

(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2006-140187

(P2006-140187A)

(43) 公開日 平成18年6月1日(2006.6.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 27/12 (2006.01)	H O 1 L 27/12 B	5 F O 5 2
H O 1 L 21/02 (2006.01)	H O 1 L 21/02 B	
H O 1 L 21/20 (2006.01)	H O 1 L 21/20	
H O 1 L 21/265 (2006.01)	H O 1 L 21/265 Q	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2004-326156 (P2004-326156)	(71) 出願人	000190149
(22) 出願日	平成16年11月10日 (2004.11.10)		信越半導体株式会社
			東京都千代田区丸の内1丁目4番2号
		(74) 代理人	100102532
			弁理士 好宮 幹夫
		(72) 発明者	横川 功
			群馬県安中市 中野谷字松原507 信越半
			導体株式会社横野平工場内
		(72) 発明者	阿賀 浩司
			群馬県安中市 中野谷字松原507 信越半
			導体株式会社横野平工場内
		(72) 発明者	三谷 清
			群馬県安中市 中野谷字松原507 信越半
			導体株式会社横野平工場内
		Fターム(参考)	5F052 HA06 JA01 KA01 KA05 KB05

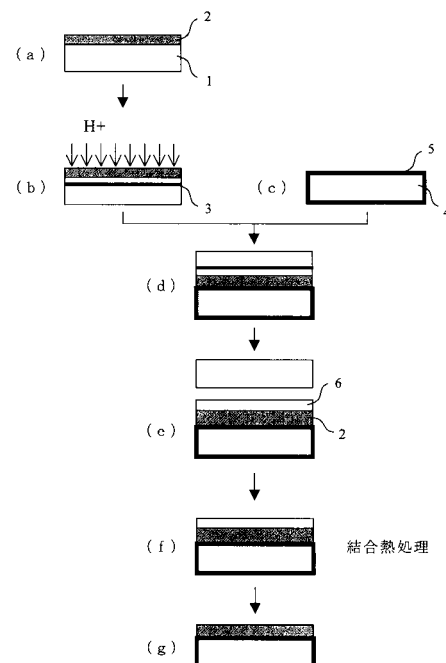
(54) 【発明の名称】 半導体ウェーハの製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 SGOIウェーハやGOIウェーハにおいて、歪みを有するSiGe層に格子緩和が発生せず、格子が十分に歪んでおり、高速の半導体デバイスの作製に適する半導体ウェーハの製造方法を提供する。

【解決手段】 少なくとも、ボンドウェーハとなるシリコン単結晶ウェーハの表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層 ($0 < x \leq 1$) をエピタキシャル成長させ、該 $Si_{1-x}Ge_x$ 層を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一種類を注入することにより前記ボンドウェーハ内部にイオン注入層を形成し、前記 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して密着させて貼り合わせ、その後前記イオン注入層で剥離する剥離処理を行い、少なくとも前記剥離処理を行う際の温度以上の温度で前記貼り合わせ面を結合させる結合熱処理を行った後、前記剥離によりベースウェーハ側に移設した剥離層のSi層を除去する半導体ウェーハの製造方法。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体ウェーハの製造方法であって、少なくとも、ボンドウェーハとなるシリコン単結晶ウェーハの表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層 ($0 < x \leq 1$) をエピタキシャル成長させ、該 $Si_{1-x}Ge_x$ 層を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一種類を注入することにより前記ボンドウェーハ内部にイオン注入層を形成し、前記 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して密着させて貼り合わせ、その後前記イオン注入層で剥離する剥離処理を行い、少なくとも前記剥離処理を行う際の温度以上の温度で前記貼り合わせ面を結合させる結合熱処理を行なった後、前記剥離によりベースウェーハ側に移設した剥離層の Si 層を除去することを特徴とする半導体ウェーハの製造方法。 10

【請求項 2】

前記剥離層の Si 層の厚さを、前記 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の厚さの 5 倍以上とすることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体ウェーハの製造方法。

