

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5719611号
(P5719611)

(45) 発行日 平成27年5月20日(2015.5.20)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 L 21/02 (2006.01)	HO 1 L 27/12
HO 1 L 27/12 (2006.01)	HO 1 L 27/12
HO 1 L 21/265 (2006.01)	HO 1 L 21/265
HO 1 L 21/322 (2006.01)	HO 1 L 21/322
HO 1 L 21/324 (2006.01)	HO 1 L 21/324

請求項の数 3 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2011-12518 (P2011-12518)
 (22) 出願日 平成23年1月25日 (2011.1.25)
 (65) 公開番号 特開2011-176293 (P2011-176293A)
 (43) 公開日 平成23年9月8日 (2011.9.8)
 審査請求日 平成25年11月11日 (2013.11.11)
 (31) 優先権主張番号 特願2010-14880 (P2010-14880)
 (32) 優先日 平成22年1月26日 (2010.1.26)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 花岡 一哉
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 津屋 英樹
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 小松 良寛
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内

審査官 右田 勝則

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 SOI 基板の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の非酸化性雰囲気、または酸素と窒素の混合ガスの雰囲気下で、第1の半導体ウエハに1100以上第1の熱処理を行い、第2の半導体ウエハを形成する第1の工程と、

前記第2の半導体ウエハの表面への絶縁層の形成、および加速されたイオンの照射による前記第2の半導体ウエハ中への脆化領域の形成を行う第2の工程と、

前記絶縁層を介して、前記第2の半導体ウエハとベース基板とを貼り合わせる第3の工程と、

前記脆化領域で前記第2の半導体ウエハを分割するための前記第2の半導体ウエハへの第2の熱処理を行う工程であり、前記絶縁層を介して前記ベース基板に固定された半導体層と、前記半導体層が分離された第3の半導体ウエハとを形成する第4の工程と、

前記第3の半導体ウエハの表面を平坦化し、第4の半導体ウエハを形成する第5の工程と、

前記第4の半導体ウエハを前記第2の半導体ウエハに用いて、前記第2乃至前記第5の工程を1回以上行う第6の工程と、

前記第6の工程後の前記第4の半導体ウエハに、第2の非酸化性雰囲気下で1100以上の第3の熱処理を行い、第5の半導体ウエハを形成する第7の工程と、

前記第5の半導体ウエハを前記第2の半導体ウエハに再利用して、前記第2乃至前記第5の工程を1回行う第8の工程と、有し、

10

20

前記第1乃至第5の工程を順次1回行った後、前記第6乃至第8の工程を繰り返すことを持つ特徴とするSOI基板の作製方法。

【請求項2】

第1の非酸化性雰囲気、または酸素と窒素の混合ガスの雰囲気下で、第1の半導体ウエハに1100以上的第1の熱処理を行い、第2の半導体ウエハを形成する第1の工程と、

前記第2の半導体ウエハの表面への絶縁層の形成、および加速されたイオンの照射による前記第2の半導体ウエハ中への脆化領域の形成を行う第2の工程と、

前記絶縁層を介して、前記第2の半導体ウエハとベース基板とを貼り合わせる第3の工程と、

前記脆化領域で前記第2の半導体ウエハを分割するための前記第2の半導体ウエハへの第2の熱処理を行う工程であり、前記ベース基板、前記絶縁層および前記第2の半導体ウエハから分割された半導体層を含むSOI基板と、前記半導体層が分離された第3の半導体ウエハとを形成する第4の工程と、

前記第3の半導体ウエハの表面を平坦化して、第4の半導体ウエハを形成する第5の工程と、

前記第4の半導体ウエハの結晶欠陥を測定し、前記測定結果に基づいて前記第4の半導体ウエハの良否を判定する第6の工程と、

前記第6の工程で良と判定された前記第4の半導体ウエハを前記第2の半導体ウエハとして前記第2の工程で再利用する第7の工程と、

前記第6の工程で不良と判定された前記第4の半導体ウエハに、第2の非酸化性雰囲気中で1100以上の第4の熱処理を行い、第5の半導体ウエハを形成する第8の工程と、

前記第5の半導体ウエハを前記第2の半導体ウエハとして前記第2の工程で再利用する第9の工程と、を有するSOI基板の作製方法。

【請求項3】

請求項2において、

前記第6の工程において、前記結晶欠陥の測定として、前記第4の半導体ウエハのライフタイムの測定を行うSOI基板の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書では、絶縁層を介して半導体層が設けられているSOI(Silicon On Insulator)構造の基板の作製方法に関する技術を説明する。また、このSOI基板を作製する際に使用された、使用済み半導体ウエハの再生方法に関する技術についても説明する。

【背景技術】

【0002】

絶縁層を介して半導体層が設けられているSOI構造の半導体基板(以下、SOI基板という)は、低消費電力かつ高速動作可能なLSIの作製に適した基板として注目されている。

【0003】

SOI基板の作製方法の1つに、水素イオン注入剥離法が知られている(例えば、特許文献1参照)。特許文献1に記載されているように、水素イオン注入剥離法では、SOI基板は2枚のバルク状シリコンウエハから作製される。2枚のバルク状シリコンウエハのうち、一方がボンド基板(ドナー基板ということもある)となり、他方がベース基板となる。ボンド基板は半導体層を供給する基板であり、ベース基板はSOI基板本体を構成する。以下、水素イオン注入剥離法によるSOI基板の作製方法の概要を説明する。

【0004】

ボンド基板に、熱酸化法により酸化膜を形成した後、水素イオンを照射してその内部に

10

20

30

40

50

微小気泡層を形成する。しかる後、この酸化膜を介して、ボンド基板をベース基板に密着させて、2枚の基板を接合する。その後、熱処理を加えて、微小気泡層でボンド基板を分割することで、ベース基板に熱酸化膜（絶縁層）を介して、シリコン層が形成される。シリコン層はボンド基板から分割された半導体層である。さらに、ベース基板側には、シリコン層とベース基板との結合を強固にするための熱処理などが施され、SOI基板が完成する。また、水素イオン注入剥離法では、シリコン層を分離した後のボンド基板を再利用することが可能であり、使用済みのボンド基板は再生処理され再利用される。

【0005】

しかしながら、ボンド基板には、その製法上、酸素が固溶しているため、SOI基板作製過程での熱処理（代表的には、熱酸化膜形成工程、およびボンド基板の分割工程における熱処理）によって、酸素析出物、転位および積層欠陥などの酸素に起因する結晶欠陥が、半導体層を構成するボンド基板の表面近傍に形成される。したがって、ボンド基板を再利用するには、この表面近傍の結晶欠陥を低減する必要がある。10

【0006】

例えば、非特許文献1には、100%水素ガス雰囲気下で1200℃のアニールにより、CZシリコンウエハの表面近傍の結晶欠陥を低減できると記載されている。

【0007】

また、特許文献2-4は、ボンド基板の再利用に関して記載されている。

【0008】

特許文献2には、ボンド基板の利用の回数を多くするために、CZ法により育成され、酸素濃度が $5 \times 10^{17} - 14 \times 10^{17}$ atoms/cm³である空孔型点欠陥の凝集体、および格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないインゴットをスライスして形成されたシリコンウエハをボンド基板に用いることが記載されている。20

【0009】

特許文献3には、シリコン層が分離された後のボンド基板に、1150-1300℃で急速熱処理をすることで、ボンド基板の酸素析出物を低減できることが記載されている。

【0010】

特許文献4には、ボンド基板として、全面がN領域からなる低欠陥CZウエハを用いること、ボンド基板の再生処理として、ボンド基板に施された熱酸化膜形成工程よりも高い温度でRTA処理を行うことが記載されている。30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開平5-211128号公報

【特許文献2】特開2006-294737号公報

【特許文献3】特開2007-251129号公報

【特許文献4】特開2008-21892号公報

【非特許文献】

【0012】

【非特許文献1】鹿島一日児、平野均「高温水素アニール処理による次世代LSI用ウエハ」、応用物理、1994年、第63巻、第11号、p.1114-111740

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

SOI基板の品質を維持して、ボンド基板を再利用するためには、ボンド基板の再生処理として、SOI基板の作製過程で析出した酸素に起因する結晶欠陥を消滅することが必要になる。特許文献3、4では、このような結晶欠陥を消滅させるために、1150℃以上の高温の熱処理を行っている。よって、ボンド基板には高温の熱処理が繰り返されるため、使用回数が増えるほどボンド基板は破損しやすくなる。また、高温の熱処理は、基板を炉に入れてから基板の温度を一定温度まで上昇させる時間、基板を炉から取り出すまで50

の冷却時間を含めると、24時間以上要する場合がある。

【0014】

そこで、本明細書では、再生処理におけるボンド基板の熱処理回数を減らすための技術を開示する。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本明細書に開示される発明の一形態は、非酸化性雰囲気下で、第1の半導体ウエハに100以上第1の熱処理を行い、第2の半導体ウエハを形成する第1の工程と、第2の半導体ウエハの表面への絶縁層の形成、および加速されたイオンの照射による第2の半導体ウエハ中への脆化領域の形成を行う第2の工程と、絶縁層を介して、第2の半導体ウエハとベース基板とを貼り合わせる第3の工程と、脆化領域で第2の半導体ウエハを分割するための第2の半導体ウエハへの第2の熱処理を行う工程であり、絶縁層を介してベース基板に固定された半導体層と、半導体層が分離された第3の半導体ウエハとを形成する第4の工程とを有するSOI基板の作製方法である。
10

【0016】

上記形態において、非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、または希ガスと水素ガスとの混合雰囲気である。希ガスとしては、代表的にはアルゴンおよびヘリウムである。また、非酸化性雰囲気の代わりに、酸素と窒素の混合ガス雰囲気としてもよい。

【0017】

半導体ウエハの酸素濃度は 2×10^{18} atoms/cm³以下が好ましい。
20

【0018】

なお、本明細書に記載される発明は、実施の形態、実施例および図面の記載内容に限定されるものではなく、本明細書等の書類で開示される発明の趣旨から逸脱することなく、その形態および詳細を様々に変更し得ることは当業者にとって自明である。

【発明の効果】

【0019】

SOI基板を作製する前に、アルゴンガス雰囲気などの非酸化性雰囲気下で、または酸素と窒素の混合ガス雰囲気下で、1100以上の熱処理を半導体ウエハに対して行うことで、半導体ウエハの再生処理に1100以上の高温の熱処理を再生処理の度に行う必要がなくなる。
30

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の一態様に係るSOI基板の作製方法の構成例を示すフローチャート。

【図2】A-H：本発明の一態様に係るSOI基板の作製方法の一例を示す断面図。

【図3】A-E：本発明の一態様に係るSOI基板の作製方法の一例を示す断面図。

【図4】赤外レーザ散乱トモグラフィ装置によるCZ単結晶シリコンウエハ断面の観察像。
40

【図5】A：光学顕微鏡の観察領域を示すSOI基板の上面図。B：SOI基板の作製回数に対する、SOI基板の単結晶シリコン層の光学顕微鏡の暗視野像における輝点の数を示すグラフ。C：比較例の同グラフ。

【図6】赤外レーザ散乱トモグラフィ装置によるMCZ単結晶シリコンウエハ断面の観察像。

【図7】SOI基板の作製回数に対する、実施例3のSOI基板の単結晶シリコン層の光学顕微鏡の暗視野像における輝点の数を示すグラフ。A：熱処理時間2時間、B：8時間、C：16時間。

