

明 細 書

発明の名称：貼り合わせ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ウェーハの製造方法に関し、特に、イオン注入剥離法によって貼り合わせウェーハを製造した際に副生される剥離ウェーハに再生加工を施して得られた再生ウェーハを用いてイオン注入剥離法によって貼り合わせウェーハを製造する方法に関する。

背景技術

[0002] ＳＯＩウェーハの製造方法、特に先端集積回路の高性能化を可能とする薄膜ＳＯＩウェーハの製造方法として、イオン注入したウェーハを貼り合わせ後に剥離してＳＯＩ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）が注目されている。

[0003] このイオン注入剥離法は、二枚のシリコンウェーハの内、少なくとも一方に酸化膜を形成すると共に、一方のシリコンウェーハ（ボンドウェーハ）の上面から水素イオンまたは希ガスイオン等のガスイオンを注入し、該ウェーハ内部にイオン注入層（微小気泡層又は封入層とも呼ぶ）を形成する。その後、イオンを注入した方の面を、酸化膜を介して他方のシリコンウェーハ（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）を薄膜状に剥離する。さらに、熱処理（結合熱処理）を加えて強固に結合してＳＯＩウェーハを製造する技術である（特許文献１参照）。この段階では、劈開面（剥離面）がＳＯＩ層の表面となっており、ＳＯＩ膜厚が薄くてかつ均一性も高いＳＯＩウェーハが比較的容易に得られている。

[0004] このイオン注入剥離法は、絶縁膜を介して貼り合わせＳＯＩウェーハを作製する場合に限らず、直接２枚のウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを作製する場合にも適用されている。

[0005] このイオン注入剥離法では、剥離後のボンドウェーハ（剥離ウェーハ）に

対して、再度、研磨やエッチングなどの表面処理を含む再生加工（リフレッシュ加工）を施すことにより、未結合部に生じる段差や、剥離後の面粗さ、注入残存層の影響を減少もしくは除去し、ウェーハを繰り返し使用することができる。この再生加工の方法に関しては、例えば、特許文献2のように、面取り加工と研磨を組み合わせ、面取り部に存在するイオン注入残存層の影響を取り除く方法が提案されている。

[0006] 剥離ウェーハに対して行う再生加工に関しては、特許文献3には、剥離ウェーハ表面の研磨代を $2\mu\text{m}$ 以上とすることや、剥離ウェーハを繰り返しボンドウェーハとして再利用することが記載されている。また、特許文献4には、剥離ウェーハの繰り返し再利用において、約 $5\mu\text{m}$ の研磨を最大10回繰り返すことができることが記載されている。更に、特許文献5には、剥離ウェーハ表面の研磨代を $1\sim 5\mu\text{m}$ 以上とすることや、剥離ウェーハを何回も再生加工することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開平5-211128号公報
特許文献2：特開2001-155978号公報
特許文献3：特開2008-21892号公報
特許文献4：特開2006-140445号公報
特許文献5：特開2007-149907号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] イオン注入剥離法により作製された貼り合わせSOIウェーハのSOI層の膜厚分布を測定すると、マーブル模様の膜厚ムラが見られる場合がある。この膜厚ムラは、ボンドウェーハ剥離後のSOI層表面の外観検査を行うと目視でも観察され、その膜厚ムラはmm単位のパターンを形成している。

[0009] 近年、SOI層の膜厚分布の規格が厳しくなっており、剥離時に発生する

大きなパターンを持った膜厚ムラをなくすることが重要である。特に、E T S O I (E x t r e m e l y T h i n S O I、極めて薄いS O I)と呼ばれるS O I層膜厚が30nm以下の品種については、このような膜厚ムラは、製造歩留まりに大きな影響を与えるため、その発生を防止することが望まれている。

[0010] 本発明は前述のような問題に鑑みてなされたもので、イオン注入剥離法により貼り合わせウェーハを製造する際に薄膜に発生するマール模様の膜厚ムラを抑制し、薄膜の膜厚均一性の高い貼り合わせウェーハを製造することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上記目的を達成するために、本発明によれば、ボンドウエーハの表面に、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イオン注入層を形成し、前記ボンドウエーハのイオン注入した表面と、ベースウェーハの表面とを直接または絶縁膜を介して貼り合わせた後、熱処理を加えて前記イオン注入層で前記ボンドウエーハの一部を剥離させることにより、前記ベースウェーハ上に薄膜を有する貼り合わせウェーハを作製する貼り合わせウェーハの製造方法において、前記ボンドウエーハとベースウェーハを貼り合わせる前に、前記ボンドウエーハと前記ベースウェーハの厚さを測定し、両ウェーハの厚さの差が5 μ m未満である前記ボンドウエーハと前記ベースウェーハとなる組み合わせを選択して貼り合わせることを特徴とする貼り合わせウェーハの製造方法が提供される。

