



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103025926 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 30

(21) 申请号 201180031762. 2

C30B 28/10(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 03. 02

C30B 29/06(2006. 01)

(30) 优先权数据

C30B 29/52(2006. 01)

61/332, 073 2010. 05. 06 US

C30B 29/64(2006. 01)

13/037, 789 2011. 03. 01 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2012. 12. 26

US 4329195 A, 1982. 05. 11, 第 5 栏第 63 行 - 第 7 栏第 2 段, 图 1, 3a.

(86) PCT国际申请的申请数据

WO 2010019695 A2, 2010. 02. 18, 权利要求 2, 说明书第 4 页第 20-31 行, 第 7 页第 1, 4 段.

PCT/US2011/026790 2011. 03. 02

US 4221754 A, 1980. 09. 09, 摘要, 第 2 栏倒数第 3 段, 第 3 栏第 3 段, .

(87) PCT国际申请的公布数据

US 4329195 A, 1982. 05. 11, 第 5 栏第 63 行 - 第 7 栏第 2 段, 图 1, 3a.

W02011/139402 EN 2011. 11. 10

(73) 专利权人 瓦里安半导体设备公司

审查员 王晓燕

地址 美国麻萨诸塞州格洛斯特郡都利路 35 号

(72) 发明人 彼德·L·凯勒曼

葛列格里·D·斯罗森 孙大为

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理

有限公司 11205

代理人 臧建明

(51) Int. Cl.

C30B 15/06(2006. 01)

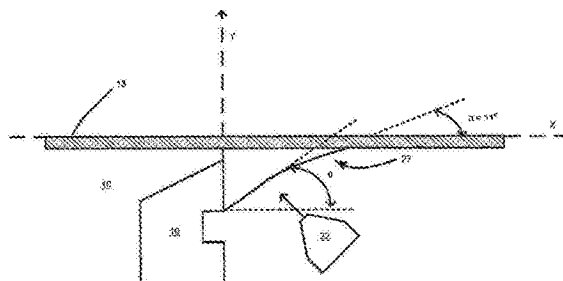
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

使用气体喷嘴从熔化物表面移离板材

(57) 摘要

本发明涉及使用气体喷嘴从熔化物表面移离板材。在一个实施例中, 一种板材制造装置包括设置为可容纳一种材料的熔化物的容器。冷却板紧邻熔化物安置且设置为可在熔化物上形成所述材料的板材。第一气体喷嘴设置为可将气体导向容器边缘。水平移动位于熔化物表面上的材料板材且自熔化物移离板材。第一气体喷嘴可导向弯液面且可稳定所述弯液面或提高弯液面内的局部压力。



1. 一种板材制造装置,包括:
容器,设置为用以容纳材料的熔化物;
冷却板,紧邻所述熔化物安置,所述冷却板设置为用以形成所述材料的板材,所述板材水平卧于紧邻所述冷却板的所述熔化物上;
压力单元,环绕所述板材,所述熔化物的弯液面至少部分地含于所述压力单元内,所述压力单元内的压力大于大气压;以及
第一气体喷嘴,位于所述压力单元内,设置为用以在所述容器外将气体导向所述容器的边缘与所述板材的下方之间的所述弯液面。
2. 根据权利要求 1 所述的板材制造装置,还包括设置为用以使所述熔化物流动的泵。
3. 根据权利要求 2 所述的板材制造装置,其中所述熔化物设置为用以在所述容器内循环。
4. 根据权利要求 1 所述的板材制造装置,还包括设置为用以将所述气体导向所述容器的所述边缘的第二气体喷嘴,所述第二气体喷嘴安置于所述第一气体喷嘴的对面。
5. 根据权利要求 1 所述的板材制造装置,还包括邻接所述第一气体喷嘴所安置的支撑台,所述支撑台设置为用以支撑所述板材。
6. 根据权利要求 1 所述的板材制造装置,其中所述材料为硅或硅与锗。
7. 根据权利要求 1 所述的板材制造装置,其中所述板材与所述熔化物在所述容器的所述边缘分离且在所述熔化物中形成弯液面,且其中所述第一气体喷嘴将所述气体导向所述弯液面。
8. 一种制造板材的方法,包括:
水平移动容器内的一种材料的熔化物表面上的所述材料的板材;
使所述熔化物的弯液面至少部分地含于压力单元内,其中所述弯液面形成在容器的边缘与所述板材的下方之间;
自所述压力单元内的第一气体喷嘴引导气体至所述弯液面处;以及
自所述熔化物移离所述板材,其中所述压力单元内的压力大于大气压。
9. 根据权利要求 8 所述的制造板材的方法,其中所述引导设置为用以提高所述弯液面的所述熔化物内的局部压力。
10. 根据权利要求 8 所述的制造板材的方法,其中所述板材与所述熔化物以相等速度移动。
11. 根据权利要求 8 所述的制造板材的方法,还包括自第二气体喷嘴引导所述气体,藉此平衡自所述第一气体喷嘴引导所述气体所引起的力。
12. 根据权利要求 8 所述的制造板材的方法,其中所述材料为硅或硅与锗。
13. 根据权利要求 8 所述的制造板材的方法,其中所述气体具有设置为用以稳定所述弯液面的压力。
14. 根据权利要求 8 所述的制造板材的方法,其中所述移离包括在溢道将所述板材与所述熔化物分离。
15. 一种形成板材的方法,包括:
将晶种施加于容器内的一种材料的熔化物;
使所述熔化物的弯液面至少部分地含于压力单元内,其中所述弯液面形成在容器的边

缘与所述晶种的下方之间；

自所述压力单元内的第一气体喷嘴引导气体至所述弯液面处；

凝固所述熔化物的一部分以形成所述材料的板材，所述板材水平卧于所述熔化物的表面上；以及

自所述熔化物移离所述板材，其中所述压力单元内的压力大于大气压。

16. 根据权利要求 15 所述的形成板材的方法，还包括使所述板材与所述熔化物以相等速度流动。

17. 根据权利要求 15 所述的形成板材的方法，其中所述材料为硅或硅与锗。

18. 根据权利要求 15 所述的形成板材的方法，其中所述气体具有设置为用以稳定所述弯液面的压力。

19. 根据权利要求 15 所述的形成板材的方法，其中所述移离包含在溢道将所述板材与所述熔化物分离。

20. 根据权利要求 15 所述的形成板材的方法，其中所述引导设置为用以提高所述弯液面的所述熔化物内的局部压力。

使用气体喷嘴从熔化物表面移离板材

技术领域

[0001] 本发明涉及自熔化物形成板材,更特定地说,涉及自熔化物移离板材。

背景技术

[0002] 硅晶圆或板材可用于例如积体电路或太阳能电池行业中。随着对再生性能源的需求提高,对太阳能电池的需求持续提高。大部分太阳能电池是利用硅晶圆(诸如单晶硅晶圆)制得。目前,晶态硅太阳能电池的主要成本在于制造太阳能电池可用的晶圆。太阳能电池的效率或在标准照明下所产生的功率量部分地受到所述晶圆的品质限制。随着对太阳能电池的需求提高,太阳能电池行业的一个目标在于降低成本/功率比。在不降低品质的情况下晶圆制造成本的任何降低均将降低成本/功率比,且能够使所述清洁能源技术得到更广泛的使用。

[0003] 最高效率硅太阳能电池可具有大于20%的效率。这些太阳能电池是使用电子级单晶硅晶圆制造。所述晶圆可通过将使用柴氏方法(Czochralski method)生长的单晶硅圆柱形晶块切割成薄片来制造。这些薄片的厚度可小于200 μm 。为维持单晶生长,晶块必须自含有熔化物的坩埚缓慢生长,诸如小于10 $\mu\text{m/s}$ 。随后的切割过程引起每个晶圆约200 μm 切割口损失,或因切割刀宽度所致的损失。圆柱形晶块或晶圆亦可能需要划分为方形以制造方形太阳能电池。划分方形与切割口损失均引起材料浪费及材料成本提高。因为太阳能电池变得较薄,所以每次切割的硅废料百分比提高。切锭技术(ingot slicing technology)的限制可能阻碍获得较薄太阳能电池的能力。

