

發明專利說明書

100年3月24日修正替換頁

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：96102076

※申請日期：96.1.19

※IPC 分類：

C30B 28/06 (2006.01)
H01L 31/046 (2014.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

用以製備幾何型多晶鑄態矽的方法及裝置及用於光電技術之幾何型多晶鑄態矽體
METHODS AND APPARATUSES FOR MANUFACTURING GEOMETRIC MULTICRYSTALLINE CAST
SILICON AND GEOMETRIC MULTICRYSTALLINE CAST SILICON BODIES FOR
PHOTOVOLTAICS

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

AMG 艾多卡斯特太陽能公司 / AMG IDEALCAST SOLAR CORPORATION

代表人：(中文/英文)

克拉克 羅杰 F. / CLARK, ROGER F.

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國馬里蘭州費德里克市北凱斯汀機構索勒里克斯巷 630 號
630 Solarex Ct., North Casting Facility, Frederick, Maryland 21703,
U. S. A.

國籍：(中文/英文)

美國 / U. S. A.

三、發明人：(共 1 人)

姓名：(中文/英文)

史托達德 納桑 G. / STODDARD, NATHAN G.

國籍：(中文/英文)

美國 / U. S. A.

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為：。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

- | | | |
|--------|-------------|------------|
| 1. 美國、 | 2006/08/24、 | 60/839,672 |
| 2. 美國、 | 2006/08/24、 | 60/839,670 |
| 3. 美國、 | 2006/05/30、 | 60/808,954 |
| 4. 美國、 | 2006/01/20、 | 60/760,453 |

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

一種用以鑄造用於光電池池與其他應用之方法及裝置，利用這種方法及裝置，可形成一連續幾何型多晶矽之鑄態體，且該連續幾何型多晶矽之鑄態體沒有或實質上沒有徑向分布雜質與缺陷且具有至少兩各為至少大約10cm之尺寸。

六、英文發明摘要：

Methods and apparatuses are provided for casting silicon for photovoltaic cells and other applications. With such methods and apparatuses, a cast body of continuous geometrically ordered multi-crystalline silicon may be formed that is free or substantially free of radially-distributed impurities and defects and having at least two dimensions that are each at least about 10 cm is provided.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

100...晶種

110...坩堝

120...板片

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

九、發明說明：

本發明係在由美國能源部(DOE)所給予之能源部合約第 DE-AC36-98GO100336 號之國家可更新能源實驗室(NREL)副合約第 ZDO-2-30628 號的政府支援下完成者。美國政府對本發明具有某些權利。

相關申請案

本發明主張 2006 年 1 月 20 日申請之美國暫時申請案第 60/760,453 號、2006 年 5 月 30 日申請之美國暫時申請案第 60/808,954 號、2006 年 8 月 24 日申請之美國暫時申請案第 60/839,672 號、及 2006 年 8 月 24 日申請之美國暫時申請案第 60/839,670 號之優先權，且其全部內容在此加入作為參考。

【發明所屬之技術領域】

技術領域

本發明大致係有關於光電領域且有關於用以製備用於光電應用之鑄態矽的方法及裝置。本發明更有關於可用於製備如光電電池與其他半導體元件等元件之新形態鑄態矽，且該新矽可具有單晶結構且可利用一鑄造法製備。

【先前技術】

背景資訊

光電電池將光轉換成電流，且光電電池之其中一最重要數值是它將光能轉換成電能之效率。雖然光電電池可以由各種半導體材料製成，但是通常使用的是矽，這是因為它很容易以合理之價格取得，且因為它對於用於製備光電電池具有電、物理與化學性質之適當平衡性。

在一用以製備光電電池之習知程序中，矽進料與一用以誘發正或負導電性型之材料(或摻雜劑)混合、熔化且接著依據個別矽晶粒之晶粒尺寸，藉由將結晶矽拉出一熔化區域成為單晶矽之鑄塊(透過柴式(Czochralski)(CZ)或浮動區(FZ)法)或鑄成多結晶矽或多晶矽之塊或“磚”。在此所使用

5 之用語“單晶矽”表示具有一個一致晶體方位之單一結晶矽體，此外，習知多晶矽表示具有cm級晶粒尺寸分布且具有多數位在一矽體內之任意方位晶體的結晶矽。但是，在此所使用之用語“依幾何形狀規則排列之多晶矽”(以下稱為

10 “幾何型多晶矽”)表示本發明實施例之結晶矽，該結晶矽具有依幾何形狀規則排列之cm級晶粒分布，且多數規則排列晶體位在一矽體內。例如，在幾何型多晶矽中，各晶粒通常具有一大約 0.25cm^2 至 $2,500\text{cm}^2$ 之平均橫截面積及可以與該矽體一樣大之高度，且其中橫截面係位在垂直於該晶粒

15 之高度或長度之平面上。例如，該高度可以與該矽體垂直於該橫截面之平面的尺寸一樣大，並且在幾何型多晶矽體內之晶粒方位係依據預定方位加以控制。垂直於幾何型多晶矽之晶粒高度或長度之晶粒橫截面形狀通常與它形成於其上之種晶形狀或種晶部份相同。此外，在此所使用之用

20 語“多晶矽”表示具有微米級晶粒尺寸之結晶矽及多數位在一矽體內之晶粒方位。例如，該等晶粒通常具有大約次微米至次毫米之平均值尺寸(如，個別晶粒可能無法用肉眼看到)，且晶粒方位在其中任意地分布。在前述程序中，該等鑄塊或塊利用習知之切割或鋸切方法切成亦稱為晶圓之薄

基材。接著，可將這些晶圓加工成光電電池。此外，在此所使用之用語“近似單晶矽”表示結晶矽體，且該結晶矽體在大於該50%之矽體體積中具有一致晶體方位，例如，這近似單晶矽可包含與一多晶區域相鄰之單晶矽體，或它可包含一部份或完全含有其他晶體方位之較小矽晶體的大且連續一致矽結晶，其中該較小晶體不會佔全部體積之50%以上。該近似單晶矽宜包含不會佔全部體積之25%以上之較小晶體。較佳地，該近似單晶矽可包含不會佔全部體積之10%以上之較小晶體。更佳地，該近似單晶矽可包含不會佔全部體積之5%以上之較小晶體。

用於製備光電電池之單晶矽通常是利用CZ或FZ法製造，而這兩種方法係會產生一矽晶之圓柱形晶坯之製程。對CZ製程而言，該晶坯被緩緩地拉出一熔融矽池，且對FZ製程而言，固態物質經由一熔化區送入且在該熔化區之另一側再固化。以這些方式製造之單晶矽晶坯含有徑向分布之雜質與缺陷，例如，氧誘發堆疊缺陷(OSF)之環及格隙或空位團之“旋渦”缺陷。即使有這些雜質與缺陷，單晶矽仍是一般用以製造光電電池之較佳矽源，因為它可以用來製造高效率之太陽能電池。但是，單晶矽之製造成本比使用如前述之習知方法的習知多晶矽高。

用以製備光電電池之習知多晶矽通常是利用一鑄造法製造，且用於製備一習知多晶矽之鑄造製程在光電技術中是習知的。簡言之，在這些製程中，將熔融矽裝在一如石英坩堝之坩堝中，且在受控制之情形下加以冷卻，使其

中之矽結晶。所得到之多晶矽塊通常會被切成多數磚，而該等磚具有與欲用以製備一光電電池之晶圓尺寸相同或接近之橫截面，且該等磚會被鋸切或以其他方式切割成前述晶圓。依此方式製成之多晶矽是一晶粒之聚結體，其中，

5 在由其製成之晶圓內，該等晶粒彼此之間的方位有效地任意分布。

在習知多晶矽或多結晶矽中之晶粒任意分布方位使所得之晶圓表面難以紋理化，而紋理化可利用減少光反射與增加通過一電池表面之光能吸收來改善光電電池之效率。

10 此外，在習知多晶矽晶粒間之邊界中的“扭折”會使結構缺陷集結成錯位之團或線。這些錯位與它們會吸引之雜質將會使在由習知多晶矽製成之作用中光電電池中的電荷載子再結合，且這會使電池之效率降低。即使考慮在由習知方法製成之單晶矽中存在之徑向缺陷分布，與由單晶矽製成

15 之等效光電電池相較，由這種多晶矽製成之光電電池仍具有較低之效率。但是，因為製造習知多晶矽較簡單且成本較低，並且在電池製程中可有效鈍化缺陷，多晶矽是用於製備光電電池之較廣泛使用的矽型態。

某些以往的鑄造方法會使用一“冷壁”坩堝來進行晶體

20 成長，且用語“冷壁”表示在該坩堝壁上或在該坩堝壁中之感應線圈業經水冷，且可以開設溝槽，因此通常保持在 100°C 以下。該坩堝壁可以緊臨在該等線圈與進料之間，且該坩堝壁並未熱絕緣，且因此可保持與該等已冷卻線圈熱平衡。故矽並非由來自該坩堝壁之輻射熱加熱，因為在該

坩堝中之矽的感應加熱表示矽係由因感應而在其中流動之電流直接加熱。依此方式，該坩堝壁仍處於該矽之熔化溫度以下，且被視為是相對於該熔融矽是“冷的”。在感應地加熱之熔融矽固化時，這些坩堝之冷壁作為散熱器，且由於對該等冷壁之輻射，該等鑄塊迅速地冷卻。因此，一初始固化前面會迅速地彎曲，且晶體成核在該鑄塊側邊發生且朝該鑄塊中心對角地成長，並且使保持垂直與依幾何形狀規則排列之晶種成長過程中斷或無法保持實質平坦固化前面。

10 由前所述可知，需要有一種可用以製備光電電池之改良矽形態，且亦需要一種可以在一比以往用於製造單晶矽之方法更快且更便宜之方法中製備的矽。本發明提供這種矽與這些方法。

【發明內容】

15 發明概要

所實施與廣義地說明之本發明提供一種用以製備鑄態矽之方法，包含：將多數單晶矽種晶之幾何型結構放置在一容器中之至少一表面上，而該容器具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度之側壁及至少一用以冷卻之壁；放置
20 熔融矽，使其接觸前述單晶矽種晶之幾何型結構；及藉由將該熔融矽冷卻以控制結晶而形成一固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約10cm之尺寸，其中該形成步驟包括在冷卻時控制一位於該熔融矽邊緣處之固-液界面，使其朝一可增加該

熔融矽與該至少一用以冷卻之壁間之距離的方向移動。在此應了解的是該坩堝之其中一壁可以是該坩堝之底部。

本發明之一實施例亦提供一種用以製備鑄態矽之方法，包含：以一預定圖案將多數單晶矽種晶配置在一坩堝之至少兩表面上，且該坩堝具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度的側壁及至少一用以冷卻之壁；放置熔融矽，使其接觸前述多數單晶矽種晶；及藉由自該坩堝之至少兩表面開始冷卻該熔融矽以控制結晶而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約10cm之尺寸，其中該形成步驟包括在冷卻時控制一位於該熔融矽邊緣處之固-液界面，使該界面朝一可增加該熔融矽與在該坩堝中之單晶矽種晶間之距離的方向移動。

本發明之另一實施例亦提供一種用以製備鑄態矽之方法，包含：將多數單晶矽種晶之幾何結構放置在一坩堝之至少一表面上；放置矽進料，使其接觸在該至少一表面上之前述多數單晶矽種晶；加熱該矽進料與前述多數單晶矽種晶至矽之熔化溫度；控制該加熱，使前述多數單晶矽種晶不會完全熔化，且該控制包含維持一當在該坩堝中另一處到達該熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；及一旦前述多數種晶部分地熔化，藉由冷卻該矽而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。

本發明之另一實施例亦提供一種用以製備鑄態矽之方

- 法，包含：以一預定圖案將多數單晶矽種晶排列在一坩堝之至少兩表面上；放置矽進料，使其接觸在前述至少兩表面上之多數單晶矽種晶；加熱該矽進料與前述多數單晶矽種晶至矽之熔化溫度；控制該加熱，使前述多數單晶矽種晶不會完全熔化，且該控制包含維持一當在該坩堝中另一處到達該熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；及一旦前述多數種晶部分地熔化，藉由冷卻該矽而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。
- 5
- 10 本發明之又一實施例亦提供一種用以製備鑄態矽之方法，包含：將至少一幾何型多晶矽種晶放置在一坩堝之至少一表面上，且該坩堝具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度的側壁及至少一用以冷卻之壁；放置熔融矽，使其接觸前述至少一種晶；及藉由冷卻該熔融矽以控制結晶而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約 10cm 之尺寸，其中該形成步驟包括在冷卻時控制一位於該熔融矽邊緣處之固-液界面，使其朝一可增加該熔融矽與在該坩堝中之至少一幾何型多晶矽種晶間之距離的方向移動。
- 15
- 20 本發明之另一實施例亦提供一種用以製備鑄態矽之方法，包含：將多數單晶矽種晶之幾何型結構放置在一坩堝之至少一表面上，且前述多數單晶矽種晶係配置成可覆蓋該坩堝之至少一表面之整個或實質上整個面積；放置熔融矽，使其接觸前述單晶矽種晶之幾何型結構；及藉由冷卻

該熔融矽以控制結晶而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約10cm之尺寸。

5 本發明之再一實施例亦提供一種用以製備鑄態矽之方法，包含：放置熔融矽在一容器中，使其接觸至少一依幾何形狀規則排列多晶矽種晶，而該容器具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度之側壁，且該至少一依幾何形狀規則排列多晶矽種晶配置成可覆蓋該容器表面之整個或實質上整個面積；及藉由將該熔融矽冷卻以控制結晶而形成一
10 固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約10cm之尺寸。

本發明之又一實施例亦提供一種連續依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體具有一預定晶粒方位結構，並且該多晶矽體更選擇性地具有至少兩各為至少大約10cm
15 之尺寸及一至少大約5cm之第三尺寸。

本發明之另一實施例亦提供一種連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體具有一預定晶粒方位結構，並且該多晶矽體更選擇性地具有至少兩各為至少大約10cm之尺寸。

20 本發明之再一實施例亦提供一種連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽晶圓，且該晶圓具有一預定晶粒方位結構，並且該晶圓更具有至少兩各為至少大約50mm之尺寸。

本發明之又一實施例亦提供一種太陽能電池，包含：一晶圓，係由一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀

規則排列多晶矽體形成，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸及一至少大約5cm之第三尺寸；一p-n接面，係在該晶圓中者；一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之表面上；至少一層，係選擇性選自於一背面領域與一鈍化層者；及導電接頭，係位在該晶圓上者。

本發明之另一實施例亦提供一種太陽能電池，包含：一晶圓，係由一具有預定晶粒方位結構之連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體形成，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸；一p-n接面，係在該晶圓中者；一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之表面上；至少一層，係選擇性選自於一背面場與一鈍化層者；及導電接頭，係位在該晶圓上者。

本發明之又一實施例亦提供一種太陽能電池，包含：一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽晶圓，且一共同極方向垂直於該晶圓之一表面，並且該晶圓更具有至少兩各至少為大約50mm之尺寸；一p-n接面，係在該晶圓中者；一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之表面上；至少一層，係選擇性選自於一背面場與一鈍化層者；及導電接頭，係位在該晶圓上者。

本發明之另一實施例亦提供一種晶圓，包含一由具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體形成之矽，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並

且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸及一至少大約5cm之第三尺寸。

本發明之再一實施例亦提供一種晶圓，包含一由具有預定晶粒方位結構之連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體形成之矽，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸。

本發明之另一實施例亦提供一種晶圓，包含一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體，且一共同極方向垂直於該晶圓之一表面，並且該晶圓更具有至少兩各選擇性地至少為大約50mm之尺寸。

本發明之又一實施例亦提供一種太陽能電池，包含：一晶圓，係由一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體切割形成，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸及一至少大約5cm之第三尺寸；一p-n接面，係在該晶圓中者；一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之一表面上；至少一層，係選擇性選自於一背面領域與一鈍化層者；及多數導電接頭，係位在該晶圓之至少一表面上者。

本發明之另一實施例亦提供一種太陽能電池，包含：一晶圓，係由一具有預定晶粒方位結構之連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體切割形成，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選

