



(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 I797764 B

(45) 公告日：中華民國 112 (2023) 年 04 月 01 日

(21) 申請案號：110137020

(22) 申請日：中華民國 110 (2021) 年 10 月 05 日

(51) Int. Cl. : C30B15/20 (2006.01)

(30) 優先權：2020/11/10 日本 2020-186976

(71) 申請人：日商 S U M C O 股份有限公司 (日本) SUMCO CORPORATION (JP)  
日本

(72) 發明人：松島直輝 MATSUSHIMA, NAOKI (JP) ; 橫山竜介 YOKOYAMA, RYUSUKE (JP)

(74) 代理人：洪澄文

(56) 參考文獻：

CN 101923591A

CN 106191988A

CN 201670889U

JP 2007-184383A

審查人員：吳國宇

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：14 共 43 頁

(54) 名稱

單結晶的製造方法、磁場產生裝置及單結晶製造裝置

(57) 摘要

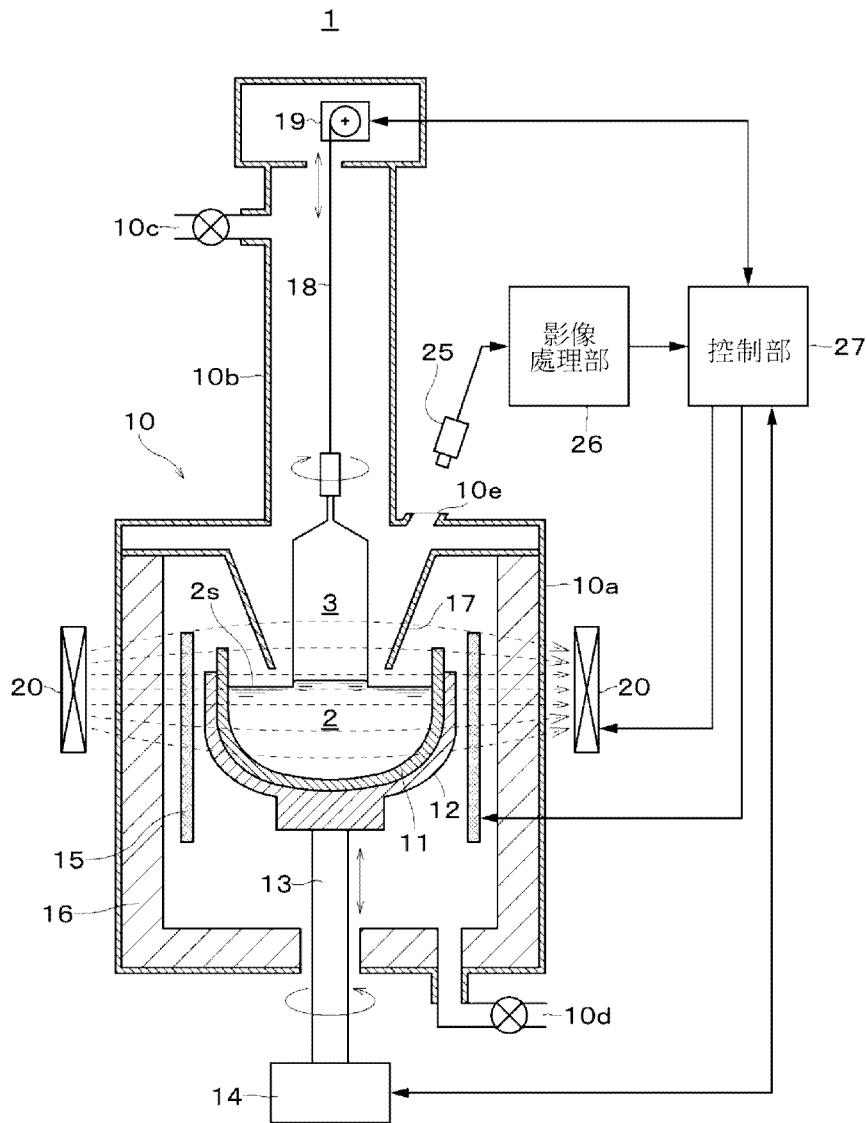
議題：提供可以使單結晶中氧濃度的面內分佈均勻之單結晶的製造方法、磁場產生裝置及單結晶製造裝置。

解決方式：一邊對坩堝 11 內的融液 2 施加橫向磁場，一邊提拉單結晶 3 之單結晶的製造方法，在結晶提拉步驟中，配合融液 2 的減少上升坩堝 11 的同時，配合融液 2 的減少控制磁場分佈，使融液面 2s 中的磁場方向與坩堝 11 的彎曲底部在內面的磁場方向從本體部生長步驟開始到結束為一定。

Subject: To provide a method for producing a single crystal, a magnetic field generator and an apparatus for producing a single crystal, which can uniformize in-plane distribution of oxygen concentration in a single crystal.

Solution: A method for producing a single crystal, whereby a single crystal 3 is pulled up while a transverse magnetic field is applied to melt 2 in a crucible 11, and wherein in a crystal pulling process as the crucible 11 is raised in accordance with the reduction of the melt 2, then a magnetic field distribution is controlled in accordance with the reduction of the melt 2, so that the direction of a magnetic field in a melt surface 2s and the direction of a magnetic field in the inner surface of a curved bottom of the crucible 11 are constant from the start to the end of a body growing process.

指定代表圖：



第 1 圖

符號簡單說明：

1:單結晶製造裝置

2:矽融液

2s:融液面

3:矽單結晶(鑄塊)

10:隔室

10a:主隔室

10b:提拉隔室

10c:氣體導入口

10d:氣體排出口

10e:窺視窗

11:石英坩堝

12:基座

13:旋轉軸

14:軸驅動機構

15:加熱器

16:斷熱材

17:熱遮蔽體

18:線

19:線纏繞機構

20:磁場產生裝置

25:CCD(電荷耦合元件)相機

26:影像處理部

27:控制部



I797764

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】 單結晶的製造方法、磁場產生裝置及單結晶製造裝置

【英文發明名稱】 METHOD FOR PRODUCING SINGLE CRYSTAL,

MAGNETIC FIELD GENERATOR AND APPARATUS FOR PRODUCING  
SINGLE CRYSTAL

### 【中文】

議題：提供可以使單結晶中氧濃度的面內分佈均勻之單結晶的製造方法、磁場產生裝置及單結晶製造裝置。

解決方式：一邊對坩堝11內的融液2施加橫向磁場，一邊提拉單結晶3之單結晶的製造方法，在結晶提拉步驟中，配合融液2的減少上升坩堝11的同時，配合融液2的減少控制磁場分佈，使融液面2s中的磁場方向與坩堝11的彎曲底部在內面的磁場方向從本體部生長步驟開始到結束為一定。

### 【英文】

Subject: To provide a method for producing a single crystal, a magnetic field generator and an apparatus for producing a single crystal, which can uniformize in-plane distribution of oxygen concentration in a single crystal.

Solution: A method for producing a single crystal, whereby a single crystal 3 is pulled up while a transverse magnetic field is applied to melt 2 in a crucible 11, and wherein in a crystal pulling process as the crucible 11 is raised in accordance with the reduction of the melt 2, then a magnetic field distribution is controlled in accordance with the reduction of the melt 2, so that the direction of a magnetic field in a melt surface 2s and

the direction of a magnetic field in the inner surface of a curved bottom of the crucible

11 are constant from the start to the end of a body growing process.

【指定代表圖】 第1圖

【代表圖之符號簡單說明】

1:單結晶製造裝置

2:矽融液

2s:融液面

3:矽單結晶(鑄塊)

10:隔室

10a:主隔室

10b:提拉隔室

10c:氣體導入口

10d:氣體排出口

10e:窺視窗

11:石英坩堝

12:基座

13:旋轉軸

14:軸驅動機構

15:加熱器

16:斷熱材

17:熱遮蔽體

18:線

19:線纏繞機構

20:磁場產生裝置

25:CCD(電荷耦合元件)相機

26:影像處理部

27:控制部

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 單結晶的製造方法、磁場產生裝置及單結晶製造裝置

【英文發明名稱】 METHOD FOR PRODUCING SINGLE CRYSTAL,  
MAGNETIC FIELD GENERATOR AND APPARATUS FOR PRODUCING  
SINGLE CRYSTAL

### 【技術領域】

【0001】 本發明，係有關於單結晶的製造方法，特別有關於一邊對融液施加水平磁場一邊提拉單結晶的磁場施加柴可拉斯基法(Magnetic field applied Czochralski method)之單結晶的製造方法。又，本發明係關於利用像那樣的MCZ法的磁場產生裝置及單結晶製造裝置。

### 【先前技術】

【0002】 作為從石英坩堝內的矽融液提拉矽單結晶的CZ法之一，一邊對矽融液施加磁場一邊提拉單結晶的所謂MCZ法是眾所周知的。利用MCZ法，因為抑制融液對流，根據與石英坩堝的反應抑制矽融液中溶入的氧量，可以壓低矽單結晶的氧濃度。

【0003】 作為磁場的施加方法，一些方法是眾所周知的，尤其，施加橫向磁場(水平磁場)的HMCZ法的實用化很先進。HMCZ法中，因為施加與石英坩堝的側壁大致直交的橫向磁場，有效抑制坩堝側壁近旁的融液對流，來自坩堝的氧溶出量減少。另一方面，融液表面的對流抑制效果小，因為不那麼抑制來自融液表面的氧(矽氧化物)的蒸發，融液中的氧濃度容易減少。因此，具有容易生長低氧濃度單結晶的特徵。

【0004】 關於HMCZ法，例如專利文獻1中記述，配合單結晶提拉進行，

第1頁，共22頁(發明說明書)

7054-19202PF-TW

上下方向移動磁場中心位置，藉由接近或離間液面，降低或上升單結晶內取入的氧濃度。又，專利文獻2中記述，磁束沿著坩堝的彎曲底部進行，產生磁場。

**【0005】** 專利文獻3中記述，使用磁力線的方向偏離90度而且可以轉換產生磁場分佈互不相同的2種磁場之磁場產生裝置，不只是低氧濃度且抑制生長條紋的單結晶，也可以提拉高氧濃度的單結晶之單結晶製造裝置。

[先行技術文獻]

[專利文獻]

**【0006】**

[專利文獻1]日本專利公開2004－323323號公報

[專利文獻2]日本專利公開昭和62年第256787號公報

[專利文獻3]日本專利公開2017－206396號公報

**【發明內容】**

[發明所欲解決的問題]

**【0007】** HMCZ法中，融液面附近施加的水平磁場，最好與融液面平行筆直前進。因為，如上述，與融液面直交的磁場成分抑制融液面的融液對流，引起氧濃度增加。另一方面，坩堝底部，磁場最好沿著彎曲的底部一邊彎曲一邊前進。由於與坩堝內壁面直交的磁場成分抑制融液對流，融液中的氧擴散不充足，單結晶中的氧濃度中容易產生不均勻。因此，如專利文獻2中所記述，產生沿著坩堝的彎曲底部彎曲的磁場是有效的。

**【0008】** 但是，結晶提拉步驟中配合隨著結晶生長的融液減少，上升石英坩堝，維持融液面的高度位置一定是必須的，上升石英坩堝時，因為磁場分佈及石英坩堝與磁場的位置關係改變，變得難以使磁場沿著石英坩堝的彎曲底面。如專利文獻1所述，上升磁場中心位置使磁場分佈沿著坩堝的彎曲底面也可

以，但在情況下融液面附近磁場不為水平，由於融液面附近的融液對流停滯，有單結晶的氧濃度增加的問題。

**【0009】** 矽單結晶的結晶成長方向中的氧濃度分佈變動，影響矽晶圓的氧濃度面內分佈。如第14圖所示，往結晶成長方向從具有氧濃度分佈的生長條紋之矽單結晶切出晶圓時，晶圓的氧濃度面內分佈變得不均勻。

**【0010】** 因此，本發明的目的在於提供可以使單結晶中的氧濃度面內分佈均勻之單結晶的製造方法。又，本發明的目的在於提供這樣的單結晶的製造方法中使用的磁場產生裝置及單結晶製造裝置。

[用以解決問題的手段]

**【0011】** 為了解決上述問題，本發明者們調查關於單結晶中的氧濃度變動後，發現結晶生長方向的特定範圍內氧濃度的生長條紋變小，還有其範圍內結晶直徑變動非常小。又，調查的結果，生長氧濃度的生長條紋變小範圍的單結晶時，很明顯坩堝底面附近的磁力線方向與坩堝底面接近平行。

