



(21) 申請案號：107104939

(22) 申請日：中華民國 107 (2018) 年 02 月 12 日

(51) Int. Cl. : C30B13/24 (2006.01)

C30B13/28 (2006.01)

C30B29/06 (2006.01)

(30) 優先權：2017/02/15 德國

102017202413.5

(71) 申請人：德商世創電子材料公司 (德國) SILTRONIC AG (DE)

德國

(72) 發明人：施洛克 湯瑪士 SCHROECK, THOMAS (DE)

(74) 代理人：陳翠華

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：11 項 圖式數：4 共 22 頁

(54) 名稱

藉由 FZ 法提拉單晶的方法和設備

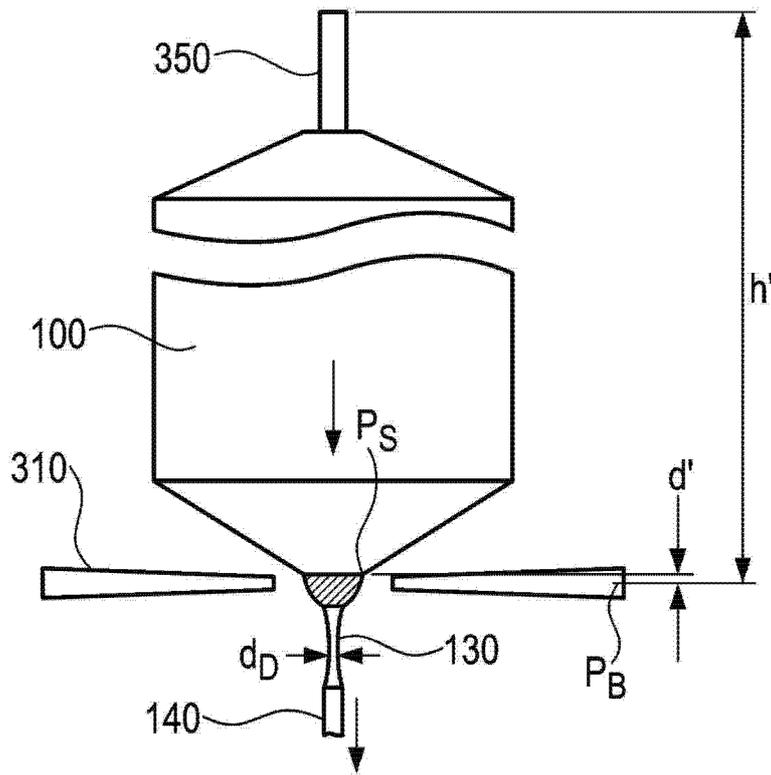
METHOD AND PLANT FOR PULLING A SINGLE CRYSTAL BY THE FZ METHOD

(57) 摘要

本發明關於一種藉由 FZ 法提拉單晶的方法，其中多晶 (100) 藉由電磁熔化裝置被熔化然後再結晶，其中在第一階段中多晶 (100) 的下端藉由熔化裝置熔化；在第二階段中，單晶晶種 (140) 被附著到多晶 (100) 的下端，並且從晶種 (140) 的上端開始熔化；在第三階段中，晶種 (140) 的下部和多晶 (100) 之間形成直徑 (d_D) 小於晶種 (140) 直徑 (d_I) 的細頸部分 (130)；在第四階段中，在細頸部分 (130) 和多晶 (100) 之間形成單晶的錐形部分，其中，在達到第四階段之前，確定多晶 (100) 的轉換位置 (h')，所述轉化位置是多晶 (100) 相對於熔化裝置移動的速率要降低的位置，並且其中在第四階段，多晶 (100) 相對於熔化裝置移動的速率在到達轉換位置 (h') 時被降低，並且本發明還關於一種相應的設備。

