

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101236895 B

(45) 授权公告日 2011. 05. 04

(21) 申请号 200810009149. 0

(22) 申请日 2008. 01. 29

(30) 优先权数据

60/887, 086 2007. 01. 29 US

12/019, 886 2008. 01. 25 US

(73) 专利权人 硅源公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 弗兰乔斯·J·亨利

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 章社杲 李丙林

(51) Int. Cl.

H01L 21/00 (2006. 01)

H01L 21/265 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1770391 A, 2006. 05. 10, 全文.

US 7148124 B1, 2006. 12. 12, 全文.

US 6184111 B1, 2001. 02. 06, 全文.

US 6544862 B1, 2003. 04. 08, 全文.

审查员 李晓明

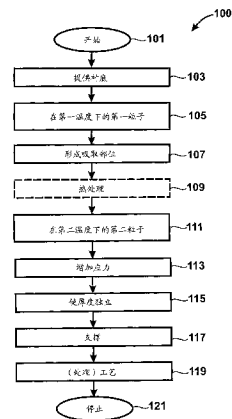
权利要求书 4 页 说明书 26 页 附图 20 页

(54) 发明名称

利用一个或多个半导体衬底制造材料的独立式厚度的方法

(57) 摘要

一种利用一种或多种半导体衬底来制造材料的独立式厚度, 例如单晶硅、多晶硅、硅锗、锗、第 III/IV 族物质以及其他物质的方法。本方法包括提供具有表面区域和厚度的半导体衬底。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受以利用直线性加速器产生的第一注入角度提供的第一多个高能粒子, 以在切割区域内形成多个吸取部位的区域, 该切割区域被提供在表面区域下方以限定待分开的材料的厚度, 半导体衬底被保持在第一温度。本方法包括使半导体的表面区域经受利用直线性加速器产生的第二注入角度提供的第二多个高能粒子, 提供该第二多个高能粒子以将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平。本发明方法利用切割工艺使可分开物质的厚度独立。



1. 一种利用一个或多个半导体衬底来制造材料的独立式厚度的方法,包括:

提供具有表面区域和厚度的半导体衬底;

使所述半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子,以在切割区域内形成多个吸取部位的区域,所述切割区域被提供在所述表面区域下方以限定待分开的材料的厚度,所述半导体衬底被保持在第一温度,所述第一多个高能粒子以第一注入角度被提供;

使所述半导体衬底经受处理工艺;

使所述半导体衬底的表面区域经受利用所述直线性加速器产生的第二多个高能粒子,提供所述第二多个高能粒子以将所述切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平,使所述半导体衬底保持在第二温度,以第二注入角度提供所述第二多个高能粒子;以及

利用切割工艺使可分开材料的厚度独立。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述半导体衬底包括单晶硅。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述半导体衬底包括多晶硅。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一多个高能粒子包括氢物质。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其中,所述氢物质以  $2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$  和更小的剂量提供。

6. 根据权利要求 4 所述的方法,其中,所述氢物质以  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  和更小的剂量提供。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一多个高能粒子包括氦物质。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述半导体衬底被提供在托盘装置上。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,所述托盘装置提供用于所述第一注入角度和第二注入物。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一注入角度为 0 至 30 度。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一注入角度为 0 至 25 度。

12. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第二多个高能粒子包括氢物质。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述氢物质包括  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$  和更小的剂量。

14. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述氢物质包括  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  和更小的剂量。

15. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第二多个高能粒子包括来源于远程等离子体系统的氢物质或者氦物质和氢物质的组合

16. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第二注入角度为 0 至 15 度。

17. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第二注入角度为 0 至 7 度。

18. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述直线性加速器包括射频四极 (RFQ)。

19. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述直线性加速器包括漂移管直线性加速器 (DTL)。

20. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述直线性加速器包括 RF- 聚焦交指型直线性加速器 (RFI)。

21. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一多个高能粒子以范围为 1MeV 至 5MeV 的能量提供。

22. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述吸取部位包括在所述切割区域附近内的显微缺陷区域。

23. 根据权利要求 22 所述的方法,其中,所述显微缺陷区域包括在所述半导体衬底的某些晶面之间提供的多个空穴。

24. 根据权利要求 22 所述的方法,其中,所述处理工艺是在 400°C 或更高的温度下提供的热加工,以使所述显微缺陷区域靠近所述切割区域并且稳定所述显微缺陷区域。

25. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一温度的范围为 100°C 至 250°C。

26. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一温度低于 250°C。

27. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第二温度高于 250°C 并且不高于 550°C。

28. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述可分开材料的厚度具有大于 50  $\mu\text{m}$  的厚度。

29. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述可分开材料的厚度具有大于 80  $\mu\text{m}$  的厚度。

30. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述可分开材料的厚度具有大于 100  $\mu\text{m}$  的厚度。

31. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述切割工艺是受控切割工艺。

32. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述切割工艺是热加工。

33. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第二温度的范围为 20°C 至 450°C。

34. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一个高能粒子和所述第二个高能粒子从所述直线性加速器以扩展束提供。

35. 根据权利要求 34 所述的方法,其中,所述扩展束在所述在半导体衬底的表面区域上具有直径 500mm 的尺寸。

36. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述直线性加速器包括 DC 加速器。

37. 一种用于形成层转移材料的独立式厚度的方法,所述方法包括:

提供具有表面区域的结晶衬底材料;

以第一剂量范围并在第一温度范围内以第一角度引入多个第一粒子,其中所述第一剂量范围是低于足以使所述第一粒子被永久地配置在积聚区域的所述结晶衬底材料中的量,通过所述表面区域至所述结晶衬底材料的积聚区域以形成具有峰浓度的注入分布以及空间地设置在一个尺寸内的基底以形成所述积聚区域,所述第一粒子在所述积聚区域的结晶材料中导致多个缺陷,所述积聚区域通过在所述表面区域大于 20 微米的深度以及在所述积聚区域与所述表面区域之间的待分开的结晶材料的薄片进行限定;

在所述结晶衬底材料上实施处理工艺以使多个永久的缺陷形成,其中所述永久缺陷在所述积聚区域中从所述第一粒子的所述结晶衬底材料中已被淬火;

在第二剂量范围并在第二温度范围以第二角度将多个第二粒子引入到所述积聚区域中,以增加所述积聚区域中的内部应力,从而使所述积聚区域的一部分成为是可切割的;以及

通过从所述结晶衬底材料的剩余部分分开结晶材料的厚度形成结晶材料的独立式厚度。

38. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述结晶衬底材料是单晶硅。

39. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述结晶衬底材料是多晶硅。

40. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述结晶衬底材料是硅锭。

41. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,在所述积聚区域中的所述第一粒子在所述处理工艺之前是亚稳态的。

42. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一剂量范围为  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  至  $2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 。

43. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一粒子是在所述结晶衬底材料被保持在范围为  $-50^\circ\text{C}$  至  $100^\circ\text{C}$  的温度的同时被引入的。

44. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一粒子是在所述结晶衬底材料被保持在范围为  $-100^\circ\text{C}$  至  $+250^\circ\text{C}$  的温度的同时被引入的。

45. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一温度和第一剂量在所述积聚区域内导致部分地无定形区域。

46. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一温度低于  $200^\circ\text{C}$ 。

47. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述处理工艺包括热处理工艺。

48. 根据权利要求 47 所述的方法,其中,所述热处理工艺是热退火步骤以在所述积聚区域中形成永久缺陷网络。

49. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一粒子是通过第一波束提供的。

50. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述结晶衬底材料被提供在托盘装置上。

51. 根据权利要求 50 所述的方法,其中,所述托盘装置提供用于所述第一角度和所述第二角度。

52. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一角度为  $0$  至  $30$  度。

53. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一角度为  $0$  至  $25$  度。

54. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一粒子包括氢。

55. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第二粒子通过第二波束提供。

56. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第二角度为  $0$  至  $15$  度。

57. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第二角度为  $0$  至  $7$  度。

58. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一粒子和所述第二粒子包括相同的粒子。

59. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一温度被修正至所述第二温度。

60. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第二剂量在所述第一剂量之后以连续方式提供。

61. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第二剂量在所述第一剂量之后提供。

62. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第一剂量率以  $500$  微安至  $50$  毫安提供并且总剂量率通过在扩展束区域上方积分注入通量率加以计算。

63. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述表面区域在第二剂量之后是平的。

64. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述基底具有  $2R_p$  和更小的宽度。

65. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述第二粒子通过使所述表面区域经受氢负载环境加以提供。

66. 根据权利要求 65 所述的方法,其中,所述第二粒子是在所述材料的厚度被保持在第二温度范围的同时提供的,其中选择所述第二温度范围从而足以允许所述第二粒子在由所述第一粒子限定的所述积聚区域内进行扩散和积聚。

67. 根据权利要求 65 所述的方法,其中,所述氢负载环境选自氢等离子体、氢气氛、或富氢自旋材料、或富氢离子液体。

68. 一种利用一个或多个半导体衬底用于制造材料的独立式厚度的方法,包括:  
提供具有表面区域和厚度的半导体衬底;

使所述半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子,以在切割区域内形成多个吸取部位的图样化区域,所述切割区域被提供在所述表面区域下方以限定待分开材料的厚度,所述半导体衬底被保持在第一温度,所述第一多个高能粒子以第一注入角度被提供,所述图样化区域被提供以导致引发切割行为;

使所述半导体衬底经受处理工艺;

使所述半导体衬底的表面区域经受第二多个高能粒子,提供所述第二多个高能粒子以将所述切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平,所述半导体衬底被保持在第二温度,所述第二多个高能粒子以第二注入角度被提供;

在所述图样化区域的所选区域处引发所述切割行为,以利用切割工艺分开所述可分开材料的厚度的一部分;以及

利用切割工艺使所述可分开材料的厚度独立。

69. 根据权利要求 68 所述的方法,其中,所述图样化区域被提供在所述半导体衬底的周边区域中。

70. 根据权利要求 68 所述的方法,其中,所述图样化区域被提供在从所述表面区域至所述吸取部位的  $z$ - 方向上。

71. 根据权利要求 68 所述的方法,其中,所述图样化区域被提供在所述吸取部位内。

72. 一种利用一个或多个半导体衬底来制造材料的独立式厚度的方法,包括:

提供具有表面区域和厚度的半导体衬底;

使所述半导体衬底的表面区域经受包括利用直线性加速器产生的  $D^+$  物质的第一多个高能粒子,以在切割区域内形成多个吸取部位,所述切割区域被提供在所述表面区域下方以限定待分开材料的厚度;

使所述半导体衬底经受处理工艺;

使所述半导体衬底的表面区域经受包括利用所述直线性加速器产生的  $H_2^+$  物质的第二多个高能粒子,提供所述第二多个高能粒子以将所述切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平;

在所述切割区域的所选区域处引发所述切割行为以利用切割工艺分开所述可分开材料厚度的一部分;以及

使所述可分开材料的厚度独立。

## 利用一个或多个半导体衬底制造材料的独立式厚度的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本非临时专利申请要求于 2007 年 1 月 29 日提交的美国临时专利申请第 60/887, 086 号的优先权, 将其结合于此用于所有目的。

[0003] 技术领域

[0004] 本发明总体上涉及这样的技术, 其包括利用层转移技术来形成衬底的方法和结构。更具体地, 本方法和系统提供一种利用用于制备厚独立式半导体膜 (用于各种各样的应用, 包括光电池) 的直线性加速器工艺的方法和系统。但是应当认识到, 本发明具有更广泛的应用, 其还可用于其他类型的应用如用于集成半导体器件、光子或光电子设备、压电设备、平板显示器、维电机系统 (“MEMS”)、纳米技术结构、传感器、集成电路、生物学和生物医学设备等的三维包装。

[0005] 背景技术

[0006] 有史以来, 人类依赖于“太阳”以得到几乎所有形式的能量。这样的能量来自石油、辐射源、木头和各种形式的热能。仅作为一个实例, 人类已严重依赖于石油源如用于它们很多需要的煤和气。不幸的是, 这样的石油源已衰竭并且已导致其他问题。作为替换 (部分地), 已提出太阳能以减少我们对石油源的依赖。仅作为一个实例, 太阳能可来源于通常由硅制成的“太阳能电池”。

[0007] 当暴露于来自太阳的太阳辐射时, 硅太阳能电池产生电能。该辐射与硅原子相互作用并形成电子和迁移到硅体中的 p- 注入和 n- 注入区域的空穴, 并且在该注入区域之间产生电压差和电流。根据应用情况, 太阳能电池已集成有集中元件以提高效力。作为一个实例, 太阳辐射利用将这样的辐射定向到活性光电材料的一个或多个部分上的集中元件而加以积聚和聚焦。尽管有效, 但是这些太阳能电池仍具有许多局限。

[0008] 仅作为一个实例, 太阳能电池依赖于起始材料如硅。这样的硅经常是利用多晶硅 (即, 多晶体硅) 和 / 或单晶硅材料制成的。这些材料经常难以制备。多晶硅电池经常通过制备多晶硅板来形成。尽管可以有效形成这些板, 但是它们并不具有用于高度有效的太阳能电池的最佳性能。单晶硅具有适合于高级太阳能电池的性能。然而, 这样的单晶硅价格昂贵并且也很难以经济有效的方式用于太阳能应用。另外, 多晶硅和单晶硅材料在传统的制备所谓的“切口损失 (kerf loss)”过程中发生材料损失, 其中由铸件或生长的晶锭以及将材料单一化 (singulate) 成晶片形状因子的锯割工艺消除多至 40% 甚至高达 60% 的起始材料。这是一种高度无效的制备用于太阳能电池的薄多晶硅或单晶硅板的方法。

[0009] 通常, 薄膜太阳能电池通过利用较少的硅材料而是较廉价的, 但是它们的无定形 (或非晶) 或多晶结构比更昂贵的由单晶硅衬底制成的大 (块) 硅电池的效力更低。可以在本发明说明书通篇中, 更具体地在下文中, 会发现这些和其他局限。

[0010] 根据上述, 可以看出, 对用于形成高质量和低成本合适衬底材料的技术具有高度的需求。

## 发明内容

[0011] 根据本发明,提供了一种包括用于利用层转移技术来形成衬底的方法和结构的技术。更具体地,本方法和系统提供了一种利用用于制备厚的独立式半导体膜(用于各种各样的应用场合,包括光电池)的直线性加速器工艺的方法和系统。但是应当认识到,本发明具有更广范围的应用,其还可用于其他类型的应用,如用于集成半导体器件、光子或光电子设备、压电设备、平板显示器、微电机系统(“MEMS”)、纳米技术结构、传感器、集成电路、生物学和生物医学设备等的三维包装。

[0012] 在一个具体实施方式中,本发明提供一种方法,用于利用一种或多种半导体衬底来制造独立式厚度(层)的材料,例如单晶硅、多晶硅、多晶体硅、硅锗、锗、碳化硅、氮化镓、第 III/IV 族物质以及其他物质。在一个具体实施方式中,本方法包括提供具有表面区域和厚度的半导体衬底。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子以在切割区域内形成多个吸取部位的区域,该切割区域被提供在表面区域下方以限定待分开的材料的厚度,半导体衬底被保持在第一温度。第一多个高能粒子以第一注入角度提供。在一个具体实施方式中,该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第二多个高能粒子,提供该第二多个高能粒子以将切割区域的应力水平(应力级)从第一应力水平增加至第二应力水平。在一个优选实施方式中,半导体衬底被保持在第二温度,该第二温度高于第一温度。该方法利用切割工艺例如受控切割工艺使可分离材料的厚度(层)独立(释放)如所使用的,术语“第一”和“第二”不用于限制而应当通过它们的普通含义加以解释,并且根据特定实施方式可以是不同或相同的。

[0013] 在一个可替换的具体实施方式中,本发明提供一种方法,用于形成独立式厚度的层转移材料,例如单晶硅、多晶硅、多晶体硅、硅锗、碳化硅、氮化镓、锗、第 III/IV 族物质以及其他物质。根据在诸如效力、成本、以及后续加工如杂质吸取的各因素之间找到的平衡,单晶硅可以是太阳(能电池)级、半导体级或金属级的纯度水平。任何单晶硅都可被切成特定取向,这提供了诸如易于切割(优选器件操作)等的优点。例如,硅太阳能电池可被切成主要具有(100)、(110)或(111)表面取向,以产生这种类型的独立式衬底。当然,也可制备具有从主要晶体取向的有意误切的取向面的起始材料。当然,可以存在其他变化、修改和替换方式。该方法包括提供具有表面区域的结晶衬底材料。该方法包括通过表面区域以第一剂量范围且在第一温度范围内将多个第一粒子引入到结晶衬底材料的积聚区域以形成具有峰浓度的注入分布以及空间地设置在一个尺寸范围内的基底(base)以形成积聚区域。多个第一粒子以第一注入角度提供。在一个具体实施方式中,第一剂量范围少于足以使得多个粒子被永久配置在积聚区域的结晶衬底材料中的量以形成切割区域。在一个具体实施方式中,第一粒子导致切割区域中的结晶材料的多个缺陷,其优选通过在表面区域以及在切割区域和表面区域之间待分开的结晶材料薄片下方大于约 10 微米的深度加以限定。

[0014] 在一个可选具体实施方式中,该方法包括在结晶衬底材料上实施处理工艺以使形成多个基本上永久的缺陷(其在积聚区域中已由第一粒子的结晶衬底材料进行淬火)。该方法还包括以第二剂量范围和第二温度范围将多个第二粒子引入到积聚区域中,以增加积聚区域中的内部应力从而使得一部分的积聚区域变为可切割的。多个第二粒子以第二注入角度提供。在一个具体实施方式中,该方法包括形成独立式厚度(层)的结晶材料,其中通过从结晶衬底材料的保留部分分开该厚度的结晶材料。

[0015] 更进一步地,本发明提供一种方法,用于利用一种或多种半导体衬底来形成独立式厚度的材料。在一个优选实施方式中,该方法利用一种或多种图样化区域以促进引发切割行为。在一个具体实施方式中,本发明方法提供具有表面区域和厚度的半导体衬底。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子以在切割区域内形成多个吸取部位的图样化区域。在一个优选实施方式中,切割区域被提供在表面区域下方以限定待分离的材料厚度。半导体衬底被保持在第一温度。在一个具体实施方式中,第一高能粒子以第一注入角度提供。该方法还包括使半导体衬底经受处理工艺,例如热处理。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受第二高能粒子,提供其以将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平。在一个具体实施方式中,半导体衬底被保持在第二温度并且以第二注入角度提供第二多个粒子。该方法包括在图样化区域的所选区域处引发切割行为以利用切割工艺分开一部分的可分开材料的厚度,以及利用切割工艺使可分开材料的该厚度独立(释放)。

[0016] 在又一可替换的具体实施方式中,本发明提供一种方法,用于从大(块)半导体衬底例如单晶硅、多晶硅形成材料膜。在一个具体实施方式中,衬底还可具有各种形状如正方形、类似正方形、圆形、环形、长方形以及其他形状。根据该实施方式,衬底还可以是金属、绝缘体或这些材料的组合。该方法包括提供具有表面区域和厚度的半导体衬底,其是半导体衬底厚度的整体。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受多个粒子以形成切割区域(例如,多个粒子从单个或多个注入物和/或分散嵌入),其被限定在表面区域下方以形成应力区域并限定待分开材料的厚度。根据该实施方式,材料的厚度具有约20微米和更大的厚度,或者可以稍微更薄,只要它是独立式的,例如自支撑的,无加强杆(刚性元件)等。在一个具体实施方式中,该方法包括利用切割工艺使可分开材料的厚度独立(释放),同时保持连接至该材料的厚度的应力区域的一部分,以使该材料的厚度的特征在于变形的形状,例如边缘或端部区域弯曲。在一个具体实施方式中,该方法包括去除连接至该材料的厚度(层)的应力区域的该部分,以使变形的形状被去除并产生基本上平面的形状,其总体上是平的或类似情况。

[0017] 在一个优选实施方式中,该方法包括一个或多个技术以去除引起材料的厚度变形的应力区域的部分。在一个具体实施方式中,所述去除包括蚀刻应力区域的部分,这使得材料的厚度就有变形形状。也就是说,蚀刻可以是选择性的以去除应力区域,这可以是注入受损区域和/或具有更高浓度的氢和/或类似杂质的区域。在一个具体实施方式中,蚀刻可以是湿法蚀刻和/或干法蚀刻工艺等。在一个具体实施方式中,所述去除也可利用热处理材料的分开厚度层的发生以释放应力(受力)区域。可替换地,根据该实施方式,可存在蚀刻和/或热处理的组合。

[0018] 更进一步地,本发明提供一种方法,用于由大(块)半导体衬底形成材料膜,其利用切割材料的本征混合特征以促进从剩余大衬底部分的分离。在一个具体实施方式中,该方法包括提供具有表面区域和厚度的半导体衬底。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受多个粒子以形成切割区域,其被限定在表面区域下方以形成应力区域和限定待分开材料的厚度。在一个具体实施方式中,材料的厚度具有约20微米和更大的厚度,但可以稍微更薄,只要它是独立式的。在一个具体实施方式中,该方法包括利用在切割区域附近内的空间区域处的选择性能量替换而引发在切割区域的边缘区域处待分离的材料厚度的一部分的