擇性地至少為大約10cm之尺寸；一p-n接面，係在該晶圓中者；一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之一表面上；至少一層，係選擇性選自於一背面場與一鈍化層者；及多數導電接頭，係位在該晶圓之至少一表面上者。

- 5 本發明之又一實施例亦提供一種太陽能電池，包含：
一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽晶圓，且一共同極方向垂直於該晶圓之一表面，並且該晶圓更具有至少兩各至少為大約50mm之尺寸；一p-n接面，係在該晶圓中者；一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之一表面上；至少一可選擇層，係選自於一背面場與一鈍化層者；及多數導電接頭，係位在該晶圓之至少一表面上者。

- 15 依據本發明之另一實施例，依據本發明製成之近似單晶矽可最多包含具有其他晶體方位之5%體積的較小矽晶體。較佳地，依據本發明之再一實施例，依據本發明製成之近似單晶矽可最多包含具有其他晶體方位之1%體積的較小矽晶體。更佳地，依據本發明之又一實施例，依據本發明製成之近似單晶矽可最多包含具有其他晶體方位之0.1%體積的較小矽晶體。

- 20 本發明之其他特徵與優點將以下說明中提出，且可由該說明了解或藉由實施本發明之實施例而明白。本發明之特徵與其他優點可藉由在以下說明與申請專利範圍及添附圖式中特別指出之半導體元件結構與製備方法及裝置實現與獲得。

在此應了解的是前述一般性說明與以下詳細說明係舉例與說明用者，且欲再說明如申請專利範圍界定之本發明。

圖式簡單說明

加入並構成此說明一部份之添附圖式顯示本發明之實施例，且與該說明一起解釋本發明之特徵、優點與原理。
5 在圖式中：

第1圖顯示本發明實施例之在一坩堝底面上的一矽晶種結構例；

第2圖顯示本發明實施例之在一坩堝底面上的另一矽晶種結構例；
10

第3A-3C圖顯示本發明實施例之用以在一坩堝中鑄造依幾何形狀規則排列多晶矽之鋪排(tiling)例；

第4圖顯示本發明實施例之用以在一坩堝中鑄造依幾何形狀規則排列多晶矽之另一鋪排例；

15 第5圖顯示本發明實施例之緊密堆疊鹵晶種鋪片陣列；

第6圖顯示本發明實施例之具有斜方形或三角形格隙之多邊形形狀的陣列例；

第7圖顯示本發明實施例之方法例；及

第8A-8G與9圖顯示本發明實施例之單晶矽或依幾何形狀規則排列多晶矽之鑄造製程例。
20

【實施方式】

實施例之說明

以下將詳細參照本發明之實施例，且其例子係顯示於添附圖式中。儘可能地，在該等圖式中使用相同或類似符

號表示相同或類似零件。

在本發明之實施例中，熔融矽之結晶係利用使用一或多個種晶之鑄造製程來進行。如在此所揭露者，這些鑄造製程可控制在結晶矽之鑄態體中之晶粒尺寸、形狀與方位。在此所使用之用語“鑄造”表示藉由在一用以固持熔融矽之模具或容器中冷卻該熔融矽來形成矽者。由於如熔融矽等液體將具有放置它之容器的形狀，所以在此亦可知在除了以在模具或容器之任一裝置中收納該熔融矽時亦可冷卻該熔融矽。舉例而言，該矽可以藉由在一坩堝中固化而形成，此時固化係由該坩堝之至少一壁造成，且不是透過將矽拉出該坩堝之冷卻外來物體造成。該坩堝可以具有如圓柱形、或盒狀之任一適當形狀。如此，本發明熔融矽之結晶製程不是由“抽拉”一晶坯或晶帶來控制。此外，依據本發明之實施例，該模具、容器或坩堝包括至少一與該熔融矽接觸之“熱側壁”。在此所使用之用語“熱側壁”表示一與它接觸之熔融矽等溫或更熱之表面，且較佳地，一熱側壁表面在處理該矽時是固定的。

依據本發明之實施例，該結晶矽可以是具有受控制晶粒方位之連續單結晶或連續幾何型多結晶。在此所使用之用語“連續單晶矽”表示單一結晶矽，其中該矽體是一均質單晶矽且不是多數結合在一起形成一較大矽塊之較小矽塊。此外，在此所使用之用語“連續幾何型多晶矽”表示幾何型多晶矽，其中該矽體是一均質幾何型多晶矽且不是多數結合在一起形成一較大矽塊之較小矽塊。

依據本發明之實施例，利用將一所需之結晶矽“晶種”組合定位在如可以固持熔融矽之石英坩堝等容器底部，可以完成該結晶。在此所使用之用語“晶種”表示一塊具有所需結晶體結構之具幾何形狀的矽，且該其中最好至少一橫

5 截面具有一以多邊形為佳之幾何形狀，並且具有一配合它所放置之容器表面的側。這晶種可以是一單晶矽塊或一依幾何形狀規則排列之多晶矽塊，如一利用切割或其他方式而由一依幾何形狀規則排列多晶矽之鑄塊獲得之板片或水平段。依據本發明，一晶種可具有一平行於其底面之頂面，

10 但不一定要如此。例如，一晶種可以一矽塊，且其尺寸可由大約2mm至大約3000mm左右。例如，一晶種可以為大約10mm至大約300mm。該矽塊可具有大約1mm至大約1000mm之厚度，且以大約5mm至50mm為佳。一適當尺寸與形狀之晶種可以依方便與鋪排之目的來選擇，以下將詳

15 細說明之鋪排係矽晶種以一預定幾何型方位或圖案配置在，例如，一坩堝之底部或者一或多個側與底面上。該晶種或該等晶種最好覆蓋與它們所在處鄰接之整個坩堝表面，因此當移動該具種晶成長固化前面遠離該等晶種時，該坩堝之全尺寸可以維持成一致之幾何型晶體。

20 接著，在晶種存在之情形下使該熔融矽冷卻與結晶，且該熔融矽之冷卻方式最好是可使該熔融矽之結晶化在該固態晶種之初始頂部高度處或以下開始並繼續遠離，且最好是向上遠離該等晶種。在該熔融矽邊緣處之固-液界面最好在開始時與如一進行鑄造之坩堝中之表面等容器之冷卻

表面一致，依據本發明之實施例，在該熔融矽與該結合晶之間的液-固界面可以在該鑄造製程之部份或全部中實質上保持平坦。在本發明之實施例中，在該熔融矽之各邊緣處的固-液界面在冷卻時受到控制，以朝一可增加在該熔融矽與該坩堝之冷卻表面間之距離的方向移動，並最好保持一實質平坦之固-液界面。

因此，依據本發明，該固化前面可與該容器之冷卻表面形狀一致。例如，利用一具有平坦底部之坩堝，該固化前面可仍實質保持平坦，且該固-液界面具有一受控制之輪廓。該固-液界面可控制成使其曲率半徑在由邊緣移動至中心時逐漸減少，或者，該固-液界面可以控制成維持該容器寬度至少一半的平均曲率半徑。此外，該固-液界面可以控制成維持該容器寬度至少兩倍的平均曲率半徑。該固體可具有一稍微外凸之界面且具有該容器寬度至少大約四倍的曲率半徑，例如，該固-液界面可在一0.7m平方坩堝中具有一大致大於2m之曲率半徑，且大於該坩堝之水平尺寸兩倍，並且最好大約是該坩堝之水平尺寸大約8倍至大約16倍。

依據本發明之實施例，可形成最好具有至少兩各至少大約為20cm，例如，在一側至少大約為20cm之尺寸及至少大約10cm之第三尺寸的固態單晶矽體或近似單晶矽體，且最好是鑄態矽體。較佳地，可形成最好具有至少兩各至少大約為30cm，例如，在一側至少大約為30cm之尺寸及至少大約10cm之第三尺寸的固態單晶矽體或近似單晶矽體，且

最好是鑄態矽體。更佳地，可形成最好具有至少兩各至少大約為35cm，例如，在一側至少大約為35cm之尺寸及至少大約10cm之第三尺寸之固態單晶矽體或近似單晶矽體，且最好是鑄態矽體。最佳地，可形成最好具有至少兩各至少

5 大約為40cm，例如，在一側至少大約為40cm之尺寸及至少大約20cm之第三尺寸之固態單晶矽體或近似單晶矽體，且最好是鑄態矽體。又，較佳地，可形成最好具有至少兩各至少大約為50cm，例如，在一側至少大約為50cm之尺寸及至少大約20cm之第三尺寸之固態單晶矽體或近似單晶矽

10 體，且最好是鑄態矽體。又，更佳地，可形成最好具有至少兩各至少大約為60cm，例如，在一側至少大約為50cm之尺寸及至少大約20cm之第三尺寸之固態單晶矽體或近似單晶矽體，且最好是鑄態矽體。又，最佳地，可形成最好具有至少兩各至少大約為70cm，例如，在一側至少大約為

15 70cm之尺寸及至少大約20cm之第三尺寸之固態單晶矽體或近似單晶矽體，且最好是鑄態矽體。

一依據本發明實施例製成之矽鑄塊水平尺寸的上限僅由鑄造與坩堝製造技術來決定，而不是由發明之方法本身來決定。依據本發明，可製備具有至少 1m^2 且最多 $4\text{-}8\text{m}^2$ 之

20 橫截面積的鑄塊。類似地，該鑄塊之高度上限會與較長之循環時間有關，而非鑄造製程之基本條件。最多大約50cm至大約80cm之鑄塊高度是可能的，如此，依據本發明，一連續單晶矽體或近似單晶矽體可以成功地成長至具有大約 $66\text{cm}\times 66\text{cm}$ 之橫截面，而一塊矩形固態連續單晶矽之體積

至少為 $33,750\text{cm}^3$ 。此外，依據本發明，鑄態連續單晶矽或近似單晶矽之固體可以較佳地形成具有至少兩各與一鑄造容器內部尺寸一樣大之尺寸、及一與該鑄塊高度相同之第三尺寸。例如，如果該單晶鑄態矽體是一立方體形或一矩形固體，則前述這些尺寸係指這些矽體之長度、寬度與高度。

類似地，可形成一較佳地具有至少兩各至少大約 10cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。較佳地，可形成一具有至少兩各至少大約 20cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。更佳地，可形成一具有至少兩各至少大約 30cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，更佳地，可形成一具有至少兩各至少大約 35cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，較佳地，可形成一具有至少兩各至少大約 40cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。更佳地，可形成一具有至少兩各至少大約 50cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，更佳地，可形成一具有至少兩各至少大約 60cm 之尺寸、及至少大約 5cm 之第三尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。較佳地，可形成一具有至少兩各至少大

約70cm之尺寸、及至少大約5cm之第三尺寸之幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。如此，依據本發明，一連續單晶矽體或近似單晶矽體可以成功地成長至具有大約66cm×66cm之橫截面，而一塊矩形固態連續單晶矽之體積至少為33,750cm³。此外，依據本發明，可以較佳地形成具有至少兩各與一鑄造容器內部尺寸一樣大之尺寸、及一與該鑄塊高度相同之第三尺寸之幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。例如，如果該單晶鑄態矽體是一立方體形或一矩形固體，則前述這些尺寸係指這些矽體之長度、寬度與高度。

藉由依據本發明實施例之方式進行熔融矽之結晶化，可製成具有特定而非任意之晶界及特定晶粒尺寸之鑄態矽。此外，藉由以使所有晶種互相定向於相同相對方向之方式來對齊該等晶種，例如，該(100)極方向垂直於該坩堝底部且該(110)極方向平行於一矩形或正方形橫截面坩堝之其中一側，則可得到大的鑄態矽體，且該鑄態矽體是或幾乎是其中該鑄態矽之極方向與該(等)之極方向相同的單晶矽。類似地，其他極方向可以垂直於該坩堝之底部。此外，依據本發明之實施例，該(等)晶種可以排列成使有共同極方向垂直於該坩堝之底部。

當單晶矽係利用如CZ或FZ法等習知方法，由一池熔融矽中拉出一圓柱形晶坯而製成時，所得到之單晶矽含有徑向分布雜質與缺陷，例如，旋渦缺陷(由如空位與自格隙原子等內在缺陷形成者)與OSF環缺陷及。這些旋渦缺陷可以

利用x射線圖像測得且在該矽中係以“旋渦”呈現，此外，亦可在優先酸蝕矽使輪廓出現後，再偵測它們。

依據習知CZ或FZ法，在矽內之氧原子與在該矽中由這些氧原子造成之缺陷的分布是在徑向上。這表示它們會排列成環狀、螺旋狀或以一中心軸為中心對稱之條紋狀。OSF環缺陷係一種特例，其中奈米級氧沈澱在一拉出之矽單晶鑄塊或晶坯內之圓柱形帶中集結生成堆疊缺陷，而在優先酸蝕後於矽樣品中可以觀察到這些圓柱形帶。

旋渦缺陷與OSF環缺陷兩者均會由於拉出製程之旋轉對稱性、軸向熱梯度及在製程之旋轉本質而發生在利用習知CZ或FZ法而由一池熔融矽拉出圓柱形晶坯之單晶矽晶坯中。相反地，由本發明實施例之鑄造製程所製成之矽則不會有這些旋渦缺陷與OSF環缺陷。這是因為在沒有圓柱形對稱性之矽體中、及在整個固化與冷卻過程中整個鑄塊內等溫線大致平坦之製程中，在鑄造過程中產生之缺陷大部份會在任意地分布在成長界面處而不會被旋轉影響。

有關在由不同方法長成之矽中的輕元素雜質濃度，在表1中所示之以下級數係一般考慮之特性值。

表1

	濃度(atoms/cm ³)		
	氧	碳	氮
浮動區	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{16}$	$<1 \times 10^{14}$
Czochralski	$2 \times 10^{17} - 1 \times 10^{18}$	$<1 \times 10^{16}$	$<5 \times 10^{14}$
鑄造	$2 - 3 \times 10^{17}$	$2 \times 10^{16} - 5 \times 10^{17}$	$>1 \times 10^{15}$

CZ鑄塊之部份可以低至 5×10^{17} atoms/cm³之氧來製造，但不能再低。碳與氮濃度可以在FZ與CZ鑄塊中利用刻意摻

雜來增加，但摻雜不會超過在這些方法中之固體溶解極限（如同它在鑄造材料中一般），且業經摻雜之鑄塊製成之尺寸直徑不會大於20cm。相反地，鑄塊通常會由於脫離塗層與爐熱區之設計而以碳與氮過飽和。因此，由於液相成核作用與成長，沈澱之氮化物與碳化物分布於各處。此外，依據本發明之實施例，製成之鑄態單晶塊具有前述雜質級數且具有 $50 \times 50 \times 20 \text{cm}^3$ 與 $60 \times 60 \times 5 \text{cm}^3$ 之尺寸。這些尺寸僅是舉例，且不應視為本發明鑄造製程之上限。

例如，在雜質級數方面，在依據本發明鑄造之矽中較佳的是大約 $1-5 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度、大約 $2-3 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解氧濃度、及 $1-5 \times 10^{15} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度。依據本發明之實施例，可形成最好具有至少兩各至少大約為10cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約 $1-5 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度、大約 $2-3 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解氧濃度、及 $1-5 \times 10^{15} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。較佳地，可形成具有至少兩各至少大約為20cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約 $1-5 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度、大約 $2-3 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解氧濃度、及 $1-5 \times 10^{15} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。更佳地，可形成具有至少兩各至少大約為30cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約 $1-5 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解碳濃度、大約 $2-3 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ 之溶解氧濃度、及

- 1-5×10¹⁵ atoms/cm³之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，更佳地，可形成具有至少兩各至少大約為35cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約1-5×10¹⁷ atoms/cm³之溶解碳濃度、大約
- 5 2-3×10¹⁷ atoms/cm³之溶解氧濃度、及1-5×10¹⁵ atoms/cm³之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，更佳地，可形成具有至少兩各至少大約為40cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約
- 10 1-5×10¹⁷ atoms/cm³之溶解碳濃度、大約2-3×10¹⁷ atoms/cm³之溶解氧濃度、及1-5×10¹⁵ atoms/cm³之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，更佳地，可形成具有至少兩各至少大約為50cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約1-5×10¹⁷ atoms/cm³之溶解碳濃度、大約2-3×10¹⁷ atoms/cm³之溶解氧濃度、及
- 15 1-5×10¹⁵ atoms/cm³之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。又，更佳地，可形成具有至少兩各至少大約為60cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約1-5×10¹⁷ atoms/cm³之溶解碳濃度、大約
- 20 2-3×10¹⁷ atoms/cm³之溶解氧濃度、及1-5×10¹⁵ atoms/cm³之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。

