

發明專利說明書

(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：96135888

※申請日期：96.9.17

※IPC 分類：C30B 29/66 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

C30B 15/20 (2006.01)

半導體單結晶製造裝置及製造方法

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

SUMCO TECHXIV 股份有限公司/SUMCO TECHXIV CORPORATION

代表人：(中文/英文) 阿部隆司

住居所或營業所地址：(中文/英文)

日本國長崎縣大村市雄原町 1324 番地 2

國 籍：(中文/英文) 日本/JAPAN

三、發明人：(共 4 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 最勝寺俊昭

2. 下村庫一

3. 末若良太

4. 海老大輔

國 籍：(中文/英文)

1.~4. 日本/JAPAN

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： 年 月 日。

☒ 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. 日本、2006/11/16、2006-310321

☐ 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。

九、發明說明：

【發明所屬之技術區域】

本發明係有關於半導體單結晶製造裝置及製造方法，且特別有關於藉由冷卻器將半導體單結晶冷卻並拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶之半導體單結晶的製造裝置及製造方法。

【先前技術】

矽單結晶係藉由 CZ 法拉伸成長而製造。經拉伸成長之矽單結晶之晶棒係切割成晶圓。半導體元件乃是經過在矽晶圓之表面形成元件層的元件製造步驟而作成。

但是，在矽單結晶之成長過程中發生稱為原生 (Grown-in) 缺陷 (結晶成長時導入缺陷) 之結晶缺陷或氧氣析出核。原生缺陷被認為是在結晶成長中帶進之點缺陷的 2 次缺陷。

近年來，隨著半導體回路之高集積化、微細化的進展，導致在矽晶圓中靠近形成有元件之表層附近無法容許有原生缺陷之存在。因此，檢討無缺陷結晶之製造的可能性。

一般而言，使矽單結晶所含之元件之特性劣化的結晶缺陷有以下之 3 種類的缺陷。

a) 稱為晶體原生顆粒 (Crystal Originated Particle; COP) 等，乃是空孔凝集而生之孔隙 (或稱空洞) 缺陷 (V 缺陷)。

b) 氧化誘起積層缺陷 (Oxidation Induced Stacking

Fault; R-OSF)

c) 格子間矽凝集而生之位錯環光柵(格子間矽型位錯缺陷，記載為 I 缺陷)。

V 缺陷係成為半導體元件步驟之氧化膜耐壓特性或元件分離等不良的原因。R-OSF、I 缺陷係對露電流特性等產生不良影響。

所謂無缺陷之矽單結晶係定義為不含任一上述 3 種之缺陷，或以結晶而言實質上無法認出者。

另外，由下記非特許文獻 1 可以得知，上述 3 種之缺陷的發生行為係與矽單結晶之成長條件 V/G (V : 成長速度、 G : 在矽單結晶之融點附近的軸方向溫度梯度) 有很大的關連。

也就是說，矽單結晶中之缺陷分布係在受到其成長速度或成長中之周圍之熱環境很大的影響。近年來，對於排除晶圓全面之原生缺陷而成為無缺陷區域之無缺陷結晶的要求日益提高，且控制結晶之成長速度或溫度分布條件之製造條件的提案增多。

另一方面，在 CZ 爐內於從融液拉伸之矽單結晶的周圍配置冷卻器，以實施習知之藉由冷卻器使矽單結晶冷卻並拉伸成長矽單結晶而製造矽單結晶的方法。

冷卻器之作用係冷卻矽單結晶並於矽單結晶固化之際吸收凝固潛熱。因此，藉由冷卻器之設置，可以大幅地縮短矽單結晶成長之時間。另外，矽單結晶之成長時間之縮短係可以抑制由來自矽融液之蒸發物所引起之爐內環境的

惡化、或是石英坩鍋之劣化所引起之矽單結晶崩裂。因此，藉由謀求矽單結晶之成長速度之高速化，可以提高矽單結晶之生產性。但是，一旦過於提升矽單結晶之成長速度的話，則導致矽單結晶化無法穩定地進行，而有無法單結晶化之情況。

在下記特許文獻 1 所記載之發明中，在 CZ 爐內將冷卻器配置成其下端與融液液面之距離為 150mm 以下，且以成長條件 V/G (V : 成長速度、 G : 在矽單結晶之融點附近之軸方向溫度梯度) 成為設定值之方式，進行由拉伸裝置造成之矽晶棒之拉伸速度的調整或加熱器之輸出的調整。

另外，在下記特許文獻 2 所記載之發明中，於 CZ 爐內，設置表面經黑色化處理之冷卻器，以減少因冷卻器之個體差所引起之來自矽單結晶之熱吸收的變異。

另外，在下記特許文獻 3 中，記載了一種所謂以冷卻器之內徑、長度、自融液表面至冷卻器之距離與矽單結晶之直徑成比率的方式設計冷卻器並配置於 CZ 爐內的發明。

另外，在下記特許文獻 4 中，記載了一種所謂有關於水冷型之冷卻器之構造且將冷卻水路呈螺旋狀地配置於矽單結晶之周圍的發明。

[特許文獻 1] 特開 2000-281478 號公報

[特許文獻 2] 特開 2005-247629 號公報

[特許文獻 3] 特開 2001-220289 號公報

[特許文獻 4] 特開 2002-255682 號公報

[非特許文獻 1] Journal of Crystal Growth

【發明內容】

於 CZ 爐內，除了冷卻器以外，也存在著熱遮蔽板等各種爐內構件。矽單結晶之冷卻性能係受到 CZ 爐之筐體之構造、或爐內構件之構造、加熱器之電力等各種製造條件的影響。因此，如上述各特許文獻 1 至 4 所揭示，即使設計、配置冷卻器，但是，在 CZ 爐之筐體的構造、或爐內構件之構造、製造條件與特許文獻 1 至 4 所想定者相異的情況下，恐有無法得到充分之冷卻性能且無法得到所欲之成長速度、生產性且無法單結晶化之虞。因此，每一次在 CZ 爐之筐體之構造、爐內構件之構造、製造條件相異之情況下，重複試行錯誤之實驗，必須再度找出最適設計值、最適配置。也就是說，為了找出冷卻器之最適設計值、最適配置，需要更多勞力、時間。

另外，上述特許文獻 1 至 4 皆未揭示關於上述 3 種缺陷之發生情形與冷卻器之性能有何關係的內容。也就是說，完全未說明關於如何設計配置冷卻器的話可以製造穩定且無缺陷之矽單結晶的內容。

有鑑於此，本發明第 1 個欲解決之課題如下：無論 CZ 爐之筐體之構造、或爐內構件之構造、製造條件為何，不需多大勞力、時間，即可立刻找出冷卻器之最適設計值、最適配置，除了使矽單結晶製造裝置之設計作業、配置作業之速度提升之外，亦可減輕勞力。

另外，除了上述第 1 個欲解決之課題外，本發明第 2 個欲解決之課題如下：可以明瞭上記 3 種缺陷之發生行為與冷卻器之性能間存在何種關係，並可以設計配置冷卻器以穩定製造無缺陷之矽單結晶。

[課題解決之手段]

第 1 發明係一種半導體單結晶之製造裝置，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，其特徵在於：當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

第 2 發明係一種半導體單結晶之製造方法，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，其特徵在於：當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

第 3 發明係一種半導體單結晶之製造裝置，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，其特徵在於：當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置

冷卻器以在滿足 $r^2 \cdot 7/20500 \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

第 4 發明係一種半導體單結晶之製造方法，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，其特徵在於：當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2 \cdot 7/20500 \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