分离,以形成具有应力区域一部分的材料厚度的分开部分。在一个具体实施方式中,该方法包括从空间区域弯曲远离材料厚度的分开部分,以及使材料厚度中的变形形状分开以促进从剩余衬底部分去除该材料的厚度。在一个具体实施方式中,该能量可以是选自一种或多种源,如光源、激光源、热源、辐射源、机械源、化学源、重力源或流体源例如气、液体或组合。当然,可以存在其他变化、更改和替换。

[0019] 在更进一步的实施方式中,本发明提供又一个方法,用于利用一个或多个半导体衬底制造独立式厚度的材料。在一个具体实施方式中,本发明方法包括提供具有表面区域和厚度的半导体衬底。该方法包括使半导体的表面区域经受包括利用直线性加速器产生的D<sup>+</sup>物质的第一多个高能粒子,以在切割区域内形成多个吸取部位,该切割区域被提供在表面区域的下方以限定待分开材料的厚度。该方法包括使半导体衬底经受根据具体实施方式的加工工艺。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受包括利用直线性加速器产生的H<sup>2+</sup>物质的第二多个高能粒子,优选地与提供D<sup>+</sup>物质的直线性加速器相同的直线性加速器。在一个具体实施方式中,第二多个高能粒子被提供以将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平。该方法包括在切割区域的所选区域处引发切割行为以利用切割工艺分开可分开材料的厚度的一部分。该方法包括使可分开材料的厚度独立(释放)。

[0020] 利用本发明的实施方式,在现有技术的基础上实现许多益处。具体地,本发明的实施方式利用节省成本的直线性加速器设备和用于提供用于层转移技术的高能粒子注入工艺的方法。这样的直线性加速器设备可以包括但不限于漂移管技术、射频四极(通常称为RFQ)或这些的组合(例如,RFQ联合漂移管或RFI(RF-聚焦交指型)直线性加速器)、DC加速器、和其他合适技术。在一个优选实施方式中,直线性加速器提供形成通过供体衬底中的切割平面限定的可转移材料的厚度。可转移材料的厚度可以被进一步加工以提供用于注入光电设备应用的高质量半导体材料,用于其他之中的高度有效光电池的3D MEMS或集成电路、IC包装、半导体器件、碳化硅和氮化镓膜。在一个优选实施方式中,本发明方法和结构利用低初始剂量的能量粒子,其使得该工艺可以是节省成本和有效的。另外,本发明方法和结构允许用于制造大面积衬底。将发现,本发明可应用于制备期望形状因子的薄硅材料板(例如,用于多晶硅板的50 μm-200 μm厚度,面积大小从12.5cm×12.5cm至1m×1m或更大上限)。在一个可替换优选实施方式中,根据本发明的实施方式可以提供用于可进一步提供用于层化异质结构外延工艺的种子层。该异质结构工艺可用于形成薄的多结合光电磁(在其他之中)。仅作为一个实例,GaAs和GaInP层可以异质外延地沉积到锗种子层,其是利用根据本发明的实施方式的注入工艺形成的转移层。在一个具体实施方式中,本发明方法可连续用于从单个(硅)锭例如硅铸锭切割多个薄片。也就是说,该方法可以根据一个具体实施方式被重复以连续切割薄片(类似于由烘烤面包切片)。当然,可存在其他的变化、更改和替换。

[0021] 根据该实施方式,这些益处中的一个或多个可以被实现。这些和其他益处可以在本发明说明书通篇中进行描述,更具体地在下文中进行描述。

## 附图说明

[0022] 图1是简化的工艺流程图,举例说明了一种根据本发明的一个实施方式的利用厚层转移工艺来形成衬底的方法。

[0023] 图 2-8 是简化的示图, 举例说明了一种根据本发明的一个实施方式的利用厚层转移工艺来形成衬底的方法。

[0024] 图 8A 是简化的示图, 举例说明了根据本发明的一个实施方式的利用热处理工艺的切割。

[0025] 图 9-15 是简化的示图, 举例说明了一种根据本发明的一个实施方式的利用图样化注入物和厚层转移工艺来形成衬底的方法。

[0026] 图 16-20 是简化的示图, 举例说明了一种根据本发明的一个实施方式的利用厚层转移的后切割加工来形成衬底的可替换方法。

[0027] 图 21-25 是简化的示图, 举例说明了根据本发明的一个实施方式的实验结果。

### 具体实施方式

[0028] 根据本发明的实施方式, 提供了包括用于形成衬底的方法的技术。更具体地, 根据本发明的实施方式, 提供一种由半导体材料形成材料的独立式层的方法。在一个具体实施方式中, 材料的独立式层利用多个高能粒子以导致在半导体衬底中形成切割面而加以提供。根据本发明的方法可用于各种各样的应用中, 包括但不限于半导体器件包装、光电池、MEMS 器件以及其他产品。

[0029] 在一个具体实施方式中, 一种利用一个或多个半导体衬底来制造材料的独立式厚度(层)的方法提供如下:

[0030] 1. 提供具有表面区域和厚度的半导体衬底;

[0031] 2. 使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子, 该第一多个高能粒子以由第一多个高能粒子和表面区域的方向限定的第一角度提供;

[0032] 3. 在切割区域内形成多个吸取部位的区域, 其被提供在表面区域下方以限定待分开的材料的厚度, 同时该切割区域被保持在第一温度;

[0033] 4. 可选地, 在该半导体衬底上实施热处理工艺以进一步在该切割区域内形成多个吸取部位;

[0034] 5. 使该半导体衬底的表面区域经受利用所述直线性加速器产生的第二多个高能粒子, 该第二多个高能粒子以由该第二多个高能粒子和表面区域的方向限定的第二角度提供;

[0035] 6. 由第二多个高能粒子, 将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至第二应力水平, 同时使半导体衬底保持在第二温度;

[0036] 7. 利用切割工艺, 使可分开材料(其为独立式)的厚度独立(释放), 同时该可分开材料没有叠置支持件或类似物;

[0037] 8. 将分开的材料厚度置于支撑件上;

[0038] 9. 在该分开的材料的厚度上实施一种或多种工艺;

[0039] 10. 可选地, 在步骤(2)中使表面区域经受第一多个高能粒子之前, 在该半导体衬底上实施一种或多种工艺; 以及

[0040] 11. 根据需要实施其他步骤。

[0041] 以上的步骤顺序提供了一种根据本发明的一个实施方式的利用直线性加速器工艺形成衬底的方法。如示出的, 该方法包括利用共同注入工艺(co-implant process)以移出材料的膜, 该材料的膜优选是厚的和独立式的。也可提供其他可选替换的方法, 其中可以

增加步骤,可以去除一个或多个步骤,或者可以以不同顺序提供一个或多个步骤而不背离本文权利要求的范围。例如,高能注入步骤5可以可选地被单个工艺的任何组合所替换,包括但不限于热活化液体、等离子体氢化步骤、低能注入和扩散或其他工艺(其允许氢被引入以及通过根据一个具体实施方式在吸取部位内的扩散、聚集)。本方法的进一步细节可在本说明书通篇更具体地在下文中找到。

[0042] 图2-8是简化示图,举例说明了根据本发明一个实施方式的一种利用厚层转移工艺来形成衬底的方法。这些示图仅仅是示例,其不应过度地限制本文中引述的权利要求的范围。本领域的普通技术人员将会认识到许多变化、修改和替代。如所示出的,该方法通过提供具有表面区域201、背面203和厚度的半导体衬底200。这样的厚度可以是整个铸锭的或从较大铸锭等切下的(厚度)或类似情况。在一个具体实施方式中,半导体衬底可以是单晶硅片、多晶铸件片、砖形物(tile)、或衬底、硅锗片、锗片、碳化硅、第III/V族物质、第II/VI族物质、氮化镓活类似物质。在一个优选实施方式中,衬底可以是光敏材料。当然,存在其他变化、更改和替换。

[0043] 参照图3,该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子301。在一个具体实施方式中,该粒子导致在切割区域401内形成多个吸取部位或积聚区域,该切割区域401被提供在表面区域下方以限定待分离的材料405的厚度,如图4的简化图所示。优选地,第一多个高能粒子提供具有峰浓度的注入分布和空间地设置在该半导体衬底的深度中的基底(base)。优选地,该基底可具有约 $2R_p$ 和更小的宽度,其中“ $R_p$ ”通常称为“蔓延(straggle)”,其经常用于表征注入深度分布的宽度。在一个优选实施方式中,切割区域被保持在第一温度305(其可被直接或间接提供)。即,根据一个具体实施方式,该温度可以通过对流、传导、辐射或这些技术的组合加以提供。在一个具体实施方式中,该温度可利用在引入一部分粒子的时间之前、之后或甚至在其期间的快速热工艺而加以提供。快速热工艺可以是均匀照射(或均匀射线照射, flood)或图样化或这些技术的组合。仅作为一个实例,可以提供快速热工艺以在注入范围端层内获得置换硅原子的优化应力分布,其中该应力被最大化但其中快速热工艺条件的选择不会过热该层以允许氢逃逸并降低吸取效力。对于本发明的目的,过热是指一个温度和时间的组合,其已使吸取层渐进经过优化效力的点。当然,可以存在其它变化、更改和替换。

[0044] 另外,高能粒子束也可提供部分热能并结合外部温度源以获得期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束可以单独提供需要用于注入的全部热能。也就是说,可以提供该高能粒子束,其直接使能量转化成热量,以增加衬底的温度。在一个具体实施方式中,该粒子将动能转化成热能,以将衬底的温度增加至预定或期望的量。粒子束可具有扫描速度和空间特性。从最初(光或波)束大小的束扩张可通过快速电磁扫描发生,但也可通过该束在一定距离上的漂移而发生,其中该(光或波)束将自然地扩展至期望的束直径和束流量空间分布。当然,可存在其它变化、更改和替换。

[0045] 根据应用,根据一个优选实施方式,通常选择更小量的粒子以降低对于注入到材料中的期望深度的能量需求以及降低对材料区域的损害的可能性。也就是说,更小量的粒子易于通过衬底材料传送到所选深度而基本上没有损害该颗粒通过的材料区域。例如,更小量的粒子(或高能粒子)可以几乎是任意带电荷的(例如,正或负)和/或中性原子或分子、或电子等类似物质。在一个具体实施方式中,粒子可以是中性的或带电荷粒子包括离子

如氢及其同位素的离子、稀有气体离子如氦及其同位素、以及氖的离子、或根据该实施方式的其它离子。粒子也可来源于化合物如气体例如氢气、水蒸气、甲烷和氢化合物,以及其它轻原子量粒子。可替换地,粒子可以是以上粒子和 / 或离子和 / 或分子物质和 / 或原子物质的任何组合。这些粒子通常具有足够的动能以穿过表面到达在该表面下方的所选深度。

[0046] 利用氢作为进入作为一个实例的硅晶片中的注入物质,注入工艺是利用特定设置条件来实施的。注入剂量的范围为约  $1 \times 10^{15}$  至约  $1 \times 10^{16}$  个原子 /  $\text{cm}^2$ , 并且优选地,该剂量少于约  $5 \times 10^{16}$  个原子 /  $\text{cm}^2$ 。注入能量范围为约 1MeV 和更大至约 2MeV 和更大,用于形成对于光电应用有用的厚膜。注入温度的范围为约  $-50^\circ\text{C}$  至约  $+50^\circ\text{C}$ , 并且优选低于约  $450^\circ\text{C}$  以防止氢离子传播到注入的硅晶片外的可能性。氢离子可被选择性地以约  $\pm 0.03$  至  $\pm 1.5$  微米的精度引入到该硅晶片至所选深度。当然,所用的离子类型和工艺条件取决于应用。

[0047] 对于更高注入能量,尤其有用的是具有基本上纯的质子注入(例如带正电荷的或带负电荷的),以允许在可再用衬底中用于最大范围的切割面。利用硅作为一个实例,注入的能量范围可以是相当大的并跨从用于光电吸收器(其中需要一个随后的外延生长以最大化光吸收效力)的模板形成的几个 keV 至产生在用作太阳能电池晶片起始材料厚度上测量的几百微米的衬底的很多 MeV。作为注入能量的函数的注入深度的一般范围可以利用例如 SRIM2003(Stopping Range In Matter) 或蒙特卡罗模拟程序 (<http://www.srim.org/>) 进行计算。在一个具体的实施方式中,利用质子注入能量的范围为约 2MeV 至约 5MeV, 硅膜厚度的范围为约 50 微米至约 200 微米。当然,可存在其它变化、更改和替换。

[0048] 在一个具体实施方式中,厚度范围为约  $50 \mu\text{m}$  至约  $200 \mu\text{m}$  的硅膜可以利用具有能量范围为约 2.1MeV 至约 5MeV 的质子注入来形成。该范围的硅膜厚度允许分开可用作独立式硅衬底的单晶硅衬底等同物的厚度。厚度范围为  $50 \mu\text{m}$  至约  $200 \mu\text{m}$  的单晶硅衬底可以用来替代利用晶片的锯割、蚀刻和抛光工艺的目前方法。作为克服目前技术中的约 50% 切口损失(切口损失被定义为在切割和成晶片操作过程中的材料损失),注入切割技术实际上没有切口损失,导致了实质性的成本节约和材料利用效率提高。高于 5MeV 的能量可以用来制备半导体加工替换衬底材料,但在太阳能电池制造中,对于大(块)的硅太阳能电池形成的硅太阳能电池材料的厚度期望为  $200 \mu\text{m}$  或更小。因此,较厚的硅衬底对于根据一个具体实施方式来制造太阳能电池不是特别商业有利的。

[0049] 作为一个实例,MeV 范围的注入条件已经由 Reutov et al. (V. F. Reutov and Sh. Sh. Ibragimov, "Method for Fabricating Thin Silicon Wafers", USSR's Inventors Certificate No. 1282757, December 30, 1983) 披露,将其结合于此作为参考。在 V. G. Reutov and Sh. Sh. Ibragimov 中,披露了在注入过程中的可选加热和注入后可再利用衬底加热利用高达 7MeV 质子注入,来产生高达  $350 \mu\text{m}$  的分开硅晶片厚度。利用 1MeV 氢注入,16 微米硅膜的热切割也由 M. K. Weldon & al., "On the Mechanism of Hydrogen-Induced Exfoliation of Silicon", J. Vac. Sci. Technol., B 15(4), Jul/Aug 1997 披露,将其结合于此作为参考。在本文中,术语“分开的”或“转移的硅厚度”是指,通过注入的离子范围形成的硅膜厚度可被释放至独立式状态或被释放至用于最终用作独立式衬底的永久衬底或临时衬底,或最终被固定在永久衬底上。在一个优选实施方式中,硅材料足够厚并且没有充当支撑件的把手衬底(或环柄衬底, handle substrate)。当然,用于处理和加工该膜的特定工艺将取决于具体工艺和应用。

[0050] 参照图 5, 本发明方法在半导体衬底上实施热处理工艺 503, 以进一步在切割区域内形成多个吸取部位。也就是说, 该热处理工艺退火和 / 或淬灭切割区域以在适当位置固定 501 多个第一粒子。热处理提供了缺陷的固定网络, 其可用于在随后的注入或氢化或注入和 / 或扩散工艺的组合中吸取和积聚粒子的有效部位。在一个具体实施方式中, 认为增高的温度促成 (precipitate) 永久缺陷的网络并且还捕获来自第一多个粒子的大部分氢。该缺陷层 (其基本上是永久的) 提供了用于从随后的注入和 / 或扩散工艺 (将在本说明书通篇并且更具体地在下文中进行更详细的描述) 有效收集和捕获粒子的部位。在一个优选实施方式中, 热处理可利用传导、对流、辐射、或这些技术的任意组合来发生 (进行)。高能粒子束还可以提供部分的热能并联合外部温度源而实现期望的注入温度。在某一实施方式中, 高能粒子束可以单独提供期望用于注入的全部热能。当然, 可以存在其他变化、更改和替换。

[0051] 在一个具体实施方式中, 该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第二多个高能粒子, 如图 6 的简化示意图中所举例说明的。如图所示, 该方法包括第二多个高能粒子 605, 其被提供到半导体衬底中。第二粒子被引入到切割区域 607 中, 其将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至来自第二多个高能粒子的第二应力水平。在一个具体实施方式中, 第二应力水平适合于随后的切割工艺。在一个优选实施方式中, 半导体衬底被保持在第二温度 601, 其高于第一温度。

[0052] 利用氢作为注入到硅晶片中的物质作为一个实例, 注入工艺利用特定设置的条件加以实施。注入剂量的范围约为  $5 \times 10^{15}$  至约  $5 \times 10^{16}$  个原子 /  $\text{cm}^2$ , 并且更优选该剂量为小于约  $1-5 \times 10^{17}$  个原子 /  $\text{cm}^2$ 。注入能量的范围约为 1MeV 和更大至约 2MeV 和更大, 用于形成对于光电应用有用的厚膜。注入剂量率可以约 500 微安至约 50 毫安提供, 并且总剂量率可通过在扩展 (光或波) 束区域上积分注入率进行计算。注入温度的范围为约  $-50^\circ\text{C}$  至约  $550^\circ\text{C}$ , 并且对于积聚步骤优选大于约  $350^\circ\text{C}$ 。氢离子可选择性地以约  $\pm 0.03$  至  $\pm 1.5$  微米的精度被引入到硅晶片中至所选深度。在一个具体实施方式中, 选择该温度和剂量以允许分子氢的有效捕获, 同时可以存在单原子氢的部分扩散。当然, 使用的离子类型和工艺条件取决于应用。

[0053] 对于上述的更高注入能量, 尤其有用的是具有基本上纯的质子注入 (例如, 带正电荷或负电荷的), 以允许在可再利用衬底内的最大范围的切割面。利用硅作为一个实例, 注入的能量范围可以是相当大的并且跨从用于光电吸收器的模板形成的几个 keV (其中允许用于随后的外延生长以最大化光吸收效率) 至在用作太阳能电池晶片起始材料产生衬底的厚度中所测量的几百微米的多个 MeV。作为注入能量的函数的注入深度的通常范围可利用例如 SRIM 2003 (Stopping Range In Matter) 或蒙特卡罗模拟程序 (<http://www.srim.org/>) 加以计算。在一个具体实施方式中, 硅膜厚度的范围为约 50 微米至约 100 微米或更大, 例如约 200 微米, 利用的质子注入能量的范围为约 2MeV 至约 5MeV。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0054] 有效地, 注入粒子在所选深度处沿着平行于衬底的顶表面的平面增加应力或降低断裂能。该能量 (部分地) 取决于注入物质和条件。这些粒子在所选深度处降低衬底的断裂能量水平。这允许在所选深度处沿注入平面进行受控切割。注入可在这样的条件下发生, 以使得在所有内部位置处的衬底的能量状态不足以在衬底材料中引发非可逆断裂 (即, 分

离或切割)。然而,应当注意,注入通常在衬底中引起一定量的缺陷(例如,微缺陷),其通常可至少部分地通过随后的热处理例如热退火或快速热退火修复。

[0055] 在一个具体实施方式中,本发明方法利用质量选择的高能注入方法,其具有适当的束流强度。为了节省成本,注入束流应当在 $H^+$ 或 $H^-$ 离子束流的几十毫安的数量级上(如果系统可注入这样高的能量, $H_2^+$ 离子也可有利地被用于实现更高的剂量率)。这样的设备通过利用射频四极直线性加速器(RFQ-Linac)或漂移管直线性加速器(DTL)、或RF-聚焦交指型(RF-Focused Interdigitated, RFI)技术最近已变得可获得。这些从公司如 Accsys Technology Inc. of Pleasanton, California, Linac Systems, LLC of Albuquerque, NM87109 以及其他公司可获得。

[0056] 在一个具体实施方式中,这些方法利用提取的质子束的RF加速以将质子束的总能量的范围从大约20-100keV增加至0.5-7MeV或更大。输出束通常直径在几毫米的数量级,而对于在这种应用中的使用将需要利用束扩展至几百毫米的数量级,在侧边上至一米或更大,以便避免撞击在目标表面上的功率通量变得太大并且有可能过热或损伤目标表面。对于这种技术可用的质子流可以高达100mA或更大。作为一个具体实施方式,假定100kW的束流功率,3.25MeV RFQ/RFI-Linac将产生约31mA的质子束流。利用大约 $1 \times 10^{16}$  H/cm<sup>2</sup>的剂量和约500mm×500mm的扩展束,每小时的面积为约7平方米同时功率通量被保持为约13瓦/cm<sup>2</sup>。参数的这种组合使得这种方法对于节省成本的太阳能电池生产尤其实用。另外,电磁束扫描可有利地被利用以控制有效束流特性。当然,可存在其他变化、替换和更改。