【図8】本発明の一態様に係るSOI基板の作製方法の構成例を示すフローチャート。

【図9】SOI基板の作製回数に対する、実施例4のSOI基板の単結晶シリコン層の光学顕微鏡の暗視野像における輝点の数を示すグラフ。

【図10】SOI基板の作製回数に対する、実施例5のSOI基板の単結晶シリコン層の光学顕微鏡の暗視野像における輝点の数を示すグラフ。
50

【図11】S O I 基板の作製回数に対する、実施例6のC Z 単結晶シリコンウエハのライフタイムを示すグラフ。

【図12】S O I 基板の作製回数に対する、実施例7のM C Z 単結晶シリコンウエハのライフタイムを示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、図面を用いて、本明細書で開示される発明の実施の形態および実施例について説明する。なお、本明細書で参照される図面において、異なる図面間で同じ符号が付されている構成要素は、同一の構成要素を表している。そのため、このような構成要素に関する説明は、重複するため、省略することがある。

10

【0022】

ここでは、S O I 基板の作製方法について説明する。本実施の形態のS O I 基板の作製方法では、ボンド基板となる半導体ウエハに対して、まず、非酸化性雰囲気下で半導体ウエハに1100以上 の熱処理を行う。しかる後、半導体ウエハに絶縁層および脆化領域を形成する。そして、絶縁層を介して半導体ウエハとベース基板とを貼り合わせ、脆化領域で半導体ウエハを分割し、半導体層、絶縁層およびベース基板を有するS O I 基板を作製する。

【0023】

さらに、ここでは、分割後の半導体ウエハを再利用するための再生処理についても説明する。本実施の形態では、再生処理は少なくとも、半導体層が分離された表面を平坦化するための工程を含む。また、半導体ウエハをN回（Nは2以上の整数）S O I 基板の作製に使用する度に、再生処理として、平坦化処理に加えて、1100以上の熱処理を半導体ウエハに施す。つまり、高温の熱処理は半導体ウエハを再利用する度に行うのではなく、再生処理のN回に1回行われる。

20

【0024】

< S O I 基板作製方法のフローチャート >

図1は、本実施の形態のS O I 基板の作製方法の一例を示すフローチャートであり、ボンド基板として半導体ウエハを繰り返し使用する場合の再生処理工程を含んだフローチャートである。

【0025】

30

まず、ステップS 1に示すように、ボンド基板となるバルク状の半導体ウエハを用意する。半導体ウエハとしては、例えば、シリコンウエハ、ゲルマニウムウエハ、シリコンゲルマニウムウエハなど、第14族元素でなる半導体ウエハを挙げることができる。S O I 基板から高性能な集積回路を形成するためには、半導体ウエハは単結晶半導体ウエハが好ましい。また、半導体ウエハはF Z 法（フローティングゾーン法）で作製されたインゴットをスライスしたF Z 半導体ウエハ、C Z 法（チョクラルスキーフ法）で作製されたインゴットをスライスしたC Z 半導体ウエハを用いることができる。また、C Z 半導体ウエハには、M C Z 法（M a g n e t i c f i e l d a p p l i e d C Z 法）で作製されたインゴットをスライスしたM C Z 半導体ウエハがある。M C Z 法とはC Z 法の一種であり、半導体の融液に磁場を印加することで、融液の対流を抑制して半導体の結晶成長を制御する技術である。

40

【0026】

半導体ウエハに対してS O I 基板作製プロセス（ステップS 4 - S 7）を行う前に、半導体ウエハに対して、非酸化性雰囲気下での熱処理を行う（ステップS 2）。この熱処理は、半導体ウエハ中の酸素を外方拡散させて、表面近傍を無欠陥層（D Z、D e n u d e d Z o n e）とするためである。また、この熱処理によって、半導体ウエハ内部には、半導体ウエハ内部で過飽和の酸素が酸化物となって析出し、微小な結晶欠陥を生成する。このような酸素析出物による微小な欠陥はB M D（B u l k M i c r o D e f e c t）と呼ばれている。半導体ウエハ内部に形成されたB M DはS O I 基板の作製過程で金属元素のゲッタリングシンクとして機能させることができる。

50

【0027】

なお、本明細書では、DZとは完全な無欠陥層のことではなく、BMDが存在しない領域の意味で使用される。

【0028】

ステップS2での熱処理温度は、酸素の外方拡散が生じる温度であり、1100以上が好ましく、1200以上がより好ましい。加熱温度の上限は半導体ウエハが変形しない温度であり、シリコンの融点1400を考慮して、熱処理温度は1100以上1300以下が好ましく、1200以上1300以下がより好ましい。

【0029】

この熱処理は、バッチ式の加熱炉（拡散炉なども含む）で行うことができる。バッチ式の加熱炉は、一度に多数の基板を処理することができ、また温度の制御性が良い。加熱炉での処理時間（被処理物の温度を処理温度で維持する時間）は、少なくとも1時間とする。加熱時間が短いと酸素の外方拡散が十分に行われず、半導体ウエハ表面近傍の酸素濃度が高くなるからである。熱処理の効果と生産性を考慮すると、処理時間は1時間以上24時間以下が適当であり、6時間以上20時間以下がより好ましい。

【0030】

また、非酸化性雰囲気とは、加熱処理によって半導体ウエハに酸化膜を成長させない雰囲気であり、水素および/または希ガスである雰囲気とすればよい。具体的には、水素100%雰囲気、希ガス100%雰囲気、水素ガスと希ガスの混合ガス雰囲気である。希ガスとしては、代表的には、HeおよびArである。また、コスト面、安全性、雰囲気の制御性の点から、非酸化性雰囲気としてはArガス100%雰囲気が好ましい。

【0031】

また、ステップS2においては、非酸化性雰囲気の代わりに、N₂およびO₂の混合ガス雰囲気とすることができます。この場合、N₂に対しO₂が1-10体積%混合された雰囲気とすることが好ましい。窒素ガス100%である非酸化性雰囲気としないのは、窒素ガス100%雰囲気中でシリコンなどの半導体ウエハを1100以上で熱処理すると、半導体ウエハの表面が荒れてしまうからである。そこで、酸素ガスを窒素ガスに混合することで、半導体ウエハに酸化物を形成しその表面を保護する。

【0032】

ステップS2において、新品の半導体ウエハにこの熱処理を行うことで、再利用するたびに高温の熱処理を半導体ウエハに施すことが不要になる。よって、高温の熱処理の回数が少なくなるため、半導体ウエハの機械的強度が低下することを抑えることができる。したがって、ステップS2により、SOI基板作製のコスト削減、生産性の向上につながる。

【0033】

また、ステップS2の熱処理を行うことで、SOI基板の半導体層を初期の半導体ウエハよりも酸素が低減されたDZから形成することが可能になる。したがって、SOI基板からトランジスタなどの半導体装置を作製する過程で、半導体層にBMDが発生することが抑制されるため、信頼性の高い半導体装置を作製することが可能である。

【0034】

なお、ステップS2において半導体ウエハの表面領域にDZをより確実に形成するには、ステップS1において、酸素濃度が 2×10^{-8} atoms/cm³以下の半導体ウエハを準備するとよい。このような半導体ウエハとして、例えば、市販のCZ単結晶ウエハが挙げられる。

【0035】

半導体ウエハの酸素濃度を少なくすることで、半導体ウエハ表面近傍で酸素に起因する結晶欠陥の発生が抑制されるため、ステップS2でDZをより確実に形成でき、またDZを厚くすることが容易になる。DZを確実に形成することは、SOI基板の歩留まりの向上につながる。また、DZを厚くすることは、半導体ウエハの再利用回数に対して、再生処理のための高温の熱処理の回数を少なくすること、および処理時間を短縮することにつ

10

20

30

40

50

ながる。

【0036】

また、半導体ウエハに対する熱処理の繰り返しによって、半導体ウエハ中のBMDが成長して、転位、積層欠陥などの結晶欠陥になることもある。よって、半導体ウエハの酸素濃度を低くすることは、BMDに起因する結晶欠陥の発生を抑制することができ、半導体ウエハの利用回数の増加、およびSOI基板の半導体層の品質向上などにつながる。

【0037】

よって、ステップS1では、酸素濃度が 2×10^{18} atoms/cm³を越えない半導体ウエハを準備するとよい。半導体ウエハの酸素濃度は 1.8×10^{18} atoms/cm³以下が好ましく、 1.4×10^{18} atoms/cm³以下がより好ましい。酸素濃度が 1.4×10^{18} atoms/cm³以下の半導体ウエハとしては、例えば、MCZ単結晶シリコンウエハなどがある。10

【0038】

半導体ウエハの酸素濃度は、SIMS(二次イオン質量分析法)や赤外分光法(Infra-red Absorption Spectroscopy)により測定することができる。本明細書においては、半導体ウエハの酸素濃度は赤外分光法で測定することにする。赤外分光法は、非破壊で半導体ウエハ全体の酸素濃度を算出することができる方法であり、単結晶シリコンウエハの場合、測定された赤外吸収スペクトルから、酸素濃度 $O_{\text{c}}_{\text{onc}}$ を算出するには、下記の式(1)および式(2)を用いる。20

【0039】

$$I = I_0 \exp(-\alpha_1 t) \quad \dots (1)$$

$$O_{\text{c}}_{\text{onc}} = \alpha_1 \times K \quad \dots (2)$$

【0040】

式(1)において、 I_0 は赤外吸収スペクトルのバックグラウンドの透過率であり、 I は 1106 cm^{-1} ($9.1\mu\text{m}$)付近に現れるピークの透過率であり、 α_1 は同ピークの吸収係数であり、 t は単結晶シリコンウエハの厚さである。式(2)において、 K は定数である。ここでは定数KとしてASTM(American Society for Testing Materials)規格の値 $4.81 \times 10^{17} [\text{cm}^{-2}]$ (ASTM-121)を用いる。30

【0041】

式(1)から吸収係数 α_1 を求め、そして、式(2)に示すように吸収係数 α_1 に定数Kを乗じることで、酸素濃度 $O_{\text{c}}_{\text{onc}}$ を求めることができる。なお、赤外吸収スペクトルのバックグラウンドの影響を除去するためのレファレンスとして用いた試料が空気である場合、式(2)の α_1 に $\alpha_2 = \alpha_1 - 0.4 [\text{cm}^{-1}]$ を代入して、酸素濃度 $O_{\text{c}}_{\text{onc}}$ を求める。

【0042】

次に、1回目のSOI基板の作製工程を行う。ステップS4-S7はSOI基板作製の工程である。図1のフローチャートにおいて、kは、ステップS1、S2で用意された半導体ウエハを用いてSOI基板の作製工程を実施した回数を示す。よって、ステップS2を行った後のステップS4においては、 $k=0$ となる(ステップS3)。図1においては、SOI基板の作製工程をN回(Nは、2以上の整数)ごとに1回、再生処理として半導体ウエハを熱処理して、半導体ウエハ表面近傍の結晶欠陥を低減する。40

【0043】

ステップS4は半導体ウエハに対する処理であり、半導体ウエハに絶縁層および脆化領域を形成する工程である。

【0044】

半導体ウエハの少なくともベース基板との貼り合わせ面に絶縁層を形成する。この絶縁層は単層でも複数層でもよい。この絶縁層を構成する層として、例えば、酸化シリコン層、窒化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化酸化シリコン層などを形成することができる。また、これらの絶縁層は、化学気相法(CVD法)、スパッタ法、原子層エピタキシ50

法（A L E法）で形成することができる。また、半導体ウエハの酸化処理および／または窒化処理により絶縁層を構成する層を形成することができる。

【0045】

脆化領域は、運動エネルギーを有するイオンを半導体ウエハに照射することで形成することができる。脆化領域の形成には、イオン注入装置、イオンドーピング装置を用いることができる。

