

(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2013-48218
(P2013-48218A)

(43) 公開日 平成25年3月7日(2013.3.7)

| | | |
|--------------------------|------------------------|-------------|
| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| H O 1 L 21/02 (2006.01) | H O 1 L 27/12 B | 5 F O 5 7 |
| H O 1 L 27/12 (2006.01) | H O 1 L 21/02 B | |
| H O 1 L 21/304 (2006.01) | H O 1 L 21/304 6 2 2 S | |

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 30 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|----------|---------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2012-159942 (P2012-159942) | (71) 出願人 | 000153878 |
| (22) 出願日 | 平成24年7月18日 (2012.7.18) | | 株式会社半導体エネルギー研究所 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2011-161320 (P2011-161320) | | 神奈川県厚木市長谷398番地 |
| (32) 優先日 | 平成23年7月22日 (2011.7.22) | (72) 発明者 | 花岡 一哉 |
| (33) 優先権主張国 | 日本国 (JP) | | 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 | 櫻田 勇二郎 |
| | | | 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 | 古野 誠 |
| | | | 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 |

最終頁に続く

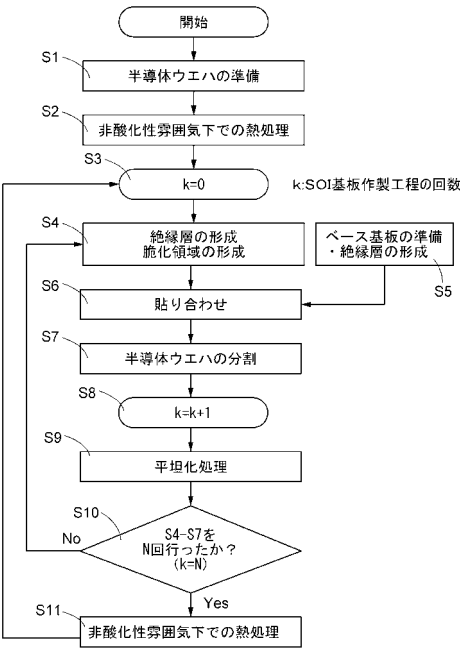
(54) 【発明の名称】 S O I 基板の作製方法

(57) 【要約】

【課題】 S O I 基板の作製工程において、熱処理の際に半導体ウエハに形成される膜の平坦性を向上させる。または、 S O I 基板作製の生産性を向上させる。

【解決手段】 ボンド基板となる半導体ウエハには、その表面に絶縁層を形成し、加速されたイオンの照射によりその内部に脆化領域を形成する。そして、ガラス基板、半導体ウエハなどのベース基板とこの半導体ウエハを貼り合わせる。そして、加熱処理をして半導体ウエハを脆化領域で分割し、絶縁層を介してベース基板上に半導体層が設けられている S O I 基板を作製する。この S O I 基板を作製する前に、半導体ウエハに不純物濃度が低減された非酸化性雰囲気下で 1 1 0 0 以上の熱処理を行う。これにより、熱処理の際に半導体ウエハに形成される膜の平坦性を向上させることができる。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水が 0.1 ppb 以上 300 ppb 以下含まれる非酸化性雰囲気下で、第 1 の半導体ウエハに 1100 以上 1300 以下の第 1 の熱処理を行うことにより、第 2 の半導体ウエハを形成する第 1 の工程と、

前記第 2 の半導体ウエハ表面に絶縁膜を形成した後、前記絶縁膜を介して前記第 2 の半導体ウエハに加速されたイオンを照射することにより、前記第 2 の半導体ウエハ中に脆化領域を形成する第 2 の工程と、

前記絶縁膜を介して前記第 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、

第 2 の熱処理を行うことにより、前記脆化領域において前記第 2 の半導体ウエハを分離し、前記絶縁膜を介して前記ベース基板に固定された半導体膜と、前記半導体膜が分離された第 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。

【請求項 2】

非酸化性雰囲気下で、第 1 の半導体ウエハに 1100 以上 1300 以下の第 1 の熱処理を行うことにより、第 2 の半導体ウエハを形成し、

前記第 1 の熱処理を行った炉内の温度を 400 以上 700 以下とした後、前記炉から前記第 2 の半導体ウエハを取り出す際の前記第 2 の半導体ウエハの移動速度を 50 mm / 分以上 500 mm / 分以下でアンロード工程を行う第 1 の工程と、

前記第 2 の半導体ウエハ表面に絶縁膜を形成した後、前記絶縁膜を介して前記第 2 の半導体ウエハに加速されたイオンを照射することにより、前記第 2 の半導体膜中に脆化領域を形成する第 2 の工程と、

前記絶縁膜を介して前記第 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、

第 2 の熱処理を行うことにより、前記脆化領域において前記第 2 の半導体ウエハを分離し、前記絶縁膜を介して前記ベース基板に固定された半導体膜と、前記半導体膜が分離された第 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。

【請求項 3】

請求項 2 において、

前記非酸化性雰囲気には、水が 0.1 ppb 以上 300 ppb 以下含まれる、SOI 基板の作製方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一において、

前記非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、又は希ガスと水素ガスの混合雰囲気である、SOI 基板の作製方法。

【請求項 5】

第 1 の非酸化性雰囲気下で、第 1 の半導体ウエハに 1100 以上 1300 以下の第 1 の熱処理を行うことにより、第 2 の半導体ウエハを形成し、

前記第 1 の熱処理を行った炉内の温度を 400 以上 700 以下とした後、前記炉から前記第 2 の半導体ウエハを取り出す際の前記第 2 の半導体ウエハの移動速度を 50 mm / 分以上 500 mm / 分以下でアンロード工程を行う第 1 の工程と、

前記第 2 の半導体ウエハ表面に絶縁膜を形成した後、前記絶縁膜を介して前記第 2 の半導体ウエハに加速されたイオンを照射することにより、前記第 2 の半導体膜中に脆化領域を形成する第 2 の工程と、

前記絶縁膜を介して前記第 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、

第 2 の熱処理を行うことにより、前記脆化領域において前記第 2 の半導体ウエハを分離し、前記絶縁膜を介して前記ベース基板に固定された半導体膜と、前記半導体膜が分離された第 3 の半導体ウエハを形成する第 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

10

20

30

40

50

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 5 の工程を 1 回以上行う第 6 の工程と、

第 2 の非酸化性雰囲気下で、前記第 4 の半導体ウエハに 1 1 0 0 以上 1 3 0 0 以下の第 3 の熱処理を行うことにより、第 5 の半導体ウエハを形成し、

前記第 3 の熱処理を行った炉内の温度を 4 0 0 以上 7 0 0 以下とした後、前記炉から前記第 5 の半導体ウエハを取り出す際の前記第 5 の半導体ウエハの移動速度を 5 0 m m / 分以上 5 0 0 m m / 分以下でアンロード工程を行う第 7 の工程と、

前記第 5 の半導体ウエハを前記第 2 の半導体ウエハに用いて、前記第 2 乃至前記第 5 の工程を 1 回以上行う第 8 の工程と、

有し、

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特徴とする S O I 基板の作製方法。

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記第 1 の非酸化性雰囲気及び前記第 2 の非酸化性雰囲気には、水が 0 . 1 p p b 以上 3 0 0 p p b 以下含まれる、S O I 基板の作製方法。

【請求項 7】

請求項 5 又は 6 において、

前記第 1 の非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、又は希ガスと水素ガスの混合雰囲気である、S O I 基板の作製方法。

【請求項 8】

請求項 5 乃至 7 のいずれか一において、

前記第 2 の非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、又は希ガスと水素ガスの混合雰囲気である、S O I 基板の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶縁膜を介して半導体膜が設けられた S O I (S i l i c o n O n I n s u l a t o r) 構造の基板の作製方法に関する。また、本発明は、S O I 基板を作製する際に使用された使用済みの半導体ウエハの再生方法に関する。

【背景技術】

【0002】

絶縁膜を介して半導体膜が設けられた S O I 構造の基板（以下、S O I 基板という）は、低消費電力かつ高速動作可能な L S I の作製に適した基板として注目されている。

【0003】

S O I 基板を作製する方法の一つとして、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）。水素イオン注入剥離法は、水素イオンを注入したシリコンウエハ（ボンド基板）を、絶縁膜を介して別の基板（ベース基板）に貼り合わせ、その後の熱処理によって、イオン注入領域において分離することで、ベース基板上に絶縁膜を介してシリコン膜を得る方法である。上記水素イオン注入法を用いることで、ガラス基板等の絶縁基板上にシリコン膜を有する S O I 基板を作製することができる（例えば、特許文献 2 参照）。

【0004】

S O I 基板の作製方法として水素イオン注入剥離法を用いる場合には、一のボンド基板となる半導体ウエハから複数の S O I 基板を作製できるため、S O I 基板の作製に占めるボンド基板のコストを低減することができるというメリットがある。シリコン膜が分離された後のボンド基板に対して再生処理を施すことで、使用後のボンド基板を、再度 S O I 基板の作製に用いることができるためである。

【0005】

10

20

30

40

50

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、S O I 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、半導体膜を構成するボンド基板の表面近傍に形成される。そのため、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。

【 0 0 0 6 】

したがって、S O I 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、S O I 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 では、このような結晶欠陥を消滅させるために、1 1 5 0 以上の高温の熱処理を行っている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特開平 5 - 2 1 1 1 2 8 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 8 7 6 0 6 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 7 - 2 5 1 1 2 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

バッチ式の縦型拡散炉（加熱炉）を用いて複数の半導体ウエハに高温の熱処理を行う場合、炉内において、半導体ウエハの搬入搬出室に近い方や、ガス導入部において、ガスの乱れが生じることがある。このガスの乱れによって、半導体ウエハ（特に周縁部）には平坦性に劣る膜（例えば、自然酸化膜）が形成されてしまったり、半導体ウエハの表面が荒れたりする。

20

【 0 0 0 9 】

このように、平坦性に劣る膜が形成されたり、表面が荒れた半導体ウエハをボンド基板として、ベース基板と貼り合わせ、S O I 基板を作製すると、ボンド基板とベース基板との界面にエアボイドと呼ばれる貼り合わせ不良が生じる。エアボイドは、半導体素子の作製工程中にさらなる不良を引き起こすため、エアボイドが生じた領域の半導体膜は使用することができない。