The invention relates to a method for pulling a single crystal by the FZ method, in which a polycrystal (100) is melted by means of an electromagnetic melting apparatus and then recrystallized, where in a first phase a lower end of the polycrystal (100) is melted by means of the melting apparatus, where in a second phase a monocrystalline seed (140) is attached to the lower end of the polycrystal (100) and is melted beginning from an upper end of the seed (140), where in a third phase between a lower section of the seed (140) and the polycrystal (100), a thin neck section (130) is formed whose diameter (d_D) is smaller than that (d_I) of the seed (140), where in a fourth phase between the thin neck section (130) and the polycrystal (100), a conical section of the single crystal is formed, wherein, before the fourth phase is reached, a determination is made of a switchover position (h') of the polycrystal (100), being the position at which a rate at which the polycrystal (100) is moved relative to the melting apparatus is to be reduced in amount, and wherein in the fourth phase the rate at which the polycrystal (100) is moved relative to the melting apparatus is reduced in amount when the switchover position (h') is reached and also to a corresponding plant.

指定代表圖：



第3e圖

符號簡單說明：

100 . . . 多晶

130 . . . 細頸部分

140 . . . 晶種

310 . . . 電感器/電感線圈

350 . . . 下降或提拉裝置

d' . . . 距離

h' . . . 轉換位置/距離

d_D . . . 直徑

P_B . . . 參考點

P_S . . . 基底/位置

【發明說明書】

【中文發明名稱】 藉由FZ法提拉單晶的方法和設備

【英文發明名稱】 METHOD AND PLANT FOR PULLING A SINGLE
CRYSTAL BY THE FZ METHOD

【技術領域】

【0001】 本發明關於一種藉由FZ法提拉單晶的方法，其中多晶藉由電磁熔化裝置被熔化然後再結晶，並且還關於一種相應的設備。

【先前技術】

【0002】 在藉由FZ法（所謂的浮區法或區域熔融法）提拉單晶，尤其是半導體材料的單晶時，可以生成高純度的單晶。在該方法中，多晶，換句話更具體地說是由多晶半導體材料製成的晶體，被熔化，然後再結晶。

【0003】 在這樣的方法中，例如在專利WO2014/033212A1中所描述的，可以區分為不同的階段。在這種情況下首先將多晶熔化，然後在單晶晶種上再結晶。

【0004】 這裡所要製造的單晶的直徑在所謂的細頸部分中從大約晶種的直徑開始減小，隨後在錐形部分中擴大到所需的直徑。然後可以使直徑保持恆定，以得到例如棒狀形式的單晶。

【0005】 已知例如專利JP 4 016 363 B2是在FZ法中使用四個不同的照相機來記錄多晶、附著於其上的晶種以及位於它們之間的液體或熔融材料的不同區域。根據這些記錄，不僅確定了多晶和單晶的直徑，還確定了液體或熔融材料的區域（region/ zone）的高度，也被稱為區域高度。

【0006】 在此種方法中，可以確定多晶的外邊緣處的下緣與晶種部分上液體材料與固體材料之間的下邊界之間的距離。基於這些測定，可以執行各種調節操作。

【0007】 在多晶的錐形部分待熔化的階段，通常需要降低（有時大幅降低）多晶相對於熔化裝置移動的速率。這種方式可以熔化必要量的材料。然而如上所述，使用距離來確定多晶的速率要發生降低的位置是不可能的或者是困難的。

【0008】 因此，在此背景下，本發明的目的在於提供一種更簡單和／或更精確的方法用於調整多晶速率要降低的位置，從而特別使得操作能夠自動化。

【發明內容】

【0009】 根據本發明提出了一種用於提拉單晶的方法和設備，其具有獨立請求項所述的特徵。有利的實施態樣在附屬請求項以及下文的描述中進行討論。

【0010】 本發明的出發點是一種藉由FZ法提拉單晶的方法，其中多晶藉由電磁熔化裝置被熔化然後再結晶。適用於多晶因此也適用於此處待製造的單晶的材料特別是半導體材料，較佳是矽。應理解的是，該材料還可以包括某些雜質或摻雜劑。

【0011】 在第一階段中，多晶通常形狀為具有例如160 毫米直徑的棒狀，首先藉由熔化裝置從下端開始熔化（在棒狀多晶垂直沉積的情形中係關於重力的關係而從下端開始熔化）。這裡所考慮的熔化裝置特別是電感器或電感線圈。在這種情況下，藉由射頻激發，電磁能量可以被耦合到被帶到電感器附近中的多晶中。