【請求項 3】

前記結合熱処理を $500^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ の温度で行なうことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の半導体ウェーハの製造方法。

【請求項 4】

前記結合熱処理を $600^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ の温度で行なう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半導体ウェーハの製造方法。

【請求項 5】

前記結合熱処理を R T A 装置を用いて行な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半導体ウェーハの製造方法。 20

【請求項 6】

前記剥離層の Si 層の除去をエッチングにより行な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半導体ウェーハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶縁体上に $Si_{1-x}Ge_x$ 層 ($0 < x \leq 1$) が形成された SGOI ウェーハや GOI ウェーハ等の半導体ウェーハの製造方法に関するものである。 30

【背景技術】

【0002】

近年、半導体デバイスの高性能化の要求に応えるため、シリコン単結晶の表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層 ($0 < x \leq 1$) をエピタキシャル成長させた半導体ウェーハを用いることが提案されており、例えばこの $Si_{1-x}Ge_x$ 層をチャンネル領域に用いた高速の MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) などの半導体デバイスが提案されている。

【0003】

この場合、 $Si_{1-x}Ge_x$ 結晶は Si 結晶に比べて格子定数が大きいため、シリコン単結晶の表面にエピタキシャル成長させた $Si_{1-x}Ge_x$ 層の結晶格子には歪み (圧縮歪み) が生じている。その歪み応力により $Si_{1-x}Ge_x$ 結晶のエネルギーバンド構造が変化し、その結果エネルギーバンドの縮退が解けキャリア移動度の高いエネルギーバンドが形成される。歪みを有する $Si_{1-x}Ge_x$ 結晶は特に正孔移動度が高くなるので、この $Si_{1-x}Ge_x$ 層をチャンネル領域として用いた MOSFET は高速の動作特性が期待される。ここで、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層は Ge 濃度が 0 % より高いものであり、 Ge 濃度が 100 % である Ge 層も含むが、以下では単に $SiGe$ 層と記載する場合がある。 40

【0004】

このような $SiGe$ 層を形成する方法として、SOI (Silicon On Insulator) ウェーハ上に $SiGe$ 層をエピタキシャル成長後、酸素雰囲気中で表面を熱酸化して Ge を濃縮し、 Ge 濃度の高い $SiGe$ 層を形成するという酸化濃縮法が開示 50

されている（非特許文献 1、2 参照）。この方法によれば、Ge 濃度が高く、厚さが薄い SiGe 層を形成できるとされている。

【0005】

以下、このように絶縁膜体に SiGe 層が形成されたウェーハを、SGOI (SiGe On Insulator) ウェーハ、Ge 濃度が 100% の Ge 層が形成されたウェーハを GOI (Ge On Insulator) ウェーハと記載する場合がある。

【0006】

【非特許文献 1】第 51 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 28 p-ZZ-6、p. 22

【非特許文献 2】第 51 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 30 a-YL-10 10、p. 414

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、SGOI ウェーハや GOI ウェーハにおいて、歪みを有する SiGe 層に格子緩和が発生せず、格子が十分に歪んでおり、高速の半導体デバイスの作製に適する半導体ウェーハの製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的達成のため、本発明は、半導体ウェーハの製造方法であって、少なくとも、ボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウェーハの表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層 ($0 < x \leq 1$) をエピタキシャル成長させ、該 $Si_{1-x}Ge_x$ 層を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一種類を注入することにより前記ボンドウエーハ内部にイオン注入層を形成し、前記 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して密着させて貼り合わせ、その後前記イオン注入層で剥離する剥離処理を行い、少なくとも前記剥離処理を行なう際の温度以上の温度で前記貼り合わせ面を結合させる結合熱処理を行なった後、前記剥離によりベースウェーハ側に移設した剥離層の Si 層を除去することの特徴とする半導体ウェーハの製造方法を提供する（請求項 1）。 20

