘片5在分裂之后可以直接从液氮浴中转移出来,转移到100℃加热板上(并且粘接有PDMS辅助层3a或者3b的面朝下),直到整个PDMS辅助层重新升温到至少室温。无论使用何种升温方法,优选的是在盘片5升温时将它们仔细的压到平载体上,以使得所述层的任何卷曲被反转,来随着升温的进行使所述层变平。

[0121] 步骤4:最后,在PDMS辅助层3a和/或3b的一个或者两个上进行成图步骤:使用激光束来将线和/或其他几何图形(例如圆等等)的任意图案6切割到PDMS层3a和/或3b的一个或者两个表面中。在这种实施方案中,全部的切割完全延伸穿过相应的PDMS层3a和/或3b的整个厚度,即,在“掩模开口”中,将PDMS局部完全除去(烧掉),露出下面的薄的硅盘片5的表面。该激光优选具有这样的频率,其被PDMS强吸收(CO_2 激光满足这种标准),并且优选通过自动或者手动方式控制激光束在PDMS层(3a和/或3b)上的强度和移动来切割期望的图案。市售激光切割器(例如VERSA激光VLS6.60,具有60瓦 CO_2 激光器)是可接受的。

[0122] 图案6中的特征(侧向尺寸大于大约0.1mm)可以在PDMS层3a和/或3b中产生。

优选的是通过使用液体清洁溶液例如蚀刻剂,例如通过用含有氢氟酸(HF)的溶液冲洗,来除去掩模开口6中可能剩余的燃烧过的PDMS材料。

[0123] 根据这种方法生产的具有粘接的图案化的掩模(辅助层3a和/或3b)的薄的硅盘片5的基本组成是单晶硅,其具有与初始的晶片2相同的性能。该粘接的图案化的掩模3a和/或3b然后可以用于在薄的硅盘片5表面上产生局部所定义的结构。这样的结构的形成可以使用适当的另外的处理来实现,其中另外的材料是通过掩模开口6形成或者沉积到薄的硅盘片5表面上,例如,通过物理气相沉积,离子注入,局部氧化,化学气相沉积,外延生长,电镀或者电泳沉积等。该结构形成步骤还可以包括减少性处理,其中表面结构例如沟槽,平台或者角锥是穿过掩模开口6,通过成形薄的硅盘片5本身表面上的材料,例如通过干(例如RIE)或者湿各向异性(例如KOH)或者各向同性(例如HF基)蚀刻来产生。

[0124] 在该结构形成处理之后,PDMS辅助层3a或者3b可以任选地从硅盘片5上除去,例如通过浸入到适当的液体蚀刻剂(例如,3:1体积比的NMP(N-甲基吡咯烷酮)和TBAF/THF(四丁基氟化铵的1.0M四氢呋喃溶液)混合物,或者还通过浸入到氢氟酸)中来除去。PDMS辅助层3a或者3b的一种优选的除去方式是用热硫酸(H_2SO_4)蚀刻剂浴,优选在高于150°C的温度(和更优选高于200°C)冲洗或者浸入其中,然后机械除去所产生的白色二氧化硅泡沫(例如使用刷子,和可能的几个刷拭-蚀刻循环),最后通过浸入到氢氟酸中来清洁该硅盘片5。

[0125] 根据本发明这个独立方面的一些实施方案,具有表面结构的薄的、独立式固态材料层的生产是如下来提高的:将层的生产与某些用于之前分别进行的生产表面结构的处理步骤相结合,特别是与这样的处理步骤相结合,该处理步骤与在层表面上掩模沉积和成图以随后形成局部可定义的表面结构有关。本发明的一些实施方案提供了一种简单的和不昂贵的方法,其避开了大部分上述的缺点。本发明的一些实施方案能够生产具有局部可定义的表面结构的薄的独立式固态材料层,其可以包含另外的固态材料。