30

【 0 0 1 0 】

したがって、熱処理において、半導体ウエハの表面に平坦性に劣る膜が形成されたり、表面が荒れてしまった場合は、表面の平坦性を向上させるために、研磨処理が行われることもある。しかし、研磨処理により、0 . 1 μm ~ 1 . 5 μm 半導体ウエハを除去するため、一枚の半導体ウエハから S O I 基板を作製できる枚数が低下する。また、研磨処理を行うことにより、製造コストも増加してしまう。

【 0 0 1 1 】

上述の対策として、半導体ウエハの搬入搬出室に近い方や、ガス導入部に近い方などに、ダミー基板を置くことが挙げられる。しかし、ダミー基板を置くことで、一度に処理できる基板の枚数が低下するため、S O I 基板の生産性が低下してしまう。

40

【 0 0 1 2 】

このように、熱処理の際に起こる半導体ウエハ表面の平坦性の劣化は、S O I 基板の貼り合わせ不良などを招き、S O I 基板の生産効率が低下する原因となる。

【 0 0 1 3 】

上記問題に鑑み、本発明の一態様は、半導体ウエハ表面の平坦性を向上させることを課題の一とする。または、本発明の一態様は、S O I 基板作製の生産性を向上させることを課題の一とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

バッチ式の縦型拡散炉（加熱炉）を用いて複数の半導体ウエハに高温の熱処理を行う場合

50

、炉内において、半導体ウエハの搬入搬出室に近い方や、ガス導入部において、半導体ウエハ表面の平坦性が劣化するののは、熱処理の際に使用する処理ガスに含まれる水、窒素、炭素などの不純物の影響が考えられる。そこで、本発明の一態様では、不純物濃度が低減された処理ガスを用いて、半導体ウエハの熱処理を行うことにより、半導体ウエハの平坦性を向上させる。また、熱処理の終了後、炉から半導体ウエハを取り出すアンロード工程を行う際に、半導体ウエハの移動速度を制御することにより、半導体ウエハ表面の平坦性が劣化することを防止する。

【0015】

熱処理の際に用いられる処理ガスは、希ガス、水素ガス、希ガスと水素ガスとの混合ガスなどが挙げられる。これらの処理ガスに含まれる水、窒素、炭素などの不純物が、少なければ少ないほどよい。例えば、処理ガスに含まれる水は、0.1ppb以上300ppb以下として、処理ガスに含まれる水をゼロに近いほど、極力除去する。これにより、熱処理の際、水と半導体ウエハとが反応して不均一に自然酸化膜が形成されるのを抑制できるため、半導体ウエハ表面の平均面粗さを低減することができる。

10

【0016】

また、熱処理の終了後、炉から半導体ウエハを取り出す際の半導体ウエハの移動速度を50mm/分以上500mm/分以下とする。これにより、アンロード工程の途中で、炉内に流れ込んだ処理ガス以外のガスと半導体ウエハとが反応して不均一に自然酸化膜が形成されるのを抑制できるため、半導体ウエハ表面の平均面粗さを低減することができる。

20

【0017】

本発明の一態様は、水が0.1ppb以上300ppb以下含まれる非酸化性雰囲気下で、第1の半導体ウエハに1100以上1300以下の第1の熱処理を行うことにより、第2の半導体ウエハを形成する第1の工程と、第2の半導体ウエハ表面に絶縁膜を形成した後、絶縁膜を介して第2の半導体ウエハに加速されたイオンを照射することにより、第2の半導体ウエハ中に脆化領域を形成する第2の工程と、絶縁膜を介して第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、第2の熱処理を行うことにより、脆化領域において第2の半導体ウエハを分離し、絶縁膜を介してベース基板に固定された半導体膜と、半導体膜が分離された第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。

30

【0018】

また、本発明の一態様は、非酸化性雰囲気下で、第1の半導体ウエハに1100以上1300以下の第1の熱処理を行うことにより、第2の半導体ウエハを形成し、第1の熱処理を行った炉内の温度を400以上700以下とした後、炉から第2の半導体ウエハを取り出す際の第2の半導体ウエハの移動速度を50mm/分以上500mm/分以下でアンロード工程を行う第1の工程と、第2の半導体ウエハ表面に絶縁膜を形成した後、絶縁膜を介して第2の半導体ウエハに加速されたイオンを照射することにより、第2の半導体ウエハ中に脆化領域を形成する第2の工程と、絶縁膜を介して第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、第2の熱処理を行うことにより、脆化領域において第2の半導体ウエハを分離し、絶縁膜を介してベース基板に固定された半導体膜と、半導体膜が分離された第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。

40

【0019】

上記において、非酸化性雰囲気に含まれる水は0.1ppb以上300ppb以下とすることが好ましい。

【0020】

また、上記各構成において、非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、又は希ガスと水素ガスの混合雰囲気である。

【0021】

また、本発明の一態様は、第1の非酸化性雰囲気下で、第1の半導体ウエハに1100以上1300以下の第1の熱処理を行うことにより、第2の半導体ウエハを形成し、第

50

1の熱処理を行った炉内の温度を400以上700以下とした後、炉から第2の半導体ウエハを取り出す際の第2の半導体ウエハの移動速度を50mm/分以上500mm/分以下でアンロード工程を行う第1の工程と、第2の半導体ウエハ表面に絶縁膜を形成した後、絶縁膜を介して第2の半導体ウエハに加速されたイオンを照射することにより、第2の半導体ウエハ中に脆化領域を形成する第2の工程と、絶縁膜を介して第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、第2の熱処理を行うことにより、脆化領域において第2の半導体ウエハを分離し、絶縁膜を介してベース基板に固定された半導体膜と、半導体膜が分離された第3の半導体ウエハを形成する第4の工程と、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、第4の半導体ウエハを第2の半導体ウエハに用いて、第2乃至5の工程を1回以上行う第6の工程と、第2の非酸化性雰囲気下で、第4の半導体ウエハに1100以上1300以下の第3の熱処理を行うことにより、第5の半導体ウエハを形成し、第3の熱処理を行った炉内の温度を400以上700以下とした後、炉から第5の半導体ウエハを取り出す際の第5の半導体ウエハの移動速度を50mm/分以上500mm/分以下でアンロード工程を行う第7の工程と、第5の半導体ウエハを第2の半導体ウエハに用いて、第2乃至第5の工程を1回以上行う第8の工程と、有し、第1乃至第5の工程を順次1回行った後、第6乃至第8の工程を繰り返すことを特徴とするSOI基板の作製方法である。

10

【0022】

上記において、第1の非酸化性雰囲気及び第2の非酸化性雰囲気には、水が0.1ppb以上300ppb以下含まれる。

20

【0023】

また、上記各構成において、第1の非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、又は希ガスと水素ガスの混合雰囲気である。また、第2の非酸化性雰囲気は、希ガス雰囲気、水素ガス雰囲気、又は希ガスと水素ガスの混合雰囲気である。

【0024】

ここで、平均面粗さ(Ra)とは、JISB0601:2001(ISO4287:1997)で定義されている算術平均粗さRaを、測定面に対して適用できるように三次元に拡張したものである。基準面から指定面までの偏差の絶対値を平均した値と表現でき、下記の式(1)で表される。

【0025】

30

【数1】

$$R_a = \frac{1}{S_0} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} |F(X,Y) - Z_0| dXdY \quad (1)$$

【0026】

なお、測定面とは、全測定データの示す面であり、下記の式(2)で表される。

【0027】

【数2】

$$Z = F(X,Y) \quad (2)$$

40

【0028】

また、指定面とは、粗さ計測の対象となる面であり、座標(X₁, Y₁)(X₁, Y₂)(X₂, Y₁)(X₂, Y₂)で表される4点により囲まれる長方形の領域とし、指定面が理想的にフラットであるとしたときの面積をS₀とする。なお、S₀は下記の式(3)で表される。

【0029】

【数3】

$$S_0 = (X_2 - X_1) \cdot (Y_2 - Y_1) \quad (3)$$

【0030】

50

また、基準面とは、指定面の高さの平均値を Z_0 とするとき、 $Z = Z_0$ で表される平面である。基準面は $X-Y$ 平面と平行となる。なお、 Z_0 は下記の式 (4) で表される。

【0031】

【数4】

$$Z_0 = \frac{1}{S_0} \int_{X_1}^{X_2} \int_{Y_1}^{Y_2} F(X, Y) dXdY \quad (4)$$

【発明の効果】

【0032】

本発明の一態様により、半導体ウエハ表面の平坦性を向上させることができる。これにより、SOI基板を作製する際に、半導体ウエハとベース基板との貼り合わせに係る不良を抑制することができる。また、一枚の半導体ウエハから作製されるSOI基板の枚数を増加させることができる。

10

【0033】

また、本発明の一態様により、一度に処理できる基板の枚数を増加させることができるため、SOI基板の生産性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】本発明の一態様に係るSOI基板の作製方法の一例を示すフローチャート。

【図2】縦型拡散炉の断面図。

20

【図3】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】(A)ウエハA1のAFMの観察像、(B)ウエハA1の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフ。

【図5】(A)ウエハA2のAFMの観察像、(B)ウエハA2の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフ。

【図6】(A)ウエハB1のAFMの観察像、(B)ウエハB1の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフ。

【図7】(A)ウエハC1のAFMの観察像、(B)ウエハC1の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフ。

【図8】(A)ウエハC2のAFMの観察像、(B)ウエハC2の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフ。

30

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下、実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。但し、発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定されず、本明細書等において開示する発明の趣旨から逸脱することなく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。また、異なる実施の形態に係る構成は、適宜組み合わせることで実施することが可能である。なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分または同様な機能を有する部分には同一の符号を用い、その繰り返しの説明は省略する。

【0036】

40

本実施の形態では、SOI基板の作製方法について説明する。本実施の形態のSOI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1300以下の熱処理を行う。しかる後、半導体ウエハに絶縁膜および脆化領域を形成する。そして、絶縁膜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、半導体膜、絶縁膜、およびベース基板を有するSOI基板を作製する。

【0037】

さらに、本実施の形態では、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、半導体膜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)SOI基板

50

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1300 以下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。

【0038】

SOI基板作製方法のフローチャート

図1は、本実施の形態のSOI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。

【0039】

まず、ステップS1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。SOI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FZ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FZ半導体ウエハ、CZ法（チョクラルスキー法）で作製されたインゴットをスライスしたCZ半導体ウエハを用いることができる。また、CZ半導体ウエハには、MCZ法（Magnetic field applied CZ法）で作製されたインゴットをスライスしたMCZ半導体ウエハがある。MCZ法とはCZ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。