【0009】

このように、SGOI ウェーハ等を製造する際に、ボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウェーハの表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層をエピタキシャル成長させ、該 $Si_{1-x}Ge_x$ 層を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一種類を注入することによりボンドウエーハ内にイオン注入層を形成し、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して密着させて貼り合わせ、その後ボンドウエーハ内にあるイオン注入層で剥離する剥離処理を行うという、貼り合わせ法におけるイオン注入剥離法を用いる。このとき $Si_{1-x}Ge_x$ 層には格子歪みが生じているが、イオン注入層をボンドウエーハの内部に形成して剥離の際にはそのウェーハの一部も Si 層として移設することで、同時に移設する $Si_{1-x}Ge_x$ 層は Si 層の結晶格子に拘束されるので格子歪みが緩和しない。この状態で剥離処理の際の温度以上の温度で結合熱処理を行なえば、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の歪みを維持したまま貼り合わせ面を結合できる。そしてこのように貼り合わせ面を結合させてから Si 層を除去するので、その後も $Si_{1-x}Ge_x$ 層には格子緩和が発生せず、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層が十分に歪んだウェーハを製造できる。 30 40

【0010】

なお、歪みの大きさは格子緩和率により評価できる。格子緩和率とは、SiGe 層の格子定数が Si の格子定数と同じである場合を 0%、Ge 濃度により定まる本来の格子定数である場合を 100% として、相対的に格子緩和の程度を表す量である。格子緩和率が低いほど SiGe 層の歪みが大きいことになり好ましい。

【0011】

この場合、前記剥離層の Si 層の厚さを、前記 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の厚さの 5 倍以上とすることが好ましい（請求項 2）。

このように、剥離層のSi層の厚さを $Si_{1-x}Ge_x$ 層の厚さの5倍以上とすれば、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層はSi層の格子に強く拘束され、歪みを十分に維持できる。

【0012】

また、前記結合熱処理を $500^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ の温度で行なうことが好ましい（請求項3）。

このように、結合熱処理を 500°C 以上で行なえば、結合熱処理が効果を奏するものとなるし、 1100°C 以下で行なえば、剥離したSi層へのGeの拡散が抑制され、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層のGe濃度の低下が抑えられるので歪みが減少せず、またSiGe層/Si層界面が崩れずに明確に保たれ、その後のSi層の除去を好適に行なえる。

【0013】

また、前記結合熱処理を $600^{\circ}\text{C}\sim 950^{\circ}\text{C}$ の温度で行なうことが好ましい（請求項4）。

このように、さらに結合熱処理が 600°C 以上であれば、結合熱処理の効果がより確実となり、また、 950°C 以下であれば、Geが高濃度であってもGeの溶解・再結晶化による局在が起こらず、結晶性が高く均一な $Si_{1-x}Ge_x$ 層とできる。

【0014】

また、前記結合熱処理をRTA装置を用いて行なうことが好ましい（請求項5）。

このように、結合熱処理を高速加熱・高速冷却が可能なRTA（Rapid Thermal Anneal）装置で行なえば、Geの拡散を確実に防止でき、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の歪みが減少せず、またSiGe層/Si層界面が崩れずに明確に保たれ、その後のSi層の除去を好適に行なえる。

