(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4685231号
(P4685231)

(45)発行日　平成23年5月18日(2011.5.18)　(24)登録日　平成23年2月18日(2011.2.18)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/322	(2006.01)	H01L	21/322	Y
C30B 29/06	(2006.01)	C30B	29/06	A
C30B 33/02	(2006.01)	C30B	33/02	
H01L 21/26	(2006.01)	H01L	21/26	F

請求項の数 20　(全 25 頁)

(21)出願番号	特願2000-344053(P2000-344053)
(22)出願日	平成12年11月10日(2000.11.10)
(65)公開番号	特開2001-203210(P2001-203210A)
(43)公開日	平成13年7月27日(2001.7.27)
審査請求日	平成13年5月17日(2001.5.17)
審判番号	不服2007-21638(P2007-21638/J1)
審判請求日	平成19年8月3日(2007.8.3)
(31)優先権主張番号	199950467
(32)優先日	平成11年11月13日(1999.11.13)
(33)優先権主張国	韓国(KR)
(31)優先権主張番号	200057344
(32)優先日	平成12年9月29日(2000.9.29)
(33)優先権主張国	韓国(KR)

(73)特許権者　390019839
三星電子株式会社
Ｓａｍｓｕｎｇ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ　Ｃｏ．，Ｌｔｄ．
大韓民国京畿道水原市靈通区梅灘洞４１６
４１６，Ｍａｅｔａｎ－ｄｏｎｇ，Ｙｅｏｎｇｔｏｎｇ－ｇｕ，Ｓｕｗｏｎ－ｓｉ，Ｇｙｅｏｎｇｇｉ－ｄｏ，Ｒｅｐｕｂｌｉｃ　ｏｆ　Ｋｏｒｅａ
(74)代理人　100064908
弁理士　志賀　正武
(74)代理人　100089037
弁理士　渡邊　隆
(74)代理人　100108453
弁理士　村山　靖彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】シリコンウェーハの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

シリコンウェーハを用意する段階と、

前記ウェーハをウェーハの表面でベーカンシ注入効果をもつガス及びインタースティシャルシリコン注入効果をもつガスの混合ガス雰囲気下で急速加熱・急速冷却処理を行うことにより、該急速加熱・急速冷却処理に後続する熱処理中に酸素析出物が成長する場所としての役目をする核生成中心を発生させ、これにより発生する前記ウェーハの前面から背面までの前記核生成中心の濃度プロファイルが、前面及び背面から所定深さで各々第１ピーク及び第２ピークを示し、前記前面及び背面から各々第１ピーク及び第２ピークに達する前に臨界値以下に維持され、前記第１ピーク及び第２ピーク間のバルク領域で核生成中心の濃度プロファイルを凹状にする急速加熱・急速冷却処理段階と、を具備し、

前記混合ガスは、窒素ガス＋アルゴンガスであるか、または、窒素ガス＋水素ガスであり、

前記臨界値が前記急速加熱・急速冷却処理を行った後の待機温度での平衡濃度とされることを特徴とするシリコンウェーハの製造方法。

【請求項２】

請求項１記載の前記急速加熱・急速冷却処理段階は、急速加熱・急速冷却処理段階後に、前記ウェーハの前面から背面までのベーカンシの濃度プロファイルが、前面及び背面から所定深さで各々第１ピーク及び第２ピークを示し、前記前面及び背面から各々第１ピーク及び第２ピークに達する前に臨界値以下に維持され、前記第１ピーク及び第２ピーク間

のバルク領域でベーカンシの濃度プロファイルを凹状にすることを特徴とするシリコンウェーハの製造方法。

【請求項３】

請求項１または２記載の前記急速加熱・急速冷却処理段階後に、前記ウェーハの前面から背面までの酸素析出物の濃度プロファイルが、前面及び背面から所定深さで各々第１ピーク及び第２ピークを示し、前記前面及び背面から各々第１ピーク及び第２ピークに達する前にデヌードゾーンが形成され、前記第１ピーク及び第２ピーク間のバルク領域で酸素析出物の濃度プロファイルを凹状にする後続する熱処理段階を具備することを特徴とするシリコンウェーハの製造方法。

【請求項４】

前記混合ガスの混合比を調節して前記酸素析出物の第１ピーク及び第２ピークのピーク値及び前記バルク領域の濃度値を制御することを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項５】

前記混合ガスの混合比を調節して前記デヌードゾーンの深さを制御することを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項６】

前記混合ガスの混合比を調節するほかに、前記急速加熱・急速冷却処理段階の温度及び時間をさらに調節することを特徴とする請求項４又は５に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項７】

前記急速加熱・急速冷却処理段階は、少なくとも３０℃／秒以上の急速冷却を含むことを特徴とする請求項１から３のいずれかに記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項８】

前記急速加熱・急速冷却処理段階は、少なくとも１１５０℃以上の温度で行われることを特徴とする請求項７記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項９】

前記急速加熱・急速冷却処理段階は、少なくとも５秒以上行われることを特徴とする請求項８に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項１０】

前記急速加熱・急速冷却処理段階は、少なくとも１１５０℃以上の温度で３０秒以上行われることを特徴とする請求項８に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項１１】

前記急速加熱・急速冷却処理段階は、１２５０℃以上の温度で１０秒以上行われることを特徴とする請求項８に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項１２】

前記急速加熱・急速冷却処理段階後の前記熱処理段階は、８００℃～１０００℃で４～２０時間行われることを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法
。

【請求項１３】

前記酸素析出物の濃度プロファイルを、シリコンウェーハの中心を軸として対称にすることを特徴とする請求項３記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項１４】

前記デヌードゾーンの深さは、ウェーハの表面から１０μｍ～４０μｍの範囲に確保されることを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項１５】

前記デヌードゾーンの深さは、ウェーハの表面から２０μｍ～４０μｍの範囲に確保されることを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項１６】

前記第１ピーク及び第２ピークでの酸素析出物の濃度は、少なくとも１×１０９／ｃｍ

^{3}以上であることを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。
【請求項１７】
前記第１ピーク及び第２ピーク間のバルク領域での酸素析出物の濃度は、少なくとも１×１０８／ｃｍ^{3}以上であることを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。
【請求項１８】
前記急速加熱・急速冷却処理段階は、シリコンウェーハのウェーハリング過程のドナーキーリング段階で行われることを特徴とする請求項１から３のいずれかに記載のシリコンウェーハの製造方法。
【請求項１９】
前記急速加熱・急速冷却処理段階後に、半導体素子のアクティブ領域が形成される前記ウェーハの前面をポリシングする段階をさらに具備することを特徴とする請求項１から３のいずれかに記載のシリコンウェーハの製造方法。
【請求項２０】
前記後続する熱処理段階により前記第１ピーク及び第２ピーク間のバルク領域でのみ、ＣＯＰがさらに存在していることを特徴とする請求項３に記載のシリコンウェーハの製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は制御された欠陥分布をもつシリコンウェーハ、その製造工程及びこれらウェーハの形成のための単結晶シリコンインゴットの製造のためのチョクラルスキープーラ（引き上げ機）に係り、より詳細には、ウェーハ内でゲッタリング場所としての役目をする酸素析出物の核生成中心の分布を制御する熱処理工程及びこれを行うためのウェーハの用意工程に関する。
【０００２】
【従来の技術】
半導体素子を製作するための出発物質である単結晶シリコンは、一般的に、チョクラルスキー（Ｃｚｏｃｈｒａｌｓｋｉ；ＣＺ）法と呼ばれる結晶成長法により、円筒状のインゴットに形成される。インゴット状の単結晶シリコンは切断、エッチング、洗浄及びポリシングなどのウェーハリング工程を通じてウェーハとして製作される。前記チョクラルスキー法は、シリコン溶融物内に単結晶のシード結晶を接触させた後にゆっくり引き上げながら結晶成長を行うことである。シリコン溶融物は石英製の坩堝内に入れられているため、その中には各種の不純物、特に酸素が入っている。シリコン溶融物の温度では酸素が、溶融物の温度に該当するシリコン内の酸素の溶解度と固相化したシリコン内での酸素の実分離係数によって決定される濃度に達するまで、結晶格子内に浸透する。このように結晶成長中にシリコンインゴットに浸透した酸素の濃度は、後続する集積回路の製作時の典型的な温度で、この温度に該当する固相シリコン内の酸素溶解度よりもはるかに大きい。一方、結晶が成長され、かつ冷却されるにつれて、結晶内の酸素の溶解度は急に下がり、その結果、冷却されたインゴット内には酸素が過飽和され、これらはＤ－ディフェクトと呼ばれるボイド状の結晶欠陥をインゴット内に形成させる。
【０００３】
このようなＤ－ディフェクトは、インゴットの切断、ポリシング、洗浄などのウェーハリング過程を経ながらウェーハの表面に{１１１}面をもったピット状のＣＯＰ（Ｃｒｙｓｔａｌ Ｏｒｉｇｉｎａｔｅｄ Ｐｒｅｃｉｐｉｔａｔｅ）を引き起こる。また、これらは後続する集積回路素子の製作中に繰り返し行われる洗浄及び酸化工程などによって段々大きくなり、しかも、その数も急増する。図１は、従来のＭＯＳトランジスタの断面を示した図である。これを参照すれば、ウェーハ表面のＣＯＰが半導体素子のアクティブ領域、例えば、シリコン基板１０の表面近傍に形成されたソース領域１２とドレイン領域１４との間のチャンネル領域内に存在すると、ゲート電極１８とシリコン基板１０との間を電気

的に絶縁させるゲート絶縁膜１６が崩れ、これに加えて、メモリ素子でのリフレッシュ特性も劣化する。また、このようなウェーハ表面のＣＯＰが半導体素子のアクティブ領域を分離するフィールド酸化膜内に存在すると、イオン注入工程時に注入される不純物イオンがフィールド酸化膜の下部のバルク領域まで浸透し、その結果、チャンネルリングによる素子分離の不良が引き起こされる。