[0012] このような貼り合わせウェーハの製造方法であれば、薄膜の膜厚ムラを抑制でき、薄膜の膜厚均一性の高い貼り合わせウェーハを製造できる。

[0013] このとき、前記ボンドウエーハおよび／または前記ベースウェーハとして、前記貼り合わせウェーハの製造方法において貼り合わせウェーハを作製する際に副生された剥離ウェーハに、減厚を伴う再生加工を行った再生ウェーハを用いることができる。この再生ウェーハは、前記減厚を伴う再生加工が2回以上行われたもの、或いは、前記減厚を伴う再生加工として5 μ m以上

の減厚が行われたものとすることができる。

このような、特に膜厚ムラが発生しやすい再生ウェーハを用いる場合に本発明を好適に適用でき、コストを低減しつつ、薄膜の膜厚均一性の高い貼り合わせウェーハを製造できる。

[0014] また、前記ボンドウエーハおよび前記ベースウェーハがシリコン単結晶ウェーハからなり、前記絶縁膜がシリコン酸化膜からなり、前記薄膜がＳＯＩ層とすることができる。

このようにすれば、ＳＯＩ層の薄膜の膜厚均一性の高いＳＯＩウェーハを製造できる。

発明の効果

[0015] 本発明の貼り合わせウェーハの製造方法では、ボンドウエーハとベースウェーハを貼り合わせる前に、ボンドウエーハとベースウェーハの厚さを測定し、両ウェーハの厚さの差が５μm未満であるボンドウエーハとベースウェーハとなる組み合わせを選択して貼り合わせるので、薄膜の膜厚ムラを抑制でき、薄膜の膜厚均一性の高い貼り合わせウェーハを製造できる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の貼り合わせウェーハの製造方法の一例のフロー図である。

[図2]実施例１～５の膜厚ムラのないＳＯＩウェーハの代表例を示す図である。

[図3]比較例１～５の膜厚ムラのあるＳＯＩウェーハの代表例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明について実施の形態を説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

一般的に、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は、コスト削減のため、貼り合わせウェーハを作製する際に副生された剥離ウェーハに減厚を伴う再生加工を行った再生ウェーハをボンドウエーハまたはベースウェーハとして用いることが多い。或いは、ボンドウエーハ

およびベースウェーハとして未使用のウェーハ（再生加工を行っていないウェーハ、以下、プライムウェーハと呼ぶ。）を用いる場合もある。

[0018] 上記したように、イオン注入剥離法により貼り合わせSOIウェーハを製作すると、貼り合わせSOIウェーハのSOI層にマール模様膜厚ムラが発生するという問題があり、発明者らが詳細に調査したところ、以下のことが判明した。

ボンドウエーハおよびベースウェーハとしてプライムウェーハを用いる場合、両ウェーハが異なる製造ロットで製造されたものである場合にSOI層の膜厚ムラの発生頻度が高くなる。ボンドウエーハおよびベースウェーハの少なくとも一方に再生ウェーハを用いる場合には膜厚ムラの発生頻度がより高くなり、また、その再生回数が多いほど発生頻度が増加する傾向がある。そこで、発明者は、プライムウェーハと再生ウェーハを用いた下記の実験を行い、この発生頻度が高くなる傾向について以下のように考察した。

[0019] 一般的に、ボンドウエーハとベースウェーハとして用いられるシリコン単結晶ウェーハのウェーハ厚は、 $\pm 15 \mu\text{m}$ の規格で製造される。実際には、同一の製造ロットであれば、ウェーハ間の厚さバラツキは $\pm$ 数 μm 程度の精度である。従って、特に同一の製造ロットで製造されたプライムウェーハを用いれば膜厚ムラが発生する可能性は低い。一方、製造ロットが異なり、ウェーハ厚の中央値がずれているような場合には、プライムウェーハ同士であっても両ウェーハの厚さの差が $5 \mu\text{m}$ を超える場合があり、膜厚ムラが発生する頻度が高くなる。

