

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3687456号
(P3687456)

(45) 発行日 平成17年8月24日(2005.8.24)

(24) 登録日 平成17年6月17日(2005.6.17)

(51) Int. Cl.⁷

F I

HO 1 L	21/322	HO 1 L	21/322	Y
C 3 O B	29/06	C 3 O B	29/06	B
HO 1 L	21/26	HO 1 L	21/324	X
HO 1 L	21/324	HO 1 L	21/26	F

請求項の数 3 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2000-5210 (P2000-5210)	(73) 特許権者	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12年1月5日(2000.1.5)	(74) 代理人	100085372 弁理士 須田 正義
(65) 公開番号	特開2001-189317 (P2001-189317A)	(72) 発明者	塩多 孝明 東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三 菱マテリアルシリコン株式会社内
(43) 公開日	平成13年7月10日(2001.7.10)	(72) 発明者	降屋 久 東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三 菱マテリアルシリコン株式会社内
審査請求日	平成14年12月11日(2002.12.11)	(72) 発明者	中田 嘉信 東京都千代田区大手町1丁目5番1号 三 菱マテリアルシリコン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリコンウェーハにIG効果を付与する熱処理方法及びこの方法によりIG効果が付与されたIGウェーハ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

酸素濃度 $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM) を有しかつ $[P_V]$ と $[P_I]$ の混合領域を有するように V/G を制御してチョクラルスキー法により引上げられたシリコン単結晶インゴットからシリコンウェーハを切り出して前記シリコンウェーハにIG効果を付与する熱処理方法であって、

前記インゴットから切り出されたシリコンウェーハを窒素、アルゴン、水素、酸素又はこれらの混合ガス雰囲気下、600~850 で120~250分保持する第1段熱処理を行った後、

水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で室温から1100~1250 まで3 /分~150 /秒の昇温速度で急速加熱し、1分~2時間保持する第2段熱処理を行うことを特徴とする熱処理方法。

但し、 $[P_V]$ は空孔型点欠陥が支配的に存在する領域 $[V]$ に隣接しかつ点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域 $[P]$ に属しCOP又はFPDを形成し得る空孔濃度以下の領域であり、 $[P_I]$ は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域 $[I]$ に隣接しかつ前記領域 $[P]$ に属し侵入型転位を形成し得る最低の格子間シリコン濃度未満の領域であり、Vはインゴットの引上げ速度であり、Gはシリコン融液とインゴットとの界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配である。

【請求項2】

酸素濃度 $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM) を有しか

10

20

つ [P_V] と [P_I] の混合領域を有するように V / G を制御してチョコラルスキー法により引上げられたシリコン単結晶インゴットからシリコンウェーハを切り出して前記シリコンウェーハに I G 効果を付与する熱処理方法であって、

前記インゴットから切り出されたシリコンウェーハを窒素、アルゴン、水素、酸素又はこれらの混合ガス雰囲気下で室温から 1150 ~ 1200 まで 10 / 秒 ~ 150 / 秒の昇温速度で加熱し、1150 ~ 1200 で 0 ~ 30 秒間保持する第 1 段熱処理を行った後、

水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で室温から 1100 ~ 1250 まで 3 / 分 ~ 100 / 秒の昇温速度で急速加熱し、1 分 ~ 2 時間保持する第 2 段熱処理を行うことを特徴とする熱処理方法。

但し、[P_V] は空孔型点欠陥が支配的に存在する領域 [V] に隣接しかつ点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域 [P] に属し C O P 又は F P D を形成し得る空孔濃度以下の領域であり、[P_I] は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域 [I] に隣接しかつ前記領域 [P] に属し侵入型転位を形成し得る最低の格子間シリコン濃度未満の領域であり、V はインゴットの引上げ速度であり、G はシリコン融液とインゴットとの界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配である。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の熱処理方法により I G 効果を付与された I G ウェーハであって、酸素析出物の形成されない層がウェーハ表面から 1 ~ 100 μm の深さにわたって形成され、前記層より深い部分に $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^8$ 個 / cm^2 の密度で酸素析出物を有することを特徴とする I G ウェーハ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、DRAM 等の半導体集積回路に適するシリコンウェーハを得るために、シリコンウェーハを加熱してイントリンシックゲッターリング (intrinsic gettering、以下、I G という。) 効果を付与する熱処理方法及びこの方法により I G 効果が付与された I G ウェーハに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体集積回路を製造する工程において、歩留りを低下させる原因として酸化誘起積層欠陥 (Oxidation Induced Stacking Fault、以下、O S F という。) の核となる酸素析出物の微小欠陥や、結晶に起因したパーティクル (Crystal Originated Particle、以下、C O P という。) や、或いは侵入型転位 (Interstitial-type Large Dislocation、以下、L D という。) の存在が挙げられている。O S F は、結晶成長時にその核となる微小欠陥が導入され、半導体デバイスを製造する際の熱酸化工程等で顕在化し、作製したデバイスのリーク電流の増加等の不良原因になる。また C O P は、鏡面研磨後のシリコンウェーハをアンモニアと過酸化水素の混合液で洗浄したときにウェーハ表面に出現する結晶に起因したピットである。このウェーハをパーティクルカウンタで測定すると、このピットも本来のパーティクルとともに光散乱欠陥として検出される。この C O P は電気的特性、例えば酸化膜の経時絶縁破壊特性 (Time Dependent dielectric Breakdown、T D D B)、酸化膜耐圧特性 (Time Zero Dielectric Breakdown、T Z D B) 等を劣化させる原因となる。また C O P がウェーハ表面に存在するとデバイスの配線工程において段差を生じ、断線の原因となり得る。そして素子分離部分においてもリーク等の原因となり、製品の歩留りを低くする。更に L D は、転位クラスタとも呼ばれたり、或いはこの欠陥を生じたシリコンウェーハをフッ酸を主成分とする選択エッチング液に浸漬するとピットを生じることから転位ピットとも呼ばれる。この L D も、電気的特性、例えばリーク特性、アイソレーション特性等を劣化させる原因となる。