[0057] 在一个具体实施方式中,第二多个粒子也可利用注入和/或扩散的任意组合加以引入。在一个具体实施方式中,第二多个粒子可利用所述的任何高能注入技术以及本说明书以外的其他技术加以提供。这样的技术(在其他技术之中)可包括离子浴、等离子体浸渍离子注入以及其他等离子体处理工艺。可替换地,某些低能技术包括扩散用来将第二多个粒子引入到吸取部位中。仅作为一个实例,氢和/或其他粒子可利用驱动力如对流、传导和/或辐射和/或这些的任意组合被扩散到吸取部位中。根据该实施方式,这样的驱动力可以是热的、机械的、化学的和/或其他类型的。仅作为一个实例,这样的第二多个粒子可利用在受热目标条件下的等离子体氢化或利用电解(液体氢化)方式加以引入。可替换地,多个粒子可利用根据一个具体实施方式的注入和/或扩散的组合加以引入。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0058] 可选地,该方法包括在根据一个具体实施方式的注入工艺之后的热处理工艺。在一个具体实施方式中,本发明方法对于硅材料利用范围在约450°C至约600°C的热工艺。在一个优选实施方式中,热处理可利用传导、对流、辐射、和这些技术的任意组合发生。在一个具体实施方式中,温度可利用在粒子被引入的一部分时间之前、之后或期间利用快速热工艺提供。快速热工艺可以是均匀照射或图样化技术或者这些技术的组合。仅作为一个实例,快速热工艺可提供用来在范围端部区域(end-of-range region)处实现硅和氢的期望的化学重排,其中实现了最大化置换硅原子分布应力分布同时不引起过度的氢向外扩散。众所周知的,快速热退火具有这样的向外扩散局限的热处理益处。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0059] 在一个具体实施方式中,高能粒子束也可以提供部分热能并联合外部温度源而实

现期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束可以单独提供需要用于注入的全部热能。在一个优选实施方式中,处理工艺发生以使切割区域适合于随后的切割工艺。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0060] 在一个具体实施方式中,半导体衬底可被设置在托盘装置 701 上,如图 7 所示。在直线性加速器 704 中产生的多个高能粒子 703 被引入到半导体衬底 707 的表面区域 705 中。图 7 还示出了参考球坐标系 ( $\rho, \varphi, \theta$ )。 $z$ -轴垂直于半导体衬底的表面区域,其限定了笛卡儿坐标系的  $x$ - $y$  面。参考球坐标和笛卡儿坐标的原点在衬底的表面区域上是多个高能粒子的进入点 709。从直线性加速器的多个高能粒子的出口 711 至原点的距离限定了球坐标中的径向距离  $\rho$ 。还示出了从正  $x$ -轴的方位角  $\theta$ 。在多个高能粒子和  $z$ -轴之间的天顶角  $\varphi$  限定注入角度。在一个具体实施方式中,托盘装置被设置成允许用于合适的注入角度。具体地,托盘装置可利用两个预设点命名并且可以通过根据方法的控制装置(例如计算机)加以选择。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0061] 再次提及形成材料的独立式厚度的本发明方法,第一多个高能粒子可以以第一注入角度提供。第一注入角度可以以约 0 至约 30 度提供。这样的注入角度范围允许在以一个具体实施方式的半导体衬底的厚度内的切割面附近中的吸取部位的高密度网络。还可选择该角度以最小化或可替换地选择一个通道注入方案,其为实现最佳吸取部位层的目标相容(一致)。第二多个高能粒子可以以第二注入角度提供。提供第二注入角度以允许匹配该第二多个高能粒子的通道和深度分布,以导致在切割区域附近的结晶面中的最佳应力水平。在一个具体实施方式中,第二注入角度的范围可为约 0 至约 15 度。在一个可替换实施方式中,第二注入角度的范围可为约 0 至约小于 8 度。仅作为一个实例,积聚步骤可以通过将第二注入峰浓度匹配于吸取层的峰而最大化。众所周知的,注入形成的吸取层的缺陷分布峰的深度将会稍窄于注入的氢浓度峰。利用恒定的能量注入,匹配可在第二注入从表面法线以比第一吸取层注入更大的角度形成时发生。利用 2MeV 质子注入作为一个实例,第一注入受损峰将为比其峰值氢浓度窄约  $1\ \mu\text{m}$ (利用 SRIM 2003,这是大约  $47\ \mu\text{m}$  对  $48\ \mu\text{m}$  氢峰,其中假定是垂直注入并且没有退火)。为了最大化第二注入氢的积聚,约 12 度的注入角度将允许更窄的第二积聚注入以将氢浓度峰匹配于吸取层。当然,使用的注入角度取决于应用,本领域的技术人员将认识到许多变化、更改和替换。

[0062] 在一个具体实施方式中,该方法包括沿注入面 801 利用切割工艺使可分开材料的厚度独立的步骤 805,其是独立式的,如图 8 所示,同时该可分开材料没有上覆的支撑件或类似物,还如图 8 所示。如图所示,可分开材料 810 从剩余的衬底部分 815 去除。在一个具体实施方式中,独立(释放)的步骤可利用受控切割工艺来实施。受控切割工艺在供体衬底的切割区域的一部分内提供所选的能量。仅作为一个实例,受控切割工艺已描述于标题为“受控切割工艺”的美国专利 6,013,563,共同转让给加利福尼亚的 San Jose 的 SiliconGenesis Corporation,将其结合于此用于所有目的。如所示出的,该方法使材料的厚度从衬底独立以彻底去除该材料的厚度。

[0063] 在一个具体实施方式中,切割工艺通过利用热处理工艺 817 来实施,如图 8A 所示。在一个优选实施方式中,热处理工艺在陈定的厚度中提供热梯度,尤其是引起应力在切割区域 823(其已被注入或经受多个粒子的积聚)处积聚。在一个具体实施方式中,热梯度可以通过在半导体衬底的表面区域 819 中提供第一温度  $T_1$  和在半导体衬底的背面区域 821

中提供第二温度 T2 来实现。根据该实施方式, T1 可以大于 T2 或者可替换地 T2 可大于 T1。还示出了切割区域 823。仅作为一个实例, 加热可利用各种各样的技术来完成。这样的技术可包括传导、对流、辐射和这些的任意组组合。根据一个具体实施方式, 传导可包括加热板或其他接触设备等或者利用流体和 / 或气体的传导。在一个可替换实施方式中, 可使用辐射。根据一个具体实施方式, 这样的辐射可包括加热灯、闪光灯、激光灯、快热的加热装置灯。可替换地, 气体可在一个表面或两个表面上流动以导致在切割区域中的温度梯度。可替换地, 任一个表面可被冷却至预定温度以导致横过切割区域的热梯度。类似于加热技术, 冷却可利用传导、对流辐射、或其他技术来发生。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0064] 在一个具体实施方式中, 切割工艺可利用激光以提供用于切割的能量来实施。根据一个具体实施方式, 利用激光, 所选区域可被形成以允许激光透过一部分衬底并允许能量在一部分切割区域被吸收。即, 衬底和激光类型可用来有效地转移电磁辐射以在切割区域形成热梯度。在另一可替换具体实施方式中, 切割工艺可以利用机械工艺来实施。在又一可替换实施方式中, 切割工艺可以利用声学工艺来实施。在一个可替换实施方式中, 切割可利用以上工艺的任一种或以上工艺的任意组合来引发。这样的切割技术的实例可在美国专利 6, 013, 563 (共同转让) 中找到, 将其结合于此用于所有目的。当然, 可存在其他变化、替换和更改。

[0065] 在一个优选实施方式中, 本发明利用高能光源如激光源以引发切割。在一个具体实施方式中, 激光源可以针对切割区域和 / 或切割区域附近内的所选区域以导致热梯度或进一步导致热梯度从而引发切割行为。根据一个具体实施方式, 激光可以是脉冲的、和 / 或闪光的和 / 或针对空间区域的。仅作为一个实例, 激光可以是 Q-Switched Nd-YAG 激光, 其在基础 1064nm 波长进行操作, 如由称为 Newport Corporation, Irvine, California 的公司制造的 HIPPO-106QW。也可使用其他类型的激光装置如一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、Nd-YLF、自由电子的电子激光和染料激光器。根据该实施方式, 在接近目标带边缘操作的激光波长的一个优点被认为是有利的, 因为 EOR 损伤区域和切割面氢浓度可以是对近带边缘波长比对体材料更具吸附性。在一个具体实施方式中, 这将具有在切割面区域内增加加热组分 (例如, 峰温度和热梯度) 的效果。

[0066] 在一个具体实施方式中, Nd-YAG 1064nm 波长是一种对硅这样的激光波长选择。在另一实施方式中, 在 P-型掺杂的 5-10 欧姆-cm 结晶单晶硅中的 20C 吸收常数 ( $\alpha$ , cm<sup>-1</sup>) 为约 50cm<sup>-1</sup>, 而用于注入峰的 EOR 吸收常数可增加至 1000-10, 000cm<sup>-1</sup> 或更大。根据一个优选实施方式, 这将允许大多数激光能量可以沉积在切割区域内。其他波长可显示出相似吸收选择性。被调到特定 EOR 化学键吸收峰 (例如, 如硅中的氢相关键吸收带在约 1800-220cm<sup>-1</sup>) 的部分特定波长也可有利地用来最优化切割面区域内的激光能量吸收。这样的激光可以是无电子激光, 其可例如被调到约 4.8  $\mu$ m 的 Si-H 键吸收。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0067] 在一个具体实施方式中, 本发明方法可实施其他工艺。例如, 该方法可将分开材料的厚度置于其后被处理的支撑件上。另外或可选地, 该方法在使表面区域经受第一多个高能粒子之前在半导体衬底上实施一种或多种工艺。根据该实施方式, 这些工艺可用于形成光电池、集成电路、光学设备、这些的任意组合等等。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0068] 在一个可替换具体实施方式中, 一种用于利用一个或多个半导体衬底来制造材料



的独立式厚度的替换方法被提供如下：

- [0069] 1. 提供具有表面区域和厚度的半导体；
- [0070] 2. 使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一图样化多个高能粒子，该第一多个高能粒子以由第一多个高能粒子和表面区域的方向限定的第一角度提供；
- [0071] 3. 在切割区域内形成多个吸取部位的图样化区域，其被提供在表面区域下方以限定待分开材料的厚度，同时切割区域被保持在第一温度；
- [0072] 4. 可选地，在半导体衬底上实施热处理工艺以进一步在切割区域内形成图样化的多个吸取部位；
- [0073] 5. 使半导体衬底的表面区域经受利用该直线性加速器产生的第二多个高能粒子，该第二多个高能粒子以由第二多个高能粒子和表面区域的方向限定的第二角度提供；
- [0074] 6. 将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至来自第二多个高能粒子的第二应力水平，同时半导体衬底被保持在第二温度；
- [0075] 7. 利用切割工艺使可分开材料的厚度独立，其是独立式的，同时可分开材料没有上覆有支撑件或类似物；
- [0076] 8. 将分开材料的厚度置于支撑件上；
- [0077] 9. 在分开材料的厚度上实施一种或多种工艺；
- [0078] 10. 可选地，在使表面区域经受步骤 (2) 中的第一多个高能粒子之前在半导体衬底上实施一个或多个工艺；以及
- [0079] 11. 根据需要实施其他步骤。

[0080] 以上顺序的步骤提供了根据本发明一个实施方式的一种利用直线性加速器和图样化注入来形成衬底的方法。如所示出的，该方法包括利用共注入工艺以去除材料的膜，其优选是厚的和独立式的。其他替换方法也可提供，其中可以增加步骤，可以去除一个或多个步骤，或者以不同顺序提供一个或多个步骤而不背离本申请权利要求的范围。本发明方法的进一步细节可在本说明书通篇中更具体是在下文中找到。

[0081] 图 9-15 是简化示图，举例说明了根据本发明一个可替换实施方式的利用厚层转移工艺来形成衬底的替换方法。这些示图仅仅是示例，其不应过度地限制本文所述权利要求的范围。本领域的普通技术人员将认识到许多变化、更改和替换。如图所示，该方法通过提供具有表面区域 901、背面 903 和厚度的半导体衬底开始。这样的厚度可以是整个铸锭或从更大铸锭等的切片（的厚度）。在一个具体实施方式中，半导体衬底可以是单晶硅晶片、多晶硅铸模片、砖状物、或衬底、硅锗晶片、锗晶片、第 III/V 族物质、第 II/VI 族物质、碳化硅、氮化镓等。在一个优选实施方式中，衬底可以是光敏材料。当然，可存在其他变化、更改和替换。

[0082] 参照图 10，该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子 1001。在一个具体实施方式中，这些粒子导致在切割区域 1101 内形成多个吸取部位和积聚区域，其被提供在表面区域下方以限定待分开材料 1105 的厚度，如图 11 的简化示图所示。优选地，第一多个高能粒子提供具有峰浓度的注入分布和空间地设置在半导体衬底深度内的基底。优选地，该基底可具有约  $2R_p$  和更小的宽度。在一个优选实施方式中，切割区域被保持在第一温度 1105，其可被直接或间接地提供。也就是说，根据一个具

体实施方式,该温度可通过对流、传导、辐射、或这些技术的组合加以提供。在一个具体实施方式中,该温度在粒子被引入的一部分时间之前、之后或甚至在该期间利用快热工艺加以提供。快速热工艺可以是均匀照射或图样化或者这些技术的组合。仅作为一个实例,可提供快速热工艺以在注入范围端层(在此处这些应力被最大化但快速热工艺条件的选择没有过热该层以允许氢逃逸并降低吸取效力)内实现替代硅原子的最佳应力分布。对于本发明的目的,过热是指一种温度和时间的组合,其使吸取层渐进经过最佳效力点。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0083] 另外地,高能粒子束也可提供一部分热能并联合外部温度源以实现期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束可以单独提供期望的用于注入的全部热能。也就是说,可提供该高能粒子束以直接使能量转化成热能,从而增加衬底的温度。在一个具体实施方式中,这些粒子将动能转化成热能以将衬底的温度增加至预定或期望的量。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0084] 根据应用,根据一个优选实施方式,通常选择更小量的粒子用于降低对于注入到材料中的期望深度的能量要求以及降低对材料区域的损害的可能性。也就是说,更小量的粒子易于通过衬底材料传送到所选深度而基本上不损害该颗粒通过的材料区域。例如,更小量的粒子(或高能粒子)可以几乎是任意带电荷(例如,正或负)的和/或中性原子或分子、或电子等等。在一个具体实施方式中,粒子可以是中性的或带电荷粒子包括离子如氢及其同位素的离子、稀有气体离子如氦及其同位素、以及氦、或根据该实施方式的其它离子。粒子也可来源于化合物如气体例如氢气、水蒸气、甲烷和氢化合物,以及其它轻原子量粒子。可替换地,粒子可以是以上粒子和/或离子和/或分子物质和/或原子物质的任何组合。这些粒子通常具有足够的动能以穿过表面到达在该表面下方的所选深度。

[0085] 利用氢作为注入到硅晶片中的物质作为一个实例,注入工艺利用特定设置的条件来实施。注入剂量的范围为约  $1 \times 10^{15}$  至约  $1 \times 10^{16}$  个原子/cm<sup>2</sup>,优选地,该剂量少于约  $5 \times 10^{16}$  个原子/cm<sup>2</sup>。注入能量范围为约 1MeV 和更大至约 2MeV 和更大,用于形成对于光电应用有用的厚膜。注入温度的范围为约 -50°C 至约 +50°C,并且优选地低于约 450°C 以防止氢离子传播到注入的硅晶片外的可能性。氢离子可被选择性地以约  $\pm 0.03$  至  $\pm 1.5$  微米的精度引入到该硅晶片至所选深度。当然,使用的离子类型和工艺条件取决于应用。

[0086] 对于更高的注入能量,尤其有用的是具有基本上纯的质子注入(例如带正电荷的或负电荷的),以允许在可再用衬底中用于最大范围的切割面。利用硅作为一个实例,注入的能量范围可以是相当大的并跨从用于光电吸收器的模板形成的几个 keV(其中需要一个随后的外延生长以最大化光吸收效力)至产生在用作太阳能电池晶片起始材料厚度上所测量的几百微米的衬底的许多个 MeV。作为注入能量的函数的注入深度的一般范围可以利用例如 SRIM2003 (Stopping Range In Matter) 或蒙特卡罗模拟程序 (<http://www.srim.org/>) 进行计算。在一个具体的实施方式中,利用质子注入能量的范围为约 2MeV 至约 5MeV,硅膜厚度的范围为约 50 微米至约 200 微米。当然,可存在其它变化、更改和替换。

[0087] 在一个具体实施方式中,厚度范围为约 50  $\mu\text{m}$  至约 200  $\mu\text{m}$  的硅膜可以利用具有能量范围为约 2.1MeV 至约 5MeV 的质子注入来形成。该范围的硅膜厚度允许分开可用作独立式硅衬底的单晶硅衬底等同物的厚度。厚度范围为 50  $\mu\text{m}$  至约 200  $\mu\text{m}$  的单晶硅衬底可以用来替代利用晶片的锯割、蚀刻和抛光工艺的目前方法。作为克服目前技术中的约 50%切

口损失（切口损失被定义为在切割和成晶片操作过程中的材料损失），注入切割技术实际上没有切口损失，导致实质性的成本节约和材料利用效率提高。高于 5MeV 的能量可以用来制备半导体加工的替换衬底材料，但在太阳能电池制造中，对于大的硅太阳能电池形成的硅太阳能电池材料厚度期望为 200  $\mu\text{m}$  或更小。因此，较厚的硅衬底对于根据一个具体实施方式制造太阳能电池不是特别商业有利的。

[0088] 作为一个实例，MeV 范围的注入条件已经由 Reutov et al. (V.F. Reutov and Sh. Sh. Ibragimov, "Method for Fabricating Thin Silicon Wafers", USSR's Inventors Certificate No. 1282757, December 30, 1983) 披露，将其结合于此作为参考。在 V.G. Reutov and Sh. Sh. Ibragimov 中，披露了利用高达 7MeV 质子在注入过程中的可选加热和注入后可再用衬底加热来产生高达 350  $\mu\text{m}$  的分开硅晶片厚度。利用 1MeV 氢注入，16 微米硅膜的热切割也由 M. K. Weldon & al., "On the Mechanism of Hydrogen-Induced Exfoliation of Silicon", J. Vac. Sci. Technol., B 15(4), Jul/Aug 1997 披露，将其结合于此作为参考。在本文中，术语“分开的”或“转移的硅厚度”是指，通过注入粒子范围形成的硅膜厚度可被释放至独立式状态或被释放至用于最终用作独立式衬底的永久衬底或临时衬底，或最终被固定在永久衬底上。在一个优选实施方式中，硅材料足够厚并且没有充当支撑件的把手衬底（或环柄衬底）。当然，用于处理和加工该膜的特定工艺将取决于具体工艺和应用。

[0089] 在一个具体实施方式中，本发明方法实施第一和 / 或第二多个粒子的图样化注入。如所示出的，在图样化注入之后，所选区域将具有更高剂量的杂质以有利于引发切割行为。也就是说，所选区域被选择以在这个实例中处于衬底的周边 1201 内，如图 12(A) 所示。在一个具体实施方式中，更高剂量可以是  $2-5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  而更低剂量的范围可以为约  $0.5-2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  和更低。在一个具体实施方式中，图样化注入以空间方式沿所示的边缘区域被提供。可替换地，图样化注入可以是沿 z- 方向的，其也被示出。当然，可存在其他变化、更改和替换。

[0090] 现在参照图 12(B)，本方法在半导体衬底上实施热处理工艺 1203，以进一步在切割区域内形成多个吸取部位。也就是说，该热处理工艺退火和 / 或淬灭切割区域以在适当位置固定 1201 多个第一粒子。热处理提供可充当用于在随后的注入工艺中吸取和积聚粒子的有效部位的缺陷的固定网络。在一个具体实施方式中，增加的温度被认为可以促成永久缺陷的网络并且还可从第一多个粒子捕获大部分的氢。缺陷层（其基本上是永久的）提供从随后的注入和 / 或扩散工艺中有效收集和捕获粒子的部位，这将在本说明书通篇尤其是下文中进行详细描述。在一个优选实施方式中，热处理可利用传导、对流、辐射、或这些技术的任意组合发生。高能粒子束还可以提供一部分的热能并联合外部温度源以实现期望的注入温度。在某一实施方式中，高能粒子束可以单独提供注入所需的全部热能。当然，可存在其他变化、更改和替换。

[0091] 在一个具体实施方式中，该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第二高能粒子，如图 13 的简化示图所示。如图所示，该方法包括第二多个高能粒子 1305，其被提供在半导体衬底中。第二粒子被引入到切割区域 1307 中，其将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至来自第二高能粒子的第二应力水平。在一个具体实施方式中，第二应力水平适合于随后的切割工艺。在一个优选实施方式中，半导体衬底被保持在

第二温度 1301, 其高于第一温度。

[0092] 利用氢作为注入到硅晶片中的物质作为一个实例, 注入工艺利用特定设置的条件加以实施。注入剂量的范围约为  $5 \times 10^{15}$  至  $5 \times 10^{16}$  个原子 /  $\text{cm}^2$ , 并且更优选该剂量为小于约  $1-5 \times 10^{17}$  个原子 /  $\text{cm}^2$ 。1 注入能量的范围为约 1MeV 和更大至约 2MeV 和更大, 用于形成对于光电应用有用的厚膜。注入剂量率可以约 500 微安至约 50 毫安提供, 并且总剂量率可通过在扩展束区域上积分注入率进行计算。注入温度的范围为约  $-50^\circ\text{C}$  至约  $550^\circ\text{C}$ , 并且优选大于约  $400^\circ\text{C}$ 。氢离子可选择性地以约  $\pm 0.03$  至  $\pm 1.5$  微米的精度被引入到硅晶片中至所选深度。在一个具体实施方式中, 选择该温度和剂量以允许分子氢的有效捕获, 同时可以存在单原子氢的部分扩散。当然, 使用的离子类型和工艺条件取决于应用。