根據第 1 發明、第 2 發明的話，以 Q 表示冷卻器 20 之吸熱量並以 r 表示半導體單結晶之半徑時，在滿足下記式子 $r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400 \dots (4)$

之條件下，設計配置冷卻器 20 而製造矽單結晶 10 的話，不但可以謀求成長速度 V 之提高更可以得到所謂不能單結晶化之作用效果。

在圖 10 中，上述(4)式所示之範圍係以線 L1U 作為上限且以線 L1L 作為下限的範圍。因此，為了落在上述範圍內，也可以設計收冷卻器 20 並配置於 CZ 爐 2 內。

也就是說，一但決定製造之矽單結晶 10 的半徑 r 固定的話，以吸熱量 Q 落在適合上述 (4) 式之範圍內的方式，而設計冷卻器 20。而且，在將冷卻器 20 配置於 CZ 爐 2 內之際，為了使實際之吸熱量 Q 落在適合上述 (4) 式之範圍內，也可以調整配置自熱遮蔽板 8 至冷卻器 20 之下端的距離 P (參照圖 1)、以及熱遮蔽板 8 之下端與融液表面 5a

之間隙 D 等。

根據第 1 發明、第 2 發明的話，無論 CZ 爐 2 之筐體之構造、或爐內構件之構造、製造條件為何，不需多大勞力、時間，即可立刻找出冷卻器 20 之最適設計值、最適配置，除了使矽單結晶製造裝置之設計作業、配置作業之速度提升之外，亦可減輕勞力。

根據第 3 發明、第 4 發明的話，在以 Q 表示冷卻器 20 之吸熱量、r 表示半導體單結晶之半徑時，藉由能滿足下記 (7) 式

$$r^2 \cdot 7/20500 \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300 \quad \dots (7)$$

之條件的方式，設計並配置冷卻器 20 而製造矽單結晶 10，則可得到能夠製造安定而無缺陷之矽單結晶 10 的作用效果。

一旦以圖 10 所示之結晶半徑 r 與吸熱量 Q 之關係表示的話，上述 (7) 式所示之範圍係以線 L2u 為上限而以線 L2L 為下限之範圍。因此，也可以設計冷卻器 20 並配置於 CZ 爐 2 內，以位於此範圍內。

也就是說，一旦決定製造之矽單結晶 10 之半徑 r 決定的話，以吸熱量 Q 落在適合上述 (7) 式之範圍內的方式，而設計冷卻器 20。而且，在將冷卻器 20 配置於 CZ 爐 2 之際，為了使實際之吸熱量 Q 落在適合上述 (7) 式之範圍內，也可以調整配置自熱遮蔽板 8 至冷卻器 20 之下端的距離 P (參照圖 1)、以及熱遮蔽板 8 之下端與融液表面 5a 之間隙 D 等。

如圖 10 所示，上述 (7) 式所示之範圍係包含第 1 發明、第 2 發明中前述之 (4) 式所示之範圍。因此，上述 (7) 式所示之範圍當然是可以謀求成長速度 V 之提高且得到所謂無法單結晶化之第 1 發明、第 2 發明之作用效果的範圍。

因此，根據第 3 發明、第 4 發明的話，與第 1 發明、第 2 發明同樣地，無論 CZ 爐 2 之筐體之構造、或爐內構件之構造、製造條件為何，不需多大勞力、時間，即可立刻找出冷卻器 20 之最適設計值、最適配置。因此，除了使矽單結晶製造裝置之設計作業、配置作業之速度提升之外，亦可減輕勞力。而且，根據第 3 發明、第 4 發明的話，可以設計並配置冷卻器 20 以穩定製造無缺陷之矽單結晶。

【實施方式】

以下，參照圖面並說明本發明之半導體單結晶之製造裝置及製造方法的實施形態。

以下，照圖面並說明本發明之實施形態。

圖 1 係從側面觀察用於實施形態之矽單結晶製造裝置之構成之一例的圖。

如圖 1 所示，實施形態之單結晶拉伸裝置 1 係具備作為單結晶拉伸用容器之 CZ 爐(腔體)2。

在 CZ 爐 2 內，設置將多結晶矽之原料熔融以作為融液 5 而收集之石英坩堝 3。石英坩堝 3 係其外側藉由黑鉛坩堝 11 而覆蓋。在石英坩堝 3 之周圍，設置加熱熔融石英坩堝 3 內之多結晶矽原料的加熱器 9。加熱器 9 係形成圓筒狀。

控制加熱器 9 之輸出(功率；kW)，且調整相對於融液 5 之加熱量。例如，以檢出融液 5 之溫度並以檢出溫度為回饋量且融液 5 之溫度成為目標溫度的方式，控制加熱器 9 之輸出。

在石英坩堝 3 之上方設置拉伸機構 4。拉伸機構 4 係包含拉伸軸 4 a 與拉伸軸 4a 之尖端的籽晶夾頭 4c。藉由籽晶夾頭 4c 而把持種結晶 14。

在石英坩堝 3 內，加熱熔融多結晶矽(Si)。一旦融液 5 之溫度穩定化的話，拉伸機構 4 作動且由融液 5 拉伸矽單結晶 10(矽單結晶)。也就是說，拉伸軸 4a 降下，且被拉伸軸 4a 之尖端之籽晶夾頭 4 c 把持的種結晶 14 與融液 5。在使種結晶 14 與融液 5 接觸後，拉伸軸 4a 上昇。因應籽晶夾頭 4c 所把持之種結晶 14 上昇而矽單結晶 10 成長。

拉伸之際，石英坩堝 3 藉由回轉軸 15 而回轉。另外，拉伸機構 4 之拉伸軸 4a 係在與回轉軸 15 相反之方向或同方向上回轉。

回轉軸 15 係可以在鉛直方向上驅動，且可以使石英坩堝 3 上下移動而在任意之坩堝位置上移動。

藉由遮斷 CZ 爐 2 內與外氣而爐 2 內係維持於真空(例如數十 Torr 左右)。也就是說，在 CZ 爐 2 內係供給作為惰性氣體之氬氣 7，並藉由幫浦而自 CZ 爐 2 之排氣口排氣。藉此，爐 2 內減壓至預定之壓力。

在單結晶拉伸的製程(1 批次(batch))之間，在 CZ 爐 2 內產生各種之蒸發物。因此，在 CZ 爐 2 內供給氬氣 7

並與蒸發物一起排至 CZ 爐 2 外，以自 CZ 爐 2 內除去蒸發物而清潔。氫氣 7 之供給流量係在 1 批次中之各步驟中設定。

隨著矽單結晶 10 之拉伸而融液 5 減少。隨著融液 5 之減少，融液 5 與石英坩堝 3 之接觸面積變化且來自石英坩堝 3 之氧溶解量亦產生變化。此變化係對被拉伸之矽單結晶 10 中之氧濃度分布產生影響。

在石英坩堝 3 之上方，於矽單結晶 10 之周圍設置熱遮蔽板 8(氣體整流筒)。熱遮蔽板 8 係將在 CZ 爐 2 內由上方供給之作為載體氣體的氫氣 7 導至融液表面 5a 之中央，並使其通過融液表面 5a 而導至融液表面 5a 之周緣部。而且，氫氣 7 係與自融液 5 蒸發之氣體從設置於 CZ 爐 2 之下部的排氣口排出。因此，可以使液面上之氣體流速穩定化，而可以使自融液 5 蒸發之氧保持在穩定狀態下。