【0003】

以上のことから、半導体集積回路を製造するために用いられるシリコンウェーハから O

10

20

30

40

50

S F、C O P及びL Dを減少させることが必要となっている。

このO S F、C O P及びL Dを有しない無欠陥のシリコンウェーハが特開平11-1393号公報に開示されている。この無欠陥のシリコンウェーハは、シリコン単結晶インゴット内での空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体がそれぞれ存在しないパーフェクト領域を[P]とするとき、パーフェクト領域[P]からなるインゴットから切出されたシリコンウェーハである。パーフェクト領域[P]は、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域[I]と、シリコン単結晶インゴット内で空孔型点欠陥が支配的に存在する領域[V]との間に介在する。このパーフェクト領域[P]からなるシリコンウェーハは、インゴットの引上げ速度をV(mm/分)とし、シリコン融液とインゴットとの界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配をG(/mm)とするとき、熱酸化処理をした際にリング状に発生するO S Fがウェーハ中心部で消滅するように、 V/G ($\text{mm}^2/\text{分}\cdot$)の値を決めて作られる。

10

【0004】

しかし、上記パーフェクト領域[P]からなるインゴットから切出されたシリコンウェーハは、O S F、C O P及びL Dを有しないけれども、デバイス製造工程の熱処理において、必ずしもウェーハ内部で酸素析出が起らず、これによりI G効果が十分に得られないおそれがある。I G能力が十分に備わっていないウェーハでは、デバイス工程で金属により汚染されると、接合リークや、金属不純物によるトラップ準位によるデバイスの動作不良等を生じ、これにより製品の歩留りが低下する。

従来、シリコン単結晶インゴットから切出された、研削研磨した直後のシリコンウェーハを500~800 で0.5~20時間保持してウェーハ内に酸素析出核を導入する工程と、この酸素析出核を含むシリコンウェーハを室温から800~1000 まで急速加熱して0.5~20分間保持する工程と、急速加熱して0.5~20分間保持したシリコンウェーハを更に室温まで放冷する工程と、放冷したシリコンウェーハを500~700 から2~10 /分の速度で800~1100 まで加熱しその温度で2~48時間保持する工程とを含むI G処理法が提案されている(特開平8-45945)。

20

【0005】

この処理法では、上記温度条件で急速加熱すると、ウェーハ表面は勿論、ウェーハ内部も一時的に熱平衡濃度以下になり、格子間シリコン原子が欠乏状態になり、酸素析出核が安定に成長し易い環境になる。同時にこの欠乏した格子間シリコン原子を補って安定状態になるために、ウェーハ表面では格子間シリコン原子の生成が起こり、生成した格子間シリコン原子はウェーハ内部に拡散し始める。格子間シリコン原子の欠乏状態にあったウェーハ表面付近は格子間シリコン原子の生成ですぐに飽和状態になり、酸素析出核は消滅を始める。しかし、ウェーハ表面で生成した格子間シリコン原子がウェーハ内部にまで拡散するにはある程度の時間を要するため、ウェーハ表面から内部に深く入るほど酸素析出核が成長し易い環境が長く続く。従って、ウェーハ表面に近いほど酸素析出核の密度は低く、またこの熱処理時間(0.5~20分)が長いほど酸素析出核、即ち欠陥の形成されない層(以下、D Z層という。)の厚さは大きくなる。また800~1000 の範囲で温度が高いほど、格子間シリコン原子の拡散係数が大きく、短時間でD Z層の厚さは大きくなる。

30

40

急速加熱し、室温に放冷した後で800~1100 まで再び加熱すると、急速加熱で生き残ったウェーハ内部の酸素析出核が成長して酸素析出物となり、安定なI G源となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記I G処理法は、I G源を生成するための前処理として、研削研磨した直後のシリコンウェーハを500~800 で0.5~20時間保持してウェーハ内に酸素析出核を導入する工程を必要とし、更に急速加熱を行った後でウェーハ内部の酸素析出核を酸素析出物に成長させるための熱処理を必要とした。このため、ウェーハの状態での熱処理回数が多い不具合があった。

