# 明　細　書

## 発明の名称 ： 貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法

## 技術分野

[0001] 本発明は、イオン注入剥離法を用いた貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法に関し、特には、水素イオン等を注入したシリコン単結晶ウェーハを支持基板となるベースウェーハと貼り合わせた後に剥離して貼り合わせＳＯＩウェーハを製造する方法に関する。

## 背景技術

[0002] 最近、貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法として、イオン注入したボンドウェーハを貼り合わせ後に剥離して貼り合わせウェーハを製造する方法（イオン注入剥離法：スマートカット法（登録商標）とも呼ばれる技術）が新たに注目され始めている。このイオン注入剥離法は、二枚のウェーハの内、少なくとも一方に酸化膜を形成すると共に、一方のウェーハ（ボンドウェーハ）の上面から水素イオンや希ガスイオン等のガスイオンを注入し、該ウェーハ内部に微小気泡層（封入層）を形成させた後、該イオンを注入した方の面を酸化膜（絶縁膜）を介して他方のウェーハ（ベースウェーハ）と密着させ、その後熱処理（剥離熱処理）を加えて微小気泡層を劈開面として一方のウェーハ（ボンドウェーハ）を薄膜状に剥離し、さらに熱処理（結合熱処理）を加えて強固に結合してベースウェーハ上に薄膜（ＳＯＩ層）を有する貼り合わせウェーハを作製する技術（特許文献１参照）である。この方法では、劈開面（剥離面）は良好な鏡面であり、薄膜、特にはＳＯＩ層の膜厚の均一性もある程度高いＳＯＩウェーハが容易に得られている。

[0003] しかし、イオン注入剥離法により貼り合わせＳＯＩウェーハを作製する場合においては、剥離後の貼り合わせウェーハ表面にイオン注入によるダメージ層が存在し、また表面粗さが通常の製品レベルのシリコンウェーハの鏡面に比べて大きなものとなる。したがって、イオン注入剥離法では、このようなダメージ層を除去し、表面粗さを低減することが必要になる。

[0004] 従来、このダメージ層等を除去するために、結合熱処理後の最終工程において、タッチポリッシュと呼ばれる研磨代の極めて少ない鏡面研磨（取り代：１００ｎｍ程度）が行われていた。

ところが、ＳＯＩ層に機械加工的要素を含む研磨をしてしまうと、研磨の取り代が均一でないために、水素イオンなどの注入、剥離によってある程度達成されたＳＯＩ層の膜厚均一性が悪化してしまうという問題が生じる。

[0005] このような問題点を解決する方法として、前記タッチポリッシュの代わりに高温熱処理を行って表面粗さを改善する平坦化処理が行われるようになってきている。

例えば、特許文献２では、剥離熱処理後（または結合熱処理後）に、ＳＯＩ層の表面を研磨することなく水素を含む還元性雰囲気下の熱処理（急速加熱・急速冷却熱処理（ＲＴＡ（Ｒａｐｉｄ　Ｔｈｅｒｍａｌ　Ａｎｎｅａｌｉｎｇ）処理））を加えることを提案している。さらに、特許文献３では、剥離熱処理後（又は結合熱処理後）に、酸化性雰囲気下の熱処理によりＳＯＩ層に酸化膜を形成した後に該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気の熱処理（急速加熱・急速冷却熱処理（ＲＴＡ処理））を加えることを提案している。

[0006] また、特許文献４では、剥離後のＳＯＩウェーハに、不活性ガス、水素ガス、あるいはこれらの混合ガス雰囲気下での平坦化熱処理の後に犠牲酸化処理を行うことにより、剥離面の平坦化とＯＳＦの回避を同時に達成している。

このように、タッチポリッシュの代わりに高温熱処理を行って表面粗さを改善する平坦化処理が行われるようになったことによって、現在では、直径３００ｍｍでＳＯＩ層の膜厚レンジ（面内の最大膜厚値から最小膜厚値を引いた値）が３ｎｍ以内の膜厚均一性を有するＳＯＩウェーハが、イオン注入剥離法によって量産レベルで得られている。

[0007] 更に、特許文献５では、特許文献４に記載された平坦化熱処理（非酸化性ガス雰囲気下の熱処理）を行う前に、特許文献２に記載された水素を含む還

元性雰囲気下のＲＴＡ処理（以下、単に水素ＲＴＡ処理と呼ぶことがある）と犠牲酸化処理を行うことによって、表面粗さの向上と凹状欠陥の発生を抑制することが記載されている。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0008] 特許文献1：特開平５－２１１１２８号公報