【0046】

ステップS4において、絶縁層の形成と脆化領域の形成の順序は限定されない。なお、脆化領域の形成時の金属による汚染を防ぐため、絶縁層を少なくとも1層形成した後に、イオンを照射することが好ましい。例えば、HClおよび酸素含有雰囲気で半導体ウエハを熱酸化して、酸化シリコン層を半導体ウエハに形成した後、酸化シリコン層を介して水素イオンを半導体ウエハに照射して、脆化領域を作製すればよい。また、脆化領域を形成した後、酸化シリコン層上に、CVD法などにより酸化窒化シリコン層などの2層目の絶縁層を形成してもよい。10

【0047】

ベース基板の準備を行う（ステップS5）。ベース基板には、絶縁体でなる基板、バルク状の半導体ウエハを用いることができる。絶縁体でなる基板としては、ガラス基板、石英基板、セラミック基板、およびサファイア基板等が挙げられる。なお、ガラス基板の材料としては、アルミニノシリケートガラス、アルミニノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラスなどが挙げられる。また、ベース基板に適用される半導体ウエハとしては、例えば、シリコンウエハ、ゲルマニウム基板、シリコンゲルマニウム基板など、第14族元素でなる半導体ウエハを挙げることができる。もちろん、ベース基板にはSOI基板の作製工程のプロセス温度に耐えうる基板を選択する。20

【0048】

なお、本明細書において、酸化窒化物とは窒素原子よりも酸素原子の数が多い物質とし、窒化酸化物とは酸素原子より窒素原子の数が多い物質とする。

【0049】

また、ステップS5において、必要に応じてベース基板上に単層または複数層の絶縁層が形成される。この絶縁層を構成する層として、例えば、酸化シリコン層、窒化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化酸化シリコン層などを形成することができる。また、これらの絶縁層は、化学気相法（CVD法）、スピッタ法、原子層エピタキシ法（ALE法）で形成することができる。また、ベース基板に半導体ウエハを用いた場合は、半導体ウエハを酸化する、窒化する等の方法により絶縁層を構成する層を形成することができる。30

【0050】

なお、図1のフローチャートにおいてステップS4とステップS5の順序は限定されない。

【0051】

次に、ベース基板と半導体ウエハを貼り合わせる（ステップS6）。ベース基板に絶縁層を形成しない場合は、ベース基板表面と半導体ウエハの絶縁層表面とを接触させ、加圧することで、ベース基板と絶縁層を貼り合わせる。また、ベース基板に絶縁層を形成する場合は、ベース基板の絶縁層表面と半導体ウエハの絶縁層表面とを貼り合わせる。なお、ステップS6において、1枚のベース基板に対して、複数の半導体ウエハを貼り合わせてもよい。40

【0052】

次にステップS7を行う。ステップS7は、熱処理を施して、脆化領域で半導体ウエハを分割する工程である。この工程で、半導体層、絶縁層およびベース基板を含むSOI基板が形成される。ステップS7の熱処理は、RTA装置、加熱炉、または周波数帯域が300MHz - 300GHzの電磁波の照射装置（具体的には、マイクロ波照射装置、ミリ波照射装置）で行うことができる。

【0053】

50

以上により、1回目のSOI基板の作製工程が完了する。つまり、ステップS8において、 $k = 1$ である。

【0054】

次に、ステップS7で分割された半導体ウエハを再利用するために、再生処理を行う。図1においては、再生処理として、半導体ウエハの表面を平坦化する平坦化処理（ステップS9）と、半導体ウエハの結晶欠陥を低減するための熱処理（ステップS11）の2つの処理が記載されている。

【0055】

1回目のSOI基板の作製工程を行う前に、ステップS2の熱処理を半導体ウエハに施しているため、この時点では、SOI基板の不良の原因となるような結晶欠陥が半導体ウエハの表面近傍に存在しないため、再生処理として欠陥低減のための高温の熱処理を行う必要がない。
10

【0056】

したがって、ステップS10に示すように、ステップS9の平坦化処理を行った後、ステップS11の熱処理を行わずに、2回目のSOI基板の作製工程（S4-S7）を行う。

【0057】

ステップS9の平坦化処理には、化学機械研磨（CMP）などの研磨処理、ウェットエッチングなどのエッチング処理、およびレーザ光の照射処理などが挙げられる。ステップS9では1または1以上の処理を行うことができ、少なくとも研磨処理を行うことが好ましい。
20

【0058】

次に、ステップS9で平坦化された半導体ウエハを用いて、2回目のSOI基板の作製工程（S4-S7）を行う。そして、SOI基板の作製工程の回数がN回になるまで、図1に示すように、再生処理（ステップS9）とSOI基板の作製工程（ステップS4-S7）を繰り返す。

【0059】

そして、ステップS10において、ステップS4-S7の実施回数がN回（ $k = N$ ）になった場合、平坦化処理（ステップS9）の後に、非酸化性雰囲気下での熱処理を行う（ステップS11）。
30

【0060】

ステップS11の熱処理は、半導体ウエハの酸素析出物による結晶欠陥（BMD）を消滅するための熱処理である。ステップS4-S9を繰り返すことにより、半導体ウエハ内部にBMDが発生し、また半導体ウエハは次第に薄くなる。よって、ステップS4-S9を繰り返すと、半導体ウエハ表面近傍は、結晶欠陥の増加により、SOI基板の半導体層とすることができない。

【0061】

そこで、ステップS11では、半導体ウエハに対して、非酸化性雰囲気下で1100以上の熱処理を行う。この熱処理は、半導体ウエハ中の酸素を外方拡散させる条件で行われ、ステップS2と同様に行うことができる。よって、ステップS11の熱処理については、ステップS2の記載を準用する。なお、図1のフローチャートにおいて、ステップS2とステップS11の熱処理は同じ条件である必要はない。また、ステップS11は複数回行われるが、それらの熱処理は同じ条件である必要はない。
40

【0062】

そして、ステップS11を行った後、ステップS3に戻る。そしてSOI基板の作製工程の回数kがゼロにリセットされる。そして、ステップS4-S9をN回行った後、ステップS11の熱処理を行う。半導体ウエハを再利用できるかぎり、ステップS3-S11が繰り返される。

【0063】

なお、図1のフローチャートでは、半導体ウエハ再生のための熱処理（ステップS11）
50

)は、S O I 基板の作製工程をN回行った後で実施されるが、Nの値は、ステップS 1 1を実施する度に異なっていてもよい。例えば、S O I 基板の作製工程を6回繰り返した後に1回目のステップS 1 1の熱処理を行い、次に、S O I 基板の作製工程を4回繰り返した後に2回目のステップS 1 1の熱処理を行うことができる。

【0064】

また、ステップS 1 1の熱処理を行うかを決定するために、ステップS 9の平坦化処理を行った後、半導体ウエハの結晶欠陥を測定するとよい。本実施の形態では、S O I 作製工程前の高温熱処理の効果について説明する。このようなS O I 基板の作製方法の一例を示すフローチャートを図8に示す。

【0065】

ステップS 4 - S 7 を繰り返すことにより、ボンド基板(半導体ウエハ)内部にB M Dが発生し、またボンド基板は次第に薄くなる。そのため、ボンド基板の表面近傍の結晶欠陥が増えて、S O I 基板の半導体層とすることができないほどその結晶性が劣化してしまう。

【0066】

他方、ボンド基板に用いられる半導体ウエハは、通常、半導体インゴットをスライスして作製される。そのため、同じ半導体インゴットから作製された半導体ウエハであっても、半導体ウエハごとに酸素濃度分布は異なる。したがって、複数の半導体ウエハに、同じ条件下で高温の熱処理を行っても、半導体ウエハに生成される酸素析出物、および結晶欠陥の生成密度や、その分布は異なる。したがって、同じ条件でS O I 基板の作製(ステップS 4 - S 7)を行っても再生処理としての熱処理を行うタイミングは半導体ウエハごとに異なる。

【0067】

そこで、適切なタイミングで熱処理を実施するために、平坦化処理された半導体ウエハの結晶欠陥を測定する。そして、その測定結果を用いて、半導体ウエハの良否を判定し、半導体ウエハに対して再生処理として熱処理を行うかを決定する。判定結果が不良であれば熱処理を行って半導体ウエハの表面近傍の結晶欠陥を低減してから、半導体ウエハを再利用する。

【0068】

図8に示すように、ステップS 9の平坦化処理を行った後、ステップS 2 1として半導体ウエハの結晶欠陥を測定する。次のステップS 2 2は、ステップS 2 1での測定結果に基づいて、半導体ウエハの結晶性を判定する工程である。ステップS 2 2で、良と判定された場合、ステップS 1 1の高温の熱処理を行わずに、半導体ウエハをステップS 4 の半導体ウエハとして再利用する。他方、不良と判定された半導体ウエハは、ステップS 1 1の高温の熱処理を行って、半導体ウエハの表面近傍の結晶欠陥を低減してから、半導体ウエハをステップS 4 の半導体ウエハとして再利用する。

【0069】

ステップS 2 1での半導体ウエハの結晶欠陥の測定方法は、非破壊で半導体ウエハの結晶欠陥を評価する方法であればよい。例えば、赤外光吸収分光法、赤外干渉法、ラマン分光法、カソードルミネッセンス法、フォトルミネッセンス法、およびマイクロ波光導伝減衰法などがある。マイクロ波光導伝減衰(μ -P C D: M i c r o w a v e P h o t o c o n d u c t i v e D e c a y)法は、マイクロ波の反射率の時間変化から、測定試料の結晶状態を反映するライフタイムを非破壊で測定する方法である。

【0070】

ステップS 2 2は、ステップS 2 1の測定結果に基づいて半導体ウエハの良否を判定し、ステップS 1 1の熱処理を行うか否かを決定する。

【0071】

図8のS O I 基板の作製方法では、再生処理としての熱処理(ステップS 1 1)を行うか否かを半導体ウエハごとに決定できるので、図1の作製方法よりも、S O I 基板の品質の維持が容易になる。

10

20

30

40

50

【0072】

次に、断面図を用いて、S O I 基板の作製工程の2つの例を説明する。以下、図1のフローチャートを参照して、2つの作製例を説明するが、これらの作製例は図8のフローチャートにも適用することが可能である。

【0073】

<作製方法 例1>

図2A - 図2Hを用いて、S O I 基板の作製方法の一例を説明する。

【0074】

図2Aは、図1のステップS1、S2に対応する工程を説明する断面図である。本作製例においては、ボンド基板として、新品の単結晶シリコンウエハ（シリコンウエハと呼ぶ）を用いる。そして、単結晶シリコンウエハに非酸化性雰囲気下で1100以上1300以下の熱処理を行う。ここでは、縦型拡散炉を用いて、シリコンウエハを1200で2時間加熱する。加熱処理の雰囲気は100%アルゴン雰囲気とする。図2Aには、熱処理後のシリコンウエハ100が記載されている。

10

【0075】

新品のシリコンウエハにこの熱処理を行うことで、再生処理に高温の熱処理をせずに、シリコンウエハを複数回利用することができる。高温の熱処理をせずに再利用できる回数は、熱処理の温度および時間や、再生処理での研磨処理の条件などに依存するが、上記の条件での高温熱処理によって、研磨量が6μm以下であれば、図1のステップS11の高温熱処理を行わずに、市販のCZ単結晶シリコンウエハを少なくとも3回利用することが可能である。