[0004] 其他太阳能电池是使用自多晶硅锭所切割成的晶圆来制造。多晶硅锭可比单晶硅生长得更快。然而,所得晶圆的品质因存在较多缺陷及晶界而降低,且所述较低品质引起太阳能电池效率降低。多晶硅锭的切割过程同单晶硅锭或晶块一样效率低。

[0005] 又一解决方案为自熔化物垂直拉起薄硅带,接着使拉起的硅冷却且固化成板材。所述方法的拉速可限于小于约18毫米/分钟。在硅冷却及固化期间所移离的潜热必须沿垂直硅带移离。由此沿硅带产生较大温度梯度。所述温度梯度对晶态硅带产生应力,且会产生不良品质的多晶粒硅。硅带的宽度及厚度亦可能因所述温度梯度而受限制。举例而言,宽度可能限于小于80mm,且厚度可能限于180 μm 。

[0006] 自熔化物水平制造板材的成本可小于自晶锭所切的硅,且可消除切割口损失或因划分方形所致的损失。自熔化物水平制得的板材的成本亦可小于自熔化物垂直拉起的硅带。此外,与自熔化物垂直拉起或以一定角度拉起的硅带相比,自熔化物水平制得的板材可改良板材的晶体品质。晶体生长方法,诸如可降低材料成本的所述方法,为降低硅太阳能电池成本的主要可行步骤。

[0007] 已测试自熔化物物理拉出的水平硅带。在一种方法中,将附着于棒的晶种插入熔化物中且在坩埚边缘上方以低角度拉起棒及所得板材。对角度、表面张力及熔化高度进行平衡,以防止熔化物溢出坩埚。然而,难以启动及控制所述拉出过程。第一,使坩埚边缘所形成的弯液面(meniscus)的重力与表面张力平衡的倾角可能难以调节。第二,若冷却板靠

近板材与熔化物之间的分离点,则沿硅带的温度梯度可能在所述分离点引起晶体错位。第三,熔化物上方的板材倾斜可能在凝固端产生应力。所述凝固端可能为板材最薄且最脆而因此会出现板材错位或断裂之处。第四,可能需要复杂拉出装置以获得低角度。

[0008] 板材必须在不使熔化物溢出的情况下自熔化物表面移离。因此,板材下侧与熔化物之间的弯液面必须保持稳定或附着于容器。之前,已降低位于弯液面熔化物一侧的压力,以维持弯液面稳定性。在一个实例中,低角度硅板材 (low angle silicon sheet, LASS) 方法是使板材以小角度倾斜且在熔化物上拉起。由此在熔化物中产生负压 (相对于大气压) 且提供横越弯液面的压力。在另一实例中,熔化物会溢出溢道 (spillway) 边缘。溢道颈部的流体降落可在熔化物中提供负压以稳定弯液面。然而,此项技术中需要一种自熔化物移离板材的方法,更特定地说,以局部压力自熔化物移离板材的改良方法。

发明内容

[0009] 根据本发明的第一方面,提供一种板材制造装置。此装置包括设置为可容纳一种材料的熔化物的容器。冷却板紧邻熔化物安置,且设置为可形成水平卧于紧邻冷却板的熔化物上的所述材料的板材。第一气体喷嘴设置为可将气体导向容器边缘。

[0010] 根据本发明的第二方面,提供一种板材制造方法。此方法包括水平移动一种材料的熔化物表面上的所述材料的板材。自第一气体喷嘴将气体导向熔化物的弯液面,且自熔化物移离板材。

[0011] 根据本发明的第三方面,提供一种形成板材的方法。此方法包含将晶种施加于一种材料的熔化物中。自第一气体喷嘴将气体导向针对晶种所形成的熔化物的弯液面。凝固熔化物的一部分,以形成水平卧于熔化物表面上的所述材料的板材。自熔化物移离板材。

附图说明

[0012] 为更好地了解本发明,参考附图,附图并入本案供参考,并且其中:

[0013] 图 1 为将板材与熔化物分离的装置的实施例的横截面侧视图;

[0014] 图 2 为将板材与熔化物分离的装置的第二实施例的截面侧视图;

[0015] 图 3 为 LASS 的稳定弯液面的横截面侧视图;

[0016] 图 4 为使用气体冲击法稳定弯液面的实施例的横截面侧视图;

[0017] 图 5 为说明气体喷嘴所产生的压力分布的横截面图;

[0018] 图 6 为使用溢道、使用气体冲击法稳定弯液面的实施例的横截面图;

[0019] 图 7 为板材形成中的气体喷嘴的第一实施例的横截面侧视图;

[0020] 图 8 为板材形成中的气体喷嘴的第二实施例的横截面侧视图;

[0021] 图 9 为板材形成中的气体喷嘴的第三实施例的横截面侧视图;

[0022] 图 10A-D 说明气体喷嘴的稳定作用使种晶可行;和。

[0023] 图 11 为气体喷嘴的实施例的横截面图。

具体实施方式

[0024] 配合太阳能电池来描述本文中的装置及方法的实施例。然而,这些实施例亦可用以制造例如积体电路、平面面板 (flat panel)、LED 或本领域技术人员已知的其他基板。此

外,尽管熔化物在本文中经描述为硅,但熔化物可含有锗、硅及锗、镓、氮化镓、其他半导体材料或本领域技术人员已知的其他材料。因此,本发明不限于下述特定实施例。

[0025] 图 1 为将板材与熔化物分离的装置的实施例的横截面侧视图。板材形成装置 21 具有容器 16。容器 16 可为例如钨、氮化硼、氮化铝、钼、石墨、碳化硅或石英。容器 16 设置为可含有熔化物 10。所述熔化物 10 可为硅。板材 13 将在熔化物 10 上形成。在一种情况下,板材 13 将至少部分浮动于熔化物 10 内。尽管板材 13 在图 1 中说明为浮于熔化物 10 中,但板材 13 可至少部分地浸没于熔化物 10 中或可浮在熔化物 10 顶部上。板材 13 定位的深度部分地依据板材 13 与熔化物 10 的相对密度。在一种情况下,板材 13 中仅 10% 自熔化物 10 顶部上方突出。熔化物 10 可在板材形成装置 21 内循环。

[0026] 所述容器 16 界定至少一个通道 17。所述通道 17 设置为可容纳熔化物 10,且熔化物 10 自通道 17 的第一点 18 流至第二点 19。熔化物 10 可因例如压差、重力、泵或其他传输方法而流动。接着,熔化物 10 溢出溢道 12。所述溢道 12 可为坡道、堰、凸缘、小挡板或拐角,且不限于图 1 中所说明的实施例。溢道 12 可为容许板材 13 与熔化物 10 分离的任何形状。

[0027] 在一个特定实施例中,容器 16 可维持在稍高于约 1685K 的温度下。对于硅,1685K 表示凝固温度或界面温度。通过维持容器 16 的温度稍高于熔化物 10 的凝固温度,冷却板 14 可使用辐射冷却来发挥功能,以获得熔化物 10 之上或之中的板材 13 的所需凝固速率。所述特定实施例中的冷却板 14 是由单一节段或区段构成,但亦可包含多个节段或区段。可加热通道 17 的底部高于熔化物 10 的熔融温度,以使位于界面处的熔化物 10 中产生小的垂直温度梯度,以防止在板材 13 上发生组成过冷 (constitutional supercooling) 或形成树枝状结晶或分支性突出。然而,容器 16 可具有高于熔化物 10 的熔融温度的任何温度。此举防止熔化物 10 在容器 16 上固化。

[0028] 可通过将板材形成装置 21 至少部分或完全封闭于外壳内,以使板材形成装置 21 维持在稍高于熔化物 10 的凝固温度的温度下。若外壳将板材形成装置 21 维持在高于熔化物 10 的凝固温度的温度下,则可避免或降低加热板材形成装置 21 的需要,且外壳中或外壳周围的加热器可补偿任何热损失。此外壳可因各向异性传导率而为等温的。在另一特定实施例中,加热器不安置于外壳上或外壳中,而是安置于板材形成装置 21 中。在一种情况下,可通过将加热器插入容器 16 内及使用多区温度控制,将容器 16 的不同区域加热至不同温度。

[0029] 外壳可控制板材形成装置 21 所安置的环境。在一个特定实施例中,外壳含有惰性气体。所述惰性气体可维持在熔化物 10 的凝固温度以上。惰性气体可减少溶质添加至熔化物 10 中,向熔化物 10 中添加溶质会在板材 13 形成期间引起组成不稳定。