50

本発明の目的は、点欠陥の凝集体が存在しないことに加えて、領域 $[P_V]$ と領域 $[P_I]$ の混合領域からなる酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM) のインゴットから切出されたシリコンウェーハであっても、IG効果を発揮するウェーハにIG効果を付与する熱処理方法を提供することにある。

本発明の別の目的は、この熱処理方法によりIG効果を付与されたIG能力の高いウェーハを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

請求項1に係る発明は、酸素濃度 $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM) を有しかつ $[P_V]$ と $[P_I]$ の混合領域を有するようにV/Gを制御してチョコラルスキー法により引上げられたシリコン単結晶インゴットからシリコンウェーハを切り出してシリコンウェーハにIG効果を付与する熱処理方法であって、インゴットから切り出されたシリコンウェーハを窒素、アルゴン、水素、酸素又はこれらの混合ガス雰囲気下、600～850で120～250分保持する第1段熱処理を行った後、水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で室温から1100～1250まで3/分～150/秒の昇温速度で急速加熱し、1分～2時間保持する第2段熱処理を行うことを特徴とする熱処理方法である。

但し、 $[P_V]$ は空孔型点欠陥が支配的に存在する領域 $[V]$ に隣接しかつ点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域 $[P]$ に属しCOP又はFPDを形成し得る空孔濃度以下の領域であり、 $[P_I]$ は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域 $[I]$ に隣接しかつ前記領域 $[P]$ に属し侵入型転位を形成し得る最低の格子間シリコン濃度未満の領域であり、Vはインゴットの引上げ速度であり、Gはシリコン融液とインゴットとの界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配である。

また請求項2に係る発明は、酸素濃度 $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM) を有しかつ $[P_V]$ と $[P_I]$ の混合領域を有するようにV/Gを制御してチョコラルスキー法により引上げられたシリコン単結晶インゴットからシリコンウェーハを切り出して前記シリコンウェーハにIG効果を付与する熱処理方法であって、インゴットから切り出されたシリコンウェーハを窒素、アルゴン、水素、酸素又はこれらの混合ガス雰囲気下で室温から1150～1200まで10/秒～150/秒の昇温速度で加熱し、1150～1200で0～30秒間保持する第1段熱処理を行った後、水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で室温から1100～1250まで3/分～100/秒の昇温速度で急速加熱し、1分～2時間保持する第2段熱処理を行うことを特徴とする熱処理方法である。

但し、 $[P_V]$ は空孔型点欠陥が支配的に存在する領域 $[V]$ に隣接しかつ点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域 $[P]$ に属しCOP又はFPDを形成し得る空孔濃度以下の領域であり、 $[P_I]$ は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域 $[I]$ に隣接しかつ前記領域 $[P]$ に属し侵入型転位を形成し得る最低の格子間シリコン濃度未満の領域であり、Vはインゴットの引上げ速度であり、Gはシリコン融液とインゴットとの界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配である。

【0008】

請求項1又は2に係る発明では、シリコンウェーハの酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM) である場合であって、シリコンウェーハが領域 $[P_V]$ と領域 $[P_I]$ の混合領域からなるときには、このシリコンウェーハを上記条件で第1段熱処理すると、結晶成長時に酸素析出核が導入されない領域 $[P_I]$ にも酸素析出核が発現し、同時に結晶成長時に酸素析出核が導入されている領域 $[P_V]$ ではその酸素析出核の密度が高まる。従って、上記第1段熱処理を行ったウェーハを更に水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で急速加熱して第2段熱処理を行うと、上記酸素析出核が酸素析出物 (Bulk Micro Defect、以下、BMDという。) に成長し、領域 $[P_V]$ と領域 $[P_I]$ の混合領域からなるウェーハであっても、ウェーハ全面にIG効果を有するようになる。

【 0 0 0 9 】

請求項 3 に係る発明は、請求項 1 又は 2 記載の熱処理方法により I G 効果を付与された I G ウェーハであって、酸素析出物の形成されない層 (D Z 層) がウェーハ表面から 1 ~ 1 0 0 μm の深さにわたって形成され、この D Z 層より深い部分に $2 \times 1 0^4 \sim 2 \times 1 0^8$ 個 / cm^2 の酸素析出物を有することを特徴とする I G ウェーハである。

請求項 1 又は 2 に係る熱処理方法により I G 効果を付与されたウェーハは、上記特性を有し、高い I G 効果を発揮する。

【 0 0 1 0 】

【 発明の実施の形態 】

本発明のシリコンウェーハは、C Z 法によりホットゾーン炉内のシリコン融液からインゴットをボロンコフ (Voronkov) の理論に基づいた所定の引上げ速度プロファイルで引上げた後、このインゴットをスライスして作製される。