[0126] 在不同的实施方案中,薄的、独立式固态材料层是通过在该固态材料中诱导局部可控的应力来生产的。这样的应力是通过在附着到该固态材料上的辅助层中建立局部受控的应力来诱导的。该辅助层可以通过足够强的附着结合到固态材料工件上。在适当的条件下,该机械应力导致了在平行于工件和辅助层之间的界面的方向上,从工件上剥离薄层,并且辅助层仍然粘接到所剥离的薄层上。该辅助层然后图案化,并且用作掩模,即,选择性除去某些区域中的辅助层材料(例如通过光平版印刷),来形成掩模开口图案。穿过辅助层中的这些开口,可以通过许多公知的技术,例如通过物理气相沉积来在下面的薄的固态材料层表面上形成局部可定义的结构。

[0127] 该辅助层本身是以这样的方式制备的,其允许诱导局部受控的应力。例如,该辅助层可以包含具有相对高的热膨胀系数(CTE)的材料。如果该辅助层附着到CTE明显较低的工件上,和如果该复合结构(辅助层-工件)经历了温度变化,则能够在该工件中诱导大的应力,这导致了薄层从工件上剥离。

[0128] 例如,该工件可以由在室温的CTE是大约 $3 \times 10^{-6} K^{-1}$ 的硅组成,该辅助层可以包含特征为CTE在室温大于大约 $10 \times 10^{-6} K^{-1}$ 的聚合物。优选低,该聚合物的特征为CTE在室温大于大约 $50 \times 10^{-6} K^{-1}$,更优选该聚合物的特征为CTE在室温大于大约 $200 \times 10^{-6} K^{-1}$ 。在一个例子中,该辅助层由交联的聚二甲基硅氧烷(PDMS)组成,其的CTE在室温是大约 300×10^{-6}

K⁻¹。

[0129] 在另外一个例子中,该辅助层可以包含这样的材料(例如金属或者塑料),其特征为 CTE 与工件的 CTE 在室温相差的绝对值至少为 $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,优选在室温相差的绝对值至少为 $50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,更优选在室温相差的绝对值至少为 $100 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,最优选在室温相差的绝对值至少为 $200 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。例如,对于在室温的 CTE 为大约 $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的硅工件来说,可以使用 CTE 在室温是大约 $24 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的含铝辅助层。

[0130] 在又一个例子中,可以使用非局部 CTE 的局部材料性能来在辅助层中产生局部可控的应力图案,例如局部溶胀。

[0131] 并且,为了产生足够大的应力,需要具有相对大的剪切模量的辅助层。此外,该辅助层材料的断裂韧性必须足够大(与该工件材料的断裂韧性相比),来避免断裂该辅助层而非工件。但是,在一些例子中,期望的是可以使用应力诱导辅助层,该层包含不昂贵的和较少污染的材料例如聚合物,特别是使用这样的材料,其在常规条件下具有相对小的弹性模量(例如小于 100 MPa,可能小于 10 MPa,或者甚至小于 1MPa)和/或小的断裂韧性(例如小于 $5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$,可能小于 $2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$,或者甚至小于 $1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)。所以,在一些例子中,可以使用非均匀的辅助层,其包含不同的材料,其中一种材料具有相对大的弹性模量,但是不必具有大的断裂韧性,另一种材料具有相对大的断裂韧性,但是不必具有大的弹性模量。在其他例子中,使用基本上包含单个材料的均匀的辅助层,并且提供这样的物理条件,即,使得这种材料的相关性能例如断裂韧性和/或弹性模量是根据在辅助层中的位置而变化的(例如,在它的弹性模量取决于温度的辅助层中建立非均匀的温度分布)。

[0132] 在适当的条件下,所诱导的机械应力图案导致了薄层以平行于工件和辅助层之间的界面的方向从工件上的剥离。

[0133] 剥离的薄的固态材料层的区域与辅助层的区域大致匹配。该薄层从工件上剥离而形成的两个表面中的每个可以再次使用,即,另外一个辅助层可以施加到工件新暴露的面上或者剥离的层新暴露的面上。因此,本发明的一些实施方案促进了重复的剥离操作,产生了具有表面结构的另外的(和更薄的)层,来自于工件的剩余部分和来自剥离的层两者,在其上然后通过使用相应的粘接辅助层作为掩模来形成局部可定义的表面结构,如下段所述的那样。最后,对于一些例子的工件来说(例如,基本组成为薄片例如晶片的工件),有利的是可以在固态材料工件的两个或者多个(可能相对的)面上形成辅助层,例如来提高工件剩余部分的稳定性和避免碎散。

