

(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2021-82828  
(P2021-82828A)

(43) 公開日 令和3年5月27日(2021.5.27)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
H O 1 L 21/3065 (2006.01) H O 1 L 21/302 1 O 2 5 F 0 0 4

審査請求 有 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2021-13447 (P2021-13447)</p> <p>(22) 出願日 令和3年1月29日(2021.1.29)</p> <p>(62) 分割の表示 特願2016-58779 (P2016-58779) の分割</p> <p>原出願日 平成28年3月23日(2016.3.23)</p> <p>(31) 優先権主張番号 1552416</p> <p>(32) 優先日 平成27年3月24日(2015.3.24)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 フランス(FR)</p>	<p>(71) 出願人 598054968 ソイテック Soitec フランス国, 38190 ベルナン, パルク テクノロジック デ フォンテーヌ, シュマン デ フランク Parc Technologique des fontaines chemi n Des Franques 3819 O Bernin, France</p> <p>(74) 代理人 100107456 弁理士 池田 成人</p> <p>(74) 代理人 100162352 弁理士 酒巻 順一郎</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板の表面の金属汚染物を減少させるための方法

(57) 【要約】

【課題】 基板の表面の金属汚染物を減少させるための新規な方法を提供する。

【解決手段】 本発明は、イオン照射による基板の表面のプラズマ処理を含む、基板の表面の金属汚染物を減少させるための方法であって、供給されたガスのプラズマが生成され、プラズマ中のイオンの照射エネルギーが高周波電磁場によって制御される、方法に関する。イオンの照射エネルギーは、金属汚染物をはぎ取るための第1のしきい値よりも大きく、且つイオンの照射エネルギーは、基板表面の表面品質劣化を防止するための第2のしきい値よりも小さい。

【選択図】 図1

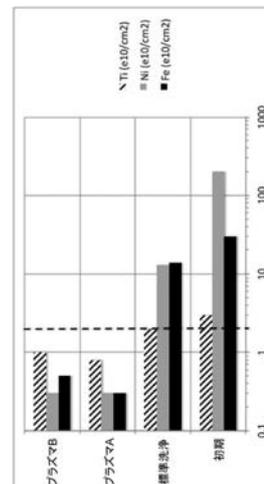


Figure 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

イオン照射による基板の表面のプラズマ処理を含む、前記基板の前記表面の金属汚染物を減少させるための方法であって、供給されたガスのプラズマが生成され、前記プラズマ中のイオンの照射エネルギーが高周波電磁場によって制御される、方法において、前記イオンの前記照射エネルギーが、前記金属汚染物をはぎ取るための第 1 のしきい値よりも大きく、且つ前記イオンの前記照射エネルギーが、前記基板の前記表面の表面品質劣化を防止するための第 2 のしきい値よりも小さいことを特徴とする、方法。

## 【請求項 2】

前記金属汚染物が、イオン照射による前記基板の前記表面の前記プラズマ処理によって  $2 \times 10^{10}$  atoms/cm<sup>2</sup> 未満まで減少されることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

10

## 【請求項 3】

前記金属汚染物が、Ti 及び / 又は Ni 及び / 又は Fe 元素からの汚染物を含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記基板が、5 よりも大きい硬度（モース硬度スケール）、好ましくは 7 よりも大きい硬度を有することを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記基板が、絶縁体、例えば、サファイアであることを特徴とする、請求項 4 に記載の方法。

20

## 【請求項 6】

前記基板が、半導体、例えば、シリコンであることを特徴とする、請求項 4 に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記供給されたガスが、少なくとも 1 種類の希ガス、好ましくはアルゴンを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記高周波電磁場が、0.8 ワット/cm<sup>2</sup> と 4 ワット/cm<sup>2</sup> との間、好ましくは 2 ワット/cm<sup>2</sup> と 3 ワット/cm<sup>2</sup> との間のパワー密度を与えることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

