

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6493105号
(P6493105)

(45) 発行日 平成31年4月3日(2019.4.3)

(24) 登録日 平成31年3月15日(2019.3.15)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 L	21/322	(2006.01)	HO 1 L	21/322	Y
HO 1 L	21/20	(2006.01)	HO 1 L	21/20	
C 3 O B	29/06	(2006.01)	C 3 O B	29/06	A
HO 1 L	21/205	(2006.01)	C 3 O B	29/06	5 O 4 E
			HO 1 L	21/205	

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-174667 (P2015-174667)
 (22) 出願日 平成27年9月4日(2015.9.4)
 (65) 公開番号 特開2017-50490 (P2017-50490A)
 (43) 公開日 平成29年3月9日(2017.3.9)
 審査請求日 平成29年12月8日(2017.12.8)

(73) 特許権者 302006854
 株式会社 S U M C O
 東京都港区芝浦一丁目2番1号
 (74) 代理人 100115738
 弁理士 鷲頭 光宏
 (74) 代理人 100121681
 弁理士 緒方 和文
 (74) 代理人 100130982
 弁理士 黒瀬 泰之
 (72) 発明者 小池 康夫
 東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会社
 S U M C O 内
 (72) 発明者 片野 智一
 東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会社
 S U M C O 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エピタキシャルシリコンウェーハ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

窒素濃度が 1×10^{12} atoms / cm³ 以上かつ 1×10^{13} atoms / cm³ 以下の範囲内に調整され、かつ C O P 領域からなるシリコンウェーハ表面上にエピタキシャルシリコン膜が形成されたエピタキシャルシリコンウェーハであって、

前記エピタキシャルシリコンウェーハに対して酸素析出物評価熱処理を施した場合に、前記シリコンウェーハの内部に形成される酸素析出物密度が前記シリコンウェーハの径方向全域に亘って 1×10^8 個 / cm³ 以上かつ 3×10^9 個 / cm³ 以下であり、かつ

前記シリコンウェーハの最外周から内方に 1 mm から 10 mm までの外周部領域内に形成される酸素析出物の平均密度が、前記外周部領域以外の中心部領域内に形成される酸素析出物の平均密度よりも低く、かつ

前記外周部領域における前記酸素析出物密度の最大値と最小値の差を前記外周部領域における前記酸素析出物密度の平均値で除した値が 3 以下であり、かつ

前記外周部領域のうち前記最外周から内方に 6 mm から 10 mm までの範囲内に前記最大値が位置し、前記外周部領域のうち前記最外周から内方に 6 mm 未満の範囲内に前記最小値が位置し、かつ

前記外周部領域における残存酸素濃度が 8×10^{17} atoms / cm³ (Old-ASTM_F 121, 1979) 以上であることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハ。

【請求項2】

前記外周部領域における前記酸素析出物密度が前記シリコンウェーハの最外周に向かっ

て漸減していることを特徴とする請求項 1 に記載のエピタキシャルシリコンウェーハ。

【請求項 3】

酸化誘起積層欠陥評価熱処理を施した場合に、前記エピタキシャルシリコンウェーハの裏面で観察される酸化誘起積層欠陥の密度が $100 \text{ 個} / \text{cm}^2$ 以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のエピタキシャルシリコンウェーハ。

【請求項 4】

前記シリコンウェーハは酸素濃度が $8 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ (Old-ASTM_F121, 1979) 以上かつ $14 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ (Old-ASTM_F121, 1979) 以下の範囲内に調整されたシリコン単結晶インゴットより切り出されたシリコンウェーハであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハ

10

【請求項 5】

直径が 300 mm 以上であることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハ。

【請求項 6】

前記シリコンウェーハは、目標直径の $1.02 \sim 1.07$ 倍の直径を有する前記シリコン単結晶インゴットの直胴部から切り出され、前記目標直径に加工されたシリコンウェーハであることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハ。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、エピタキシャルシリコンウェーハに関し、特に、窒素ドーブによりゲッタリング能力が高められたエピタキシャルシリコンウェーハに関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの基板材料としてエピタキシャルシリコンウェーハが広く使用されている。エピタキシャルシリコンウェーハは、シリコンウェーハ上にシリコンエピタキシャル膜を形成したものであり、結晶の完全性が高いという特長を有している。

【0003】

30

一方、半導体デバイスに使用されるエピタキシャルシリコンウェーハに重金属不純物が存在すると、半導体デバイスの特性不良を起こす原因になってしまうため、重金属不純物を極力減少させなければならない。この重金属不純物を低減させる技術の一つとしてゲッタリング技術があり、このゲッタリング技術の一つとして、シリコンウェーハ内に酸素析出物 (BMD: Bulk Micro Defect) を形成し、そこに重金属不純物を捕獲させるイントリンシックゲッタリング (IG) と呼ばれる方法が知られている。近年では、ウェーハ内部に形成される BMD 密度が $1 \times 10^8 \text{ 個} / \text{cm}^3$ 以上のエピタキシャルシリコンウェーハの提供が希求される。

【0004】

しかしながら、エピタキシャル膜の成膜過程において、シリコンウェーハは $1000 \sim 1200$ の高温で加熱されるが、このときウェーハ中の微小な酸素析出核が高温熱処理によって縮小または消滅し、その後のデバイスプロセスにおいて BMD を十分に誘起させることができない。また、半導体デバイスの微細化に伴ってデバイスプロセスが低温化してきており、デバイスプロセスの低温化によってデバイスプロセス過程における酸素析出核の成長がし難く、BMD 密度の低下が顕著である。このため、エピタキシャルシリコンウェーハはゲッタリング能力が低いという問題があった。

40

【0005】

一方、エピタキシャルシリコンウェーハのゲッタリング能力をさらに高めるため、窒素がドーブされたシリコンウェーハを用いる方法が知られている。窒素がドーブされたシリコンウェーハは、エピタキシャル工程における高温熱処理を受けても消滅し難い熱的に安

50

定なBMDが単結晶インゴットの結晶育成段階で形成されるため、ゲッタリング能力の向上を図ることができる。

【0006】

例えば、特許文献1には、窒素がドーブされたシリコンウェーハを用いてエピタキシャル成長処理を行う前に、700～900の温度で15分～4時間の熱処理（プレアニール）を施すことにより、単結晶インゴットから切り出すウェーハ位置に拘わらず、BMD密度が 3×10^4 個/cm²以上であるエピタキシャルシリコンウェーハを製造できることが記載されている。また、特許文献2には、縦型ボートのCリングと接触するウェーハ外周部におけるスリップ転位の成長を抑制するため、シリコンウェーハの外周部をOSF（Oxidation induced Stacking Fault：酸化誘起積層欠陥）領域とする方法が記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特許第3760889号公報