一般的に、C Z 法によりホットゾーン炉内のシリコン融液からシリコン単結晶のインゴットを引上げたときには、シリコン単結晶における欠陥として、点欠陥 (point defect) と点欠陥の凝集体 (agglomerates : 三次元欠陥) が発生する。点欠陥は空孔型点欠陥と格子間シリコン型点欠陥という二つの一般的な形態がある。空孔型点欠陥は一つのシリコン原子がシリコン結晶格子で正常的な位置の一つから離脱したものである。このような空孔が空孔型点欠陥になる。一方、原子がシリコン結晶の格子点以外の位置 (インターstitial サイト) で発見されるとこれが格子間シリコン点欠陥になる。

【 0 0 1 1 】

点欠陥は一般的にシリコン融液 (溶融シリコン) とインゴット (固状シリコン) の間の接触面で形成される。しかし、インゴットを継続的に引上げることによって接触面であった部分は引上げとともに冷却し始める。冷却の間、空孔型点欠陥又は格子間シリコン型点欠陥は拡散により互いに合併して、空孔型点欠陥の凝集体 (vacancy agglomerates) 又は格子間シリコン型点欠陥の凝集体 (interstitial agglomerates) が形成される。言い換えれば、凝集体は点欠陥の合併に起因して発生する三次元構造である。

【 0 0 1 2 】

空孔型点欠陥の凝集体は前述した C O P の他に、L S T D (Laser Scattering Tomograph Defects) 又は F P D (Flow Pattern Defects) と呼ばれる欠陥を含み、格子間シリコン型点欠陥の凝集体は前述した L D と呼ばれる欠陥を含む。F P D とは、インゴットをスライスして作製されたシリコンウェーハを 3 0 分間セコエッチング (Secco etching、 $\text{HF} : \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 (0.15\text{mol/l}) = 2 : 1$ の混合液によるエッチング) したときに現れる特異なフローパターンを呈する痕跡の源であり、L S T D とは、シリコン単結晶内に赤外線照射したときにシリコンとは異なる屈折率を有し散乱光を発生する源である。

【 0 0 1 3 】

ボロンコフの理論は、欠陥の数が少ない高純度インゴットを成長させるために、インゴットの引上げ速度を V ($\text{mm} / \text{分}$)、ホットゾーン構造でインゴット - シリコン融液の接触面の温度勾配を G ($/ \text{mm}$) とするとき、 V / G ($\text{mm}^2 / \text{分} \cdot$) を制御することである。この理論では、図 1 に示すように、 V / G をよこ軸にとり、空孔型点欠陥濃度と格子間シリコン型点欠陥濃度を同一のたて軸にとって、 V / G と点欠陥濃度との関係を図式的に表現し、空孔領域と格子間シリコン領域の境界が V / G によって決定されることを説明している。より詳しくは、 V / G 比が臨界点以上では空孔型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成される反面、 V / G 比が臨界点以下では格子間シリコン型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成される。図 1 において、[I] は格子間シリコン型点欠陥が支配的であって、格子間シリコン型点欠陥が存在する領域 ($(V / G)_1$ 以下) を示し、[V] はインゴット内での空孔型点欠陥が支配的であって、空孔型点欠陥の凝集体が存在する領域 ($(V / G)_2$ 以上) を示し、[P] は空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域 ($(V / G)_1 \sim (V / G)_2$) を示す。領域 [P] に隣接する領域 [V] には O S F 核を形成する領域 [O S F] ($(V / G)_2 \sim (V / G)_3$) が存在する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

なお、COPやLDなどの点欠陥の凝集体は検出方法によって検出感度、検出下限値が異なる値を示すことがある。そのため、本明細書において、「点欠陥の凝集体が存在しない」の意味は、鏡面加工されたシリコン単結晶を無攪拌セコエッチングを施した後に光学顕微鏡により、観察面積とエッチング取り代との積を検査体積として観察した際に、フローパターン（空孔型欠陥）及び転位クラスタ（格子間シリコン型点欠陥）の各凝集体が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ の検査体積に対して1個欠陥が検出された場合を検出下限値（ 1×10^3 個 / cm^3 ）とすると、点欠陥の凝集体の数が上記検出下限値以下であることをいう。

上記パーフェクト領域 [P] は更に領域 [P₁] と領域 [P_V] に分類される。[P₁] は V / G 比が上記 (V / G)₁ から臨界点までの領域であり、[P_V] は V / G 比が臨界点から上記 (V / G)₂ までの領域である。即ち、[P₁] は領域 [I] に隣接し、かつ侵入型転位を形成し得る最低の格子間シリコン型点欠陥濃度未満の格子間シリコン型点欠陥濃度を有する領域であり、[P_V] は領域 [V] に隣接し、かつOSFを形成し得る最低の空孔型点欠陥濃度未満の空孔型点欠陥濃度を有する領域である。

