

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-83317  
(P2004-83317A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

C30B 29/06  
C30B 15/14

F I

C30B 29/06 502E  
C30B 15/14

テーマコード(参考)

4G077

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2002-244771 (P2002-244771)	(71) 出願人	302006854 三菱住友シリコン株式会社 東京都港区芝浦一丁目2番1号
(22) 出願日	平成14年8月26日 (2002.8.26)	(74) 代理人	100085372 弁理士 須田 正義
		(72) 発明者	鈴木 洋二 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内
		(72) 発明者	原田 和浩 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内
		(72) 発明者	片野 智一 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内
		Fターム(参考)	4G077 AA02 BA04 CF10 EA02 EH07 EH10 HA12 PE07 PE12

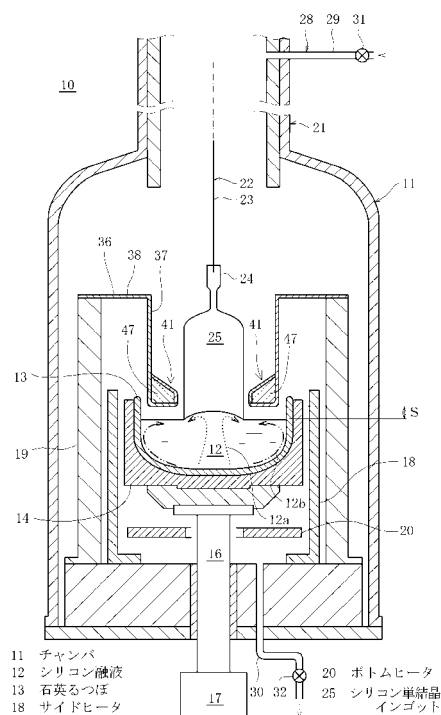
(54) 【発明の名称】 シリコン単結晶の引上げ方法

(57) 【要約】

【課題】シリコン単結晶インゴットを有効利用して、そのインゴットの歩留まりの向上を図る。

【解決手段】チャンバ11内にシリコン融液12を貯留する石英るつぼ13を設け、石英るつぼ13の外周面に対向してサイドヒータ18を設け、更に石英るつぼ13の下面に対向してボトムヒータ20を設ける。サイドヒータ18及びボトムヒータ20の電力をそれぞれ制御しながら、シリコン融液12からシリコン単結晶インゴット25を引上げる。シリコン単結晶インゴット25の直径をDmmとすると、シリコン単結晶インゴット25の引上げ中にボトムヒータ20の電力をシリコン単結晶インゴット25の単位引上げ時間に対して100/D~D/100kW/分の割合で上昇させる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

チャンバ(11)内にシリコン融液(12)を貯留する石英るつぼ(13)を設け、前記石英るつぼ(13)の外周面に対向してサイドヒータ(18)を設け、前記石英るつぼ(13)の下面に対向してボトムヒータ(20)を設け、前記サイドヒータ(18)及び前記ボトムヒータ(20)の電力をそれぞれ制御しながら、前記シリコン融液(12)からシリコン単結晶インゴット(25)を引上げる方法において、

前記シリコン単結晶インゴット(25)の直径を $D$  mmとすると、前記シリコン単結晶インゴット(25)の引上げ中に前記ボトムヒータ(20)の電力を前記シリコン単結晶インゴット(25)の単位引上げ時間に対して $100/D \sim D/100$  kW/分の割合で上昇させることを特徴とするシリコン単結晶の引上げ方法。

10

## 【請求項 2】

チャンバ(11)内にシリコン融液(12)を貯留する石英るつぼ(13)を設け、前記石英るつぼ(13)の外周面に対向してサイドヒータ(18)を設け、前記石英るつぼ(13)の下面に対向してボトムヒータ(20)を設け、前記サイドヒータ(18)及び前記ボトムヒータ(20)の電力をそれぞれ制御しながら、前記シリコン融液(12)からシリコン単結晶インゴット(25)を引上げる方法において、

前記シリコン単結晶インゴット(25)の直径を $D$  mmとすると、前記シリコン単結晶インゴット(25)の引上げ中に前記ボトムヒータ(20)の電力を前記シリコン単結晶インゴット(25)の単位引上げ長さに対して $100/D \sim D/100$  kW/mmの割合で上昇させることを特徴とするシリコン単結晶の引上げ方法。