【特許文献2】特許第4061906号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ゲッタリング能力を高めるためにはシリコンウェーハ中に形成されるBMD密度を高めることが有効ではあるものの、一方ではシリコンウェーハ中の酸素がBMD形成のために消費され、ウェーハ中の残存酸素濃度が低下してしまう。ウェーハ中の残存酸素濃度の低下はウェーハの強度低下をもたらす、特にウェーハ外周部の酸素濃度が低いと、熱処理時の熱処理ボートとの接触により外周部に傷が入りやすく、ウェーハ外周部において傷を起点としたスリップ転位が発生するという問題がある。

20

【0009】

特許文献1に記載される方法によれば、エピタキシャル成長処理前に行う熱処理によりウェーハ内部のBMD密度が高められ、ゲッタリング能力に優れるエピタキシャルシリコンウェーハを得ることができる。しかしながら、ウェーハ面内のBMD密度分布について考慮されておらず、ウェーハ外周部におけるBMD密度が高すぎるため、この外周部領域における残存酸素濃度が低下してしまい、ウェーハ外周部においてスリップ転位が発生しやすいという問題がある。

30

【0010】

特許文献2に記載される方法は、ウェーハ外周部をリング状のOSF領域（以下、「R-OSF領域」という）で構成することによりスリップ転位の発生を抑制しようとするものであるが、R-OSF領域上にエピタキシャル膜を成長させるとエピタキシャル膜に欠陥（エピタキシャル欠陥）が発生する問題がある。しかも、窒素濃度が高い場合には結晶育成段階で形成されるR-OSF領域の幅が広がるため、エピタキシャル欠陥が発生する領域が拡大することになる。

【0011】

本発明者らは、ウェーハ外周部におけるスリップ転位の発生を防止するため鋭意検討した結果、窒素濃度が低いシリコンウェーハに対してプレアニールを施した場合、R-OSF領域と接する側のCOP領域にはBMD密度が低くなる領域が形成されることを知見し、このBMD密度が低い結晶領域を意図的に外周部に位置させることを想起し、本発明を完成するに至ったものである。

40

【0012】

本発明の目的は、必要なゲッタリング能力を確保しつつ、ウェーハ外周部の強度を高めてスリップ転位の発生を防止することが可能なエピタキシャルシリコンウェーハを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 1 3 】

上記課題を解決するため、本発明によるエピタキシャルシリコンウェーハは、窒素濃度が 1×10^{12} atoms/cm³ 以上かつ 1×10^{13} atoms/cm³ 以下の範囲内に調整され、かつCOP領域からなるシリコンウェーハ表面上にエピタキシャルシリコン膜が形成されたエピタキシャルシリコンウェーハであって、前記エピタキシャルシリコンウェーハに対して酸素析出物評価熱処理を施した場合に、前記シリコンウェーハの内部に形成される酸素析出物密度が前記シリコンウェーハの径方向全域に亘って 1×10^8 個/cm³ 以上かつ 3×10^9 個/cm³ 以下であり、かつ前記シリコンウェーハの最外周から内方に1mmから10mmまでの外周部領域内に形成される酸素析出物の平均密度が、前記外周部領域以外の中心部領域内に形成される酸素析出物の平均密度よりも低く、かつ前記外周部領域における前記酸素析出物密度の最大値(Max)と最小値(Min)の差を前記外周部領域における前記酸素析出物密度の平均値(Ave)で除した値((Max-Min)/Ave)が3以下であり、かつ前記外周部領域における残存酸素濃度が 8×10^{17} atoms/cm³ (Old-ASTM_F121, 1979) 以上であることを特徴とする。

10

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、ウェーハの中心部領域において所望のBMD密度を確保しながらウェーハの外周部領域の残存酸素濃度の低下を抑えることができる。したがって、所望のゲッタリング能力を確保しながら外周部領域でのスリップ転位の発生を防止することができ、高品質で信頼性が高いエピタキシャルシリコンウェーハを提供することができる。

20

【 0 0 1 5 】

本発明によるエピタキシャルシリコンウェーハは、前記外周部領域のうち前記最外周から内方に6mmから10mmまでの範囲内に前記酸素析出物密度の最大値が位置し、前記外周部領域のうち前記最外周から内方に6mm未満の範囲内に前記酸素析出物密度の最小値が位置することが好ましい。この場合において、前記外周部領域における前記酸素析出物密度は前記シリコンウェーハの最外周に向かって漸減していることが好ましい。この構成によれば、ウェーハの中心部領域のBMD密度を高めると共に外周部領域の残存酸素濃度を高めることができ、ゲッタリング能力とウェーハ強度を両立させることができる。

【 0 0 1 6 】

本発明によるエピタキシャルシリコンウェーハは、酸化誘起積層欠陥評価熱処理を施した場合に、前記エピタキシャルシリコンウェーハの裏面で観察される酸化誘起積層欠陥の密度が100個/cm² 以下であることが好ましい。この構成によれば、ウェーハの全面がCOP領域となり、酸化誘起積層欠陥がほとんど存在しないことから、エピタキシャル欠陥の発生を抑制することができる。また、ウェーハの外周部領域にも酸化誘起積層欠陥がほとんど存在しないことから、外周部領域においてBMD密度が高くなることおよび残存酸素濃度が低くなることを防止することができる。したがって、ウェーハ外周部でのスリップ転位の発生を防止することができる。

30

【 0 0 1 7 】

本発明において、前記シリコンウェーハは、酸素濃度が 8×10^{17} atoms/cm³ (Old-ASTM_F121, 1979) 以上かつ 1.4×10^{17} atoms/cm³ (Old-ASTM_F121, 1979) 以下の範囲内に調整されたシリコン単結晶インゴットより切り出されたものであることが好ましい。シリコンウェーハ中の酸素濃度の範囲をこのようにすることで、ウェーハの中心部領域において所望のBMD密度を確保しながら外周部領域での残存酸素濃度の低下を防止することができる。

40

【 0 0 1 8 】

本発明によるエピタキシャルシリコンウェーハの直径は300mm以上であることが好ましい。この場合、前記シリコンウェーハは、目標直径の1.02~1.07倍の直径を有する前記シリコン単結晶インゴットの直胴部から切り出され、前記目標直径に加工されたものであることが好ましい。さらに、前記シリコン単結晶インゴットの前記直胴部のう

50

ち前記目標直径よりも外側の外周研削領域は、R - O S F 領域からなることが好ましい。このように、シリコン単結晶インゴットの直胴部の直径をシリコンウェーハの目標直径の 1.02 ~ 1.07 倍とし、シリコン単結晶中の R - O S F 領域を外周研削領域に位置させて除去することにより、シリコンウェーハ中に R - O S F 領域が含まれないようにすると共に、R - O S F 領域との境界付近に存在する B M D 密度が低下する領域をウェーハの外周部領域に位置させることができる。したがって、B M D 密度の低下に伴って残存酸素濃度が高くなる領域を外周部領域に位置させることができ、ウェーハ外周部の強度を高めることができる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、必要なゲッターリング能力を確保しつつ、ウェーハ外周部の強度を高めてスリップ転位の発生を防止することが可能なエピタキシャルシリコンウェーハを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の実施の形態によるエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図2】シリコン単結晶の断面形状（直径）をシリコンウェーハと対比して説明するための平面図である。