[0134] 该辅助层可以以许多不同的方式用作掩模。

[0135] 在一个例子中,将辅助层附着到固态材料工件上,然后诱导应力和将薄的固态材料层与辅助层一起剥离,最后将“掩模开口”切割到辅助层中。在这个例子中,掩模开口是这样的区域,在这里辅助层材料被局部除去乃至整个辅助层厚度被除去,露出下面的薄的固态材料层。掩模开口可以使用任何适当的技术切割到辅助层中,这也取决于该辅助层的材料。

[0136] 在一个例子中,对于基本上包含聚合物的辅助层来说,掩模开口是通过用激光束照射所述层,并且在预定位置烧掉该聚合物材料来切割的,可能包括另外的步骤,其中将燃烧过的材料通过使用液体清洁溶液例如蚀刻剂来从辅助层的其余部分上除去。例如,在基本上包含 PDMS 的辅助层中,掩模开口可以通过用 CO₂ 激光器照射,然后通过用含有氢氟酸

(HF) 的溶液冲洗燃烧过的材料来除去而切割。

[0137] 在另外一个例子中,使用光平版印刷方法,例如,将光活化辅助层用期望的图案“曝光”(例如通过用紫外光的期望图案来选择性照射它),然后“显影”(即,将曝光的或者未曝光的辅助层部分选择性蚀刻掉)。

[0138] 不管用何种切割掩模开口的方法,这种方法在薄的固态材料层上产生了图案化的掩模。这种图案化的掩模然后用于在薄层表面上产生局部所定义的结构。这样的结构的形成可以使用适当的其他处理来实现,其中另外的材料(其可以不同于薄层的材料)是通过掩模开口形成或者沉积到薄层表面上,例如,通过物理气相沉积,离子注入,局部氧化,化学气相沉积,外延生长,电镀或者电泳沉积等。该结构形成步骤还可以包括减少性处理,其中表面结构例如沟槽,平台或者角锥是穿过掩模开口,通过成形薄层本身的表面上材料,例如通过干(例如 RIE)或者湿各向异性(例如单晶硅中的 KOH)或者各向同性(例如 HF 基)蚀刻来等产生。例如,包含四甲基氢氧化铵(TMAH)的水溶液,例如浓度为 0.1-10 重量%的 TMAH(优选 1-5 重量%的 TMAH),温度是 40-100℃(优选 70-90℃)可以用于各向异性的蚀刻单晶硅,使用基本上包含 PDMS 的辅助层作为掩模,这是因为 PDMS 在这样的 TMAH 基蚀刻剂中的蚀刻速率非常小。最后,将添加和减去方法结合来用于在薄层上形成结构也是可能的。

[0139] 在另外一个例子中,辅助层可以以与上述类似的方式用作掩模,除了掩模开口没有切割穿透辅助层的整个厚度,而是仅仅达到辅助层中的某些深度(从辅助层和薄的固体材料层之间的界面开始)之外。换句话说,通道图案是在辅助层内产生的,这里这些通道的底面是由薄的固态材料层的表面提供的,并且这些通道的其他壁是由辅助层的材料提供的。这些通道可以与其他通道互连,并且对于每个可能互连的通道系统来说,提供至少两个开口,这里通道可以接近于外面的辅助层-薄层复合结构。这些通道可以使用任何适当的技术切割到辅助层中,并且也取决于辅助层的材料。这些通道优选的尺寸(例如高度,直径,长度)取决于该通道期望的用途和用于产生这些通道的技术。