【０００４】

一方、後続する熱処理によりウェーハのバルク領域（図１の１０ａ）に形成される酸素析出物はリーク電流源として作用するが、後続する半導体素子の製作中に好ましくない金属汚染物をトラップできるイントリンシックゲッタリングサイトとしても作用する。したがって、インゴット内に酸素濃度が十分高ければ、イントリンシックゲッタリングサイトである酸素析出物の量が多くなって、ゲッタリング性能が高くなるが、その一方、酸素濃度が十分でなければ、酸素析出物が形成されず、ゲッタリング性能が無くなる。このため、ウェーハのバルク領域内には適正量の酸素析出物が分布されるように調節する必要がある。

【０００５】

一方、従来の一般的な方法によりインゴット成長され、かつウェーハリングされたウェーハはウェーハの前面から背面に至るまで、酸素析出物が全体的に分布されている。特に、半導体素子の活性領域が形成されるウェーハの前面から一定の深さ（図１の１０ｂ）に至るまでは酸素に関わる欠陥、すなわち、ボイド、ＣＯＰ、ディスロケーション、積層欠陥、酸素析出物などが存在しないデヌードゾーン１０ｂ層が確保されなければならない。しかし、従来の方法により製造されたウェーハは、酸素析出物がその表面近傍まで分布され、これがリーク電流源として作用するという問題がある。

【０００６】

したがって、ウェーハの表面近傍に十分なデヌードゾーンを確保しながら、ウェーハのバルク領域にイントリンシックゲッタリングを形成するために、従来より、高酸素濃度、例えば、初期酸素濃度が１３ｐｐｍａ（ｐａｒｔｓ ｐｅｒ ｍｉｌｌｉｏｎ ａｔｏｍ）以上であるウェーハを低温－高温－低温で熱処理を長時間行うことにより、ウェーハのバルク領域内に酸素析出物を形成させ、かつ、ウェーハの表面近傍の酸素析出物を分解させてきれいなデヌードゾーンを確保する技術が用いられてきた。図２は、このような従来の技術により熱処理された半導体ウェーハに対して、その前面から背面に至る酸素析出物の濃度プロファイルを示したグラフである。

【０００７】

図２によれば、従来の技術によりバルク領域でのイントリンシックゲッタリングの形成、及びウェーハ表面近傍での十分なデヌードゾーンの確保が両立できる。しかし、高温で長時間の熱処理工程をさらに行うため、ウェーハ特性の劣化、例えば、焼き付けずれ（ｓｌｉｐａｇｅ）や焼結ひずみ（ｗａｒｐａｇｅ）が起こり、しかも、コストが上がる。また、この場合には、バルク領域内で酸素析出物によりトラップされていた金属汚染物、特に鉄（Ｆｅ）などが後続工程によりウェーハの表面のデヌードゾーンの方に再びリリースされ、これがリーク源として作用するという問題点がある。

【０００８】

図３は、米国特許第５、４０１、６６９号の図１Ａに開示された従来の他の方法により形成された酸素析出物の濃度プロファイルを抜粋して示したグラフである。すなわち、図３は、窒素雰囲気下で急速熱処理（ＲＴＡ）工程を行い、次いで熱処理を行うことにより形成された酸素析出物のウェーハ深さによる濃度プロファイルを示したものである。しかし、この方法は、図３から明らかなように、ウェーハの表面からデヌードゾーンがほとんど確保できず、しかも、バルク領域内で酸素析出物がほとんど存在しないため、十分なゲッタリング効果が得られない。

【０００９】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、ウェーハの表面近傍にデヌードゾーンが十分確保されていると共に、ウ

ェーハのバルク領域内で十分なゲッタリング効果が得られるように制御された欠陥分布をもつシリコンウェーハを提供することである。

【００１０】

本発明の他の目的は、ウェーハの表面近傍にデヌードゾーンが十分確保されていると共に、ウェーハのバルク領域内で十分なゲッタリング効果が得られるように欠陥分布を制御できるシリコンウェーハの製造方法を提供することである。

【００１１】

本発明のさらに他の目的は、本発明によるシリコンウェーハを製造するために、急速冷却が可能な単結晶シリコンインゴットを製造するためのチョクラルスキープーラを提供することである。

【００１２】

【課題を解決するための手段】

本願発明のシリコンウェーハの製造方法は、シリコンウェーハを用意する段階と、

前記ウェーハをウェーハの表面でベーカンシ注入効果をもつガス及びインタースティシャルシリコン注入効果をもつガスの混合ガス雰囲気下で急速加熱・急速冷却処理を行うことにより、該急速加熱・急速冷却処理に後続する熱処理中に酸素析出物が成長する場所としての役目をする核生成中心を発生させ、これにより発生する前記ウェーハの前面から背面までの前記核生成中心の濃度プロファイルが、前面及び背面から所定深さで各々第１ピーク及び第２ピークを示し、前記前面及び背面から各々第１ピーク及び第２ピークに達する前に臨界値以下に維持され、前記第１ピーク及び第２ピーク間のバルク領域で核生成中心の濃度プロファイルを凹状にする急速加熱・急速冷却処理段階と、を具備し、

前記混合ガスは、窒素ガス＋アルゴンガスであるか、または、窒素ガス＋水素ガスであり、

前記臨界値が前記急速加熱・急速冷却処理を行った後の待機温度での平衡濃度とされることを特徴とする。

【００２７】

【発明の実施の形態】

以下、添付した図面に基づき、本発明の望ましい実施形態について詳細に説明する。発明の思想がより集中しているシリコンウェーハ製品と、シリコンウェーハの製造工程のうち急速熱処理過程及びその後続熱処理による結果物に対する"ウェーハに対する熱処理段階"と、本発明の適用対象となるウェーハの用意段階及び装置に対する"ウェーハの用意段階"に分けて順次的に説明する。

【００２８】

［ウェーハに対する熱処理］

図４は、本発明の一実施形態によって形成しようとするシリコンウェーハに対する酸素析出物の濃度プロファイルを概略的に示した図である。図２及び図３に示したように、本発明によれば、従来の技術により形成されたシリコンウェーハ内の酸素析出物の濃度プロファイルと比較して、ウェーハの前面及び背面から一定の深さに達するデヌードゾーンが十分確保されており、各デヌードゾーンとバルク領域との境界で最大のピーク値をもつ二重ピークが形成される。また、二重ピーク間のバルク領域内での酸素析出物の濃度が金属汚染物質のゲッタリング効果を十分発揮できる程度に存在する。

【００２９】

図５は、本発明の一実施形態によって行われるＲＴＡ工程のタイムチャートである。本発明が適用されるＲＴＡ装備としては、通常の商業化したものが使用でき、以下、ＲＴＡ装備内での急速熱処理過程について調べてみる。先ず、本発明の適用対象となるシリコンウェーハを、例えば、７００℃程度に保たれるＲＴＡ装備に搬入させて待機させる（Ｉ）。次に、ＲＴＡ装備内の温度を、例えば、１２５０℃まで５０℃／分の速度で急上昇させる（II）。次に、１２５０℃の温度を一定時間、例えば１０秒間維持する（III）。次に、温度を待機状態の温度まで、３３℃／分の速度で急冷させる（IV）。次に、ウェーハを搬出する（Ｖ）。図５のような急速熱処理を行うことにより、制御された分布をもつ酸素析

出物核生成中心が得られ、その一方、図１１の説明で述べたように、 ウェーハの表面に存在するボイドまたはＣＯＰの分解効果が得られる。

【００３０】

図５に示した温度条件は本発明の一実施形態を例示的に示したものであるが、後述するように、本発明では、急速熱処理の雰囲気ガスの種類、雰囲気ガスの流量、雰囲気ガスの混合比、急速熱処理段階までの温度上昇率、急速熱処理段階でのアニーリング温度及びアニーリング時間、急速熱処理段階からの温度下降率（すなわち、冷却速度）などが重要な要因として作用する。本発明での急速熱処理は、少なくとも１１５０℃以上の温度で、少なくとも５秒以上行われる。例えば、１１５０℃では少なくとも約３０秒間熱処理を行い、１２５０℃では少なくとも約５秒間ないし１０秒間熱処理を行う。一方、冷却速度は少なくとも３０℃／秒以上である。

【００３１】

本発明の急速熱処理を行うためのガスとしては、基本的に、急速熱処理中にガス雰囲気下に露出されるウェーハの表面でベーカンシ注入効果をもつガス及びウェーハの表面でインタスティシャルシリコン注入効果をもつガスを一定の割合で混合した混合ガスが使用できる。この実施形態では、ベーカンシ注入効果をもつガスの代表例として窒素ガスが使用され、インタスティシャルシリコン注入効果をもつガスの代表例としてアルゴンガス及び水素ガスが使用される。

【００３２】

図６は、窒素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後のベーカンシシリコン及びインタスティシャルシリコンの点欠陥の濃度プロファイルを示した図であり、図７は、アルゴンガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の点欠陥の濃度プロファイルを示した図である。そして図８は、水素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の点欠陥の濃度プロファイルを示した図である。

【００３３】

図６ないし図８において、▲１▼は不活性ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後のベーカンシ点欠陥の濃度プロファイルであり、▲２▼は各該当ガス条件下で図５のＲＴＡ工程を行った後のインタスティシャル点欠陥の濃度プロファイルであり、▲３▼は各該当ガス条件下で図５のＲＴＡ工程を行った後のベーカンシ点欠陥の濃度プロファイルである。