另外，熱遮蔽板 8 係有隔熱、遮蔽功能，以將種結晶 14 及藉由種結晶 14 而成長之矽單結晶 10 與在石英坩堝 3、融液 5、加熱器 9 等高溫部產生之輻射熱隔絕。另外，熱遮蔽板 8 係防止爐內產生之不純物(例如，矽氧化物)等附著於矽單結晶 10 而阻礙單結晶育成的問題。熱遮蔽板 8 之下端與融液表面 5a 之間隙 D 之大小係可以藉由使回轉軸 15 上昇下降並變化石英坩堝 3 之上下方向位置而調整。另外，也可以藉由昇降裝置而在上下方向移動熱遮蔽板 8，以調整間隙 D。

冷卻器 20 配置在從融液 5 拉伸之矽單結晶 10 的周

圍。冷卻器 20 係配置於熱遮蔽板 8 之內側。冷卻器 20 係為了冷卻矽單結晶 10 且拉伸成長矽單結晶 10 而設置。

在本實施例中，假想水冷型之冷卻器 20 配置於 CZ 爐 2 內之情況。

圖 2 係繪示冷卻器 20 之冷卻水回路的構成圖。

冷卻器 20 例如是由形成螺旋狀之管 21 所構成，以捲出拉伸中之矽單結晶（晶棒）10。管 21 之入口 21a 係與 CZ 爐 2 之外部的供給管 22 連接。管 21 之出口 21b 係與 CZ 爐 2 之外部之回流管 23 連接。幫浦 24 之吐出口係與供給管 22 連通。槽 25 與回流管 23 連通。一旦幫浦 24 作動的話，則壓送冷卻水，並藉由供給管 22、管 21 之入口 21a 而使其在管 21 內以預定之流量流動。藉此，在管 21 之內部之冷卻水、與包含管 21 之周圍之矽單結晶 10 的熱源之間進行熱交換，而吸收從包含矽單結晶 10 之熱源所放出之熱。吸收熱之冷卻水係藉由回流管 23 而從管 21 之出口 21b 排出至槽 25。幫浦 24 係吸起槽 25 之冷卻水並再度壓送冷卻水。如以上所述，藉由冷卻水在冷卻器 20 內循環的方式，冷卻拉伸中之矽單結晶 10。在圖 2 中，係省略了用於使吸收熱之冷卻水放熱的熱交換器。

在此，冷卻器 20 之吸熱量 $Q(\text{kW})$ 係可以下列(1)式表示。其中， T_{out} 代表管 21 之出口 21b 側之冷卻水之溫度 ($^{\circ}\text{C}$)； T_{in} 代表管 21 之入口 21a 側之冷卻水之溫度 ($^{\circ}\text{C}$)； f 代表冷卻水之流量 (l/min)； c 代表水之比熱（約 0.06976）。

$$Q = (T_{out} - T_{in}) \times f \times c \cdots (1)$$

以求解冷卻器 20 之吸熱量 Q 而言，例如圖 2 所示，也可以在供給管 22 設置溫度計測用感測器 31，並在回流管 23 設置溫度計測用感測器 32 及流量計 33，並藉由溫度計測用感測器 31 而計測入口側冷卻水溫 T_{in} ，藉由溫度計測用感測器 32 而計測出口側冷卻水溫 T_{out} ，藉由流量計 33 而計測冷卻水流量 f ，最後將上述計測之入口側冷卻水溫 T_{in} 、出口側冷卻水溫 T_{out} 代入上述 (1) 式而演算吸熱量 Q 。

冷卻器 20 係冷卻矽單結晶 10，並於矽單結晶 10 固化之際產生吸收凝固潛熱的作用。因此，藉由設置冷卻器 20，可以大幅縮短矽單結晶 10 成長之時間。另外，矽單結晶 10 之成長時間之縮短係可以抑制由來自融液 5 之蒸發物所引起之爐內環境的惡化、或由石英坩鍋 3 之劣化所引起的單結晶崩裂。因此，藉由謀求矽單結晶 10 之成長速度 V 的高速化，可以提高矽單結晶 10 之生產性。但是，一旦過度提升矽單結晶 10 之成長速度 V 的話，則變得無法進行穩定之單結晶化，而有無法單結晶化的現象。

(第 1 實施例)

因此，為了找出即使謀求成長速度之提高也無法單結晶化之條件，而進行實驗。

在本實施例中，認為冷卻器 20 之吸熱量 $Q(kW)$ 、與欲製造之矽單結晶 10 之大小（也就是矽單結晶 10 之半徑 $r(mm)$ ）之間不成立一定之關係，而進行實驗。結果，可以

得到圖 3、圖 4 所示之實驗結果。

在圖 1 之單結晶拉伸裝置 1 中，與未設置冷卻器 20 之構成者比較，以作為比較例。實驗係在矽單結晶 10 之半徑 r 分別為 100mm、與 150mm 之情況下進行。

圖 3 係為比較實驗例與比較例之表。表示比較例與實驗例個別之結晶半徑 r 、冷卻水流量 f 、入口側冷卻水溫 T_{in} 、出口側冷卻水溫 T_{out} 、吸熱量 Q 、成長速度比 V' 。

在圖 3 中，矽單結晶 10 之半徑 r 為 100mm 時之比較例係以「比較例 1」表示；矽單結晶 10 之半徑 r 為 100mm 時之各實驗結果係以「實驗例 1」、「實驗例 2」、「實驗例 3」表示。另外，矽單結晶 10 之半徑 r 為 150mm 時之比較例係以「比較例 2」表示；矽單結晶 10 之半徑 r 為 150mm 時之各實驗結果係以「實驗例 4」、「實驗例 5」、「實驗例 6」表示。

圖 4 係顯示吸熱量 Q 與成長速度比 V' 之關係、以及個別結晶半徑之大小（也就是半徑 100mm、半徑 150mm）的圖。

變化冷卻器 20 之各種吸熱量 Q ，並與比較例之吸熱量 Q 比較。由於未設置冷卻器 20 的緣故，因此比較例之吸熱量 Q 為 0。另外，將變化冷卻器 20 之各種吸熱量 Q 時之成長速度 V 與比較例之成長速度 V 比較。

在圖 3、圖 4 中，以成長速度比 V' 表示變化冷卻器 20 之各種吸熱量 Q 時之成長速度 V 與將比較例之成長速度 V 定為「1」時的比率。在即使成長速度比 V' 為大值也無法單結晶化之實驗例中，評價為「無法成長」。

冷卻器 20 係以吸熱量 Q 能進行各種變化且冷卻水流量 f 、入口側冷卻水溫 T_{in} 、出口側冷卻水溫 T_{out} 能成為個個相異之值為目的而設計，並設置 CZ 爐 2 內。

所謂「可以謀求成長速度之提高」的評價係以相對於比較例之成長速度 V 而言能得到 1.5 倍以上之成長速度 V （也就是成長速度比 V' 為 1.5 以上）為基準。

由圖 3、圖 4 可知，在矽單結晶 10 之半徑 r 為 100mm 之情況下，因為成長速度比 V' 為 1.5 以上而未成為無法成長之實驗例係實驗例 1、實驗例 2。實驗例 1 之吸熱量 Q 、成長速度比 V' 係分別為 10.3、1.53。另外，實驗例 2 之吸熱量 Q 、成長速度比 V' 係分別為 12.6、1.80。

