

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-504573
(P2025-504573A)

(43)公表日 令和7年2月12日(2025.2.12)

(51)国際特許分類

F I

H 1 0 D 88/00 (2025.01)

H 0 1 L 27/12 B

H 0 1 L 21/02 (2006.01)

H 0 1 L 21/02 B

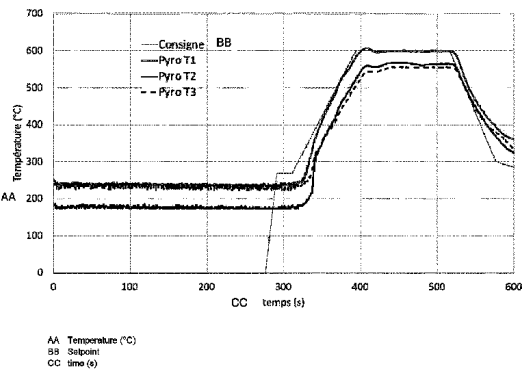
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全16頁)

(21)出願番号	特願2024-545103(P2024-545103)	(71)出願人	507088071
(86)(22)出願日	令和4年12月19日(2022.12.19)		ソイテック
(85)翻訳文提出日	令和6年7月30日(2024.7.30)		フランス 3 8 1 9 0 ベルナン パルク
(86)国際出願番号	PCT/EP2022/086726		テクノロジー デ フォンティーヌ シ
(87)国際公開番号	WO2023/143818		ュマン デ フランク (番地なし)
(87)国際公開日	令和5年8月3日(2023.8.3)	(74)代理人	110001243
(31)優先権主張番号	2200842		弁理士法人谷・阿部特許事務所
(32)優先日	令和4年1月31日(2022.1.31)	(72)発明者	ディディエ ランドリュ
(33)優先権主張国・地域又は機関	フランス(FR)		フランス 3 8 1 9 0 ベルナン パルク
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW), EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES, FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV 最終頁に続く		テクノロジー デ フォンティーヌ シ
		(72)発明者	ナディア ベン モハメッド
			フランス 3 8 1 9 0 ベルナン パルク
			テクノロジー デ フォンティーヌ シ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 薄膜を支持基板上に転写するための方法

(57)【要約】

本発明は、(1) 接合界面に沿ってそれぞれの前面において直接接合することによって組み立てられたドナー基板および支持基板を含む、接合構造体を供給する工程であって、ドナー基板が、埋設脆性面を含む工程と、(2) 接合構造体に破断熱処理を適用して、熱活性化を通じた埋設脆性面のマイクロクラックの成長に付随して、当該平面に沿った自発的分離を誘起する工程であって、分離が、ドナー基板から支持基板への薄膜の転写をもたらす工程とを含む、薄膜を支持基板上に転写するための方法に関する。本方法は、破断熱処理が、(1) 少なくとも250℃未満の初期温度と500℃以上のレベル温度との間で、1℃/秒を超える昇温速度と、(2) 中心領域と周辺領域との間で、接合構造体が40℃~120℃で変動する温度勾配を受けるような温度プロファイルと、を呈することを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

薄膜（10）を支持基板（2）上に転写するための方法であって、前記方法は、

・ 接合界面（3）に沿ってそれぞれの前面（1a、2a）において直接接合することによって組み立てられた、ドナー基板（1）および前記支持基板（2）を含む接合構造体（100）を供給する工程であって、前記ドナー基板（1）が、埋設脆性面（11）を含む工程と、

・ 前記接合構造体（100）に破断熱処理を適用して、熱活性化を通した前記埋設脆性面（11）のマイクロクラックの成長に関連付けられた、前記埋設脆性面（11）に沿った自発的分離を誘起する工程であって、前記分離が、前記ドナー基板（1）から前記支持基板（2）への薄膜（10）の転写をもたらす工程と、
を含み、

前記破断熱処理は、

・ 少なくとも250℃未満の初期温度と500℃以上のレベル温度との間で、1℃／秒を超える昇温速度と、

・ 前記接合構造体（100）が、中心領域と周辺領域との間で、40℃～120℃で変動する温度勾配を受けるような、温度プロファイルと、
を有することを特徴とする、転写方法。

