

# 公 告 本

申請日期	88.11.22
案 號	88110877
類 別	C30B15/00

A4  
C4

538147

(以上各欄由本局填註)

## 發 明 專 利 說 明 書

一、發明 名稱	中 文	準備允許有不同處理條件之無缺點矽晶之方法
	英 文	"PROCESS FOR PREPARING DEFECT FREE SILICON CRYSTALS WHICH ALLOWS FOR VARIABILITY IN PROCESS CONDITIONS"
二、發明 創作人	姓 名	1. 羅伯 J. 非爾斯特 2. 維勒迪米爾 佛儂考夫 3. 普歐羅 慕堤
	國 籍	1. 3. 均美國 2. 俄羅斯
	住、居所	1. 義大利米蘭市卡拉多所路11號 2. 義大利梅羅諾市那斯歐那爾路59號 3. 美國米蘇里州聖彼得斯市珍珠大道501號
三、申請人	姓 名 (名稱)	美商MEMC電子材料公司
	國 籍	美國
	住、居所 (事務所)	美國米蘇里州聖彼得斯市珍珠大道501號
	代 表 人 姓 名	哈蘭尼·福·哈尼里

裝

訂

線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

(由本局填寫)

承辦人代碼：
大類：
I P C 分類：

A6  
B6

本案已向：

國(地區) 申請專利，申請日期： 案號： ， 有 無主張優先權

美國	1998年10月14日	60/104,087	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無主張優先權
美國	1999年01月28日	60/117,623	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無主張優先權

有關微生物已寄存於： ，寄存日期： ，寄存號碼：

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝 · 訂 · 線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

## 五、發明說明( 1 )

### 發明背景

本發明通常係有關於在電子元件製造中使用的半導體等級單晶矽準備，更明確而言，本發明係關於用以產生一單晶矽塊的製程，而該矽塊固定直徑部份的至少一區段係實質缺乏結塊本徵點缺陷，其中 $v/G_0$ 係允許改變區段長度，結果控制將該區段冷卻到結塊本徵點缺陷溫度的方式便會形成。

用於大多數半導體電子元件製造程序的起始材料之單晶矽普遍稱為Czochralski ("Cz")方法。在此方法中，多晶系矽("多晶矽")會被裝於坩堝而鎔化，一籽晶會與鎔化的矽接觸，而且一單晶會藉由慢萃取生長。在一到部完全形成之後，該晶體的直徑便可藉由減退拉率及/或鎔化溫度而增大，直到達成意欲或目標直徑為止。當補償於減少的鎔化為準之時，具有大約固定直徑的晶體圓筒主體然後可藉由控制拉率與鎔化溫度來生長。接近生長程序結束而在坩堝沒有鎔化的矽之前，該晶體的直徑必須逐漸減少，以形成一尾部圓錐體。典型上，該尾部圓錐體是藉由增加晶體的拉率並將熱供應給坩堝而形成。當直徑變成足夠小的時候，該晶然後會從鎔化分開。

近幾年來，可認知到當該晶塊在凝結之後冷卻，在單晶矽中的許多缺陷會在晶生長室形狀。此缺陷的發生是部份由於在晶格中出現過多的本徵點缺陷(亦即，超過可溶性界限的濃度)，而這些缺陷是空缺與自我晶隙性。從一接縫所生長的矽晶典型上會生長過度的晶格空缺("V")或矽

## 五、發明說明 ( 2 )

自我晶隙性("I")、或其他類型的本徵點缺陷。

空缺型缺陷係認為是可發覺到的晶體缺陷起源，諸如D缺陷、流程圖案缺陷(FPDs)、閘氧化物完整性(GOI)缺陷、晶體起始微粒(COP)缺陷、晶體起始光點缺陷(LPDs)、及藉由諸如掃描紅外線顯微鏡與雷射掃描射線法之紅外線散佈技術所觀察到的某些大缺陷分類。而且，在過度空缺區域所出現的是當作環氧化感應堆積不良(OISF)的核心缺陷。可推測的是此特殊缺陷是由出現過度空缺所起反應的一高溫凝聚的氧矽塊。

與自我晶隙性有關的缺陷是較少研究。他們通常視為晶隙性型混亂迴路或網路的低密度。此缺陷是不會造成閘氧化物完整不良，其是一重要的晶圓效率標準，但是他們廣泛地被認為是通常結合漏電流問題的其他類型裝置不良。

一般相信當該矽塊從凝結(亦即，大約 $1410^{\circ}\text{C}$ )的溫度冷卻到大於約 $1300^{\circ}\text{C}$ 的溫度之時，在矽晶中這些點缺陷類型與最初濃度會可決定。即是，這些缺陷的類型與最初濃度是受到 $v/G_0$ 比率的控制，其中 $v$ 是生長速度，而 $G_0$ 是在此溫度範圍上的平均軸溫度梯度。請即參考圖1，對於增加 $v/G_0$ 值而言，從減少自我晶隙性主宰生長到增加空缺主宰生長的轉變是在基於目前可用資訊而在接近 $v/G_0$ 的一臨界值上發生，其大約 $2.1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ ，其中 $G_0$ 是在軸的溫度梯度於上述定義的溫度範圍內是常數的條件下決定。在此臨界值，這些本徵點缺陷濃度是平衡。然而，當 $v/G_0$ 值超過臨界值之時，空缺的濃度便會增加。同樣地，當 $v/G_0$

### 五、發明說明 ( 3 )

值跌落低於臨界值之時，自我晶隙性的濃度便會增加。如果空缺或自我晶隙性的濃度到達系統中的臨界超飽和位準，而如果該等點缺陷的遷移率足夠高，一反應或一矽塊事件便或許會發生。在傳統的Czochralski型生長條件下，空缺與自我晶隙性矽塊缺陷的密度典型是在大約 $1 \times 10^3 / \text{cm}^3$ 到大約 $1 \times 10^7 / \text{cm}^3$ 的範圍內。當這些值相當低的時候，結塊本徵點缺陷便會很快增加裝置製造商的重要性，而事實上，現階段可看出在複雜與高度積體電路製造中的良率限制因素。

避免結塊本徵點缺陷的形成可藉由控制生長速度 $v$ 及平均軸溫度梯度 $G_0$ 達成，以致於 $v/G_0$ 比率是維護在接近 $v/G_0$  (參考如圖1通常以範圍X表示)臨界值的狹窄的值域範圍，如此便可確保自我晶隙性或空缺的最初濃度不會在發生矽塊反應之時超過某些臨界濃度。然而，如果所依賴的 $v/G_0$ 控制是為避免結塊本徵點缺陷的形成，嚴格的程序控制與拉晶器設計需求必須符合，為要在此狹窄的範圍內維持 $v/G_0$ 。

對於許多的理由而言，在狹窄值的範圍內維持 $v/G_0$ 不是多數商業可用之方法來避免結塊本徵點缺陷的形成。例如，該拉率時常會在生長程序期間改變，為要維持矽塊的一固定直徑。然而，拉率的變化會造成 $v$ 的變化，接著會影響到 $v/G_0$ ，造成它在矽塊的長度上改變軸。同樣地， $G_0$ 變化亦會發生，由於其他程序參數的變化。此外，應注意的是 $G_0$ 會時常變化，結果該熱域的内部會變成諸如矽二

## 五、發明說明 ( 4 )

氧化物的塗層。

除非一相對與補償變化分別在  $G_0$  或  $v$  達成，否則  $v$  與  $G_0$  的變化同樣會造成  $v/G_0$  (亦即，限制本徵點缺陷的最初濃度的範圍，以致於不會發生矽塊) 的"目標"範圍變化。因此，如果一特定拉晶器會利用來生長一連串的矽塊，該拉晶器的溫度輪廓必須要持續監視，而且當  $v$  或  $G_0$  變化之時，程序條件會重複修改。此一方法會耗時而成本高。

### 發明概述

在本發明的數個目的與特徵之中可注意到在矽塊或晶圓形狀中產生單晶矽的程序規定，該矽塊或晶圓形係實質無結塊本徵點缺陷的一軸對稱區域；此一程序的規定是該矽塊的區段允許存在超過矽塊缺陷形成足以避免在區段中形成矽塊缺陷的一時間的溫度(亦即，臨界或矽塊溫度)；在此一程序的規定之中， $v/G_0$  允許在矽塊生長期間改變軸，結果， $v$  或  $G_0$  會變化；而且，在此一程序的規定之中，該矽塊在凝結溫度與矽塊溫度之間冷卻的方式會受到控制，以避免結塊本徵點缺陷的形成。

簡而言之，因此，本發明在於用以生長一單晶矽塊的製程，該單晶矽塊具有一中央軸、一籽晶圓錐體、一尾部圓錐體、在籽晶圓錐體與尾部圓錐體之間的一固定直徑部份、及包含固定直徑部份的一矽塊區段，而其實質是無結塊本徵點缺陷。該程序包含(i)允許該  $v/G_0$  比率在當矽塊生長之時可當作該矽塊區段的功能改變，所具有的  $v/G_0$  允許在最小值  $(v/G_0)_{\min}$  與最大值  $(v/G_0)_{\max}$  之間改變，其中  $v$  是

## 五、發明說明 ( 5 )

生長速度，而  $G_0$  是在凝結溫度與大約在中央軸上大約  $1300^\circ\text{C}$  之間的平均軸溫度梯度，其具有不超過  $(v/G_0)_{\max}$  的大約 95% 的  $(v/G_0)_{\min}$ ；及 (ii) 從凝結溫度冷卻到在一存在時間器  $t_{dw}$  上的大約  $1050^\circ\text{C}$  與大約  $900^\circ\text{C}$  之間，其足以避免在該區段中的結塊本徵點缺陷形成。

本發明係進一步用以生長一單晶矽塊之製程，該矽塊具有一中央軸、一籽晶圓錐體、一尾部圓錐體、在具有從該中央軸至周圍邊緣所延伸一周圍邊緣與一半徑的籽晶圓錐體與尾部圓錐體之間的一固定直徑部份，該矽塊的特徵為根據 Czochralski 方法，在該矽塊從一矽鎔化生長，而且從凝結溫度冷卻之後，該固定直徑部份包含實質無結塊本徵點缺陷的一軸對稱區域，該程序包含控制 (i) 在從凝結到大約  $1300^\circ\text{C}$  溫度範圍上的矽塊固定直徑部份的生長期間之一生長速度  $v$  與一平均軸溫度梯度  $G_0$ ；及 (ii) 該軸對稱區域的冷卻率，該軸對稱區域是在大約  $1400^\circ\text{C}$  與大約  $1300^\circ\text{C}$  之間的一第一溫度  $T_1$  冷卻到在大約  $1050^\circ\text{C}$  與大約  $800^\circ\text{C}$  之間的一第二溫度  $T_2$ ，其溫度率是從  $T_1$  可受控制而減少到  $T_2$ ，以致於在  $T_1$  與  $T_2$  之間的每一中間溫度  $T_{int}$ ，該軸對稱區域具有在結塊本徵點缺陷形成之時小於臨界濃度之一矽自我晶隙性本徵點缺陷濃度。該軸對稱區域具有從周圍邊緣朝中央軸的半徑測量之寬度，其是至少該矽塊固定直徑部份寬度的 30%，而且具有至少該矽塊固定直徑部份長度 20% 之長度。