另外，成為無法成長之實驗例係實驗例 3。實驗例 3 之吸熱量 Q 為 25.6。

因此，在單結晶矽 10 之半徑 r 為 100mm 之情況下，以未因為成長速度比 V' 在 1.5 以上而變得無法成長之條件而言，下記 (2) 式之關係是成立的。

$$r^2/1100(=9.09) \leq Q \quad (=10.3(\text{實驗例 1})、12.6(\text{實驗例 2})) \leq r^2/400(=25 < 25.6(\text{實驗例 3})) \cdots (2)$$

r^2 係為 r 之 2 次方。另外，由圖 3、圖 4 可知，在矽單結晶 10 之半徑 r 為 150mm 之情況下，未因為成長速度比 V' 在 1.5 以上而無法成長之實驗例是實驗例 4、實驗例 5。實驗例 4 之吸熱量 Q 、成長速度比 V' 係分別為 23.2、1.52。另外，實驗例 5 之吸熱量 Q 、成長速度比 V' 係分別為 36.8、1.72。

另外，成為無法成長之實驗例是實驗例 6。實驗例 6 之吸熱量 Q 為 57.2。

因此，在單結晶矽 10 之半徑 r 為 150mm 的情況下，以未因為成長速度比 V' 在 1.5 以上而變得無法成長之條件而言，下記 (3) 式之關係是成立的。

$$r^2/1100 (= 20.45) \leq Q (= 23.2 (\text{實驗例 4})、36.8 (\text{實驗例 5}) \leq r^2/400 (= 56.3 < 57.2 (\text{實驗例 6})) \cdots (3)$$

由以上 (2)、(3) 式可知，當以 Q 表示冷卻器 20 之吸熱量且以 r 表示半導體單結晶之半徑時，為了成為滿足下記 (4) 式

$$r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400 \cdots (4)$$

之條件，若設計配置冷卻器 20 而製造矽單結晶 10 的話，即使謀求成長速度 V 之提高也可以單結晶化。

圖 10 係顯示結晶半徑 r 與吸熱量 Q 之關係圖。上述 (4) 式所示之範圍係以線 L1U 作為上限且以線 L1L 作為下限的範圍。因此，為了落在上述範圍內，也可以設計收冷卻器 20 並配置於 CZ 爐 2 內。

也就是說，一但決定製造之矽單結晶 10 的半徑 r 固定的話，以吸熱量 Q 落在適合上述 (4) 式之範圍內的方式，而設計冷卻器 20。而且，在將冷卻器 20 配置於 CZ 爐 2 內之際，為了使實際之吸熱量 Q 落在適合上述 (4) 式之範圍內，也可以調整配置自熱遮蔽板 8 至冷卻器 20 之下端的距離 P (參照圖 1)、以及熱遮蔽板 8 之下端與融液表面 5a 之間隙 D 等。

如以上所述，根據本第 1 實施例的話，根據第 1 發明，無論 CZ 爐 2 之筐體之構造、或爐內構件之構造、製造條件為何，不需多大勞力、時間，即可立刻找出冷卻器 20 之最適設計值、最適配置，除了使矽單結晶製造裝置之設計作業、配置作業之速度提升之外，亦可減輕勞力。

(第 2 實施例)

如上所述，V 缺陷、R—OSF、I 缺陷等 3 種缺陷之產生舉動係隨著矽單結晶 10 之成長速度 V 等成長條件而變化。

也就是說，從相對於單結晶拉伸軸而垂直切出之縱割之矽晶圓面看的話，上述 3 種缺陷之分布係受到其成長速度或成長中之周圍熱環境很大的影響。圖 9(a)、(b)係顯示結晶溫度分布(爐內溫度環境)相異之 2 種類之結晶拉伸速度與缺陷分布之關係的示意圖。如同圖 9(a)、(b)所示，可以知道有因為結晶之溫度分布條件而在矽晶圓全面未存在無缺陷之區域的情況(圖 9(a))、以及可以藉由控制成長速度 V 而在晶圓全面製作無缺陷之區域的情況(圖 9(b))。

但是，在習知技術中，並不瞭解上述 3 種缺陷之發生舉動與冷卻器 20 之性能間究竟有何關係。

因此，在本實施例中，考慮所謂冷卻器 20 之吸熱量 Q 的指標對上述 3 種缺陷之發生舉動的影響而進行實驗。實驗係為了找尋用於可以穩定製造無缺陷之單結晶 10 之條件而進行。結果，可以得到圖 6、圖 7、圖 8、圖 9 所示之實驗結果。

實驗係在矽單結晶 10 之半徑 r 分別為 100mm 之情況、

150mm 之情況下進行。一旦使冷卻器 20 之吸熱量 Q 進行種種變化的話，則成長速度容許幅度 ΔV 因應不同吸熱量 Q 而變化。

關於成長速度容許幅度 ΔV 之定義，可以使用圖 5 而說明。

圖 5(a)、(b)係分別顯示矽單結晶面(矽晶圓面)內之缺陷之發生分布與成長速度 V 的示意圖。

在圖 5 中，橫軸為成長速度。圖 5 之縱軸係顯示從矽單結晶 10 之結晶中心至結晶外周(結晶端)之各結晶半徑位置。

亦如同可以由圖 5(a)、(b)所得知一樣，一般而言，可以得知下列事項。

i) 在成長速度 V 為快速的情況下，矽單結晶 10 係空孔型點缺陷過剩，僅發生孔隙缺陷(亦即， V 缺陷)。

ii) 一旦減少成長速度 V 的話，則在矽單結晶 10 之外周附近發生環狀 OSF(亦即，R-OSF)，且成為在 R-OSF 部之內側有 V 缺陷(孔隙缺陷)存在之構造。

iii) 一旦進一步減少成長速度 V 的話，則環狀之 OSF(R-OSF)之半徑減少，且成為在環狀 OSF 部之外側無缺陷存在之區域(亦即，無缺陷區域產生)，而在 R-OSF 部之內側有 V 缺陷(孔隙缺陷)存在的構造。

iv) 而且，一旦成減少成長速度 V 的話，則成為在矽單結晶 10 全體存在著位錯環光柵(dislocation loop raster)(亦即， I 缺陷)的構造。

上述現象發生之原因可能是隨著成長速度 V 之減少而矽單結晶 10 從空孔型點缺陷過剩之狀態變化至格子間型點缺陷過剩之狀態。

如此一來，隨著矽單結晶 10 之成長速度 V 之減少，分布成 V 缺陷區域-R-OSF-無缺陷區域-I 缺陷區域，無缺陷區域係存在於 R-OSF 與 I 缺陷區域之間。

因此，將相當於 R-OSF 與無缺陷區域之境界之成長速度 V 的最小成長速度定義為 V_1 ；將相當於 I 缺陷區域與無缺陷區域之境界之成長速度 V 的最大成長速度定義為 V_2 ；而將 V_1 - V_2 定義為成長速度容許幅度 ΔV 。

由圖 5(a)可知，在成長速度容許幅度 ΔV ($= V_1 - V_2$) 變為負的情況下，於矽單結晶面之半徑方向位置全體（亦即，矽晶圓之全面）並未存在無缺陷區域。相對地，由圖 5(b)可知，在成長速度容許幅度 ΔV ($= V_1 - V_2$) 為正的情況下，整個矽單結晶面之半徑方向位置全體（亦即，矽晶圓之全面）存在著無缺陷區域。但是，即便在成長速度容許幅度 ΔV ($= V_1 - V_2$) 為正的情況下，一旦其幅度 ΔV 變狹的話，也會因為僅少數製造條件等之變動而有缺陷產生之虞的緣故，而變得難以穩定地製造整個矽單結晶全面皆無缺陷區域之矽單結晶 10。因此，需要預定之閾值以上的成長速度容許幅度 ΔV 。該閾值必須是以 $0.5(\text{mm/min})$ 前後製造之 1% 的 $0.005(\text{mm/min})$ 。