特許文献2：特開平１１－３０７４７２号公報

特許文献3：特開２０００－１２４０９２号公報

特許文献4：ＷＯ２００３／００９３８６

特許文献5：特開２００９－３２９７２号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0009] 剥離後のＳＯＩ層表面を効率よく平坦化するためには、特許文献５に記載されているように、Ａｒアニール等の平坦化熱処理（バッチ炉による熱処理）の前に、マイグレーション効果の高い水素を含む雰囲気下のＲＴＡ処理を導入することが効果的であるが、剥離後に水素ＲＴＡ処理を行う場合、その直後に犠牲酸化処理を行わずにＡｒアニールを行うとＳＯＩ層表面に深いピットが形成されてしまい、ＳＯＩ層の表面粗さが悪化してしまう。

[0010] それを回避するためには、水素ＲＴＡ処理の後に犠牲酸化処理を行ってからＡｒアニールを行う必要があるため、最終製品であるＳＯＩウェーハを完成させるためには、Ａｒアニールの後に、更にＳＯＩ層の膜厚を調整するための犠牲酸化処理を行うという複雑なプロセス（剥離→水素ＲＴＡ処理→犠牲酸化処理→Ａｒアニール→犠牲酸化処理）が必要となる問題があった。

[0011] 本発明は、このような問題点に鑑みなされたものであり、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減し、かつ、ＳＯＩ層表面の深いピットが低減された高品質のＳＯＩ層を有するＳＯＩウェーハを効率よく製造することを目的とする。

## 課題を解決するための手段

[0012] 上記課題を解決するため、本発明では、シリコン単結晶からなるボンドウェーハの表面から水素イオン、希ガスイオンの少なくとも一種類のガスイオンをイオン注入して該ボンドウェーハ内部にイオン注入層を形成し、前記ボンドウェーハのイオン注入された側の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウェーハの一部を前記イオン注入層で剥離して、前記ベースウェーハ上に前記ボンドウェーハの薄膜からなるＳＯＩ層を有する貼り合わせＳＯＩウェーハを作製する貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法において、

前記剥離後の貼り合わせＳＯＩウェーハに対しＲＴＯ処理を行い、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去した後、前記ＳＯＩ層表面のシリコン原子にマイグレーションを生じさせる平坦化熱処理を行って前記ＳＯＩ層表面を平坦化し、その後、犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整することを特徴とする貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法を提供する。

[0013] また、本発明では、シリコン単結晶からなるボンドウェーハの表面から水素イオン、希ガスイオンの少なくとも一種類のガスイオンをイオン注入して該ボンドウェーハ内部にイオン注入層を形成し、前記ボンドウェーハのイオン注入された側の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウェーハの一部を前記イオン注入層で剥離して、前記ベースウェーハ上に前記ボンドウェーハの薄膜からなるＳＯＩ層を有する貼り合わせＳＯＩウェーハを作製する貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法において、

前記剥離後の貼り合わせＳＯＩウェーハに対しＲＴＯ処理を行い、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去した後に犠牲酸化処理を行って、又は、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去せずに犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整し、その後、前記ＳＯＩ層表面のシリコン原子にマイグレーションを生じさせる

平坦化熱処理を行って前記ＳＯＩ層表面を平坦化することを特徴とする貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法を提供する。

またこの場合、前記平坦化熱処理を行った後、さらに、犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整することが好ましい。

[0014] このような貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法によれば、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減し、かつ、ＳＯＩ層表面の深いピットが低減された高品質のＳＯＩ層を有するＳＯＩウェーハを効率よく製造することができる。また、後者の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法の場合、ＳＯＩ層の膜厚調整を行うための犠牲酸化処理（熱酸化＋熱酸化膜除去）を平坦化熱処理の前に実施するので、平坦化熱処理を行うことによって製品となるＳＯＩウェーハが完成するが、その後に、新たに犠牲酸化処理を追加してＳＯＩ膜厚の微調整を行うこともできる。

[0015] またこの場合、前記ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成する酸化膜の膜厚を５ｎｍ以上とすることが好ましい。