**【0012】** 本發明係根據這樣的技術性見解的發明，本發明的單結晶的製造方法，係一邊對坩堝內的融液施加橫向磁場一邊提拉單結晶之單結晶的製造方法，其特徵在於結晶提拉步驟中配合上述融液的減少上升上述坩堝的同時，配合上述融液的減少控制磁場分佈，使融液面中的磁場方向與上述坩堝的彎曲底部在內面的磁場方向從本體部生長步驟開始到結束為一定。

**【0013】** 本發明的單結晶的製造方法，因為從本體部生長步驟開始到最後維持融液面附近的磁場方向與坩堝在底部附近的磁場方向一定，可以儘量抑制影響單結晶中氧濃度的融液對流，藉此不止是單結晶的低氧化，還可以達到氧濃度的面內分佈均勻。

**【0014】** 本發明中，上述融液面中的磁場方向，最好與上述融液面平行。融液面，係融液與提拉爐內空氣的界面(氣液界面)，通常是水平面。藉此，可以

活化來自融液面的氧蒸發，達到結晶的低氧化。

**【0015】** 以上述坩堝的旋轉軸為Z軸，以與上述Z軸直交的上述橫向磁場的磁場中心軸為Y軸，以及以上述Z軸與上述Y軸的交點為原點，以直交YZ平面通過上述原點的軸為X軸時，上述坩堝的彎曲底部內面與上述YZ平面的交線上，上述內面的法線向量與磁場向量形成的角度 $\theta$ 最好維持在75度以上105度以下。藉此，抑制坩堝底部的融液對流，可以使單結晶中氧濃度的面內分佈均勻。

**【0016】** 本發明的單結晶的製造方法，為了一邊維持上述原點中的磁場強度一定，一邊最小化上述坩堝的彎曲底部內面的法線向量與磁場向量的內積平方在上述底部中的積分值，最好調整上述磁場分佈。或者，在上述底部中心為了使上述底部的形狀與磁場在Y方向的2階微分一致，調整上述磁場分佈也可以。藉此，可以使坩堝底部附近的磁場方向沿著底部的彎曲內面。

**【0017】** 上述坩堝的半徑為R時，上述底部，最好在離上述底部中心半徑0.7R以下的範圍。通常，磁場分佈未歪斜的橫向磁場下的單結晶提拉中，因為中心附近的磁場分佈與坩堝底面接近平行，底部的設定區域狹窄時，自動滿足本發明，無意義。底部的設定區域比0.7R寬時，往側壁部曲率變化大的坩堝角落部中滿足上述條件變得困難。

**【0018】** 本發明的單結晶的製造方法，在上述坩堝周圍設置複數線圈元件，最好藉由個別調整各線圈元件的磁場強度，控制上述磁場分佈。在此情況下，上述複數線圈元件，最好構成線圈軸一致的複數線圈元件對。根據本發明，維持融液面中的磁場方向水平的同時，可以配合坩堝的高度位置變化改變坩堝底部附近的磁場方向。

**【0019】** 上述複數線圈元件，最好夾住XZ平面對稱配置，並最好與XY平面平行配置。根據本發明，可以實現從Z軸看對稱性高的磁場分佈。

**【0020】** 上述複數線圈元件，構成產生第1磁場的第1線圈裝置以及產生與

上述第1磁場不同的第2磁場的第2線圈裝置，最好藉由個別調整上述第1磁場的強度與上述第2磁場的強度，控制上述磁場分佈。藉此，維持融液面中的磁場方向水平的同時，可以配合坩堝的高度位置變化改變坩堝底部附近的磁場方向。

【0021】 上述第1磁場，在Y軸的正方向磁場慢慢變弱後，成為零，還具有Y軸的負方向磁場慢慢變強的磁場變化，上述第2磁場，在Y軸的負方向磁場慢慢變弱後，成為零，最好還具有Y軸的正方向磁場慢慢變強的磁場變化。藉此，維持融面中的磁場方向水平的同時，可以配合坩堝的高度位置變化改變坩堝底部附近的磁場方向。

【0022】 又，本發明的磁場產生裝置，其特徵在於：在MCZ法的單結晶製造中使用，是對坩堝內的融液施加橫向磁場的磁場產生裝置，包括產生第1磁場的第1線圈裝置以及產生與上述第1磁場不同的第2磁場的第2線圈裝置，以上述坩堝的旋轉軸為Z軸，以與上述Z軸直交的上述橫向磁場在施加方向的中心軸為Y軸，以上述Z軸與上述Y軸的交點為原點，以及以直交YZ平面通過上述原點的軸為X軸時，上述第1線圈裝置，具有配置在上述YZ平面上且線圈軸一致的至少一對線圈元件，上述第2線圈裝置，具有與XY平面平行配置且線圈軸一致的至少兩對線圈元件，構成上述第1線圈裝置以及上述第2線圈裝置的複數線圈元件夾住XZ平面對稱配置。

【0023】 根據本發明，維持融液面中的磁場方向水平的同時，可以配合坩堝的高度位置變化改變坩堝底部附近的磁場方向。由於本體部生長步驟從開始到最後維持這樣的磁場分佈一定，可以儘量抑制影響單結晶中氧濃度的融液對流，藉此不只單結晶的低氧化也可以達到氧濃度的面內分佈均勻化。

【0024】 本發明中，上述第1線圈裝置，具有配置在上述YZ平面上且夾住上述Z軸對稱配置的第1及第2線圈元件，上述第2線圈裝置，具有配置在上述XY平面上且夾住上述Z軸對稱配置的第3及第4線圈元件以及配置在上述XY平面上

且夾住上述Z軸對稱配置的第5及第6線圈元件，上述第1至第6線圈元件，最好夾住XZ平面對稱配置。藉此，可以實現從Z軸看對稱性高的磁場分佈。

【0025】 最好上述第3及第4線圈元件的線圈軸與上述Y軸形成的角度是+45度，上述第5及第6線圈元件的線圈軸與上述Y軸形成的角度是-45度。藉此，可以實現從Z軸看對稱性高的磁場分佈。

【0026】 最好構成上述第1及第2線圈元件的環形線圈的環尺寸相同，構成上述第3至第6線圈元件的環形線圈的環尺寸相同。藉此，可以實現從Z軸看對稱性高的磁場分佈。

【0027】 又，根據本發明的單結晶製造裝置，其特徵在於包括：坩堝，支撐融液；加熱器，加熱上述融液；結晶提拉機構，從上述融液提拉單結晶；坩堝升降機構，旋轉及升降驅動上述坩堝；上述本發明的磁場產生裝置，對上述融液施加橫向磁場；以及控制部，控制上述加熱器、上述結晶提拉機構、上述坩堝升降機構以及上述磁場產生裝置。

【0028】 根據本發明的單結晶製造裝置，無論本體部生長步驟中的坩堝高度位置變化，因為維持融液面附近的磁場方向與坩堝底部附近的磁場方向一定，可以儘量抑制影響單結晶中氧濃度的融液對流。藉此不只單結晶的低氧化也可以達到氧濃度的面內分佈均勻化。

[發明功效]

【0029】 根據本發明，可以提供可以使單結晶中氧濃度的面內分佈均勻之單結晶的製造方法、磁場產生裝置及單結晶製造裝置。

### 【圖式簡單說明】

#### 【0030】

第1圖為概略顯示本發明實施形態的單結晶製造裝置構成之側面剖面圖；

第6頁，共22頁(發明說明書)

第2圖為說明本發明實施形態的矽單結晶製造方法之流程圖；

第3圖為顯示矽單結晶鑄塊形狀的大致剖面圖；

第4(a)~(c)圖為顯示本發明第1實施形態的磁場產生裝置構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置的全體構成，(b)為第1線圈裝置的構成，(c)為第2線圈裝置的構成。

第5圖為顯示第1線圈裝置21及第2線圈裝置22產生的磁場強度變化之圖表；

第6(a)~(c)圖為顯示對石英坩堝內的矽融液施加的複合磁場中向量分佈之示意圖；

第7(a)~(c)圖為顯示本發明第2實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置的全體構成，(b)為第1線圈裝置的構成，(c)為第2線圈裝置的構成；

第8(a)~(c)圖為顯示本發明第3實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置20的全體構成，(b)為第1線圈裝置的構成，(c)為第2線圈裝置的構成；

第9(a)~(c)圖為顯示本發明第4實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置20的全體構成，(b)為第1線圈裝置的構成，(c)為第2線圈裝置的構成；

第10(a)及(b)圖為顯示與磁場輸出的關係之圖表，分別顯示(a)為融液深度(液面到坩堝底的距離)與磁場輸出的關係，(b)結晶長與磁場輸出的關係之圖表；

第11(a)~(c)圖為顯示利用第10(a)及(b)圖所示的磁場輸出剖析產生的複合磁場磁力線與坩堝底部內面形成的角度之圖表，分別顯示(a)為融液深度是200mm(毫米)，(b)為融液深度是300mm，(c)為融液深度是400mm的情況；

第12圖為顯示一邊施加複合磁場一邊製造的實施例的矽單結晶在結晶生長方向的氧濃度分佈之圖表；

第13(a)~(f)圖為顯示比較例及實施例的矽單結晶中氧濃度評估結果之圖表，第13(a)~(c)圖為一邊施加單一磁場一邊製造的比較例的矽單結晶中氧濃度評估結果，第13(d)~(f)圖為一邊施加複合磁場一邊製造的實施例的矽單結晶中氧濃度評估結果；以及

第14圖為用以說明習知的矽單結晶的問題點之示意圖。

### 【實施方式】

[用以實施發明的形態]

【0031】 以下，一邊參照附加圖面，一邊詳細說明關於本發明的較佳實施形態。

【0032】 第1圖為概略顯示本發明實施形態的單結晶製造裝置構成之側面剖面圖。

【0033】 如第1圖所示，單結晶製造裝置1，包括隔室10；石英坩堝11，在隔室10保持矽融液2；石墨製的基座12，保持石英坩堝11；旋轉軸13，支撐基座12；軸驅動機構14，旋轉及升降驅動旋轉軸13；加熱器15，配置在基座12的周圍；斷熱材16，在加熱器15的外側沿著隔室10的內面配置；熱遮蔽體17，配置在石英坩堝11的上方；單結晶提拉線18，在石英坩堝11的上方，與旋轉軸13配置在同軸上；以及線纏繞機構19，配置在隔室10的上方。

【0034】 又，單結晶製造裝置1，包括磁場產生裝置20，配置在隔室10的外側；CCD(電荷耦合元件)相機25，拍攝隔室10內；影像處理部26，處理CCD(電荷耦合元件)相機25拍攝的影像；以及控制部27，根據影像處理部26的輸出，控制軸驅動機構14、加熱器15及線纏繞機構19。

【0035】 隔室10，以主隔室10a以及連接至主隔室10a的上部開口的細長圓筒狀提拉隔室10b構成，石英坩堝11、基座12、加熱器15以及熱遮蔽體17設置在

主隔室10a內。提拉隔室10b中設置用以導入隔室10內氫氣等非活性氣體(排淨氣體)的氣體導入口10c，主隔室10a的下部設置用以排出非活性氣體的氣體排出口10d。又，主隔室10a的上部設置窺視窗10e，從窺視窗10e可觀察矽單結晶3的生長狀況(固液界面)。

【0036】 石英坩堝11，係具有圓筒狀側壁部、緩和彎曲的底部以及設置在側壁部與底部之間的角落部之石英玻璃製容器。基座12，為了維持加熱軟化的石英坩堝11的形狀，緊貼石英坩堝11的外表面包圍保持石英坩堝11。石英坩堝11及基座12在隔室10內構成支撐矽融溶之雙重構造的坩堝。

【0037】 基座12固定至往鉛直方向延伸的旋轉軸13的上端部。又，旋轉軸13的下端部貫通隔室10的底部中央，連接至設置在隔室10外側的軸驅動機構14。旋轉基座12、旋轉軸13及軸驅動機構14，構成一邊旋轉石英坩堝11，一邊升降驅動的坩堝升降機構。

【0038】 加熱器15，用於熔融石英坩堝11內填充的矽原料並維持熔融狀態。加熱器15，是碳製的電阻加熱式加熱器且圍繞基座12內的石英坩堝11全周設置的略圓筒狀構件。還有，加熱器15的外側被斷熱材16圍繞，藉此提高隔室10內的保溫性。

【0039】 設置熱遮蔽體17，抑制融液2的溫度變動，在固液界面附近形成適當熱區的同時，也用以防止來自加熱器15及石英坩堝11的輻射熱引起的單結晶3加熱。熱遮蔽體17，係覆蓋除了矽單結晶3的提拉路徑之外的融液2上方區域的石墨製圓筒構件。