【0040】

半導体ウエハに対してSOI基板作製プロセス（ステップS4 - S7）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S2）。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（DZ：Denudd Zone）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BMD（Bulk Micro Defect）と呼ばれている。半導体ウエハ内部に形成されたBMDはSOI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。

【0041】

なお、本明細書において、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。

【0042】

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。

【0043】

図2に、縦型の加熱炉の概略断面図を示す。縦型の加熱炉500は、例えば、内管502と外管503とからなる処理室504（炉ともいう）と、ポート搬入搬出室505とを有する筐体501を備えている。また、処理室504とポート搬入搬出室505との間には、処理室504を開閉するための開閉装置515が設けられている。

【0044】

ポート搬入搬出室505には、モータ駆動の送りねじ軸装置507によって構成されたポートエレベータ508が設置されている。ポートエレベータ508上には、シールキャップ512、シールキャップ512上には、ポート506が設けられている。ポート506には、複数の半導体ウエハ100を配置することができる。

【0045】

処理室504の外部には、ヒーター509が処理室504を包囲するように設けられており、ヒーター509は、筐体501に支持されることにより据え付けられた状態となっている。ヒーター509は、処理室504内を所定の温度に加熱制御することができる。

【0046】

10

20

30

40

50

また、ガス導入管 5 1 0 が処理室 5 0 4 に接続され、所定の処理ガスがガス導入口 5 1 1、5 1 4 から処理室 5 0 4 内に供給される。さらに、処理室 5 0 4 には、ガス排出管 5 1 3 が接続され、処理室 5 0 4 内のガス圧力を所定の圧力に設定することができる。

【 0 0 4 7 】

本実施の形態における半導体ウエハの熱処理方法について説明する。なお、図 2 中の矢印は、処理ガスの進行方向を表す。

【 0 0 4 8 】

まず、ポート 5 0 6 に複数の半導体ウエハ 1 0 0 が搬送されて配置される。その後、開閉装置 5 1 5 によって、処理室 5 0 4 を開放し、ポートエレベータ 5 0 8 を上昇させることで、処理室 5 0 4 内に複数の半導体ウエハ 1 0 0 が配置されたポート 5 0 6 を収納する。これにより、処理室 5 0 4 は、シールキャップ 5 1 2 によって密閉される。

10

【 0 0 4 9 】

ここで、ポート搬入搬出室 5 0 5 から処理室 5 0 4 に半導体ウエハを収納するときのポート 5 0 6 (半導体ウエハ 1 0 0) の移動速度は、5 0 mm / 分以上 5 0 0 mm / 分以下とすることが好ましい。上述の移動速度で、ポート 5 0 6 をポート搬入搬出室 5 0 5 から処理室 5 0 4 に移動させることで、半導体ウエハ 1 0 0 に不純物が付着することを抑制することができる。処理室 5 0 4 内に半導体ウエハ 1 0 0 を収納する際、処理室 5 0 4 にアルゴン等の希ガスを導入して、処理室 5 0 4 内を非酸化性雰囲気としてもよい。または、希ガスの代わりに窒素を導入しても良い。窒素を導入する場合には、熱処理の開始までに処理室 5 0 4 内における窒素の濃度を 3 0 0 p p b 以下に低減することが好ましい。

20

【 0 0 5 0 】

次に、ガス導入管 5 1 0、ガス導入口 5 1 4 から、所定の処理ガスを供給し、所定のガス圧力及び温度となるように調整する。具体的に、ステップ S 2 での熱処理温度は、酸素の外方拡散が生じる温度であり、1 1 0 0 以上が好ましく、1 2 0 0 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 1 4 1 5 を考慮して、熱処理温度は 1 1 0 0 以上 1 3 0 0 以下が好ましく、1 2 0 0 以上 1 3 0 0 以下がより好ましい。

【 0 0 5 1 】

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 2 4 時間以下が適当であり、6 時間以上 2 0 時間以下がより好ましい。

30

【 0 0 5 2 】

また、処理ガスとして、ヘリウム、アルゴンなどの希ガス、水素、及び希ガスと水素の混合ガスを用いることができる。コスト面、安全性、雰囲気制御性の点から、処理ガスとしてアルゴンガスを用いることが好ましい。上述の処理ガスを用いることにより、処理室 5 0 4 内を非酸化性雰囲気とする。また、上述のガスの流量は、5 S L M 以上 2 0 S L M 以下 ($8.35 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3 / \text{s}$ 以上 $3.34 \times 10^2 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3 / \text{s}$ 以下) とする。なお、S L M (s t a n d a r d l i t e r / m i n) とは、1 a t m、0 における 1 分間あたり流量 (リットル) をいう。

40

【 0 0 5 3 】

さらに、水素および / または希ガスには、窒素、炭素、水などの不純物が含まれないことが好ましい。例えば、加熱炉に導入する水素および / または希ガスの純度を、7 N (9 9 . 9 9 9 9 9) 以上、好ましくは 8 N (9 9 . 9 9 9 9 9 9 %) 以上、より好ましくは 9 N (9 9 . 9 9 9 9 9 9 9 %) 以上 (即ち、不純物濃度が 1 0 0 p p b 以下、好ましくは 1 0 p p b 以下、より好ましくは 1 p p b 未満) とする。また、非酸化性雰囲気に含まれる水の濃度は、0 . 0 1 p p b 以上 1 % 以下、好ましくは 0 . 1 p p b 以上 3 0 0 p p b 以下とすることが好ましい。非酸化性雰囲気に含まれる不純物の濃度を低減することにより、熱処理の際、不純物と半導体ウエハとが反応して不均一に自然酸化膜が形成されるのを抑制することができるため、半導体ウエハ表面の平均面粗さを低減することができる。

50

【0054】

非酸化性雰囲気には、酸素が0.1ppb以上1%以下含まれていてもよい。このような非酸化性雰囲気では、半導体ウエハに熱処理を行うことにより、半導体ウエハに均一に酸化膜を形成することができる。半導体ウエハに形成される酸化膜（自然酸化膜）の膜厚は、数nm以上40nm以下であることが好ましい。自然酸化膜の膜厚が数nm未満であると、熱処理の際に半導体ウエハの表面が荒れてしまうおそれがあり、40nmを超えると半導体ウエハから酸素の外方拡散が効率よく行われなからである。例えば、水が300ppb含まれるアルゴン雰囲気中で、1200で16時間熱処理を行うと、半導体ウエハの表面には、1~2nm程度の自然酸化膜が形成される。また、酸素ガスが1%含まれるアルゴン雰囲気中で、1200で2時間熱処理を行うと、半導体ウエハの表面には、40nm程度の酸化膜が形成される。酸化膜（自然酸化膜）の膜厚が上記の範囲内であれば、半導体ウエハから酸素の外方拡散を促進することができる。

10

【0055】

熱処理が終了した後、加熱炉の処理室504内の温度を、400以上700以下に低下させる。加熱炉の処理室504内の温度は、1.5/分以上3.0/分以下で低下させていけばよい。

【0056】

次に、熱処理を行った処理室504から、半導体ウエハを取り出すアンロード工程を行う。アンロード工程では、複数の半導体ウエハが配置されたポート506は、ポートエレベータ508を下降させることで、処理室504からポート搬入搬出室505に取り出される。また、アンロード工程を開始するとき、つまり、ポート506を処理室504から取り出すときの処理室504の温度は、400以上800以下としておく。半導体ウエハを処理室504から取り出すときの処理室504内の温度を400未満とすると降温に時間がかかるため、生産性が低下し、800を超えると、半導体ウエハ表面に形成される酸化膜表面の平坦性が劣化するためである。また、800を超えると輻射熱により、ポート搬入搬出室505が影響を受けるおそれがある。

20

【0057】

また、アンロード工程において、処理室504からポート搬入搬出室505に半導体ウエハ100を取り出すときのポート506（半導体ウエハ100）の移動速度は、50mm/分以上500mm/分以下とすることが好ましい。移動速度が50mm/分未満であると、処理室504からポート搬入搬出室505に移動する間に、ポート搬入搬出室505から処理室504内に流れ込んだ不純物が含まれるガス（処理に用いたガス以外のガス）によって、半導体ウエハ100の表面に酸化膜が不均一に形成され、半導体ウエハ100の平坦性が劣化する。特に、ポートの上部に設置された半導体ウエハ100は、長時間不純物が含まれるガス中に置かれることになり、酸化膜の表面荒れが顕著となる。また、移動速度が500mm/分を超えると、スリップなどの結晶欠陥が発生するおそれがある。したがって、50mm/分以上500mm/分以下とすることにより、酸化膜の表面の平坦性が良好な半導体ウエハ100を得ることができる。

30

【0058】

また、半導体ウエハ100を取り出すアンロード工程を行うとき、半導体ウエハ100に熱処理を行った処理室504内に、熱処理工程で処理室内に供給した処理ガスを供給しながら行ってもよい。例えば、上部のガス導入口511、及び下部のガス導入口514のそれぞれから、処理ガスを供給しながら行うことにより、処理室504内の雰囲気中に含まれる処理ガス以外のガス濃度を低下させることができる。また、下部のガス導入口514から、処理ガスを供給することにより、ポート搬入搬出室505から、処理室504内に処理ガス以外のガスが入り込むことを抑制することができる。

40

【0059】

以上のようにして、半導体ウエハ100に熱処理を行うことにより、半導体ウエハ100の表面に形成された酸化膜の平均面粗さ（Ra）を、0.4nm以下、好ましくは、0.2nm以下、さらに好ましくは0.1nm未満とすることができる。これにより、ベース

50

基板との貼り合わせを行った際に、エアボイドなどの貼り合わせ不良の低減を図ることができる。また、熱処理後の半導体ウエハに研磨処理を行う必要がなくなるため、工程の簡略化を図ることができる。さらに、研磨処理により、半導体ウエハ 100 を除去する必要がなくなるため、一回の熱処理による SOI 基板を作製することのできる枚数を増加させることができる。

