

【發明說明書】

【中文發明名稱】 藉由浮區法提拉單晶的方法及設備

【英文發明名稱】 METHOD AND PLANT FOR PULLING A SINGLE

CRYSTAL BY THE FLOATING ZONE METHOD

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種藉由浮區（floating zone，FZ）法提拉單晶的方法，其中多晶係藉由一電磁熔化裝置被熔化然後再結晶。本發明亦關於一種相應的設備（plant）。

【先前技術】

【0002】 在藉由FZ法即所謂的浮區法或區熔法提拉單晶，尤其是半導體材料的單晶時，可生成高純度的單晶。在該方法中，多晶（換言更具體地是由多晶半導體材料製成的晶體）係被熔化，然後再結晶。

【0003】 在這樣的製程中，例如在專利WO 2014/033212 A1中所描述的，可區分不同的階段。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係在所謂的細頸部分（thin neck section）從大約晶種的直徑開始減小，隨後在錐形部分（conical section）中擴大到所需的直徑。然後可使直徑保持恆定，以便得到例如棒狀單晶。

【0005】 由例如專利JP 4 016 363 B2已知的是在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該等之間的液體或熔融材料的不同區域。根據這些記錄，不僅確定了多晶及單晶的直徑，還確定了液體或熔融材料的區域或區段的高度，其被稱為區段高度。

【0006】 基於這個高度，動態地調節用於熔化多晶的感應線圈的功率，從而特別形成上述細頸部分。也可設定或調節晶種及／或多晶的下降速度。

第 1 頁，共 13 頁(發明說明書)

【0007】 然而，上述方法的缺點是需要許多照相機來捕捉區域，然後由此確定區段高度。

【0008】 因此，在此背景下，本發明的目的在於提供一種更簡單且更精確的調控熔化裝置的功率的方法，從而尤其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及設備，其具有以下所述的特徵：多晶（100）係藉由一電磁熔化裝置（300）被熔化然後再結晶，其中在第一階段（ P_1 ）中，該多晶（100）的下端係藉由熔化裝置（300）被熔化，在第二階段（ P_2 ）中，單晶晶種（140）係附著到該多晶（100）的下端，以及在第三階段（ P_3 ）中，在該晶種（140）的下部與該多晶（100）之間形成直徑（ d_D ）小於該晶種（140）之直徑（ d_1 ）的細頸部分（130），其中在第三階段（ P_3 ）之前，依據在晶種（140）之部分上的液體材料與固體材料之間的下部相介面（lower phase boundary）（ P_U ）的位置而對該熔化裝置（300）的功率至少臨時動態地調節，以及其中在第三階段（ P_3 ）期間，依據在多晶（100）之部分上的液體材料與固體材料之間的上部相介面（upper phase boundary）（ P_O ）的位置而對該熔化裝置的功率至少臨時動態地調節。。

【0010】 有利的實施態樣在下文的描述中進行討論。

【0011】 本發明的出發點是一種藉由FZ法提拉單晶的方法，其中多晶係藉由一電磁熔化裝置被熔化然後再結晶。適用於多晶並因此也適用於在此待製造的單晶的材料係特別為半導體材料，較佳為矽。應該理解的是，該材料還可包含某些雜質或摻雜劑。

【0012】 在第一階段中，多晶（其通常為具有例如160毫米之直徑的棒狀）係首先藉由一熔化裝置，從下端（在棒狀多晶垂直沉積的情形中相對於重力）開始被熔化。這裡考慮的熔化裝置特別是電感器或電感線圈。在這種情況下，借助

於射頻激發（radiofrequency excitation），電磁能量可被耦合到被帶入至電感器附近中的多晶中。

【0013】 在前述的第一階段中，多晶（在其下端通常是錐形的，視需要具有淺的下端部分）可下降並被帶到電感器中的中心孔。為了使耦合到多晶中的電磁能量最大化，有用的是將多晶的下端帶到孔的邊緣。然後，多晶開始在下端熔化，最初形成液體材料的液滴懸掛在多晶上。

【0014】 然後，在第二階段中，單晶晶種（其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，並因此附著到所述液滴上，然後較佳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。晶種可根據需求在其長度的某個區域內熔化，該長度例如可為5至20毫米。然而，應該理解的是，其下端的特定區域係不被熔化，因為該區塊至少部分需要用於固定在提拉裝置中。為了熔化晶種，晶種及多晶係向上移動。這意味著，例如，晶種係沿著電感器中孔的方向移動。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一個區域，更具體地是塞子的形狀，晶種隨後附著在其上。

【0015】 然後，在第三階段中，在晶種的下部（在該位置可將晶種支承在例如前述的提拉裝置中）與多晶（即多晶中仍然是固體尚未熔化的部分）之間，形成其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差排，所述差排例如是由於將晶種附著到多晶上的液體材料而形成。這裡細頸部分的直徑可為例如2至4毫米。為了形成這個細頸部分，晶種及多晶在晶種已如預期熔化後，可再次向下移動。此時藉由增加晶種的下降速度，由於質量守恒，液體材料或者隨後結晶的材料的區段的直徑減小。