30

## 【請求項 9】

前記供給されたガスが、30 ミリトールと 120 ミリトールとの間のガス圧を有することを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記供給されたガスが、75 sscm のガス流で配送されることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記プラズマ処理が、10 ~ 60 秒間続くことを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 12】

ウェハボンディングによって、プラズマ処理したサファイア基板表面とシリコン基板などの半導体基板表面との間にボンディングを形成するためのボンディングプロセスであって、前記サファイア基板表面の金属汚染物が、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の方法にしたがって、イオン照射を用いたプラズマ処理によって減少される、ボンディングプロセス。

40

## 【請求項 13】

プラズマ処理したサファイア基板表面と半導体基板表面との間のボンディング強度を増加させる熱処理ステップを含むことを特徴とする、請求項 12 に記載のボンディングプロセス。

## 【請求項 14】

50

プラズマ処理したサファイア基板表面及び半導体基板表面を含む基板であって、ボンディングが、前記2つの表面間のウェハボンディングによって形成されており、前記サファイア基板表面の金属汚染物が、請求項1～11のいずれか一項に記載の方法にしたがって、イオン照射のプラズマ処理によって減少されている、基板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板の表面の金属汚染物を減少させるための方法に関する。これらの基板は、マイクロエレクトロニクス、マイクロメカニクス、フォトニクス及びLEDデバイスの分野において特に使用されている。 10

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス処理における難題の1つは、基板表面の金属汚染物の問題である。半導体デバイスは、基板の表面又は基板の内部に存在する微量の金属に極めて敏感である。これらの金属種は、能動層の電気的性能を劣化させることがよく知られている。シリコン基板産業は、非常に成熟しており、主要な供給者は、(表面においては及びバルク内では)金属汚染物のレベルが非常に低い材料を提供することが可能である。半導体産業において広い用途を有する最も重要な金属酸化物の1つであるサファイア( $Al_2O_3$ 単結晶)は、数年前から改善しているとしても成熟度は低い。特に、サファイアウェハは、シリコンオンサファイア(以降「SOS」と呼ぶ)製造用に使用されているが、LEDデバイス用のIII族窒化物膜の堆積用の基板としても使用されている。サファイアウェハは、製造上の成熟度が低いため、基板準備の様々なステップで並びにポリシング、保管及び特性評価のような取り扱いプロセスにおいて汚染されることがあり得る。半導体デバイス用に使用されるサファイア基板の表面上には、通常、大量の金属汚染物が見つかり得る。金属汚染物は、主にTi、Fe及びNi元素を含み、これらの元素は、通常、サファイア表面をポリシングするために使用するスラリー中に存在する。 20

【0003】

SOS基板の製造プロセスでは、薄い能動シリコン層が、サファイア基板上に成長される又は移転される。SOS基板の製造プロセス中又はプロセス後に実行される高温熱処理は、サファイア基板の表面からシリコン層に向かう金属種の移動をトリガし、したがってSOS基板を電子デバイスの製造には不向きにさせている。特に、シリコン中の鉄の拡散速度は大きく、シリコン中の鉄の溶解度は非常に小さい。多大な鉄汚染物の条件下では、鉄シリサイド析出物が、薄い能動シリコン層内に生成することがあり、シリコン層の電気的完全性を劣化させることがある。 30

【0004】

RCA洗浄シーケンスは、シリコン表面を洗浄するための標準的な方法である。しかしながら、サファイア基板は、シリコンよりもさらに化学的に不活性であり、サファイア基板の表面をエッチングし、金属汚染物を溶解させるためにはさらに強烈な化学処理を必要としている。 40

【0005】

特許CN102218410は、アンモニア過酸化水素水混合液、硫酸過酸化水素水混合液、及びHF混合液を含むアルカリ性溶液及び酸性溶液に基づく連続的なウェット処理を含み、ポリシングしたサファイア基板の表面を洗浄するための方法を詳細に報告している。この特許は、有機化合物及び無機化合物並びに金属イオンが効果的に除去され得ることを教示している。

【0006】

CN103537453では、発明は、粒子、金属イオン及び有機化合物を除去することができる超音波槽に基づいて、ポリシングしたサファイア基板を洗浄するための方法に 50