20

## 【請求項 3】

サイドヒータ(18)及びボトムヒータ(20)の合計電力をシリコン単結晶インゴット(25)の引上げ中ほぼ一定になるように調整し、前記シリコン単結晶インゴット(25)の引上げ中であって前記ボトムヒータ(20)を作動させたときから前記シリコン単結晶インゴット(25)を $20 \sim 100$  mm引上げている間に、前記ボトムヒータ(20)の電力を前記合計電力の $25 \sim 75\%$ まで上昇させる請求項1又は2記載のシリコン単結晶の引上げ方法。

## 【請求項 4】

シリコン単結晶インゴット(25)の引上げ中にチャンバ(11)内を流通する不活性ガスの流量を前記シリコン単結晶インゴット(25)の引上げ長さに対して $0.1 \sim 2.0$  リットル/(分・mm)の割合で減少させるとともに、前記チャンバ(11)内の圧力を前記シリコン単結晶インゴット(25)の引上げ長さに対して $0.1 \sim 1.0$  torr/mmの割合で上昇させる請求項1ないし3いずれか記載のシリコン単結晶の引上げ方法。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、チョクラルスキー法(以下、CZ法という。)シリコン単結晶のインゴット(以下、単にインゴットという。)をシリコン融液から引上げる方法に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来、この種のインゴットの引上げ方法として、CZ法によりインゴットを石英るつぼから引上げる過程で、制御するように石英るつぼの周囲及び底部にサイドヒータ及びボトムヒータをそれぞれ臨ませ、石英るつぼの周壁及び底壁の温度が設定温度になるように上記サイドヒータ及びボトムヒータの出力をそれぞれ制御する単結晶製造方法が開示されている(特許第2681114号)。

この単結晶製造方法では、インゴットの引上げ中にサイドヒータ及びボトムヒータの出力を制御することにより、引上げ方向におけるインゴット中の酸素濃度を均一にすることができる、即ちインゴットの引上げ方向における酸素濃度の変動幅を大幅に低減できる。この結果、上記インゴットをスライスすることにより、均一性が高い半導体基板が得られる

40

50

ようになっている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来の特許第2681114号公報に示された単結晶製造方法では、インゴット中の酸素濃度が均一であるため、全長にわたって同じ品質のインゴットを製造する場合に有効である。

しかし、顧客の注文によっては1本のインゴットの半分しか結晶を必要としない場合があり、これらの顧客の要求するインゴット中の酸素濃度も様々であるため、上記従来単結晶製造方法により製造されたインゴットでは歩留まりが低下する問題点があった。

【0004】

本発明の目的は、インゴットのトップ部を一方の顧客の要求を満たす低い酸素濃度に制御し、インゴットのボトム部を他方の顧客の要求を満たす高い酸素濃度に保つことにより、インゴットを有効利用して歩留まりの向上を図る、シリコン単結晶の引上げ方法を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

請求項1に係る発明は、図1に示すように、チャンバ11内にシリコン融液12を貯留する石英つぼ13を設け、石英つぼ13の外周面に対向してサイドヒータ18を設け、石英つぼ13の下面に対向してボトムヒータ20を設け、サイドヒータ18及びボトムヒータ20の電力をそれぞれ制御しながら、シリコン融液12からインゴット25を引上げる方法の改良である。

その特徴ある構成は、インゴット25の直径をDmmとするとき、インゴット25の引上げ中にボトムヒータ20の電力をインゴット25の単位引上げ時間に対して $100/D \sim D/100$  kW/分の割合で上昇させるところにある。

【0006】

この請求項1に記載されたシリコン単結晶の引上げ方法では、インゴット25の引上げ中にボトムヒータ20の電力をインゴット25の単位引上げ時間に対して $100/D \sim D/100$  kW/分の割合で上昇させると、石英つぼ13の中心に鉛直方向に上昇するシリコン融液12の第1対流12aの速度が急激に大きくなるので、石英つぼ13からシリコン融液12に溶出した酸素は、石英つぼ13の側壁内面に沿って上昇しシリコン融液12表面近傍を通るシリコン融液12の第2対流12bによりインゴット25に導入される量より、上記第1対流12aによりインゴット25に直接導入される量の方が急激に多くなる。この結果、インゴット25内の酸素濃度が低濃度から高濃度に変化する部分は極めて短くて済むので、インゴット25を有効利用できる。