【００３４】

不活性ガス雰囲気下でＲＴＡ工程を行った後のベーカンシ点欠陥の濃度がウェーハの前面及び背面では低く、ウェーハのバルク領域近傍では盛り上がっていることが分かる。一般的に、不活性ガス雰囲気下で、温度を図５の（ａ）までを急上昇させると、ウェーハ内に点欠陥として存在するベーカンシの温度に該当する平衡濃度が上がる。このとき、ウェーハのバルク領域ではベーカンシの移動度が低いため、ベーカンシ濃度は平衡濃度よりも低く維持される。これに対し、ウェーハの表面領域ではベーカンシの移動が活発なため、平衡濃度にほとんど同じく維持される。逆に、インタスティシャルシリコンは温度が急上昇しながらベーカンシ濃度が上がり、これと共に、フレンケル再結合によってその温度に該当する平衡濃度が下がる。このとき、ウェーハのバルク領域に存在するインタスティシャルはベーカンシと同様に移動度が低いため、平衡濃度よりも高く維持されるが、ウェーハの表面ではベーカンシと同様に、平衡濃度に近い。

【００３５】

次に、（ａ）での温度が図５の（ｂ）に達するまで一定時間保たれると、ベーカンシ及びインタスティシャルの両方が平衡濃度に保たれるように拡散が起こる。次に、この温度を（ｃ）まで急冷させると、拡散係数の大きいインタスティシャル点欠陥は下がった温度に該当する新しい平衡濃度に同じくなるが、拡散係数の小さいベーカンシの場合、ウェーハ内に過飽和される。このとき、ウェーハのバルク領域では過飽和度が大きいのに対し、ウェーハの表面近傍ではベーカンシの移動度が大きいため、直ちに、下がった温度に該当する新しい平衡濃度に近くなる。

【００３６】
このため、図６ないし図８に示したように、不活性ガス雰囲気下で図５の急速熱処理を行った後のベーカンシ濃度プロファイルが盛り上がった形状となる。
【００３７】
一方、図６に示したように、窒素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行うと、ウェーハのバルク領域まで深く浸透した窒素ガス及びベーカンシシリコンが再結合して体積の小さい窒化シリコン（Si_3N_4）を形成するため、ベーカンシの濃度は下がる。これに対し、ウェーハの表面近傍ではベーカンシ注入効果が起こり、ベーカンシの濃度は上がる。このため、不活性ガス雰囲気下でのベーカンシ濃度プロファイルが、▲１▼とは逆の形状となる。
【００３８】
これに対し、図７及び図８に示したように、アルゴンガスまたは水素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行うと、インタスティシャルシリコン注入効果によりウェーハの全体に渡ってベーカンシの濃度が下がり、特に、ウェーハの表面近傍ではインタスティシャルシリコン注入効果によってベーカンシシリコン及びインタスティシャルシリコンの再結合が急激に起こり、ベーカンシ濃度が該当温度での平衡濃度である特定の臨界値に維持される。
【００３９】
一方、本発明の実施形態は、窒素ガス及びアルゴンガス、または窒素ガス及び水素ガスの混合ガスの雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行うものであるため、図６と図７、及び図６と図８のベーカンシ濃度プロファイルを組み合わせると、これらの混合ガス雰囲気下でのベーカンシ濃度プロファイルが分かる。このような混合ガス雰囲気下でのベーカンシ濃度プロファイルは、図９に示したように、シリコンウェーハの前面及び背面から所定深さで各々第１ピーク及び第２ピークを示し、前記前面及び背面から各々第１ピーク及び第２ピークに達する前には特定の臨界値、すなわち、該当温度での平衡濃度以下に維持されることが分かる。前記第１ピーク及び第２ピーク間のバルク領域でのベーカンシの濃度プロファイルは、盛り上がった形状となる。
【００４０】
ここで、図９のようなベーカンシ濃度プロファイルとなるのは、ベーカンシシリコン注入効果をもつガス及びインタスティシャルシリコン注入効果をもつガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程が行われるからである。窒素ガス下でのベーカンシシリコン注入効果によるベーカンシシリコンの濃度プロファイル及びアルゴンガスまたは水素ガス下でのインタスティシャルシリコン注入効果によるインタスティシャルシリコンの濃度プロファイルを対数目盛で比較してみると、ウェーハの前面及び背面からバルク領域までのベーカンシシリコン濃度プロファイルが、インタスティシャルシリコン濃度プロファイルよりも険しくない。しかし、これがウェーハの表面から一定深さ以上では険しくなる。したがって、ウェーハの前面及び背面から一定深さ以内の表面近傍はデヌードゾーンが形成される所であって、ここではインタスティシャルシリコンがいずれもベーカンシシリコンと再結合してベーカンシシリコンは特定の臨界値、すなわち、該当温度の平衡濃度以下に維持される。これが、デヌードゾーンから外れながらベーカンシシリコンの濃度が平衡濃度値以上に急激に増加してから、ベーカンシシリコンの濃度値とインタスティシャルシリコンの濃度値との差が最大となる位置、すなわち、前記ベーカンシシリコン濃度プロファイルが、インタスティシャルシリコン濃度プロファイルよりも険しくなる所でピーク（第１ピーク及び第２ピーク）を形成する。次に、バルク領域にいくほどベーカンシシリコンの濃度が次第に減り、その結果、第１ピーク及び第２ピーク間のベーカンシシリコンの濃度プロファイルは盛り上がった形状となる。
【００４１】
一方、ウェーハ内のベーカンシ点欠陥は、後続する半導体素子の製作中に繰り返し行われる熱処理によって酸素析出物として形成させる。すなわち、ベーカンシ点欠陥は後続する熱処理によって形成される酸素析出物の核生成中心となる。したがって、ベーカンシ濃度が高い場合には、形成される酸素析出物の濃度も高くなる。このため、ウェーハ内のベー

カンシ濃度プロファイルを通じて酸素析出物の濃度プロファイルの形状も容易に類推できる。

【００４２】

ベーカンシ濃度と酸素析出物との間には下記のような関係がある。

Si（シリコン基板）＋xO_i＋yV_{Si}⇔SiO_2（酸素析出物）＋Si_I（インタスティシャルシリコン）＋σ

【００４３】

ここで、ベーカンシシリコンV_{Si}の濃度及び初期酸素濃度O_iが高ければ反応は右側に進行され、その結果、酸素析出物の濃度が上がる。また、ここで、σは定数である。

【００４４】

一方、本発明の実施形態では、図５のＲＴＡ工程が終わった後に熱処理を行い、酸素析出物の形成状態を測定した。ここで、熱処理は、一般的に、半導体素子の製造中に繰り返し行われる熱処理工程を念頭に置き、酸素析出物が形成される範囲の条件と類似にして設定した。この実施形態では、比較のために、図５のＲＴＡ工程を行った後に、全てのウェーハに対して８００℃の温度で４時間、１６００℃の温度で１６時間、窒素雰囲気下で熱処理を行った。

【００４５】

本発明に使用される混合ガスの影響を調べるために、図５のＲＴＡ工程中に使用される混合ガスの流量及び混合比を変えてみた。図９は、窒素ガス及びアルゴン混合ガスの雰囲気下で混合比を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のベーカンシ濃度プロファイルを示した概略図であり、図３１はアルゴン及び窒素混合ガスの流量によるピークでの酸素析出物の濃度変化を示したグラフであり、図３２は、アルゴン及び窒素混合ガスの混合比によるピークでの酸素析出物の濃度変化を示したグラフである。

【００４６】

図９において、（ａ）は窒素ガス及びアルゴンガスの混合比が７：３である場合を、（ｂ）はそれが５：５である場合を、そして（ｃ）は（ａ）とは逆に、３：７である場合をそれぞれ表わす。ここで、窒素ガスの混合比が大きくなるにつれて、ベーカンシ濃度プロファイルのピークは次第にウェーハの表面の方に移動され、また、ピークでの濃度値も大きくなることが分かる。これに対し、窒素ガスの混合比が大きくなるにつれて、後続する熱処理によって酸素析出物が形成されないデヌードゾーンも急減することが分かる。

【００４７】

図３１は、図５のＲＴＡ工程と同一の条件、すなわち、温度上昇率５０℃／秒、アニーリング温度１２５０℃、アニーリング時間１０秒、温度下降率３３℃／秒の条件下で、アルゴン及び窒素混合ガスの流量を１／１、２／２、３／３、４／４及び５／５リットル／分に変えながらＲＴＡ工程を行い、次に、窒素雰囲気下での熱処理を８００℃で４時間、１６００℃で１６時間行った後のピークでの酸素析出物の濃度を測定して示したものである。ここで、混合ガスの流量が大きくなるにつれて、酸素析出物の濃度が高くなることが分かる。

【００４８】

また、図３２は、図３１のＲＴＡ工程と同一の条件下で、アルゴン／窒素ガスの混合比を３／１、２．５／１．５、２／２、１．５／２．５、１／３リットル／分に変えながらＲＴＡ工程を行い、次に、窒素ガス雰囲気下で、８００℃で４時間、１６００℃で１６時間熱処理を行った後のピークでの酸素析出物の濃度を測定して示したものである。ここで、同一の混合ガスの流量（４リットル／分）において、窒素ガスの混合比が大きくなるにつれて、酸素析出物の濃度が高くなることが分かる。

【００４９】

この発明では、ＲＴＡ工程の工程条件、すなわち、混合ガスの割合及び流量、温度上昇率、アニーリング温度及び時間、温度下降率を多様に調節でき、このとき、ベーカンシ濃度プロファイルでのピークの位置、ピークでのベーカンシ濃度値の大きさ、バルク領域でのベーカンシ濃度値、デヌードゾーンの大きさなどが考慮される。

【００５０】
図３３は、本発明の一実施形態に従い、温度上昇率を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。比較のために、他の工程条件を一定にした。すなわち、窒素ガス及びアルゴンガスの混合比を５：５に、急速熱処理のアニーリング温度は１２５０℃に、アニーリング時間は１０秒に、そして温度下降率は３３℃／秒に設定した。また、後続熱処理は、前述したように、全てのウェーハに対して８００℃で４時間、１６００℃で１６時間、窒素雰囲気下で行った。その結果を下記表１に示す。
【表１】

