

(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2007-220782

(P2007-220782A)

(43) 公開日 平成19年8月30日(2007.8.30)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/02 (2006.01)	HO 1 L 27/12 B	5 F 1 1 0
HO 1 L 27/12 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 7 D	
HO 1 L 21/336 (2006.01)		
HO 1 L 29/786 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2006-37771 (P2006-37771)	(71) 出願人	000002060 信越化学工業株式会社 東京都千代田区大手町二丁目6番1号
(22) 出願日	平成18年2月15日 (2006.2.15)	(74) 代理人	230104019 弁護士 大野 聖二
		(74) 代理人	100106840 弁理士 森田 耕司
		(74) 代理人	100117444 弁理士 片山 健一
		(72) 発明者	秋山 昌次 群馬県安中市磯部2-13-1 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内
		(72) 発明者	久保田 芳宏 群馬県安中市磯部2-13-1 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内

最終頁に続く

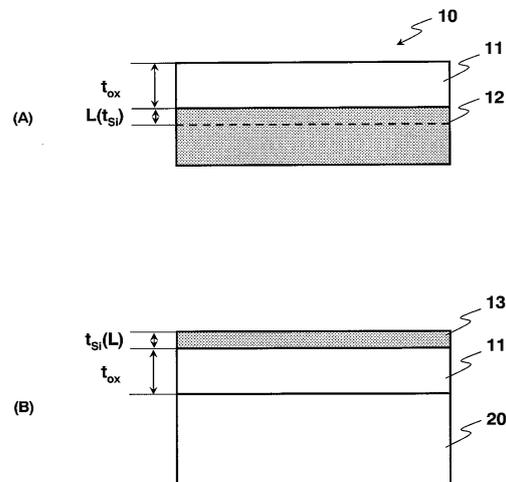
(54) 【発明の名称】 SOI 基板およびSOI 基板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 SOQ 基板の作製時における剥離工程での歩留まりを向上させるとともに、剥離により得られる SOI 層の表面状態を良好なものとする。

【解決手段】 単結晶シリコン基板 10 の貼り合わせ面には、膜厚  $t_{ox}$  が  $0.2 \mu\text{m}$  以上の酸化膜 11 が設けられている。本発明の SOI 基板の製造方法では、シリコン基板 10 と石英基板 20 との間の熱膨張係数差に起因する熱歪の発生を抑制するために低温プロセスを採用する。このため、酸化膜 11 の膜厚  $t_{ox}$  を  $0.2 \mu\text{m}$  以上と厚く設定して剥離される薄膜に十分な機械的強度をもたせ、かつ比較的厚膜の酸化膜に歪を吸収・緩和させることで剥離工程中での転写欠陥の発生を抑制する。石英基板 20 と貼り合わせる単結晶シリコン基板 10 として、酸化膜の膜厚と水素のイオン注入層 12 の平均イオン注入深さ  $L$  が  $2L > t_{ox}$  の関係を満足する基板を用いることとしてもよい。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

透明絶縁性基板である石英基板上に、 $0.2\ \mu\text{m}$ 以上の膜厚のシリコン酸化膜を介して貼り合わされたシリコン薄膜からなるSOI層が設けられていることを特徴とするSOI基板。

## 【請求項 2】

透明絶縁性基板である石英基板上にシリコン酸化膜を介して貼り合わされたシリコン薄膜からなるSOI層が設けられており、前記酸化膜の膜厚は前記SOI層の層厚の2倍以上であることを特徴とするSOI基板。

## 【請求項 3】

前記酸化膜は、前記単結晶シリコン基板の熱酸化膜であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のSOI基板。

## 【請求項 4】

前記石英基板は、該基板の貼り合わせ面側に埋め込みパターンを備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載のSOI基板。

## 【請求項 5】

SOI基板の製造方法であって、

単結晶シリコン基板である第 1 の基板の表面に $0.2\ \mu\text{m}$ 以上の膜厚のシリコン酸化膜を形成する第 1 のステップと、

前記第 1 の基板に前記酸化膜を介して水素イオンを注入してイオン注入層を形成する第 2 のステップと、

石英基板である第 2 の基板及び前記第 1 の基板の少なくとも一方の貼り合わせ面に表面活性化処理を施す第 3 のステップと、

前記第 1 の基板の表面と前記第 2 の基板の表面とを貼り合わせる第 4 のステップと、

前記加熱処理後の貼り合せ基板の前記第 1 の基板からシリコン薄膜を剥離して前記第 2 の基板の表面上にSOI層を形成する第 5 のステップと、  
を備えていることを特徴とするSOI基板の製造方法。

## 【請求項 6】

SOI基板の製造方法であって、

単結晶シリコン基板である第 1 の基板の表面に膜厚 $t_{ox}$ のシリコン酸化膜を形成する第 1 のステップと、

前記第 1 の基板に前記酸化膜を介して水素イオンを注入して平均イオン注入深さ $L$ が前記酸化膜の膜厚の半分以下( $2L < t_{ox}$ )のイオン注入層を形成する第 2 のステップと、

石英基板である第 2 の基板及び前記第 1 の基板の少なくとも一方の貼り合わせ面に表面活性化処理を施す第 3 のステップと、

前記第 1 の基板の表面と前記第 2 の基板の表面とを貼り合わせる第 4 のステップと、

前記加熱処理後の貼り合せ基板の前記第 1 の基板からシリコン薄膜を剥離して前記第 2 の基板の表面上にSOI層を形成する第 5 のステップと、  
を備えていることを特徴とするSOI基板の製造方法。