関する。

【0007】

CN101912855では、発明は、中性溶媒から調合した水ポリシング溶液に関する。アルカリ性ポリシングが終わった直後に上記の溶液を用いて水ポリシングを実行することによって、残留するCMPポリシング溶液が、洗い流されることが可能であり、容易に洗浄される物質が吸着することがあり、表面張力が急速に低下することがあり、したがって清浄なポリシングした表面が得られる。

【0008】

もう1つの文書では、Dan Zhang及びYang Ganは、サファイア単結晶基板に適用されるウェット及びドライ洗浄プロセスの全体的な再調査を行っている（「Recent progress on critical cleaning of sapphire single crystal substrates: a mini-review」- Recent Patents on Chemical Engineering, 2013, 6, 161~166ページ）。様々な洗浄プロセスの中で、彼らは、有機汚染物の薄層を除去できるが大部分の無機汚染物が影響を受けずに残る、特にUV及びプラズマ照射を再調査している。彼らは、このタイプの処理の後の表面モロジの変化も記している。

10

【0009】

金属汚染物元素は、表面のところ並びに、例えば深さ0.5~1.5nm及び可能性として深さ5nmまでの基板の表面下に位置することがあり得る。これが、普通には基板の表面とだけ反応するウェット処理が十分に効果的ではなく、電子デバイスの製造のための特定の要求を満足しないという理由である。加えて、サファイアなどの、化学薬品への反応性に乏しい基板に関して、ウェット処理は、金属汚染物元素の化学結合に依存して、基板の表面においてさえすべての金属汚染物元素を溶解するためには不十分である。

20

【0010】

化学機械ポリシングは、表面下の汚染された層を最終的には除去することが可能であるが、スラリ汚染残留物及び表面近くでのこれらのわずかな拡散を防止することが困難なままであり、金属汚染物残留レベルは、目標とする特定の要求にはほとんど達し得ない。

【0011】

或いは、リン酸( $H_3PO_4$ )化学作用に基づき且つ高温(100以上)で実行されるウェット洗浄ステップは、表面のところの及び表面下近くの金属汚染物を除去するために効果的であり得る、それにもかかわらず、このタイプの溶液は、このような高温における安全性及び槽ヒータ素子の信頼性のために産業インフラに実装することが困難である。その上、表面におけるリンの残留汚染物が観察されてきており、リンはシリコンに対するドーパントであり、目的とする電子機器用途にとって適切ではない。

30

【0012】

既存のウェット又はドライ化学エッチ溶液は、いずれか、化学的反応性に乏しい基板(サファイアなど)の表面における金属汚染物を除去するためには不十分である、又は効果的であるときには、少なくとも部分的にこれらのエッチ溶液は基板表面を劣化させる(表面局所ピッチング、粗さの増加)ことがあり、その結果、これらのエッチ溶液のさらなる使用が危ぶまれることがある。

40

【0013】

そのため、本発明の第1の技術的目的は、より効果的な金属汚染物洗浄方法を開発することである。

【0014】

本発明のもう1つの技術的目的は、別の表面上への直接分子接着に適合させるために表面劣化を限定する方法を提供することである。

【発明の概要】

【0015】

本発明は、イオン照射による基板の表面のプラズマ処理を含む、基板の表面の金属汚染

50

物を減少させるための方法であって、供給されたガスのプラズマが生成され、プラズマ中のイオンの照射エネルギーが高周波電磁場によって制御される、方法に関する。イオンの照射エネルギーは、金属汚染物をはぎ取るための第1のしきい値よりも大きく、且つイオンの照射エネルギーは、基板表面の表面品質劣化を防止するための第2のしきい値よりも小さい。