【請求項 2】

前記破断熱処理の前に、前記接合構造体（100）にプレアニーリングを適用して、前記埋設脆性面（11）の前記マイクロクラックのプレ熟成を達成する工程を含み、前記プレアニーリングによって提供される熱収支が、自発的分離を引き起こすには不十分であることを特徴とする、請求項1に記載の転写方法。

【請求項 3】

前記温度勾配が40℃～80℃であることを特徴とする、請求項1または2に記載の転写方法。

【請求項 4】

分離の後に1000℃を超える温度で、中性または還元性雰囲気中でアニールすることによって、前記薄膜（10）の前面（10a）を平滑化する工程を含み、前記破断熱処理および平滑化工程を、同一の密閉容器および機器内で行われることを特徴とする、請求項1～3のいずれか一項に記載の転写方法。

【請求項 5】

前記埋設脆性面（11）は、水素、ヘリウム、またはこれら2つの種の組み合わせなどの軽化学種を注入することによって前記ドナー基板（1）内に形成されることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一項に記載の転写方法。

【請求項 6】

前記ドナー基板（1）および／または前記支持基板（2）は、少なくともそれぞれの前面（1a、2a）の側に絶縁層を有し、これは、前記接合構造体（100）における前記接合界面（3）に隣接した埋設絶縁層を形成することを特徴とする、請求項1～5のいずれか一項に記載の転写方法。

【請求項 7】

積層SOI構造体（110）を形成するために、前記ドナー基板（1）からの前記薄膜（10）が単結晶シリコンで作製されており、前記支持基板（2）が単結晶シリコンを含み、積層SOI構造体（110）を形成することを特徴とする、請求項1～6のいずれか一項に記載の転写方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロエレクトロニクスおよび半導体の分野に関する。特に、本発明は、Smart Cut（商標）技術に基づいて、薄膜を支持基板上に転写するための方法で

10

20

30

40

50

あって、分離後に、薄膜が改善された粗さを呈する方法に関する。特に、本転写方法は、SOI構造体を製造するために使用することができる。

【背景技術】

【0002】

Smart Cut (商標) 技術は、SOI (シリコン・オン・絶縁体) 構造体を製造すること、より一般的には、薄膜転写で周知である。この技術は、ドナー基板に軽化学種を注入することによる、当該基板に埋設脆性面の形成に基づいており、埋設脆性面は、ドナー基板の前面とともに、転写される薄膜を画定する。次いで、ドナー基板および支持基板を、それぞれの前面で接合して、接合構造体を形成する。組み立ては、有利には、直接接合によって、分子接着によって、すなわち、接着材料を介さずに行われ、したがって、接合界面が、2つの組み立てられた基板間に確立される。熱活性化による埋設脆性面内のマイクロクラックの成長は、当該面に沿った自発的分離をもたらすことができ、支持基板上への薄膜の転写 (積層構造体 (たとえばSOI型) の形成) をもたらす。残存するドナー基板は、後続の膜転写のために再使用することができる。分離後、通常の場合、積層構造体に仕上げ処理を適用して、転写された薄膜の結晶品質および表面粗さを回復させる。これらの処理は、酸化または (中性または還元性雰囲気下での) 平滑化熱処理、化学洗浄および/またはエッチング工程、および/または化学機械研磨工程を伴うことが既知である。薄膜の表面全体をチェックするために、種々の検査ツールを利用できる。

10

【0003】

埋設脆性面における分離が自発的である場合、高周波数 (微小粗さ) および低周波数 (リップリング、高度の粗さの局所領域、斑紋など) の両方に関して、転写された薄膜の表面粗さのかなりのばらつきが観察される。これらのばらつきは、最終構造体内の薄膜をチェックするときに、具体的には前述の検査ツールによって、視覚化かつ測定可能である。

20

【0004】

仕上げ後の薄膜の表面粗さは、KLA-Tencorが提供しているSurfscan (商標) 検査ツールを使用してマッピングすることができることを想起されたい (図1)。粗さおよび潜在的なパターン (斑紋、緻密区域など) のレベルは、薄膜の表面によって散乱された光の強度に対応する拡散バックグラウンドノイズ (「ヘイズ」) を測定することによって、測定または顕在化される。ヘイズ信号は、 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}^{-1}$ の空間周波数範囲において、RMS表面粗さの二乗に対して直線的に変化する。このような広域の粗さ検査および評価技法の詳細については、F. Holsteynsによる論文「Seeing through the haze」(Yield Management Solutions, Spring 2004, pp50-54) を参照されたい。