20

【0076】

加熱処理が終了したら、図2Bに示すように、シリコンウエハ100に絶縁層を形成する。ここでは、シリコンウエハ100を熱酸化して、酸化シリコン層110を形成する。熱酸化処理は、ドライ酸化でもよいが、O₂ガスにハロゲンガスまたはハロゲン化合物ガスが添加された雰囲気下での熱酸化処理が好ましい。このようなガスとしてHCl、HF、NF₃、HBr、Cl₂、ClF₃、BCl₃、F₂、およびBr₂等から選ばれた一種類または複数種類のガスを用いることができる。

【0077】

例えば、O₂に対し0.5-1.0体積%HClを含む雰囲気中で、900-1100で熱処理することで、塩素を含む酸化シリコン層110を形成することができる。処理時間は0.1-6時間とすることができます。また、酸化シリコン層110の膜厚は、50nm-200nmにすることができる。ここでは、3体積%HClを含むO₂ガス雰囲気下で、シリコンウエハ100を950で熱処理して、酸化シリコン層110（熱酸化物層）を厚さ100nm形成する。

30

【0078】

次に、図2Cに示すように、イオン120を照射して、シリコンウエハ100中に脆化領域111を形成する。イオン120の照射には、イオン注入装置またはイオンドーピング装置を用いることができる。イオン注入装置は、ソースガスを励起してイオン種を生成し、生成されたイオン種を質量分離して、所定の質量を有するイオン種を被処理物に照射する。イオンドーピング装置は、プロセスガスを励起してイオン種を生成し、生成されたイオン種を質量分離せずに被処理物に照射する。なお、質量分離装置を備えているイオンドーピング装置では、イオン注入装置と同様に、質量分離を伴うイオンの照射を行うこともできる。

40

【0079】

イオン120は電界で加速され、運動エネルギーを有するため、イオン120の照射により、シリコンウエハ100の表面から所定の深さの領域に脆化領域111を形成することができる。脆化領域111が形成される深さは、イオン120の加速エネルギー、イオン120の入射角によって制御することができ、脆化領域111は、イオン120の平均侵入深さと同程度の深さの領域に形成されることになる。また、上述の脆化領域111

50

が形成される深さにより、シリコンウエハ100から分離される半導体層の厚さが決定される。脆化領域111が形成される深さは、シリコンウエハ100の表面から30nm以上1μm以下であり、好ましくは50nm以上300nm以下である。

【0080】

イオン120の代表的なソースガスはH₂ガスである。H₂ガスの他にヘリウムやアルゴンなどの希ガス、フッ素ガスや塩素ガスに代表されるハロゲンガス、フッ素化合物ガス（例えば、BF₃）などのハロゲン化合物ガスを用いることができる。ソースガスには1種類のガスだけでなく、複数種類のガスを用いることができる。

【0081】

脆化領域111を形成するため、イオン120の照射を複数回行うこともできる。この場合、ソースガスを異なさせてイオン照射を行っても良いし、同じソースガスを用いてもよい。例えば、ソースガスとして希ガスを用いてイオン照射を行った後、水素を含むガスをソースガスとして用いてイオン照射を行うことができる。あるいは、初めにハロゲンガスまたはハロゲン化合物ガスを用いてイオン照射を行い、次に、水素を含むガスを用いてイオン照射を行うこともできる。

【0082】

ここでは、脆化領域111の形成にイオンドーピング装置を用い、イオン120のソースガスにH₂ガスを用いる。例えば、加速電圧50kV、ドーズ量 2.7×10^{16} i on s/cm²の条件で、酸化シリコン層110を介して水素イオンをシリコンウエハ100に照射する。

10

20

【0083】

次に、図2Dに示すように、ベース基板とシリコンウエハ100を貼り合わせる。ここでは、ベース基板としてガラス基板200を用いる。ガラス基板200の代わりに、シリコンウエハ100と同じ、単結晶シリコンウエハを用いてもよい。また、ガラス基板200にPECVD法などにより、図1のステップS5で述べたように、絶縁層を形成してもよい。

【0084】

貼り合わせる前に、シリコンウエハ100およびガラス基板200に洗浄処理を行い、貼り合わせ面を清浄にする。ガラス基板200の表面と酸化シリコン層110の表面とを接触させた状態で、シリコンウエハ100およびガラス基板200を押圧することで、ガラス基板200と酸化シリコン層110が接合し、ガラス基板200とシリコンウエハ100が貼り合わされる。そして、ガラス基板200およびシリコンウエハ100を熱処理して、貼り合わせの強度を高める。この熱処理温度は、脆化領域111で分離が進行しない温度とする必要があり、200以上300以下とすればよい。

30

【0085】

次に、図2Eに示すように、シリコンウエハ100を脆化領域111で分割し、シリコンウエハ100から単結晶シリコン層113を形成する。ここでは、加熱炉において、ガラス基板200に固定されたシリコンウエハ100の熱処理を行う。熱処理の温度は400以上が好ましく、ガラス基板200（ベース基板）の耐熱温度などによって制限される。この熱処理には、加熱炉やRTA装置を用いることができる。熱処理を行うことで、脆化領域111に亀裂が生じ、シリコンウエハ101と、単結晶シリコン層113、酸化シリコン層110およびガラス基板200となるSOI基板とに分離される。シリコンウエハ101は、再生処理前のウエハである。

40

【0086】

ここでは、加熱炉において、ガラス基板200と酸化シリコン層110間の接合強度を高める処理と、シリコンウエハ100の分割処理を一連の熱処理で行う。具体的には、ガラス基板200に固定されたシリコンウエハ100を、加熱炉において、まず200で2時間加熱し、次いで、温度を600に上昇し2時間加熱する。

【0087】

次に、図2Fに示すように、SOI基板の単結晶シリコン層113を平坦化し、単結晶

50

シリコン層 114 を形成する。ここでは、S O I 基板のベース基板が耐熱性の低いガラス基板 200 であるので、熱処理による平坦化が困難なため、平坦化処理として、単結晶シリコン層 113 にレーザ光を照射する。なお、このレーザ光照射処理を行う前に、必要に応じて、単結晶シリコン層 113 をエッティングする処理を行ってもよい。このエッティング処理で単結晶シリコン層 113 表面に残存している脆化領域 111 を除去することができる。

【0088】

レーザ光照射処理に用いるレーザには、例えば、XeC1 レーザ、KrF レーザ等のエキシマレーザ、Ar レーザ、Kr レーザ等の気体レーザがある。また、固体レーザも用いることができ、例えば、YAG レーザ、YVO₄ レーザ、YLF レーザ、YAlO₃ レーザ、GdVO₄ レーザ、KGW レーザ、KYW レーザ、Y₂O₃ レーザ等がある。¹⁰ レーザ光としては、これらレーザ発振器の基本波、高調波（第 2 高調波、第 3 高調波、第 4 高調波等）を用いることができる。なお、これらの固体レーザには、同じレーザ媒質を用いても、発振の仕方が連続発振、または疑似連続となる発振器もある。

【0089】

レーザ光を照射すると、単結晶シリコン層 113 がレーザ光を吸収し、溶融する。溶融した領域はレーザ光のエネルギーが供給されなくなると急激に温度が下がり、固化する。そのため、平坦性が向上された単結晶シリコン層 114 を形成することができる。また溶融によって、単結晶シリコン層 113 の結晶を再配列させることができるために、単結晶シリコン層 113 中のダンギリングボンドなどを減少させることができる。よって、レーザ光照射処理によって、平坦性および結晶性が向上された単結晶シリコン層 114 が形成される。²⁰

【0090】

しかしながら、単結晶シリコン層 113 中に存在する BMD は、レーザ光の照射処理でほとんど消滅しない。そのため、耐熱温度が 1100 以下のベース基板を用いた場合、S O I 基板の作製前に半導体ウエハに高温の熱処理を行うことは、S O I 基板の品質向上に非常に有効である。それはベース基板の耐熱温度が 1100 以下であると、ベース基板上の半導体層から BMD を効果的に消滅できる温度での熱処理を行うことができず、また、この熱処理に代わる適切な手段がないからである。そのために、低耐熱性のベース基板を用いる場合には、酸素析出物ができるだけ少ない状態で半導体層をベース基板に形成することが要求される。したがって、酸素濃度が低減された DZ から半導体層を形成することは、低耐熱性のベース基板でなる S O I 基板の品質の向上に非常に有効である。よって、本実施の形態により、ガラス基板のように耐熱温度が 700 以下のベース基板を用いても、品質の良い S O I 基板を作製することが可能になる。³⁰

【0091】

また、図 2 F の S O I 基板の単結晶シリコン層 114 を薄くする薄膜化工程を行ってもよい。ここでは、ベース基板にガラス基板 200 が用いられているため、薄膜化処理には、ドライエッティング処理および / またはウエットエッティング処理を適用すればよい。ベース基板に半導体ウエハが用いられている場合は、熱酸化処理とエッティング処理を組み合わせた公知の薄膜化処理を行えばよい。⁴⁰

【0092】

以下、図 2 E の工程で、単結晶シリコン層 113 が分離されたシリコンウエハ 101 の再生処理について説明する。再生処理には、平坦化処理（図 2 G）、および非酸化性雰囲気下での 1100 以上の温度での熱処理（図 2 H）がある。図 1 のフローチャートで示したように、図 2 G の平坦化処理は、ボンド基板を再処理する度に行われる。図 2 G には、平坦化処理により再生された再生シリコンウエハ 102 が示されている。この再生シリコンウエハ 102 は、図 2 B のボンド基板（シリコンウエハ 100）として再利用される。

【0093】

また、図 2 H の熱処理は間欠的に行われ、S O I 基板の作製工程（図 2 B - 図 2 E）を

複数回行った後の再生処理として、図2Gの平坦化処理の後に、再生シリコンウエハ102に行われる。熱処理後の再生シリコンウエハ103が、図2Bのボンド基板（シリコンウエハ100）として再利用される。

【0094】

図2Gの平坦化処理によって再生シリコンウエハ102を作製するには、例えば、次のように行うことができる。まずバッファードフッ酸によるエッチングで、シリコンウエハ101に残存している酸化シリコン層110を除去する。そして、単結晶シリコン層113の分離面をCMP装置で研磨する。また、CMP装置で研磨する前に、ダッシュ液、サト液、またはフッ酸と過酸化水素の混合液などによるエッチング処理を行ってよい。このエッチング処理により、シリコンウエハ101の周辺部の突出部（ガラス基板200に貼り合わせられなかった部分）を除去することができるため、CMP装置での研磨量を少なくすることができる。
10

【0095】

また、図2Hの熱処理によって再生シリコンウエハ103を作製するには、例えば、図2Aの熱処理と同様、加熱炉を用いて、100%アルゴン雰囲気下でシリコンウエハ101を1200度で1時間以上加熱する。

【0096】

<作製方法 例2>

図3A - 図3Eを用いて、SOI基板の作製方法の他の一例を説明する。この作製例では、絶縁層、および脆化領域の形成工程について、図2B、図2Cと異なる工程を説明する。他の工程については、作製例1と同様に行うことができる。
20

【0097】

まず、図3Aに示すように、高温の熱処理を行ったシリコンウエハ100を作製する。次いで、シリコンウエハ100を洗浄し、絶縁層を形成する。ここでは、図3Bに示すように、PECVD装置により、酸化窒化シリコン層141および窒化酸化シリコン層142を連続的に形成する。そのため、SiH₄およびN₂OをPECVD装置のチャンバーに供給し、このプロセスガスのプラズマを生成し、酸化窒化シリコン層141をシリコンウエハ100表面に形成する。次に、チャンバーに導入するガスをSiH₄、N₂O、NH₃、およびH₂に変更する。これらの混合ガスのプラズマを生成して、酸化窒化シリコン層141上に窒化酸化シリコン層142を形成する。酸化窒化シリコン層141および窒化酸化シリコン層142の成膜温度は300度とすることができる。
30