[0016] このように、ＲＴＯ処理で形成する酸化膜の膜厚を５ｎｍ以上とすれば、より一層、ＲＴＯ処理によってピットの深さを低減することができる。

[0017] またこの場合、前記ＲＴＯ処理を、１１００℃以上、１０秒以上の条件で行うことが好ましい。

[0018] ＲＴＯ処理の熱処理条件をこのようにすることで、より一層、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減することができる。

[0019] またこの場合、前記平坦化熱処理を、水素ガス、不活性ガス、又は、これらの混合ガス雰囲気下で行うことが好ましい。また、前記平坦化熱処理を、ＲＴＡ炉、又は、抵抗加熱式熱処理炉で行うことが好ましい。

[0020] 平坦化熱処理は、ＳＯＩ層表面のシリコン原子にマイグレーションを生じさせる熱処理であれば特に限定されないが、特に、抵抗加熱式熱処理炉を用いたＡｒアニールや、ＲＴＡ炉を用いた水素雰囲気下、又はＡｒと水素の混合ガス雰囲気下でのＲＴＡ処理が好ましい。

## 発明の効果

[0021] 以上説明したように、本発明の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法によれば、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減し、かつ、ＳＯＩ層表面の深いピットが低減された高品質のＳＯＩ層を有するＳＯＩウェーハを効率よく製造することができる。

## 図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法の一例を示した工程フロー図を示す。

[図2]本発明の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法の別の一例を示した工程フロー図を示す。

[図3]イオン注入剥離法を用いてＳＯＩウェーハを製造する手順の一例を示すフロー図である。

## 発明を実施するための形態

[0023] 上記のように、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減し、かつ、ＳＯＩ層表面の深いピットが低減された高品質のＳＯＩ層を有するＳＯＩウェーハを効率よく製造する方法が求められていた。

[0024] 本発明者らは、剥離面の平坦化熱処理として、ＳＯＩウェーハの生産上の効率の良さを考え、多数のウェーハを一括して処理できるバッチ炉によるＡｒ雰囲気下の熱処理（Ａｒアニール）を中心に検討を行ったところ、Ａｒアニールによるマイグレーション効果によって十分に平坦なＳＯＩ表面を得るためには、高温長時間の熱処理条件が必要であり、それに伴いスリップ転位の発生頻度が高まるという問題があることがわかった。そこで、Ａｒアニールの前に、マイグレーション効果の高い水素を含む雰囲気下のＲＴＡ（水素ＲＴＡ）処理を導入し、Ａｒアニールの負荷を低減することを発想した。

[0025] しかしながら、水素ＲＴＡ処理の直後にＡｒアニールを行うと、ＳＯＩ層表面にはＡＦＭ（Ａｔｏｍ Ｆｏｒｃｅ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）による３０μｍ角の観察で測定されるピット（直径０．５～数１０μｍ、深さ数ｎｍ）が発生し、それが表面粗さを悪化させることが判明した。また、このようなピットは、ＳＯＩ層の表面（剥離面）に対して水素ＲＴＡ処理を行わず、

直接Ａｒアニールを行っても発生することがわかった。その一方で、通常のＰＷ（鏡面研磨ウェーハ）に水素ＲＴＡ処理とＡｒアニールを続けて行ってもピットは発生しなかった。この事から、このようなピットが発生する現象は、イオン注入剥離後のＳＯＩ層の剥離面のような表面粗さの大きな表面に特有の現象であると言える。

[0026] また、水素ＲＴＡ処理の直後に犠牲酸化処理を追加し、その後にＡｒアニールを行えば、ピットの深さを低減でき、表面粗さを改善できることが判明した。しかしながら、このように水素ＲＴＡ処理とＡｒアニールの間に犠牲酸化処理を行うと、最終製品であるＳＯＩウェーハを完成させるためには、剥離→水素ＲＴＡ処理→犠牲酸化処理→Ａｒアニール→犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）という複雑なプロセス（特許文献５に記載されたプロセスと同等のプロセス）が必要となるため、生産性の低下が懸念された。

[0027] そこで本発明者らは、剥離直後に行う水素ＲＴＡ処理＋犠牲酸化処理という工程を、酸化性雰囲気下で行うＲＴＡ処理（急速加熱・急速冷却熱処理）、すなわち、ＲＴＯ（Ｒａｐｉｄ　Ｔｈｅｒｍａｌ　Ｏｘｉｄａｔｉｏｎ）処理で代用することを発想し、鋭意検討を重ねた結果、本発明を完成させた。

