

(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2013-201314

(P2013-201314A)

(43) 公開日 平成25年10月3日(2013.10.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/322 (2006.01)	HO 1 L 21/322 Y	4 G 0 7 7
HO 1 L 21/324 (2006.01)	HO 1 L 21/324 X	
C 3 O B 29/06 (2006.01)	C 3 O B 29/06 5 O 2 H	
C 3 O B 33/00 (2006.01)	C 3 O B 33/00	
C 3 O B 15/00 (2006.01)	C 3 O B 15/00 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2012-69150 (P2012-69150)
 (22) 出願日 平成24年3月26日 (2012. 3. 26)

(71) 出願人 312007423
 グローバルウェーハズ・ジャパン株式会社
 新潟県北蒲原郡聖籠町東港六丁目861番
 地の5
 (74) 代理人 100101878
 弁理士 木下 茂
 (74) 代理人 100113561
 弁理士 石村 理恵
 (72) 発明者 下井 規弘
 新潟県北蒲原郡聖籠町東港六丁目861番
 地の5 コバレントシリコン株式会社内
 (72) 発明者 佐藤 弘基
 新潟県北蒲原郡聖籠町東港六丁目861番
 地の5 コバレントシリコン株式会社内

最終頁に続く

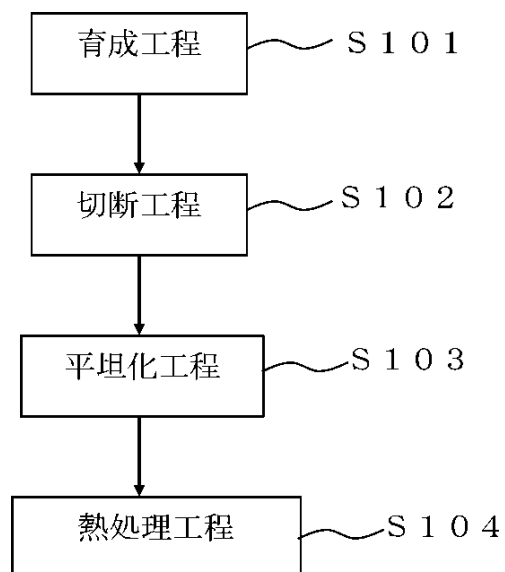
(54) 【発明の名称】 シリコンウェーハの製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】熱処理時におけるスリップ転位の発生を抑制し、ウェーハのバルク部においてもCOPやBMD等の欠陥を低減でき、サーマルドナーの発生も抑制でき、さらに、ウェーハ内に積層欠陥が誘発されるのを抑制することができるシリコンウェーハの製造方法を提供する。

【解決手段】CZ法により窒素ノドープにてV-リッチ領域からなる酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であるシリコン単結晶インゴットを切断してV-リッチ領域からなる円板状のウェーハを作製し、酸素分圧が1%未満である第1の不活性ガス雰囲気中、1150以上1250以下の最高到達温度で、30分以上2時間以下保持した後、前記第1の不活性ガス雰囲気を酸素分圧が3%以上15%以下である第2の不活性ガス雰囲気に切り替えて、1150以上1250以下の最高到達温度で、30分以上2時間以下保持する熱処理を行う。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

チョコラルスキー法により窒素ノンドープにて V - リッチ領域からなる酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であるシリコン単結晶インゴットを育成する工程と、

前記シリコン単結晶インゴットを切断して V - リッチ領域からなる円板状のウェーハを作製する工程と、

前記作製したウェーハを平坦化する工程と、

前記平坦化したウェーハを、酸素分圧が 1 % 未満である第 1 の不活性ガス雰囲気中、 1150 以上 1250 以下の最高到達温度で、30 分以上 2 時間以下保持した後、前記第 1 の不活性ガス雰囲気を酸素分圧が 3 % 以上 15 % 以下である第 2 の不活性ガス雰囲気に切り替えて、更に、前記第 2 の不活性ガス雰囲気中、 1150 以上 1250 以下の最高到達温度で、30 分以上 2 時間以下保持する熱処理を行う工程と、

を備えることを特徴とするシリコンウェーハの製造方法。

10

【請求項 2】

前記育成されたシリコン単結晶インゴット中の窒素濃度は、 $6.0 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載のシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 3】

前記シリコンウェーハは、ディスクリート素子用であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のシリコンウェーハの製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シリコンウェーハの製造方法に関し、特に、シリコンウェーハの表層部やバルク部の COP (Crystal Originated Particle) や BMD (Bulk Micro Defect) 等の欠陥を低減させてデバイス特性の向上を図ることができるシリコンウェーハの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスは、複数の電子部品を集積して一つの回路を構成する集積回路 (IC : Integrated Circuit) と、それ自身が一つの電子部品 (トランジスタ、ダイオード、サイリスタ等) となるディスクリート素子とに大別される。

30

いずれも、主として、シリコンウェーハ (以下、単に、ウェーハともいう) が基板材料として用いられるが、デバイス形成領域となる部分は、IC の場合には基板の表層部 (例えば、表面から深さ $5 \mu\text{m}$ までの深さ領域) に限られるのに対して、ディスクリート素子の場合には、基板の厚さ方向全体を用いる点で大きく相違する。

従って、シリコンウェーハをディスクリート素子用として使用する場合には、ウェーハの表層部のみならず、バルク部の COP や BMD 等の欠陥を低減させることが必要である。