[0030] 冷却板 14 可除去热,使板材 13 能够在熔化物 10 上形成。当冷却板 14 的温度降低至熔化物 10 的凝固温度以下时,冷却板 14 可使板材 13 凝固于熔化物 10 之上或之中。所述冷却板 14 可使用辐射冷却,且可由例如石墨、石英或碳化硅制造。在板材 13 形成的同时可减少熔化物 10 的干扰,以防止在板材 13 中产生瑕疵。冷却熔化物 10 表面上的板材 13 或浮在熔化物 10 上的板材 13 可缓慢且大面积地移离熔融潜热,同时具有相对较大的板材 13 萃取速率 (extraction rate)。

[0031] 在熔化物 10 上形成板材 13 之后,使用溢道 12 将板材 13 与熔化物 10 分离。熔化

物 10 自通道 17 的第一点 18 流至第二点 19。板材 13 将随熔化物 10 一起流动。板材 13 的所述传输可为连续动作。在一种情况下,板材 13 的流速可与熔化物 10 的流速大约相同。因此,板材 13 可以相对于熔化物 10 的静止状态形成及传输。可改变溢道 12 的形状或溢道 12 的取向 (orientation),以改变熔化物 10 或板材 13 的速度分布。

[0032] 熔化物 10 在溢道 12 处与板材 13 分离。在一个实施例中,熔化物 10 的流动使熔化物 10 传输越过溢道 12,且可使板材 13 至少部分地传输越过溢道 12。因为无外部应力施加于板材 13,所以此举可将板材 13 断裂减到最小或防止板材 13 断裂。当然,亦可拉出板材 13 或对其施加一些外力。在所述特定实施例中,熔化物 10 将溢出溢道 12 而远离板材 13。冷却可不应用于溢道 12,以防止对板材 13 产生热震 (thermal shock)。在一个实施例中,溢道 12 处的分离是在近似等温 (near-isothermal) 的条件下发生。在一个实施例中,板材 13 可能倾向于直行越过溢道 12。在一些情况下,所述板材 13 可能在越过溢道 12 之后得到支撑以防止断裂。

[0033] 当然,可利用冷却板 14 的整个长度上的不同冷却温度、熔化物 10 的不同流动速率或板材 13 的拉速、板材形成装置 21 的各种区段的长度或板材形成装置 21 内的时序进行过程控制。若熔化物 10 为硅,则板材 13 可为使用板材形成装置 21 所形成的多晶或单晶板材。图 1 仅为可利用熔化物 10 形成板材 13 的板材形成装置的一个实例。可存在水平板材 13 生长的其他装置或方法。本文所述的实施例可应用于任何水平板材 13 生长方法或装置。因此,本文所述的实施例不仅仅限于图 1 的特定实施例。举例而言,图 2 为将板材与熔化物分离的装置的第二实施例的横截面侧视图。在板材形成装置 31 中,容器 16 含有熔化物 10。板材 13 在通过冷却板 14 形成之后自熔化物 10 拉出。尽管在图 2 中呈水平状态,但板材 13 亦可相对于熔化物 10 呈一定角度。在图 1 至图 2 的实施例中,熔化物 10 可围绕板材形成装置 21 或板材形成装置 31 (诸如围绕板材形成装置 21 或板材形成装置 31 的各侧) 循环。当然,在部分或所有的板材 13 形成过程中,熔化物 10 亦可为不动的。

[0034] 当液体与气体接触时,形成弯液面界面。所述界面遵循杨-拉普拉斯方程 (Young-Laplace Equation)。在二维中,其采取以下形式:

$$[0035] \quad \Delta P = \frac{\sigma}{R}$$

$$[0036] \quad \frac{1}{R(x)} = \frac{\left| \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|}{\left(1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right)^{3/2}}$$

[0037] 其中 ΔP 为横越界面的压差, σ 为液体表面张力,且 R 为表面曲率半径。

[0038] 图 3 为 LASS 的稳定弯液面的横截面侧视图。就图 3 的坐标系而言,曲率半径可以描述弯液面的直线的一阶及二阶导数表示。图 3 中横越弯液面 27 的压差是由重力所致的熔化物 10 液体中的液体静压力 (ρgy) 引起。因此,杨-拉普拉斯方程变成二阶微分方程:

$$[0039] \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\frac{1}{\sigma} (\rho gy(x)) \left(1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right)^{3/2}$$

[0040] 图 3 中所说明的弯液面 27 的凹面形状是由相对于大气压 (P_{atmos}) 的负压 (P_i) 提供。所述凹面形状如下形成:提起板材 13 且使其相对于 X 轴呈斜角,以使板材 13 在容器 16

的壁缘处的高度提升,同时板材 13 的冻结锋面 (freezing front) 降低至熔化物 10 高度。在图 3 中, α 表示弯液面 27 中的熔化物 10 与板材 13 之间的接触角,且 θ 表示弯液面 27 中的熔化物 10 与容器 16 之间的接触角。熔化物 10 由硅构成且容器 16 由石英构成时, θ 为约 87° 。这些角可基于材料而变。尽管熔化物 10 液面可位于图 3 中的 x 轴,但熔化物 10 液面可位于相对于容器 16 的其他处。

[0041] 气体喷嘴可通过提高熔化物的局部压力而用以稳定弯液面。举例而言,可提高位于弯液面气体侧的局部压力。使用本文所述的实施例稳定弯液面与任何熔化物流动方式无关,因此晶体预置 (crystal initiation) 可发生于熔化物开始流动之前,从而在使用熔化物流动的系统中简化种晶。可使用本文所述的实施例使板材水平生长,从而消除生长速率 (亦即移热) 相对于一定角度下的拉速的复杂平衡。板材生长可位于与熔化物发生分离的容器边缘的上游。

[0042] 图 4 为使用气体冲击法稳定弯液面的实施例的横截面侧视图。在此实施例中,水平拉出板材 13。容器 16 的壁低于熔化物 10 表面高度,在此情况下,其位于 x 轴与 y 轴的相交处或板材 13 所定位处。通过在板材 13 下形成弯液面 27 防止熔化物 10 溢出。当然,尽管未说明,但熔化物 10 仍可循环越过容器 16 的边缘 (诸如使用图 1 中所说明的溢道 12), 且仍形成弯液面 27,如图 6 中说明。返回图 4,维持拱形弯液面 27 的压差是由弯液面 27 下的气体喷嘴 22 提供,其向弯液面 27 或容器 16 的边缘倾斜,如背离气体喷嘴 22 的箭头所指示。在此情况下,杨-拉普拉斯方程采取以下形式:

$$[0043] \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{\sigma} \left(-\rho g y(x) - P_{jet}(x, y) \right) \left(1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right)^{3/2}$$

[0044] 在此情况下,杨-拉普拉斯方程为需要两个边界条件的二阶微分方程。在图 3 至图 4 的实施例中,弯液面 27 固定于容器 16 的壁,因此其位置固定于 $x = 0$ 。在弯液面与板材 13 连接处的弯液面另一端,弯液面 27 未固定且与板材 13 所形成的角是由固体、液体及气体之间的表面能决定。固体硅板材 13 与其熔化物 10 接触时,接触角 α 可在约 0° 与 11° 之间。若指定 y_0 位于 $x = 0$ 处,则弯液面 27 与板材 13 的接触点位置及初始接触角是由微分方程的解来确定。

[0045] 气体喷嘴 22 出口的压力大小视气体流速及容许气体流动的气体喷嘴 22 中的开孔宽度而定。开孔可为例如狭缝喷嘴。压力大小可至少部分地使用动量守恒估算。因此,在气体自弯液面 27 弹回的止流点,压力将为:

$$[0046] \quad P = \frac{1}{2} \rho_g u_g^2 = \frac{1}{2} \rho_g \left(\frac{Q_g}{A} \right)^2$$

[0047] 其中 ρ_g 、 u_g 及 Q_g 分别为气体密度、速度及体积流量。以下实例计算经由 0.5mm 宽的气体喷嘴 22 的开孔在弯液面 27 获得 40Pa 压力所需的氩气流速。氩气在熔化物 10 的温度 (对于硅为 1412°C) 下的密度为 0.32kg/m^3 。

$$[0048] \quad u_g = \left(\frac{2 \cdot 40\text{Pa}}{0.32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right)^{1/2} = 15.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

