



(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 I531691 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 05 月 01 日

(21)申請案號：099106727

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 03 月 09 日

(51)Int. Cl. : C30B13/28 (2006.01)

C30B29/06 (2006.01)

(30)優先權：2009/03/09 美國

61/209,582

2009/07/10 美國

61/224,730

2009/08/28 美國

61/237,965

(71)申請人：1 3 6 6 科技公司 (美國) 1366 TECHNOLOGIES INC. (US)

美國

(72)發明人：莎栩思 伊繆爾 M SACHS, EMANUEL M. (US)；華勒斯 瑞查 L WALLACE, RICHARD L. (US)；翰索 艾瑞克 T HANTSOO, EERIK T. (US)；羅倫絲 亞當 M LORENZ, ADAM M. (US)；哈德森 喬治 大衛 史帝芬 HUDELSON, GEORGE DAVID STEPHEN (US)；裘賽克 瑞芙 JONCZYK, RALF (DE)

(74)代理人：桂齊恆；閻啟泰

(56)參考文獻：

US 6413313B1

審查人員：唐榮

申請專利範圍項數：70 項 圖式數：38 共 114 頁

(54)名稱

從熔融材料製作半導體薄體的方法和裝置

METHODS AND APPARATI FOR MAKING THIN SEMICONDUCTOR BODIES FROM MOLTEN MATERIAL

(57)摘要

壓力差乃施加跨越模片，並且半導體(例如矽)晶圓便形成其上。放鬆壓力差則允許釋放晶圓。模片可以比熔融物冷。熱量幾乎專門經由形成中的晶圓厚度而抽取。液體和固體介面是實質平行於模片。固化中的主體溫度是實質均勻於其寬度，而導致低的應力、低的差排密度和較高的結晶品質。模片必須允許氣體流動經過它。熔融物可以藉由以下方式而引到模片：全部面積接觸熔融物的頂部；模片橫越接觸熔融物的部分面積，不論是水平的或垂直的或者介於其間；以及把模浸漬於熔融物中。晶粒尺寸可以用許多方式來控制。

A pressure differential is applied across a cool mold sheet and a semiconductor (e.g. silicon) wafer is formed thereon. Relaxation of the differential allows release of the wafer. The mold sheet may be cooler than the melt. Heat is extracted almost exclusively through the thickness of the forming wafer. The liquid and solid interface is substantially parallel to the mold sheet. The temperature of the solidifying body is substantially uniform across its width, resulting in low stresses and dislocation density and higher crystallographic quality. The mold sheet must allow flow of gas through it. The melt can be introduced to the sheet by: full area contact with the top of a melt; traversing a partial area contact of melt with the mold sheet, whether horizontal or vertical, or in between; and by dipping the mold into a melt. The grain size can be controlled by many means.

指定代表圖：

符號簡單說明：
19 . . . 固態半導體
(晶圓)的累積(片)

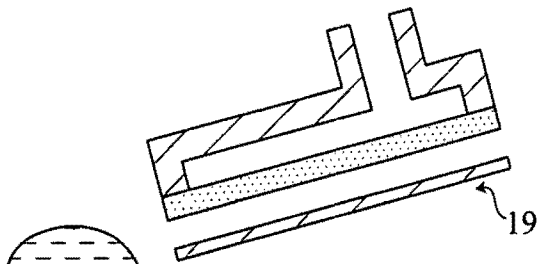


圖 5D

公告本

發明專利說明書

99.6.9 修正本
註記

(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：99106727

※申請日：99.3.9

※IPC 分類：C30B 13/28 (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

從熔融材料製作半導體薄體的方法和裝置

Methods and Apparati for Making Thin Semiconductor
Bodies from Molten Material

二、中文發明摘要：

壓力差乃施加跨越模片，並且半導體(例如矽)晶圓便形成其上。放鬆壓力差則允許釋放晶圓。模片可以比熔融物冷。熱量幾乎專門經由形成中的晶圓厚度而抽取。液體和固體介面是實質平行於模片。固化中的主體溫度是實質均勻於其寬度，而導致低的應力、低的差排密度和較高的結晶品質。模片必須允許氣體流動經過它。熔融物可以藉由以下方式而引到模片：全部面積接觸熔融物的頂部；模片橫越接觸熔融物的部分面積，不論是水平的或垂直的或者介於其間；以及把模浸漬於熔融物中。晶粒尺寸可以用許多方式來控制。

三、英文發明摘要：

A pressure differential is applied across a cool mold sheet and a semiconductor (e.g. silicon) wafer is formed thereon. Relaxation of the differential allows release of the

wafer. The mold sheet may be cooler than the melt. Heat is extracted almost exclusively through the thickness of the forming wafer. The liquid and solid interface is substantially parallel to the mold sheet. The temperature of the solidifying body is substantially uniform across its width, resulting in low stresses and dislocation density and higher crystallographic quality. The mold sheet must allow flow of gas through it. The melt can be introduced to the sheet by: full area contact with the top of a melt; traversing a partial area contact of melt with the mold sheet, whether horizontal or vertical, or in between; and by dipping the mold into a melt. The grain size can be controlled by many means.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (5D) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

19 固態半導體(晶圓)的累積(片)

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】

在此揭示的發明是製作矽片的方法，該矽片稍後可以使用做為預形物，其經過再結晶以製造用於矽太陽能電池的高品質基板。在此揭示的其他發明是製作矽薄片的方法，該矽薄片可以用於製造太陽能電池而不用再結晶。在此揭示的方法也可以用來從非矽的融熔半導體材料來製作薄片。

【先前技術】

許多製程乃揭示於專利合作條約(Patent Cooperation Treaty, PCT)申請案第 US2008 / 008030 號(標題為「半導體晶圓於薄膜囊器的再結晶和相關的製程」，由 Emanuel M. Sachs、James G. Serdy、Eerik T. Hantsoo、麻省理工學院於 2008 年 6 月 26 日申請，指定美國)，其亦主張基於美國臨時申請案第 60 / 937,129 號(2007 年 6 月 26 日申請)的優先權。揭示於這些申請案的科技可以用來再結晶半導體成為不同的晶體形式，並且在此稱為於囊器中再結晶(Recrystallization In a Capsule, RIC)科技。RIC 的 PCT 申請案和美國臨時申請案乃完整併於此以為參考。在此揭示的方法可以用來製造起始材料的半導體片預形物，其稍後使用 RIC 科技而再結晶。

特定的處理方案和架構乃揭示於專利合作條約申請案第 US2008 / 002058 號(標題為「具有紋理表面的太陽能電



池」，由 Emanuel M. Sachs、James F. Bredt、麻省理工學院於 2008 年 2 月 15 日申請，指定美國)，其亦主張基於二美國臨時申請案第 60 / 901,511 號(2007 年 2 月 15 日申請)和第 61 / 011,933 號(2008 年 1 月 23 日申請)的優先權。PCT 申請案和二美國臨時申請案都完整併於此以為參考。揭示於這些申請案的科技在此合起來稱為自我校準電池(Self Alignment Cell, SAC)科技。揭示在此的方法可以用來製造加以紋理的半導體晶圓，其用來做為揭示於 SAC 專利申請案之自我校準電池的起始工件。

【發明內容】

於在此揭示之方法的一具體態樣，如圖 3A、3B、3C、3D 所示，維持矽的熔融物 13，並且多孔的耐火材料(例如石墨)的冷片 15 通往熔融物上，如此則耐火材料接觸熔融物的頂部 15。真空 17 施加於多孔耐火片的頂部，如此以經由該片抽拉周遭的大氣壓。在接觸熔融物時，基本上同時發生二件事：(1)矽凝固於多孔耐火片的冷卻表面；以及(2)真空維持矽於耐火片。結果便是冷的耐火基板上有矽的薄片 19。解除真空 17 之後，可以從耐火片釋放矽。當耐火片是冷的而接觸矽熔融物 13 時，耐火片 5 上有很少或沒有附著物。除了矽以外，本方法也可以用來形成其他的半導體薄片。後面的討論使用矽做為起始範例，之後會再更一般化。

以下的發明方面想要在此來描述，並且此章節是要確

保它們被提到。它們的樣式呈現為許多方面，並且雖然它們顯得類似於申請專利範圍，但是它們不是申請專利範圍。然而，於未來某一時點，申請人保有主張任何和所有這些方面於本案以及任何相關申請案的權利。

A1. 一種製作半導體主體的方法，該方法包括以下步驟：

- a. 提供融熔的半導體材料，其具有表面；
- b. 提供多孔模，其包括形成表面；
- c. 提供差別壓力體制，使得在至少一部分之形成表面的壓力是小於在融熔材料表面的壓力；
- d. 使形成表面接觸融熔材料而有接觸期間，使得在至少部分的接觸期間中：
 - i. 提供差別壓力體制；以及
 - ii. 至少部分的形成表面是在低於半導體材料熔點的溫度；
- 致使半導體材料的主體固化在形成表面上；
- e. 使形成表面相對於融熔的半導體材料而移動，而固化的主體是在形成表面上；以及
- f. 減少差別壓力體制的程度，藉此有助於固化的主體從形成表面脫離。

A2. 如方面 1 的方法，提供差別壓力體制的步驟包括：在融熔材料表面提供大氣壓力，以及在形成表面提供小於大氣壓力的壓力。

A3. 如方面 2 的方法，其中小於大氣壓力的壓力是部

分真空。

A4. 如方面 1 的方法，提供差別壓力體制的步驟包括：在融熔材料表面提供超過大氣壓力的壓力，以及在形成面提供大氣壓力。

A5. 如方面 1 的方法，模包括單一形成表面，其接觸融熔半導體材料的表面。

A6. 如方面 1 的方法，模包括多個表面，它們相對於彼此而呈現角度，並且接觸的步驟包括：把模浸漬於融熔材料裡，使得融熔材料接觸多個表面。

A7. 如方面 6 的方法，模包括正交的表面。

A8. 如方面 1 的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之前，進一步包括：相對於融熔材料的表面來傾斜形成表面的步驟，如此則僅有部分的形成表面起始接觸著融熔材料的表面。

A9. 如方面 1 的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之後，進一步包括：相對於重力場來傾斜形成表面的步驟，如此則融熔材料從形成表面流掉。

A10. 如方面 1 的方法，在使形成表面相對於融熔材料而移動的步驟期間或之後，進一步包括：繞著一軸來旋轉形成表面的步驟，該軸具有垂直於形成表面的分量，如此則融熔材料從形成表面流掉。

A11. 如方面 1 的方法，在使形成表面相對於融熔材料而移動的步驟之後，進一步包括：提供壓力體制的步驟，使得形成表面和固化半導體之間的壓力大於在固化半導體

之自由面的壓力，該自由面乃背對形成表面。

A12. 如方面 1 的方法，進一步包括：在形成表面和融熔材料之間提供功能性材料的步驟，該功能性材料經過選擇而有助於選自以下群組的功能：

- a. 抑制晶粒成核成長；
- b. 避免雜質從模通到固化的半導體主體；
- c. 增進固化的半導體主體從形成表面釋放；以及
- d. 促使晶粒成核成長於固化之半導體主體的特定位置。

A13. 如方面 1 的方法，進一步包括以下步驟：

a. 在造成相對移動的步驟之前，在固化的半導體材料上提供包括氧化物的功能性材料，而該固化的半導體材料是指定為犧牲性固化主體；

b. 熔化固化的犧牲性半導體主體，藉此在融熔材料上留下功能性主體；以及

c. 使形成表面接觸在融熔材料上的功能性主體而有第二接觸期間，使得在至少部分的第二接觸期間中：

- i. 提供差別壓力體制；以及
- ii. 至少部分的形成表面是在低於半導體材料熔點的溫度，

致使具有自由面之半導體材料的主體固化在形成表面上。

A14. 如方面 13 的方法，在使形成表面接觸功能性主體的步驟之前，進一步包括：使形成表面相對於功能性主



體而移動的步驟，使得它們分開一段時間。

A15. 如方面 13 的方法，其中使形成表面接觸功能性主體的步驟包括：於熔化犧牲性主體的步驟期間，維持形成表面接觸著功能性主體。

A16. 如方面 12 的方法，提供功能性材料的步驟包括：提供功能性材料至形成表面。

A17. 如方面 12 的方法，提供功能性材料的步驟包括：提供功能性材料至融熔材料的表面。

A18. 如方面 17 的方法，融熔材料包括矽，並且提供功能性材料的步驟包括：提供固化的功能性材料主體至融熔矽的表面，並且使融熔矽表面的氣氛富含氧，藉此造成在融熔矽的表面上有 SiO_2 主體，以及進一步包括：使形成表面接觸 SiO_2 主體的步驟。

A19. 如方面 12 的方法，功能性材料乃選自以下構成的群組：氧化矽、二氧化矽(矽石)、碳化矽、氮化矽、矽、氮氧化矽、碳氧化矽、氮化硼。

A20. 如方面 1 的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之前，進一步包括：提供優選的成核劑於形成表面和融熔材料之間的介面。

A21. 如方面 8 的方法，功能性材料選自以下構成的群組：矽、二氧化矽。

A22. 如方面 1 的方法，進一步包括：施加彎月面控制元件以從固化的主體脫離附著之融熔材料的步驟。

A23. 如方面 22 的方法，彎月面控制元件包括實質不

被融熔材料所濕潤的主體，其具有相對於融熔材料和周遭氣氛而呈大於大約 60 度的潤濕角度。

A24. 如方面 22 的方法，彎月面控制元件包括棒。

A25. 如方面 1 的方法，形成表面包括實質未加以紋理的表面。

A26. 如方面 1 的方法，形成表面包括加以紋理的表面。

A27. 如方面 26 的方法，加以紋理的表面包括對應於要形成於固化半導體材料之補光紋理的形狀。

A28. 如方面 26 的方法，加以紋理的表面包括對應於要形成於固化半導體材料之電極定位紋理的形狀。

A29. 如方面 26 的方法，加以紋理的表面具有特徵性的特性尺度，並且固化的半導體具有的厚度是小於特徵性的特性尺度。

A30. 如方面 1 的方法，多孔性形成主體包括選自以下構成之群組的材料：石墨、碳化矽、氮化矽、矽石、氮氧化矽、碳氧化矽、氮化硼。

A31. 如方面 1 的方法，多孔模包括燒結粉體。

A32. 如方面 1 的方法，多孔模包括石墨體。

A33. 如方面 1 的方法，多孔模包括已經處理成多孔之原始固態矽做的主體。

A34. 如方面 1 的方法，多孔模包括已經形成孔洞穿過之原始固態矽做的主體。

A35. 如方面 34 的方法，孔洞包括圓錐形孔洞。

A36. 如方面 34 的方法，於經過固態主體的孔洞中進

一步包括多孔材料。

A37. 如方面 1 的方法，多孔模包括多孔矽做的主體。

A38. 如方面 37 的方法，多孔矽已經藉由沉積金屬晶種層在矽主體表面上、然後蝕刻播種過的矽主體而形成。

A39. 如方面 33 的方法，多孔模進一步包括氧化矽做的至少一外表面層。

A40. 如方面 1 的方法，進一步包括：在形成表面的選擇位置來控制晶粒成核成長的步驟。

A41. 如方面 1 的方法，控制成核的步驟是選自以下構成的群組：

- a. 提供具有空間變化厚度的模；
- b. 提供相對於形成表面做空間變化的壓力差；
- c. 提供具有空間變化熱絕緣的模；
- d. 提供具有空間變化紋理的形成表面；
- e. 提供具有空間變化熱擴散的模；
- f. 在形成面提供特定區域化的溫度分布輪廓；以及
- g. 在形成表面上首先接觸融熔材料的位置提供晶種。

A42. 如方面 1 的方法，進一步包括：在形成表面的選擇位置來控制晶粒成長之方向性的步驟。

A43. 如方面 42 的方法，控制晶粒成長之方向性的步驟是選自以下構成的群組：

- a. 提供具有空間變化厚度的模；
- b. 提供相對於形成表面做空間變化的壓力差；
- c. 提供具有空間變化熱絕緣的模；

- d. 提供具有空間變化紋理的形成表面；
- e. 提供具有空間變化熱擴散的模；
- f. 在形成面提供特定區域化的溫度分布輪廓；以及
- g. 在形成表面上首先接觸融熔材料的位置提供晶種。

A44. 如方面 1 的方法，模包括充氣部。

A45. 如方面 44 的方法，模包括模片，而充氣部包括的結構乃設計成強化模片以抵抗任何過多的壓力。

A46. 如方面 44 的方法，充氣部包括複合充氣部，其具有至少二腔室，其中提供差別壓力體制的步驟包括：提供二個不同的差別壓力體制，使得在形成面之至少二個不同部分的壓力是小於在融熔材料表面之氣氛的壓力，以及於接觸步驟期間進一步包括：相對於一腔室來移動另一腔室的步驟，以改變二個不同壓力體制的相對位置。

A47. 如方面 1 的方法，其中：

a. 提供融熔材料的步驟包括：提供融熔材料於容器，該容器具有至少一壁，使得融熔材料的彎月面存在著凸的彎曲，其背對容器而具有高於該壁的最上部分；以及

b. 使形成表面接觸融熔材料的步驟包括：使形成面靠著凸的彎月面而通過。

A48. 如方面 47 的方法，造成相對移動的步驟包括：在形成表面和融熔材料之間造成實質線性的相對移動。

A49. 如方面 48 的方法，造成相對移動的步驟包括：造成實質垂直於局部重力場的相對移動。

A50. 如方面 48 的方法，造成相對移動的步驟包括：

造成具有校準於局部重力場之分量的相對移動。

A51. 如方面 1 的方法，提供差別壓力體制的步驟包括：

- a. 在相鄰於模表面的第一區域提供第一差別壓力；以及
- b. 在模表面的多個個別分離位置提供第二、不同的差別壓力。

A52. 如方面 1 的方法，進一步包括：抑制融熔材料表面之振盪移動的步驟。

A53. 如方面 1 的方法，提供融熔材料的步驟包括：提供融熔材料於容器，使得融熔材料的深度小於大約五毫米，並且最好小於大約三毫米。

A54. 如方面 1 的方法，減少差別壓力體制之程度的步驟包括：逆轉差別壓力的方向，使得力量施加至固化材料而導引離開形成表面。

A55. 如方面 1 的方法，進一步包括：提供模的形成表面和融熔材料的表面都在跨越其空間範圍之均勻起始溫度的步驟。

A56. 如方面 1 的方法，接觸的步驟包括：使形成表面接觸融熔材料的表面，使得形成表面的每個部分接觸著融熔材料都有大約相同的期間。

A57. 如方面 56 的方法，接觸的步驟包括：使形成表面相對於融熔材料的表面做漸進的、相對掃過。

A58. 如方面 1 的方法，其中模具有有限的熱容量，使得形成表面的溫度實質上升至大約等於融熔材料的溫度，

致使之後無額外的融熔材料固化。

A59. 如方面 1 的方法，進一步包括：藉由減少起始固化層和模之間的接觸面積而減少模和固化主體之間之熱傳係數的步驟。

A60. 如方面 59 的方法，控制熱傳係數的步驟包括：調整差別壓力體制的大小。

A61. 如方面 59 的方法，其中提供模的步驟包括：提供的模具有氣體滲透性、空洞率、厚度的性質，其經過選擇以隨著時間、配合融熔材料的過熱來控制差別壓力體制大小的改變，以界定用於熱傳係數的接觸面積。

A62. 如方面 1 的方法，其中形成的晶圓具有比在融熔材料中的摻雜程度還低的摻雜程度。

A63. 如方面 62 的方法，此摻雜的較低程度透過分離的行動來完成，並且固化前置的優點是以夠低的速度來允許分離的舉行。

A64. 如方面 1 的方法，進一步包含具有低分離係數的摻雜物。

A65. 如方面 64 的方法，進一步包含加入鎂、銦、磷或砷的步驟，並且融熔材料為矽。

A66. 如方面 64 的方法，進一步包含加入材料以填充熔融物的步驟，該材料具有約等於在最終晶圓中所期望的摻雜濃度。

【實施方式】

首先討論本發明在此揭示的一般方面。一般方面之後再討論詳細的變化。

將首先討論本發明以批次實施的方面，其中一次製作單一半導體片，如參考圖 3A~3B 所示意地顯示。於此例，半導體熔融物 13 可以包含於相當傳統的坩堝 11，其係由石墨、矽石、碳化矽、氮化矽和其他已知可包含熔融矽的材料所做成。如圖 1 所詳示，舉例而言，藉由機械加工腔穴 3 於石墨塊中而產生真空充氣部 1。石墨做的薄片 5 固定於充氣部 1 的底部。此片最好具有一般程度的氣體滲透性(具有高孔洞性和 / 或相對較薄)。充氣部最好有最少的多孔性石墨。充氣部也或可由非多孔性陶瓷所做成。薄片在此將稱為模片。真空吸力則施加於埠 7。充氣部 1 和模片 5 的組合 8 是以結構元件(未顯示)而從上方加以支持。真空埠 7 的延伸可以做為此結構元件，或者可以提供分開的結構元件。現在參見圖 3A，組合 8 被帶去接觸熔融物 13 的表面 15，如圖 3A 所示。允許此組合保持接觸熔融物達指定的時間，或許是在 1 秒的等級。組合和熔融物之間的接觸時間長短將視以下因素而改變，這些因素包括但不限於：熔融物溫度、模片溫度、模片厚度、所要製作矽片的期望厚度。因為模片 5 比矽的凝固點冷，所以矽片凝固在模片上，如圖 3B 所示。此過程因此是瞬間熱傳，其導致矽熔融物 13 冷卻至熔點然後抽取熔化熱，此導致模片上有固態矽的累積 19。一般而言，模片應該保持得比熔融材料的凝固點冷。甚至更一般來說，至少部分的模片應該在低於

凝固點的溫度而長達模片接觸融熔材料的至少部分時間。以矽做為範例，其凝固 / 熔點為 1412°C 。雖然維持模片的有效範圍可能從室溫到 1300°C ，較可能的範圍是從 900°C 到 1200°C ，但是任何低於凝固點 / 熔點的溫度可以是適合的，此視整個環境狀況而定。

真空的主要目的是使矽片 19 暫時維持靠著模片 5。矽片形成之後，矽片 19 輕易從模片 5 移除是有幫助的。如果矽片會單純地掉落則是非常有幫助的。然而，非常重要的是當矽片正形成時，其係附著於模片 5。真空 17 完成此目的。若沒有真空，則當接觸融熔矽 13 達適當時間長度之後而要移除模片時，固化的矽 19 可能會保持遺留在熔融物的頂部 15 上，然後它會再熔化。的確需要顯著的附著以從熔融物 13、15 移除固化的矽片 19，因為融熔矽的表面張力正保持矽片 19 往下。

指定的時間之後，從熔融物 13 舉起組合 8，現在它攜載著附著於它的矽片 19，如圖 3C 所示。最後，於圖 3D，解除真空 17，便可以從模片 5 分開形成的矽片 19。在解除真空 17 時，矽片 19 可以單純地掉落。然而，一些小量的殘餘附著可能保持該片不掉落。一種做法是施加正氣壓至組合 8 的充氣部，如此以吹落該片 19。另一種做法是提供某種溫和的機械移除。下面會詳細討論用於此的技術。

石墨模片 5 必須具有足夠的孔洞性以允許吸力，而吸力要足以完成附著於矽片 19 的目的。石墨有非常大的等級變化，其孔洞性的範圍非常大。因此有許多適合的選擇。



二種此類適合的選擇是 UT6 和 2191 等級，都來自密西根州 Bay City 的 Ultra Carbon 公司 (Carbone of America 的分支)。使模片 26 薄則也可以使用較低孔洞性的石墨，如此以允許經由它流動足夠的氣體。如參考圖 6 所示意地顯示，如果模片 26 太薄而在真空下不能支持其本身整個寬度，則後援結構 29 可以提供於充氣部裡。此結構可以採肋和柱的形式而機械加工於充氣部裡。另外可選擇的是把一片非常多孔性的石墨或其他多孔材料置於充氣部以提供後援支持。舉例而言，使用陶瓷過濾體可以達成極高的孔洞性，其係此技藝所已知的。

模片 5 的孔洞性不可以大到允許融熔矽 13 進入孔洞而使釋放矽片 19 變得困難或不可能。二獨立因素結合以避免矽進入細微孔洞。第一個，融熔矽的表面張力乃太高不允許它滲透進入細微孔洞 (非潤濕性材料做的)。第二個，矽在接觸模片時開始快速凝固，並且於細微孔洞所呈現之高的表面積對體積比例的狀況下，此凝固會特別快。對於濕潤的材料甚至也會出現第二因素。

模片採用較低孔洞性石墨的優點是此材料的晶粒尺寸較小，此材料因而可以允許在形成的矽片上有精細的完工表面。這些完工表面可以幾乎像鏡子而提供非常平滑的矽片。另外可選擇的是如圖 2 所示，石墨模片 35 可以具有刻意機械加工至該模片的紋理 9，而意欲轉移該紋理到形成的矽片。此紋理然後可以用來補光以及提供完成電池製造操作所需的溝槽，例如上面 SAC 專利申請案所描述的，譬

如用於金屬化的槽道(像是傳導性的指狀物)和匯流條。應用真空來抽取矽熔融物以填充相關的紋理元件，例如溝槽、槽道...等。真空吸力需要克服融熔矽的表面張力以填充紋理元件。紋理元件可以模型化成半球狀。接著導出可填充的最小半球形紋理元件可以應用 Laplace 方程式來估算，如下：

$$\text{壓力} = 1 \text{ 大氣壓} = 2\gamma / r$$

其中 γ 是融熔矽的表面張力，而 r 是半球形紋理的半徑。對於 γ = 每公尺 0.72 牛頓的矽來說， $r = 7$ 微米。此係夠小以允許良好補光，特別是由於紋理可以比蝕刻的紋理還大(由於矽不需要被蝕刻 / 浪費)。金屬化溝槽的特色尺寸比補光特色還大，因此金屬化溝槽較易填充以融熔材料。事實上，補光紋理可以做成非常大的尺度。頂部表面的高低起伏可以具有特徵性的特性尺度，其可以比晶圓本身的厚度還深。前面的討論乃關於在大約大氣壓力下使用熔融物表面。底下討論在高於大氣壓力下使用熔融物表面的變化，其會允許達成比上面討論還小的半球形紋理元件。

圖 7A、7B、7C 顯示具有大尺度紋理的模片 31。此紋理的尺度比所要形成的矽片厚度還大。圖 7B 顯示模片和充氣部的組合，而凝固的半導體片 32 已就位。圖 7C 顯示從模片釋放之後的矽半導體片 32。如所顯示的，形成片 32 的皺摺起伏大小是片 32 本身厚度的至少三倍。

一項重要的議題是當凝固層從熔融物中舉起時，一些液體可能黏於底部然後凝固，如此使底部變得凹凸不平。



一種使此情形減到最少的方法是首先舉起模片的一邊緣或角落，藉此允許融熔材料從晶圓的底部流掉並且回到熔融物整體。

可以藉由接觸熔融物之後立即往上舉起模片幾毫米(可能最高達大約 10 毫米而沒有彎月面脫離)而協助從整個液體快速脫離凝固中的半導體片。這將建立液體的彎月面，而當模片在固化結束時升高，液體將更輕易滴落。下面會更仔細討論傾斜形成的半導體片的步驟，以使多餘的液體附著減到最少。