【0098】

なお、酸化窒化シリコン層141の代わりに、PECVD装置で有機シランを原料に酸化シリコン層を形成してもよい。また、窒化酸化シリコン層142の代わりに、PECVD装置で、SiH₄、N₂、NH₃およびH₂のガスから窒化シリコン層を形成してもよい。

【0099】

次に、図3Cに示すように、イオン120を照射してシリコンウエハ100中に脆化領域111を形成する。この工程は、図2Cの工程と同様に行えばよい。

【0100】

脆化領域111を形成した後、図3Dに示すように、窒化酸化シリコン層142の上面に酸化シリコン層143を形成する。ここでは、PECVD装置で、成膜温度300度でTEOSとO₂から酸化シリコン層143を形成する。なお、各絶縁層（141 - 143）の厚さは、50nm - 200nmとすることができる。
40

【0101】

以降の工程は、図2D - 図2Fと同様に行うことで、平坦化された単結晶シリコン層114、3層構造の絶縁層（141 - 143）、およびガラス基板200を有するSOI基板を作製することができる。

【0102】

この作製例では、半導体ウエハへの絶縁層の形成を、熱酸化処理ではなく、PECVD

装置で 300 を越えないプロセス温度で行っているので、作製例 1 よりも半導体ウエハに対しての高温の熱処理回数を減らすことができる。

【実施例】

【0103】

以下、SOI 基板作製工程前に熱処理を行うことの有用性について説明する。以下の実施例では、半導体ウエハに単結晶シリコンウエハを利用し、SOI 基板の作製方法には、図 2A - 2H に記載の方法を適用した。

【実施例 1】

【0104】

本実施例では、新品の CZ 単結晶シリコンウエハ（以下、CZ ウエハと呼ぶ）を用いて SOI 基板を作製し、SOI 基板作製のいくつかの過程で CZ ウエハ中の結晶欠陥の観察を行った。
10

【0105】

< 実験方法 >

(a1) CZ ウエハの準備

新品の CZ ウエハ（株式会社 SUMCO 製 5 インチ平方、p 型、面方位（100））を用いた。1 枚の CZ ウエハを 4 分割し、約 2 インチ平方の 4 枚の CZ ウエハを作製した。これら 4 枚の CZ ウエハを以下、ウエハ A1 - A4 と呼ぶ。

(a2) 非酸化性雰囲気下での熱処理

全てのウエハ A1 - A4 を同時に、加熱炉において 100% Ar ガス雰囲気で 1200
20
、8 時間の熱処理を行った。ウエハ A1 には以降の工程を行わない。

(a3) 热酸化処理（絶縁層形成）

3 枚のウエハ A2 - A4 に対して同時に HCl 热酸化処理を行い、热酸化物層を形成した。HCl を 3 体積 % 含む O₂ ガス雰囲気で、950 で 3.5 時間热処理をして、热酸化物層を 100 nm 程度形成した。ウエハ A2 にはこれ以降の工程を行わない。

(a4) 水素ドーピング（脆化領域形成）

イオンドーピング装置でウエハ A3、A4 に水素イオンを照射し、脆化領域を形成した。
30
。100% H₂ ガスを励起し、加速電圧 40 kV、ドーズ量 2.6×10^{16} ions/cm² の条件で、水素イオンをウエハ A3、A4 に照射した。ウエハ A3 にはこれ以降の工程を行わない。

(a5) 热処理

次に、LPCVD 装置のチャンバーでウエハ A4 を热処理した。この热処理は、チャンバーを減圧下とし、200 で 2 時間加熱し、600 で 2 時間加熱することで行った。この热処理は、図 2E の半導体ウエハの分割処理に対応する热処理であるが、本実施例では、ウエハ A4 をベース基板に貼り付けていないため、この热処理でウエハ A4 には脆化領域で分割しなかった。

【0106】

そして、ウエハ A1 - A4、およびこれらと同じ SUMCO 製の新品 CZ ウエハ（以下、ウエハ A0 と呼ぶ）の深さ方向の結晶欠陥を評価した。この評価に赤外レーザ散乱トモグラフィ装置 (IR-LST : IR - Laser Scattering Tomography) を用い、各ウエハ A0 - A4 を劈開しその劈開面を撮影した。図 4 に、IR-LST 装置による観察像（以下、IR-LST 像と呼ぶ。）を示す。観察倍率は 500 倍、1000 倍である。IR-LST は、半導体ウエハ中の BMD 分布を評価できる方法として知られている。結晶欠陥は光散乱体であるため、IR-LST 像では輝点（明るい画像）となり、結晶欠陥が無い領域は、暗い像（黒い像）となる。
40

【0107】

図 4 に示すように、ウエハ A1 とウエハ A0 とを比較すると、新品ウエハに対する高温の熱処理によって、ウエハ A1 内部には BMD が形成されていることが確認できる。他方、ウエハ A1 の表面近傍には、BMD が存在せず、無欠陥層 (DZ, Denuded Zone) となっていることが確認できる。
50

【0108】

上述したように、本明細書では、DZとは完全な無欠陥層のことではなく、BMDが存在しない領域の意味で使用されている。具体的には、図4に示すような観察倍率500倍のIR-LST像において輝点が確認されない領域をDZとすることができます。実施例1-3では、このような領域をDZとしている。

【0109】

図4の各ウエハA1-A4のIR-LST像を比較すると、SOI基板の作製工程ではDZの厚さ（幅、深さとも呼ぶ）は大きな変化がなく、工程a2の高温熱処理で形成されたDZが、1回目のSOI作製過程で消滅しないことが確認できる。したがって、ウエハA4を再利用する場合、再生処理として、酸素外方拡散をさせるための高温の熱処理を必ず行う必要がない。

10

【実施例2】

【0110】

実施例1と同様に、本実施例では、SOI作製工程前の高温の熱処理の有用性について説明する。さらに、半導体ウエハの酸素濃度の影響についても説明する。本実施例では、CZウエハよりも、酸素濃度が低いMCZ単結晶シリコンウエハ（以下、MCZウエハと呼ぶ。）が用いられる。インゴットの作製時、CZ法ではシリコン融液と接触する石英ルツボ表面が溶融しているため、酸素が育成中のインゴットの中に取り込まれてしまう。MCZ法では、融液に磁場を印加して融液の対流を制御し、インゴットに取り込まれる酸素を少なくしている。

20

【0111】

<実験方法>

(b1) MCZウエハの準備

新品のMCZウエハ（株式会社SUMCO製 5インチ平方、p型、面方位(100)）を用いた。

(b2) 非酸化性雰囲気下での熱処理

実施例1と同じ条件で、加熱炉において100%Arガス雰囲気で1200、8時間の熱処理を行った。

(b3) 热酸化処理（絶縁層形成）

実施例1と同じ条件で、HC1熱酸化処理を行った。HC1を3体積%含むO₂ガス雰囲気で、950で3.5時間熱処理をして、熱酸化物層を100nm程度形成した。

30

(b4) 水素ドーピング（脆化領域形成）

イオンドーピング装置で、水素イオンをMCZウエハに照射し、脆化領域を形成した。100%H₂ガスを励起し、加速電圧50kV、ドーズ量 2.5×10^{16} ions/cm²の条件で、水素イオンをMCZウエハに照射した。

(b5) 热処理（ウエハ分割）

MCZウエハをガラス基板に貼り付けた後、LCD装置で実施例1と同じ条件で、MCZウエハを分割し、SOI基板を作製した。熱処理として、2時間200での加熱と、2時間600での加熱を行った。

(b6) レーザ照射処理（単結晶シリコン層の平坦化）

40

工程b5で作製されたSOI基板の単結晶シリコン層を平坦化するため、単結晶シリコン層にレーザ光を照射した。レーザには、XeClエキシマレーザを用いた。レーザ光は、波長308nm、パルス幅25n秒、繰り返し周波数30Hzであった。また、レーザ光が照射される領域に100%N₂ガスを吹き付けながら、線状のレーザ光を走査して単結晶シリコン層に照射した。

(b7) 研磨処理（ウエハ再生）

工程b5で分割されたMCZウエハを再利用するため、まず、バッファードフッ酸によるウエットエッチングで熱酸化物層を除去し、さらに、ダッシュ液でMCZウエハを処理した。そして、単結晶シリコン層が分離された面側をCMP装置で研磨した。

(b8) ウエハ再利用

50

そして、研磨処理とSOI基板作製工程を繰り返して、1枚のMCZウエハから複数枚のSOI基板を作製した。本実施例では、3枚のMCZウエハを用意し、それぞれ4回のSOI基板工程を行った。本工程で作製された12枚のSOI基板をSOI基板Bと呼ぶこととする。

【0112】

<比較実験>

比較例として、工程b2の高温の熱処理を行わずに、MCZウエハからSOI基板を作製した。その他の工程は、上記のSOI基板Bと同じ条件で行った。比較実験では、2枚のMCZウエハを用意し、それぞれ4枚のSOI基板を作製した。比較例のSOI基板をSOI基板Xと呼ぶこととする。

10

【0113】

<評価方法1>

SOI基板BおよびSOI基板Xの単結晶シリコン層（以下、シリコン層と呼ぶ）の表面を光学顕微鏡で観察し、シリコン層の結晶性を評価した。それは、シリコン層の結晶性を評価することで、MCZウエハが再利用可能な回数を知ることができるからである。具体的には、光学顕微鏡において倍率200倍の暗視野モードで、シリコン層表面を観察し、観察者の目視によって輝点を計数した。発明者らの経験上、倍率200倍では、輝点の大きさが0.5μm程度であれば人の目で確認することができる。輝点は、結晶欠陥、ゴミなどによる散乱物である。走査透過電子顕微鏡（STEM）によるシリコン層の断面観察により、酸素析出物および転位（結晶欠陥）が光学顕微鏡で輝点として観察されることを確認している。そのため、輝点の数からMCZウエハの品質を判断することができる。

20

【0114】

図5Aに輝点を計数した領域を示す。図5AはSOI基板300の上面図であり、SOI基板300において、x軸方向の長さL_x=1.25mm、y軸方向の長さL_y=107mmのライン状の3つ領域301-303中の輝点を計数した。SOI基板300の中心の座標を(x,y)=(0mm,0mm)とした場合、領域301の中心のx座標は0mmであり、領域302の中心のx座標は-31.75mmであり、領域303の中心のx座標は53.1mmである。

30

【0115】

図5B、図5Cに輝点の計数結果を示す。図5BはSOI基板Bのデータであり、図5CはSOI基板Xのデータである。図5B、図5C共に、横軸はSOI基板の作製工程の回数であり、新品のMCZウエハの利用回数に相当する。また、縦軸は暗視野像における輝点の数であるが、輝点の数は、図5Aの3つの領域301-303中の輝点の数を、107mm²当たりの輝点の数に換算した値である。つまり、縦軸は1枚のSOI基板に存在する輝点の数に相当する。

30

【0116】

図5B、図5Cのグラフから、SOI基板を作製する前にMCZウエハに非酸化性雰囲気下での1100以上熱処理を行うことで、MCZウエハの利用回数が増えても輝点の増加が抑えられていることが分かる。

40

【0117】

本発明者らの経験では、5インチ平方のシリコンウエハをボンド基板に用い、ガラス基板をベース基板に用いた場合、1枚のSOI基板当たりの輝点数が1×10⁴個以下であることが好ましい。SOI基板で電界効果型トランジスタを作製したとき、輝点の数が1×10⁴個を越えていると、リーク電流が発生しやすいことが分かっている。