[0049]

$$\frac{Q_g}{L} = u_g \cdot \text{间距} = 15.8 \frac{m}{s} \cdot 5mm = \frac{7.9 \frac{l}{s}}{m}$$

[0050] 带宽 20cm 时, $Q_g = 951\text{pm}$

[0051] 本文中所估算的压力仅可存在于气体喷嘴 22 的出口处。压力可沿轴向及横向下。压力分布可近似为椭圆形高斯分布 (elliptical Gaussian)。

[0052]

$$P_{\text{gas}}(x, y) = P_0 e^{-\left(a(x-x_0)^2 + 2b(y-y_0)(x-x_0) + c(y-y_0)^2\right)}$$

$$[0053] \quad a = \frac{\cos^2 \theta}{2\sigma_x^2} + \frac{\sin^2 \theta}{2\sigma_y^2}$$

$$[0054] \quad b = -\frac{\sin 2\theta}{4\sigma_x^2} + \frac{\sin 2\theta}{4\sigma_y^2}$$

$$[0055] \quad c = \frac{\sin^2 \theta}{2\sigma_x^2} + \frac{\cos^2 \theta}{2\sigma_y^2}$$

[0056] 图 5 为说明气体喷嘴所产生的压力分布的横截面图。由此求解上述方程式。在所有情况下, $P_0 = 40\text{Pa}$, $x_0 = 6\text{mm}$ (气体喷嘴 22 的出口处), $y_0 = -4\text{mm}$ (气体喷嘴 22 的出口处), $\sigma_x = 4\text{mm}$, $\sigma_y = 0.8\text{mm}$ 且 $\psi = 45^\circ$, σ_x 及 σ_y 表示气体喷嘴 22 周围压力的椭圆形分布。当弯液面 27 固定于容器 16 时实现弯液面 27 的形状。当 $\alpha = 11^\circ$ 时, 弯液面 27 固定于容器 16 的壁、于板材 13 下方 1mm 处, 且 $\theta = 17^\circ$ 。当 $\alpha = 11^\circ$ 时, 弯液面 27 固定于容器 16 的壁、于板材 13 下方 2mm 处, 且 $\theta = 15.87^\circ$ 。当 $\alpha = 11^\circ$ 时, 弯液面 27 固定于容器 16 的壁、于板材 13 下方 2.5mm 处, 且 $\theta = 10.58^\circ$ 。当 $\alpha = 0^\circ$ 时, 弯液面 27 固定于容器 16 的壁、于板材 13 下方 1mm 处, 且 $\theta = 7.21^\circ$ 。

[0057] 因此, 通过使用气体冲击, 稳定的弯液面 27 可固定于容器 16 的壁、板材 13 下方至少 2.5mm 处, 接触角为约 11° 。即使接触角低至 0° , 仍可在容器 16 的壁下方 1mm 处维持稳定的弯液面 27。气体喷嘴冲击亦可补偿由黏性力引起的任何拖曳。气体喷嘴冲击压力设置为可用以稳定弯液面 27, 或有助于维持弯液面 27 固定于容器 16。

[0058] 图 6 为使用溢道、使用气体冲击法稳定弯液面的实施例的横截面图。熔化物 10 溢出溢道 12。弯液面 27 在熔化物 10 通过溢道 12 时形成。当然, 可存在其他实施例。

[0059] 图 7 为板材形成中的气体喷嘴的第一实施例的横截面侧视图。所述系统具有与支撑台 23 分开的气体喷嘴 22。支撑台 23 不仅可使用空气或一些其他流体的喷嘴支撑板材 13, 而且可使用滚筒或一些其他机构。在此特定实施例中, 使用两个气体喷嘴 22、25, 但可提供更多或更少气体喷嘴。板材 13 下的气体喷嘴 22 稳定弯液面 27, 且可调节位置及角度。板材 13 上方的气体喷嘴 25 平衡气体喷嘴 22 所产生的冲击力的任何垂向分量。在一种情况下, 气体喷嘴 22 与气体喷嘴 25 的流速可近似相等, 但可存在其他流速。气体喷嘴 22 或气体喷嘴 25 可使用氩气、另一种稀有气体、另一种惰性气体或本领域技术人员已知的其他物质。容器 16 可含有特征或槽 24, 其固定熔化物 10 的弯液面 27, 且容许接触角存在较大变化而无滴流。尽管无特征或槽 24 的容器 16 的表面可让弯液面 27 固定于其上, 但在出现滴流之前限制弯液面 27 的角度。举例而言, 此角度可为约 87° 。添加特征或槽 24 使弯液

面 27 能够在出现滴流之前凹陷 (sag) 或与容器 16 表面呈约 177° 的角度。

[0060] 图 8 为板材形成中的气体喷嘴的第二实施例的横截面侧视图。在此实施例中,将气体喷嘴 22 并入支撑台 23 中。在一个替代性实施例中,如图 7 中说明,可在板材 13 上方提供气体喷嘴来平衡垂直冲击力。

[0061] 图 9 为板材形成中的气体喷嘴的第三实施例的横截面侧视图。气体喷嘴 22 为压力单元 26 的一部分。由于在边缘或密封处传导受限,因此在压力单元 26 内存在较高压力 (P_2)。压力单元 26 中的气体如箭头所示流动。在此情况下, P_2 大于大气压 (P_{atmos})。压力单元 26 的顶部浮于底部上方的气体轴承上。底部高度设置为可用以与熔化物 10 的高度匹配。在一种情况下,压力单元 26 与板材 13 之间的间隙或密封的尺度可小于 0.5mm。因为气体喷嘴 22 为压力单元 26 底部的一部分,所以弯液面 27 至少部分地含于此压力单元 26 内。

[0062] 图 10A-D 说明气体喷嘴的稳定作用使种晶可行。本文所揭示的实施例对弯液面的稳定作用与容器 16 内的流动无关。因此,晶体预置可始于熔化物 10 开始流动之前,且简化板材制造过程。在图 10A 中,插入晶种晶圆 (seed wafer) 28。晶种晶圆 28 可为例如厚约 0.7mm、具有所需晶体取向的电子级硅晶圆。晶种晶圆 28 的高度是通过使其搭载于支撑台 23 上来控制,支撑台 23 是依据熔化物 10 的高度来控制晶种晶圆 28 的高度。熔化物 10 可利用例如熔化物 10 中硅的表面张力形成台面 29 或高于容器 16 的壁缘。因此,在晶种晶圆 28 接触熔化物 10 之前,熔化物 10 形成凸形弯液面,如图 10A 中说明。在晶种晶圆 28 接触熔化物 10 之前,可使用气体喷嘴 22、25 稳定所述弯液面。当然,可存在更多或更少气体喷嘴。

[0063] 在图 10B 中,晶种晶圆 28 沿箭头方向移动之后接触熔化物 10。在晶种晶圆 28 下方形成弯液面 27。所述弯液面 27 (其可为凹面) 弥合了容器 16 的壁与晶种晶圆 28 之间的间隙。在晶种晶圆 28 的宽度以外,凸形弯液面 27 仍附着于容器 16 的壁。在台面 29 弯液面与晶种晶圆 28 下方的凹液面 27 之间的过渡处可存在非均一性弯液面。因为过程发生于近似等温的环境中,所以所述非均一性可能将不会影响板材 13 的厚度均一性或品质。

[0064] 图 10C 中,沿箭头方向平移晶种晶圆 28。所述平移可利用位于晶种晶圆 28 一端的滚筒或一些其他机构产生。晶种晶圆 28 是在冷却板 14 下逆着晶种晶圆 28 插入的方向移动。冷却板 14 最初可关闭或处于熔化物 10 的温度下或处于高于熔化物 10 温度的温度下。若冷却板 14 位于弯液面 27 所附着的容器 16 的壁上游某一距离处,则可将弯液面 27 的作用减到最小。当打开冷却板 14 时,靠近晶种晶圆 28 开始凝固。晶种晶圆 28 拉出动作开始,且拉出板材 13。

[0065] 在图 10D 中,使用例如泵使熔化物 10 开始流动。在一个替代性实施例中,熔化物 10 可越过溢道。当熔化物 10 开始流动时,板材 13 的宽度可增大。可调节冷却板 14 的温度及熔化物 10 的流速或板材 13 的移动速度,以获得板材 13 的所需厚度。因此,可获得稳态过程。