本發明的其他目的與特徵將會部份顯然，而且部份會在

## 五、發明說明 ( 6 )

下文中指出。

### 圖式之簡單說明

圖1係顯示如何隨著 $v/G_0$ 比率值增加之自我晶隙性[I]與空缺[V]之最初濃度範例圖式，其中 $v$ 是生長速度，而 $G_0$ 是平均軸溫度梯度。

圖2係如進一步所討論而描述當作溫度功能的平衡濃度與臨界濃度(亦即，形成矽塊缺陷的濃度)圖式。

圖3A是如範例所描述當作品體長度之一功能之正常生長率圖式。

圖3B係如範例所述從肩背到在銅塗飾與缺陷描繪蝕刻之後開始尾部圓錐體生長範圍的一連串矽塊區段軸切照相。

圖3C係如範例所述從籽晶到在銅塗飾與缺陷描繪蝕刻之後的尾部圓錐體的一連串矽塊區段軸切照相。

圖4是在自我晶隙性本徵點缺陷的正常濃度與正常生長速度之間的關係圖式。

圖5是在各種不同存在長度的自我晶隙性本徵點缺陷的正常濃度與正常生長速度之間的關係圖式。

圖6係描述在生長速度(當與臨界生長速度相比較)變化與所需存在長度之間的描述圖式，爲了要避免形成各種不同臨界生長速度(200公釐的晶體直徑)的矽塊缺陷。

圖7係描述在生長速度(當與臨界生長速度相比較)變化與所需存在長度之間的關係圖式，爲了要避免形成各種不同臨界生長速度(150公釐的晶體直徑)的矽塊缺陷。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝  
訂  
線

## 五、發明說明 ( 9 )

臨界值。

如果  $v/G_0(r)$  維持在此目標範圍內，嚴格的製程控制與系統設計必須持續符合，因為甚至  $v$  或  $G_0$  的小變化會造成  $v/G_0$  實際值移至此範圍外。換句話說，在超過矽塊發生溫度上沒有控制冷卻來提供足夠的存在時間，而因此允許空缺或晶隙性擴散至他們會被破壞的槽， $v/G_0$  必須維持在半徑上的值窄"窗"內，從大約中央軸擴充到來自矽塊周圍邊緣的數公分(亦即，大約1至2公分)內。此製程條件能以下列方程式(1)表式；

$$[(v/G_0)_{cr} + \delta] > v/G_0(r) > [(v/G_0)_{cr} - \Delta] \quad (1)$$

其中

$[(v/G_0)_{cr} + \delta]$  是基於經驗證據之  $v/G_0$  臨界值與  $\Delta$  總和，至今相信小於該臨界值大約5%，其說明實質沒有矽塊缺點的空缺主材料之一區域；

$v/G_0(r)$  是在從中央軸到來自矽塊周圍邊緣的數公分內所延伸之一特定半徑位置的  $v/G_0$  實際值；及，

$[(v/G_0)_{cr} - \Delta]$  是基於實驗證據在  $v/G_0$  的臨界值減去  $\Delta$  之間的差，至今相信小於臨界值的大約5%，其說明實質無矽塊缺陷之自我晶隙性主材料之一區域。

事實上，符合此嚴格製程控制條件是不容易達成，其複雜在於  $v/G_0$  的可接受值之窗可在一特定拉晶器隨時間改變。理想上，因此，可避免系統變成臨界過飽和，如此可避免結塊本徵點缺陷的形成，其可藉由抑制矽自我晶隙性的最初濃度或隨後晶體凝結的空缺達成，亦即，隨後建立

## 五、發明說明 ( 12)

在凝結溫度與在大約  $1050^{\circ}\text{C}$  和 大約  $900^{\circ}\text{C}$  之間溫度之間的溫度，理想上是在大約  $1025^{\circ}\text{C}$  與 在大約  $925^{\circ}\text{C}$  之間，其存在時間是在 (i) 至少大約 5 小時，理想是至少大約 10 小時，更較理想在 150 公釐額定直徑矽晶是至少大約 15 小時；(ii) 至少大約 5 小時，理想是至少大約 10 小時，更理想是至少大約 20 小時，然而更理想是至少大約 25 小時，200 公釐額定直徑矽晶的最理想是至少大約 30 小時；及 (iii) 至少大約 20 小時，理想是至少大約 40 小時，更理想是至少大約 60 小時，而具有一額定直徑大於 200 公釐的矽晶之最理想是至少大約 75 小時。然而，注意，矽塊冷卻的精確時間與溫度至少是部份的本徵點缺陷濃度功能，必須擴散的點缺陷數目是爲了要避免過飽和與結塊發生，及特定本徵點缺陷擴散(亦即，該等本徵點缺陷的擴散)的比率。

存在時間或矽塊冷卻方式至少是生長速度的功能與拉晶器的熱域設計部份；即是，該矽塊冷卻可藉由改變拉率及熱域配置而受到影響。地域配置的變化可使用在技藝中目前已知用以減少在熱域進行熱轉換的任何裝置，其包括反射鏡、放射線遮蔽物、潔淨管、光管、絕緣體、加熱器與磁場。

製程可變性

由於矽塊固定直徑部份的一特定區段存在時間的控制，以致於本徵點缺陷可擴散至遭破壞的槽，如此便可避免其間的矽塊缺陷形成，允許  $v/G_0$  比率來改變軸；即是，由於

## 五、發明說明 ( 13 )

控制矽塊區段冷卻的方法， $v/G_0$ 比率便可當作軸對稱區域的長度功能改變。根據本製程，因此，當該矽塊在最小值 $(v/G_0)_{\min}$ 與最大值 $(v/G_0)_{\max}$ 之間生長的時候， $v/G_0$ 比率的實際值可允許當作軸對稱區域的長度功能改變。在本製程的一具體實施例中， $(v/G_0)_{\min}$ 是不超過大約 $(v/G_0)_{\max}$ 的95%，而在其他的具體實施例中， $(v/G_0)$ 是不超過 $(v/G_0)_{\max}$ 的大約90%、85%或甚至80%。換句話說，在一具體實施例中， $v/G_0$ 實際值可以在 $(v/G_0)_{\min}$ 與 $(v/G_0)_{\max}$ 之間的至少大約5%改變，而在其他的具體實施例中， $v/G_0$ 可能在 $(v/G_0)_{\min}$ 與 $(v/G_0)_{\max}$ 之間改變，其至少大約10%、15%、20%或更大。

如在此所使用與上面方程式(2)所述， $(v/G_0)$ 是稱為 $(v/G_0)$ 加上 $\Delta$ ，其說明實質無矽塊缺陷的空缺主材料區域。此外，如果生長條件在乎矽塊包含實質無矽塊缺陷的空缺與晶隙性主材料，那麼 $(v/G_0)_{\max}$ 便稱為 $[(v/G_0)_{cr} + \delta(t)_{cr}]$ ，其會在下面進一步參考方程式3討論，表示 $v/G_0$ 臨界值加上 $\Delta$ 的總和，其是多久時間在矽塊中的一特定軸位置可允許存在超過臨界溫度(亦即，矽塊發生的溫度)的一因素。

注意， $v/G_0$ 比率變化之上述軸範圍係指在實質無結塊本徵點缺陷之矽塊對稱區域中的 $v/G_0$ 值。此外， $v/G_0$ 亦可半徑變化 $(v/G_0(r))$ 。因此，可了解到 $(v/G_0)_{\min}$ 與 $(v/G_0)_{\max}$ 通常是分別指在軸對稱區域中 $v/G_0(r)$ 的最小與最大值。然而，當生長條件受到控制，以致於該軸對稱區域從中央軸延伸

## 五、發明說明 ( 14 )

到矽塊周圍邊緣之時， $v/G_0$ 變化典型上係基於在中央軸上的 $v/G_0$ 值決定，因為該擴散距離在此提供的位置上是最好的，很小或甚至沒有軸擴散發生。

同樣要注意下面參考圖4和5的進一步詳細描述，當由於 $v$ 改變(亦即， $G_0$ 是常數)而使 $v/G_0$ 變化， $v/G_0$ 變化的軸會明顯較大；即是，當晶隙性主宰及當由於 $v$ 變化而使 $(v/G_0)_{\min}$ 變化， $(v/G_0)_{\min}$ 是不超過大約60%、40%、20%、10%或甚至 $(v/G_0)_{\max}$ 的5%。換句話說，假設有足夠的存在時間， $v/G_0$ 之可接受值"窗"可以是本質上小於 $v/G_0$ 臨界值的任何值。目前的經驗提議，如圖5所述，只要該存在時間足以使 $v/G_0$ 改變大約20% (亦即，當 $(v/G_0)_{\min}$ 不超過 $(v/G_0)_{\max}$ 的大約80%)， $(v/G_0)_{\min}$ 本質上可以是小於 $(v/G_0)_{\max}$ 的任何值。

在 $G_0$ 是常數且 $v$ 允許改變而 $v/G_0$ 會如上述改變之時，注意當 $v$ 是常數而 $G_0$ 允許改變之時， $v/G_0$ 亦會改變。更明確而言，如下面圖10和11的進一步詳細描述，當存在時間增加之時，造成 $G_0$ 變化的 $v/G_0$ 變化之可接受程度便會增加。然而，如圖10和11所示，當 $v$ 是常數而 $G_0$ 允許改變之時候， $v/G_0$ 的可接受值"窗"沒有存在時間平坦區域，其中這些值窗本質會變成較寬，允許小於 $v/G_0$ 臨界值的任何值。理想上，當存在時間增加之時，可接受變化(亦即，發生沒有形成矽塊缺陷的 $v/G_0$ 變化)的程度便會持續增加。

如上所討論，藉由允許軸對稱區域存在超過 $900^{\circ}\text{C}$ 一段

## 五、發明說明 ( 15 )

延長時間，該嚴格的  $v/G_0$  需求便可解除，而與該臨界值有關的大範圍  $v/G_0$  值是可接受，用以避免結塊本徵點缺陷的形成，並生長如在此所述的單晶矽塊。例如，如果晶隙性是主本徵點缺陷的軸對稱區域之寬度大約等於矽塊半徑，那麼生長速度  $v$  與平均軸溫度梯度  $G_0$  (如先前的定義) 便可受到控制，以致於  $v/G_0$  比率是在大約  $v/G_0$  (亦即，基於  $v/G_0$  臨界值的目前可用資訊是大約  $1.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$  到大約  $2.1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ ) 臨界值的 0.75 到大約 1 倍之間。然而，典型上，鑑於本製程所提供的彈性， $v/G_0$  比率可從  $v/G_0$  臨界值大約 0.6 到大約 1 倍 (亦即，基於  $v/G_0$  臨界值的目前可用資訊是大約  $1.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$  到大約  $2.1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ ) 的值範圍，而理想是從  $v/G_0$  臨界值大約 0.5 到大約 1.05 倍 (亦即，基於  $v/G_0$  臨界值的目前可用資訊是大約  $1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$  到大約  $2.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ ) 的值範圍。然而，最理想是存在時間會受到控制，以致於  $v/G_0$  比率可具有小於  $v/G_0$  臨界值大約 1.05 倍的任何值。

注意  $v/G_0$  的可接受值之精確範圍係至少部份決定在所要獲得的軸對稱區域之意欲寬度。因此，當此區域的寬度大約等於矽塊固定直徑部份的寬度而上述範圍展現本製程的彈性之時，此彈性甚至會更大。在此範例中，當可接受小於矽塊半徑的此區域寬度之時，生長速度  $v$  與平均軸溫度梯度  $G_0$  便可受到控制，以致於  $v/G_0$  比率是在從  $v/G_0$  (亦即，基於  $v/G_0$  臨界值的目前可用資訊是大約  $1.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$  到大約  $3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ ) 臨界值的大約 0.6 到大約 1.5

## 五、發明說明 ( 16 )

倍範圍，而理想是從  $v/G_0$  (亦即，基於  $v/G_0$  臨界值的目前可用資訊是大約  $1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$  到大約  $5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ ) 臨界值的大約 0.5 到大約 2.5 倍範圍。然而，嚴格來說，當唯一目標是形成某些最小半徑寬度 (亦即，固定直徑部份的至少大約 30%、40%、80% 或更大) 的晶隙性主材料的軸對稱區域之時，那麼  $v/G_0$  本質可大於臨界值的任何值，假設在沿著半徑的某些位置上，該值會跌落低於需造成該意欲寬度之軸對稱區域形成的值。

進一步注意，提供足夠長而允許足夠空缺擴散的一存在時間，空缺主材料的一軸對稱區域亦會形成。如果此區域的寬度大約等於矽塊固定直徑部份的半徑， $v/G_0$  可在從  $v/G_0$  臨界值的大約 0.95 到大約 1.1 倍範圍。然而，如上面與晶隙性主宰區域有關的，如果此空缺主宰區域的寬度小於矽塊的半徑， $v/G_0$  的較大變化是可接受。