【0016】 在細頸部分之後，可將單晶的直徑增加到例如約200毫米的期望值，然後保持不變。這些階段將在稍後更詳細地討論。

【0017】 有關細頸部分的形成，換言之，在第三階段中，隨之產生的問題是，借助於熔化裝置待被耦合到固體材料中的電磁能量僅能很困難地入耦合（incoupled）到材料中小於約4毫米的材料厚度。其原因是感應電流的自由路徑長度變得太短。

【0018】 這又導致更快速的結晶以及下部相介面到電感器的高度及／或距離的相應變化，從而導致直徑的變化，並因此再次導致入耦合能量（incoupled energy）的變化。換言之，電感器與下部相介面之間的距離開始趨於以不受控制的方式振盪。除此之外，入耦合能量或功率的大小通常還取決於其他參數，例如晶種及多晶的初始尺寸，以及熔化裝置或電感器的尺寸與定向。因此，當要求熔化裝置的功率具有特定的值或特定的曲線時，在這種情況下所期望的細頸部分的形成目標幾乎是不可能實現的。因此，二個相介面之間的整體高度，就像在開頭提到的方法中一樣，不是可用於執行有效調節的變數。

【0019】 之後，根據本發明，在第三階段之前，特別是在第二階段期間，依據在晶種之部分上的液體材料與固體材料之間的下部相介面的位置而對熔化裝置的功率至少臨時動態地調節，亦即，根據位置例如隨著時間而適當地改變或調節功率。此外，在第三階段期間，依據在多晶之部分上的液體材料與固體材料之間的上部相介面的位置而對熔化裝置的功率至少臨時動態地調節。

【0020】 在這種情況下有用的是使用各個位置或與其相關的變數作為調節變數，以及相應地使用熔化裝置的功率作為受控變數。適合作為與各個位置相關的變數者較佳是各個相介面到特別是位於熔化裝置上的固定參考點的距離。由於在圓周方向上的相介面通常不是線性的，所以這裡特別合適的是例如在可捕捉範圍上取平均值。在此情況下的參考點可能是不同的或相同的。這使得可容易地捕捉各個相介面的位置，特別是如果整個操作藉由一個或多個照相機所記錄。此處有用的是特別設置在熔化裝置的下方的照相機係用於下部相介面，以及

特別設置在熔化裝置上方的照相機係用於上部相介面。然後，可相應地（自動地）評估由照相機捕捉的圖片，以分別獲得必要的位置或距離。

【0021】 在第二階段的晶種熔化期間，材料的直徑足夠大，因此電磁能量可容易地耦合進來，並且因此所述下部相介面的位置可用作確定熔化裝置功率的良好指標。因此，在晶種（及多晶）位移（特別是在晶種熔化期間升高）的限定速率下，可動態地調節熔化裝置的功率使得，例如，下部相介面的位置或其離參考點的距離係保持很大程度的恆定或遵循預定的曲線。

【0022】 相對地，在形成細頸部分期間，所述下部相介面的位置不再是確定熔化裝置功率的良好指標，因為如上所述，在低直徑處，電磁能量僅僅很差地耦合到材料中，所以結晶速率也急劇變化，因此下部相介面的位置波動非常劇烈。將下部相介面的位置用於調節熔化裝置功率的時間越長，這個效應增加得就越大。

【0023】 相對地，所述上部相介面的位置係用作確定在形成細頸部分期間熔化裝置的功率的良好指標，因為在此時，換言之，在固體多晶的下端處，材料的直徑足夠大，因此電磁能量很好地耦合。換言之，相介面的變化並非不受控制的。

【0024】 因此，這樣不僅在晶種熔化期間，而且在形成細頸部分期間，係可動態地調節熔化裝置的功率。對於不間斷的、精確的功率調節或適應，如果由依據下相介面的位置直接改變為依據上部相介面的位置，則是有用的。對於這種改變的時機，在晶種及／或多晶在垂直方向上移動的速率增加之前的時間點是特別合適的。但是也可考慮在使用二個變數時存在一定的時間重疊，以保持轉換穩定。如果要在晶種熔化之後形成細頸部分，首先需要反轉晶種及多晶的運動方向，即必須讓其下降。此外，為了形成細頸部分，如已經提到的那樣，為了減小直徑，增加速率（更特別是增加下降速率）是必要的。那麼，如果在增加速率之

前，更特別是在增加速率之前立即改變所依據用來調節功率的位置，就不存在因為電磁能量耦合差而錯誤地調節功率的風險。

【0025】 在FZ法的情況下，在第四階段中，可在細頸部分與多晶之間形成錐形部分。這種錐形部分的作用是将直徑從細頸部分的直徑擴大到所需的直徑。然後，在第四階段期間，較佳係依據可用於推導錐形部分的傾斜角或其中的變化的特徵變數（characteristic variable）而對熔化裝置的功率至少臨時動態地調節。作為這種特徵變數，特別考慮的是結晶材料之錐形部分的傾斜角，在固體材料、液體材料與周圍環境之間的三相點處的錐形部分的傾斜角，錐形部分的直徑變化，或在下部相介面處（此時已經位於單晶的錐形部分與液體材料之間）的錐形部分的直徑；在後者的情況下，可能需要調節所使用的調節器結構。借助於這些變數中的每一個作為依據來調節功率，都可得到期望的錐體形式，換言之特別是期望的傾斜角。應該理解的是，為了增加直徑，也必須改變晶種（連同已經在其上結晶的材料）及多晶的下降速率。特別是，下降速率的降低意味著更多的材料能夠結晶，因此增加了直徑。