## 【請求項 7】

前記第 3 のステップの表面活性化処理は、プラズマ処理又はオゾン処理の少なくとも一方で行われることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載のSOI基板の製造方法。

## 【請求項 8】

前記第 4 のステップは、前記貼り合わせ後に、前記第 1 の基板と前記第 2 の基板を貼り合わせた状態で $100 \sim 300$  で熱処理するサブステップを備えていることを特徴とする請求項 5 乃至 7 の何れか 1 項に記載のSOI基板の製造方法。

## 【請求項 9】

前記第 1 のステップの酸化膜形成は、前記単結晶シリコン基板の表面を熱酸化して実行されることを特徴とする請求項 5 乃至 8 の何れか 1 項に記載のSOI基板の製造方法。

## 【請求項 10】

10

20

30

40

50

前記第3のステップは、予め前記石英基板の貼り合わせ面側に埋め込みパターンを形成するサブステップを備えていることを特徴とする請求項5乃至9の何れか1項に記載のSOI基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、透明絶縁性基板である石英基板上に単結晶シリコン薄膜を有するSOI基板およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

石英基板上にシリコン薄膜を有するSOQ基板(Silicon on Quartz)は、光学デバイス、例えばTFT液晶モニタ製造用デバイスなどへの応用が期待されているSOI基板であり、このようなSOQ基板を得るために、SOI層形成用のシリコン基板とハンドリング用基板である石英基板という異種材料基板同士を貼り合わせて石英基板上にシリコン薄膜を形成する方法が提案されている。

【0003】

従来より、2枚の基板を貼り合わせてSOI基板を製造する方法として、貼り合せ面側に水素イオンを注入したシリコン基板とハンドリング用基板とを貼り合わせ、概ね500以上の熱処理を施して注入水素イオンの濃度が最も高い領域からシリコン薄膜を熱剥離させるというSmartCut法(例えば、特許文献1や非特許文献1)が知られており、この方法は、水素イオンの注入で形成された「水素プリスタ」と呼ばれる高密度の「気泡」を加熱により「成長」させ、この「気泡成長」を利用してシリコン薄膜を剥離するというメカニズムを基礎としている。

【特許文献1】特許第3048201号公報

【特許文献2】特開平11-145438号公報

【非特許文献1】A. J. Auberton-Herve et al., "SMART CUT TECHNOLOGY: INDUSTRIAL STATUS of SOI WAFER PRODUCTION and NEW MATERIAL DEVELOPMENTS" (Electrochemical Society Proceedings Volume 99-3 (1999) p.93-106).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、発明者らの検討によれば、上述のSmartCut法やこれに類似の手法でSOQ基板を作製しようとする、シリコン基板と石英基板との貼り合わせに続いて行われるシリコン薄膜の剥離工程において歩留まりが著しく悪化し易いことが明らかとなってきた。この原因について本発明者らは、以下のように解釈している。

【0005】

SmartCut法は、水素イオンの注入で形成された「水素プリスタ」と呼ばれる高密度の「気泡」を加熱により「成長」させ、この「気泡成長」を利用してシリコン薄膜を剥離するというものであるため、剥離工程では概ね500以上という比較的高温の熱処理が必要となる。

【0006】

一方、シリコン基板と石英基板のような熱膨張係数の異なる基板同士を貼り合わせた状態で高温の熱処理を施すと、両基板の熱膨張係数の差異に起因する熱歪が生じ、この熱歪により接合面の剥離やひび割れ等を発生させ易い。このため、比較的低温のプロセスでシリコン薄膜の剥離を完了することが望ましい。

【0007】

ところが、一般に、シリコン基板と石英基板の貼り合わせ面の全面にわたって接合状態を良好なものとして十分な接合強度をもたせるためには、両基板を貼り合わせた状態で比較的高温の熱処理を施す必要がある。

10

20

30

40

50

## 【0008】

つまり、シリコン基板と石英基板を貼り合わせることでSOQ基板を作製する場合には、両基板の熱膨張係数差によって生じる熱歪に起因した接合面の剥離やひび割れ等を回避するために求められる低温プロセス化への要求と、貼り合わせ面の全面で良好な接合状態とするために必要とされる比較的高温での熱処理とは、互いに矛盾する関係となってしまうのである。

## 【0009】

そして、SOQ基板の作製を低温プロセスで行おうとすると、シリコン基板と石英基板の貼り合わせ面の接合強度が不十分な領域が局所的に発生し易くなり、このような領域において、剥離工程中で転写欠陥やスリップ転位などが発生し易くなる。

10

## 【0010】

なお、貼り合わせ基板の熱膨張係数の差異に起因する熱歪、剥離、ひび割れ等を発生させないためのSOIウエーハの製造方法の検討（例えば、特許文献2参照）も進められているが、特許文献2に開示された手法においても単結晶シリコン基板と石英基板のような絶縁基板との「本接合」のためには350～450の熱処理が必要であるとされており、SOQ基板の製造プロセスの観点からは十分な低温化が実現されているとは言えない。

## 【0011】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、単結晶シリコン基板と石英基板の貼り合わせを低温プロセスで実行した場合でも、その後の剥離工程で転写欠陥やスリップ転位を発生させないための手法を提供し、これにより、シリコン薄膜の剥離工程での歩留まりを向上させるとともに、剥離により得られるSOI層の表面状態を良好なものとすることにある。