10

【 0 0 1 5 】

本願請求項 1 又は 2 に係る発明の所定の引上げ速度プロファイルは、インゴットがホットゾーン炉内のシリコン溶融物から引上げられる時、温度勾配に対する引上げ速度の比 (V / G) が格子間シリコン型点欠陥の凝集体の発生を防止する第 1 臨界比 ((V / G)₁) 以上であって、空孔型点欠陥の凝集体をインゴットの中央にある空孔型点欠陥が支配的に存在する領域内に制限する第 2 臨界比 ((V / G)₂) 以下に維持されるように決められる。

20

【 0 0 1 6 】

この引上げ速度のプロファイルは、実験的に基準インゴットを軸方向にスライスすることで、又はこれらの技術を組み合わせることで、シミュレーションによって上記ボロンコフの理論に基づき決定される。即ち、この決定は、シミュレーションの後、軸方向にスライスされたインゴットを横断方向にスライスしてウェーハ状態で確認し、更にシミュレーションを繰り返すことによりなされる。シミュレーションのために複数種類の引上げ速度が所定の範囲で決められ、複数個の基準インゴットが成長される。図 2 に示すように、シミュレーションのための引上げ速度プロファイルは 1 . 2 mm / 分のような高い引上げ速度 (a) から 0 . 5 mm / 分の低い引上げ速度 (c) 及び再び高い引上げ速度 (d) に調整される。上記低い引上げ速度は 0 . 4 mm / 分又はそれ以下であることもあってもよく、引上げ速度 (b) 及び (d) での変化は線形的なものが望ましい。

30

異なった速度で引上げられた複数個の基準インゴットはそれぞれ別々に軸方向にスライスされる。最適の V / G が軸方向のスライス、ウェーハの確認及びシミュレーションの結果の相関関係から決定され、続いて最適な引上げ速度プロファイルが決定され、そのプロファイルでインゴットが製造される。実際の引上げ速度プロファイルは所望のインゴットの直径、使用される特定のホットゾーン炉及びシリコン融液の品質等を含めてこれに限定されない多くの変数に依存する。

【 0 0 1 7 】

引上げ速度を徐々に低下させて V / G を連続的に低下させたときのインゴットの断面図を描いてみると、図 3 に示される事実が分かる。図 3 には、インゴット内での空孔型点欠陥が支配的に存在する領域が [V] 、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域が [I] 、及び空孔型点欠陥の凝集体及び格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域が [P] としてそれぞれ示される。前述したようにパーフェクト領域 [P] は更に領域 [P₁] と領域 [P_V] に分類される。領域 [P_V] はパーフェクト領域 [P] の中でも凝集体にならない空孔型点欠陥が存在する領域であり、領域 [P₁] はパーフェクト領域 [P] の中でも凝集体にならない格子間シリコン型点欠陥が存在する領域である。

40

図 3 に示すように、インゴットの軸方向位置 P₁ は、中央に空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を含む。位置 P₂ は位置 P₁ に比べて中央に小さい空孔型点欠陥が支配的に存在

50

する領域を含む。位置 P_3 は中央に空孔型点欠陥もなく、縁部分に格子間シリコン型点欠陥もないので全てパーフェクト領域である。また位置 P_4 は格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在するリング領域及び中央のパーフェクト領域を含む。

【0018】

図3から明らかなように、位置 P_1 に対応したウェーハ W_1 は、中央に空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を含む。このウェーハ W_1 に対して、従来のOSF顕在化熱処理に従った、酸素雰囲気下、 1000 ± 30 の温度で2~5時間熱処理し、引続き 1130 ± 30 の温度で1~16時間熱処理すると、図4に示すようにウェーハ W_1 ではウェーハの周縁付近にOSFリングが発生する。このOSFリングで囲まれた空孔型点欠陥が支配的に存在する領域はCOPが出現する傾向がある。位置 P_4 に対応したウェーハ W_4 は、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在するリング及び中央のパーフェクト領域を含む。

10

【0019】

[1] 請求項1又は2に係るシリコンウェーハ

請求項1に係るウェーハは図3の位置 P_3 に対応したウェーハ W_3 であって、その平面図は図5に示される。ウェーハ W_3 は次に述べる熱処理によりこのウェーハ W_3 に所望の密度以上の酸素析出核を発生させるために、その酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18}$ atoms/cm³ (旧ASTM) であることが必要である。位置 P_3 に対応したウェーハ W_3 は前述したように中央に空孔型点欠陥の凝集体もないし、縁部分に格子間シリコン型点欠陥の凝集体もないので全てパーフェクト領域であって、領域 [P_V] と領域 [P_I] と