【0060】

また、ポート 506 内の半導体ウエハの位置に関係なく、半導体ウエハ 100 の平坦性を向上させることができるため、ダミー基板を用いる必要がなくなる。これにより、一度に処理できる半導体ウエハの枚数を増加させることができる。この結果、SOI 基板の作製工程における生産性を向上させることができる。

10

【0061】

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する回数を示す。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。

【0062】

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膜および脆化領域を形成する工程である。

20

【0063】

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膜を形成する。この絶縁膜は単層でも複数層でもよい。この絶縁膜を構成する層として、例えば、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜などを形成することができる。また、これらの絶縁膜は、化学気相法（CVD 法）、スパッタ法、原子層エピタキシ法（ALE 法）で形成することができる。また、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膜を構成する層を形成することができる。

【0064】

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。

30

【0065】

ステップ S4 において、絶縁膜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、絶縁膜を少なくとも 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中で半導体ウエハを熱酸化して、酸化シリコン膜を半導体ウエハに形成した後、酸化シリコン膜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、酸化シリコン膜上に、CVD 法などにより酸化窒化シリコン膜などの 2 層目の絶縁膜を形成してもよい。

【0066】

ステップ S5 に示すように、ベース基板の準備を行う。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、アルミノシリケートガラス、アルミ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。

40

【0067】

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、

50

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。

【0068】

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膜が形成される。この絶縁膜を構成する層として、例えば、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜などを形成することができる。また、これらの絶縁膜は、化学気相法（CVD法）、スパッタ法、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膜を構成する層を形成することができる。

【0069】

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。

10

【0070】

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）。ベース基板に絶縁膜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膜表面とを接触させ、加圧することで、ベース基板と絶縁膜を貼り合わせる。また、ベース基板に絶縁膜を形成する場合は、ベース基板の絶縁膜表面と半導体ウエハの絶縁膜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。

【0071】

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、半導体膜、絶縁膜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。

20

【0072】

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。

【0073】

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。

30

【0074】

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。

【0075】

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。

40

【0076】

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、ウエ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。半導体ウエハに研磨処理を行うことにより、半導体ウエハの表面の平均面粗さ（Ra）を0.08nm ~ 0.12nmとすることができる。

【0077】

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

50

）を繰り返す。

【0078】

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)。

【0079】

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、また半導体ウエハのDZ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基板の半導体膜とすることができなくなる。

10

【0080】

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1300 以下の熱処理を行う。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の記載を参照することができる。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。

【0081】

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。

20

【0082】

ステップS2において、新品の半導体ウエハに上述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。

【0083】

また、ステップS2の熱処理を行うことで、SOI基板の半導体膜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、半導体膜に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。

30

【0084】

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 $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 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。

【0085】

半導体ウエハに含まれる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ながる。

40

【0086】

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ができ、半導体ウエハ

50

の利用回数の増加、およびSOI基板の半導体膜の品質向上などにつながる。

【0087】

よって、ステップS1では、酸素濃度が $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 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 $1.8 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下が好ましく、 $1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下がより好ましい。酸素濃度が $1.4 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 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。

【0088】

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（Infrared 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_c を算出するには、下記の式（5）および式（6）を用いる。

【0089】

$$I = I_0 \exp(-\alpha_1 t) \quad \dots (5)$$

$$O_{conc} = \alpha_1 \times K \quad \dots (6)$$

【0090】

式（5）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（6）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。

【0091】

式（5）から吸収係数 α_1 を求め、そして、式（6）に示すように吸収係数 α_1 に定数 K を乗じること、酸素濃度 O_{conc} 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（6）の α_1 に $\alpha_2 = \alpha_1 - 0.4 [\text{cm}^{-1}]$ を代入することで、酸素濃度 O_{conc} を求めることができる。

【0092】

なお、ステップS10において、半導体ウエハに形成されたDZの厚さによって、ステップS11の熱処理の要否を決定してもよい。半導体ウエハに形成されたDZの厚さは、半導体ウエハに形成された結晶欠陥を測定することで評価することができる。半導体ウエハに形成された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できればよく、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挙げられる。マイクロ波光導伝減衰（ μ -PCD：Microwave Photoconductive Decay）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少数キャリアのライフタイムを非破壊で測定する方法である。

【0093】

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）は、SOI基板の作製工程をN回行った後で実施されるが、 N の値は特に限定されない。例えば、半導体ウエハのBMDが増加し、また半導体ウエハのDZが薄くなるまで行うことができる。したがって、 N の値は、ステップS2またはステップS11に示す熱処理の後に、半導体ウエハに含まれる酸素の濃度や、半導体ウエハに形成されたDZの厚さなどで決めることができる。また、 N の値は、ステップS11を実施する度に異なってもよい。例えば、SOI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S11の熱処理を行い、次に、SOI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S11の熱処理を行うことができる。

10

20

30

40

50

【0094】

次に、断面図を用いて、SOI基板の作製工程の一例を説明する。以下、図1及び図3を参照して、SOI基板の作製例を説明する。

【0095】

SOI基板の作製方法

図3(A)乃至図3(I)を参照して、SOI基板の作製方法の一例を説明する。

【0096】

図3(A)は、図1のステップS1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、新品の単結晶のシリコンウエハ101(以下、シリコンウエハと呼ぶ)を用いる。

10

【0097】

図3(B)は、図1のステップ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、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、縦型加熱炉を用いて、シリコンウエハを1200で16時間加熱する。加熱処理の雰囲気はアルゴン雰囲気とする。

【0098】

図1のステップS2で説明したように、新品のシリコンウエハにこの熱処理を行うことで、シリコンウエハにDZ層(DZ層は図示しない)を形成することができる。図3(B)は、DZ層が形成されたシリコンウエハ102を表す。

20

【0099】

シリコンウエハにDZ層を形成することにより、再生処理の度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、DZ層の厚さや、再生処理での研磨処理の条件などに依存するが、上記の条件でのステップS2の高温熱処理を行うことによって、研磨量が4μm以下であれば、図1のステップS11の高温の熱処理を行わずに、市販のMCZ単結晶シリコンウエハを少なくとも16回利用することが可能である。また、図1に示すフローチャートに従い、SOI基板を作製することで、1枚のシリコンウエハ(厚さ:0.7mm)から、少なくとも40回以上、SOI基板を作製することができる。

【0100】

また、図1のステップS2で説明したように、熱処理において、処理ガスの不純物を低減する、又は熱処理後のアンロード工程において、処理室から搬入搬出室に取り出す際のシリコンウエハの移動速度を制御することにより、シリコンウエハ102表面の平均面粗さを低減することができる。具体的には、シリコンウエハ102表面の平均面粗さを、0.4nm以下、好ましくは、0.2nm以下、さらに好ましくは0.1nm未満とすることができる。

30

【0101】

図3(C)及び図3(D)は、図1のステップS4に対応する工程を説明する断面図である。熱処理が終了したら、図3(C)に示すように、シリコンウエハ101に絶縁膜を形成する。ここでは、シリコンウエハ102を熱酸化して、酸化シリコン膜112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。

40

【0102】

例えば、O₂に対し0.5体積%以上10体積%以下のHClを含む雰囲気中で、900以上1100以下で熱処理することで、塩素を含む酸化シリコン膜112を形成することができる。ここでの処理時間は0.1時間以上6時間以下とする。また、酸化シリコン膜112の膜厚は、50nm以上200nm以下とする。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102を950で熱処理して、酸化シリコン膜112(熱酸化物膜)を厚さ100nm形成する。

50

【0103】

図3(B)に示すように、シリコンウエハ102表面の平坦性を向上させておくことにより、図3(C)に示す酸化シリコン膜112の平坦性も向上させることができる。具体的には、酸化シリコン膜112の平坦性を、0.4nm以下、好ましくは、0.2nm以下、さらに好ましくは0.1nm未満とすることができる。

【0104】

次に、図3(D)に示すように、イオン120を照射して、シリコンウエハ102中に脆化領域113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。

【0105】

イオン120は電界により加速され、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102の表面から所定の深さの領域に脆化領域113を形成することができる。脆化領域113が形成される深さは、イオン120の加速エネルギーや、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113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113が形成される深さにより、シリコンウエハ102から分離される半導体膜の厚さが決定される。脆化領域113が形成される深さは、シリコンウエハ102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。

【0106】

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。

【0107】

脆化領域113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、ソースガスを異なら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、水素を含むガスをを用いてイオン照射を行うこともできる。

【0108】

ここでは、脆化領域113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} ions/cm²の条件で、酸化シリコン膜112を介して水素イオンをシリコンウエハ102に照射する。

【0109】

図3(E)は、図1のステップS6に対応する工程を説明する断面図である。図3(E)に示すように、ベース基板とシリコンウエハ102とを貼り合わせる。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101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、絶縁膜を形成してもよい。

【0110】

貼り合わせる前に、シリコンウエハ102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膜112の表面とを接触させた状態で、シリコンウエハ102およびガラス基板200を押圧することで、ガラ

10

20

30

40

50

ス基板 200 と酸化シリコン膜 112 が接合し、ガラス基板 200 とシリコンウエハ 102 とが貼り合わされる。

【0111】

ガラス基板 200 とシリコンウエハ 102 との貼り合わせにおいて、ガラス基板 200 及びシリコンウエハ 102 の平均面粗さ (Ra) が 0.4 nm を超えると、ガラス基板 200 とシリコンウエハ 102 との貼り合わせ界面にエアボイドなどの貼り合わせ不良が生じる可能性がある。また、ガラス基板 200 及びシリコンウエハ 102 の平均面粗さが 0.8 nm 以上であると、ガラス基板 200 とシリコンウエハ 102 との自発接合ができなくなることが本発明者らによって確認されている。よって、ガラス基板 200 の平均面粗さも、0.8 nm 未満、好ましくは 0.4 nm 以下、さらに好ましくは 0.2 nm であることが好ましい。

10

【0112】

本発明の一態様においては、シリコンウエハ 102 の熱処理によって形成される酸化膜の平均面粗さを 0.4 nm 以下、好ましくは、0.2 nm 以下、さらに好ましくは 0.1 nm 未満とすることができる。これにより、シリコンウエハ 102 に形成される酸化シリコン膜 112 の表面における平均面粗さも 0.4 nm 以下、好ましくは、0.2 nm 以下、さらに好ましくは 0.1 nm 未満とすることができる。この結果、シリコンウエハ 102 とガラス基板 200 とを貼り合わせた際に、エアボイドなどの貼り合わせ不良の低減を図ることができる。