温度上昇率（℃／秒）	ピークでの酸素析出物の濃度（ｅａ／ｃｍ^3）
１０	２．０×１０^{10}
３０	２．５×１０^{10}
５０	２．１×１０^{10}
７０	２．０×１０^{10}
９０	２．０×１０^{10}

【００５１】
図３３及び表１から明らかなように、ピークでの酸素析出物の濃度は、温度上昇率に大きく影響されない。
【００５２】
図３４は、本発明の一実施形態に従い熱処理時間を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後、ピークでの酸素析出物の濃度変化を測定して示したグラフである。比較のために、他の工程条件を一定にした。すなわち、窒素ガス及びアルゴンガスの混合比を５：５に、温度上昇率は５０℃／秒に、急速熱処理のアニーリング温度は１２５０℃に、そして温度下降率は３３℃／秒に設定した。また、後続熱処理は、前述したように、全てのウェーハに対して８００℃で４時間、１６００℃で１６時間、窒素雰囲気下で行った。その結果を下記表２に示す。
【表２】

アニーリング時間　（秒）	ピークでの酸素析出物の濃度（ｅａ／ｃｍ^3）
1	１．０×１０^{8}
5	５．０×１０^{9}
１０	２．０×１０^{10}
３０	２．５×１０^{10}
６０	３．０×１０^{10}

【００５３】
図３４及び表２から明らかなように、ピークでの酸素析出物の濃度はアニーリング時間に大きく影響されない。また、ピークでの酸素析出物の濃度を少なくとも１０^9／ｃｍ^{3}にするためには、本発明のアニーリング時間を少なくとも５秒間以上行わなければならない。
【００５４】
図３５は、本発明の一実施形態に従い熱処理温度を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後、ピークでの酸素析出物の濃度変化を測定して示したグラフである。比較のために、他

の工程条件を一定にした。すなわち、窒素ガス及びアルゴンガスの混合比を５：５に、温度上昇率は５０℃／秒に、急速熱処理のアニーリング時間は１０℃に、そして温度下降率は３３℃／秒に設定した。また、後続熱処理は、前述したように、全てのウェーハに対して８００℃で４時間、１６００℃で１６時間、窒素雰囲気下で行った。その結果を下記表２に示す。

【表３】

アニーリング温度 （℃）	ピークでの酸素析出物の濃度（ｅａ／ｃｍ^3）
１２５０	２．０×１０^{10}
１２００	５．０×１０^{8}
１１５０	１．０×１０^{8}
１１００	７．０×１０^{7}
１０００	７．０×１０^{7}

【００５５】

図３５及び表３から明らかなように、ピークでの酸素析出物の濃度はアニーリング温度に大きく影響されない。また、ピークでの酸素析出物の濃度を少なくとも１０^9／ｃｍ^{3}にするためには、本発明のアニーリング温度を少なくとも１２５０℃にしなければならない。しかし、アニーリング温度及びアニーリング時間は酸素析出物の濃度と密接な関係にある。図３４の結果を考慮するとき、同一の酸素析出物の濃度を得るためには、アニーリング温度が高ければアニーリング時間は相対的に短くでき、逆に、アニーリング温度が低ければアニーリング時間は相対的に長くできる。

【００５６】

図３６は、本発明の一実施形態に従い温度下降率を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後、ピークでの酸素析出物の濃度変化を測定して示したグラフである。比較のため、他の工程条件を一定にした。すなわち、窒素ガス及びアルゴンガスの混合比を５：５に、温度上昇率は５０℃／秒に、急速熱処理のアニーリング温度は１２５０℃に、そしてアニーリング時間は１０秒に設定した。また、後続熱処理は、前述したように、全てのウェーハに対して８００℃で４時間、１６００℃で１６時間、窒素雰囲気下で行った。その結果を下記表４に示す。

【表４】

温度下降率（℃／秒）	ピークでの酸素析出物の濃度（ｅａ／ｃｍ^3）
１０	８．０×１０^{9}
３０	２．０×１０^{10}
５０	２．２×１０^{10}
７０	３．０×１０^{10}
９０	３．５×１０^{10}

【００５７】

図３６及び表４から明らかなように、ピークでの酸素析出物の濃度は、温度下降率に大きく影響されない。また、温度下降率が大きくなるにつれて、ピークでの酸素析出物の濃度が少し増大することが分かる。

【００５８】

図１０は、本発明の一実施形態に従いＲＴＡ工程を行った後に熱処理を行い、このときの酸素析出物の濃度プロファイルを示したものである。図１０において、▲１▼は窒素ガス雰囲気、▲２▼は窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガス雰囲気、▲３▼は窒素ガス及び水素ガスの混合ガス雰囲気、▲４▼はアルゴンガス雰囲気、▲５▼は水素ガス雰囲気下で各々図５のＲＴＡ工程を行い、次に熱処理を行って形成された酸素析出物の濃度プロファイルである。

【００５９】

比較のために、急速熱処理は１２５０℃の温度で１０秒間行ったし、後続する熱処理は、前述したように、全てのウェーハに対して８００℃で４時間、１６００℃で１６時間、窒素雰囲気下で行った。その結果を下記表５に示す。

【表５】

区分	ピークでの酸素析出物の濃度[cm^{-3}]	バルクでの酸素析出物の濃度[cm^{-3}]	デヌードゾーンの深さ[μm]	ＣＯＰ分解性
アルゴン	8×10^{9}	8×10^{9}	５０	普通
水素	6×10^{9}	6×10^{9}	６０	高い
窒素	3×10^{10}	1×10^{5}（検出限界）	０	無し
窒素／アルゴン	2×10^{10}	5×10^{9}	１０	普通
窒素／水素	1×10^{10}	5×10^{9}	１５	高い

【００６０】

図１１は、アルゴンガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行うに従い、シリコンウェーハの表面近傍でのＣＯＰの分解過程を説明するための図である。一般的に、チョクラルスキー法によるインゴット成長時に形成されるＣＯＰは、割れた８面体のボイド状であり、ボイド２０の内壁側にはシリコン酸化膜２２が形成されている。アルゴンガスまたは水素ガスなど、図５のＲＴＡ工程中にウェーハの表面にインタスティシャルシリコン注入効果をもつガスの雰囲気下では、表面近傍のＣＯＰが分解される現象が起こる。

【００６１】

分解のメカニズムについてもう少し詳しく説明すると、インゴット成長時にインゴット内に含まれる初期酸素濃度O_iは、冷却が進むに従い、その冷却温度での溶解度以上に過泡化される。したがって、ウェーハにおいても、初期酸素濃度は一定の濃度の溶解度線（図１１のＳ）以上に過泡化されるが、ウェーハの表面では、ウェーハ表面への拡散によって初期酸素濃度が溶解度線（図１１のＳ）以下になる。このため、ウェーハのバルク領域では過泡化された初期酸素がボイド２０内に供給されてシリコン酸化膜２２を形成するのに対し、ウェーハの表面近傍（すなわち、溶解度線と初期酸素の濃度線との交差点″Ｔ″以下の深さ）では初期酸素の濃度が溶解度線以下になるため、ボイド２０内のシリコン酸化膜２０から酸素が離脱されると共に、インタスティシャルシリコン注入効果によりボイドにシリコンが供給されながらボイドが次第に小さくなり、結局、それが消滅する。

【００６２】

このようなＣＯＰの分解効果により、後述するように、本発明による急速熱処理過程の適用対象となるウェーハの範囲がさらに広くなる。また、このようなＣＯＰの分解は、表５に示したように、アルゴンガスに比べて水素ガスの方がより効果的である。

【００６３】

図１２ないし図１６は、図１０の各場合に対して図５のＲＴＡ工程を行い、次に熱処理工

程を行って形成された酸素析出物の分布を示した写真である。特に、図１２は窒素ガスを使用した場合であり、図１３はアルゴンガスを使用した場合であり、図１４は水素ガスを使用した場合であり、図１５は窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを使用した場合であり、図１６は窒素ガス及び水素ガスの混合ガスを使用した場合である。また、各図において、左側はウェーハの前面であり、右側はウェーハの背面である。

【００６４】

図１７ないし図２１は、図１０の各場合に対して図５のＲＴＡ工程を行い、次に熱処理を行って形成された、酸素析出物の存在しないウェーハ前面近傍のデヌードゾーンの深さを示した写真である。特に、図１７は窒素ガスを使用した場合であり、図１８はアルゴンガスを使用した場合であり、図１９は水素ガスを使用した場合であり、図２０は窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを使用した場合であり、図２１は窒素ガス及び水素ガスの混合ガスを使用した場合である。表５から明らかなように、窒素ガスを使用した場合には、デヌードゾーンがほとんど確保されない。

【００６５】

図２２Ａないし図２４Ｂは、アズ－グロウン（as-grown）状態のＣＯＰの形状及び図５のＲＴＡ工程を行った後の変化された形状を各々示した図である。特に、図２２Ａ及び図２２Ｂは窒素ガス雰囲気下でＲＴＡ工程を行った場合であり、図２３Ａ及び図２３Ｂは、窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガス雰囲気下でＲＴＡ工程を行った場合であり、図２４Ａ及び図２４Ｂは、窒素ガス及び水素ガスの混合ガス雰囲気下でＲＴＡ工程を行った場合である。表５から明らかなように、窒素雰囲気下ではＣＯＰの分解が起こらないのに対し、アルゴンガス及び水素ガスの混合ガス雰囲気下ではＣＯＰの分解がよく起こる。特に、水素ガスの雰囲気下では、ＣＯＰが完全に分解されることが分かる。したがって、アズ－グロウン状態でＣＯＰを小さくすれば、図５の急速熱処理中にＣＯＰが完全に分解されることが分かる。

【００６６】

[ウェーハの用意]

本発明は、シリコンウェーハに対して図５の急速熱処理を行うことにより、後続する熱処理によって形成される酸素析出物の分布を制御することに係り、以下では、このような本発明の急速熱処理を行える段階と、その適用対象となるウェーハの用意について説明する。