30

【0005】

図1のマッピングは、仕上げまで同一に処理された2つの接合構造体から転写された2つの薄層の表面粗さを示す。マッピング (A) は、「緻密区域」 (dense zone、ZD) として知られている残留粗さの周辺区域を示し、マッピング (B) は、当該区域を全く有しない。より顕著な斑紋 (mottling、M) もまた、マッピング (A) において視認できる。平均および最大粗さ (ppmヘイズで表される) もまた、2つのマッピング (A) と (B) とで異なる。図1は、薄膜の最終品質および粗さのばらつきを示し、これは、主に、分離後の表面粗さ (高周波数および低周波数) のばらつきに起因する。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

したがって、転写された薄膜の最終品質を改善するために、熱活性化による自発的分離の場合、転写後のこれらの層の表面粗さの低減 (空間周波数に無関係に) が、依然として重要である。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、積層構造体の仕上げ段階後に優れた表面品質を達成するために、分離後の薄

50

膜の改善された表面粗さを可能にする、独特の破断熱処理を使用する転写方法を提案する。本方法は、S O I 構造体の製造に特に有利である。

【0008】

本発明は、薄膜を支持基板上に転写するための方法に関し、本方法は、

- ・ 接合界面に沿ってそれぞれの前面において直接接合することによって組み立てられた、ドナー基板および支持基板を含む接合構造体を供給する工程であって、ドナー基板が埋設脆性面を含む工程と、
 - ・ 接合構造体に破断熱処理を適用して、埋設脆性面のマイクロクラックの熱活性化による成長に付随して、当該平面に沿った自発的分離を誘起する工程であって、分離が、ドナー基板から支持基板への薄膜の転写をもたらす工程と、
- を含む。

10

【0009】

本方法は、破断熱処理が、

- ・ 少なくとも、250℃よりも低い初期温度と500℃以上のレベル温度との間で、1℃/秒を超える昇温速度と、
 - ・ 接合構造体が、中心領域と周辺領域との間で、40℃～120℃で変動する温度勾配を受けるような、温度プロファイルと、
- を呈することを特徴とする。

【0010】

本発明の有利な特徴によれば、単独または任意の実現可能な組み合わせで、以下が達成される。

20

- ・ 本転写方法は、破断熱処理の前に接合構造体に適用されるプレアニーリングを含んで、埋設脆性面のマイクロクラックのプレ熱成を達成する。プレアニーリングによって提供される熱収支は、自発的分離を引き起こすには不十分である。
- ・ 温度勾配は、40℃～80℃である。
- ・ 本転写方法は、分離の後に、中性または還元性雰囲気中、1000℃を超える温度でアニーリングすることによって、薄膜の前面を平滑化する工程を含み、破断熱処理および平滑化工程は、同一の密閉容器(enclosure)および機器内で行われる。
- ・ 埋設脆性面は、水素、ヘリウム、または両方の組み合わせなどの軽化学種を注入することによって、ドナー基板内に形成される。
- ・ ドナー基板および／または支持基板は、少なくともそれぞれの前面に絶縁層を有し、これは、接合構造体における接合界面に隣接した埋め込まれた絶縁層を形成する。
- ・ 積層S O I 構造体を形成するために、ドナー基板由来の薄膜は、単結晶シリコンであり、支持基板は、単結晶シリコンを含む。

30

【0011】

本発明の他の特徴および利点は、添付の図面を参照した本発明の以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0012】

いくつかの図は、概略図であり、読みやすさのために縮尺通りではない。特に、z 軸に沿った層の厚さは、x 軸および y 軸に沿った横方向寸法に対して正確な縮尺ではない。

40

【0013】

図面または説明における同一の参照符号は、同一種類の要素に対して使用され得る。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】従来の方法を使用する、仕上げまで同一に処理された2つの接合構造体からの2つの転写された薄層の、2つの代表的な表面粗さマップを示す図であり、両方のマップは、Surfscan (商標) 検査ツールを介して得られた。

【図2】従来の方法による、仕上げまで同一に処理された(図1示した接合構造体とは異なる種類の)複数の接合構造体について、薄層の表面粗さを、破断時間の関数として示すグラフを示す図である。