[0093] 对于上述的更高注入能量, 尤其有用的是具有基本上纯的质子注入 (例如, 带正电荷或负电荷的), 以允许在可再用衬底内的最大范围的切割面。利用硅作为一个实例, 注入的能量范围可以是相当大的并跨从用于光电吸收器的模板形成的几个 keV (其中允许用于随后的外延生长以最大化光吸收效率) 至在用作太阳能电池晶片起始材料的厚度中产生所测量的几百微米的衬底的多个 MeV。作为注入能量的函数的注入深度的通常范围可利用例如 SRIM 2003 (Stopping Range In Matter) 或蒙特卡罗模拟程序 (<http://www.srim.org/>) 加以计算。在一个具体实施方式中, 硅膜厚度的范围为约 50 微米至约 100 微米或更大, 例如约 200 微米, 利用的质子注入能量的范围为约 2MeV 至约 5MeV。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0094] 有效地, 注入粒子在所选深度处沿着平行于衬底的顶表面的平面增加应力或降低断裂能。该能量 (部分地) 取决于注入物质和条件。这些粒子在所选深度处降低衬底的断裂能量水平。这允许在所选深度处沿注入平面进行受控切割。注入可在这样的条件下发生, 以使得在所有内部位置处的衬底的能量状态不足以在衬底材料中引发非可逆断裂 (即, 分离或切割)。然而, 应当注意, 注入通常在衬底中引起一定量的缺陷 (例如, 微缺陷), 其通常可至少部分地通过随后的热处理例如热退火或快速热退火修复。

[0095] 在一个具体实施方式中, 本发明方法利用质量选择的高能注入方法, 其具有适当的束流强度。为了节省成本, 注入束流应当在  $\text{H}^+$  或  $\text{H}^-$  离子束流的几十毫安的数量级上 (如果系统可注入这样高的能量,  $\text{H}_2^+$  离子也可有利地被用于实现更高剂量率)。这样的设备通过利用射频四极直线性加速器 (RFQ-Linac) 或漂移管直线性加速器 (DTL)、或 RF- 聚焦交指型 (RFI) 技术最近已变得可获得。这些从公司如 Accsys Technology Inc. of Pleasanton, California, LinacSystems, LLC of Albuquerque, NM 87109 以及其他公司可获得。

[0096] 在一个具体实施方式中, 这些方法利用提取的质子束的 RF 加速以将质子束的总能量的范围从大约 20-100keV 增加至 0.5-7MeV 或更大。输出束通常直径在几毫米的数量级, 而对于在这种应用中的使用将需要利用束扩展至几百毫米的数量级, 在侧边上至一米或更大, 以便避免撞击在目标表面上的功率通量变得太大并且有可能过热或损伤目标表面。对于这种技术可用的质子流可以高达 100mA 或更大。作为一个具体实施方式, 假定 100kW 的束流功率, 3.25MeV RFQ/RFI-Linac 将产生约 31mA 的质子束流。利用大约  $1 \times 10^{16}$   $\text{H}/\text{cm}^2$  的剂量和约  $500\text{mm} \times 500\text{mm}$  的扩展束, 每小时的面积为约 7 平方米同时功率通量被保持为约 13 瓦 /  $\text{cm}^2$ 。参数的这种组合使得这种方法对于节省成本的太阳能电池生产尤其实用。另外, 电磁束扫描可有利地被利用以控制有效束流特性。当然, 可存在其他变化、替换

和更改。

[0097] 在一个具体实施方式中,第二多个粒子也可利用注入和 / 或扩散的任意组合加以引入。在一个具体实施方式中,第二多个粒子可利用所述的任何高能注入技术以及本说明书以外的其他技术加以提供。这样的技术(在其他技术之中)可包括离子浴、等离子体浸渍离子注入以及其他等离子体处理工艺。可替换地,某些低能技术包括扩散可用来将第二多个粒子引入到吸取部位中。仅作为一个实例,氢和 / 或其他粒子可利用驱动力如对流、传导和 / 或辐射和 / 或这些的任意组合被扩散到吸取部位中。根据该实施方式,这样的驱动力可以是热的、机械的、化学的和 / 或其他类型的。仅作为一个实例,这样的第二多个粒子可利用在受热目标条件下的等离子体氢化或利用电解(液体氢化)方式加以引入。可替换地,多个粒子可利用根据一个具体实施方式的注入和 / 或扩散的组合加以引入。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0098] 可选地,该方法包括在根据一个具体实施方式的注入工艺之后的热处理工艺。在一个具体实施方式中,本发明方法对于硅材料利用范围在约 450°C 至约 600°C 的热工艺。在一个优选实施方式中,热处理可利用传导、对流、辐射、和这些技术的任意组合发生。在一个具体实施方式中,温度可利用在粒子被引入的一部分时间之前、之后或在其期间利用快速热工艺提供。快速热工艺可以是均匀照射或图样化的或者这些技术的组合。仅作为一个实例,快速热工艺可提供用来实现在注入范围端层(在此处应力被最大化但其中快速热工艺的选择没有过热该层以允许氢逃逸并降低吸取效力)内的替代硅原子的最佳应力分布。对于本发明的目的,过热是指一个温度和时间的组合,其使吸取层渐进经过最佳效力的点。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0099] 在一个具体实施方式中,高能粒子束也可以提供部分热能并联合外部温度源而实现期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束单独可以提供需要用于注入的全部热能。在一个优选实施方式中,处理工艺发生以使切割区域适合于随后的切割工艺。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0100] 在一个具体实施方式中,半导体衬底可被设置在托盘装置 1401 上,如图 14 所示。在直线性加速器 1404 中产生的多个高能粒子 1403 被引入到半导体衬底 1407 的表面区域 1405 中。图 14 还示出了参考球坐标系( $\rho$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$ )。z-轴垂直于半导体衬底的表面区域,其限定了笛卡儿坐标系的 x-y 面。参考球坐标和笛卡儿坐标的原点在衬底的表面区域上是多个高能粒子的进入点 1409。从直线性加速器的多个高能粒子的出口 1411 至原点的距离限定了球坐标中的径向距离  $\rho$ 。还示出了从正 x-轴的方位角  $\theta$ 。在多个高能粒子和 z-轴之间的天顶角  $\varphi$  限定注入角度。在一个具体实施方式中,托盘装置被设置成允许用于合适的注入角度。具体地,托盘装置可利用两个预设点命名并且可以通过根据实施方案的控制装置(例如计算机)加以选择。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0101] 再次提及形成材料的独立式厚度的本发明方法,第一多个高能粒子可以以第一注入角度提供。第一注入角度可以以约 0 至约 30 度提供。这样的注入角度范围允许在一个具体实施方式的半导体衬底的厚度内的切割面附近中的吸取部位的高密度网络。该角度还可被选择以最小化或可替换地选择一个通道注入方案,其与实现最佳吸取部位层的目标相容(一致)。第二多个高能粒子可以以第二注入角度提供。提供第二注入角度以允许匹配该第二多个高能粒子的通道和深度分布,以导致在切割区域附近的结晶面中的最佳应力

水平。在一个具体实施方式中,第二注入角度的范围可为约 0 至约 15 度。在一个可替换实施方式中,第二注入角度的范围可为约 0 至约小于 8 度。当然,使用的注入角度取决于应用,本领域的技术人员将认识到许多变化、更改和替换。

[0102] 在一个具体实施方式中,本发明方法实施第一和 / 或第二多个粒子的图样化注入。在注入第二多个粒子之后,所选区域将具有更高剂量的杂质以有利于引发切割行为。也就是说,所选区域被选择以在一个具体实施方式中处于衬底的周边内。在一个具体实施方式中,更高剂量可以是  $2-5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  而更低剂量的范围可以为约  $0.5-2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  和更低。在一个具体实施方式中,图样化注入以空间方式沿所示的边缘区域被提供。可替换地,图样化注入可以是沿 z- 方向的,其也被示出。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0103] 在一个具体实施方式中,该方法包括沿注入面 1504 利用切割工艺使可分开材料的厚度独立的步骤 1502,其是独立式的,如图 15 所示,同时该可分开材料没有上覆支撑件或类似物,还如图 15 所示。如图所示,可分开材料 1501 从剩余的衬底部分 1505 去除。在一个具体实施方式中,独立的步骤可利用受控切割工艺来实施。受控切割工艺在供体衬底的切割区域的一部分内提供所选的能量。仅作为一个实例,受控切割工艺已描述于标题为“受控切割工艺”的美国专利 6,013,563 中,其共同转让给 Silicon Genesis Corporation of San Jose, California, 将其结合于此用于所有目的。如所示出的,该方法使材料的厚度从衬底独立以完整去除该材料的厚度。当然,可存在其他变化、替换和更改。

[0104] 在一个具体实施方式中,本发明方法可实施其他工艺。例如,该方法可将分开材料的厚度置于支撑件上,其后来被处理。另外或可选地,该方法在使表面区域经受第一个高能粒子之前在半导体衬底上实施一种或多种工艺。根据该实施方式,这些工艺可用于形成光电池、集成电路、光学设备、这些的任意组合等等。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0105] 在又一个可替换具体实施方式中,一种用于利用一个或多个半导体衬底来制造材料的独立式厚度的替换方法被提供如下:

[0106] 1. 提供具有表面区域和厚度的半导体;

[0107] 2. 使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一图样化多个高能粒子,该第一多个高能粒子以由第一多个高能粒子和表面区域的方向限定的第一角度被提供;

[0108] 3. 在切割区域内形成多个吸取部位的图样化区域,其被提供在表面区域下方以限定待分开材料的厚度,同时切割区域被保持在第一温度;

[0109] 4. 可选地,在半导体衬底上实施热处理工艺以进一步在切割区域内形成图样化的多个吸取部位;

[0110] 5. 使半导体衬底的表面区域经受利用该直线性加速器产生的第二多个高能粒子,该第二多个高能粒子以由第二多个高能粒子和表面区域的方向限定的第二角度被提供;

[0111] 6. 将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至来自第二多个高能粒子的第二应力水平,同时半导体衬底被保持在第二温度;

[0112] 7. 利用切割工艺使可分开材料的厚度独立,其是独立式的,同时可分开材料没有上覆支撑件或类似物,并且剩余部分的应力材料(例如,注入受损材料、注入材料、氢注入的材料)仍连接于材料的该厚度,即使在材料的该厚度已被分开之后;

[0113] 8. 提供分开材料的厚度,其是独立式的,并且在形状上被变形;

- [0114] 9. 处理该分开材料以去除任何剩余应力材料的一部分；
- [0115] 10. 产生材料的基本上平面的厚度,其在形状上是平的并且基本上没有该部分的应力材料；
- [0116] 11. 将该分开材料的厚度置于支撑件上；
- [0117] 12. 在该分开材料的厚度上实施一种或多种工艺；
- [0118] 13. 可选地,在使表面区域经受步骤(2)中的第一多个高能粒子之前在半导体衬底上实施一个或多个工艺；以及
- [0119] 14. 根据需要实施其他步骤。

[0120] 以上顺序的步骤提供了根据本发明一个实施方式的一种利用直线性加速器和图样化注入来形成衬底的方法。如所示出的,该方法包括利用共注入工艺以去除材料的膜,其优选是厚的和独立式的。其他替换方法也可提供,其中可以增加步骤,可以去除一个或多个步骤,或者以不同顺序提供一个或多个步骤而没有背离本文权利要求的范围。本发明方法的进一步细节可在本说明书通篇中更具体是在下文中找到。

[0121] 图 16-20 是简化示图,举例说明了根本发明一个可替换实施方式的利用厚层转移工艺来形成衬底的替换方法。这些示图仅仅是示例,其不应过度地限制本文所述权利要求的范围。本领域的普通技术人员将认识到许多变化、更改和替换。如图所示,该方法通过提供具有表面区域 1602、背面 1603 和厚度 1604 的半导体衬底 1600 开始。这样的厚度可以是整个铸锭或从更大铸锭等的切片的厚度。在一个具体实施方式中,半导体衬底可以是单晶硅晶片、多晶硅铸模片、瓷砖、或衬底、硅锗晶片、锗晶片、第 III/V 族物质、第 II/VI 族物质、碳化硅、氮化镓等。在一个优选实施方式中,衬底可以是光敏材料。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0122] 在一个具体实施方式中,该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第一多个高能粒子。在一个具体实施方式中,这些粒子导致在切割区域 1601 内形成多个吸取部位或积聚区域,其被提供在表面区域下方以限定待分开才来的 1607 的厚度,如图 16 的简化示图所示。优选地,第一多个高能粒子提供具有峰浓度的注入分布和空间地设置在半导体衬底深度内的基底。优选地,该基底可具有约  $2R_p$  和更小的宽度。在一个优选实施方式中,切割区域被保持在第一温度,其可被直接或间接地提供。也就是说,根据一个具体实施方式,该温度可通过对流、传导、辐射、或这些技术的组合加以提供。在一个具体实施方式中,该温度在粒子被引入的一部分时间之前、之后或甚至在该期间利用快速热工艺加以提供。快速热工艺可以是均匀照射或图样化或者这些技术的组合。仅作为一个实例,快速热工艺可被提供以在注入范围端层(其中这些应力被最大化但快速热工艺条件的选择没有过热该层以允许氢逃逸并降低吸取效力)内实现替代硅原子的最佳应力分布。对于本发明的目的,过热是指一种温度和时间的组合,其使吸取层渐进经过最佳效力点。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0123] 另外地,高能粒子束也可提供一部分热能并联合外部温度源以实现期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束单独可以提供期望用于注入的全部热能。也就是说,可提供该高能粒子束以直接使能量转化成热能,从而增加衬底的温度。在一个具体实施方式中,这些粒子将动能转化成热能以将衬底的温度增加至预定或期望的量。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0124] 根据应用,根据一个优选实施方式,通常选择更小量的粒子用于降低对于注入到材料中的期望深度的能量要求以及降低对材料区域的损害的可能性。也就是说,更小量的粒子易于通过衬底材料传送到所选深度而基本上没有损害该颗粒通过的材料区域。例如,更小量的粒子(或高能粒子)可以几乎是任意带电荷的(例如,正或负)和/或中性原子或分子、或电子等等。在一个具体实施方式中,粒子可以是中性的或带电荷粒子包括离子如氢及其同位素的离子、稀有气体离子如氦及其同位素、以及氦、或根据该实施方式的其它离子。粒子也可来源于化合物如气体例如氢气、水蒸气、甲烷和氢化合物,以及其它轻原子量粒子。可替换地,粒子可以是以上粒子和/或离子和/或分子物质和/或原子物质的任何组合。这些粒子通常具有足够的动能以穿过表面到达在该表面下方的所选深度。

[0125] 以氢作为注入物质注入到硅晶片中为例,注入工艺特定设定的条件实施。注入剂量的范围为约  $1 \times 10^{15}$  ~ 约  $1 \times 10^{16}$  个原子/cm<sup>2</sup>,优选剂量低于约  $5 \times 10^{16}$  个原子/cm<sup>2</sup>。注入能量的范围为约 1MeV 到高于约 2MeV,以及高于用于光电应用的厚膜形成注入能量。注入温度范围为约 -50 ~ +50°C,优选小于约 450°C,以降低氢离子从注入硅晶片中扩散出来的可能性(几率)。氢离子可选择性地以约  $\pm 0.03$  ~  $\pm 1.5$  微米的精度被引入到硅晶片中的所选深度。当然,所用离子类型和工艺条件取决于其应用。

[0126] 对于更高的注入能量,尤其有用的是采用基本纯的质子注入(例如带正或负电)以允许可再用衬底中切割面的最大范围。利用硅作为一个实例,注入能量的范围可以相当大并跨用于光电吸收器(其中需要一个随后的外延生长以最大化光吸收效力)的模板形成的几个 keV 至产生在用作太阳能电池晶片起始材料厚度上所测量的几百微米的衬底的许多 MeV。作为注入能量的函数的注入深度的一般范围可以利用例如 SRIM2003(Stopping Range In Matter) 或蒙特卡罗模拟程序(<http://www.srim.org/>) 进行计算。在一个具体的实施方式中,利用质子注入能量的范围为约 2MeV 至约 5MeV,硅膜厚度的范围为约 50 微米至约 200 微米。当然,可存在其它变化、更改和替换。

[0127] 在一个具体实施方式中,厚度范围为约 50  $\mu\text{m}$  至约 200  $\mu\text{m}$  的硅膜可以利用具有能量范围为约 2.1MeV 至约 5MeV 的质子注入来形成。该范围的硅膜厚度允许分开可用作独立式硅衬底的单晶硅衬底等价物的厚度。厚度范围为 50  $\mu\text{m}$  至约 200  $\mu\text{m}$  的单晶硅衬底可以用来替代利用晶片锯割、蚀刻和抛光工艺的目前方法。作为克服目前技术中的约 50% 切口损失(切口损失被定义为在切割和成晶片操作过程中的材料损失),注入切割技术实际上没有切口损失,导致实质性的成本节约和材料利用效率提高。高于 5MeV 的能量可以用来制备半导体加工替换衬底材料,但在太阳能电池制造中,对于大的硅太阳能电池形成的硅太阳能电池材料厚度期望为 200  $\mu\text{m}$  或更小。因此,较厚的硅衬底对于根据一个具体实施方式制造太阳能电池不是特别商业有利的。

[0128] 作为一个实例,MeV 范围的注入条件已经由 Reutov et al. (V.F. Reutov and Sh. Sh. Ibragimov, "Method for Fabricating Thin Silicon Wafers", USSR's Inventors Certificate No. 1282757, December 30, 1983) 披露,将其结合于此作为参考。在 V. G. Reutov and Sh. Sh. Ibragimov 中,披露了利用高达 7MeV 质子在注入过程中的可选加热和注入后可再用衬底加热,来产生高达 350  $\mu\text{m}$  的分开硅晶片厚度。利用 1MeV 氢注入,16 微米硅膜的热切割也由 M. K. Weldon & al., "On the Mechanism of Hydrogen-Induced Exfoliation of Silicon", J. Vac. Sci. Technol., B 15(4), Jul/Aug 1997 披露,将其结合



于此作为参考。在本文中,术语“分开的”或“转移的硅厚度”是指,通过注入粒子范围形成的硅膜厚度可被释放至独立式状态或被释放至用于最终用作独立式衬底的永久衬底或临时衬底,或最终被固定在永久衬底上。在一个优选实施方式中,硅材料足够厚并且没有把手衬底(或环柄衬底),其充当支撑件。当然,用于处理和加工该膜的特定工艺将取决于具体工艺和应用。

[0129] 在一个具体实施方式中,本发明方法实施第一和/或第二多个粒子的图样化注入。在第二多个粒子注入之后,所选区域将具有更高剂量的杂质以有利于引发切割行为。也就是说,所选区域被选择以在一个实施方式中处于衬底的周边内。在一个具体实施方式中,更高剂量可以是  $2-5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  而更低剂量的范围可以为约  $0.5-2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  和更低。在一个具体实施方式中,图样化注入以空间方式沿所示的边缘区域被提供。可替换地,图样化注入可以是沿  $z$ -方向的,其也被示出。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0130] 本发明的某些实施方式可以采用一个或多个图案化区域以促进引发切割行为。这样的方案可以包括使半导体衬底的表面区域经受过由直线性加速器产生的第一多个高能粒子,以在切割区域内形成多个吸取部位的图样化区域。在根据本发明的方法的一个实施方式中,切割区域位于表面区域之下以限定待分离材料的厚度。半导体衬底保持在第一温度。本方法还包括使半导体衬底的表面区域经历一个处理过程,如热处理。本方法包括使半导体衬底的表面区域经历多个第二高能粒子,提供这些粒子使切割区域的应力水平从第一级增加到第二级。本方法包括在图案化区域的选定区域内引发切割动作从而利用切割工艺以分离可分离材料的一部分厚度并利用切割工艺使可分离材料的厚度独立(释放)。这样一个图案化注入程序使得表面经历剂量变化,其中引发区域通常是利用高剂量和/或热堆积序列(thermal budget sequence)形成的。延续切割行为以完成切割行为可以利用以下几方面进行:(i) 额外的剂量区域以引导切割前端的延续,(ii) 应力控制以引导切割的深度;或者(iii) 自然晶相切割平面。一些或者说大部分区域可以掺杂较小剂量(甚至不掺杂),这取决于所用的特定切割技术。这些低剂量区域通过降低用来从衬底分离每张膜所需的总体剂量,可以有利于改善注入系统的总生产力。根据一个特定的实施方案,通过采用注入束本身同时增加面积剂量,可以有利于产生更高剂量的引发区域,同时加热并制备用于定域化膜分离的区域。这种分离在注入束过程期间,或者在利用独立热处理步骤的注入之后,能够在原位完成。使用传感器以测量和反馈引发区域的状态,可以有利于精确和受控的定域化膜分离,并避免过热或者在切割发生之后即时的分离层损坏。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0131] 再如前所述,本发明方法在半导体衬底上实施热处理工艺,以进一步在切割区域内形成多个吸取部位。也就是说,该热处理工艺退火和/或淬灭切割区域以在适当位置固定多个第一粒子。热处理提供了缺陷的固定网络,其可作用于在随后的注入或氢化或注入和/或扩散工艺的组合中吸取和积聚粒子的有效部位。在一个具体实施方式中,认为增高的温度促成永久缺陷的网络并且还捕获来自第一多个粒子的大部分氢。该缺陷层(其基本上是永久的)提供了用于从随后的注入和/或扩散工艺(将在本说明书通篇并且更具体地在下文中进行更详细的描述)有效收集和捕获粒子的部位。在一个优选实施方式中,热处理可利用传导、对流、辐射、或这些技术的任意组合来发生(进行)。高能粒子束还可以提供部分的热能并联合外部温度源而实现期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束