【００６７】

図２５は、本発明の一実施形態によりシリコンウェーハを用意する工程を示した工程手順図であって、特に、結晶成長（Ｓ１０）後の一般的なウェーハリング過程を示したものである。一般的な半導体ウェーハリング方法は、１９８６年ウルフ（Ｓ．Ｗｏｌｆ）及びタウバー（Ｒ．Ｎ．Ｔａｕｂｅｒ）氏により作成されたテキストブック"Ｓｉｌｉｃｏｎ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ ｆｏｒ ｔｈｅ ＶＬＳＩ Ｅｒａ，Ｖｏｌｕｍｅ １，Ｐｒｏｃｅｓｓ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ"の１章の１～３５頁に詳細に開示されている。図２５を参照し、半導体ウェーハのウェーハリング過程を簡単に調べてみると、チョクラルスキープーラを用いてインゴットを形成する結晶成長工程（Ｓ１０）後に、このインゴットをウェーハ状に切断する切断工程（Ｓ１２）がなされる。次に、切断された各インゴットを角取りしたり、あるいは表面をエッチングするエッチング工程（Ｓ１４）がなされる。次に、表面に対する第１洗浄工程（Ｓ１６）が行われた後にドナーキーリング工程（Ｓ１８）がなされる。次に、半導体素子が形成されるウェーハの前面をポリシングするポリシング工程（Ｓ２０）及び第２洗浄工程（Ｓ２２）がなされ、最後に、ウェーハのパッケージング工程（Ｓ２４）がなされる。

【００６８】

本発明の図５のＲＴＡ工程は、ドナーキーリング段階（Ｓ１８）で行われる。もちろん、本発明の熱処理段階を別途に行っても良いが、コストの節減の点から、ドナーキーリング段階で行うことが好ましい。一般的に、ドナーキーリングとは、シリコンインゴット中に含まれた酸素が後続する半導体素子の製造中にイオンの形で存在してイオン注入された不

純物に対しドナーとして働くことがあるため、これを防止すべく、ウェーハリング中に予め熱処理を行って酸素析出物にする過程を言う。これは、通常、ＲＴＡ装備を用い、７００℃で３０秒間行われる。

【００６９】

図２７は、前記結晶成長工程（Ｓ１０）がなされる装置として、従来のチョクラルスキープーラを示した概略図である。これを参照すれば、チョクラルスキープーラ１００は、炉、結晶引き上げメカニズム、環境制御器及びコンピュータを利用した制御システムを含む。前記チョクラルスキープーラは、一般的に、ホットゾーンとも呼ばれる。また、このホットゾーンは、ヒーター１０４、石英製の坩堝１０６、黒鉛製のサセプタ１０８及び示したように第１方向１１２に回転する回転軸１１０を含む。

【００７０】

冷却などの外部冷却手段により、ジャケットまたは冷却ポート１３２の冷却がなされる。熱遮断体１１４が付加的な熱分布を提供する。また、加熱パック１０２が熱吸収物質１１６により充填され、かつ、付加的な熱分布を提供する。

【００７１】

前記結晶引き上げメカニズムは、示したように、第１方向１１２の反対方向である第２方向１２２に回転自在な結晶引き上げ軸１２０を含む。前記結晶引き上げ軸１２０は、その端部に、結晶ホルダ１２０ａを含む。前記結晶ホルダ１２０ａはシード結晶１２４をホールドし、坩堝１０６内の溶融物１２６から引き上げられてインゴット１２８を形成する。

【００７２】

前記環境制御システムは、チャンバ密封体１３０、冷却ジャケット１３２及び図示しない他の流動制御器及び真空排気システムを含む。コンピュータを利用した制御システムは、前記ヒーター、プーラ及び他の電気的及び機械的な要素を制御するために用いられる。

【００７３】

単結晶シリコンインゴットを成長させるために、前記シード結晶１２４はシリコン溶融物１２６と接触し、かつ、軸方向（上側）に向けて次第に引き上げられる。単結晶シリコンとしての前記シリコン溶融物１２６の冷却及び固相化は、インゴット１２８と溶融物１２６との境界１３１で起こる。図２７に示したように、前記境界１３１は、前記溶融物１２６に対して盛り上がっている。

【００７４】

一方、本発明による急速熱処理工程を利用し、図４でのように制御された酸素析出物の濃度プロファイルが得られるシリコンウェーハは、大きく３種類に大別できる。すなわち、ウェーハの半径方向の全体に渡ってインタスティシャル集塊及びベーカンシ集塊が形成されない無欠陥のパーフェクトウェーハ、ベーカンシ集塊がウェーハの中心部から一定の半径内のベーカンシ－リッチ領域にのみ形成されており、ベーカンシ領域の外側にはインタスティシャル集塊及びベーカンシ集塊が存在しないセミパーフェクトウェーハ、ウェーハの全体に渡ってインタスティシャル集塊は存在せず、ベーカンシ集塊だけが存在するウェーハである。しかし、本発明の適用対象となるウェーハは必ずしもこれに限定されるとは限らず、本発明の原理が適用できるものなら、いずれも適用対象になる。すなわち、本発明は、前述したように、所定のシリコンウェーハに対して図５のＲＴＡ工程を行い、次に熱処理を行って図４のような酸素析出物の濃度プロファイルを得ることである。また、ＣＯＰが、ウェーハのバルク領域内には存在するが、デヌードゾーンには存在しないシリコンウェーハを具現することでもある。

【００７５】

シリコンウェーハでの欠陥を防止するために、結晶成長時に高純度のインゴットを製作するための各種多様な研究がなされてきている。特に、シード結晶の引き上げ速度及びホットゾーン構造での温度勾配を制御する技術はよく知られている。ヴォロンコフ（Ｖｏｒｏｎｋｏｖ）による"Ｔｈｅ Ｍｅｃｈａｎｉｚｍ ｏｆ Ｓｗｉｒｌ Ｄｅｆｅｃｔｓ Ｆｏｒｍａｔｉｏｎ ｉｎ Ｓｉｌｉｃｏｎ "[Ｊｏｕｒｎａｌ ｏｆ Ｃｒｙｓｔａｌ Ｇｒｏｗｔｈ，Ｖｏｌ．５９，１９８２，ｐｐ．６２５－６４３]には、インゴットの引き上げ速度

（Ｖ）及びインゴット－溶融物の接触面での温度勾配（Ｇ）の制御に関する技術が開示されている。この技術を適用した、本発明者により１９９６年１１月２５日から２９日にかけて開かれたシリコン物質に対する向上された科学技術に対する第２次国際シンポジウム（Ｓｅｃｏｎｄ Ｉｎｔｅｒｎａｔｉｏｎａｌ Ｓｙｍｐｏｓｉｕｍ ｏｎ Ａｄｖａｎｃｅｄ Ｓｃｉｅｎｃｅ ａｎｄ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ ｏｆ Ｓｉｌｉｃｏｎ Ｍａｔｅｒｉａｌ）で発表された論文"Ｅｆｆｅｃｔ ｏｆ Ｃｒｙｓｔａｌ Ｄｅｆｅｃｔｓ ｏｎ Ｄｅｖｉｃｅ Ｃｈａｒａｃｔｅｒｉｓｔｉｃｓ"によれば、Ｇに対するＶの比（以下、Ｖ／Ｇと称する）が臨界点以上であればベーカンシーリッチ領域が形成され、臨界点以下であればインタスティシャルーリッチ領域が形成される。

【００７６】

図２６は、シリコンインゴットでの相対的な点欠陥分布及びＶ／Ｇの関係を示した概念図である。これを参照すれば、インゴット成長時にＶ／Ｇが臨界点（Ｖ／Ｇ＊）以上のときにはベーカンシーリッチ領域が形成され、臨界ベーカンシ濃度（Ｃｖ＊）以上のときにはベーカンシ集塊が形成される。そして臨界インタスティシャル濃度（ＣＩ＊）以上のときにはインタスティシャル集塊が形成される。また、図２６において、$(V/G)_B^*$はインタスティシャルシリコンと関わったリングであるＢ－バンドを表わし、$(V/G)_P^*$はＯ．Ｓ．Ｆリングであるｐ－バンドを表わす。

【００７７】

本発明の適用対象となるウェーハは、インゴット成長時にＶ／Ｇが前記Ｂ－バンド及びＰ－バンド間に存在する無欠陥のパーフェクトウェーハ、前記Ｐ－バンドを含むセミパーフェクトウェーハ及び臨界ベーカンシ濃度に該当する$(V/G)^*$以上でベーカンシ集塊がウェーハの全体に渡って形成されるウェーハなどである。

【００７８】

一方、本発明の適用対象となるウェーハのパーフェクトウェーハ及びセミパーフェクトウェーハに関しては、本発明者により出願された米国特許第０８／９８９，５９１号及びそれに対するＣＩＰ出願である第０９／３２０，２１０号及び第０９／３２０，１０２号に開示されている。また、これは出願書と共に結合される参証とし、それについての詳細な説明は省略する。

【００７９】

図２８は、本発明者により発明されて前記ＣＩＰ出願に開示されたチョクラルスキープーラを示した概略図であって、図２７と比較し、熱遮断体２１４を改良したものである。図２８を参照すれば、チョクラルスキープーラ２００は、炉、結晶引き上げメカニズム、環境制御器及びコンピュータを利用した制御システムを含む。また、前記ホットゾーン炉は、ヒーター２０４、坩堝２０６、サセプタ２０８及び図示したように、第１方向２１２に回転する回転軸２１０を含む。冷却ジャケット２３２及び熱遮断体２１４が付加的な熱分布を提供する。また、加熱パック２０２が熱吸収物質２１６により充填されて付加的な熱分布を提供する。