[0066] 使用气体喷嘴稳定弯液面具有多种优势。在一种情况下,其可应用于水平板材形成或水平带材生长 (horizontal ribbon growth, HRG) 系统,且可用以避免 LASS。在一个实施例中,可水平拉出板材 13,藉此使晶体形成区域处于弯液面 27 的上游。此举将拉出机构所引起的扰动减到最少,以免在板材 13 形成时影响板材 13。可独立于板材 13 的速度控制熔化物 10 的流速。此举能够简化种晶过程。此外,可减少或防止熔化物 10 溢出。

[0067] 图 11 为气体喷嘴的实施例的横截面图。气体喷嘴 22 具有充气室 32 及开孔 30。气体沿箭头方向流动。充气室 32 大于开孔 30 可确保开孔 30 的整个尺寸上的压力及流速均一。在一个实施例中,开孔 30 宽度大约等于板材(诸如图 4 中的板材 13)宽度。当然,可存在其他尺寸。

[0068] 在本文所揭示的实施例中,气体喷嘴 22 可在特定温度下引导气体。可加热气体以防止弯液面凝固。亦可冷却气体以防止板材融化或另外用以冷却板材。

[0069] 本发明的范畴不限于本文所述的特定实施例。实际上,除本文所述的实施例外,一般本领域技术人员根据前述说明及附图将显而易知本发明的其他各种实施例及对本发明的修改。因此,所述其他实施例及修改视为属于本发明的范畴。此外,尽管本发明已在本文中、在针对特定目的的特定环境中、在特定实施例的情形中加以描述,但一般本领域技术人员将认识到其效用并不限于此且本发明可在针对任何数目的目的的任何数目的环境中有利地实施。因此,应根据如本文所述的本发明的全部范围及精神来解释下述权利要求。

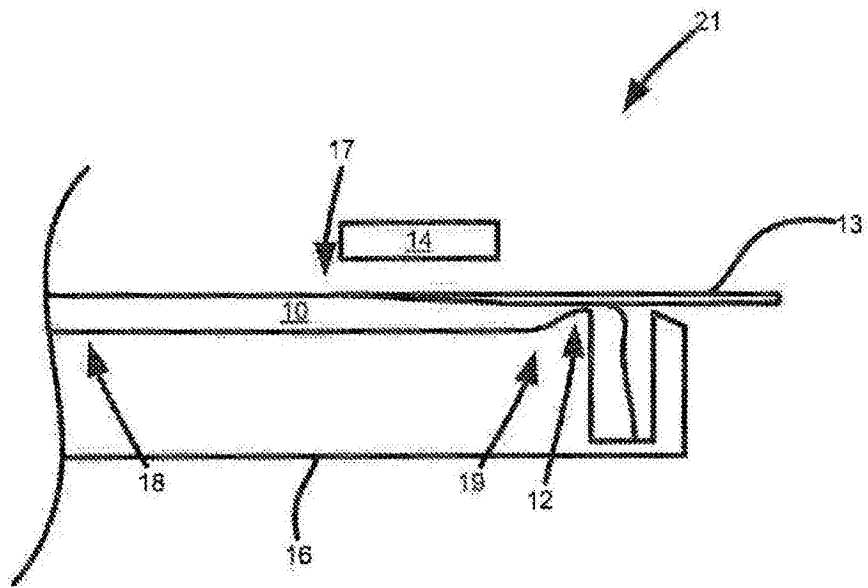


图 1

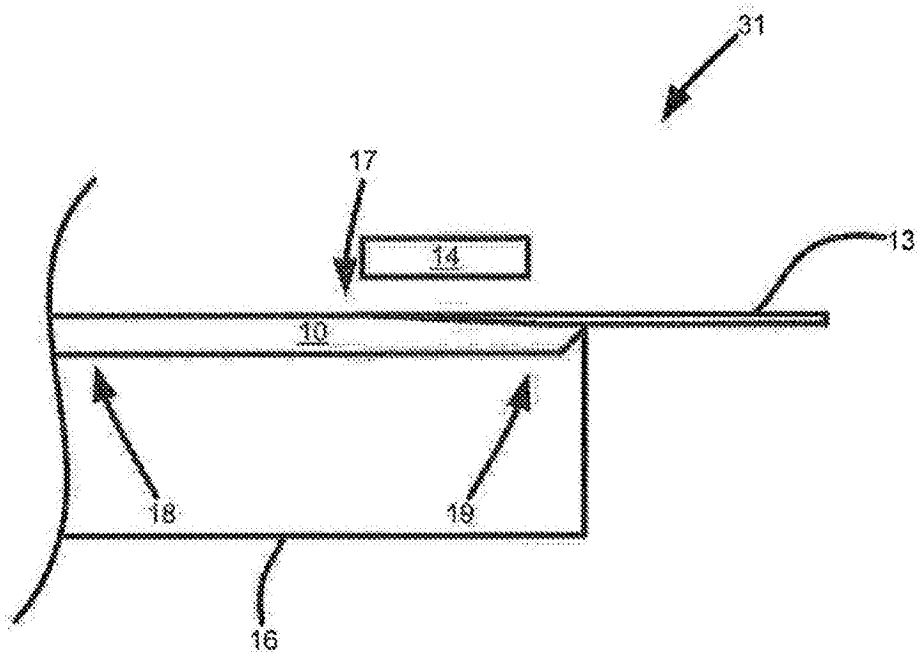


图 2

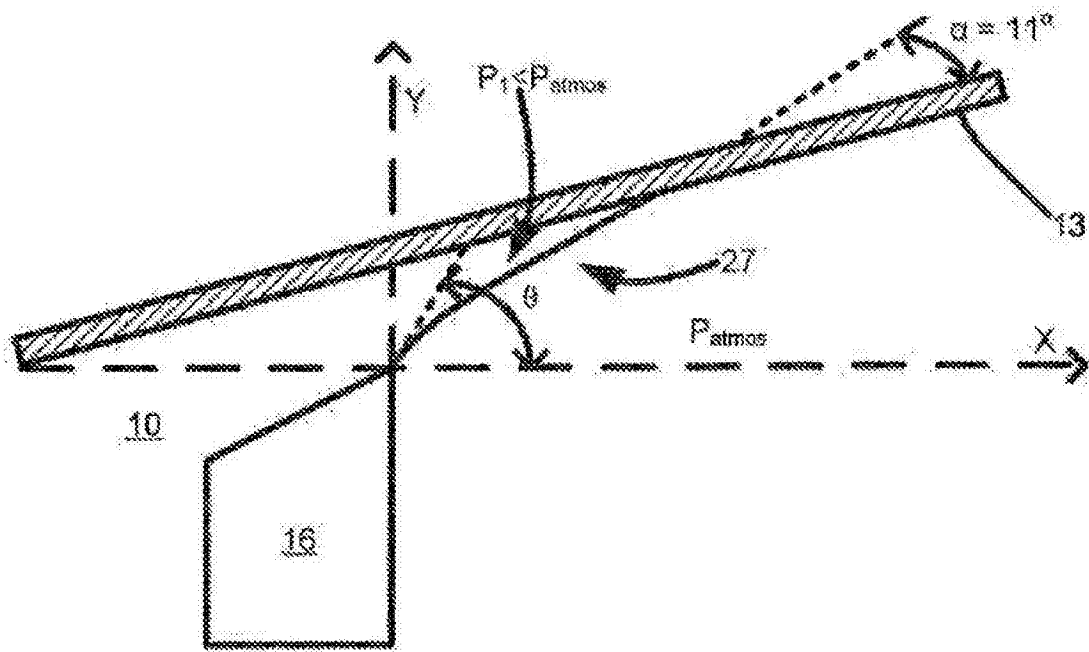


图 3(现有技术)