【0113】

20

次に、ガラス基板 200 およびシリコンウエハ 102 を熱処理して、貼り合わせの強度を高めてもよい。この熱処理温度は、脆化領域 113 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。

【0114】

図 3 (F) は、図 1 のステップ S7 に対応する工程を説明する断面図である。図 3 (F) に示すように、シリコンウエハ 102 を脆化領域 113 で分割し、シリコンウエハ 102 から単結晶シリコン膜 114 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 102 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 113 に亀裂が生じ、シリコンウエハ 103 と、単結晶シリコン膜 114、酸化シリコン膜 112、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 103 は、再生処理前のウエハである。

30

【0115】

ここでは、加熱炉において、ガラス基板 200 と酸化シリコン膜 112 間の接合強度を高める処理と、シリコンウエハ 102 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 102 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。

【0116】

次に、図 3 (G) に示すように、SOI 基板の単結晶シリコン膜 114 を平坦化し、単結晶シリコン膜 115 を形成する。ここでは、SOI 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、単結晶シリコン膜 114 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、単結晶シリコン膜 114 をエッチングする処理を行ってもよい。このエッチング処理で単結晶シリコン膜 114 表面に残存している脆化領域 113 を除去することができる。

40

【0117】

レーザ光照射処理に用いるレーザには、例えば、XeCl 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

50

、 $GdVO_4$ レーザ、 KGW レーザ、 KYW レーザ、 Y_2O_3 レーザ等がある。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。

【0118】

レーザ光を照射すると、単結晶シリコン膜114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膜115を形成することができる。また溶融によって、単結晶シリコン膜114の結晶を再配列させることができるため、単結晶シリコン膜115中のダング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膜115が形成される。

10

【0119】

しかしながら、単結晶シリコン膜115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、SOI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、SOI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から半導体膜を形成することは、低耐熱性のベース基板でなるSOI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SOI基板を作製することが可能になる。

20

【0120】

また、図3(G)のSOI基板の単結晶シリコン膜115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、ドライエッチング処理および/またはウエットエッチ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、研磨処理、熱酸化处理、エッチ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。

30

【0121】

以下、単結晶シリコン膜114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、平坦化处理（図3(H)参照）、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3(I)参照）がある。図1のステップS9で示したように、図3(H)の平坦化处理は、ボンド基板を再処理する度に行われる。図3(H)には、平坦化处理により再生された再生シリコンウエハ104が示されている。この再生シリコンウエハ104は、図3(C)のボンド基板（シリコンウエハ102）として再利用される。

【0122】

また、図1のステップS11に示したように、図3(I)の熱処理は間欠的に行われ、SOI基板の作製工程（図3(C)乃至図3(F)）を複数回行った後の再生処理として、図3(H)の平坦化处理の後に、再生シリコンウエハ104に行われる。熱処理後の再生シリコンウエハ105が、図3(C)のボンド基板（シリコンウエハ102）として再利用される。

40

【0123】

図3(H)の平坦化处理によって再生シリコンウエハ104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ウエットエッチングで、シリコンウエハ103に残存している酸化シリコン膜112を除去する。そして、単結晶シリコン膜114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

50

てもよい。このエッチング処理により、シリコンウエハ 103 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。

【0124】

また、図 3（I）の熱処理によって再生シリコンウエハ 105 を作製するには、例えば、図 3（B）の熱処理と同様、加熱炉を用いて、アルゴン雰囲気下で再生シリコンウエハ 104 を 1200 で 1 時間以上加熱するとよい。

【0125】

以上の工程により、SOI 基板を作製、及び分割後の半導体ウエハを再生することができる。

10

【0126】

酸素濃度 $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の半導体ウエハに熱処理を行うことにより、半導体ウエハに DZ を形成することができる。半導体ウエハに DZ が形成されることにより、図 1 に示すステップ S4 - S9（SOI 基板作製工程）を複数回行うことができる。また、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。

【0127】

熱処理の際に用いられる処理ガスに含まれる不純物濃度を低減することにより、熱処理の際、不純物と半導体ウエハとが反応して不均一に自然酸化膜が形成されるのを抑制することができるため、半導体ウエハの平均面粗さを低減することができる。

20

【0128】

平均面粗さが低減された半導体ウエハと、ベース基板とを貼り合わせることで、半導体ウエハとベース基板との界面にエアボイドなどの貼り合わせ不良が生じることを防止することができる。

【0129】

また、複数の半導体ウエハを処理できる縦型の加熱炉を用いる場合、ダミー基板が不要になる、又はダミー基板の枚数を低減することができるため、一度に処理できる基板の枚数を増やすことができる。

30

【0130】

以上により、SOI 基板の生産性を向上することができる。

【実施例 1】

【0131】

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）に熱処理を行った後の CZ ウエハの表面の平坦性について調査した結果について説明する。

【0132】

まず、新品の CZ ウエハとして、（株式会社 SUMCO 製 5 インチ平方、p 型、面方位（100））を用いた。新品の CZ ウエハを、3 枚用意した。

【0133】

次に、3 枚の CZ ウエハに対して、洗浄を行った。具体的には、硫酸過酸化水素水混合溶液（SPM）、塩酸過酸化水素水混合溶液（HPM）、フッ酸過酸化水素水混合溶液（FPM）等の洗浄液を順番に用いて洗浄を行った。

40

【0134】

次に、図 2 に示すような縦型の加熱炉を用いて、3 枚の CZ ウエハに熱処理を行った。本実施例で用いた加熱炉のポートには、130 枚のウエハを配置することができる。

【0135】

条件 1 として、3 枚の CZ ウエハのうち、2 枚の CZ ウエハをポートに配置し、処理室に搬入し、300 ppb の水を含むアルゴンガス雰囲気、1200、16 時間の熱処理を行った。条件 1 における 2 枚の CZ ウエハのうち、ポートの下から 117 番目に配置さ

50

れたC Z ウエハをウエハ A 1、ポートの下から 1 7 番目に配置されたC Z ウエハをウエハ A 2として説明する。

【 0 1 3 6 】

また、条件 2 として、残りの 1 枚のC Z ウエハをポートに配置し、処理室に搬入し、1 % の窒素ガスを含むアルゴン雰囲気、1 2 0 0 、2 時間の熱処理を行った。条件 2 において、ポートの下から 1 1 9 番目に配置されたC Z ウエハをウエハ B 1として説明する。

【 0 1 3 7 】

次に、C Z ウエハの平坦性について測定した。C Z ウエハの平坦性は、原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope、以下 A F M と記す) によって測定した。

10

【 0 1 3 8 】

ウエハ A 1 及びウエハ A 2 において、平均面粗さ (R a) を 8 点測定した。表 1 に、ウエハ A 1 の各ポイントの平均面粗さ (R a) を示し、表 2 に、ウエハ A 2 の各ポイントの平均面粗さ (R a) を示す。なお、各ポイントの平均面粗さ (R a) は、測定面積 $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ として測定した。

【 0 1 3 9 】

【 表 1 】

| | X[mm] | Y[mm] | Ra[nm] |
|---|-------|-------|--------|
| 1 | 57 | 57 | 0.300 |
| 2 | 57 | 44 | 0.225 |
| 3 | 57 | 5 | 0.269 |
| 4 | 2.5 | 5 | 0.0343 |
| 5 | -57 | 5 | 0.307 |
| 6 | -57 | 44 | 0.192 |
| 7 | -57 | 57 | 0.289 |
| 8 | 2.5 | 57 | 0.334 |

20

【 0 1 4 0 】

【 表 2 】

| | X[mm] | Y[mm] | Ra[nm] |
|---|-------|-------|--------|
| 1 | 57 | 57 | 0.0412 |
| 2 | 57 | 44 | 0.0308 |
| 3 | 57 | 5 | 0.0312 |
| 4 | 2.5 | 5 | 0.0336 |
| 5 | -57 | 5 | 0.0408 |
| 6 | -57 | 44 | 0.03 |
| 7 | -57 | 57 | 0.0403 |
| 8 | 2.5 | 57 | 0.0305 |

30

【 0 1 4 1 】

ウエハ B 1 及びウエハ B 2 において、平均面粗さ (R a) を 8 点測定した。表 3 に、ウエハ B 1 の各ポイントの平均面粗さ (R a) を示す。なお、各ポイントの平均面粗さ (R a) は、 $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ として測定した。

【 0 1 4 2 】

40

【 表 3 】

| | X[mm] | Y[mm] | Ra[nm] |
|---|-------|-------|--------|
| 1 | 57 | 57 | 0.264 |
| 2 | 57 | 44 | 0.0935 |
| 3 | 57 | 5 | 0.532 |
| 4 | 2.5 | 5 | 0.572 |
| 5 | -57 | 5 | 5.07 |
| 6 | -57 | 44 | 2.16 |
| 7 | -57 | 57 | 0.215 |
| 8 | 2.5 | 57 | 3.44 |

【 0 1 4 3 】

50

図4(A)は、ウエハA1のAFMの観察像であり、図4(B)は、ウエハA1の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフである。また、図5(A)は、ウエハA2のAFMの観察像であり、図5(B)は、ウエハA2の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフである。

【0144】

図6(A)は、ウエハB1のAFMの観察像であり、図6(B)は、ウエハB1の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を表すグラフである。なお、各ポイントの測定面積は、 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ である。

【0145】

表3及び図6に示すように、1%の窒素ガスを含むアルゴン雰囲気中で熱処理が行われたウエハB1の平均面粗さ(Ra)は、ウエハの周縁部で $2\text{nm} \sim 5\text{nm}$ であり、ウエハの中央部で 0.5nm 程度であることがわかった。これに対し、表1、表2、図4、及び図5に示すように、 300ppb の水を含むアルゴン雰囲気中で熱処理が行われたウエハA1の平均面粗さ(Ra)は、ウエハの周縁部で $0.2\text{nm} \sim 0.3\text{nm}$ であり、ウエハの中央部で 0.03nm 程度であることがわかった。また、ウエハA2の平均面粗さ(Ra)は、ウエハの周縁部及び中央部においても $0.03\text{nm} \sim 0.04\text{nm}$ であることがわかった。