較佳地，可形成一具有至少兩各至少大約為70cm之尺寸及至少大約5cm之第三尺寸，並且具有大約1-5×10¹⁷ atoms/cm³之溶解碳濃度、大約2-3×10¹⁷ atoms/cm³

之溶解氧濃度、及 $1-5 \times 10^{15}$ atoms/cm³之溶解碳濃度的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。

依據本發明實施例製成且具有前述雜質濃度之鑄塊水平尺寸的上限僅由鑄造與坩堝製造技術決定，而不是由本發明之方法本身決定。如此，依據本發明，一連續幾何型多晶矽體可以成功地成長至大約66cm×66cm之橫截面，且一連續幾何型多晶矽之矩形固體可至少具有33,750cm³之體積。此外，依據本發明，可形成一具有至少兩各與一鑄造容器內部尺寸一樣大之尺寸的幾何型多晶矽固體，且以鑄態幾何型多晶矽固體為佳。例如，如果該幾何型多晶矽是一立方體形或一矩形固體，則前述這些尺寸係指這些矽體之長度、寬度與高度。

依據本發明之實施例，鑄造過程中所使用之晶種可具有任何所需尺寸與形狀，且係具有適當幾何形狀之單晶矽塊，或依幾何形狀規則排列之多晶矽，如正方形、矩形、六邊形、菱形或八邊形之矽塊。它們可成形為便於鋪排，因此它們可以邊對邊地放置或“鋪排”並以一預定圖案配合一坩堝之底部。此外，依據本發明之實施例，多數晶種可放置在該坩堝包括所有之一或多側上。藉由將一如單晶矽之晶坯等結晶矽源鋸切成多數具有所需形狀之塊狀，可以獲得這些晶種。這些晶種亦可以藉由將它們由一利用本發明實施例方法製成之連續單晶或連續幾何型多晶矽之樣品切割出來而形成，使隨後之鑄造製程中所使用之晶種可由一初始鑄造製程製成。為了進行單晶鑄造，最好使儘可能

少之晶種覆蓋該坩堝底部，以避免出現缺陷。如此，該矽或該等矽可以具有其中放置該矽或該等矽以進行本發明之鑄造方法之坩堝或其他容器之底部等之一或多側的尺寸與形狀，或大致之尺寸與形狀。

- 5 以下將說明本發明實施例之用以製備矽的方法及裝置。但是，在此應了解的是這些不是形成與本發明原理相符之矽的唯一方式。

請參閱第1圖，晶種100放置在一如石英坩堝等具有底部與壁部之坩堝底面處，使它們朝相同方位緊密抵接且形
10 成一大而連續定向之板片120，或者，它們以一預設錯向緊密抵接，以在所產生之所得矽中產生具有刻意選擇之晶粒尺寸的特定晶界。即，為鑄造幾何型多晶矽，所得之結晶化幾何型多晶矽的橫截面晶粒尺寸及，較佳地，橫截面形狀，將等於或將大約為該等晶種之尺寸與橫截面形狀，並
15 且該晶粒之高度可以與垂直於該橫截面之矽尺寸一樣長。如果使用一幾何型多晶矽種晶，例如，一由利用切割或其他方式而由一幾何型多晶矽鑄塊或其他方式所獲得之幾何型多晶矽板片作為一或多數用以鑄造幾何型多晶矽之種晶，則所得之結晶化幾何型多晶矽的橫截面晶粒尺寸及，
20 較佳地，橫截面形狀，將大致等於在該或該等幾何型多晶晶種中之晶粒。如此，由利用切割或其他方式而由一幾何型多晶矽鑄塊所獲得之幾何型多晶矽板片可以作為一後來鑄造幾何型多晶矽所使用之樣板。較佳地，多數晶種100係鋪排且放置成可實質地覆蓋坩堝110之整個底部。又，較佳

地，該坩堝110具有一如由氧化矽、氮化矽或一液體膠囊等製成之脫離塗層，以便將結晶化之矽由坩堝110取出。此外，該等晶種可包含具有所需晶體方位之單晶矽，且厚度為大約3mm至大約100mm的一板片或多數板片。雖然在第1
5 圖中顯示的是一特定數目與尺寸之晶種100，但是發明所屬技術領域中具有通常知識者可輕易了解該等晶種之數目與尺寸可以依據應用而增加或減少。

請參閱第2圖，晶種100亦可放置在該坩堝110之一或多個側壁130、140上。晶種100可以放置在坩堝110之所有四
10 個壁上，但為了方便說明，僅在側壁130、140上顯示晶種100。較佳地，放置在該坩堝110四壁之任一壁上的晶種100呈柱狀，以便進行晶體成長。較佳地，放置在該坩堝110四壁之任一壁上之各柱狀晶種將具有與放置在它正下方且在坩堝110底部上之晶種相同的晶粒方位。當幾何型多晶矽成
15 長時，依此方式放置該柱狀晶種將有助於該等幾何型矽晶粒成長到與該坩堝110之高度一般大。

仍請參閱第2圖，這種晶種100結構之優點是一用以鑄造具有更高結晶性與更高成長速度之更快、更簡單、自進行的方法。例如，可在一由矽“杯”中熔化矽，且該矽“杯”
20 由許多堆疊在一起以在坩堝110內側形成一如底部與四壁之凹穴的晶種。或者，可將熔融矽倒入一矽“杯”中，且該矽“杯”由許多堆疊在一起以在坩堝110內側形成一如底部與四壁之凹穴的晶種。在另一例中，先使該收納“杯”上升至矽之熔化溫度，且保持在固體狀態，接著將該熔融矽倒

入且使之達到熱平衡。然後，在前述任一例中，將該坩堝110冷卻，藉此，利用例如一使熱輻射至大氣且熱仍可施加至坩堝110開口頂部之固體散熱材料(圖未示)，由坩堝110底部與側部散熱。依此方式，所得之矽鑄塊可以是單結晶或幾何型多晶(依所使用之晶種100與其方位而定)，且該結晶化進行之速度大於已知多晶鑄造製程。為了重覆這製程，利用已知方法移除該結晶化矽塊之側邊與底部的一部份。較佳地，多數如晶種100之種晶係排列成使在晶種100間之共同極方向垂直於坩堝110之底部與一側部的各部，以在坩堝110之底部與一側部之間不形成晶界。

第3A-3C圖顯示用以在坩堝110中鑄造幾何型多晶矽之鋪排列。晶粒工程可以藉由小心之晶種產生、定向、放置與晶體成長來達成。例如，第3A與3B圖顯示其上顯示不同(110)方向之兩單晶矽板片155、165。兩板片具有一垂直於其表面之共同(100)方向，接著，切割各單晶矽板片155、165，以形成許多成為晶種之矽塊150、160。表面種類可以由於紋理的緣故而是均一的，或者依需要選擇。晶粒之形狀與尺寸可以依據由單晶矽板片155與165之鋪片的切割來選擇，如第3B圖所示。在矽塊150、160之相鄰鋪片間的相對方位角度決定在所得鑄態幾何型多晶矽中之晶界種類(如，高角度、低角度或兩者)。例如，在第3A圖中顯示(100)極方向之兩晶粒方位。

第3C圖所示之晶種包含多數與其相鄰鋪片具有特定方位關係之鋪排單晶矽塊150、160，且該等矽塊150、160係

鋪排在坩堝110之底部，如第3C圖所示，使兩(110)方向交錯，如在矽塊150、160上畫出之箭號所示。在此應注意矽塊150、160畫成大致正方形塊僅是為了說明及下述之原因，且可以是其他形狀。

5 雖然未顯示在第3C圖中，晶種亦可位在坩堝之側邊，如第2圖所示。接著，可將矽進料(圖未示)導入坩堝110而位在矽塊150、160上方並且使之熔化。或者，可將熔融矽倒入坩堝110中。在另一例中，先使坩堝110之溫度非常靠近或上升至矽之熔化溫度，並接著倒入該熔融矽。依據本發明之實施例，該等晶種之薄層可以在固化開始前熔化。

10 接著，在前述任一例中，將該坩堝110冷卻，藉此，利用例如一使熱輻射至大氣且熱仍可施加至坩堝110開口頂部之固體散熱材料，由該坩堝110底部(且如果晶種亦鋪排在側面則亦由側部)散熱。如此，當該晶種保持一固體狀態時，加入熔化之矽，且該熔化物之方向性固化使柱狀晶粒

15 向上成長。依此方式，所得之幾何型多晶矽鑄塊將模擬鋪排矽晶種150、160之晶粒方位。一旦適當地實施這方法後，可將所得之鑄塊切成水平板片，以作為其他鑄造製程用之晶種層。該板片可以具有一坩堝或其他用於鑄造之容器之

20 表面，如底面的尺寸與形狀或大致之尺寸與形狀。例如，只有一這種板片可用於進行鑄造製程。

第4圖顯示第3C圖中所示之鋪排的變化例，其中鑄態幾何型多晶矽之晶粒方位之一例係將晶種塊150、160以一垂直於坩堝110底部之共同極方向(001)鋪排。在第4圖中，該

(110)方向族之所有變化呈現在矽塊150、160之鋪排中，如方向箭號所示。雖然未在這特定圖中顯示，但是晶種亦可以在坩堝110之一或多側上。

如此，在一用以形成矽之種晶方位可選定為使特定晶
5 界形成在鑄態幾何型多晶矽中，且其中前述晶界包圍幾何形狀。相對於本發明之實施例，習知鑄造方法包括以一不受控制之方式藉由方向性固化而由一塊完全熔化之矽來鑄造該等多晶晶粒。所得之晶粒基本上具有任意之方位與尺寸分布，且該任意晶粒方位難以有效使該矽表面形成紋
10 理。此外，在典型成長方法之天然產品、晶界中之扭折會集結有關錯位之團或線之結構缺陷。這些錯位及它們會吸引之雜質會造成電載子之迅速重組與作為光電材料之效能下降。因此，依據本發明之實施例，可達成小心計畫與種
15 入一規則晶界網路以鑄造單晶或幾何型多晶矽之目的，使晶粒之尺寸、形狀與方位清楚地被選擇成可使少數載子壽命達到最長且消除最多雜質，並且使結構缺陷減至最少者。

晶界可以選定為呈平坦之平面，以減少錯位成核並在成長時維持其垂直方向者。該晶界種類係選定為可使消除雜質與消除應力之效果達到最大者，且該等晶粒方位(特別
20 是表面方位)係選定成可形成紋路、改善表面鈍化且增加晶粒強度者。該等晶粒之尺寸係選定為可在有效減少距離與大吸收面積之間得到最適當平衡者，例如，可實質幾何型多晶矽之鑄造，使該幾何型多晶矽具有至少大約0.5cm至大約10cm之平均最小晶粒橫截面，且共同極方向垂直於該鑄

態幾何型多晶矽之表面，如第3C與4圖所示。如前所述，可了解該橫截面係垂直於該晶粒高度或長度之晶粒橫截面最長尺寸。該平均晶粒橫截面可為大約0.5cm至大約70cm，或70cm以上。最後的結果是可增加所得之光電材料之整體效率。

依據本發明之實施例，多數單晶矽種晶之幾何型結構可以放置在一坩堝之至少一表面上，例如一坩堝之底面上，其中該幾何型結構包括緊密堆積之多邊形。或者，多數單晶矽種晶之幾何型結構可放置成使該幾何型結構包括緊密堆積六邊形，或具有菱形或三角形格隙之多邊形，如第5與6圖所示。在另一替代例中，未使用多數單晶種晶，可使用由一在先前依幾何形狀規則排列多晶矽鑄造中產生之鑄塊以切割或其他方式獲得之矽區段或板作為用以鑄造本發明依幾何形狀規則排列多晶矽之單一種晶。這種單一種晶可以具有與坩堝或用於進行鑄造之其他容器之表面相同的尺寸與形狀，或大致相同之尺寸與形狀。第5圖顯示一緊密堆積六邊形陣列之例子，相對於此，第6圖顯示具有菱形或三角形格隙之多邊形陣列的例子。以下將詳細說明這兩種陣列，且前述任一種結構亦可應用於用以鑄造一固態單晶矽體或一固態多晶矽體之實施例，其中該種晶係放置在一坩堝之底面與側面兩者上。

依據本發明之實施例，藉由鑄造一幾何型多晶矽體所製得之矽晶粒可以一管柱方式成長。此外，這些晶粒可具有相同或接近於由其形成之晶種的形狀。當製造具有這種

特定晶界之矽時，最好該晶界接面僅具有在一角落處會合之三個晶界。如第5圖所示，種晶之六邊形結構170對於晶種之鋪排是必要的，其中該晶體方位使在水平面中之原子具有三重或六重對稱性，例如矽之(111)。如此，第5圖顯示一用於排列在一如第1與2圖所示之適當坩堝底部中之六邊形組合一部份的平面圖，且其中之箭號顯示在該等晶種中之矽晶體(110)方向的位向。

或者，對具有四重對稱性之方位而言，該等晶種之不同幾何型結構可用以來在多數晶粒之間保持穩定、對稱之晶界，且仍符合三晶界角落規則。例如，如果 θ 是在(110)方向與一具有一(100)極之八邊形主要側邊間的方位誤差，且 α 是一格隙菱形之頂角，如第6圖所示，則當 $\alpha=90^\circ-\theta$ 時，所有晶粒將具有相對於該(110)方向為對稱之晶界。在這例子中，所有晶粒具有垂直於第6圖所示之紙面的(100)極方向。如此，第6圖是一用以排列在一如第1與2圖所示之適當坩堝底部中之八邊形晶種以及菱形晶種180、190之組合一部份的平面圖，且其中箭號顯示在該等晶種中之矽晶體之(110)方向的方位。

第7圖是顯示本發明製備矽之例的流程圖，且依據第7圖，方法700開始時可先選擇用於單晶矽或幾何型多晶矽成長之單晶矽種晶，並將單晶矽種晶排列在一坩堝中(步驟705)。或者，一藉由切割或其他方式而由一單晶矽或依幾何形狀規則排列多晶矽之鑄塊所獲得的單一板片可作為一單一種晶使用。接著，可將矽進料加入該坩堝中(步驟710)。

然後，由頂部加熱該坩堝並由底部被動地冷卻該坩堝之底部(被動地或主動地，見步驟715)。在熔化時，監測該矽之熔化階段，以追蹤且控制該固-液界面之位置(步驟720)。繼續進行該矽之熔化階段，直到該單晶矽種晶之一部份熔化為止(步驟725)。一旦該單晶矽種晶之所需部份熔化後，結束該熔化階段並開始晶體成長階段(步驟730)。在該坩堝內讓晶體單向與垂直地繼續進行成長，直到矽結晶化完成為止(步驟735)。如果排列晶種以進行幾何型多晶矽成長，則該結晶化步驟735將產生一具有柱狀晶粒之幾何型多晶矽鑄塊(步驟740)。或者，如果排列晶種以進行單晶矽成長，則該結晶化步驟735將產生一單晶矽鑄塊(步驟745)。最好，取出在步驟740或745任一者中產生之鑄塊，以進行後續處理(步驟750)。

如第8A圖所示，矽進料200可以例如兩種方式中之其中一種加入含有晶種220之坩堝210中。首先，適當地以呈方便尺寸塊體形態之固體矽進料200完全裝滿坩堝210，再將該裝滿之坩堝210放在一鑄造站(圖未示)中。

如第8B圖所示，在坩堝210中之溫度分布係設定成使可加熱在坩堝210中之矽進料頂部而使其熔化，且可主動地或被動地冷卻底部以在坩堝210底部保持固態之晶種220，即，使它們不會在矽進料200熔化時浮起。一固態散熱材料230與坩堝210之底部接觸，以散熱至水冷壁。例如，散熱材料230可以是一塊固體石墨，且可較佳地具有等於或大於該坩堝底部之尺寸。依據本發明，例如，當使用具有底面