单独可以提供期望用于注入的全部热能。当然,可以存在其他变化、更改和替换。

[0132] 在一个具体实施方式中,该方法包括使半导体衬底的表面区域经受利用直线性加速器产生的第二多个高能粒子。如所示的,该方法包括第二多个高能粒子,其被提供到半导体衬底中。第二粒子被引入到切割区域中,其将切割区域的应力水平从第一应力水平增加至来自第二多个高能粒子的第二应力水平。在一个具体实施方式中,第二应力水平适合于随后的切割工艺。在一个优选实施方式中,半导体衬底被保持在第二温度,其高于第一温度。

[0133] 作为一个实例,利用氢作为注入到硅晶片中的物质,注入工艺利用特定设置的条件加以实施。注入剂量的范围约为约  $5 \times 10^{15}$  至约  $5 \times 10^{16}$  个原子/cm<sup>2</sup>,更优选该剂量为小于约  $1-5 \times 10^{17}$  个原子/cm<sup>2</sup>。注入能量的范围为约 1MeV 和更大至约 2MeV 和更大,用于形成对于光电应用有用的厚膜。注入剂量率可以约 500 微安至约 50 毫安提供,并且总剂量率可通过在扩展束区域上积分注入率进行计算。注入温度的范围为约 -50°C 至约 550°C,并且优选大于约 400°C。氢离子可选择性地以约  $\pm 0.03$  至  $\pm 1.5$  微米的精度被引入到硅晶片中至所选深度。在一个具体实施方式中,选择该温度和剂量以允许分子氢的有效捕获,同时可以存在单原子氢的部分扩散。当然,使用的离子类型和工艺条件取决于应用。

[0134] 对于上述的更高注入能量,尤其有用的是具有基本上纯的质子注入(例如,带正电荷或负电荷的),以允许在可再用衬底内的最大范围的切割面。利用硅作为一个实例,注入的能量范围可以是相当大的并跨从用于光电吸收器的模板形成的几个 keV(其中允许用于随后的外延生长以最大化光吸收效率)至在用作太阳能电池晶片起始材料的厚度中产生的所测量的几百微米的衬底的多个 MeV。作为注入能量的函数的注入深度的通常范围可利用例如 SRIM 2003(Stopping Range In Matter) 或蒙特卡罗模拟程序 (<http://www.srim.org/>) 加以计算。在一个具体实施方式中,硅膜厚度的范围为约 50 微米至约 100 微米或更大,例如约 200 微米,利用的质子注入能量的范围为约 2MeV 至约 5MeV。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0135] 有效地,注入粒子在所选深度处沿着平行于衬底的顶表面的平面增加应力或降低断裂能。该能量(部分地)取决于注入物质和条件。这些粒子在所选深度处降低衬底的断裂能量水平。这允许在所选深度处沿注入平面进行受控切割。注入可在这样的条件下发生,以使得在所有内部位置处的衬底的能量状态不足以在衬底材料中引发非可逆断裂(即,分离或切割)。然而,应当注意,注入通常会在衬底中引起一定量的缺陷(例如,微缺陷),其通常可至少部分地通过随后的热处理例如热退火或快速热退火修复。

[0136] 在一个具体实施方式中,本发明的方法利用质量选择的高能注入方法,其具有适当的束流强度。为了节省成本,注入束流应当在 H<sup>+</sup> 或 H<sup>-</sup> 离子束流的几十毫安的数量级上(如果系统可注入这样高的能量, H<sub>2</sub><sup>+</sup> 离子也可有利地被用于实现更高的剂量率)。这样的设备通过利用射频四极直线性加速器(RFQ-Linac)或漂移管直线性加速器(DTL)、或 RF- 聚焦交指型(RFI)技术最近已变得可获得。这些从公司如 Accsys Technology Inc. of Pleasanton, California, LinacSystems, LLC of Albuquerque, NM 87109 以及其他公司可获得。

[0137] 在一个具体实施方式中,这些方法利用提取的质子束的 RF 加速以将质子束的总能量范围从大约 20-100keV 增加至 0.5-7MeV 或更大。输出束通常直径在几毫米的数量级,

并且对于在这种应用中的使用将需要利用束扩展至几百毫米的数量级,在侧边上至一米或更大,以便避免撞击在目标表面上的功率通量变得太大并且有可能过热或损伤目标表面。对于这种技术可用的质子流可以高达 100mA 或更大。作为一个具体实施方式,假定 100kW 的束流功率,3.25MeV RFQ/RFI-Linac 将产生约 31mA 的质子束流。利用大约  $1 \times 10^{16}$  H/cm<sup>2</sup> 的剂量和约 500mm×500mm 的扩展束,每小时的面积为约 7 平方米同时功率通量被保持为约 13 瓦/cm<sup>2</sup>。参数的这种组合使得这种方法对于节约成本的太阳能电池生产尤其实用。当然,可存在其他变化、替换和更改。

[0138] 在一个具体实施方式中,第二多个粒子也可利用注入和 / 或扩散的任意组合加以引入。在一个具体实施方式中,第二多个粒子可利用所述的任何高能注入技术以及本说明书以外的其他技术加以提供。这样的技术(在其他技术之中)可包括离子浴、等离子体浸渍离子注入以及其他等离子体处理工艺。可替换地,某些低能技术包括扩散用来将第二多个粒子引入到吸取部位中。仅作为一个实例,氢和 / 或其他粒子可利用驱动力如对流、传导和 / 或辐射和 / 或这些的任意组合被扩散到吸取部位中。根据该实施方式,这样的驱动力可以是热的、机械的、化学的和 / 或其他类型的。仅作为一个实例,这样的第二多个粒子可利用在受热目标条件下的等离子体氢化或利用电解(液体氢化)方式或其他注入和 / 或扩散技术加以引入。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0139] 可选地,根据一个具体实施方式,该方法包括在注入工艺之后的热处理工艺。在一个具体实施方式中,本方法对硅材料利用范围为约 450°C 至约 600°C 的热工艺。在一个优选实施方式中,热处理利用传导、对流、辐射、或这些技术的任意组合发生。在一个具体实施方式中,该温度可在粒子被引入的一部分时间之前、之后、或甚至期间利用快速热工艺加以提供。该快速热工艺可以是均匀照射或图样化或这些技术的组合。仅作为一个实例,可提供快速热工艺以在注入范围端层(在此处应力被最大化但其中快速热工艺条件的选择没有过热该层以允许氢气逃逸并降低吸取效率)内实现替代硅原子的最佳应力分布。对于本发明的目的,过热是指一个温度和时间组合,其使吸取层渐进通过最佳效率的点。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0140] 在一个具体实施方式中,高能粒子束也可提供一部分的热能并联合外部温度源而实现期望的注入温度。在某一实施方式中,高能粒子束单独可以提供期望用于注入的全部热能。在一优选具体实施方式中,进行处理工艺以使该切割区域适用于后续的切割工艺。当然,可以存在其他变化、更改和替换。

[0141] 在一个具体实施方式中,半导体衬底可以被再次设置在托盘装置上,如前所述。在直线性加速器中产生的多个高能粒子被引入半导体衬底的表面区域中。根据实施方式,可以使用参考球坐标系( $\rho$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$ )。z-轴垂直于半导体衬底的表面区域,其限定了笛卡儿坐标系的 x-y 面。参考球坐标和笛卡儿坐标的原点是多个高能粒子在衬底的表面区域上的进入点。从直线性加速器的多个高能粒子的出口至原点的距离限定了球坐标中的径向距离  $\rho$ 。还示出了从正 x-轴的方位角  $\theta$ 。在多个高能粒子和 z-轴之间的天顶角  $\varphi$  限定注入角度。在一个具体实施方式中,托盘装置被设置成允许用于合适的注入角度。具体地,托盘装置可利用两个预设点命名并且可以通过根据实施方案的控制装置(例如计算机)加以选择。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0142] 再次提及形成材料的独立式厚度的本发明方法,第一多个高能粒子可以以第一注

入角度提供。第一注入角度可以以约 0 至约 30 度提供。这样的注入角度范围允许在以一个具体实施方式的半导体衬底的厚度内的切割面附近中的吸取部位的高密度网络。第二多个高能粒子可以以第二注入角度提供。提供第二注入角度以允许匹配该第二多个高能粒子的通道和深度分布,以导致在切割区域附近的结晶面中的应力水平。在一个具体实施方式中,第二注入角度的范围可为约 0 至约 15 度。在一个可替换实施方式中,第二注入角度的范围可为约 0 至约小于 8 度。当然,使用的注入角度取决于应用,本领域的技术人员将认识到许多变化、更改和替换。

[0143] 在一个具体实施方式中,本发明方法实施第一和 / 或第二多个粒子的图样化注入。在第二多个粒子注入之后,所选区域将具有更高剂量的杂质以有利于引发切割行为。也就是说,所选区域被选择以在一个实施方式中处于衬底的周边内。在一个具体实施方式中,更高剂量可以是  $2-5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  而更低剂量的范围可以为约  $0.5-2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  和更低。在一个具体实施方式中,图样化注入以空间方式沿所示的边缘区域被提供。可替换地,图样化注入可以是沿 z- 方向的,其也被示出。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0144] 在一个具体实施方式中,该方法包括沿注入面 1703 利用切割工艺使可分开材料的厚度 1701 独立的步骤,其是独立式的,如图 17 所示,同时该可分开材料没有上覆的支撑件等,还如图 17 所示。如图所示,可分开材料 1705 从剩余的衬底部分 1709 去除。在一个具体实施方式中,独立的步骤可利用受控切割工艺来实施。受控切割工艺在供体衬底的切割区域的一部分内提供所选的能量 1711、1713。仅作为一个实例,受控切割工艺已描述于标题为“受控切割工艺”的美国专利 6,013,563,其共同转让给 Silicon Genesis Corporation of San Jose, California, 将其结合于此用于所有目的。如所示出的,该方法使材料的厚度从衬底独立以完成该材料厚度的去除。当然,可存在其他变化、替换和更改。

[0145] 在一个优选实施方式中,切割利用待分开材料的厚度的特性发生。也就是说,该方法包括利用切割工艺使可分开材料的厚度独立同时保持连接于该材料的厚度的应力区域的一部分 1715 以使该材料的厚度的特征在于变形的形状,例如在边缘或端部区域弯曲。在一个进一步的实施方式中,本发明提供了一种从大(块)半导体衬底形成材料的膜的方法,其利用切割材料的本征弯曲特性以促进从剩余的大(块)衬底部分分离,如也通过图 17 示出的。在一个具体实施方式中,该方法包括提供具有表面区域和厚度的半导体衬底 1701。在本实施方式中,使用相同的标号但不应当限制本文权利要求的范围。该方法包括使半导体衬底的表面区域经受多个粒子以形成切割区域,其被限定在表面区域下方以形成应力区域和限定待分开材料的厚度。在一个具体实施方式中,材料的厚度具有约 20 微米和更大的厚度,但可以是稍微更薄的,只要它是独立式的。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0146] 在一个具体实施方式中,该方法包括利用在切割区域附近内的空间区域处的选择性能量替换 1711、1713 而引发在切割区域的边缘区域处待分开的材料厚度的一部分的分离,以形成具有应力区域一部分的材料厚度的分开部分。在一个具体实施方式中,该方法包括从空间区域弯曲远离材料厚度的分开部分 1715,以及使材料厚度中的变形形状分开以促进从剩余衬底部分去除该材料的厚度。在一个具体实施方式中,该能量可以选自一种或多种源,如光源、激光源、热源、辐射源、机械源、化学源、重力源或流体源例如气体、液体或组合。在某一实施方式中,该液体或气体可以是加热源或冷却源(即低温的)以将热应力以受控方式赋予该膜。

[0147] 在一个具体实施方式中,可选地,该方法形成上覆层(未示出)以进一步促进弯曲行为,从而增强切割行为。在一个具体实施方式中,上覆层也是受应力的但引起弯曲行为。根据一个具体实施方式,这样的应力可以是压缩性的。根据本发明的一个实施方式,合适的材料(例如,电介质,氮化硅)可被使用以产生压缩特性。在切割之后,上覆层可以被去除或者可保持在表面区域上。当然,可存在其他变化、更改和替换。本方法的进一步细节可在本说明书通篇尤其是下文中找到。

[0148] 现在参照图 18 和 18A,该方法导致变形的形状 1801,其具有与第二弯曲边缘区域 1805 相对的第一弯曲边缘区域 1803 和在该第一弯曲边缘区域和第二弯曲边缘区域之间的轴 1809。在一个具体实施方式中,轴 1809 连接与第四边缘区域 1813 相对的第三边缘区域 1811。如图 18A 所示的是在根据一个具体实施方式的切割工艺之前的包括切割区域的衬底。如图所示,每一个边缘区域已被标定并且对应于图 18 的简化侧视图。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0149] 现在参照图 19 和 20,该方法去除连接于材料厚度的应力区域的部分 1901,以使该变形形状可以被去除并产生基本上平面的形状 2001,其总体是平的或类似情形。在一个优选实施方式中,该方法包括一个或多个技术 1903 以去除引起材料的厚度变形的应力区域的该部分。在一个具体实施方式中,所述去除包括蚀刻应力区域的该部分,这使得材料的厚度具有变形形状。也就是说,蚀刻可以是选择性的以去除应力区域,这可以是注入受损区域和/或具有更高浓度的氢和/或类似杂质的区域。在一个具体实施方式中,蚀刻可以是湿法蚀刻和/或干法蚀刻工艺等。在一个具体实施方式中,所述去除也可利用热处理材料的分开厚度发生,以释放应力(受力)区域。可替换地,根据该实施方式,可存在蚀刻和/或热处理的组合。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0150] 在一个具体实施方式中,本方法可实施其他工艺。例如,该方法可将分开材料的厚度置于支撑件上,其后来被处理。另外或可选地,该方法在使表面区域经受第一个高能粒子之前在半导体衬底上实施一种或多种工艺。根据该实施方式,这些工艺可用于形成光电池、集成电路、光学设备、这些的任意组合等等。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0151] 在一个具体实施方式中,本方法利用电磁辐射来实施切割区域的切割以使材料的厚度独立。在一个优选实施方式中,可使用激光源。在一个具体实施方式中,激光源提供切割区域的激光处理以引发切割区域的切割。在另一实施方式中,切割区域的激光处理不会引发和/或切割该切割区域,而是仅仅被提供用来处理切割区域以增加切割区域中的应力,从而降低切割温度或剂量或这两者。另外,如上所述,激光源提供被选择性地提供在空间区域上的束流,其有效地允许该束流通过空间区域并结合到切割区域。在一个具体实施方式中,“如切割的”的顶表面可以阻止激光能量有效地结合到切割区域中。因此,所选的空间区域可以被提供在侧边上或下方或边缘区域,其没有因切割被损伤或糙化(或变粗糙)。另外,切割表面可以经受平滑化、退火或处理(例如沉积),以改进进入切割区域中的结合。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0152] 在其他实施方式中,粒子可包括氘(例如  $D^+$ ) 和  $H_2^+$  作为注入物质。也就是说,这样的粒子可利用单一直线性加速器工艺和/或根据一个具体实施方式的构造加以提供。在一个具体实施方式中,直线性加速器包括束流线(beamline)构造,其允许至少两种物质可以被注入。在一个这样的实施方式中,本方法利用具有注入  $D^+$  和  $H_2^+$ (即都是 2 核子质量)

的能力的单一线性加速器。根据该实施方式,可存在各种益处和 / 或优点。在一个优选实施方式中,两种不同物质的注入可利用束流线加以提供。作为一个实例, $D^+$  可以是对于第一注入(吸取层形成)有利的,由于  $D^+$  在 EOR 中比  $H^+$  产生约 2-3 倍更多的替代损伤。该方法还利用  $H_2^+$  作为第二注入物,其将是每单位束流的两倍剂量率的  $H^-$  注入。

[0153] 在一个实例中,本方法可包括以下方案或顺序。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0154] 1. 冲击氦等离子体并将  $D^+$  注入到线性加速器设备,以加速用于吸取层形成的目标能量(例如,2MeV 将为约 50-60  $\mu m$ )。

[0155] 2. 在 (1) 和可能的中间退火序列以完善吸取层之后,将 ECR 源气体变为氢气并冲击氢等离子体,将  $H_2^+$  注入线性加速器以加速目标能量,从而将该积聚注入物与吸取层对齐。一种方法将是激励在工艺 (2) 中的线性加速器端部,其适当地增强能量。例如, $H_2^+$  能量将必须高于 4MeV,估计更接近 4.5-5MeV。

[0156] 当然,可存在变化、更改和替换。

[0157] 尽管以上是具体实施方式的充分描述,但是可以使用各种更改、替换构造和等同物。虽然以上已经利用所选顺序的步骤进行了描述,但是可以使用所述步骤的任何要素以及其他的任意组合。另外,根据实施方式,某些步骤可以进行组合和 / 或去除。此外,根据可替换实施方式,氢的粒子可利用氦和氢离子的共注入替代以允许用更改的剂量和 / 或切割性能来形成切割面。可替换地,氦或其他类似物质作也可组合和 / 或单独使用为注入物质。当然,可存在其他变化、更改和替换。因此,以上描述和举例说明不应看作是限制有所附权利要求限定的本发明的范围。

#### [0158] 实施例

[0159] 为了证实本发明的原理和操作,我们实施了一些实验。这些实验仅仅是示例,其不应当过度限制本文权利要求的范围。本领域的技术人员将认识到,许多其他变化、更改、替换。这些实验的进一步细节可在本说明书通篇尤其是下文中找到。

[0160] 作为一个实例,制备的硅晶片样品具有各种取向和杂质。在一个具体实施方式中,制备了正方形形状样品,其是  $\langle 100 \rangle$  取向和 p-型掺杂的。在一个可替换的实施方式中,制备了圆形形状样品,其是  $\langle 111 \rangle$  取向和 n-型掺杂的。根据实施方式和实验,我们可利用其他变化、更改和替换。另外,正方形和圆形导致某些特性但在本文中应当用于标记目的,而不应过度地限制所述权利要求的范围。

[0161] 根据一个具体实施方式,这样的样品利用传统 SC1 和 SC2 化学物进行清洗。作为一个实例,晶片经受多个注入工艺,其已在本说明书通篇中描述了。在圆形样品和方形样品中,在某些实验中利用氢粒子本身发生注入,并且在其他实验中利用氦和氢粒子来发生共注入。为了切割样品,使用热传导 / 对流工艺,其使得材料的厚膜作为独立式材料分开。当然,可存在其他变化、更改和替换。

[0162] 图 21 举例说明了从单晶硅衬底切割的材料切割表面的 AFM(即,原子力显微镜)照片。如图所示,照片 2101 来自 16  $\mu m$  厚度膜的切割表面,照片 2103 来自 47  $\mu m$  厚度膜的切割表面,以及照片 2105 来自 117  $\mu m$  厚度膜的切割表面。对于较厚的膜,RMS 粗糙度更高,如图所示。这是期望的,因为形成更厚的膜需要注入物的更高能量,其导致切割区域中的更多变化。当然,可存在其他变化、更改和替换。这些膜的进一步细节提供如下。

[0163] 参照图 22, 提供了单晶膜多次连续切割的切割表面的表面粗糙度。如所示出的, 提供了从单晶衬底切割的第一硅膜 2201 的表面粗糙度, 而从剩余衬底切割的后一硅膜 2202 的表面粗糙度。每一个膜具有  $117\ \mu\text{m}$  的厚度。如所示出的, 衬底可以被切割多于一次而且在每一个后续切割之间没有表面处理。根据均匀性和粗糙度, 表面在一些实施方式中在多次切割之后可以被处理。

[0164] 参照图 23,  $15\ \mu\text{m}$  厚度的单晶硅膜 2301 从所示出的单晶硅衬底进行切割。该膜是独立式的并且还示出了切割表面的 AFM 测量。图 24 显示了  $15\ \mu\text{m}$  厚度单晶膜和该膜从其上切割的硅衬底。如图所示, 已经证实了切割的独立式膜。基于在切割区域经受的应力, 方形形状的膜的边缘向上弯曲。在一个实例中, 应力可以根据一个具体实施方式通过利用蚀刻和 / 或热处理去除切割区域而加以去除。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0165] 图 25 示出了根据本发明一个实施方式从多晶硅衬底切割的多晶硅膜的实验结果。如图 25 所示, 示出了多晶硅衬底表面的  $20 \times 20\ \mu\text{m}$  AFM 照片。该 AFM 照片示出切割的多晶硅膜表面的照片。如所示出的, 本方法显示了在一个具体实施方式中多晶硅膜的切割。当然, 可存在其他变化、更改和替换。

[0166] 尽管以上是具体实施方式的充分描述, 但是可以使用各种更改、替换的构造和等同物。虽然以上已经利用所选顺序的步骤进行了描述, 但是可以使用所述步骤的任何元素以及其他的任意组合。另外, 根据实施方式, 某些步骤可以进行组合和 / 或去除。此外, 根据可替换实施方式, 氢的粒子可利用氦和氢离子的共注入替代以允许用更改的剂量和 / 或切割性能来形成切割面。可替换地, 氖和其他类似物质作为注入物质也可组合和 / 或单独使用。如上所述, 几乎任何形式的能量可用来引发和延续切割, 如电、机械、电磁辐射、重力、化学、这些的任何组合、声学、微波和无线电波、激光源、均匀照射等。当然, 可存在其他变化、更改和替换。因此, 以上描述和举例说明不应看作是对所附权利要求限定的本发明的范围的限制。