【0040】 熱遮蔽體17的下端中央形成比矽單結晶3的直徑更大的圓形開口，確保矽單結晶3的提拉路徑。如圖示，矽單結晶3通過開口，往上方提拉。因為熱遮蔽體17的開口直徑比石英坩堝11的口徑更小，且熱遮蔽體17的下端部位於石英坩堝11的內側，即使上升石英坩堝11的邊緣上端至比熱遮蔽體17的下

端更上方，熱遮蔽體17也不干擾石英坩堝11。

【0041】 隨著矽單結晶3的生長，石英坩堝11內的融液量減少，但透過上升石英坩堝11使融液面2s與熱遮蔽體17的間隔(間隙)為一定，抑制矽融液2的溫度變動的同時，使流過融液面2s近旁(排淨氣體誘導路徑)的氣體流速一定，可以控制來自矽融液2的摻雜物蒸發量。因此，可以提高單結晶在提拉軸方向的結晶缺陷分佈、氧濃度分佈、電阻率分佈等的穩定性。

【0042】 在石英坩堝11的上方，設置矽單結晶3的提拉軸即線18、纏繞線18的線纏繞機構19，這些構成結晶提拉機構。線纏繞機構19具有旋轉旋轉線18的時同也旋轉單結晶的機能。線纏繞機構19配置在提拉隔室10b上方，線18從線纏繞機構19通過提拉隔室10b內往下方延伸，線18的前端部到達主隔室10a的內部空間。第1圖中，顯示生長途中的矽單結晶3吊設至線18的狀態。單結晶提拉時浸泡種結晶在矽融液2內，一邊分別旋轉石英坩堝11與種結晶，一邊慢慢提拉線18，藉此生長單結晶。

【0043】 磁場產生裝置20，以設置在石英坩堝11周圍的複數線圈構成，對矽融液2施加橫向磁場(水平磁場)。石英坩堝11的旋轉軸上(結晶提拉軸的延長線上)的橫向磁場最大強度，最好是一般HMCZ的磁場強度範圍，0.15~0.6(T)。藉由對矽融液2施加磁場，可以抑制直交磁力線方向的融液對流。因此，可以抑制來自石英坩堝11的氧溶出，並可以降低矽單結晶中的氧濃度。

【0044】 在主隔室10a上部設置用以觀察內部的窺視窗10e，CCD相機25設置在窺視窗10e外側。單結晶提拉步驟中，CCD相機25拍攝從窺視窗10e通過熱遮蔽體17的開口17a能看到的單結晶3與矽融液2的邊境部影像。CCD相機25連接至影像處理部26，以影像處理部26處理拍攝影像，處理結果在控制部27中用於結晶提拉條件的控制。

【0045】 第2圖，為說明本發明實施形態的矽單結晶製造方法之流程圖。

又，第3圖為顯示矽單結晶鑄塊形狀的大致剖面圖。

【0046】 如第2及3圖所示，矽單結晶3的製造中，加熱石英坩堝11內的矽原料，產生矽融液2 (步驟S11)。之後，降下安裝至線18的前端部之種結晶，接觸矽融液2(步驟S12)。

【0047】 其次，實施單結晶的提拉步驟，一邊維持與矽融液2的接觸狀態，一邊慢慢提拉種結晶生長單結晶。單結晶的提拉步驟中，依序實施：頸縮步驟(步驟S13)，為了無錯位化，形成縮細結晶直徑的頸部3a；肩部生長步驟(步驟S14)，為了得到規定的直徑，形成結晶直徑慢慢增加的肩部3b；本體部生長步驟(步驟S15)，結晶直徑維持一定，形成本體部3c；以及尾部生長步驟(步驟S16)，形成結晶直徑慢慢減少的尾部3d；透過最終從融液面2s割斷單結晶3，結束尾部生長步驟。根據上述，完成從單結晶的上端向下端依序具有頸部3a、肩部3b、本體部3c及尾部3d的矽單結晶鑄塊3。

【0048】 單結晶的提拉步驟中，為了控制矽單結晶3的直徑及矽融液2的液面位置，以CCD相機25拍攝矽單結晶3與矽融液2的邊界部影像，根據拍攝影像算出固液界面中矽單結晶3的直徑及融液面2s與熱遮蔽體17的間隔(間隙)。控制部27，控制線18的提拉速度、加熱器15的功率等的提拉條件，使矽單結晶3的直徑成為目標直徑。又，控制部27，控制石英坩堝11的高度位置，使融液面2s與熱遮蔽體17的間隔成為一定。

【0049】 其次，詳細說明關於磁場產生裝置20的構成。

【0050】 第4(a)~(c)圖，為顯示本發明第1實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置20的全體構成，(b)為第1線圈裝置21的構成，(c)為第2線圈裝置22的構成。

【0051】 如第4(a)圖所示，此磁場產生裝置20，由產生第1橫向磁場的第1線圈裝置21以及產生與第1橫向磁場不同的第2橫向磁場之第2線圈裝置22的組

合構成。以石英坩堝11的旋轉軸(結晶中心軸)為Z軸，以Z軸與融液面的交點為直交座標系的原點時，以及以橫向磁場的施加方向為Y軸方向。這樣，準備2個線圈裝置，透過獨立改變各自發生的橫向磁場強度，可以配合石英坩堝11的上升改變磁場分佈。

**【0052】** 如第4(b)圖所示，第1線圈裝置21，包括環形線圈構成的一對線圈元件。詳細地，第1線圈裝置21，包括第1線圈元件21a以及夾住Z軸與第1線圈元件21a對向的第2線圈元件21b。分別配置第1線圈元件21a在Y軸方向的負側、第2線圈元件21b在Y軸方向的正側。尤其，第1線圈元件21a與第2線圈元件21b夾住XZ平面對稱配置。

**【0053】** 第1及第2線圈元件21a、21b的環尺寸是相同的，具有較大的直徑。第1線圈元件21a與第2線圈元件21b的線圈軸(線圈中心軸)與Y軸一致。因此，從第1線圈裝置21產生的磁場中心軸與Y軸一致。

**【0054】** 第1線圈裝置21的動作中，使一對線圈元件的磁場產生方向互相一致。即，想從第1線圈裝置21產生Y軸的正方向磁場時，第1及第2線圈元件21a、21b都設定磁場方向為Y軸的正方向(從第1線圈元件21a向第2線圈元件21b的方向)。相反地，想產生Y軸的負方向磁場時，第1及第2線圈元件21a、21b都設定磁場方向為Y軸的負方向(從第2線圈元件21b向第1線圈元件21a的方向)。

**【0055】** 如第4(c)圖所示，第2線圈裝置22，包括環形線圈構成的兩對線圈元件。詳細地，第2線圈裝置22，包括第3線圈元件22a、夾住Z軸與第3線圈元件22a對向的第4線圈元件22b、第5線圈元件22c以及夾住Z軸與第5線圈元件22c對向的第6線圈元件22d。分別配置第3線圈元件22a及第5線圈元件22c在Y軸方向的負側，以及第4線圈元件22b及第6線圈元件22d在Y軸方向的正側。尤其，第3及第5線圈元件22a、22c與第4及第6線圈元件22b、22d夾住XZ平面，對稱配置。

**【0056】** 第3～第6線圈元件22a～22d的環尺寸相同，還有與第1及第2線圈

元件21a、21b的環尺寸相同。第3及第4線圈元件22a、22b的線圈軸存在於XY平面內，對Y軸逆時針方向傾斜45度(+45度)。第5及第6線圈元件22c、22d的線圈軸也存在於XY平面內，對Y軸順時針方向傾斜45度(-45度)。因此，第5及第6線圈元件22c、22d的線圈軸與第3及第4線圈元件22a、22b的線圈軸直交。

**【0057】** 第2線圈裝置22的動作，也使一對線圈元件的磁場產生方向互相一致。即，想從第2線圈裝置22產生Y軸的正方向磁場時，第3及第4線圈元件22a、22b都使磁場方向為Y軸的正方向(從第3線圈元件22a向第4線圈元件22b的方向)的同時，第5及第6線圈元件22c、22d都設定磁場方向為Y軸的正方向(從第5線圈元件22c向第6線圈元件22d的方向)。藉此，第3~第6線圈元件22a~22d的合成磁場方向成為Y軸的正方向。相反地，想產生Y軸的負方向磁場時，第3及第4線圈元件22a、22b都設定磁場方向為Y軸的負方向(從第4線圈元件22b向第3線圈元件22a的方向)的同時，第5及第6線圈元件22c、22d都設定磁場方向為Y軸的負方向(從第6線圈元件22d向第5線圈元件22c的方向)。藉此，第3~第6線圈元件22a~22d的合成磁場方向成為Y軸的負方向。

**【0058】** 第5圖，為顯示第1線圈裝置21及第2線圈裝置22產生的磁場強度變化之圖表。

**【0059】** 如第5圖所示，結晶提拉步驟的開始階段，從第1線圈裝置21施加往Y軸正方向的較大磁場，從第2線圈裝置22施加往Y軸負方向的較大磁場。

**【0060】** 之後，隨著結晶生長進展，慢慢減弱第1線圈裝置21的磁場(第1磁場)，慢慢加強從第2線圈裝置22產生的磁場(第2磁場)。從第1線圈裝置21產生的磁場有磁場變化，Y軸正方向的磁場慢慢變弱成為零，還有磁場方向反轉，Y軸負方向的磁場慢慢變強。從第2線圈裝置22產生的磁場有磁場變化，Y軸負方向的磁場慢慢變弱成為零，還有磁場方向反轉，Y軸正方向的磁場慢慢變強。因此，結晶提拉步驟的最後階段，從第1線圈裝置21施加往Y軸負方向的較大磁場，

且從第2線圈裝置22施加往Y軸正方向的較大磁場。第1線圈裝置21的磁場剖析成為零的時機與第2線圈裝置22的磁場剖析成為零的時機不一致。

【0061】 第6(a)~(c)圖為顯示對石英坩堝11內的矽融液2施加的複合磁場中向量分佈之示意圖。又，第6圖只記載矽融液附近的磁場，省略擴大至矽融液周圍的磁場。還有，從融液面2s提拉的矽單結晶3的圖示也省略。

【0062】 第6(a)圖所示的結晶提拉步驟的開始階段，石英坩堝11內的矽融液剩餘量很多，融液面2s充分遠離坩堝底部。又，所謂融液面2s是氣液界面，區分矽融液2與石英坩堝11的界面。此時，透過應用第5圖所示的結晶長很短時的磁場強度剖析，可以使坩堝底部附近施加的磁場方向適合坩堝底部的彎曲形狀。

【0063】 第6(b)圖所示的結晶提拉步驟的中間階段，石英坩堝11內的矽融液減少，融液面2s下降接近坩堝底部。第6(c)圖所示的結晶提拉步驟的最後階段，融液面2s更下降。可是，如第5圖所示，配合結晶長(矽融液剩餘量)，透過改變第1線圈裝置21及第2線圈裝置22的磁場強度，結晶提拉步驟從開始到最後，可以一邊維持融液面2s附近的磁場水平，一邊使坩堝底部附近施加的磁場方向適合坩堝底部的彎曲形狀。

【0064】 坩堝底部附近施加的磁場方向未沿著坩堝的彎曲底部時，在坩堝底部部分抑制對流，矽融液的大捲流形狀時間性變動，變得不穩定。因此，坩堝底部溶入矽融液中的氧到達矽單結晶的方式也是時間性變動，氧濃度的面內分佈中產生偏差。

【0065】 可是，坩堝底部附近施加的磁場方向沿著坩堝的彎曲底部時，矽融液中穩定產生卷流，因為氧變得容易從融液面2s蒸發，矽單結晶中取入的氧量減少。施加坩堝底部附近的磁場方向沿著坩堝彎曲底部時，因為不抑制坩堝底部的對流，從坩堝往矽融液的氧溶出量變多。可是，矽單結晶中的氧濃度，因為強烈受到來自融液面的氧蒸發影響，矽融液中的氧溶入量即使多少增加，矽

單結晶中的氧濃度也不上升。

【0066】 第7(a)~(c)圖為顯示本發明第2實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置20的全體構成，(b)為第1線圈裝置21的構成，(c)為第2線圈裝置22的構成。

【0067】 如第7(a)~(c)圖所示，此磁場產生裝置20，比第1實施形態所示的磁場產生裝置構成第1及第2線圈裝置21、22的線圈元件的環尺寸更小。其他構成與第1實施形態相同。即使這樣的構成，也可以達到與第1實施形態相同的效果。