如以上所述，在成長速度容許幅度 ΔV ($= V_1 - V_2$) 為正的情況下，用於穩定製造無缺陷之矽單結晶 10 的條件係

其幅度 ΔV 為閾值 0.005 (mm/min) 以上。

在上述內容之基礎上，說明圖 6 至圖 9 之實驗結果。

圖 6、圖 7 係繪示矽單結晶 10 之半徑 r 為 100mm 之情況的實驗結果。

圖 6 係表示各實驗例中使冷卻器 20 之吸熱量 Q 進行各種變化時之熱遮蔽板 8 之下端與融液表面 5a 之間隙 D 、冷卻水流量 f 、入口側冷卻水溫 T_{in} 、出口側冷卻水溫 T_{out} 、吸熱量 Q 、成長速度容許幅度 ΔV 之值的表。

圖 7 係與圖 6 對應之圖，且係表示冷卻器 20 之吸熱量 Q 與成長速度容許幅度 ΔV 的圖。

在實驗中，除了將間隙 D 變化為 40mm 、 50mm 、 60mm 、 70mm 之外，亦將出口側冷卻水溫 T_{out} 變化為 55.1 、 52.9 、 52 、 51.1°C ，並將吸熱量 Q 變化為 14.1 、 12.8 、 12.3 、 $11.8(\text{kW})$ 。此時，除了冷卻水流量 f 固定為 $8(1/\text{min})$ 之外，亦將入口側冷卻水溫 T_{in} 固定於 $29.8 \sim 29.9$ 之範圍。結果，成長速度容許幅度 ΔV 變化為 -0.025 、 0.011 、 0.014 、 $0.001(\text{mm/min})$ 。但是，從熱遮蔽板 8 至冷卻器 20 下端之距離 p 設定為 30mm 。

圖 8、圖 9 係表示在矽單結晶 10 之半徑 r 為 150mm 時之實驗結果。圖 8、圖 9 係分別表示與上述之圖 6 同樣之表、與圖 7 同樣之關係的圖。

在實驗中，除了將間隙 D 變化為 80mm 、 90mm 、 100mm 、 110mm 、 120mm 、 130mm 之外，亦將出口側冷卻水溫 T_{out} 變化為 57.5 、 56.6 、 56 、 55.1 、 54.6 、 53.9°C ，並將吸熱

量 Q 變化為 39.3、38.1、37.2、35.9、34.8、33.8(kW)。此時，除了冷卻水流量 f 固定為 22.2(1/min)之外，亦將入口側冷卻水溫 T_{in} 約略固定於 31.9~32.1℃之範圍。另外，施加 3000G 之強度的水平磁場。結果，成長速度容許幅度 ΔV 變化為 0.002、0.020、0.017、-0.005、-0.016、-0.023(mm/min)。但是，從熱遮蔽板 8 至冷卻器 20 下端之距離 P 設定為 120mm。

如此一來，一旦使冷卻器 20 之吸熱量 Q 變化的話，則成長速度容許幅度 ΔV 產生變化。也就是說，一旦使冷卻器 20 之吸熱量 Q 變化的話，則矽單結晶面內之缺陷之發生分布係如圖 5(a)、圖 5(b)所示一樣地變化，成長速度容許幅度 ΔV 變為負、或變為正。

如圖 7 所示，在矽單結晶 10 之半徑 r 為 100mm 的情況下，在用於穩定製造無缺陷之矽單結晶 10 之條件（亦即，成長速度容許幅度 $\Delta V (=V_1 - V_2)$ 變為正時，幅度 ΔV 係閾值 0.005(mm/min)以上之條件為 $12(\text{kW}) < Q < 13.1(\text{kW})$ 之範圍。一旦於其加上矽單結晶 10 之半徑 r 之條件的話，則下列關係成立

$$r^{2.7}/20500(=12.25) \leq Q \leq r^{2.7}/19300(=13) \cdots (5)。$$

而且， $r^{2.7}$ 係表示 r 之 2.7 次方的意思。

同樣地，由圖 9 可知，在矽單結晶 10 之半徑 r 為 150mm 之情況下，在用於穩定製造無缺陷之矽單結晶 10 之條件（亦即，成長速度容許幅度 $\Delta V (=V_1 - V_2)$ 變為正時，幅度 ΔV 係閾值 0.005(mm/min)以上之條件為 $36.5(\text{kW}) < Q$

< 39(kW)之範圍。一旦於其加上矽單結晶 10 之半徑 r 之條件的話，則下列關係成立

$$r^2 \cdot 7/20500 (=36.6) \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300 (= 38.9) \dots$$

(6)。

由以上(5)、(6)式可知，當以 Q 表示冷卻器 20 之吸熱量且以 r 表示半導體單結晶之半徑時，為了成為滿足下記(7)式

$$r^2 \cdot 7/20500 \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300 \quad \dots (7)$$

之條件，若設計配置冷卻器 20 而製造矽單結晶 10 的話，可以製造穩定無缺陷之矽單結晶 10。

圖 10 係顯示結晶半徑 r 與吸熱量 Q 之關係圖。上述(7)式所示之範圍係以線 L2U 作為上限且以線 L2L 作為下限的範圍。因此，為了落在上述範圍內，也可以設計收冷卻器 20 並配置於 CZ 爐 2 內。

也就是說，一但決定製造之矽單結晶 10 的半徑 r 固定的話，以吸熱量 Q 落在適合上述 (7)式之範圍內的方式，而設計冷卻器 20。而且，在將冷卻器 20 配置於 CZ 爐 2 內之際，為了使實際之吸熱量 Q 落在適合上述 (7)式之範圍內，也可以調整配置自熱遮蔽板 8 至冷卻器 20 之下端的距離 P (參照圖 1)、以及熱遮蔽板 8 之下端與融液表面 5a 之間隙 D 等。

由圖 10 也可得知，上述 (7)式所示之範圍包含第 1 實施例中前述之(4)式所示的範圍。因此，上述 (7)式所示之範圍當然也是可以得到所謂即使謀求成長速度 V 之提高

也能單結晶化之第 1 實施例之作用效果的範圍。

如以上所述，根據本第 2 實施例的話，與第 1 實施例與同樣地，無論 CZ 爐 2 之筐體之構造、或爐內構件之構造、製造條件為何，不需多大勞力、時間，即可立刻找出冷卻器 20 之最適設計值、最適配置。因此，除了可以使矽單結晶製造裝置之設計作業、配置作業之速度提升之外，亦可減輕勞力。而且，根據本第 2 實施例的話，為了可以製造穩定且無缺陷之矽單結晶，可以設計配置冷卻器 20。

在實施例中，雖然假想水冷型之冷卻器而進行說明，但是冷卻器所用之冷媒可以任意選擇，也可以是能吸收矽單結晶 10 放出之熱並冷卻矽單結晶 10 之熱交換器。

在實施例中，雖然假想製造矽單結晶以作為半導體單結晶之情況進行說明，但是，本發明同樣也可以適用於製造砷化鎵等化合物半導體之情況。

【圖式簡單說明】

[圖 1] 圖 1 係繪示實施形態之單結晶拉伸裝置之構成概略的示意圖。

[圖 2] 圖 2 係繪示實施例所用之水冷型冷卻器之冷卻水回路的構成圖。

[圖 3] 圖 3 係說明第 1 實施例之圖，將比較例與實驗例對比之表。

[圖 4] 圖 4 係說明第 1 實施例之圖，將吸熱量與成長速度比之關係、與結晶半徑之大小一起顯示之圖。

[圖 5] 圖 5(a)、(b)係分別顯示矽單結晶面(矽晶圓面)內之缺陷之發生分布與成長速度 V 的示意圖。

[圖 6] 圖 6 係說明第 2 實施例之圖，且係表示在矽單結晶之半徑為 100mm 時，在各實驗例中使冷卻器之吸熱量進行各種變化時之熱遮蔽板之下端與融液表面之間隙、冷卻水流量、入口側冷卻水溫、出口側冷卻水溫、吸熱量、成長速度容許幅度之值的表。