【0026】 如同從下部相介面位置變化到上部相介面位置的情況，此處從依據上部相介面的位置直接改變為依據特徵變數也是有利的。藉由這種方式，可實現不間斷的功率調節。然而這裡也可想到的是一定的時間重疊，在此期間功率係依據上部相介面的位置並依據特徵變數來調節。

【0027】 對於這種改變的時機，特別考慮的時間點是在該時間點之後只能以小於預先設定的精度才能夠識別上部相介面的位置。在錐形部分的形成過程中，被熔化的多晶的直徑越來越大，意味著必須有越來越多的多晶材料被熔化。在這種情況下，上部相介面，即固體與液體矽之間的介面變得更不清晰，並且因此在某個時間點，不可能再以足夠的精度確定該介面，從而以此為基礎調節熔化裝置的功率。

【0028】 如果使用特別設置在熔化裝置下方的照相機來確定特徵變數，也是有用的。為此目的，特別可使用已經用來捕捉下部相介面的照相機。然後可相應地（自動）評估照相機捕捉的圖像，以獲得必要的變數。

【0029】 本發明的另一主題是被裝備而用於實施本發明方法的設備。用於此目的的設備尤其可包括例如已經多次提到的那種熔化裝置，以及合適的運算單元（arithmetic unit）。所述運算單元可相應地裝備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其圖像。

【0030】 為了避免重複，關於進一步的實施態樣以及該設備的優點可另外參考上述關於本發明方法的闡述。

【0031】 從說明書及附圖中可明顯的看出本發明的其他優點及實施態樣。

【0032】 可理解的是，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用於所示出的特定組合，也可用於其他組合或獨立來使用。

【0033】 在附圖中藉由示例性實施態樣示意性地闡述了本發明，並且在下文中參照附圖進行描述。

【圖式簡單說明】

【0034】

第 1 圖示意性地示出了多晶及可實施本發明方法的熔化裝置。

第 2 圖以不同的視圖示出了第 1 圖的熔化裝置。

第 3a 圖至第 3f 圖示意性地示出了在一個較佳實施態樣中本發明方法的不同階段。

第 4 圖示出了在一個較佳實施態樣中本發明方法的時間順序。

第 5 圖示出了將電磁能量入耦合到半導體材料中的示意圖。

【實施方式】

【0035】 在第1圖中藉由側視圖示意性地示出了多晶100及可實施本發明方法的熔化裝置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例如藉由經相應的線路連接的驅動單元320而用射頻相應地驅動或操作。

【0036】 在這種情況下，熔化裝置300可為用於提拉單晶的設備的一部分。然後，這種設備也可具有用於電感器310，單晶100以及照相機351、352與353的相應支承裝置。此外，這種設備可具有用於控制其他元件的運算單元（未示出）。

【0037】 多晶100，特別是可含有矽或由矽組成，主要是棒狀或圓柱狀的。在這裡僅展示了一部分的棒狀或圓柱狀區域中，多晶100的直徑 d_p 例如可為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。此外可看出，錐形部分110在其下端可具有淺端。

【0038】 如果多晶沒有被加工，而是例如來自未完成的熔化操作，則該下端也可具有不同的形狀。此外，可看到晶種140，其直徑 d_i 例如可為4至7毫米。晶種是單晶，其同樣也可為棒狀或圓柱狀的。

【0039】 在第2圖中以不同視圖示出第1圖中的熔化裝置300，在這種情況下是平面圖，但是沒有多晶100。然後，在此明顯可見的是電感器310中間的凹部（recess）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。

【0040】 然後，這裡特別可見的是主要槽（primary slot）311以及三個輔助槽（ancillary slot）312，其對熔化裝置的功能而言是需要的，更特別是對產生電磁能量而言。可看出，由於主要槽311，電感器係不閉合。

【0041】 然後，第3a圖至第3f圖示意性地示出了在一個較佳實施態樣中本發明方法的不同階段。下文將參照第3a圖至第3f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 及晶種的速率 v_i 。

【0042】 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，多晶係以恆定的速率下降。這裡晶種140還不需要移動。與這裡所示的定向相反，多晶100也可被帶到更靠近電感器310的內邊緣處，以使得電磁能量更有效地耦合到多晶100中。

【0043】 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的液滴120。在此處及以下的圖中，液體材料係用陰影線（hatching）表示，而固體材料係用白色表示或者不含陰影線。

【0044】 在第二階段 P_2 中，如第3b圖所示，晶種140被附著到多晶100的下端，並因此附著到液體材料的液滴120上，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的材料的溫度相同之後才開始熔化。

【0045】 當晶種140附著到多晶100下端的液體材料的液滴並已經與其一起熔化時，多晶100及晶種140係共同向上移動，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中的孔的方向移動，晶種可在其長度，例如5至20毫米之間的一定範圍內熔化。