[0028] 図１に本発明の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法の一例を示した工程フロー図を示す。

まず、イオン注入剥離法を用いて作製した剥離後のＳＯＩウェーハを準備する（図１（Ａ））。すなわち、図３に示すような手順で剥離後のＳＯＩウェーハ（剥離ＳＯＩウェーハ）を製造する。

図３のイオン注入剥離法において、工程（１）では、デバイスの仕様に合った支持基板となるベースウェーハ１とＳＯＩ層となるシリコン単結晶からなるボンドウェーハ２を準備する。ベースウェーハ１としては、シリコン単結晶ウェーハを用いることができるが、特に限定されない。

[0029] 次に、工程（２）では、ボンドウェーハ２及びベースウェーハ１のうちの少なくとも一方のウェーハ、ここではボンドウェーハ２の表面に絶縁膜３を

形成する。絶縁膜３としては、例えば、約１０～２０００ｎｍ厚の酸化膜を形成することができる。

[0030] 工程（３）では、表面に絶縁膜３を形成したボンドウェーハ２の片面に対して水素イオン、希ガスイオンの少なくとも１種類のガスイオンをイオン注入してボンドウェーハ２内部にイオン注入層４を形成する。尚、本発明においては、水素分子イオンも「水素イオン」に含まれるものとする。

[0031] 工程（４）では、ボンドウェーハ２のイオン注入面に、ベースウェーハ１を絶縁膜３を介して貼り合わせる。通常は、常温の清浄な雰囲気下でベースウェーハ１とボンドウェーハ２の表面同士を接触させることにより、接着剤等を用いることなくウェーハ同士が接着する。

[0032] 工程（５）では、ボンドウェーハ２の一部をイオン注入層で剥離してベースウェーハ上にボンドウェーハの薄膜からなるＳＯＩ層５を有する貼り合わせＳＯＩウェーハ６を作製する。例えば、不活性ガス雰囲気下約５００℃以上の温度で熱処理を加えれば、イオン注入層でボンドウェーハを剥離させることができる。また、常温での貼り合わせ面に予めプラズマ処理を施して貼り合わせ界面の結合強度を高めることによって、熱処理を加えずに（あるいは剥離しない程度の熱処理を加えた後）、外力を加えて剥離することもできる。

[0033] 次いで、上記のようにして得られた剥離後の貼り合わせＳＯＩウェーハに対し、酸化性雰囲気下で行うＲＴＡ処理（急速加熱・急速冷却処理）、即ちＲＴＯ処理を行う（図１（Ｂ））。

前記ＲＴＯ処理を、１１００℃以上、１０秒以上（特に１０秒以上３００秒以下）の条件で行うことが好ましい。ＲＴＯ処理の熱処理温度を１１００℃以上とすることで、より一層、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減することができる。また、該ＲＴＯ処理によって、ＳＯＩ層表面に、５ｎｍ以上の膜厚を有する酸化膜を形成することが好ましい。

[0034] また、このＲＴＯ処理で用いられる急速加熱・急速冷却装置としては、ＲＴＡ処理を行うことができる装置（以下、ＲＴＡ炉ともいう）であれば特に

限定されず、例えば枚様式のランプ加熱装置を用いることができる。

[0035] 次いで、ＲＴＯ処理によってＳＯＩ層５表面に形成された酸化膜を除去する（図１（Ｃ））。酸化膜除去を行うことで、後の平坦化熱処理でシリコン原子にマイグレーションを生じ易くすることができるため、ＳＯＩ層表面の表面粗さを十分に低減することができる。

このような酸化膜除去方法としては、ＨＦを含有する水溶液等で除去することにより実施することができる。

[0036] 次いで、ＳＯＩ層表面のシリコン原子にマイグレーションを生じさせる平坦化熱処理を行って、ＳＯＩ層表面を平坦化する（図１（Ｄ））。

該平坦化熱処理としては、マイグレーションを生じさせる熱処理であれば特に限定されず、ＲＴＡ炉又は抵抗加熱式熱処理炉を用いて水素ガス、不活性ガス、又は、これらの混合ガス雰囲気下で行うことが可能である。特に、抵抗加熱式のバッチ式熱処理炉を用いたＡｒアニール（通常、１０００℃以上、１時間以上）や、ＲＴＡ炉を用いた水素ＲＴＡ処理若しくはＡｒと水素の混合ガス雰囲気によるＲＴＡ処理（通常、１１００℃以上、１０秒以上３００秒以下）が挙げられる。以下では、Ａｒアニールを行う場合を例に説明するが、他のマイグレーションを生じさせる熱処理を行った場合であっても同等の効果が得られる。