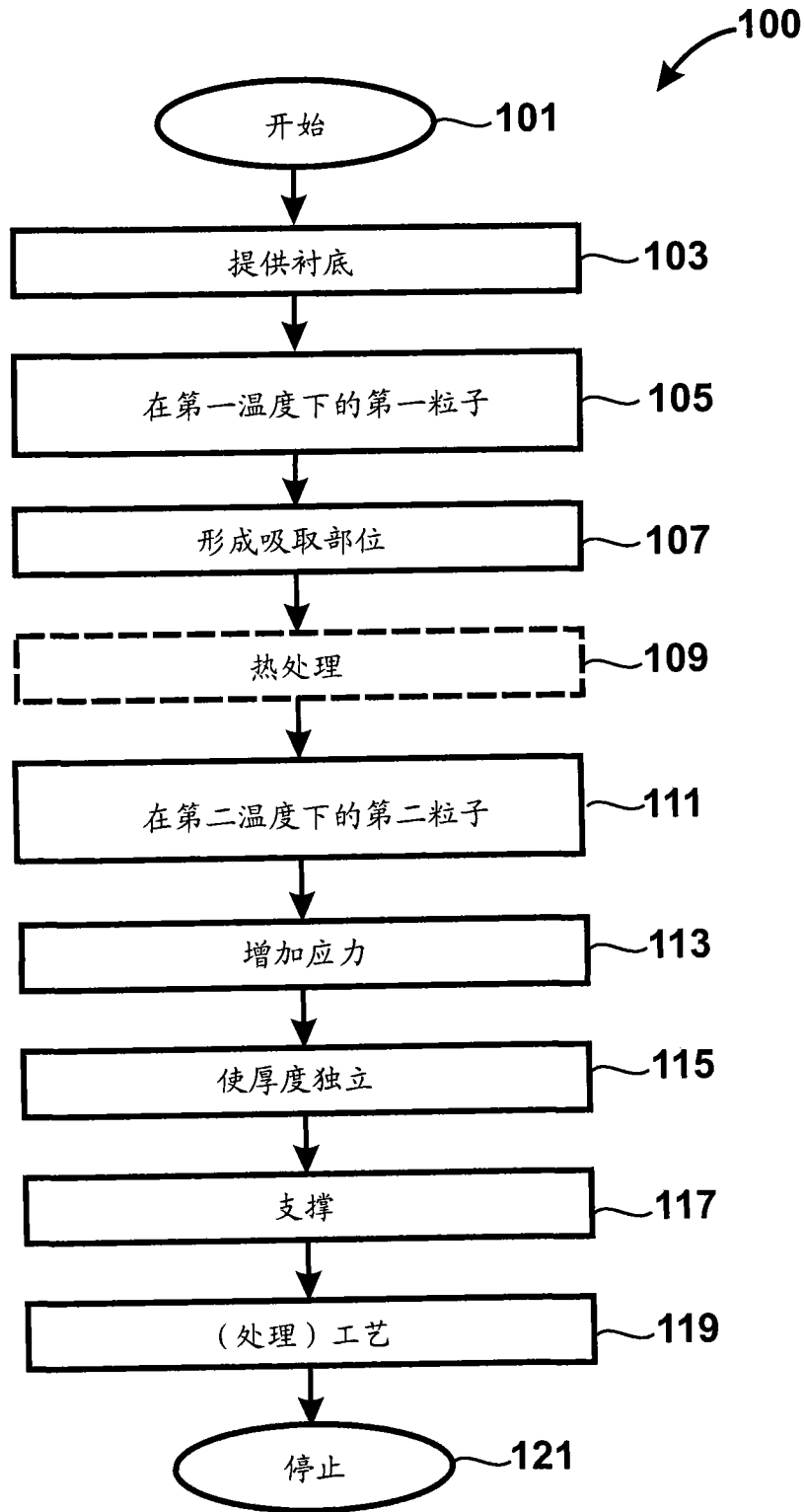


图 1



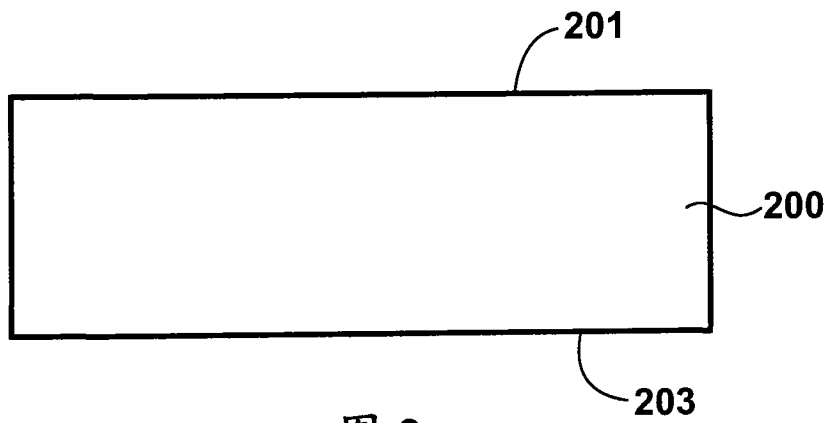


图 2

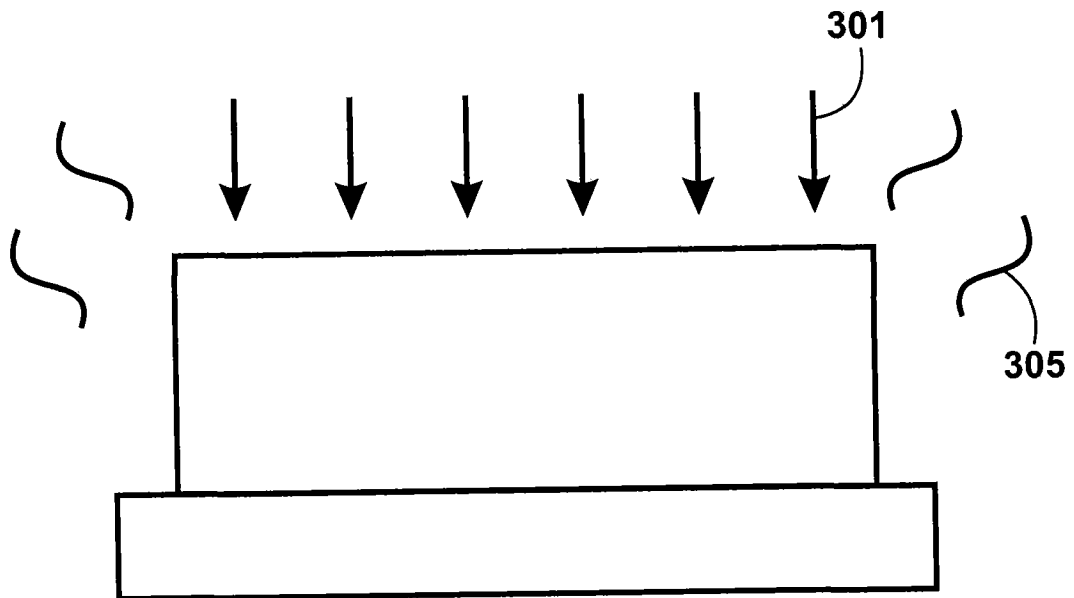


图 3

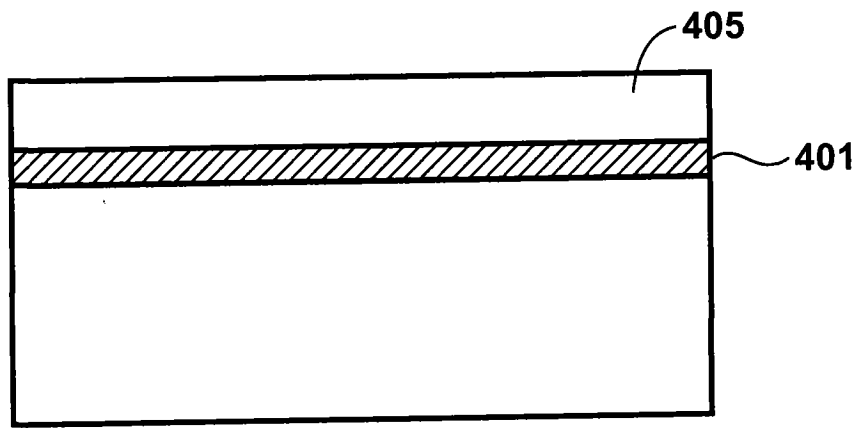


图 4

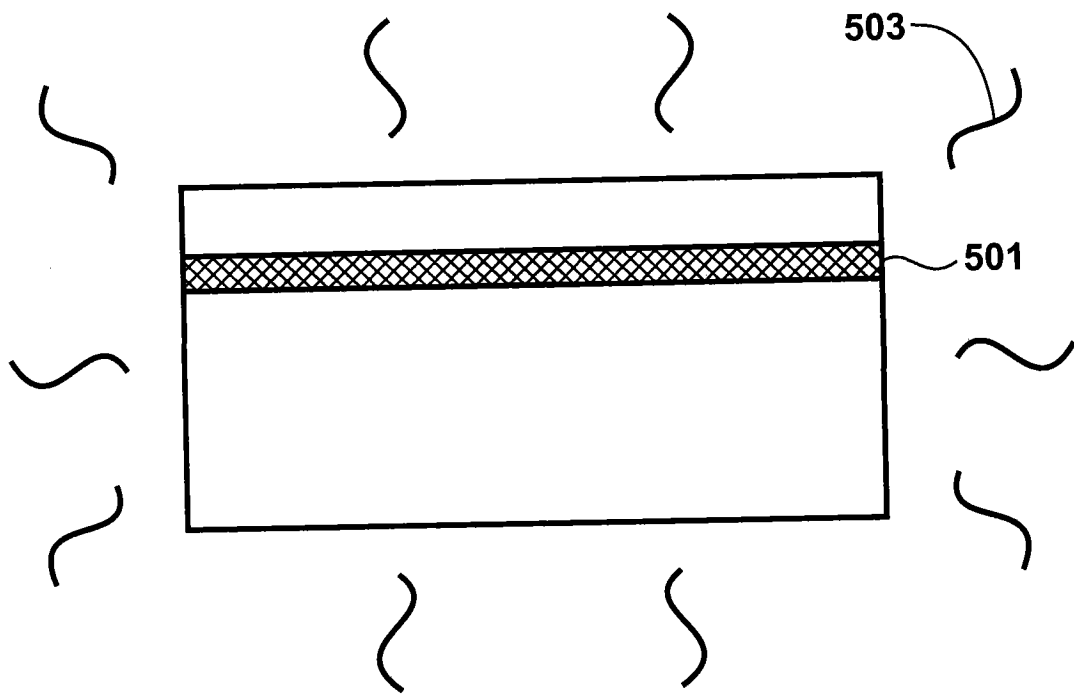


图 5

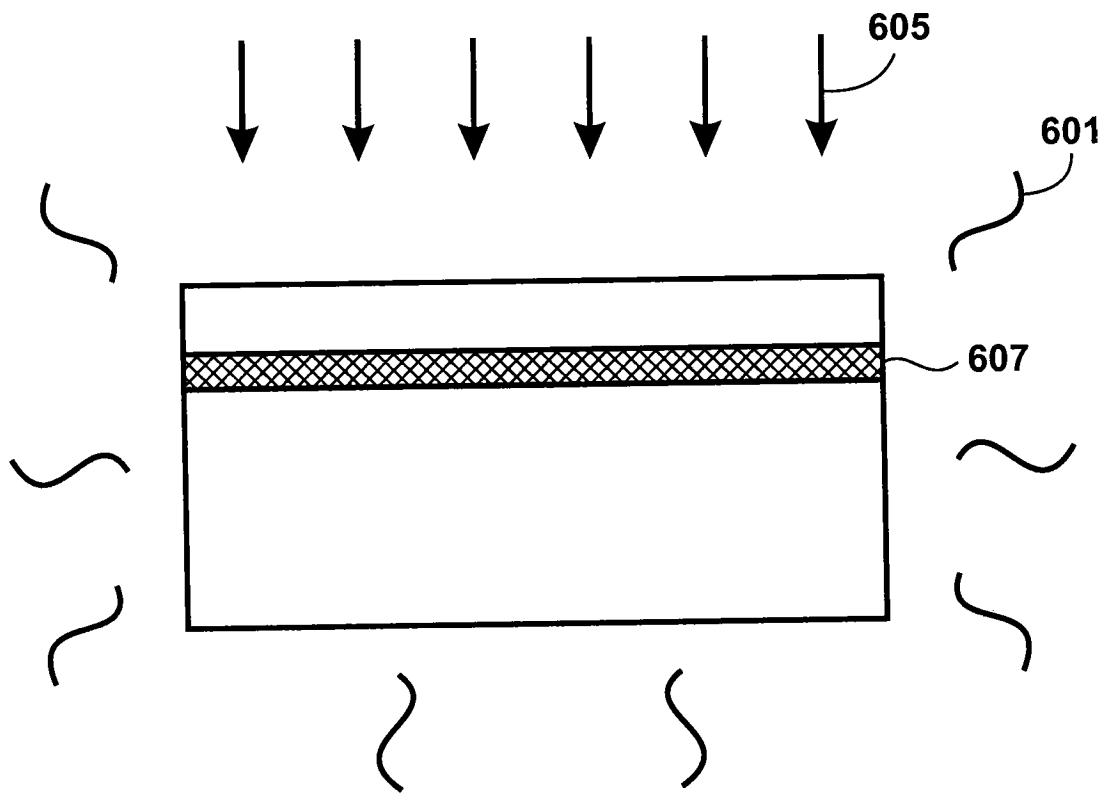


图 6

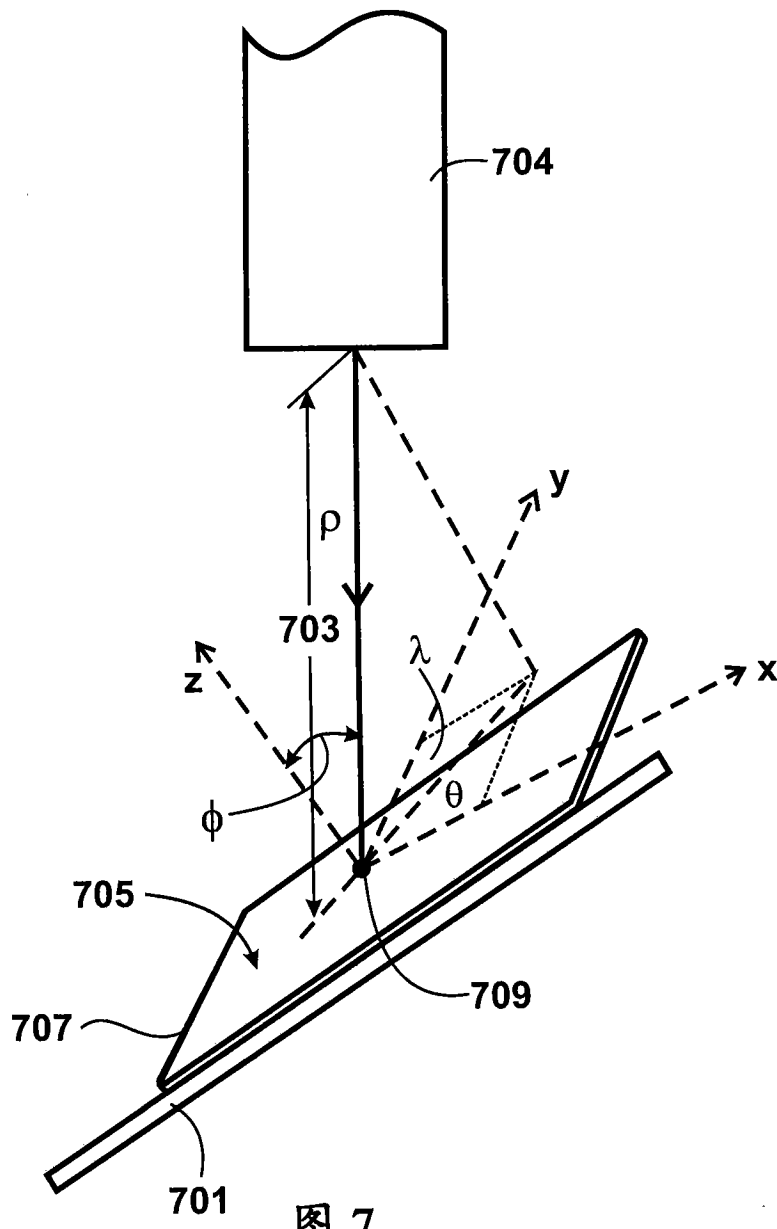


图 7

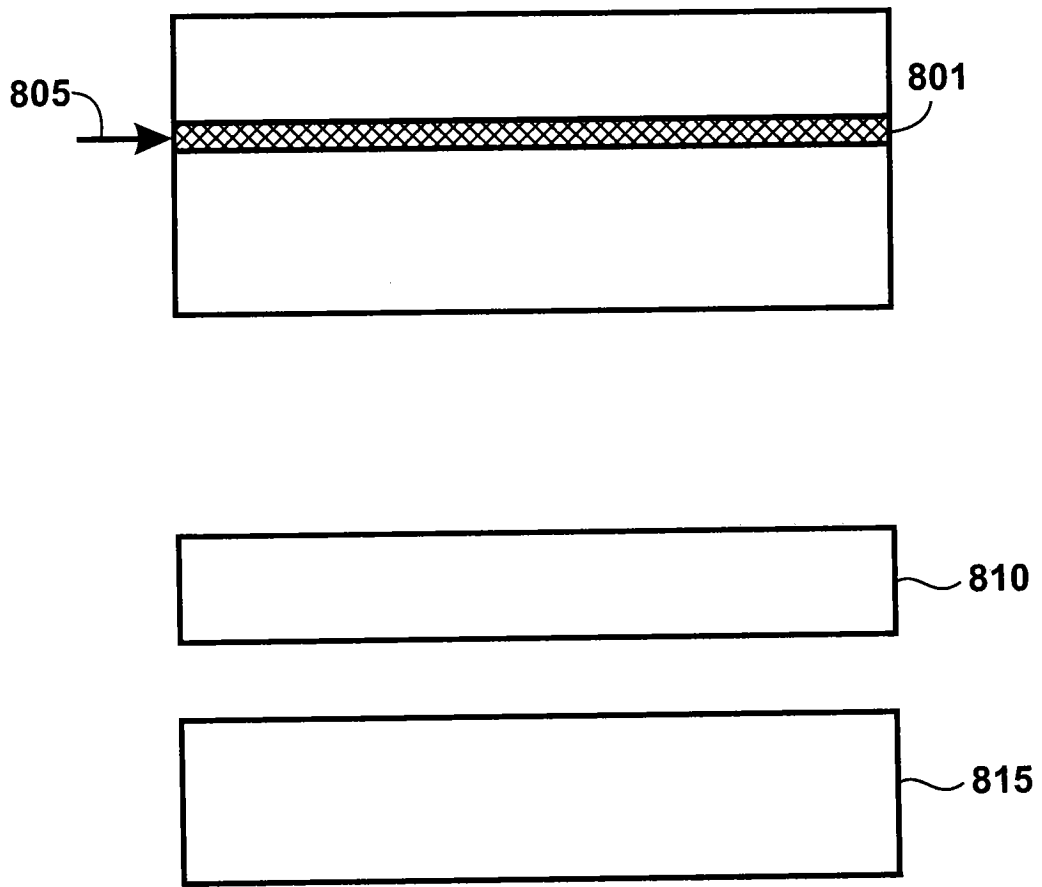


图 8

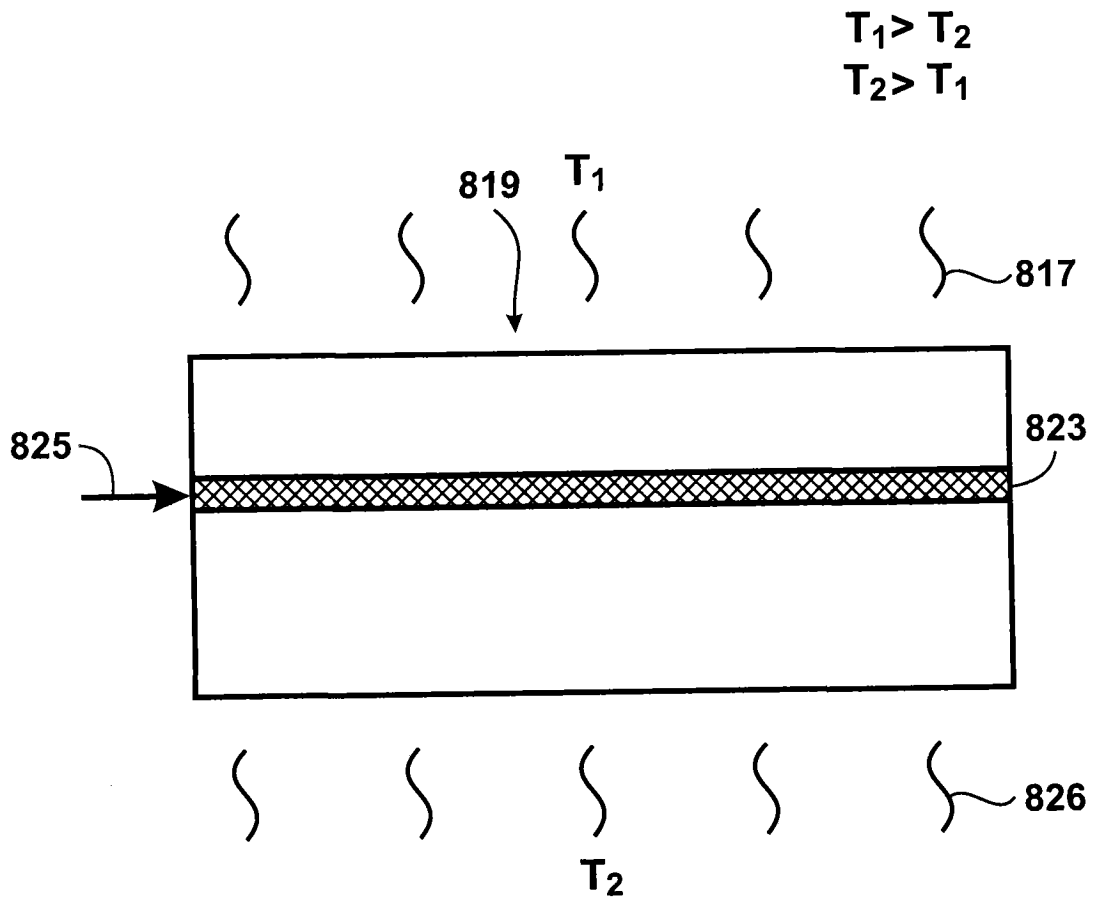


图 8A

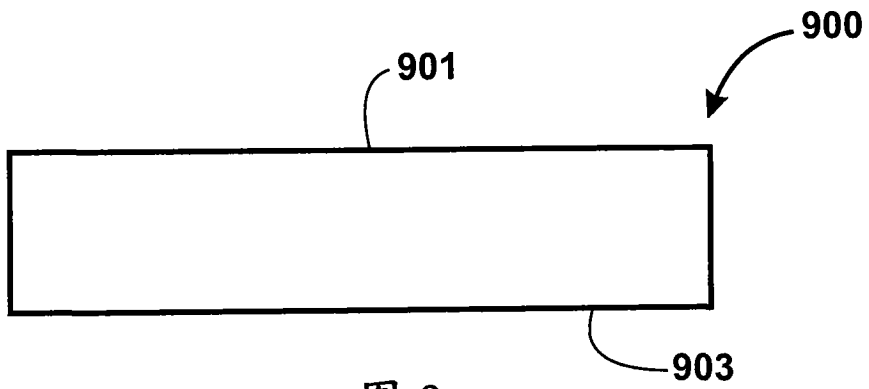


图 9

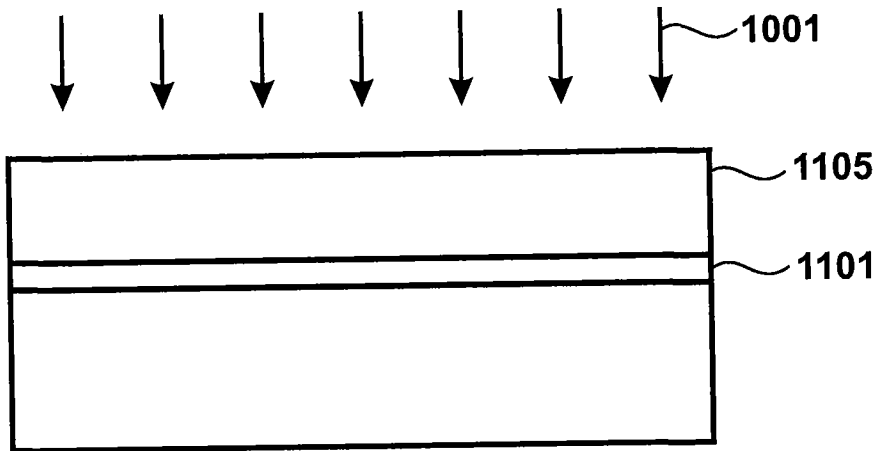


图 10

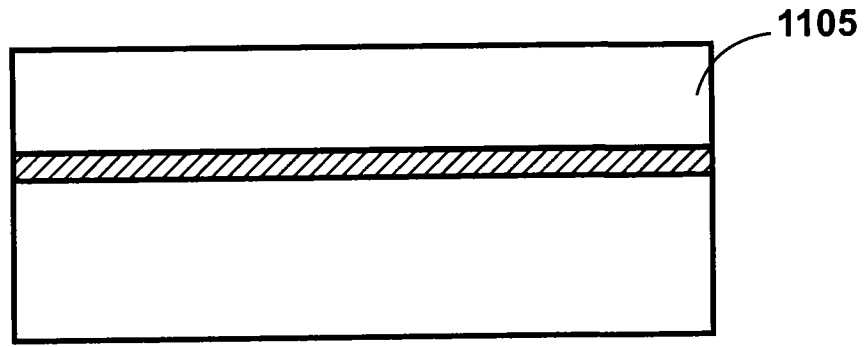
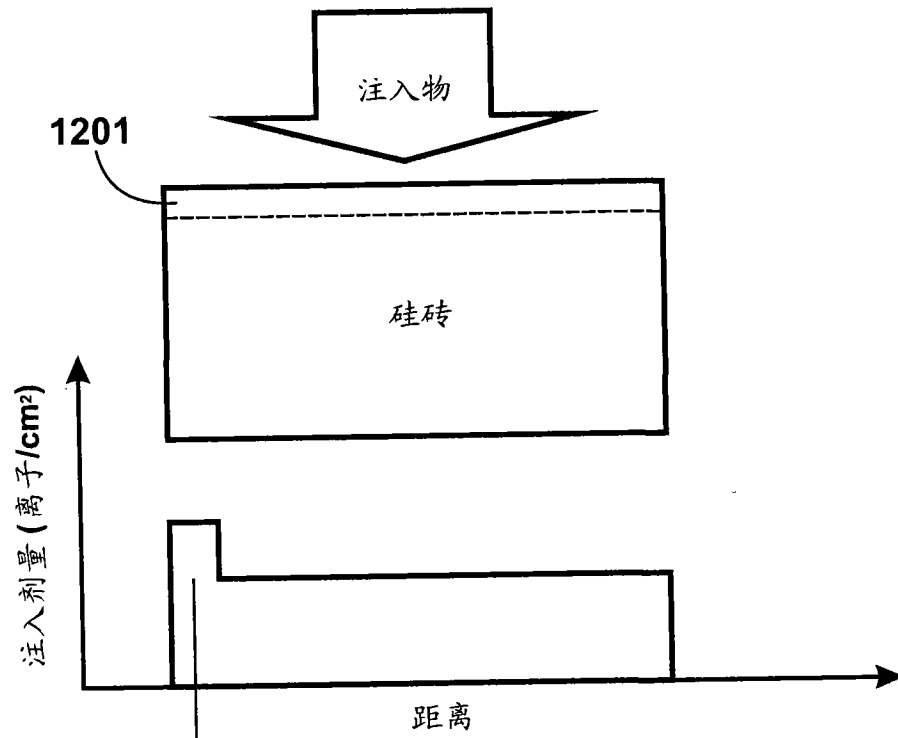


图 11



1201 图 12(A)



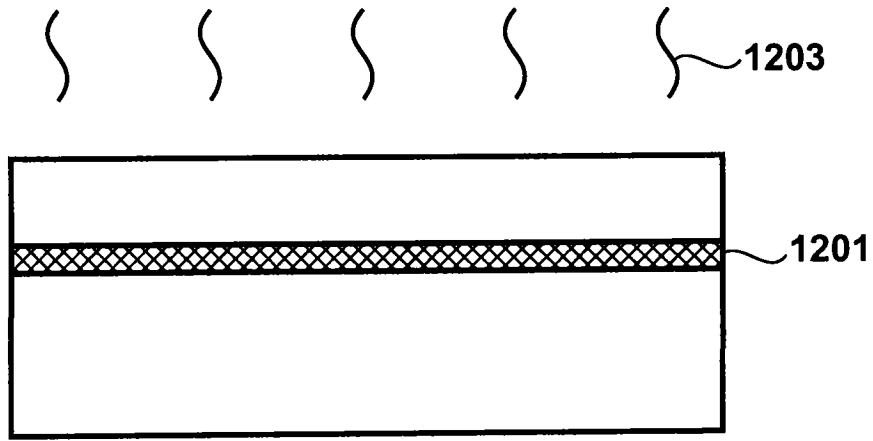


图 12(B)