【0012】 在上述的第一階段中，多晶在其下端通常是錐形的（可具有淺的下部），可以將其下降並帶至電感器中的中心孔。為了使耦合到多晶中的電磁能量的最大化，讓多晶的下端到達孔的邊緣是有用的。然後具有最初形成液滴懸掛在多晶上的材料的多晶在下端開始熔化。

【0013】 然後，在第二階段中，單晶晶種，特別是同樣為棒狀並且具有例如約4至7毫米的直徑，被附著到多晶的下端，因此附著到所述液滴上，然後從晶種的上端開始熔化。晶種的熔化一般只在其溫度已經自己調節到已經成液體的材料的溫度之後才開始。晶種可以在其長度的特定區域內有效地熔化，該長度例如可以是5至20毫米。然而，應該理解的是，其下端的特定區域不被熔化，因為該區域需要固定於提拉裝置中。為了熔化晶種，晶種和多晶被向上移動。這意謂，例如，晶種沿著電感器的孔的方向移動。在此過程中，在多晶的下端形成初始晶種。在該情形下，初始晶種是多晶下端的區域，更具體地是塞子的形狀，晶種隨後附著在該區域上。

【0014】 然後，在第三階段中，在晶種的下部（在該位置可以將晶種固定在例如上述的提拉裝置中）與多晶（即多晶中仍然是固體且尚未熔化的部分）之間，形成直徑小於晶種直徑的細頸部分。形成該細頸部分是為了消除任何位錯，所述位錯是例如由於將晶種附著到多晶上的液體材料而形成的。這裡細頸部分的直徑可以為例如2至4毫米。為了形成這個細頸部分，晶種和多晶在晶種已如預期熔化之後，可以再次向下移動。此時藉由增加晶種的下降速率，由於質量守恆，液體材料或者隨後結晶的材料的區域直徑減小。

【0015】 在細頸部分之後，可以將單晶的直徑增加到例如約200毫米所期望的直徑，然後保持不變。

【0016】 為此目的，在FZ法的第四階段中，可以在細頸部分和多晶之間形成錐形部分。這種錐形部分用於將直徑從細頸部分的直徑擴大到所需的直

徑。為此目的，一般需要改變晶種（連同在其上已經結晶的材料）和多晶的下降速率來增加直徑。特別是，下降速率減小意謂更多的材料能夠結晶，從而增加直徑。特別是，在該第四階段中，多晶可以一開始以適中的速率，然後以增加的速率，隨後以非常低的速率移動或下降。這種不同的速率是必要的，以便盡可能快地克服任何相界面不均勻存在的階段。尤其是，降低速率（至上述非常低的速率）用於使得足夠的多晶材料連續地熔化，因為這對於錐形部分直徑的增加也是必要的。例如可以從0.5 毫米／分鐘或更高，更具體是0.5至1 毫米／分鐘的速率降低到小於0.5 毫米／分鐘，更具體是0.1至0.5 毫米／分鐘的速率。然而，在降低速率之前和之後，特別是根據速率的目標曲線來移動多晶。

【0017】 根據本發明，在到達第四階段之前確定多晶的轉換位置，即多晶相對於熔化裝置移動的速率要降低的位置。然後，在第四階段，當到達轉換位置時，所述多晶相對於熔化裝置移動的速率相應地被降低。

【0018】 通常在多晶的下端形成所謂的塞子。在新的多晶的情況下，該塞子通常具有平面。然而，如果使用的多晶已經熔化，例如在無論出於何種原因，必須被終止的FZ法中，塞子（在這種情況下，特別是在被終止的方法中，形成為初始晶種）不再具有確定的形狀。特別是，該形狀也可以取決於在終止FZ法的情況下使用的熔化裝置。因此，對於不同的多晶，塞子的形狀和／或其在錐形部分上基底的位置可能不同。相應地，對於不同的多晶，轉換位置也可能不同。