【図3】V / G と欠陥の種類および分布との一般的な関係を示す図である。

【図4】窒素のドーパ量と O S F 領域との関係を示すグラフであり、横軸はシリコン単結晶の中心からの距離、縦軸は V / G をそれぞれ示している。

【図5】ウェーハ半径方向の B M D 密度分布を示すグラフであり、横軸はウェーハ中心からの距離、縦軸は B M D 密度をそれぞれ示している。

【図6】実施例4、比較例2および比較例4のウェーハ半径方向の B M D 密度分布を示すグラフであり、横軸はウェーハ中心からの距離（mm）、縦軸は B M D 密度を示している。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、添付図面を参照しながら、本発明の好ましい実施の形態について詳細に説明する。

【0022】

図1は、本発明の実施の形態によるエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法を説明するためのフローチャートである。

【0023】

図1に示すように、エピタキシャルシリコンウェーハの製造では、まずチョクラルスキー法（CZ法）によるシリコン単結晶の育成工程が行われる（ステップS11）。CZ法では、石英ルツボ内に收容されたシリコン融液の液面に種結晶を浸漬し、種結晶を回転させながら上方に引き上げることにより、種結晶と同一の結晶方位をもつシリコン単結晶を育成する。具体的には、種結晶をシリコン融液に着液させる着液工程、いわゆるダッシュネック法により結晶直径を細く絞るネッキング工程、所望の直径に到達するまで結晶直径を徐々に太くするショルダ一部育成工程、結晶直径をほぼ一定に保ちながら単結晶の育成を継続するボディ一部育成工程、結晶直径を徐々に細くしてシリコン融液から切り離すテール部育成工程が順に実施される。

【0024】

図2は、シリコン単結晶の断面形状（直径）をシリコンウェーハと対比して説明するための平面図である。

【0025】

図2に示すように、CZ法によるシリコン単結晶の育成では、シリコンウェーハ20の規定の直径 R_2 （例えば300mm）の1.02 ~ 1.07倍の直径 R_1 を有するシリコ

10

20

30

40

50

ン単結晶10が引き上げられる。その際、シリコン単結晶10中の酸素濃度が $8 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上かつ $14 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下となるように引き上げ条件が制御される。さらに、R - OSF領域が規定のウェーハ直径 R_2 よりも外側の外周研削領域11に位置するように引き上げ条件が制御される。シリコンウェーハ20の外周部領域21は、ウェーハを縦型炉で熱処理する際に縦型ポートにサポートされる領域であり、最外周から10mmまでの領域である。

【0026】

CZ法によってシリコン単結晶10を育成する場合、その単結晶に含まれる欠陥の種類や分布は、単結晶の引上げ速度 V と単結晶内の成長方向の温度勾配 G の比 V/G に依存する。

10

【0027】

図3は、 V/G と欠陥の種類および分布との一般的な関係を示す図である。

【0028】

図3に示すように、 V/G が大きい場合は空孔が過剰となり、空孔の凝集体である微小ボイド（一般にCOP (Crystal Originated Particle) と呼ばれている欠陥)が発生する。一方、 V/G が小さい場合は格子間シリコン原子が過剰となり、格子間シリコンの凝集体である転位クラスタが発生する。さらに、COPが発生する領域と転位クラスタが発生する領域の間には、 V/G が大きい方から順に、OSF領域、Pv領域、Pi領域の三つの領域が存在する。OSF領域とは、高温（一般的には $1000 \sim 1200$ ）で熱酸化した場合にOSF (Oxidation Induced Stacking Fault: 酸化誘起積層欠陥)が発生する領域である。Pv領域とは、as-grown状態で酸素析出核を含んでおり、低温と高温（例えば、 800 と 1000 ）の2段階の熱処理を施した場合に酸素析出物が発生し易い領域である。Pi領域とは、as-grown状態で殆ど酸素析出核を含んでおらず、熱処理を施されても酸素析出物が発生し難い領域である。

20

【0029】

V/G が大きい場合、通常、OSFはシリコン単結晶の中心軸の周りにリング状に発生することから、R - OSF領域とも言う。R - OSF領域が出現する V/G の範囲は非常に狭いので、R - OSF領域を含むシリコン単結晶10を製造するには、引き上げ速度 V の厳密な管理が必要であり、 V/G が結晶の径方向と長さ方向で適切な範囲に入るように制御しなければならない。まず、単結晶の径方向については、どの位置でも引き上げ速度 V は一定であるので、温度勾配 G が所定の範囲に入るようにCZ炉内の高温部分（ホット・ゾーン）の構造を設計しなければならない。次に、結晶の長さ方向については、温度勾配 G は結晶の引き上げ長さに依存するので、 V/G を所定の範囲に保つためには、結晶の長さ方向に V を変化させなければならない。

30

【0030】

そして、シリコン単結晶にR - OSF領域が含まれるように引き上げ速度プロファイルを設定し、引き上げたシリコン単結晶から切り出したウェーハサンプルにCu（銅）デコレーションやOSF評価のための熱処理を行ってOSF領域の広さや位置を評価し、その広さや位置に基づいて後続の引き上げ速度プロファイルが調整される。すなわち、R - OSF領域が広ければ V/G が大きすぎる（ V が大きすぎる）ので、後続の引き上げでは V を低めに設定し、逆に、R - OSF領域が狭ければ V/G が小さすぎる（ V が小さすぎる）ので、後続の引き上げでは V を高めに設定する。

40

【0031】

以上のように、R - OSF領域の広さや位置を指標として後続の引き上げの速度プロファイルを調整することにより、外周研削領域11にR - OSF領域を含むシリコン単結晶10を安定的に引き上げることができる。その際の結晶熱履歴としては、 $1080 \sim 1150$ の温度域を40分以下、 $980 \sim 1020$ の温度域を30分以下、 $650 \sim 750$ の温度域を150分以下とすることが望ましい。

【0032】

シリコン単結晶10には $1 \times 10^{12} \text{ atoms/cm}^3$ 以上かつ $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下となるように引き上げ速度プロファイルを設定し、引き上げたシリコン単結晶から切り出したウェーハサンプルにCu（銅）デコレーションやOSF評価のための熱処理を行ってOSF領域の広さや位置を評価し、その広さや位置に基づいて後続の引き上げ速度プロファイルが調整される。すなわち、R - OSF領域が広ければ V/G が大きすぎる（ V が大きすぎる）ので、後続の引き上げでは V を低めに設定し、逆に、R - OSF領域が狭ければ V/G が小さすぎる（ V が小さすぎる）ので、後続の引き上げでは V を高めに設定する。