【0068】 第8(a)~(c)圖為顯示本發明第3實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置20的全體構成，(b)為第1線圈裝置21的構成，(c)為第2線圈裝置22的構成。

【0069】 如第8(a)~(c)圖所示，此磁場產生裝置20，替換第7(a)~(c)圖所示第1及第2線圈裝置21、22中的線圈元件21a、21b、22a、22b、22c、22d成上下兩段的線圈元件對21ap、21bp、22ap、22bp、22cp、22dp。即，第1線圈裝置21包括環形線圈構成的兩對線圈元件，而第2線圈裝置22包括環形線圈構成的四對線圈元件。

【0070】 如第8(b)圖所示，第1線圈裝置21包括第1線圈元件對21ap(21a<sub>1</sub>, 21a<sub>2</sub>)以及夾住Z軸與第1線圈元件對21ap對向的第2線圈元件對21bp(21b<sub>1</sub>, 21b<sub>2</sub>)。分別配置第1線圈元件對21ap(21a<sub>1</sub>, 21a<sub>2</sub>)在Y軸方向的負側，第2線圈元件對21bp(21b<sub>1</sub>, 21b<sub>2</sub>)在Y軸方向的正側。

【0071】 第1線圈元件對21ap的上段線圈部21a<sub>1</sub>，夾住XY平面與第1線圈元件對21ap的下段線圈部21a<sub>2</sub>具有對稱的位置關係，第2線圈元件對21bp的上段線圈部21b<sub>1</sub>，夾住XY平面與第2線圈元件對21bp的下段線圈部21b<sub>2</sub>具有對稱的位置關係。上段線圈部21a<sub>1</sub>與上段線圈部21b<sub>1</sub>，構成線圈軸一致的一對線圈元件，

下段線圈部21a<sub>2</sub>與下段線圈部21b<sub>2</sub>也構成線圈軸一致的一對線圈元件。

【0072】 如第8(c)圖所示，第2線圈裝置22包括第3線圈元件對22ap(22a<sub>1</sub>, 22a<sub>2</sub>)、夾住Z軸與第3線圈元件對22ap對向的第4線圈元件對22bp(22b<sub>1</sub>, 22b<sub>2</sub>)、第5線圈元件對22cp(22c<sub>1</sub>, 22c<sub>2</sub>)以及夾住Z軸與第5線圈元件對22cp對向的第6線圈元件對22dp(22d<sub>1</sub>, 22d<sub>2</sub>)。分別配置第3線圈元件對22ap及第5線圈元件對22cp在Y軸方向的負側，第4線圈元件對22bp及第6線圈元件對22dp在Y軸方向的正側。

【0073】 第3線圈元件對22ap的上段線圈部22a<sub>1</sub>，夾住XY平面與第3線圈元件對22ap的下段線圈部22a<sub>2</sub>具有對稱的位置關係，第4線圈元件對22bp的上段線圈部22b<sub>1</sub>，夾住XY平面與第4線圈元件對22bp的下段線圈部22b<sub>2</sub>具有對稱的位置關係。上段線圈部22a<sub>1</sub>與上段線圈部22b<sub>1</sub>，構成線圈軸一致的一對線圈元件，下段線圈部22a<sub>2</sub>與下段線圈部22b<sub>2</sub>構成線圈軸一致的一對線圈元件。

【0074】 第5線圈元件對22cp的上段線圈部22c<sub>1</sub>，夾住XY平面與第5線圈元件對22cp的下段線圈部22c<sub>2</sub>具有對稱的位置關係，第6線圈元件對22dp的上段線圈部22d<sub>1</sub>，夾住XY平面與第6線圈元件對22dp的下段線圈部22d<sub>2</sub>具有對稱的位置關係。上段線圈部22c<sub>1</sub>與上段線圈部22d<sub>1</sub>，構成線圈軸一致的一對線圈元件，下段線圈部22c<sub>2</sub>與下段線圈部22d<sub>2</sub>也構成線圈軸一致的一對線圈元件。

【0075】 具有以上構成的第3實施形態的磁場產生裝置20，也可以達到與第1實施形態相同的效果。

【0076】 第9(a)~(c)圖為顯示本發明第4實施形態的磁場產生裝置20的構成之大致立體圖，分別顯示(a)為磁場產生裝置20的全體構成，(b)為第1線圈裝置21的構成，(c)為第2線圈裝置22的構成。

【0077】 如第9(a)~(c)圖所示，此磁場產生裝置20中，第1線圈裝置21包括環形線圈構成的兩對線圈元件(線圈元件21a<sub>1</sub>, 21a<sub>2</sub>, 21b<sub>1</sub>, 21b<sub>2</sub>)，第2線圈裝置22包括環形線圈構成的兩對線圈元件(線圈元件22a, 22b, 22c, 22d)。即，關於第1線

圈裝置21形成與第8圖相同的構成，關於第2線圈裝置22採用與第7圖相同的構成。本實施形態中，也可以得到與其他實施形態相同的效果。

【0078】 與石英坩堝的底部彎曲形狀平行的磁場，可以利用數式求出。

【0079】 例如，為了最小化石英坩堝內底面 $Z=C(Y)$ 的法線向量 $\vec{n}$ 與磁場向量的內積平方從 $Y=0$ 到 $Y=Y_{\max}$ 的積分值，調整磁場產生裝置20的輸出。即，固定原點的磁場強度至特定值的同時，最小化以下的式(1)。

【0080】 [數1]

$$\int_0^{Y_{\max}} \{ \vec{n}(Y, C(Y)) \cdot [\alpha \vec{B}_1(Y, C(Y)) + \beta \vec{B}_2(Y, C(Y))] \}^2 dY \quad (1)$$

【0081】 在此， $B_1$ 是第1線圈裝置21單獨製造的磁場向量， $B_2$ 是第2線圈裝置22單獨製造的磁場向量。

【0082】 因為磁場分佈在坩堝中心軸附近接近水平，坩堝底部中心附近坩堝底部的形狀與磁場分佈某程度接近平行。相對於此，坩堝底部的的外周附近，磁場分佈與坩堝形狀有遠離平行的傾向。於是，因為(1)式的被積分函數在 $Y$ 大之處變大，為了(1)式的最小化在 $Y$ 大之處縮小被積分函數，即必須讓坩堝形狀與磁力線接近平行。

【0083】  $Y_{\max}$ 最好是坩堝半徑 $R$ 的70%以下( $0 \leq Y_{\max} \leq 0.7R$ )。  $Y_{\max}$ 過小的話，不滿足在坩堝外周部的平行，  $Y_{\max}$ 過大的話，因為配合外周，坩堝底部的中心部與外周部之間的部分平行變差，還有，往坩堝側壁面驟變的坩堝形狀影響(1)式很大。

【0084】 作為(1)式的變化，也考慮使用不是 $B$ 而是 $B$ 的方向向量評估的方法。

【0085】 即，坩堝底中心使坩堝底形狀與磁力線在 $Y$ 方向的2階微分一致。具體地，為了滿足以下(2)式，調整磁場產生裝置20的輸出。

【0086】 [數2]

$$\alpha \frac{\partial B_{1,z}(0,Z)}{\partial Y} + \beta \frac{\partial B_{2,z}(0,Z)}{\partial Y} = \frac{d^2 C(Y)}{dY^2} (\alpha B_{1,Y} + \beta B_{2,Y}) \quad (2)$$

【0087】 在此， $B_{1,Y}$ 以及 $B_{1,Z}$ 分別是第1線圈裝置21單獨製造的磁場向量 $B_1$ 的Y方向成分以及Z方向成分， $B_{2,Y}$ 以及 $B_{2,Z}$ 分別是第2線圈裝置22單獨製造的磁場向量 $B_2$ 的Y方向成分以及Z方向成分。

【0088】 以上，說明關於本發明的較佳實施形態，但本發明不限定於上述實施形態，在不脫離本發明主旨的範圍內可以作各種變更，當然這些也包含在本發明的範圍內。

【0089】 例如，上述實施形態中，舉出矽單結晶的製造方法為例，但本發明不限定於矽單結晶的製造方法，可以應用於採用HMCZ法的各種單結晶的製造方法。

[實施例]

【0090】 使用第9圖所示的磁場產生裝置20，實行HMCZ法的矽單結晶生長。如上述，此磁場產生裝置20，以垂直面內配置的4個線圈元件21a<sub>1</sub>、21a<sub>2</sub>、21b<sub>1</sub>、21b<sub>2</sub>形成的第1線圈裝置21以及水平面內配置的4個線圈元件22a、22b、22c、22d形成的第2線圈裝置22構成。

【0091】 直交座標的原點(結晶中心軸(Z軸)與磁場中心軸(Y軸)的交點)的磁場強度為3000G。石英坩堝的直徑是813mm(毫米)，石英坩堝的彎曲底部之曲率半徑是813mm。

【0092】 使用電磁場解析軟體，計算第1及第2線圈裝置製造的磁場。融液面中的磁場向量與Y軸平行。又，計算YZ平面內石英坩堝底部內面的法線與磁場向量形成的角度，利用上述(2)式計算對融液深度(從液面到坩堝底的距離)的磁場輸出。顯示其結果在第10(a)及(b)圖的圖表中。又，第10(a)及(b)圖的圖表中，第1及第2線圈裝置分別單獨在結晶—融液面中心製造磁場強度所需的輸出為1。

第 18 頁，共 22 頁(發明說明書)

【0093】 如第10(a)及(b)圖所示，第1線圈裝置的輸出(第1磁場)最初在Y軸正方向上具有大磁場強度，但結晶生長繼續下去，隨著融液量減少，Y軸正方向的磁場強度慢慢下降中途成為零，還有Y軸負方向的磁場強度慢慢增加。相反地，第2線圈裝置的輸出(第2磁場)最初在Y軸正方向上具有大磁場強度，但結晶生長繼續下去，隨著融液量減少，Y軸負方向的磁場強度慢慢下降中途成為零，還有正方向的磁場強度慢慢增加。

【0094】 第11(a)~(c)圖係把利用第10(a)及(b)圖所示的磁場輸出剖析產生的複合磁場磁力線與坩堝底部內面形成的角度 $\theta$ ，與第1及第2線圈裝置分別單獨動作時產生的磁場作比較所示的圖表。

【0095】 如第11(c)圖所示，融液深度400mm的情況下，對施加複合磁場時的坩堝底部內面之磁場角度約為90度~95度。又，如第11(b)圖所示，即使融液深度300mm的情況下，磁場角度也約為90度~95度。如第11(a)圖所示，融液深度200mm的情況下，磁場角度大致為90度，成為非常良好的結果。

【0096】 第12圖為顯示一邊施加複合磁場一邊製造的實施例的矽單結晶在結晶生長方向的氧濃度分佈之圖表。根據圖示的圖表很清楚地，結晶生長方向的氧濃度在 $10 \times 10^{17} \sim 11 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>(原子/立方厘米)的範圍內成為非常穩定的結果。

【0097】 第13(a)~(f)圖為顯示比較例及實施例的矽單結晶中氧濃度評估結果之圖表。尤其，第13(a)~(c)圖顯示一邊施加單一磁場(習知磁場)一邊製造的比較例的矽單結晶中氧濃度評估結果，結晶長500mm、1100mm、1700mm的位置上氧濃度的面內分佈(徑方向分佈)之圖表。第13(d)~(f)圖為一邊施加複合磁場一邊製造的實施例的矽單結晶中氧濃度評估結果，結晶長500mm、1100mm、1700mm的位置上氧濃度的面內分佈(徑方向分佈)之圖表。

【0098】 如第13(a)~(c)圖所示，比較例的矽單結晶中氧濃度分佈偏差變

大。另一方面，如第13(d)~(f)圖所示，實施例的矽單結晶中氧濃度分佈偏差變小。

### 【符號說明】

#### 【0099】

1:單結晶製造裝置

2:矽融液

2s:融液面

3:矽單結晶(鑄塊)

3a:頸部

3b:肩部

3c:本體部

3d:尾部

10:隔室

10a:主隔室

10b:提拉隔室

10c:氣體導入口

10d:氣體排出口

10e:窺視窗

11:石英坩堝

12:基座

13:旋轉軸

14:軸驅動機構

15:加熱器

- 16:斷熱材
- 17:熱遮蔽體
- 17a:開口
- 18:線
- 19:線纏繞機構
- 20:磁場產生裝置
- 21:第1線圈裝置
- 21a:第1線圈元件
- 21a<sub>1</sub>:上段線圈部
- 21a<sub>2</sub>:下段線圈部
- 21ap:第1線圈元件對
- 21b:第2線圈元件
- 21b<sub>1</sub>:上段線圈部
- 21b<sub>2</sub>:下段線圈部
- 21bp:第2線圈元件對
- 22:第2線圈裝置
- 22a:第3線圈元件
- 22a<sub>1</sub>:上段線圈部
- 22a<sub>2</sub>:下段線圈部
- 22ap:第3線圈元件對
- 22b:第4線圈元件
- 22b<sub>1</sub>:上段線圈部
- 22b<sub>2</sub>:下段線圈部
- 22bp:第4線圈元件對