為 66cm×66cm 之坩堝時，該散熱材料可為 66cm×66cm×20cm。較佳地，坩堝210之側壁無論如何均不會被冷卻，只要使晶種220僅位在坩堝210底部上即可。如果晶種220位在坩堝210底部與側壁兩者上，則散熱材料230
5 將會放置在坩堝210底部與側壁兩者上以保持所需之熱分布。

矽進料200之熔化狀態受到密切地監測，以追蹤在熔化矽與該等晶種間之界面位置。較佳地，熔化物240(顯示在第8B圖中)繼續產生直到除了晶種220以外之所有矽進料
10 200完全熔化為止，然後，晶種220將部份地熔化。例如，藉由維持在該坩堝中另一處到達矽之熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，可以密切地控制加熱，使該等晶種220不會完全熔化。較佳地，藉由維持在該坩堝中另一處到達矽之熔化溫度後，在該坩堝
15 外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，可以密切地控制加熱。例如，依據本發明，該 ΔT 可在該坩堝之外表面上於該坩堝與一大塊石墨之間測得，且一深度標尺可插入熔化物240中以測量該熔化物之深度，並計算已熔化之晶種220的部份。

20 如第8C圖所示，部份250顯示晶種220總厚度之熔化部份。在晶種220之一部份250在熔化物240下方熔化後，該熔化階段將迅速地結束且開始晶體成長階段，其中在坩堝210頂部之加熱減少及/或在散熱材料230底部之冷卻增加。這過程之一例係顯示於第8D圖之圖表，且其中晶種220之一部

份250的熔化為時間的函數。如第8D圖所示，該等晶種具有在5與6cm之間之初始厚度的一部份逐漸熔化，直到留下正好2cm以下之固態晶種為止。例如，藉由維持在該坩堝中另一處到達矽之熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量(例如透過一安裝在該冷卻裝置中之熱電偶)時之 ΔT 大約等於或小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，可以密切地控制加熱，使該等晶種220不會完全熔化。較佳地，藉由維持在該坩堝中另一處到達矽之熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，可以密切地控制加熱。此時，該熔化階段將迅速地結束且開始晶體成長階段，而這種情形係以在該圖表之縱座標上測之固態厚度之大幅上升來表示。

接著，如第8E圖所示，在坩堝210內，晶種繼續單向地且垂直地進行晶體成長，直到矽結晶化完成為止。當在該坩堝210內之頂至底溫度梯度整平時，該鑄造循環結束。然後，整個鑄塊260將緩慢地冷卻至室溫。為了鑄造幾何型多晶矽，如第8E圖所示，這晶種單向成長產生柱狀晶粒270，且該等晶粒270具有與在它形成於其上之各個晶種220形狀大致相同的水平橫截面。依此方式，可以預先選擇該鑄態多晶矽之晶界。又，任何前述之晶種圖案/鋪排方式均可應用於這鑄造方法中。

或者，為了鑄造單晶矽，晶種220可排列成完全沒有晶界，以產生鑄態單晶矽。如第8F圖所示，部份250顯示晶種220在該熔化物240下方之總厚度的熔化部份。在晶種220之部份250於熔化物240下方熔化後，該熔化階段將迅速地結

- 束且開始晶體成長階段，其中在坩堝210頂部之加熱減少及/或在散熱材料230底部之冷卻增加。接著，如第8G圖所示，在坩堝210內，晶種繼續單向地且垂直地進行晶體成長，直到矽結晶化完成為止。一以實質平坦較佳之固-液界面285
- 5 繼續向上且遠離該坩堝210之底面擴展，且當在該坩堝210內之頂至底溫度梯度整平時，該鑄造循環結束。然後，整個鑄塊280將緩慢地冷卻至室溫。為了鑄造幾何型多晶矽，如第8G圖所示，這晶種單向成長產生一連續鑄態單晶矽固體290。
- 10 在另一方法中，如第9圖所示，可以先在一分開室或分開熔化容器300中熔化矽進料200。晶種220可以在熔融進料305經由熔化管310送入或倒入坩堝210之前，由頂部部分地或非部份地熔化，然後如參照第8B-8G圖所述般地進行冷卻與成長。在另一實施例中，矽種晶可以安裝在坩堝210之壁
- 15 (圖未示)上且可如前所述地由坩堝210之側邊與底部進行晶體成長。或者，矽進料200可在一與坩堝210分開之熔化容器300中熔化，且此時將坩堝210加熱至矽之熔化溫度，並且控制該加熱，使晶種220不會完全熔化。在矽進料200部份熔化時，熔融進料305可以由熔化容器300轉移至坩堝210
- 20 中，且可開始冷卻與結晶化。如此，依據本發明之實施例，該固態結晶矽體之一部份可包括晶種220。或者，該等晶種可在熔化物加入之前保持完全固態。此時，在熔化容器300中之熔融矽被加熱到超過該熔化溫度，且當加入過熱液體時，該過熱液體可熔化某些晶種之一部份。

在一如第9圖所示之兩階段鑄造站中，熔融進料305將由熔化容器300向下倒入並落在晶種220上，且在固化時呈現它們的結晶性。或者，熔化可在一中央熔化容器300中發生，且該中央熔化容器300對如一或多份坩堝210(圖未示)之一組分散固化坩堝結構進行供料。依據本發明之實施例，該等固化坩堝可以在該等坩堝之側邊與底部內襯晶種220。這方法之某些優點包括：分開熔化與固化系統，使各鑄造步驟更適當化；半連續地熔化矽，其中熔化新材料可依需要以一規律之方式發生，以維持坩堝供應；當由中間之熔化物對該等固化站進行供料時，矽會在頂部結渣(且可進行底部之排出)，使初始矽材料之純度增加；及使熔化容器300可與熔融進料305達成平衡且不再成為明顯之雜質來源。

如此，在一鑄塊260或280已利用其中一前述方法鑄成後，所得之鑄塊可以再利用切除該鑄塊之底部或另一部份再加工，且在一後來之鑄造工作中使用它作為一單一晶種，以形成本發明之一單晶矽體、或幾何型多晶矽，並且其中這單一晶種的尺寸與形狀與在後來之鑄造工作中使用之坩堝底部尺寸與形狀相同，而該鑄塊之其餘部份可切成磚與晶圓以加工成光電電池。或者，整個鑄塊可以切成水平板片，以在多數鑄造站中作為種晶使用，以進行多數以後之鑄造工作。

在本發明實施例之方法中使用的矽進料可含有一或多個如選自於包括：硼、鋁、鋰、鎳、磷、銻、砷及鉍之摻

雜劑。這些摻雜劑之總量可以大約是0.01份每百萬原子% (ppma)至大約2ppma。較佳地，在該矽中之摻雜劑量係一可使由該矽製成之晶圓具有大約0.1至大約50ohm-cm，且以大約0.5至大約5.0ohm-cm較佳之電阻的量。

- 5 如此，依據本發明，該矽可以是最好鑄態連續單晶矽體或鑄態連續幾何型多晶矽體，且大致沒有或沒有如OSF及/或旋渦缺陷等徑向分布缺陷。該矽體之至少兩尺寸宜至少大約為10cm，且至少大約20cm為佳，並且至少30cm更佳，而又以至少40cm更佳，並以至少50cm更佳，且以至少
- 10 60cm尤佳，更以至少大約70cm最佳。最佳地，這矽體之第三尺寸至少大約5cm，且以至少大約15cm為佳，並且以至少大約20cm最佳。較佳地，該矽體可具有至少兩各與一鑄造容器內部尺寸一樣大之尺寸。如在此所說明者，本發明可用以利用一簡單且低成本之鑄造方法製造大單晶矽體或
- 15 幾何型多晶矽體。

以下是本發明實施例之實驗例，且這些例子只是用以舉例與說明本發明之實施例，並且無論如何均不應被視為會限制本發明之範疇。

例1

- 20 晶種製備：使用一塗覆有帶鋸之鑽石，沿其長向切割一由MEMC公司所取得且具有0.3ppma之硼的純柴式(CZ)矽(單晶)晶坯，使它具有每側14cm測量值之正方形橫截面。接著，使用相同之鋸通過其橫截面切割所得之單晶矽塊成多數具有厚度大約為2cm至大約3cm之板片，且這些板

片係作為單晶矽種晶或“晶種”。保持該矽晶坯之(100)結晶極方位，且將所得之單一晶體矽板片配置在一石英坩堝底部，使該板片之(100)方向面向上，並且該(110)方向保持與該坩堝之一側平行。該石英坩堝具有一側為68cm之正方形橫截面、大約40cm之深度、及大約1.8cm之壁厚度。該等板片配置在該坩堝底部且它們的長尺寸平行於該坩堝底部，而它們的側邊互相接觸以在該坩堝底部上形成一單一且完整之板片層。

鑄造：接著，於室溫下在該坩堝中裝入總質量為265kg之固體矽進料，再將已裝填之坩堝置入一用以鑄造多晶矽之現場熔化/方向固化鑄造站。該熔化製程係利用將電阻加熱器加熱至大約1550°C來進行，且該等加熱器係構成為可由頂部加熱且熱可藉由開啟絕緣體總共6cm而輻射出該底部。這結構可使熔化在一由頂部向下之方向上朝該坩堝底部進行，且透過底部之被動冷卻使該等種晶可在熔化溫度下保持固態，並可藉由一熱電偶加以監測。熔化之程度係利用一每10分鐘便下降至該熔化物中的石英深度標尺來測量，且比較該深度標尺高度與一在該站中之空坩堝所取得之測量值，以決定剩餘固體材料之高度。藉由深度標尺測量，該進料先熔化，接著熔化狀態持續至僅留下大約1.5cm高度之種晶。此時，藉由將絕緣體開啟至12cm，加熱功率下降至一1500°C之溫度設定值，且由底部之輻射增加。在固化開始之前，深度標尺測量觀察到種晶會再多熔化一或兩毫米。接著，晶種之單一晶體繼續成長直到固化步驟結

束為止。該成長階段與剩餘之鑄造循環係以其中頂至底部溫度梯度整平之一般參數來進行，且接著讓整個鑄塊緩慢地冷卻至室溫。該鑄態矽產物是一66cm×66cm×20cm之鑄塊，且其具有50cm×50cm之橫截面的中央部份由頂至底部是單晶矽。該單晶矽結構可由目視檢查該鑄塊表面而看出，此外，以一可描繪出晶界之鹼性配方蝕刻該矽可進一步證實該材料中沒有晶界。該整體摻雜平均值是1.2ohm-cm，且由這矽製成之光電電池具有16.0%之電效率。

在依據這例子所進行之其他鑄造操作中，可觀察到該鑄態矽產物係含有其他晶體位向之較小矽晶體之連續一致矽晶體，或者是一具有多數相鄰多晶矽區域之單晶矽體。

例2

晶種製備：晶種係如例1中一般地完成，但是該單晶矽晶種被切割成使一半晶種之(110)方向係位在相對該等正方形晶種側邊呈45度處，而另一半晶種具有大約20度之角度。該等正方形塊係以兩不同晶種方位交錯之棋盤方式層狀地排列在該坩堝底部，即，相對該等坩堝側邊之方位，該(110)方向具有45度角與20度角，而該等晶種互相相對地具有25度或155度之錯向。但是，由於該等正方形晶種尺寸並不一致，所以在該晶種層中的某些間隙並未受到覆蓋。該坩堝在各正方形側上之測量值大約為33cm，且高度測量值大約為22cm。

鑄造：將有該等晶種之坩堝與另一總共含有56kg進料矽塊之坩堝放入一普遍存在鑄造法(UCP)兩階段鑄造站

中，接著將收納坩堝(該等晶種在其內)加熱至矽之熔點，但並未給予可完全熔化之能量。在另一坩堝中之矽則利用電阻石墨加熱器以至少超過矽熔化溫度 50°C 以上之溫度加以熔化，且接著倒入該收納坩堝中。此時，隨即開始固化，

5 且熱由該收納坩堝底部抽出，以進行單向固化與種晶成長。由於該等晶種構成之已固化材料的質量，標準之成長循環會縮短。依此方式，並非在冷卻製程開始前提供讓所有 66kg (10kg 之晶種與 56kg 之進料矽)固化之時間，而是僅為 56kg 熔融矽提供時間，以避免浪費加熱能量。這方法之產

10 物是一具有大且大致柱狀晶粒之矽塊，且具有形狀與尺寸接近它們形成於其上之初始種晶之頂面尺寸的正方形橫截面。當成長進行時，橫向晶界位置有時會偏移。

例3

晶種製備：種晶係以用以內襯一坩堝底部之 23kg 乘

15 方、 (100) 之板完成，且該等板提供一 $63\text{cm}\times 63\text{cm}$ 之覆蓋面積及一由中心 3cm 至側邊 1.8cm 的厚度，且所有的板係配置成其 (110) 方向與該坩堝之壁呈 45° 。

鑄造：以另一總共 242kg 之進料矽塊填充含有該等晶種之坩堝，產生一本質矽、由先前鑄塊回收之矽、及具有一p

20 型電阻大於 9ohm-cm 之雙鑄態矽的混合物。接著將在該坩堝中之矽進料送入一階段方向固化爐中，且將該坩堝(該等矽於其內)加熱至 1550°C ，並藉由開啟絕緣體至 12cm 來冷卻底部。該固-液界面在熔化時仍保持大致平坦，因此在熔化結束時，沒有任何部份之晶種會完全熔穿。該矽之厚度係

利用一石英深度標尺監測，且當測得一中心厚度為2.5cm時，該熔化階段停止，且加熱溫度下降至1440°C並且絕緣體高度增加至15cm。由熔化相改變開始，在該坩堝中另一處到達矽之熔化溫度後於該坩堝外表面上測得之溫度增加之速度便保持在或低於0.1°C/min。接著，繼續進行剩餘之固化製程，且對加熱器保持大致固定之功率直到觀察到結晶成長結束為止。在成長結束後，使該結晶矽鑄塊之溫度梯度達到整平狀態並接著均勻地下降至室溫。在由該坩堝中取出該鑄塊後，將該鑄塊底部切下一大塊以便在另一後續鑄造程序中再利用作為一晶種，且該鑄塊之剩餘部份則切成多數12.5cm乘方之磚以進一步加工。該製程成功地使單結晶實質在整個矽層橫截面上成長，且一直進行至該鑄塊頂部。又，藉由檢視該切割矽可看出單結晶性。

在依據這例子進行之其他鑄造工作中，可發現該鑄態矽產物係含有其他晶體位向之較小矽晶體之連續一致矽晶體，或者是一具有多數相鄰多晶矽區域之單晶矽體。

由本發明實施例之矽製成的晶圓具有適當薄度且可使用在光電電池中，此外，該等晶圓可以是n型或p型者。例如，晶圓可以具有大約10微米之厚度至大約700微米之厚度。另外，在光電電池中使用之晶圓最好具有大於該晶圓厚度(t)之擴散長度(L_p)。例如， L_p 對t之適當比例至少為0.5。例如，它可以至少為大約1.1或至少為大約2。該擴散長度是少數載體(如在p型材料中之電子)在與大多數載體(在p型材料中之電洞)再組合之前可擴散之平均距離，且該 L_p 與少

數載體壽命 τ 有關而其關係為 $L_p=(D\tau)^{1/2}$ ，其中D是擴散常數。該擴散長度可以利用多種方法測量，例如光子束感應電流 (Photon-Beam-Induced Current) 法或表面光電壓 (Surface Photovoltage) 法等。例如，如何可測量擴散長度的說明請參見A. Fahrenbruch與R. Bube之Achademic Press, 1983, pp. 90-102, “Fundamentals of Solar Cells”。

該等晶圓可具有大約100毫米至大約600毫米之寬度，且較佳地，該等晶圓具有至少一至少為大約50mm之尺寸。由本發明之矽製成之晶圓及因此由本發明製成之光電電池可具有，例如，大約50至3600平方公分之表面積。該晶圓之前面最好具有紋路，例如，該晶圓可利用化學蝕刻、電漿蝕刻、或雷射或機械刻劃形成紋路。如果使用一具有(100)極方位之晶圓，可利用在一如氫氧化鈉之鹼性水溶液中，於如大約70°C至大約90°C之高溫下處理該晶圓，以蝕刻該晶圓形成一具各向異性紋路之表面。該水溶液可含有如異丙醇等醇類。