【0046】 然而，應該理解的是，晶種140下端的某個區域將不會熔化，因為需要這個部分用於緊固在提拉裝置（作為上述設備的一部分）中。

【0047】 這裡，在第二階段 P_2 期間，依據下部相介面 P_U 的位置而動態地調節熔化裝置300的功率。如在第3b圖及第3c圖中可看出的，該下部相介面 P_U 係被規定為在晶種140之部分上的液體材料與固體材料之間的相介面。

【0048】 那麼特別地，在此可確定下部相介面 P_U 相對於固定參考點的位置，以便更容易地捕捉下部相介面 P_U 的任何變化。在第3c圖中，作為例子，在電

感器310上的點 P_B 被選擇為固定參考點。為了該目的，下部相介面 P_U 及參考點 P_B 都可藉由照相機352來捕捉，如第1圖所示。然後，從這些測量中可確定（下部）距離 h_U 。應該理解的是，也可使用不同的參考點，在這種情況下，應該注意確保同樣可相應地捕捉該參考點。

【0049】 這個（下部）距離 h_U 可用作調節變數，而熔化裝置300的功率相應地用作受控變數。從第3c圖可看出，在第二階段 P_2 期間可容易地捕捉下部相介面。

【0050】 然後，在第三階段 P_3 中，在晶種140的下部及多晶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，其直徑 d_b 例如為2至4毫米，小於晶種140的直徑。為此目的，多晶100及晶種140係首先同時向下移動，即以相同的速率移動。

【0051】 然後，晶種140的下降速率係在某一時間點相對於多晶100的下降速率而增加。因此，由於質量守恒，液體材料或接著結晶的材料區段的直徑係減小。例如，在第3d圖中，已經形成具有一定長度的細頸部分130。

【0052】 有關形成細頸部分130隨之而來的問題是，只能很困難地借助於熔化裝置300將待耦合到固體及／或液體材料中的電磁能量耦合到材料中低於約4毫米的厚度。

【0053】 在第5圖中，展示了與此有關的將電磁能量耦合到半導體材料中的圖。在該圖中，相對於半導體材料的直徑 d （單位為毫米），入耦合能量 E 的一部分被繪製為所提供的總能量 E_{max} 的比例。從曲線的形狀可清楚地看出，從5毫米，更特別是從4毫米開始，入耦合能量的該部分變得越來越小。

【0054】 因此，假定熔化裝置具有預先設定的功率，一旦材料的直徑降到一定值以下，則耦合到固體材料中的能量係降低。這又導致更快速的結晶，以及

相介面至電感器的高度及／或距離的相應改變，從而導致直徑的改變，並且因此再次導致入耦合能量的改變。

【0055】 此外，入耦合能量或功率的大小通常還取決於其他參數，例如晶種140及多晶100的初始尺寸以及熔化裝置300或電感器310的尺寸與定向。因此，當熔化裝置的功率要求特定的值或特定的曲線時，在這種情況下形成所需的細頸部分幾乎是不可能的。

【0056】 在第二階段中，下部相介面 P_U 或其位置仍然是確定熔化裝置300的功率的良好指標，但是在第三階段中，更特別是，一旦存在細頸部分130後就不再是這種情況。由於電磁能量入耦合不良，結晶速率也急劇變化，因此下部相介面位置波動非常劇烈。下部相介面 P_U 的位置用於調節熔化裝置300的功率的時間越長，該效應增加就越大。

【0057】 因此，在第三階段中，如第3b圖及第3d圖所示，係使用上部相介面 P_O 及／或其位置來確定功率。這裡又可使用距離，在當前的情況下是到參考點 P_B （或者到另一個參考點）的（上部）距離 h_o 。

【0058】 如第1圖所示，為此目的不僅上部相介面 P_O 且還有參考點 P_B 都可藉由照相機351捕捉。從這些資料可確定（上部）距離 h_o 。可理解，還可使用不同的參考點，在這種情況下，應該注意確保同樣可相應地捕捉該參考點。

【0059】 較佳在晶種140的下降速率相對於多晶100的下降速率有增加之前可改變用於調節的位置或相介面。

【0060】 然後，在第四階段 P_4 中，在細頸部分與多晶100之間可能形成錐形部分135，如第3e圖所示。這種錐形部分135係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3f圖所示。

【0061】 在第四階段 P_4 期間，可依據錐形部分135的傾斜角 φ 而動態地調節熔化裝置300的功率。此處也可使用在固體材料、液體材料與周圍環境之間的三相點處的傾斜角來代替傾斜角 φ 。然而，如已經提到的那樣，也可考慮其他變數。

【0062】 相應地可實現所需的錐體形狀，換言之特別是所需的傾斜角。例如，同樣可用照相機352來捕捉傾斜角。當單晶150的期望直徑 d_E 已經達到時，功率的調節可轉換為常規方法。