22c:第5線圈元件

22c<sub>1</sub>:上段線圈部

22c<sub>2</sub>:下段線圈部

22cp:第5線圈元件對

22d:第6線圈元件

22d<sub>1</sub>:上段線圈部

22d<sub>2</sub>:下段線圈部

22dp:第6線圈元件對

25:CCD(電荷耦合元件)相機

26:影像處理部

27:控制部

**【發明申請專利範圍】**

**【請求項1】** 一種單結晶的製造方法，一邊對坩堝內的融液施加橫向磁場一邊提拉單結晶，其特徵在於：

結晶提拉步驟中配合上述融液的減少上升上述坩堝的同時，配合上述融液的減少控制磁場分佈，使融液面中的磁場方向與上述坩堝的彎曲底部在內面的磁場方向從本體部生長步驟開始到結束為一定。

**【請求項2】** 如請求項1所述之單結晶的製造方法，其中，上述融液面中的磁場方向，與上述融液面平行。

**【請求項3】** 如請求項1所述之單結晶的製造方法，其中，以上述坩堝的旋轉軸為Z軸，以與上述Z軸直交的上述橫向磁場在施加方向的中心軸為Y軸，以及以上述Z軸與上述Y軸的交點為原點，以直交YZ平面通過上述原點的軸為X軸時，

上述坩堝的彎曲底部內面與上述YZ平面的交線上，上述內面的法線向量與磁場向量形成的角度 $\theta$ 維持在75度以上105度以下。

**【請求項4】** 如請求項3所述之單結晶的製造方法，其中，為了一邊維持上述原點中的磁場強度一定，一邊最小化上述坩堝的彎曲底部內面的法線向量與磁場向量的內積平方在上述底部中的積分值，調整上述磁場分佈。

**【請求項5】** 如請求項3所述之單結晶的製造方法，其中，在上述底部中心為了使上述底部的形狀與磁場在Y方向的2階微分一致，調整上述磁場分佈。

**【請求項6】** 如請求項3~5中任一項所述之單結晶的製造方法，其中，上述融液面中的磁場方向，與上述融液面平行。

**【請求項7】** 如請求項3~5中任一項所述之單結晶的製造方法，其中，

上述坩堝的半徑為 $R$ 時，上述底部，在離上述底部中心半徑 $0.7R$ 以下的範圍。

【請求項8】如請求項1~5中任一項所述之單結晶的製造方法，其中，在上述坩堝周圍設置複數線圈元件，藉由個別調整各線圈元件的磁場強度，控制上述磁場分佈。

【請求項9】如請求項8所述之單結晶的製造方法，其中，上述複數線圈元件，構成線圈軸一致的複數線圈元件對。

【請求項10】如請求項8所述之單結晶的製造方法，其中，上述複數線圈元件，夾住 $XZ$ 平面對稱配置，或者與 $XY$ 平面平行配置。

【請求項11】如請求項8所述之單結晶的製造方法，其中，上述複數線圈元件，夾住 $XZ$ 平面對稱配置，而且與 $XY$ 平面平行配置。

【請求項12】如請求項8所述之單結晶的製造方法，其中，上述複數線圈元件，構成產生第1磁場的第1線圈裝置，以及產生與上述第1磁場不同的第2磁場的第2線圈裝置；

藉由個別調整上述第1磁場的強度與上述第2磁場的強度，控制上述磁場分佈。

【請求項13】如請求項12所述之單結晶的製造方法，其中，上述第1磁場，在 $Y$ 軸的正方向磁場慢慢變弱後，成為零，還具有 $Y$ 軸的負方向磁場慢慢變強的磁場變化；

上述第2磁場，在 $Y$ 軸的負方向磁場慢慢變弱後，成為零，還具有 $Y$ 軸的正方向磁場慢慢變強的磁場變化。

【請求項14】如請求項8所述之單結晶的製造方法，其為在MCZ法的單結晶製造中使用，對坩堝內的融液施加橫向磁場，其中，

上述複數線圈元件包括：

第1線圈裝置，產生第1磁場；以及

第2頁，共4頁(發明申請專利範圍)

第2線圈裝置，產生與上述第1磁場不同的第2磁場；

其中，以上述坩堝的旋轉軸為Z軸，以與上述Z軸直交的上述橫向磁場在施加方向的中心軸為Y軸，以上述Z軸與上述Y軸的交點為原點，以及以直交YZ平面通過上述原點的軸為X軸時，

上述第1線圈裝置，具有配置在上述YZ平面上且線圈軸一致的至少一對線圈元件；

上述第2線圈裝置，具有至少兩對線圈軸一致的線圈元件，上述至少兩對線圈元件構成的配置與XY平面平行；

構成上述第1線圈裝置以及上述第2線圈裝置的複數線圈元件夾住XZ平面對稱配置。

**【請求項15】** 如請求項14所述之單結晶的製造方法，其中，

上述第1線圈裝置，具有配置在上述YZ平面上且夾住上述Z軸對稱配置的第1及第2線圈元件；

上述第2線圈裝置，具有配置在上述XY平面上且夾住上述Z軸對稱配置的第3及第4線圈元件以及配置在上述XY平面上且夾住上述Z軸對稱配置的第5及第6線圈元件；

上述第1至第6線圈元件，夾住XZ平面對稱配置。

**【請求項16】** 如請求項15所述之單結晶的製造方法，其中，

上述第3及第4線圈元件的線圈軸與上述Y軸形成的角度是+45度；

上述第5及第6線圈元件的線圈軸與上述Y軸形成的角度是-45度。

**【請求項17】** 如請求項14~16中任一項所述之單結晶的製造方法，其中，

構成上述第1及第2線圈元件的環形線圈的環尺寸相同；

構成上述第3至第6線圈元件的環形線圈的環尺寸相同。

**【請求項18】** 一種單結晶製造裝置，包括：

第 3 頁，共 4 頁(發明申請專利範圍)