上述的  $v/G_0$  比率比可藉由生長速度  $v$  與平均軸溫度梯度  $G_0(r)$  半徑變化的個別控制達成。當在範圍內的  $v/G_0$  單一值可藉由拉晶器熱域的生長速度與設計之小心控制而在生長製程期間達成，理想上， $v/G_0$  允許在軸對稱區域的生長期間在所描述的範圍內改變。此變化會造成 (i) 允許生長速度在該區域的半徑與長度上  $G_0$  本質是常數之方法所設計的一拉晶器熱域生長期間改變 (ii) 維持一固定生長速度，而  $G_0$  允許改變、或 (iii) 允許  $v$  與  $G_0$  改變。

在本發明之前，衝突已存在於避免形成矽塊缺陷的  $v/G_0$  控制與傳統生長的製程情況控制之間，如此便可維持矽塊

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝  
訂  
線

## 五、發明說明 ( 17 )

主體的一固定直徑或生長該尾部圓錐體，此衝突意謂如果矽塊缺陷可避免，此避免必須會以相同的代價達成。然而，根據本製程， $v/G_0$  允許改變，其表示在一具體實施例中，該拉率亦會改變，為了使範例可維持直徑控制。因此，如一範例所示，在大約晶體長度的一直徑之後，該拉率的範圍是大約從每分鐘 0.3 公釐到大約每分鐘 0.5 公釐、從大約每分鐘 0.25 公釐到大約每分鐘 0.6 公釐、或從大約每分鐘 0.2 公釐到大約每分鐘 0.8 公釐，當製程彈性增加之時，可接受拉率的範圍便會增加。

注意，該拉率是決定在晶體的直徑與拉晶器設計。所描述的範圍典型上是專為 200 公釐直徑晶體。大體上，當晶體的直徑增加之時，該拉率便會減少。然而，該拉晶器可設計允許拉率超過在此所述的速率。結果，最理想的是該拉晶器會設計成儘可能地快速，而且如此便允許  $v/G_0$  儘可能地大量改變，而仍然可避免結塊本徵點缺陷的形成。

除了允許拉率變化，或更通常  $v$  變化之外，本製程的彈性亦允許  $G_0$  改變或偏移。更明確而言，因為  $v/G_0$  允許改變，本製程會更耐用，如此允許變化發生而不管原因；即是，當  $G_0$  是常數而  $v$  改變、當  $v$  是常數而  $G_0$  改變、當兩者改變之時，本製程的性質允許  $v/G_0$  變化發生。例如，本製程可藉由準備而提供裝置，在一特定拉晶器中，結塊本徵點缺陷形成的一連串的单晶矽塊是可避免，而其中拉率與  $G_0$  可在他們準備期間偏移。結果，需要維持一固定的拉比率(在直徑控制的成本上)，及需要持續監督該特定拉晶器

## 五、發明說明 ( 18 )

熱域的溫度輪廓，而且當該熱域部份時間(如此造成  $G_0$  漂流)除去之時，調整製程情況。

藉由控制存在時間利用晶隙性自我或空缺擴散，本製程能有效地建立  $v/G_0$  值的一較大"窗"，其可用來獲得實質無結塊本徵點缺陷的矽塊固定直徑部份之軸對稱區域。然而，注意增加窗大小(或允許無缺陷生長的  $v$  或  $G_0$  變化)是實質限制造成小於  $v/G_0$  臨界值的  $v/G_0$  比率值的  $v$  與  $G_0$  值。換句話說，該效果有堅固的晶隙性主材料，因為矽自我晶隙性擴散較空缺為快。結果，允許拉率變化而增加窗大小係實質在較低的拉率，因為晶隙性擴散，該窗會很快朝向這些較低的拉率敞開。

然而，原則上，當矽塊在大於約  $900^\circ\text{C}$  溫度的時間增加之時，由於  $v/G_0$  值大於  $v/G_0$  臨界值加上小量  $\Delta$  (造成諸如朝較快的拉率變化)而允許  $v/G_0$  變化的窗亦會增加；即是，當存在時間增加之時，原則上，空缺主材料之可接受  $v/G_0$  值的窗亦會增加，因為較大的時間是允許空缺擴散。此一關係能以下列方程式(3)表示：

$$[(v/G_0)_{cr} + \delta(t)_{cr}] > v/G_0(r_0) > [(v/G_0)_{cr} - \Delta(t)_{cr}] \quad (3)$$

其中

$[(v/G_0)_{cr} + \delta(t)_{cr}]$  是  $v/G_0$  臨界值加上  $\Delta$  的總和，該  $\Delta$  是在矽塊內的一特定軸位置可在超過臨界溫度(亦即，矽塊發生的溫度)上存在多久時間的一因素；

$v/G_0(r_0)$  是與上面的方程式(2)相同；及，

$[(v/G_0)_{cr} - \Delta(t)_{cr}]$  是與上面的方程式(2)相同。

## 五、發明說明 ( 19 )

可從表示式  $[(v/G_0)_{cr} + \delta(t)_{cr}]$  看出，當存在時間增加之時，在臨界值以上的  $v/G_0$  值範圍亦會增加。然而，由於空缺的較慢擴散率，實質無結塊本徵點缺陷的空缺主材料之一軸對稱區域形成將需要明顯較長的擴散時間，特別是從該中央軸至矽塊固定直徑部份的周圍邊緣所延伸的區域。

### "區域"冷卻率

除了控制矽塊存在所述範圍內期間的時間之外，它亦能控制矽塊在此範圍內與在此時間上的冷卻率。換句話說，當它將矽塊維持在超過矽塊缺陷形成的溫度一段時間，它亦能控制"區域" (以時間單位) 冷卻率；即是，矽塊在此時間與溫度範圍內的冷卻率。例如，請即參考圖2，可看出是在凝結溫度所束縛範圍內的每一區域性溫度，而更明確而言，建立本徵點缺陷的最初濃度溫度 (亦即，在大約  $1400^{\circ}\text{C}$  與大約  $1300^{\circ}\text{C}$  之間的某些溫度) 與本徵點缺陷不再發生矽塊的明顯遷移率 (亦即，大於約  $900^{\circ}\text{C}$  的某些溫度)，存在發生反應或矽塊發生的一平衡濃度  $C_{eq}$  與一臨界或晶核作用濃度  $C_n$ 。因此，對於超過平衡濃度而低於臨界濃度的一特定濃度 (以點A表示) 而言，如果足夠的時間存在矽塊溫度以上的唯一溫度，最後充足的晶隙性將會過度擴散，以致於平衡濃度會到達 (以點B表示)。然而，如果溫度然後很快減少，一矽塊便仍然會發生 (以點D表示)。結果，確保過度擴散的足夠時間，理想是在生長矽塊 (以點A表示) 的一特定軸位置可在矽塊溫度上保持必要時間，但是除此之外，它可以在避免臨界濃度超過 (參考諸

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明 ( 20 )

如以E表示的路徑)的冷卻率。

從圖2亦可注意到，目前經驗係建議在一特定溫度(亦即， $C(T)$ )上於反應或晶核作用溫度與濃度的平衡溫度之間的晶隙性濃度會減少遠低於相對的平衡濃度(亦即， $C_{eq}(T)$ )；即是，目前經驗建議 $C(T)$ 減少遠低於 $C_{eq}$ 。結果，當溫度減少， $C$ 會遠離 $C_{eq}$ 而朝向晶核作用濃度 $C_n$ ，其係表示如果矽塊冷卻太快，最後，曲線 $C(T)$ 會與 $C_n(T)$ 相交，如此一矽塊事件便會發生。因此，可注意到當矽塊冷卻率減少以確保晶核作用之時，一高冷卻率可在較高的矽塊溫度上接受，如此矽塊便不會發生。然而，可進一步注意到 $C(T)$ 與 $C_n(T)$ 相交的溫度是至少部份的最初缺陷濃度與經由矽塊晶格的缺陷擴散率功能。

因此，根據本製程，在自我晶隙性或者空缺出現遷移率的溫度範圍內之矽塊冷卻方法會受到控制，以致於矽塊會從一第一溫度 $T_1$ 冷卻到一第二溫度 $T_2$ ，其溫度率是受控制從 $T_1$ 減少到 $T_2$ ，以致於在 $T_1$ 與 $T_2$ 之間的每一中間溫度 $T_{int}$ ，該軸對稱區域具有低於形成結塊本徵點缺陷的臨界濃度之本徵點缺陷濃度。該第一溫度 $T_1$ 典型是在大約 $1400^{\circ}\text{C}$ 與大約 $1300^{\circ}\text{C}$ 之間，理想是在大約 $1350^{\circ}\text{C}$ 與大約 $1310^{\circ}\text{C}$ 之間。該第二溫度 $T_2$ 典型是在大約 $1050^{\circ}\text{C}$ 與大約 $800^{\circ}\text{C}$ 之間，理想是在大約 $1000^{\circ}\text{C}$ 與大約 $900^{\circ}\text{C}$ 之間，而最理想是在大約 $975^{\circ}\text{C}$ 與大約 $925^{\circ}\text{C}$ 之間。

請即重新參考圖2，注意到在矽塊的軸對稱區域於 $T_1$ 與 $T_2$ 之間的冷卻率可受到控制，以致於在任何特定的溫度

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝 · 訂 · 線

## 五、發明說明 ( 21 )

上，自我晶隙性或空缺的實際濃度會保持在低於矽塊發生之平衡濃度以上的濃度，爲了要確保擴散可能的最大率。例如，該率可受到控制，以致於在特定的軸位置上，在軸對稱區域內的本徵點缺陷之實際濃度能以下列方程式(4)表示：

$$C = C_{eq} + X(C_n - C_{equil}) \quad (4)$$

其中

$C$ 是在特定軸位置上的本徵點缺陷之實際濃度；

$C_{eq}$ 是此軸位置之本徵點缺陷的平衡濃度；

$X$ 是一常數，其典型範圍是從大約0.4到小於大約1，而理想是從大約0.6到大約0.9；及，

$C_n$ 是足以在此軸位置上發生矽塊反應之本徵點缺陷的濃度。

注意，雖然通常較理想是該生長條件會受控制而使晶隙性主宰區域的寬度變大，但是一特定拉晶器熱域設計會受到限制。當 $V/I$ 邊界移至接近中央晶軸之時，假設該等冷卻條件與 $G_0(r)$ 不改變，所需的輻射擴散之最小量便會增加。在這些環境中，需能抑制輻射擴散所形成矽塊晶隙性缺陷的空缺主宰區域之最小半徑。

進一步可注意到爲了要達成控制在矽塊固定直徑部份長度上的冷卻率與存在時間的效果，只要尾部圓錐體生長完成，亦必須考慮到矽塊之尾部圓錐體的生長製程與矽塊處理，以確保矽塊的主體後者部份通常能具有與處理部份相同的熱歷史。處理此情況的數種方法會在諸如

## 五、發明說明 ( 23 )

最初濃度是主要的  $v$  功能；即是，本微點缺陷的類型與最初濃度能以  $v/v_{cr}$  的式子表示。因此，如果生長速度  $v$  大於  $v_{cr}$ ，那麼空缺便會主宰，而如果  $v$  小於  $v_{cr}$ ，自我晶隙性便會主宰。

