



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I463043 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：098127282

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 08 月 13 日

(51)Int. Cl. : C30B11/04 (2006.01)

C30B35/00 (2006.01)

(30)優先權：2008/08/15 美國

61/089,289

2009/08/11 美國

12/539,125

(71)申請人：瓦里安半導體設備公司 (美國) VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT
ASSOCIATES, INC. (US)

美國

(72)發明人：凱勒曼 彼德 L KELLERMAN, PETER L. (US)；卡爾森 菲德梨克 CARLSON,
FREDERICK (US)；辛克萊 法蘭克 SINCLAIR, FRANK (US)

(74)代理人：詹銘文；蕭錫清

(56)參考文獻：

CN 101133194A

US 2006/0213589A1

審查人員：吳韶淳

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：11 共 34 頁

(54)名稱

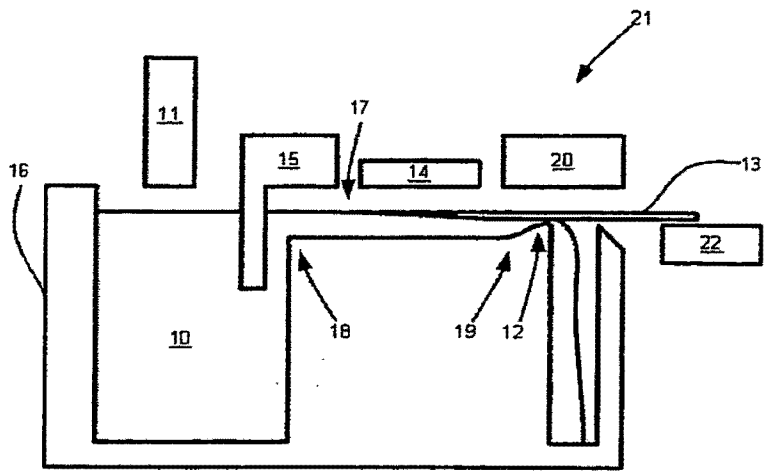
板厚控制

SHEET THICKNESS CONTROL

(57)摘要

本發明揭露一種用於形成板的方法及設備。將熔化物冷卻，且在所述熔化物上形成板。此板具有第一厚度。隨後使用例如加熱器或熔化物使所述板自第一厚度變薄至第二厚度。所述冷卻可經組態以允許溶質被截留於板之一區中，且可使此特定板變薄且移除溶質。所述熔化物可為例如矽、矽鍺、鎵或氮化鎵。

A method and apparatus for forming a sheet are disclosed. A melt is cooled and a sheet is formed on the melt. This sheet has a first thickness. The sheet is then thinned from the first thickness to a second thickness using, for example, a heater or the melt. The cooling may be configured to allow solutes to be trapped in a region of the sheet and this particular sheet may be thinned and the solutes removed. The melt maybe, for example, silicon, silicon and germanium, gallium, or gallium nitride.



- 10 . . . 熔化物
- 11 . . . 進料口
- 12 . . . 溢道
- 13 . . . 板
- 14 . . . 冷卻板
- 15 . . . 面板
- 16 . . . 容器
- 17 . . . 通道
- 18 . . . 第一點
- 19 . . . 第二點
- 20 . . . 面板
- 21 . . . 板形成設備
- 22 . . . 支撐裝置

圖 1

公告本

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98127282

※申請日：98.8.13

※IPC 分類：C30B 11/04 2006.01

一、發明名稱：

C30B 35/00 2006.01

板厚控制

SHEET THICKNESS CONTROL

二、中文發明摘要：

本發明揭露一種用於形成板的方法及設備。將熔化物冷卻，且在所述熔化物上形成板。此板具有第一厚度。隨後使用例如加熱器或熔化物使所述板自第一厚度變薄至第二厚度。所述冷卻可經組態以允許溶質被截留於板之一區中，且可使此特定板變薄且移除溶質。所述熔化物可為例如矽、矽鍺、鎳或氮化鎳。

三、英文發明摘要：

A method and apparatus for forming a sheet are disclosed. A melt is cooled and a sheet is formed on the melt. This sheet has a first thickness. The sheet is then thinned from the first thickness to a second thickness using, for example, a heater or the melt. The cooling may be configured to allow solutes to be trapped in a region of the sheet and this particular sheet may be thinned and the solutes removed. The melt may be, for example, silicon, silicon and germanium, gallium, or gallium nitride.

四、指定代表圖：

(一) 本案之指定代表圖：圖(1)。

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：

- 10：熔化物
- 11：進料口
- 12：溢道
- 13：板
- 14：冷卻板
- 15：面板
- 16：容器
- 17：通道
- 18：第一點
- 19：第二點
- 20：面板
- 21：板形成設備
- 22：支撐裝置

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於由熔化物形成板，且更特定而言是有關於減少由熔化物形成之板的厚度。

【先前技術】

矽晶圓或板可用於例如積體電路或太陽能電池工業中。隨著對可再新生的能源的需求增加，對太陽能電池的需求亦持續增加。存在兩種類型之太陽能電池：矽太陽能電池及薄膜太陽能電池。大部分太陽能電池是由矽晶圓製成，諸如單晶矽晶圓。目前，晶體矽太陽能電池之主要成本在於製造太陽能電池的晶圓。太陽能電池之效率或在標準照明下產生之功率的量部分地受到此晶圓之品質的限制。隨著對太陽能電池之需求增加，太陽能電池工業之一目標是降低成本/功率比。在不降低品質之情況下晶圓之製造成本的任何減少均將使成本/功率比降低，且使此清潔的能源技術能更廣泛使用。

效率最高的矽太陽能電池可具有大於 20% 之效率。此等太陽能電池是使用電子元件級（electronics-grade）單晶矽晶圓製成的。此等晶圓可自使用 Czochralski 方法生長之單晶矽圓柱形梨晶（cylindrical boule）藉由鋸切薄片而製成。此等薄片的厚度可小於 200 μm 。為維持單晶體生長，梨晶必須自含有熔化物之坩堝（crucible）緩慢地生長，生長速度例如小於 10 $\mu\text{m/s}$ 。後續鋸切過程導致每晶圓大約 200 μm 之鋸口損失（kerf loss）或由於鋸刀之寬度而帶來的損

失。圓柱形梨晶或晶圓亦可能需製成為正方形以製作正方形太陽能電池。製成為正方形及鋸口損失均會導致材料浪費及材料成本增加。隨著太陽能電池變得較薄，每次切割時浪費的矽之百分比亦增加。對鑄錠分割（ingot slicing）技術之限制可能會妨礙獲得較薄太陽能電池之能力。