坩堝，支撐融液；

加熱器，加熱上述融液；

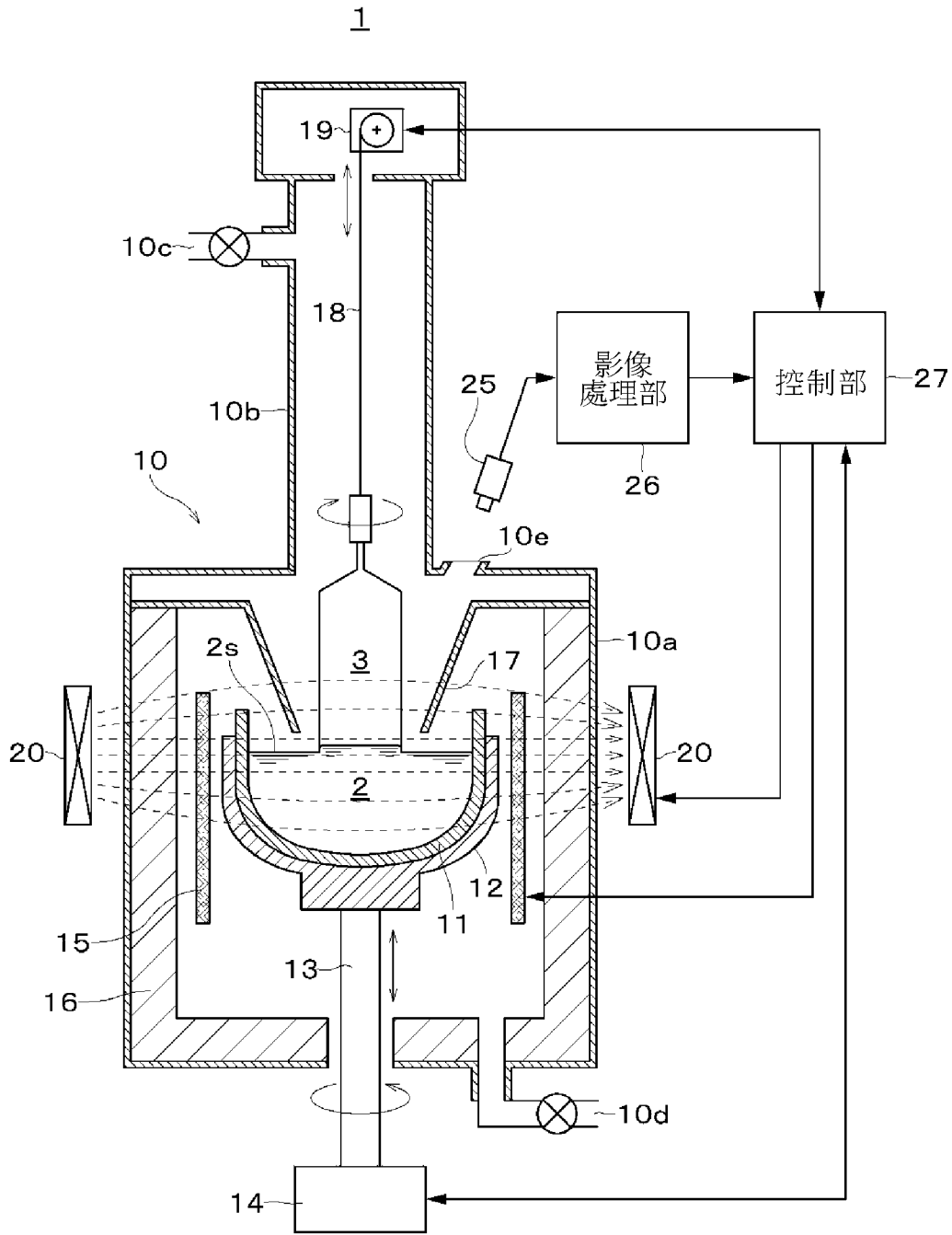
結晶提拉機構，從上述融液提拉單結晶；

坩堝升降機構，旋轉及升降驅動上述坩堝；

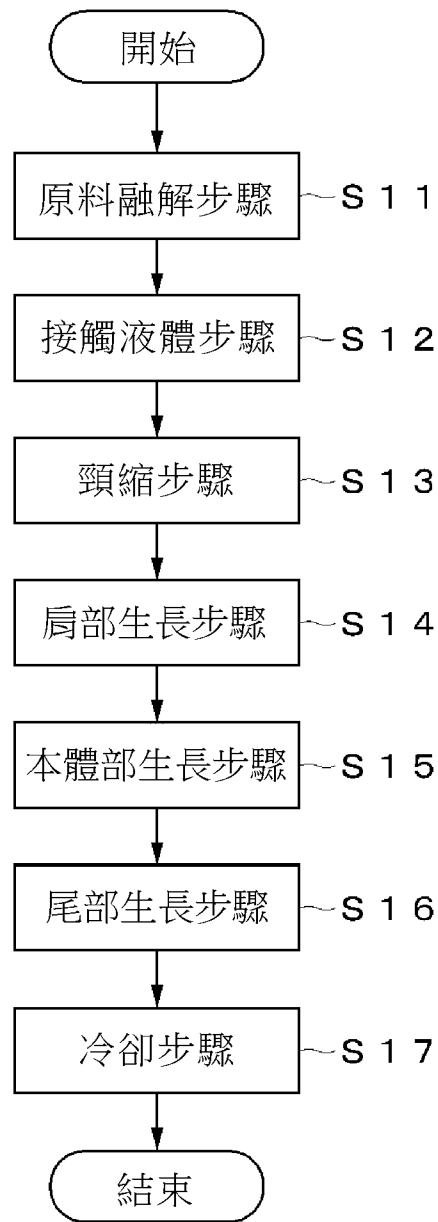
如請求項14~17中任一項所述之單結晶的製造方法，對上述融液施加橫向磁場；以及

控制部，控制上述加熱器、上述結晶提拉機構、上述坩堝升降機構以及上述磁場產生裝置。

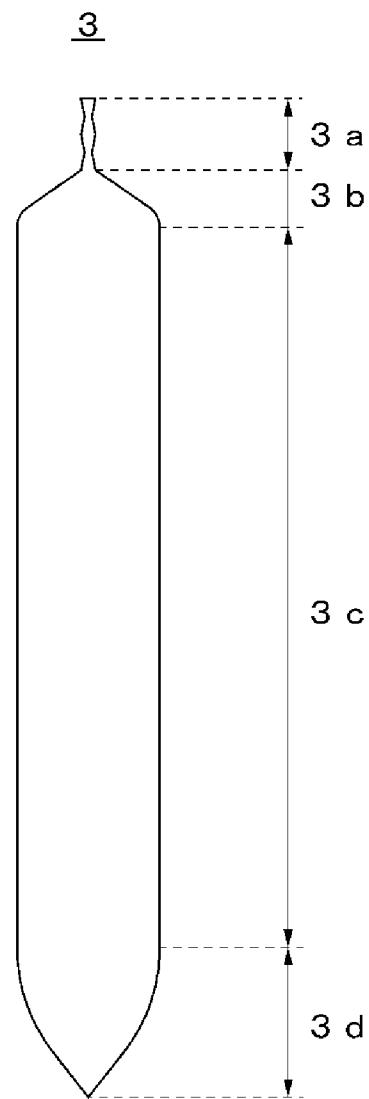
【發明圖式】



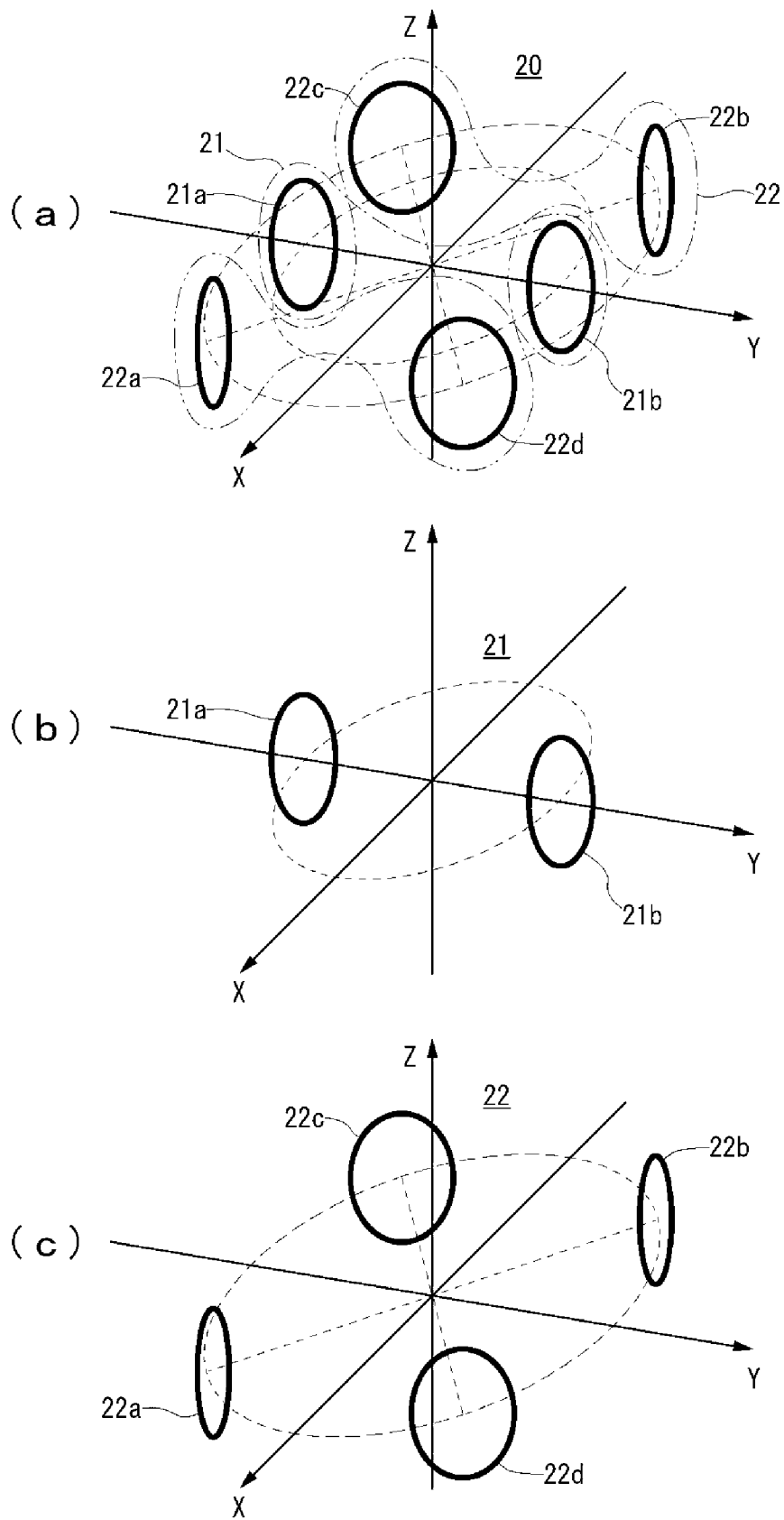
第 1 圖



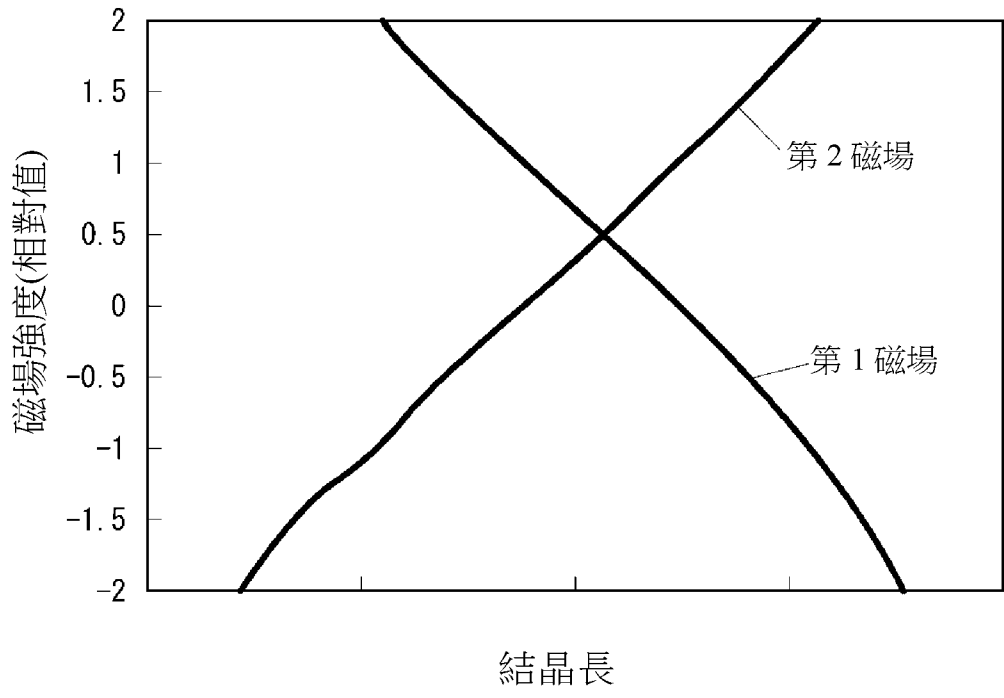
第 2 圖



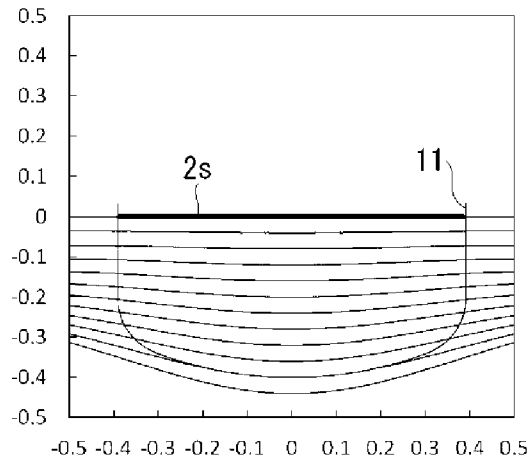
第 3 圖



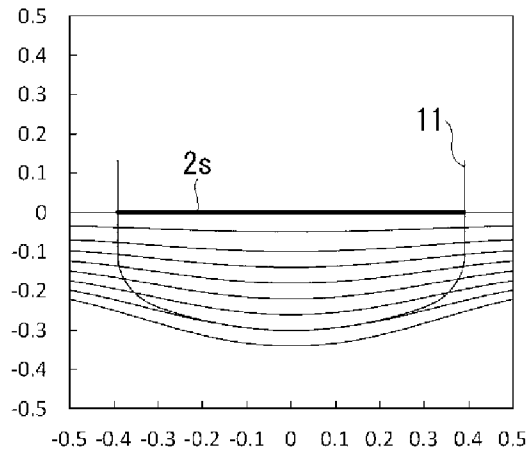
第 4 圖



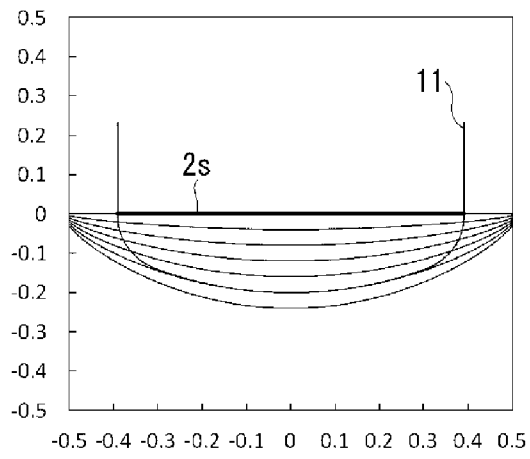
第 5 圖



(a)

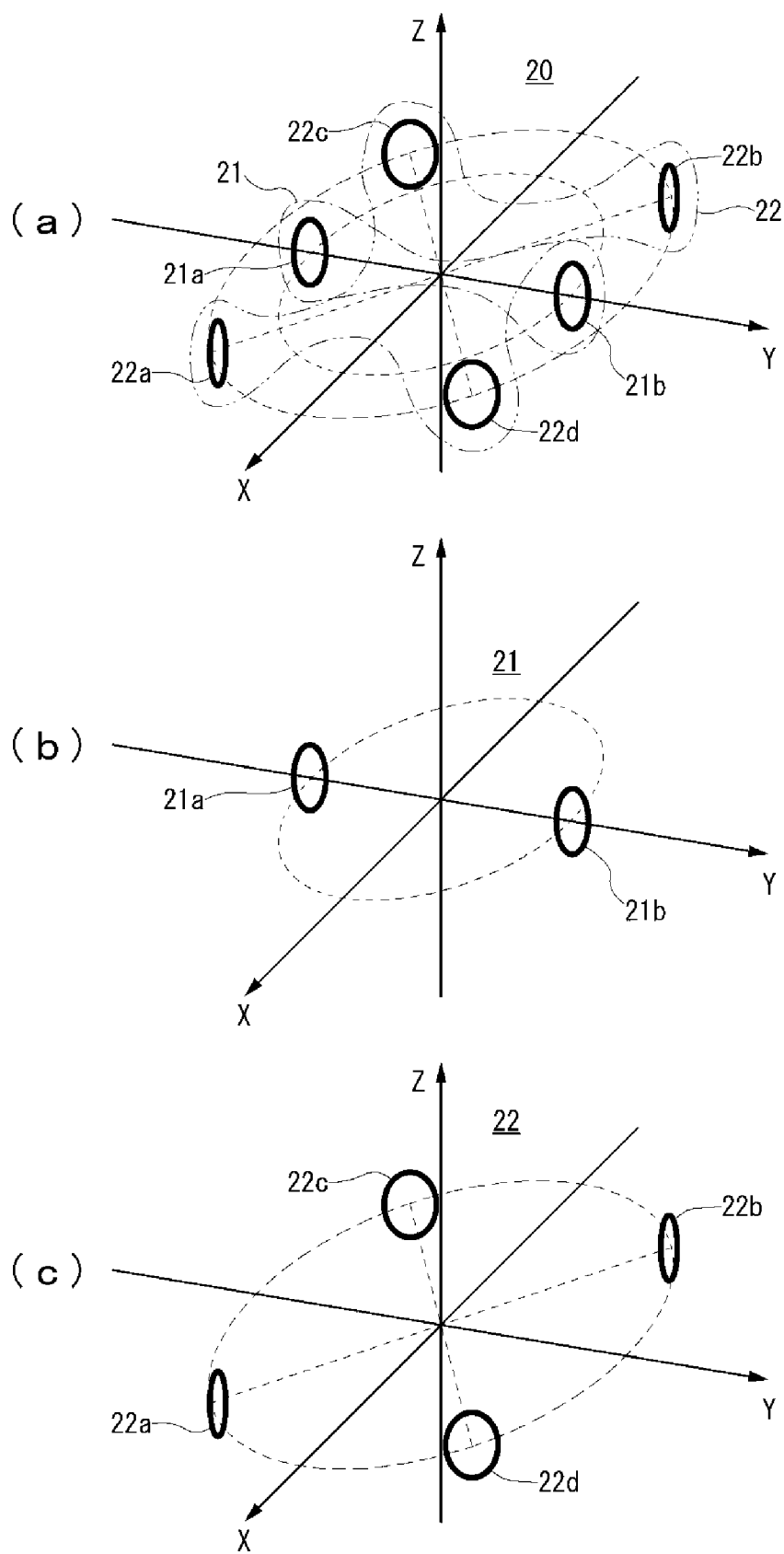


(b)