【0003】

40

COP を低減させる方法として、特許文献 1 には、チョコラルスキー法 (以下、CZ 法ともいう) でシリコン単結晶インゴットを育成する際に、V/G 値 (V : 引き上げ速度、G : シリコン融液から 1300 までの温度範囲における引き上げ軸方向の結晶内温度勾配の平均値) を制御することで、単結晶の径方向全体において無欠陥領域を形成し、全面に Grown-in 欠陥のないシリコンウェーハを製造する技術が開示されている。

しかしながら、特許文献 1 に記載の技術は、引き上げ速度を低く制御して行う必要があるため、シリコン単結晶インゴットの育成効率を低下させるという問題がある。

【0004】

また、特許文献 2 には、CZ 法により製造された単結晶シリコンに対して酸化処理を行い、少なくとも 1300 近傍の温度で熱処理を行うことにより、単結晶シリコン中に存

50

在するボイド欠陥を消滅させる技術が開示されている。

【0005】

加えて、特許文献3には、窒素をドーブしたシリコン単結晶から切り出したシリコンウェーハに、水素及び/または不活性ガス雰囲気下で1000以上1350以下の温度で50時間以下の熱処理を施し、ボイド欠陥の内壁酸化膜を除去した後、800以上1350以下の温度範囲で50時間以下の酸化熱処理を行って強制的に格子間シリコン原子を注入させることにより、Grown-in欠陥を少なくとも表面から10 μ mまで消滅させる技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0006】

【特許文献1】特開平8-330316号公報

【特許文献2】国際公開第2003/056621号パンフレット

【特許文献3】特開2000-203999号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献2に記載の技術は、少なくとも1300近傍の温度で熱処理するため、スリップ転位が発生しやすいという問題がある。

更に、特許文献3に記載の技術は、COP及びボイドのサイズを縮小させることを目的として窒素をドーブしているが、窒素をドーブしたウェーハは、結晶内に窒素のas-grown析出核が多く形成されるため、この窒素を核としてサーマルドナーが発生し、抵抗値が不安定となりやすい問題がある。また、前述したような酸化熱処理において、ウェーハ内に過剰に格子間シリコンが注入された場合は、当該酸化熱処理後、ウェーハ内に積層欠陥が誘発される場合がある。

20

【0008】

本発明は、上述の事情に鑑みてなされたものであり、シリコン単結晶インゴットの育成効率を低下させることなく、熱処理時におけるスリップ転位の発生を抑制することができ、ウェーハの表層部及びバルク部においてもCOPやBMD等の欠陥を低減させることができ、サーマルドナーの発生も抑制することができ、さらに、ウェーハ内に積層欠陥が誘発されるのを抑制することができるシリコンウェーハの製造方法を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明に係るシリコンウェーハの製造方法は、チョクラルスキー法により窒素ノンドープにてV-リッチ領域からなる酸素濃度が 0.8×10^{18} atoms/cm³以下であるシリコン単結晶インゴットを育成する工程と、前記シリコン単結晶インゴットを切断してV-リッチ領域からなる円板状のウェーハを作製する工程と、前記作製したウェーハを平坦化する工程と、前記平坦化したウェーハを、酸素分圧が1%未満である第1の不活性ガス雰囲気中、1150以上1250以下の最高到達温度で、30分以上2時間以下保持した後、前記第1の不活性ガス雰囲気を酸素分圧が3%以上15%以下である第2の不活性ガス雰囲気に切り替えて、更に、前記第2の不活性ガス雰囲気中、1150以上1250以下の最高到達温度で、30分以上2時間以下保持する熱処理を行う工程と、を備えることを特徴とする。

40

【0010】

前記育成されたシリコン単結晶インゴット中の窒素濃度は、 6.0×10^{13} atoms/cm³以下であることが好ましい。

【0011】

前記シリコンウェーハは、ディスクリート素子用であることが好ましい。

【発明の効果】

50

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、シリコン単結晶インゴットの育成効率を低下させることなく、熱処理時におけるスリップ転位の発生を抑制することができ、ウェーハの表層部及びバルク部においてもCOPやBMD等の欠陥を低減させることができ、サーマルドナーの発生も抑制することができ、さらに、ウェーハ内に積層欠陥が誘発されるのを抑制することができるシリコンウェーハの製造方法が提供される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】本発明の実施形態に係るシリコンウェーハの製造方法を示す工程フロー図である。

【 図 2 】V / G 値と育成されるシリコン単結晶インゴット中の点欠陥分布との関係を模式的に示す概念図である。

【 図 3 】熱処理工程 (S 1 0 4) における熱処理シーケンスの一例を示す概念図である。

【 図 4 】熱処理工程 (S 1 0 4) における熱処理シーケンスの他の一例を示す概念図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

以下、本発明の実施形態について図面等を参照して詳細に説明する。

図 1 は、本発明の実施形態に係るシリコンウェーハの製造方法を示す工程フロー図である。

本実施形態に係るシリコンウェーハの製造方法は、図 1 に示すように、育成工程 (S 1 0 1) と、切断工程 (S 1 0 2) と、平坦化工程 (S 1 0 3) と、熱処理工程 (S 1 0 4) と、を備える。

【 0 0 1 5 】

育成工程 (S 1 0 1) では、CZ法により窒素ノドープにてV - リッチ領域を有する酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \text{ atoms / cm}^3$ 以下であるシリコン単結晶インゴットを育成する。