其它太陽能電池是使用自多晶矽鑄錠鋸切而得之晶圓製成的。多晶矽鑄錠的生長速度可以比單晶矽快。然而，所得晶圓之品質較低，因為存在較多缺陷及晶粒界（grain boundary），且此較低品質會導致較低效率之太陽能電池。用於多晶矽鑄錠之鋸切過程與單晶矽鑄錠或梨晶一樣是低效率者。

可減少矽浪費之另一解決方案是在離子植入之後自矽鑄錠來分裂晶圓。舉例而言，將氫、氦或其它稀有氣體離子植入於矽鑄錠之表面的下方以形成一植入區。在此之後進行物理熱處理或化學熱處理，用以沿此植入區自鑄錠來分裂晶圓。雖然經由離子植入來進行分裂可在無鋸口損失之情況下製作晶圓，但此方法是否可用於經濟地製作矽晶圓仍有待證實。

又一解決方案是自熔化物垂直拉出一薄矽帶（ribbon），且隨後使得所拉出之矽冷卻且固化為板（sheet）。此方法之拉動速率可限制於小於大約 18 mm/分。必須沿垂直帶移除在矽之冷卻及固化期間之移除的潛熱（latent heat）。此做法導致沿帶之大的溫度梯度（gradient）。此溫度梯度給晶體矽帶添加應力，且可能導致不良品質之多晶粒

矽。帶之寬度及厚度亦可能由於此溫度梯度而受限制。舉例而言，寬度可限於小於 80 mm 且厚度可限於 180 μm 。

自熔化物實體拉出之水平矽帶亦已經過測試。在一種方法中，將附接至一桿之晶種(seed)插入至熔化物中，且在坩堝之邊緣上方以一低角度拉動該桿及所得之板。對所述角度與表面張力進行平衡以防止熔化物濺出坩堝。然而，難以起始及控制此拉動過程。必須為坩堝及熔化物提供進入口(access)以插入晶種，所述進入口可能會導致熱損失。可將額外的熱添加至坩堝以補償此熱量損失。此額外的熱可能會導致熔化物中之垂直溫度梯度，所述垂直溫度梯度可能會引起非層疊(non-laminar)的流體流。而且，必須執行可能較難的傾斜角度調節以對在坩堝邊緣處形成的彎月面(meniscus)之重力及表面張力進行平衡。此外，由於熱正在板及熔化物之分離點處被移除，因此在正作為潛熱移除之熱與正作為顯熱(sensible heat)移除之熱之間存在突然改變。此情況可能導致在此分離點處沿帶之大的溫度梯度，且可能導致晶體中之位錯(dislocation)。位錯及翹曲(warping)可能由於沿板之此等溫度梯度而發生。

尚未執行例如藉由使用溢道(spillway)而自熔化物水平分離薄板的製作。藉由分離而自熔化物水平地製作的板可能比自鑄錠分割之矽便宜，且可消除鋸口損失或由於製成為正方形而帶來的損失。藉由分離而自熔化物水平地製作之板亦可能比使用氫離子或其它拉出矽帶方法而自鑄錠分裂之矽便宜。此外，自熔化物水平分離的板與拉出的

帶相比可改良板之晶體品質。諸如此類之可減少材料成本的晶體生長方法將為減少矽太陽能電池之成本的主要達成步驟。然而，板可能具有不正確的厚度，或可能具有包含在其晶格內之雜質或溶質。因此，此項技術中需要一種改良的由熔化物形成板的方法，且更特定而言，需要一種減少由熔化物形成之板之厚度的方法。

【發明內容】

根據本發明之第一態樣，提供一種形成板之方法。所述方法包括對材料之熔化物進行冷卻，以及在所述熔化物中形成所述材料之板。所述板具有第一厚度。使所述板自所述第一厚度變薄至第二厚度。所述第二厚度小於所述第一厚度。

根據本發明之第二態樣，提供一種用於形成板的設備。所述設備包括容器，其界定一種經組態以固持材料之熔化物的通道。冷卻板安置於靠近所述熔化物處。所述冷卻板經組態以在所述熔化物上形成所述材料之板。所述設備亦具有輻射加熱器。

根據本發明之第三態樣，提供一種形成板之方法。所述方法包括第一階段中對材料之熔化物進行冷卻。所述第一階段中之冷卻具有第一參數。在所述熔化物中形成所述材料之板之第一層。所述板之第一層具有第一厚度及第一溶質濃度。在第二階段中對所述熔化物進行冷卻。所述第二階段中之冷卻具有不同於所述第一參數之第二參數。使所述板自第一厚度增加至第二厚度，且形成所述板之第二

層。所述第一厚度與所述第二厚度之間的第二層具有高於第一溶質濃度的第二溶質濃度。使所述板自所述第二厚度變薄至所述第一厚度。

【實施方式】

結合太陽能電池來描述本文之設備及方法之實施例。然而，此等實施例亦可用於製作例如積體電路、平坦面板或熟習此項技術者已知的其它基板。此外，雖然本文將熔化物描述為矽，但熔化物可含有鍺、矽鍺、鎵、氮化鎵、其它半導體材料或熟習此項技術者已知的其它材料。因此，本發明不限於下文描述之特定實施例。

圖 1 是自熔化物分離一種板之設備之實施例的橫截面側視圖。板形成設備 21 具有容器 16 以及面板 15 及 20。容器 16 以及面板 15 及 20 可為例如鎢、氮化硼、氮化鋁、鉬、石墨、碳化矽或石英。容器 16 經組態以容納熔化物 10。熔化物 10 可為矽。熔化物 10 在一實施例中可經由進料口(feed)11 來補充。進料口 11 可容納固體矽。在另一實施例中，可將熔化物 10 泵送(pumped)至容器 16 中。板 13 將形成於熔化物 10 上。在一實例中，板 13 將至少部分地在熔化物 10 內浮動。雖然在圖 1 中將板 13 說明為在熔化物 10 中浮動，但板 13 可至少部分地浸沒在熔化物 10 中，或可在熔化物 10 之頂部上浮動。在一實例中，板 13 之僅 10% 自熔化物 10 之頂部上方突出。熔化物 10 可在設備 21 內循環。

此容器 16 界定至少一通道 17。此通道 17 經組態以固

持熔化物 10，且熔化物 10 自通道 17 之第一點 18 流動至第二點 19。在一實例中，通道 17 內之環境為靜止的，以防止熔化物 10 中出現波紋(ripples)。熔化物 10 可由於例如壓力差、重力、磁流體動力學驅動設備、螺旋泵 (screw pump)、葉輪泵 (impeller pump)、輪或其它輸送方法而流動。熔化物 10 隨後流過溢道 12。此溢道 12 可為斜坡、堰 (weir)、小壩 (small dam) 或隅角，且不限於圖 1 中說明之實施例。溢道 12 可為任何允許自熔化物 10 來分離一種板 13 時的形狀。