【0007】

請求項2に係る発明は、図1に示すように、インゴット25の直径をDmmとするとき、インゴット25の引上げ中にボトムヒータ20の電力をインゴット25の単位引上げ長さに対して $100/D \sim D/100$  kW/mmの割合で上昇させることを特徴とする。

この請求項2に記載されたシリコン単結晶の引上げ方法では、インゴット25の引上げ中にボトムヒータ20の電力をインゴット25の単位引上げ長さに対して $100/D \sim D/100$  kW/mmの割合で上昇させると、上記請求項1と同様に、石英つぼ13の中心に鉛直方向に上昇するシリコン融液12の第1対流12aの速度が急激に大きくなるので、石英つぼ13からシリコン融液12に溶出した酸素は、石英つぼ13の側壁内面に沿って上昇しシリコン融液12表面近傍を通るシリコン融液12の第2対流12bによりインゴット25に導入される量より、上記第1対流12aによりインゴット25に直接導入される量の方が急激に多くなる。この結果、インゴット25内の酸素濃度が低濃度から高濃度に変化する部分は極めて短くて済むので、インゴット25を有効利用できる。

【0008】

請求項3に係る発明は、請求項1又は2に係る発明であって、更に図1に示すように、サイドヒータ18及びボトムヒータ20の合計電力をインゴット25の引上げ中ほぼ一定に

10

20

30

40

50

なるように調整し、インゴット25の引上げ中であってボトムヒータ20を作動させたときからインゴット25を20~100mm引上げている間に、ボトムヒータ20の電力を上記合計電力の25~75%まで上昇させることを特徴とする。

この請求項3に記載されたシリコン単結晶の引上げ方法では、インゴット25内の酸素濃度が低濃度から高濃度に変化する部分を20~100mmと短くしてインゴット25を有効利用できるとともに、インゴット25のボトム側の酸素濃度を所定の高い範囲に保持できる。

#### 【0009】

請求項4に係る発明は、請求項1ないし3いずれかに係る発明であって、更に図1に示すように、インゴット25の引上げ中にチャンバ11内を流通する不活性ガスの流量をインゴット25の引上げ長さに対して0.1~2.0リットル/(分・mm)の割合で減少させるとともに、チャンバ11内の圧力をインゴット25の引上げ長さに対して0.1~1.0torr/mmの割合で上昇させることを特徴とする。

10

この請求項4に記載されたシリコン単結晶の引上げ方法では、チャンバ11内の不活性ガスの流量の急激な減少及び圧力の急激な上昇により、シリコン融液12の第2対流12bがシリコン融液12表面近傍を通るときに、液面から蒸発する酸素量が低下するので、インゴット25内の酸素濃度が低濃度から高濃度に変化する部分が更に短くなり、インゴット25を更に有効利用できる。

#### 【0010】

##### 【発明の実施の形態】

20

次に本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1に示すように、シリコン単結晶の引上げ装置10のチャンバ11内には、シリコン融液12を貯留する石英るつぼ13が設けられ、この石英るつぼ13の外周面は黒鉛サセプタ14により被覆される。石英るつぼ13の下面は上記黒鉛サセプタ14を介して支軸16の上端に固定され、この支軸16の下部はるつぼ駆動手段17に接続される。るつぼ駆動手段17は図示しないが石英るつぼ13を回転させる第1回転用モータと、石英るつぼ13を昇降させる昇降用モータとを有し、これらのモータにより石英るつぼ13が所定の方向に回転し得るとともに、上下方向に移動可能となっている。石英るつぼ13の外周面は石英るつぼ13から所定の間隔をあけてサイドヒータ18により包囲され、このサイドヒータ18は保温筒19により包囲される。また石英るつぼ13の下面は石英るつぼ13の下面から所定の間隔をあけてボトムヒータ20が設けられる。サイドヒータ18及びボトムヒータ20は石英るつぼ13に投入された高純度のシリコン多結晶体を加熱・融解してシリコン融液12にする。