[圖 7] 圖 7 係與圖 6 對應之圖，且係表示冷卻器之吸熱量與成長速度容許幅度的圖。

[圖 8] 圖 8 係說明第 2 實施例之圖，且係表示在矽單結晶之半徑為 150mm 時，在各實驗例中使冷卻器之吸熱量進行各種變化時之熱遮蔽板之下端與融液表面之間隙、冷卻水流量、入口側冷卻水溫、出口側冷卻水溫、吸熱量、成長速度容許幅度之值的表。

[圖 9] 圖 9 係與圖 8 對應之圖，且係表示冷卻器之吸熱量與成長速度容許幅度的圖。

[圖 10] 圖 10 係繪示結晶半徑與吸熱量之關係圖。

【主要元件符號說明】

- 1 矽單結晶製造裝置、
- 2 CZ 爐、
- 10 矽單結晶、
- 20 冷卻器。

五、中文發明摘要：

〔課題〕 無論 CZ 爐之筐體之構造、或爐內構件之構造、製造條件為何，不需多大勞力、時間，即可立刻找出冷卻器之最適設計值、最適配置，除了使矽單結晶製造裝置之設計作業、配置作業之速度提升之外，亦可減輕勞力。可以明瞭缺陷之發生行為與冷卻器之性能間存在何種關係，並可以設計並配置冷卻器以穩定製造無缺陷之矽單結晶。

〔解決手段〕 在以 Q 表示冷卻器 20 之吸熱量、 r 表示半導體單結晶之半徑時，藉由能滿足 $r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400$ 之條件的方式，設計並配置冷卻器 20 而製造矽單結晶 10。另外，藉由能滿足 $r^{2.7}/20500 \leq Q \leq r^{2.7}/19300$ 之條件的方式，設計並配置冷卻器 20 而製造矽單結晶 10。

六、英文發明摘要：

十、申請專利範圍：

1. 一種半導體單結晶之製造裝置，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，

其特徵在於：

當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

2. 一種半導體單結晶之製造方法，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，

其特徵在於：

當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2/1100 \leq Q \leq r^2/400$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

3. 一種半導體單結晶之製造裝置，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，

其特徵在於：

當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2 \cdot$

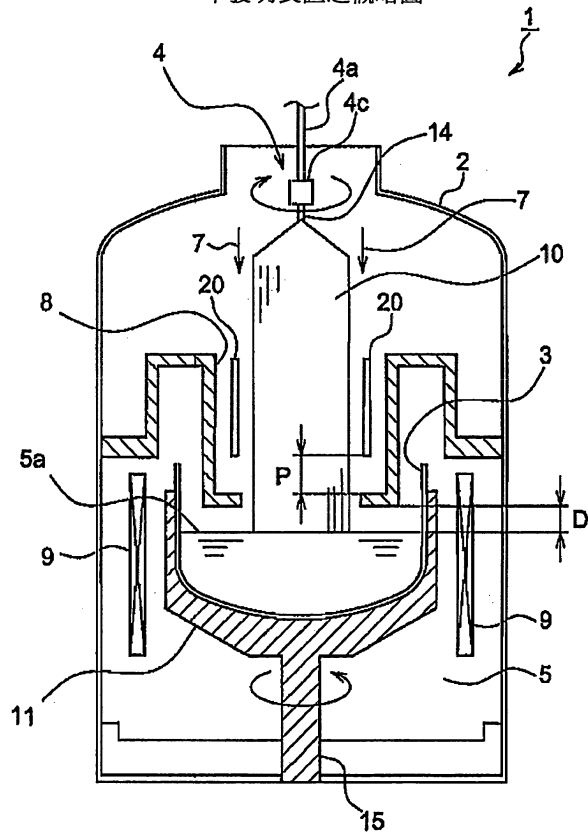
$7/20500 \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

4. 一種半導體單結晶之製造方法，在爐內於從融液拉伸之半導體單結晶的周圍配置冷卻器，並藉由冷卻器而冷卻半導體單結晶，拉伸成長半導體單結晶以製造半導體單結晶，

其特徵在於：

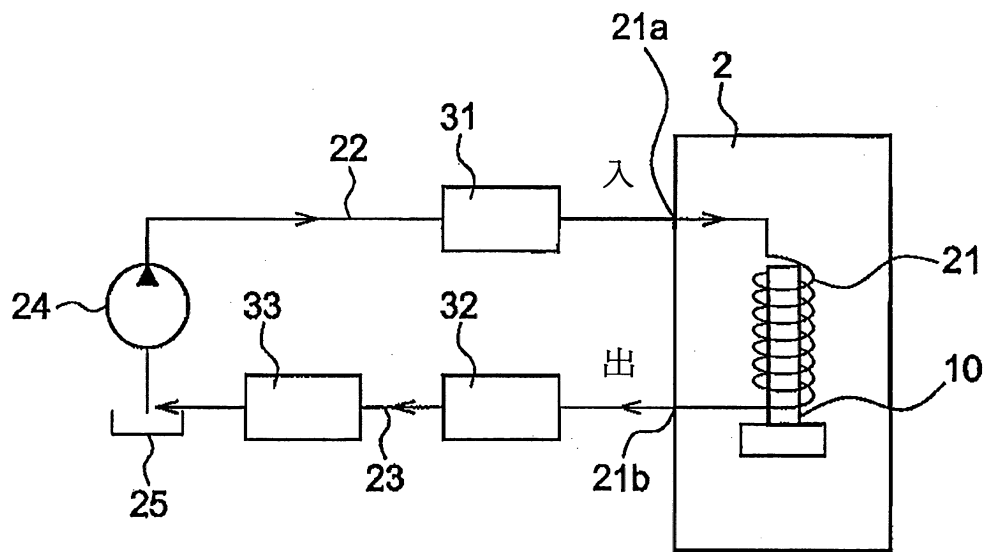
當以 $Q(\text{kW})$ 表示冷卻器之吸熱量、以 $r(\text{mm})$ 表示半導體單結晶之半徑時，設計並配置冷卻器以在滿足 $r^2 \cdot 7/20500 \leq Q \leq r^2 \cdot 7/19300$ 之條件的情況下製造半導體單結晶。