具体的には、周知の単結晶引上装置を用いて、窒素ノドープにてシリコン融液の液面に種結晶を接触させて、種結晶と石英ルツボを回転させながら種結晶を引き上げてネック部及び所望の直径まで拡径する拡径部を形成後、所望の直径を維持しながら、結晶の中心軸がV - リッチ領域となるようにV / G 値 (V : 引き上げ速度、G : シリコン融点から 1 3 0 0 までの温度範囲における引き上げ軸方向の結晶内温度勾配の平均値) を所定値 (例えば、 $0.25 \sim 0.35 \text{ mm}^2 / \cdot \text{min}$) に制御して直胴部を形成し、その後、所望の直径から縮径する縮径部を形成し、前記縮径部をシリコン融液から切り離すことで行う。

なお、本発明にいう「窒素ノドープ」とは、シリコン単結晶インゴットの育成時に、故意に窒素ドープ (例えば、石英ルツボ内へのポリシリコン積載時に窒化膜が形成されたシリコンウェーハ片を同時に積載) を行わないことをいう。

また、前記育成するシリコン単結晶インゴットの酸素濃度の調整は、石英ルツボの回転数や炉内圧力、ヒータ温度などを調整することにより周知の方法で行う。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、V / G 値と育成されるシリコン単結晶インゴット中の点欠陥分布との関係を模式的に示す概念図である。

図 2 に示すように、ネック部 2 を形成した後、シリコン単結晶インゴット 1 の引き上げ速度V 値を拡径部 3 側から縮径部 4 側にかけて漸減していくと、V / G 値も減少し、これに伴って、シリコン単結晶インゴット 1 中の欠陥分布も変化する。なお、この場合は、G 値はほとんど変化しない。

引き上げ速度V 値が大きい、すなわち、V / G 値が大きいときは、原子空孔 (COP) が多く取り込まれたV - リッチ領域 5 が形成される。このV - リッチ領域 5 が消滅する臨界V / G 値以下では、まず、酸化熱処理によってOSFがリング状に発生するOSFリン

10

20

30

40

50

グ領域 6 が形成され、次に、空孔と格子間シリコン濃度との均衡により、原子の不足や余分の少ない無欠陥領域 7 が形成される。V / G 値がさらに減少すると、格子間シリコンが多く取り込まれた I - リッチ領域 8 が形成される。

【 0 0 1 7 】

このように本発明では、育成工程 (S 1 0 1) において、V - リッチ領域を含む直胴部からなるシリコン単結晶インゴットを育成するため、直胴部が無欠陥領域からなるシリコン単結晶インゴットを育成するよりも、引き上げ速度 V の高速化を図ることができる。従って、育成効率を低下させることなく、シリコン単結晶インゴットを育成することができる。

また、シリコン単結晶インゴットの育成を窒素ノドープにて行うため、窒素の a s - g r o w n 析出核の発生を抑制することができる。従って、窒素を核としたサーマルドナーの発生を抑制することができる。

【 0 0 1 8 】

なお、シリコン単結晶インゴットの育成を窒素ドープにて行った場合でも、後述する熱処理工程 (S 1 0 4) においてウェーハの表層部の窒素を外方拡散させることが可能である。しかしながら、この場合であってもウェーハの内部であるバルク部の窒素は、外方拡散されにくいいため、当該熱処理後も窒素が前記バルク部に残存する可能性がある。従って、バルク部で窒素の a s - g r o w n 析出核が発生しやすくなるため、シリコン単結晶インゴットの育成は、窒素ノドープにて行うことが好ましい。

【 0 0 1 9 】

切断工程 (S 1 0 2) では、周知の切断装置 (ワイヤソー等) を用いて、前記シリコン単結晶インゴットを切断して V - リッチ領域からなる円板状のウェーハを作製する。

【 0 0 2 0 】

平坦化工程 (S 1 0 3) では、周知の平坦化処理 (遊離砥粒を用いたラッピング処理、ダイヤモンド等の固定砥粒を用いた研削処理、酸性溶液 (弗酸 (H F)、硝酸 (H N O ₃)、酢酸 (C H ₃ C O O H) 及び水 (H ₂ O) を一定の比率で混合した溶液) 又はアルカリ性溶液 (水酸化ナトリウム (N a O H) 又は水酸化カリウム (K O H) 溶液) を用いたエッチング処理、コロイダルシリカ等の研磨剤を用いた研磨処理等) により、前記作製したウェーハを平坦化する。

【 0 0 2 1 】

平坦化工程 (S 1 0 3) は、具体的には、前記シリコン単結晶インゴットを切断して作製したウェーハの両面をラッピング処理した後、その両面を酸性溶液によりエッチング処理し、更に、少なくとも半導体デバイス形成面となる表面又は両面を鏡面研磨処理することが好ましい。また、前記ラッピング処理後、前記エッチング処理前に、ウェーハの両面を研削する研削処理を加えてもよい。

【 0 0 2 2 】

熱処理工程 (S 1 0 4) では、周知の熱処理装置 (縦型熱処理装置等) を用いて、前記平坦化したウェーハを、酸素分圧が 1 % 未満である第 1 の不活性ガス雰囲気中、1 1 5 0 以上 1 2 5 0 以下の最高到達温度で、3 0 分以上 2 時間以下保持した後、前記第 1 の不活性ガス雰囲気を酸素分圧が 3 % 以上 1 5 % 以下である第 2 の不活性ガス雰囲気に切り替えて、更に、前記第 2 の不活性ガス雰囲気中、1 1 5 0 以上 1 2 5 0 以下の最高到達温度で、3 0 分以上 2 時間以下保持する熱処理を行う。