【0015】

また、前記剥離層のSi層の除去をエッチングにより行なうことが好ましい（請求項6）。

このように、剥離層のSi層の除去をエッチングにより行なえば、均一でかつ表面粗れない除去が容易にできる。

【発明の効果】

【0016】

本発明に従えば、SGOIウェーハ等を製造する際に、ボンドウエーハとなるシリコン単結晶ウェーハの表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層をエピタキシャル成長させ、該 $Si_{1-x}Ge_x$ 層を通して水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一種類を注入することによりイオン注入層をボンドウエーハの内部に形成し、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の表面とベースウェーハの表面とを絶縁膜を介して密着させて貼り合わせ、その後イオン注入層で剥離する剥離処理を行うという、貼り合わせ法におけるイオン注入剥離法を用いる。そして、剥離の際にはそのウェーハの一部もSi層として移設することで、同時に移設する $Si_{1-x}Ge_x$ 層はSi層の結晶格子に拘束されるので格子歪みが緩和しない。従ってこの状態で剥離処理の際の温度以上の温度で結合熱処理を行なえば、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の歪みを維持したまま貼り合わせ面を結合できる。そしてこのように貼り合わせ面を結合させてからSi層を除去するので、その後も格子緩和が抑制され、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層が十分に歪んだウェーハを製造できる。このように製造されたSGOIウェーハ等は、SiGe層の格子緩和率が低く、歪みが十分に大きいから、正孔移動度が高く高速動作特性を有する半導体デバイスの作製に適するウェーハとなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明について詳述する。前述のように、SGOIウェーハ等のSiGe層の歪みの大きさは半導体デバイス的高速動作のために重要であり、この歪みはGe濃度を高めることで大きくできる。

しかし、本発明者らは、Ge濃度を高くしても、SiGe層の格子緩和が起こってしまうと歪みが小さくなってしまいうことに着目した。このように格子緩和が起こってしまうと、大きい歪みを得るためにGe濃度を高くしてもそれに応じた所望の歪みを得られなくな

10

20

30

40

50

る。

【0018】

そこで本発明者らは、この問題を解決し、格子緩和を起こさず歪みを維持したままSGOIウェーハあるいはGOIウェーハを製造する方法について検討した結果、SGOIウェーハ等を製造する際に、イオン注入剥離法を用いた貼り合わせ法により、イオン注入層をボンドウェーハの内部に形成して剥離の際にはそのウェーハの一部もSi層として移設することに想到した。このようにすれば、SiGe層はSi層の結晶格子に拘束され格子歪みが緩和しないので、この状態で剥離処理の際の温度以上の温度で結合熱処理を行なえば、SiGe層の歪みを維持したまま貼り合わせ面を結合できるし、その後このように貼り合わせ面を結合させてからSi層を除去するので、その後も格子緩和が抑制され、SiGe層が十分に歪んだウェーハを製造できることに想到し、本発明を完成させた。

【0019】

以下では、本発明の実施の形態について図を用いて説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

図1は、本発明の実施形態に従った半導体ウェーハの製造工程の一例を示す図である。

まず、図1(a)のように、気相成長法により、ボンドウェーハとなるシリコン単結晶ウェーハ1の表面に $Si_{1-x}Ge_x$ 層2 ($0 < x \leq 1$)をエピタキシャル成長させる。 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の厚さはGe濃度等に応じて適宜調整することができるが、例えば1nm~20nmとできる。この時、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2には格子歪み(圧縮歪み)が発生する。Xについては格子歪みが発生する値であればよいが、十分な歪みを発生させるために、Xは0.2以上とすることが好ましい。

【0020】

気相成長は、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法やMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法などにより行うことができる。CVD法の場合は、例えば、 $x = 1$ ならば原料ガスとして GeH_4 、 $0 < x < 1$ ならば GeH_4 と SiH_4 又は SiH_2Cl_2 等との混合ガスを用いることができる。キャリアガスとしては H_2 が用いられる。成長条件としては、例えば温度400~1,000℃、圧力100 Torr (1.33×10^4 Pa)以下とすればよい。

【0021】

次に、図1(b)に示すように、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2を通して、水素イオンまたは希ガスイオンの少なくとも一種類を所定のドーズ量で注入してシリコン単結晶ウェーハ1の内部にイオン注入層3を形成する。この場合、イオン注入深さは注入エネルギーの大きさに依存するので、所望の注入深さになるように注入エネルギーを設定すればよい。