【符號說明】

【0063】

100：多晶

110、135：錐形部分

120：液滴

130：細頸部分

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

351、352、353：照相機

d_D 、 d_E 、 d_l 、 d_p ：直徑

h_0 、 h_U ：距離

P_B ：參考點

P_O ：上部相介面

P_U ：下部相介面

P_1 ：第一階段

P_2 ：第二階段

P_3 ：第三階段

P_4 ：第四階段

v_P 、 v_I ：速率

ϕ ：傾斜角



I650448

【發明摘要】

【中文發明名稱】 藉由浮區法提拉單晶的方法及設備

【英文發明名稱】 METHOD AND PLANT FOR PULLING A SINGLE

CRYSTAL BY THE FLOATING ZONE METHOD

【中文】

本發明係關於一種藉由FZ法提拉單晶的方法，其中多晶（100）係藉由一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）的下端係藉由熔化裝置被熔化；在第二階段中，單晶晶種（140）被附著到多晶（100）的下端；在第三階段中，在晶種（140）的下部與多晶（100）之間形成直徑小於晶種（140）之直徑的細頸部分，其中在第三階段之前依據在晶種（140）之部分上的液體材料與固體材料之間的下部相介面（ P_U ）的位置而對所述熔化裝置（300）的功率至少臨時動態地調節，以及在第三階段期間依據在多晶（100）之部分上的液體材料與固體材料之間的上部相介面（ P_O ）的位置而對熔化裝置的功率至少臨時動態地調節，本發明亦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), where in a third phase, between a lower section of the seed (140) and the polycrystal (100), a thin neck section is formed whose diameter is smaller than that of the seed (140), where a power of the melting apparatus (300) before the third phase is dynamically adapted at least

第 1 頁，共 2 頁(發明摘要)

temporarily in dependence on a position of a lower phase boundary (P_U) between liquid material and solid material on the part of the seed (140), and where the power of the melting apparatus during the third phase is dynamically adapted at least temporarily in dependence on a position of an upper phase boundary (P_O) between liquid material and solid material on the part of the polycrystal (100), and also to a corresponding plant.