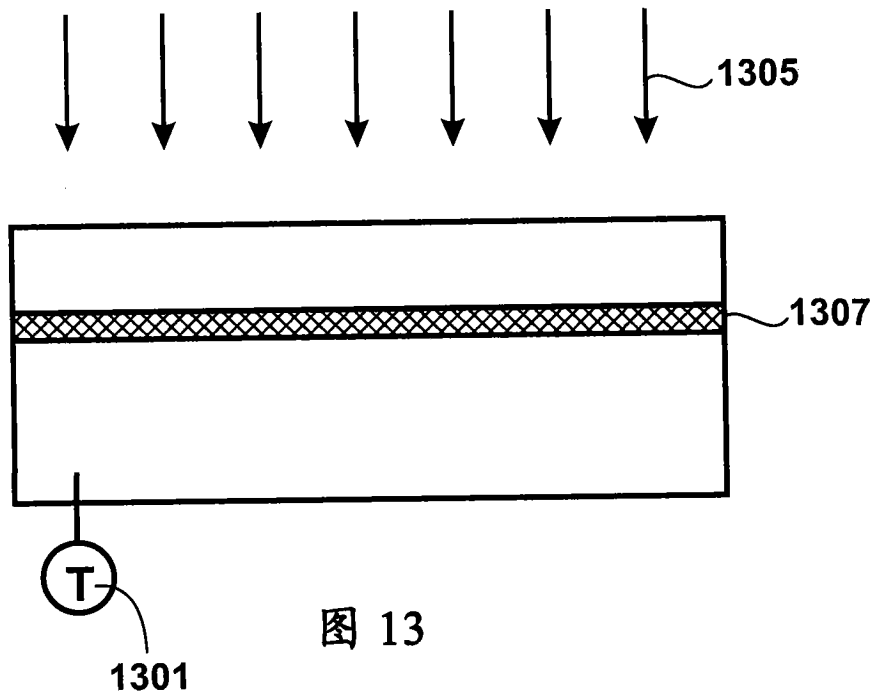


图 13

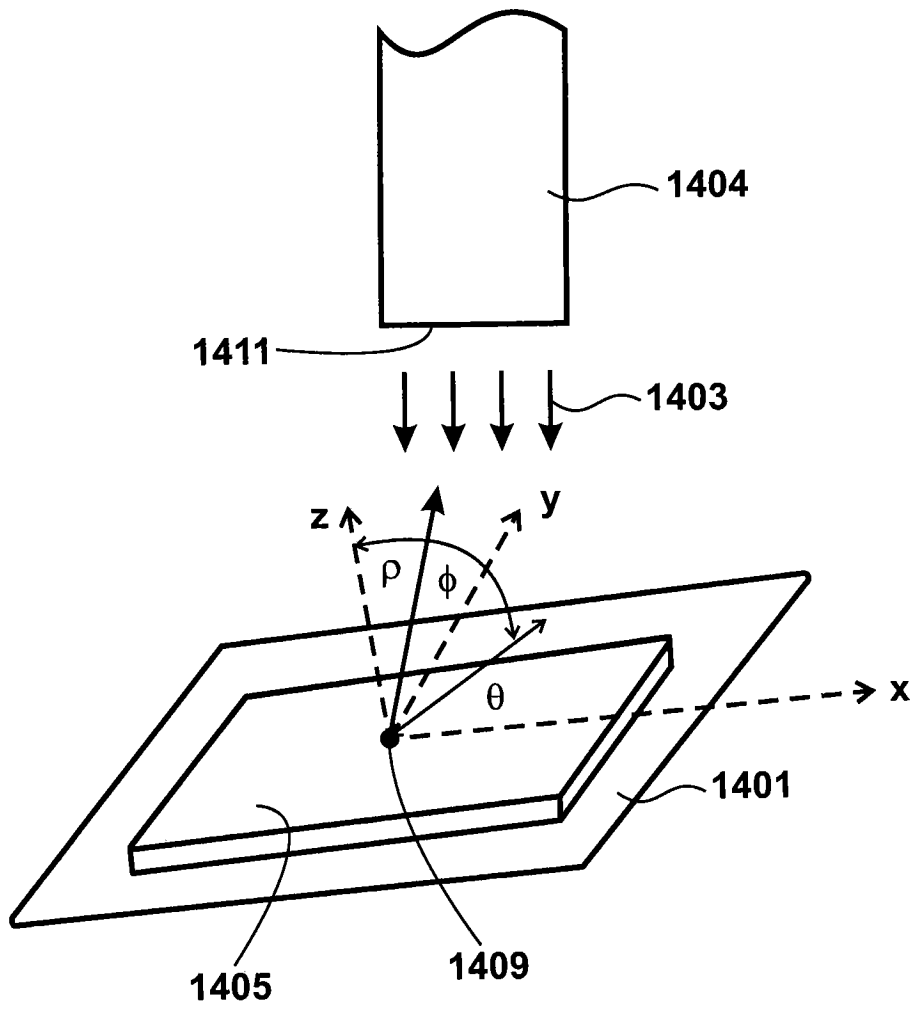


图 14

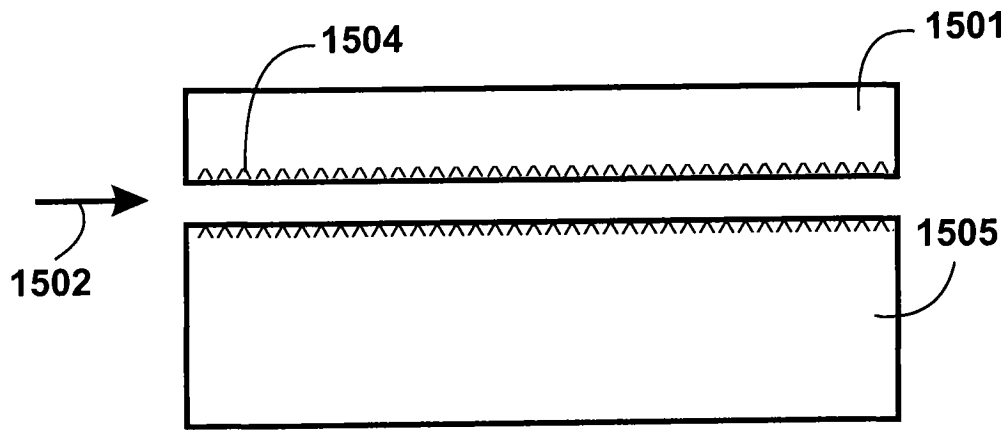


图 15

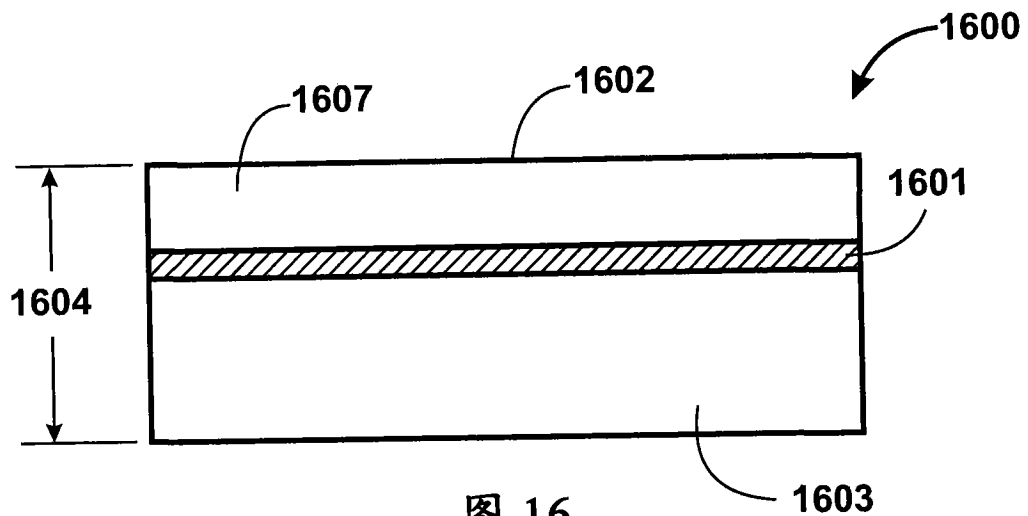


图 16

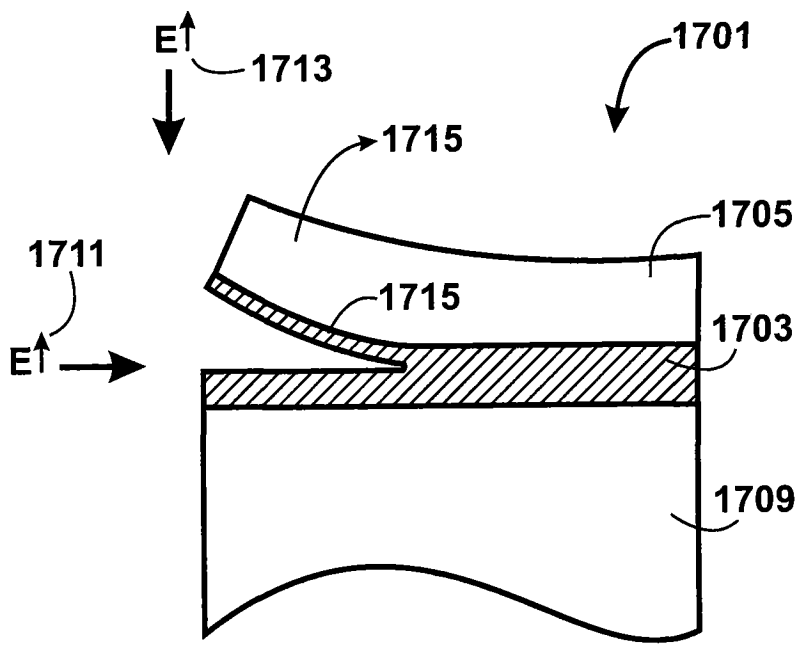


图 17

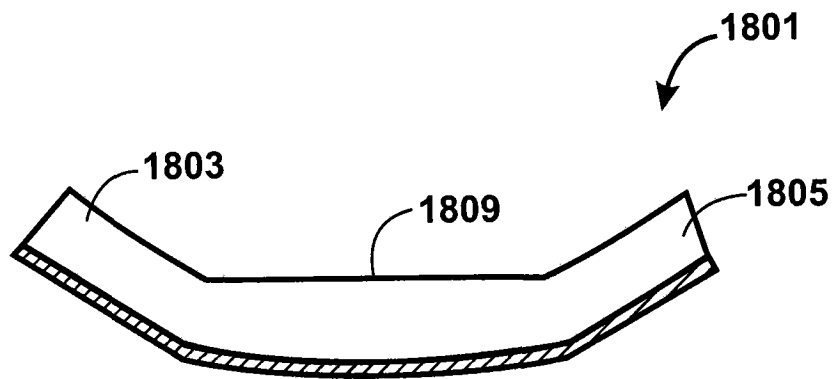


图 18

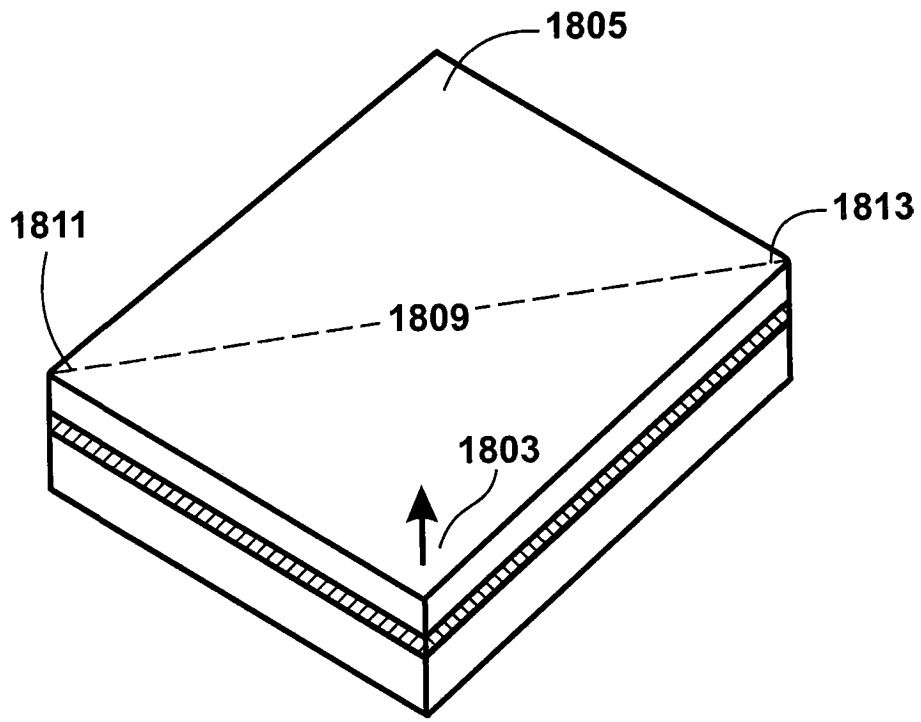


图 18A

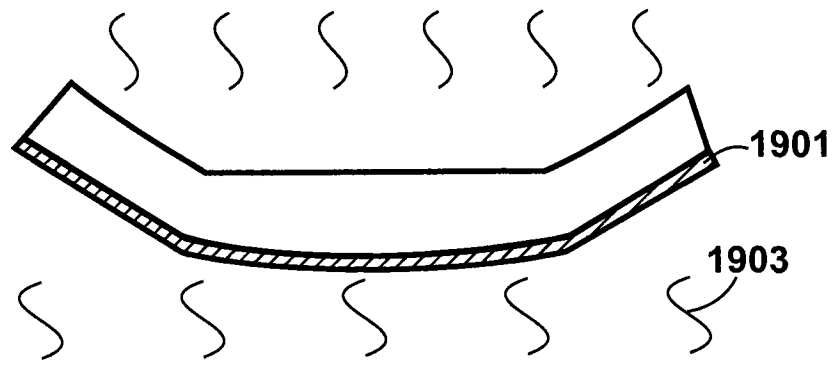


图 19