50

【図 3】本発明による転写方法の中間段階で用いられる、接合構造体を示す図である。

【図 4】本発明による転写方法によって得られた、積層構造体、およびドナー基板の残りを示す図である。

【図 5】本発明による転写方法において実施される破断熱処理中の温度プロファイルの例を示す図である。

【図 6】従来の転写方法で得られた第 1 の S O I 構造体（左方）と、本発明による転写方法で得られた第 2 の S O I 構造体（右方）との 2 つの転写された薄膜の 2 つの代表的な表面粗さマップを示す図であり、両方のマップは、S u r f s c a n（商標）検査ツールを介して得られた。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明は、積層構造体を形成するために、薄膜を支持基板上に転写するための方法に関する。冒頭で述べたように、そのような積層構造体は、薄いシリコン表面層、中間絶縁層、およびシリコン支持基板を含む S O I 型であり得る。任意選択的に、支持基板は、たとえば、無線周波数用途向けに設計された S O I 構造体のための電荷トラップ層などの他の機能層を含み得る。しかしながら、ここで説明される転写方法は、S O I の製造に限定されるものではなく、マイクロエレクトロニクス、マイクロシステムおよび半導体の分野における多くの他の積層構造体に適用することができる。

【0016】

本発明による転写方法は、S m a r t C u t（商標）技術に基づく。埋設脆性面における分離が自発的である場合、破断時間（すなわち、熱破断アニーリング中に、分離が生じるまでの時間）は、同一炉内で同一のアニーリングを受ける、同一処理された複数の接合アセンブリ間で異なり得る。破断時間（T F）は、埋設脆性面の形成、破断アニーリング、接合構造体の性質などに関連する多数のパラメータに依存する。本出願人は、同じ破断アニーリングを受ける同様に調製された接合構造体の場合、図 2 に示すように、より長い破断時間（T F 1）で生じる分離よりも、短い破断時間（T F c）で生じる分離が、最終的な積層構造体（すなわち、転写および仕上げ後）における高周波表面粗さ（微小粗さ）がより低い薄膜をもたらすことに注目した。さらに、長い破断時間は、破断後の薄膜の縁部において非常に高い粗さの局所区域（緻密区域 Z D と呼ばれる）を誘起するが、これは、破断時間が短い場合には当てはまらないか、またはまれである。図 1 のマップ（A）に見られるように、このような緻密区域は、仕上げ後であっても、薄膜の品質および粗さを劣化させる。

【0017】

したがって、本発明による転写方法は、転写された薄膜の表面粗さを実質的に改善するために、埋設脆性面における自発的分離を、早期（短い破断時間）かつ繰り返し可能な（複数の同様の接合構造体間の破断時間のばらつきが少ない）様式で開始することを目的とする。

【0018】

この目的のために、本転写方法は、まず、接合界面 3（図 3）に沿って、それぞれの前面（1 a、2 a）において直接接合することによって組み立てられたドナー基板 1 および支持基板 2 を含む、接合構造体 1 0 0 を提供する工程を含む。

【0019】

ドナー基板 1 は、好ましくは、直径が、1 0 0 m m、1 5 0 m m、2 0 0 m m、3 0 0 m m または、さらに 4 5 0 m m であり、厚さが、典型的には、3 0 0 μ m ~ 1 m m である、ウェハの形態である。ドナー基板 1 は、前面 1 a および後面 1 b を含む。前面 1 a の表面粗さは、1 . 0 n m R M S 未満、好ましくは、さらには 0 . 5 n m R M S 未満（原子間力顕微鏡（A F M）によって、たとえば、2 0 μ m × 2 0 μ m スキャンで測定される）となるように選択される。ドナー基板 1 は、シリコン、あるいは、薄膜転写が関心対象となり得る任意の他の半導体または絶縁材料（たとえば、S i C、G a N など）から作製することができる。

10

20

30

40

50

【0020】

また、ドナー基板1は、少なくともその前面1a上に、絶縁層などの1つまたは複数の追加層12を含み得ることにも留意されたい。図3に示すように、この追加層12は、ドナー基板1および支持基板2を組み立てた後に、接合構造体100内の埋設中間層となる。

【0021】

ドナー基板1は、転写される薄膜10を画定する埋設脆性面11を含む。Smart Cut（商標）技術に関して周知のように、水素、ヘリウム、または両方の組み合わせなどの軽化学種を注入することによって、そのような埋設脆性面11を形成することができる。軽化学種は、標的薄膜10の厚さと一致する、ドナー基板1中の決められた深さに注入される。これらの軽化学種は、決められた深さの周りに、ドナー基板1の前面1aに略平行な、または図中の(x、y)面に平行な薄膜中に分散されたマイクロキャビティを形成する。簡潔性の目的で、この薄膜を埋設脆性面11と呼称する。