面板 15 在此特定實施例中經組態以部分地在熔化物 10 之表面下方延伸。此做法可防止當該板 13 形成於熔化物 10 上時波或波紋干擾該板 13。此等波或波紋可能由於來自進料口 11 之熔化物材料之添加、泵送或熟習此項技術者已知的其它原因而形成。

在一特定實施例中，可將容器 16 以及面板 15 及 20 維持在稍微高於大約 1687 K 之溫度。對於矽，1687 K 表示凍結溫度或介面(interface)溫度。藉由將容器 16 以及面板 15 及 20 之溫度維持在稍微高於熔化物 10 之凍結溫度，冷卻板 14 可使用輻射冷卻而起作用以獲得熔化物 10 上或熔化物 10 中之板 13 的期望凍結速率。在此特定實施例中，冷卻板 14 由單一區段或部分區段組成，但在另一實施例中可包含多個區段或部分區段。可將通道 17 之底部加熱至高於熔化物 10 之熔化溫度，以在熔化物 10 中在介面處產生小的垂直溫度梯度以防止板 13 上的組成過冷

(constitutional supercooling) 或者形成枝蔓體 (dendrite) 或分支突出物。然而，容器 16 以及面板 15 及 20 可處於熔化物 10 之熔化溫度以上的任何溫度。此情況可防止熔化物 10 在容器 16 以及面板 15 及 20 上固化。

可藉由將設備 21 至少一部分或完全封閉於一封閉體內而將設備 21 維持於稍微高於熔化物 10 之凍結溫度的溫度。若封閉體將設備 21 維持於高於熔化物 10 之凍結溫度的溫度，則可避免或減少對設備 21 進行加熱的需要，且封閉體中或周圍之加熱器可補償任何熱損失。此封閉體可為等溫的且具有非各向同性的傳導性。在另一特定實施例中，加熱器未安置於封閉體上或封閉體中，而是安置於設備 21 中。在一實施例中，可藉由在容器 16 內嵌入加熱器且使用多區域溫度控制來將容器 16 之不同區加熱至不同溫度。

封閉體可控制設備 21 的安置環境。在一特定實施例中，封閉體中含有惰性氣體。可將此惰性氣體維持於高於熔化物 10 之凍結溫度。惰性氣體可減少向熔化物 10 內之溶質添加，所述添加可能會致使在板 13 形成過程期間的組成不穩定性。

設備 21 包含冷卻板 14。冷卻板 14 允許在板 13 形成於熔化物 10 上時的排熱 (heat extraction)。當冷卻板 14 之溫度降低至熔化物 10 之凍結溫度以下時，冷卻板 14 可致使板 13 在熔化物 10 上或熔化物 10 中凍結。此冷卻板 14 可使用輻射冷卻，且可由例如石墨、石英或碳化矽製

造。冷卻板 14 可自液體熔化物 10 快速地、均一地且以受控的量移除熱。在板 13 形成時可減少對熔化物 10 的干擾以防止板 13 中之缺陷。

在熔化物 10 之表面上方來自熔化物 10 之熔解熱(heat of fusion)及熱的排熱在與其它帶拉動方法相比可達成較快地製作該板 13，同時維持具有低缺陷密度之板 13。對熔化物 10 之表面上之板 13 或在熔化物 10 上浮動之板 13 進行冷卻允許在大面積上緩慢地移除熔解潛熱，同時該板 13 的排熱速率較大。

冷卻板 14 之尺寸可在長度及寬度上均增加。增加長度對於相同的垂直生長速率及所得的板 13 厚度而言可允許較快的板 13 排熱速率。增加冷卻板 14 之寬度可導致較寬的板 13。不同於垂直式板拉動方法，對使用圖 1 中描述之設備及方法之實施例製作的板 13 之寬度不存在固有的實體限制。

在一特定實例中，熔化物 10 及板 13 以大約 1 cm/s 之速率流動。冷卻板 14 之長度大約為 20 cm 且寬度大約為 25 cm。板 13 的厚度可在大約 20 秒生長至大約 100 μm 。因此，所述板的厚度可以大約 5 $\mu\text{m/s}$ 之速率生長。可以大約 10 $\text{m}^2/\text{小時}$ 之速率製作厚度大約為 100 μm 之板 13。

在一實施例中可使熔化物 10 中之熱梯度最小化。此做法可允許熔化物 10 之流動穩定且形成層疊。此做法亦可允許使用冷卻板 14 經由輻射冷卻而形成板 13。在一特定實例中，冷卻板 14 與熔化物 10 之間的大約 300 K 之溫度

差可以大約 $7\text{ }\mu\text{m/s}$ 之速率在熔化物 10 上或熔化物 10 中形成板 13。

通道 17 之在冷卻板 14 下游及在面板 20 下方的區可為等溫的。此等溫區可允許板 13 之退火。

在板 13 形成於熔化物 10 上之後，使用溢道 12 將板 13 與熔化物 10 分離。熔化物 10 自通道 17 之第一點 18 流動至第二點 19。板 13 將隨熔化物 10 一起流動。板 13 之輸送可為連續運動。在一實例中，板 13 可以與熔化物 10 之流動速度大約相同的速度流動。因此，板 13 可相對於熔化物 10 靜止地形成及輸送。可更改溢道 12 之形狀或溢道 12 之定向以改變熔化物 10 或板 13 之速率分佈。

在溢道 12 處，熔化物 10 與板 13 分離。在一實施例中，熔化物 10 之流動可在溢道 12 上輸送熔化物 10，且至少部分地可在溢道 12 上輸送該板 13。此做法可使單晶板 13 的破裂程度最小或防止使單晶板 13 破裂，因為無外部應力施加於板 13。在此特定實施例中，熔化物 10 將在溢道 12 上流動而遠離該板 13。在溢道 12 處可不施加冷卻，以防止對板 13 之熱衝擊 (thermal shock)。在一實施例中，在溢道 12 處之分離是在近等溫條件下發生。

板 13 在設備 21 中的形成速度可比被垂直於熔化物而拉動之方式更快，因為熔化物 10 的流動速度可允許板 13 在熔化物 10 上適當地冷卻及結晶。板 13 的流動速度將大約與熔化物 10 的流動速度相同。此做法可減少板 13 上之應力。垂直於熔化物而拉動帶的速度有限，原因在於因拉

動引起之施加於帶上的應力。在一實施例中，設備 21 中之板 13 可能不存在任何此類拉動應力。此情況可使板 13 之品質及板 13 之製作速度提高。

在一實施例中，板 13 可能會趨於筆直地越過溢道 12。在一些實例中可在此板 13 在溢道 12 上經過之後支撐此板 13 以防止破裂。支撐裝置 22 經組態以支撐該板 13。支撐裝置 22 可提供氣壓差以使用例如氣體或空氣鼓風機來支撐該板 13。在板 13 自熔化物 10 分離之後，可緩慢改變板 13 所在環境的溫度。在一實例中，溫度隨著板 13 遠離溢道 12 而移動時降低。