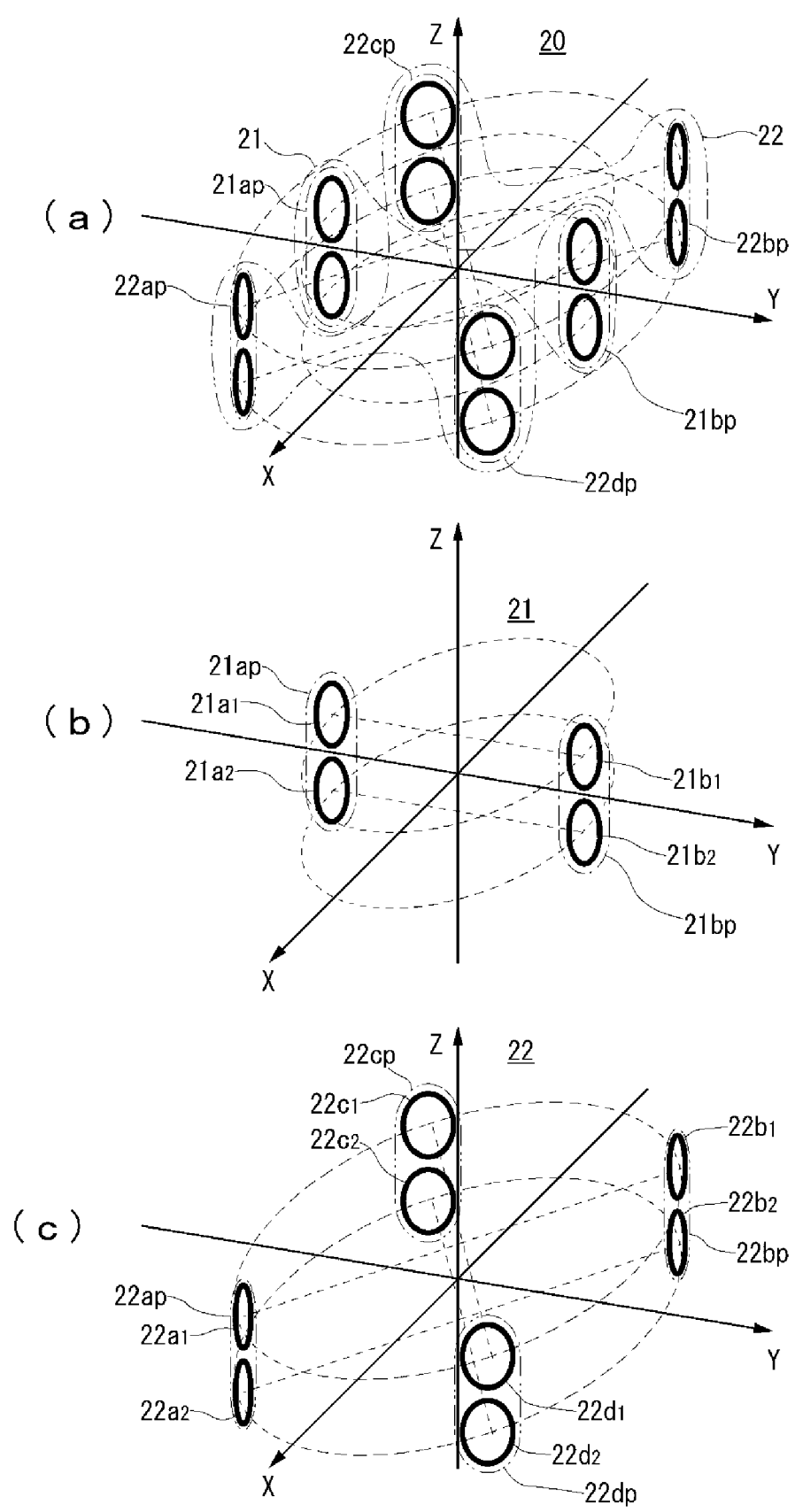


(c)