20

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

本発明は、このような課題を解決するために、請求項1に記載の発明は、SOI基板であって、透明絶縁性基板である石英基板上に、0.2 $\mu$ m以上の膜厚のシリコン酸化膜を介して貼り合わされたシリコン薄膜からなるSOI層が設けられていることを特徴とする。

## 【0013】

請求項2に記載の発明は、SOI基板であって、透明絶縁性基板である石英基板上にシリコン酸化膜を介して貼り合わされたシリコン薄膜からなるSOI層が設けられており、前記酸化膜の膜厚は前記SOI層の層厚の2倍以上であることを特徴とする。

30

## 【0014】

請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載のSOI基板において、前記酸化膜は、前記単結晶シリコン基板の熱酸化膜であることを特徴とする。

## 【0015】

請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3の何れか1項に記載のSOI基板において、前記石英基板は、該基板の貼り合わせ面側に埋め込みパターンを備えていることを特徴とする。

## 【0016】

請求項5に記載の発明は、SOI基板の製造方法であって、単結晶シリコン基板である第1の基板の表面に0.2 $\mu$ m以上の膜厚のシリコン酸化膜を形成する第1のステップと、前記第1の基板に前記酸化膜を介して水素イオンを注入してイオン注入層を形成する第2のステップと、石英基板である第2の基板及び前記第1の基板の少なくとも一方の貼り合わせ面に表面活性化処理を施す第3のステップと、前記第1の基板の表面と前記第2の基板の表面とを貼り合わせる第4のステップと、前記加熱処理後の貼り合せ基板の前記第1の基板からシリコン薄膜を剥離して前記第2の基板の表面上にSOI層を形成する第5のステップと、を備えていることを特徴とする。

40

## 【0017】

請求項6に記載の発明は、SOI基板の製造方法であって、単結晶シリコン基板である

50

第1の基板の表面に膜厚 $t_{ox}$ のシリコン酸化膜を形成する第1のステップと、前記第1の基板に前記酸化膜を介して水素イオンを注入して平均イオン注入深さ $L$ が前記酸化膜の膜厚の半分以下( $2L < t_{ox}$ )のイオン注入層を形成する第2のステップと、石英基板である第2の基板及び前記第1の基板の少なくとも一方の貼り合わせ面に表面活性化処理を施す第3のステップと、前記第1の基板の表面と前記第2の基板の表面とを貼り合わせる第4のステップと、前記加熱処理後の貼り合せ基板の前記第1の基板からシリコン薄膜を剥離して前記第2の基板の表面上にSOI層を形成する第5のステップと、を備えていることを特徴とする。

【0018】

請求項7に記載の発明は、請求項5または6に記載のSOI基板の製造方法において、前記第3のステップの表面活性化処理は、プラズマ処理又はオゾン処理の少なくとも一方で実行されることを特徴とする。

10

【0019】

請求項8に記載の発明は、請求項5乃至7の何れか1項に記載のSOI基板の製造方法において、前記第4のステップは、前記貼り合わせ後に、前記第1の基板と前記第2の基板を貼り合わせた状態で100～300で熱処理するサブステップを備えていることを特徴とする。

【0020】

請求項9に記載の発明は、請求項5乃至8の何れか1項に記載のSOI基板の製造方法において、前記第1のステップの酸化膜形成は、前記単結晶シリコン基板の表面を熱酸化して実行されることを特徴とする。

20

【0021】

請求項10に記載の発明は、請求項5乃至9の何れか1項に記載のSOI基板の製造方法において、前記第3のステップは、予め前記石英基板の貼り合わせ面側に埋め込みパターンを形成するサブステップを備えていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0022】

本発明においては、単結晶シリコン基板上に設けるシリコン酸化膜の厚みの適正化、および当該シリコン酸化膜の膜厚と水素イオン注入層の形成深さとの相対関係の適正化をはかることとしたので、従来法のような比較的高温の熱処理を施すことなく石英基板と貼り合わせた場合であっても、その後の剥離工程での転写欠陥やスリップ転位の発生を抑制することが可能となり、これにより、シリコン薄膜の剥離工程での歩留まりを向上させるとともに、剥離により得られるSOI層の表面状態を良好なものとすることが可能となる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下に、図面を参照して本発明を実施するための最良の形態について説明する。

【0024】

図1は、本発明のSOI基板の製造方法で用いられる単結晶シリコン基板の貼り合わせ面の様子の概要を説明するための断面図(図1(A))、および剥離して得られたSOI層を備えたSOQ基板の断面概略図(図1(B))である。

40

【0025】

図1(A)に図示されているように、単結晶シリコン基板10の一方主面(貼り合わせ面)には膜厚 $t_{ox}$ のシリコンの酸化膜11が設けられており、基板表面近傍には水素のイオン注入層12が平均イオン注入深さ $L$ で形成されている。酸化膜11は、例えば単結晶シリコン基板10の表面を熱酸化して得られた膜であり、イオン注入層12は、 $10^{16} \sim 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ オーダのドーズ量の水素をイオン注入して形成されたものである。なお、イオン注入層12の平均イオン注入深さ $L$ は、一般的には $0.05 \sim 0.3 \mu\text{m}$ とされる。