在一實例中，板 13 之生長、板 13 之退火以及板 13 使用溢道 12 自熔化物 10 之分離可在等溫環境中進行。使用溢道 12 之分離以及板 13 與熔化物 10 之大約相等的流動速率使板 13 上之應力或機械應變程度最小。此做法可增加製作單晶板 13 之可能性。

在另一實施例中，在板形成設備 21 中將磁場施加於熔化物 10 及板 13。此做法可使熔化物 10 內之振盪流衰減，且可改良該板 13 之結晶。

圖 2 是自熔化物拉出一種板之設備之一實施例的橫截面側視圖。在此實施例中，板形成設備 23 自熔化物 10 拉出該板 13。熔化物 10 在此實施例中可不在通道 17 中循環，且可使用晶種來拉出該板 13。可經由藉由冷卻板 14 之冷卻而形成該板 13，且可將所得的板自熔化物 10 拉出。

圖 1 至圖 2 之實施例均使用冷卻板 14。冷卻板 14 之

長度上的不同冷卻溫度、熔化物 10 之不同流動速率或板 13 之不同拉動速度、板形成設備 21 或板形成設備 23 之各個部分的長度、或板形成設備 21 或板形成設備 23 內之定時(timing)可用於過程控制。若熔化物 10 為矽，則可在板形成設備 21 中形成多晶板 13 或單晶板 13。在圖 1 或圖 2 之實施例之任一者中，板形成設備 21 或板形成設備 23 可包含在封閉體中。

圖 1 及圖 2 僅為可自熔化物 10 形成板 13 之板形成設備的兩個實例。垂直板或水平板 13 生長的其它設備或方法是可能的。本文描述之方法及設備之實施例可應用於任何垂直板或水平板 13 的生長方法或設備，且不僅限於圖 1 至圖 2 之特定實施例。使用圖 1 至圖 2 之實施例形成的板 13 可能太厚，或具有不正確的尺寸。板 13 亦可能不具有光滑表面。因此，可使板 13 變薄至例如正確厚度或使其表面光滑。

圖 3 是使用圖 1 之設備時在熔化物內之變薄的橫截面側視圖。熔化物 10 在溢道 12 上流動。當熔化物 10 使用冷卻板 14 而凍結時，板 13 在熔化物 10 中形成。在冷卻板 14 之下游但在溢道 12 之上游在區 30 中使板 13 變薄。此變薄將在溢道 12 之前使板 13 之尺寸自第一厚度改變為第二厚度。在板 13 朝溢道 12 流動時，來自熔化物 10 之熱將使板 13 之至少一部分被熔化而變回熔化物 10。

在一特定實例中，熔化物 10 或板 13 的流動速度為大約 1 cm/s。在此特定實施例中可使用層疊流。容器 16 之溫

度可比板 13 之凍結溫度高大約 2 K。冷卻板 14 之溫度與熔化物 10 之溫度之間的差可為大約 300 K。區 30 中之熔化物 10 的深度為大約 1 cm。在區 30 中板 13 變薄而變回熔化物 10 的速率大約為 $1\ \mu\text{m/s}$ 。因此，板 13 之沿在第一點 18 與第二點 19 之間的熔化物 10 或板 13 流動之方向的變薄速率為大約 $1\ \mu\text{m/cm}$ 。區 30 在熔化物 10 或板 13 流動之方向上可具有大約 0.5 m 之長度，以使板 13 自大約 $150\ \mu\text{m}$ 之厚度變薄至大約 $100\ \mu\text{m}$ 之厚度。可藉由增加容器 16 之溫度而減少區 30 之長度，但此可能要求冷卻板 14 在較低溫度下操作。在另一實施例中，使板 13 自大約 $200\ \mu\text{m}$ 之厚度變薄至大約 $100\ \mu\text{m}$ 之厚度。

為了具有均一之變薄過程，溫度梯度應足夠低以避免對板 13 之浮力驅動的不均一或不穩定的對流。不穩定之對流是不均一之熱通量，且因此總體能量輸送難以由均一方式來控制。此可能導致板 13 之不均一的厚度。若板 13 及熔化物 10 中之溫度差小於大約 5 K，且區 30 中熔化物 10 之深度相對淺，則浮力驅動之對流可能不會引起問題。區 30 中熔化物 10 之深度可例如小於大約 1.22 cm 或可為大約 0.97 cm。然而，在一些實施例中，熔化物 10 中之對流可為可接受的。其它條件或參數是可能的，且此僅為變薄過程之一實例。此實施例不僅僅限於上述實例中列出的條件。

圖 4 是使用圖 2 之設備時在熔化物內之變薄的橫截面側視圖。使區 30 中之板 13 變薄亦可應用於板形成設備 23 以及圖 3 之板形成設備 21。此處在使用冷卻板 14 形成板

13 之後且在自熔化物 10 拉出該板 13 之前使板 13 自第一厚度變薄至第二厚度。

圖 5 是使用圖 1 之設備以加熱器進行之變薄的橫截面側視圖。板形成設備 21 包含加熱器 50 及液體軸承 (fluid bearing) 51。在此特定實施例中，加熱器 50 及液體軸承 51 均相對於熔化物 10 上之板 13 之形成而傾斜。板 13 自第一點 18 流動至第二點 19 且在溢道 12 上流動。在板 13 經過溢道 12 之後，使用加熱器 50 使板 13 變薄。使板 13 自第一厚度變薄至第二厚度。例如，可使板 13 自大約 200 μm 變薄至大約 100 μm 。

將使用冷卻板 14 來形成該板 13 與使用加熱器 50 使板 13 變薄而分離可允許以小的溫度梯度使板 13 凍結。板 13 的使用加熱器 50 自板 13 熔化的任何部分可沿板 13 流回且進入熔化物 10 中，或可滴入一收集裝置中。此情況至少一部分是由於板 13 之角度引起。在一特定實施例中，板 13 的自板 13 熔化之部分可富含溶質。

在此特定實施例中，加熱器 50 為輻射加熱器。亦可使用其它加熱器或具有對流組件之輻射加熱器。加熱器 50 可允許板 13 之均一變薄，且可能僅供應熔化之潛熱而不更改板形成設備 21 之其它部分的溫度。

在此特定實施例中，液體軸承 51 使板 13 以一角度而傾斜。所述角度可較淺以防止對板 13 之應力。雖然說明了液體軸承 51，但可使用空氣軸承、輥或另一板 13 移動機構。在另一實施例中，板 13 保持水平，且液體軸承 51 不

使板 13 以一角度傾斜。在此實例中，板 13 之任何熔化部分均滴落。

雖然將此實施例說明為在冷卻板 14 與溢道 12 之間具有一距離，但可使此距離最小化。舉例而言，可將冷卻板 14 放置成緊密靠近溢道 12。替代於允許熔化物 10 在板 13 形成之後使板 13 變薄，但主要可由加熱器 50 使板 13 變薄。但在另一實施例中，加熱器 50 結合熔化物 10 一起作用以使板 13 變薄。