[0140] 在一个例子中,对于包含在一部分的电磁光谱中强吸光的聚合物的辅助层来说(这里该固态材料的薄层是基本透明的),这样的通道是以下面的方式,通过用频率基本上处于该部分光谱中的激光辐射来切割的:激光束是从薄的固态材料层附着的面辅助层照射的,即,该激光束首先透射穿过薄的固态材料层,然后在辅助层中吸收。以此方式,最接近于辅助层和薄的固态材料层之间的界面的辅助层部分首先被激光烧掉。在这个例子中优选可以提供装置来充分的排去燃烧产物,例如,通过将通道开口的至少一端一直保持到大气中,这可以例如通过在辅助层-薄层界面处开始切割所述通道来实现。

[0141] 在用于切割这样的通道的适当的技术的另外一个例子中,使用光平版印刷方法,这里使用了这样的两层的复合材料辅助层,其包含附着到薄的固态材料层上的光活化“内”层,和附着到光活化层对面上的另外一种非光活化“外”层。这种两层复合材料辅助层然后用期望的图案“曝光”(例如通过用紫外光的期望图案来照射它),然后“显影”,由此仅仅蚀刻掉所选择的光活化层部分(曝光的或者未曝光的部分,取决于该光活化材料),而基本上不蚀刻掉非光活化层部分,来产生期望的通道。

[0142] 不管采用何种切割这些通道的方法,一旦它们产生,则将它们用于在薄的固态材料层表面上产生局部所定义的结构(在通道的“底面”上)。这可以通过添加(例如通过

使得电镀或者无电镀液体流过该通道),减少方法(例如通过使得液体蚀刻剂流过该通道)和/或添加和减少方法的组合来进行。使得液体流过所述通道是例如如下来实现的:在通道的一端提供液体供料,并且在另一端施加真空(或者更通常的,在(可能互连的)通道网络的某些外开口处提供液体供料,和在其余开口处施加真空)。

[0143] 使用这样的通道(代替如上所述穿过辅助层整个厚度的掩模开口)的一个优点是原则上,在每个通道中可以使用不同的结构形成方法,其允许同时使用不同的结构形成方法到该薄层上而使用仅仅单个掩模(例如,在不同通道中的不同金属的同时电极沉积)。以此方式,例如,由不同材料组成的不同的局部可定义的表面结构可以同时相同的薄的固态材料层上产生,使用仅仅单个掩模。

[0144] 在一个例子中,薄层上的一些通道填充有含有n-掺杂剂的溶液(用于薄层材料),并且在相同薄层上的其他通道填充有含有p-掺杂剂的溶液。全部的通道可以并行填充,然后将该掺杂剂同时扩散到薄层中,例如通过加热该复合结构来扩散,所述复合结构包括具有填充通道的辅助层和附着的薄层。以此方式,能够以简单和有效的方式来在薄层上产生n-掺杂的和p-掺杂的区域二者的局部可定义的图案。所以,使用这样的通道在许多情况中会比使用常规掩模的方法(这里通常需要几个掩模来产生由不同材料组成的表面结构)更快和更经济。此外,该具有含有这样的通道的附着的辅助层的薄的固态材料层还可以直接应用,例如作为微流体装置,例如用于传感器或者传动器。

[0145] 在另外一个例子中,在薄的固态材料层从工件剩余部分上剥离之前,将期望的掩模开口图案(完全的或者部分的穿过该辅助层的厚度)切割到该辅助层中。在这个例子中,这些掩模开口的局部尺寸和深度(处于辅助层内)影响了所生产的薄的固态材料层的局部厚度和表面性能。在适当的条件下,在剥离之前,在工件内的薄层的面上形成了表面结构图案,并且这种图案是由辅助层的掩模开口图案来限定的。

[0146] 此外,同时在工件面上形成了表面结构图案,其通过薄层的剥离而变成了新暴露的,并且这种图案基本上是在分离的层表面上形成的图案的镜面图像(更具体地,是三维互补的)。除了通过剥离方法本身所产生的这些表面结构之外,其他局部所定义的表面结构也可以在薄的固态材料层的对面上(这里粘附有辅助层),通过使用辅助层作为掩模(例如用于另外的材料的沉积或者用于蚀刻),根据任何一个上述例子来形成。