【0022】

軽化学種の注入エネルギーは、決められた深さに達するように選択される。たとえば、水素イオンは、10keV~210keVのエネルギーで、かつ $5 \times 10^{16} / \text{cm}^2 \sim 1 \times 10^{17} / \text{cm}^2$ の線量で注入され、100~1500nm程度の厚さを有する薄膜10を画定する。イオン注入工程の前に、ドナー基板1の前面1a上に追加層を堆積されてもよいことを想起されたい。この追加層は、たとえば、酸化シリコンまたは窒化シリコンなどの材料から構成されてもよい。それは、次の組み立て工程のために保持してもよく（接合構造体100の中間層の全てまたは一部を形成してもよく）、除去されてもよい。

【0023】

また、支持基板2は、好ましくは、直径が100mm、150mm、200mm、300mm、または、さらには450mmであり、典型的に300 μm ~1mmの厚さを有するウェハの形態である。支持基板2は、前面2aおよび後面2bを含む。前面2aの表面粗さは、1.0nm RMS未満、好ましくは、さらには0.5nm RMS未満（AFMによって、たとえば、20 μm ×20 μm スキャンで測定される）となるように選択される。支持基板2は、シリコン、あるいは、薄膜転写が関心対象となり得る任意の他の半導体または絶縁材料から作製することができる。本発明の状況では、ドナー基板1および当該支持基板2の組み立てに起因して、支持基板2を構成する材料は、接合構造体100に対する400℃以上の温度の印加に適合しなければならない。

【0024】

また、支持基板2は、少なくともその前面2a上に、たとえば、絶縁層および／または電荷トラップ層である、1つまたは複数の追加層を含み得ることにも留意されたい。この（またはこれらの）追加層は、ドナー基板1および支持基板2を組み立てた後に、接合構造体100に埋設される。

【0025】

ドナー基板1と支持基板2との間の組み立ては、分子接着による直接接合に基づいている。それ自体周知であるように、当該接合は、接着材料を必要とせずに接合界面3を形成する。なぜなら、接合表面間に原子スケールの接合が確立されるからである。特に、それぞれの温度、圧力、雰囲気条件、または表面に接触する前の処理によって異なる、数種類の分子接着結合が存在する。組み立てられる表面の事前のプラズマ活性化を伴うまたは伴わない室温での結合、原子拡散接合（atomic diffusion bonding、ADB）、表面活性化接合（surface-activated bonding、SAB）などを言及することができる。

【0026】

組み立て工程は、組み立てられる前面1a、2aを接触させる前に、従来の化学的洗浄シーケンス（たとえば、RCA洗浄）、表面活性化（たとえば、酸素または窒素プラズマ）、または接合界面3の品質（少ない欠陥、強い接着エネルギー）を向上させることができる他の表面処理（スクラビングによる洗浄など）を含んでもよい。

【0027】

接合構造体 100 が形成されたならば、本発明による転写方法は、破断熱処理を適用して、埋設脆性面 11 に沿った自発的分離を誘起することを含む。分離は、ドナー基板 1 から支持基板 2 への薄膜 10 の転写をもたらす、積層構造体 110 を形成する（図 4）。ドナー基板の残余 1' もまた得られる。

【0028】

本発明による熱破断処理は、非常に急速な昇温速度と、接合構造体 100 の中心をその周辺に対して過熱するように構成された温度プロファイルと、を特徴とする点で特別である。

【0029】

本質的に、破断熱処理の昇温速度は、少なくとも 250℃ よりも低い初期温度と 500℃ 以上のレベル温度との間で、1℃/秒 よりも大きい。

【0030】

急速な昇温速度を達成するために、RTA（「急速熱アニーリング」）または RTP（「急速熱処理」）炉として知られている炉などの、半導体およびマイクロエレクトロニクス分野で広く使用されている急速アニーリング機器を使用することが有利である。この種類の機器における加熱は、処理される構造体に対して異なる区域の温度を調整するように、出力が調整可能である赤外線ランプによって提供される。