圖 6 是使用圖 2 之設備以加熱器進行之變薄的橫截面側視圖。以加熱器 50 使板 13 變薄亦可應用於板形成設備 23 以及圖 5 之板形成設備 21。此處，在使用冷卻板 14 形成板 13 之後且在自熔化物 10 拉出板 13 之後，使板 13 自第一厚度變薄至第二厚度。

在另一實施例中，使板 13 變薄，且熔化物 10 經淨化或具有減小之溶質含量。此情況與溶質之偏析係數 (segregation coefficient) 有關，所述係數提供生長之晶體板 13 與熔化物 10 中之雜質原子 (溶質) 之濃度之間的關係。許多溶質的偏析係數小於一，其導致固體板 13 之溶質濃度低於液體熔化物 10 之溶質濃度。因此，在板 13 形成時，熔化物 10 中之溶質濃度增加，因為溶質優先停留於熔化物 10 中。此情況可致使在板 13 之結晶過程期間的組成不穩定性，且可能導致不良品質之板 13 或在其表面上具有枝蔓體或分支突出物的板 13。

在此特定實施例中，在板 13 形成及變薄過程期間完

成對熔化物 10 之淨化。此淨化可允許使用純度較低的熔化物 10 進料(feedstock)或總體較少的熔化物 10 進料，因為熔化物 10 在板 13 形成時被淨化。圖 7 表示在接近板-熔化物介面處熔化物及固體中之隨著時間的濃度分佈。溶質偏析是部分地取決於板 13 之凍結過程，所述過程足夠緩慢地執行以便使溶質在熔化物 10 中擴散。然而，若快速執行該板 13 之結晶，則偏析之溶質並無時間擴散至熔化物 10 中。因此，溶質可被俘獲於固體板 13 中。

如圖 7 中所見，板 13 可以至少兩個階段來形成。在此特定實施例中，將階段標記為階段 70 及階段 71。階段 70 可稱為“慢”，且階段 71 可稱為“快”。在階段 70 中板 13 之生長的發生比階段 71 慢，或以例如正常速度發生以製作經淨化或高品質的晶體板 13。階段 70 在一實例中可以大約 $5\text{ }\mu\text{m/s}$ 與大約 $10\text{ }\mu\text{m/s}$ 之間的速率來生長該板 13。在階段 71 中板 13 之生長的發生比階段 70 快，以便俘獲在階段 70 中被排斥之溶質。階段 71 可經組態以防止對板 13 之應力。此做法可能要求階段 70、71 具有不同長度或以不同溫度來操作。舉例而言，階段 70 中之溫度可在板 13 之結晶溫度以下大約 100 K 處操作，且階段 71 可在板 13 之結晶溫度以下大約 500 K 處操作。

在圖 7 中，結晶在 t_1 及 t_2 處緩慢發生，其允許液體熔化物 10 中之偏析溶質擴散開。在 t_3 處，結晶足夠迅速地發生以使得高濃度邊緣俘獲於所形成之晶體板 13 中，因此使晶體板 13 中之溶質濃度升高。在 t_4 及 t_5 處，在熔化物

10 中溶質含量減小，因為其俘獲於晶體板 13 中。此情況可由以下公式表示：

$$k=C_{SL}/C_{LS}$$

$$k_{eff}=C_0/C_{LS}$$

其中 k 表示均衡偏析係數，其等於 C_{SL} 除以 C_{LS} 。 k_{eff} 為由於介面之移動而引起的不均衡偏析係數，且 C_0 為遠離凍結邊緣之濃度。 k_{eff} 考慮到接近該板 13 之凍結邊緣處的較高濃度。隨著介面速率接近零， k_{eff} 接近 k 。在固體-液體介面處， C_{SL} 為固體中之溶質之濃度，且 C_{LS} 為液體中之溶質之濃度。板 13 或熔化物 10 之流動由 y 表示。

在此實例中，在階段 70 期間形成該板 13 的前 50 μm 。此做法使得有效偏析係數可小於 1，此意味著液體熔化物 10 中之溶質（諸如，鐵）之擴散比凍結速率快。在階段 71 期間形成板 13 的下一 150 μm 。高濃度溶質層俘獲於板 13 中。為避免熔化物 10 中之溶質濃度之增加，在一實施例中，在板經過溢道 12 之後此所俘獲的層自板 13 熔化脫落。在另一實例中，階段 70 形成具有 100 μm 之第一厚度的板 13，且階段 71 對板 13 添加另一 100 μm 厚度而形成 200 μm 之第二厚度。其它厚度亦為可能的。

使用上述階段 70、71 且隨後進行變薄，可移除在階段 71 期間形成於板 13 上的富含溶質的層。圖 8 是使用圖 1 之設備的變薄及淨化的橫截面側視圖。冷卻板 14 具有至少兩個區段：第一區段 80 及第二區段 81。第一區段 80 及第二區段 81 對應於階段 70、71。如圖 8 所見，第一區段

80 及第二區段 81 相對於板 13 及熔化物 10 之流動而具有不同長度。在另一實例中，第一區段 80 及第二區段 81 在不同溫度下操作。板 13 自第一點 18 流動至第二點 19 且在溢道 12 上流動。

在板 13 經過溢道 12 之後，使用加熱器 50 使板 13 變薄。使板 13 自第一厚度變薄至第二厚度。加熱器 50 可為例如輻射加熱器。亦可使用其它加熱器或具有對流組件之輻射加熱器。加熱器 50 可允許板 13 之均一變薄，且可僅供應熔化物之潛熱而不更改板形成設備 21 之其它部分的溫度。

在此特定實施例中液體軸承 51 使板 13 以一角度傾斜。所述角度可較淺以防止對板 13 所施加之應力。板 13 藉由液體軸承 51 而形成角度，使得角度 82 在熔化物 10 外部。雖然說明了液體軸承 51，但可使用空氣軸承、輥或另一板 13 移動機構。在另一實施例中，板 13 保持水平，且液體軸承 51 不使板 13 以一角度傾斜。在此實例中板 13 之任何熔化部分均滴落。

板 13 之藉由加熱器 50 而變薄且自板 13 熔化的任何部分將沿板 13 流回至角度 82。在該處，此熔化之板 13 或廢熔化物將滴入例如突出部分 (bilge) 83 中，其收集及分離熔化之板 13，且防止熔化之板 13 返回熔化物 10。此突出部分 83 可連接至熔化物 10 的循環或淨化系統。在一實施例中，將突出部分 83 之內含物淨化，且將此經淨化之熔化物 10 再循環回至熔化物 10。此做法防止富含溶質之突