【００８０】

前記結晶引き上げメカニズムは、示されたように、第１方向２１２の反対方向である第２方向２２２に回転自在な結晶引き上げ軸２２０を含む。前記結晶引き上げ軸２２０は、その端部に、結晶ホルダ２２０ａを含む。前記結晶ホルダ２２０ａはシード結晶２２４をホールドしており、坩堝２０６内の溶融物２２６から引き上げられてインゴット２２８を形成する。

【００８１】

前記環境制御システムは、チャンバ密封体２３０、冷却ジャケット２３２及び図示しない他の流動制御器及び真空排気システムを含む。コンピュータを利用した制御システムは前記ヒーター、プーラ及び他の電気的及び機械的な要素を制御するために用いられる。単結晶シリコンインゴットを成長させるために、前記シード結晶２２４はシリコン溶融物２２６と接触し、軸方向（上側）に次第に引き上げられる。単結晶シリコンとしての前記シリコン溶融物２２６の冷却及び固相化は、インゴット２２８及び溶融物２２６間の境界２３

１で起こる。これは、図２７と比較して熱遮断ハウジング２３４をさらに含んで、より精度良いＶ／Ｇの調節が可能である。

【００８２】

図２９は、本発明の一実施形態に従い改良されたチョクラルスキープーラを示した概略図であり、図３０は、その改良された要部を示したものである。ここで、図２８と同一の構成要素については、その説明を省略する。すなわち、その改良は、図３０に示したように、熱遮断ハウジング３００の形状が変わったことと、熱遮断弁３６０がさらに設けられたことである。前記熱遮断ハウジング３００は、９０°だけ回転された台形であって、垂直した内部熱遮断ハウジング壁３１０及び外部熱遮断ハウジング壁３３０、前記内部熱遮断ハウジング壁３１０及び外部熱遮断ハウジング壁３３０間を連結すると共に、外側方向に上向き傾斜した熱遮断ハウジング蓋部３４０及び前記内部熱遮断ハウジング壁３１０及び外部熱遮断ハウジング壁３３０間を連結すると共に、外側方向に下向き傾斜した熱遮断ハウジング底３２０を含むリング状をしている。

【００８３】

前記リング状の熱遮断ハウジング３００内には、熱を吸収できる熱吸収物質が満たされ、この熱遮断ハウジング３００はカーボンフェライト製である。

【００８４】

前記熱遮断ハウジング３００の熱遮断ハウジング蓋部３４０及び前記冷却ジャケット２３２の間に、前記引き上げられるインゴットを取り囲む熱遮断板３６０が設けられ、この熱遮断ハウジング３００は、支持部材３５０により加熱パック２０２の上側に固定される。

【００８５】

図２９に示したチョクラルスキープーラの構造は、基本的に、成長されるインゴットの冷却速度を高めることができる。一般的に、結晶成長されたインゴット内にあるボイドの大きさは、シリコン溶融物とインゴットとの接触面で形成される初期ベーカンシ濃度の平方根に比例するが、インゴットの冷却速度の平方根には反比例する。一方、図１１で述べたように、インゴット内に存在するボイドを一定の大きさ以下に形成すると、たとえ、結晶成長時にインゴット内にボイドが形成されるとしても、本発明の急速熱処理工程によりデヌードゾーンにはボイドが存在しない。

【００８６】

したがって、この本発明の目的に応じてインゴット内に形成されるボイドを小さくするためには、インゴットの冷却速度は上げる必要がある。一方、インゴットの冷却速度が高くなると、引き上げられるインゴットの中心軸に沿って温度勾配（Ｇｃ）が大きくなり、所定の欠陥分布をもつようにＶ／Ｇを一定値にする場合、インゴットの引き上げ速度も高くなる。

【００８７】

本発明では、インゴット軸の温度が、前記インゴット－溶融物境界でのインゴット軸の温度からインゴットの成長段階に該当する一定の温度に達するまで、前記インゴットの冷却速度が少なくても１．４°ｋ／分以上になるように、前記熱遮断ハウジング３００の内部熱遮断ハウジング壁３１０及び外部熱遮断ハウジング壁３３０の長さ"ａ"及び"ｃ"、熱遮断ハウジング蓋部３４０の傾斜角β、熱遮断ハウジング底３２０の傾斜角α、前記インゴット２２８から内部熱遮断ハウジング壁３１０までの距離"ｄ"、前記坩堝２０６から外部熱遮断ハウジング壁３３０までの距離"ｆ"、前記内部熱遮断ハウジング壁３１０から外部熱遮断ハウジング壁３３０までの距離"ｅ"及び前記熱遮断弁３６０の配列が選択される。

【００８８】

図２９のプーラでは、成長されるインゴットの冷却速度が大きいために引き上げ速度を極めて大きく、例えば、約０．５０ｍｍ／分～１．００ｍｍ／分にでき、その結果、インゴットの生産性が向上される。加えて、図２８で製作されるパーフェクトウェーハやセミパーフェクトウェーハのためのインゴット成長時の工程マージンもさらに大きく確保できる。

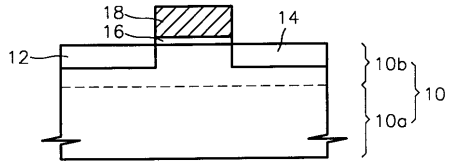
【００８９】

【発明の効果】
以上述べたように、本発明によれば、ウェーハの表面近傍にデヌードゾーンが十分確保されていると共に、ウェーハのバルク領域内で十分なゲッタリング効果が得られるように酸素析出物が分布されたシリコンウェーハを形成できる。
【００９０】
さらに、ウェーハの表面近傍にデヌードゾーンが十分確保されていると共に、ウェーハのバルク領域内で十分なゲッタリング効果が得られるように欠陥分布を自由に制御できる。加えて、本発明のプーラを使用すると、成長されるインゴットの急速冷却が可能なので、インゴット内のボイドを小さくできる。
【００９１】
以上、本発明を望ましい実施形態を例にとって詳細に説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的な思想範囲内であれば、当分野における通常の知識を有した者にとって各種の変形が可能である。
【００９２】
また、以上の実施形態は本発明を思想を単に例示的に示したものに過ぎず、本発明の思想内で各種の変形例が可能である。特に、急速熱処理工程の温度、時間、冷却速度、ガスの混合比などを多様に設定でき、ウェーハの用意段階でも各種のプーラの構造が可能である。
【図面の簡単な説明】
【図１】　シリコンウェーハの表面近傍に形成される従来のＭＯＳトランジスタの構造を示した断面図である。
【図２】　従来のシリコンウェーハに対する酸素析出物の濃度プロファイルを示した図である。
【図３】　従来の他のシリコンウェーハに対する酸素析出物の濃度プロファイルを示した図である。
【図４】　本発明の一実施形態によるシリコンウェーハに対する酸素析出物の濃度プロファイルを概略的に示した図である。
【図５】　本発明の一実施形態により行われるＲＴＡ工程のタイムチャートである。
【図６】　窒素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の点欠陥の濃度プロファイルを示した図である。
【図７】　アルゴンガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の点欠陥の濃度プロファイルを示した図である。
【図８】　水素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の点欠陥の濃度プロファイルを示した図である。
【図９】　窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガス雰囲気下で、混合比を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のベーカンシ濃度プロファイルを示した図である。
【図１０】　本発明によるＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理による酸素析出物の濃度プロファイルを示した図である。
【図１１】　アルゴンガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行うに従い、シリコンウェーハの表面近傍でのＣＯＰの分解過程を説明するための図である。
【図１２】　窒素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成された酸素析出物の分布を示した写真である。
【図１３】　アルゴンガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理によって形成された酸素析出物の分布を示した写真である。
【図１４】　水素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成された酸素析出物の分布を示した写真である。
【図１５】　窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成された酸素析出物の分布を示した写真である。
【図１６】　窒素ガス及び水素ガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成された酸素析出物の分布を示した写真である。

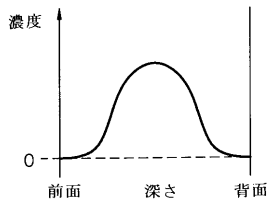
【図１７】　窒素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成されたデヌードゾーンの深さを示した写真である。
【図１８】　アルゴンガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成されたデヌードゾーンの深さを示した写真である。
【図１９】　水素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成されたデヌードゾーンの深さを示した写真である。
【図２０】　窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後後続熱処理により形成されたデヌードゾーンの深さを示した写真である。
【図２１】　窒素ガス及び水素ガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後、後続熱処理により形成されたデヌードゾーンの深さを示した写真である。
【図２２】　図２２Ａは、アズ－グロウン状態のＣＯＰの形状を示した写真であり、図２２Ｂは、これを窒素ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の変化された形状を示した写真である。
【図２３】　図２３Ａは、アズ－グロウン状態のＣＯＰの形状を示した写真であり、図２３Ｂは、これを窒素ガス及びアルゴンガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の変化された形状を示した写真である。
【図２４】　図２４Ａは、アズ－グロウン状態のＣＯＰの形状を示した写真であり、図２４Ｂは、これを窒素ガス及び水素ガスの混合ガス雰囲気下で図５のＲＴＡ工程を行った後の変化された形状を示した写真である。
【図２５】　本発明の一実施形態による工程過程を示した工程手順図である。
【図２６】　シリコンインゴットでの相対的な点欠陥分布及びＶ／Ｇの関係を示した概念図である。
【図２７】　従来のチョクラルスキープーラを示した概略図である。
【図２８】　本願発明者により発明された従来のチョクラルスキープーラを示した概略図である。
【図２９】　本発明の一実施形態によって改良されたチョクラルスキープーラを示した概略図である。
【図３０】　図２９のチョクラルスキープーラの要部を示した図である。
【図３１】　本発明の一実施形態により窒素ガス及びアルゴンガスの流量を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。
【図３２】　本発明の一実施形態により窒素ガス及びアルゴンガスの混合比を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。
【図３３】　本発明の一実施形態により温度上昇率を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。
【図３４】　本発明の一実施形態により熱処理時間を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。
【図３５】　本発明の一実施形態により熱処理温度を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。
【図３６】　本発明の一実施形態により温度下降率を変えながら図５のＲＴＡ工程を行った後のピークでの酸素析出物の濃度変化を測定したグラフである。
【符号の説明】
１０　シリコン基板
１０ａ　バルク領域
１０ｂ　デヌードゾーン
１２　ソース領域
１４　ドレイン領域
１６　ゲート絶縁膜
１８　ゲート電極
２０　ボイド