**【0016】**

本発明は、特に粗さ及び欠陥率に関して、表面品質を劣化させずに基板表面の金属汚染物を除去することを目的としている。

**【0017】**

本発明の様々な有利な特性によれば、個々に又は一緒に組み合わせて利用して、

本発明は、金属汚染物を  $2 \times 10^{10}$  atoms/cm<sup>2</sup> 未満まで減少させることを可能にし、

金属汚染物は、Ti及び/又はNi及び/又はFe元素を含み、

基板は、5よりも大きい硬度(モース硬度スケール)、そして7よりも大きいことが好ましい硬度を有し、

基板は、絶縁体、例えば、サファイアであり、

基板は、半導体、例えば、シリコンである。

**【0018】**

発明の好ましい実施形態によれば、

供給されたガスは、少なくとも1種類の希ガス、好ましくはアルゴンを含み、

高周波電磁場は、0.8ワット/cm<sup>2</sup>と4ワット/cm<sup>2</sup>との間、好ましくは2ワット/cm<sup>2</sup>と3ワット/cm<sup>2</sup>との間のパワー密度を与え、

供給されたガスは、30ミリトルと120ミリトルとの間のガス圧を有し、

供給されたガスは、75sccmのガス流で配送され、

プラズマ処理は、10~60秒間続く。

**【0019】**

本発明は、ウェハボンディングによって、プラズマ処理したサファイア基板表面とシリコン基板などの半導体基板表面との間にボンディングを形成するためのボンディングプロセスであって、サファイア基板表面の金属汚染物が、イオン照射を用いたプラズマ処理によって減少され、供給されたガスのプラズマが生成され、且つプラズマ中のイオンの照射エネルギーが、高周波電磁場によって制御される、ボンディングプロセスにも関する。イオンの照射エネルギーは、金属汚染物をはぎ取るための第1のしきい値よりも大きく、且つイオンの照射エネルギーは、上記基板の上記表面の表面品質劣化を防止するための第2のしきい値よりも小さい。

**【0020】**

有利な実施形態では、ボンディングプロセスは、プラズマ処理したサファイア基板表面と半導体基板表面との間のボンディング強度を増加させるための熱処理ステップを含む。

**【0021】**

本発明は、プラズマ処理したサファイア基板表面及び半導体基板表面を含む基板であって、ボンディングが、これら2つの表面間のウェハボンディングによって形成されており、サファイア基板表面の金属汚染物が、イオン照射のプラズマ処理によって減少されており、供給されたガスのプラズマが生成されており、且つプラズマ中のイオンの照射エネルギーが、高周波電磁場によって制御されている、基板にも関する。イオンの照射エネルギーは、金属汚染物をはぎ取るための第1のしきい値よりも大きく、且つイオンの照射エネルギーは、上記基板の上記表面の表面品質劣化を防止するための第2のしきい値よりも小さい。

**【図面の簡単な説明】****【0022】**

【図1】本発明による実施形態を含む、初期及び様々な洗浄処理後のサファイア基板の表面における金属汚染物のレベルを描いている。3つの異なる元素(Fe、Ni、Ti)の

10

20

30

40

50

金属汚染物レベルが、平方センチメートル当たりの原子で示されている。

【図2】様々な洗浄処理後のサファイア基板表面の粗さを描いている。粗さは、様々なスキャン領域、 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 及び $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ について原子間力顕微鏡（AFM）によって測定されている。図は、RMS（「二乗平均平方根」）粗さ値を示している。

【発明を実施するための形態】

【0023】

本発明は、イオン照射による基板の表面のプラズマ処理を含む、基板の表面の金属汚染物を減少させるための方法に関し、ここでは、供給されたガスのプラズマが生成され、プラズマ中のイオンの照射エネルギーが、高周波（RF）電磁場によって制御される。イオンの照射エネルギーは、金属汚染物をはぎ取るための第1のしきい値よりも大きく、且つイオンの照射エネルギーは、基板表面の表面品質劣化を防止するための第2のしきい値よりも小さい。

10

【0024】

好ましい実施形態では、プラズマは、少なくとも1種類の希ガスから生成される。具体的な実施形態では、He、Ne、Ar、Kr、Xeの中から選択した純粋な希ガスが使用される。異なる希ガスの混合物も、妥当な結果を与える。希ガスの選択は、副生成物の生成及び塩素汚染物を避けるために、塩素及び塩化ホウ素のような反応性ガスなどの他のガスが好ましい。