出部分 83 內含物污染該熔化物 10。此板 13 之變薄與淨化組合將移除溶質，維持高純度熔化物 10，且維持熔化物 10 進料之高效率，同時降低熔化物 10 的浪費。

在一實例中，圖 8 之設備將取得藉由冷卻板 14 而形成之厚度大於 200 μm 的板 13，且使其變薄至 100 μm 或更小之厚度。可將板 13 之經移除或變薄之部分返回至熔化物 10，以避免材料損失或等效於“鋸口損失”之損失。除自板 13 移除雜質或溶質以外，圖 8 之變薄方法亦可使板 13 之表面上的任何隆凸（protuberance）變平滑。

圖 9 是使用圖 2 之設備之變薄及淨化的橫截面側視圖。使用具有第一區段 80 及第二區段 81 之冷卻板以及用加熱器 50 使板 13 變薄亦可應用於板形成設備 23 以及圖 8 之板形成設備 21。此處在使用冷卻板 14 來形成該板 13 之後且在自熔化物 10 拉出該板 13 之後使該板 13 自第一厚度變薄至第二厚度。

圖 10 是在板生長期間俘獲雜質的橫截面側視圖。此圖是較佳說明圖 7 至圖 9 中涉及之過程的近視圖。冷卻板 14 具有對應於階段 70 及 71 的第一區段 80 及第二區段 81。所形成之板 13 將具有第一層 90 及第二層 91。在一實例中，第一層 90 對應於第一厚度，且與第一層 90 組合之第二層 91 對應於第二厚度。第一層 90 主要使用第一區段 80 來形成，且具有相對低的溶質濃度。第二層 91 主要使用第二區段 81 來形成，且與第一層 90 相比具有較高的溶質濃度。在藉由第一區段 80 之形成期間自板 13 排斥之許多溶

質可在藉由第二區段 81 之板 13 形成期間被俘獲，因為邊界層可較薄。因此，第二層 91 可俘獲溶質及雜質。在一實例中，第一層 90 中之溶質濃度可為大約 10^{-10} 原子/cc，且第二層 91 中之溶質濃度可為大約 10^{-8} 原子/cc。使用圖 8 至圖 9 之加熱器 50 來移除第二層 91 或使第二層 91 變薄。第一區段 80 及第二區段 81 具有不同的操作參數，諸如長度或溫度。

水平板 13 生長方法可出於額外原因而得益於圖 3 至圖 10 說明之變薄方法。某些資料暗示對可將板 13 水平製作得多薄可能存在限制。若板 13 被拉出或生長得過薄，則板 13 可能“切斷”或破裂。此情況可能是由於熔化物 10 或板 13 中之不穩定性。另一暗示為此可能是由熔化物 10 之高表面張力及低黏度引起。因此，可能使熔化物 10 易於發生 Marangoni 效應。Marangoni 效應是由於表面張力而引起的沿界面的質量轉移 (mass transfer)。具有高表面張力之液體對周圍液體的拉動強度將高於具有低表面張力之液體的拉動強度。表面張力之梯度的存在將致使液體流動遠離具有低表面張力的區。液體上或液體中之質量轉移可能由於此等表面張力差異而發生。較厚的板 13 可更穩定或較不容易出現破裂或被“切斷”。藉由生長具有大約 200 μm 或更大之厚度的板 13 且隨後使板 13 變薄至大約 100 μm 或更小之厚度，可避免 Marangoni 效應或其它生長問題。若將板 13 之變薄部分返回至熔化物 10，則無材料損失。

圖 3 至圖 10 中說明之用於變薄的方法及設備可組合在一起或單獨使用。另外，除本文揭露之實施例中列出之厚度外，板 13 之其它厚度亦是可能的。

可藉由更改參數來控制圖 3 至圖 10 中說明之變薄。此等參數可為例如冷卻板 14 之溫度、熔化物 10 之溫度、加熱器 50 之操作溫度、容器 16 之溫度，或者板 13 或熔化物 10 之流動或拉動速度。所述參數可由控制器回應於來自量測裝置之信號而更改。

圖 11 是對板進行加熱的橫截面圖。在本文揭露之實施例中，對板 13 之平滑可使用例如加熱器 50 或來自熔化物 10 之使板 13 熔化的熱而發生。局部吸收之熱與板 13 之局部表面積成比例，藉此優先使形成於板 13 之表面上的隆凸、枝蔓體或其它不規則物 92 熔化。因此，可來自熔化物 10 或輻射之熱通量 93 在板 13 停止之前使隆凸、枝蔓體或其它不規則物 92 熔化。因此，藉由使板 13 變薄，將形成具有較小隆凸、枝蔓體或其它不規則物 92 或不具有隆凸、枝蔓體或其它不規則物 92 的較光滑板 13。板 13 之表面之均一性可與隆凸、枝蔓體或其它不規則物 92 之大小相關。

本揭示案在範圍上不受本文描述之特定實施例的限制。實際上，熟習此項技術者自上述描述及附圖將明瞭除本文描述以外的本揭示案之其它各種實施例以及對本揭示案之修改。因此，此等其它實施例及修改當屬於本揭示案之範圍內。此外，儘管本文已針對特定目的在特定環境中

在特定實施方案之背景下描述本揭示案，但熟習此項技術者將認識到其有用性不限於此，且可出於任何種目的在任何種環境中有益地實施本揭示案。因此，應鑒於如本文描述之本揭示案的完全廣度及精神而解釋下文陳述之申請專利範圍。

【圖式簡單說明】

圖 1 是自熔化物分離一種板之設備之實施例的橫截面側視圖。

圖 2 是自熔化物拉出一種板之設備之實施例的橫截面側視圖。

圖 3 是使用圖 1 之設備時在熔化物內之變薄的橫截面側視圖。

圖 4 是使用圖 2 之設備時在熔化物內之變薄的橫截面側視圖。

圖 5 是使用圖 1 之設備以加熱器進行之變薄的橫截面側視圖。

圖 6 是使用圖 2 之設備以加熱器進行之變薄的橫截面側視圖。

圖 7 表示在接近板-熔化物介面處該熔化物及固體中之隨著時間而變的濃度分佈。

圖 8 是使用圖 1 之設備的變薄及淨化的橫截面側視圖。

圖 9 是使用圖 2 之設備之變薄及淨化的橫截面側視圖。

圖 10 是在板生長期間俘獲雜質時的橫截面側視圖。

圖 11 是對板進行加熱時的橫截面圖。

【主要元件符號說明】

- 10：熔化物
- 11：進料口
- 12：溢道
- 13：板
- 14：冷卻板
- 15：面板
- 16：容器
- 17：通道
- 18：第一點
- 19：第二點
- 20：面板
- 21：板形成設備
- 22：支撐裝置
- 23：板形成設備
- 30：區
- 50：加熱器
- 51：液體軸承
- 70：階段
- 71：階段
- 80：第一區段
- 81：第二區段