當矽塊從接近凝結溫度冷卻到矽塊溫度之時，一關係會存在生長速度，矽塊存在超過矽塊溫度的時間與一特定軸位置移動的距離，以致於可避免結塊本微點缺陷的形成。在此距離或"存在長度" ( $L_{dw}$ ) 之間的關係，該生長速度與該存在時間是以如下所示的方程式 (6) 表示：

$$t = L_{dw}/v \quad (6)$$

注意溫度輪廓相信幾乎不受  $v$  變化的影響，以致於  $L_{dw}$  可認為是一特定熱域的常數。

解決在單晶矽塊中的矽自我晶隙性擴散的問題，藉由在技藝中所熟知的技術可額外地導致當  $G_0$  是常數之時，低於或等於臨界速度與自我晶隙性(與熔點平衡濃度  $C_m$ ；亦即，在凝結時的自我晶隙性濃度)之濃度的一特定生長速度  $L_{dw}$  之間的關係能以下列方程式 (7) 表示：

$$C/C_m = 1.602B (1-v/v_{cr}) \exp(-\mu_1 L_{dw}) \quad (7)$$

其中

$C/C_m$  是"正常"的濃度(亦即與在凝結時的濃度有關的自我晶隙性濃度)；

$B$  是決定在假設點缺陷參數的比例係數；一合理估計值是大約 0.5；

$v/v_{cr}$  是與臨界生長速度有關的實際生長速度；

## 五、發明說明 ( 24 )

$\mu$ 是軸擴散很小的一般Cz類型矽之典型生長參數的衰退係數，其能以 $(D/v)(\lambda_I/R)^2$ 表示，其中D是自我晶隙性擴散，v是生長速度， $\lambda_I$ 是Bessel函數 $J_0(\lambda_I)=0$ 的第一根值，並且大約等於2.40，而R是半徑。

基於目前的實驗證據，一般相信在大約900°C到大約925°C溫度，如果 $C/C_m$ 比率值小於大約0.01，便可避免矽塊缺陷的形成，而理想是少於大約0.005。隨著這些值與方程式(7)，可接受(亦即，一特定系統的變化程度能具有而仍產生實質等於矽塊半徑的一寬度之實質無缺陷的軸對稱區域)一特定存在長度的變化程度可決定出，或者，使用在一特定拉晶處理的這些值與已知或意欲變化，一存在長度能決定出，其足以產生實質等於矽塊半徑的一寬度實質無缺陷的軸對稱區域。換句話說，處理情況的某些變化是可預期，在方程式(7)所提供的關係可用來將需要的細節提供來設計一耐用製程；即是，方程式(7)可用來設計能夠處理預期製程變化的一系統，而仍然可生長實質無缺陷的矽。

請即參考圖4，它看出一特定的存在長度，當與臨界速度(亦即， $v/v_{cr}$ )有關的實際速度減少之時，該正常濃度便會增加，直到該生長速度變成如此慢，以致於有充份時間允許自我晶隙性過度擴散，有效地降低整個濃度。現階段實驗證據提議所表示的特殊製程情況與系統(亦即， $v_{cr}$ =每分鐘0.28公釐；矽塊半徑=100微米； $L_{dw}$ =690公釐)，如果超過，造成結塊本徵點缺陷形成的相關臨界濃度相信

## 五、發明說明 ( 25 )

是大約 0.01，而在某些範例，它可以是大約 0.005 或更少。因此，可看出如果可避免結塊本徵點缺陷的形成，實際生長速度必須與臨界速度非常接近，或非常遠；即是，在此範例中，可避免形成矽塊缺陷的  $v/G_0$  的兩個 "窗"，一個非常接近臨界值，而另一是遠離它。請即參考圖 5，可看出當  $L_{dw}$  於一特定生長速度增加之時，矽自我晶隙性的相對關係濃度便會減少 (其中相對的曲線 1-7 係分別符合 400 公釐、500 公釐、600 公釐、700 公釐、800 公釐、900 公釐與 980 公釐的存在長度)。

增加  $L_{dw}$  能有效地擴展實際生長速度的範圍，其適合於實質無矽塊缺陷的一單晶矽塊目生長。當  $L_{dw}$  持續增加之時，最後，可接受的生長速度之 "窗" 便可在整個範圍擴展 (參考圖 5 的曲線 7)；即是， $L_{dw}$  最後會在任何  $v < v_{cr}$  於  $C < C_{cr}$  到達一臨界值。可看出所呈現的範例， $L_{dw}$  的臨界值是大約 980 公釐，其是與一 Cz 類型單晶矽塊的典型長度相比較。因此，若要避免在整個晶體的可用長度上形成矽塊缺陷，既使在生長完成之後，矽塊的拉率必須持續在相同速率，爲了要確保足夠的存在時間 (除非矽塊是在另一生長程序之後準備，諸如藉由保持在拉室中的矽塊，在生長完成之後，然後緩慢冷卻，該矽塊會在加熱器 "之後" 使用拉室)。

請即參考圖 6-8，在  $L_{dw}$  上的可接受生長速度扇之依賴會進一步描述。鑑於在一特定組製程情況的已知或意欲變化，這些曲線可用來決定所需的的存在長度，爲了要獲得實

## 五、發明說明 ( 26 )

質無缺陷矽。換句話說，每個拉晶器熱域具有一固有的臨界值  $G_0$ ，而且，同樣具有一相對的  $v_{cr}$ ，只要決定一特定製程的變化量，或建立所需的變化， $v/v_{cr}$  比率便可連同在圖 6-8 所示的圖式使用，以便決定避免形成矽塊缺陷之所需的存在長度。

如一範例所示，如果一 200 公釐直徑矽塊要在具有一熱輪廓的拉晶器生長(參考如圖 6)，以致於  $v_{cr}$  是大約每分鐘 0.28 公釐(亦即，曲線 3)，而意欲的變化是大約 20%，然後一單晶矽塊便可生長，其整個可用的長度是實質無矽塊缺陷，如果  $L_{dw}$  長度是大約 100 公分，換句話說，如果此一矽塊可藉由採用諸如上層加熱器與反射鏡能生長，該熱域便可設計，所以當從大約凝結溫度冷卻到矽塊形成的臨界溫度之時，該矽塊固定直徑部份之每個軸位置便會移動大約 100 公分。

在圖 6-8 係描述分別符合 200 公釐、150 公釐與 300 公釐的矽塊直徑，該等存在長度係提供給許多不同的  $v_{cr}$  值，在相對於  $v_{cr}$  值之每一圖式的曲線如下表 I 所示；

表 I

曲線	$v_{cr}$ (圖 6)	$v_{cr}$ (圖 7)	$v_{cr}$ (圖 8)
1	0.15 公釐/分鐘	0.25 公釐/分鐘	0.10 公釐/分鐘
2	0.25 公釐/分鐘	0.35 公釐/分鐘	0.15 公釐/分鐘
3	0.28 公釐/分鐘	0.45 公釐/分鐘	0.20 公釐/分鐘
4	0.35 公釐/分鐘	0.55 公釐/分鐘	0.25 公釐/分鐘
5	0.45 公釐/分鐘	---	---
6	0.55 公釐/分鐘	---	---

## 五、發明說明 ( 27 )

請即重新參考圖 5，可看出如果存在長度足夠大，實際生長速度可以是低於該臨界值的任何值，為了生長實質無矽塊缺陷的晶隙性主材料的一單晶矽塊。更明確而言，可從曲線 7 看出當  $L_{dw}$  接近大約 970 公釐之時，在此範例是臨界長度 ( $L_{cr}$ )， $v$  變化 "窗"，如此  $v/G_0$  本質是會完全敞開；即是，如果  $L_{dw}$  是大約 970 公釐，那麼小於大約  $v_{cr}$  的所有值與如此低於  $v/G_0$  臨界值加上  $\Delta$  以允許復合 (出現那  $G_0$  假設是本質上不變在這中) 空缺破壞的  $v/G_0$  所有值將允許實質無缺陷的晶隙性主宰單晶矽生長。

在  $v_{cr}$  上的  $L_{dw}$  臨界值依賴可進一步由方程式 (8) (其中所有單位是以公釐與分鐘) 表示：

$$L_{cr} = 0.35 v_{cr} R^2 \quad (8)$$

其中

$L_{cr}$  是為  $L_{dw}$  的臨界值；即是，該長度是足夠允許  $v$  小於  $v_{cr}$  的任何值，而仍然可避免形成矽塊缺陷；

$v_{cr}$  是如上述的生長速度 (公釐/分鐘) 之臨界值；及，

$R$  是生長矽塊的半徑。

在  $L_{dw}$  的臨界長度與臨界生長速度  $v$  之間的關係會進一步在圖 9 描述，其係顯示 150 公釐、200 公釐與 300 公釐 (分別是曲線 1、2 與 3) 的矽塊直徑。更明確而言，在圖 9 所示的曲線圖係顯示在可接受變化的 "窗" 完全敞開 (亦即，晶隙性所主宰生長的任何變化是可接受) 之時，在  $v_{cr}$  與所需相對  $L_{dw}$  之間的關係，為了要獲得整個可用長度的實質無缺陷之一矽塊。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明 ( 28 )

注意，雖然上述式子係用以描述在  $L_{dw}$  臨界值、生長速度、與半徑之間的關係，當該軸對稱區域的寬度大約等於矽塊的寬度，而該寬度小於等於矽塊半徑之時，一類似式子便可提供。更明確而言，如果該軸對稱區域的寬度小於等於矽塊的半徑，那麼在方程式(8)的  $R$  (表示矽塊的半徑) 便會以  $(R - R_v)$  取代，其中  $R$  係表示空缺主宰核心的寬度，其是藉著從中央軸輻射向外到  $V/I$  邊界的測量所決定。因此，該矽塊的半徑已由該自我晶隙性主宰區域的寬度所取替，由於部份至少是該擴散距離已減少。當焦點是在實質無缺陷區域的空缺主宰區域之時，一類似關係便可提供，其中  $R$  是使用  $(R - R_I)$  取代， $R_I$  表示該晶隙性主宰圈的寬度。

進一步注意雖然上述的關係是基於假設  $G_0$  是跨在矽塊半徑的常數，一般而言，同樣是在  $G_0$  半徑變化的情況。更明確而言，當生長條件受到控制以確保自我晶隙性主宰(除了空缺主材料的核可具有晶隙性的復合破壞)之時， $G_0$  的半徑變化是可接受，因為有充份的時間，自我晶隙性的過度擴散在於補償本徵點缺陷的最初濃度之任何變化。雖然需有明顯較長的時間，但在空缺主宰之時，本質是相同的。

雖然本製程的耐用本質或彈性允許  $G_0$  半徑變化，但是亦應注意到本製程允許  $G_0$  軸變化。更明確而言，通常接近中央軸(其中擴散距離典型是最大)的本徵點缺陷(亦即，在矽塊冷卻到大約  $1300^\circ\text{C}$  或甚至大約  $1325^\circ\text{C}$  之後的濃度)之

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明 ( 29 )

最初濃度變化可從一軸位置到下一軸位置發生，造成  $G_0$  與  $v$  變化。因此，過度擴散的效果可利用來補償不管任何原因造成的缺陷濃度變化。

請即參考圖 10 和 11，其係顯示在臨界晶隙性濃度（亦即，在凝結時候於濃度  $C_{im}$  形成矽塊的溫度  $T_{cr}$  上之濃度  $C$  比率）的正常值  $S$  與在繪出  $G_0$  實際值上的  $G_0$  實際值比率之間的關係。注意目前的經驗係建議臨界濃度的正常值是小於大約 0.01，可能是大約 0.005；即是，矽塊自我晶隙性本徵點缺陷的形成可避免，其假設該正常的濃度係保持低於此值。

請即參考圖 10 與下面相對的表 II，在變化與正常晶隙性濃度之間的關係可看出具有大約 150 公釐的一額定直徑之單晶矽塊，其用以許多不同的存在長度。從此圖中，可看出當該存在長度持續增加（從曲線 1 至曲線 7 由右向左移），越來越多的曲線是低於大約 0.005 的估計臨界濃度，如此允許較大的  $G_0$  變化。很明確地，可從表 II 看出，對於大約 30% 的固定拉率（在此是大約每分鐘 0.28 公釐）"窗" 而言，變化性是藉由在大約一典型晶體長度（亦即，小於大約 100 公分）內的一存在長度而提供  $G_0$ 。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝 · 訂 · 線

## 五、發明說明 ( 30)

表 II

曲線	$L_{dw}$	$\Delta(G_0)_{cr}/G_0$
1	30 公分	5%
2	40 公分	7%
3	50 公分	10%
4	60 公分	13%
5	70 公分	18%
6	80 公分	24%
7	90 公分	31%