在撤離時，從形成的半導體片底側移除任何殘餘液體的另一做法是快速旋轉模片和附著的半導體片，藉此把殘餘的融熔材料拋離至側邊。這可以用正方形模片來實施。然而為了對稱，可以使用圓形模片，導致鑄造出碟形的半導體片晶圓。此晶圓然後或可以雷射裁切成想要的形狀和尺寸，並且切掉的碎片則再熔化。或可在脫離彎月面時就立即開始旋轉模片和晶圓，該脫離是由升起模片所實現。另外可選擇的是由實現彎月面脫離的機構來做開始旋轉。或可允許旋轉所側向逐出的液體衝擊著盛裝坩堝的側壁並且滴回熔融物裡。另外可選擇的是如果僅少量液體逐出，允許此液體被拋出坩堝邊緣而從熔融物移除之則可以是合意的。這些液體小滴會衝擊於冷表面並且凝固於此，稍後於計畫性維修期間再移除。由於雜質於固化期間偏析的緣故，這些液體當中將具有濃縮的雜質。因此移除此液體將從系統移除雜質。下面會更仔細討論和示範旋轉形成的半

導體片的步驟。

升高模片的溫度，例如可以高達 1200°C 或者高達可以的溫度，同時仍然避免矽和模片之間的任何附著，則可以是合意的。較高溫度的模片將導致較慢的熱傳以及固化的半導體片有較大的晶粒尺寸。再者，於現在正討論的單一品圓批次模式，固化花長達 5 秒以提供較容易的製程控制則可以是合意的。再者，控制跨越模片的溫度分布輪廓，如此以使固化從模片上的一點或一側進行到另一點或一側而導致較大晶粒，則可以是合意的。舉例而言，對於圓形模片可以想要中央比周邊熱，或者周邊比中央熱，視想要的晶粒成長方向而定。於周邊做起始成核可以是有利的，這是因為這些小晶粒然後會於裁切操作期間切掉。

一種實現模片溫度控制的方式是維持它在熔融物上方 1~2 公分的位置，如此它可以獲取熱量，然後經由模片(透過之後將用來施加真空的埠)吹出氫，如此以提供冷卻和控制該片的溫度。如果模片的厚度隨著其範圍程度而改變，則經由它的流動也將變化。當模片較厚，冷卻氣體則將較少流動，並且模片將變得較熱。當模片位置是在熔融物的表面上方而從模片吹出氫的另一優點是將避免例如氧化矽的氣體沉積在模片上。

凝固形成的半導體片可以單純藉由解除真空而從模片釋放。此外，可以施加一些往外流動的氣體以幫助分開形成的半導體片。再者，在充氣部裡應用壓力如此以使氣體往外流動，也可以用來輕微且可控制地吹出模片，藉此幫



助分開形成的矽半導體片。這些以及額外促進脫離的方法在下面會更仔細討論。

於另一偏好的具體態樣，模片是連續側向移動於熔融物池的表面上。雖然模片可能是帶狀而且此過程是連續的，但是也可能以個別分離長度(舉例來說，0.5~2 公尺的等級長度)的模片來實施。這模式將在此稱為半連續的模式。

連續的和半連續的模式操作的差異性需求在於包含於坩堝壁(而沒有其他東西)之內和之下的熔融物將不足以進行連續的或半連續的模式，這是因為比坩堝大的模片無法接觸熔融物而不干擾到坩堝壁。一種解決方式是在熔融物中產生凸起，很像在波浪焊接所做的。此做法可以是把熔融物向上泵動經過狹縫，並且讓熔融物溢流出狹縫而向下落回熔融物主池裡。熔融矽可以用浸沒於熔融物的離心泵來泵動。另外可選擇的是振盪磁場，例如從置於熔融物底下的線圈所產生，而由於電磁排斥的緣故，其可以使熔融物隆起。磁流體動力學可以用來在熔融物表面產生凸起，其係將電流側向通過熔融物並且施加垂直磁場，而對熔融物造成向上的主體力。下面會更仔細討論並且參考圖式來示範這每一個方法。

允許模片以連續的或半連續的模式來接觸熔融物表面的另一種方法是如圖 4A、4B、4C、4D 所示。熔融物 23 提供於窄槽 21，並且熔融物的頂部延伸超過槽的頂部。延伸的程度可以為小，大約 1 到大約 4 毫米。由於毛細管作

用的緣故，熔融物將保持就位而不會溢流出槽。圖 4A 顯示組合 8 裡的模片在抵達熔融物 23 之前的情形。圖 4B 顯示模片 5 大約是在其橫越熔融物上的中途，而有一厚度的矽 19 已凝固於部分的模片 5，該部分已經從接觸熔融物中冒出。模片的中央部分仍然接觸著熔融物，此處的矽是在凝固於模片的過程中。結果是標示液體和固體之間界線的介面 10 乃相對於模片 5 的底面(由角度 α 上面那條線的延伸所指)呈現傾斜角度 α 。圖 4C 顯示模片 5 和真空的組合 8 已經完成跨越之後的情形，並且矽片 19 仍然因真空 17 而附著。於圖 4D，已經解除真空 17，並且移除了矽片 19。

模片橫越熔融物上的速度可以很快。接觸熔融物的時間可以在 0.001 和 1 秒或更多之間改變，舉例來說二秒。如果接觸寬度為 2 公分，則對應的橫越速度將是在每秒 20 公尺和每秒 2 公分之間，而速度範圍最可能在每秒大約 5~20 公分之間。

矽的熔化熱是每公克 1787 焦耳，相較於其比熱則是每公克每度 0.7 焦耳。需要固化過熱之熔融物的能量乃壓倒性地由熔化熱所主宰，此乃由於甚至有 100K 的過熱，可感知的熱量僅能說明凝固所需能量的 4%。由於此過程和所得的膜厚度是由熱傳所控制，故此過程很能忍受熔融物溫度的變化。為了固化 200 微米的厚膜，每單位面積所需的能量(僅基於熔化熱)是每平方公分 90 焦耳。對於高熱傳導性的基板，熱量抽取是由模片和半導體(例如矽)之間的熱傳係數所主宰。舉例來說，快速固化過程的典型熱傳係數為



每平方公尺每度是 1×10^3 到 1×10^6 瓦，而 Uno 所決定之矽在水冷卻的銅和不鏽鋼輪上的實驗值為每平方公尺每度 4.7×10^3 瓦。每單位面積的熱通量乃定義為： $Q / A = h (T_{\text{熔物}} - T_{\text{基板}})$ 。

對於 1000K 的溫度梯度而言，每平方公分 470 瓦的熱通量則會對於 200 毫米的厚度造成大約 200 毫秒的固化時間。為了檢查確認基板的熱傳導性將不會限制熱量流動，石墨的熱擴散度是每秒大約 0.1 平方公分，此導致 0.2 秒的熱擴散長度為 1.4 毫米。假設固化能量是由比熱為每公克每度 2 焦耳的 1 毫米厚石墨表面層所取走，則會導致石墨於模製事件期間溫度上升 200K。

於許多具體態樣，在模片的橫越期間，槽裡熔融物可用的量保持大約固定不變將會是重要的，因此需要容許熔融物通往槽。此熔融物可以來自大的融熔矽儲槽，其係包含於連接到槽的坩堝中。儲槽愈大，則跨越期間之槽裡的熔融物高度改變就愈小。進一步控制熔融物的高度可以使用位移活塞(例如石墨做的)而達成，活塞乃向下移動以補償矽於跨越期間的撤離。

雖然瞬間熱傳將決定接觸熔融物池期間將凝固於模片的矽片厚度，但是一些量的液態矽也可能在固化矽的底側上被抽掉。為了避免此點，模片可以採相對於水平的角度來橫越於熔融物池上，如圖 5A、5B、5C、5D 所示意地顯示。這將提供小的流體靜力頭，其將汲取任何附著於固化矽 19 底部的液態矽回到熔融物池裡。圖 5A、5B、5C、5D

分別顯示相同於針對圖 4A、4B、4C、4D 所述的過程順序時機。注意圖 5A 和 5B 的坩堝 25 具有傾斜的外壁。此傾斜提供保護邊界以對抗矽向下潤濕坩堝的側壁，特別是當液體正在抽離坩堝邊緣的圖 5B 狀況期間。

這些方法的另一重要益處是能夠逐出雜質到熔融物裡而避免把它們併入生長中的矽片。大多數電性上有害的金屬雜質遠不溶於固體而較溶於液體，所以傾向於在固化介面被逐出。於液體 / 固體介面以受控制的方向來移動的晶體成長過程，例如前述這些過程的情形，此提供純化進料的機會。為了能夠偏析雜質回到熔融物整體裡，液體 / 固體介面的前進速率不可以太高，否則雜質會凝固到固化的材料中。雖然在此揭示發明的片形成速率為高，不過固化介面的前進速率顯著較低，此歸因於液體固體介面相對於拉動方向(箭號 P 所指，其亦平行於模片的底面)的傾斜角度 α 。舉例而言，考慮包含融熔矽的槽寬度是 2 公分並且需要接觸的時間長度是 0.2 秒，則拉的速度為每秒 10 公分。如果所製作的片是 200 微米厚(典型厚度)，則固化介面的前進速率是每 0.2 秒 200 微米，或者每秒 1 毫米。這前進速率雖然為高，但仍將允許偏析和伴隨而來的純化。

偏析也衝擊著一些故意的摻雜物，而在標準的晶體成長方法則會使得要用此種摻雜物很困難。舉例而言，雖然鎵是矽中合意的 p 型摻雜物，但是通常難以使用，這是因為偏析導致生長晶體的電阻性隨著鑄錠成長或鑄造過程中的成長繼續而減少。相同的情形亦適用於磷(n 型摻雜物)。



然而以本發明的方法，摻雜物將累積於熔融物而達到恆定態，其可以藉由適當補足熔融物來維持。以此方式，從熔融物形成的每個晶圓便具有相同的摻雜程度，因此本身將具有相同的摻雜程度。同時，直接從熔融物形成晶圓能夠密切、快速地來製程監督整體電阻性。隨著每次添加 Si 進料，可以快速實現熔融物中摻雜物濃度之任何需要的改變。

晶體成長介面的傾斜角度乃由於大部分的熱量是從矽跨越固化片厚度(垂直於跨越 / 拉動的方向)所移除的緣故。結果，固化中之片的溫度梯度可以非常低。此將導致固化中的片裡有低的應力以及因而有低的差排密度。由於差排密度是劣化矽片於光伏之電子表現的主要因素，故此為主要優點。

雖然模片 5 可以由石墨所做成，但是也可由某一範圍的其他材料所做成，舉例而言包括碳化矽、氮化矽、矽石、碳化硼、焦化氮化硼、此等的合金(包括氮氧化矽)。因為模片乃保持冷的，所以也可能考慮例如氧化鋁的材料(如果還是熱時就接觸熔融物，則可能會導致熔融物被鋁污染)。底下討論其他材料，例如矽本身。於所有例子，允許真空吸力所需的孔洞性可以藉由從粉末製作模片而產生，其係燒結或結合粉末在一起而成多孔體。也可能製作非多孔材料的模片以及提供足夠密度和數量的小孔洞以容許通往真空。一般而言，雖然模片必須展現足夠的滲透性以允許吸力，但是不足以容許通過矽。它不應該包含過渡金屬或過渡金屬性雜質。它應該製作成薄片，其係平坦的或具有紋

理。它必須容忍某種程度的熱應力 / 衝擊。

前面已經概括敘述模片(於某些例子也稱為形成模)的形成面溫度是低於半導體材料的熔點。雖然對於形成面的部分區域在形成面接觸融熔材料的部分期間必須是這樣，但是對於整個時間以及形成面的整個區域未必如此。類似而言，前面已經描述施加真空(或者如其他地方討論的壓力差)，如此則形成模的背後、非形成面和融熔材料之間便有壓力差，而融熔材料會被抽動或強迫靠著形成模。然而，此壓力差或真空不需要施加於形成模的整個表面積，或者甚至不需要施加於接觸融熔材料的整個部分，或者不需要施加於形成模接觸融熔材料的整個期間。

在此描述的製程依賴施加於模片 5 暴露於熔融物的那一面(圖 1 的形成面，也稱作形成表面 6)和模片的相對面(背面 4)之間的差別壓力。施加此差別壓力的一種方便機構是採用真空泵以在模片的背面 4 上產生低壓，同時使用實質周遭壓力的氣體於熔融物表面 15 和因此模片 5 的形成面 6。此具體態樣的優點在於爐的圍場不需要密封成氣密的，也不需要能夠維持超過包含清洩氣體所需的正壓力。然而於另一具體態樣，模片諸面之間的差別壓力產生則是把模片 5 的背面 4 直接排放於大氣壓，同時維持模片形成面上的氣氛是在實質高於局部大氣壓的壓力。此具體態樣的優點在於不需要真空泵。此具體態樣的進一步優點在於可以達成大於局部大氣壓力之跨越模片的差別壓力，其可以帶來製程上的益處，例如在產生精細表面紋理時。差別壓力



可以施加於模片接觸熔融材料表面之前或者之後。

當本說明書和申請專利範圍使用真空一詞時，其也對應於任何在模片 5 的形成面 6 和背面 4 之間發展壓力差的機構，而不論在模片 5 的形成面 6 或者背面 4 的絕對壓力為何。實驗上而言，跨越模片 5 的厚度而範圍從 1 千帕(kPa)到 100 kPa 的差別壓力已經示範有製程上的可行性。應該也注意每當本說明書和申請專利範圍使用真空一詞，其係理解成意指任何程度的部分真空，高達並包括完全真空。

<孔洞性>

前面和底下敘述多孔的模片和形成模體。多孔的乃意謂開放孔的孔洞性，使得氣體可以流動經過多孔主體而從一表面到相對表面。此種多孔體也可以包括封閉孔的多孔區域。整個主體必須是呈此種多孔形式而允許傳遞穿過氣體。因此，在此使用多孔的一詞乃敘述此種允許傳遞穿過氣體的多孔體，即使它們也可以包括封閉孔的部分。

形成中之半導體晶圓的成長可以採連續的、半連續的或個別分離的模式來進行，如上面所討論。對於連續的成長，模片必須進給於包含熔融物之坩堝的圓形邊緣或唇部上方，在預定距離接觸熔融物，然後再從坩堝的邊緣或唇部退出。平坦的模片會需要某部分的熔融物駐留於坩堝的唇部之上。這或可藉由於熔融物中形成小丘或升高凸起而完成，其係由機械泵動或磁流體動力學的(magneto-hydrodynamic, MHD)力所造成，如上面以及下面也會討論的。或者是說，如果液體彎月面是栓固於坩堝的

頂部邊緣，則熔融材料或可駐留於坩堝的邊緣或唇部上方。此坩堝可能呈線性槽的形狀，例如上面參考圖 4A~4D 和圖 5A~5D 所示。此種槽或可為自立式，或者可能駐留於另一較大坩堝之中或之上。此安排的優點在於保持在槽坩堝邊緣上所漏掉的任何熔融物。把熔融物從較低、較大的坩堝轉移回到槽裡的機構可以是有用的，以使廢料減到最少。

個別分離的或半連續成長的一項議題，如參考圖 8A~8E 所示意地顯示，是在形成之後如何配置仍保持在晶圓之熔融物側表面 806 上的熔融材料。微多孔模片 805 乃懸掛自浸漬於熔融物 813 中的真空充氣部組合 808，使得模片 805 的形成面是實質平行於自由熔融物表面 815，然後撤離於箭號 W 方向，而此微多孔模片 805 傾向於形成懸垂液滴 889 (圖 8D)。這液滴會干擾後續的晶圓處理，一般是不合意的。一種上面討論用以移除此多餘液體並且現在於此示範的方法是從熔融物 813 撤離時快速地旋轉模片 805，如箭號 S 所指，藉此使多餘的液體拋離圓形邊緣或者使它偏析於形成之晶圓 819 的周邊 888 (圖 8E)。此方法或可使用於圓形或多邊形模片 805。多餘的熔融物可以回到坩堝或從系統移除而做為逐出雜質的機構。可以切掉局部於旋轉平坦基板之圓形邊緣或角落的多餘熔融物而回到坩堝。由於有多餘的液體，一些或所有的這個材料可以隔離而做為移除雜質的機構。此多餘的熔融物可能有高量的逐出雜質，此乃因為它將最後凝固。如圖 8E 所示，模片 805



的旋轉軸乃實質垂直於形成之晶圓 819 的平面。但不需要就這樣。再者，旋轉軸乃顯示成相對於重力場而垂直的。但也不需要就這樣。

另一種處理融熔材料之續存液滴的方法是參考圖 9A~9C 和圖 10A~10E 而示意地示範，其係使液滴 1088 在形成之晶圓 19 的一個邊緣上形成，而非在中央。於此方式，可以保留晶圓的犧牲性區域以容納該液滴，其可以從形成的晶圓切掉而回到熔融物裡。一種達成此的方法是傾斜整個真空充氣部，並且附著該形成面而對熔融物表面呈一角度。這做法需要使用真空連接來允許傾斜移動，並且要能夠操作於液態矽溫度，而沒有釋出可能損及最終晶圓品質的污染物。

此方法的一種實施方式是成二階段。第一階段是放上(圖 9A~圖 9C)，其中形成面 6 維持成傾斜和向下平移，如箭號 L 所指，直到接觸熔融物表面 15 是發生在形成面的下緣 985 為止。附著了形成面的整個真空充氣部則繞著平行於接觸熔融物表面 15 的形成面 6 邊緣 985 的軸來旋轉，以此種方式掃過形成面 6 的融熔材料。於此事件期間，形成面碰觸熔融物表面的邊緣 985 可以垂直移動。此種掃動導入融熔材料至形成面 6 的一個結果是促進矽晶圓側向成長在形成面上(平行於形成面的平面)，如此以形成伸長的晶粒結構而有相對較大的晶粒，其係合意的。在此大晶粒的結晶模板上的後續凝固則可以發生成垂直於形成面 6 的表面。與掃動導入和側向成長有所關聯的是液體—固態矽介

面，其相對於晶圓平面而呈一角度(很像圖 4B 所示，但是後者的例子是在槽的情況)。

應該注意到相同的裝置也可以用來導到平行於熔融物表面的形成面，如此則形成面的所有部分都在相同時間接觸熔融物。於此種例子，固體和液態矽之間的介面將是實質平行於形成片和晶圓的平面。於形成片帶往下而平行於熔融物的例子，有可能捕捉在形成片和熔融物之間小量的爐周遭氣體，然而這些小量的空氣將被經由形成面正在抽吸的真空所移除。

參考圖 10A~10E 所示，如果當模片 5 從熔融物表面 15 移除時而形成表面 6 是傾斜的，則液體彎月面 1087 可以成受控制的方式流出，並且任何殘餘的熔融物 1088 會留在形成晶圓 19 的邊緣 1089 (圖 10E)。此優點在於以線性方式跨越晶圓表面而掃過彎月面，此僅遺留非常薄的融熔材料膜。由於採用旋轉安排，多餘的或偏析的材料可以裁掉和回到熔融物裡；而一些裁切的材料則隔離以便從熔融物和坩堝移除雜質。

矽晶圓的表面完工(包括平坦度和平滑度)大部分是由晶圓成長之後的液體彎月面流出所決定。雖然良好的表面完工可以藉由上述的傾斜移動來達成，但是其他方法也可以進一步改善表面完工。脫離液體彎月面的一項重要因素是熔融物於液體從晶圓表面流出期間的移動，舉例來說是藉由傾斜或者旋轉形成的晶圓所造成，如底下所描述。從液體以受控制的、緩慢的、平滑的撤回晶圓則導致平滑的

晶圓表面。液體彎月面於流出期間的不穩定性(舉例而言是由熔融物中的波浪所造成)可以導致晶圓表面上有不利的表面加工，例如波紋和凸起。

一種改善晶圓表面完工的方法是減少熔融物之任何波浪移動的起伏大小，並且快速減弱任何的確發生的波浪。一種減少波浪起伏大小的方法是使用淺的熔融物 13 (圖 3A)，舉例而言，5 毫米或更小的熔融物深度是有用的，甚至淺達 3 毫米或 1 毫米，如果坩堝底部上的局部顆粒狀雜質不比大約 0.5 毫米還大的話。對於特定的非潤濕性坩堝 11 材料(例如石英)，可達到的最小熔融物深度是由液態矽的表面張力以及液態矽和坩堝材料之間接觸角度所支配。結果為了於此種材料獲得非常淺的熔融物深度，也可以包括潤濕性材料的圓形邊緣以確保覆蓋坩堝的全部面積。舉例而言，如參考圖 11 所示意地顯示，可以使用薄的(例如 5 毫米厚)石墨環 1112 (其對於矽是潤濕性的)，其外徑匹配於坩堝 11 的內徑，而高度等於熔融物 13 想要的深度。

另一種減少熔融物中波浪的方法乃參考圖 12 而示意地顯示，其係使用浸沒於熔融物 13 表面 15 底下的實體擋板 1214。這些擋板阻礙液體的側向流動，並且快速減弱任何呈現於熔融物中的波浪移動。

另一種控制熔融物從形成的晶圓表面之移除速率的機構可以是彎月面控制元件。此係由分開的主體所構成，其相對於形成面而移動，並且其位置控制著彎月面從新形成之晶圓表面脫離的位置。

此議題討論附著於形成面(其係平行於但是從名義上的自由熔融物表面升起)的彎月面穩定性。液體在固體表面上的平衡潤濕角度是由熔融物和表面的表面能所決定。這角度是可重複的，並且對於液體、固體、周遭氣體的給定系統是考慮成固定不變的。於惰性氣體裡，液態矽附著於固態矽上的平衡角度是 11 度。如果存在潤濕角度被擾亂成小於 11 度的物理狀況，則彎月面的附著點將傾向於移動，直到重新建立平衡並且附著角度是 11 度為止。液體彎月面附著於水平形成面(維持平行於自由熔融物表面)的例子可以使用 Laplace 方程式來審視，其關於跨越液體—氣體或液體—液體介面的壓力差、該表面的曲率半徑、介面的表面能。跨越介面的壓力可以當作流體靜力壓力：

$$P = \rho g H \text{ (液體密度} \times \text{重力} \times \text{從自由表面算起的高度)}$$

於此計算，周遭的氣壓是當成常數，並且考慮成等於液體在自由熔融物表面的壓力。

如果考慮附著有線性邊緣，則僅有一個曲率半徑，那麼 Laplace 方程式變成：

$$P = 2 \gamma / r。$$

假設附著角度以及沿著表面呈非常小階梯的掃動角度增加，則可以數值解出關聯的壓力降低和曲率改變。經由重複計算發現形成面在自由熔融物表面上方的最大穩定高度是大約 0.01077 公尺。假設了密度值為每立方公尺 2530 公斤以及表面張力為每公尺 0.72 牛頓。

如果形成面從自由熔融物表面緩慢升高，則可以預測

以下情形。只要彎月面對形成面的附著角度大於 11 度，則系統是穩定的並且液體 813 保持附著於形成面的邊緣。一旦形成面升高的高度若再進一步增加就會要求對於形成面的平坦表面之附著角度要小於 11 度，則彎月面 887 便會側向移動直到重新建立平衡為止，或者直到碰到來自形成面另一邊緣的行進的彎月面為止。於此情況，熔融物和形成面之間便喪失接觸，並且剩餘的大液滴 889 留在形成面上(圖 8D)。熔融物高度有非常小的擾動就可以改變彎月面的脫離速度，或者甚至暫時逆轉之。這些擾動可以由熔融物中的波浪所造成；在受到真空充氣部和形成面的作用而攪動的液體容器(坩堝)中是難以避免波浪。

控制彎月面的脫離速度是合意的，因為已經觀察到以此技術形成的 Si 片表面完工乃高度相依於彎月面從片表面撤離的相對速度。更佳控制彎月面從新形成 Si 片表面之撤離速度的技術是很適合控制 Si 片的表面完工。

上面討論彎月面的附著穩定性乃關於控制彎月面從 Si 片的脫離速度。一種控制熔融物從形成之晶圓表面移除速率的機構可以是彎月面控制元件。此係由分開的主體所構成，其相對於形成面而移動，並且其位置控制著彎月面從新形成之晶圓表面脫離的位置。

彎月面脫離機制的一種組態是使用不會被熔融物所濕潤的材料。該材料在存在的周遭大氣壓下應具有相對於熔融材料而呈大於大約 60 度的潤濕角度。圖 13A 和 13B 顯示此種機制的一種可能實施方式。於此範例，將模片 5 浸

漬於熔融物 1313 裡而形成晶圓 19。晶圓成長之後，模片 5 撤到熔融物 1313 的自由表面 1315 上方，其高度使得液體彎月面 1387 仍然附著於形成之晶圓 19 的熔融物側(依據上面範例則高度小於 0.01077 公尺)。彎月面控制元件舉例來說是由小直徑(舉例而言 5 毫米)的水平圓柱體 1391 所構成，其平移於形成的晶圓 19 和熔融物 1313 之間，於箭號 M 所指方向，而迫使液體彎月面 1387 從固態矽晶圓 19 脫離。這會發生乃由於彎月面表面變形的緣故，使得如果附著位置要保持靜止不動的話，附著角度就會小於 11 度。平移控制元件 1387 跨越晶圓 19 的整個長度之後，晶圓 19 的熔融物側表面 1318 幾乎沒有液態矽 1387。

彎月面控制元件的另一種組態是如圖 14A 和 14B 所示，其係非潤濕性的材料主體 1491，其部分浸沒於熔融物 1413 的自由熔融物表面 1415 底下。圖 14A 和 14B 所示之參考數字以 14 開頭的其他元件，與那些列於圖 13 之參考數字以 13 開頭者，後面接的數字相同者則彼此是類似的。

彎月面控制元件可以結合充氣部和模片的垂直或傾斜移動，或者可以涵括彎月面脫離主體的垂直和側向移動。

<槽>

晶圓表面完工品質可以受到彎月面從新形成之晶圓表面的撤離速度所影響。緊緊控制此速度的一種機構是合意的。同時，以受控制的掃動方式把融熔材料階段性導到模片表面，其在形成之晶圓的最終結晶上可以具有益處。特定而言，把融熔材料側向導到模片的形成面可以促進所有

的或部分的形成中之晶圓做側向成長，而導致較大、伸長的晶粒結構。側向導入乃意謂在形成面和熔融材料的自由表面之間提供相對移動，此相對移動具有平行於自由表面之平面或與之呈切線(如果是彎曲的熔融物自由表面)的分量。半導體材料(例如 Si)後續從熔融物凝固於此伸長之晶粒結構的結晶模板可以發生，以達到想要的晶圓厚度。一種同時達成控制性導入熔融物至模片表面以及從晶圓表面分開熔融物的機構是使用上述關於圖 4A~4D 和圖 5A~5D 的槽，以及提供熔融物的凸起或升高部分。底下討論提供此種凸起的機構。於那些方法，定位槽 21 (其填充以熔融材料)而使得熔融物接觸模片 5 的一個邊緣，之後槽 21 對模片 5 做側向相對移動以使熔融材料 23 掃過模片 5 的形成面。此種移動可能結合了輕觸模片 5 以促進熔融物從晶圓表面移除，如剛才敘述的。噴射氣體也可能用來迫使多餘的熔融物離開晶圓表面。此種槽需要一種填充或補足的機構，因為熔融物會漏失於正在形成的晶圓，也可能溢出邊緣。於個別分離的或半連續的成長模式，此槽可以藉由浸沒於較大坩堝裡的熔融物表面下而重新填充。

<泵動升高的熔融物>

上面概括、簡要討論提供連續製程的一種技術是在熔融物中產生相對較高的區域，於某些例子稱為凸起，很像於波浪焊接的情況。完成此點的裝置乃參考圖 15 所示意地顯示。此做法可以是將熔融物 1513 向上泵動經過狹縫 1582，並且讓熔融物溢流出狹縫而向下落回熔融物 1513 的

主池裡。融熔矽可以由連續地或不連續地加壓融熔矽 1513 的機構 1585 而泵動，以使之流動高於熔融物的自由表面 1515，而提供融熔矽附著至浸沒於熔融物 1513 之模片 5 形成面 6 的位置。泵動機構或可為齒輪泵、葉輪泵或任何其他適合的機構。於相關的具體態樣，泵動融熔矽可以使用注射型位移器而採非連續的方式執行，該位移器匹配於流體連通至狹縫 1582 之填充矽的容座。此具體態樣的優點在於藉由改變位移器位置而允許直接即時控制熔融物彎月面 1518 的高度。一種類似的具體態樣使用氣體做為位移器，以非連續地把融熔矽進給至狹縫。這二具體態樣優於連續泵動式狹縫的優點是減少磨耗、減少硬體複雜度、能夠依據每個晶圓來改變彎月面高度。