[0147] 在另外一个例子中,一些或者全部的掩模开口初始时没有切透辅助层的整个厚度,而是仅仅到达某深度。但是,在这些掩模开口剥离之后,则延伸穿过辅助层的整个厚度,例如通过施加均匀的蚀刻方法到辅助层的整个表面上来降低它总体的厚度,直到该掩模开口达到薄的固态材料层的表面。

[0148] 在又一个例子中,在薄的固态材料层从工件的其余部分上剥离之前,将掩模开口期望的图案印到该辅助层上,但是没有从辅助层上除去任何材料,直到剥离后。在一个例子中,在剥离薄的固态材料层之前,将光活化辅助层使用期望图案的掩模开口进行曝光,但是仅仅在薄层剥离后显影(这里实际上除去了一些辅助层材料)。这种方法的一个优点是它允许进行掩模曝光(即,这里需要相对高精度度和良好的光学定位的步骤),同时薄层仍然附着到工件上(其更厚,因此可以更容易的处理),和同时允许明显降低上述的掩模开口图案对于所生产的薄的固态材料层的局部厚度和表面性能可能的不期望的机械影响。

[0149] 在另外一个例子中,该辅助层还可以用作一种“存储器”掩模:除了或者代替上述

所用的掩模,其中掩模开口限定了这样的区域,其中另外的添加和 / 或减少处理随后沉积材料到薄的固态材料层上和 / 或从其上蚀刻掉材料,该辅助层本身还可以提供至少部分的待沉积到薄层上或者待与薄层材料反应的材料。在一个例子中,该辅助层包含作为掺杂剂用于薄层的材料,并且这些掺杂剂例如是通过加热该包含辅助层和附着的薄层的复合结构来扩散(“驱使”)进入薄层中的。掺杂剂的扩散可以局部限制到薄层的某些区域中,例如通过仅仅加热所选择的复合结构区域(例如用激光束选择性仅仅照射某些区域),通过使辅助层的某些区域中主要包括掺杂剂材料,或者通过在掺杂剂扩散前切掉所选择的辅助层部分(例如通过任何一种上述的用于产生掩模开口的方法)。

[0150] 代替或者除了掺杂剂之外,该辅助层可以包含其他材料(可能同样基本上限制到辅助层的仅仅某些区域中),其优选依靠某些“活化”、“火烧”或者退火步骤(例如通过加热,或者通过用电磁波辐射等),可以化学的和 / 或物理的作用于该辅助层、薄的固态材料层或者二者上。在一个例子中,含硅薄层中的缺损和杂质是通过将氢从该辅助层(其包含例如富氢 PECVD 氮化硅)扩散到薄层中而钝化的。

[0151] 在另外一个例子中,在薄层表面上通过局部火烧包含金属贴片的辅助层,例如通过用激光照射所选择的辅助层区域,来产生金属电触点。在另外一个例子中,如下来在薄层表面上产生金属电触点:灰化包含金属粒子的聚合物辅助层,并且将该金属粒子在薄层表面上局部熔融成金属结构,来为薄层提供电触点。该金属粒子可以根据所期望的触点图案非均匀的排列在辅助层中,或者它们可以均匀的分布到辅助层中,并且仅仅在期望的区域中例如通过激光照射来选择性熔融。在另外一个例子中,辅助层本身内的金属电触点和 / 或辅助层和薄层之间的电接头是例如如下来产生的:使用包含非导电性材料例如聚合物的辅助层,并且具有作为高和低浓度金属粒子图案排列的植入的金属粒子,这分别导致了局部高和低的导电率。在另外一个例子中,辅助层本身内的金属电触点和 / 或辅助层和薄层之间的电接头是和薄层是如下来产生的:使用包含非导电性材料例如聚合物的辅助层,并且具有植入的通道或者(微流体)通道,其填充有导电液体例如低熔点金属或者合金(例如共熔的镓-锡合金。这样的通道可以例如通过用如上所述,穿透薄层的激光照射该辅助层来产生。