( $R = 7.5$  公分 ;  $v = 0.28$  公釐 / 每分鐘 ,  $D_I = 2 \times 10^{-4}$  平方公分 / 每秒。)

一類似可從圖 11 與下面相對的表 III 看出，有關具有大約 200 公釐額定直徑的一單晶矽塊。再者，可從圖看出當存在長度增加之時，下面更多的曲線是大約 0.005 的估計臨界濃度，如此便允許較大的  $G_0$  變化。然而，當表 III 指出同樣增加存在長度的影響描述，由於增加有效地抑制最初濃度的必要擴散距離，如此便可避免矽塊缺陷的形成。

## 五、發明說明 ( 31 )

表 III

曲線	$L_{dw}$	$\Delta(G_0)_{cr}/G_0$
1	30 公分	4%
2	40 公分	5%
3	50 公分	6%
4	60 公分	8%
5	70 公分	10%
6	80 公分	12%
7	90 公分	15%

( $R = 10$  公分 ;  $v = 0.28$  公釐 / 每分鐘 ;  $D_I = 2 \times 10^{-4}$  平方公分 / 每秒)

注意允許避免砂塊缺陷的形成的  $G_0$  值 "窗" 之計算寬度是至少部份決定在  $S$  的估計值與假設的晶隙性擴散值  $D_I$  (其在所示的範例是估計在大約每秒  $2 \times 10^{-4}$  平方公分)。然而，在此所示的品質結果相信在  $S$  與  $D_I$  值的合理範圍內是相同的。

進一步注意，如從圖 10 和 11 可看出，不像是  $G_0$  保持固定的上述情況。當  $v$  允許改變之時(參考如圖 4 和 5)，在此所示的曲線不會到達一最大值。換句話說，當  $v$  允許改變之時，而存在長度持續增加，最後一點便會到達，其中整個曲線會滑落低於臨界濃度。對照下，當  $G_0$  允許改變之時，沒有點會到達；當  $v$  允許改變之時，可接受值的  $G_0$  "窗" 便可完全敞開。

此外，如從圖 10 和 11 可看出，當  $G_0$  增加之時，該等曲

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明 ( 32 )

線會持續向上傾斜。對照下，當 $v$ 允許改變之時，該等曲線最初具有一向上傾斜，但是然後在到達一平坦區域之後，該等曲線會變成向下傾斜。 $v$ 變化曲線的形狀是由於 $v$ 減少的補償效果。更明確而言，當 $v$ 減少造成如果晶隙性的濃度增加之時，擴散時間亦會增加。在某些點上，擴散的效果遠較濃度增加重要。如圖10和11所示，當 $G_0$ 是變化源之時，沒有補償效果會出現。

### 定義

如在此所使用，下列慣用語或術語具有特定的意義：  
 "結塊本徵點缺陷" 意謂缺陷是由下列造成(i)空缺會結塊而產生D缺陷、流程圖案缺陷、開氧化物完整性缺陷、結晶方向粒子缺陷、晶向光點缺陷、及其他此空缺相關缺陷的反應；或(ii)自我晶隙性結塊而產生擾亂迴路與網路、及其他此自我晶隙性相關缺陷的反應；"結塊晶隙性缺陷" 將意謂著結塊本徵點缺陷是由矽自我晶隙性原子結塊的反應所引起；"結塊空缺缺陷" 將意謂著結塊空缺點缺陷是由晶格空缺結塊的反應所引起；"半徑" 意謂著從一中央軸到一晶圓或晶塊的周圍邊緣所測量的距離；"實質上沒有結塊本徵點缺陷" 表示低於這些缺陷的偵測界限之結塊缺陷濃度，其目前是大約每立方公分 $10^3$ 個缺陷；"V/I 邊界" 表示從空缺支配到自我晶隙性支配的材料變化而沿著一晶塊或晶圓半徑的位置；及"空缺支配" 與"自我晶隙性支配" 表示該等本徵點缺陷係分別為主要空缺或自我晶隙性的材料；而" $(v/G_0)_{cr}$ " 係參考為 $v/G_0$ 臨界值，當矽塊冷卻

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝  
訂  
線

## 五、發明說明 ( 33 )

之時，考慮空缺或自我晶隙性破壞的影響，結果會復合。

### 範例

當下列範例所述，本發明係提供用以準備一單晶矽塊的製程，其中  $v/G_0$  會輻射或軸向改變，由於  $v$ 、 $G_0$ 、或兩變化的結果，藉由利用本微點缺陷的受控制冷卻與過度擴散效果，本製程如此便可在實質無結塊本微點缺陷的單晶矽準備中提供較大的彈性，以致於可將  $v/G_0$  值維持在一狹窄部份，值的"目標"範圍不再需要，然而，應注意，該範例只發表方法與可用來達成意欲結果的一組情況。因此，它並未受到應用上的限制。

### 範例

兩個 200 公釐晶塊可在一拉晶器生長，其能夠實質產生晶隙性主材料的無缺陷之軸對稱區域，該晶隙性主材料具有實質分別等於矽塊固定直徑部份的半徑與長度之一寬度與長度。當矽塊以在圖 3 A (在下文是"無缺陷"的生長率曲線)中的虛線所示的速率生長之時，此一軸對稱區域可在特定的拉晶器達成。

兩個晶體是以相同的目標生長率來成長，如圖 3 A 的一連續線所述，其具有如一正常生長率(亦即，該實際生長率是與臨界生長率有關，其典型是以  $v/v_{cr}$  的比率表示)所述的生長率。如所述的，這些矽塊最初是在超過"無缺陷"生長率曲線上生長一段時間，然後重新以超過"無缺陷"生長率曲線的速率生長一段時間。

在矽塊完成生長之時，該第一矽塊(87GEX)允許在晶生

## 五、發明說明 ( 35 )

557公釐到晶體尾部存在矽塊空缺缺陷。這些係符合在此熱域的無缺陷生長條件以上、其間與以下的區域。該保持的矽塊(87GEW)係包含從0到大約395公釐的矽塊空缺缺陷、從大約395公釐到大約584公釐的無結塊本徵點缺陷、及從大約584公釐到晶體尾部的矽塊空缺缺陷。因此，在兩矽塊之間的最明顯差異會在從大約435公釐到大約513公釐的區域，其中該自然冷卻的矽塊(87GEX)係包含結塊本徵點缺陷，然而保持的矽塊(87GEW)並不包含。在保持期間，在保持矽塊(87GEW)中的自我晶隙性矽原子濃度會受到矽塊表面與空缺主宰區域的自我晶隙性原子之額過度擴散而抑制，如此，晶隙性原子的臨界過飽和與矽塊反應便可避免隨後的晶體凝結。然而，在自然冷卻的矽塊中，不夠的時間允許表面與空缺主宰區域的額過度擴散，結果，該系統會在矽自我晶隙性原子變成臨界過飽和，而矽塊反應會發生。

注意，這些矽塊因此描述要提供足夠的時間量與相當高的溫度，事實上，任何矽自我晶隙性原子量可以是過度擴散表面。

進一步注意在圖3A所述的"無缺陷"生長率曲線是在晶體生長率的範圍內，其可在此拉晶器結構的自然冷卻情況下完全提供結塊本徵點無缺陷材料。請即參考下面的表IV，可看出甚至在此熱域結構的自然冷卻情況下，在形成矽塊空缺缺陷的生長率( $P_v$ )與形成結塊本徵點缺陷的生長率( $P_I$ )之間存在晶生長率的範圍；此範圍是至少是 $P_v$ 與

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝  
訂  
線

### 五、發明說明 ( 36 )

$P_I$ 的平均 $\pm 5\%$ 。當在溫度超過大約 $1,050^\circ\text{C}$ 的生長晶體之存在時間會增加，此範圍會進一步與諸如至少 $P_v$ 與 $P_I$ (例如，對於晶體87GEW而言，該存在是相當大於 $P_I$ 未達成，因此對此晶體而言， $P_I$ 是小於所達成的最低拉率)平均的 $\pm 7.5\%$ 、至少 $\pm 10\%$ 、或甚至至少 $\pm 15\%$ 的範圍增加。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝 訂 線

表 IV

87GEX						
轉換	位置 mm	正常化 拉率, V	V_ave	窗(DV)	%變化 100 (DV/Vave)	
V-P	393	0.251				
P-I	435	0.213	0.232017	0.03865546	16.66	
I-P	513	0.209				
P-V	557	0.249	0.222937	0.0402521	17.55	
87GEW						
轉換	位置 mm	正常化 拉率, V	V_ave	窗(DV)	%變化 100 (DV/Vave)	
V-P	395	0.246				
P*	465	0.196	0.221008	0.05042017	22.81	
P*	465	0.196				
P-V	584	0.271	0.233193	0.07478992	32.07	

\*在未觀察到 P-I 轉換的 87GEW 中，我們在窗中採用最小的 V 值來決定窗大小。

## 五、發明說明 ( 37)

## 五、發明說明 ( 38 )

對於一特定拉晶器與熱域結構而言，可假設該軸溫度梯度  $G_0$  在相當短的距離上是大約不變，諸如在此發生的轉變範圍。結果，一晶體生長率的變化會導致空缺與矽自我晶隙性原子的最初濃度成比例變化。然而，大體上，既然  $v/G_0$  值是從表面最遠的距離，所以在中央矽塊上的  $v/G_0$  值是最決定性的值。因此，此範例的結果係展現經由在溫度大於約  $1000^\circ\text{C}$  上增加存在時間所達成的拉率變化增加係暗示相對於  $v/G_0$  變化的這些會在沿著晶體半徑的任何點上發生。換句話說， $v/G_0$  的半徑變化是不相關，而因此可在矽塊的中央諸如超過(在任何半徑位置)  $v/G_0$  值的 10%、15% 或更多。

從上述資料可看出，經由控制冷卻率，本微點缺陷的濃度便可藉由允許這些缺陷擴散到缺陷會被破壞的區域之更多時間而受到抑制。結果，矽塊本質點缺陷的形成便可在該單晶矽塊固定直徑部份的一明顯部份內避免。

鑑於上述，可看出本發明的數個目的是可達成。

各種不同的變化可在上述的組合與製程成，而不會違背本發明的範圍，其要使在上述中所包含的所有事務只用於舉例說明而不是限制。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

四、中文發明摘要 (發明之名稱： 準備允許有不同處理條件之無缺點矽晶之方法 )

一種用以生長單晶矽塊之方法，該矽塊具有實質上無結塊本徵點缺陷的一軸向對稱區域。該矽塊通常係根據 Czochralski 方法來生長；然而，該矽塊從凝結溫度冷卻到超過大約 900°C 溫度的方式可受到控制，以允許本徵點缺陷的擴散，以使矽塊缺陷不會在該軸對稱區域內形成。因此，由於在最小與最大值之間改變至少 5% 的  $v$  或  $G_0$ ，該  $v/G_0$  比率允許在此區域中軸向改變。

英文發明摘要 (發明之名稱： "PROCESS FOR PREPARING DEFECT FREE SILICON CRYSTALS WHICH ALLOWS FOR VARIABILITY IN PROCESS CONDITIONS" )

A process for growing a single crystal silicon ingot having an axially symmetric region substantially free of agglomerated intrinsic point defects. The ingot is grown generally in accordance with the Czochralski method; however, the manner by which the ingot is cooled from the temperature of solidification to a temperature which is in excess of about 900°C is controlled to allow for the diffusion of intrinsic point defects, such that agglomerated defects do not form in this axially symmetric region. Accordingly, the ratio  $v/G_0$  is allowed to vary axially within this region, due to changes in  $v$  or  $G_0$ , between a minimum and maximum value by at least 5%.