10

【0146】

以上の結果から、非酸化性雰囲気中の不純物の濃度を低減することにより、半導体ウエハ表面の平均面粗さを低減し、半導体ウエハの平坦性を向上できることがわかった。

20

【実施例2】

【0147】

本実施例では、新品のCZウエハに熱処理を行った後のCZウエハの表面の平坦性についてさらに調査した結果について説明する。

【0148】

まず、新品のCZウエハとして、(株式会社SUMCO製 5インチ平方、p型、面方位(100))を用いた。新品のCZウエハを、2枚用意した。

【0149】

次に、2枚のCZウエハに対して、洗浄を行った。具体的には、硫酸過酸化水素水混合溶液(SPM)、塩酸過酸化水素水混合溶液(HPM)、フッ酸過酸化水素水混合溶液(FPM)等の洗浄液を順番に用いて洗浄を行った。

30

【0150】

次に、図2に示すような縦型の加熱炉を用いて、2枚のCZウエハに熱処理を行った。本実施例で用いた加熱炉のポートには、130枚のウエハを配置することができる。

【0151】

2枚のCZウエハをポートに配置し、処理室に搬入し、 1.2ppb の水を含むアルゴンガス雰囲気中、1200、16時間の熱処理を行った。2枚のCZウエハのうち、ポートの下から119番目に配置されたCZウエハをウエハC1、ポートの下から19番目に配置されたCZウエハをウエハC2として説明する。

40

【0152】

次に、CZウエハの平坦性について測定した。CZウエハの平坦性は、原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope、以下AFMと記す)によって測定した。

【0153】

ウエハC1及びウエハC2において、平均面粗さ(Ra)を8点測定した。表4に、ウエハC1の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を示し、表5に、ウエハC2の各ポイントの平均面粗さ(Ra)を示す。なお、各ポイントの平均面粗さ(Ra)は、 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ として測定した。

【0154】

【表 4】

| | X[mm] | Y[mm] | Ra[nm] |
|---|-------|-------|--------|
| 1 | 57 | 57 | 0.05 |
| 2 | 57 | 44 | 0.03 |
| 3 | 57 | 5 | 0.04 |
| 4 | 2.5 | 5 | 0.03 |
| 5 | -57 | 5 | 0.06 |
| 6 | -57 | 44 | 0.03 |
| 7 | -57 | 57 | 0.07 |
| 8 | 2.5 | 57 | 0.06 |

【 0 1 5 5 】

【表 5】

| | X[mm] | Y[mm] | Ra[nm] |
|---|-------|-------|--------|
| 1 | 57 | 57 | 0.06 |
| 2 | 57 | 44 | 0.04 |
| 3 | 57 | 5 | 0.04 |
| 4 | 2.5 | 5 | 0.03 |
| 5 | -57 | 5 | 0.04 |
| 6 | -57 | 44 | 0.04 |
| 7 | -57 | 57 | 0.03 |
| 8 | 2.5 | 57 | 0.06 |

【 0 1 5 6 】

図 7 (A) は、ウエハ C 1 の A F M の観察像であり、図 7 (B) は、ウエハ C 1 の各ポイントの平均面粗さ (R a) を表すグラフである。また、図 8 (A) は、ウエハ C 2 の A F M の観察像であり、図 8 (B) は、ウエハ C 2 の各ポイントの平均面粗さ (R a) を表すグラフである。

【 0 1 5 7 】

表 4、表 5、図 7、及び図 8 に示す結果から、1 . 2 p p b の水を含むアルゴン雰囲気中で熱処理が行われたウエハ C 1 の平均面粗さ (R a) は、ウエハ全体において、0 . 0 3 n m ~ 0 . 0 7 n m であり、ウエハ C 2 の平均面粗さ (R a) は、ウエハ全体において、0 . 0 3 n m ~ 0 . 0 6 n m であることがわかった。

【 0 1 5 8 】

以上の結果から、非酸化性雰囲気中の不純物濃度を極めて低減することにより、縦型の加熱炉において、ボートのどの位置に半導体ウエハを配置しても、半導体ウエハの平均面粗さを低減し、半導体ウエハの平坦性を向上させることができることがわかった。

【符号の説明】

【 0 1 5 9 】

- 1 0 0 半導体ウエハ
- 1 0 1 シリコンウエハ
- 1 0 2 シリコンウエハ
- 1 0 3 シリコンウエハ
- 1 0 4 再生シリコンウエハ
- 1 0 5 再生シリコンウエハ
- 1 1 2 酸化シリコン膜
- 1 1 3 脆化領域
- 1 1 4 単結晶シリコン膜
- 1 1 5 単結晶シリコン膜
- 1 2 0 イオン
- 2 0 0 ガラス基板
- 5 0 0 加熱炉
- 5 0 1 筐体
- 5 0 2 内管
- 5 0 3 外管
- 5 0 4 処理室

10

20

30

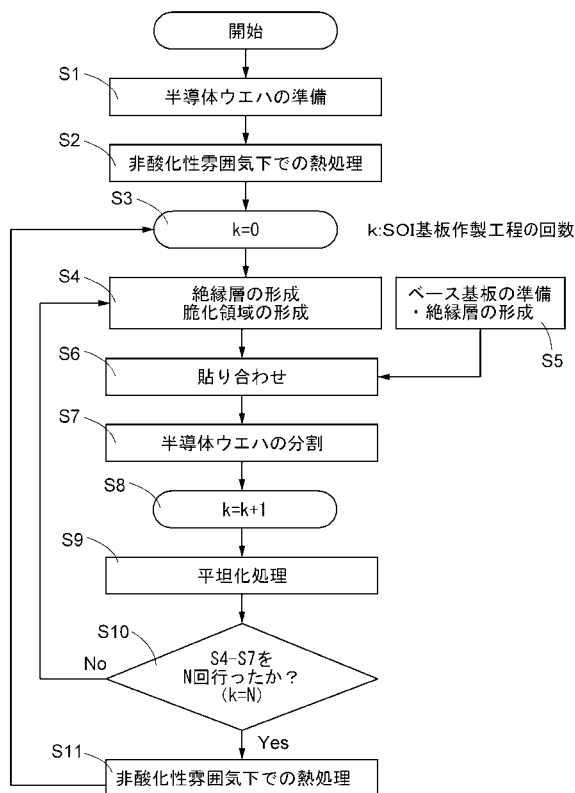
40

50

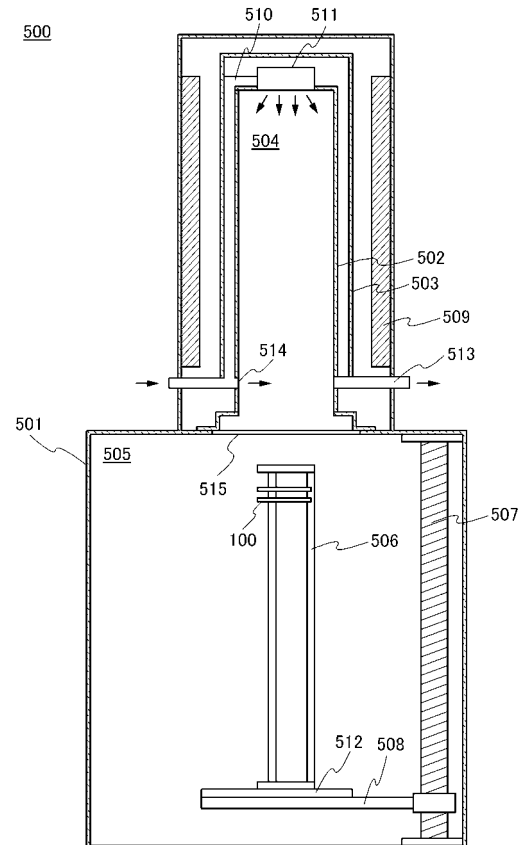
505 ボート搬入搬出室
 506 ボート
 507 軸装置
 508 ボートエレベータ
 509 ヒーター
 510 ガス導入管
 511 ガス導入口
 512 シールキャップ
 513 ガス排出管
 514 ガス導入口
 515 開閉装置