【0031】

RTA 機器または RTP 機器において、通常、接合構造体 100 が炉室に導入されるときの初期温度は室温である。また、昇温速度は急速であることができ、典型的には、約 200℃～250℃ まで 1℃/秒 のオーダーである。しかしながら、埋設脆性面 11 のマイクロキャビティおよびマイクロクラックの熟成は、一般的に、250℃ 未満の温度では遅いので、250℃ までの昇温速度は重要ではない。

【0032】

少なくとも 250℃ から、本発明による方法は、500℃ 以上であるレベル温度まで、急速な上昇速度（>1℃/秒）を提供する。レベル温度は、特にドナー基板 1 がシリコン製の場合、典型的には、500℃～600℃ である。250℃ 超では、埋設脆性面 11 のマイクロクラック成長の速度論は重要である。

【0033】

さらに、破断熱処理は、中心領域 C と周辺領域 P との間で、接合構造体 100 が 40℃～120℃ で変動する温度勾配を受けるように定義される。中心領域 C は、接合界面 3（図 3）に平行な（x、y）面において、接合構造体 100 の中心を包含する領域を意味する。中心領域 C の半径（（x、y）面において）は、典型的には、接合構造体 100 の半径の 1%～50% である。周辺領域 P は、中心領域 C を包囲し、かつ接合構造体 100 の縁部を包含する領域である。

【0034】

250℃ までの急速な昇温速度は、250℃ とレベル温度との間で、次の破断熱処理シーケンスにおける熱勾配を確立および維持するのを助けるのに有利であり得ることに留意されたい。

【0035】

好ましくは、中心領域 C と周辺領域 P との間の熱勾配は、40℃ と 80℃ との間である。

【0036】

破断熱処理中に接合構造体 100 によって観察される温度プロファイルの例を、図 5 に示す。設定点曲線が示すように、初期温度は室温であり、レベル温度は 600℃ である。接合構造体 100 上の異なる点に位置する 3 つの監視パイロメータ T1、T2、T3 は、当該構造体を受ける温度上昇および温度勾配を観察することを可能にする。パイロメータ T1 は、中心に配置され、パイロメータ T2、T3 は、周縁部（接合アセンブリ 100 の縁部から 20mm）に配置される。使用されるパイロメータは、250℃～300℃ からのみ、信頼できる測定値を与えることに留意されたい。加熱を接合構造体 100 と対向す

10

20

30

40

50

る炉の別個の区域において調整して、中心領域C（パイロメータT1の温度曲線を参照されたい）と周辺領域P（パイロメータT2、T3の温度曲線を参照されたい）と間に約50℃の温度勾配を確立する。

【0037】

接合構造体100に適用される温度勾配は、破断熱処理中に中心領域Cに局部過熱を誘起し、これは、周辺領域Pと比較して、この領域における埋設脆性面11のマイクロクラックのより大きな熟成をもたらす。中心領域Cのマイクロクラックのより大きな熟成は、レベル温度に接近する急速な昇温中に、破断イニシエータとして作用する。

【0038】

このことは、接合構造体100の中心から縁部への分離波の伝搬の利点をもたらし、これは、転写された薄膜10の表面上の斑紋Mまたは他の破断波（粗さおよび低周波数リップル）の振幅を大幅に制限する。別の利点は、分離が早期に生じ、従来の破断アニーリングを受ける同様の接合構造体の従来の破断時間よりも短い破断時間であることである。早期の破断は、低い微小粗さ（高い空間周波数）、ならびに、たとえあったとしても、高い粗さの局所領域（緻密区域ZDとしても知られている）がわずかであることを確実にする。

10

【0039】

本発明による転写方法を実施することによって達成された粗さの改善を、図6に示す。第1のマップは、従来の転写方法（仕上げ工程を含む）を用いて得られた第1のSOI構造体へと転写された薄膜の表面粗さを示しており、表面上の斑紋および破断波の存在が認められる。第2のマップは、本発明による転写方法（仕上げ工程を含む）を用いて得られた第2のSOI構造体110を示す。SOI構造体110には、斑紋Mまたは他の緻密区域ZDがない。