[0037] その後、犠牲酸化処理を行って、ＳＯＩ層の膜厚を調整し（図１（Ｅ））、貼り合わせＳＯＩウェーハを製造する。

即ち、まず、酸化性ガス雰囲気下で熱処理を行い、ＳＯＩウェーハの表層に所望の膜厚の熱酸化膜を形成した後、その熱酸化膜をＨＦ水溶液等により除去することによって、ＳＯＩ層の膜厚を調整する。

[0038] 図１（Ｂ）で行うＲＴＯ処理は、酸化性雰囲気で行うＲＴＡ処理であるため、水素ＲＴＡ処理のようなＳＯＩ表面のシリコン原子のマイグレーションによる平坦化効果はほとんどない。しかしながら、従来の水素ＲＴＡ処理の直後に犠牲酸化処理を行った場合と同様に、ピットの深さを低減できる効果が確認された。そのため、ＲＴＯ処理で形成された酸化膜を除去した後にＡ

ｒアニールを行えば、マイグレーションによる平坦化効果によって十分な表面粗さを得ることができる。

[0039] 即ち、従来の剥離→水素ＲＴＡ処理→犠牲酸化処理→Ａｒアニール→犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）という複雑なプロセスで得られた表面粗さと同等以上に改善された表面粗さが、本発明においては、剥離→ＲＴＯ処理→Ａｒアニール→犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）という簡単なプロセスで得ることができる。

この現象は、前者のプロセスでは、マイグレーションによる平坦化効果が得られる工程が水素ＲＴＡ処理とＡｒアニールの２工程にあるのに対し、後者（本発明）のプロセスではＡｒアニールの１工程のみであることを考慮すると、後者（本発明）のプロセスで前者のプロセスと同等以上に改善された表面粗さが得られることは、当業者であっても全く予測できなかった顕著な効果である。

[0040] また、本発明の剥離→ＲＴＯ処理→Ａｒアニール→犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）というプロセスに関し、Ａｒアニールと犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）の順序を逆にして、剥離→ＲＴＯ処理→犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）→Ａｒアニールというプロセスにしても、同様の効果が得られることが確認された。この場合、ＲＴＯ処理後に犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）を行うという順序になるため、ＲＴＯ処理によって形成された酸化膜を除去する工程は必ずしも必要はないので省略することもできる。

[0041] 即ち、本発明では、図２に示されるように、剥離後の貼り合わせＳＯＩウェーハ（図２（Ａ））に対しＲＴＯ処理を行い（図２（Ｂ））、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去した後に犠牲酸化処理を行って、又は、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去せずに犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整し（図２（Ｃ）、（Ｄ））、その後、前記ＳＯＩ層表面のシリコン原子にマイグレーションを生じさせる平坦化熱処理を行って前記ＳＯＩ層表面を平坦化する（図２（Ｅ））ことを特徴とする貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法を提供

する。

[0042] この場合、ＳＯＩ層の膜厚調整を行うための犠牲酸化処理を平坦化熱処理（Ａｒアニール）の前に実施するので、平坦化熱処理を行うことによって製品となるＳＯＩウェーハが完成するが、その後に、新たに犠牲酸化処理を追加してＳＯＩ膜厚の微調整を行うこともできる。

## 実施例

[0043] 以下に本発明の実施例及び比較例を挙げて、本発明をより詳細に説明するが、これらは本発明を限定するものではない。

[0044] ［ＳＯＩウェーハの製法（剥離工程まで）：機械的剥離］（実施例１～１２、比較例１、２）

ボンドウェーハ及びベースウェーハとして、直径３００ｍｍ、結晶方位＜１００＞の鏡面研磨されたシリコン単結晶ウェーハを準備し、ボンドウェーハの表面に１５０ｎｍの熱酸化膜を形成し、該熱酸化膜を通して、水素イオン注入（ドーズ量：６×$10^{16}$／ｃｍ$^{2}$、注入エネルギー：５０ｋｅＶ）を行い、貼り合わせ面をプラズマ処理によって活性化したベースウェーハと酸化膜を介して室温にて貼り合わせ、３５０℃、１時間の熱処理（この熱処理で剥離は発生しない）を行なった後、イオン注入層に機械的な外力を加えて剥離した。