[0020] ボンドウエーハおよびベースウェーハの少なくとも一方に再生ウェーハを用いる場合には、ウェーハが減厚加工で薄くなっているため、両ウェーハの厚さの差が $5 \mu\text{m}$ を超える可能性が高まる。特に、ボンドウエーハまたはベースウェーハの一方にプライムウェーハを用い、他方に再生ウェーハを用いた場合には、この可能性は非常に高い。そのため、膜厚ムラが発生する頻度もより高くなる。

[0021] （実験）

ボンドウエーハおよびベースウエーハとして、表 1 に示す厚さを有する直径 300 mm、結晶方位<100>のシリコン単結晶からなる 4 種類の鏡面研磨ウエーハを用意した。ウエーハ厚は、静電容量式の測定装置を用いてウエーハ全面を測定し、その平均値（小数点以下四捨五入）を採用した。

[0022] [表1]

記号	ウエーハ種類	ウエーハ厚	再生加工回数
P (780)	プライムウエーハ	780 μ m	0 回
P (775)	プライムウエーハ	775 μ m	0 回
R (760)	再生ウエーハ	760 μ m	1 回
R (740)	再生ウエーハ	740 μ m	2 回

[0023] これら 4 種類のウエーハをそれぞれボンドウエーハ、ベースウエーハとして使用し、下記の製造条件でイオン注入剥離法によって貼り合わせ SOI ウエーハを作製した。その後、SOI 層の膜厚測定（測定装置：KLA-Tencor 社製 Accumap）を行って膜厚ムラの有無を評価した。その結果を表 2 に示す。

[0024] このときの貼り合わせ SOI ウエーハ製造条件を以下に示す。

[貼り合わせ SOI ウエーハ製造条件]

（酸化膜）ボンドウエーハには 55 nm の熱酸化膜を形成、ベースウエーハには酸化膜なし、

（水素イオン注入条件）注入エネルギー：48.7 keV、ドーズ量： $5 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ 、

（剥離熱処理）350℃で 4 時間 + 500℃で 30 分、Ar 雰囲気、

（平坦化熱処理）1200℃で 1 時間、Ar 雰囲気

（SOI 膜厚調整）犠牲酸化処理により SOI 層を 70 nm 程度まで減厚

[0025]

[表2]

ベースウェーハ ボンドウエーハ	P (780)	P (775)	R (760)	R (740)
P (780)	○	×	×	×
P (775)	×	○	×	×
R (760)	×	×	○	×
R (740)	×	×	×	○

[0026] 表2の結果より、ボンドウエーハとベースウェーハの厚さの差が $5\mu\text{m}$ 以上あるとSOI層の膜厚ムラが発生することが明らかとなった。ここで、表2中の○は膜厚ムラが発生しなかったことを表し、×は膜厚ムラが発生したことを表す。

ボンドウエーハとベースウェーハの厚さの差が膜厚ムラの発生にどのように関係しているかのメカニズムについては明らかではないが、厚さが異なると剥離熱処理で剥離する際に、剥離領域の固有振動数が異なることに起因するものと推定される。

[0027] 以上のように、本発明者は、膜厚ムラの発生がボンドウエーハとベースウェーハの厚さの差が大きいことに起因していることを見出し、本発明を完成させた。

[0028] 以下、本発明の貼り合わせウェーハの製造方法を図1を参照しながら説明する。

本発明では、ベースウェーハ上に薄膜を有する貼り合わせウェーハとして、例えば、シリコン単結晶ウェーハ上にシリコン酸化膜を介してSOI層が形成されたSOIウェーハを作製することができる。

[0029] まず、図1(a)に示すように、ボンドウエーハ10及びベースウェーハ11を準備する。このとき、事前に厚さを測定しておいた複数のウェーハの中から、両ウェーハの厚さの差が $5\mu\text{m}$ 未満、より好ましくは $3\mu\text{m}$ 以下であるボンドウエーハとベースウェーハとなる組み合わせを選択する。この選択工程は、ボンドウエーハとベースウェーハを貼り合わせる工程の前に行え

ば良く、その貼り合わせ工程の前の他の工程との間の実施順に特に限定されない。例えば、上記選択工程は、下記のボンドウェーハにイオン注入層を形成する工程の後に行っても良い。

[0030] このように、両ウェーハの厚さの差が $5\mu\text{m}$ 未満であるボンドウェーハとベースウェーハとなる組み合わせを選択して後述のように貼り合わせれば、剥離後に薄膜の膜厚ムラの発生を抑制でき、薄膜の膜厚均一性の高い貼り合わせウェーハを製造できる。