30

#### 【0011】

またチャンバ11の上端には円筒状のケーシング21が接続される。このケーシング21には引上げ手段22が設けられる。引上げ手段22はケーシング21の上端部に水平状態で旋回可能に設けられた引上げヘッド(図示せず)と、このヘッドを回転させる第2回転用モータ(図示せず)と、ヘッドから石英るつぼ13の回転中心に向かって垂下されたワイヤケーブル23と、上記ヘッド内に設けられワイヤケーブル23を巻取り又は繰出す引上げ用モータ(図示せず)とを有する。ワイヤケーブル23の下端にはシリコン融液12に浸してシリコン単結晶のインゴット25を引上げるための種結晶24が取付けられる。

40

#### 【0012】

更にチャンバ11にはこのチャンバ11のインゴット側に不活性ガスを供給しかつ上記不活性ガスをチャンバ11のるつぼ内周面側から排出するガス給排手段28が接続される。ガス給排手段28は一端がケーシング21の周壁に接続され他端が上記不活性ガスを貯留するタンク(図示せず)に接続された供給パイプ29と、一端がチャンバ11の下壁に接続され他端が真空ポンプ(図示せず)に接続された排出パイプ30とを有する。供給パイプ29及び排出パイプ30にはこれらのパイプ29,30を流れる不活性ガスの流量を調整する第1及び第2流量調整弁31,32がそれぞれ設けられる。

#### 【0013】

50

一方、引上げ用モータの出力軸（図示せず）にはエンコーダ（図示せず）が設けられ、るつぼ駆動手段 17 には支軸 16 の昇降位置を検出するエンコーダ（図示せず）が設けられる。2つのエンコーダの各検出出力はコントローラ（図示せず）の制御入力に接続され、コントローラの制御出力は引上げ手段 22 の引上げ用モータ及びるつぼ駆動手段 17 の昇降用モータにそれぞれ接続される。またコントローラにはメモリ（図示せず）が設けられ、このメモリにはエンコーダの検出出力に対するワイヤケーブル 23 の巻取り長さ、即ちインゴット 25 の引上げ長さが第 1 マップとして記憶される。また、メモリには、インゴット 25 の引上げ長さに対する石英るつぼ 13 内のシリコン融液 12 の液面レベルが第 2 マップとして記憶される。コントローラは、引上げ用モータにおけるエンコーダの検出出力に基づいて石英るつぼ 13 内のシリコン融液 12 の液面を常に一定のレベルに保つように、るつぼ駆動手段 17 の昇降用モータを制御するように構成される。 10

#### 【0014】

インゴット 25 の外周面と石英るつぼ 13 の内周面との間にはインゴット 25 の外周面を包囲する熱遮蔽部材 36 が設けられる。この熱遮蔽部材 36 は筒状に形成されヒータ 18 からの輻射熱を遮る筒部 37 と、この筒部 37 の上縁に連設され外方に略水平方向に張り出すフランジ部 38 とを有する。上記フランジ部 38 を保温筒 19 上に載置することにより、筒部 37 の下縁がシリコン融液 12 表面から所定の距離だけ上方に位置するように、熱遮蔽部材 36 がチャンバ 11 内に固定される。この実施の形態における筒部 37 は同一直径の筒状体であり、この筒部 37 の下部には筒内の方向に膨出する膨出部 41 が設けられる。膨出部 41 の内部には、カーボン繊維からなるフェルト材を充填することにより形成されたリング状の蓄熱部材 47 が設けられる。 20

#### 【0015】

このように構成された引上げ装置を用いてシリコン単結晶を引上げる方法を説明する。先ず石英るつぼ 13 を所定の回転速度で回転させ、種結晶 24 を石英るつぼ 13 とは逆方向に所定の回転速度で回転させながら、シリコン融液 12 に浸した種結晶 24 を引上げる。ことにより、インゴット 25 をシリコン融液 12 から引上げる。またインゴット 25 は、種結晶 24 に連続して引上げられるトップ側インゴット 25 a と、このトップ側インゴット 25 a に連続して引上げられるボトム側インゴット 25 b と、トップ側インゴット 25 a とボトム側インゴット 25 b の中間に位置しかつサイドヒータ 18 及びボトムヒータ 20 の電力が急激に変更される際に引上げられる中間インゴット 25 e とを有する。なお、 30  
中間インゴット 25 e はインゴット 25 の直胴部の任意の位置に設けられ、これによりトップ側インゴット 25 a とボトム側インゴット 25 b の長さは変化する。