【 0 0 2 3 】

図 3 は、熱処理工程 (S 1 0 4) における熱処理シーケンスの一例を示す概念図である。

熱処理工程 (S 1 0 4) は、例えば、図 3 に示すような熱処理シーケンスで行われる。

最初に、周知の縦型熱処理装置の温度 T_0 (好ましくは 8 0 0 以下) に保持された反応室内に、前記平坦化したウェーハを、例えば、周知の縦型ボードに枚葉で複数枚保持して投入し、前記第 1 の不活性ガス雰囲気中、1 1 5 0 以上 1 2 5 0 以下の最高到達温度 T_1 (以下、これを温度 T_1 と略する) まで昇温速度 T_u で昇温し、前記温度 T_1 で

10

20

30

40

50

、30分以上2時間以下(t_1)保持する。その後、前記第1の不活性ガス雰囲気の前記第2の不活性ガス雰囲気に切り替えて、更に、前記第2の不活性ガス雰囲気中、1150以上1250以下の最高到達温度(図3中では T_1)で、30分以上2時間以下(t_2)保持する。その後、前記温度 T_1 から前記反応室からのウェーハの取り出し温度(例えば、温度 T_0)まで、降温速度 Td で降温する。

【0024】

本発明は、このような熱処理工程(S104)を備えているため、熱処理時におけるスリップ転位の発生を抑制することができ、ウェーハの表層部及びバルク部においてもCOPやBMD等の欠陥を低減させることができ、更に、ウェーハ内に積層欠陥が誘発されるのを抑制することができる。

10

【0025】

前記育成するシリコン単結晶インゴットの酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を超える場合は、酸素濃度が高くなるため、後の熱処理工程(S104)において、表層部及びバルク部(特に、バルク部)に存在するCOPの内壁酸化膜を溶解させにくくなる。また、表層部及びバルク部(特に、バルク部)においてシリコン単結晶インゴット育成時に発生しているBMD核をウェーハ内に溶解させにくくなる。従って、表層部及びバルク部(特に、バルク部)においてCOPが残存しやすくなり、かつ、BMDが析出されやすくなるため好ましくない。

前記酸素濃度は、後の熱処理工程(S104)や半導体デバイス形成時の熱処理工程におけるウェーハ強度確保(スリップ転位の発生の抑制)等の観点から、その下限値は、 $0.2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であることが好ましい。

20

【0026】

前記第1の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が1%を超える場合には、ウェーハ内に雰囲気中の酸素が内方拡散され、ウェーハ内の酸素濃度が高くなり、表層部及びバルク部(特に、表層部)に存在するCOPの内壁酸化膜を溶解させることが難しくなるため、COPが残存し好ましくない。

【0027】

前記第2の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が3%未満である場合には、表層部に注入される格子間シリコン量が低下するため、表層部及びバルク部に存在する内壁酸化膜を溶解させたCOP(ポイド)内に注入される格子間シリコン量が低下し、特に、バルク部において、ポイドが残存しやすくなるため好ましくない。前記第2の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が15%を超える場合には、表層部に注入される格子間シリコン量が多くなるが、ウェーハ内に、従来では半導体デバイスで許容されるレベルの積層欠陥の起点となるような汚染、ダメージ、核等が存在している場合には、このようなウィークポイントに、前記注入された余剰の格子間シリコンが集中し、積層欠陥が誘発される場合があるため好ましくない。

30

【0028】

前記第1及び第2の不活性ガス雰囲気中の不活性ガスが、窒素ガスである場合には、当該熱処理後、ウェーハの表面に窒化膜が形成される場合があり、当該窒化膜を除去するためにエッチング工程等、新たに増やす必要があり、生産性が低下するため好ましくない。

40

前記不活性ガスが、水素ガスである場合には、水素と酸素の混合ガス雰囲気となるため、爆発の危険性があり好ましくない。

【0029】

前記最高到達温度が1150未満である場合には、温度が低いため、表層部及びバルク部(特に、バルク部)に存在するCOPの内壁酸化膜を溶解させにくくなる。また、表層部及びバルク部(特に、バルク部)においてシリコン単結晶インゴット育成時に発生しているBMD核をウェーハ内に溶解させにくくなる。従って、表層部及びバルク部(特に、バルク部)においてCOPが残存しやすくなり、かつ、BMDが析出されやすくなるため好ましくない。前記最高到達温度が1250を超える場合には、高温となるため、当

50

該熱処理においてスリップ転位が発生しやすくなり好ましくない。

【0030】

前記第1の不活性ガス雰囲気による最高到達温度の保持時間 (t_1) が30分未満である場合には、熱処理時間が少ないため、十分に、表層部のCOPの消滅やバルク部のCOPの内壁酸化膜及びBMD核の溶解を図ることが難しい場合がある。前記保持時間 (t_1) が2時間を越える場合には、生産性が低下すると共に、スリップ転位が発生しやすくなり、また、バルク部でBMD核が成長してBMDが析出されやすくなり、その他、不純物汚染等の他の不具合も発生する場合がある。

【0031】

前記第2の不活性ガス雰囲気による最高到達温度の保持時間 (t_2) が30分未満である場合には、熱処理時間が少ないため、十分に、バルク部の内壁酸化膜が溶解されたCOP(ポイド)の消滅を図ることが難しい場合がある。前記保持時間 (t_2) が2時間を越える場合には、生産性が低下すると共に、スリップ転位が発生しやすくなり、また、バルク部でBMD核が成長してBMDが析出されやすくなり、その他、不純物汚染等の他の不具合も発生する場合がある。