10

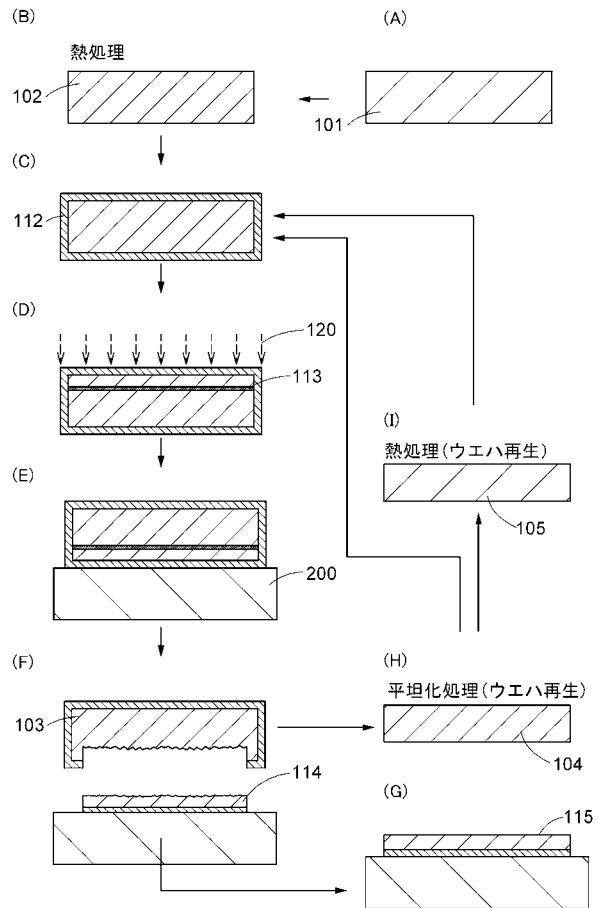
【図1】



【図2】

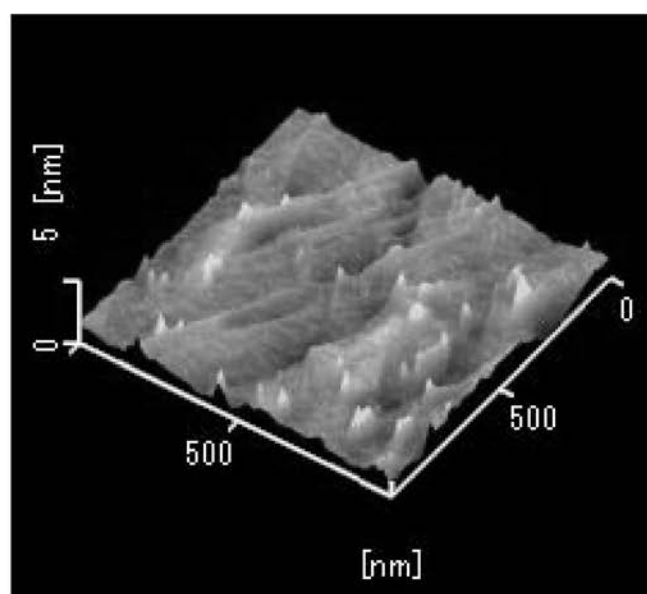


【図 3】

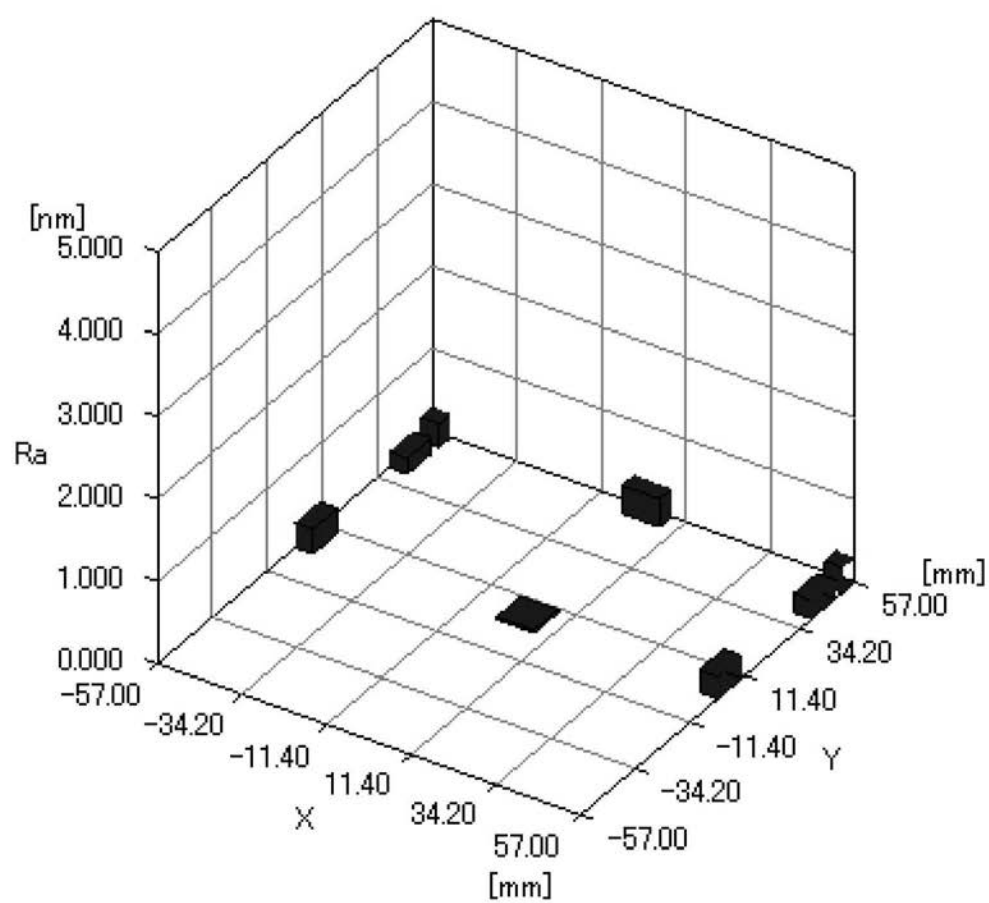


【 図 4 】

(A)

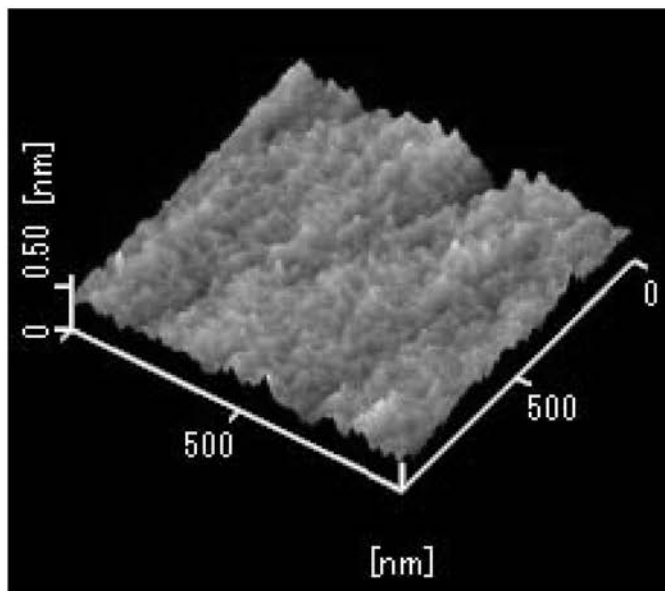


(B)

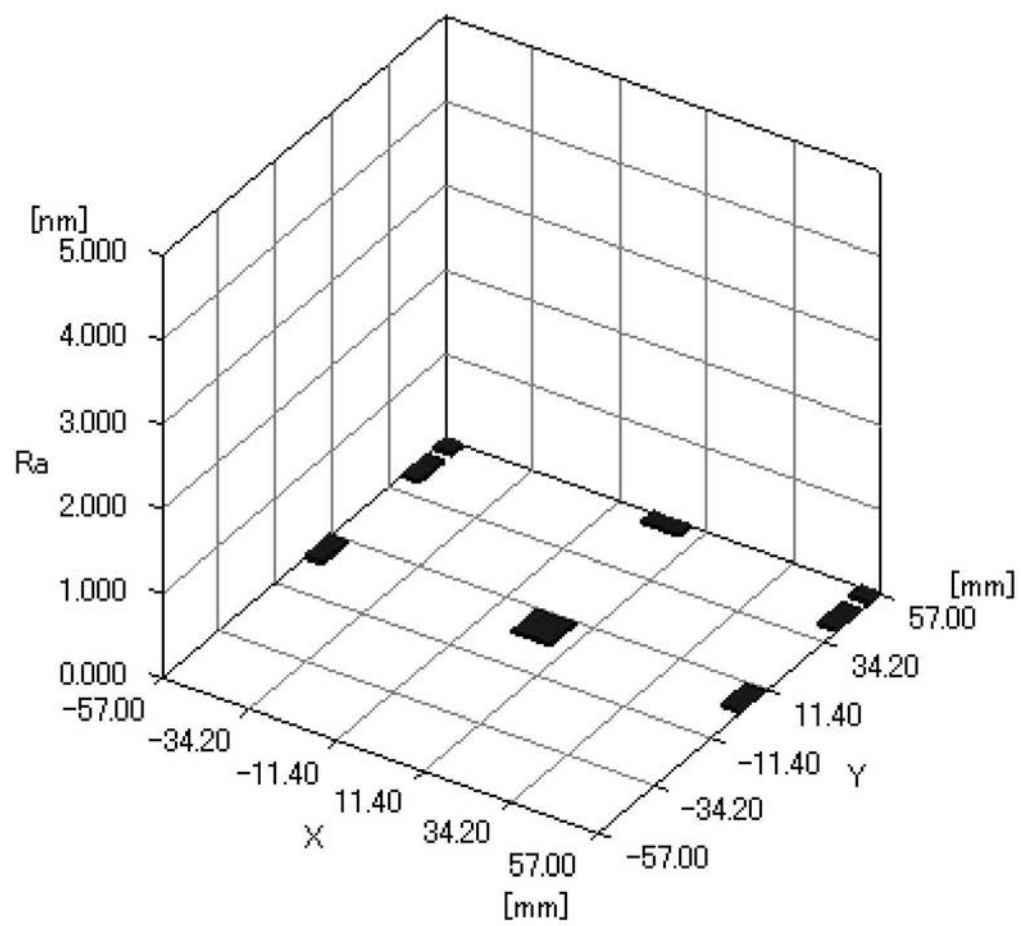


【図 5】

(A)

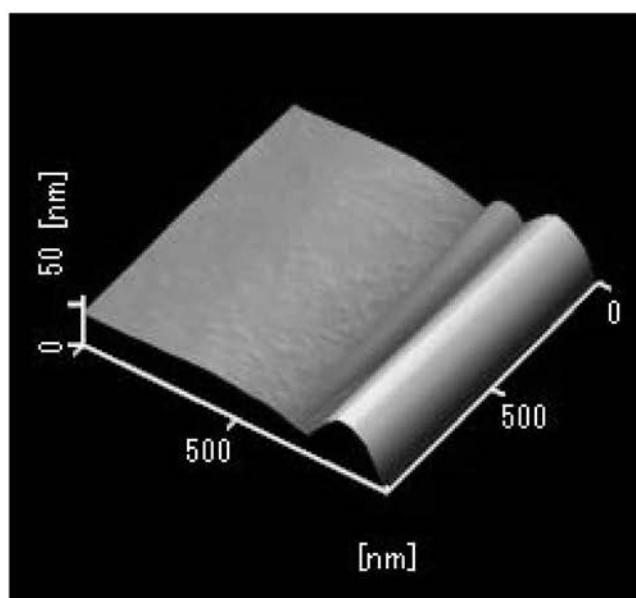


(B)