20

【0025】

1つ又は複数の希ガスを水素ガスと混合することも可能である。

【0026】

プラズマは、 $75\text{ sccm}$ の制御された流れで且つ $30$ ミリトルと $120$ ミリトルとの間の圧力での処理中にプラズマ室内にガスを配送することによってプラズマ室内で形成されることが好ましい。圧力は、プラズマ室に接続された真空ポンプによって制御される。

【0027】

プラズマ中のイオンの照射エネルギーは、RF出力に主に依存する。プラズマ室内の高周波電磁場は、 $150\text{ mm}$ ウェハに対して、基板表面上でのイオンの照射エネルギーを制御するために、 $200$ ワットと $1000$ ワットとの間の出力で設定される。これは、 $0.8$ 付近～ $4$ ワット/ $\text{cm}^2$ の範囲にわたるパワー密度に対応する。パワー密度は、 $1.5$ ～ $4$ ワット/ $\text{cm}^2$ の範囲にわたることが有利である。

30

【0028】

一様で安定な結果を得るために、プラズマ処理は、 $10$ 秒～ $60$ 秒行われる。

【0029】

上記のパラメータによるプラズマ処理は、基板から表面及び表面下の金属汚染物を除去するために、並びに高品質直接ボンディングに適合するレベルの欠陥率及び粗さを保つために効果的である。この目的で、表面粗さは、 $0.5\text{ nm RMS}$ 以下に維持することが好ましく、そしてそれぞれ $0.4\text{ nm RMS}$ 以下に維持することが有利である（ $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 及び $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ のスキャン領域のAFM測定値）。

40

【0030】

本発明は、化学的反応性に乏しい基板表面、特にモース硬度で5より大きい硬度を有する材料から作られた基板のプラズマ処理に対して特に有利である（モース硬度は、1つの物質の他の物質に傷をつける能力の比較に基づいて、鉱物物質の硬度測定のためのよく知られている基準である）。7より大きい硬度（モース硬度）を有する材料についてより関心の高いものでさえある。

【0031】

このような材料に対して、イオンの照射エネルギーは、表面から数原子層をうまく除去し且つ表面及び表面下から金属汚染物元素結合を効果的に切断するための表面スパッタリ

50

ングエネルギーに達しなければならない。それにもかかわらず、照射エネルギーは、引き続き高品質直接分子ボンディングを妨げるはずの表面劣化を避けるように制御されなければならない。

【0032】

本発明による洗浄方法は、サファイア基板に対して特に関心の高いものである。

【0033】

出願人は、このような基板上的金属汚染物が、特にTi、Ni及びFe元素を含むことを見出している。これらの元素は、基板のさらなる処理に対して有害であり得る。例えば、シリコンの能動層が、 $2 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^2$ を超える金属汚染物のサファイア基板上に形成されると、金属汚染物は、SOI製造プロセス中又は後に能動シリコン層内にシリサイド析出物を誘発させ、これが能動シリコン層の電気的特性を劣化させる。

10

【0034】

図1に示したように、何らかの洗浄処理前の初期サファイア基板上的Ti、Ni及びFe汚染物レベルは、 $2 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^2$ よりも高く、特に、Fe及びNiのレベルは、 $2 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$ よりもさらに高い。汚染物レベルは、全反射蛍光X線分析(TXRF)によって測定されてきている。TXRFは、平滑表面上の粒子、残留物、及び不純物の分析のためにしばしば使用される表面元素分析技術である。TXRFは、半導体チップ製造におけるウェハ表面汚染物制御のための、特に表面金属汚染物を分析するための現在のところ重要なツールである。X線プローブは、5nm付近まで侵入し、基板の表面及び表面下近くの分析を可能にすることが知られている。