10

【0032】

図4は、熱処理工程(S104)における熱処理シーケンスの他の一例を示す概念図である。

熱処理工程(S104)は、生産性向上及びスリップ転位の発生の抑制のため、例えば、図4に示すような熱処理シーケンスで行うことが好ましい。

20

最初に、周知の縦型熱処理装置の温度 T_0 (好ましくは800以下)で保持された反応室内に、前記平坦化したウェーハを、例えば、周知の縦型ボードに枚葉で複数枚保持して投入し、前記温度 T_1 より低温である中間温度 T_2 までは、比較的高い昇温速度 Tu_1 で昇温し、前記中間温度 T_2 から前記温度 T_1 までは、比較的低い昇温速度 Tu_2 で昇温し、更に、前記温度 T_1 からの降温においても、前記温度 T_1 から中間温度 T_2 までは、比較的低い降温速度 Td_2 で降温し、更に、前記中間温度 T_2 から前記反応室からの取り出し温度(例えば、温度 T_0)までは、比較的高い降温速度 Td_1 で降温する。

【0033】

なお、ここでいう比較的高い昇温速度 Tu_1 は5/分以上15/分以下であり、比較的低い昇温速度 Tu_2 は1/分以上3/分以下であり、比較的低い降温速度 Td_2 は1/分以上3/分以下であり、比較的高い降温速度 Td_1 は5/分以上15/分以下である。

30

このように、低温帯(投入又は取り出しする温度 T_0 から中間温度 T_2)では、比較的高い昇温速度 Tu_1 及び降温速度 Td_1 とすることで、当該熱処理における生産性を向上させることができ、高温帯(中間温度 T_2 から最高到達温度 T_1)では、比較的低い昇温速度 Tu_2 及び降温速度 Td_2 とすることで、当該熱処理におけるスリップ転位の発生を抑制することができる。

前記中間温度 T_2 は1000であることが好ましい。1000を超える温度帯は、ウェーハに対する熱応力が大きくなる場合があるため、少なくとも1000以上の温度帯では、昇温速度 Tu_2 及び降温速度 Td_2 共に1/分以上3/分以下であることが好ましい。

40

【0034】

前記熱処理工程(S104)における反応室内への投入温度は800以下であることが好ましい。

前記投入温度が800を超える場合には、室温(クリーンルーム:約25)からの急激な温度変化によりウェーハにスリップ転位が発生しやすくなるため好ましくない。

前記投入温度は、生産性等の観点からその下限値は、300以上であることが好ましい。

【0035】

前記熱処理工程(S104)における前記反応室からの取り出し温度においても800

50

以下であることが好ましい。

前記取り出し温度が800 を超える場合には、室温（クリーンルーム：約25 ）への急激な温度変化によりウェーハにスリップ転位が発生しやすくなるため好ましくない。

前記取り出し温度は、生産性等の観点からその下限値は、300 以上であることが好ましい。

【0036】

前記育成されたシリコン単結晶インゴット中の窒素濃度は、 6.0×10^{13} atoms / cm^3 以下であることが好ましい。

このような窒素濃度とすることで、確実にサーマルドナーの発生を抑制することができる。

10

【0037】

前記熱処理工程（S104）における降温時のガス雰囲気は、酸素分圧が1%以上である不活性ガス雰囲気であれば、その酸素分圧は特に限定されない。なお、降温時のガス雰囲気は、作業効率の観点から、図3及び図4に示すように、前記第2の不活性ガス雰囲気をそのまま継続することが好ましい。

【0038】

本発明に係るシリコンウェーハの製造方法は、ウェーハの表層部及びバルク部においてCOPやBMD等の欠陥を低減させることができる。従って、本発明で製造されたシリコンウェーハは、特に、ディスクリート素子用として好適に用いることができる。

20

【実施例】

【0039】

以下、本発明を実施例に基づいてさらに具体的に説明するが、本発明は、下記実施例により限定解釈されるものではない。

（試験1）

図1に示す工程フロー図に基づいて、サンプルを作製した。

具体的には、石英ルツボの回転数や炉内圧力を調整してCZ法により窒素ノンドープにてV/G値（V：引き上げ速度、G：シリコン融点から1300 までの温度範囲における引き上げ軸方向の結晶内温度勾配の平均値）を $0.28 \sim 0.32 \text{ mm}^2 / \cdot \text{min}$ に制御して直胴部がV-リッチ領域からなるN-type、面方位（100）、酸素濃度 0.8×10^{18} atoms / cm^3 であるシリコン単結晶インゴットを育成後、該インゴットの直胴部を切断してV-リッチ領域からなる窒素濃度が $6.0 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以下である直径200mmの円板状のスライスウェーハを得た。

30

この酸素濃度及び窒素濃度は、二次イオン質量分析装置（SIMS）を用いて測定したスライスウェーハの半導体デバイス形成面側の表面から深さ1 μm までの平均濃度である（以下同じ）。

【0040】

次に、得られたスライスウェーハに対して、両面（表裏面）のラッピング処理を行い、更に、酸性溶液（弗酸（HF）、硝酸（HNO₃）、酢酸（CH₃COOH）及び水（H₂O）を一定の比率で混合した溶液）によりエッチング処理を行い、最後に、両面の鏡面研磨処理を行った。

40

次に、鏡面研磨を行ったウェーハを、周知の縦型ポートに枚葉で10枚保持して、周知の縦型熱処理装置の反応室内に投入し、図4に示す熱処理シーケンスにて、第1の不活性ガス雰囲気及び第2の不活性ガス雰囲気中の酸素分圧をそれぞれ変化させて、熱処理を行った。