#### 【0016】

ここで、サイドヒータ 18 及びボトムヒータ 20 の合計電力はインゴット 25 の引上げ中ほぼ一定になるように調整する。具体的には、トップ側インゴット 25 a の引上げ時にはボトムヒータ 20 をオフした状態でサイドヒータ 18 のみを制御して石英るつぼ 13 の温度及びこの石英るつぼ 13 内のシリコン融液 12 の温度を調整する。そしてトップ側インゴット 25 a の引上げが完了したときにはサイドヒータ 18 及びボトムヒータ 20 をオンした状態で両ヒータ 18, 20 を制御して石英るつぼ 13 の温度及びこの石英るつぼ 13 内のシリコン融液 12 の温度を調整する。 40

#### 【0017】

インゴット 25 の直胴部の直径を  $D$  mm とするとき、上記トップ側インゴット 25 a の引上げが完了したときに、ボトムヒータ 20 の電力をインゴット 25 の単位引上げ時間に対して  $100/D \sim D/100$  kW/分、好ましくは  $D/100$  kW/分の割合で上昇させるとともに、チャンバ 11 内の不活性ガスの流量をインゴット 25 の引上げ長さに対して  $0.1 \sim 2.0$  リットル/(分・mm)、好ましくは  $0.5 \sim 1.0$  リットル/(分・mm) の割合で減少させ、かつチャンバ 11 内の圧力をインゴット 25 の引上げ長さに対して  $0.1 \sim 1.0$  torr/mm、好ましくは  $0.3 \sim 1.0$  torr/mm の割合で上昇させる。またボトムヒータ 20 を作動させたときからインゴット 25 を  $20 \sim 100$  mm 引上げている間、即ち中間インゴット 20 e の引上げ中に、ボトムヒータ 20 の電力を 50

上記合計電力の25～75%、好ましくは40～60%まで上昇させるとともに、チャンバ11内の不活性ガスの流量を20～100リットル/分減少させ、かつチャンバ11内の圧力を10～40 torr 上昇させる。

【0018】

ここで、トップ側インゴット25aの引上げが完了したときからのボトムヒータ20の電力の上昇割合を100/D～D/100kW/分の範囲に限定したのは、100/DkW/分未満では中間インゴット25eが長くなって効率が悪くなり、D/100kW/分を越えるとシリコン融液12の温度変化が大きくなってインゴット25の直径変動や引上げ速度の変動が生じるからである。またトップ側インゴット25aの引上げが完了したときからのチャンバ11内の不活性ガスの流量の減少割合をインゴット25の引上げ長さに対して0.1～2.0リットル/(分・mm)の範囲に限定したのは0.1リットル/(分・mm)未満では中間インゴット25eが長くなって効率が悪くなり、2.0リットル/(分・mm)を越えるとチャンバ11内の圧力の制御が困難になるからである。更にトップ側インゴット25aの引上げが完了したときからのチャンバ11内の圧力の上昇割合をインゴット25の引上げ長さに対して0.1～1.0 torr/mmの範囲に限定したのは、0.1 torr/mm未満では中間インゴット25eが長くなって効率が悪くなり、1.0 torr/mmを越えるとチャンバ11内の圧力の制御が困難になるからである。

10

【0019】

中間インゴット25eの引上げ中にボトムヒータ20の電力を上記合計電力の25～75%の範囲まで上昇させたのは、25%未満ではボトム側インゴット25bの酸素濃度が所定濃度まで上昇せず、75%を越えるとサイドヒータ18の温度が低くシリコン融液12がその液面周辺部で固化してしまう場合があるからである。また中間インゴット25eの引上げ中にチャンバ11内の不活性ガスの流量の減少幅を20～100リットル/分の範囲に限定したのは、20リットル/分未満では酸素濃度の上昇幅が小さく、100リットル/分を越えると下記のチャンバ11内の圧力の上昇と同時に行った場合にチャンバ11内の圧力の制御性が悪くなり、チャンバ11内にシリコン酸化物のベーパーが付着することがあるからである。更に中間インゴット25eの引上げ中にチャンバ11内の圧力の上昇幅を10～40 torrの範囲に限定したのは、10 torr未満では酸素濃度の上昇幅が小さく、40 torrを越えると上記の不活性ガスの減少と同時に行った場合にチャンバ11内の圧力の制御性が悪くなり、チャンバ11内にシリコン酸化物のベーパーが付着することがあるからである。