82：角度

83：突出部分

90：第一層

91：第二層

92：不規則物

93：熱通量

七、申請專利範圍：

1.一種形成板之方法，包括：

將材料之熔化物冷卻；

在所述熔化物的表面形成所述材料之板，所述板具有第一厚度；以及

在所述形成之後，使所述板自所述第一厚度變薄至第二厚度，所述第二厚度小於所述第一厚度。

2.如申請專利範圍第 1 項所述之形成板之方法，其中所述熔化物是選自由矽、矽鍺、鎵以及氮化鎵組成的群。

3.如申請專利範圍第 1 項所述之形成板之方法，其中所述變薄在所述形成之後發生於所述熔化物的外部。

4.如申請專利範圍第 3 項所述之形成板之方法，其中所述變薄以至少 $1\ \mu\text{m/s}$ 之速率而發生。

5.如申請專利範圍第 1 項所述之形成板之方法，其中所述變薄使用輻射加熱器而發生。

6.如申請專利範圍第 5 項所述之形成板之方法，更包括使用溢道而自所述熔化物來分離所述板，所述分離在所述變薄之前發生。

7.如申請專利範圍第 1 項所述之形成板之方法，其中所述第一厚度為 $200\ \mu\text{m}$ 且所述第二厚度為 $100\ \mu\text{m}$ 。

8.如申請專利範圍第 1 項所述之形成板之方法，更包括藉由所述變薄而使所述板之表面平滑。

9.如申請專利範圍第 1 項所述之形成板之方法，更包括藉由更改所述變薄之參數來控制所述第二厚度。

10.一種用於形成板的設備，包括：

容器，其界定經組態以固持材料之熔化物的通道；

冷卻板，其安置於靠近所述熔化物處，所述冷卻板經組態以在所述熔化物上形成所述材料之板，所述板具有第一厚度；以及

輻射加熱器，使所述板自所述第一厚度變薄至第二厚度，所述第二厚度小於所述第一厚度。

11.如申請專利範圍第 10 項所述之用於形成板的設備，其中所述熔化物是選自由矽、矽鍺、鎵以及氮化鎵組成的群。

12.如申請專利範圍第 10 項所述之用於形成板的設備，更包括安置於所述通道中的溢道，所述溢道安置在所述熔化物內且經組態以自所述熔化物分離所述板，其中所述熔物流動而遠離所述板。

13.一種形成板之方法，包括：

在第一階段中對材料之熔化物進行冷卻，所述第一階段中之所述冷卻具有第一參數；

在所述熔化物的表面形成所述材料之板之第一層，所述板之所述第一層具有第一厚度及第一溶質濃度；

在第二階段中對所述熔化物進行冷卻，所述第二階段中之所述冷卻具有不同於所述第一參數之第二參數；

使所述板自第一厚度增加至第二厚度，且形成所述板之第二層，在所述第一厚度與所述第二厚度之間的所述第二層具有高於所述第一溶質濃度的第二溶質濃度；以及

使所述板自所述第二厚度變薄至所述第一厚度。

14.如申請專利範圍第 13 項所述之形成板之方法，其中所述熔化物是選自由矽、矽鍺、鎳以及氮化鎳組成的群。

15.如申請專利範圍第 13 項所述之形成板之方法，其中所述第一厚度在 50 μm 與 100 μm 之間，且所述第二厚度在 150 μm 與 200 μm 之間。