【0041】

その他の熱処理条件は下記の通りである。

- ・ T₀ : 600
- ・ T₁ : 1200
- ・ T₂ : 1000
- ・ t₁ : 60分

50

- ・ t_2 : 60分
- ・ Tu_1 : 5 /分
- ・ Tu_2 : 1 ~ 3 /分
- ・ Td_1 : 5 /分
- ・ Td_2 : 1 ~ 3 /分

【0042】

熱処理を行ったウェーハに対してHF処理を行って、両面の酸化膜を除去した後、半導体デバイス形成面となる表面側の表層部の欠陥密度を評価した。更に、表面側の欠陥密度を評価後、該表面の研磨処理を行って表面から深さ10 μ m、50 μ m及び100 μ mにおけるバルク部の欠陥密度を評価した。

10

前記欠陥密度の評価は、レイテックス社製LSTDスキャナMO601を用いて、各々の測定表面から深さ5 μ mまでの深さ領域の欠陥数を検出することで行った。

【0043】

また、酸化膜除去後のウェーハに対して、2段階熱処理(780 で3時間熱処理した後、1000 で16時間熱処理)を施した後のウェーハ表面、深さ50 μ m及び100 μ m(バルク部)におけるBMD密度をIRトモグラフィ(株式会社レイテックス製MO-411)にて評価した。

また、酸化膜除去後のウェーハの表面における積層欠陥の発生の有無を目視にて評価した。

20

更に、酸化膜除去後のウェーハに対して、450 で2時間の低温熱処理を行い、熱処理前後のウェーハの抵抗率の変化(サーマルドナーの発生の有無)を評価した。この評価は、熱処理前後の抵抗率の変化が5%未満である場合は「無」とし、5%を超える場合には「有」とした。

また、酸化膜除去後のウェーハに対して、ウェーハ裏面に発生するスリップ長をX線トポグラフィ(株式会社リガク製XRT300)にて評価し、10枚におけるスリップ長の平均値を算出した。

表1に本試験における試験条件及びその評価結果を示す。

【0044】

【表1】

	第1の不活性ガス雰囲気		第2の不活性ガス雰囲気		欠陥密度(/cm ²)			BMD密度(/cm ³)			積層欠陥の発生の有無	サーマルドナーの発生の有無	
	酸素分圧	アルゴン分圧	酸素分圧	アルゴン分圧	表層部	バルク部(深さ10 μ m)	バルク部(深さ50 μ m)	バルク部(深さ100 μ m)	表面	バルク部(深さ50 μ m)			バルク部(深さ100 μ m)
比較例1	1%未満	99%以上	1%未満	99%以上	<1.0	7.2	7.3	7.3	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例1	1%未満	99%以上	3%	97%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例2	1%未満	99%以上	5%	95%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例3	1%未満	99%以上	10%	90%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例4	1%未満	99%以上	15%	85%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例2	1%未満	99%以上	30%	70%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	1.0 \times 10 ⁶	1.0 \times 10 ⁶	有	無
比較例3	5%	95%	1%未満	99%以上	5.3	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例4	5%	95%	3%	97%	4.9	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例5	5%	95%	5%	95%	4.9	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例6	5%	95%	10%	90%	5.2	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例7	5%	95%	15%	85%	5.3	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例8	5%	95%	30%	70%	5.5	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	1.0 \times 10 ⁶	1.0 \times 10 ⁶	有	無

30

【0045】

なお、スリップ長の平均値は、全サンプル共に、3mm未満であり、問題ないレベルであった。

40

表1からわかるように、窒素ノドープであり、第1の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が1%未満であり、かつ、第2の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が3%から15%である場合(実施例1から4)においては、表層部及びバルク部において欠陥密度が1.0/cm²未満であり、表面及びバルク部のBMD密度も検出限界以下(約3.0 \times 10⁶/cm³以下)であり、積層欠陥の発生も無く、サーマルドナーの発生も認められない。

これに対し、第1の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が1%未満であり、第2の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が1%未満である場合(比較例1)は、表層部の欠陥密度は低いもののバルク部においては高いことが認められる。また、第1の不活性ガス雰囲気の酸素分圧が5%である場合(比較例3から8)は、バルク部の欠陥密度は低いものの表層部において

50

は高いことが認められる。更に、第2の不活性ガス雰囲気酸素分圧が30%である場合（比較例2、8）においては、バルク部においてBMD密度が増加し、かつ、積層欠陥が発生していることが認められる。

【0046】

（試験2）

育成するシリコン単結晶インゴットの酸素濃度を $0.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ として、その他は、試験1と同様な条件にて、熱処理を行った。

得られた熱処理後のウェーハに対して、試験1と同様な方法で、表面及びバルク部の欠陥密度、表面及びバルク部のBMD密度、積層欠陥の発生の有無、サーマルドナーの発生の有無及びスリップ長の平均値を評価した。

10

表2に本試験における試験条件及びその評価結果を示す。

【0047】

【表2】

	第1の不活性ガス雰囲気		第2の不活性ガス雰囲気		欠陥密度(/cm ²)			BMD密度(/cm ³)			積層欠陥の発生の有無	サーマルドナーの発生の有無	
	酸素分圧	アルゴン分圧	酸素分圧	アルゴン分圧	表層部	バルク部(深さ10μm)	バルク部(深さ50μm)	バルク部(深さ100μm)	表面	バルク部(深さ50μm)			バルク部(深さ100μm)
比較例9	1%未満	99%以上	1%未満	99%以上	<1.0	5.2	5.4	5.4	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例5	1%未満	99%以上	3%	97%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例6	1%未満	99%以上	5%	95%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例7	1%未満	99%以上	10%	90%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例8	1%未満	99%以上	15%	85%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例10	1%未満	99%以上	30%	70%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	7.0×10 ⁷	7.0×10 ⁷	有	無
比較例11	5%	95%	1%未満	99%以上	5.3	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例12	5%	95%	3%	97%	4.9	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例13	5%	95%	5%	95%	4.8	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例14	5%	95%	10%	90%	5.2	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例15	5%	95%	15%	85%	5.3	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
比較例16	5%	95%	30%	70%	5.5	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	7.0×10 ⁷	7.0×10 ⁷	有	無