50

ms/cm^3 以下の窒素がドーピングされる。窒素をドーピングすることでウェーハ面内の BMD 密度を高めることができ、これによりエピタキシャルシリコンウェーハのゲッタリング能力を高めることができる。

【0033】

窒素のドーピング量は、 $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であることが好ましい。窒素のドーピング量を多くすることでウェーハ全面の BMD 密度を高くすることができ、必要なゲッタリング能力を容易に確保することができるが、図 2 に示すウェーハの外周部領域 21 において BMD 密度がより一層高くなり、ウェーハ中の残存酸素濃度は逆に低くなり、残存酸素濃度の低下によりウェーハの強度が低下し、スリップ転位が発生しやすくなる。また窒素のドーピングが多いほど R - OSF 領域の幅が広がるため、シリコンウェーハに R - OSF 領域が含まれないように引き上げ条件を制御することも難しくなる。

10

【0034】

図 4 (a) および (b) は、窒素のドーピング量と R - OSF 領域との関係を示すグラフであり、図 4 (a) は窒素のドーピング量が多いときの R - OSF 領域、図 4 (b) は窒素のドーピング量が少ないときの R - OSF 領域をそれぞれ示している。また図 4 (a) および (b) のグラフの横軸はシリコン単結晶の中心からの距離、縦軸は V / G をそれぞれ示している。

【0035】

図 4 (a) および (b) に示すように、窒素のドーピング量が多いときの R - OSF 領域の幅 W_a は、窒素のドーピング量が少ないときの R - OSF 領域の幅 W_b よりも広がる。そのため、窒素のドーピングが多い場合には、R - OSF 領域をシリコンウェーハ 20 の外側に配置することが難しくなる。R - OSF 領域は、as-grown 状態でも OSF の核、すなわち、板状の酸素析出物を含む領域であるので、ウェーハ外周部領域 21 が R - OSF 領域を含む場合には、ウェーハ外周部領域 21 の BMD 密度が高く且つ残存酸素濃度が低くなり、ウェーハの外周部領域 21 の強度が低下する。

20

【0036】

そこで、本実施形態では窒素のドーピング量をできるだけ少なくしてウェーハ外周部領域 21 の BMD 密度を低く抑えると共に、R - OSF 領域の幅をできるだけ狭くして、R - OSF 領域がシリコンウェーハ 20 の外側の外周研削領域 11 に収まるようにしたものである。さらに後述するように、R - OSF 領域の境界付近が外周部領域 21 の位置に来るよう

30

にすることで、外周部領域 21 の BMD 密度を下げることができ、外周部領域 21 の強度を高めてスリップ転位の発生を抑えることができる。

【0037】

次に、シリコン単結晶を加工してシリコンウェーハ（ポリッシュトウェーハ）を作製する（図 1 のステップ S12）。シリコンウェーハは、シリコン単結晶インゴットを一定のブロックサイズに切断し、直径を揃えるため丸め加工（外周研削）を行った後、スライス工程、ベベリング工程、ラッピング工程、エッチング工程、ポリッシング工程、洗浄工程等を経ることにより作製される。丸め加工では、ウェーハの目標直径 R_2 よりも外側の外周研削領域 11 が除去され、これにより R - OSF 領域が除去される。こうして加工されたシリコンウェーハの全面は COP 領域からなる。

40

【0038】

なお、COP 領域とは、以下に説明する観察評価により COP が検出される領域を意味するものとする。まずシリコンウェーハに対して、SC - 1 洗浄（すなわち、アンモニア水と過酸化水素水と超純水とを 1 : 1 : 15 で混合した混合液による洗浄）を行い、洗浄後のシリコンウェーハ表面を、表面欠陥検査装置（例えば、KLA - Tencor 社製：Surfscan SP - 2）を用いて観察評価し、表面ピットと推定される輝点欠陥（LPD：Light Point Defect）を特定する。その際、観察モードは Oblique モード（斜め入射モード）とし、表面ピットの推定は、Wide Narrow チャンネルの検出サイズ比に基づいて行うものとする。こうして特定された LPD に対して、原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）を用いて、COP が否かを評価する。この観

50

察評価により、COPが観察される領域をCOP領域と定義するものである。

【0039】

作製されたシリコンウェーハの全面がCOP領域かどうかはウェーハサンプルに対してOSFを顕在化させる評価熱処理（酸化誘起積層欠陥評価熱処理）を行うことで確認することができる（図1のステップS13）。具体的には、評価熱処理として、ウェーハサンプルに対してウェット酸素雰囲気にて例えば1140 × 2時間の酸化熱処理を施した後、ウェーハ表面をライトエッチング液で2 μmエッチングする処理を行った後、ウェーハ表面で観察されるエッチピットを光学顕微鏡で測定することによりOSF密度をカウントする。酸化熱処理の温度は1000～1200であればよく、熱処理時間は1～16時間であればよい。観察されたシリコンウェーハのOSF密度が100個/cm²以下である場合、シリコンウェーハの全面がCOP領域であると言える。そしてOSF密度が100個/cm²以下であればエピタキシャル欠陥の発生を抑制することができる。

10

【0040】

次に、BMD核を成長させるアニール処理（プレアニール）を行う（図1のステップS14）。プレアニールは、900未満の温度で行う10～60分の熱処理である。上記のように、シリコンウェーハ中の窒素のドーパ量を少なくするとウェーハ全面のBMD密度が低くなり、ウェーハの中心部領域で所望のBMD密度（例えば1×10⁸個/cm³以上）を得ることができない。特に、プレアニールを行わずにエピタキシャル工程を実施すると、非常に小さな酸素析出核はエピタキシャル工程中に消滅するため、所望のBMD密度を得ることができない。しかし、エピタキシャル工程を行う前にプレアニールを行った場合には、窒素のドーパ量が少ない場合でも所望のBMD密度の確保が可能となる。

20

【0041】

さらに、本実施形態では、R-OSF領域を外周研削領域11に配置することでウェーハ外周部領域21のBMD密度を小さくすることができる。

【0042】

図5は、ウェーハ半径方向のBMD密度分布を示すグラフであり、横軸はウェーハ中心からの距離（mm）、縦軸はBMD密度（個/cm³）をそれぞれ示している。シリコンウェーハの直径は300mmであり、最外周の位置はウェーハの中心から150mmである。よって最外周から1mmの位置は、ウェーハの中心から149mmであり、最外周から10mmの位置は、ウェーハの中心から140mmである。そしてシリコンウェーハ20の外周部領域21は最外周から1～10mmの範囲として定義される。シリコンウェーハ20の最外周よりも外側は、シリコン単結晶の外周研削領域11である。

30

【0043】

図5に示すように、シリコンウェーハ20の全面はCOP領域であり、外周研削領域11にR-OSF領域が位置している。ウェーハ半径方向のBMD密度は中心部領域22内ではほぼ一定であるが、R-OSF領域との境界付近の外周部領域21において一度低くなり、R-OSF領域で再び高くなる傾向が見られる。