20

【0035】

本発明によるプラズマ処理は、サファイア基板の金属汚染物のレベルを電子デバイスの引き続き製造のために適した $2 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^2$ の限界レベル以下に減少させることを可能にする。図1に示したように、本発明によるプラズマ処理の2つの条件A及びBが、試験されてきている。これら2つの条件は、結果も図1に描かれている標準洗浄(すなわち、RCA洗浄)よりも著しく優れた洗浄効率を何よりもまず示している。2ワット/cm<sup>2</sup>(プラズマA)及び4ワット/cm<sup>2</sup>(プラズマB)のパワー密度でそれぞれ実行され、すべての他のパラメータが2つの条件に対して同一である2つの条件は、金属汚染物を、特にFe及びNi種に対して除去する良い効率を示している。0.8ワット/cm<sup>2</sup>よりも低いパワー密度は、金属汚染物残留物を目標とする用途に対して要求される $2 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^2$ 限度よりも低くなるようにできなかった。これは、イオンの関係づけられた照射エネルギーが金属汚染物をはぎ取るための第1のしきい値を超えなかったことを示している。金属汚染物を効率的にはぎ取るためには、1.5ワット/cm<sup>2</sup>よりも高いパワー密度が好ましい。

30

【0036】

他方で、上記の用途必要条件を満足させるために、プラズマ処理後の表面品質は、直接分子ボンディングなどの要求されるプロセスに適合したままでなければならない。表面品質は、本発明の状況では、図2に見られることができるように表面粗さ測定のおかげで評価されており、粗さ値は、nmで表されたRMS値である。粗さ測定は、 $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 及び $40 \mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$ のスキャン領域について、原子間力顕微鏡(AFM)で行われてきている。よく知られているように、AFMは、ナノメートルの数分の1のオーダーの実証された分解能を有する、非常に高分解能タイプの走査型プローブ顕微鏡である。様々なスキャン領域についての測定が、異なる範囲の表面品質についての情報をもたらし、小さなスキャンがマイクロラフネスとも呼ばれることがある短距離粗さを表し、中間のスキャンが中距離粗さを表し、そして最後に大きなスキャンが表面うねりに近い長距離粗さを表している。

40

【0037】

図2は、初期サファイア基板の表面粗さ及び2つの前に説明した条件のプラズマ処理後のサファイア基板の表面粗さの例を示し、2ワット/cm<sup>2</sup>(プラズマA)及び4ワット/cm<sup>2</sup>(プラズマB)のパワー密度をそれぞれ有し、すべての他のパラメータが2つ

50

の条件に対して同一である。これらの2つの条件は、基板表面上のイオンの2つの異なる照射エネルギーの代表である。

【0038】

結果は、プラズマの2つの条件が、通常 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 及び $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ のAFMスキャンによる短距離粗さ及び中距離粗さの予想される表面品質をもたらすことを示している。初期表面粗さと比較して、プラズマ処理は、同じ結果又は良い結果さえもたらしめている。

【0039】

長距離粗さでは、 $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ のAFMスキャンによれば、出願人は、初期状態と比較してプラズマ処理Bの後で粗さの増加を観察している。これは、有害な表面劣化を避けるために超えてはならない第2の照射しきい値を規定する表面劣化の予兆であり、有害な表面劣化状態は、通常、表面粗さが $0.5\text{nm RMS}$ を超えるとときに達せられる。いくつかの状況では、表面粗さが $0.4\text{nm RMS}$ を超えることを避けることが好ましい。

10

【0040】

好ましい実施形態によれば、プラズマ処理の前に、サファイア基板は、有機汚染物及び粒子汚染物を除去するために、最初のステップとしてウェット洗浄、例えば、RCAタイプの洗浄に供されることが可能である。