本發明裝置之概略圖



第1圖

冷卻水回路

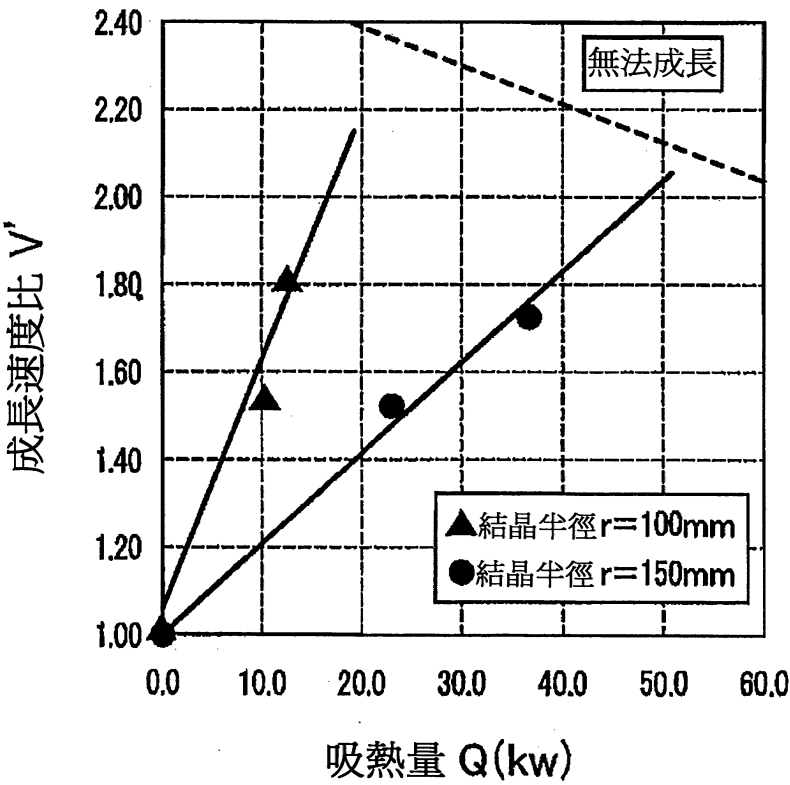


第2圖

	結晶半徑 r(mm)	冷卻水流量 f(l/min)	冷卻水溫入口側 Tin(°C)	冷卻水溫出口側 Tout(°C)	吸熱量 Q(kw)	成長速度比 V'
比較例 1	100	0.0	0	0	0.0	1.00
實施例 1	100	8.0	29.8	48.2	10.3	1.53
實施例 2	100	8.0	29.6	52.2	12.6	1.80
實施例 3	100	8.0	29.1	75	25.6	無法成長
比較例 2	150	0.0	0	0	0.0	1.00
實施例 4	150	22.0	29.9	45	23.2	1.52
實施例 5	150	22.0	29.8	53.8	36.8	1.72
實施例 6	150	22.0	29.8	67.1	57.2	無法成長

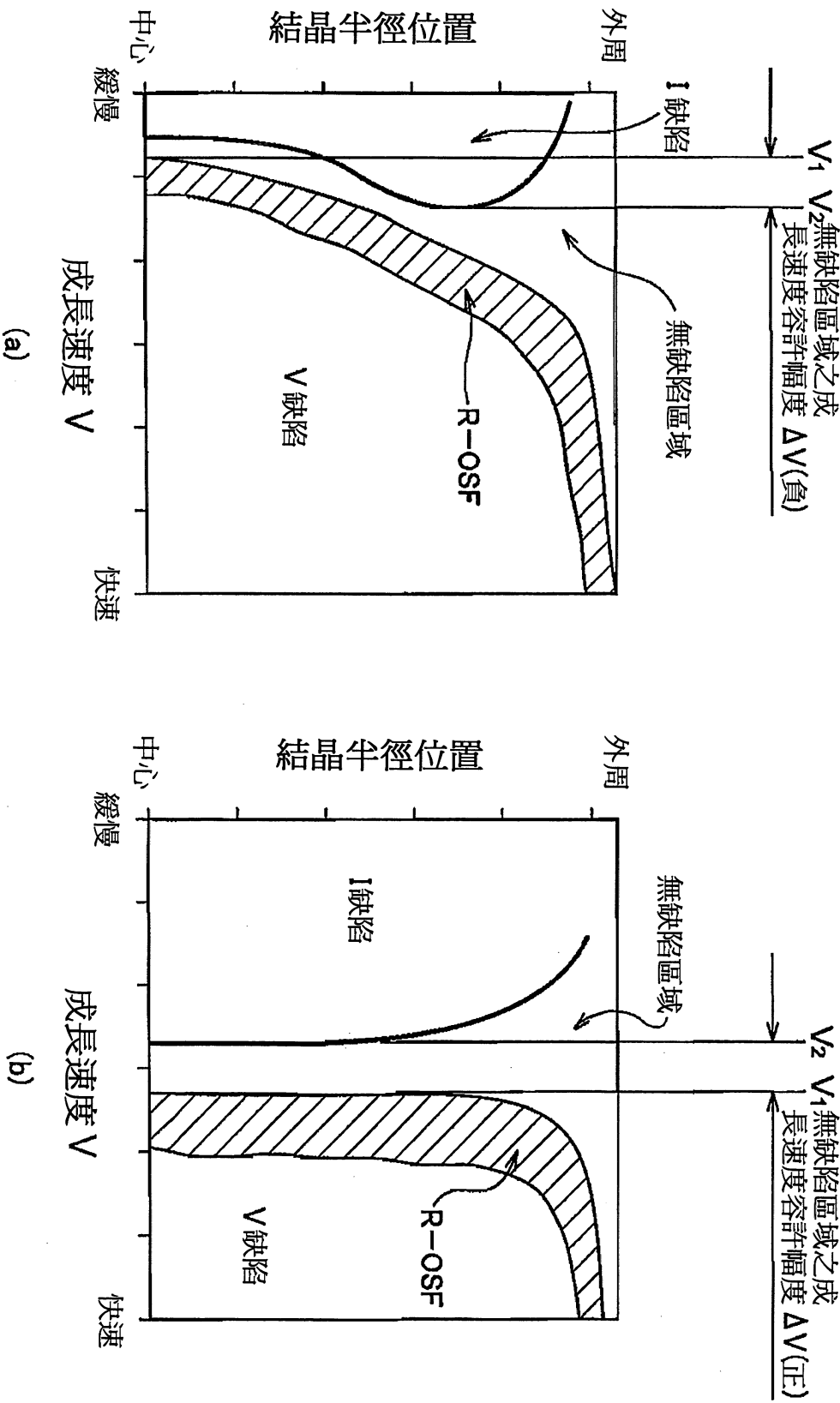
第3圖

吸熱量與結晶成長速度比之關係



第4圖

缺陷分佈與成長速度之關係的概念圖

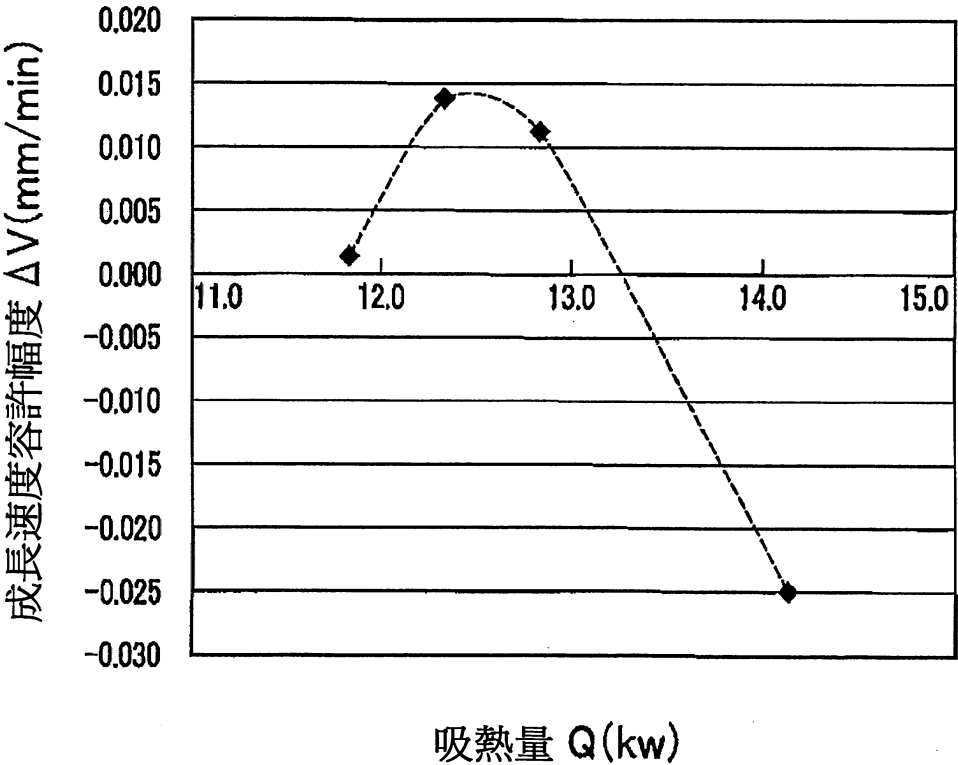


第5圖

D(mm)	冷卻水流量 f(l/min)	冷卻水溫入口側 Tin(°C)	冷卻水溫出口側 Tout(°C)	吸熱量 Q(kw)	成長速度容許幅度 ΔV(mm/min)
40	8	29.8	55.1	14.1	-0.025
50	8	29.9	52.9	12.8	0.011
60	8	29.9	52	12.3	0.014
70	8	29.9	51.1	11.8	0.001