88110877

本 告 公

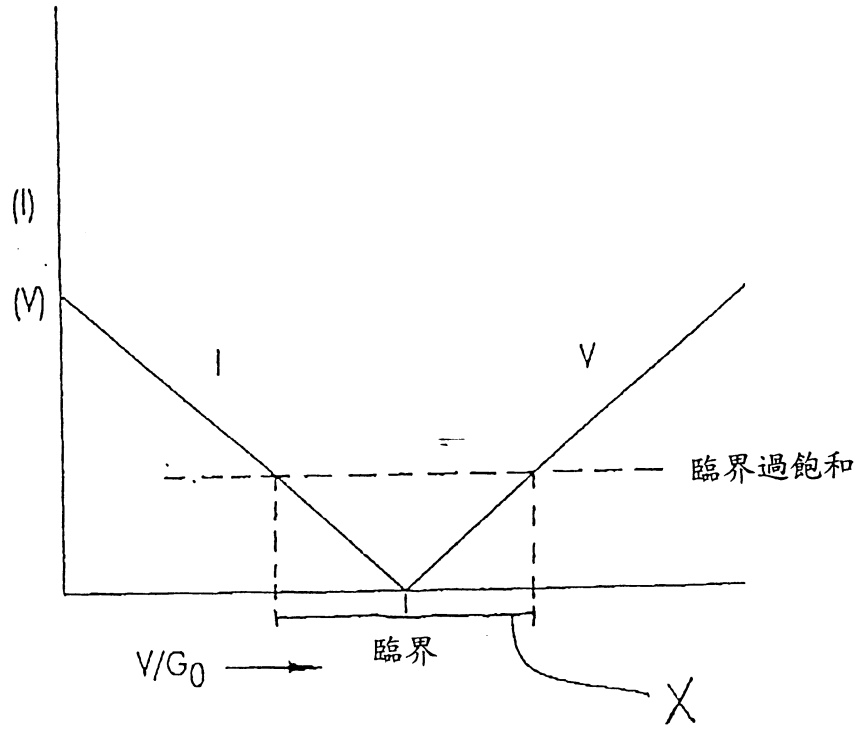


圖 1

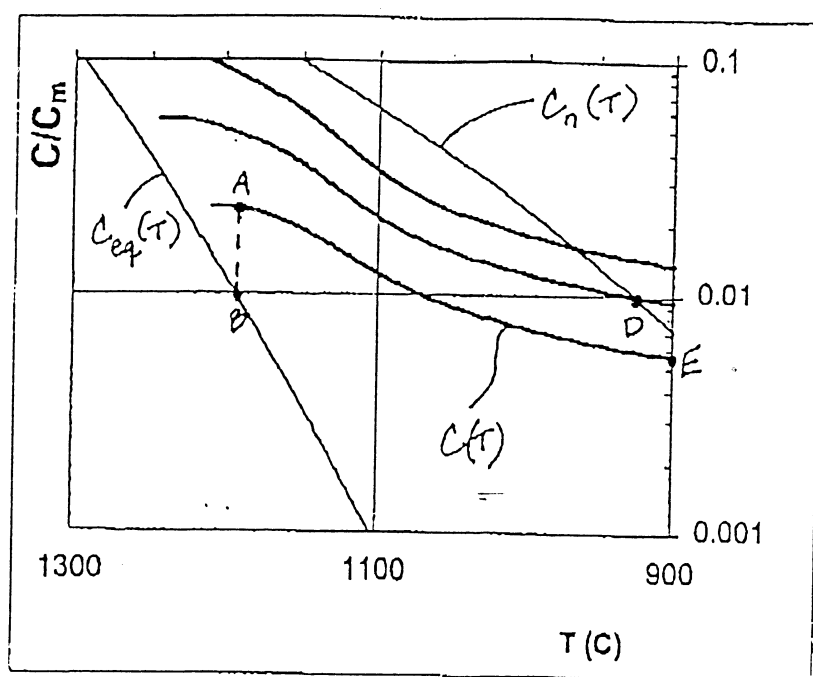
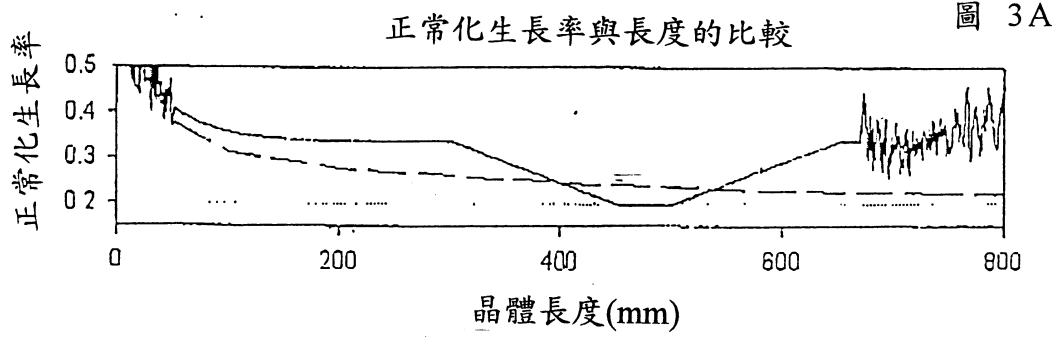