【0118】

よって、図5B、図5Cのグラフは、CZウエハと比較して低酸素濃度であるとされるMCZウエハでも、SOI基板の作製に利用する前に1100以上熱処理を行うことは有効であることを示している。

【0119】

50

<評価方法2>

さらに、実施例1と同様に、工程b1で用意した新品のCZウエハ(ウエハC0)、および工程b2の熱処理を行ったMCZウエハ(ウエハC1)を劈開し、IR-LST像を観察した。図6にウエハC0およびウエハC1のIR-LST像を示す。さらに、SOI基板作製工程と研磨処理が2回行われたMCZウエハ(これをウエハC8とよぶ)の断面のIR-LST像も図6に示す。なお、ウエハC8については、実施例1の工程a5と同様、ベース基板への貼り付けは行わず、工程b5と同じ条件で熱処理のみ行っている。

【0120】

図4のウエハA1(CZウエハ)と図6のウエハC1(MCZウエハ)を比較すると、ウエハC1の方が輝点(BMD)の数が少ないことが確認できる。また、観察倍率500倍のIR-LST像から求めたDZの厚さは、図4のSOI基板の作製に1回用いられたCZウエハ(ウエハA4)は40μm程度であり、図6のウエハC8は80μm程度であり、MCZウエハのほうがDZが厚い。

【0121】

CZウエハとMCZウエハのDZの厚さの違いは主に酸素濃度による。ウエハC0の方がウエハA0よりも酸素濃度が低いため、同じ条件による高温熱処理でも、BMDの発生が少なくなるからである。フーリエ変換赤外分光光度計で測定された酸素濃度は、ウエハA0(CZウエハ)は $1.3 \times 10^{18} - 1.8 \times 10^{18}$ atoms/cm³であり、ウエハC0(MCZウエハ)は $0.8 \times 10^{18} - 1.4 \times 10^{18}$ atoms/cm³であった。

【0122】

実施例1、2から、半導体ウエハの酸素濃度が低いほど、DZが厚くなることが分かった。DZが厚いほど、高温熱処理の再生処理を行わずに半導体ウエハを再利用できる回数を多くできるため好ましい。また、初期の酸素濃度が 2×10^{18} atoms/cm³を越える単結晶シリコンウエハを用いた場合、高温の熱処理をせずに2回目のSOI基板の作製に利用した場合、SOI基板が不良となる確率が大きくなる。したがって、半導体ウエハの初期の酸素濃度は、 2×10^{18} atoms/cm³以下にして、SOI基板の歩留まりの低下を抑制することが好ましい。

【0123】

よって、半導体ウエハの初期の酸素濃度は低くすることが好ましく、 1.8×10^{18} atoms/cm³以下が好ましく、 1.4×10^{18} atoms/cm³以下がより好ましい。なお、酸素濃度が 1×10^{16} atoms/cm³以下と高純度な半導体ウエハとして、FZ単結晶シリコンウエハが知られているが、高純度な故に破損しやすい。半導体ウエハを20回以上利用するには、初期の酸素濃度が 1×10^{17} atoms/cm³以上であることが望ましい。

【実施例3】

【0124】

本実施例では、SOI作製工程前の高温熱処理の処理時間について説明する。

【0125】

<実験方法>

(d1) CZウエハの準備

実施例1と同じ新品のCZウエハを用いた。

(d2) 非酸化性雰囲気下での熱処理

加熱炉において100%A_rガス雰囲気で1200℃での熱処理を行った。また、本実施例では、加熱時間に2時間、8時間、16時間の3つの条件を設定した。

(d3) 热酸化処理(絶縁層形成)

実施例1と同じ条件で、HC1を3体積%含むO₂ガス雰囲気で、950℃で3.5時間熱処理をして、熱酸化物層を100nm程度形成した。

(d4) 水素ドーピング(脆化領域形成)

イオンドーピング装置で、100%H₂ガスを励起し、加速電圧50kV、ドーズ量2

10

20

30

40

50

5×10^{16} ions/cm² の条件で、水素イオンを CZ ウエハに照射した。

(d 5) 热処理(ウエハ分割)

CZ ウエハとガラス基板を貼り合わせた後、LPCVD 装置で実施例 2 と同じ条件で、CZ ウエハを分割し、SOI 基板を作製した。热処理としては、2 時間 200 での加熱と、2 時間 600 での加熱を行った。

(d 6) レーザ照射処理(単結晶シリコン層の平坦化)

工程 d 5 で作製された SOI 基板の単結晶シリコン層を平坦化するため、単結晶シリコン層にレーザ光を照射した。レーザには、XeCl エキシマレーザを用いた。レーザ光は、波長 308 nm、パルス幅 25 ns、繰り返し周波数 30 Hz であった。また、レーザ光が照射される領域に 100% N₂ ガスを吹き付けながら、線状のレーザ光を走査し单結晶シリコン層に照射した。10

(d 7) 研磨処理(ウエハ再生)

実施例 2 と同様に研磨処理を行った。バッファードフッ酸によるウェットエッチングで热酸化物層を除去し、かかる後、単結晶シリコン層が分離された面側を CMP 装置で研磨した。

(d 8) ウエハ再利用

そして、実施例 2 と同様に、研磨処理と SOI 基板作製工程を繰り返して、1 枚の CZ ウエハから複数の SOI 基板を作製した。ここでは、工程 d 2 の热処理時間が 2 時間の 2 枚のウエハから、それぞれ、6 枚の SOI 基板を作製した。また工程 d 2 の热処理時間が 8 時間の 3 枚の CZ ウエハからそれぞれ 6 枚の SOI 基板を作製し、工程 d 2 の热処理時間が 16 時間の 3 枚の CZ ウエハからは、13 枚の SOI 基板を作製した。20

【0126】

<評価方法 1>

本実施例も実施例 2 と同じ方法で、光学顕微鏡(倍率 200 倍、暗視野モード)で SOI 基板のシリコン層表面を観察して、図 5 A の領域 301 - 303 での輝点の数を計数した。そして、領域 301 - 303 中の輝点の数を実施例 2 と同じ方法で、107 mm² 当たり(SOI 基板 1 枚当たり)の輝点の数に換算した。その結果を図 7 A、図 7 B および図 7 C に示す。図 7 A は、工程 d 2 の热処理時間が 2 時間のデータであり、図 7 B は 8 時間のデータであり、図 7 C は 16 時間のデータである。なお、図 7 A において工程回数が 4 回の時は輝点の数を計数していない。30

【0127】

実施例 2 で述べた理由から、本実施例の条件下では 1 枚の SOI 基板中の輝点の数が 1×10^4 個を越えた場合、SOI 基板に不良が発生したとみなす。よって、図 7 A のデータから、2 時間の高温热処理によって、高温热処理を行わずにウエハを 5 回利用できることが分かる。また、図 7 A - 図 7 C のデータから、热処理時間が長くなるほど、高温热処理を行わずにウエハを再利用できる回数を増やすことができる事が分かる。

【0128】

また、発明者らの実験において、再生処理として行う非酸化性雰囲気下での热処理によって、上記実施例 1 - 3 で説明した SOI 基板作製前の热処理と同様の効果が得られている。よって、热処理時間を長くすることで、次のウエハ再生のための高温热処理を行わずに、ウエハを再利用できる回数を多くすることができる。再生処理のための热処理時間は 1 時間以上とすることができます、1 時間以上 24 時間とすればよい。また、热処理による CZ 形成の効果と生産性を考慮すると、热処理時間は 6 時間以上 20 時間以下が好ましい。40

【実施例 4】

【0129】

本実施例では、SOI 作製工程前の高温热処理の効果について説明する。本実施例では、新品の CZ ウエハを繰り返し用いて実施例 2 と同様に SOI 基板を作製した。本実施例では、新品の CZ ウエハに対する高温の热処理は、加熱炉において、N₂ ガスに 3 体積% の O₂ ガスを混合した雰囲気下で、1200 、2 時間行った。

【0130】

そして、実施例 2 と同様な方法で S O I 基板のシリコン層を評価した。光学顕微鏡（倍率 200 倍、暗視野モード）で S O I 基板のシリコン層表面を観察して、図 5 A の領域 301 - 303 での輝点の数を計数した。そして、領域 301 - 303 中の輝点の数を実施例 2 と同じ方法で、 107 mm^2 当たり（S O I 基板 1 枚当たり）の輝点の数に換算した。その結果を図 9 に示す。

【0131】

図 9 の横軸は S O I 基板の作製回数であり、新品の C Z ウエハの使用回数に相当する。縦軸は 107 mm^2 当たり（S O I 基板 1 枚当たり）の輝点の数である。図 9 には 4 枚の S O I 基板のデータが記載されている。ただし、作製回数が 1 回目のデータは記載されていない。

10

【0132】

図 9 と実施例 2 の図 5 B とを対比すると、窒素ガスに酸素ガスを添加した雰囲気下での熱処理も、Ar ガス 100% のような非酸化性雰囲気と再生処理のための熱処理と同様な効果を得ることができることが確認された。

【実施例 5】

【0133】

本実施例では、S O I 作製工程前の高温熱処理の効果について説明する。本実施例では、新品の M C Z ウエハを繰り返し用いて実施例 2 と同じように S O I 基板を作製した。本実施例では、新品の M C Z ウエハに対する高温の熱処理は、加熱炉において、雰囲気 100% Ar ガス、温度 1200°、処理時間 16 時間の条件で行った。

20

【0134】

そして、実施例 2 と同様な方法で S O I 基板のシリコン層を評価した。光学顕微鏡（倍率 200 倍、暗視野モード）で S O I 基板のシリコン層表面を観察して、図 5 A の領域 301 - 303 での輝点の数を計数した。そして、領域 301 - 303 中の輝点の数を実施例 2 と同じ方法で、 107 mm^2 当たり（S O I 基板 1 枚当たり）の輝点の数に換算した。その結果を図 10 に示す。

【0135】

図 10 の横軸は S O I 基板の作製回数であり、新品の M C Z ウエハの使用回数に相当する。縦軸は 107 mm^2 当たり（S O I 基板 1 枚当たり）の輝点の数である。図 10 には 5 枚の S O I 基板のデータが記載されている。ただし、11 回目は 4 枚の S O I 基板のみ記載されている。

30

【0136】

図 10 は、再生処理のための熱処理を行わずに 1 枚の M C Z ウエハを 11 回使用して、S O I 基板を作製しても、輝点の数は S O I 基板 1 枚当たり 1×10^4 個未満であったことを示している。図 10 は、S O I 基板の作製に使用する前に半導体ウエハに高温の熱処理をすることにより、再生処理のたびに熱処理を行う必要がないことを示している。

【実施例 6】

【0137】

ここでは、図 8 の S O I 基板作製の実施例について説明する。本実施例の S O I 基板の作製工程は実施例 1 と同様であり、半導体ウエハに C Z ウエハを用いた。また、半導体ウエハの結晶欠陥の測定として、半導体ウエハのライフタイムを測定した。図 11 は S O I 基板の作製回数に対する C Z ウエハのライフタイムの測定結果を示すグラフである。

40

【0138】

図 11 に示すように、本実施例では、100% アルゴンガス雰囲気下で 1200° の熱処理を次のタイミングで行っている。

- ・ 新品の C Z ウエハに対して、2 時間の熱処理
- ・ C Z ウエハを 4 回使用した後に、8 時間の熱処理
- ・ C Z ウエハを 10 回使用した後に、16 時間の熱処理