若不依賴泵動或動力造成凸起，則如參考圖 16 所示意地顯示，可以改為將局部為高的液體表面 1615 呈現給移動的模片 5，其做法是於箭號 W 方向、沿著模片長度掃過在液態矽表面 1615 之下的堰 1681，而模片本身移動於箭號 M 方向，其具有平行於箭號 W 的分量並且具有在箭號 W 方向中超過堰速度的值。此種堰將暫時升高在移動堰 1681 前方的液態矽自由表面高度 1685。當融熔矽流動越過移動堰，模片獨立地移動越過堰的尖峰，一般也於箭號 M 的相同方向，而耦合於流動液體。一旦堰已經橫越坩堝 1611 並且模片的整個長度已經通過液體表面的邊緣，則可以移除完全固化的晶圓 1619，而堰可以回到其開始位置並且可以開始再次循環。模片也可以是靜止不動的，而由移動堰和相關



升高的熔融物來提供接觸模片，而模片是水平的且稍微高於自由表面。堰可以是對稱的，使得晶圓可以從二方向來形成。

另一種使熔融物表面一區段垂直升高或降低的方法是參考圖 17A 和 17B 而示意地顯示。部分的熔融物 1713 乃偏析於電絕緣槽 1711。或可使用石英做為槽的材料。槽 1713 本身是在較大的流體儲槽(未顯示)裡並與之流體連通，而熔融物 1713 可以流動到該儲槽裡。如果電接觸是經由二接觸物 1791a 和 1791b 做在電偏析區域二末端，則沿著箭號 I 方向的電流路徑可以局部的於坩堝 1711 內部尺寸和熔融物深度所界定的液體體積 1713。

如果此電流施加於沿著箭號 B 所指方向的橫向磁場中，則主體力 F 產生於熔融物的局限區域。主體力的方向是上或是下乃視電流 I 和磁場 B 的符號而定。如果槽 1711 的一端(顯示於圖 17A 的左手邊而呈開放)允許連通位在槽外面之較大體積的熔融物(未顯示)，則槽裡液體頂部 1715 之垂直位置的改變可以藉由電流的大小和符號來實現，如比較圖 17A 和 17B 所示的液體頂部高度；同時仍然局限電流路徑和關聯的主體力於槽中熔融物和二電極之間。

上述側向導入模片至熔融物表面的方法和裝置是所要的，以促進形成的矽晶圓有側向晶粒成長，而導致展現增進之電性質的長晶粒。一種進一步增加晶粒尺寸的方法是將形成的晶圓播種以已知晶向的晶種，其可以配合上述任何的側向導入方法來實施。

一種播種生長之晶圓的方法是參考圖 18 所顯示。播種的做法是把一個單晶矽 1829 附著(藉由真空或機械方式)在模片 5 的前緣(其係模片首先接觸熔融物表面的邊緣，而模片將相對於熔融物而於箭號 A 的方向移動)。這示意地示範於圖 18 而於槽中實施。熔融物 15 引入晶種之後，晶圓 1819 是藉由晶向相同於晶種的單晶側向成長而形成。晶圓模製完成之後，可以切掉晶種而於下次模製事件再使用；或者每次模製事件可以使用新的晶種。

以個別分離的晶種(其可以具有已知的晶向)來起始成長，則有可能影響形成之 Si 片的最終結晶。這些晶種可能置於功能性層的熔融物側上，或者可藉由真空而維持在形成面上。抑制成核的功能性層(下面討論)與個別分離的晶種加以組合，則可以導致具有預定晶向之大晶粒的最終 Si 片。這些晶種可以由 Si 晶圓帶所構成，其安排在形成面的邊緣，使得側向成長從此晶種發生並且傳播跨越形成面。此晶種帶可以由 $\langle 111 \rangle$ 晶向的 Si 晶圓窄片所構成。另一種可能則是均勻分布的一組顆粒，其跨越形成面而散佈。於此例，所得的 Si 片可以由對應於起始晶種間距之均勻尺寸的晶粒陣列所構成。

沿著形成中的晶圓長度而側向傳播固化的前緣可以是有利於生長大晶粒和簡化製造硬體設計。雖然上述方法和裝置允許側向傳播和直接控制固體—熔融物的介面，但是提供側向(平面上)的成長而在固體—熔融物介面處沒有表面液體效應的方法和裝置也可以是有利的。於本發明所有

的具體態樣，晶圓成長需要熔融物和模片之間的熱接觸，其係由透過模片而施加真空來實現。如參考圖 19 所示意地顯示，藉由改變在模片 1905 之背面 1904 (背對熔融物表面 1915 的那一側)上的真空空間環境，可以迫使熔融物 1915 和模片 1905 之間的熱接觸是在小的、強的真空區域 1921 (其係經由強的真空埠 1909 供應至強的真空來源 1923)。藉由改變此強真空區域 1921 的位置，舉例來說，於箭號 M 所指方向，使一線強真空向下掃過形成中之晶圓 1919 的長度，則可以實現側向成長而不需要動態穩定的模片 / 熔融物介面。此種具體態樣可以實現如下：在維持成連續接觸熔融物表面 1915 的模片 1905 後面實施移動的真空充氣部 1921。晶圓 1919 乃固化於移動之充氣部 1921 的位置或接近的位置。一旦晶圓 1919 形成，則充氣部 1903 剩餘處之弱的背景程度真空會允許晶圓 1919 暫時保持成附著於模片 1905。如在此所用的，強的真空乃考慮在大約 30 到大約 80 kPa 之間，而弱的真空則在大約 1 和 30 kPa 之間。

實現固體—液體介面之平面上的側向傳播而不需要動態穩定之彎月面的另一方法是在空間上改變進入模片的熱傳速率，其係改變模片的性質和幾何。於一具體態樣，參考圖 20 所示意地顯示，其係截面圖，藉由移除模片 2005 背面 2004 之一組盲孔 2016 的材料，而空間上改變跨越模片 2005 面積的局部真空。模片帶有盲孔的區域將更強地傳導真空 2017 到熔融物側 2006，導致增進熱傳而有局部成核。以正確的盲孔 2016 間距來說，這些局部成核的晶粒將

側向傳播跨越模片沒有盲孔的區域，而形成最大化的大晶粒。

於另一具體態樣，參考圖 21 而示意地顯示，可變熱擴散性材料做的插入物 2116 乃植入整個模片 2105 的不同位置。(除非另有所述，參考數字開頭為 21 所示的元件乃類似於圖 20 之開頭為 20 所示的元件。)模片可以於相對較短時間下傳導相對較多熱量的區域將傾向於成核出新的晶粒。這些晶粒將傳播跨越低熱容量的區域，而當它們碰到鄰近晶粒時形成大的晶粒。於一具體態樣，高熱擴散性的石墨插入物 2116 乃以規律間隔嵌埋於低熱擴散性的碳化矽模片 2105 裡。晶粒將傾向於成核在高熱擴散性插入物 2116 正下方的位置 2118，並且從那些位置往外膨脹。

於另一具體態樣，參考圖 22A 和 22B 而示意地顯示，可以垂直拉模片 2205，其從水平方向暴露於矽熔融物 2213，而非從如上面討論之具體態樣所示的垂直方向。對於此方法，熔融物 2213 乃包含於坩堝 2211，其一壁 2229a 比另一壁 2229b 淺，使得當熔融物 2213 的表面 2215 高度上升時，熔融物會溢出較淺的邊緣 2229a。熔融物的高度或可藉由所示的位移器 2221 而增加，或以任何適合的方法來增加。模片 2205 的位置是緊密接觸矮壁 2229a，使得熔融矽 2213 接觸模片 2205 而非溢出壁 2229a 的邊緣，其係藉助經由埠 2207 從模片 2205 之背面 2206 而抽拉的真空 2217。固態半導體片 2219 靠著模片 2205 而形成。模片沿著箭號 M 方向向上拉。真空 2217 促進了暴露自模片 5 底

下之熔融物的附著和熱傳進入模片 2205，其類似於上述的例子。在模片的更上面可以施加額外之相對較弱的真空(未顯示)，以在模片向上移動時保持矽片靠著它，直到想要釋放為止。坩堝壁 2229a、329b 相對於熔融材料而言可以是非潤濕性的，使得坩堝壁外面和模片之間的小間隙將因為液態矽的表面張力而不會被溢流的熔融物所填充。非潤濕性之坩堝材料的一個範例是石英。

此種垂直方法的優點在於液體從形成中的晶圓 2219 流出是由重力所輔助。模片 2205 的移動方向 M 可以是垂直的，如圖 22A 所示，或者此方向可以是傾斜的。如果模片 2205 傾斜偏離熔融物 2213，則形成的固態矽片 2219 是由模片 2205 上部的重力所支持。如果模片傾斜朝向熔融物而使得形成的固態矽片會在熔融物之上方，則弱的真空可以施加在模片的上部以保持矽片靠著模片，直到想要釋放為止。液體的最佳流出會發生於重力直接作用抵銷表面張力，此對於靠著固態矽的液態矽而言是在大約 11 度。

另一種實現熔融物受控制的、漸進的、側向附著於模片表面以及從形成晶圓表面脫離熔融物的機構，是定位形成面而使得它可以垂直投入熔融物，其中模主體的形成面是垂直於熔融物的自由表面。此參考圖 23A 和 23B 而示意地顯示，中空、微多孔性的模主體 2308 沿著箭號 P 方向投入熔融物 2313，而分別在具有二模片 2305a 和 2305b 之模主體 2308 的二形成面 2306a 和 2306b 上形成晶圓 2319a 和 2319b。顯示的是二形成表面 2306a 和 2306b，其彼此實質

平行而面向相反。模主體可以是許多不同形狀中的一種，並且它可以具有二、三、四或者更多個模形成表面。在每個形成表面 2306a 和 2306b 後面支持的每個結構 2305a 和 2305b 都可以考慮成模片，如同該詞在此所使用的。圖 23B 顯示模主體 2308 從熔融物 2313 沿著箭號 W 方向的撤離已接近結束。雖然此允許每次形成事件形成二片晶圓，但是需要相對較深的坩堝。差別壓力則是經由充氣部 2303 所提供，舉例來說，採用經由導管 2307 來抽真空 2317。

在這最近討論之本發明的垂直浸漬的具體態樣之前，前面的討論使用模片一詞來指融熔材料所倚靠而模製成最終形狀和表面紋理的元件。模片已經描述成一或多層大致類似片狀的元件。本章節使用模主體一詞，其係指大致三維、非類似片狀的元件，其由二或更多模片而彼此配置成某種幾何關係所組成。每個模片具有形成表面(在此也稱為形成面)。模主體之個別的模元件未必是類似片狀的。舉例來說，模主體可以是完全實心的，而具有多孔的內部以容許真空經此抽吸，並且繞著模主體的周邊有不同的形成面而彼此向外。如在此和於申請專利範圍所使用的，模一詞將用來指模片或模主體任一者或兩者、或者模主體的個別模片、或者模主體的外周邊，其具體呈現被模製於形成之晶圓上的形狀和 / 或表面紋理。

於另一具體態樣，參考圖 24 而示意地顯示，沿著箭號 M 方向水平拉動冷的模片 2405，其暴露於駐留在模片 2405 上的矽熔融物 2413。融熔材料 2413 包含於坩堝 2411，其



沿著壁 2429a、2429b 的底部之小間隙而使用非潤濕性的材料，以避免矽熔融物 2413 由於液態矽的高表面張力而洩漏。可以升高一壁 2429a 以允許抽取靠著模片 2405 所形成的固態片 2419，同時真空藉由真空充氣部 2401 從相對側來抽拉，其經由真空腔穴 2403 以促進附著和熱傳進入模片 2405。

以上面討論的其他情況而言，雖然圖 24 顯示模片是水平地(垂直於重力場)拉動，但是不需要就這樣。模片可以沿著一條具有水平分量的線而拉動，而熔融材料重力上來看是位在此上方。

於所有例子，使用真空能夠達到之模片溫度和材料的製程窗口會沒有真空所可能達到的要寬很多。特定而言，真空可以促進非潤濕性材料所必要的附著。由於非潤濕性材料也典型展現低的成核以及可以支持更大程度的過冷，這在控制固化矽片之所得的晶粒尺寸上是顯著的優點。

如參考圖 25 所示意地顯示，從模片 2505 釋放形成的晶圓 2519 則可以由一或多個小栓 2593 來幫忙，其會被迫穿過模片中緊密配合的孔洞。這些栓可能駐留在真空充氣部的空洞區域 2503 或其外面。它們最好應該接觸新形成的晶圓 2519，而在已經形成晶圓之後幫助把晶圓推離形成面 2506 的表面。

達成此種釋放的另一種裝置乃參考圖 26 而示意地顯示。框架 2693 圍繞著形成面 2606 的周邊而形成環狀物。晶圓 2619 已經形成之後，推動框架 2693，如此則它突出

經過形成面 2606 的平面，而把晶圓 2619 推離形成面 2606。框架或可延伸於形成面的整個周邊，或者僅延伸於其某一區段。

另一種方法是僅在模片 5 的表面 4 之減少面積的內部施加真空。因為晶圓傾向於形成在施加真空的地方，所以施加真空於較小的內部區域可以導致晶圓 19 不完全覆蓋形成面 6。如參考圖 27 所示，減少的真空區域可以由較小的真空充氣部 2701a 所達成，或者由位在模片 2705 背面上不想有真空之區域的不可滲透之披覆 2712 所達成。此種披覆的範例是 CVD SiN (氮化矽) 或熱解性石墨。形成的晶圓 2719 便不會延伸到形成面 2706 的銳利邊緣，而可以從純粹平坦的表面釋放。這點可以同時影響晶圓的釋放性質以及晶圓於形成事件期間所經歷的塑性變形量。已經發現銳利的邊緣是形成之晶圓 2719 有增進附著的地方，以及該邊緣提供晶圓 2719 和形成面 2706 之間強的機械耦合。避免晶圓從邊緣到邊緣是機械上連續的，則促進晶圓和形成面之間有相對滑動，而減少塑性變形和關聯的差排以及其他結晶缺陷的產生數量。任何此種差排和缺陷會肇因於形成面和固化晶圓之間的熱膨脹係數不相等。

或者以一類似的、較簡單的具體態樣來看，如參考圖 28 所示意地顯示，形成面 2806 可能具有超過真空充氣部之區域 2803 的延伸部 2893，如此則沒有融熔材料被抽吸到接近模片的邊緣，因此使接近邊緣的較強附著效應降到最低，故可以更輕易釋放形成的晶圓 2819。

如參考圖 29 所示意地顯示，形成面 2906 在於邊緣 2993 的區域也可能是非平坦的，而促進熔融物逐漸導向形成面 2906，並且進一步減少形成之晶圓 2919 機械附著於形成面 2906 的機會。

任何一或多種這些減少形成的晶圓對形成面之附著程度的技術，例如減少真空充氣部面積、氣體不可滲透的層、逐出栓、剝除板、非平坦的邊緣區域...等，可能為了類似目的而結合任何上述或在此之後發展的其他結構。

必須把模片 5 固定於充氣部組合 8。此可以使用傳統的栓或另一機械附著機制而做到。另外可選擇的是如參考圖 27 所示，模片 2705 可以藉由真空而固定於充氣部組合 2708。於此例，提供氣體不可滲透的披覆 2712 而繞著模片 2705 的邊緣。次要的真空充氣部 2701b 則施加在模片 2705 之不可滲透的區域上，以當主要的充氣部 2701a 加壓以釋放固化之半導體晶圓 2719 時做為機械附著模片於充氣部組合 2708 的機構。較薄的交叉陰影區域 2712 是氣體不可滲透的披覆，例如熱解性石墨，其不允許氣體流動而有二個目的。第一，它避免真空施加至模片 2705 接近邊緣的較外部分，如此則固化的晶圓 2719 是由相鄰於施加了真空之腔穴 2703a 的非披覆區域所界定。這保持晶圓 2719 的邊緣離開模片 2705 的邊緣並且幫助釋放晶圓 2719。較外的真空充氣部 2701b 也可以施加在此披覆區域 2712 上，以當較內的充氣部 2701a 於釋放晶圓 2719 期間不施加真空時可機械附著模片至真空組合 2708。使用真空做為機械附著機構

的一項優點是它不會影響模片 2705 的熱質量，後者可以衝擊晶圓的厚度。另一優點則是它可以提供較簡單的機構來自動裝卸模片 2705，這在製造天裡必須循環經過附著和脫離許多次，而在給定的合理時間範圍來形成每個晶圓以及模片的耐用性下，其速率範圍或可從每分鐘一次到每二至三小時一次。

對於使用矽片來製造太陽能電池來說，控制形成之矽片的目標厚度和控制其厚度均勻性是重要的，因為它們可以衝擊形成之矽片所做的晶圓強度和熱質量。雖然本方法可以用於製作個別的半導體晶圓，或者用於製作可以從它獲得晶圓的較大片，舉例來說係用於太陽能電池。本討論將使用片一詞，因為它比較一般化，但是將會了解此厚度討論也關於形成做為晶圓的主體。當晶圓經歷快速熱循環（例如金屬化燒成）時，厚度和因之而來的熱質量可以是重要的。矽片的薄區域可以導致局部弱點、晶圓於搬動期間斷裂、降低電池處理的產出。

由在此揭示之本發明所形成的矽片厚度主要是由模製事件期間從熔融物 13 控制熱量抽取所決定，如上面所討論。來自熔融物之每單位面積的熱通量乃受到模片 5 的材料、厚度、表面紋理所影響，也受到熔融物 13 和模片 5 二者被施加的真空壓力和溫度所影響。

在接觸時，熔融物 13 和模片 5 之間緊密的熱接觸會導致固態矽片 19 的固化，其厚度成長是基於熔化熱和熱通量：

$$V = h \times (T_{\text{熔融物}} - T_{\text{模}}) / H_f$$

其中 V 是固化前緣的速度， h 是熱傳係數， T 是溫度，而 H_f 是體積熔化熱，對於矽為每立方公尺 4.2×10^9 焦耳。這簡單形式忽略了過熱熔融物的比熱，其典型小於 H_f 的 5%，如上面所討論。固化前緣平行於模片形成面 6 的平坦例子一般也適用於模片移動跨越熔融物表面 15 且固化前緣幾乎是平行但與模片呈淺角度的連續製程。從文獻和實驗可知， h 的範例性數值是每平方公尺每度大約 5000 瓦，其會導致在 ΔT 為 100°C 和 800°C 下的固化前緣速度分別為每秒 0.1 毫米和每秒 1 毫米。於接觸之後的起始期間，矽片厚度可以由模片接觸熔融物的時間所控制。

由於是從熔融物抽取熱量，故模片 5 基於其擁有的熱質量和熱傳導性而將會熱起來。對於上面 ΔT 為 100°C 、經由傳導性 k 為每公尺每度 50 瓦之模片的熱通量為每平方公尺 5×10^5 瓦的例子，將導致模片有每毫米 10°C 的溫度梯度。如果使用具有絕緣襯墊的薄模片，則模片的整體溫度將會上升直到 $T_{\text{模}}$ 大約為 $T_{\text{熔融物}}$ 飽和為止。對於 2 毫米厚的模片、比熱 C_p 為每立方公尺每度 3.5×10^6 焦耳、起始 ΔT 為 100°C 而言，其會具有每平方公尺 7×10^5 焦耳的最大熱容量，此對應於 167 微米的矽片厚度。這提供穩定化機制以獨立於駐留時間來控制厚度。

類似而言，模片可以設計成具有變化厚度的不同材料，包括堆疊中的熱絕緣層，以達成想要的矽片厚度和改善均勻性，而穩健抵抗駐留時間的變化。以一模片做為範

例，其示意地顯示於圖 30，或可使用具有高熱傳導性層 3008 的模片 3005，而選擇其厚度和起始溫度，使得一旦矽片已經形成想要的厚度，則層 3008 將會熱飽和。熱飽和乃意謂在熔融物和層 3008 之間的給定溫度梯度下，沒有額外的半導體材料可以固化。更為絕緣性的內層 3007 會遲滯後續的熱量流動，如此則固化速率在此起始飽和點之後會實質較慢。層 3008 可以是幾乎飽和的，使得固化速率減緩到小於原始固化速率的 10%。此提供更穩健的厚度控制機構，因為它減少了對於駐留時間的敏感度。

如果擴散性不足以經由模片抽取熱量並且表面溫度反而上升，則模片材料的熱擴散性將額外限制了熱量抽取。較低的熱擴散性可以偏好於改善該片厚度的均勻性，這是由於模片表面溫度增加將減少固化前緣的速度並且減少厚度對於駐留時間的敏感度。

模片和熔融物之間一旦有了起始接觸，熔融物的表面可以塑形以部分順從於模片。這可以造成補光紋理，如上面所討論，並且可以額外影響熱傳。施加於模片 5 之背面 4 (圖 1) 的真空壓力可以用來平衡熔融矽的表面張力，並且支配著模片的接觸表面積和因之而來的熱傳係數。圖 31A 示意地以截面顯示一範例，其中部分的模片 3105 在形成面 3106 上具有加以紋理的表面。溝槽 3110 的深度對於拋光表面來說或可小於 1 微米，或者在故意設計的紋理上可以為 20 到 50 微米。在圖 31B 所示的輕度真空壓力下，只有很小的驅動力來使熔融物表面 3115 變形，並且僅有紋理的

高點將緊密接觸熔融物來抽取熱量。熔融物和模表面之間的剩餘空洞空間則是相對較為絕緣的，並且具有減少整體熱傳係數的效果。一旦形成了連續固體層，就不會發生進一步的變形。在較強的真空壓力下(最高達 1 大氣壓或者於加壓的熔融物腔室則更高)，熔融物可以在形成固體之前被迫更深入溝槽，而有效地增加接觸面積，如圖 31C 所示。

當模片接觸熔融物表面，其一開始是在周遭的壓力下，但壓力改變以匹配於施加至模片背面的真空壓力，其反應時間常數等於：

$$\tau = \frac{M\varepsilon\mu}{2\kappa\rho} \frac{t^2}{RT}$$

其中 M 、 μ 、 ρ 、 T 各是氣體的分子量、動態黏滯度、密度、溫度， R 是通用氣體常數，而 ε 、 κ 、 t 各是模片的空洞率、滲透性、厚度。舉例來說，使用在 1273K 的氫性質以及滲透性為 1×10^{-15} 平方公尺、空洞率 5% 的 1 毫米厚模片，則 $\tau = 15$ 毫秒。可用的模片材料之滲透性數值範圍跨越三個數量級的大小，如此結合厚度的選擇，則此時間常數可以設計成在幾秒和小於大約一毫秒之間。

對於固化出連續層 18 之前，液體變形的可用時間是由熔融物過熱、比熱、成核之前的過冷、熱通量所決定。可以選擇模片和熔融物的條件，使得凝固之前可用的時間比壓力減少和熔融物表面變形的時間常數還長。此種時間在凝固之前能使液體更加順從於模片表面(類似於圖 31C 所示)以及增加接觸面積和因之而來的熱傳係數。

一種增加晶粒尺寸的機構是於晶圓形成期間在模片和

熔融物之間使用功能性層。有不同種類的功能性層，其可以由不同的技術來提供，並且可以採不同的方式發揮功能。再者，這些功能性層可以由許多不同的材料所做成。

一種功能性層提供非成核性的介面，其允許從熔融物抽取熱量以及允許液體的次冷卻(sub-cooling)，導致側向成長出固態晶粒而沒有成核出新晶粒，而得到較大的晶粒尺寸。另一種則提供化學阻障來抵抗雜質從模片材料污染擴散到形成中的半導體晶圓。又有另一種功能性層可以促進晶粒在想要的位置成核(晶種)。此種層可以提供的再一種功能是避免形成的主體附著於模片。

一種有效的、非成核性之功能性層是氧化矽薄膜，舉例來說二氧化矽，譬如為 500 奈米厚的膜。微差掃描量熱法(Differential Scanning Calorimetry, DSC)實驗顯示多出 150°C 的次冷卻可以維持在液態矽和二氧化矽層之間。

可以在模片的形成面上提供功能性材料，或者在熔融物上提供，或者二者皆有提供。會先討論在熔融物上提供功能性材料，接著會討論關於在模片上提供功能性材料。

產生氧化矽功能性層的一種做法乃參考圖 32A~32E 而示意地顯示，其產生功能性層於矽熔融物 13 的自由表面 15 上。此做法可以是藉由導入與熔融物表面 15 上出現的矽反應之氧化氣體物質，而直接在熔融物上生長氧化矽薄層 3216 (圖 32B)，以形成漂浮在熔融物表面上的氧化矽薄層。模片 5 然後浸漬於熔融物裡(圖 32C)，而在模片 5 的形成面 6 上形成晶圓 3219。模組合 3208 從熔融物表面 15 撤

離，同時有施加真空，因而從熔融物舉起形成的晶圓 3219。移除的晶圓 3219 包括功能性材料做的披覆層 3216 (圖 32E)。以此做法，每個晶圓模製事件之間會再次生長功能性層。

產生非成核性的功能性層的另一做法乃參考圖 33A~33H 而示意地顯示。此做法是在固態矽表面上生長此種功能性層，該固態矽表面後續熔化回去而僅留下氧化矽。因為氧化物的成長動力學和氧化物性質在液態矽和固態矽之間有所不同，所以可以證明能夠在固態矽表面上而非在矽熔融物的自由表面上生長功能性層是有利的。於此做法，雖然模片 5 的形成面 6 首先接觸熔融物表面 15 以製作出犧牲性晶圓 3318，如上所述，但是其具有小的晶粒。從模片 5 釋放犧牲性晶圓 3318 而漂浮於熔融物 13 的表面 15 上。然後引入氧化性周遭 3317 到犧牲性晶圓的表面，造成長出氧化物層 3316。在與氧化物層成長的同時或者之後，以高溫度的熔融物 13 從底下熔掉犧牲性矽晶圓 3318，但是仍保持著氧化物一段時間。最後，模片 5 帶去接觸漂浮的氧化物功能性層 3316，而形成了製造的晶圓 3319。

功能性層可以進行的另一種功能是做為化學阻障，舉例來說以避免雜質從模片擴散到形成中的半導體晶圓。功能性層可以進行的另一種功能是避免模片和固化的矽片之間的附著，藉此有助於釋放。功能性層也可以阻礙未受控制的晶粒成核於形成中的主體。矽石可以符合這每個目的。不同的功能性材料也可以促進晶粒成核於想要的位

置，如果它經過空間設計的話。

在熔融物表面和模片之間產生功能性層的另一種做法是在模片本身的表面上產生此種功能性層，舉例而言，沉積二氧化矽或氮化矽的功能性層於石墨模片上。圖 30 顯示在模片 3005 上的此種功能性層 3014。一種產生此種功能性層的做法是直接沉積最終型式的功能性層，舉例而言是藉由化學氣相沉積(chemical vapor deposition, CVD)，或者物理氣相沉積(physical vapor deposition, PVD)。富含氮的氮化矽層乃藉由電漿增強的化學氣相沉積(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD)而常規地沉積於矽太陽能電池上，以使用做為抗反射披覆。這些氮化矽層和電子束沉積的 SiO_2 都已經發現可有效地在模片上形成抑制成核的緩衝層。

另一種做法是沉積前驅材料層，其後續轉變成最終的功能性層 3014。舉例而言，矽薄層可以藉由電子束蒸鍍而沉積在模片上，其後續藉由在氧化性氣體下熱退火而轉變成二氧化矽。