【0019】 因此，因為相應的轉換位置在FZ法的早期階段被確定，更特別是早在第一階段被確定，所以在第四階段中，換句話說，特別是當需要轉換時，可以很容易地降低速率。因此這可以使得控制多晶移動的速率成為可能。無需進行調節。因此特別的是，使該方法的自動化容易得多。

【0020】 為了確定轉換位置，較佳係測量多晶的特徵位置相對於固定參考點的距離，所述固定參考點例如熔化裝置上的設定位置，所述特徵位置位於多晶錐形部分的下端，其中轉換位置係由所述距離確定。該特徵位置特別可以是多晶的錐形部分的傾斜角變化大於預定值的位置。因此這特別包括在多晶下端的所謂的塞子。例如，可以基於多晶的特徵或預定直徑來辨識這樣的位置。因此，這裡所述距離是事先不知道的，並且首先藉由合適的方式測得所述距離，該方式例如為影像處理製程的一部分。

【0021】 關於此距離，基於例如下降或提拉裝置的當前位置，特別是可同步地確定多晶的中間位置，更特別是相對於熔化裝置的中間位置。因此所述中間位置可以是多晶容易測量或輸出的位置（特別是在垂直方向上）。利用特徵位置與熔化裝置的要降低速率的期望距離，特別是近乎理想的距離，其中如果因此降低速率，具有準確量的材料被熔化，因此可例如藉由加或減合適的值（取決於情況）從多晶先前確定的中間位置來確定轉換位置，然後同樣，可例如作為下降或提拉裝置的確定位置。因此可以藉由這種方式確定先前未知的關於整個多晶特徵位置的位置，並且在第四階段期間可以非常簡單地完成速率的降低。

【0022】 或者，為了確定轉換位置，較佳確定多晶的中間位置，該多晶的中間位置係位於多晶錐形部分下端的的多晶的特徵位置，其在多晶移動期間，達到或超過與固定參考點的預定距離，由所述中間位置來確定轉換位置。此處同樣可以從特別是多晶的特徵或預定直徑來辨別特徵位置。如果這樣的話，例如在多晶升高或降低期間，相應地，連續地或重複地捕捉預定距離處的直徑，而多晶的中間位置，特別是相對於熔化裝置的中間位置，例如當特徵位置達到或超過預定距離時，同樣可以被確定為下降或提拉裝置的確定位置。這可例如藉由預定距離的高度處的直徑低於或超過設定值來辨別。藉由在要降低速率

時，增加相應距離，換句話說，此處是校正上述與固定參考點的預定距離以包括與固定參考點的期望距離，從而可以非常容易地確定轉換位置。

【0023】 因此，透過這兩個變體，可以確定中間位置，並且可以用來確定轉換位置。而在第一個變體的情況下，（例如，在適當的時間點）可以容易地測量特徵位置與參考點的距離，在第二個變體的情況下，可以說是，與參考點的距離是預先確定的，然後監測這個距離直到特徵位置在多晶移動期間到達或經過該距離。取決於具體情況，其中一個變體或另一個變體可能是更簡單和／或更有利。

【0024】 多晶的特徵位置較佳使用照相機捕獲，該照相機特別設置在熔化裝置上方。這使得確定或捕獲距離特別容易。例如，藉由照相機，可以非常容易地辨識明／暗差異或明／暗轉變，因此也可以有效地捕獲傾斜角度的改變，由於傾斜角度的改變，晶體上的反射出現變化。

【0025】 有利的是，轉換位置在第一階段和／或第二階段中確定，換句話說，例如也在從第一階段到第二階段的過渡期間確定。此處可以特別佳地確定轉換位置，因為例如藉由照相機可以很好地觀察用於確定直徑的上述位置。

【0026】 本發明的另一主題是用於實施本發明的方法的設備。用於此目的的設備特別可以包含例如已經多次提到的那種熔化裝置，以及合適的運算單元。所述運算單元可以相應地安裝以實施各個方法步驟，並且例如也相應地驅動照相機並評估它們的圖像。