【0044】

本実施形態はこのようなBMD密度が低下する現象に着目し、R-OSF領域をシリコン単結晶の外周研削領域11に位置させるとともに、R-OSF領域とCOP領域との境界付近のBMD密度が低下する領域をウェーハ外周部領域21に位置させることにより、ウェーハ外周部領域21のBMD密度を小さくするものである。

40

【0045】

次に、シリコンウェーハの表面にシリコンのエピタキシャル膜を形成するエピタキシャル工程を行う（図1のステップS15）。そのエピタキシャル方法は特に限定されないが、直径300mm以上の大口径のシリコンウェーハでは枚葉式の気相成長装置が好ましく使用される。シリコンウェーハは気相成長装置のチャンバー内にセットされ、トリクロロシラン（SiHCl₃）等の原料ガスがH₂ガス等のキャリアガスおよびドーパントガスとともにチャンバー内に導入され、1000～1200の高温に熱せられたシリコンウ

50

エー八上に原料ガスの熱分解または還元によって生成されたシリコンを反応速度 $0.5 \sim 6.0 \mu\text{m}/\text{分}$ で成長させる。その後、シリコンウェー八の洗浄を行うことにより、エピタキシャルシリコンウェー八が完成する。

【0046】

こうして製造されたエピタキシャルシリコンウェー八のBMD密度分布は、デバイスプロセスを模した評価熱処理（酸素析出物評価熱処理）を行ってBMD核を成長させることで確認することができる（ステップS16）。なお、BMD密度とは、エピタキシャルシリコンウェー八に対して、酸素ガス雰囲気中で900～1100℃×16時間の酸素析出物評価熱処理を行った後、エピタキシャルシリコンウェー八を厚み方向に劈開して、その劈開断面をライトエッチング（Wright Etching）液を用いて深さ2μmエッチングする選択エッチング処理を行った後、シリコンウェー八の厚み中心部における劈開断面を光学顕微鏡で観察し、100μm×100μm角エリア内のエッチピット密度をBMD密度と定義するものである。そして、本実施形態によるエピタキシャルシリコンウェー八は、BMD密度に関して以下の特徴を有する。

10

【0047】

まず、ウェー八全面のBMD密度が 1×10^8 個/cm³以上である。このように、ウェー八全面のBMD密度が 1×10^8 個/cm³以上であることにより、エピタキシャルシリコンウェー八のゲッターリング能力を高めることができる。また、ウェー八全面のBMD密度が 3×10^9 個/cm³以下であることが好ましい。ウェー八のBMD密度が高すぎるとウェー八中の残存酸素濃度が低下し、これによりウェー八の強度が低下し、特にウェー八の外周部領域21でスリップ転位が発生しやすい。

20

【0048】

またウェー八の最外周（エッジ）から内方に1mmから10mmまでの外周部領域21内におけるBMD密度は、外周部領域21よりも内方の中心部領域内におけるBMD密度よりも低い。このように、ウェー八の外周部領域21のBMD密度が中心部領域内のBMD密度よりも低いことにより、外周部領域21の残存酸素濃度を高めることができ、スリップ転位の発生を抑えることができる。

【0049】

また、ウェー八の最外周から内方に1～10mmの外周部領域21におけるBMD密度はウェー八の最外周に向かって漸減しており、外周部領域21におけるBMD密度の最大値（Max）と最小値（Min）との差を外周部領域21におけるBMD密度の平均値（Ave）で除した値（ $(\text{Max}-\text{Min})/\text{Ave}$ ：BMD密度のばらつき）が3以下である。さらに、BMD密度の最大値はウェー八の最外周から内方に6～10mmの範囲内に存在しており、BMD密度の最小値はウェー八の最外周から内方に6mm未満の範囲内に存在している。このように、外周部領域21においてBMD密度が低下することにより、ウェー八外周部領域21の残存酸素濃度を高めることができ、これによりウェー八外周部領域21の強度を高めることができる。なお、ウェー八外周部領域21をウェー八の最外周から1mm以上の範囲とする理由は、ウェー八のエッジが面取りされているだけでなく、最外周（最外周から0mm）の位置でBMD密度を測定すること自体が不可能だからである。

30

【0050】

一方、外周部領域21の残存酸素濃度は 8×10^{17} atoms/cm³以上である。外周部領域21の残存酸素濃度を 8×10^{17} atoms/cm³以上とすることでスリップ転位の発生を抑えることができる。ウェー八中の残存酸素濃度は、BMD密度が低い領域ほど高くなり、BMD密度が高い領域ほど低くなる。これは、ウェー八中の酸素がBMD形成のために消費され、酸素析出物が増加するほど残存酸素が減少するからであると考えられる。本発明においては外周部領域21のBMD密度が低いので、外周部領域21の残存酸素濃度を高めることができ、外周部領域21のウェー八強度を高めることができる。

40

【0051】

以上説明したように、本実施形態によるエピタキシャルシリコンウェー八は、ウェー八

50

外周部領域 2 1 の B M D 密度が低いので、ウェーハの外周部領域 2 1 の強度を高めることができ、スリップ転位の発生を防止することができる。したがって、縦型炉でウェーハを熱処理する際に縦型ポートに収容されたウェーハのサポート位置に微小な傷が発生し、この傷を起点にスリップ転位が発生し、伸展する事態を防止することができる。

【 0 0 5 2 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、上記の実施形態に限定されることなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

【 0 0 5 3 】

例えば、上記実施形態においては主に直径 3 0 0 m m のウェーハを対象に説明しているが、直径 3 0 0 m m 以上のウェーハであればよく、例えば直径 4 5 0 m m のウェーハを対象としてもよい。

【実施例】

【 0 0 5 4 】

第 1 に、窒素濃度、酸素濃度およびプレアニールの有無をパラメータとするエピタキシャルシリコンウェーハの特性評価を行った。

【 0 0 5 5 】

この特性評価では、窒素がドーブされた直径 3 1 0 m m のシリコン単結晶を C Z 法により育成し、外周研削によってシリコン単結晶の直径を 3 0 0 m m に丸めた後、ウェーハ加工を実施した。次に、エピタキシャル工程を実施する前に一部のウェーハサンプルに対してプレアニールとして 8 9 0 ° で 2 0 分 の 熱 処 理 を 行 っ た 。 エピタキシャル工程では、1 1 0 0 ° の温度下で 4 μ m のエピタキシャルシリコン膜を成膜した。

【 0 0 5 6 】

B M D 密度の測定では、酸素ガス雰囲気中で 1 0 0 0 ° × 1 6 時間 の 評 価 熱 処 理 後 に エピタキシャルシリコンウェーハを厚み方向に劈開し、劈開断面をライトエッチング液を用いて深さ 2 μ m エッチングする選択エッチング処理を行った後、シリコンウェーハの厚み中心部における劈開断面を光学顕微鏡で観察して B M D 密度を測定した。B M D 密度の測定はウェーハの中心から半径方向に 1 0 m m ピッチで行い、特にウェーハ外周部領域（最外周から 1 m m ~ 1 0 m m ）では 1 m m ピッチで行った。