[0031] ここで、ボンドウェーハとベースウェーハの両方に、プライムウェーハ、または再生ウェーハを用いることができる。或いは、ボンドウェーハとベースウェーハのどちらか一方にプライムウェーハを、他方に再生ウェーハを用いることもできる。尚、再生ウェーハとは、上記のように、貼り合わせウェーハを作製する際に副生される剥離ウェーハに、減厚を伴う再生加工を行ったウェーハであり、再生ウェーハを用いればコストを削減できるので好ましい。特に、減厚を伴う再生加工が2回以上行われた、すなわち2回以上再利用された再生ウェーハや、減厚を伴う再生加工として $5\mu\text{m}$ 以上の減厚が行われた再生ウェーハのような、従来では薄膜の膜厚ムラが発生しやすい再生ウェーハを用いても、本発明の貼り合わせウェーハの製造方法によれば、薄膜の膜厚ムラを抑制できる。

[0032] 次に、図1(b)に示すように、例えば熱酸化やCVD等によって、ボンドウェーハ10に、埋め込み酸化膜16となる酸化膜12を成長させる。或いは、この際形成する酸化膜12は、ベースウェーハ11のみに形成しても良いし、両ウェーハに形成しても良い。直接貼り合わせウェーハを製造する場合には、この酸化膜は形成しなくとも良い。

[0033] 次に、図1(c)に示すように、その酸化膜12の上からイオン注入機により、水素イオンと希ガスイオンのうちの少なくとも一種類のガスイオンを注入して、ボンドウェーハ10内にイオン注入層13を形成する。この際、目標とする剥離シリコン（薄膜15）の厚さを得ることができるよう、イオン注入加速電圧を選択する。

次に、図1（d）に示すように、イオン注入したボンドウェーハ10を、注入面が接するように、ベースウェーハ11と密着させて貼り合わせる。

[0034] そして、貼り合わせたウェーハを350℃～500℃で保持してイオン注入層13に微小気泡層を発生させる熱処理を施し、微小気泡層にて剥離して、図1（i）に示すようなベースウェーハ11上に埋め込み酸化膜16と薄膜15が形成された貼り合わせウェーハ14を作製する。

[0035] 尚、貼り合わせる面に予めプラズマ処理を施して貼り合わせることによって、室温で密着されたウェーハの結合強度を高めることもできる。

そして、図1（j）に示すように、この貼り合わせウェーハ14に、平坦化熱処理、結合熱処理、研磨等を施して、剥離面を平坦化したり、結合強度を高めることもできる。

[0036] 上記の製造過程において、図1（e）に示すように、剥離後のボンドウェーハ10である剥離ウェーハ17が副生される。剥離ウェーハ17は、剥離面18の外周部に、ベースウェーハ11に移設されなかった段差部を有している。このような剥離ウェーハ17の段差部等を除去する再生加工して、次回の貼り合わせウェーハの製造時に再生ウェーハとして利用することができる。剥離ウェーハ17の再生加工は、例えば以下のように行うことができる。

[0037] まず、図1（f）に示すように、例えばHF水溶液による洗浄を行うことにより、剥離面18とは反対の面の酸化膜以外の酸化膜を除去する。その後、剥離面を研磨することにより、図1（g）に示すように、剥離面を平坦化するとともに、イオン注入によるダメージ層を除去する。その後、図1（h）に示すように、通常のパッチ式HF液槽浸漬方式のようなHF洗浄を行うことで、裏面の酸化膜12を除去し、プライムウェーハと同等の表面および裏面品質を持つ再生ウェーハを作製することができる。この再生加工により再生ウェーハの厚さは当初のボンドウェーハの厚さより薄くなる。

実施例

[0038] 以下、本発明の実施例及び比較例を示して本発明をより具体的に説明する

が、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0039] (実施例 1-5、比較例 1-5)

直径 300 mm、結晶方位<100>のシリコン単結晶からなる鏡面研磨ウェーハをボンドウェーハおよびベースウェーハとして用いて貼り合わせ SOI ウェーハを作製し、SOI 層の膜厚ムラの発生の有無を評価した。このとき実施例 1-5、比較例 1-5 で用いたボンドウェーハ及びベースウェーハの種類、厚さ、再生条件を表 3 に示す。再生条件は、それまでに再生ウェーハとして利用した回数を再生回数として、再生研磨加工における研磨代を再生研磨代として示されている。実施例は、予め測定したボンドウェーハとベースウェーハの厚さの差が 5 μ m 未満となるものの組み合わせを選択し貼り合わせたものである。