【0027】 為了避免重複，可以另外參考上述關於本發明的方法、進一步的實施態樣以及該設備的優點的闡述。

【0028】 從說明書和附圖中可以明顯的看出本發明的其它優點和實施態樣。

【0029】 可以理解的是，在不脫離本發明的範圍的情況下，上述特徵以及下文中將要進行闡述的特徵不僅可以用於所示出的特定組合，而且可以用於其它組合或獨立來使用。

【0030】 在附圖中藉由例示性實施態樣示意性地闡述了本發明，並且在下面參照附圖進行描述。

【圖式簡單說明】

【0031】

第 1a 圖示意性地示出了多晶和可以實施本發明的方法的熔化裝置。

第 1b 圖示出了第 1a 圖的熔化裝置的不同的視圖。

第 2 圖示出了多晶下端的不同形狀。

第 3a 至 3g 圖示意性地示出了一個較佳實施態樣中本發明的方法的不同階段。

第 4 圖示出了一個較佳實施態樣中本發明的方法的時間順序。

【實施方式】

【0032】 在第1a圖中藉由側視圖示意性地示出了多晶100和可以實施本發明的方法的熔化裝置300。這裡的熔化裝置300具有電感器或電感線圈310，所述電感器或電感線圈可以例如藉由經由相應的線路連接的驅動單元320以射頻相應地驅動或操作。

【0033】 熔化裝置300可以用於提拉單晶的設備的一部分。這種設備也可以具有用於電感器310、多晶100以及照相機351、352和353的相應的固定裝置。此外，這種設備可以具有用於控制其它元件的運算單元（未示出）。

【0034】 多晶100，特別是可含有矽或由矽組成，其主要是棒狀或圓柱狀。在這裡僅示出一部分的棒狀或圓柱狀區域中，多晶100的直徑 d_p 例如可以是

160 毫米。然而，在其下端，多晶100是圓錐形的，因此具有錐形部分110。此外可以看出，錐形部分110在其下端可以具有所謂的塞子111，該情況下該塞子111具有平底。

【0035】 還可以看到晶種140，其直徑 d_1 可以是例如4至7 毫米。所述晶種包含單晶，所述單晶同樣可以是具有棒狀或圓柱狀的形式。

【0036】 第1b圖中示出的是第1a圖中的熔化裝置300的不同視圖，在此情況下是平面圖，但是不含多晶100。此處明顯可見的是電感器310中間的凹部或孔，多晶在熔化操作過程中被引導經過該凹部或孔，然後處於液化狀態。

【0037】 此處特別可見的是主要槽311以及三個輔助槽312，其有利於實現熔化裝置的功能，更特別是用於產生電磁能。可看出，由於主要槽311，電感器不閉合。

【0038】 第2圖之上部分再次示出了第1a圖中的具有錐形部分110和塞子111的多晶100的下端。為了比較，第2圖之下部分另外示出的是尚未被加工而是來自於例如未完成熔化操作的多晶的下端或錐形部分。在這種情況下，可以看出，錐形部分110'和塞子111'的形狀略有不同。

【0039】 這種不同的形狀是由於熔化和再次凝固產生的。在這種情況下，特別地，塞子的基底 P_s 可能已經移動到了多晶的特徵位置。然而，如果多晶的速率降低，則為了使轉移到要成形的錐形部分的品質最優，應精確地保持該位置或基底 P_s 與熔化裝置300的確定距離。

【0040】 第3a至3g圖示意性地示出了在一個較佳實施態樣中本發明的方法的不同階段。下面將參照第3a至3g圖以及第4圖更詳細地說明該方法的過程，第4圖顯示了在時間 t 內各個階段中多晶的速率 V_P 和晶種的速率 V_I 。

【0041】 在第一階段 P_1 中，多晶100首先被帶到電感器310或其中心的凹部。為此，例如，多晶以恆定的速率下降。這裡晶種140還不需要移動。與這

裡所示的方向相反，多晶100也可以被帶到更靠近電感器310的內邊緣處，以使得電磁能更有效地耦合到多晶100中。

【0042】 多晶100於是在其下端開始熔化，因此具有錐形部分的下端。在這種情況下，如第3a圖所示，形成從多晶懸垂的液體材料液滴120。在此處和下面的圖中，液體材料用陰影線表示，而固體材料用白色表示或者不含陰影線。