另一種在形成面上實施功能性層是使用粉末層。此粉末層可以由陶瓷粉末所構成，舉例而言，碳化矽、氮化矽或者二氧化矽。粉末層可以有單一或多個成分，其為不同組成和 / 或顆粒尺寸分布的粉末。此粉末層可以藉由噴灑泥漿和後續加以乾燥而施加。

於上述每個實施方式，產生的功能性層可以持續於模製多個晶圓期間，而不必更新或再沉積功能性層。然而，

每個模製事件之間也可能須要更新或再沉積功能性層以獲得最佳的功能性。沉積、轉變或者更新之功能性層的孔洞性必須仍然足以允許氣體通過功能性層的平面，使得真空或差別壓力的附著機制可以運作。

因此，功能性材料可以選擇自以下群組，包括但不限於：氧化矽、二氧化矽(矽石)、碳化矽、氮化矽、氮氧化矽、碳氧化矽、氮化硼、矽本身(做為晶種)。

前面已經討論使用各式各樣的材料所組成的模片，例如：石墨、碳化矽、氮化矽、矽石、氮氧化矽、碳氧化矽、碳化硼、氮化硼、這些的合金(包括氮氧化矽)，同時在特定的環境條件下還有氧化鋁。

由於矽可以非常高的純度來獲得、熟知的熱性質、容易生長或沉積矽基化合物(例如二氧化矽、氮化矽、碳化矽)的緣故，矽本身或可是優異的材料以生長在矽晶圓上而使用做為功能性層，如上面所討論。更特定而言，已經發現二氧化矽具有優異的非成核性和化學阻障性質，並且可以生長在矽上。因此由於特定的原因，使用由矽所製作的模片 5 會是合意的。顯著的問題是矽不是可滲透的，因此無法傳送真空或壓力差至熔融物。然而，已經發展出幾種方法來使矽變成可滲透的，其在下面會討論。

如參考圖 34 所示意地顯示的截面，雷射通孔 3432 可以切入薄的整塊矽 3434 (100 至 300 微米厚)的基板 3405，而在矽基板的至少一面上，通孔直徑小於 3 微米。(如在此所使用的，模片一詞是指完成的模元件，其具有形成面和

對立面。融熔材料則呈現在模片的形成面上。於某些例子，可以使用模主體，其具有幾個彼此相對安排的模片。在此使用的基板一詞是指處理變成模片的材料。)可以改變通孔 3432 的尺寸和間距以控制晶圓性質(例如厚度和微結構)。切割孔洞而產生孔洞性之後，基板 3405 可以藉由氧化或披覆矽的氧化物、氮化物、碳化物而進一步處理，以形成想要的功能性外層 3431。其他的處理方法，例如反應性離子蝕刻，也可以用來產生通孔。

如果較厚的基板 3505 是想要的，如參考圖 35 所示意地顯示，則雷射切出直徑小於 3 微米的通孔可能是不實際的。替代選擇的做法會是切割大的圓錐形通孔 3532，其在基板 3505 之一面 3531 上的直徑是 100 到 1000 微米，而在相對面 3533 上則是 10 到 100 微米。基板 3505 的主體 3534 是整塊矽。這些通孔然後可以填充以矽、碳化矽、氮化矽、矽石或這些所有或一些矽基化合物之組合的粉末。舉例而言，通孔可以藉由施加想要的粉末泥漿而填充，其混合的顆粒尺寸是與通孔尺寸以及對大直徑孔洞之基板面所想要的滲透性成一致。更特定而言，應該包含接近小孔洞直徑的顆粒以允許粉末混合物穩固地卡入孔洞，而尺寸小很多的顆粒應該用來設計滲透性。然後可以從基板具有小孔洞的那一面 3533 來施加真空，而把粉末顆粒裝填於通孔裡。基板可以於惰性或反應性氣氛下做熱處理，以氧化、氮化、碳化、反應結合或燒結該粉末混合物，以連接和緻密化通孔裡的粉末。

目前為止所描述之使用雷射切割通孔的二方法都導致可滲透的矽帶有巨觀上非均勻的滲透性。這對於成核控制而言可以是想要的。如果想要有均勻的滲透性，則整塊矽需要做成可滲透的，其孔洞會在奈米等級。於 $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2$ 中蝕刻以及使用金屬催化層(例如銀、金、銅)來產生多孔矽薄層的過程已經描述於文獻中(舉例而言，C. Chartier 等人，*Electrochimica Acta* 第 53 期(2008 年)，第 5509~5516 頁)。

使用銀(Ag)輔助的 $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2$ 蝕刻可以製作幾種新穎的基板以用於從矽熔融物成長矽晶圓。圖 36 顯示厚的多孔矽基板 3605 (100 到 1000 微米厚)，其表面上具有氧化的多孔矽 3631。於蝕刻過程期間產生二種多孔矽。沉入矽裡的銀顆粒會遺留直徑數百奈米(nm)的巨大孔洞。奈米多孔矽乃產生於樣品的表面和孔洞壁上。此奈米多孔矽可以用鹼性蝕刻劑(例如 NaOH 或 KOH)來移除。奈米多孔矽比巨大多孔矽更有反應性，並且可以留在原位，舉例而言，如果厚的 SiO_2 層是想要的話。矽蝕刻之後，推薦於 HNO_3 的清潔步驟以從樣品移除任何殘餘的銀。為了形成 SiO_2 層，可以在含氧環境下執行 900°C 和 1300°C 之間的熱氧化。滲透性的程度可以由 Ag 沉積量、蝕刻時間、 $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2$ 比例、浴液溫度所調整。圖 36 顯示的範例是以此方法所做的基板 3605，其中 3634 有部分氧化的多孔矽，並且表面 3631 上有多孔的 SiO_2 層。

文獻描述之方法的一個缺點在於不可能輕易產生局部

區域的多孔矽而又同時在相鄰區域維持平滑的完工表面。隨著完全蝕刻穿過厚基板所需的時間過去，部分的銀變成溶解於蝕刻溶液，並且蝕刻被催化於基板的整個表面上，即使銀層在 $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2$ 蝕刻之前加以遮罩亦然。這問題可以由本發明人發展的技術所解決。圖 37 顯示產生具有多孔矽區域之基板所偏好的流程。

矽基板加以清潔 3761，然後從硝酸銀溶液加以鍍覆 3762。舉例而言，在沉積 3762 銀晶種層之後使用低功率設定的雷射，而使銀與底下的矽合金化 3765，則可以在樣品表面上產生銀矽合金的區域。任何未合金化的銀然後可以於濃縮的硝酸中移除 3772，而留下相鄰於銀矽合金區域的潔淨矽區域，這是因為 $\text{Ag}-\text{Si}$ 合金不會被硝酸蝕刻。 $\text{Ag}-\text{Si}$ 合金仍將做為催化劑，但是將不會污染蝕刻溶液，因此可以藉由於 $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液中蝕刻 3766 如此製備的基板，而製造出具有多孔矽栓塞的整塊矽基板。圖 38 顯示氧化 3774 之後的此種基板。氧化的多孔矽栓塞 3832 穿透整塊矽 3834。整塊矽區域乃披覆以完全緻密的 SiO_2 3831。如果整塊矽上想要有多孔的 SiO_2 厚層，則基板在合金區域已經完全蝕刻穿過 3766 之前或之後可以浸沒 3767 於摻雜 Ag 的蝕刻溶液(大約 100 ppmw 的 Ag 便足夠)。這將導致樣品的表面有奈米多孔矽的厚層，其在氧化之後將導致厚的多孔 SiO_2 層(於此例，3834 會是多孔的 SiO_2 而非整塊 SiO)。最終矽蝕刻 3766 或 3767 之後，樣品應該於去離子(DI)水中加以清洗 3768。如果不要有多孔矽，舉例而言則樣品

可以於弱的苛性鈉溶液(例如 1%的 NaOH)做蝕刻 3769。於所有例子，基板應該於硝酸中清潔 3770 以移除殘餘的 Ag 金屬。以此方法，可以產生整塊矽和多孔矽的三維結構。因為多孔矽比整塊矽的三維結構更有反應性，所以矽的反應產物(舉例而言 SiO_2 或氮化矽)可以產生。除了以 SiO_2 層來抑制成核以外，控制真空和控制熱傳也都允許進一步控制生長於這些基板上的晶圓微結構。

如稍早所列，熱生長的二氧化矽很適合做為生長矽時的成核抑制層。具有相對較大晶粒的矽晶圓(晶粒直徑為 3 到 5 倍於晶圓厚度)已經生長在具有雷射通孔或金屬輔助蝕刻而產生孔洞性的矽基板上。微結構是由雷射通孔的密度和尺寸所控制。晶粒的成核乃增進於通孔位置而抑制於其他位置，這顯示有高程度的成核控制。接近單晶的矽乃生長在氧化的多孔矽基板上，而基板做為生長晶圓的晶種。

因此，模片可以由多孔矽所形成，如剛所討論的，並且如上所言，模片可以由以下所組成：石墨、碳化矽、氮化矽、矽石、氮氧化矽、碳氧化矽、碳化硼、氮化硼、及其組合，以及多孔矽的組合，就如上面所討論的。

前面許多討論已經關注在具有紋理之形成表面的模片。然而，在此揭示的本發明也可用於具有未加以紋理的、實質平滑的、甚至實質拋光的模表面的模片。

在此揭示的一些發明的中心方面是使用跨越模片的壓力差以在其上形成晶圓，其控制半導體(典型為矽)的固化和對模片的附著，並且稍後放鬆壓力差以允許釋放形成的

晶圓。此方面大大地增加可用於基板上固化此片之參數和材料的範圍，並且也減少成本。模片可以是(雖然不需要是)比熔融物冷，甚至實質上比熔融物冷，這是因為附著的產生是藉由壓力差而不依賴潤濕性。使用較低的模片溫度也擴大了可用的片材料本性。減少或甚至逆轉壓力差來釋放則提供快速、經濟、可製造的釋放方法，而不依賴釋放性披覆的功能和其再次應用。

熱量抽取幾乎是專門經由形成中的晶圓厚度(而非沿著其長度)。據此，液體和固體之間的介面是實質平行於模片形成表面或者對它呈相對較小的銳角。因此，固化中之半導體主體的溫度是實質均勻於其整個寬度，導致低的應力和低的差排密度，因而有較高的結晶品質。可以發生雜質從介面偏析至熔融物整體，導致材料於成長期間純化。可以使用具有低偏析係數的摻雜物(例如矽裡的鎵)，則每個晶圓可以從具有相同摻雜物濃度的熔融物來生長，因而具有相同的摻雜物濃度。

模片必須允許氣體流動經過它以產生和維持壓力差，而這可以藉由跨越整個片面積的孔洞性或者分布於片上的密集孔洞性而完成。模片可以實質為單一晶圓的尺寸或多個晶圓的尺寸，舉例而言呈現條的形式。把熔融物導到模片可以採各式各樣的組態來實施，包括：全部面積接觸熔融材料的頂部；模片橫越接觸熔融物的部分面積，不論是水平的或垂直的或者介於兩者之間；以及把模片浸漬於熔融物裡。固化層的厚度可以藉由改變模片溫度、模片厚度、

熔融物溫度、模片和熔融物之間的接觸時間來控制。晶粒尺寸可以由模片的起始溫度所控制，而以有方向性的方式把模片導到熔融物。有方向性的方式乃意謂漸進地，而部分模片首先接觸融熔材料，然後額外部分再接觸融熔材料，而非整個模片一起接觸融熔材料。晶粒尺寸也可以藉由模片和熔融物表面之間介面的材料本性來控制，特別是使用減少成核傾向的功能性材料。從熔融物移除形成的晶圓是藉由提供一機制來輔助，以流出多餘、未固化的熔融物，否則會因毛細管作用而維持在上面。從模片移除晶圓可以是採取減少或逆轉壓力差或者機械輔助。各式各樣導到熔融物、控制固化、移除多餘熔融物、移除晶圓的方法可以用任何合理方式加以組合。為了藉由固化片的移除來組成材料的損失，材料必須被加入至熔融物中。這可以藉由加入固體片或藉由加入融熔材料(該材料在分離的腔體中溶化)來達成。填充可以發生在每個晶圓形成前、在一批晶圓形成之間或者在連續的基本狀態上。被加入的材料也包含摻雜物，典型約與在固化晶圓中所期望的濃度相同。然而，故意摻雜的程度可以改變以維持在固化晶圓的摻雜上較緊密的控制。

本發明方法之有用的具體態樣具有下面特色。為了促進大的晶粒，熔融物是以漸進的方式導到模片，舉例而言，使用參考圖 9A 和圖 9B 所述之傾斜放上的方法。也使用減少晶粒成核的功能性材料，不論是在模片上或在熔融物的表面上。在彎月面控制元件的幫助下，脫離彎月面。模片

比要形成的晶圓大，並且真空僅限於部分的模片，如此有助於釋放。

雖然此敘述的許多部分已聚焦於製造矽片以後續處理成太陽能電池，但是在此揭示的方法並不限於此種應用。形成的矽晶粒尺寸和結構可能將不足以允許在這些方法所做的矽片上直接製造太陽能電池。因為固化是跨越晶圓厚度而發生，所以有可能逐出雜質到熔融物整體裡，如上面所討論，因而於過程期間化學精製了矽。因此，雖然一些直接製作的片之晶粒太小而不能支持最高效率的太陽能電池，但有可能以極低成本達成合理效率的電池(或許 15%)。

如此，則 Si 片可以使用做為此說明書開始所描述之囊器中再結晶(RIC)科技的進料。

再者，形成的材料不需要是矽。可以使用其他半導體材料，例如元素性半導體(例如鍺)和化合性半導體(例如砷化鎵)。

在此已經描述本發明的許多技術和機械方面。熟於此技藝者將理解：許多這些技術和機械方面可以與其他揭示的技術一起使用，即使它們尚未特定描述成一起使用亦然。在此揭示之元件可以有效地結合和使用的任何組合、次組合、次次組合...等，是想要列出成為明確的許多發明，不論是主張或未主張於申請專利範圍。不太可能特定列出許多數以百計、基於在此揭示的發明之可行的發明性組合成為一個發明。

因此，揭示在此的發明包括方法、製品、製造裝置。

在此揭示的方法發明包括製作半導體片預形物的方法，該預形物稍後會再結晶，該方法是把冷的多孔模片接觸熔融的半導體材料、發展跨越模片前後表面的壓力差、藉此從熔融物分開薄的半導體片、再結晶形成的預形片，如 RIC 申請案所述，然後使用半導體片做為太陽能電池基板。另一種方法發明是使用冷模片和半導體熔融物來製作太陽能電池基板的方法，該基板不需要再結晶，並且可以具有或不具有加以紋理的表面。已經討論這些方法的許多變化，包括使融熔材料和模片相遇的方式(浸漬和傾斜；模片底下有升高的熔融物；熔融物在模片之上；熔融物導到垂直模片的側邊；模主體垂直投入熔融物中)。其他變化關於施加壓力差的方法，包括：使用完全真空或部分真空而融熔表面在大氣壓力、使用加壓的熔融爐、施加均勻的壓力於整個模片、或者施加不同的壓力體制於模片的不同位置。已經討論許多從模片移除固化主體的不同方法和裝置，包括：關掉跨越模片的差別壓力、施加正壓力、機械栓、模片加以塑形來避免附著、提供功能性材料以做為模釋放劑、使用雙重充氣部真空再搭配部分模片上之氣體不可滲透的披覆。

舉例來說，可以使用任何適合的方法以經由模片來抽真空。可以使用任何半導體做為片預形物的材料。各式各樣的技術可以用來避免液體附著於形成之片預形物的底部。不同的功能性材料可以用於不同的目的。可以使用不同的方法來把熔融物引至模片。

在此揭示的發明製品包括依據上述方法所做的半導體片預形物，其適合有或沒有再結晶、有或沒有加以紋理的表面來使用。額外的製品發明包括各式各樣組態的模片，包括：具有盲孔穿過的，其填充以多孔的或其他的材料，或者未填充；層狀的，具有不同厚度和熱擴散性的層；比要固化之半導體主體還大的模片和 / 或具有圓化的邊緣；在形成表面具有功能性材料的模片；具有平坦的或加以紋理之形成表面的模片。更多的製品發明是多孔矽所組成的模片，其具有或沒有巨大的開口穿過，而可以填充以多孔材料或未填充；以及有或沒有例如矽石或其他材料做的外表面。

製造裝置的發明包括：用於充氣部和模片所安排的槽和支持結構，如上面針對半連續模式的製造所述，以及充氣部和模片的組合；具有掃動能力的雙重充氣部；用於模片和形成的晶圓之附著和釋放的雙重充氣部。額外的裝置發明包括於熔融物中產生升高部分的各式各樣裝置，包括：移動堰、用於使融熔半導體向上穿過而泵動的泵和升高狹縫、磁流體動力學設備。額外的裝置發明包括把融熔材料呈現給冷模片的不同安排，包括：融熔材料是在模片之下、融熔材料從上方(重力地)呈現給模片、融熔材料從側面呈現給模片。

雖然已經顯示和敘述了特定的具體態樣，但是熟於此技藝者將會了解：可以做出各式各樣的改變和修改，而不偏離本揭示的較廣方面。包含於上面敘述和所附圖式的所



有事物想要解讀成示範性的而無限制意味。

此揭示敘述和揭示了不只一個發明。這些發明列於本案和相關文件的申請專利範圍，不僅如原申請的，也如於審查任何基於此揭示之專利申請案期間所發展的。發明人傾向於主張保護所有各式各樣的發明達到先前技藝所允許的極限，如其後續所決定的。對於每個在此揭示的發明而言，在此描述的特色不是基本必要的。因此，發明人想要的是：在此描述的特色而未主張於任何基於此揭示之任何專利案的特定申請專利範圍，就不應該併入任何此種申請專利範圍。

硬體的一些組合或者步驟的群組在此是指發明。然而，這不是承認任何此種組合或群組必然就是可專利的個別明確發明，特別如關於將於一個專利申請案中審查的發明數目或者發明單一性的法規所設想的。它想要是一種述說發明具體態樣的簡短方式。

在此還呈送了摘要。要強調的是提供此摘要以符合法規需要摘要將允許審查員和其他搜尋者快速確認技術揭示的主題。所理解的是呈送摘要將不會用來解讀或限制申請專利的範圍或意義，如專利局的規則所承諾的。

前面的討論應該理解成是示範性的，而不應該視為有任何限制意味。雖然本發明已經特別參考其偏好的具體態樣來顯示和描述，但是熟於此技藝者將會了解：可以在當中的形式和細節做出各式各樣的改變，而不偏離本發明如申請專利範圍所界定的精神與範圍。

底下申請專利範圍中所有機構加功能或步驟加功能之用語的對應結構、材料、動作、等效的元件想要包括組合了其他主張的元件而執行該功能的任何結構、材料或動作，如所特定主張的。

【圖式簡單說明】

圖 1 是用於本發明之充氣部和耐火模片的示意圖；

圖 2 是此種充氣部的示意圖，其耐火模片具有加以紋理的表面；

圖 3A、3B、3C、3D 是本發明方法步驟的示意圖，其使用例如圖 1 所示的充氣部，而圖 3A 顯示耐火片接觸熔融物表面；圖 3B 顯示半導體片形成於模片上；圖 3C 顯示從熔融物移除充氣部和模片的組合；以及圖 3D 顯示在解除充氣部的真空時便從模片釋放形成的半導體片；

圖 4A、4B、4C、4D 是本發明之半連續具體態樣的方法步驟示意圖，其使用例如圖 1 所示的充氣部，而圖 4A 顯示耐火片接近熔融物表面，該表面延伸超過而高於坩堝的邊緣；圖 4B 顯示當模片移動跨越熔融物的表面，半導體片便形成於模片上；圖 4C 顯示已經通過之後，從熔融物移除充氣部和模片的組合；以及圖 4D 顯示在解除充氣部的真空時便從模片釋放形成的半導體片；

圖 5A、5B、5C、5D 是本發明另一個半連續具體態樣的方法步驟示意圖，其使用例如圖 1 所示的充氣部，類似於圖 4A~4D 所示，但是充氣部通過熔融物表面而使模片表

面相對於熔融物表面是傾斜的，其中圖 5A 顯示耐火片接近熔融物表面；圖 5B 顯示半導體片形成於模片上；圖 5C 顯示從熔融物移除充氣部和模片的組合；以及圖 5D 顯示從模片釋放形成的半導體片；

圖 6 是例如圖 1 所示之充氣部和耐火模片的示意圖，而具有襯墊來強化耐火片；

圖 7A、7B、7C 是本發明方法步驟的示意圖，其使用例如圖 1 所示的充氣部，而模片具有非常大尺度的紋理，如此以提供半導體片此種大尺度紋理，其中圖 7A 顯示加以紋理的耐火片；圖 7B 顯示加以紋理的耐火片附著了相符外殼的半導體；以及圖 7C 顯示從模片釋放形成的、加以紋理的半導體片。

圖 8A~8E 以截面圖示意地顯示五階段的方法和裝置，其從幾乎面對面接觸融熔材料的表面撤離模的形成表面，並且旋轉模表面而造成融熔材料累積在形成表面的邊緣；

圖 9A~9C 以截面圖示意地顯示三階段的方法和裝置，其把模形成表面導向融熔材料的表面，方式是傾斜形成表面往下朝向熔融物表面，以漸進地建立幾乎面對面的接觸；

圖 10A~10E 以截面圖示意地顯示五階段的方法和裝置，其從幾乎面對面接觸融熔材料的表面撤離模形成表面，方式是傾斜形成表面離開熔融物表面，同時融熔材料累積在形成表面的邊緣；

圖 11 示意地顯示具有部分浸沒之石墨圓形邊緣的坩堝；

圖 12 示意地顯示具有浸沒擋板的坩堝以抑制波浪移動；

圖 13A 和 13B 以截面圖示意地顯示二階段的方法和裝置，其顯示從形成的半導體主體以彎月面控制元件來脫離融熔材料的彎月面，該元件是在熔融物的自由表面之上並且不會被融熔材料所濕潤；

圖 14A 和 14B 以截面圖示意地顯示二階段的方法和裝置，其顯示從形成的半導體主體以部分浸沒的彎月面控制元件來脫離融熔材料的彎月面，該元件不會被融熔材料所濕潤；

圖 15 示意地顯示具有升高狹縫的坩堝截面圖，而可以泵動位在坩堝裡的融熔材料經過該狹縫，以將局部突出的液體表面呈現給模的形成表面；

圖 16 示意地顯示具有升高、移動堰的坩堝截面圖，而融熔材料可以流動超過該堰，以將局部突出的液體表面呈現給移動的模表面；

圖 17A 和 17B 示意地顯示二階段的方法和裝置，其使用磁流體動力學原理而於熔融物中提供升高的凸起。

圖 18 示意地顯示晶種，其用於生長具有相對較大晶粒尺寸的晶體；

圖 19 示意地顯示相對較大、相對較弱的真空充氣部，而當中有移動的、相對較小、相對較強的真空充氣部；

圖 20 示意地顯示具有模表面的模片截面圖，該模表面具有面向充氣部的盲孔，以控制局部的真空分布輪廓；

圖 21 示意地顯示具有形成表面的模片截面圖，該形成表面具有不同熱傳導性的區域，以控制局部的真空分布輪廓；

圖 22A 和 22B 以截面圖示意地顯示二階段的方法和裝置，其提供相鄰於融熔材料的模，該模然後垂直移動經過熔融物表面，使得主體靠著模而固化；

圖 23A 和 23B 以截面圖示意地顯示二階段的方法和裝置，其將模垂直導入融熔材料；

圖 24 以截面圖示意地顯示方法和裝置，其在模上提供一份量的融熔材料，並且真空從模片的相對側(一般是在模片下)來抽拉；

圖 25 以截面圖示意地顯示逐出栓的機制，其用於從模表面脫離形成的固化主體；

圖 26 以截面圖示意地顯示剝除板的機制，其用於從模表面脫離形成的固化主體；

圖 27 以截面圖示意地顯示雙重充氣部組合，其用來幫助固定模片於模組合，也幫助從模片釋放形成的晶圓；

圖 28 以截面圖示意地顯示模表面，其延伸超過相對真空施加區域，而導致固化的主體面積小於模表面；

圖 29 以截面圖示意地顯示模表面，其具有彎曲的邊緣，而造成固化的主體更輕易脫離模表面；

圖 30 示意地顯示由幾層不同材料和不同厚度所組成的多孔模；

圖 31A 示意地顯示具有表面紋理的多孔模片截面圖；

圖 31B 顯示圖 31A 的多孔模片，其已經施加相對較輕微的真空，而在模表面和融熔模製材料之間產生相對較少量的接觸面積；

圖 31C 顯示圖 31A 的多孔模片，其已經施加相對較強的真空，而在模表面和融熔模製材料之間產生相對較大量的接觸面積；

圖 32A、32B、32C、32D、32E 示意地顯示在融熔材料表面上提供和使用功能性材料的方法步驟；

圖 33A、33B、33C、33D、33E、33F、33G、33H 示意地顯示生長犧牲性晶圓、在犧牲性晶圓上生長功能性材料、熔掉犧牲性晶圓、從晶圓留下功能性材料於熔融物表面上、使模形成表面在功能性材料處接觸熔融物、在形成表面固化形成的晶圓、從模表面移除形成之晶圓的方法步驟；

圖 34 示意地顯示基板(典型為矽)的截面圖，其具有圓錐形通孔；

圖 35 示意地顯示基板(典型為矽)的截面圖，其用來做為具有模表面的模片，而具有雷射切割、粉末填充的孔洞；

圖 36 示意地顯示(典型為矽)基板的截面圖，其用來做為具有模表面的模片，而具有部分氧化的多孔矽內在部分以及多孔的 SiO_2 (多個)外層；

圖 37 以流程圖形式示意地顯示本發明的方法步驟，其利用無電鍍施加金屬晶種層和雷射增長來製作微多孔性矽基板；以及

圖 38 示意地顯示基板(典型為矽)的截面圖，其用來做為具有模表面的模片，而具有被氧化多孔矽栓塞穿過的整塊矽內在部分和整塊 SiO_2 (多個)外層。

【主要元件符號說明】

1	真空充氣部
3	腔穴
4	模片的背面
5	模片
6	模片的形成面
7	埠
8	充氣部和模片的組合
9	紋理
10	液體和固體之間的介面
11	坩堝
13	半導體熔融物
15	熔融物表面
17	真空
19	固態半導體(晶圓)的累積(片)
21	槽
23	熔融物
25	槽
26	模片
27	熔融物

29	後援結構
31	模片
32	半導體片
35	石墨模片
805	模片
806	晶圓之熔融物側表面
808	真空充氣部組合
813	熔融物
815	熔融物表面
819	晶圓
887	彎月面
888	晶圓周邊
889	懸垂液滴
985	形成面的下緣
1087	液體彎月面
1088	液滴(殘餘熔融物)
1089	晶圓邊緣
1112	石墨環
1214	實體擋板
1313	熔融物
1315	熔融物表面
1318	熔融物側表面
1387	液體彎月面
1391	水平圓柱體

1413	熔融物
1415	熔融物表面
1418	熔融物側表面
1491	非潤濕性材料主體
1513	熔融物
1515	熔融物表面
1518	熔融物彎月面
1519	晶圓
1582	狹縫
1585	加壓熔融物的機構
1611	坩堝
1613	熔融物
1615	局部為高的液體表面
1619	固化的晶圓
1681	堰
1685	自由表面
1711	槽
1713	熔融物
1715	熔融物表面
1791a、1791b	接觸物
1819	晶圓
1829	單晶矽
1903	充氣部
1904	模片的背面

1905	模片
1906	模片的形成面
1907	埠
1908	真空充氣部組合
1909	真空埠
1911	坩堝
1913	熔融物
1915	熔融物表面
1917	真空
1919	晶圓
1921	真空區域
1923	真空來源
2004	模片的背面
2005	模片
2006	熔融物側
2007	埠
2008	真空充氣部組合
2011	坩堝
2013	熔融物
2015	熔融物表面
2016	盲孔
2017	真空
2104	模片的背面
2105	模片