【指定代表圖】 第3b圖

【代表圖之符號簡單說明】

100：多晶

140：晶種

310：電感器／電感線圈

P_O ：上部相介面

P_U ：下部相介面

【特徵化學式】無

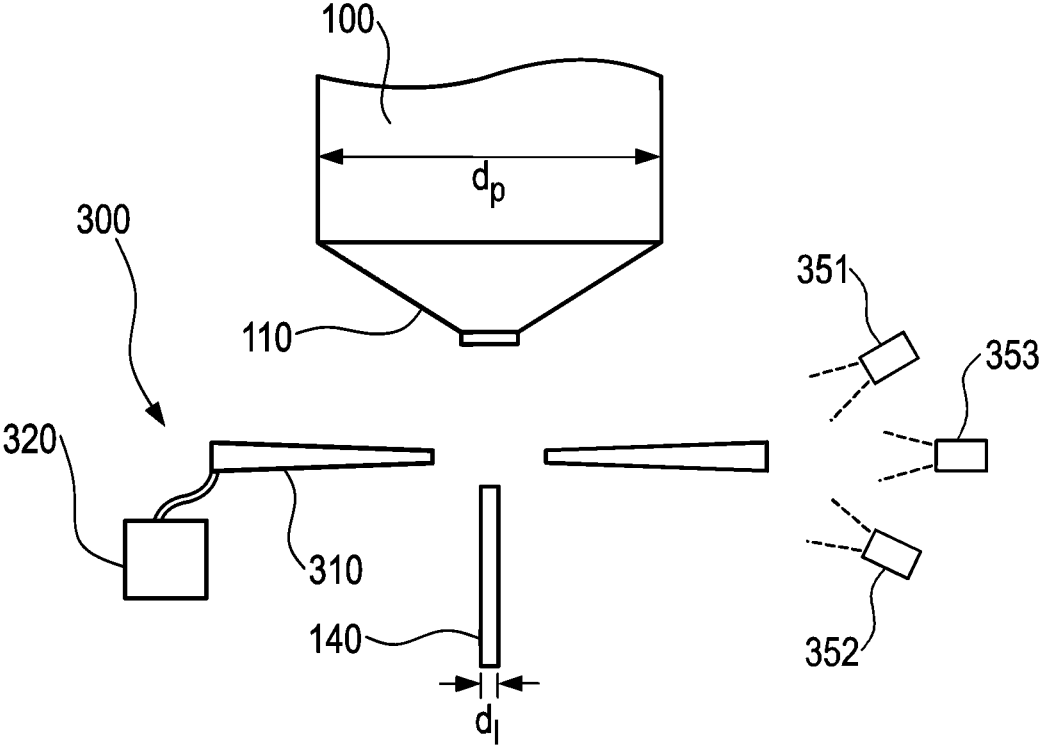
【發明申請專利範圍】

- 【第1項】一種藉由浮區（floating zone，FZ）法提拉單晶（150）的方法，其中多晶（100）係藉由一電磁熔化裝置（300）被熔化然後再結晶，其中在第一階段（ P_1 ）中，該多晶（100）的下端係藉由熔化裝置（300）被熔化，
- 在第二階段（ P_2 ）中，單晶晶種（140）係附著到該多晶（100）的下端，以及
- 在第三階段（ P_3 ）中，在該晶種（140）的下部與該多晶（100）之間形成直徑（ d_D ）小於該晶種（140）之直徑（ d_I ）的細頸部分（thin neck section）（130），
- 其中在第三階段（ P_3 ）之前，依據在晶種（140）之部分上的液體材料與固體材料之間的下部相介面（lower phase boundary）（ P_U ）的位置而對該熔化裝置（300）的功率至少臨時動態地調節，以及
- 其中在第三階段（ P_3 ）期間，依據在多晶（100）之部分上的液體材料與固體材料之間的上部相介面（upper phase boundary）（ P_O ）的位置而對該熔化裝置的功率至少臨時動態地調節。
- 【第2項】如請求項 1 所述的方法，其中在調節該熔化裝置（300）的功率之期間，由依據該下部相介面（ P_U ）的位置直接改變為依據該上部相介面（ P_O ）的位置。
- 【第3項】如請求項 1 所述的方法，其中同時依據該下部相介面（ P_U ）的位置及該上部相介面（ P_O ）的位置而對熔化裝置（300）的功率臨時調節。
- 【第4項】如請求項 2 或 3 所述的方法，其中在該晶種（140）及／或多晶（100）在垂直方向上的移動速率增加之前，由依據該下部相介面（ P_U ）的位置改變為依據該上部相介面（ P_O ）的位置。

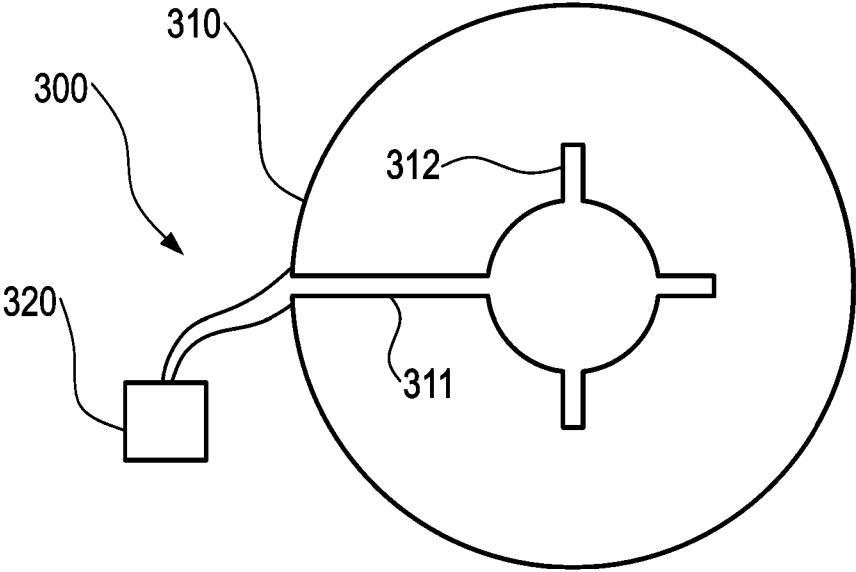
- 【第5項】 如請求項 1 至 3 中任一項所述的方法，其中在第四階段（ P_4 ）中，在該細頸部分（130）與多晶（100）之間形成錐形部分（conical section）（135），並且
- 其中在第四階段（ P_4 ）期間依據可用於推導該錐形部分（135）的傾斜角（ φ ）的特徵變數（characteristic variable）而對該熔化裝置（300）的功率至少臨時動態地調節。
- 【第6項】 如請求項 5 所述的方法，其中所使用的特徵變數是結晶材料的該錐形部分的傾斜角，在固體材料、液體材料與周圍環境之間的三相點處的錐形部分的傾斜角，該錐形部分（135）的直徑變化，或該下部相介面處錐形部分（135）的直徑。
- 【第7項】 如請求項 5 所述的方法，其中，在調節該熔化裝置（300）的功率期間，由依據上部相介面（ P_o ）的位置直接改變為依據該特徵變數，或者，
- 其中同時依據上部相介面（ P_o ）的位置及特徵變數而對熔化裝置（300）的功率臨時調節。
- 【第8項】 如請求項 5 所述的方法，其中一旦只能以小於預定的精度才能識別出該上部相介面（ P_o ）的位置，則由依據上部相介面（ P_o ）的位置改變為依據特徵變數。
- 【第9項】 如請求項 5 所述的方法，其中，使用一設置在該熔化裝置（300）下方的照相機（352）來確定有關該錐形部分的傾斜角（ φ ）的特徵變數。
- 【第10項】 如請求項 1 至 3 中任一項所述的方法，其中該下部相介面的位置（ P_U ）及／或上部相介面（ P_o ）的位置均被考慮為各個相介面到在熔化裝置（300）上的一固定的參考點（ P_B ）的距離（ h_U 、 h_o ）。

- 【第11項】如請求項 1 至 3 中任一項所述的方法，其中使用一設置在該熔化裝置 (300) 下方的照相機 (352) 來考慮該下部相介面 (P_U) 的位置。
- 【第12項】如請求項 1 至 3 中任一項所述的方法，其中使用一設置在該熔化裝置 (300) 上方的照相機 (351) 來考慮該上部相介面 (P_O) 的位置。
- 【第13項】一種設備 (plant)，其包括一用於藉由 FZ 法提拉單晶 (150) 的熔化裝置 (300)，該設備被裝備而用於實施如請求項 1 至 12 中任一項所述的方法。