如此，太陽能電池可以使用由本發明實施例之鑄態矽塊產生之晶圓來製備，其方法包含：切割該鑄態矽固體以形成至少一晶圓；在該晶圓表面上選擇性地進行一清潔程序；在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；藉由，例如，摻雜該表面而形成一p-n接面；在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；藉由，例如，一鋁燒結步驟而選擇性地形成選自一背面場與一鈍化層之至少一層；及在該晶圓上形成導電接頭。一鈍化層是一與一裸晶圓表面具有界面之

層，且該界面束縛住表面原子之懸鍵。在矽上之鈍化層的例子包括氮化矽、二氧化矽與非晶質矽。該層通常薄於1微米，可以是透光的或者作為一反射層。

5 在一利用如一p型矽晶圓之用以製備一光電電池的典型與一般方法中，該晶圓之一側露於一適當n摻雜劑，以在該晶圓之前面或光接收側形成一射極層與p-n接面。通常，藉由利用如化學或物理沈積等一般使用之方法先將n摻雜劑沈積在該p型晶圓前面，且在此沈積後，將如磷等摻雜劑驅入該矽晶圓之前面以使該n摻雜劑再擴散進入該晶圓表面，可形成該n型層或射極層。這“驅入”步驟通常是利用使該晶圓暴露於高溫下來達成，因此，一p-n接面會形成在該n型層與該p型矽晶圓基材間的邊界區域處。在磷或其他摻雜劑形成該射極層之前，該晶圓表面可形成紋路。為了再改善光吸收性，可選擇性地在該晶圓前面塗布一如氮化矽等抗反射塗層，有時提供同時形成表面及/或整體鈍化。

10

15

為了使用因使該p-n接面暴露於光能而產生之電位，該光電電池通常在該晶圓前面設有一導電前電接頭且在該晶圓背面設有一導電後電接頭，但是兩接頭可均位在該晶圓背面。這些接頭通常是由一或多個高導電性金屬製成，且因此通常是透明的。

20

如此，依據前述實施例製成之太陽能電池可包含：一由沒有或實質上沒有徑向分布缺陷之連續單晶矽體形成之晶圓，且該矽體可為如前所述者並且具有例如，至少兩各至少大約為25cm之尺寸及一至少大約為20cm之第三尺

寸；一在該晶圓中之p-n接面；一在該晶圓表面上的選擇性抗反射塗層；最好具有選自於一背面場與一鈍化層之至少一層；及在該晶圓上之導電接頭，其中該矽體可以沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有OSF缺陷。

- 5 同時，依據前述實施例製成之太陽能電池亦可包含：
一由一連續幾何型多晶矽體形成之晶圓，且該矽體具有一預定晶粒方位結構，並且一共同極方向垂直於該矽體之表面，且該矽體最好具有至少兩各至少大約為10cm之尺寸；
一在該晶圓中之p-n接面；一在該晶圓表面上的選擇性抗反
10 射塗層；最好具有選自於一背面場與一鈍化層之至少一層；及在該晶圓上之導電接頭，其中該幾何型多晶矽包括具有大約0.5cm至大約30cm之平均晶粒橫截面之矽晶粒，且其中該矽體可以沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有OSF缺陷。

- 15 發明所屬技術領域中具有通常知識者可知在不偏離本發明範疇與精神之情形下可對所揭露之結構與方法進行各種修改與變化，例如，有關於形成單晶矽之所揭露製程與方法亦可應用於形成近似單晶矽、幾何型多晶矽、或其組合。此外，雖然已在此說明了矽之鑄造，但是在不偏離本
20 發明範疇與精神之情形下鑄造其他半導體材料與非金屬結晶材料。例如，本發明人已可依據本發明實施例鑄造其他材料，例如砷化鎵、鍺化矽、氧化鋁、氮化鎵、氧化鋅、硫化鋅、砷化鎵銻、銻化銻、鍺、鈮銻氧化物、銻氧化物、鎂氧化物、及其他半導體、氧化物、及具有液相之金屬互

熔化合物。藉由考慮在此揭露之本發明說明書與實施，發明所屬技術領域中具有通常知識者可了解本發明之其他實施例。本說明書與例子應僅被為舉例，而本發明之真正範疇與精神係由以下申請專利範圍顯示。

5 【圖式簡單說明】

第1圖顯示本發明實施例之在一坩堝底面上的一矽晶種結構例；

第2圖顯示本發明實施例之在一坩堝底面上的另一矽晶種結構例；

10 第3A-3C圖顯示本發明實施例之用以在一坩堝中鑄造依幾何形狀規則排列多晶矽之鋪排(tiling)例；

第4圖顯示本發明實施例之用以在一坩堝中鑄造依幾何形狀規則排列多晶矽之另一鋪排例；

第5圖顯示本發明實施例之緊密堆疊鹵晶種鋪片陣列；

15 第6圖顯示本發明實施例之具有斜方形或三角形格隙之多邊形形狀的陣列例；

第7圖顯示本發明實施例之方法例；及

第8A-8G與9圖顯示本發明實施例之單晶矽或依幾何形狀規則排列多晶矽之鑄造製程例。

20

【主要元件符號說明】

100...晶種	250...晶種之一部份
110...坩堝	260...鑄塊
120...板片	270...晶粒
130,140...側壁	280...鑄塊
150,160...矽塊	285...固-液界面
155,165...單晶矽板片	290...連續鑄態單晶矽固體
170...六邊形	300...熔化容器
180,190...菱形或三角形格隙	305...熔融進料
200...矽進料	310...熔化管
210...坩堝	700...方法
220...晶種	705,710,715,720,725,730,735,740,
230...散熱材料	745,750...步驟
240...熔化物	

十、申請專利範圍：

1. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

將多數單晶矽種晶之幾何型結構放置在一容器中
之至少一表面上，而該容器具有一或多個加熱到至少該
矽之熔化溫度之側壁及至少一用以冷卻之壁；

藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一
個的一所欲部分；

放置熔融矽，使其接觸前述單晶矽種晶之幾何型結
構；及

藉由將該熔融矽冷卻以控制結晶而形成一固態之
依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該幾何型多晶矽體可
選擇性地具有至少兩各至少為大約 10cm 之尺寸，其中
該形成步驟包括在冷卻時控制一位於該熔融矽邊緣處
之固-液界面，使其朝一可增加該熔融矽與該至少一用
以冷卻之壁間之距離的方向移動。

2. 一種用以製備一太陽能電池的方法，包含：

提供一如申請專利範圍第 1 項之鑄態矽體；

由該固態矽體形成至少一晶圓；

在該晶圓之表面上選擇性地進行一清潔程序；

在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；

形成一 p-n 接面；

在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；

選擇性地形成選自於一背面場與一鈍化層之至少
一層；及

在該晶圓上形成導電接頭。

3. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

5 以一預定圖案將多數單晶矽種晶配置在一坩堝之至少兩表面上，且該坩堝具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度的側壁及至少一用以冷卻之壁；

藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一個的一所欲部分；

放置熔融矽，使其接觸前述多數單晶矽種晶；及

10 藉由自該坩堝之至少兩表面開始冷卻該熔融矽以控制結晶而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約 10cm 之尺寸，其中該形成步驟包括在冷卻時控制一位於該熔融矽邊緣處之固-液界面，使該界面朝一可增加該熔融矽與在該坩堝中之單晶矽種晶間之距離的方向
15 移動。

4. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

將多數單晶矽種晶之幾何結構放置在一坩堝之至少一表面上；

20 藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一個的一所欲部分；

放置矽進料，使其接觸在該至少一表面上之前述多數單晶矽種晶；

加熱該矽進料與前述多數單晶矽種晶至矽之熔化溫度；

控制該加熱，使前述多數單晶矽種晶不會完全熔化，且該控制包含維持一當在該坩堝中另一處到達該熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；

5 及一旦前述多數種晶部分地熔化，藉由冷卻該矽而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。

5. 一種用以製備一太陽能電池的方法，包含：

提供一如申請專利範圍第4項之鑄態矽體；

由該固態矽體形成至少一晶圓；

10 在該晶圓之表面上選擇性地進行一清潔程序；

在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；

形成一p-n接面；

在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；

選擇性地形成選自於一背面場與一鈍化層之至少

15 一層；及

在該晶圓上形成導電接頭。

6. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

以一預定圖案將多數單晶矽種晶排列在一坩堝之至少兩表面上；

20 藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一個的一所欲部分；

放置矽進料，使其接觸在前述至少兩表面上之多數單晶矽種晶；

加熱該矽進料與前述多數單晶矽種晶至矽之熔化

溫度；

控制該加熱，使前述多數單晶矽種晶不會完全熔化，且該控制包含維持一當在該坩堝中另一處到達該熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或
5 小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；及

一旦前述多數種晶部分地熔化，藉由冷卻該矽而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。

7. 一種用以製備一太陽能電池的方法，包含：

提供一如申請專利範圍第6項之鑄態矽體；

10 由該固態矽體形成至少一晶圓；

在該晶圓之表面上選擇性地進行一清潔程序；

在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；

形成一p-n接面；

在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；

15 選擇性地形成選自於一背面場與一鈍化層之至少一層；及

在該晶圓上形成導電接頭。

8. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

將至少一幾何型多晶矽種晶放置在一坩堝之至少一表面上，且該坩堝具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度的側壁及至少一用以冷卻之壁；

20 藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一個的一所欲部分；

放置熔融矽，使其接觸前述至少一種晶；及

藉由冷卻該熔融矽以控制結晶而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約 10cm 之尺寸，其中該形成步驟包括在冷卻時控制一位於該熔融矽邊緣處之固-液界面，使其朝一可增加該熔融矽與在該坩堝中之至少一幾何型多晶矽種晶間之距離的方向移動。

5

9. 一種用以製備一太陽能電池的方法，包含：

提供一如申請專利範圍第 8 項之鑄態矽體；

由該固態矽體形成至少一晶圓；

10

在該晶圓之表面上選擇性地進行一清潔程序；

在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；

形成一 p-n 接面；

在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；

選擇性地形成選自於一背面場與一鈍化層之至少

15

一層；及

在該晶圓上形成導電接頭。

10. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

將多數單晶矽種晶之幾何型結構放置在一坩堝之至少一表面上，且前述多數單晶矽種晶係配置成可覆蓋該坩堝之至少一表面之整個或實質上整個面積；

20

藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一個的一所欲部分；

放置熔融矽，使其接觸前述單晶矽種晶之幾何型結構；及

藉由冷卻該熔融矽以控制結晶而形成固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約10cm之尺寸。

11. 一種用以製備一太陽能電池的方法，包含：

5 提供一如申請專利範圍第10項之鑄態矽體；

由該固態矽體形成至少一晶圓；

在該晶圓之表面上選擇性地進行一清潔程序；

在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；

形成一p-n界面；

10 在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；

選擇性地形成選自於一背面場與一鈍化層之至少一層；及

在該晶圓上形成導電接頭。

12. 一種用以製備鑄態矽之方法，包含：

15 放置熔融矽在一容器中，使其接觸至少一依幾何形狀規則排列多晶矽種晶，而該容器具有一或多個加熱到至少該矽之熔化溫度之側壁，且該至少一依幾何形狀規則排列多晶矽種晶配置成可覆蓋該容器表面之整個或實質上整個面積；

20 藉由測量熔化之程度來熔化該多數種晶中至少一個的一所欲部分；及

藉由將該熔融矽冷卻以控制結晶而形成一固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體，且該多晶矽體可選擇性地具有至少兩各至少為大約10cm之尺寸。

13. 一種用以製備一太陽能電池的方法，包含：
- 提供一如申請專利範圍第12項之鑄態矽體；
- 由該固態矽體形成至少一晶圓；
- 在該晶圓之表面上選擇性地進行一清潔程序；
- 5 在該表面上選擇性地進行一形成紋理步驟；
- 形成一p-n接面；
- 在該表面上選擇性地沈積一抗反射塗層；
- 選擇性地形成選自於一背面場與一鈍化層之至少
- 一層；及
- 10 在該晶圓上形成導電接頭。
14. 如申請專利範圍第1、3、4、6、8、10或12項之方法，更包含利用一深度標尺或其他裝置監測熔化之進度。
15. 一種太陽能電池，係依據申請專利範圍第1、3、4、6、8、10或12項之方法製備者。
- 15 16. 如申請專利範圍第1、3、4、6、8、10或12項之方法，其中該冷卻包括利用一散熱材料，以將熱輻射至水冷壁。
17. 如申請專利範圍第1、3、4、6、8、10或12項之方法，更包含形成可沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有氧誘發堆疊錯誤缺陷之矽體。
- 20 18. 如申請專利範圍第1、3、4、6、8、10或12項之方法，更包含形成一具有至少一至少大約為50mm之固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。
19. 如申請專利範圍第2、5、7、9、11或13項之方法，更包

含形成一具有至少一至少為大約 50mm 尺寸之晶圓。

20. 如申請專利範圍第 18 項之方法，更包含形成可沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有氧誘發堆疊錯誤缺陷之固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。
- 5 21. 如申請專利範圍第 19 項之方法，更包含形成可沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有氧誘發堆疊錯誤缺陷之晶圓。
22. 如申請專利範圍第 1、3、4、6、10 或 12 項之方法，更包含形成該固態矽體之一部份以包括前述多數種晶。
- 10 23. 如申請專利範圍第 8 項之方法，更包含形成該固態矽體之一部份以包括前述多數種晶。
24. 如申請專利範圍第 1、3 或 10 項之方法，其中前述放置熔融矽更包括在一與該坩堝分開之熔化容器中熔化矽進料；加熱該坩堝與該矽至矽之熔化溫度；控制該加熱，
- 15 使該在該坩堝中之至少一種晶不會完全熔化；及將該熔融矽由該熔化容器轉移至該坩堝中。
25. 如申請專利範圍第 8 或 12 項之方法，其中前述放置熔融矽更包括在一與該坩堝分開之熔化容器中熔化矽進料；加熱該坩堝與該矽至矽之熔化溫度；控制該加熱，
- 20 使該在該坩堝中之至少一種晶不會完全熔化；及將該熔融矽由該熔化容器轉移至該坩堝中。
26. 如申請專利範圍第 1、3、4、6 或 10 項之方法，更包含配置前述多數種晶，使在該等晶種間之共同極方向垂直於該坩堝底部。

27. 如申請專利範圍第 1、3、4、6、8、10 或 12 項之方法，其中該形成步驟包括具有大約 0.5cm 至大約 50cm 之平均晶粒尺寸的依幾何形狀規則排列多晶矽，使一共同極方向垂直於該依幾何形狀規則排列多晶矽之表面。
- 5 28. 如申請專利範圍第 1、3、4、6、8 或 10 項之方法，更包括利用一由先前依據前述方法鑄造之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體所獲得之種晶來形成另一固態之依幾何形狀規則排列多晶矽體。
- 10 29. 如申請專利範圍第 1、3 或 10 項之方法，其中前述放置熔融矽包括：加熱該坩堝與該矽至矽之熔化溫度；及控制該加熱，以維持一當在該坩堝中另一處到達該熔化溫度後，在該坩堝外表面上測量時之 ΔT 大約等於或小於 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。
- 15 30. 如申請專利範圍第 3 或 6 項之方法，更包含配置前述多數種晶，使在該等晶種間之共同極方向垂直於該坩堝之至少兩表面的其中一表面，使該坩堝之至少兩表面之間沒有形成晶界。
- 20 31. 如申請專利範圍第 3 或 6 項之方法，更包含配置前述多數種晶，使最多三個種晶邊緣在該預定圖案之任一角落接合。
32. 如申請專利範圍第 3 或 6 項之方法，更包含沿該坩堝之至少一表面將該預定圖案配置成一六角或八角位向。
33. 如申請專利範圍第 3 或 6 項之方法，其中前述坩堝之至少兩表面是垂直的。