【 0 0 5 7 】

エピタキシャルシリコンウェーハ中の残存酸素濃度の測定は、ウェーハの中心から半径方向に 1 m m ピッチで行い、その平均値を求めた。

【 0 0 5 8 】

スリップ耐性試験は、ウェーハの外周部領域をサポートするポート形状を有する縦型炉で追加の熱応力負荷熱処理を行った。熱応力負荷熱処理条件は、投入温度 7 0 0 ° 、昇温レート 8 ° / m i n 、 1 1 0 0 ° で 3 0 分 間 の 保 持 、 降 温 レ ー ト 3 ° / m i n と し 、 取 り 出 し 温 度 7 0 0 ° と し た 。 そ し て 熱 処 理 後 の ウ ェ ー ハ を X 線 ト ポ グ ラ フ ィ ー で 観 察 し 、 スリッパ転位の長さが 2 m m 未満を"○"、2 ~ 5 m m を"△"、5 m m 超を"×"と評価した。

【 0 0 5 9 】

ゲッター能力の評価では、上記評価熱処理後のエピタキシャルシリコンウェーハの表面に N i を 1×10^{12} a t o m s / c m ^ 2 塗布し、9 0 0 ° の温度で 3 0 分間の熱処理を行った後、ウェーハの表面に対して 2 μ m のライトエッチングを行った。そしてライトエッチング後のウェーハの表面を光学顕微鏡で観察し、N i シリサイドのピットが観察されないものを"○"、ピットが観察されたものを"×"とした。

【 0 0 6 0 】

上記評価試験の結果を表 1 に示す。実施例 1 ~ 6 は本発明技術であり、比較例 1 ~ 5 は従来技術である。

【 0 0 6 1 】

10

20

30

40

【表 1】

	窒素濃度 (atoms/cm ³)	酸素濃度 (×10 ¹⁷ atoms/cm ³)	プレアニール の有無	ウェーハ 中心の BMD 密度 (個/cm ³)	ウェーハの 外周部領域の BMD 密度 ばらつき (Max-Min /Ave)	ウェーハの 外周部領域の 最低残存 酸素濃度 (×10 ¹⁷ atoms/cm ³)	スリップ 耐性	ゲッター 能力
実施例 1	1.0E+12	8.5	有	2.70E+08	2.5	8.1	○	○
実施例 2	2.5E+12	12.3	有	4.60E+08	2.1	11.6	○	○
実施例 3	5.1E+12	9	有	3.50E+08	1.6	8.8	○	○
実施例 4	5.2E+12	12.9	有	7.20E+08	1.8	10.6	○	○
実施例 5	9.0E+12	8.2	有	5.50E+08	1.4	8.1	○	○
実施例 6	1.0E+13	12.4	有	1.80E+09	0.8	8.7	○	○
比較例 1	5.2E+12	12.9	無	<1E+07	-	12.8	○	×
比較例 2	5.1E+13	12.5	無	1.30E+08	3.8	7.8	×	○
比較例 3	1.1E+14	12.3	無	8.20E+08	5.7	7.5	×	○
比較例 4	5.1E+13	12.5	有	4.20E+09	2.8	7.7	×	○
比較例 5	1.1E+14	12.3	有	2.20E+10	2.5	6.3	×	○

10

【0062】

表 1 から明らかなように、本発明の条件を満たす実施例 1 ~ 6 はスリップ耐性とゲッターリング能力を両立した。

【0063】

一方、比較例 1 は窒素濃度が低く、プレアニールを行わなかったことから、BMD 密度が低く、ゲッターリング能力が不足する結果となった。

20

【0064】

比較例 2 もまたプレアニールが行われなかったものであるが、窒素濃度が 5×10^{13} atoms/cm³ と高いことから、ゲッターリング能力が得られる BMD 密度が確認されたが、ウェーハの外周部領域における最低残存酸素濃度は 7.8×10^{17} atoms/cm³ と低い残存酸素濃度であった。また、ウェーハの外周部領域での BMD 密度のばらつき ((Max-Min)/Ave) が 3.8 と大きく、スリップ転位長が長くなる結果となった。これは、ウェーハの外周部領域での BMD 密度ばらつきが大きくなり過ぎることで、ウェーハのサポート位置での熱伝達が変化し、応力が増大した結果であると考えられる。

30

【0065】

比較例 3 も比較例 2 と同様であるが、ウェーハの外周部領域の残存酸素濃度が 7.5×10^{17} atoms/cm³ であり、 8×10^{17} atoms/cm³ 以下の低い残存酸素濃度となっており、BMD 密度のばらつき ((Max-Min)/Ave) も 5.7 と大きく、スリップ転位長がさらに長くなる結果となった。

【0066】

比較例 4 および 5 は、どちらも窒素濃度が 1×10^{13} atoms/cm³ よりも高いウェーハを用い、プレアニール処理を行ったときの結果である。ウェーハ内には 3×10^9 個/cm³ を超える BMD 密度が確認された。過度の BMD 形成は BMD を起因としたエピタキシャル欠陥の発生を誘発するため望ましくない。また、ウェーハの外周部領域における BMD 密度も高く、ウェーハの外周部領域における残存酸素濃度が低いため、スリップ耐性に劣る結果となった。

40

【0067】

図 6 は、上記実施例 4、比較例 2 および比較例 4 のウェーハ半径方向の BMD 密度分布を示すグラフであり、横軸はウェーハ中心からの距離 (mm)、縦軸は BMD 密度を示している。また、表 2 は、ウェーハの外周部領域における BMD 密度分布を示している。

【0068】

図 6 に示すように、実施例 4 と比較例 4 の BMD 密度は、ウェーハの外周部領域で漸減する分布となっているが、比較例 4 の BMD 密度は 1×10^9 個/cm³ と高密度であり、ゲッターリング能力は十分であるが、ウェーハの外周部領域の残存酸素濃度が 8×10^{17} atoms/cm³ であったためにスリップ転位長が長く、スリップ耐性が低いことが

50

分かる。

【 0 0 6 9 】

また比較例 2 については、BMD 密度がウェーハの最外周に向かって上昇する分布となり、外周部領域の BMD 密度は 1×10^9 個 / cm^3 以上と高密度であり、BMD 密度が高いことによる残存酸素濃度の低下によりスリップ耐性が劣化した結果となった。

【 0 0 7 0 】

以上の結果から、BMD 密度はウェーハ面内で 1×10^8 個 / cm^3 以上（且つ 1×10^9 個 / cm^3 以下）であり、面内分布はウェーハの外周部領域で漸減する分布であることが望ましいことが分かった。