20

【0048】

なお、スリップ長の平均値は、全サンプル共に、3mm未満であり、問題ないレベルであった。

表2からわかるように、試験2においても、試験1と同様な傾向が認められる。

すなわち、窒素ノドープであり、第1の不活性ガス雰囲気酸素分圧が1%未満であり、かつ、第2の不活性ガス雰囲気酸素分圧が3%から15%である場合（実施例5から8）においては、表層部及びバルク部において欠陥密度が1.0/cm²未満であり、表面及びバルク部のBMD密度も検出限界以下（約3.0×10⁶/cm³以下）であり、積層欠陥の発生も無く、サーマルドナーの発生も認められない。

30

これに対し、第1の不活性ガス雰囲気酸素分圧が1%未満であり、第2の不活性ガス雰囲気酸素分圧が1%未満である場合（比較例9）は、表層部の欠陥密度は低いもののバルク部においては高いことが認められる。また、第1の不活性ガス雰囲気酸素分圧が5%である場合（比較例11から16）は、バルク部の欠陥密度は低いものの表層部においては高いことが認められる。更に、第2の不活性ガス雰囲気酸素分圧が30%である場合（比較例10、16）においては、バルク部においてBMD密度が増加し、かつ、積層欠陥が発生していることが認められる。

【0049】

（試験3）

育成するシリコン単結晶インゴットの酸素濃度を $1.2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ として、その他は、試験1の実施例1から4と同様な条件にて、熱処理を行った。

得られた熱処理後のウェーハに対して、試験1と同様な方法で、表面及びバルク部の欠陥密度、表面及びバルク部のBMD密度、積層欠陥の発生の有無、サーマルドナーの発生の有無及びスリップ長の平均値を評価した。

40

表3に本試験における試験条件及びその評価結果を示す。

【0050】

【表 3】

	第1の不活性ガス雰囲気		第2の不活性ガス雰囲気		欠陥密度(/cm ³)			BMD密度(/cm ³)			積層欠陥の発生の有無	サーマルドナーの発生の有無	
	酸素分圧	アルゴン分圧	酸素分圧	アルゴン分圧	表層部	バルク部(深さ10μm)	バルク部(深さ50μm)	バルク部(深さ100μm)	表面	バルク部(深さ50μm)			バルク部(深さ100μm)
比較例17	1%未満	99%以上	3%	97%	<1.0	8.5	8.7	8.7	検出限界以下	30×10 ⁸	30×10 ⁸	有	無
比較例18	1%未満	99%以上	5%	95%	<1.0	9.1	9.3	9.3	検出限界以下	40×10 ⁸	40×10 ⁸	有	無
比較例19	1%未満	99%以上	10%	90%	<1.0	9.4	9.5	9.5	検出限界以下	40×10 ⁸	40×10 ⁸	有	無
比較例20	1%未満	99%以上	15%	85%	<1.0	12.3	12.3	12.4	検出限界以下	40×10 ⁸	40×10 ⁸	有	無

【0051】

なお、スリップ長の平均値は、全サンプル共に、3mm未満であり、問題ないレベルであった。

10

表3からわかるように、酸素濃度を $1.2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ とすることで、バルク部の欠陥密度が高くなり、また、バルク部のBMD密度も高くなり、積層欠陥の発生も認められる。

【0052】

(試験4)

熱処理時の最高到達温度 T_1 を 1150 として、その他は、試験1の実施例1から4と同様な条件にて、熱処理を行った。

得られた熱処理後のウェーハに対して、試験1と同様な方法で、表面及びバルク部の欠陥密度、表面及びバルク部のBMD密度、積層欠陥の発生の有無、サーマルドナーの発生の有無及びスリップ長の平均値を評価した。

20

表4に本試験における試験条件及びその評価結果を示す。

【0053】

【表 4】

	第1の不活性ガス雰囲気		第2の不活性ガス雰囲気		欠陥密度(/cm ³)			BMD密度(/cm ³)			積層欠陥の発生の有無	サーマルドナーの発生の有無	
	酸素分圧	アルゴン分圧	酸素分圧	アルゴン分圧	表層部	バルク部(深さ10μm)	バルク部(深さ50μm)	バルク部(深さ100μm)	表面	バルク部(深さ50μm)			バルク部(深さ100μm)
実施例9	1%未満	99%以上	3%	97%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例10	1%未満	99%以上	5%	95%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例11	1%未満	99%以上	10%	90%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例12	1%未満	99%以上	15%	85%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無

【0054】

なお、スリップ長の平均値は、全サンプル共に、3mm未満であり、問題ないレベルであった。

30

表4からわかるように、熱処理時の最高到達温度 T_1 を 1150 とした場合でも、試験1の実施例1から4と同様な結果が得られることが認められる(実施例9から12)。

【0055】

(試験5)