【0043】 在該第一階段 P_1 中，可以確定多晶100的轉換位置，即多晶100相對於熔化裝置300移動的速率要降低的位置。關於轉換位置，這裡也可以參考第3e圖。

【0044】 在這方面，在所示的實施例中，測量多晶的特徵位置 P_s 相對於固定參考點 P_B 的距離 d ， P_s 位於多晶100的錐形部分的底端，在該情況下為（部分熔化的）塞子的基底，因而也是液滴120的基底，所述固定參考點在這裡例如對應電感器310上的確定位置。這可以使用第1a圖中所示的照相機之一，更特別是照相機351或353來完成。特別是可以用其特徵直徑辨識位置 P_s 。

【0045】 此外，確定多晶100相對於熔化裝置300的中間位置。在所示的實施例中，該中間位置對應於可以移動多晶100的下降或提拉裝置350上的確定位置與固定參考點 P_B 的距離 h 。應該理解的是，這種距離 h 也可以相對於任何所期望的替代參考點來確定。應特別注意的是，通常，可以藉由下降或提拉裝置350本身輸出多晶（相對於固定安裝的下降或提拉裝置）的當前位置。

【0046】 從該中間位置或這距離 h 可以確定轉換位置 h' ，轉換位置，即例如位置 P_s 與固定參考點 P_B 具有確定的距離 d' 的位置。從第3a圖可以看出，這種轉換位置可以很容易地從該中間位置或距離 h 確定。

【0047】 除了測量距離 d 之外，還可以如上所述，事先設定距離 d ，然後監測該設定距離，直到位置 P_s 達到或超過該距離。應該理解的是，這只是為了

容易理解，在圖中，二個距離，即確定的相對於所述位置的距離，以及預先確定和監測的距離是相同的。

【0048】 在第二階段 P_2 中，晶種140被附著到多晶100的下端，並因此附著到液體材料液滴120上，如第3b圖所示，並且從晶種140的上端開始熔化。為此，晶種首先例如以確定的速率向多晶100移動，換言之向上移動，同時多晶100可以保持靜止。在這種情況下，晶種140通常只有在其溫度與已經成液體材料的溫度相同之後才開始熔化。

【0049】 當晶種140附著到多晶100下端的液體材料滴並已經與其一起熔化時，多晶100和晶種140一同向上移動，如第3c圖所示。在這種情況下，初始晶種141也在多晶100的下端形成。藉由晶種沿著電感器310中孔的方向移動，晶種可以在其長度，例如5至20 毫米的一定範圍內熔化。

【0050】 然而，應該理解的是，晶種140下端的特定區域將不熔化，因為需要這個區域用於固定到提拉裝置（作為上述設備的一部分）上。

【0051】 在第三階段 P_3 中，在晶種140的下部和多晶100（即多晶中仍然是固體尚未熔化的部分）之間形成細頸部分130，所述細頸部分的直徑 d_b 為例如2至4 毫米，小於晶種140的直徑。為此目的，多晶100和晶種140首先同步向下移動，即以相同的速率移動。

【0052】 然後，晶種140的下降速率在某一時間點相對於多晶100的下降速率增加。因此，由於質量守恆，液體材料或然後結晶的材料的區域直徑減小。例如，在第3d圖中，已經形成具有一定長度的細頸部分。

【0053】 在第四階段 P_4 中，在細頸部分和多晶100之間可能形成錐形部分135，如第3e和3f圖所示。這種錐形部分135用於將直徑從細頸部分的直徑擴大到所要製造的單晶150的所需直徑 d_e ，例如200 毫米，如第3g圖所示。此處錐形部分具有傾斜角 ϕ 。

【0054】 錐形部分135的形成，即在直徑開始增大時，需要降低多晶100相對於熔化裝置300移動或下降的速率，以便能夠熔化相應量的材料。這從第4圖中P₄階段的最後一次速率變化可以清楚地看到。