2106	模片的形成面
2107	埠
2108	真空充氣部組合
2111	坩堝
2113	熔融物
2115	熔融物表面
2116	插入物
2117	真空
2118	成核位置
2205	模片
2206	模片的背面
2207	埠
2211	坩堝
2213	熔融物
2215	熔融物表面
2217	真空
2219	半導體片
2221	位移器
2229a、2229b	坩堝壁
2303	充氣部
2305a、2305b	模片
2306a、2306b	模主體的形成面
2307	導管
2308	模主體

2313	熔融物
2315	熔融物表面
2317	真空
2319a、2319b	晶圓
2401	真空充氣部
2403	真空腔穴
2405	模片
2411	坩堝
2413	熔融物
2419	固態片
2429a、2429b	壁
2503	真空充氣部的空洞區域
2505	模片
2506	模片的形成面
2519	晶圓
2593	栓
2606	模片的形成面
2619	晶圓
2693	框架
2701a、2701b	真空充氣部
2703a、2703b	腔穴
2705	模片
2706	模片的形成面
2708	充氣部組合

2712	不可滲透的披覆
2719	晶圓
2803	真空充氣部區域
2806	模片的形成面
2819	晶圓
2893	延伸部
2906	模片的形成面
2919	晶圓
2993	模片邊緣
3003	充氣部
3005	模片
3007	絕緣內層
3008	高熱傳導性模片層
3014	功能性層
3105	模片
3106	模片的紋理表面形成面
3110	溝槽
3115	熔融物表面
3215	熔融物表面
3216	功能性層
3219	晶圓
3316	氧化物層
3317	氧化性周遭
3318	犧牲性矽晶圓

3319	製造的晶圓
3405	基板
3431	功能性外層
3432	通孔
3434	整塊矽
3505	基板
3531	基板的一面
3532	通孔
3533	基板的相對面
3534	基板主體
3605	矽基板
3631	氧化的多孔矽
3634	基板的中央
3761~3774	產生具有多孔矽區域之基板的
流程	
3805	模片
3831	完全緻密的 SiO_2
3832	氧化的多孔矽栓塞
3834	整塊矽
A	前進方向
B	磁場
d	片皺摺的起伏大小
I	電流
L	放上的方向



M	移動方向
P	拉動或投入方向
S	旋轉
t	片厚度
W	撤離方向
α	相對於模片底面的角度

七、申請專利範圍：

1. 一種製作半導體主體的方法，該方法包括以下步驟：

- a. 提供融熔的半導體材料，其具有表面；
- b. 提供多孔模，其包括形成表面；
- c. 提供差別壓力體制，使得在至少一部分之形成表面的壓力是小於在融熔材料表面的壓力；
- d. 使形成表面接觸融熔材料而有接觸期間，使得在至少部分的接觸期間中，差別壓力體制已被提供時，致使半導體材料的主體固化在形成表面上；
- e. 使形成表面相對於融熔的半導體材料而移動，而固化的主體是在形成表面上；以及
- f. 將固化的主體從形成表面脫離。

2. 如申請專利範圍第 1 項的方法，提供差別壓力體制的步驟包括：在融熔材料表面提供大氣壓力，以及在形成表面提供小於大氣壓力的壓力。

3. 如申請專利範圍第 2 項的方法，其中小於大氣壓力的壓力是部分真空。

4. 如申請專利範圍第 1 項的方法，提供差別壓力體制的步驟包括：在融熔材料表面提供超過大氣壓力的壓力，以及在形成面提供大氣壓力。

5. 如申請專利範圍第 1 項的方法，模包括單一形成表面，其接觸融熔半導體材料的表面。

6. 如申請專利範圍第 1 項的方法，模包括多個表面，

它們相對於彼此而呈現角度，並且接觸的步驟包括：把模浸漬於融熔材料裡，使得融熔材料接觸多個表面。

7. 如申請專利範圍第 6 項的方法，模包括正交的表面。

8. 如申請專利範圍第 1 項的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之前，進一步包括：相對於融熔材料的表面來傾斜形成表面的步驟，如此則僅有部分的形成表面起始接觸著融熔材料的表面。

9. 如申請專利範圍第 1 項的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之後，進一步包括：相對於重力場來傾斜形成表面的步驟，如此則融熔材料從形成表面流掉。

10. 如申請專利範圍第 1 項的方法，在使形成表面相對於融熔材料而移動的步驟期間或之後，進一步包括：繞著一軸來旋轉形成表面的步驟，該軸具有垂直於形成表面的分量，如此則融熔材料從形成表面流掉。

11. 如申請專利範圍第 1 項的方法，在使形成表面相對於融熔材料而移動的步驟之後，進一步包括：提供壓力體制的步驟，使得形成表面和固化半導體之間的壓力大於在固化半導體之自由面的壓力，該自由面乃背對形成表面。

12. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：在形成表面和融熔材料之間提供功能性材料的步驟，該功能性材料經過選擇而有助於選自以下群組的功能：

a. 抑制晶粒成核成長；

- b. 避免雜質從模通到固化的半導體主體；
- c. 增進固化的半導體主體從形成表面釋放；以及
- d. 促使晶粒成核成長於固化之半導體主體的特定位置。

13. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括以下步驟：

a. 在造成相對移動的步驟之前，在固化的半導體材料上提供包括氧化物的功能性材料，而該固化的半導體材料是指定為犧牲性固化主體；

b. 熔化固化的犧牲性半導體主體，藉此在融熔材料上留下功能性主體；以及

c. 使形成表面接觸在融熔材料上的功能性主體而有第二接觸期間，使得在至少部分的第二接觸期間中：

- i. 提供差別壓力體制；以及
- ii. 至少部分的形成表面是在低於半導體材料熔點的溫度，

致使具有自由面之半導體材料的主體固化在形成表面上。

14. 如申請專利範圍第 13 項的方法，在使形成表面接觸功能性主體的步驟之前，進一步包括：使形成表面相對於功能性主體而移動的步驟，使得它們分開一段時間。

15. 如申請專利範圍第 13 項的方法，其中使形成表面接觸功能性主體的步驟包括：於熔化犧牲性主體的步驟期間，維持形成表面接觸著功能性主體。

16. 如申請專利範圍第 12 項的方法，提供功能性材料的步驟包括：提供功能性材料至形成表面。

17. 如申請專利範圍第 12 項的方法，提供功能性材料的步驟包括：提供功能性材料至融熔材料的表面。

18. 如申請專利範圍第 17 項的方法，融熔材料包括矽，並且提供功能性材料的步驟包括：提供固化的功能性材料主體至融熔矽的表面，並且使融熔矽表面的氣氛富含氧，藉此造成在融熔矽的表面上有 SiO_2 主體，以及進一步包括：使形成表面接觸 SiO_2 主體的步驟。

19. 如申請專利範圍第 12 項的方法，功能性材料乃選自以下構成的群組：氧化矽、二氧化矽(矽石)、碳化矽、氮化矽、矽、氮氧化矽、碳氧化矽和氮化硼。

20. 如申請專利範圍第 1 項的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之前，進一步包括：提供優選的成核劑於形成表面和融熔材料之間的位置。

21. 如申請專利範圍第 8 項的方法，功能性材料選自以下構成的群組：矽、二氧化矽。

22. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：施加非潤濕性的彎月面控制元件以從固化的主體脫離附著之融熔材料的步驟。

23. 如申請專利範圍第 22 項的方法，進一步包括：施加彎月面控制元件以從固化的主體脫離附著之融熔材料的步驟。

24. 如申請專利範圍第 22 項的方法，彎月面控制元件

包括實質不被融熔材料所濕潤的主體，其具有相對於融熔材料和周遭氣氛而呈大於大約 60 度的潤濕角度。

25. 如申請專利範圍第 1 項的方法，形成表面包括實質未加以紋理的表面。

26. 如申請專利範圍第 1 項的方法，形成表面包括加以紋理的表面。

27. 如申請專利範圍第 26 項的方法，加以紋理的表面包括對應於要形成於固化半導體材料之補光紋理的形狀。

28. 如申請專利範圍第 26 項的方法，加以紋理的表面包括對應於要形成於固化半導體材料之電極定位紋理的形狀。

29. 如申請專利範圍第 26 項的方法，加以紋理的表面具有特徵性的特性尺度，並且固化的半導體具有的厚度是小於特徵性的特性尺度。

30. 如申請專利範圍第 1 項的方法，多孔性形成主體包括選自以下構成之群組的材料：石墨、碳化矽、氮化矽、矽石、氮氧化矽、碳氧化矽和氮化硼。

31. 如申請專利範圍第 1 項的方法，多孔模包括燒結粉體。

32. 如申請專利範圍第 1 項的方法，多孔模包括石墨體。

33. 如申請專利範圍第 1 項的方法，多孔模包括已經處理成多孔之原始固態矽的主體。

34. 如申請專利範圍第 1 項的方法，多孔模包括已經

形成孔洞穿過之原始固態矽做的主體。

35. 如申請專利範圍第 34 項的方法，孔洞包括圓錐形孔洞。

36. 如申請專利範圍第 34 項的方法，於經過固態主體的孔洞中進一步包括多孔材料。

37. 如申請專利範圍第 1 項的方法，多孔模包括多孔矽做的主體。

38. 如申請專利範圍第 37 項的方法，多孔矽已經藉由沉積金屬晶種層在矽主體表面上、然後蝕刻播種過的矽主體而形成。

39. 如申請專利範圍第 33 項的方法，多孔模進一步包括氧化矽的至少一外表面層。

40. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：在形成表面的選擇位置來控制晶粒成核成長的步驟。

41. 如申請專利範圍第 1 項的方法，控制成核的步驟是選自以下構成的群組：

- a. 提供具有空間變化厚度的模；
- b. 提供相對於形成表面做空間變化的壓力差；
- c. 提供具有空間變化熱絕緣的模；
- d. 提供具有空間變化紋理的形成表面；
- e. 提供具有空間變化熱擴散的模；
- f. 在形成面提供特定區域化的溫度分布輪廓；以及
- g. 在形成表面上首先接觸融熔材料的位置提供晶

種。

42. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：在形成表面的選擇位置來控制晶粒成長之方向性的步驟。

43. 如申請專利範圍第 42 項的方法，控制晶粒成長之方向性的步驟是選自以下構成的群組：

- a. 提供具有空間變化厚度的模；
- b. 提供相對於形成表面做空間變化的壓力差；
- c. 提供具有空間變化熱絕緣的模；
- d. 提供具有空間變化紋理的形成表面；
- e. 提供具有空間變化熱擴散的模；
- f. 在形成面提供特定區域化的溫度分布輪廓；以及
- g. 在形成表面上首先接觸融熔材料的位置提供晶種。

44. 如申請專利範圍第 1 項的方法，模包括充氣部。

45. 如申請專利範圍第 44 項的方法，模包括模片，而充氣部包括的結構乃設計成強化模片以抵抗任何過多的壓力。

46. 如申請專利範圍第 44 項的方法，模包括複合充氣部，其具有至少二腔室，其中提供差別壓力體制的步驟包括：提供二個不同的差別壓力體制，使得在形成面之至少二個不同部分的壓力是小於在融熔材料表面之氣氛的壓力，以及於接觸步驟期間進一步包括：相對於一腔室來移動另一腔室的步驟，以改變二個不同壓力體制的相對位置。

47. 如申請專利範圍第 1 項的方法，其中：

a. 提供融熔材料的步驟包括：提供融熔材料於容器，該容器具有至少一壁，使得融熔材料的彎月面存在著凸的彎曲，其背對容器而具有高於該壁的最上部分；以及

b. 使形成表面接觸融熔材料的步驟包括：使形成面靠著凸的彎月面而通過。

48. 如申請專利範圍第 47 項的方法，造成相對移動的步驟包括：在形成表面和融熔材料之間造成實質線性的相對移動。

49. 如申請專利範圍第 48 項的方法，造成相對移動的步驟包括：造成實質垂直於局部重力場的相對移動。

50. 如申請專利範圍第 48 項的方法，造成相對移動的步驟包括：造成具有校準於局部重力場之分量的相對移動。

51. 如申請專利範圍第 1 項的方法，提供差別壓力體制的步驟包括：

a. 在相鄰於模表面的第一區域提供第一差別壓力；以及

b. 在模表面的多個個別分離位置提供第二、不同的差別壓力。

52. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：抑制融熔材料表面之振盪移動的步驟。

53. 如申請專利範圍第 1 項的方法，提供融熔材料的步驟包括：提供融熔材料於容器，使得融熔材料的深度小於大約五毫米。

54. 如申請專利範圍第 1 項的方法，減少差別壓力體制之程度的步驟包括：逆轉差別壓力的方向，使得力量施加至固化材料而導引離開形成表面。

55. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：提供模的形成表面和融熔材料的表面都在跨越其空間範圍之均勻起始溫度的步驟。

56. 如申請專利範圍第 1 項的方法，接觸的步驟包括：使形成表面接觸融熔材料的表面，使得形成表面的每個部分接觸著融熔材料都有大約相同的期間。

57. 如申請專利範圍第 56 項的方法，接觸的步驟包括：使形成表面相對於融熔材料的表面做漸進的、相對掃過。

58. 如申請專利範圍第 1 項的方法，其中模具有有限的熱容量，使得形成表面的溫度實質上升至大約等於融熔材料的溫度，致使之後無額外的融熔材料固化。

59. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包括：藉由減少起始固化層和模之間的接觸面積而減少模和固化主體之間之熱傳係數的步驟。

60. 如申請專利範圍第 59 項的方法，控制熱傳係數的步驟包括：調整差別壓力體制的大小。

61. 如申請專利範圍第 59 項的方法，其中提供模的步驟包括：提供的模具有氣體滲透性、空洞率、厚度的性質，其經過選擇以隨著時間、配合融熔材料的過熱來控制差別壓力體制大小的改變，以界定用於熱傳係數的接觸面

積。

62. 如申請專利範圍第 1 項的方法，其中形成的晶圓具有比在融熔材料中的摻雜程度還低的摻雜程度。

63. 如申請專利範圍第 62 項的方法，此摻雜的較低程度透過分離的行動來完成，並且固化前置的優點是以夠低的速度來允許分離的舉行。

64. 如申請專利範圍第 1 項的方法，進一步包含具有低分離係數的摻雜物。

65. 如申請專利範圍第 64 項的方法，進一步包含加入鎢、銦、磷或砷的步驟，並且融熔材料為矽。

66. 如申請專利範圍第 64 項的方法，進一步包含加入材料以填充熔融物的步驟，該材料具有約等於在最終晶圓中所期望的摻雜濃度。

67. 如申請專利範圍第 1 項的方法，脫離固化的主體的步驟包括減少差別測量體制的程度。

68. 如申請專利範圍第 1 項的方法，其中使形成表面接觸融熔材料的步驟是被傳導的，使得至少部分的形成表面是在低於半導體材料熔點的溫度。

69. 如申請專利範圍第 1 項的方法，在使形成表面接觸融熔材料的步驟之前，進一步包括：相對於融熔材料的表面來使形成表面定向的步驟，如此則僅有部分的形成表面起始接觸著融熔材料的表面。

70. 一種製作半導體主體的方法，該方法包括以下步驟：

- a. 提供融熔的半導體材料，其具有表面；
- b. 提供多孔模，其包括形成表面；
- c. 提供差別壓力體制，使得在至少一部分之形成表面的壓力是小於在融熔材料表面的壓力；
- d. 使形成表面接觸融熔材料而有接觸期間，使得在至少部分的接觸期間中：
 - i. 差別壓力體制已被提供時；以及
 - ii. 至少部分的形成表面是在低於半導體材料熔點的溫度時，致使半導體材料的主體固化在形成表面上；
- e. 使形成表面相對於融熔的半導體材料而移動，而固化的主體是在形成表面上；以及
- f. 減少差別壓力體制的程度，藉此有助於固化的主體從形成表面脫離。

八、圖式：

(如次頁)

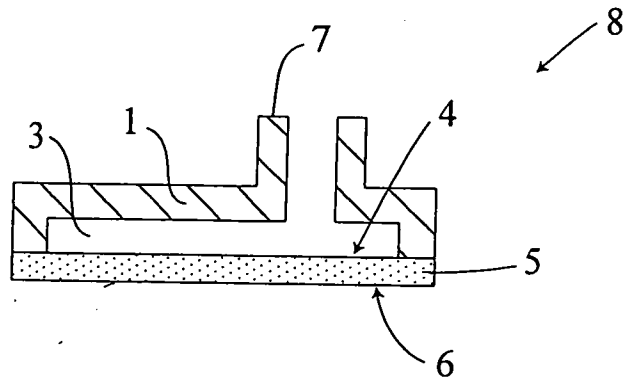


圖1

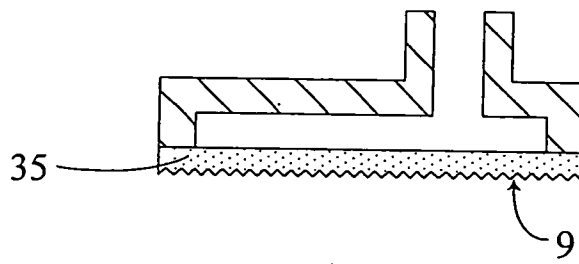
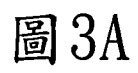


圖2



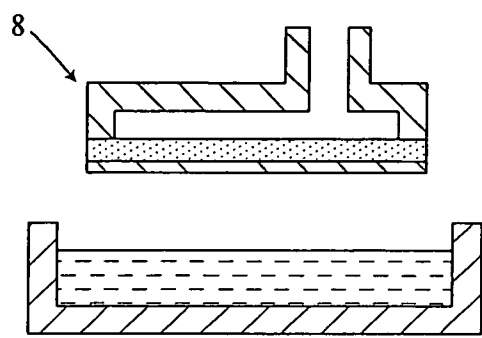


圖 3C

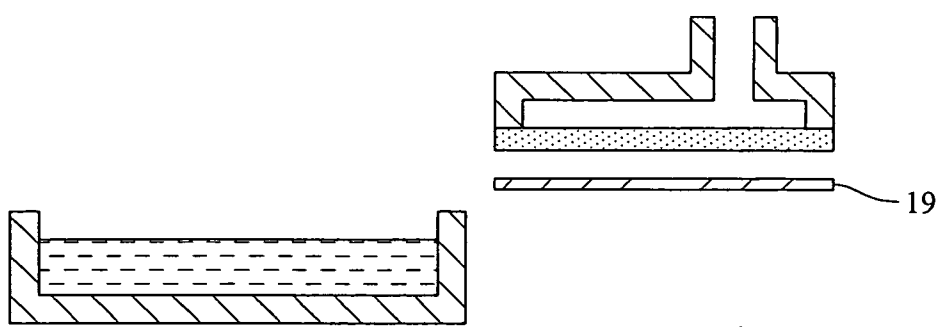


圖 3D

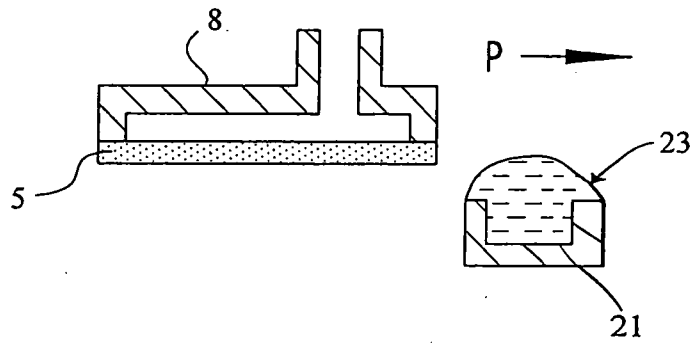


圖 4A

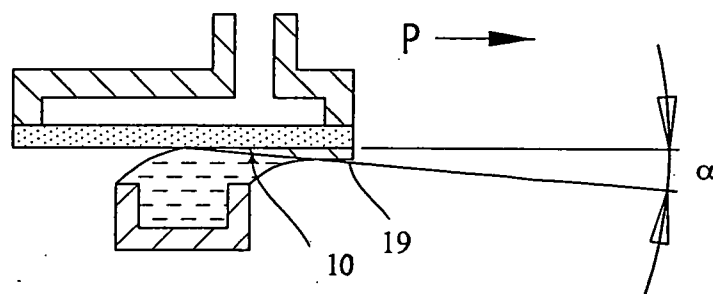


圖 4B

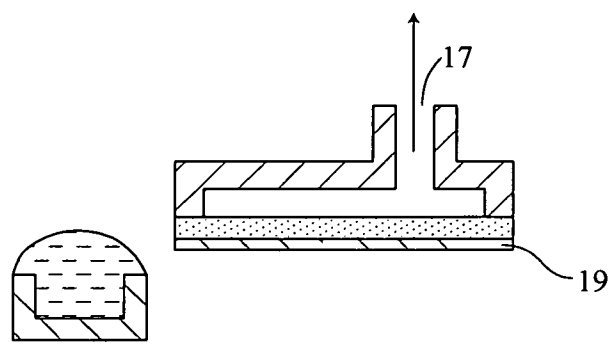


圖 4C

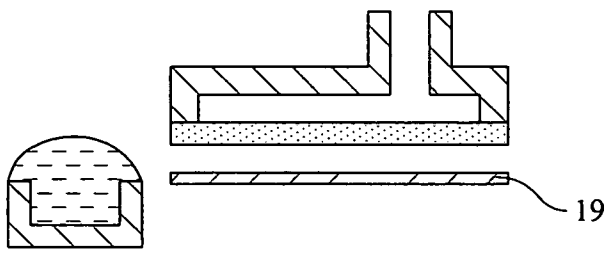


圖 4D

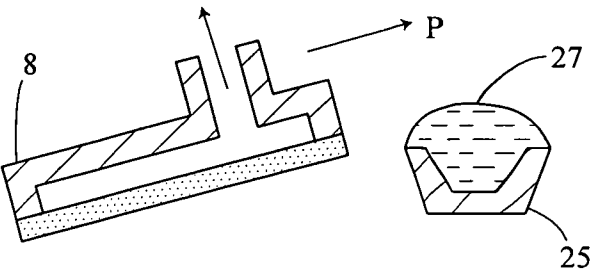


圖 5A

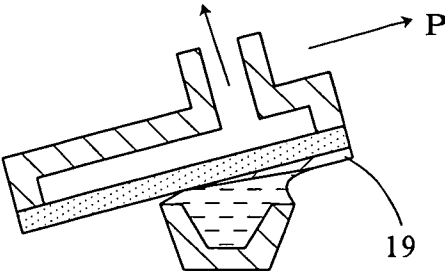


圖 5B

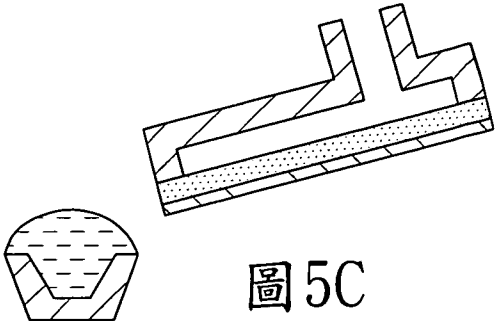


圖 5C

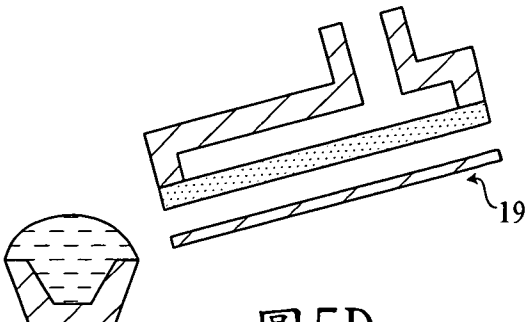


圖 5D

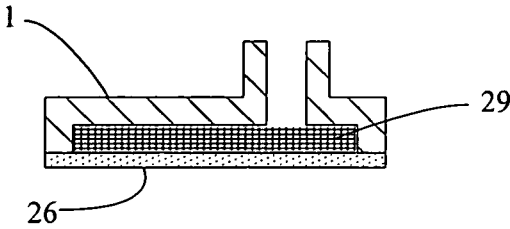


圖 6

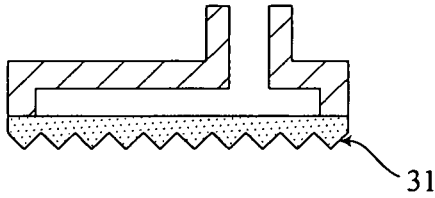


圖 7A

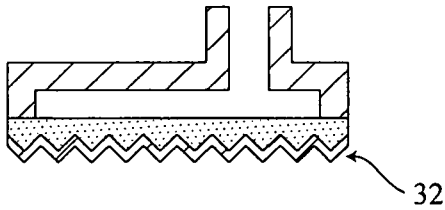


圖 7B

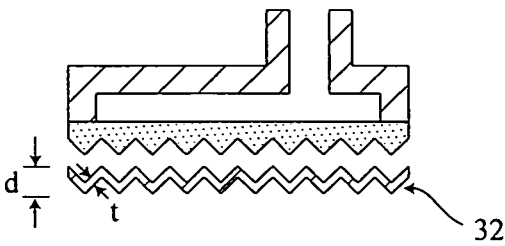


圖 7C

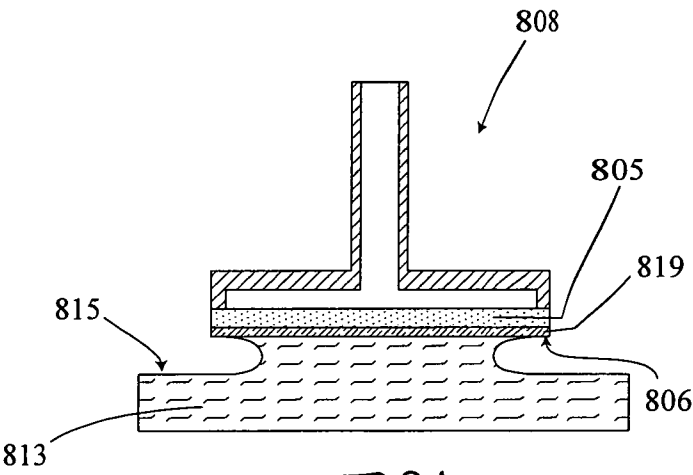
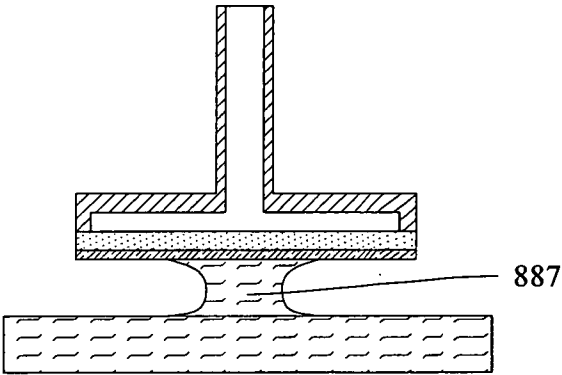
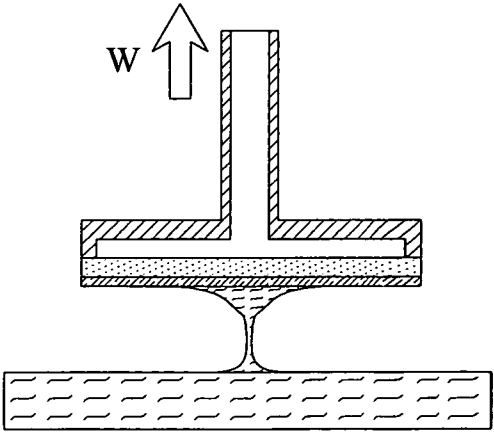