【 0 0 7 1 】

表 2 は、上記実施例 4、比較例 2 および比較例 4 のウェーハについて、径方向に 1 mm 間隔のピッチで BMD 密度分布を詳細に調査した結果である。表 2 から明らかなように、BMD 密度の最大値がウェーハの中心から 140 ~ 144 mm（最外周から 6 ~ 10 mm）の範囲内に存在しており、BMD 密度の最小値がウェーハの中心から 144 mm 超（最外周から 6 mm 未満）の範囲内に存在していれば、スリップ耐性に優れたウェーハとなることが確認された。

【 0 0 7 2 】

【表 2】

ウェーハ 中心から の距離 (mm)	BMD密度 (個/cm ³)									
	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149
実施例 4	6.8E+08 (最大)	6.5E+08	5.7E+08	6.4E+08	6.1E+08	5.2E+08	4.3E+08	4.5E+08	3.8E+08	3.8E+08 (最小)
比較例 2	5.5E+08 (最小)	5.9E+08	5.6E+08	5.5E+08	6.2E+08	7.4E+08	8.8E+08	9.2E+08	2.1E+09	3.2E+09 (最大)
比較例 4	3.7E+09	3.9E+09 (最大)	2.7E+09	3.2E+09	2.3E+09	2.7E+09	2.2E+09	2.7E+09	1.4E+09 (最小)	4.1E+09

【 0 0 7 3 】

第 2 に、窒素濃度および直径が異なる複数のシリコン単結晶を用いて製造されたエピタキシャルシリコンウェーハの特性評価を行った。

【 0 0 7 4 】

この特性評価では、窒素濃度が異なる複数本のシリコン単結晶を CZ 法により育成し、外周研削によってシリコン単結晶の直径を 300 mm に丸めた後、ウェーハ加工を実施した。シリコン単結晶を育成する際には結晶直径を変化させて、1本のシリコン単結晶インゴット中に外周研削領域が広がる部位と狭くなる部位とが含まれるようにした。

【 0 0 7 5 】

次に、加工されたシリコンウェーハ（ポリッシュトウェーハ）の OSF 密度の最大値を求めた。OSF 密度の測定では、1140 の温度で 2 時間の評価熱処理を行い、2 μm のライトエッチングを行った後、光学顕微鏡でウェーハ表面の OSF 密度を測定した。

【 0 0 7 6 】

次に、エピタキシャル工程を実施する前にシリコンウェーハのプレアニールとして 890 で 20 分の熱処理を行った。その後、エピタキシャル工程では、1100 の温度で 4 μm のエピタキシャルシリコン膜を成膜した。

【 0 0 7 7 】

BMD 密度の測定では、酸素ガス雰囲気中で 1000 \times 16 時間の評価熱処理後にエピタキシャルシリコンウェーハを厚み方向に劈開し、劈開断面をライトエッチング液を用いて深さ 2 μm エッチングする選択エッチング処理を行った後、シリコンウェーハの厚み中心部における劈開断面を光学顕微鏡で観察して BMD 密度を測定した。BMD 密度の

10

20

30

40

50

測定は、ウェーハの中心から半径方向に10mmピッチで行い、特にウェーハの外周部領域（最外周から1mm～10mm）では1mmピッチで行った。

【0078】

スリップ耐性試験は、ウェーハの外周部領域をサポートするポート形状を有する縦型炉で追加の熱応力負荷試験を行った。熱応力負荷試験の条件は、投入温度700、昇温レート8/min、1100で30分間保持、降温レート3/minとし、取り出し温度700とした。そして試験後のウェーハをX線トポグラフィーで観察し、スリップ転位の長さが2mm未満を"、2～5mmを"、5mm超を"x"と評価した。

【0079】

上記評価試験の結果を表3に示す。実施例1～9は、本発明技術であり、比較例1～9は、従来技術である。なお、実施例1, 4, 7および比較例1など、窒素濃度が同一のウェーハは、同じシリコン単結晶インゴットから切り出されたものであることを意味している。

【0080】

【表3】

	窒素濃度 (atoms/cm ³)	シリコン 単結晶 直径比	OSF密度 の最大値 (個/cm ²)	ウェーハ 中心の BMD密度 (個/cm ²)	ウェーハ 外周の BMD密度 (Max/cm ²)	ウェーハの 外周部領域の BMD密度 ばらつき (Max-Min) /Ave)	スリップ 耐性	エピ 欠陥
実施例1	1.0E+12	1.02	-	2.9E+08	2.8E+8	2.5	○	○
実施例2	6.2E+12	1.02	62	7.5E+08	6.2E+8	2.2	○	○
実施例3	1.0E+13	1.02	81	1.9E+09	8.3E+8	1.1	○	○
実施例4	1.0E+12	1.05	-	2.8E+08	2.2E+8	2.1	○	○
実施例5	6.2E+12	1.05	-	7.2E+08	5.7E+8	1.8	○	○
実施例6	1.0E+13	1.05	31	1.7E+09	8.1E+8	0.8	○	○
実施例7	1.0E+12	1.07	-	2.7E+08	2.1E+8	1.9	○	○
実施例8	6.2E+12	1.07	-	7.7E+08	6.4E+8	1.6	○	○
実施例9	1.0E+13	1.07	11	1.6E+09	8.3E+8	0.7	○	○
比較例1	1.0E+12	1.01	109	2.9E+08	2.1E+8	2.7	○	×
比較例2	6.2E+12	1.01	137	7.5E+08	5.8E+8	2.4	○	×
比較例3	1.0E+13	1.01	163	1.7E+09	8.3E+8	1.4	○	×
比較例4	1.9E+13	1.05	56	2.2E+09	4.1E+9	3.2	×	×
比較例5	4.0E+13	1.05	231	4.1E+09	5.8E+9	3.7	×	×
比較例6	9.5E+13	1.05	336	4.6E+9	5.9E+9	3.9	×	×
比較例7	1.9E+13	1.08	24	2.8E+09	3.2E+9	2.7	×	○
比較例8	4.0E+13	1.08	51	3.4E+09	3.8E+9	2.5	×	○
比較例9	9.5E+13	1.08	73	4.7E+9	5.2E+9	2.2	×	○

【0081】

表3から明らかのように、本発明の条件を満たす実施例1～9では、窒素濃度が $1.0 \times 10^{12} \sim 1.0 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ と低く、ウェーハ直径に対するシリコン単結晶の直径比が1.02～1.07であった。これらのウェーハのOSF密度は100個/cm²以下であり、ウェーハ全面がCOP領域の結晶であった。またエピタキシャルシリコンウェーハの外周部領域のBMD密度のばらつき((Max-Min)/Ave)は3以下であり、スリップ耐性も良好となった。

【0082】

一方、比較例1～3では、シリコン単結晶の直径比が1.01と小さく、またOSF密度の最大値が109～163個/cm²と大きく、これによりR-OSF領域がシリコン単結晶の外周研削領域のみならずシリコンウェーハ内にも存在していたことが分かった。その影響でエピ欠陥を誘起しエピ品質を劣化させる結果となっている。