圖 2



87GEW



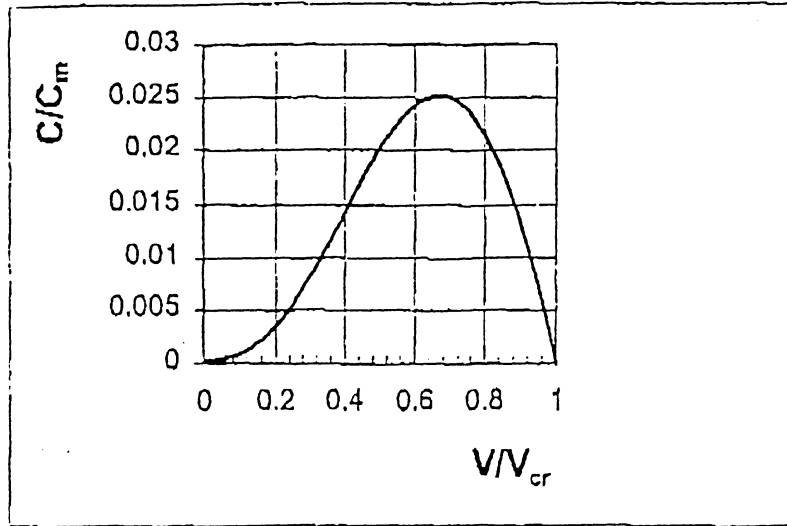


圖 4

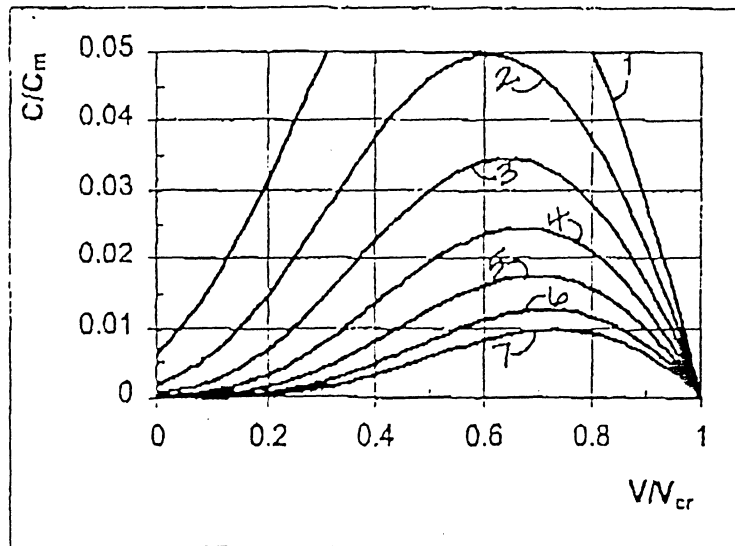


圖 5

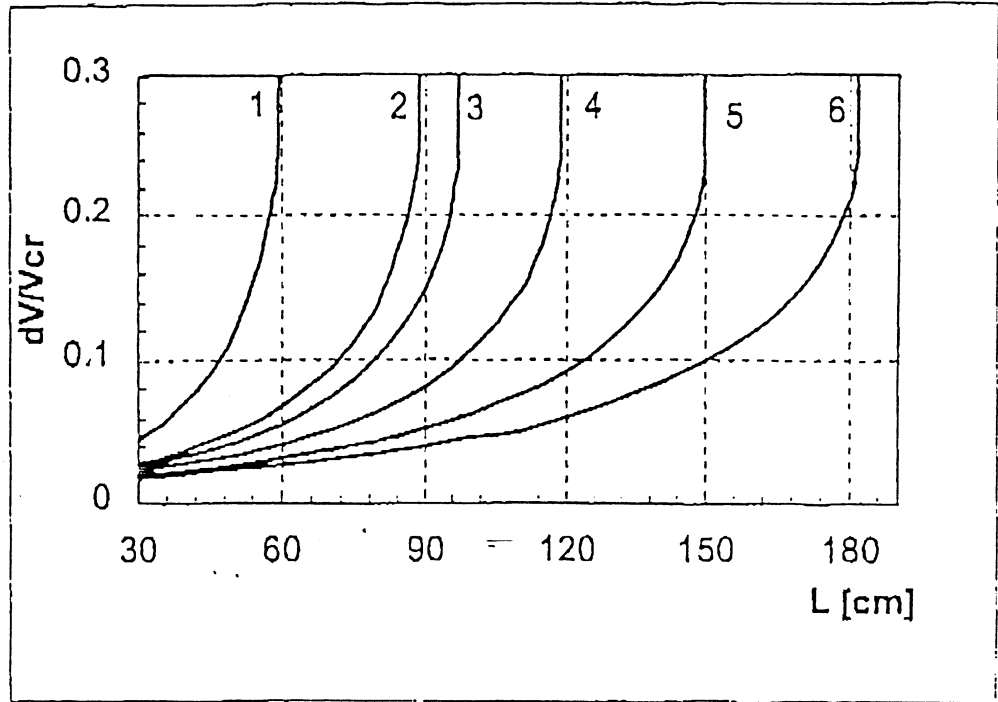


圖 6

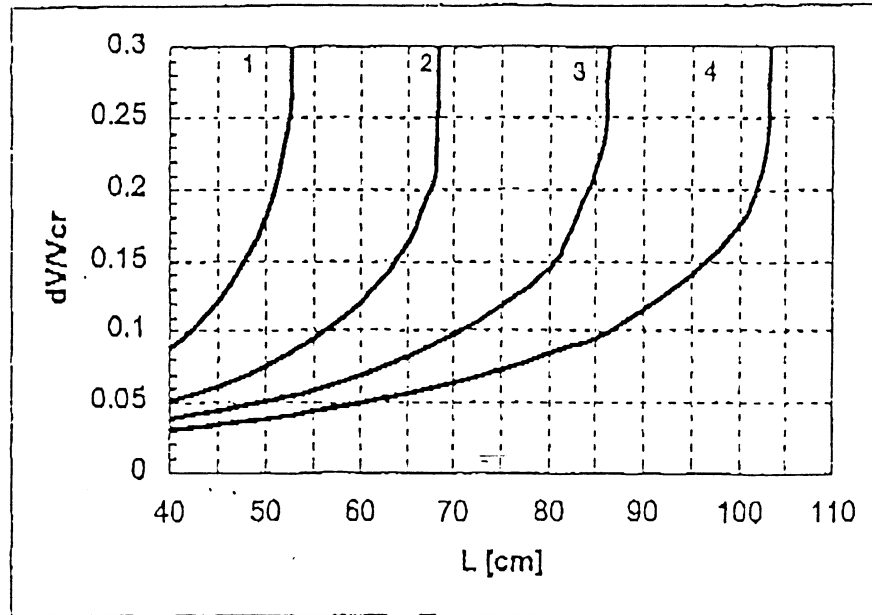


圖 7

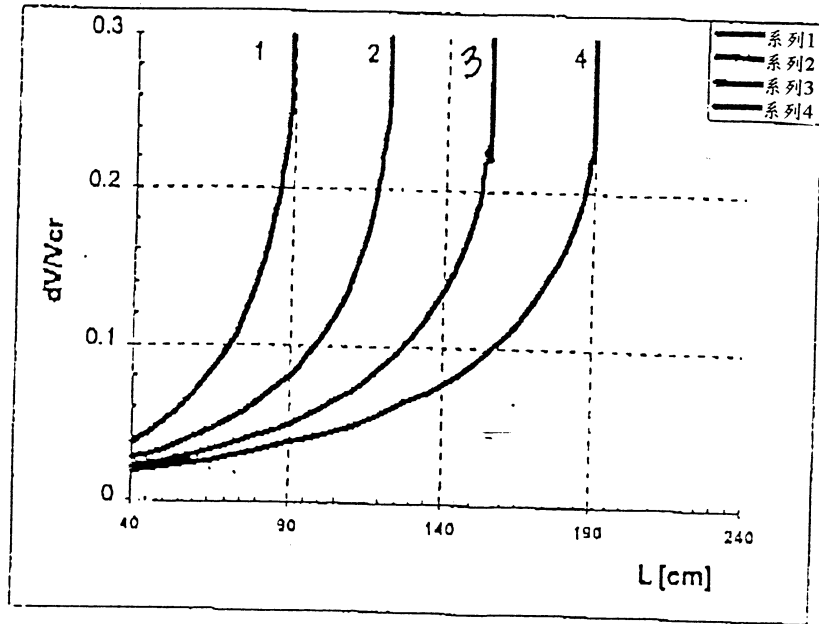


圖 8

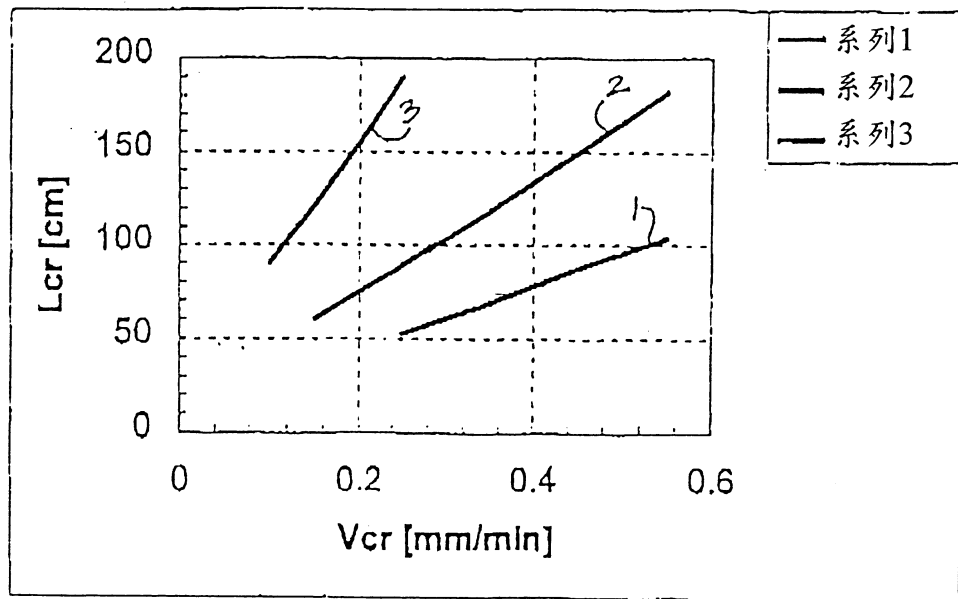


圖 9

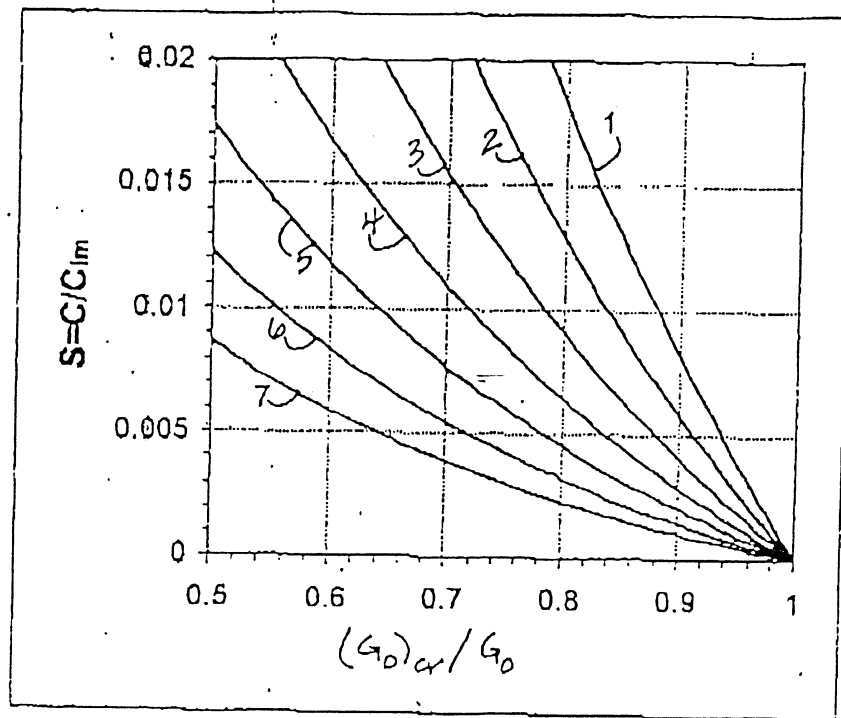


圖 10

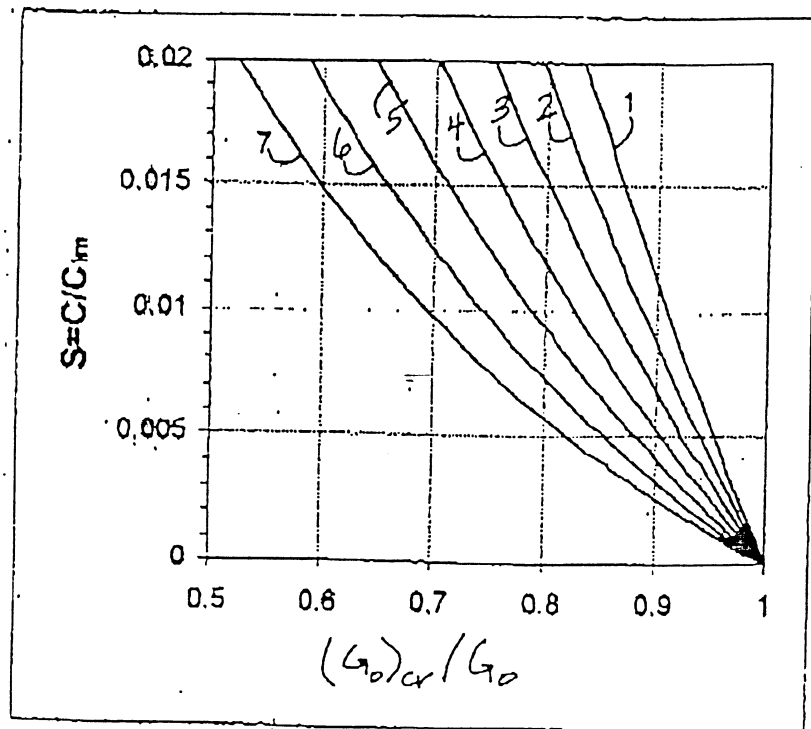


圖 11

## 五、發明說明(7)

圖8係描述在生長速度(當與臨界生長速度相比較)變化與所需存在長度之間的關係圖式，為了要避免形成各種不同臨界生長速度(300公釐的晶體直徑)的矽塊缺陷。

圖9係描述各種不同直徑矽塊的臨界存在長度與臨界生長速度之間的關係圖式。

圖10係描述在臨界溫度上的矽自我晶隙性正常濃度與在 $G_0$ 實際值上的 $G_0$ 臨界值比率之間的關係圖式，而且會影響想到150公釐直徑單晶矽塊的存在長度變化。

圖11係描述在臨界溫度上的矽自我晶隙性正常濃度與在 $G_0$ 實際值上的 $G_0$ 臨界值比率之間的關係圖式，而且會影響想到200公釐直徑單晶矽塊的存在長度變化。

較佳具體實施例之詳細說明

根據本發明，已發現到受控制的冷卻可利用於實質無缺陷的矽，以提供有效的彈性製程控制或耐用，以致於 $v/G_0$ 可改變或在窄部份外"遊移"，值的範圍必須採用，以避免結塊本徵點缺陷的形成。

生長條件的控制

先前已描述根據Czochralski方法，該等製程條件可在單晶矽塊生長期間受到控制，以致於該矽塊的固定直徑部份係包含一區域或實質無結塊本徵點缺陷的區段。(參考諸如PCT/US98/07365與PCT/US98/07304)如在此的揭示，生長條件包括生長速度 $v$ ，該平均軸溫度梯度 $G_0$ 是在凝結溫度與大於約 $1300^{\circ}\text{C}$ 溫度之間，與從凝結到大約 $1050^{\circ}\text{C}$ 冷卻率會受到控制，以造成可形成實質無結塊本徵點缺陷之

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

錄

## 五、發明說明( 8 )

一軸對稱區域。

這些生長條件理想可將與該矽塊固定直徑部份的面積有關的此軸對稱區域控制在最大面積。當矽自我晶隙性是本徵點缺陷的主宰類型之時，該軸對稱區域典型上具有等於至少大約該矽塊半徑的30%之寬度，而具有至少大約40%、60%、80%、90%與95%的寬度會更佳。同樣地，當空缺是本徵點缺陷的主宰類型之時，該軸對稱區域具有至少大約15公釐之寬度。然而，理想上，此區域具有等於至少大約7.5%矽塊半徑之寬度，而具有至少大約15%、25%與50%的寬度是更佳。不管所主宰的本徵點缺陷，此區域的最理想寬度是大約等於該矽塊的半徑。此外，此軸對稱區域典型是在矽塊固定直徑部份的至少大約20%長度延伸，其至少大約40%、60%、80%、90%與甚至大約100%的長度會更佳。

如在別處所述(參考諸如PCT/US98/07365與PCT/US98/07304)，一般通常相信此一軸對稱區域的構成物會達成，結果抑制矽自我晶隙性或晶格本徵點缺陷反應產生結塊本徵點缺陷。此抑制會在矽塊生長與冷卻期間藉由控制在此軸對稱區域中的這些本徵點缺陷濃度與矽塊冷卻達成，以確保此區域不會變成臨界過飽和。避免臨界過飽和或結塊本徵點缺陷可藉由建立一最初濃度(由 $v/G_0(r)$ 控制，其中 $G_0$ 是半徑功能)達成，此最初濃度是足夠低，以致於不會造成臨界過飽和。然而，此一方法需要 $v/G_0$ 實際值維持在一窄的範圍內，目標範圍值是非常接近於 $v/G_0$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

## 五、發明說明 ( 10)

如由  $v/G_0(r)$  所決定的最初濃度。如在 PCT/US98/07365 與 PCT/US98/07304 的描述，其發現由於自我晶隙性的相對較大遷移率，藉由自我晶隙性擴散到位在晶體表面上的槽或到位在晶體的空缺主宰區域，其可在亦即大約 5 公分到大約 10 公分或更長距離的大距離上能有效地抑制自我晶隙性之濃度。擴散可有效地用來抑制自我晶隙性的濃度，允許提供足夠的時間。大體上，擴散時間會決定在自我晶隙性的最初濃度半徑變化，其具有需要短擴散時間的較少半徑變化。

自我晶隙性擴散量可在矽塊從凝結溫度(大約  $1410^{\circ}\text{C}$ ) 冷卻到矽自我晶隙性變成無遷移率的溫度期間藉由控制時間而受到控制，其係用於商用目的。矽自我晶隙性在溫度接近亦即大約  $1410^{\circ}\text{C}$  矽凝固溫度便會出現較大的遷移率。然而，當該單晶矽塊的溫度減少之時，此遷移率會減少。通常，自我晶隙性的擴散率會減慢一相當程度，自我晶隙性在溫度低於大約  $900^{\circ}\text{C}$  的商用時間是本質上無遷移率。然而，雖在一自我晶隙性矽塊反應發生的溫度上發生大溫度範圍之理論性變化，但是如一實際問題是在此範圍會相當地窄，結果，根據 Czochralski 方法，典型在生長矽中獲得的最初自我晶隙性濃度是相當狹窄的範圍。大體上，因此，如果在大約  $1050^{\circ}\text{C}$  到大約  $900^{\circ}\text{C}$  範圍內的溫度，一自我晶隙性矽塊反應便會發生，而典型是在大約  $925^{\circ}\text{C}$  或大約  $950^{\circ}\text{C}$  的溫度。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明 ( 11)