20

【0020】

[2] 請求項1に係る熱処理方法

請求項1に係る熱処理には第1段熱処理と第2段熱処理がある。第1段熱処理はウェーハ W_3 を窒素、アルゴン、水素、酸素又はこれらの混合ガス雰囲気下、 $600 \sim 850$ で120~250分保持することにより行われる。加熱は $600 \sim 850$ に維持された熱処理炉にウェーハを $50 \sim 100$ /分の速度で導入して行うことが好ましい。保持温度が 600 未満又は保持時間が30分未満の場合には、酸素析出核が十分に増加せず、次の第2段熱処理を行ったときに、IG効果を発揮するのに必要なBMD密度が得られない。保持温度が 850 を越える場合には、領域 [P_I] の酸素析出核密度が低いため、第2段熱処理を行ったときにIG効果を発揮するのに必要なBMD密度が得られない。保持温度が $600 \sim 850$ で保持時間が90分を越えかつ120分未満の場合には、酸素析出核形成に伴う格子間型点欠陥の過多によって、酸素析出核の析出量の抑制を生じる。保持時間が250分以上では生産性が低下する。

30

第2段熱処理は水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で室温から $1100 \sim 1250$ まで 3 /分~ 100 /秒の昇温速度で急速加熱し、1分~2時間保持する。この急速加熱は水素ガス又は水素ガスを含む雰囲気下で行われる。具体的には転位発生を伴わない酸素析出物を上記割合で含む室温のシリコンウェーハ W_3 を $1100 \sim 1250$ の温度に加熱した炉に素早く入れ、1分~2時間保持する。別の方法として、室温のシリコンウェーハ W_3 を高熱発生可能なランプを用いた高速加熱炉内に配置し、ランプスイッチを入れて熱射を開始し急速に $1100 \sim 1250$ の温度に加熱し、1分~2時間保持する。ここで急速加熱とは、 3 /分以上 100 /秒以下、好ましくは 30 /分以上 100 /秒以下の昇温速度で熱処理することをいう。ランプ照射で急速加熱する場合にはウェーハを均一に加熱できるため、予め加熱した炉に入れる場合と比較してウェーハがより反りにくいという利点がある。急速加熱して到達する最終温度が、 1100 未満ではウェーハ表面近傍における酸素析出物の消滅が不十分でDZ層を十分に確保できない。また 1250 を越えると、ウェーハ表面近傍の酸素析出物が消滅する前に転位が発生し、DZ層を十分に確保できない。また保持時間が1分未満ではウェーハ表面における酸素析出物を縮小させる時間が短すぎ、ウェーハ表面での酸素析出物の消滅が不十分でDZ層を十分に確保できない。また2時間を越えると、必要以上の厚さのDZ層が得られ、しかも生

40

50

産性に悪影響を及ぼす。好ましい保持時間は1分～1.5時間に決められる。

この急速加熱の後、シリコンウェーハを室温まで放冷すれば、ウェーハ表面から1～1000 μm の深さにわたってDZ層が形成され、このDZ層より深い部分のBMD密度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^8$ 個/cm³のIGウェーハが得られる。

【0021】

[3] 請求項2に係る熱処理方法

請求項2に係る熱処理にも第1段熱処理と第2段熱処理がある。第1段熱処理は急速加熱であって、ウェーハW₃を窒素、アルゴン、水素、酸素又はこれらの混合ガス雰囲気下で室温から1150～1200 まで10 /秒～150 /秒の昇温速度で加熱し、1150～1200 で0～30秒間保持することにより行われる。ここで保持時間が0秒 10
間とは、昇温のみを行い、保持しないことを意味する。加熱は室温に維持された熱処理炉、又は連続運転の場合には余熱で数百度になっている熱処理炉の内部にウェーハを導入し、10～150 /秒、好ましくは50～100 /秒の速度で1150～1200 まで昇温する。昇温速度が10 /秒未満では酸素析出核は増加するものの処理能力に劣り、実用的でない。また1150 未満では酸素析出核が十分に増加せず、次の第2段熱処理を行ったときに、IG効果を発揮するのに必要なBMD密度が得られない。保持温度が1200 を越えるか、又は保持時間が30秒を越える場合には、スリップが発生したり、熱処理の生産性が低下する不具合を生じる。また昇温速度が150 /秒を越えると、自重応力や面内温度分布のバラツキによりスリップが発生する不具合を生じる。

第2段熱処理は上記[2]の急速加熱と同じである。即ち、この第2段熱処理は水素ガス 20
又は水素ガスを含む雰囲気下で室温から1100～1250 まで3 /分～100 /秒の昇温速度で急速加熱し、1分～2時間保持する。

この急速加熱の後、シリコンウェーハを室温まで放冷すれば、上記[2]と同様にウェーハ表面から1～1000 μm の深さにわたってDZ層が形成され、このDZ層より深い部分のBMD密度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^8$ 個/cm³のIGウェーハが得られる。