[0152] 在另外一个例子中,薄层上的表面结构是将辅助层的一种或多种材料与薄层的材料在辅助层和薄层之间的界面上的某些特定位置进行化学反应来产生的。例如,用例如 UV 光照射光活化辅助层所选择的区域会局部产生反应性物质例如自由基,酸,碱等等,其在辅助层和薄层的界面处与薄层局部反应,来形成局部所定义的表面结构,例如通过局部蚀刻或者氧化该薄层。在一个例子中,这样的反应在辅助层和薄层之间的整个界面上发生,来促进附着的辅助层的分层和除去。在其他例子中,将辅助层和薄层界面处这样的局部可定义的化学反应用于生产例如在薄层上的抗反射或者保护涂层。

[0153] 本发明的实施方案还涉及由单-或者多晶单导体材料来生产具有结构化表面的薄的独立式固态材料层。本发明可以用于薄的单-或者多晶硅盘片是需要的或者期望的(例如归因于成本考虑),并且其中还包含非硅的材料的局部可定义的表面结构是在这些薄的盘片的至少一个面上形成的。有利的应用包括成本有效和有效率地生产单晶硅太阳能电池,其具有基本上充当电触点的表面结构,或者用于在薄的机械柔性基底上的微机电装置的结构。例如,本发明的实施方案便于从平的单晶硅片上剥离厚度为大约 50 μm 的层,和

在这些层表面上形成局部所定义的结构。在这些薄的硅层上,例如,本发明促进了产生表面-结构特征,其具有从明显低于1毫米到高达几厘米的侧向尺寸。

[0154] 本发明的主要优点在于明显减少了生产具有表面结构的薄的、独立式固态材料层所需的加工步骤的数目。与传统的方法相反,将从更厚的固态材料片上切割薄层的过程,和大部分随后在这些层上形成可控的表面结构的过程(例如抛光,清洁,掩模沉积,掩模成图,掩模转移,掩模除去)全部合并到单个的、简单得多的和明显更便宜的加工次序中。此外,本发明的方案明显降低了在具有表面结构的薄的、独立式固态材料层的生产过程中发生的材料损失。与使用例如锯切,研磨,抛光或者蚀刻的现有的方法相反,本发明的方案几乎不产生有价值的供料材料的损失。当从工件上剥离图案化的薄层时,该供料几乎完全存留并在剥离层和工件的剩余部分之间分配。

[0155] 本发明另一优点是能够使用明显更便宜的装置来进行它。本发明的一些实施方案能够容易地整合到现有的生产方法中,例如,用于生产具有表面结构的薄的硅太阳能电池。

[0156] 最后,本发明的一个优点是它能够用于许多不同类型的固态材料。

[0157] 虽然已经参照具体的实施方案对本发明进行了具体表示和描述,但是本领域技术人员应当理解可以在其中进行形式和细节的不同变化,而不脱离本发明通过附加的权利要求所定义的主旨和范围。本发明的范围因此是通过附加的权利要求来表示的,并且旨在涵盖处于与权利要求等价的含义和范围内的全部变化。