【0026】

本発明においては、石英基板と貼り合わせた後のシリコン薄膜の剥離工程中での転写欠

50

陥やスリップ転位の発生を抑制するために、酸化膜 11 の膜厚  $t_{ox}$  を  $0.2 \mu\text{m}$  以上に設定する。

#### 【0027】

単結晶シリコン基板と石英基板とを貼り合わせた後の剥離工程では、図 1 (A) 中に符号 12 で示した平均イオン注入深さ  $L$  の位置でシリコン薄膜の剥離が生じ、このシリコン薄膜が石英基板 20 上に酸化膜 11 を介して転写されて SOI 層 13 となる (図 1 (B))。

#### 【0028】

ところが、石英基板 20 の貼り合わせ面は理想的な完全平坦面というわけではなく、図 2 に図示したように、微視的なラフネスを有していたり (図 2 (A))、貼り合わせ面上に微小なパーティクル 21 等が付着していたり (図 2 (B))、あるいは石英基板の貼り合わせ面領域に予め設けられた埋め込みパターン 22 を反映した表面凹凸が生じている (図 2 (C)) といった状態にある。

10

#### 【0029】

このような貼り合わせ面をもつ石英基板 20 と単結晶シリコン基板 10 とを接合させると、石英基板 20 の表面凹凸等を反映して貼り合わせ面内で局所的な「隙間」が生じ、その結果として局所的に歪が集中し易い領域が発生する。従来法であれば、接合強度を高めるための「本接合」工程で比較的高温の熱処理が施され、この熱処理工程中で石英基板 20 面と酸化膜 11 との接合面における Si と O の原子再配列が局所的に生じて歪集中は緩和される傾向にあるが、本発明のように一貫した低温プロセスで SOI 基板を作製する場合にはこのような原子再配列に基づく局所的歪緩和を生じさせる熱エネルギーが外部から付与されることはないから、単結晶シリコン基板 10 と石英基板 20 とを貼り合わせ (図 3 (A))、外部から衝撃を付与するなどしてシリコン薄膜を剥離すると (図 3 (B))、石英基板 20 の表面凹凸等を反映した局所的歪集中によってスリップ転位 14 や転写不良などの欠陥が生じるといった不都合が生じる (図 3 (C))。

20

#### 【0030】

本発明の SOI 基板の製造方法では、シリコン基板と石英基板との間の熱膨張係数差に起因する熱歪 (熱応力) の発生を抑えることを目的として低温プロセスを採用するため、従来法のような両基板の接合強度向上を目的とした比較的高温での熱処理を採用せず、その代わりに、酸化膜 11 の膜厚  $t_{ox}$  を  $0.2 \mu\text{m}$  以上と厚く設定することで単結晶シリコン基板側から剥離される薄膜に十分な機械的強度をもたせ、かつ比較的厚膜の酸化膜に歪を吸収・緩和させることで、剥離工程中での転写欠陥の発生を抑制している。

30

#### 【0031】

本発明において酸化膜 11 の膜厚  $t_{ox}$  を  $0.2 \mu\text{m}$  以上に設定する主な理由は、単結晶シリコン基板側から剥離される薄膜 (すなわち、酸化膜とシリコン薄膜) の総厚を厚くして機械的強度を高めることおよび酸化膜に歪を吸収・緩和させることで剥離工程での「転写欠陥」の発生を抑制するためである。なお、本発明において選択される  $0.2 \mu\text{m}$  以上という酸化膜の厚みは、貼り合わせ界面から発生する転写欠陥やスリップ転位等をシリコン薄膜にまで到達させないために有効なものとして経験的に得られた値である。

#### 【0032】

シリコン薄膜を剥離して石英基板上に転写する際に単結晶シリコン基板側から剥離される薄膜の機械的強度は、厚み  $t_{si}$  ( $=L$ ) のシリコン薄膜と厚み  $t_{ox}$  の酸化膜の合計膜厚に依存するから、シリコン薄膜と酸化膜の合計膜厚 ( $t_{si}+t_{ox}$ ) が厚いほど、ボイドなどの「転写欠陥」の剥離工程での発生を抑制することができる。

40

#### 【0033】

例えば、酸化膜 11 の厚みが  $0.1 \mu\text{m}$  程度と薄い場合には、この酸化膜 11 と石英基板 20 の貼り合わせ面との間にパーティクルが介在等して貼り合わせ面内で局所的な「隙間」が生じた場合に、当該領域で局所的に歪が集中し易いためにこれを基点として転写欠陥やスリップ転位が発生し易いが、酸化膜 11 の厚みを  $0.2 \mu\text{m}$  以上とした場合には、歪が酸化膜 11 中で緩和されてその上に設けられるシリコン薄膜 (SOI 層) への応力負

50

荷が軽減されることとなる。

【0034】

貼り合わせ基板としてシリコン基板同士が選択されたSOI基板の場合には、SOI層となる酸化膜の厚みは一般に $0.1\mu\text{m}$ 程度とされるが、SOQ基板においては、ハンドリング用基板としてSi-O結合からなる石英基板が用いられるから、単結晶シリコン基板の一方主面に設けられるSi-O結合からなる酸化膜が $0.2\mu\text{m}$ 以上と厚くても何ら不都合は生じない。なお、このような酸化膜11は単結晶シリコン基板の表面を熱酸化することで高品質の膜を容易に得ることができる。