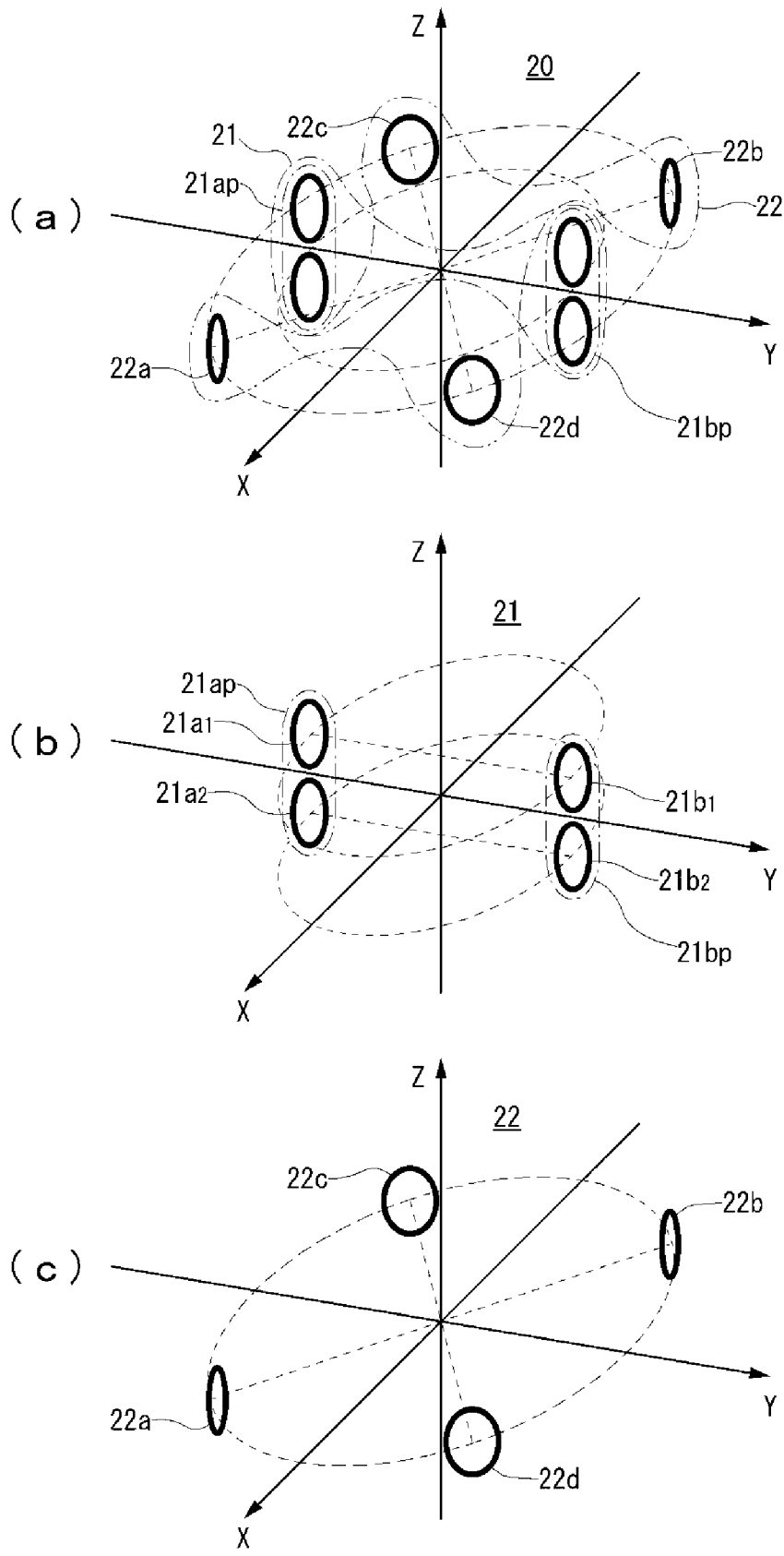
# 第 6 圖



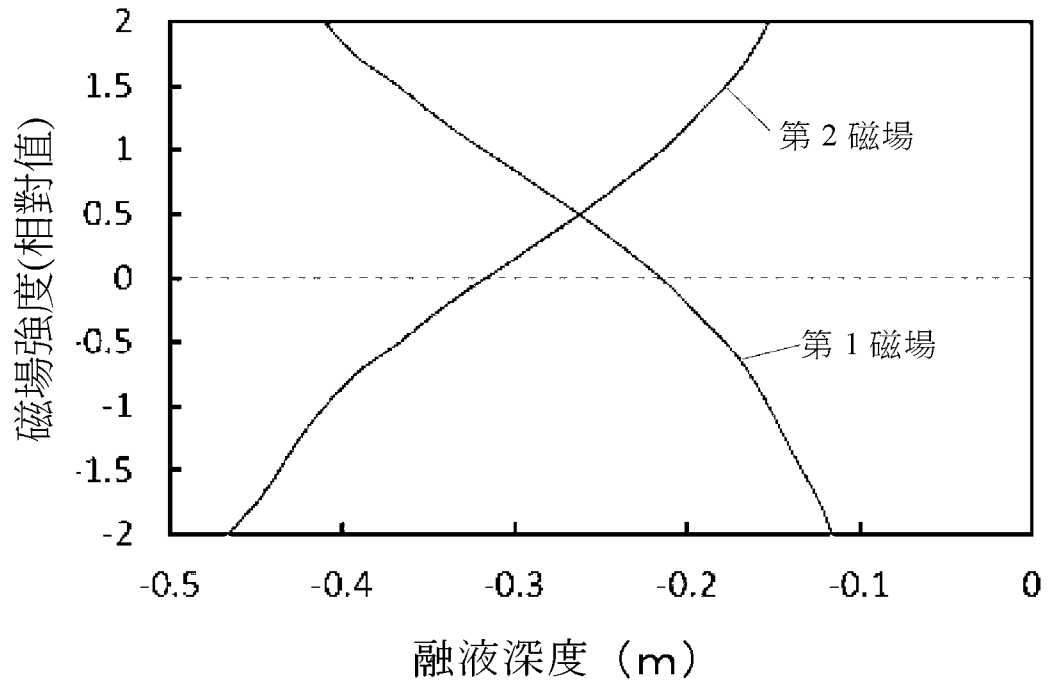
第 7 圖



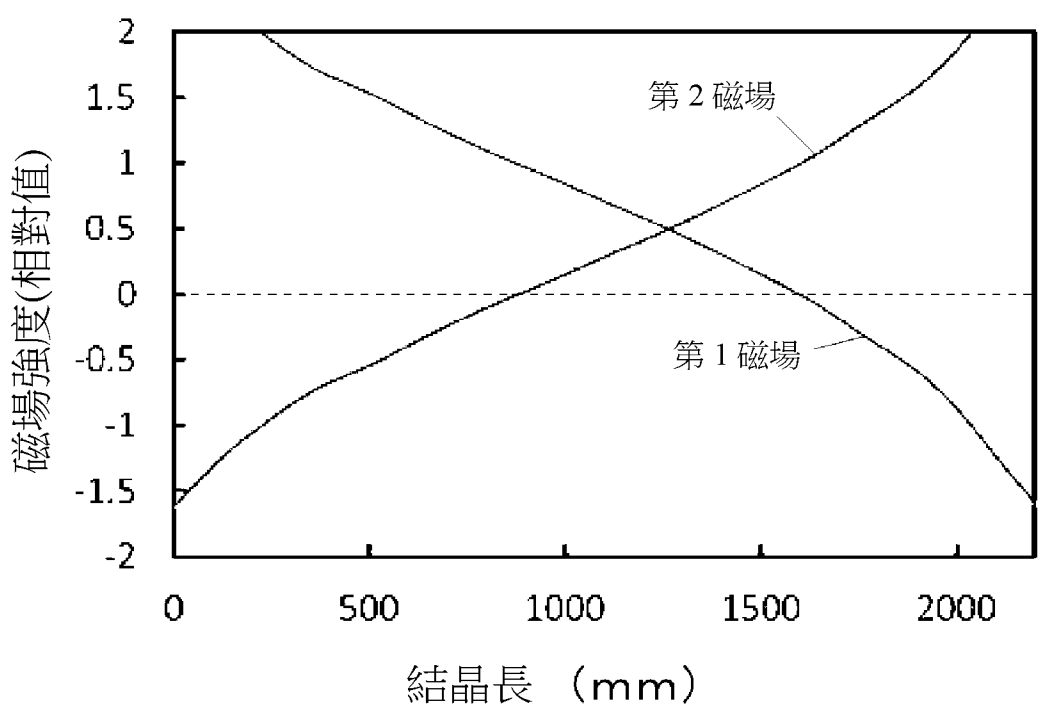
第 8 圖



第 9 圖

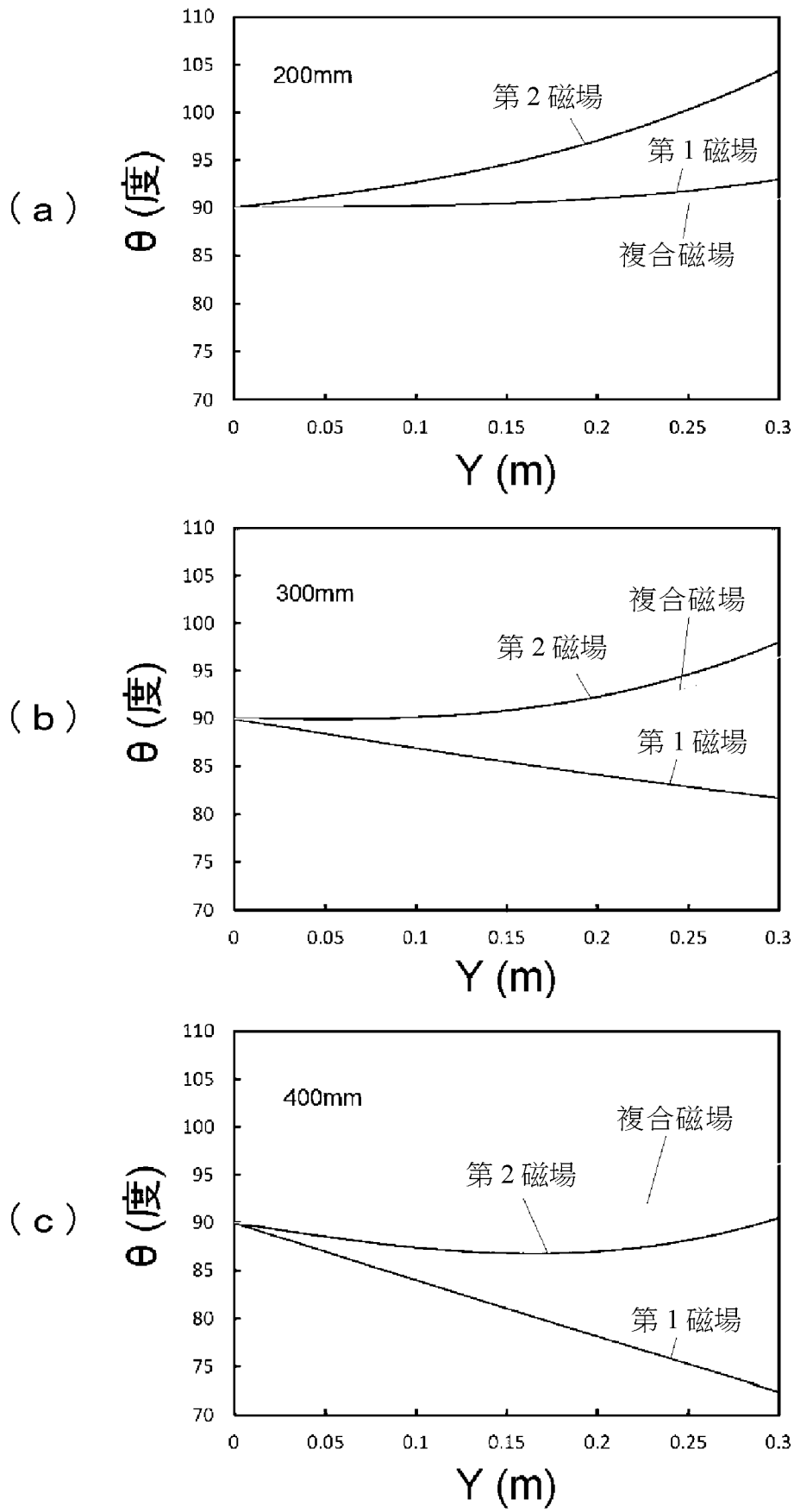


(a)

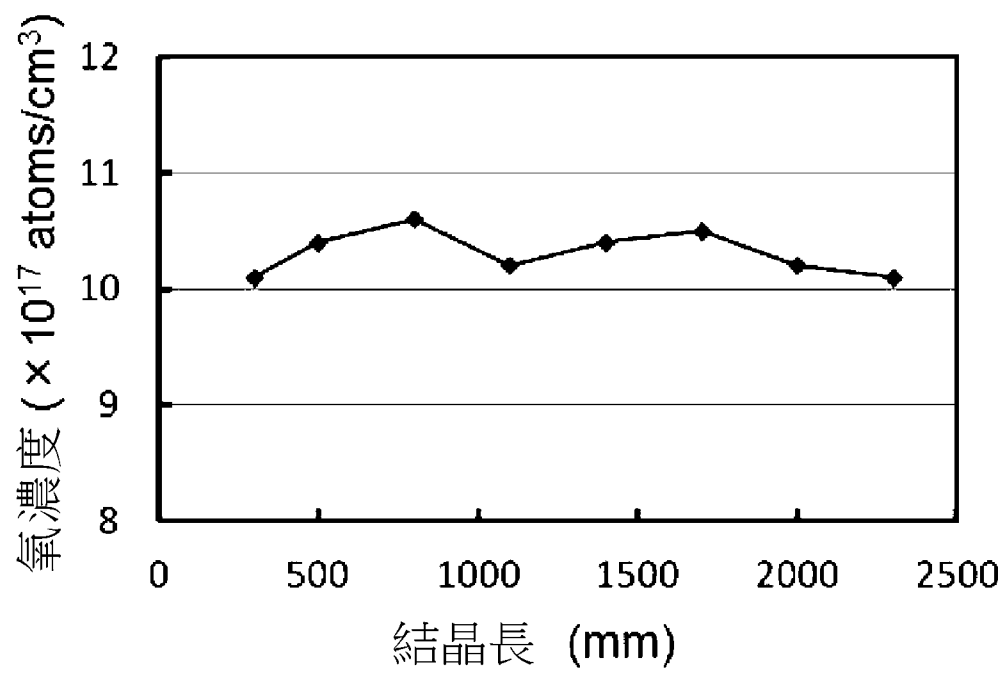


(b)

第 10 圖



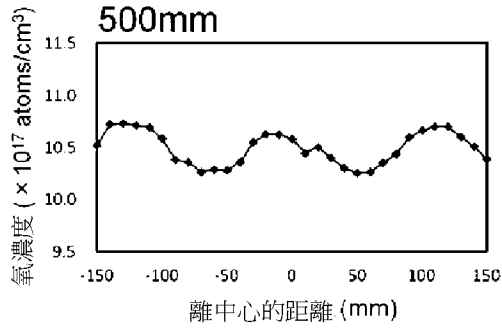
第 11 圖



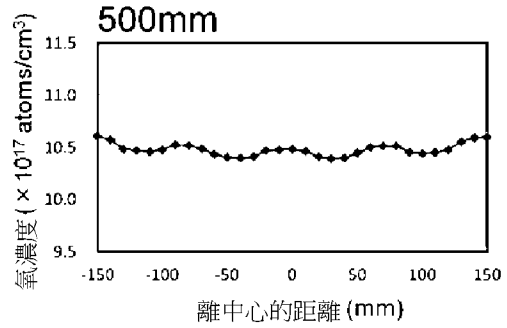
第 12 圖

習知磁場

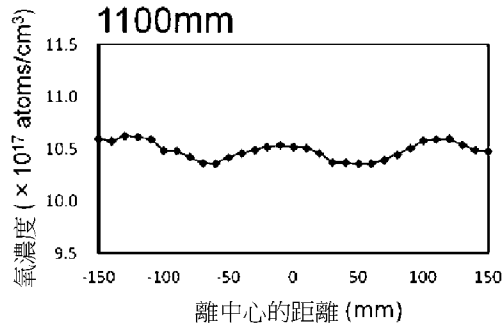
複合磁場



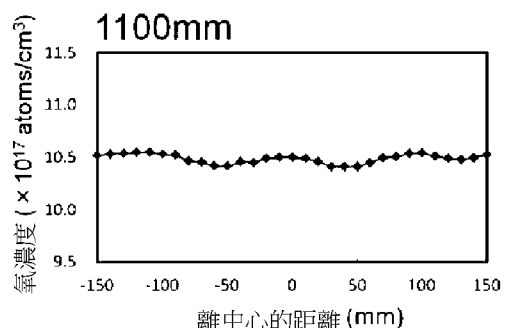
(a)



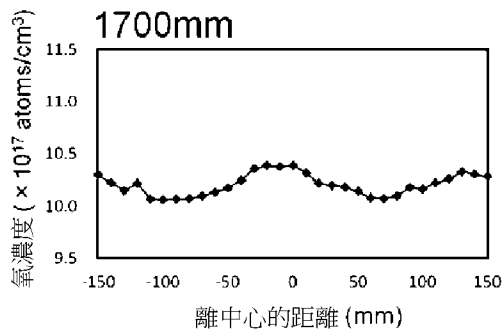
(d)



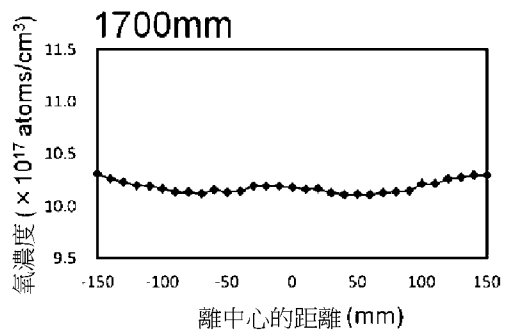
(b)



(e)

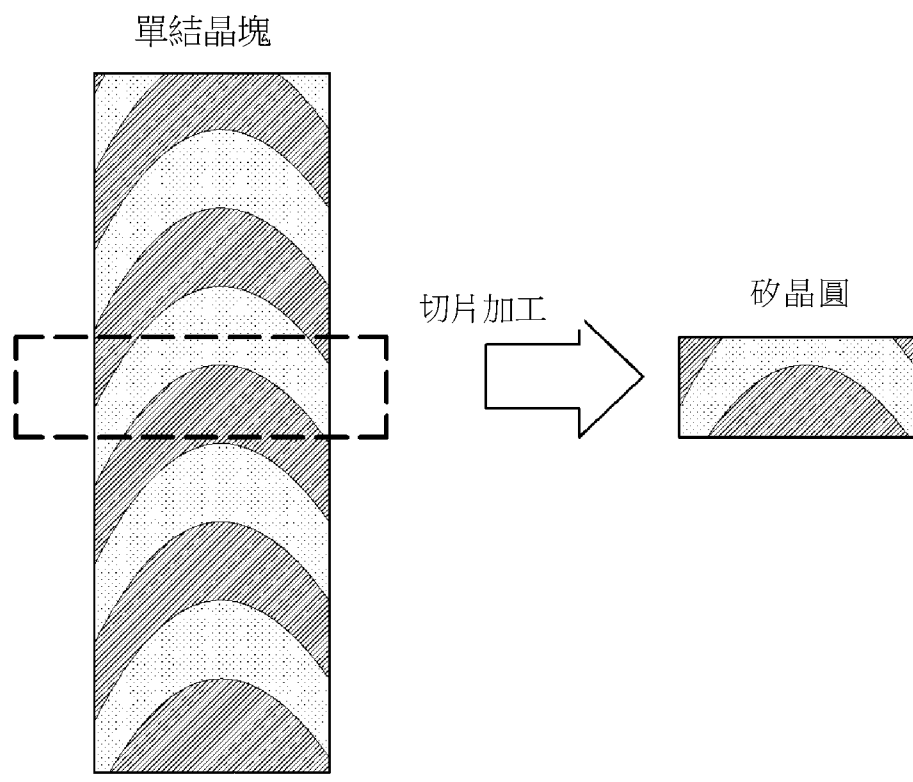


(c)



(f)

第 13 圖



第 14 圖