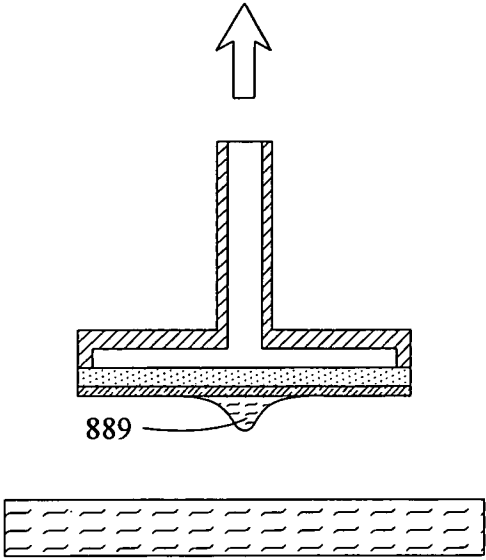
圖 8A



8B



8C



8D

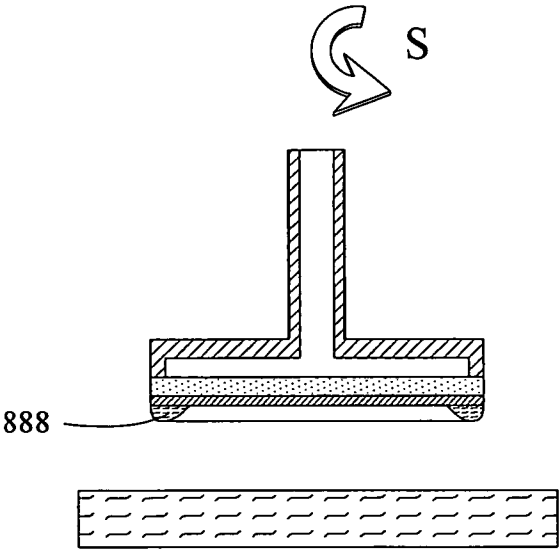


圖 8E

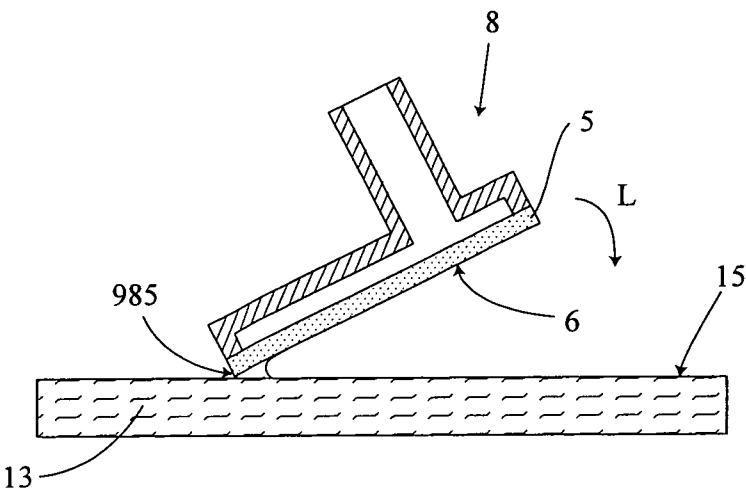


圖 9A

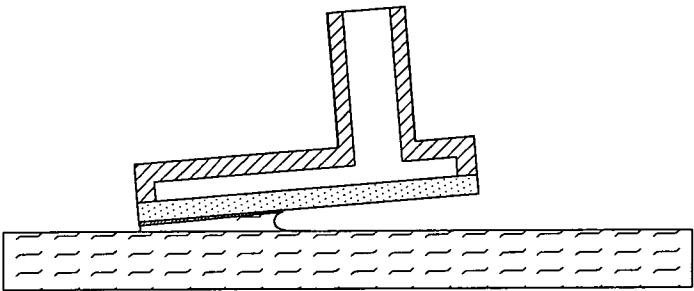


圖 9B

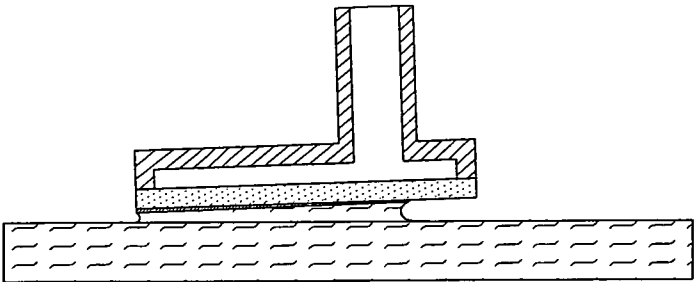


圖 9C

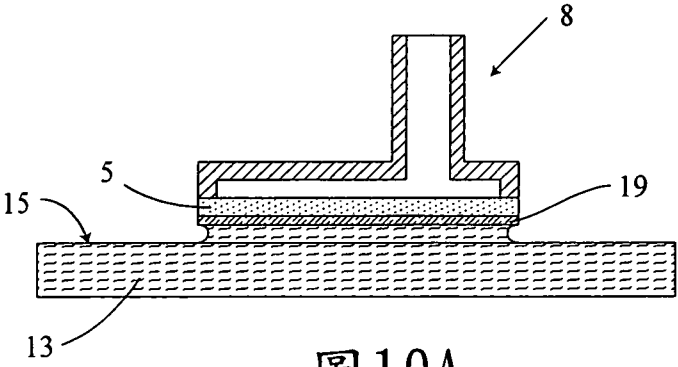


圖 10A

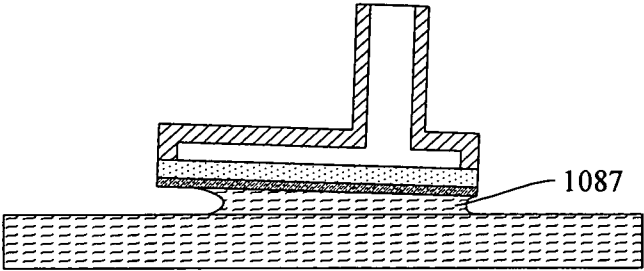


圖 10B

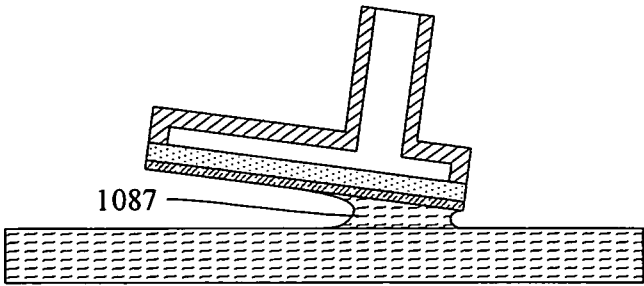


圖 10C

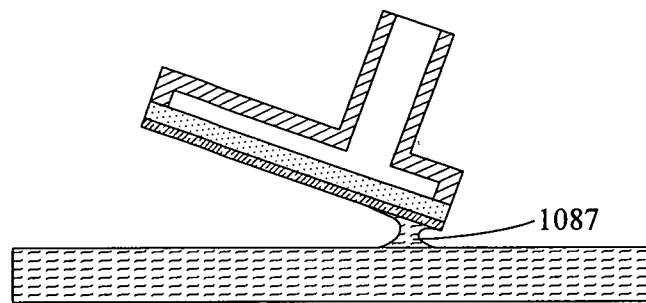


圖 10D

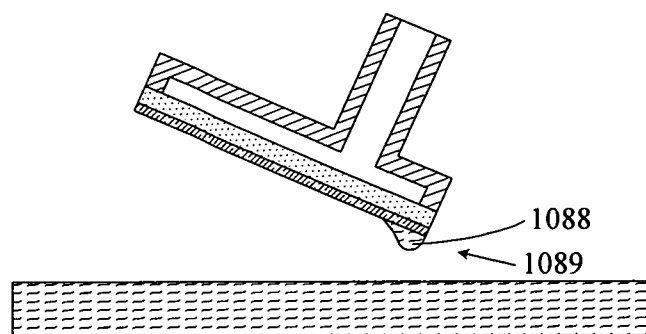


圖 10E

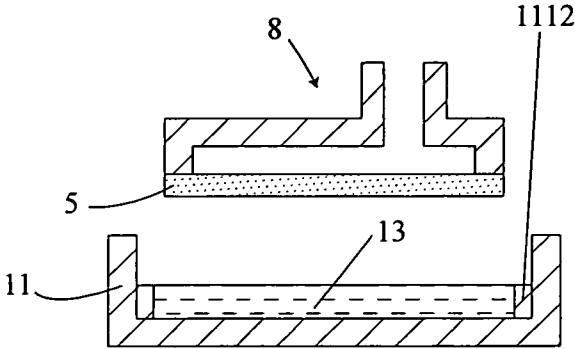


圖11

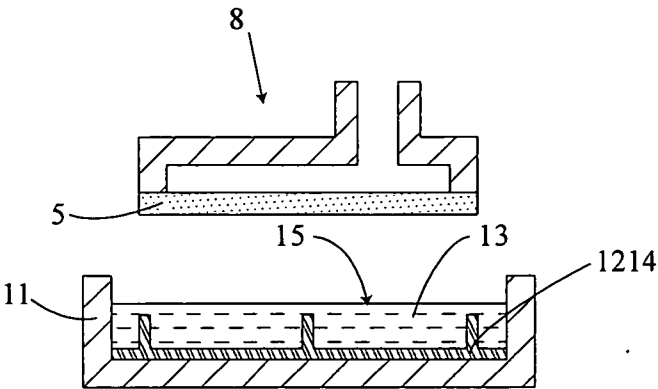
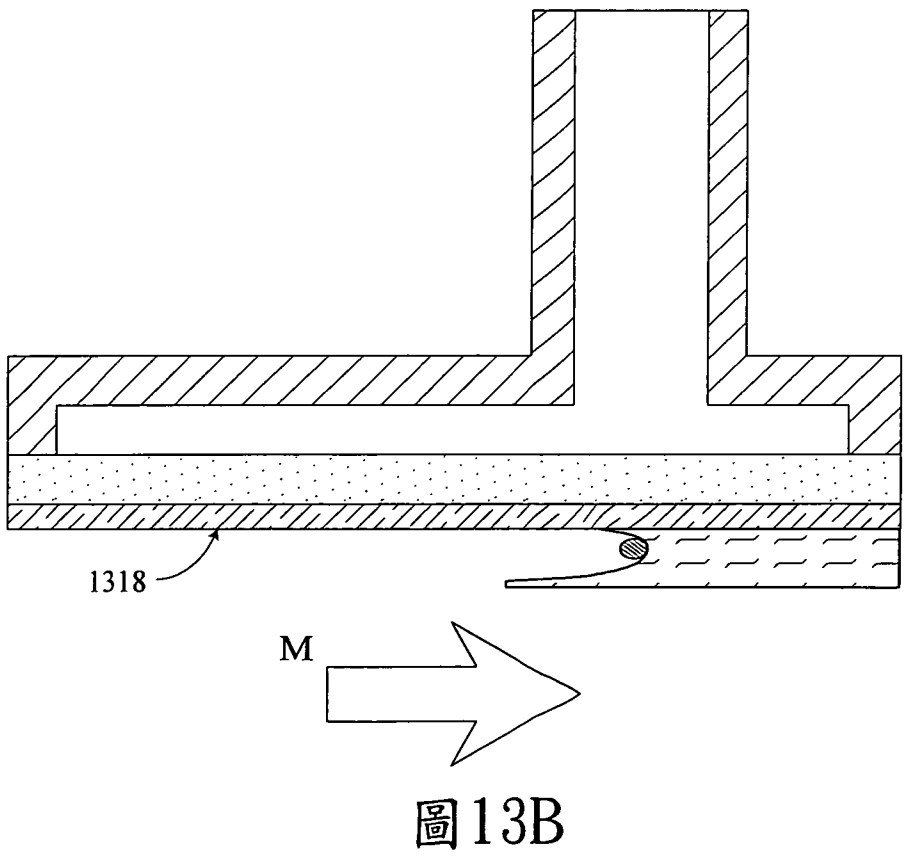
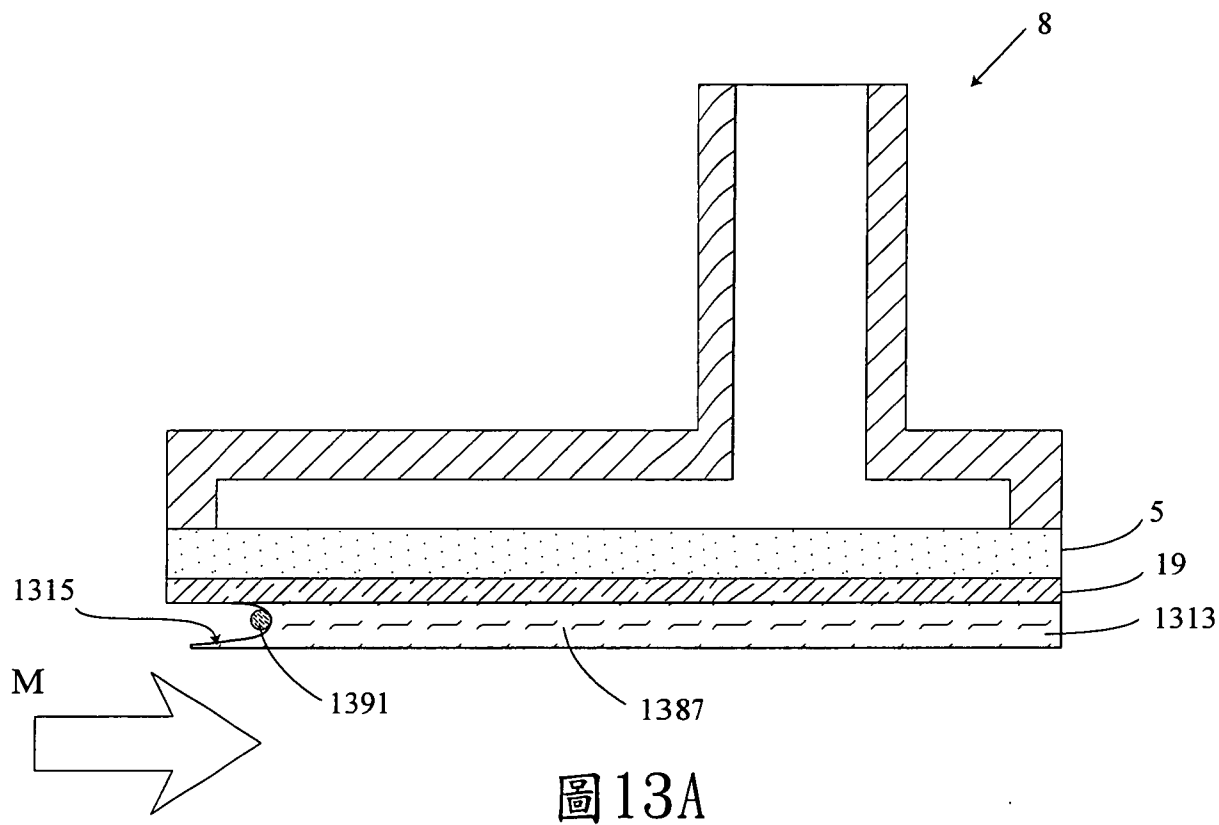