[0045] ［ＳＯＩウェーハの製法（剥離工程まで）：熱処理剥離］（実施例１３，１４、比較例３～５）

ボンドウェーハ及びベースウェーハとして、直径３００ｍｍ、結晶方位＜１００＞の鏡面研磨されたシリコン単結晶ウェーハを準備し、ボンドウェーハの表面に１５０ｎｍの熱酸化膜を形成し、該熱酸化膜を通して、水素イオン注入（ドーズ量：５×$10^{16}$／ｃｍ$^{2}$、注入エネルギー：５０ｋｅＶ）を行い、ベースウェーハの表面に酸化膜を介して室温にて貼り合わせ、５００℃、０．５時間の熱処理を加えて剥離した。

[0046] 上記剥離後のＳＯＩウェーハに対し、下記表１に示す処理を順番に施した。即ち、実施例１～８、１３では、図１に示すような順番で処理を行い（Ｒ

ＴＯ処理→酸化膜除去→平坦化熱処理→犠牲酸化処理）貼り合わせＳＯＩウェーハを製造した。実施例９～１２、１４では、図２に示すような順番で処理を行い（ＲＴＯ処理→（酸化膜除去）→犠牲酸化処理→平坦化熱処理）貼り合わせウェーハを製造した。比較例１～５に関しては、表１に示す順番で処理を施した。

[0047] ［表面粗さ評価］

全ての処理が終了したＳＯＩ層の表面をＡＦＭ（Ａｔｏｍ　Ｆｏｒｃｅ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）で複数点測定（測定範囲３０μｍ角）し、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の平均値を求めた。また、ＳＯＩ層表面の全面のＬＰＤ（Ｌｉｇｈｔ　Ｐｏｉｎｔ　Ｄｅｆｅｃｔ）測定を行った。測定装置はレーザー散乱方式の表面検査装置（ＫＬＡ－Ｔｅｎｃｏｒ社製　ＳＰ１）を用い、直径９０ｎｍ以上のＬＰＤと、直径６５ｎｍ以上のＬＰＤを測定した。結果を、下記表１に示す。

[0048] ＡＦＭによる測定は、測定範囲が３０μｍ角と狭い領域であるため、その範囲にピットが１個観察されただけでも１×１０$^{5}$／ｃｍ$^{2}$の密度となってしまうため、ピットの定量的な評価には適さない。一方、ピットの発生などの原因により、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の面内バラツキが大きくなると、ＳＯＩ表面のヘイズレベルが悪化してＬＰＤ測定が不可能となったり、ヘイズ起因の粗さの大きな領域はＬＰＤとして検出される。従って、ＳＯＩ表面のＬＰＤを測定することによって、ＳＯＩ層の表面粗さを相対的に比較することができる。

[0049] 表１の実施例、比較例において、ＬＰＤの測定結果が２０個／ｗａｆｅｒ以下である場合、ＳＯＩ表面のヘイズレベルの影響を受けずに、パーティクルや表面欠陥などがＬＰＤとして正確に測定されていることを表している。

[0050]