【0083】

比較例4～6は、窒素濃度が $1.9 \times 10^{13} \sim 9.5 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$

と高く、OSFリングの幅が広がったことにより、直径比が1.05のシリコン単結晶を丸め加工した場合であってもR-OSF領域を除外することができず、OSF密度が非常に高い結果であった。その影響でエピ欠陥を誘起する結果となっている。また、ウェーハ外周部領域におけるBMD密度も高くばらつきも3以上となり、スリップ耐性も劣化することが分かった。

【0084】

比較例7~9も窒素濃度が $1.9 \times 10^{13} \sim 9.5 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ と高濃度ではあるが、シリコン単結晶の直径比が1.08と大きいため、R-OSF領域を丸め加工で除外することができた。しかし、ウェーハの外周部領域におけるBMD密度も高く、ウェーハの外周部領域における残存酸素濃度が低いため、スリップ耐性に劣る結果となった。また、シリコン単結晶の直径が324mmも必要であり、ウェーハ製造時により多くのシリコン原料が必要であるため生産性が悪く、量産に向かない結果となった。

10

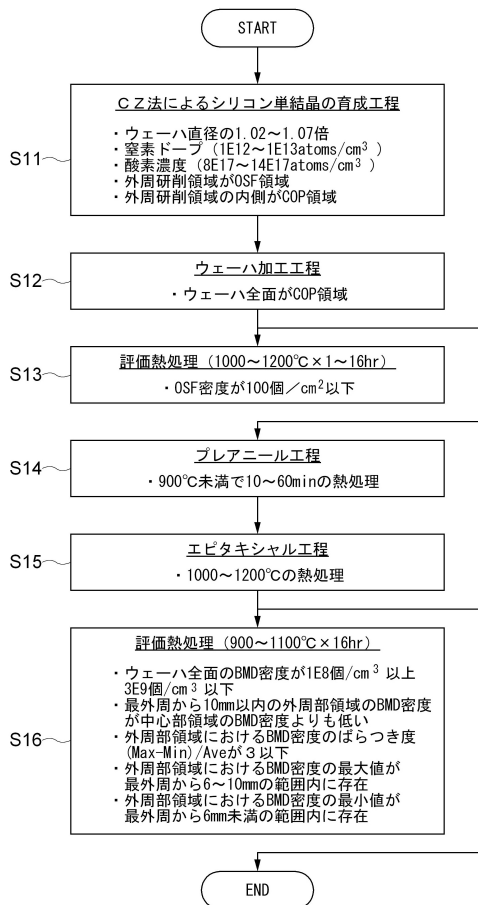
【符号の説明】

【0085】

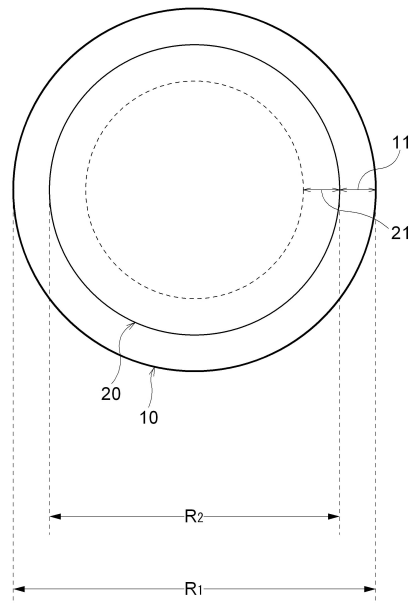
- 10 シリコン単結晶
- 11 シリコン単結晶の外周研削領域
- 20 シリコンウェーハ
- 21 シリコンウェーハの外周部領域
- 22 シリコンウェーハの中心部領域
- R₁ シリコン単結晶の直径
- R₂ シリコンウェーハの直径

20

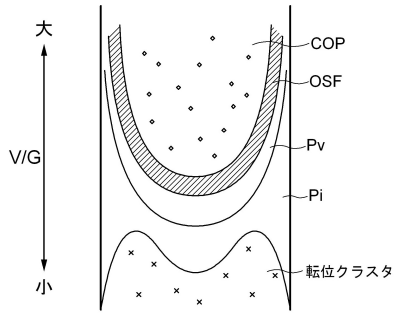
【図1】



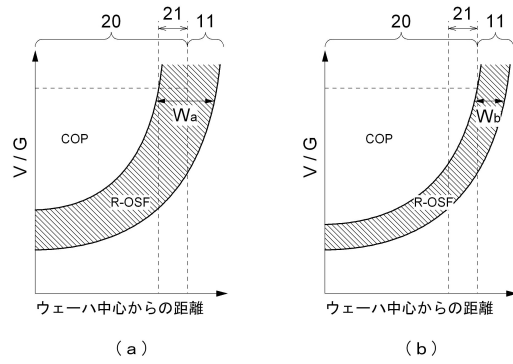
【図2】



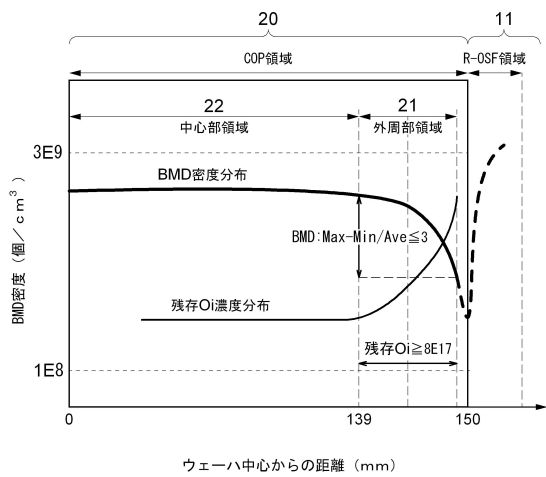
【 図 3 】



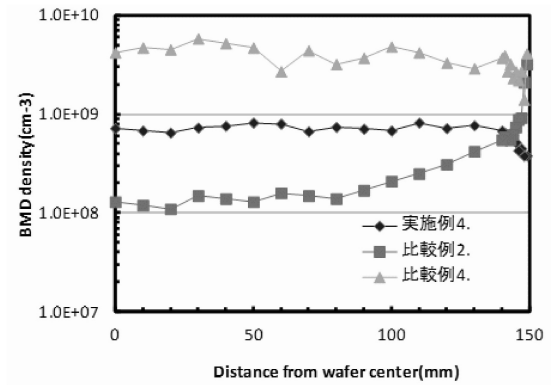
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 小野 敏昭
東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会社SUMCO内

審査官 桑原 清

(56)参考文献 特開2004-304095(JP,A)
特開2002-187794(JP,A)
特開2003-218120(JP,A)
特開2000-211995(JP,A)
国際公開第02/000969(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/322
H01L 21/20
H01L 21/205
C30B 29/06