２２　シリコン酸化膜
１００、２００　チョクラルスキープーラ
１０２、２０２　加熱パック
１０４、２０４　ヒーター
１０６、２０６　坩堝
１０８、２０８　サセプタ
１１０、２１０　回転軸
１１２、２１２　第１方向
１１４、２１４　熱遮断体
１１６、２１６　熱吸収物質
１２０、２２０　結晶引き上げ軸
１２０ａ、２２０ａ　結晶ホルダ
１２２、２２２　第２方向
１２４、２２４　シード結晶
１２６、２２６　溶融物
１２８、２２８　インゴット
１３０、２３０　チャンバ密封体
１３１、２３１　インゴット－溶融物境界
１３２、２３２　冷却ジャケット
２３４、３００　熱遮断ハウジング
３１０　内部熱遮断ハウジング壁
３２０　熱遮断ハウジング底
３３０　外部熱遮断ハウジング壁
３４０　熱遮断ハウジング蓋部
３５０　支持部材
３６０　熱遮断弁

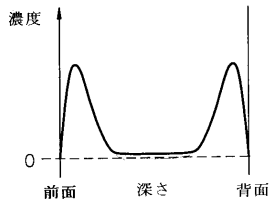
【図１】



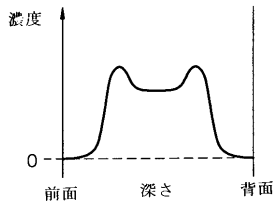
【図２】



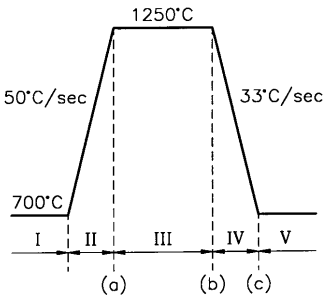
【図３】



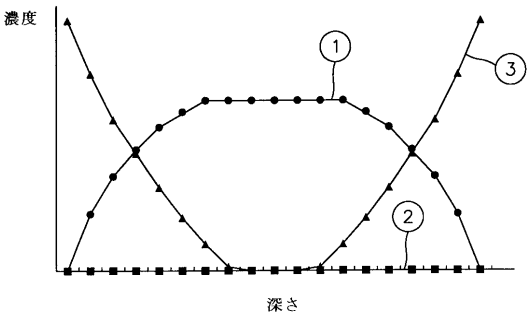
【図４】



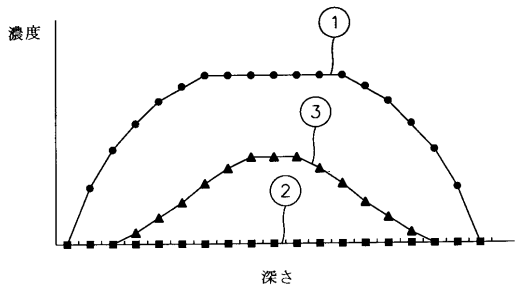
【図５】



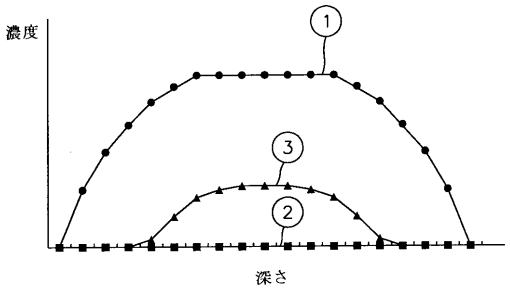
【図６】



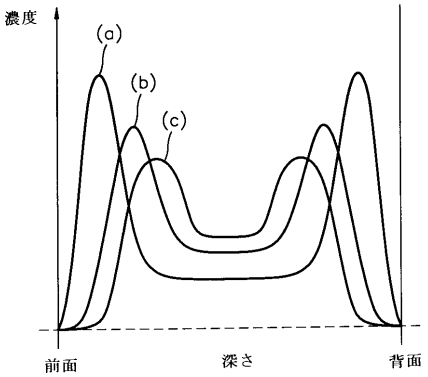
【図７】



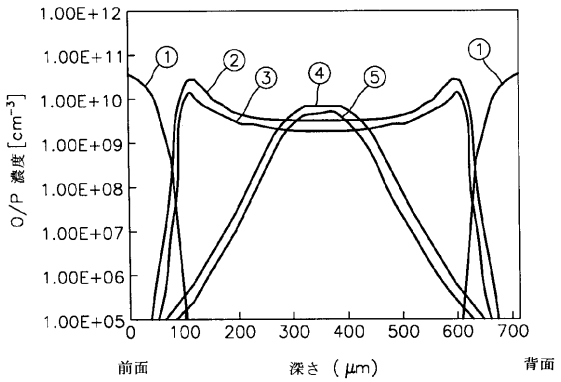
【図８】



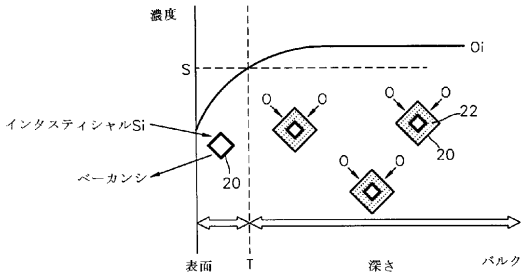
【図９】



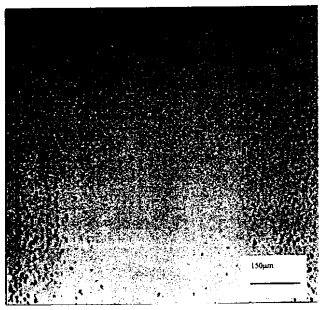
【図１０】



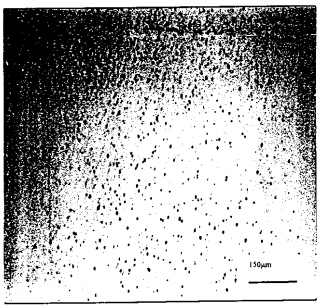
【図１１】



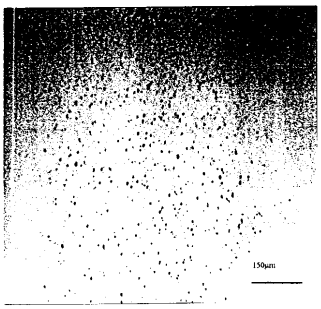
【図１２】



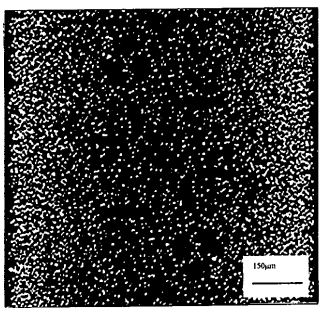
【図１３】



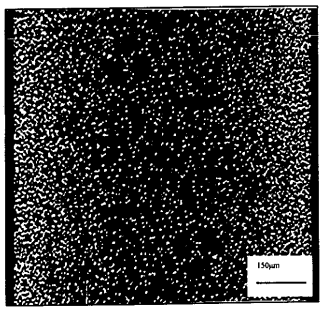
【図１４】



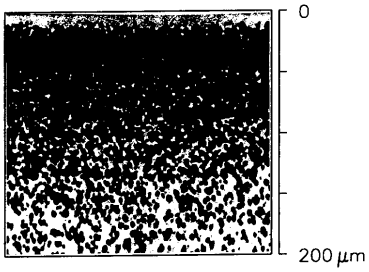
【図１５】



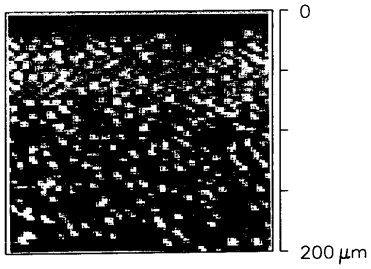
【図１６】



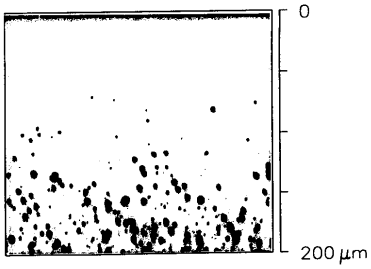
【図１７】



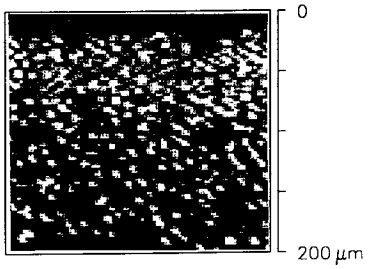
【図１８】



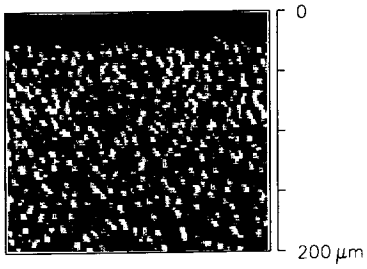
【図１９】



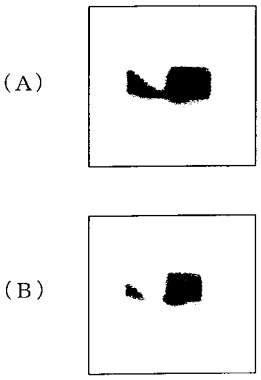
【図２０】



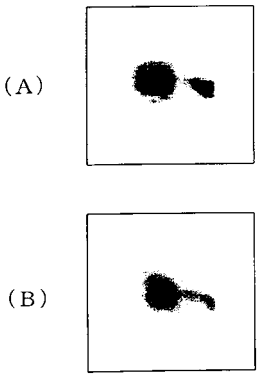