16.如申請專利範圍第 13 項所述之形成板之方法，更包括藉由所述增加及所述變薄來降低所述熔化物中之溶質濃度。

17.如申請專利範圍第 16 項所述之形成板之方法，其中自所述熔化物收集及分離由所述變薄產生之廢熔化物。

18.如申請專利範圍第 16 項所述之形成板之方法，其中收集由所述變薄產生之廢熔化物且隨後將其淨化及再循環。

19.如申請專利範圍第 13 項所述之形成板之方法，其中所述變薄在所述形成及所述增加之後使用輻射加熱器而發生。

20.如申請專利範圍第 13 項所述之形成板之方法，其中所述第一參數及所述第二參數是選自由長度及溫度組成之群。

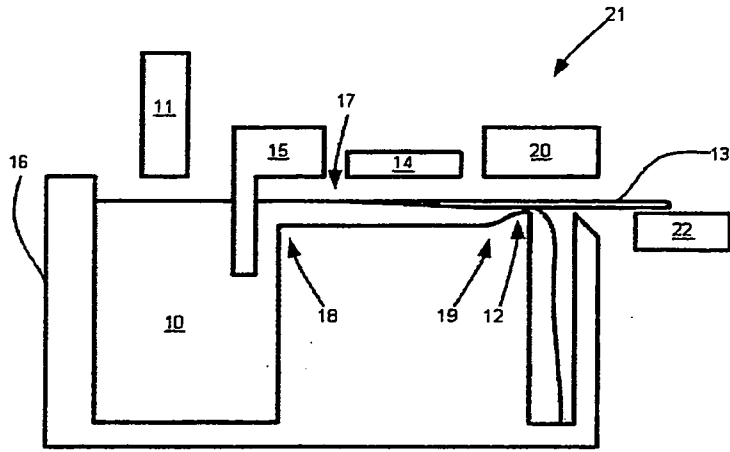


圖 1

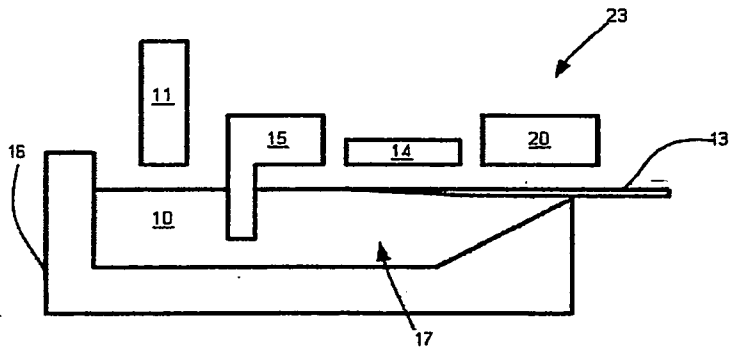


圖 2

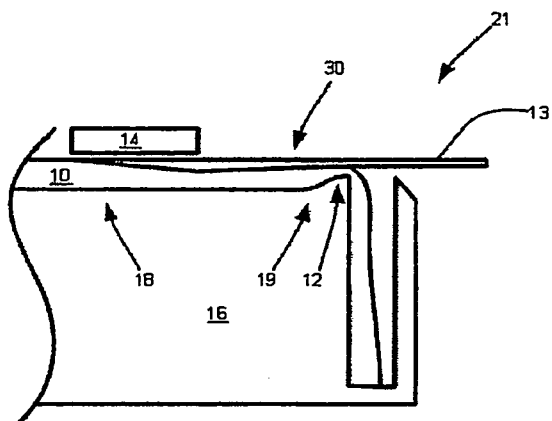


圖 3

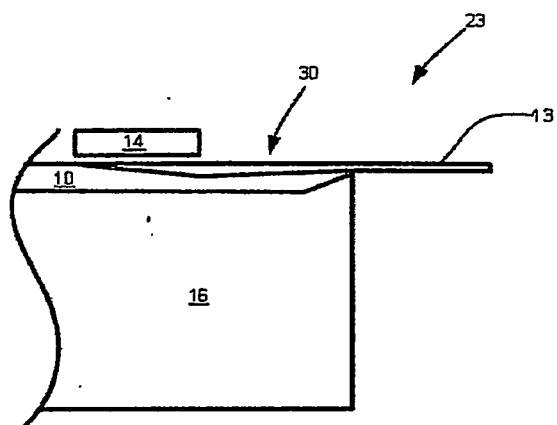


圖 4

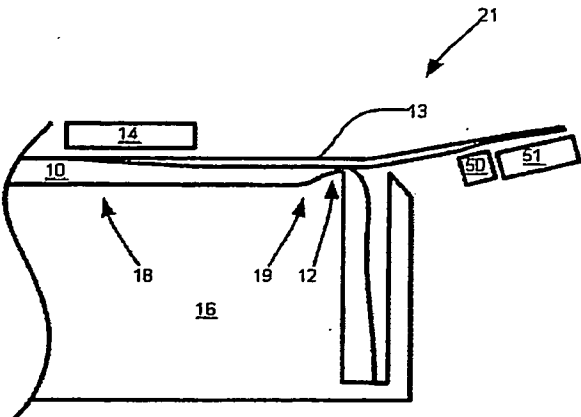


圖 5

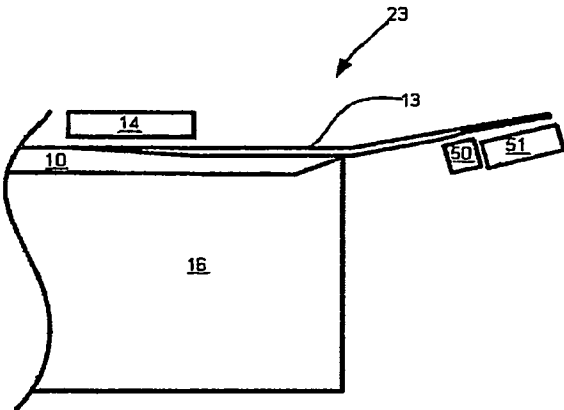


圖 6

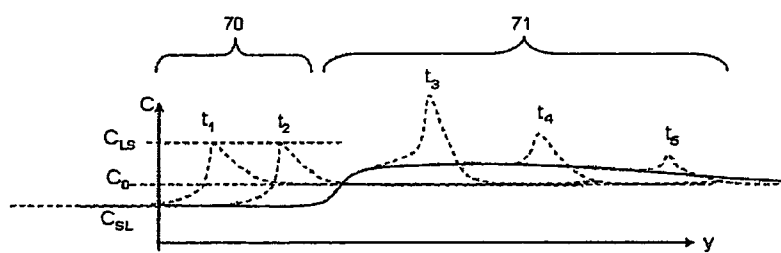


圖 7

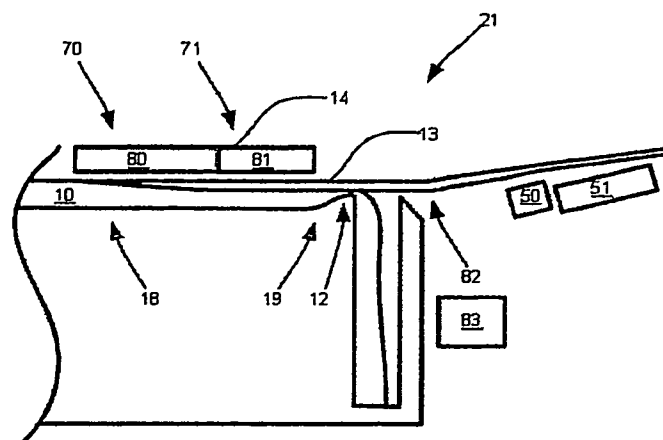


圖 8

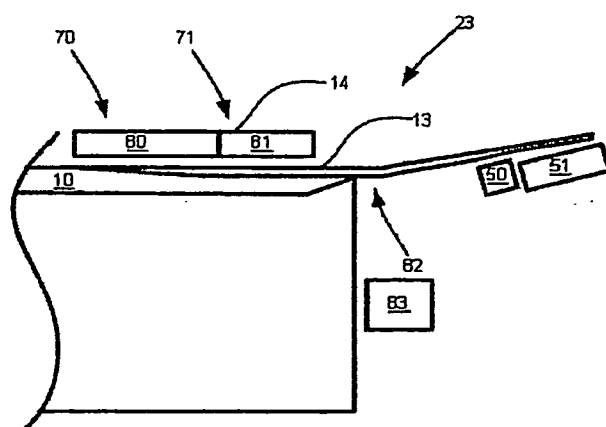


圖 9

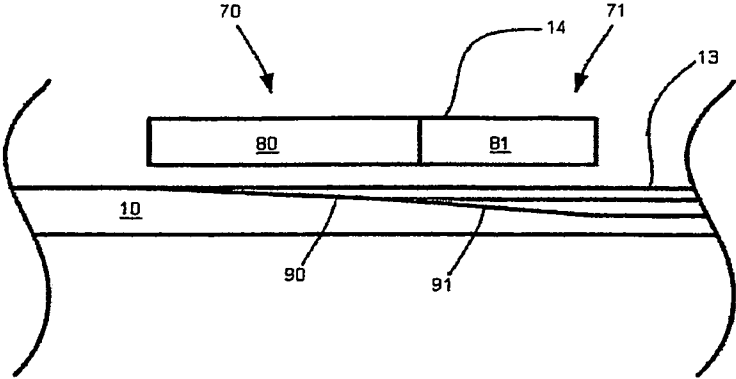


圖 10

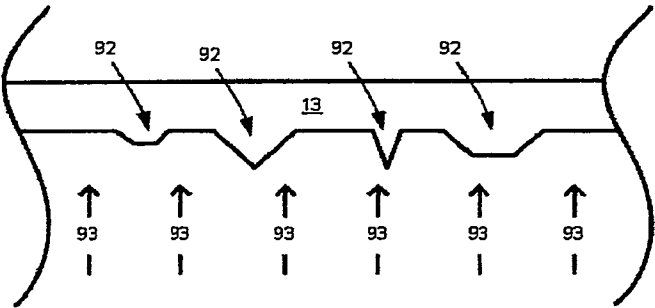


圖 11