【0139】

図 11 には、3 枚の C Z ウエハのライフタイムの測定結果が示されている。ただし、作

50

製回数が 1、 2 および 11 回目のデータは示されていない。測定装置には、 μ - P C D 法でライフタイムを測定する装置（株式会社コベルコ科研製 L T A - 1 8 0 0 S P）を用いた。また、 C Z ウエハの表面の酸化物を除去するためにフッ酸で処理してから測定を行った。測定箇所は 5 インチ平方の C Z ウエハに対して 5 2 9 箇所であった。

【 0 1 4 0 】

図 1 1 からは、再生処理の熱処理を実施した後では、 C Z ウエハのライフタイムが増加していることが分かる。本実施例でも、実施例 2 と同様に S O I 基板のシリコン層を光学顕微鏡で観察した。作製回数が 3、 4、 9 および 10 回目の S O I 基板のシリコン層を光学顕微鏡で観察した場合、多数の輝点が観察され、ライフタイムと光学顕微鏡で観察される輝点の数に相関があることが確認された。

10

【 0 1 4 1 】

このことから、半導体ウエハのライフタイムを測定し、その結果が基準値以下（あるいは未満）であれば、半導体ウエハに再生処理として熱処理を行えばよい。本発明者らの経験では、5 インチ平方のシリコンウエハをボンド基板に用い、ガラス基板をベース基板に用いた場合、ボンド基板となるシリコンウエハのライフタイムが 3 μ 秒以上であることが好ましい。発明者らの経験では、ライフタイムが 3 μ 秒未満のシリコンウエハでは、品質の良い S O I 基板を作製することが困難であった。なお、3 μ 秒という基準は、上記のライフタイム測定装置（L T A - 1 8 0 0 S P）で 1 枚のシリコンウエハにおいてライフタイムの測定箇所が 1 インチ平方（または、1.5 インチ平方）で 1 乃至 2 箇所の場合である。ライフタイムの基準値は実施者が適宜設定することが可能である。

20

【 0 1 4 2 】

また、同じ条件で S O I 基板を作製しても、ウエハごとにライフタイムが 1 μ 秒以上異なる場合があることが分かる（例えば、図 1 1 の 5 回目、6 回目のデータ参照）。そのため、半導体ウエハごとに結晶欠陥を評価して、再生処理の熱処理を実施すべきかを判断することは、再生処理された半導体ウエハが使用された S O I 基板の品質維持、歩留まり維持に非常に有効である。

【 実施例 7 】

【 0 1 4 3 】

本実施例では、 S O I 基板の作製に用いられた半導体ウエハの結晶欠陥の測定結果を示す。本実施例も実施例 6 と同様に半導体ウエハのライフタイムを測定した。

30

【 0 1 4 4 】

本実施例では、半導体ウエハに M C Z ウエハを用いた。新品の M C Z ウエハに対する最初の熱処理として、A r ガス 1 0 0 % 雰囲気下で 1 2 0 0 、 1 6 時間の熱処理を行った。図 1 2 は S O I 基板の作製回数に対する 3 枚の M C Z ウエハのライフタイムの測定結果を示すグラフである。

【 0 1 4 5 】

図 1 2 からは、C Z ウエハと比較して低酸素であるとされる M C Z ウエハでも、同じ条件で S O I 基板を作製しても、M C Z ウエハごとにライフタイムが 2 μ 秒以上異なる場合があることが分かる。よって、本実施例からも半導体ウエハごとに結晶欠陥を評価して、再生処理の熱処理を実施するかどうかを判断することは、再生処理された半導体ウエハが使用された S O I 基板の品質維持、歩留まり維持に非常に有効であることが確認された。

40

【 符号の説明 】

【 0 1 4 6 】

1 0 0 シリコンウエハ

1 0 1 シリコンウエハ

1 0 2 再生シリコンウエハ

1 0 3 再生シリコンウエハ

1 1 0 酸化シリコン層

1 1 1 脆化領域

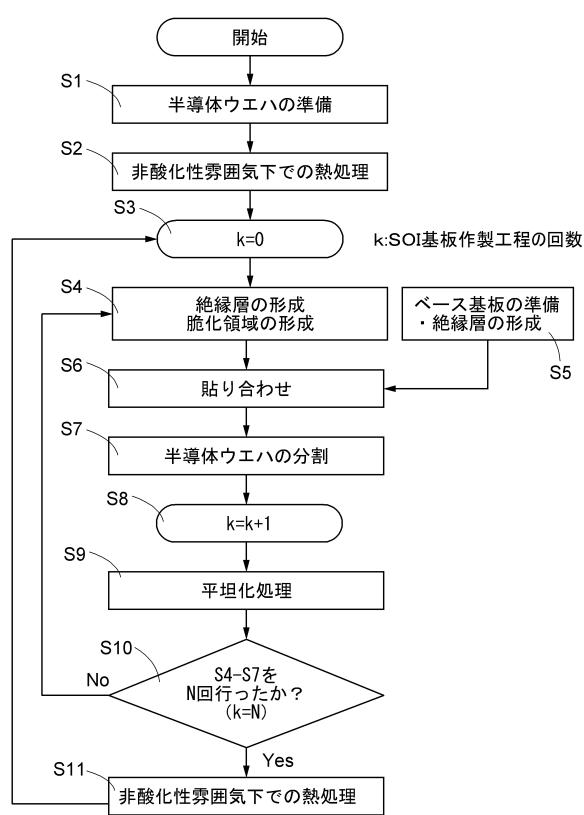
1 1 3 単結晶シリコン層

50

1 1 4 単結晶シリコン層
 1 2 0 イオン
 1 4 1 酸化窒化シリコン層
 1 4 2 窒化酸化シリコン層
 1 4 3 酸化シリコン層
 2 0 0 ガラス基板
 3 0 0 S O I 基板
 3 0 1 領域
 3 0 2 領域
 3 0 3 領域

【図1】

FIG.1



【図2】

FIG.2A



FIG.2B



FIG.2C

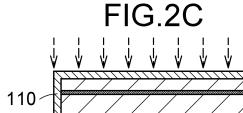
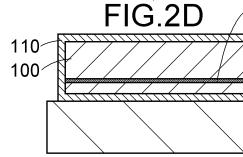
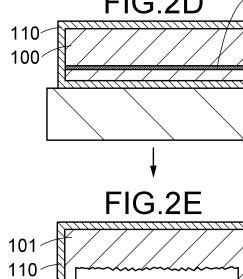


FIG.2D



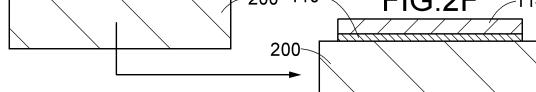
熱処理(ウエハ再生)

FIG.2E



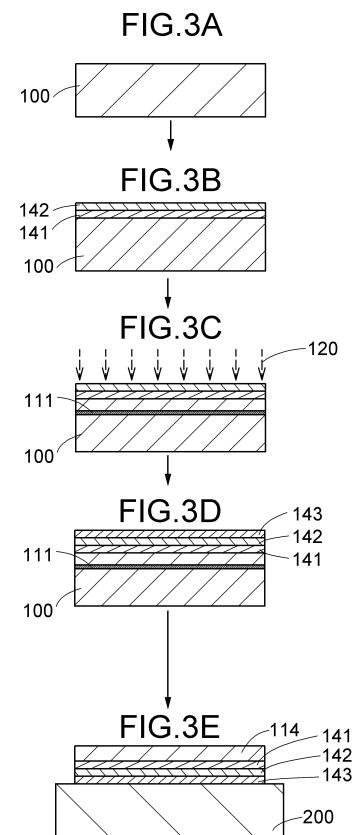
平坦化処理(ウエハ再生)

FIG.2F

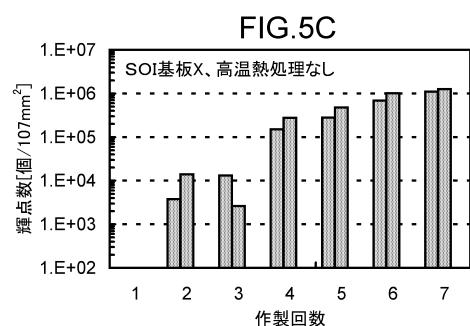
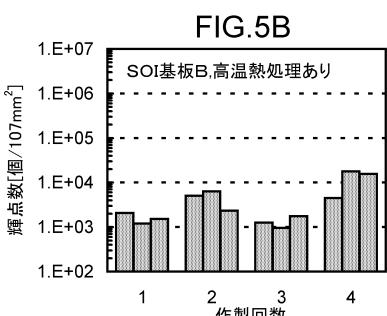
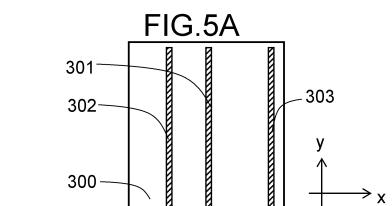