圖12



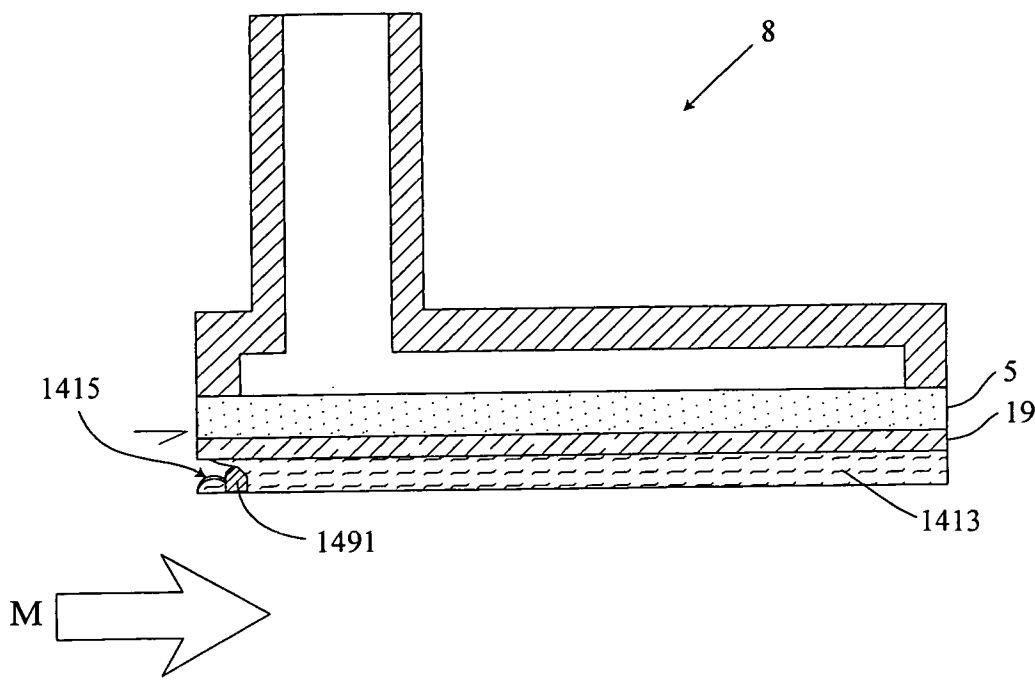


圖14A

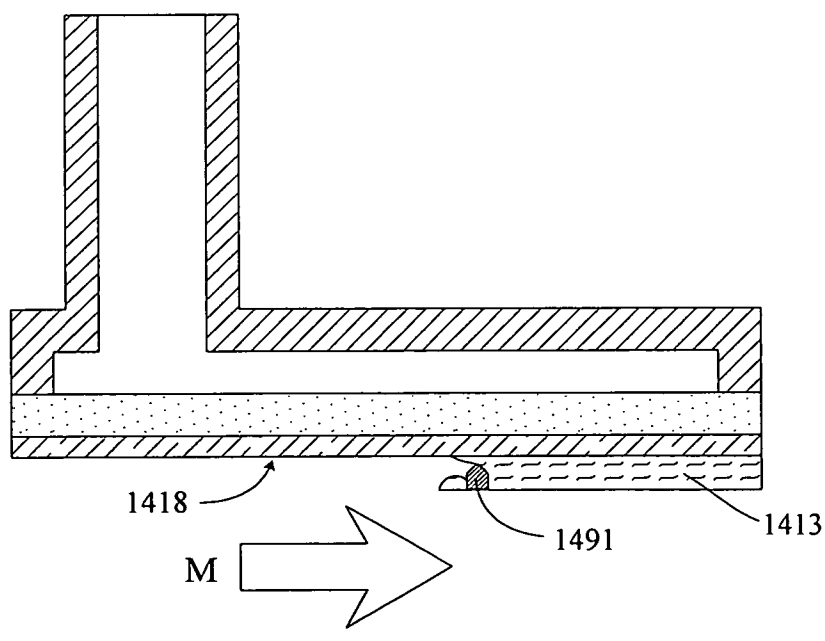


圖14B

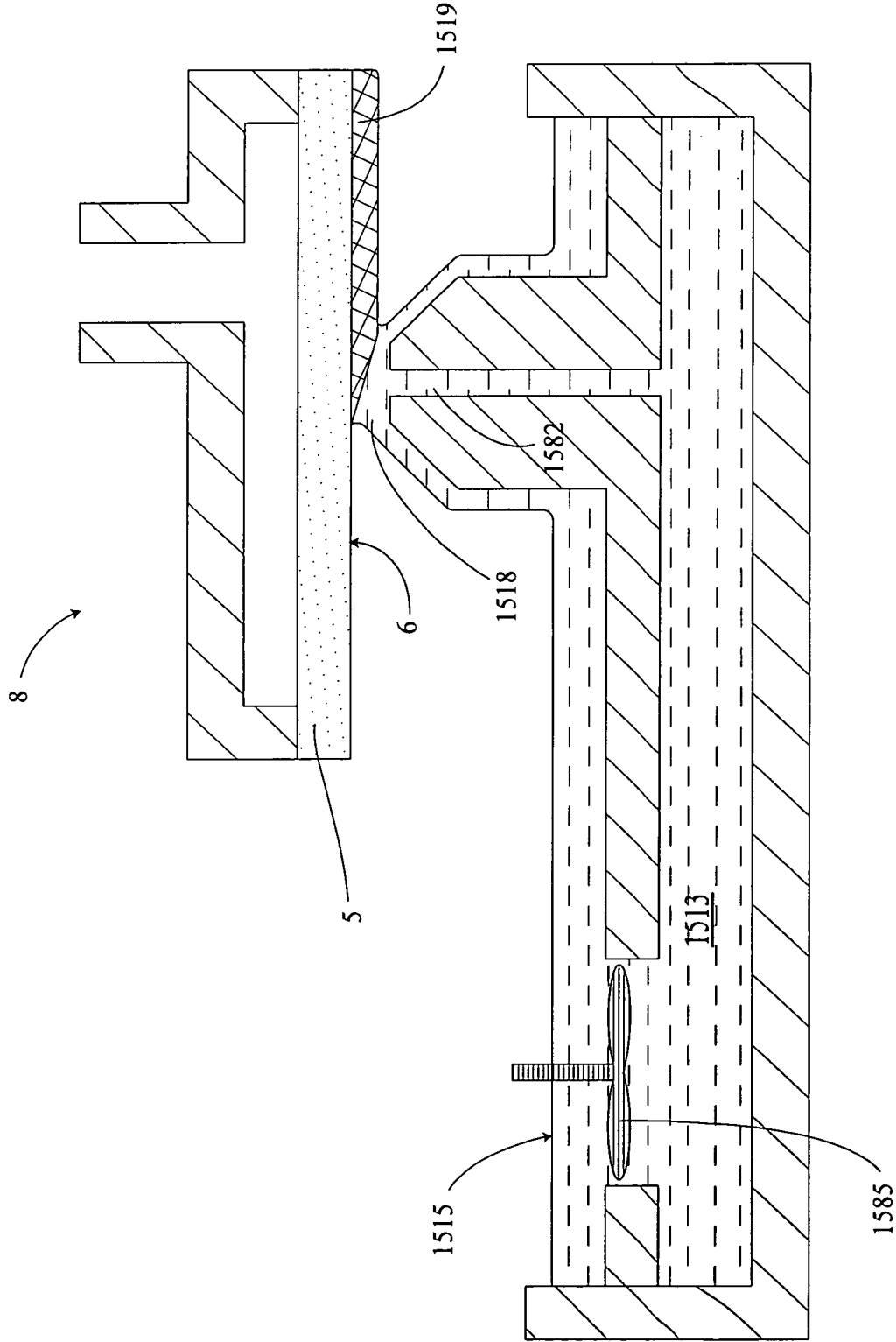


圖15

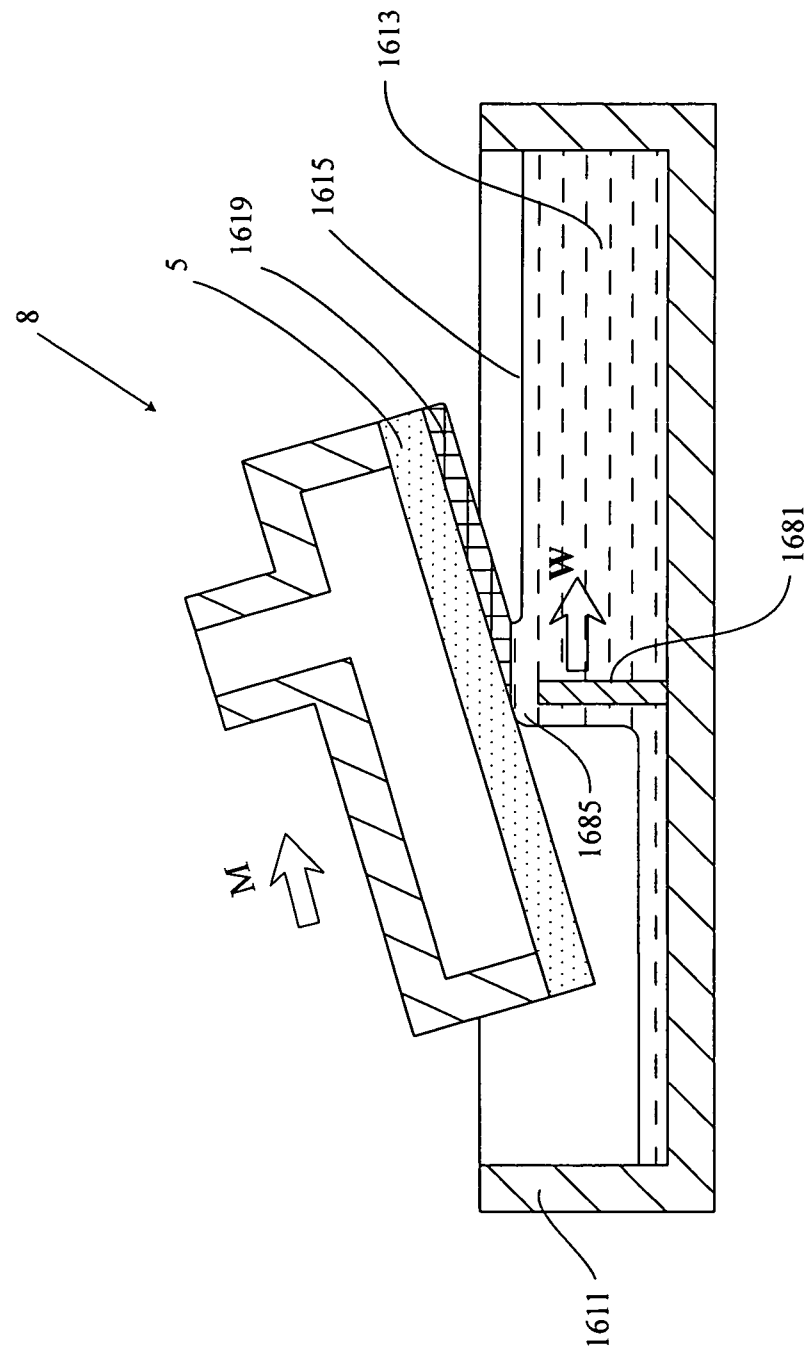


圖16

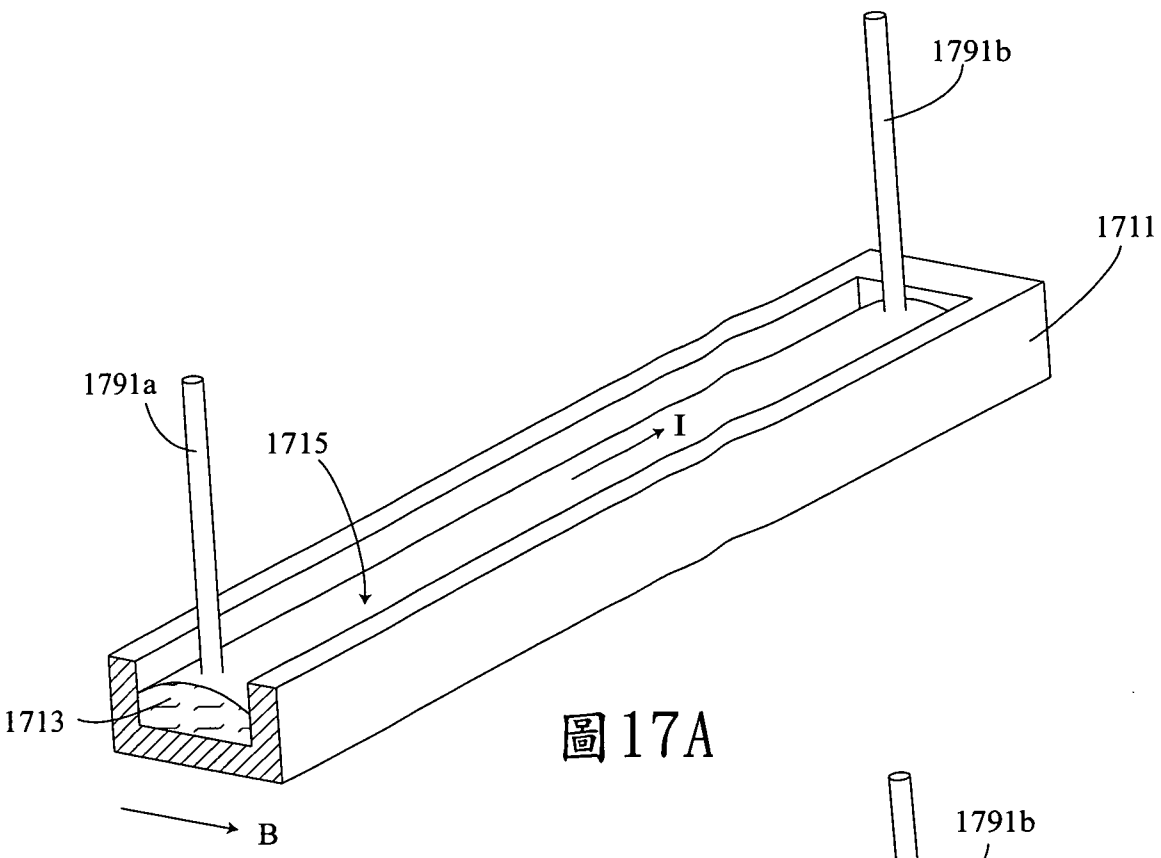


圖 17A

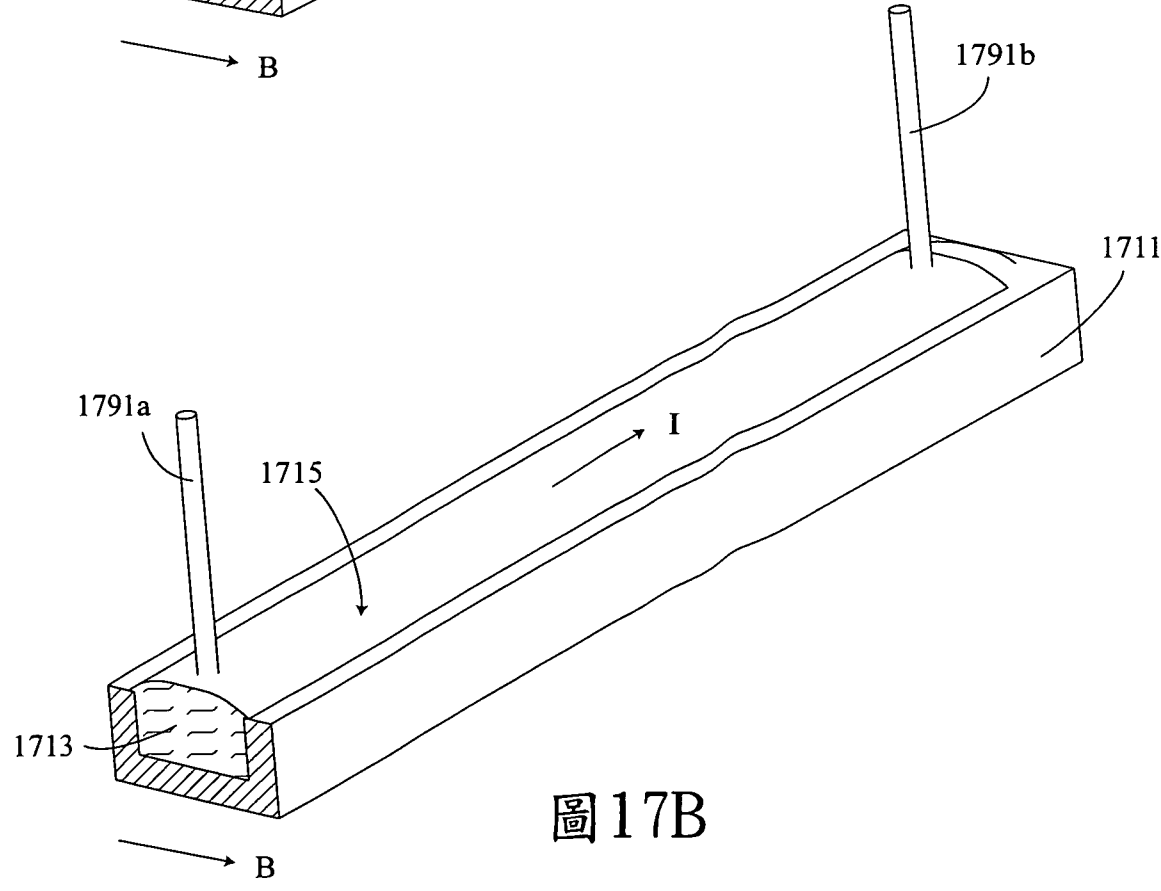


圖 17B

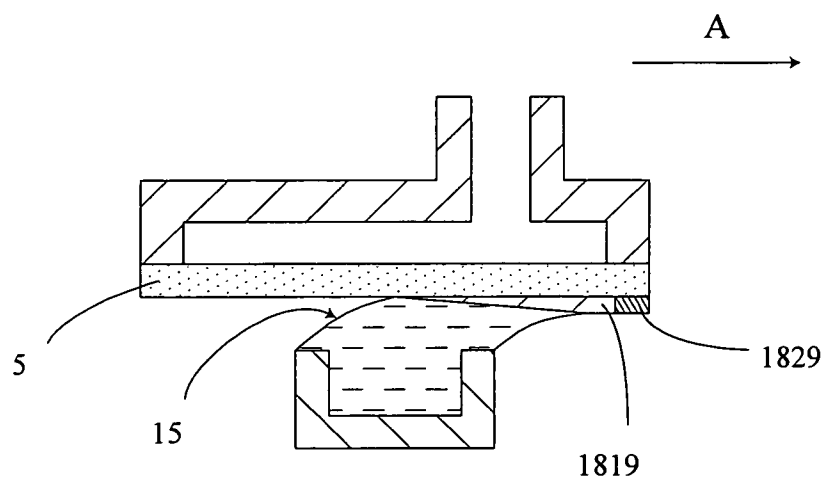


圖 18

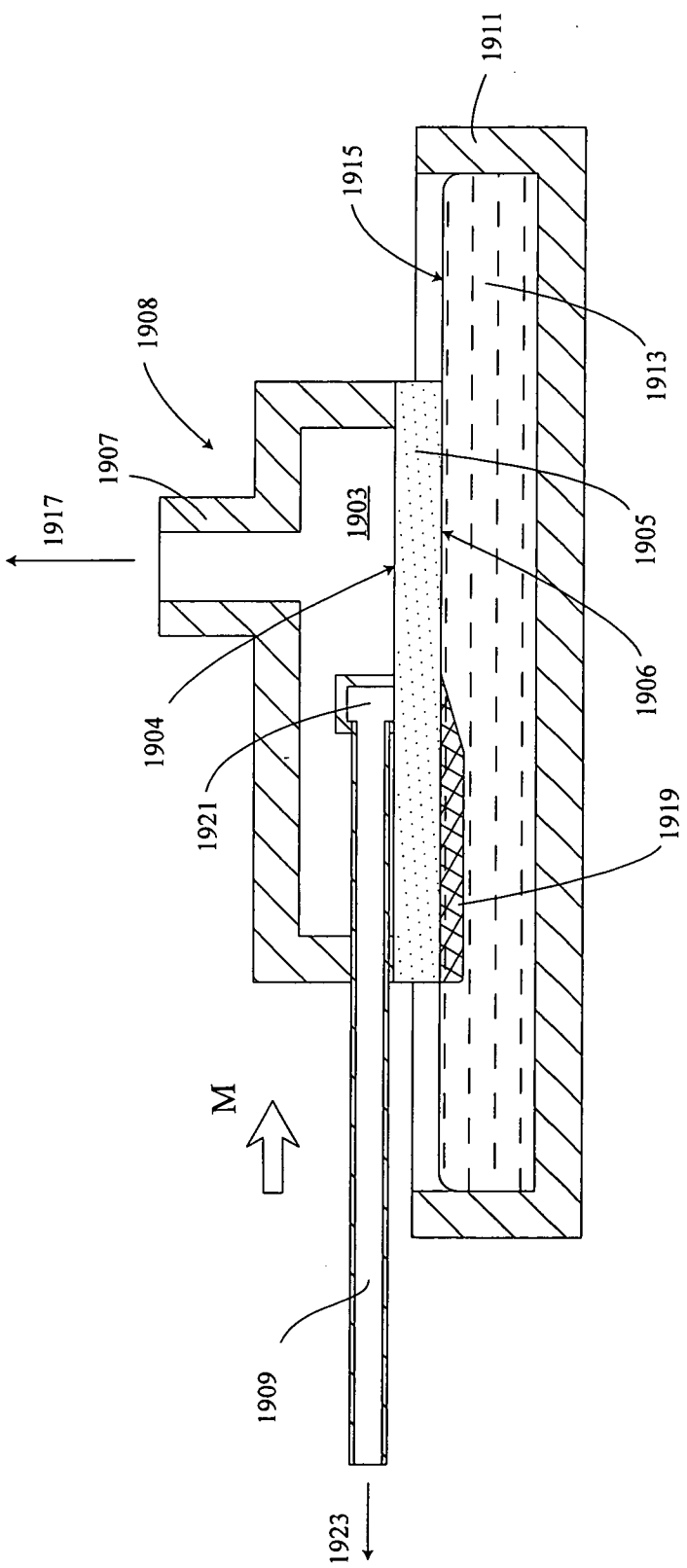


圖19

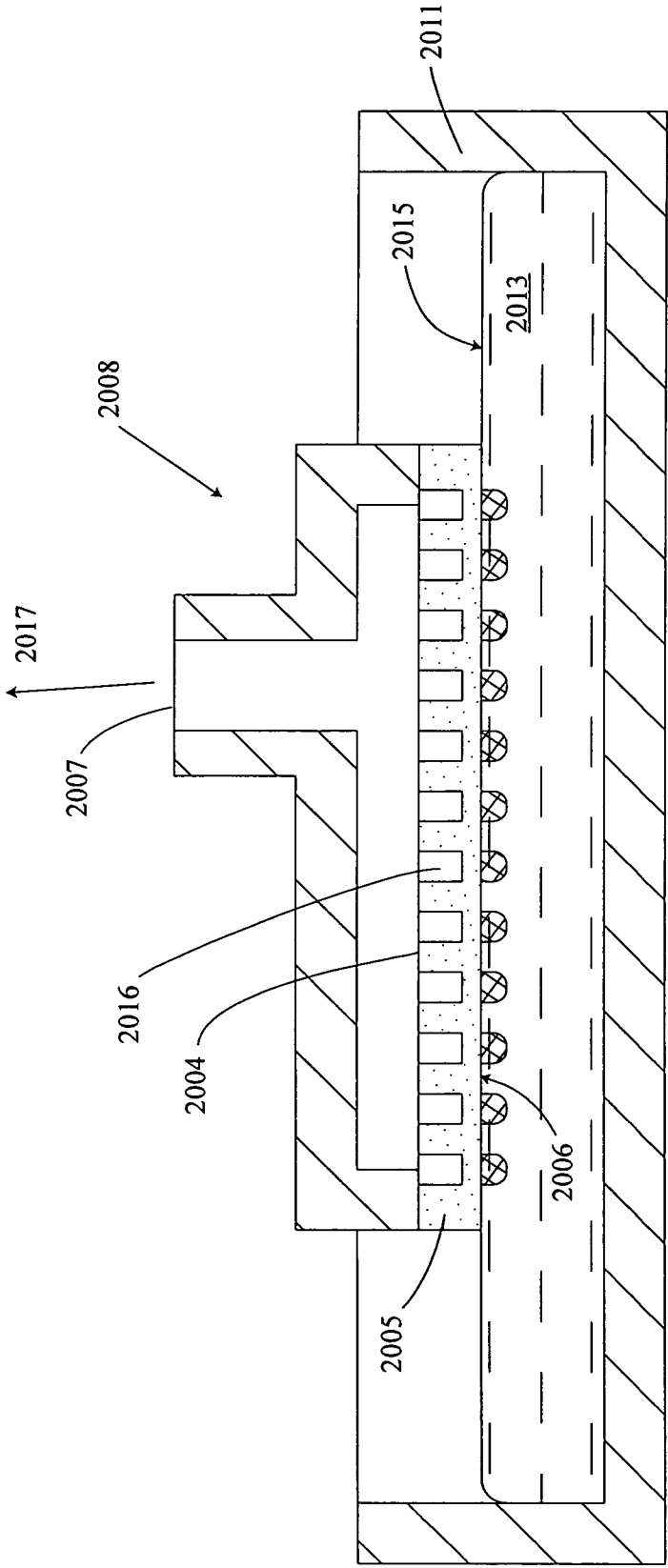


圖20

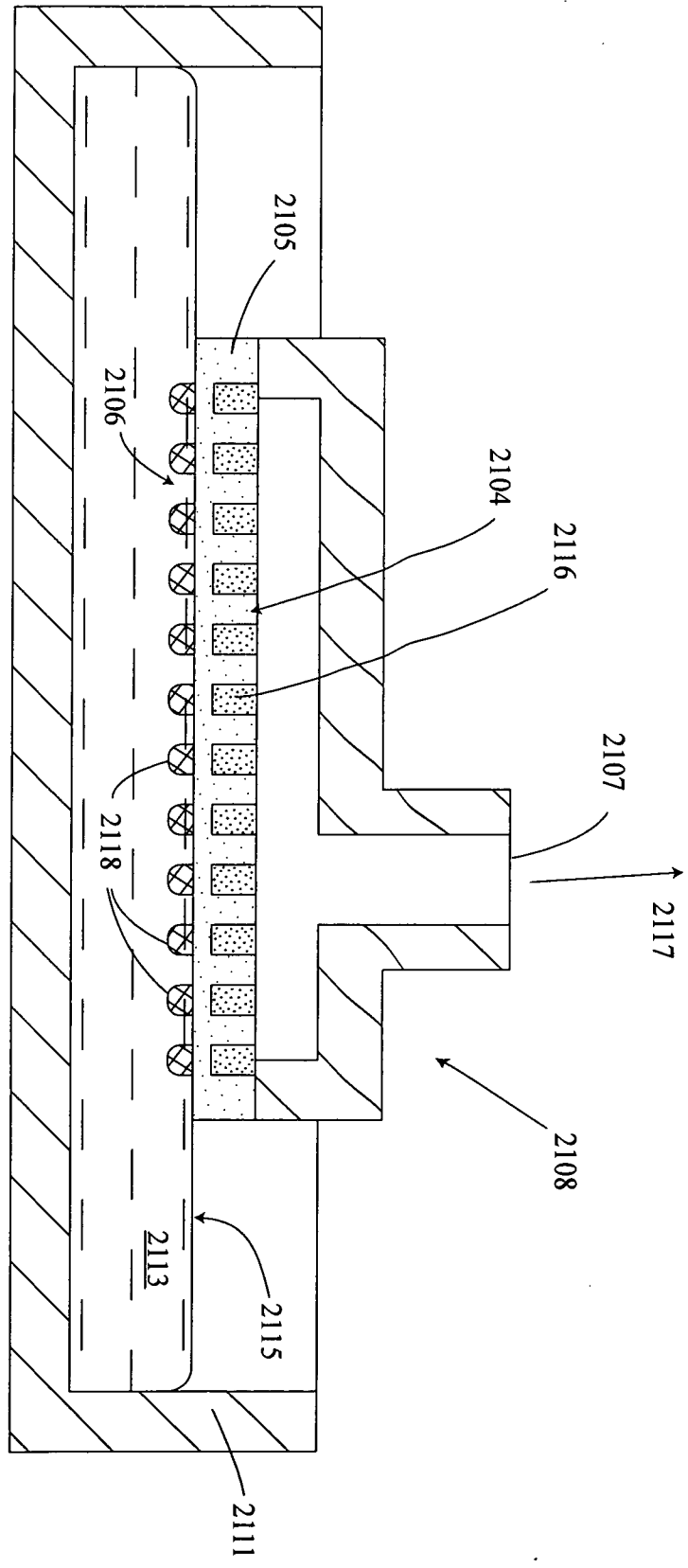


圖 21

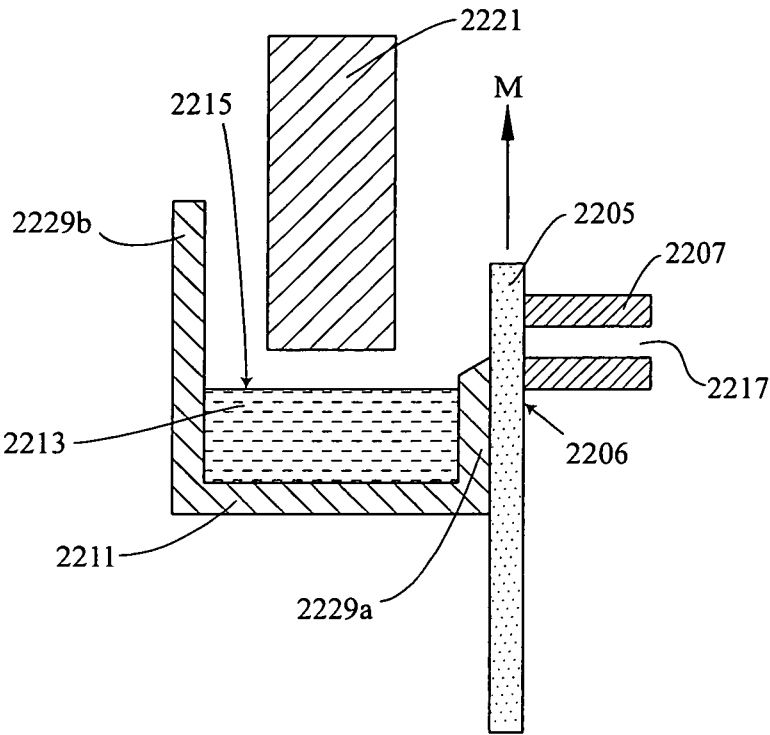


圖 22A

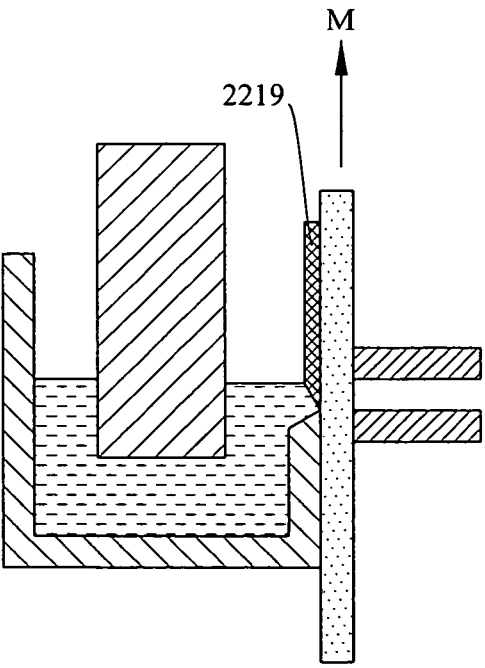


圖 22B

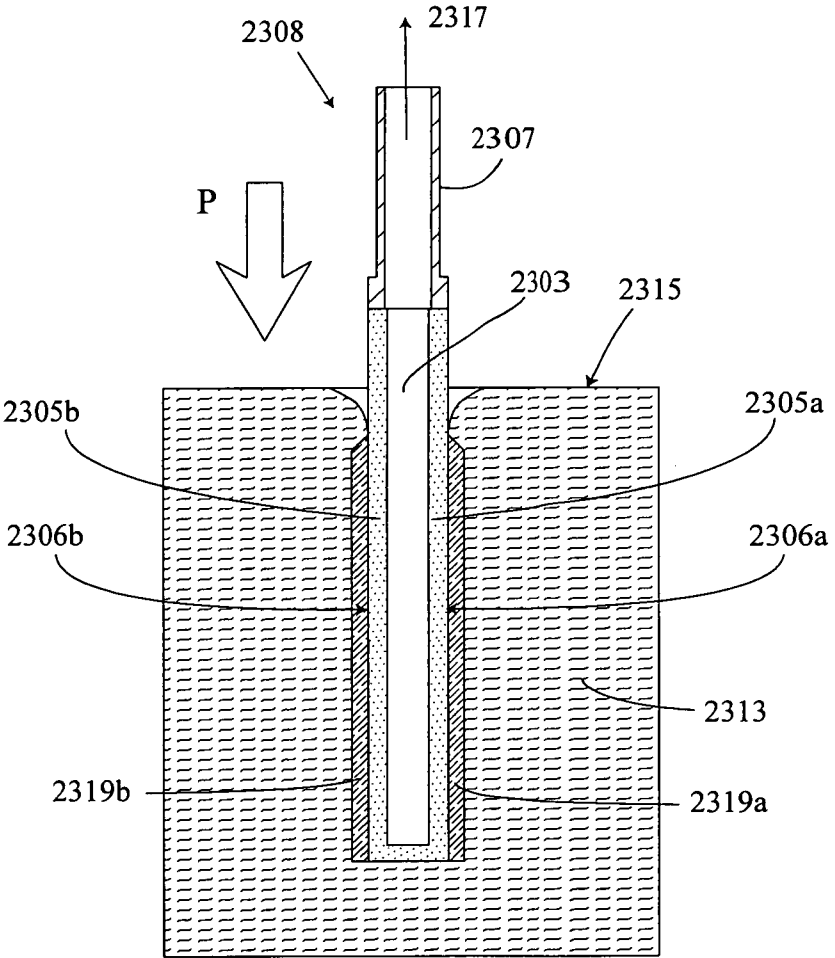


圖 23A

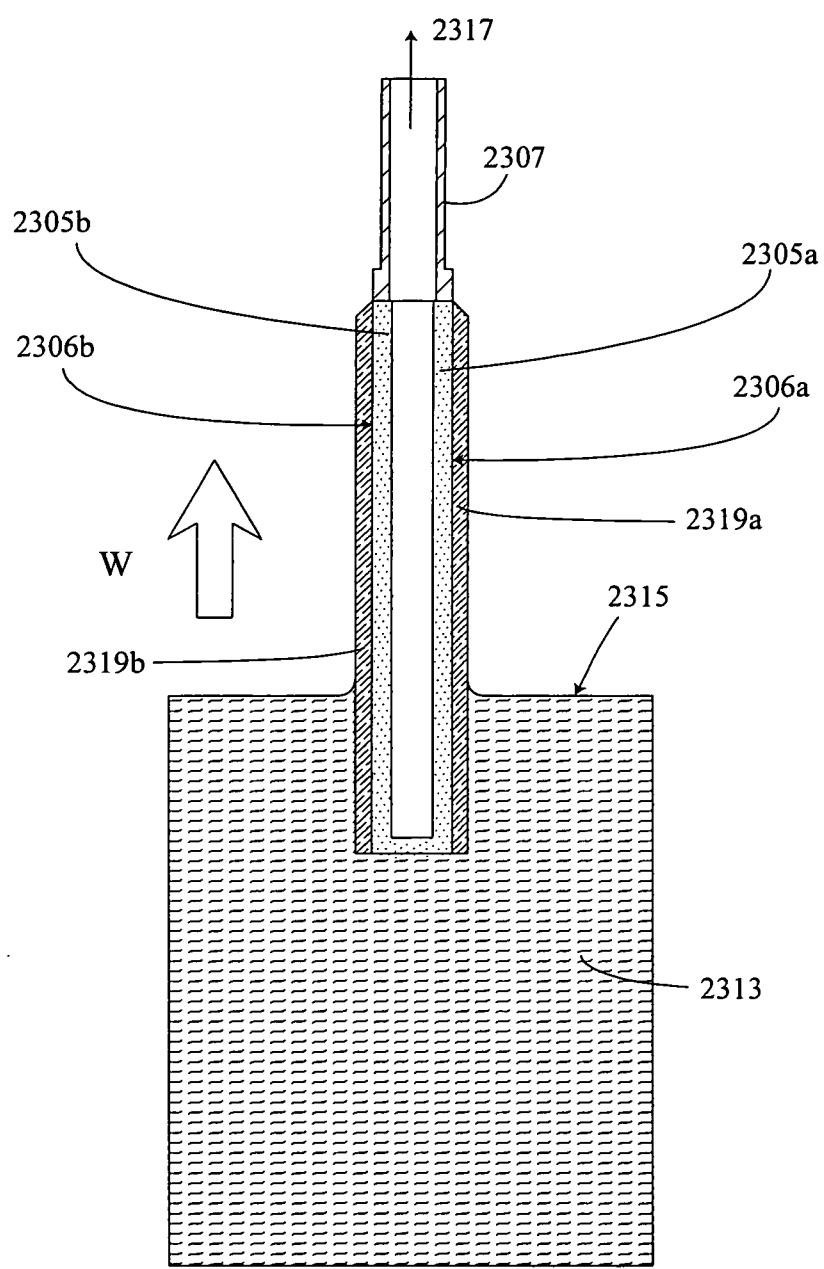


圖23B

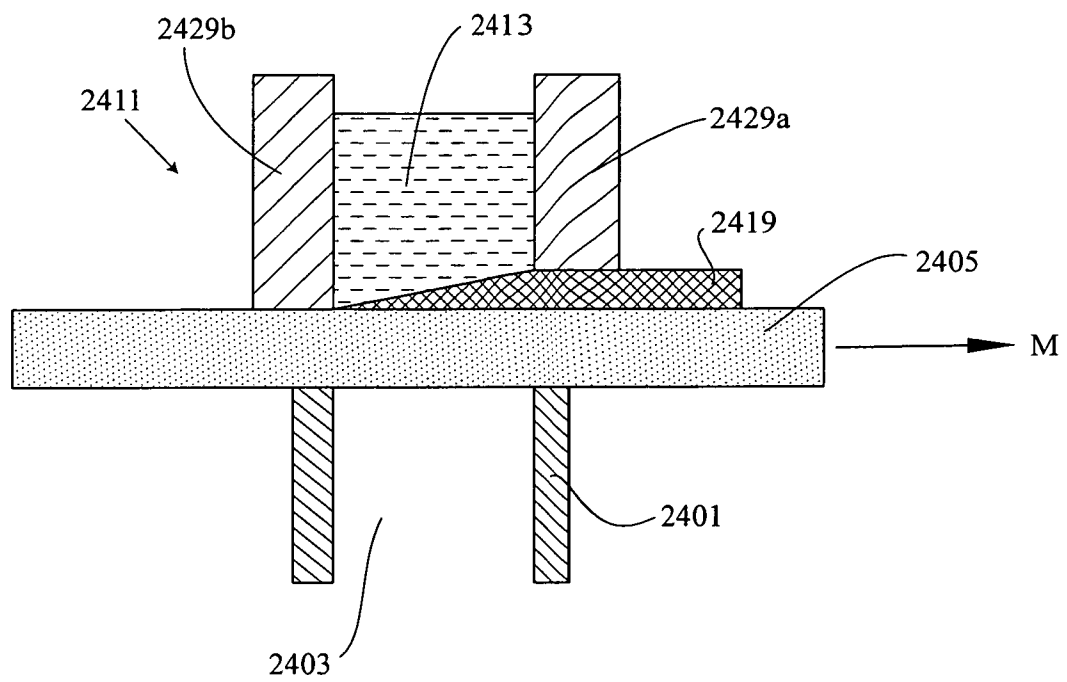


圖24

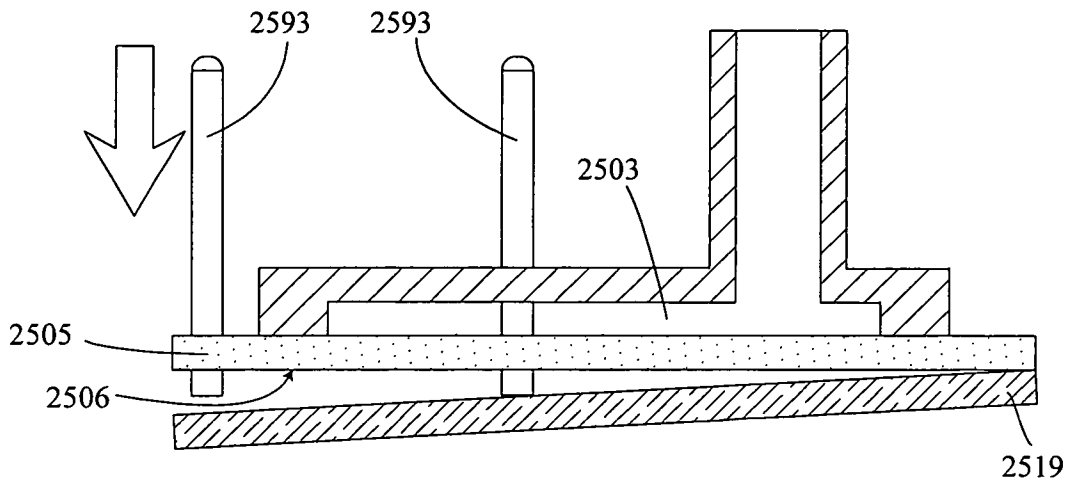


圖 25

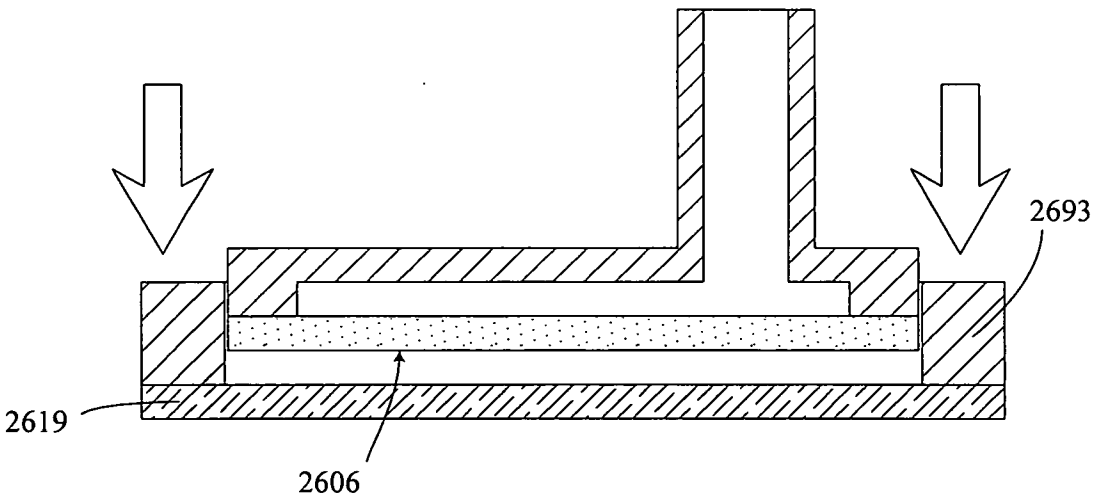


圖 26

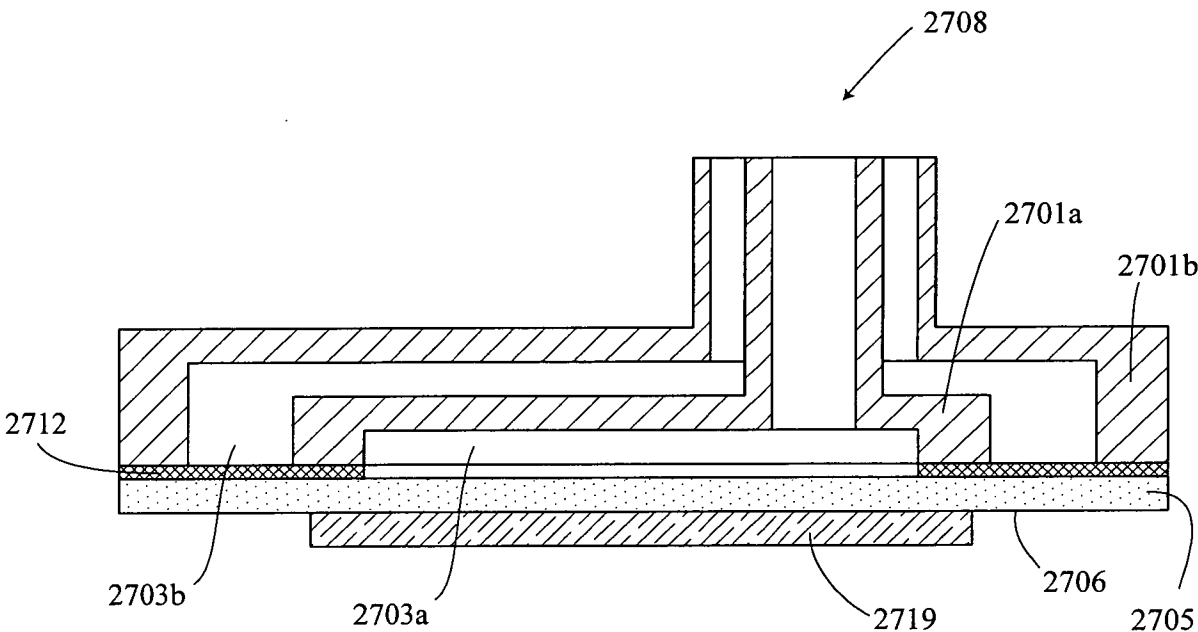


圖27

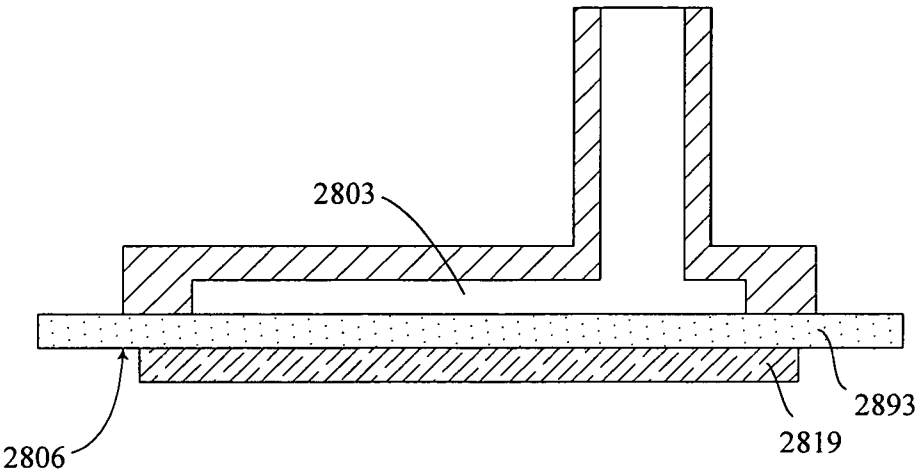


圖28

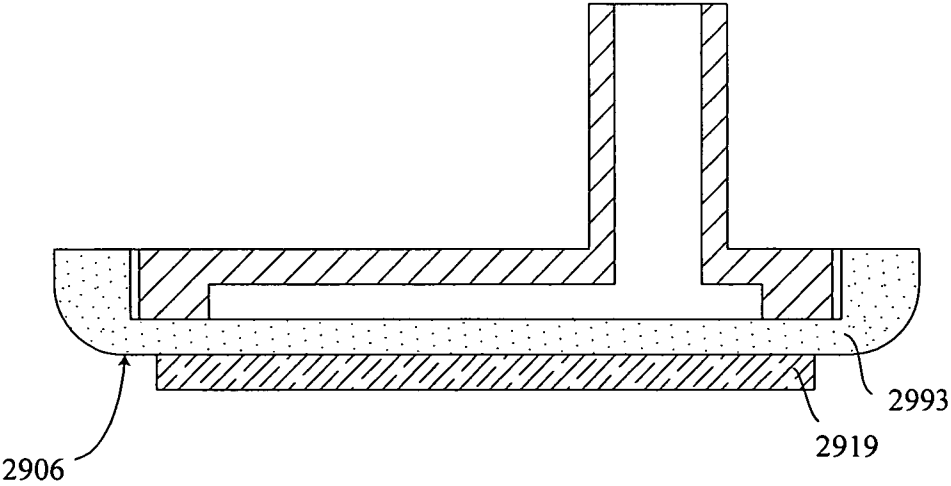


圖29

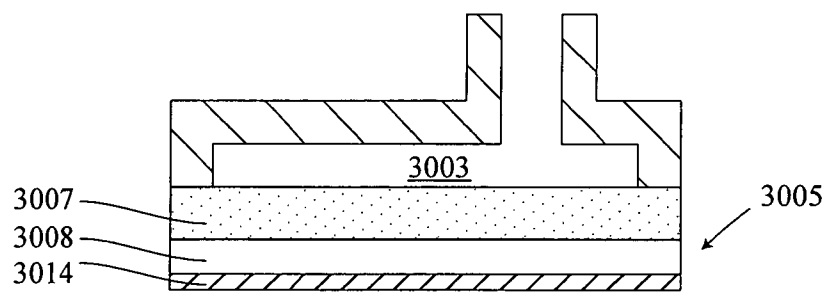


圖 30