【0035】

また、本発明者らの行った実験によれば、単結晶シリコン基板に設ける酸化膜11の膜厚( $t_{ox}$ )がSOI層の層厚(すなわち、 $L$ であり $t_{si}$ でもある)の2倍以上( $2L > t_{ox}$ )となるように選択した場合にも、剥離工程中での欠陥発生が効果的に抑制可能であるとの結果を得た。この場合も、貼り合わせ面内で局所的に生じた歪がSOI層の層厚の2倍以上( $2L > t_{ox}$ )の厚みの酸化膜により緩和され、その上に設けられるシリコン薄膜(SOI層)への応力負荷が軽減されるものと考えられる。

10

【0036】

したがって、石英基板と貼り合わせる単結晶シリコン基板として、酸化膜の膜厚( $t_{ox}$ )と水素のイオン注入層の平均イオン注入深さ $L$ が $2L > t_{ox}$ の関係を満足する基板を用いることとしてもよい。

【0037】

以下に、本発明のSOI基板の製造方法を実施例により説明する。

20

【実施例】

【0038】

図4は、本発明のSOI基板の製造方法のプロセス例を説明するための図で、図4(A)に図示された第1の基板10は単結晶Si基板、第2の基板20は石英基板である。ここで、単結晶Si基板10は、例えば、CZ法(チョクラルスキ法)により育成された一般に市販されているSi基板であり、その導電型や比抵抗率などの電気特性値や結晶方位や結晶径は、本発明の方法で製造されるSOI基板が供されるデバイスの設計値やプロセスあるいは製造されるデバイスの表示面積などに依存して適宜選択される。なお、上述したように、この単結晶Si基板10の表面(貼り合せ面)には、例えば熱酸化などのよっ

30

【0039】

なお、石英基板20の貼り合わせ面側には、図2(C)に図示されているように、予め埋め込みパターンが形成されている場合もある。このような埋め込みパターンは、例えば、その段差が $0.03\mu\text{m}$ 以上のパターンであり、石英基板面上にこのようなパターンを形成した後に、これらのパターンを被覆するように石英材料がCVD法やスパッタリング法で成膜され、その表面を研磨処理が施されて貼り合わせ面とされる。

【0040】

貼り合わされる単結晶シリコン基板10および石英基板20の直径は同一であり、後のデバイス形成プロセスの便宜のため、石英基板20にも単結晶Si基板10に設けられているオリエンテーション・フラット(OF)と同様のOFを設けておき、これらのOF同士を一致させて貼り合わせるようにすると好都合である。

40

【0041】

まず、第1の基板(単結晶Si基)10の表面に酸化膜11を介して水素イオンを注入し、水素のイオン注入層12を形成する(図4(B))。このイオン注入面が後の「接合面(貼り合せ面)」となる。この水素イオン注入により、単結晶Si基板10の表面近傍の所定の深さ(平均イオン注入深さ $L$ )に均一なイオン注入層12が形成され、単結晶Si基板10の表面領域での平均イオン注入深さ $L$ に対応する領域には、当該領域に局在する「微小気泡層」が形成される(図4(C))。

【0042】

50

水素のイオン注入時のドーズ量は、SOQ基板の仕様等に応じて、例えば  $1 \times 10^{16} \sim 4 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$  の範囲で適当な値が選択される。なお、SmartCut法でSOI基板を作製する場合には、水素イオンのドーズ量が  $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$  を越えるとその後得られるSOI層の表面荒れが生じるとされ、 $7 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$  程度のドーズ量に設定するのが一般的である。しかし、本発明者らの検討によれば、従来法において生じるとされていた上記イオン注入条件で生じるSOI層の表面荒れの原因は、水素イオンのドーズ量そのものではなく、シリコン薄膜を剥離してSOI層を得るために採用されている比較的高温（例えば500）の熱処理工程にあることが明らかとなった。

#### 【0043】

上述したように、SmartCut法でSOI基板を作製する際には、シリコン基板の貼り合せ面側に水素イオンを注入して「水素プリスタ」と呼ばれる「気泡」を高密度で発生させ、比較的高温の熱処理により生じる「水素プリスタ」の「気泡成長」を利用してシリコン薄膜を熱剥離している。ここで、「気泡成長」は水素原子の拡散現象に他ならないから、高ドーズ条件で形成されることとなる極めて高密度の「気泡」が「成長」する過程においては水素原子の拡散が顕著に生じていることとなる。そして、このような原子拡散現象がSOI層の表面荒れを生じさせることとなるとの解釈が可能である。

#### 【0044】

したがって、本発明のようにシリコン薄膜を低温剥離する場合には、当該剥離処理工程中での水素原子の拡散は著しく抑制されることとなるため、高いドーズ量の水素イオン注入を施したとしてもSOI層の表面荒れを生じさせることはない。本発明者らは種々のドーズ量で水素イオン注入を施してSOI層の表面荒れへの影響を調査したが、高々300程度の低温熱処理でシリコン薄膜の剥離を実行する限り、少なくとも  $4 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$  までのドーズ量での表面荒れは認められなかった。

#### 【0045】

イオン注入層12の単結晶Si基板10表面（酸化膜11との界面）からの深さ（平均イオン注入深さL）はイオン注入時の加速電圧により制御され、どの程度の厚さのSOI層を剥離させるかに依存して決定されるが、例えば、平均イオン注入深さLを  $0.5 \mu\text{m}$  以下とし、加速電圧50～100KeVなどとする。なお、Si結晶中へのイオン注入プロセスにおいて注入イオンのチャネリング抑制のために通常行われているように、単結晶Si基板10のイオン注入面に予め酸化膜等の絶縁膜を形成させておき、この絶縁膜を通してイオン注入を施すようにしてもよい。