【0041】

サファイア基板表面のプラズマ処理の後で、サファイア基板は、半導体基板、例えば、シリコンウェハ上への直接ウェハボンディングのために準備されていることが可能である。それ自体でよく知られているように、直接ボンディングとしても知られている分子ボンディングの原理は、2つの表面を直接接触に、すなわち、何らかの特定のボンディング材料（接着剤、ワックス、はんだ、等）を使用せずに置くことに基づく。このような操作は、ボンディングのための表面を、十分に平滑に、粒子又は汚染物がないようにし、そして接触が始められることを可能にするために十分に近接して、典型的には数ナノメートル未満の距離になるようにすることが必要である。このような状況下で、2つの表面間の引力は、分子ボンディング（2つの表面の原子又は分子間の電子の相互作用を含む引力（ファンデルワールス力）のすべてによって引き起こされるボンディング）を生じさせるのに十分に大きい。

20

【0042】

プラズマ処理したサファイア基板は、このように半導体基板上へとボンディングされることが可能である。ボンディングの前に、組み立てられるべき2つの基板は、ウェット洗浄及び/又はプラズマ活性化処理に供されることが任意選択で可能であり2つの基板間のその後のボンディング強度を明らかに向上させている。ボンディング強度をさらに大きくするために、熱処理ステップが、ボンディングの後でボンディングした構造にも適用されることが可能である。

30

【0043】

ボンディングの後で、ボンディングした構造の半導体ウェハは、支持基板の上部に半導体能動層を含む最終基板を実現するために、グラインディング、ポリシング、化学エッチング、スマートカット（Smart Cut）（商標）、犠牲酸化、等、などの知られた方法により薄くされることが可能である。この支持基板は、SO<sub>2</sub>最終基板の例ではサファイアである。後続の高温処理が、ボンディング界面を強化するために構造に適用され、 $700 \sim 950$  の範囲に及ぶ温度が好ましい。

40

【0044】

サファイア基板がボンディングステップの前に効果的に洗浄されていると、金属汚染物を作る析出物に起因する劣化が、半導体上部能動層には観察されない。

【0045】

本発明による特定の実施形態の例が、以下に説明される。

【0046】

供給者から受け取ったままの $150\text{mm}$ サファイア基板は、 $5 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}$

50

$2 \sim 100 \text{ E } 10 \text{ atoms / cm }^2$  の範囲に及ぶ上部表面の鉄汚染物を有することがある。サファイア基板は、 $75 \text{ sccm}$  のガス流及び  $50$  ミリトールの圧力でのアルゴンガスに基づき、 $30$  秒間、 $2.8 \text{ W / cm }^2$  のパワー密度に対応する  $700 \text{ W}$  の RF 出力でプラズマ処理に供される。イオン照射によるサファイア基板表面のプラズマ処理の後で、表面の金属汚染物は減少し、鉄レベルは、 $0.8 \text{ E } 10 \text{ atoms / cm }^2$  付近である。Ti 及び Ni 元素の金属汚染物レベルも、プラズマ処理の後ではそれぞれ、 $3 \text{ E } 10 \text{ atoms / cm }^2$  から  $1 \text{ E } 10 \text{ atoms / cm }^2$  へと及び  $180 \text{ E } 10 \text{ atoms / cm }^2$  から  $0.4 \text{ E } 10 \text{ atoms / cm }^2$  へと減少している。

【0047】

表面粗さは、直接ボンディングに適合し、短距離では  $0.1 \text{ nm RMS}$  付近、そして長距離では  $0.3 \text{ nm RMS}$  付近のままである。

10

【0048】

サファイア基板及びシリコン基板は、次いでボンディングの前に標準 RCA 洗浄に供される。2つの基板間のボンディングは、良い品質を示し、そして組み立てられた構造は、引き続いて  $150$  でアニールされ、次いで標準シンニングプロセス及びアニーリングプロセスに供されて、サファイア基板の上部にシリコン能動層を有する最終基板を実現する。

【0049】

本発明によるプラズマ処理は、例えば、窒化アルミニウム及び炭化ケイ素のようなセラミック基板にもうまく適用されることが可能である。これらの基板も、標準のマイクロエレクトロニクス化学薬品に対して反応性に乏しく、マイクロエレクトロニクス分野における様々な用途に対して関心が大きくなっているものである。本発明によるプラズマ処理は、清浄度の完成度がマイクロエレクトロニクス標準にはまだ適合しない新たに入手する基板の表面上及び表面下近くの金属汚染物を減少させることを可能にする。