［表1］

| | 剥離方法 | RTO | | | | 酸化膜除去 | 犠牲酸化 | | 平坦化熱処理 | | | 犠牲酸化 | | 評価結果 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 温度(℃) | 時間(秒) | 雰囲気 | 膜厚(nm) | | 温度(℃) | 膜厚(nm) | 温度(℃) | 時間(秒) | 雰囲気 | 温度(℃) | 膜厚(nm) | RMS(nm) | Rmax(nm) | LPD(≧90nm)(個/wafer) | LPD(≧65nm)(個/wafer) |
| 実施例1 | 機械的 | 1000 | 30 | 100% O2 | 5.1 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.35 | 3.6 | ≦20 | 200 |
| 実施例2 | 機械的 | 1050 | 30 | 100% O2 | 7.4 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.34 | 3.8 | ≦20 | 100 |
| 実施例3 | 機械的 | 1100 | 30 | 100% O2 | 9.6 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.32 | 3.5 | ≦20 | 30 |
| 実施例4 | 機械的 | 1150 | 30 | 100% O2 | 14.7 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.29 | 3.2 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例5 | 機械的 | 1150 | 30 | wet O2 | 50.0 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.28 | 3.2 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例6 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.27 | 3.1 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例7 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | なし | | 1200 | 30 | 50%H2/50%Ar | 950 | 300 | 0.28 | 3.1 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例8 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | なし | | 1100 | 60 | 100% H2 | 950 | 300 | 0.33 | 3.8 | ≦20 | 30 |
| 実施例9 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | 950 | 300 | 1200 | 30 | 100% H2 | なし | | 0.28 | 3.2 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例10 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | なし | 950 | 300 | 1200 | 30 | 100% H2 | なし | | 0.29 | 3.1 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例11 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | 950 | 300 | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 100 | 0.27 | 3.2 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例12 | 機械的 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | なし | 950 | 300 | 1200 | 30 | 100% H2 | 950 | 100 | 0.28 | 3.1 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例13 | 熱処理 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | なし | | 1200 | 2時間 | 100% Ar | 950 | 300 | 0.32 | 3.3 | ≦20 | ≦20 |
| 実施例14 | 熱処理 | 1200 | 30 | 100% O2 | 18.8 | 有 | 950 | 300 | 1200 | 2時間 | 50%H2/50%Ar | 950 | 100 | 0.26 | 3.1 | ≦20 | ≦20 |
| 比較例1 | 機械的 | H2RTA(1200℃,30秒,100% H2)→RTO(1200℃,30秒,100% O2)→犠牲酸化(950℃,300nm) | | | | | | | | | | | | 0.45 | 6.7 | 測定不可 | — |
| 比較例2 | 機械的 | H2RTA(1200℃,30秒,100% H2)→H2RTA(1200℃,30秒,100% H2)→犠牲酸化(950℃,300nm) | | | | | | | | | | | | 0.33 | 6.9 | 測定不可 | — |
| 比較例3 | 熱処理 | H2RTA(1200℃,30秒,100% H2)→平坦化熱処理(1200℃,2時間,100% Ar)→犠牲酸化(950℃,300nm) | | | | | | | | | | | | 0.58 | 5.7 | ≧1000 | — |
| 比較例4 | 熱処理 | 平坦化熱処理(1200℃,2時間,100% Ar)→犠牲酸化(950℃,300nm) | | | | | | | | | | | | 0.54 | 5.8 | ≧2000 | — |
| 比較例5 | 熱処理 | H2RTA(1200℃,30秒,100% H2)→犠牲酸化(950℃,300nm)→平坦化熱処理(1200℃,2時間,100% Ar)→犠牲酸化(950℃,100nm) | | | | | | | | | | | | 0.30 | 3.2 | ≦20 | ≦20 |

[0051] 実施例１～１４では、ＡＦＭで測定した表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の平均値は、ほとんど差がなく、比較例１～４に比べて良好な値が得られた。また、直径９０ｎｍ以上のＬＰＤについても、すべて２０個／ｗａｆｅｒ以下の良好な値であった。ただし、直径６５ｎｍ以上のＬＰＤを測定した場合には、ＲＴＯ処理の温度が１１００℃未満（１０００℃、１０５０℃）になると、検出されるＬＰＤが増加することがわかった。これは、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の面内バラツキが大きくなった結果、ヘイズ起因の粗さの大きな領域が直径６５ｎｍ以上のＬＰＤとして検出されたことに起因する。従って、ＲＴＯ処理の温度は、１１００℃以上とすることが好ましいことが判った。

[0052] 比較例１は、実施例１のＲＴＯ処理と水素ＲＴＡ処理の順序を逆にしたプロセスであるが、この場合、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の平均値は実施例に比べ大きな値となり、表面粗さを十分に低減することができていない。また、その影響によりヘイズレベルが悪く、ＬＰＤの測定ができなかった。

[0053] 比較例２は、実施例１のＲＴＯ処理をマイグレーション効果の高い水素ＲＴＡ処理に置き換えたプロセスであるが、この場合も、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の平均値は実施例に比べ大きな値となり、表面粗さを十分に低減することができず、その影響によりヘイズレベルが悪く、ＬＰＤの測定ができなかった。