34. 如申請專利範圍第 1、3、4、6、8、10 或 12 項之方法，更包含利用一深度標尺或其他裝置監測熔化之進度。
35. 如申請專利範圍第 1 或 4 項之方法，其中放置前述多數單晶矽種晶之幾何型結構包含配置該該等矽種晶，以覆蓋該坩堝之一表面的整個或實質上整個面積。
36. 一種連續依幾何形狀規則排列多晶矽體，具有一預定晶粒方位結構，並且該多晶矽體更選擇性地具有至少兩各為至少大約 10cm 之尺寸及一至少大約 5cm 之第三尺寸。
37. 如申請專利範圍第 36 項之多晶矽體，其中該依幾何形狀規則排列多晶矽包括具有大約 0.5cm 至大約 30cm 之平均晶粒橫截面。
38. 如申請專利範圍第 36 項之多晶矽體，其中該多晶矽體沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有氧誘導堆疊缺陷。
39. 一種連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體，具有一預定晶粒方位結構，並且該多晶矽體更選擇性地具有至少兩各為至少大約 10cm 之尺寸。
40. 如申請專利範圍第 39 項之多晶矽體，其中該依幾何形狀規則排列多晶矽包括具有大約 0.5cm 至大約 50cm 之平均晶粒橫截面。
41. 如申請專利範圍第 39 項之多晶矽體，其中該多晶矽體沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有氧誘導堆疊缺陷。
42. 一種連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽晶圓，具有一

預定晶粒方位結構，並且該晶圓更具有至少兩各為至少大約 50mm 之尺寸。

43. 如申請專利範圍第 42 項之晶圓，其中該依晶圓包括具有大約 0.5cm 至大約 50cm 之平均晶粒橫截面。

5 44. 如申請專利範圍第 42 項之晶圓，其中該晶圓沒有或實質上沒有旋渦缺陷且沒有或實質上沒有氧誘導堆疊缺陷。

45. 如申請專利範圍第 36 或 39 項之多晶矽體，其中該等晶粒方位具有垂直於該多晶矽體之一表面的共用極方向。

10 46. 如申請專利範圍第 42 項之多晶矽體，其中該等晶粒方位具有垂直於該晶圓之一表面的共用極方向。

47. 一種太陽能電池，包含來自申請專利範圍第 36 或 39 項之多晶矽體的矽。

48. 一種太陽能電池，包含來自申請專利範圍第 42 項之晶圓的矽。

15 49. 一種太陽能電池，包含：

一晶圓，係由一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體形成，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約 10cm 之尺寸及一至少大約 5cm 之第三尺寸；

一 p-n 接面，係在該晶圓中者；

一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之表面上；

至少一層，係選擇性選自於一背面領域與一鈍化層

者；及

導電接頭，係位在該晶圓上者。

50. 如申請專利範圍第49項之太陽能電池，其中該依幾何形狀規則排列多晶矽包括具有大約0.5cm至大約30cm之平均晶粒橫截面。
51. 如申請專利範圍第49項之太陽能電池，其中該多晶矽體沒有或實質上沒有旋渦缺陷且實質上沒有氧誘導堆疊缺陷。
52. 一種太陽能電池，包含：
- 10 一晶圓，係由一具有預定晶粒方位結構之連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體形成，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸；
- 一p-n接面，係在該晶圓中者；
- 15 一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之表面上；
- 至少一層，係選擇性選自於一背面場與一鈍化層者；及
- 導電接頭，係位在該晶圓上者。
- 20 53. 如申請專利範圍第52項之太陽能電池，其中該依幾何形狀規則排列多晶矽包括具有大約0.5cm至大約30cm之平均晶粒橫截面。
54. 如申請專利範圍第52項之太陽能電池，其中該多晶矽體沒有或實質上沒有旋渦缺陷且實質上沒有氧誘導堆疊

缺陷。

55. 一種太陽能電池，包含：

一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽晶圓，且一共同極方向垂直於該晶圓之一表面，並且該晶圓更具有至少兩各至少為大約 50mm 之尺寸；

一 p-n 接面，係在該晶圓中者；

一可選擇性設置之抗反射塗層，係在該晶圓之表面上；

至少一層，係選擇性選自於一背面場與一鈍化層者；及

導電接頭，係位在該晶圓上者。

56. 如申請專利範圍第 55 項之太陽能電池，其中該依幾何形狀規則排列多晶矽晶圓包括具有大約 0.5cm 至大約 30cm 之平均晶粒橫截面。

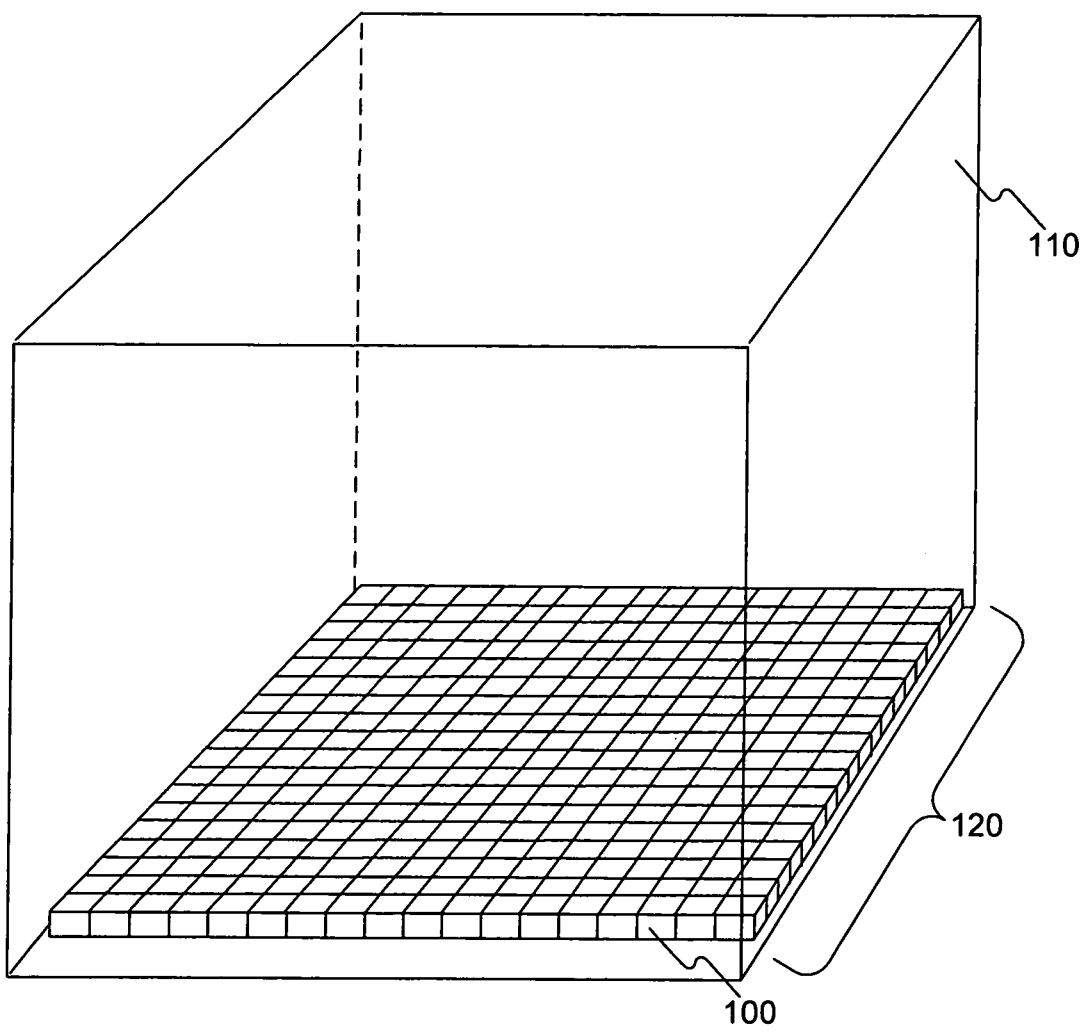
57. 如申請專利範圍第 55 項之太陽能電池，其中該晶圓沒有或實質上沒有旋渦缺陷且實質上沒有氧誘導堆疊缺陷。

58. 一種晶圓，包含一由具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體形成之矽，且一共同極方向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約 10cm 之尺寸及一至少大約 5cm 之第三尺寸。

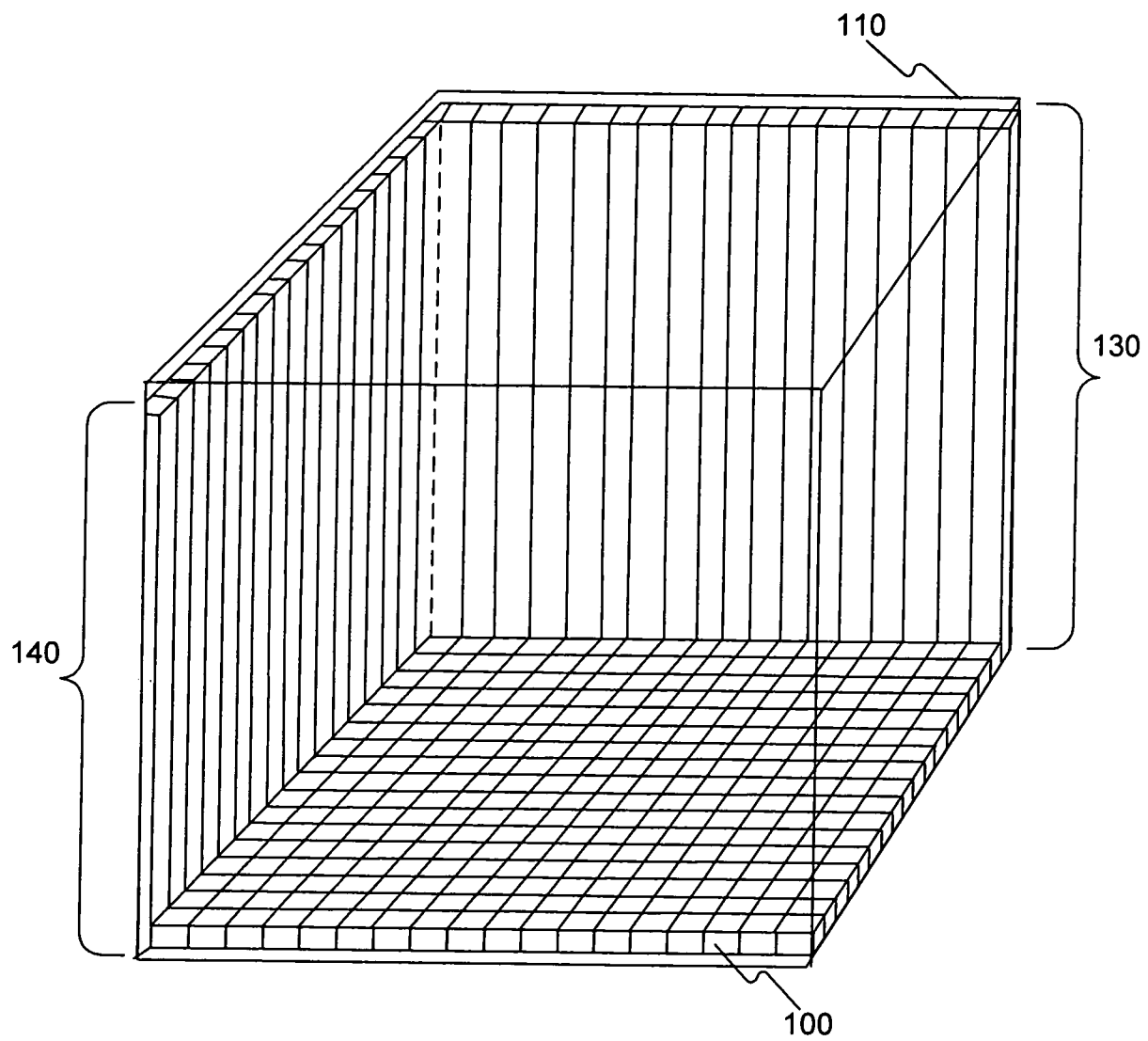
59. 一種晶圓，包含一由具有預定晶粒方位結構之連續鑄態依幾何形狀規則排列多晶矽體形成之矽，且一共同極方

向垂直於該多晶矽體之一表面，並且該多晶矽體更具有至少兩各選擇性地至少為大約10cm之尺寸。

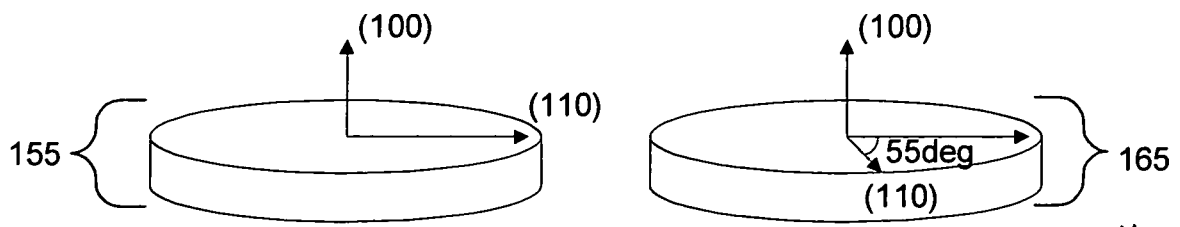
60. 一種晶圓，包含一具有預定晶粒方位結構之連續依幾何形狀規則排列多晶矽體，且一共同極方向垂直於該晶圓之一表面，並且該晶圓更具有至少兩各選擇性地至少為大約50mm之尺寸。