【図２１】



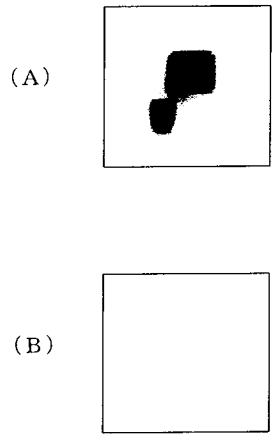
【図２２】



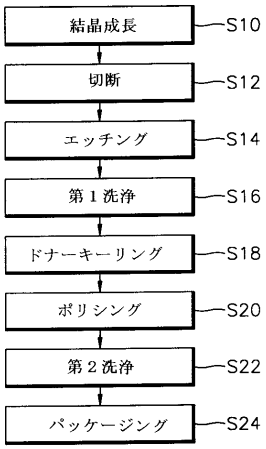
【図２３】



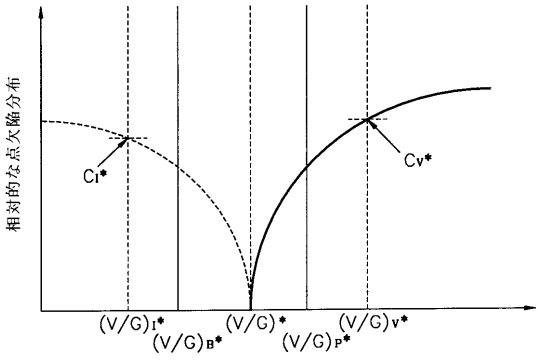
【図２４】



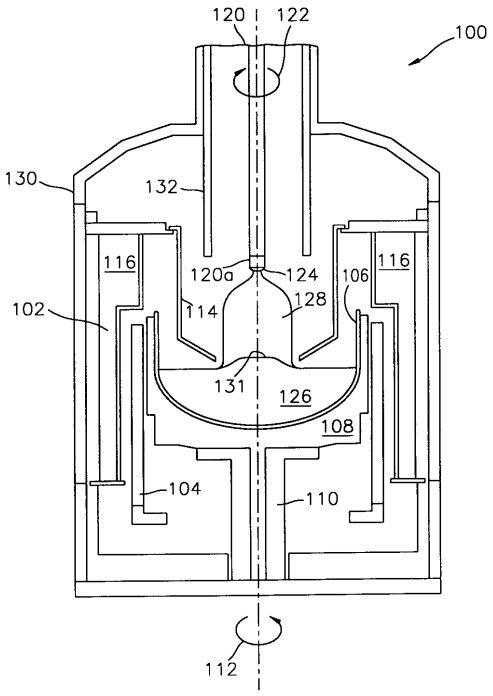
【図２５】



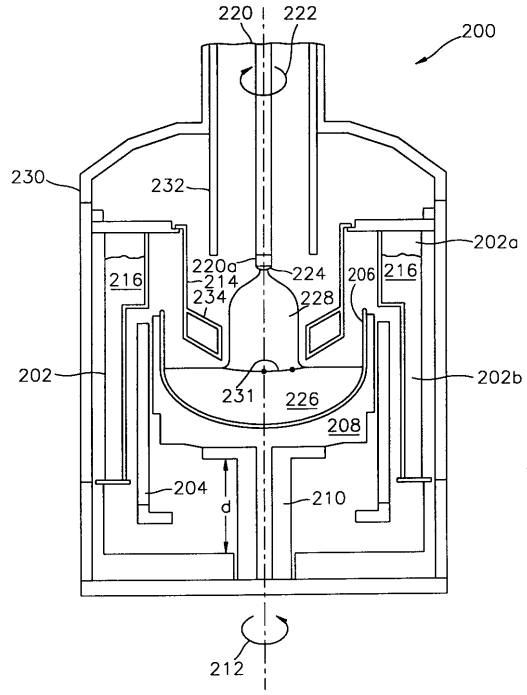
【図２６】



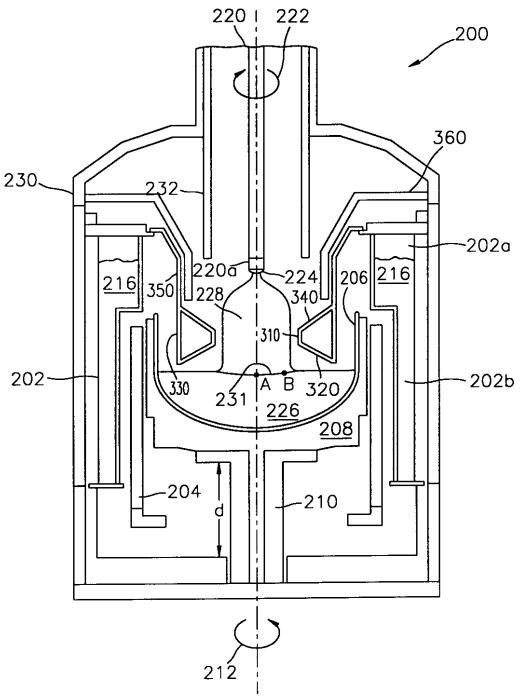
【図２７】



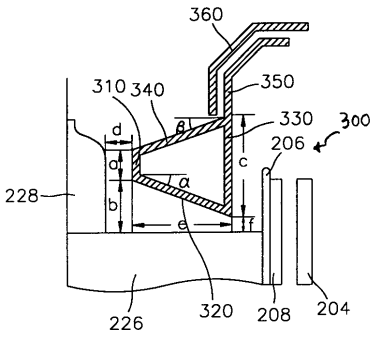
【図２８】



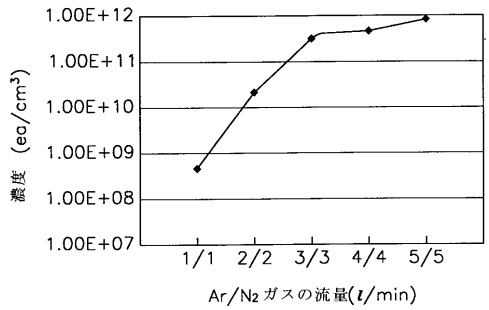
【図２９】



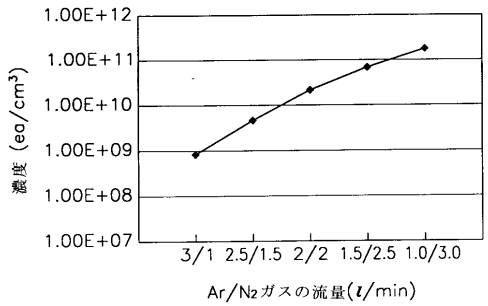
【図３０】



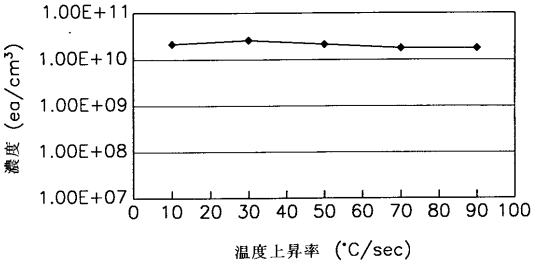
【図３１】



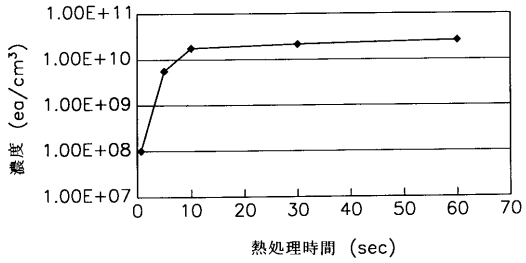
【図３２】



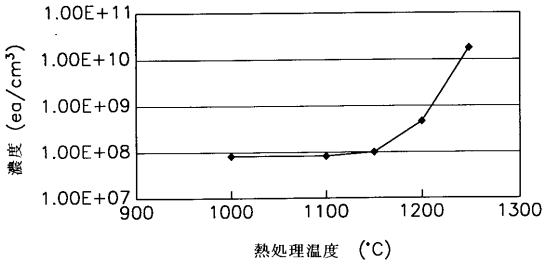
【図３３】



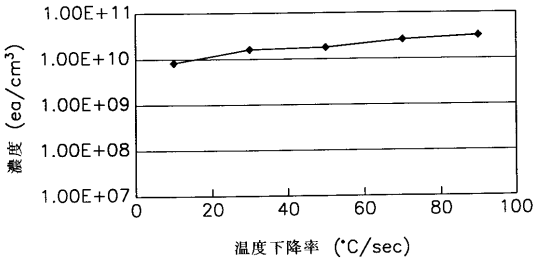
【図３４】


1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
濃度 (ea/cm³)
0
10
20
30
40
50
60
70
熱処理時間 (sec)

【図３５】


1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
濃度 (ea/cm³)
900
1000
1100
1200
1300
熱処理温度 (°C)

【図３６】


1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
濃度 (ea/cm³)
0
20
40
60
80
100
温度下降率 (°C/sec)

フロントページの続き

(74)代理人 100110364
弁理士 実広 信哉
(72)発明者 朴 在勤
大韓民国京畿道城南市盆唐区九美洞（番地なし）ムジゲマウル建栄アパート１００３棟９０１号

合議体
審判長 廣瀬 文雄
審判官 市川 篤
審判官 近藤 幸浩

(56)参考文献 特開平０１－２４２５００（ＪＰ，Ａ）
特表平０６－５０４８７８（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－０９２２８３（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－１１０６８５（ＪＰ，Ａ）
特表２００２－５４３６０８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L21/322
C30B29/06
H01L21/26