20

30

【0020】

上記方法でインゴット25を引上げたときの作用を説明する。

先ずトップ側インゴット25aの引上げ時には、ボトムヒータ20がオフし、サイドヒータ18のみがオンしているため、図1の破線で示す第1対流12a、即ち石英るつぼ13の中心に鉛直方向に上昇するシリコン融液12の対流の速度は小さく、二点鎖線で示す石英るつぼ13の側壁内面に沿って上昇するシリコン融液12の第2対流12bの速度は大きい。このため石英るつぼ13からシリコン融液12に溶出した酸素の大部分は第2対流12bにより運ばれるけれども、この酸素はシリコン融液12の液面近傍を通るときに蒸発するため、インゴット25に導入される酸素量は少ない。

40

【0021】

次にトップ側インゴット25aの引上げが完了すると、ボトムヒータ20をオンしてその電力を急激に上昇させると同時にサイドヒータ18の電力を急激に下降させるため、第1対流12aの速度が急激に大きくなるとともに、第2対流12bの速度が急激に小さくなる。このため石英るつぼ13からシリコン融液12に溶出した酸素は第2対流12bにより運ばれる量よりも第1対流12aにより運ばれる量の方が次第に多くなる。この結果、中間インゴット25e内の酸素濃度は低濃度から高濃度に急激に変化する。具体的には、中間インゴット25eの上下端の酸素濃度の差は $0.2 \times 10^{18} \sim 0.5 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup> (旧ASTM)と大きくなる。

【0022】

50

更にシリコン融液 1 2 中の第 1 対流 1 2 a 及び第 2 対流 1 2 b がほぼ定常状態になって、ボトム側インゴット 2 5 b の引上げに移行すると、第 1 対流 1 2 a の速度が大きい状態に保たれるとともに、第 2 対流 1 2 b の速度が小さい状態に保たれる。このため石英をつば 1 3 からシリコン融液 1 2 に溶出した酸素の大部分は第 1 対流 1 2 a によりインゴット 2 5 及びシリコン融液 1 2 の固液界面に直接運ばれるため、インゴット 2 5 に導入される酸素量は多い。この結果、ボトム側インゴット 2 5 b 内の酸素濃度は高い値に保たれる。この結果、トップ側インゴット 2 5 a を低い酸素濃度を要求する顧客に供給し、ボトム側インゴット 2 5 b を高い酸素濃度を要求する別の顧客に供給することが可能となり、インゴット 2 5 のうち無駄になる部分はインゴット 2 5 の全長に対して短い中間インゴット 2 5 e だけであるので、インゴット 2 5 を有効利用でき、インゴット 2 5 の歩留まりを向上できる。

10

#### 【0023】

なお、この実施の形態では、インゴット 2 5 の引上げ中にボトムヒータ 2 0 の電力をインゴット 2 5 の単位引上げ時間に対して  $100/D \sim D/100$  kW/分の割合で上昇させたが、インゴット 2 5 の引上げ中にボトムヒータ 2 0 の電力をインゴット 2 5 の単位引上げ長さに対して  $100/D \sim D/100$  kW/mm、好ましくは  $D/40$  kW/mm の割合で上昇させてもよい。この場合も、ボトムヒータ 2 0 を作動させたときからインゴット 2 5 を  $20 \sim 100$  mm 引上げている間に、ボトムヒータ 2 0 の電力を上記合計電力の  $25 \sim 75\%$ 、好ましくは  $40 \sim 60\%$  まで上昇させる。ここで、インゴット 2 5 の引上げ中にボトムヒータの電力の上昇割合をインゴットの単位引上げ長さに対して  $100/D \sim D/100$  kW/mm の範囲に限定したのは、 $100/D$  kW/mm 未満では中間インゴット 2 5 e が長くなって効率が悪くなり、 $D/100$  kW/mm を越えるとシリコン融液 1 2 の温度変化が大きくなってインゴット 2 5 の直径変動や引上げ速度の変動が生じるからである。