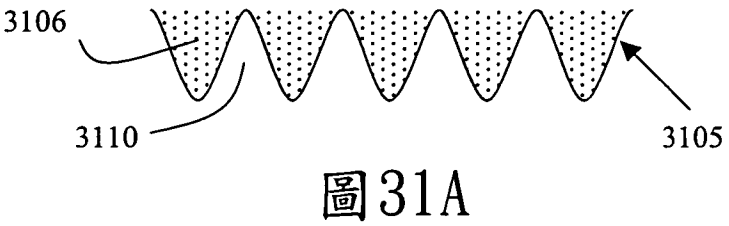


圖 31A

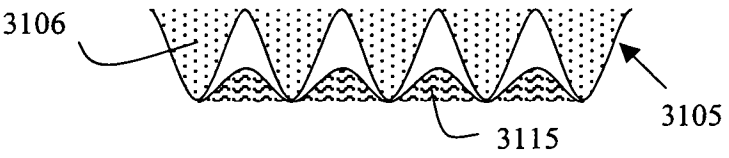


圖 31B

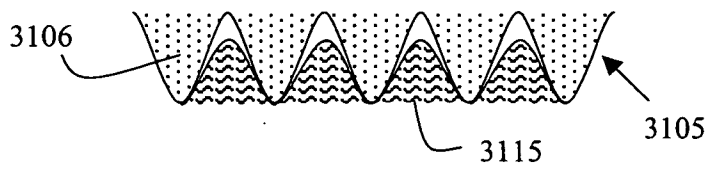


圖 31C

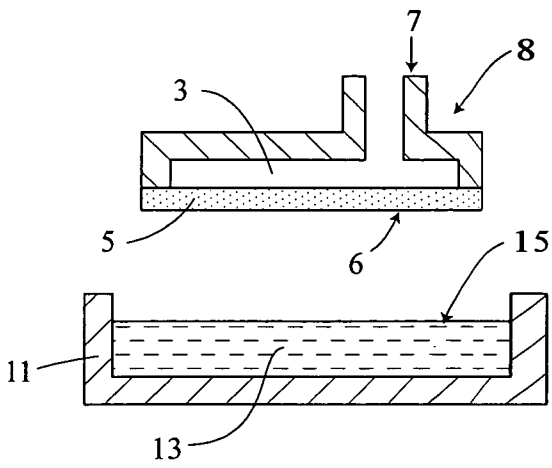


圖 32A

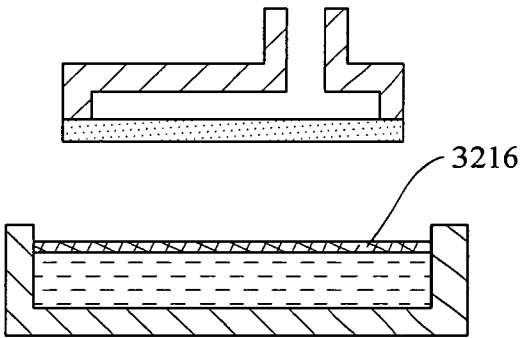


圖 32B

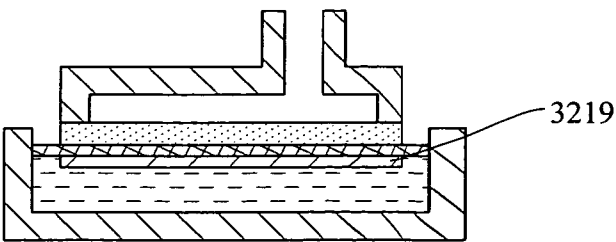


圖 32C

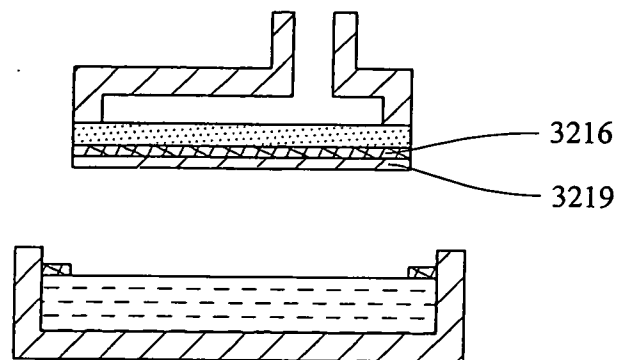


圖 32D

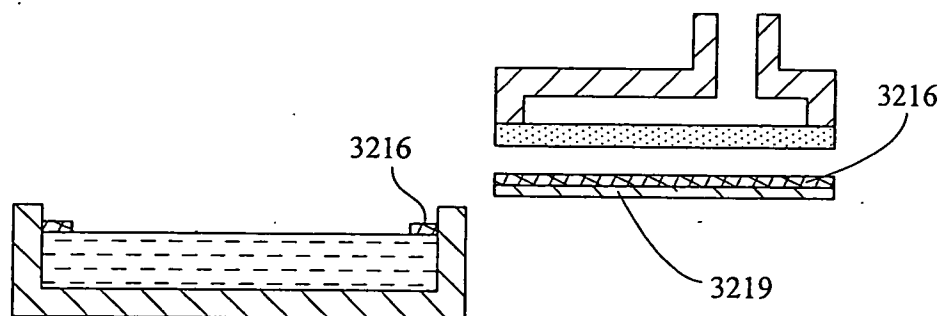


圖 32E

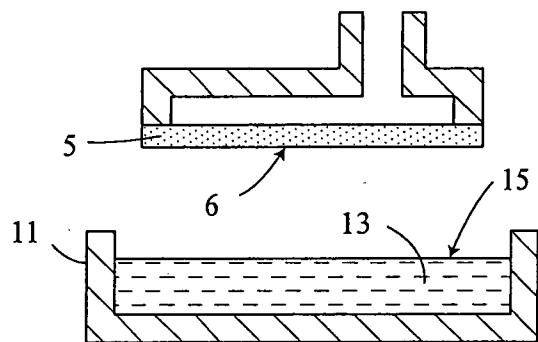


圖 33A

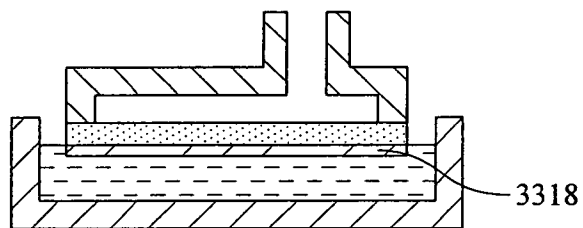


圖 33B

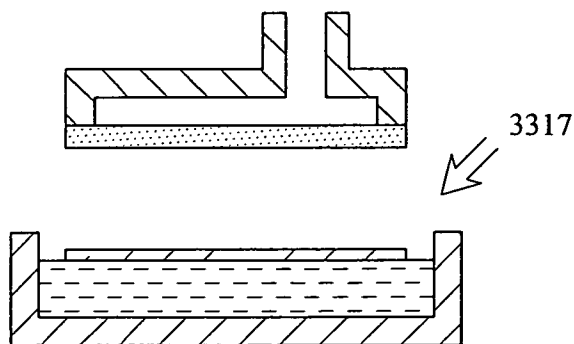


圖 33C

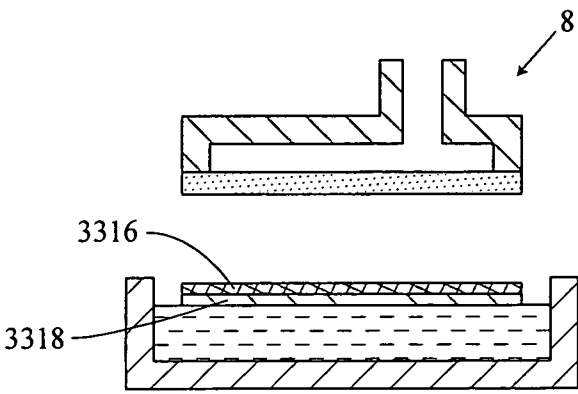


圖 33D

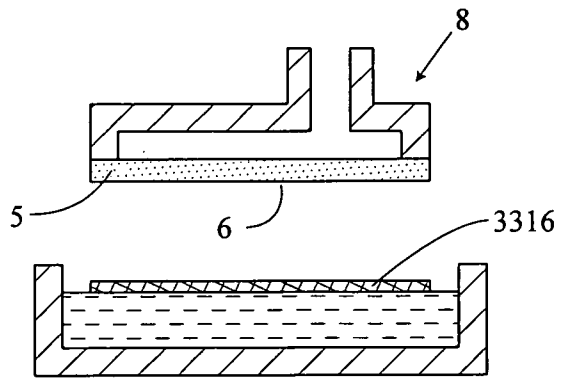


圖 33E

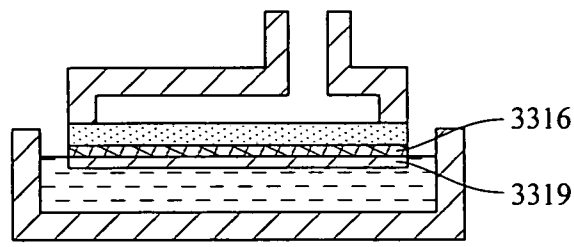


圖 33F

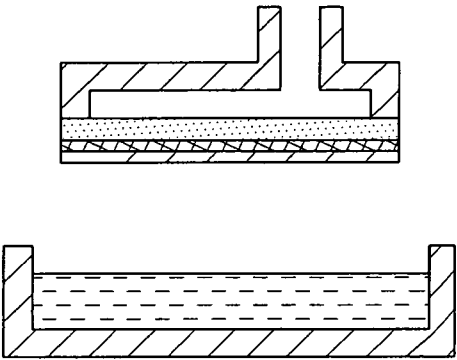


圖 33G

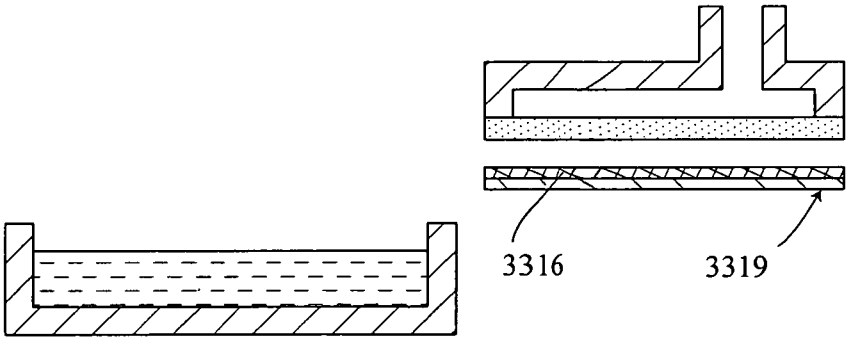


圖 33H

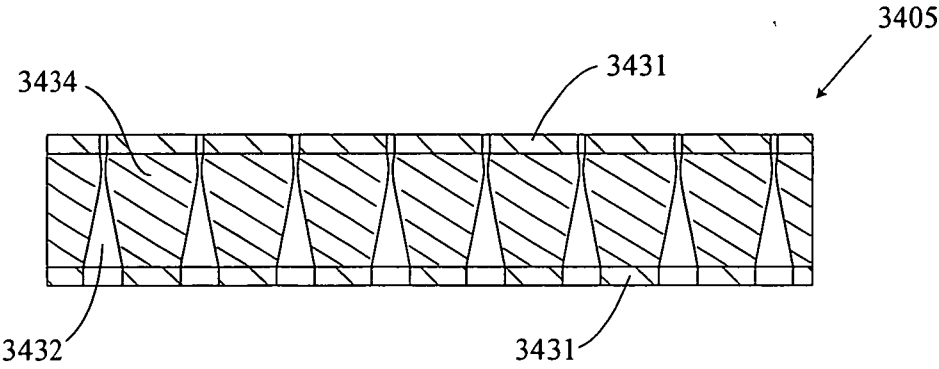


圖 34

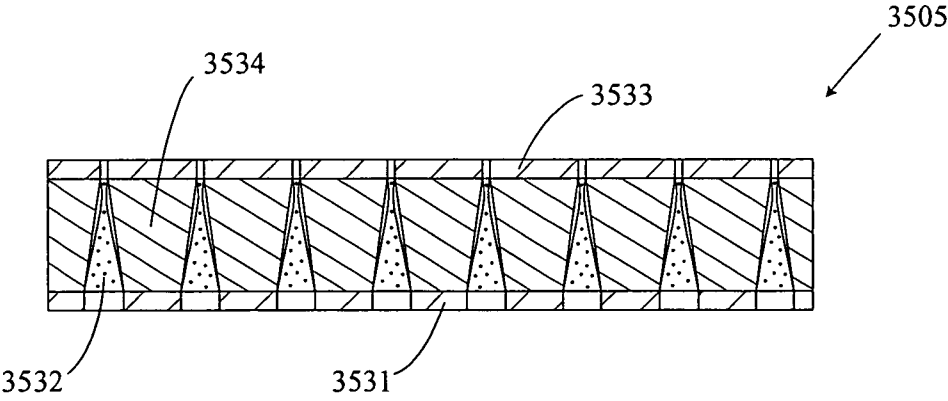


圖 35

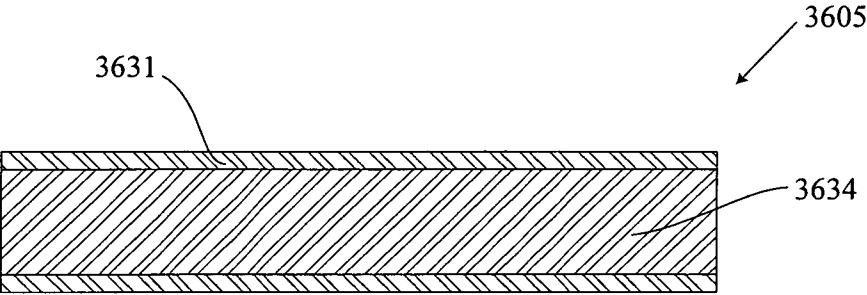


圖 36

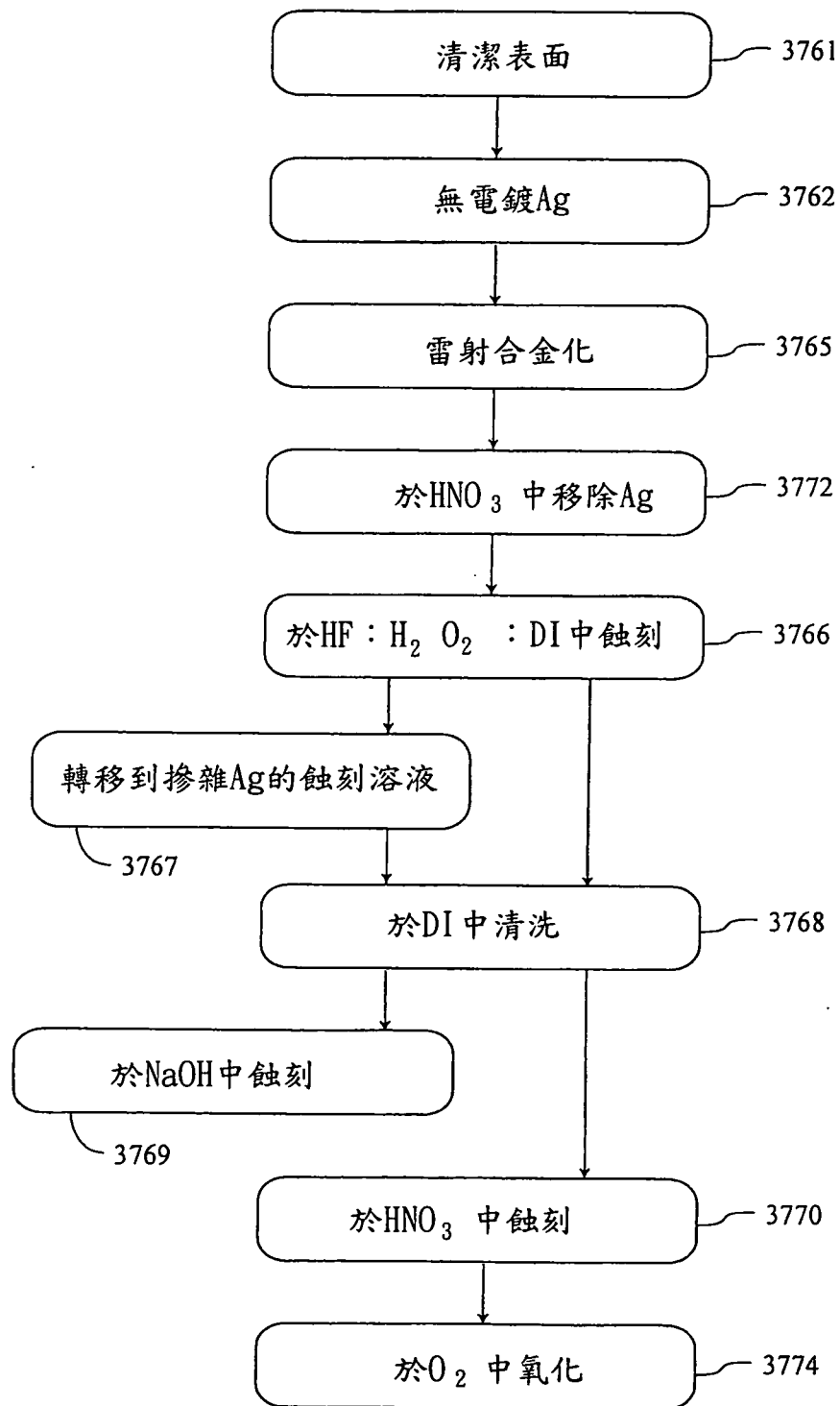


圖37

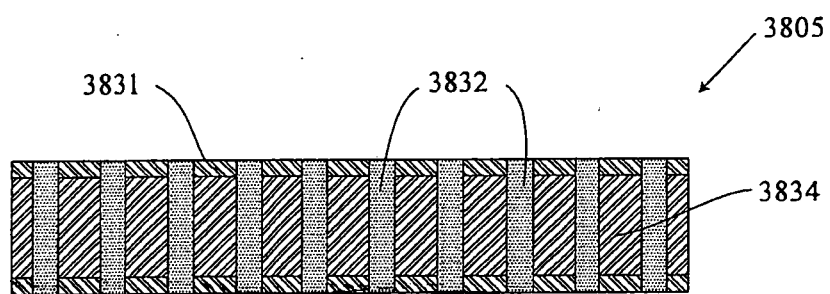


圖 38