【0022】

次に、図1(c)に示すように、例えば熱酸化等で表面にシリコン酸化膜5を形成したシリコン単結晶のベースウェーハ4を用意し、図1(d)に示すように、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の表面とベースウェーハ4の表面とを絶縁膜であるシリコン酸化膜5を介して室温にて密着させて貼り合わせる。ベースウェーハ4としては、上記のシリコン単結晶ウェーハの他、石英、炭化珪素、アルミナ、ダイヤモンド等の絶縁性ウェーハを用いることができる。この際、室温での貼り合わせを行う前には、通常、貼り合わせ面を十分に清浄化する必要がある。例えば、 NH_4OH と H_2O_2 の混合水溶液 (SC-1: Standard Cleaning 1) による洗浄を行なう場合は、例えば液温を通常より低めに設定する等、Siに比べて洗浄時のエッチング作用により面荒れを起こしやすい $Si_{1-x}Ge_x$ 層表面の面荒れを最小限に抑えるように洗浄条件を選ぶことが好ましい。

【0023】

次に、図1(e)に示すように、通常500℃の温度で剥離熱処理を加えることによりイオン注入層3を劈開面として剥離する。これにより、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2とシリコン単結晶ウェーハ1の一部6が剥離層としてベースウェーハ側に移設される。本発明では、このようにSi層6も $Si_{1-x}Ge_x$ 層2と共にベースウェーハ側に移設されるので、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2はSi層6のSi結晶格子に拘束されて圧縮歪みが維持され、格

子緩和は起こらない。尚、図1(d)に示す貼り合わせ工程の前処理として、両ウェーハの密着に供される面をプラズマ処理することにより密着強度を高め、密着後の剥離熱処理を行なうことなく室温程度の低温でも機械的に剥離することができる。この場合もSi層6の存在により $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の圧縮歪みは維持される。

【0024】

Si層6の厚さはイオン注入エネルギーにより決まるが、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の厚さの5倍以上とすることが好ましい。このようにすれば、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2はSi層6の格子に強く拘束され、歪みを十分に維持できる。また、厚さの上限についてはXの値に応じて適宜決定できるが、10倍以上がより好ましく、30倍程度が特に好ましい。また50倍程度であればそれ以上としても歪み維持の効果は変わらず、十分である。

10

【0025】

次に、図1(f)に示すように、少なくとも図1(e)に示す剥離処理の際の温度以上の温度で貼り合わせ面を結合させる結合熱処理を行なう。このようにすれば、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2がSi層6の格子に強く拘束されたまま貼り合わせ面の結合強度を高めることができるので、その後Si層6を除去しても $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の歪みを十分に維持できる。

【0026】

この場合、結合熱処理の条件は $Si_{1-x}Ge_x$ 層2のGe濃度や厚さにより室温よりも高い温度で適宜選択すればよいが、剥離熱処理を行なう場合の通常の剥離熱処理温度である500℃以上の温度で行なえば、結合強度が高まり、例えばその後エッチング液でSi層を除去する場合でも、貼り合わせ面がエッチング液に侵食される等という問題は発生しないし、研磨によりSi層を除去する場合でも、研磨不良が発生しにくくなるので好ましい。また600℃以上の温度で行なえば、結合の強度がより確実に高まるのでさらに好ましい。また、1100℃以下の温度で行なえば、Geの拡散速度が低いので、Si層6への $Si_{1-x}Ge_x$ 層2のGeの拡散が抑制され、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2のGe濃度の低下が抑えられるので歪みが減少せず、またSiGe層/Si層界面が崩れず明確に保たれ、その後のSi層6の除去を好適に行なえる。さらに、 $Si_{1-x}Ge_x$ の溶解温度はX=1の場合は約950℃であり、Xが小さくなるに従ってこれより高い温度となるが、あまり結合熱処理温度が高いとGeが溶解し、これが再結晶化することにより局在し、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の結晶性が低下する場合もあるが、950℃以下であればGeが高濃度であってもこのような問題は起こらず、確実に結晶性が高く均一な $Si_{1-x}Ge_x$ 層とできる。

20

30

【0027】

また、この結合熱処理を、通常の抵抗加熱装置で行なってもよいが、急速加熱・急速冷却が可能なRTA装置を用いて行なえば、Geの拡散を確実に防止でき、歪みが減少せず、またSiGe層/Si層界面が崩れず明確に保たれ、その後のSi層の除去を好適に行えるので好ましい。なお、この結合熱処理は、格子緩和が発生しないように行なうものであるから、抵抗加熱装置なら5~20分程度、RTA装置なら10~60秒程度とすればよい。