#### 【0046】

このようにしてイオン注入層12を形成した単結晶Si基板10と石英基板20のそれぞれの接合面に、表面清浄化や表面活性化などを目的としたプラズマ処理やオゾン処理を施す（図4（D））。なお、このような表面処理は、接合面となる表面の有機物除去や表面上のOH基を増大させて表面活性化を図るなどの目的で行われるものであり、単結晶Si基板10と石英基板20の双方の接合面に処理を施す必要は必ずしもなく、何れか一方の接合面にのみ施すこととしてもよい。

#### 【0047】

この表面処理をプラズマ処理により実行する場合には、予めRCA洗浄等を施した表面清浄な単結晶Si基板および/または石英基板を真空チャンバ内の試料ステージに載置し、当該真空チャンバ内にプラズマ用ガスを所定の真空度となるように導入する。なお、ここで用いられるプラズマ用ガス種としては、酸素ガス、水素ガス、アルゴンガス、またはこれらの混合ガス、あるいは水素ガスとヘリウムガスの混合ガスなどがある。プラズマ用ガスの導入後、100W程度の電力の高周波プラズマを発生させ、プラズマ処理される単結晶Si基板および/または石英基板の表面に5～10秒程度の処理を施して終了する。

#### 【0048】

表面処理をオゾン処理で実行する場合には、表面清浄な単結晶Si基板および/または石英基板を酸素含有の雰囲気とされたチャンバ内の試料ステージに載置し、当該チャンバ

10

20

30

40

50

内に窒素ガスやアルゴンガスなどのプラズマ用ガスを導入した後に所定の電力の高周波プラズマを発生させ、当該プラズマにより雰囲気中の酸素をオゾンに変換させ、処理される単結晶Si基板および/または石英基板の表面に所定の時間の処理が施される。

#### 【0049】

このような表面処理が施された単結晶Si基板10と石英基板20の表面を接合面として密着させて貼り合わせる(図4(E))。上述したように、単結晶Si基板10と石英基板20の少なくとも一方の表面(接合面)は、プラズマ処理やオゾン処理などにより表面処理が施されて活性化しているために、室温で密着(貼り合せ)した状態でも後工程での機械的剥離や機械研磨に十分耐え得るレベルの接合強度を得ることができる。

#### 【0050】

なお、図4(E)の貼り合わせ工程に続いて、単結晶シリコン基板10と石英基板20とを貼り合わせた状態で100~300で熱処理するサブステップを設けるようにしてもよい(図4(F))。この熱処理工程は、単結晶シリコン基板10に形成された酸化膜11と石英基板20との接合強度を高めるという効果を得ることを主な目的とするものである。

#### 【0051】

この熱処理温度が300以下に設定されている主な理由は、単結晶シリコンと石英との熱膨張係数差と当該熱膨張係数差に起因する歪量、およびこの歪量と単結晶シリコン基板10ならびに石英基板20の厚みを考慮したことによる。単結晶シリコン基板10と石英基板20の厚みが概ね同程度である場合、単結晶シリコンの熱膨張係数( $2.33 \times 10^{-6}$ )と石英の熱膨張係数( $0.6 \times 10^{-6}$ )の間に大きな差異があるために、320~350を超える温度で熱処理を施した場合には、両基板間の剛性差に起因して、熱歪によるクラックや接合面における剥離などが生じたり、極端な場合には単結晶シリコン基板や石英基板が割れてしまうということが生じ得る。このような観点から、熱処理温度の上限を300と選択している。

#### 【0052】

なお、この熱処理には、水素イオンの注入量によっては、シリコン基板10と石英基板20の両基板間の熱膨張係数差に起因する熱応力を生じさせてイオン注入層12内のシリコン原子の化学結合を弱化させるという副次的な効果も期待できる。

#### 【0053】

図4(B)で図示した水素イオンの注入を比較的高ドーズ量 $8 \times 10^{16} \sim 4 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>で実行した場合には、イオン注入層12内にはSi-H結合や不對結合手を有するSi原子が高密度で発生している。基板を貼り合わされた状態で熱処理が施されると、シリコン結晶が石英よりも大きな熱膨張係数をもつことに起因して、貼り合せ基板の全面において両基板間に大きな応力が発生する。

#### 【0054】

イオン注入層12内の平均イオン注入深さLに対応する領域に局在する「微小気泡層」には不對結合手をもつSi原子や高密度のSi-H結合が発生して原子結合状態は局部的に脆弱化された状態にあるから、この状態のイオン注入層12に上述した基板間熱膨張係数差に起因する応力が付加されると、もともと脆弱な状態の化学結合は容易に切断されることとなってイオン注入層12内のシリコン原子の化学結合は著しく弱化することとなる。しかも、300以下という温度はシリコン結晶中での水素原子の拡散が顕著には生じない程度の低温であるから、従来法で問題とされていたSOI層の表面荒れが生じることもない。

#### 【0055】

このような処理に続いて、貼り合わされた基板に何らかの手法により外部衝撃を付与して単結晶シリコンのバルク15からシリコン薄膜13を剥離し(図4(G))、石英基板20上に酸化膜11を介して設けられたSOI層13が得られる(図4(H))。