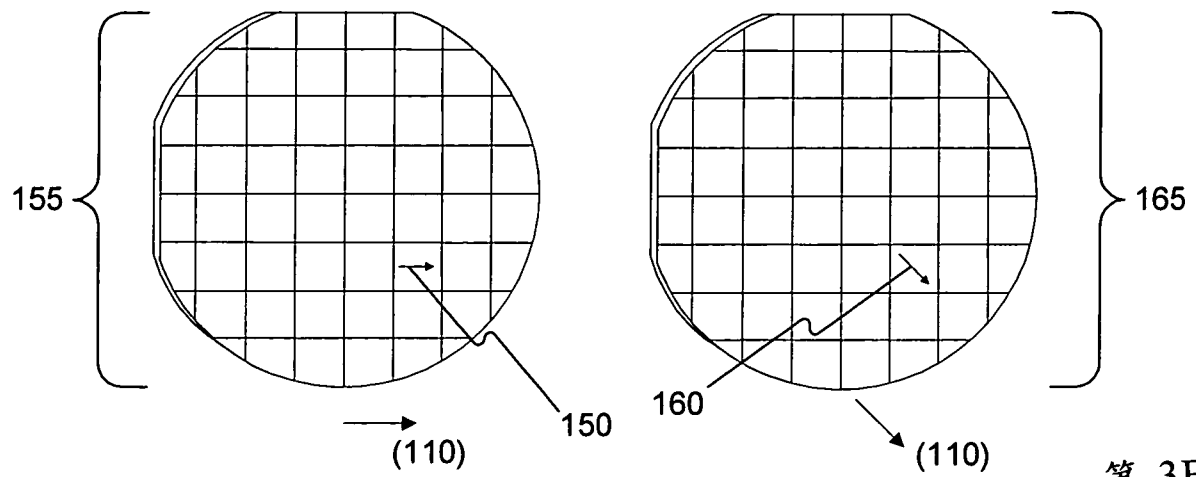
第 1 圖



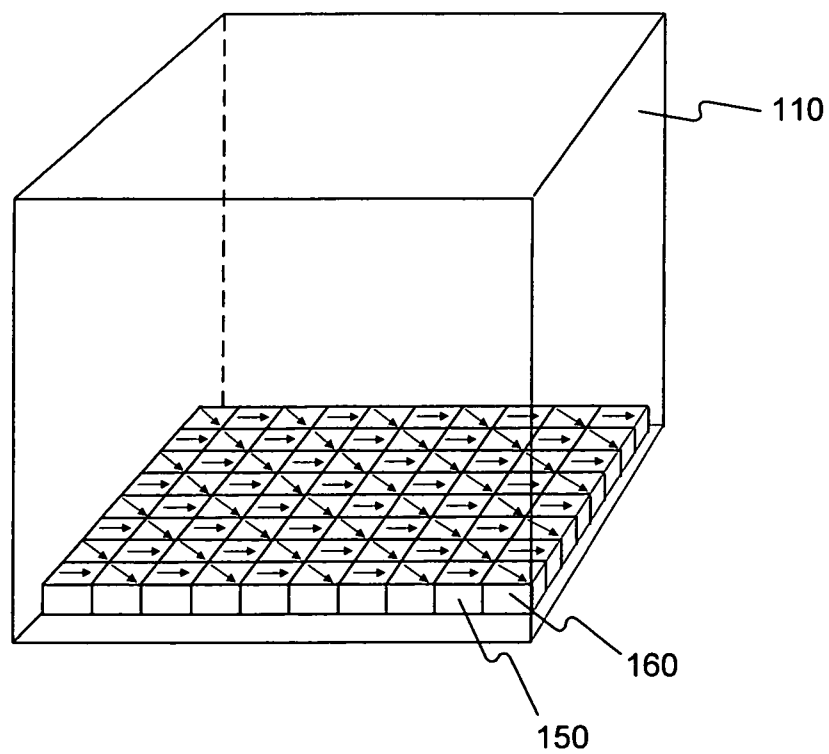
第 2 圖



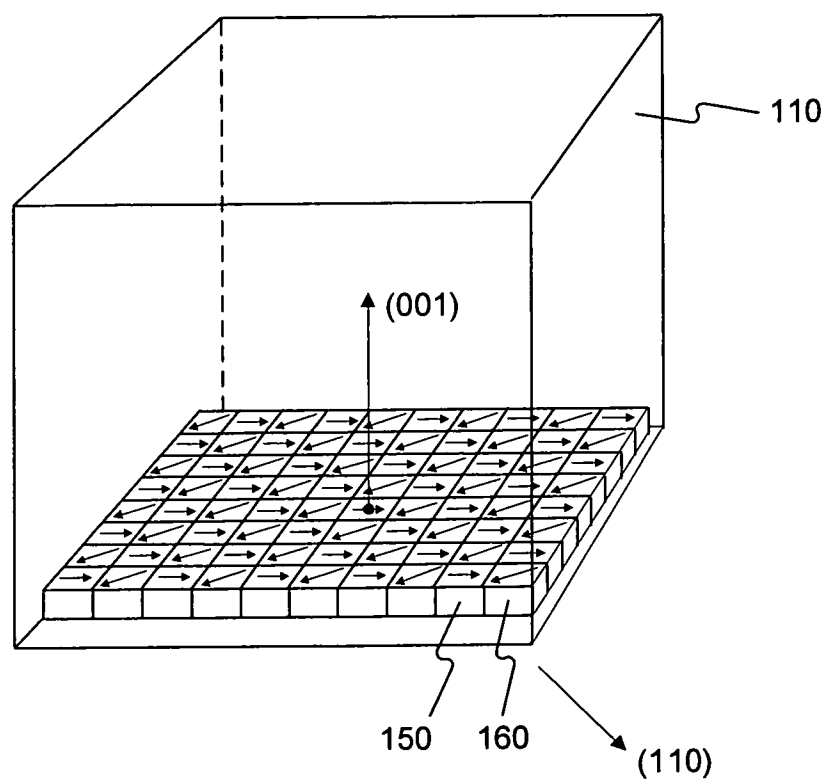
第 3A 圖



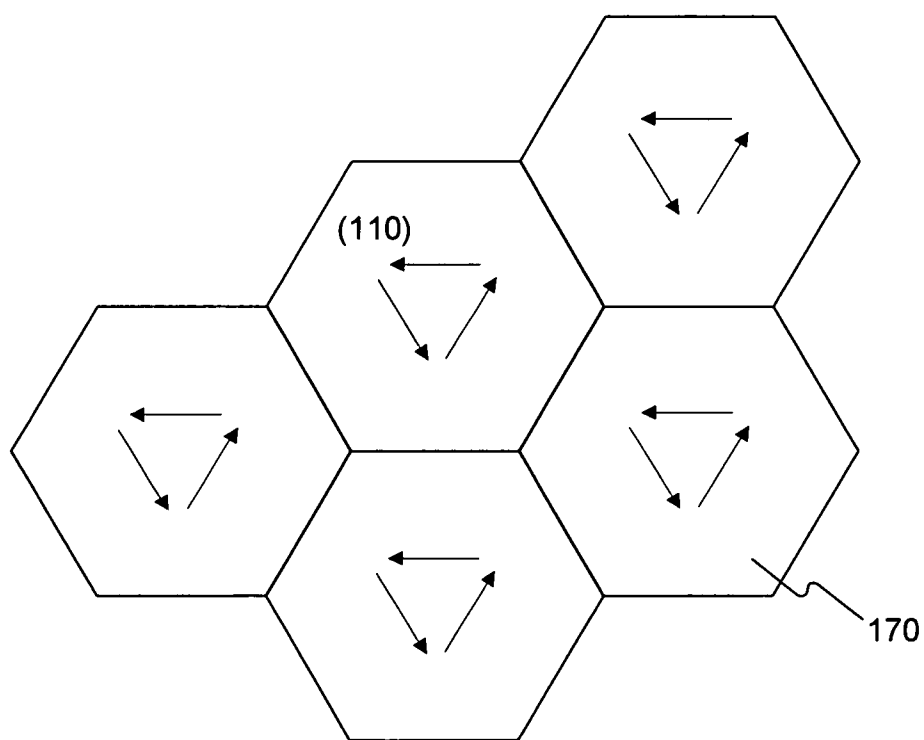
第 3B 圖



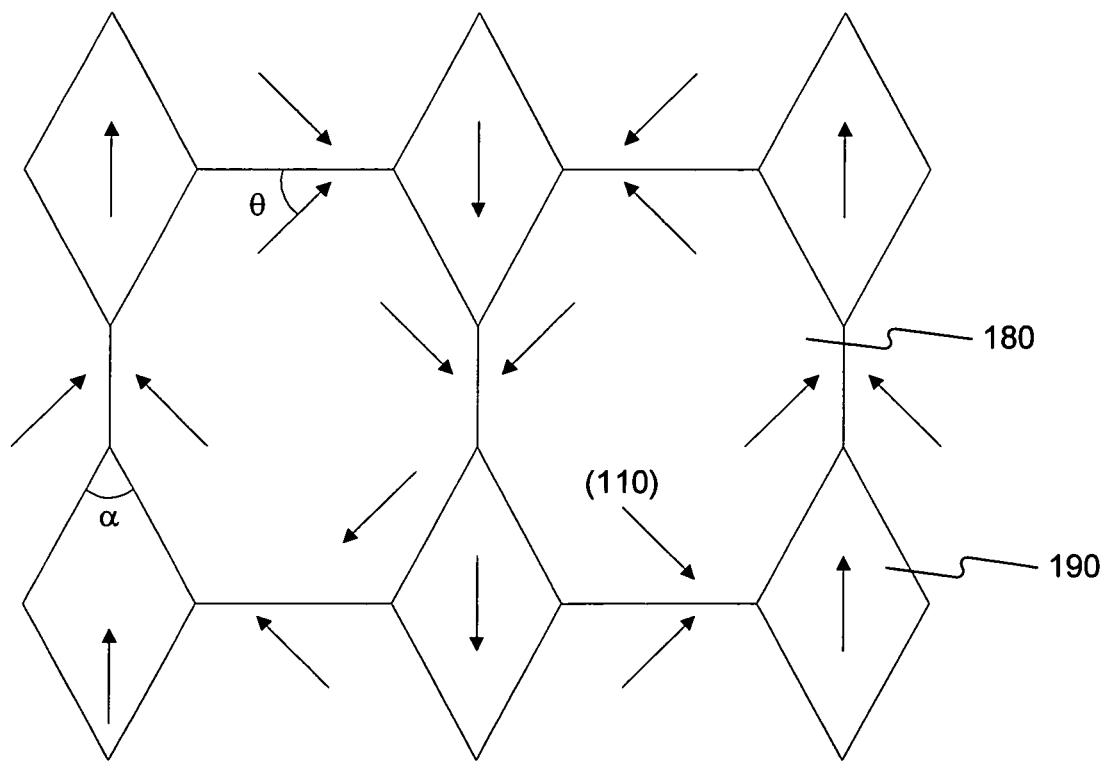
第 3C 圖



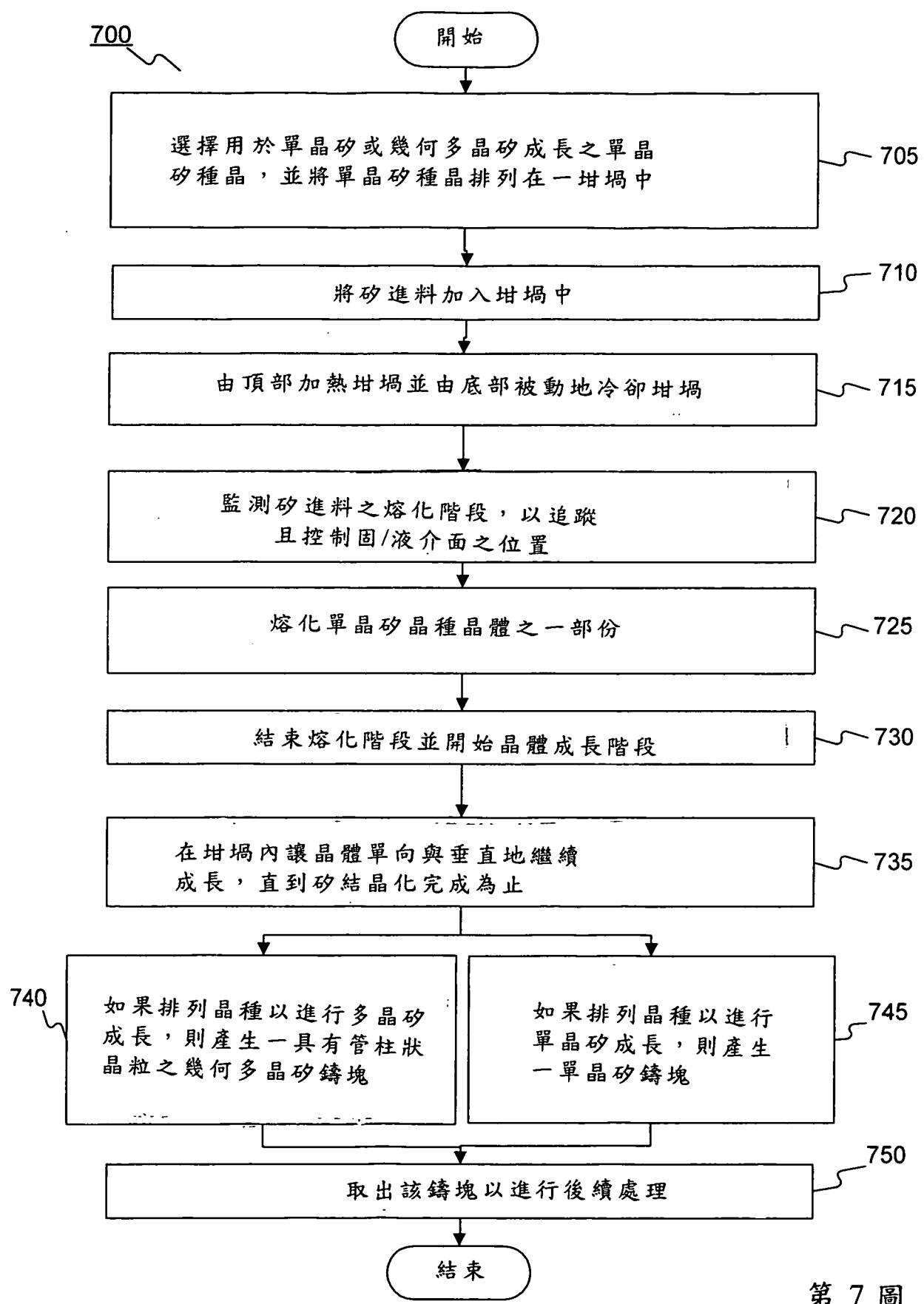
第 4 圖



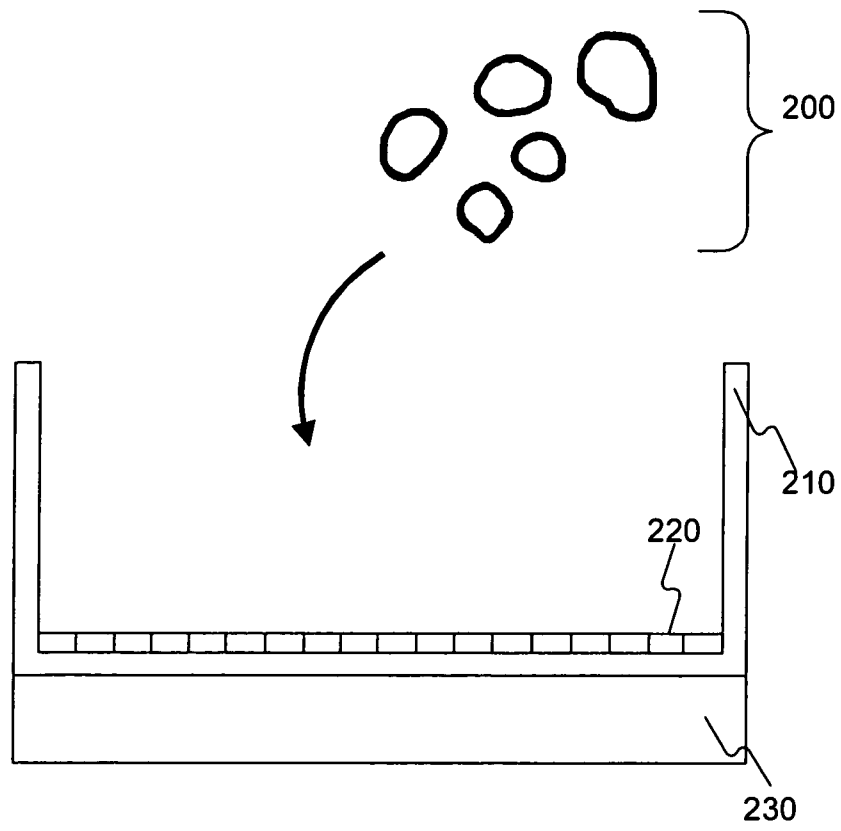
第 5 圖