20

【 図 1 】

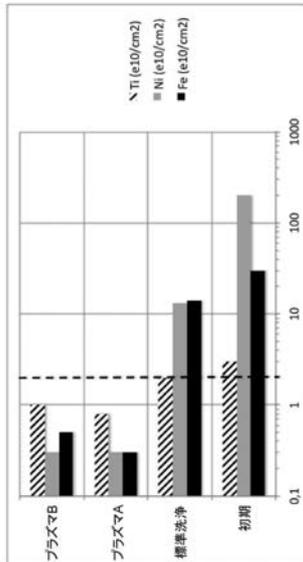


Figure 1

【 図 2 】

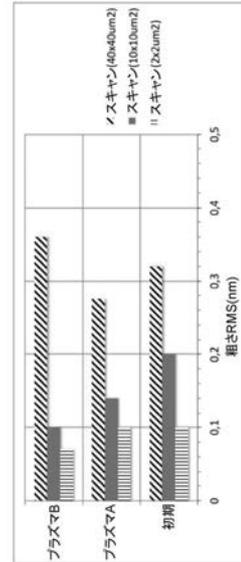


Figure 2

## 【 手続補正書 】

【 提出日 】 令和3年2月26日 (2021.2.26)

## 【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

イオン照射によるサファイア基板の表面のプラズマ処理を含む、前記サファイア基板の前記表面の金属汚染物を減少させるための方法であって、供給されたガスのプラズマが生成され、前記プラズマ中のイオンの照射エネルギーが、2.0ワット/cm<sup>2</sup>と4.0ワット/cm<sup>2</sup>との間のパワー密度を与える高周波電磁場によって制御される、方法であって、前記イオンの前記照射エネルギーが、前記金属汚染物を前記サファイア基板の前記表面からはぎ取るのに十分な第1のしきい値よりも大きく、且つ前記イオンの前記照射エネルギーが、前記サファイア基板の前記表面の表面品質劣化を防止するように第2のしきい値よりも小さい、方法。

【 請求項 2 】

前記高周波電磁場が、2.0ワット/cm<sup>2</sup>と3.0ワット/cm<sup>2</sup>との間のパワー密度を与える、請求項1に記載の方法。

【 請求項 3 】

前記金属汚染物が、イオン照射による前記サファイア基板の前記表面の前記プラズマ処理によって2E10atoms/cm<sup>2</sup>未満まで減少される、請求項1に記載の方法。

【 請求項 4 】

前記金属汚染物が、Ti、Ni及びFeの1つ又は複数からの汚染物を含む、請求項3

に記載の方法。

【請求項 5】

前記供給されたガスが、少なくとも 1 種類の希ガス、好ましくはアルゴンを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記供給されたガスが、30 ミリトールと 120 ミリトールとの間のガス圧を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記供給されたガスが、75 s s c m のガス流で配送される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記プラズマ処理が、10 ~ 60 秒間続く、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

ウェハボンディングによって、プラズマ処理したサファイア基板の表面と半導体基板表面との間にボンディングを形成するためのボンディングプロセスであって、前記サファイア基板の前記表面の金属汚染物が、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法にしたがって、イオン照射を用いたプラズマ処理によって減少される、ボンディングプロセス。

【請求項 10】

プラズマ処理した前記サファイア基板の前記表面と前記半導体基板表面との間のボンディング強度を増加させる熱処理ステップを含む、請求項 9 に記載のボンディングプロセス。

---

フロントページの続き

(74)代理人 100123995

弁理士 野田 雅一

(72)発明者 ティエリ バルジュ

フランス, 3 8 1 6 0 シュヴリエール, グラン シャン

Fターム(参考) 5F004 AA14 BB13 CA02 CA03 CA06 DA22 DA23 DA24 DB08

【外国語明細書】

2021082828000001.pdf