擴散效果

在自我晶隙性出現遷移率及視熱域溫度而定的溫度範圍內，該冷卻時間典型上會受到控制，以致於矽塊會居於或"存在"此範圍足以允許自我晶隙性擴散的時間，以致於臨界過飽和不會發生。藉由控制此存在時間 $t_{dw}$ ，嚴格的 $v/G_0$ 需求便可解除，而與該臨界值有關而適合於避免形成矽塊缺陷的較大 $v/G_0$ 範圍值便可提供。此一關係可由下列方程式(2)表式；

$$[(v/G_0)_{cr} + \delta] > v/G_0(r_0) > [(v/G_0)_{cr} - \Delta(t)_{cr}] \quad (2)$$

其中

$[(v/G_0)_{cr} + \delta]$ 是與上述方程式(1)相同；

$v/G_0(r_0)$ 是在大約中央軸(該擴散距離典型上在此點是最佳)上的 $v/G_0$ 實際值；及，

$[(v/G_0)_{cr} - \Delta(t)_{cr}]$ 是在 $v/G_0$ 臨界值減去 $\Delta$ 之間的差，多長時間在矽塊內的一特定軸位置因素的 $\Delta$ 可允許存在超過臨界溫度(亦即，矽塊發生的溫度)。

可從方程式(2)看出，存在時間會增加， $v/G_0$ 實際值有較大機會在實質無缺陷的區段內改變軸；即是，當存在時間增加之時， $v/G_0$ 實際值會進一步從目標範圍值脫離，否則如果在未利用擴散，便會造成一實質矽塊無缺陷區段的形成。此外，可看出該專注是在接近中央軸的 $v/G_0$ 上，因為擴散距離典型上在此點是最好。

鑑於先前所述及在諸如 PCT/US98/07365 與 PCT/US98/07304 的描述，典型上，該軸對稱區域可允許存

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

錄

## 五、發明說明 ( 22)

PCT/US98/07365與PCT/US98/07304詳細地討論。

同樣要注意當拉晶器與熱域設計改變之時，在 $v/G_0$ 、拉率、冷卻時間與冷卻率以上所出現的範圍亦會改變。

對於根據本發明的製程與具有亦即包含空缺主材料的矽塊之V/I邊界所準備的矽塊而言，經驗已顯示亦即低於大約13 PPMA（每百萬原子的成份，ASTM標準F-121-83）的低氧成份材料是較佳。更理想是該單晶矽係包含少於大約12 PPMA氧，而更理想是低於大約11 PPMA氧，而最理想是低於大約10 PPMA氧。這是因為，在中間到高氧成份晶圓，亦即14 PPMA到18 PPMA，氧感應堆疊不良與在V/I邊界內的提高氧團帶會變成更顯著。這些其中每個是一特定積體電路製造程序問題的潛在來源。然而，注意到當該軸對稱區域具有大約等於矽塊半徑的寬度，氧成份的限制便可移除；這是因為沒有空缺型材料會出現，如此的不良與成串的形成將不會發生。

製程/系統設計

如先前的討論，在生長的單晶矽塊內的本徵點缺陷之類型與最初濃度是與 $v/G_0$ 臨界值有關的 $v/G_0$ 比率之實際值功能。該生長速度 $v_{cr}$ 能以下列方程式(5)表示：

$$v_{cr} = \xi G_0 \quad (5)$$

其中

$G_0$ 是平均軸溫度梯度；及，

$\xi$ 表示臨界值，其目前相信是大約 $2.1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sK}$ 。

如果 $G_0$ 是在矽塊半徑上的常數，那麼這些缺陷的類型與

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

## 五、發明說明 ( 34)

長室自然冷卻。然而，該第二矽塊(87GEW)不允許在晶生長室自然冷卻；相反地，在矽塊完成生長之時，在拉晶器的熱域中該等加熱器會保留，而矽塊會在拉室保持30小時。

注意有關該第二矽塊(87GEW)，一非一致性溫度輪廓會被採用，以致於從籽晶尾部超過大約400公釐的矽塊區域會保持在超過大約1,050°C的溫度，而從籽晶尾部小於大約400公釐的區域會在此期間保持在低於大約1,050°C的溫度。

該等晶塊會沿著平行於生長方向的中央軸而縱向切割，然後進一步分成數個區段，每個大約是2公釐厚度，隨著銅裝飾技術(如在PCT/US98/07365與PCT/US98/07304中所述)的使用，在一標準缺陷概圖蝕刻之後，該等取樣便會視覺檢查是否出現沉積雜質，這些區域相對於無矽塊晶隙性缺陷的區域的無沉積雜質的區域。照相然後會在每個晶體的區段進行，並組合來顯示從籽晶到尾部結束的每一晶體結果。自然冷卻矽塊(87GEX)的該第一照片組是在圖3B描述，而保持矽塊(87GEW)的該第二照相組是在圖3C描述。

請即參考圖3A、3B、及3C，可看出自然冷卻矽塊(87GEX)係包含從0到大約393公釐的矽塊空缺缺陷，從大約393公釐到大約435公釐是沒有結塊本徵點缺陷，從大約435公釐到大約513公釐存在結塊本徵點缺陷，從大約513公釐到大約557公釐是沒有結塊本徵點缺陷，而從

## 六、申請專利範圍

修正  
 補充

本 92 年 3 月 6 日

公告本

1. 一種用以生長單晶矽塊之方法，該單晶矽塊係具有一中央軸、一籽晶圓錐體、一尾部圓錐體、在該籽晶圓錐體與該尾部圓錐體之間的一固定直徑部份、及包含該固定直徑部份的一矽塊區段，且係實質上無結塊本徵點缺陷，該方法係包含：

當矽塊生長之時，允許  $v/G_0$  比率以矽塊區段長度的函數改變，其  $v/G_0$  允許在一最小值  $(v/G_0)_{\min}$  與一最大值  $(v/G_0)_{\max}$  之間改變，其中  $v$  是速度，而  $G_0$  是在凝結溫度與在  $(v/G_0)_{\min}$  不超過  $(v/G_0)_{\max}$  95% 的中央軸  $1300^\circ\text{C}$  之間的平均軸溫度梯度；及

在一存在時間  $t_{dw}$  上將該矽塊從凝結溫度冷卻到  $1050^\circ\text{C}$  與  $900^\circ\text{C}$  之間溫度，以在區段中避免結塊本徵點缺陷的形成。

2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該矽塊區段長度係固定直徑部份長度的至少 40%。
3. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該矽塊區段長度係固定直徑部份長度的至少 80%。
4. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該矽塊區段長度係固定直徑部份長度的至少 90%。
5. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該矽塊具有 150 公釐的一額定直徑，而  $t_{dw}$  係至少 10 小時。
6. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該矽塊具有 200 公釐的一額定直徑，而  $t_{dw}$  係至少 20 小時。
7. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該矽塊具有大於 200 公釐的一額定直徑，而  $t_{dw}$  係至少 40 小時。

## 六、申請專利範圍

8. 如申請專利範圍第1項之方法，其中 $(v/G_0)_{\min}$ 不超過 $(v/G_0)_{\max}$ 的90%。
9. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該矽塊區段長度係該固定直徑部份長度的至少40%。
10. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該矽塊區段長度係該固定直徑部份長度的至少80%。
11. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該矽塊區段長度係該固定直徑部份長度的至少90%。
12. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該矽塊具有150公釐的一額定直徑，而 $t_{dw}$ 係至少10小時。
13. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該矽塊具有200公釐的一額定直徑，而 $t_{dw}$ 係至少20小時。
14. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該矽塊具有大於200公釐的一額定直徑，而 $t_{dw}$ 係至少40小時。
15. 如申請專利範圍第1項之方法，其中 $(v/G_0)_{\min}$ 係不超過 $(v/G_0)_{\max}$ 的80%。
16. 如申請專利範圍第15項之方法，其中該矽塊區段長度係該固定直徑部份長度的至少40%。
17. 如申請專利範圍第15項之方法，其中該矽塊區段長度係該固定直徑部份長度的至少80%。
18. 如申請專利範圍第15項之方法，其中該矽塊區段長度係該固定直徑部份長度的至少90%。
19. 如申請專利範圍第15項之方法，其中該矽塊具有150公釐的一額定直徑，而 $t_{dw}$ 係至少10小時。
20. 如申請專利範圍第15項之方法，其中該矽塊具有200

## 六、申請專利範圍

公釐的一額定直徑，而 $t_{dw}$ 係至少20小時。

21. 如申請專利範圍第15項之方法，其中該矽塊具有大於200公釐的一額定直徑，而 $t_{dw}$ 係至少40小時。

22. 一種用以生長一單晶矽塊之方法，該單晶矽塊係具有一中央軸、一籽晶圓錐體、一尾部圓錐體、在該籽晶圓錐體與尾部圓錐體之間的一固定直徑部份，其圓錐體具有一周圍邊緣及從該中央軸到該周圍邊緣所擴展的半徑，該矽塊的特徵為根據Czochralski方法，在該矽塊從一矽鎔化生長並從凝結溫度冷卻之後，該固定直徑部份包含實質無結塊本徵點缺陷的一軸對稱區域，該方法係包含：

在矽塊固定直徑部份的生長期間，從凝結到 $1300^{\circ}\text{C}$ 的一溫度範圍來控制一生長速度 $v$ 及一平均軸溫度梯度 $G_0$ ；及

該軸對稱區域的冷卻率係從 $1400^{\circ}\text{C}$ 與 $1300^{\circ}\text{C}$ 之間的一第一溫度 $T_1$ 冷卻之軸對稱區域到在 $1050^{\circ}\text{C}$ 與 $900^{\circ}\text{C}$ 之間的一第二溫度 $T_2$ ，其溫度率會受控制而從 $T_1$ 減少到 $T_2$ ，以使在 $T_1$ 與 $T_2$ 之間的每一中間溫度 $T_{int}$ 上，該軸對稱區域具有矽塊自我晶隙性本徵點缺陷的一濃度，該矽塊自我晶隙性本徵點缺陷係小於形成結塊本徵點缺陷的一臨界濃度，

其中該軸對稱區域具有從周圍邊緣朝向中央軸的半徑測量之寬度，其是該矽塊固定直徑部份的至少30%，其長度是該矽塊固定直徑部份長度的至少20%。

## 六、申請專利範圍

23. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該軸對稱區域寬度係該固定直徑部份寬度的至少60%。
24. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該軸對稱區域寬度係該固定直徑部份寬度的至少95%。
25. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該軸對稱區域寬度係等於該固定直徑部份的寬度。
26. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該軸對稱區域長度係該固定直徑部份長度的至少40%。
27. 如申請專利範圍第26項之方法，其中該軸對稱區域寬度係該固定直徑部份寬度的至少60%。
28. 如申請專利範圍第26項之方法，其中該軸對稱區域寬度係該固定直徑部份寬度的至少95%。
29. 如申請專利範圍第26項之方法，其中該軸對稱區域的寬度係等於該固定直徑部份的寬度。
30. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該軸對稱區域的長度係該固定直徑部份長度的至少80%。
31. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該溫度減少的平均率係在每分鐘 $0.1^{\circ}\text{C}$ 與每分鐘 $3^{\circ}\text{C}$ 之間。
32. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該溫度減少的平均率係在每分鐘 $0.1^{\circ}\text{C}$ 與每分鐘 $1^{\circ}\text{C}$ 之間。
33. 如申請專利範圍第22項之方法，其中該溫度減少的平均率係在每分鐘 $0.1^{\circ}\text{C}$ 與每分鐘 $0.5^{\circ}\text{C}$ 之間。