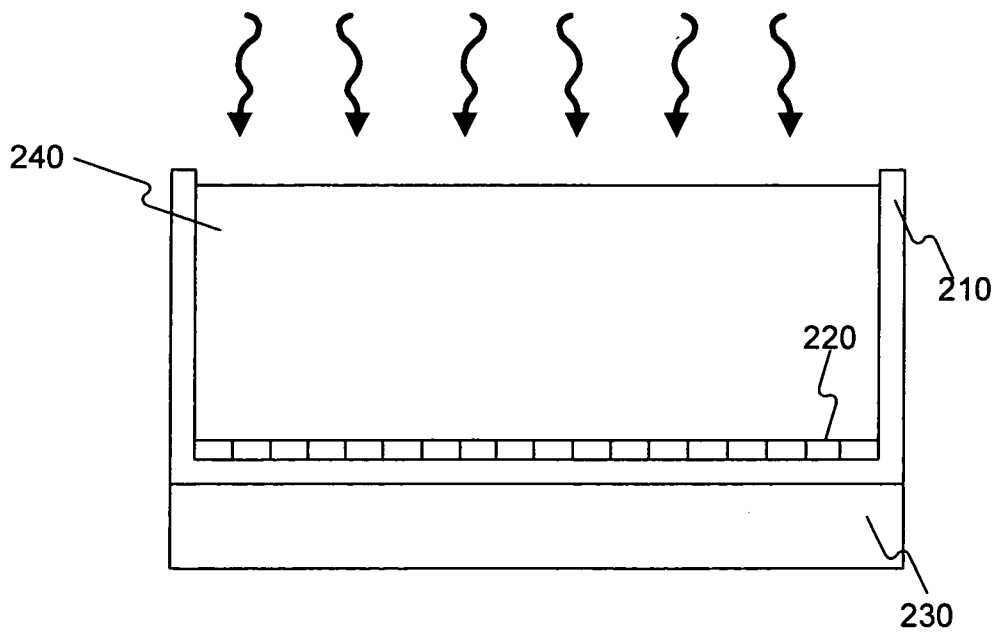
第 6 圖



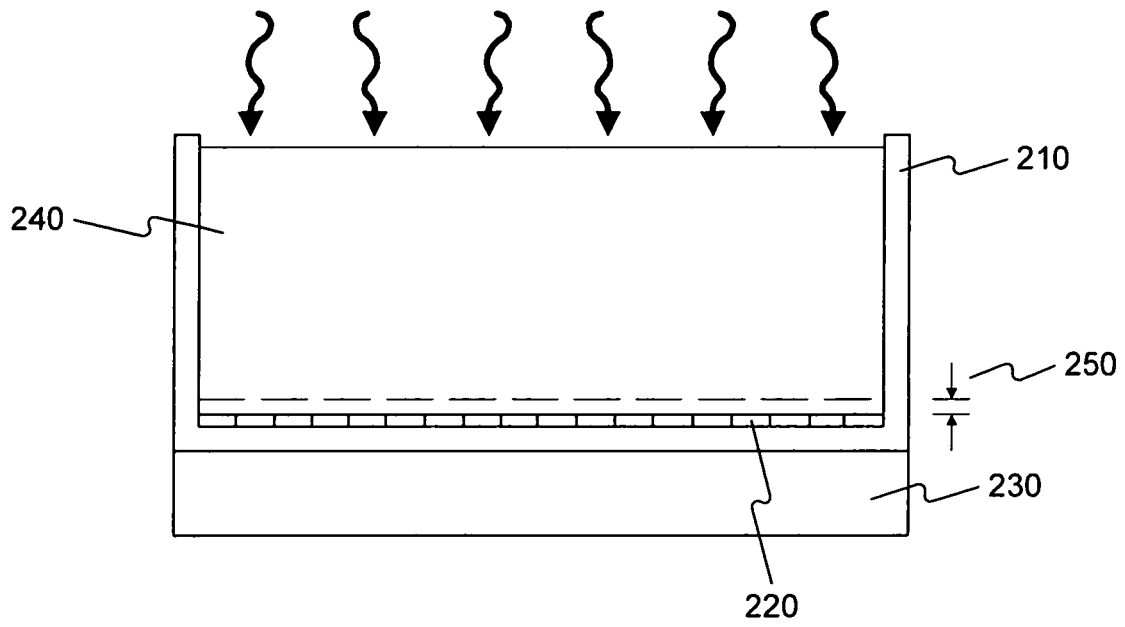
第 7 圖



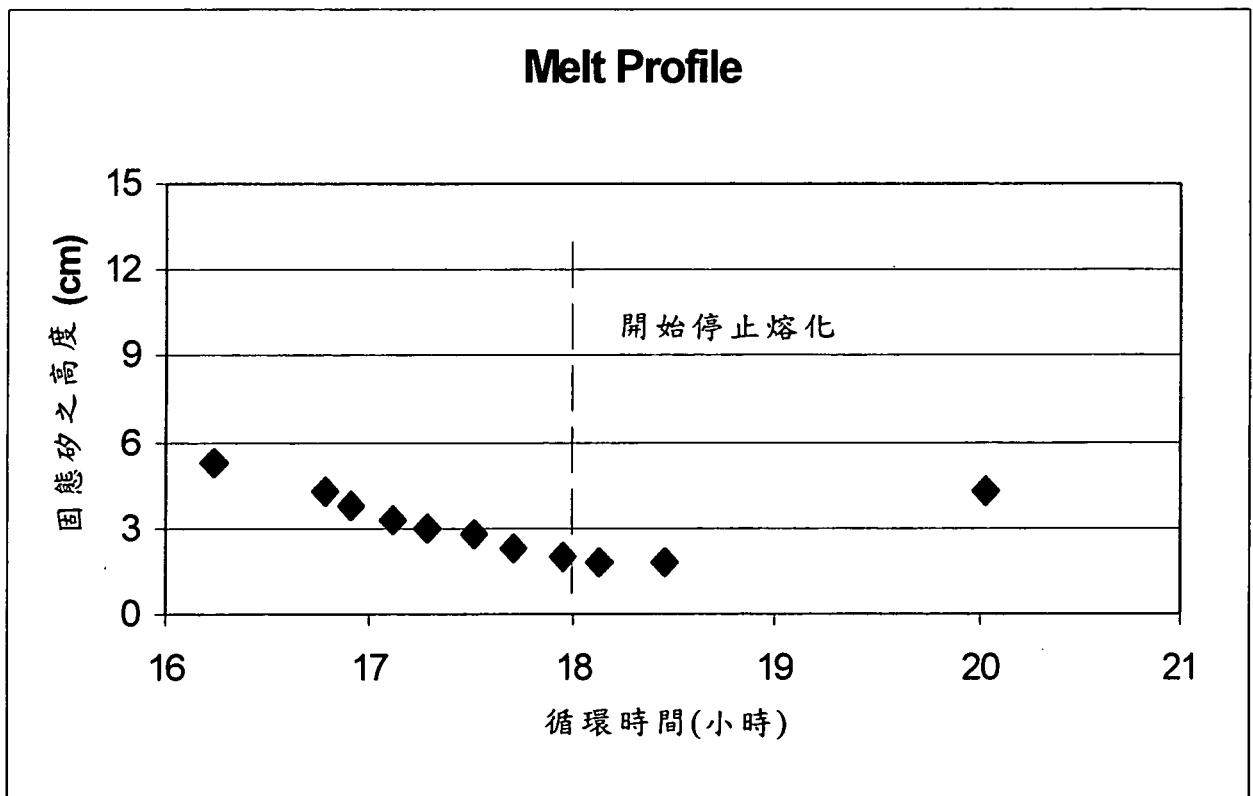
第 8A 圖



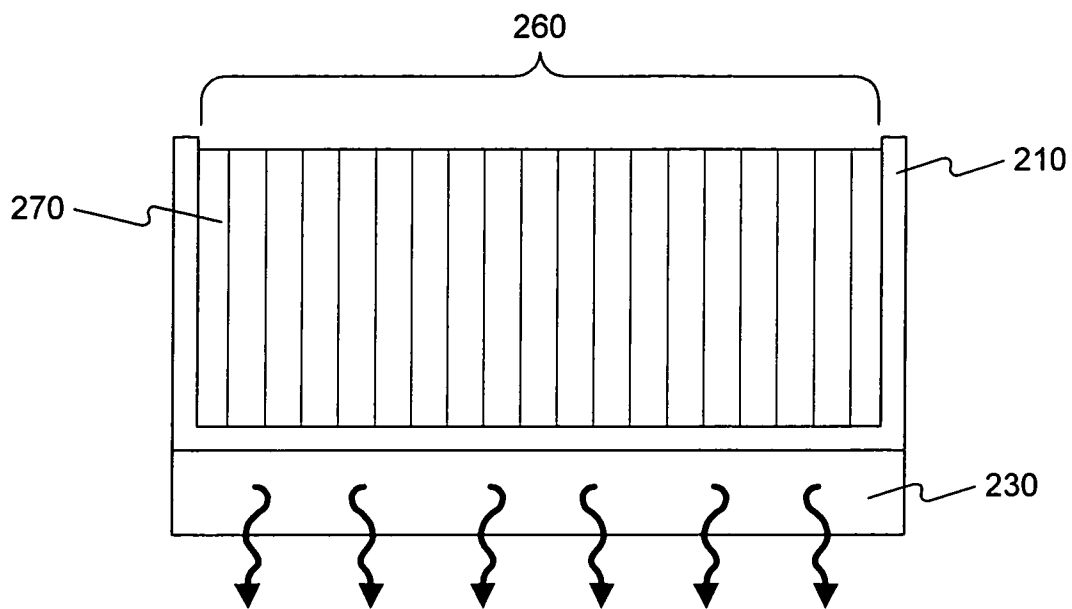
第 8B 圖



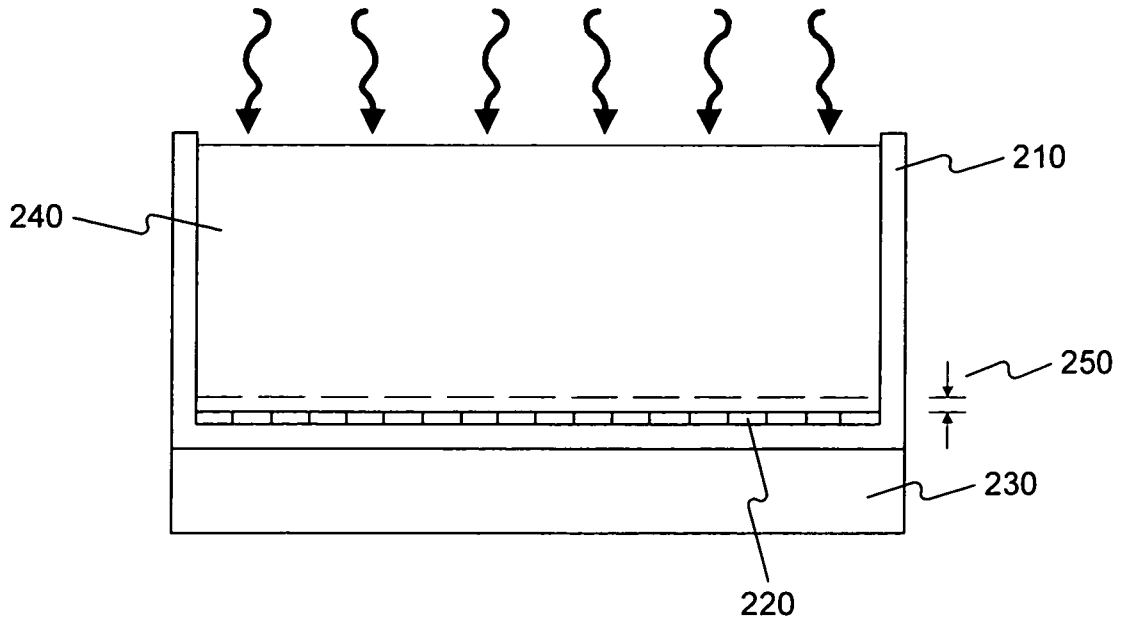
第 8C 圖



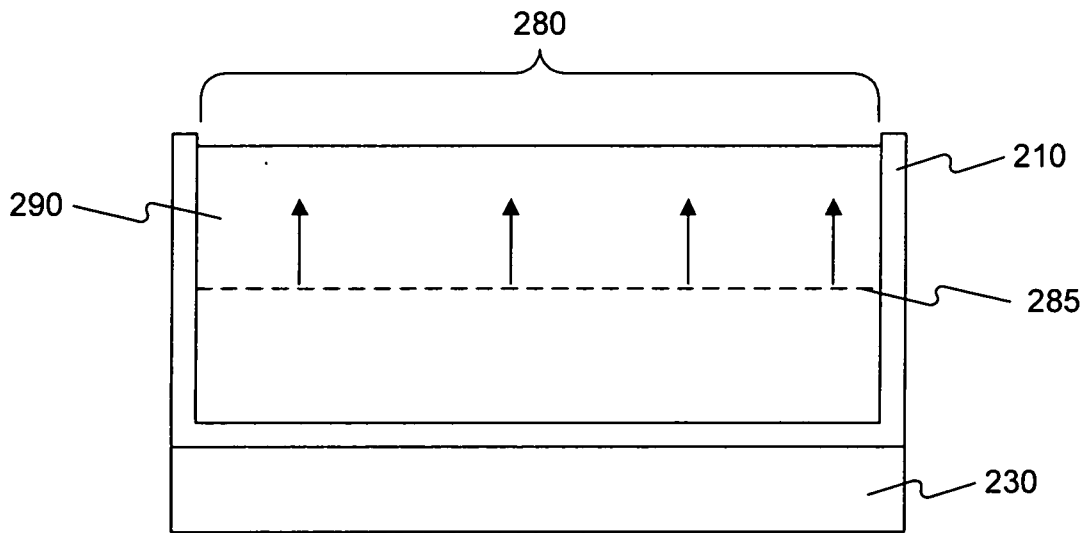
第 8D 圖



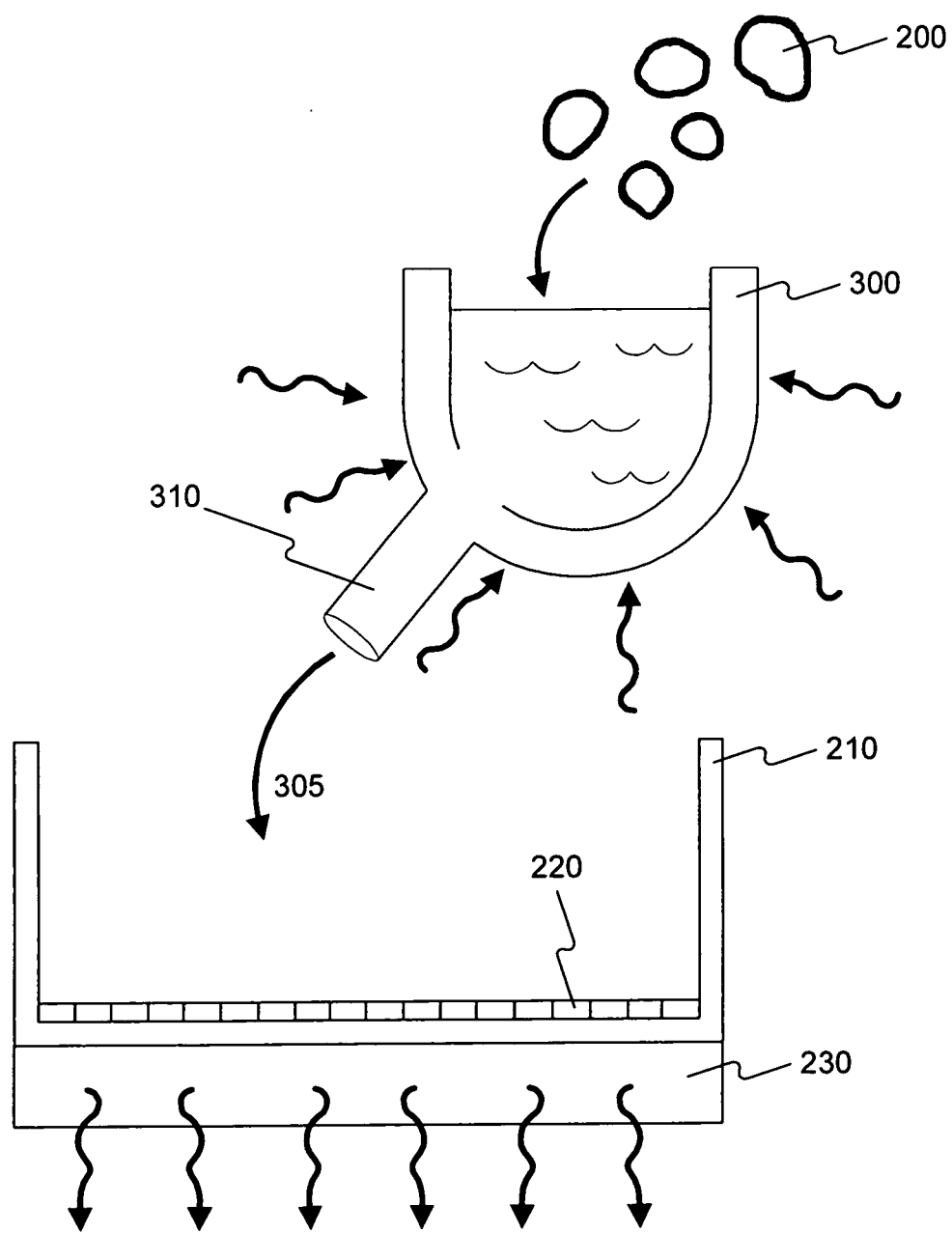
第 8E 圖



第 8F 圖



第 8G 圖



第 9 圖