【0028】

最後に、図1(g)に示すように、ベースウェーハ側に移設されたSi層6を除去する。結合熱処理により $Si_{1-x}Ge_x$ 層2とベースウェーハ4とが強く結合しているので、このようにSi層6を除去した後も、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の格子緩和は発生せず、歪みを十分に維持できる。

40

この除去は、研磨、エッチング、又はこれらの組み合わせにより行なうことができる。研磨により除去する場合は、例えば従来のCMPを用いることができる。また、エッチングの場合は、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層が薄くても、均一でかつ表面粗れの少ない除去ができるので好ましい。またこの場合、エッチング液としては $Si_{1-x}Ge_x$ よりもSiがよりエッチングされるものであれば限定されないが、TMAH(水酸化テトラメチルアンモニウム)をエッチング液として用いることができる。TMAH液によれば、Si層6が除去さ

50

れTMAH液が $Si_{1-x}Ge_x$ 層2に達したときにはTMAH液の選択性によりエッチングが停止する、すなわちエッチストップが起こる。このようなエッチストップ法により Si 層6が確実に除去され、また $Si_{1-x}Ge_x$ 層2の表面が滑らかなものとなるので好ましい。特に、本発明においては結合熱処理において Ge が拡散しないように熱処理を行なえるので、 $SiGe$ 層/ Si 層界面が崩れずに明確に保たれるので、エッチストップがより容易になる。

【0029】

このようにして製造されたSGOIウェーハ又はGOIウェーハは、歪みが十分に大きく、また格子緩和が起こらず格子緩和率が低い $Si_{1-x}Ge_x$ 層を有するので、この $Si_{1-x}Ge_x$ 層に半導体デバイスを作製すれば、キャリア移動度が高く、高速動作する半導体デバイスとなる。 10

なお、格子緩和率の測定は、例えばX線回折法やラマン分光法により行なうことができる。

【実施例】

【0030】

以下、本発明の実施例及び比較例により本発明を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。

（実施例1）

直径200mmのシリコン単結晶ウェーハの表面に、原料ガスを GeH_4 、成長温度を600℃としてCVD法により Ge 濃度100%の Ge 層を10nmだけエピタキシャル成長させ、この Ge 層を通して水素イオン(H^+)を注入エネルギー30keV、ドーズ量 6×10^{16} ions/cm²の条件でイオン注入し、シリコン単結晶ウェーハの内部にイオン注入層を形成した。水素イオン注入後、 Ge 層表面をSC-1洗浄液で洗浄した。この洗浄は、 Ge 層の表面粗れを防止するため、通常より温度を下げて50℃以下で行なった。この表面と、145nmの熱酸化膜付きのシリコン単結晶ベースウェーハとを室温で密着させて貼り合わせ、アルゴン雰囲気下で500℃、30分の剥離熱処理を行い、貼り合わせ界面から310nmの深さに形成したイオン注入層で剥離し、 Ge 層とシリコン単結晶ウェーハの一部(Si 層)をベースウェーハ側に移設させた。すなわち、この場合 Si 層の厚さは300nmであり、 Ge 層の30倍の厚さであった。 20

【0031】

次に、この Ge 層の格子緩和率をラマン分光法で測定したところ、格子緩和率は2%であり、格子緩和はほとんど起こっていなかった。次に、RTA装置により900℃、30秒の結合熱処理を行なった。次に、TMAH液を用いたエッチストップ法によりエッチングを行い、 Si 層を除去した。なお、 $Si_{1-x}Ge_x$ 層の Ge 濃度が50%以上のときのTMAH液の選択比は500倍である。TMAH液の液温は30℃であり、この場合エッチングレートは46nm/minであるので、300nmの厚さの Si 層を除去するためにエッチングを8分間行なった。 30