#### 【0056】

なお、シリコン薄膜の剥離のための外部からの衝撃付与の手法としては種々のものがあ

10

20

30

40

50

り得る。

【0057】

図5は、シリコン薄膜剥離のための種々の手法を例示するための概念図で、図5(A)は熱衝撃により剥離を行う例、図5(B)は機械的衝撃により剥離を行う例、そして図5(C)は振動衝撃により剥離を行う例を図示している。

【0058】

図5(A)において、符号30は加熱部であり、この図では、ホットプレート31の上に平滑面を有する加熱板32を載せ、この加熱板32の平滑面を、石英基板20と貼り合わされた単結晶Si基板10の裏面に密着させるようにしている。加熱板32にはダミーのシリコン基板を用いているが、平滑面が得られやすいもの(半導体基板やセラミック基板)であれば特に材料的な制限はない。シリコンゴムなども加熱板材料として用いることも可能ではあるが、耐熱温度は250程度と考えられるのでそれ以上の温度での使用には適さない。また、ホットプレート31の面が十分に平滑であれば特別に加熱板32を用いることなく、ホットプレート31そのものを「加熱板」としてもよい。

10

【0059】

加熱板32の温度を例えば300の温度に保持し、この加熱板32に石英基板20と貼り合わされた単結晶Si基板10の裏面を密着させると熱伝導により単結晶Si基板10が加熱され、石英基板20との間に温度差が生じる。上述したように、シリコン基板の熱膨張係数は石英基板の熱膨張係数よりも大きいため、貼り合わされた状態の単結晶Si基板10が裏面から加熱されると、単結晶Si基板10側の急激な膨張によって両基板間で大きな応力が発生し、この応力によってシリコン薄膜の剥離が生じることとなる。

20

【0060】

図5(B)に図示した例では、機械的衝撃付与のために流体の噴出を利用しており、ガスや液体などの流体をノズル40の先端部41からジェット状に噴出させて単結晶Si基板10の側面から吹き付けることで衝撃を与えている。この他にも、ブレードの先端部をイオン注入層12の近傍領域に押し当てるなどして衝撃を付与するなどの手法によることもできる。

【0061】

さらに、図5(C)に図示したように、超音波発振器の振動板50から発振される超音波で振動衝撃を付与してシリコン薄膜の剥離を生じさせるようにしてもよい。

30

【0062】

このような一連のプロセスに従って得られたSOI基板の表面状態を評価したところ、局所的なシリコン薄膜の剥がれや剥離痕あるいは未転写領域といった欠陥やスリップ転位の発生も認められず、極めて平坦な状態を呈していた。剥離後のSOI層表面の10 $\mu$ m $\times$ 10 $\mu$ mの領域を原子間力顕微鏡(AFM)で測定したところ、RMSの平均値は5nm以下と良好であった。また、SOI層の基板面内バラつき(PV: Peak-to-Valley)は4nm以下であった。

【0063】

このように、本発明においては、一貫して低温(300以下)での処理が可能であるため、膜厚均一性、結晶性、電氣的諸特性(キャリア移動度など)に優れたSOI層を有するSOQ基板を提供することが可能となることに加え、SOQ基板の製造工程の安定化と簡易化の観点から極めて有利である。

40

【産業上の利用可能性】

【0064】

本発明によれば、単結晶シリコン基板と石英基板とを貼り合わせてSOI基板(SOQ基板)を製造する際に、単結晶シリコン基板と石英基板の貼り合わせを低温プロセスで行った場合でも、その後の剥離工程で転写欠陥やスリップ転位を発生させないための手法が提供され、これにより、シリコン薄膜の剥離工程での歩留まりを向上させるとともに、剥離により得られるSOI層の表面状態を良好なものとするのが可能となる。

【0065】

50

その結果、膜厚均一性、結晶性、電氣的諸特性（キャリア移動度など）に優れたSOI層を有するSOQ基板を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図1】本発明のSOI基板の製造方法で用いられる単結晶シリコン基板の貼り合わせ面の様子の概要を説明するための断面図（A）および剥離して得られたSOI層を備えたSOQ基板の断面概略図（B）である。

【図2】単結晶シリコン基板と貼り合わされる石英基板の表面状態を説明するための概念的な断面図で、微視的なラフネスを有する場合（A）、貼り合わせ面上に微小なパーティクル等が付着している場合（B）、石英基板の貼り合わせ面領域に予め設けられた埋め込みパターンを反映した表面凹凸が生じている場合（C）を示している。

【図3】単結晶シリコン基板からシリコン薄膜を剥離してSOQ基板を作製する工程中に欠陥が発生する様子を概念的に説明するための図である。

【図4】本発明のSOI基板の製造方法のプロセス例を説明する図である。

【図5】シリコン薄膜剥離の種々の手法を例示するための概念図である。

【符号の説明】

【0067】

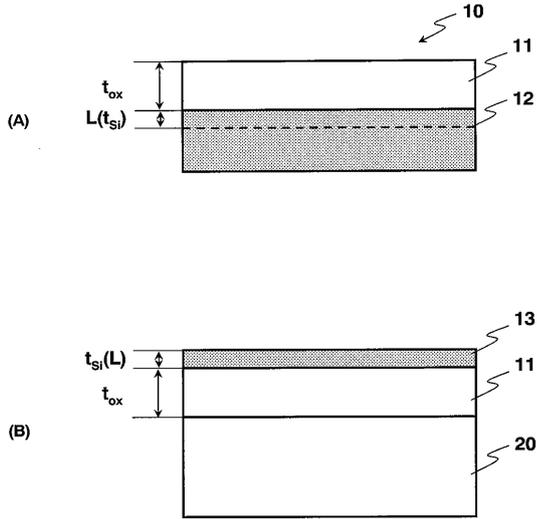
- 10 単結晶Si基板
- 11 シリコン酸化膜
- 12 イオン注入層
- 13 SOI層
- 14 スリップ転位
- 15 バルク部
- 20 石英基板
- 21 パーティクル
- 22 埋め込みパターン
- 30 加熱部
- 31 ホットプレート
- 32 加熱板
- 40 ノズル
- 41 ノズル先端部
- 50 超音波発振器の振動板