【0022】

【実施例】

次に本発明の実施例を説明する。

<実施例1>

シリコン単結晶引上げ装置を用いて直径8インチのボロン(B)がドーブされたp型の 30
シリコンインゴットを引上げた。このインゴットは直胴部の長さが1200mm、結晶方位が(100)、抵抗率が約10 cm、酸素濃度が 1.0×10^{18} atoms/cm³(旧ASTM)であった。インゴットは、引上げ時のV/Gを0.24mm²/分 から0.18mm²/分 まで連続的に減少させながら、同一条件で2本育成した。そのうちの1本のインゴットは図3に示すように引上げ方向にインゴット中心を切断し、各領域の位置を調べ、別の1本から図3のP₃に対応する位置のシリコンウェーハW₃を切出し、試料とした。この例では試料となるウェーハW₃は、中心部に領域[P_V]を有し、その周囲に領域[P_I]を有し、更にその周囲に領域[P_V]を有する図5に示すウェーハW₃である。

インゴットから切出し鏡面研磨したこのウェーハW₂を窒素雰囲気下、700 で12 40
0分保持することにより、第1段熱処理を行った。次いで水素ガス10%とアルゴンガス90%の雰囲気下、室温から1100 まで約50 /分の昇温速度で加熱し、1100 で1分間保持することにより、第2段熱処理を行った。

【0023】

<実施例2>

第2段熱処理を1150 で1分間行った以外、実施例1と同様にウェーハW₃を熱処理した。

<実施例3>

第2段熱処理を1200 で1分間行った以外、実施例1と同様にウェーハW₃を熱処理した。

< 実施例 4 >

第 2 段熱処理を 1 2 5 0 で 1 分間行った以外、実施例 1 と同様にウェーハ W_3 を熱処理した。

【 0 0 2 4 】

< 比較評価その 1 >

実施例 1 ~ 4 の各ウェーハを劈開し、更にウェーハ表面をライト (Wright) エッチング液で選択エッチングを行い、光学顕微鏡の観察により、ウェーハ表面から深さ 3 5 0 μm における領域部分の BMD 面積密度を測定した。これらの結果を表 1 に示す。

表 1 から明らかなように、実施例 1 ~ 4 の 2 段熱処理により、各ウェーハは I G 効果に必要とされる BMD 密度が得られることが判った。

【 0 0 2 5 】

【 表 1 】

	熱処理条件		BMD 面積密度 ($/\text{cm}^2$)
	第 1 段熱処理	第 2 段熱処理	
実施例 1	700°C × 120分	1100°C × 1分	5.0×10^5
実施例 2	〃	1150°C × 1分	1.0×10^5
実施例 3	〃	1200°C × 1分	5.0×10^5
実施例 4	〃	1250°C × 1分	1.0×10^6

< 実施例 5 >

実施例 1 と同様に直径 8 インチの p 型のシリコンインゴットを引上げた。このインゴットは直胴部の長さが 1 2 0 0 mm、結晶方位が (1 0 0)、抵抗率が約 1 0 Ωcm 、酸素濃度が $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧 ASTM) であった。インゴットは、引上げ時の V / G を 0 . 2 4 $\text{mm}^2/\text{分}$ から 0 . 1 8 $\text{mm}^2/\text{分}$ まで連続的に減少させながら、同一条件で 2 本育成した。そのうちの 1 本のインゴットは図 3 に示すように引上げ方向にインゴット中心を切断し、各領域の位置を調べ、別の 1 本から図 3 の P_3 に対応する位置のシリコンウェーハ W_3 を切出し、試料とした。この例では試料となるウェーハ W_3 は、中心部に領域 [P_V] を有し、その周囲に領域 [P_I] を有し、更にその周囲に領域 [P_V] を有する図 5 に示すウェーハ W_3 である。

インゴットから切出し鏡面研磨したこのウェーハ W_2 を窒素雰囲気下、室温から 1 1 5 0 まで約 5 0 / 秒の昇温速度で加熱し、1 1 5 0 で保持することなく第 1 段熱処理を行った。次いで水素ガス 1 0 % とアルゴンガス 9 0 % の雰囲気下、室温から 1 2 0 0 まで約 5 0 / 分の昇温速度で加熱し、1 2 0 0 で 1 分間保持することにより、第 2 段熱処理を行った。

【 0 0 2 6 】

< 実施例 6 >

第 1 段熱処理で 3 0 秒間保持した以外、実施例 5 と同様にウェーハ W_3 を熱処理した。

< 実施例 7 >

1 2 0 0 で保持することなく第 1 段熱処理を行った以外、実施例 5 と同様にウェーハ W_3 を熱処理した。

< 実施例 8 >

第 1 段熱処理で 5 秒間保持した以外、実施例 7 と同様にウェーハ W_3 を熱処理した。

< 実施例 9 >

10

20

30

40

50

第1段熱処理で30秒間保持した以外、実施例7と同様にウェーハW₃を熱処理した。

【0027】

<比較評価その2>

実施例5~9の各ウェーハを劈開し、実施例1と同様にウェーハ表面から深さ350μmにおける領域部分のBMD面積密度を測定した。これらの結果を表2に示す。

表2から明らかなように、実施例5~9の2段熱処理により、各ウェーハはIG効果に必要とされるBMD密度が得られ、特に第1段熱処理が1200以上の実施例7~9ではより高いBMD密度が得られることが判った。