20

#### 【0024】

##### 【実施例】

次に本発明の実施例について詳しく説明する。

##### <実施例 1>

先ず図 1 に示す引上げ装置 1 0 を用いて直径及び全長がそれぞれ  $200$  mm 及び  $1400$  mm であるインゴット 2 5 を引上げた。このときチャンバ 1 1 内のアルゴンガスの流量が  $130$  リットル/分となるように、かつチャンバ 1 1 内の圧力が  $30$  torr となるように、第 1 及び第 2 流量調整弁 3 1, 3 2 を調整した。

30

#### 【0025】

インゴット 2 5 を  $1050$  mm 引上げたときから、ボトムヒータ 2 0 の電力をインゴット 2 5 の単位引上げ時間に対して  $2$  kW/分の割合で上昇させた(図 3 の破線)。またインゴット 2 5 を  $1000 \sim 1090$  mm 引上げているときにチャンバ 1 1 内のアルゴンガスの流量を  $0.2$  リットル/(分・mm) の割合で減少させ、インゴット 2 5 を  $1090 \sim 1150$  mm 引上げているときにチャンバ 1 1 内のアルゴンガスの流量を  $0.83$  リットル/(分・mm) の割合で減少させた(図 4)。更にチャンバ 1 1 内の圧力をインゴット 2 5 の引上げ長さに対して  $0.3$  torr/mm の割合で上昇させた(図 5)。

40

#### 【0026】

一方、ボトムヒータ 2 0 を作動させたときからインゴット 2 5 を  $50$  mm 引上げている間、即ち中間インゴット 2 0 e の引上げ中に、ボトムヒータ 2 0 の電力を  $40$  kW (サイドヒータ 1 8 及びボトムヒータ 2 0 の合計電力の約  $50\%$ ) まで上昇させるとともに(図 3 の破線)、チャンバ 1 1 内のアルゴンガスの流量を  $60$  リットル/分まで減少させ(図 4、減少幅  $70$  リットル/分)、かつチャンバ 1 1 内の圧力を  $48$  torr まで上昇させた(図 5、上昇幅  $18$  torr)。このようにして引上げられたインゴットを実施例 1 とした。

#### 【0027】

##### <試験及び評価>

50

上記実施例 1 のインゴットの酸素濃度を測定した。その結果を図 3 の実線で示す。

図 3 から明らかなように、インゴット内の酸素濃度が低濃度から高濃度に急激に変化する部分、即ち中間インゴットの長さは 100 mm と短くなり、トップ側インゴットは抵抗率の低いウェーハの製作を可能とする低酸素濃度のインゴットを要求する顧客の要望を満たしたものとなり、ボトム側インゴットは抵抗率の高いウェーハの作製を可能とする高酸素濃度を要求する顧客の要望を満たしたものとなった。

【0028】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、インゴットの直径を  $D$  mm とするとき、インゴットの引上げ中にボトムヒータの電力をインゴットの単位引上げ時間に対して  $100/D \sim D/100$  kW/分の割合で上昇させたので、石英るつぼの中心に鉛直方向に上昇するシリコン融液の第 1 対流の速度が急激に大きくなる。これにより石英るつぼからシリコン融液に溶出した酸素は、石英るつぼの側壁内面に沿って上昇するシリコン融液の第 2 対流によりシリコン融液表面近傍を通過してインゴットに導入される量より、上記第 1 対流により直接インゴットに導入される量の方が急激に多くなるので、インゴット内の酸素濃度が低濃度から急激に高濃度に変化する部分は極めて短くて済む。この結果、インゴットを有効利用できるので、インゴットの歩留まりを向上できる。

またインゴットの引上げ中にボトムヒータの電力をインゴットの単位引上げ長さに対して  $100/D \sim D/100$  kW/mm の割合で上昇させても、上記と同様の効果が得られる。

【0029】

またサイドヒータ及びボトムヒータの合計電力をインゴットの引上げ中ほぼ一定になるように調整し、インゴットの引上げ中であってボトムヒータを作動させたときからインゴットを 20 ~ 100 mm 引上げている間に、ボトムヒータの電力を上記合計電力の 25 ~ 75 % まで上昇させれば、インゴット内の酸素濃度が低濃度から高濃度に変化する部分を 20 ~ 100 mm と短く抑えてインゴットを有効利用できるとともに、インゴットのボトム側の酸素濃度を所定の高い範囲に保持できる。