[0054] 比較例３は、実施例１３のＲＴＯ処理をマイグレーション効果の高い水素ＲＴＡ処理に置き換えたプロセスであるが、この場合には、大きなピットが表面に発生したため、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）の平均値は実施例に比べ大きな値となり、その影響によりヘイズレベルが悪く、ヘイズ起因の粗さの大きな領域がＬＰＤとして検出されたため、ＬＰＤ（≧９０ｎｍ）が大きな値となった。

[0055] 比較例４は、剥離後にＲＴＯ処理や水素ＲＴＡ処理を行うことなく、直ちにバッチ式熱処理炉による平坦化熱処理を行ったプロセスであるが、この場合も、大きなピットが表面に発生したため、表面粗さ（ＲＭＳ、Ｒｍａｘ）

の平均値は実施例に比べ大きな値となり、その影響によりヘイズレベルが悪く、ヘイズ起因の粗さの大きな領域がＬＰＤとして検出されたため、ＬＰＤ（≧９０ｎｍ）が大きな値となった。

[0056] 比較例５は、特許文献５に記載された剥離→水素ＲＴＡ処理→犠牲酸化処理→Ａｒアニール→犠牲酸化処理（ＳＯＩ膜厚調整）というプロセスと同等のプロセスを行った場合であるが、この場合は、表面粗さやＬＰＤの測定結果は実施例と同等の結果が得られているが、工程が複雑で長いため製造コストが高くなるという欠点を有する。

[0057] なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

# 請求の範囲

［請求項1］ シリコン単結晶からなるボンドウェーハの表面から水素イオン、希ガスイオンの少なくとも一種類のガスイオンをイオン注入して該ボンドウェーハ内部にイオン注入層を形成し、前記ボンドウェーハのイオン注入された側の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウェーハの一部を前記イオン注入層で剥離して、前記ベースウェーハ上に前記ボンドウェーハの薄膜からなるＳＯＩ層を有する貼り合わせＳＯＩウェーハを作製する貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法において、

前記剥離後の貼り合わせＳＯＩウェーハに対しＲＴＯ処理を行い、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去した後、前記ＳＯＩ層表面のシリコン原子にマイグレーションを生じさせる平坦化熱処理を行って前記ＳＯＩ層表面を平坦化し、その後、犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整することを特徴とする貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。

［請求項2］ シリコン単結晶からなるボンドウェーハの表面から水素イオン、希ガスイオンの少なくとも一種類のガスイオンをイオン注入して該ボンドウェーハ内部にイオン注入層を形成し、前記ボンドウェーハのイオン注入された側の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウェーハの一部を前記イオン注入層で剥離して、前記ベースウェーハ上に前記ボンドウェーハの薄膜からなるＳＯＩ層を有する貼り合わせＳＯＩウェーハを作製する貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法において、

前記剥離後の貼り合わせＳＯＩウェーハに対しＲＴＯ処理を行い、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去した後に犠牲酸化処理を行って、又は、該ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成された酸化膜を除去せずに犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整し、その後、前記ＳＯＩ層表面のシリコン原子

にマイグレーションを生じさせる平坦化熱処理を行って前記ＳＯＩ層表面を平坦化することを特徴とする貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。

［請求項3］ 前記平坦化熱処理を行った後、さらに、犠牲酸化処理を行って前記ＳＯＩ層の膜厚を調整することを特徴とする請求項２に記載の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。

［請求項4］ 前記ＲＴＯ処理によって前記ＳＯＩ層表面に形成する酸化膜の膜厚を５ｎｍ以上とすることを特徴とする請求項１乃至請求項３のいずれか一項に記載の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。

［請求項5］ 前記ＲＴＯ処理を、１１００℃以上、１０秒以上の条件で行うことを特徴とする請求項１乃至請求項４のいずれか一項に記載の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。

［請求項6］ 前記平坦化熱処理を、水素ガス、不活性ガス、又は、これらの混合ガス雰囲気下で行うことを特徴とする請求項１乃至請求項５のいずれか一項に記載の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。

［請求項7］ 前記平坦化熱処理を、ＲＴＡ炉、又は、抵抗加熱式熱処理炉で行うことを特徴とする請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の貼り合わせＳＯＩウェーハの製造方法。