[0040] 膜厚ムラの結果を表 3 に示す。ここで、表 3 中の○は膜厚ムラが発生しなかったこと、×は膜厚ムラが発生したことを表す。表 3 に示すように、実施例 1-5 のいずれにおいても膜厚ムラは発生しなかったのに対し、比較例 1-5 のいずれにおいても膜厚ムラが発生した。図 2 に膜厚ムラが発生しなかった実施例 1-5 の SOI ウェーハ、図 3 に膜厚ムラが発生した比較例 1-5 の SOI ウェーハのそれぞれの代表例を示す。

また、膜厚ムラが発生した比較例 1-5 のウェーハの SOI 膜厚レンジ（面内膜厚の最大値から最小値を引いた値）は 1.5~2.5 nm 程度であったのに対し、膜厚ムラのない実施例 1-5 のウェーハの SOI 膜厚レンジは 1.2~1.8 nm 程度と良好であった。

[0041]

[表3]

		種類	厚さ (μm)	再生回数	再生研磨代	膜厚ムラ
実施例 1	ボントウェーハ	プライム	775	0	0	○
	ベースウェーハ	プライム	772	0	0	
実施例 2	ボントウェーハ	再生	772	1	$3\mu\text{m}$	○
	ベースウェーハ	プライム	775	0	0	
実施例 3	ボントウェーハ	再生	769	2	$3\mu\text{m} \times 2$	○
	ベースウェーハ	プライム	772	0	0	
実施例 4	ボントウェーハ	再生	763	3	$4\mu\text{m} \times 3$	○
	ベースウェーハ	再生	767	2	$4\mu\text{m} \times 2$	
実施例 5	ボントウェーハ	プライム	775	0	0	○
	ベースウェーハ	再生	771	1	$4\mu\text{m}$	
比較例 1	ボントウェーハ	プライム	775	0	0	×
	ベースウェーハ	プライム	770	0	0	
比較例 2	ボントウェーハ	再生	770	1	$5\mu\text{m}$	×
	ベースウェーハ	プライム	775	0	0	
比較例 3	ボントウェーハ	再生	769	2	$3\mu\text{m} \times 2$	×
	ベースウェーハ	プライム	775	0	0	
比較例 4	ボントウェーハ	再生	766	3	$3\mu\text{m} \times 3$	×
	ベースウェーハ	再生	774	1	$3\mu\text{m}$	
比較例 5	ボントウェーハ	プライム	775	0	0	×
	ベースウェーハ	再生	770	1	$5\mu\text{m}$	

[0042] 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。

例えば、上記では、絶縁膜を介して貼り合わせSOIウェーハを作製する

場合について説明しているが、直接２枚のウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを作製する場合にも本発明を適用可能である。

請求の範囲

- [請求項1] ボンドウェーハの表面に、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した表面と、ベースウェーハの表面とを直接または絶縁膜を介して貼り合わせた後、熱処理を加えて前記イオン注入層で前記ボンドウェーハの一部を剥離させることにより、前記ベースウェーハ上に薄膜を有する貼り合わせウェーハを作製する貼り合わせウェーハの製造方法において、
- 前記ボンドウェーハとベースウェーハを貼り合わせる前に、前記ボンドウェーハと前記ベースウェーハの厚さを測定し、両ウェーハの厚さの差が5 μm 未満である前記ボンドウェーハと前記ベースウェーハとなる組み合わせを選択して貼り合わせることを特徴とする貼り合わせウェーハの製造方法。
- [請求項2] 前記ボンドウェーハおよび／または前記ベースウェーハとして、前記貼り合わせウェーハの製造方法において貼り合わせウェーハを作製する際に副生された剥離ウェーハに、減厚を伴う再生加工を行った再生ウェーハを用いることを特徴とする請求項1に記載された貼り合わせウェーハの製造方法。
- [請求項3] 前記再生ウェーハは、前記減厚を伴う再生加工が2回以上行われたものであることを特徴とする請求項2に記載された貼り合わせウェーハの製造方法。
- [請求項4] 前記再生ウェーハは、前記減厚を伴う再生加工として5 μm 以上の減厚が行われたものであることを特徴とする請求項2または請求項3に記載された貼り合わせウェーハの製造方法。
- [請求項5] 前記ボンドウェーハおよび前記ベースウェーハがシリコン単結晶ウェーハからなり、前記絶縁膜がシリコン酸化膜からなり、前記薄膜がSOI層であることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか一項に記載された貼り合わせウェーハの製造方法。