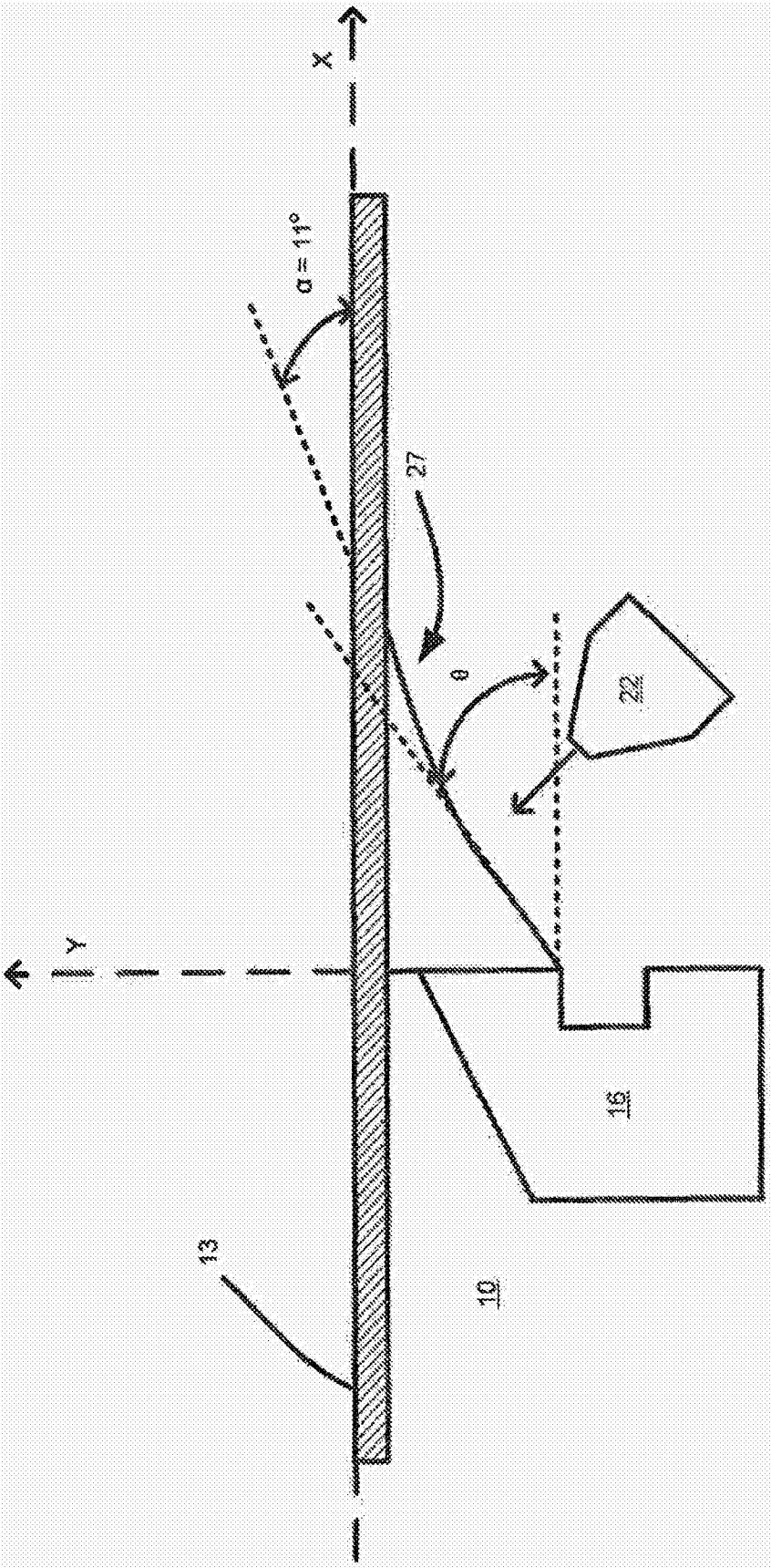


图 4

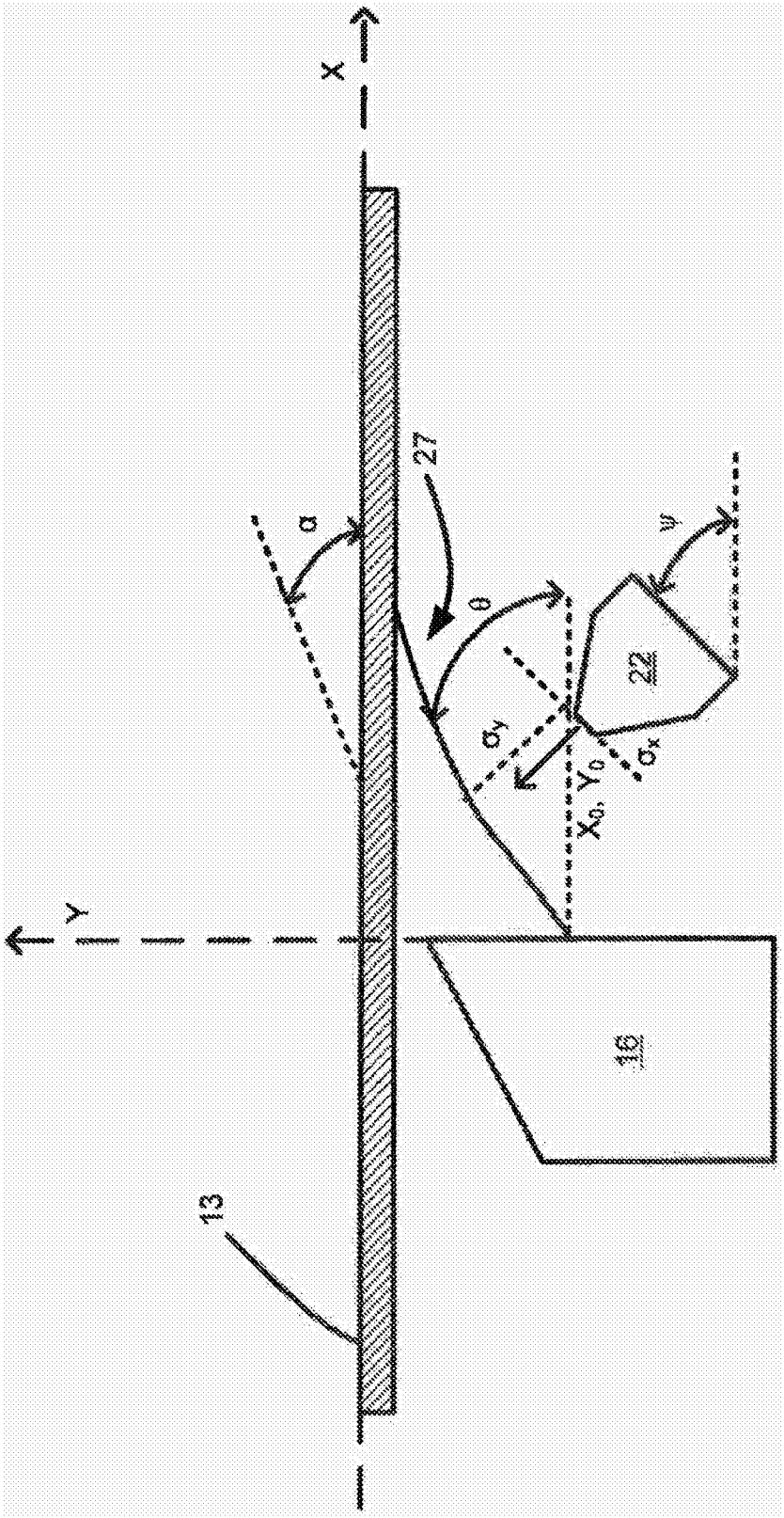


图 5

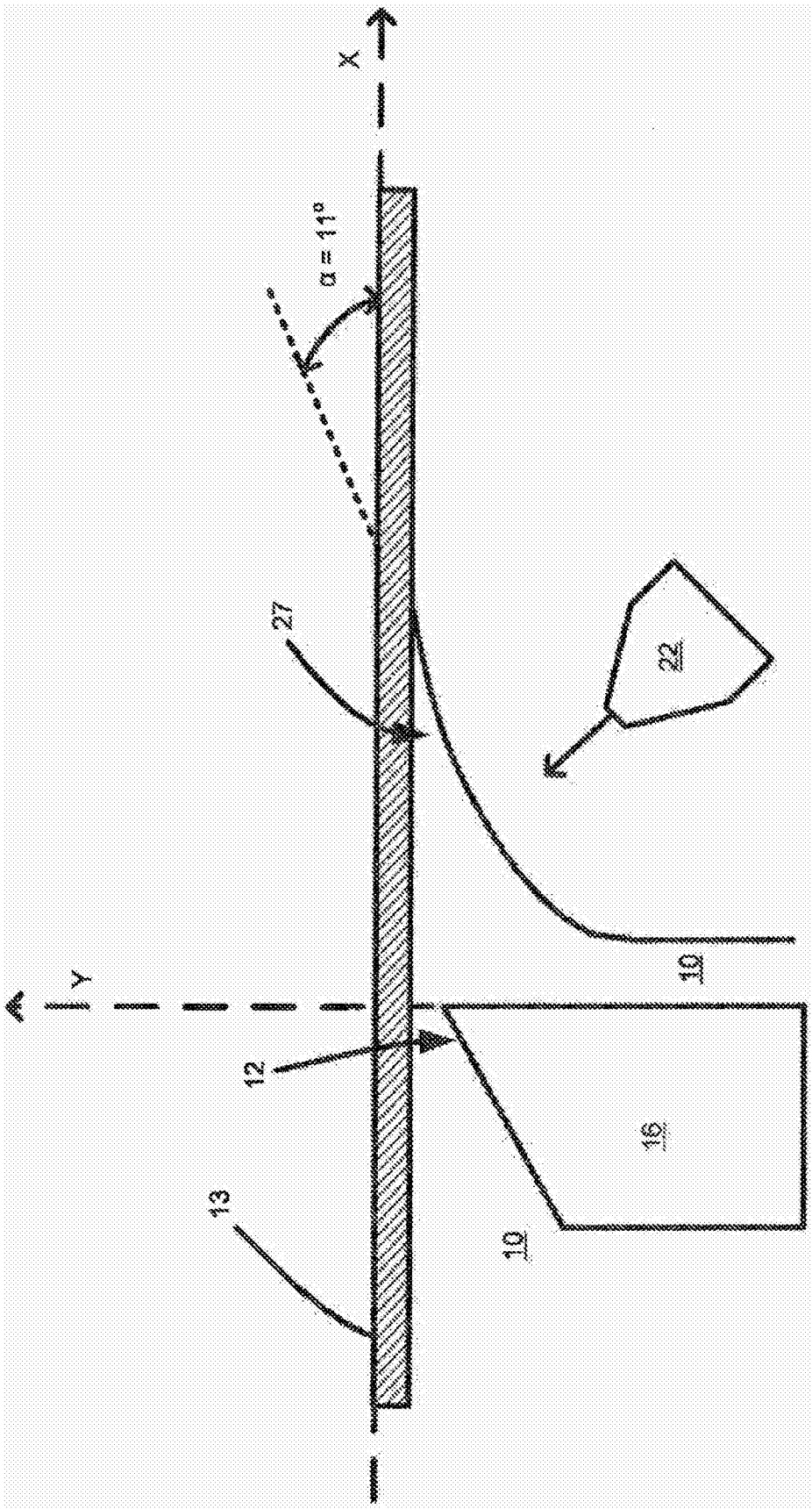


图 6

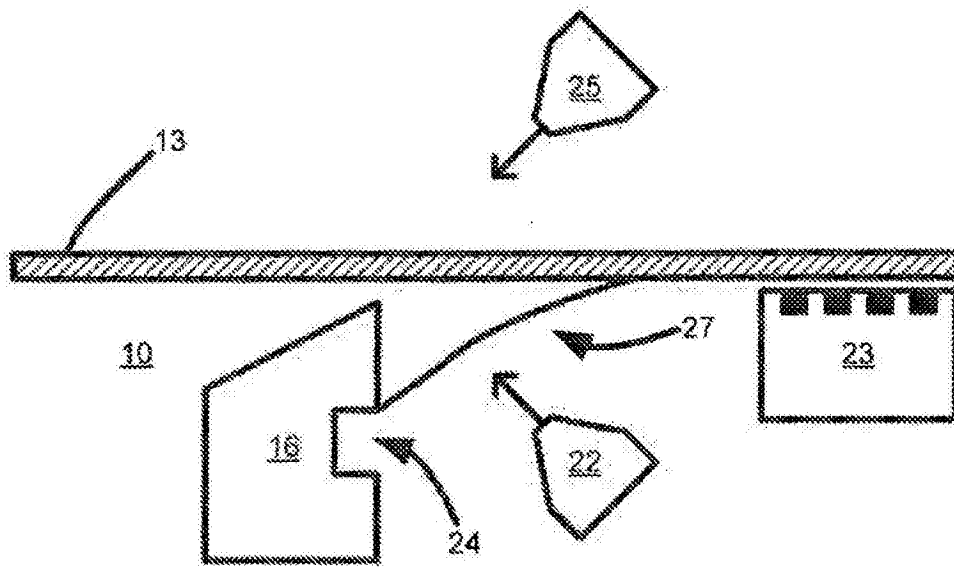