【0055】 儘管此處液體和固體材料之間的相界面位於具有大直徑的區域並且在該直徑上大範圍延伸，但之前相界面僅位於初始晶種的相對較窄的區域中。因此，最初需要相對高的速率以快速轉移，而後來相對較低的速率較為理想，以免熔化過量的材料，否則考慮到大範圍的相界面，這樣會使形成近乎理想形狀的錐形帶來困難。

【0056】 速率的降低發生在多晶100位於之前確定的轉換位置h'的時間點。在第3e圖中，與第3a圖中的中間位置或距離h的情況類似，該轉換位置由相對於固定參考點P_B的距離h'表示。因此，當到達該距離h'時，特徵位置P_S與參考點P_B具有預期的距離d'。該距離d'定義了一個接近理想的距離，在所述接近理想的距離處，在預先確定的速率降低發生時，以最大可能的精度熔化多晶100的材料所期望的量，從而形成所期望的錐形部分135。這種速率降低可以很容易地自動化，因為不需要調節。

【符號說明】

【0057】

100	多晶
110, 110'	錐形部分
111, 111'	塞子
120	液滴
130	細頸部分
135	錐形部分
140	晶種

141	初始晶種
150	單晶
300	熔化裝置
310	電感器／電感線圈
311	主要槽
312	輔助槽
320	驅動單元
350	下降或提拉裝置
351~353	照相機
d, d'	距離
h	中間位置／距離
h'	轉換位置／距離
d_E, d_D, d_I, d_P	直徑
$P_1 \sim P_4$	階段
P_B	參考點
P_S	基底／位置
P'_S	基底
t	時間
v	速率
V_P	多晶的速率
V_I	晶種的速率
ϕ	傾斜角



201831739

【發明摘要】**【中文發明名稱】** 藉由FZ法提拉單晶的方法和設備**【英文發明名稱】** METHOD AND PLANT FOR PULLING A SINGLE

CRYSTAL BY THE FZ METHOD

【中文】

本發明關於一種藉由FZ法提拉單晶的方法，其中多晶（100）藉由電磁熔化裝置被熔化然後再結晶，其中在第一階段中多晶（100）的下端藉由熔化裝置熔化；在第二階段中，單晶晶種（140）被附著到多晶（100）的下端，並且從晶種（140）的上端開始熔化；在第三階段中，晶種（140）的下部和多晶（100）之間形成直徑（ d_D ）小於晶種（140）直徑（ d_I ）的細頸部分（130）；在第四階段中，在細頸部分（130）和多晶（100）之間形成單晶的錐形部分，其中，在達到第四階段之前，確定多晶（100）的轉換位置（ h' ），所述轉化位置是多晶（100）相對於熔化裝置移動的速率要降低的位置，並且其中在第四階段，多晶（100）相對於熔化裝置移動的速率在到達轉換位置（ h' ）時被降低，並且本發明還關於一種相應的設備。

【英文】

The invention relates to a method for pulling a single crystal by the FZ method, in which a polycrystal (100) is melted by means of an electromagnetic melting apparatus and then recrystallized, where in a first phase a lower end of the polycrystal (100) is melted by means of the melting apparatus, where in a second phase a monocrystalline seed (140) is attached to the lower end of the polycrystal (100) and is melted beginning from an upper end of the seed (140), where in a third phase between a lower section of the seed (140) and the polycrystal (100), a thin neck section (130) is formed whose

diameter (d_D) is smaller than that (d_I) of the seed (140), where in a fourth phase between the thin neck section (130) and the polycrystal (100), a conical section of the single crystal is formed, wherein, before the fourth phase is reached, a determination is made of a switchover position (h') of the polycrystal (100), being the position at which a rate at which the polycrystal (100) is moved relative to the melting apparatus is to be reduced in amount, and wherein in the fourth phase the rate at which the polycrystal (100) is moved relative to the melting apparatus is reduced in amount when the switchover position (h') is reached and also to a corresponding plant.