更にインゴットの引上げ中にチャンバ内を流通する不活性ガスの流量をインゴットの引上げ長さに対して 0.1 ~ 2.0 リットル/(分・mm) の割合で減少させるとともに、チャンバ内の圧力をインゴットの引上げ長さに対して 0.1 ~ 1.0 torr/mm の割合で上昇させれば、シリコン融液の第 2 対流がシリコン融液表面近傍を通過するとき液面から蒸発する酸素量が低下するので、インゴット内の酸素濃度の低濃度から高濃度への変化割合が大きくなる。この結果、インゴットを更に有効利用できるので、インゴットの歩留まりを更に向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の方法に使用する引上げ装置の断面構成図。

【図 2】

その装置により引上げられるインゴットを示す図。

【図 3】

そのインゴットの引上げ方向における酸素濃度の変化と、そのインゴットの引上げ中のボトムヒータの電力の変化を示す図。

【図 4】

そのインゴットの引上げ中のアルゴンガスの流量の変化を示す図。

【図 5】

そのインゴットの引上げ中のチャンバ内圧力の変化を示す図。

【符号の説明】

- 11 チャンバ
- 12 シリコン融液
- 13 石英るつぼ

10

20

30

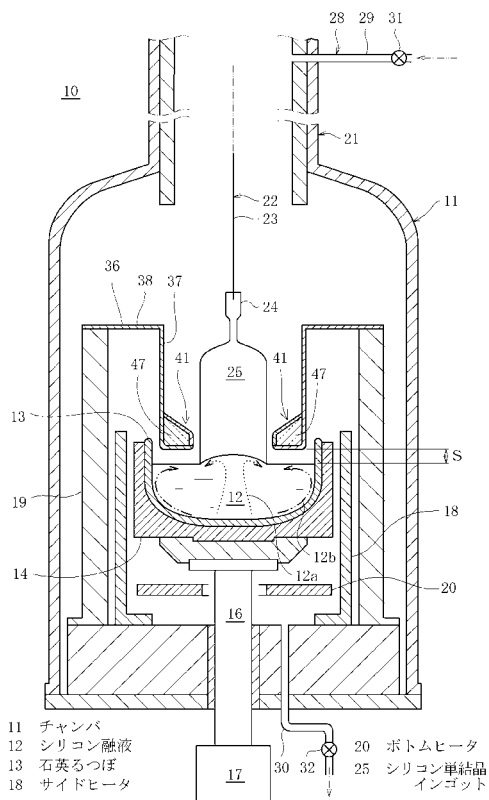
40

50

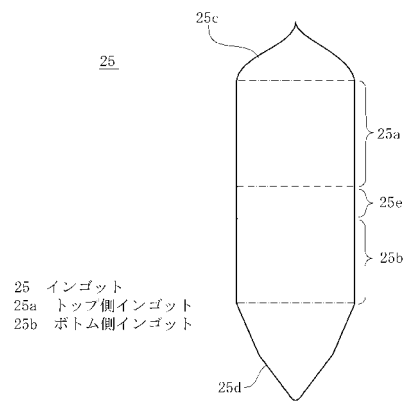


- 18 サイドヒータ
- 20 ボトムヒータ
- 25 インゴット

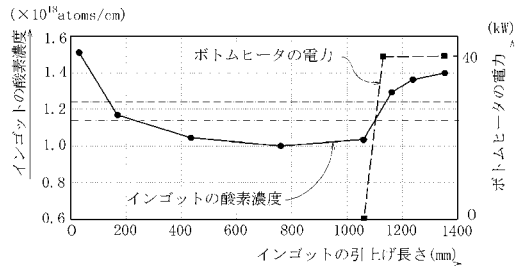
【図1】



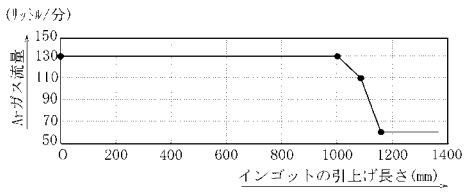
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】