图 7

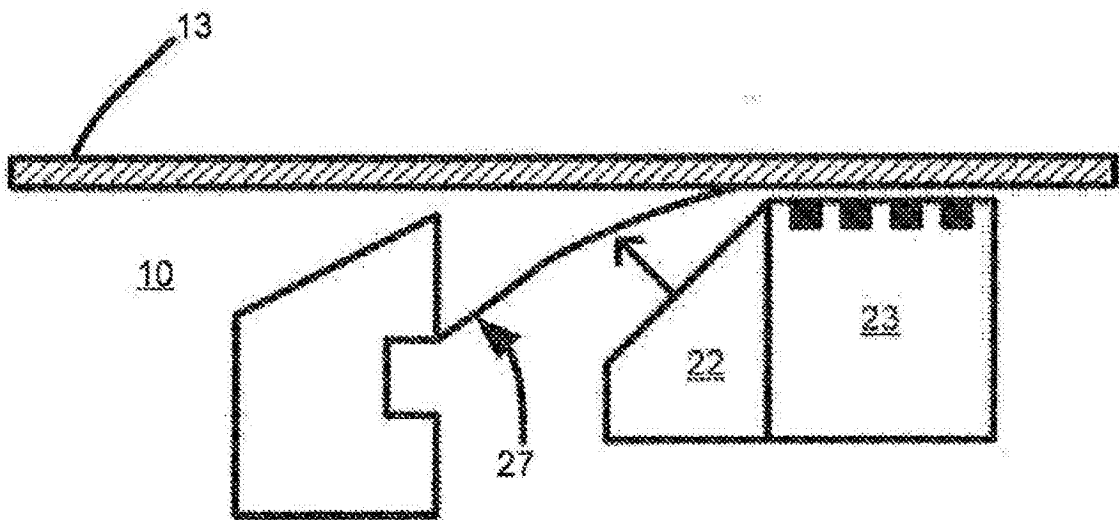


图 8

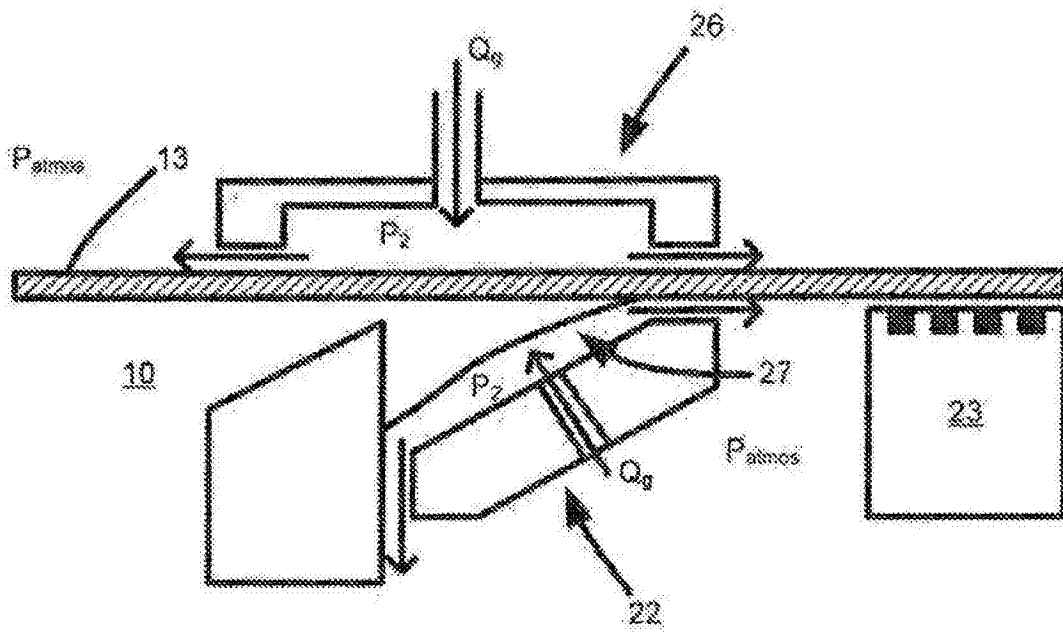


图 9

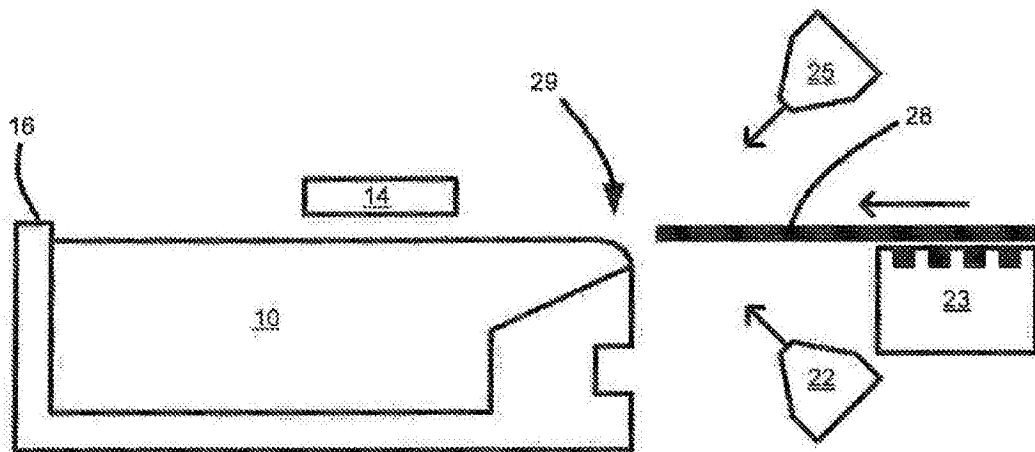


图 10A