【指定代表圖】：第(3e)圖

【代表圖之符號簡單說明】

100	多晶
130	細頸部分
140	晶種
310	電感器／電感線圈
350	下降或提拉裝置
d'	距離
h'	轉換位置／距離
d_D	直徑
P_B	參考點
P_S	基底／位置

【特徵化學式】：無

【發明申請專利範圍】

- 【第1項】一種藉由 FZ 法提拉單晶 (150) 的方法，其中多晶 (100) 藉由電磁熔化裝置 (300) 被熔化然後再結晶，
- 其中在第一階段 (P_1) 中，所述多晶 (100) 的下端藉由所述熔化裝置 (300) 被熔化，
- 在第二階段 (P_2) 中，單晶晶種 (140) 附著到所述多晶 (100) 的下端，並且從晶種 (140) 的上端開始熔化，
- 在第三階段 (P_3) 中，在所述晶種 (140) 的下部與多晶 (100) 之間形成直徑 (d_b) 小於晶種 (140) 直徑 (d_t) 的細頸部分 (130)，以及
- 在第四階段 (P_4) 中，在所述細頸部分 (130) 和多晶 (100) 之間形成單晶的錐形部分 (135)，
- 其中，在到達所述第四階段 (P_4) 之前，確定所述多晶 (100) 的轉換位置 (h')，所述轉換位置是多晶 (100) 相對於熔化裝置 (300) 移動的速率要下降的位置，以及
- 其中在所述第四階段 (P_4) 中，當到達所述轉換位置 (h') 時，多晶 (100) 相對於熔化裝置 (300) 移動的速率降低。
- 【第2項】如請求項 1 所述的方法，其中為了確定所述轉換位置 (h')，測量多晶的特徵位置 (P_s) 相對於固定參考點 (P_B) 的距離 (d)，所述特徵位置位於所述多晶 (100) 的錐形部分 (110) 的下端，並且由所述距離 (d) 確定轉換位置 (h')。
- 【第3項】如請求項 2 所述的方法，其中由所述距離 (d) 確定轉換位置 (h')，除了所述距離 (d) 之外，還確定所述多晶 (100) 的中間位置 (h)，從而由所述中間位置使用所述距離 (d) 來確定轉換位置 (h')。

- 【第4項】 如請求項 1 所述的方法，其中，為了確定所述轉換位置 (h')，確定所述多晶的中間位置 (h)，所述中間位置 (h) 是位於多晶 (100) 的錐形部分 (110) 下端的多晶特徵位置 (P_s)，其在多晶 (100) 的移動期間達到或超過相對於固定參考點 (P_B) 的預定距離 (d)，其中轉換位置 (h') 由所述中間位置 (h) 確定。
- 【第5項】 如請求項 2 至 4 中任一項所述的方法，其中基於所述多晶 (100) 的特徵或預定的直徑來捕獲多晶 (100) 的特徵位置 (P_s)。
- 【第6項】 如請求項 2 至 4 中任一項所述的方法，其中在所述多晶 (100) 的錐形部分 (110) 下端的多晶 (100) 的特徵位置 (P_s) 包含多晶 (100) 的錐形部分的傾斜角度改變超過預定值的位置。
- 【第7項】 如請求項 2 至 4 中任一項所述的方法，其中，使用照相機 (351) 捕獲所述多晶 (100) 的特徵位置 (P_s)，所述照相機特別地設置在所述熔化裝置 (300) 上方。
- 【第8項】 如請求項 1 至 4 中任一項所述的方法，其中，所述轉換位置 (h') 在所述第一階段 (P_1) 和/或第二階段 (P_2) 中確定。
- 【第9項】 如請求項 1 至 4 中任一項所述的方法，其中所述多晶 (100) 相對於熔化裝置 (300) 移動的速率在降低之前為 0.5 毫米/分鐘或更大，更具體是 0.5 至 2 毫米/分鐘，而在降低之後為小於 0.5 毫米/分鐘，更具體是 0.1 至 0.5 毫米/分鐘。
- 【第10項】 如請求項 1 至 4 中任一項所述的方法，其中所述多晶 (100) 相對於熔化裝置 (300) 移動的速率在該速率降低之前和之後，按照預期的速率曲線進行。
- 【第11項】 一種設備，其包含用於藉由 FZ 法提拉單晶 (150) 的熔化裝置 (300)，所述設備被裝備用於實施如請求項 1 至 10 中任一項所述的方法。