【0028】

【表2】

	熱処理条件		BMD面積密度 (/cm ²)
	第1段熱処理	第2段熱処理	
実施例5	1150°C×0秒	1200°C×1分	5.0×10 ⁵
実施例6	1150°C×30秒	〃	1.0×10 ⁵
実施例7	1200°C×0秒	〃	1.0×10 ⁶
実施例8	1200°C×5秒	〃	8.0×10 ⁵
実施例9	1200°C×30秒	〃	5.0×10 ⁵

10

20

【0029】

【発明の効果】

以上述べたように、請求項1又は2に係る発明によれば、点欠陥の凝集体が存在しないことに加えて、領域[P_V]と領域[P_I]の混合領域からなる酸素濃度が $0.8 \times 10^{18} \sim 1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ (旧ASTM)のシリコンウェーハであっても、IG効果を発揮するウェーハを得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 ボロンコフの理論に基づいた、V/G比が臨界点以上では空孔豊富インゴットが形成され、V/G比が臨界点以下では格子間シリコン豊富インゴットが形成されることを示す図。

【図2】 所望の引上げ速度プロファイルを決定するための引上げ速度の変化を示す特性図。

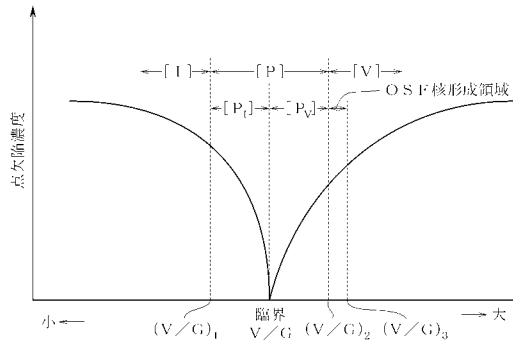
【図3】 本発明による基準インゴットの空孔豊富領域、格子間シリコン豊富領域及びパーフェクト領域を示すX線トポグラフィの概略図。

40

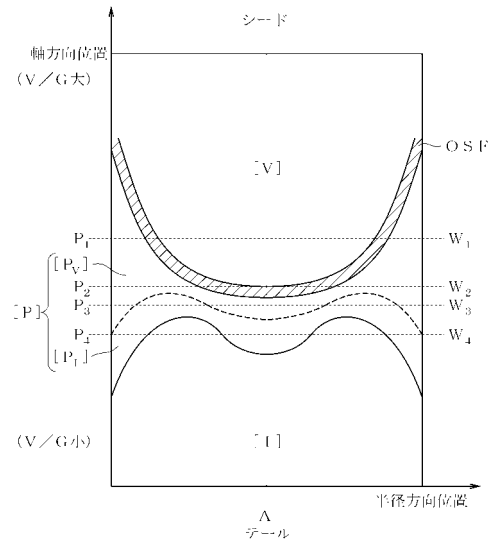
【図4】 図3の位置P₁に対応するシリコンウェーハW₁にOSFリングが出現する状況を示すウェーハW₁の平面図。

【図5】 図3の位置P₃に対応するシリコンウェーハW₃の中心部と周辺部に領域[P_V]が現れ、これらに領域[P_I]が現れる状況を示すウェーハW₃の平面図。

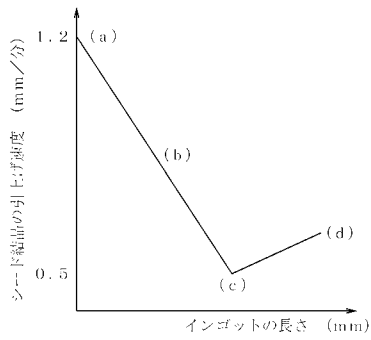
【 図 1 】



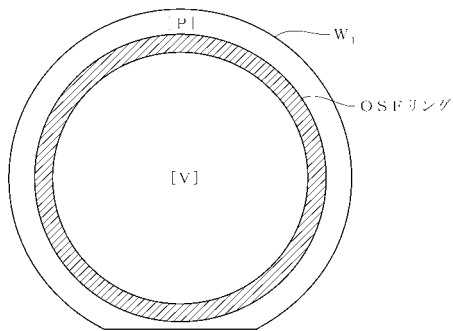
【 図 3 】



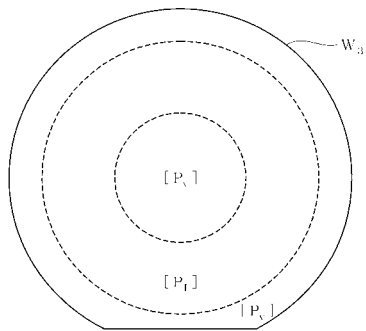
【 図 2 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

審査官 宮崎 園子

(56)参考文献 国際公開第98/045509(WO, A1)
欧州特許出願公開第00962556(EP, A1)
特開平08-045945(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
H01L 21/322