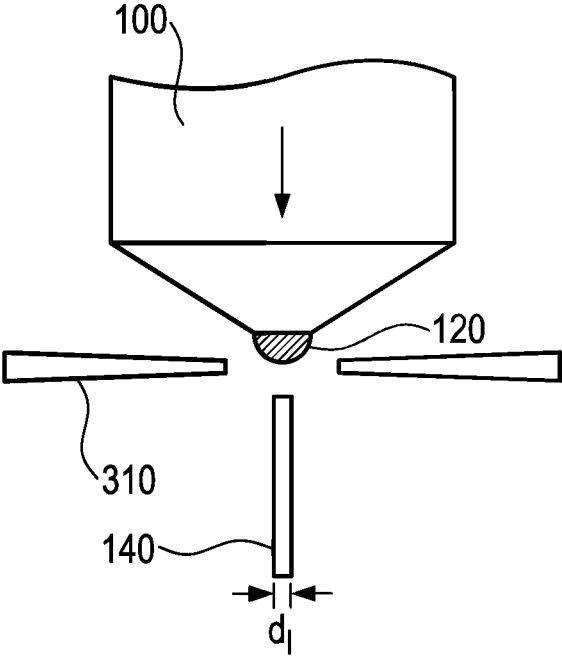
【發明圖式】



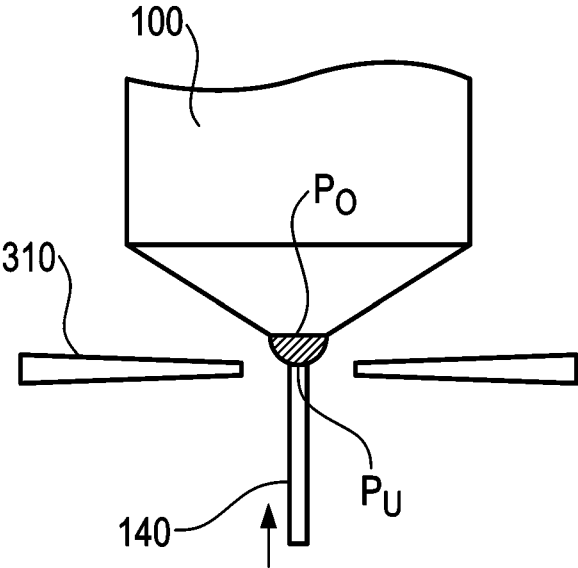
第 1 圖



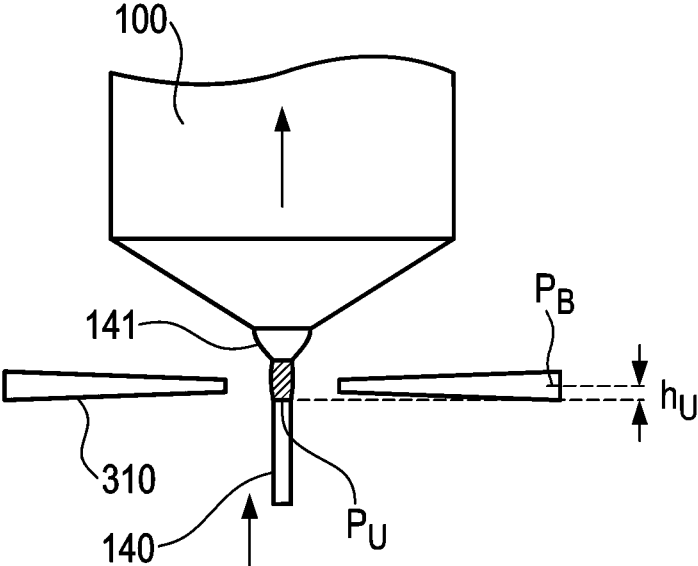
第 2 圖



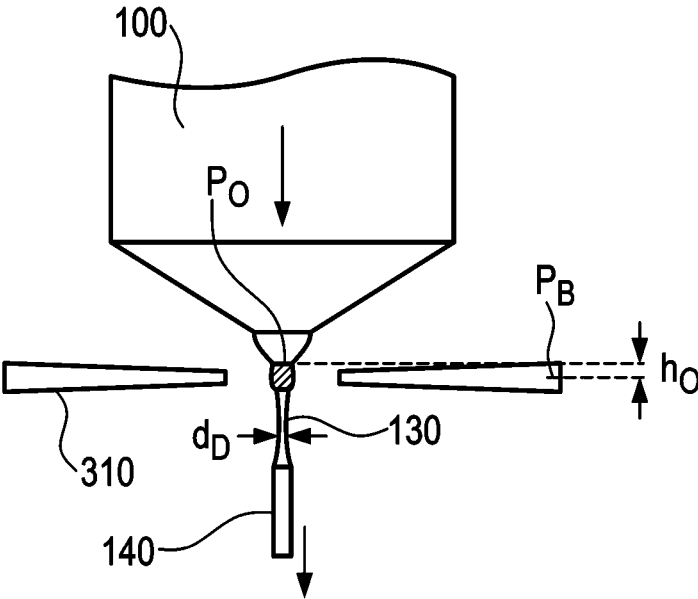
第 3a 圖