10

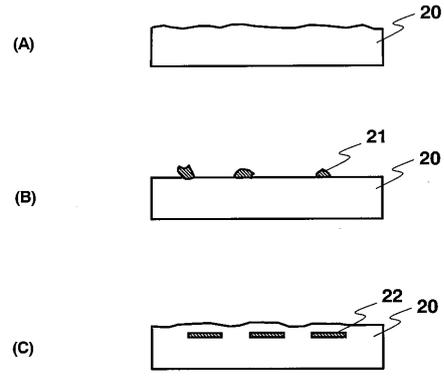
20

30

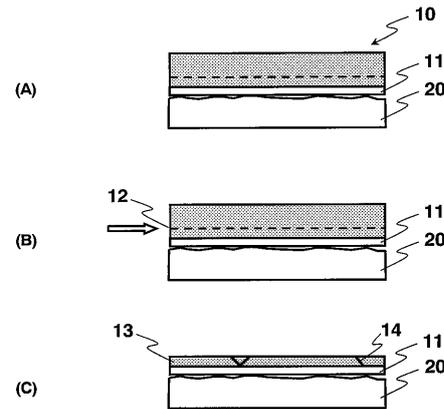
【 図 1 】



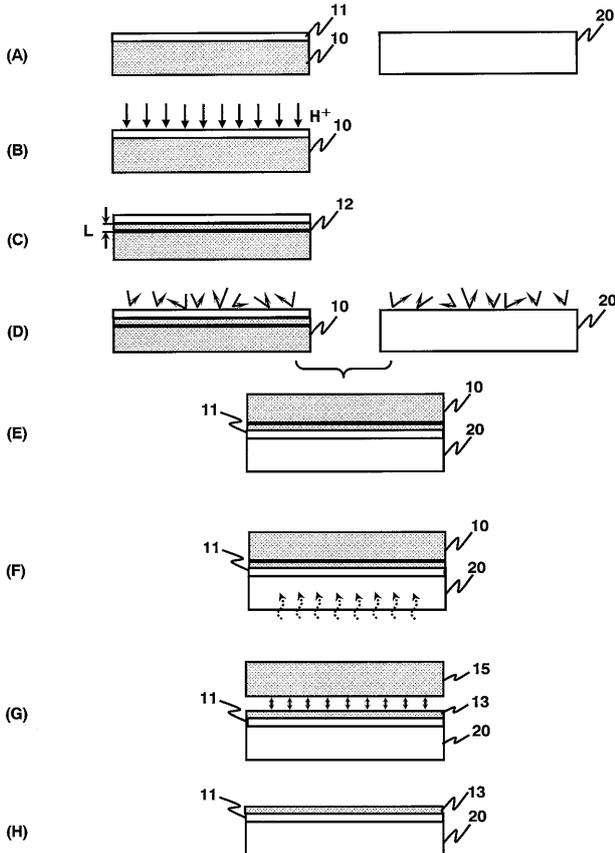
【 図 2 】



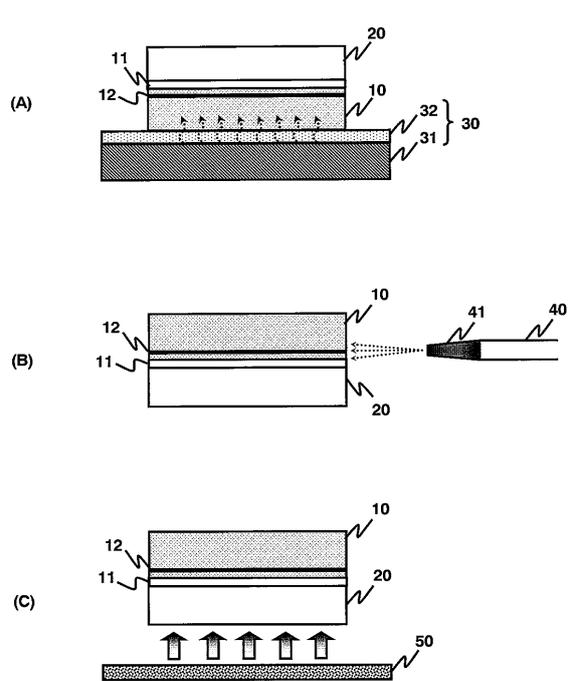
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 伊藤 厚雄  
群馬県安中市磯部 2 - 1 3 - 1 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内
- (72)発明者 田中 好一  
群馬県安中市磯部 2 - 1 3 - 1 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内
- (72)発明者 川合 信  
群馬県安中市磯部 2 - 1 3 - 1 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内
- (72)発明者 飛坂 優二  
群馬県安中市磯部 2 - 1 3 - 1 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内
- Fターム(参考) 5F110 AA30 DD03 DD13 GG02 GG12 QQ17