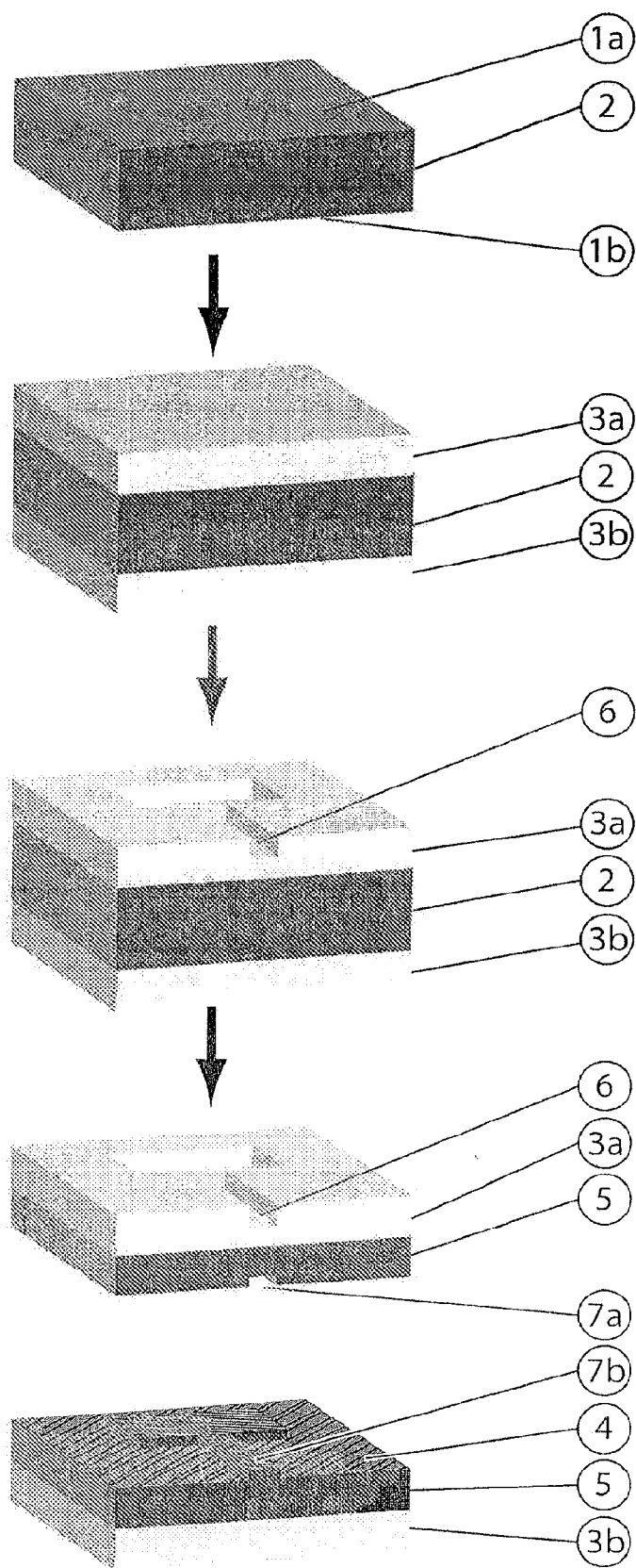


图 1

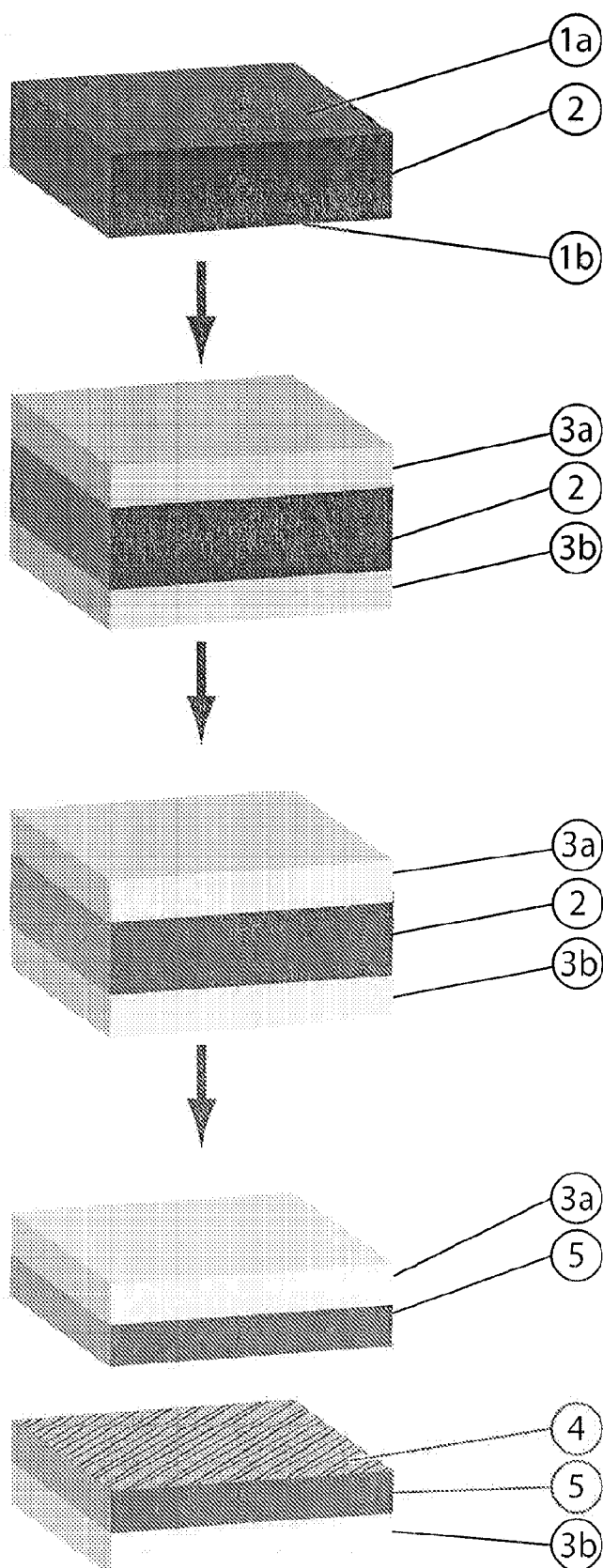