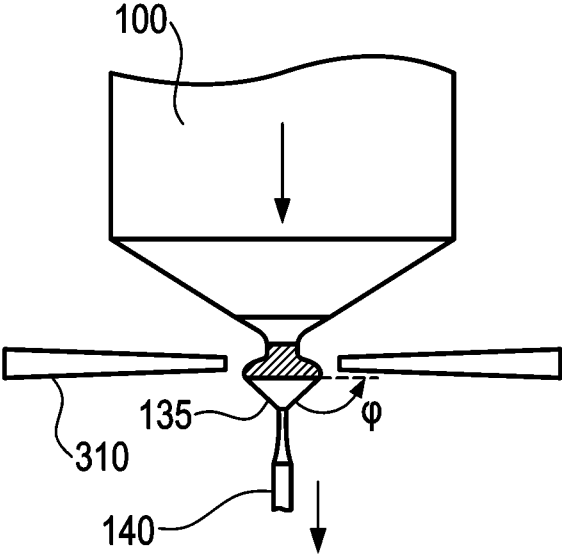
第 3b 圖



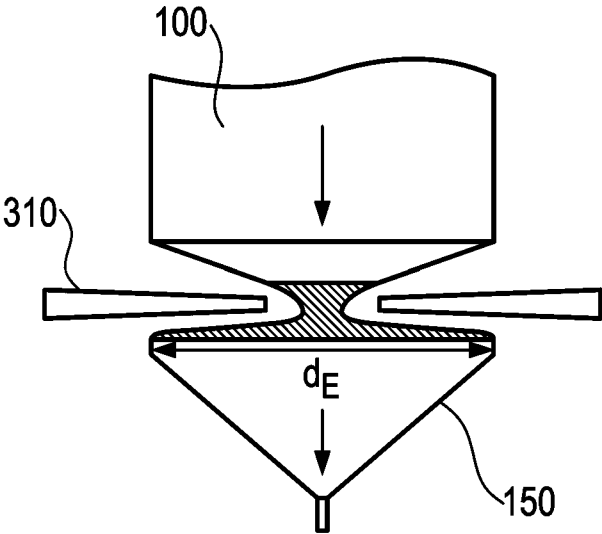
第 3c 圖



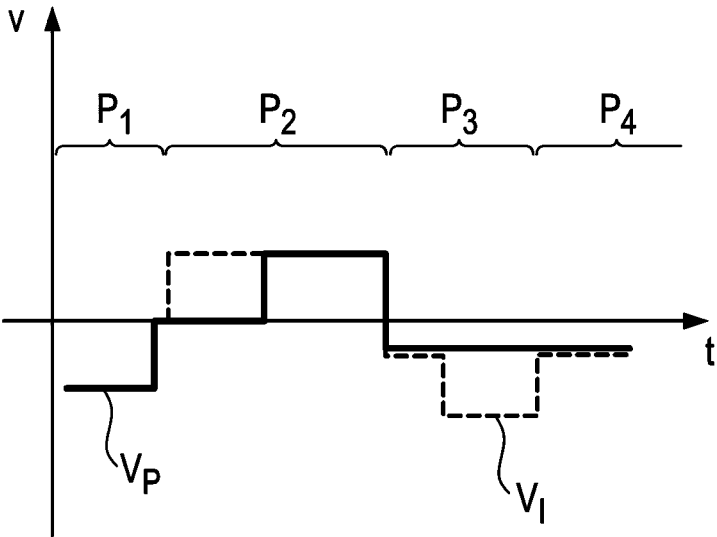
第 3d 圖



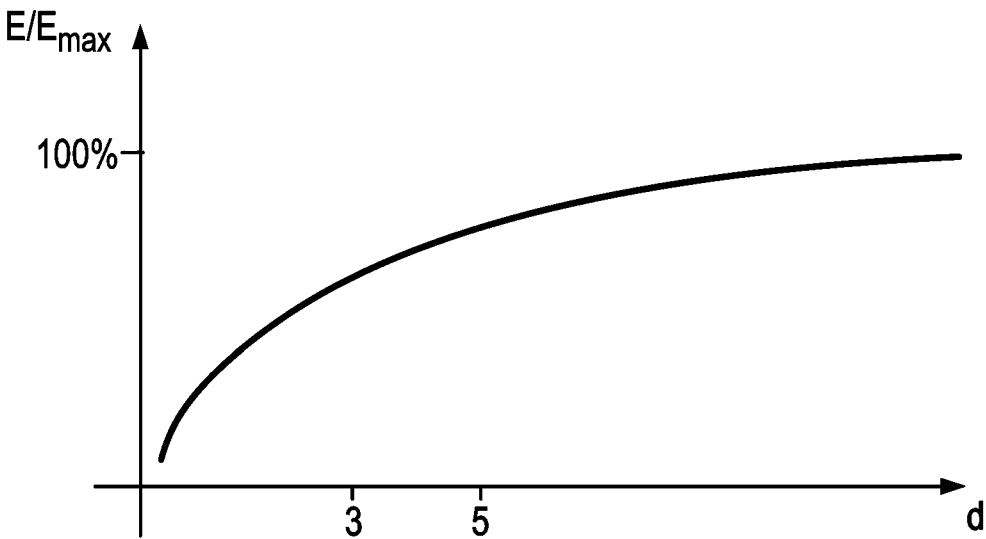
第 3e 圖



第 3f 圖



第 4 圖



第 5 圖