114

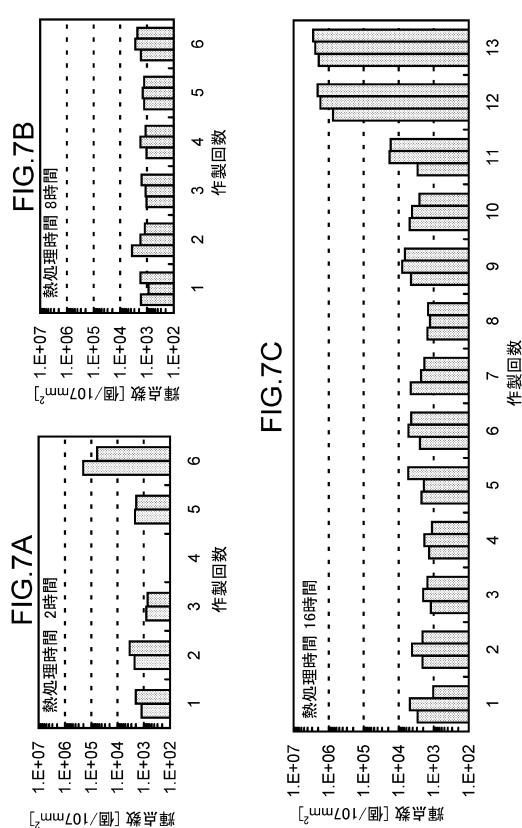
【図3】



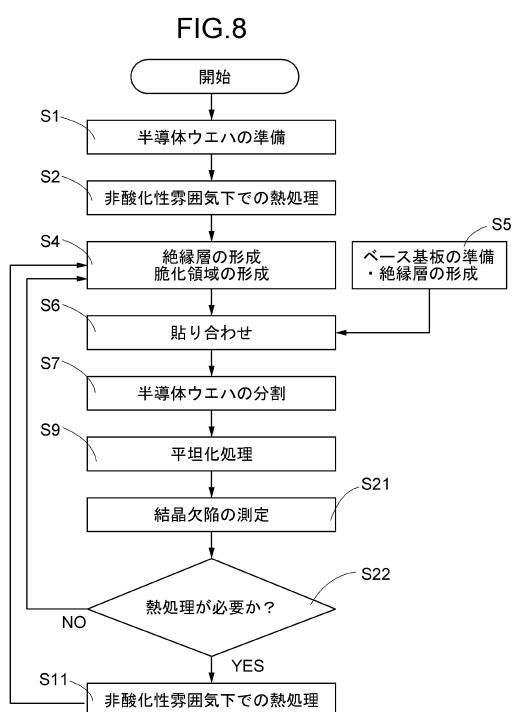
【図5】



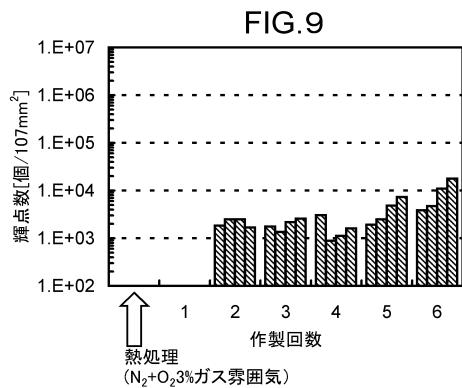
【図7】



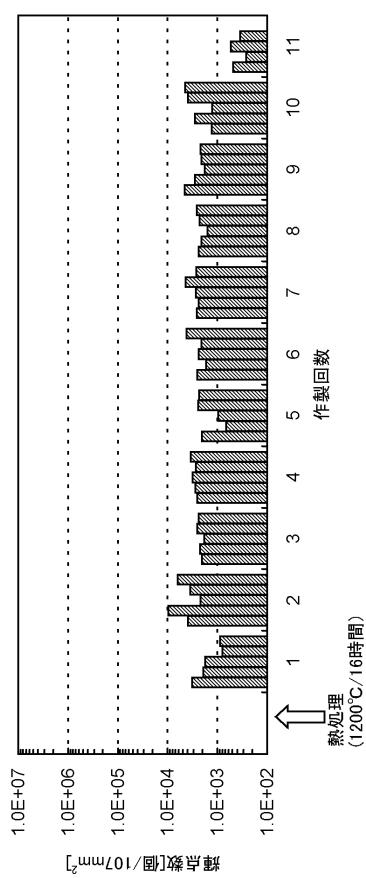
【図8】



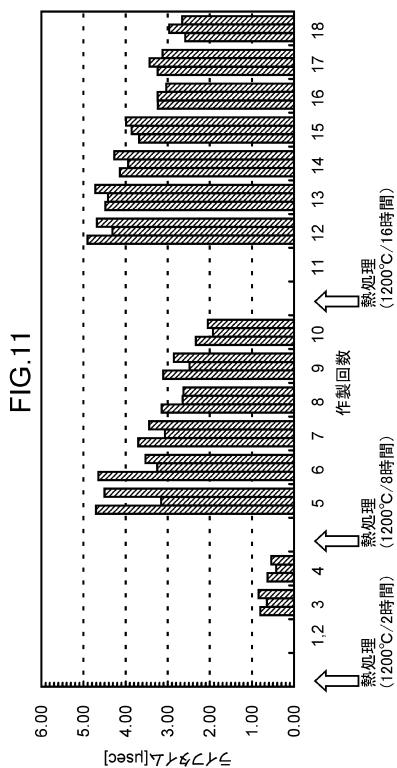
【図9】



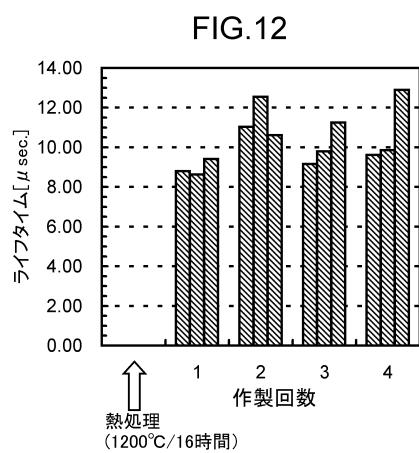
【図10】



【図11】

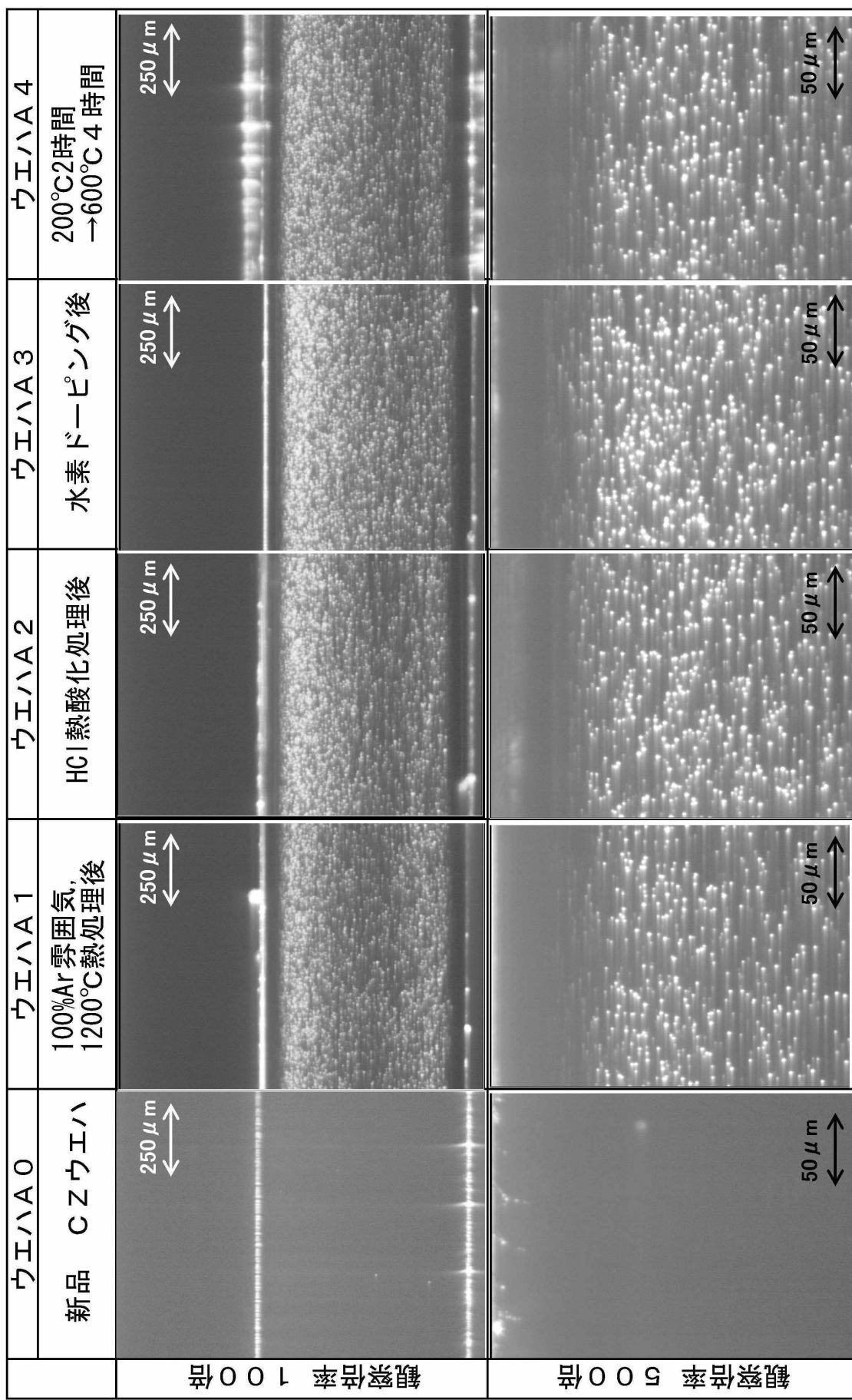


【図12】



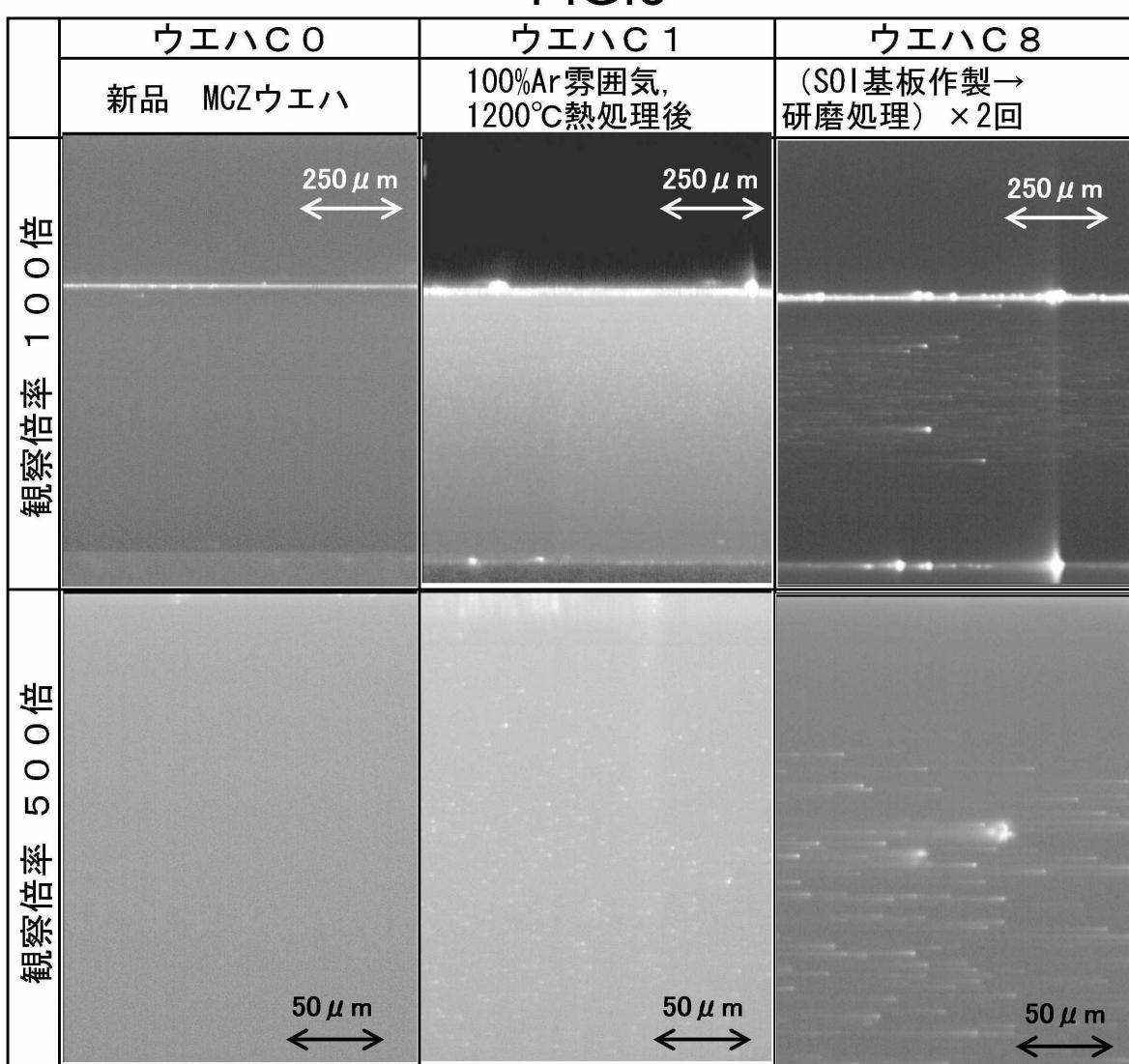
【図4】

FIG.4



【図6】

FIG.6



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 01 L 21/20 (2006.01) H 01 L 21/20

(56)参考文献 特開2000-036583(JP,A)
米国特許出願公開第2003/0170990(US,A1)
特開2007-251129(JP,A)
米国特許出願公開第2007/0216042(US,A1)
国際公開第2009/029264(WO,A1)
特開平04-295093(JP,A)
特表2010-538459(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 L 21/02
H 01 L 21/20
H 01 L 21/265
H 01 L 21/322
H 01 L 21/324
H 01 L 27/12