第6圖

半徑100mm結晶成長時之吸熱量
與成長速度容許幅度的關係



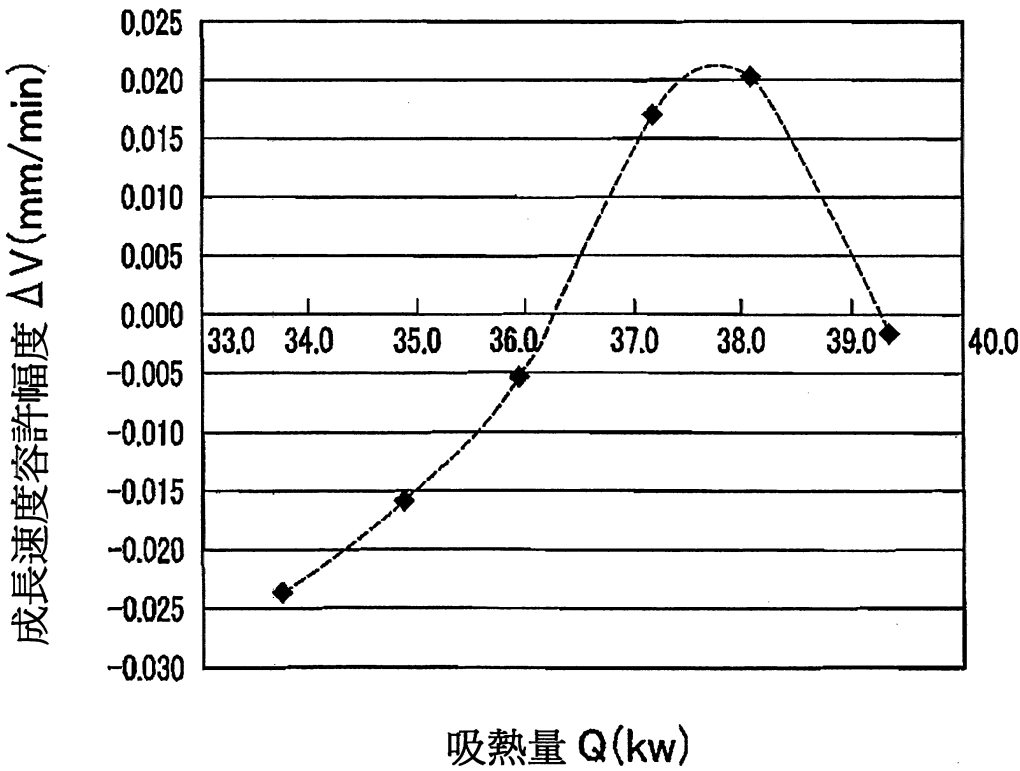
吸熱量 Q(kw)

第7圖

D(mm)	冷卻水流量 f(l/min)	冷卻水溫入口側 Tin(°C)	冷卻水溫出口側 Tout(°C)	吸熱量 Q(kw)	成長速度容許幅度 ΔV(mm/min)
80	22.2	32.1	57.5	39.3	-0.002
90	22.2	32	56.6	38.1	0.020
100	22.2	32	56	37.2	0.017
110	22.2	31.9	55.1	35.9	-0.005
120	22.2	32.1	54.6	34.8	-0.016
130	22.2	32.1	53.9	33.8	-0.023

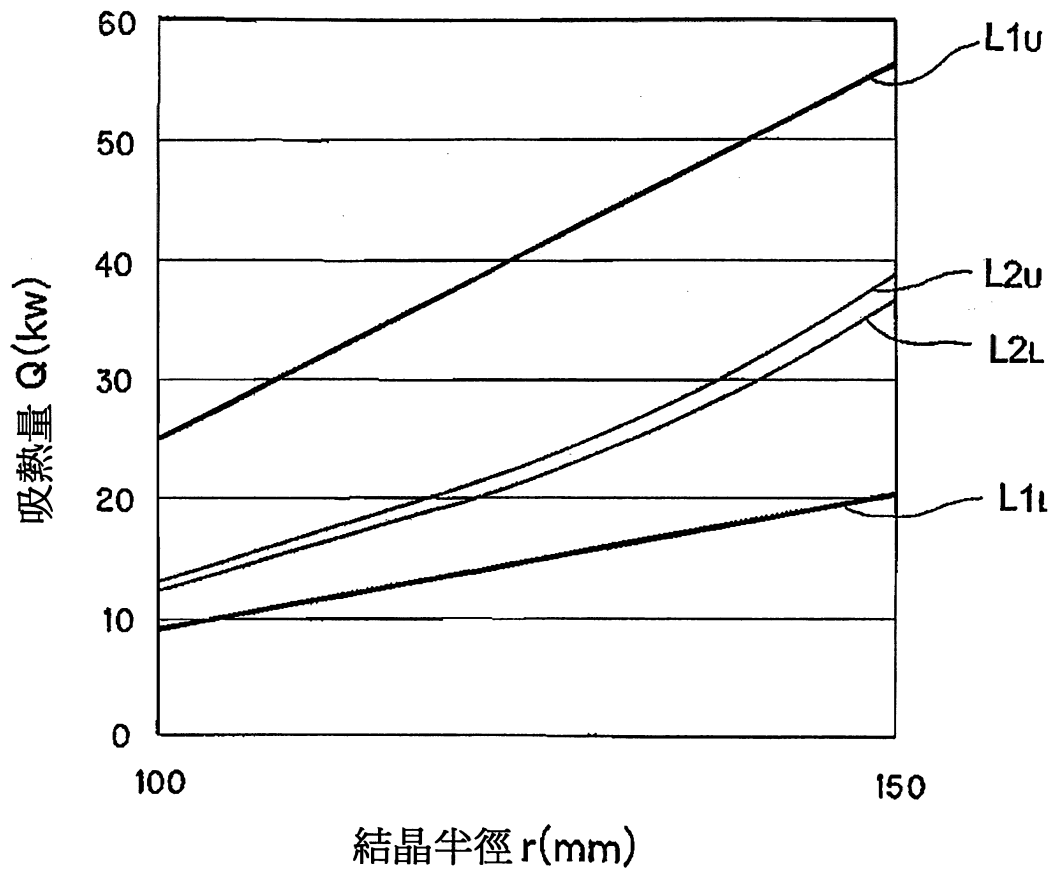
第8圖

半徑150mm結晶成長時之吸熱量與
成長速度容許幅度的關係



第9圖

結晶半徑與吸熱量之關係



第10圖

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(10)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

L1_U、L2_U、L2_L、L1_L～線

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無