图 2

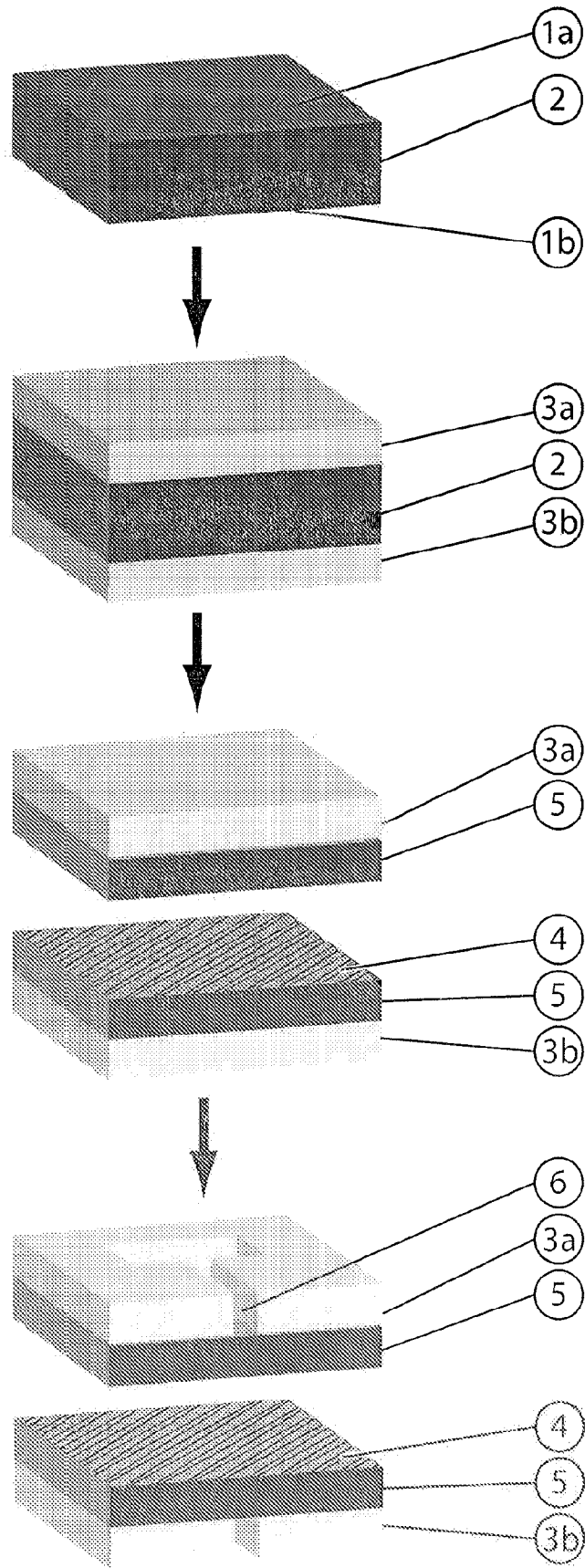


图 3