【0032】

このようにして作製したGOIウェーハは、 Ge 層は Ge 濃度が100%で厚さが10nm、シリコン酸化膜厚が145nmであった。また、この Ge 層の格子緩和率をラマン分光法で測定したところ、格子緩和率は2%であり、結合熱処理前とほとんど変わっておらず、 Ge 層が Ge 濃度で決まる本来の歪みを維持していることが確認された。また表面粗さは、RMSが0.2nm（測定範囲10μm×10μm角）であり表面粗れは少なく、表面にクロスハッチ模様は見られなかった。 40

【0033】

（実施例2）

直径200mmのシリコン単結晶ウェーハの表面に、原料ガスを GeH_4 及び SiH_4 、成長温度を600℃としてCVD法により Ge 濃度50%の $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ 層を15nmだけエピタキシャル成長させ、この $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ 層を通して水素イオンを注入エネルギー30keV、ドーズ量 6×10^{16} ions/cm²の条件でイオン注 50

入し、シリコン単結晶ウェーハの内部にイオン注入層を形成した。水素イオン注入後、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 層表面を 50°C 以下のSC-1洗浄液で洗浄した。この表面と、 145nm の熱酸化膜付きのシリコン単結晶ベースウェーハとを室温で密着させて貼り合わせ、アルゴン雰囲気下で 500°C 、 30 分の剥離熱処理を行い、貼り合わせ界面から 310nm の深さに形成したイオン注入層で剥離し、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 層とシリコン単結晶ウェーハの一部（ Si 層）をベースウェーハ側に移設させた。すなわち、この場合 Si 層の厚さは 295nm であり、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 層の約 19.7 倍の厚さであった。

【0034】

次に、この Ge 層の格子緩和率をラマン分光法で測定したところ、格子緩和率は 1.5% であり、格子緩和はほとんど起こっていなかった。次に、抵抗加熱炉にて 800°C 、 10 分の結合熱処理を行なった。次に、TMAH液を用いたエッチストップ法によりエッチングを行い、 Si 層を除去した。このとき、実施例1と同様にTMAH液の液温を 30°C として、エッチングを 8 分間行なった。

【0035】

このようにして作製したGOIウェーハは、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 層は Ge 濃度が 50% で厚さが 15nm 、シリコン酸化膜厚が 145nm であった。この $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 層の格子緩和率をラマン分光法で測定したところ、格子緩和率は 1.5% であり、結合熱処理前とほとんど変わっておらず、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 層が Ge 濃度で決まる本来の歪みを維持していることが確認された。また表面粗さは、RMSが 0.2nm （測定範囲 $10\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 角）であり表面粗れは少なく、表面にクロスハッチ模様は見られなかった。

【0036】

（比較例1）

実施例1と同様の方法で直径 200mm のシリコン単結晶ウェーハの表面に Ge 濃度 100% の Ge 層を 10nm だけエピタキシャル成長させ、実施例1と同様の条件でイオン注入剥離法を行い、 Ge 層と厚さ 300nm の Si 層とをベースウェーハ側に移設させた。この Ge 層の格子緩和率をラマン分光法で測定したところ、格子緩和率は実施例1と同様に 2% であり、格子緩和はほとんど起こっていなかった。

次に、TMAH液を用いたエッチストップ法によりエッチングを行い Si 層を除去した後、RTA装置にて実施例1と同様の条件で結合熱処理を行なった。

【0037】

このようにして作製したGOIウェーハの Ge 層の格子緩和率をラマン分光法で測定したところ、格子緩和率は約 20% であり、結合熱処理により格子緩和が発生したことが確認された。

【0038】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は単なる例示であり、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。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の実施形態に従った半導体ウェーハの製造工程の一例を示す図である。

【符号の説明】

【0040】

- 1…シリコン単結晶ウェーハ、 2… $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 層、
- 3…イオン注入層、 4…ベースウェーハ、
- 5…シリコン酸化膜、 6… Si 層。

10

20

30

40

【図 1】