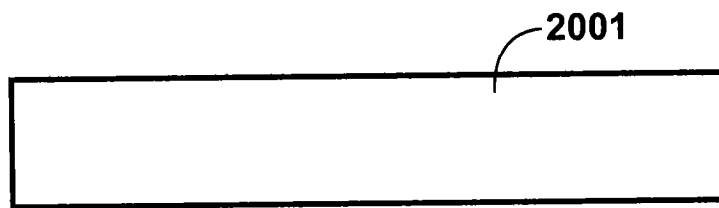


图 20

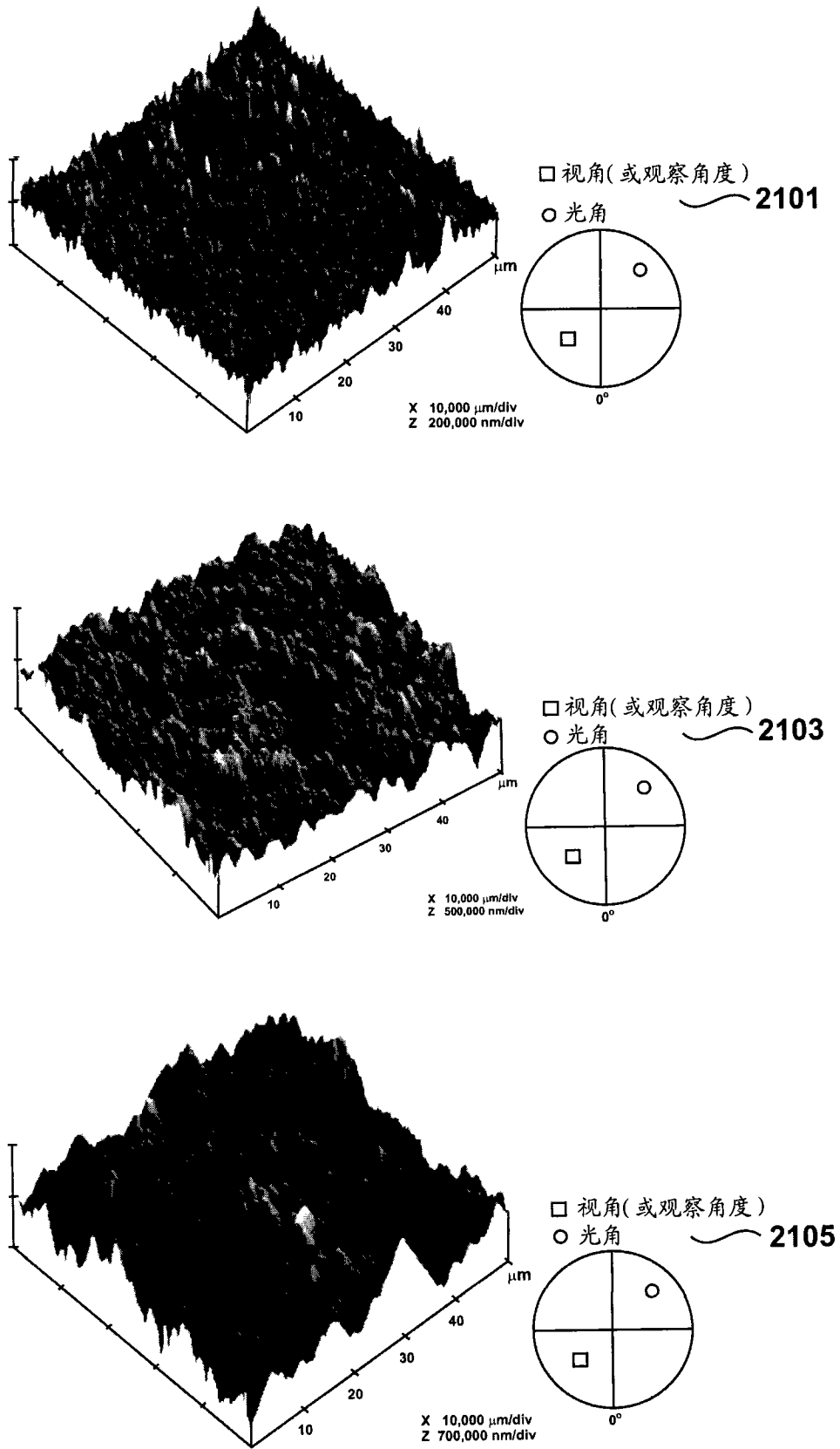


图 21

多次 DFT 转移 (117 μm)

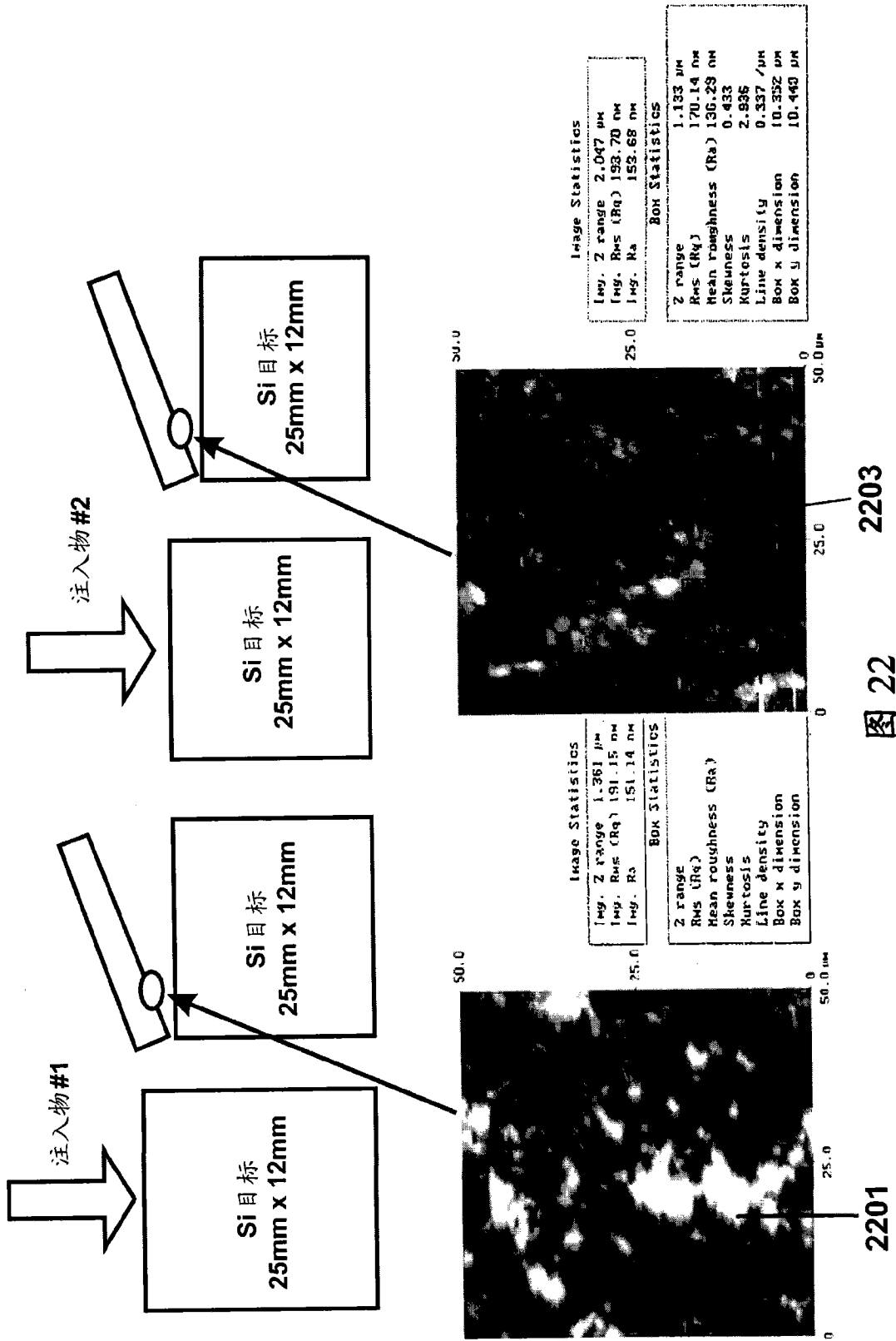


图 22



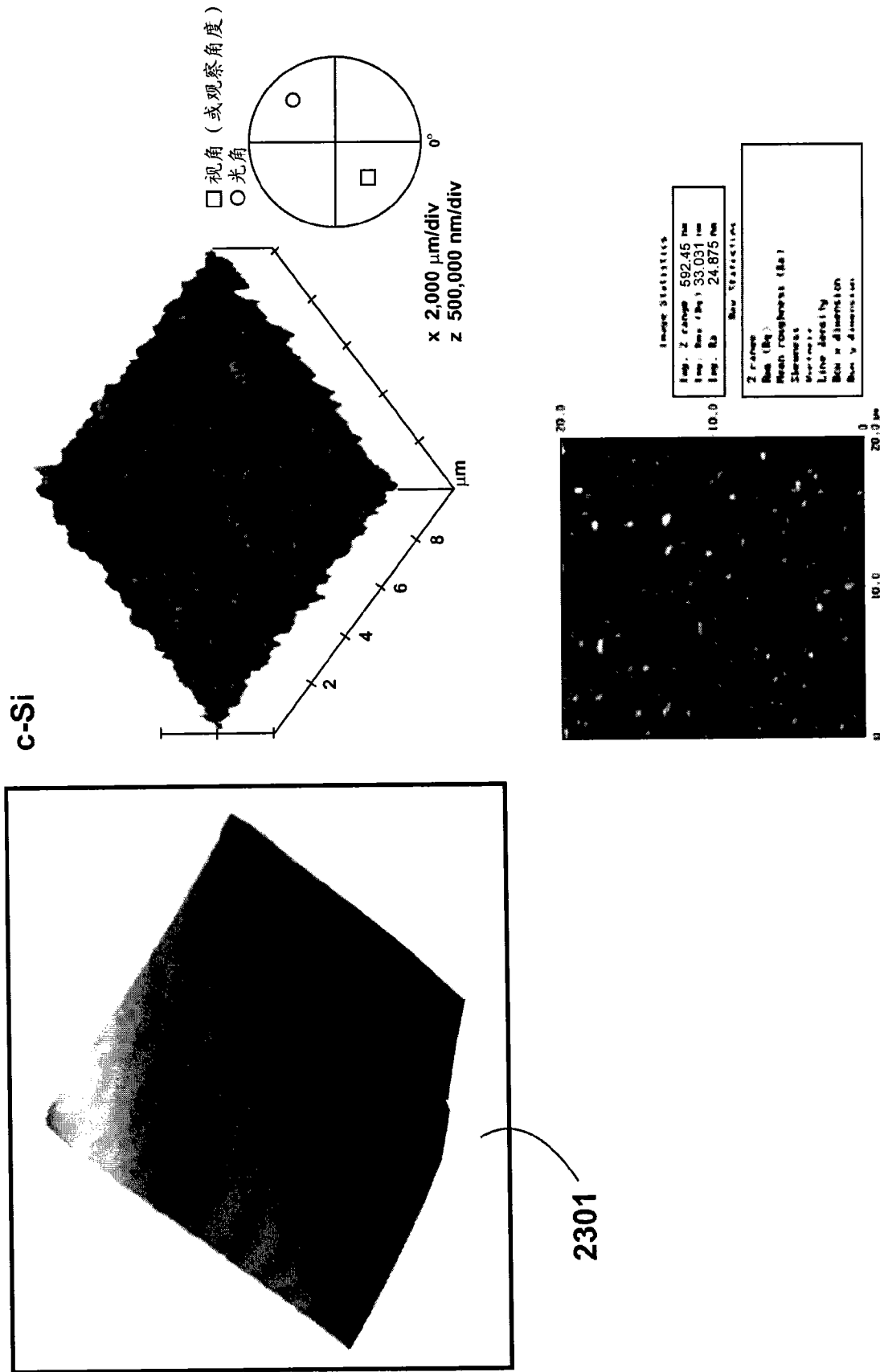
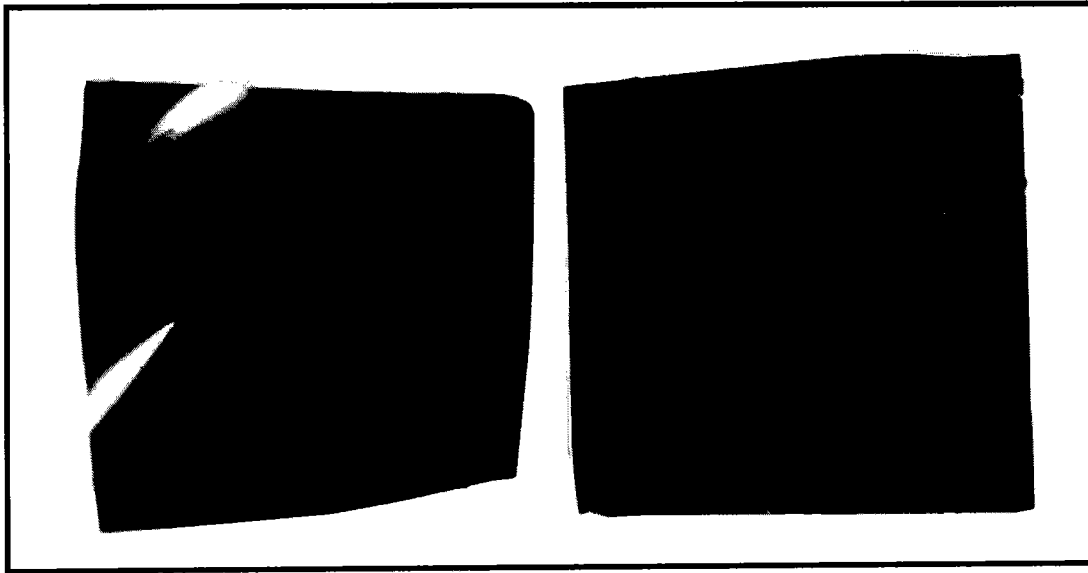


图 23

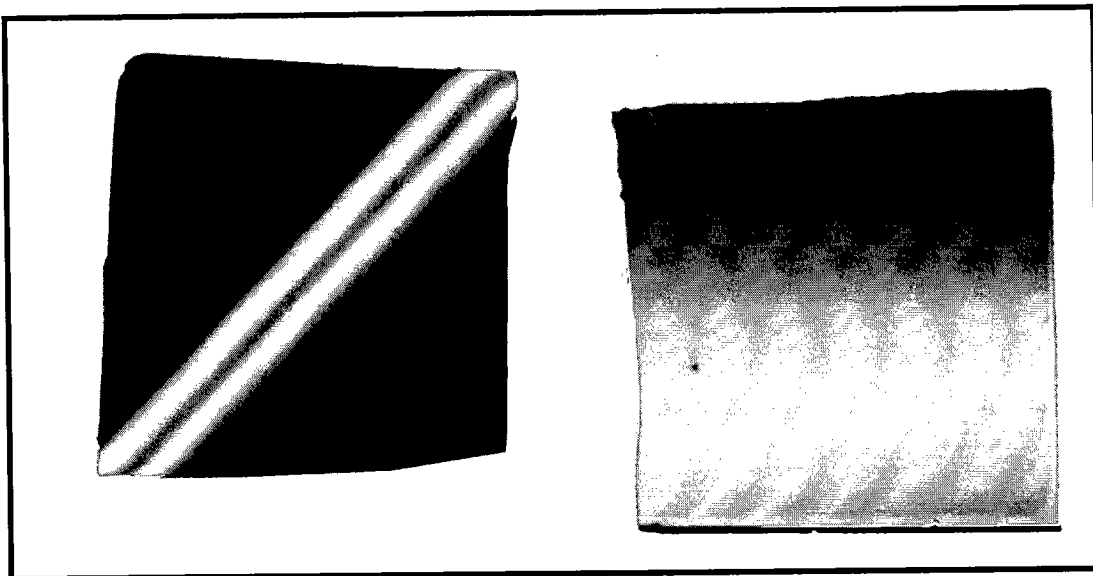


c-Si

15  $\mu\text{m}$   
膜

硅供体

图 24



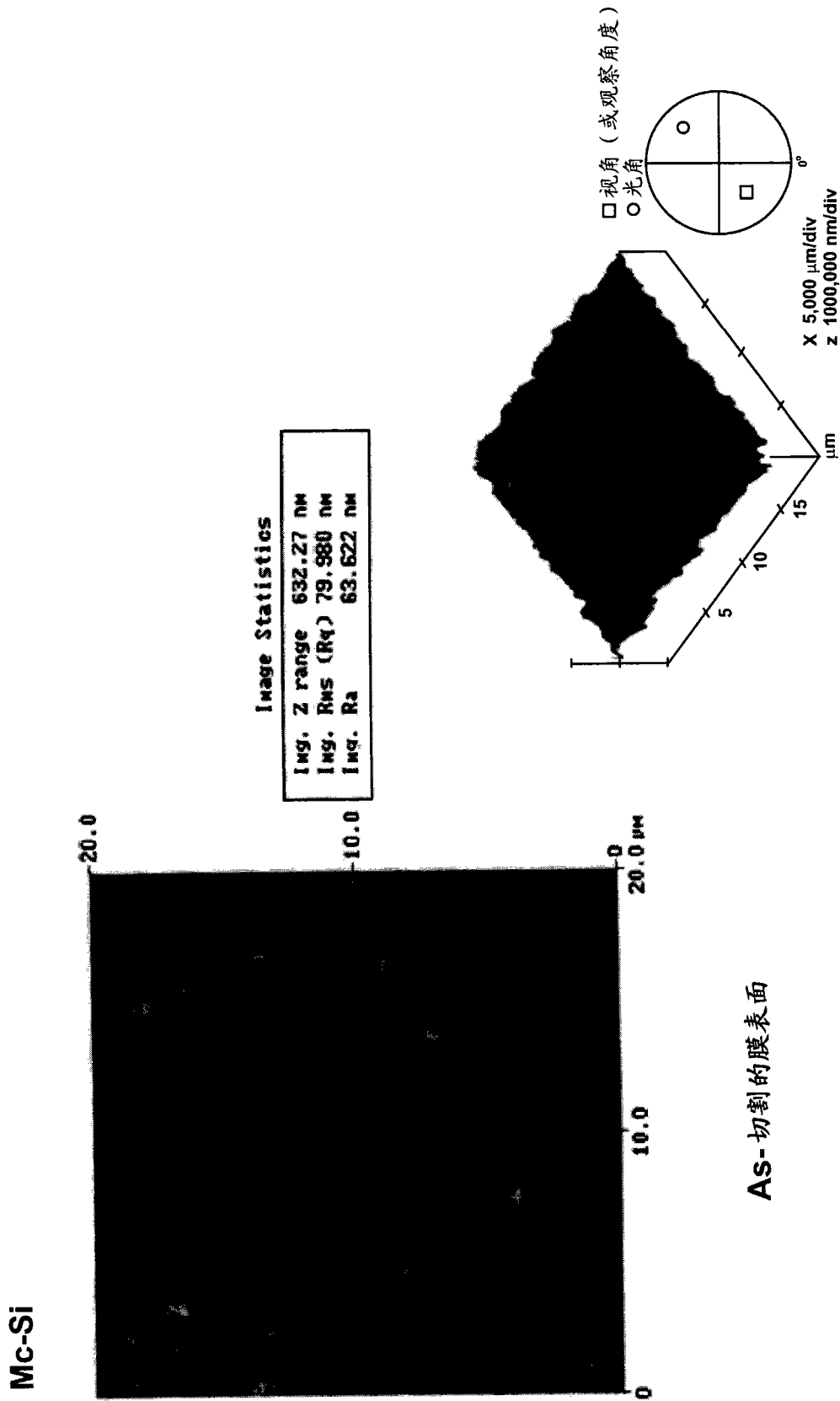


图 25