熱処理時の最高到達温度 T_1 を 1250 として、その他は、試験1の実施例1から4と同様な条件にて、熱処理を行った。

得られた熱処理後のウェーハに対して、試験1と同様な方法で、表面及びバルク部の欠陥密度、表面及びバルク部のBMD密度、積層欠陥の発生の有無、サーマルドナーの発生の有無及びスリップ長の平均値を評価した。

40

表5に本試験における試験条件及びその評価結果を示す。

【0056】

【表 5】

	第1の不活性ガス雰囲気		第2の不活性ガス雰囲気		欠陥密度(/cm ³)			BMD密度(/cm ³)			積層欠陥の発生の有無	サーマルドナーの発生の有無	
	酸素分圧	アルゴン分圧	酸素分圧	アルゴン分圧	表層部	バルク部(深さ10μm)	バルク部(深さ50μm)	バルク部(深さ100μm)	表面	バルク部(深さ50μm)			バルク部(深さ100μm)
実施例13	1%未満	99%以上	3%	97%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例14	1%未満	99%以上	5%	95%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例15	1%未満	99%以上	10%	90%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無
実施例16	1%未満	99%以上	15%	85%	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	無	無

【0057】

なお、スリップ長の平均値は、全サンプル共に、3mm未満であり、問題ないレベルで

50

あった。

表 5 からわかるように、熱処理時の最高到達温度 T_1 を 1250 とした場合でも、試験 1 の実施例 1 から 4 と同様な結果が得られることが認められる (実施例 13 から 16)。

【 0 0 5 8 】

(試験 6)

熱処理時の最高到達温度 T_1 を 1300 とし、その他は、試験 1 の実施例 1 から 8 と同様な条件にて、熱処理を行った。

得られた熱処理後のウェーハに対して、試験 1 と同様な方法で、スリップ長の平均値を評価した。

10

その結果、酸素濃度が高く、かつ、第 2 の不活性ガス雰囲気中の酸素分圧が高いためスリップ転位の発生が一番抑制されると考えられる実施例 3、4 の条件で、既に、スリップ長が 5 ~ 7 mm であることが認められたため、その他の試験を中止した。

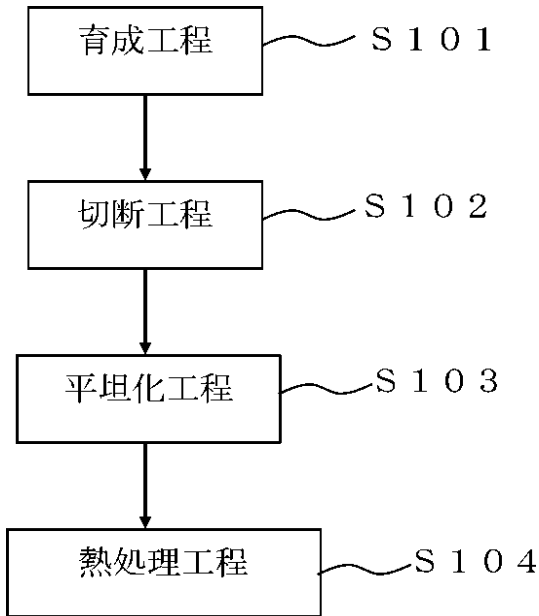
【 符号の説明 】

【 0 0 5 9 】

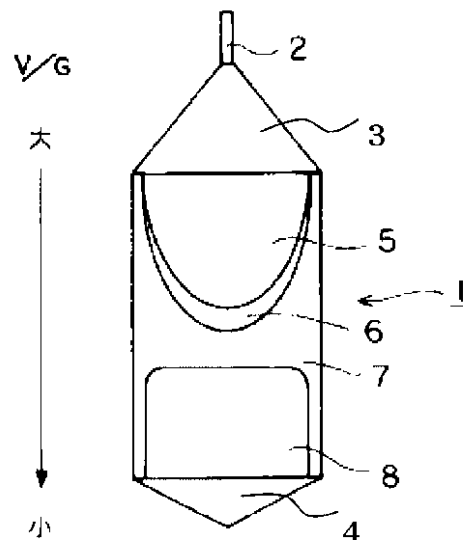
- 1 シリコン単結晶インゴット
- 2 ネック部
- 3 拡径部
- 4 縮径部
- 5 V - リッチ領域
- 6 リング O S F 領域
- 7 無欠陥領域
- 8 I - リッチ領域

20

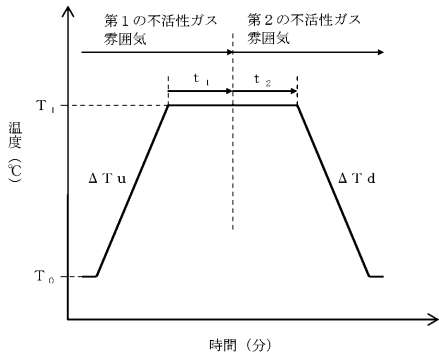
【 図 1 】



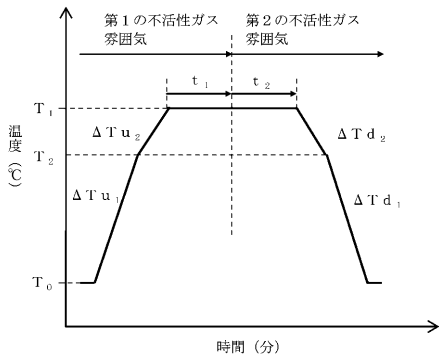
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G077 AA02 AB01 AB10 BA04 CF10 EB06 FE02 FE03 FE12 FG11
HA06 HA12 PA06