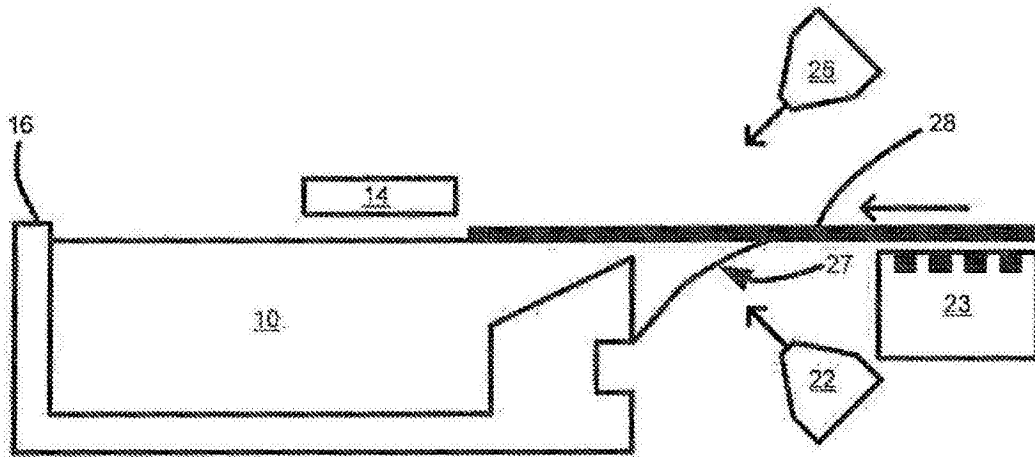


图 10B

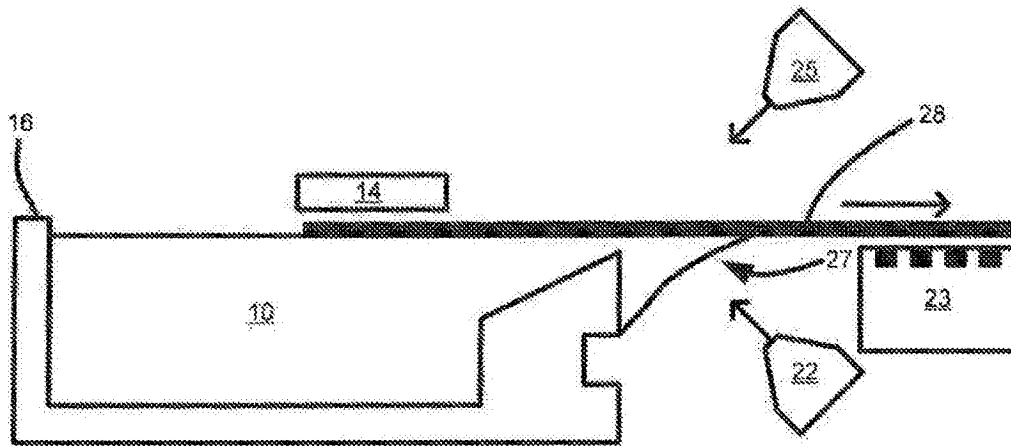


图 10C

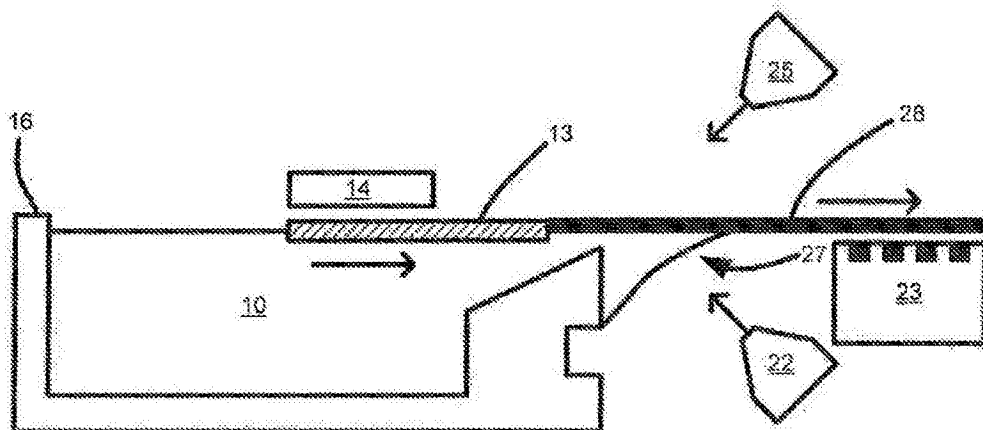


图 10D

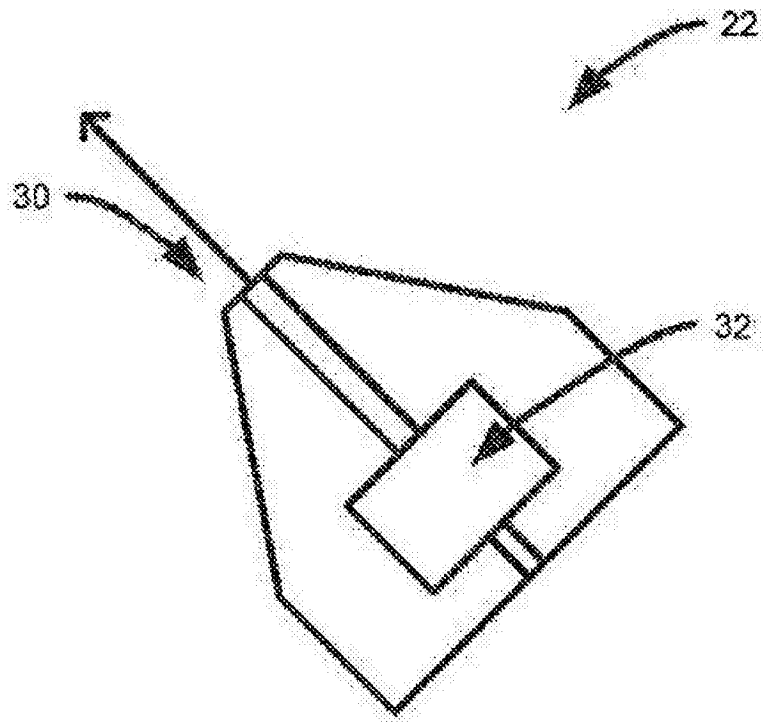


图 11