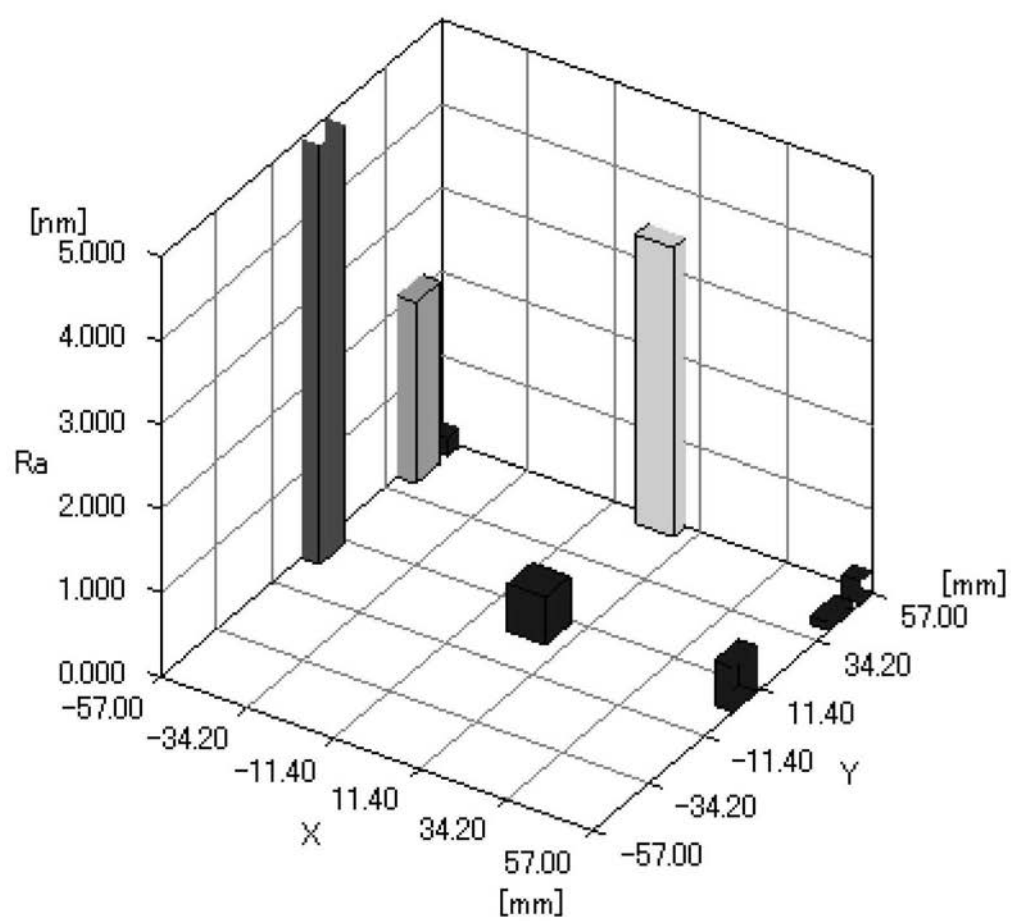


【図 6】

(A)

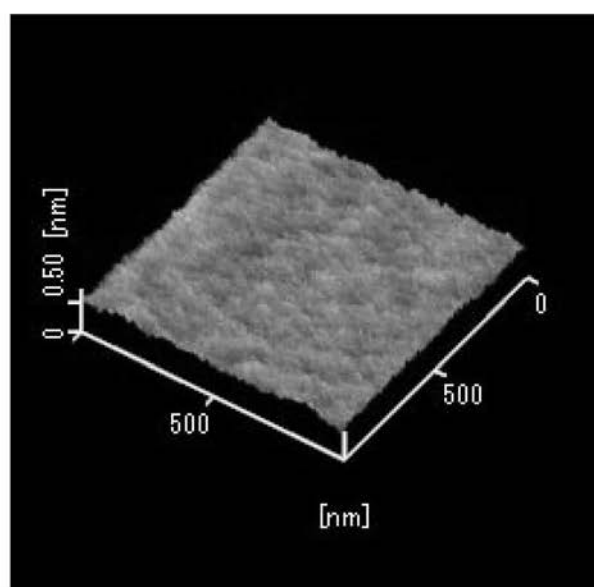


(B)

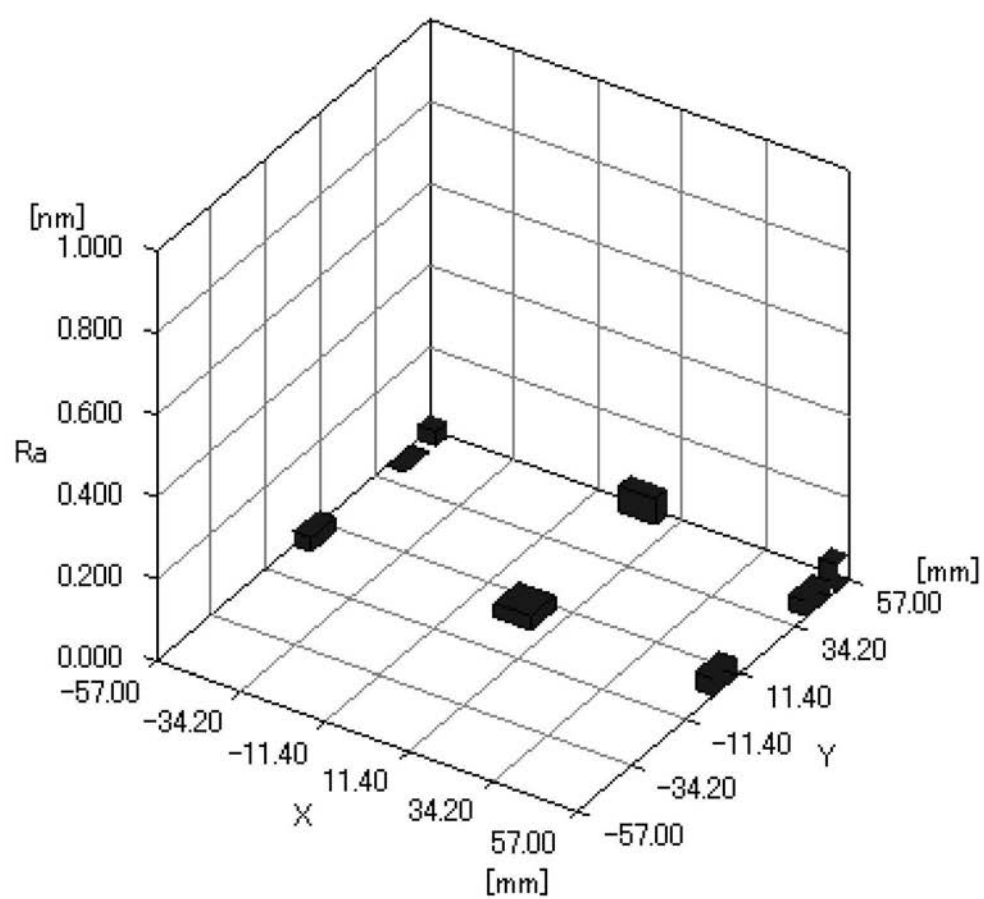


【図 7】

(A)

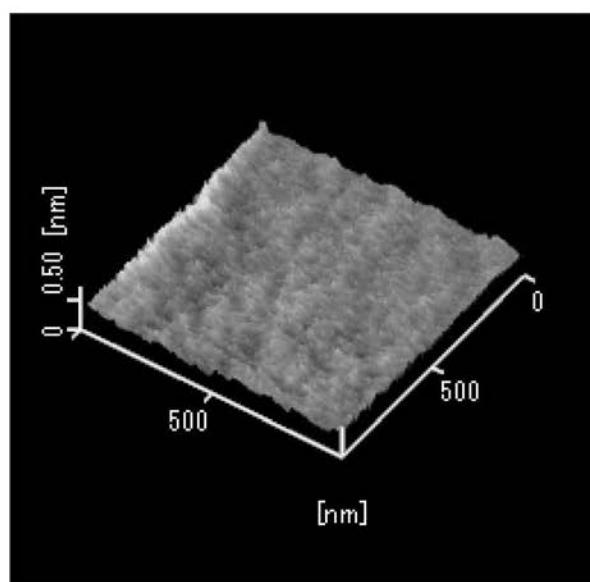


(B)

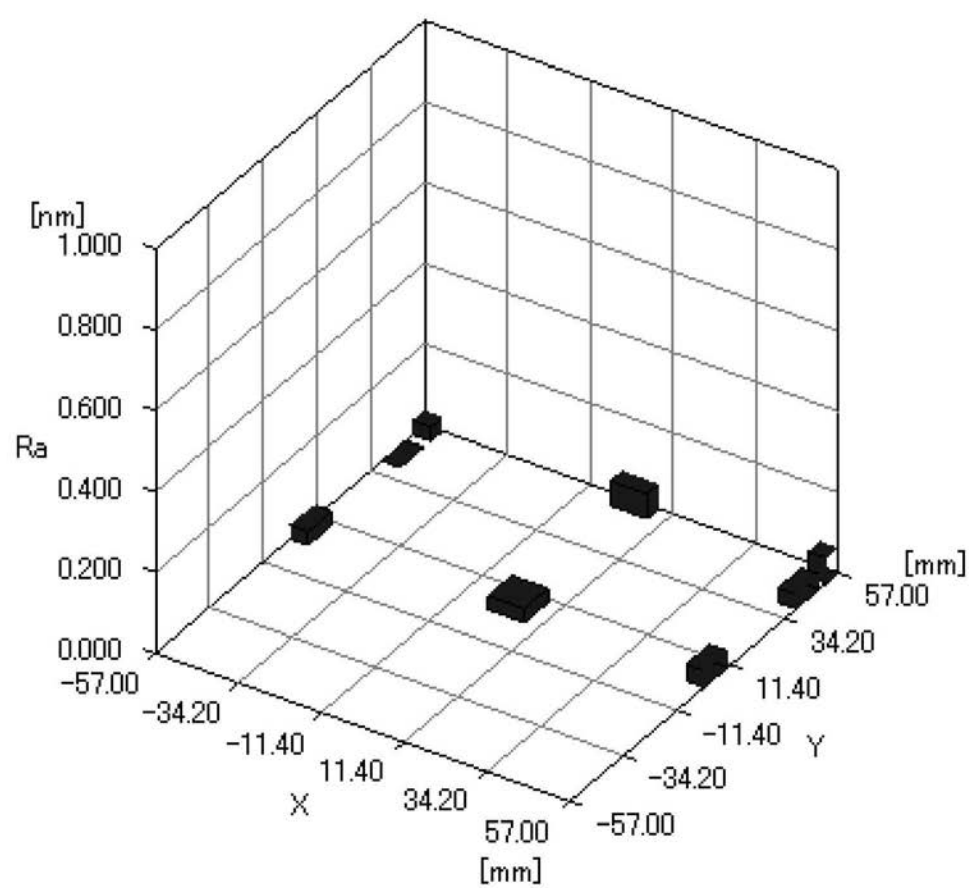


【図 8】

(A)



(B)



フロントページの続き

(72)発明者 藤田 未来

神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

Fターム(参考) 5F057 AA19 BA11 CA11 DA03 GA12 GA16 GB02 GB03 GB20 GB22