20

【0040】

また、本発明による転写方法はまた、これらの処理の非常に短い持続時間の寄与により、高い速度の破断熱処理が達成されることを可能にする。

【0041】

転写方法の有利な実施形態では、埋設脆性面11のマイクロキャビティおよびマイクロクラックのプレ熟成を達成するために、破断熱処理の前に接合構造体100にプレアニーリングを適用する。しかしながら、プレアニーリングによって提供される熱収支は、自発的分離を引き起こすには不十分なままである。典型的には、プレ熟成のための熱収支は、自発的分離をもたらす破断のための熱収支の25%~75%を目標とする。シリコンドナー基板の場合、プレアニーリング温度は、好ましくは、約350℃に設定される。

30

【0042】

プレアニーリングは、従来の水平炉または垂直炉、あるいは、RTA炉またはRTP炉で行うことができる。プレ熟成は、プレートの領域（中心または周辺）に関係なく、埋設脆性面11内で、可能な限り均一に行われることが重要である。

【0043】

埋設脆性面11のマイクロクラックのプレ熟成は、（破断熱処理中に適用される）熱勾配によって開始される分離時に存在するマイクロクラックの成熟度のギャップを低減することによって、分離後の薄膜10の表面粗さをさらに改善することができる。破断イニシエータとして作用するためには、中心領域Cと周辺領域Pとの間に著しい温度勾配を確立することが不可欠であり、そのような勾配は、急速な昇温中のマイクロクラックの成熟に著しい差を誘起することができる。破断波が伝搬する際に埋設脆性面11の周辺領域のマイクロクラックが十分に成熟していない場合、斑紋型の欠陥が生成されるため、好ましくない。したがって、破断熱処理の昇温において適用される非常に高い熱勾配（たとえば、50℃超、またはさらに80℃超）に関して、成熟プレアニーリングを行うことが有利であり、これは、斑紋を生成することなく、埋設脆性面11全体を、破断伝搬に適合する成熟度のレベルにする。

40

【0044】

50

また、本発明による転写方法は、分離の後に、薄膜 10 の前面 10 a を平滑化する工程を含んでもよい。

【0045】

この工程は、埋設脆性面 11 の破断による表面粗さを解消し、転写された薄膜の結晶品質を回復させる。分離後に得られた積層構造体 110 は、通常、破断熱処理が行われた炉から取り出され、従来の仕上げ工程において、熱的、化学的および／または機械化学的に処理される。

【0046】

有利には、ここでの転写方法の平滑化工程は、破断熱処理の直後に、当該破断処理を受けた炉の密閉容器から積層構造体 110 を取り出すことなく、かつ、周囲温度までさらに下降させることなく、中性または還元性雰囲気中で 1000℃より高い温度でアニーリングを適用することを含む。積層構造体 110、およびドナー基板の残りの部分 1' は、分離しているものの互いに近接したままであり、したがって、破断された表面と対向する完全に制御された「局所」雰囲気を提供する。本質的にこのような局所雰囲気は、注入ガスによって形成され、完全に非酸化性であり、したがって、薄膜 10 の表面は、酸化が全くなく、極めて効果的に（すなわち、自然酸化物で均一かつ軽度に覆われる表面よりも低い温度で）、平滑化することができる。

【0047】

したがって、平滑化段階は、好ましくは、分離段階と同一炉および密閉容器内で行われ、温度は、1000℃～1200℃の範囲に上昇する。炉室内の雰囲気は、中性または還元性（好ましくは、Ar、H₂、Ar/H₂）である。

【0048】

この段階において（破断段階とは異なり）、この段階では中心と縁部との間の温度勾配が有害であるので、積層構造体 110 が経験する温度が、表面全体にわたって均一かつ均質であることを保証する。

【0049】

温度降下がなく、かつ外部雰囲気へ戻ることもない、同じ炉密閉容器内での破断熱処理および平滑化工程のイン・サイチュー・シーケンスは特に有利である。なぜなら、転写された薄膜 10 の表面の極めて低い汚染、自然酸化物の完全な欠如、その結果、極めて高い平滑化効率を確実にするからである。また、これは、早期の破断開始による分離後の粗さの低減からの利益を得る。

【0050】

RTA 炉および RTP 炉は、急速なランピング（破断熱処理）および昇温（平滑化段階）を必要とする、この種類のシーケンスに完全に適している。この工程のシーケンスは、生産性の観点から利点である。

【0051】

（例示的な実施形態）

特に、本転写方法は、FD SOI（完全空乏型 SOI）構造体の製造、すなわち、薄い表面膜および薄い埋設絶縁層を有する構造体の製造に使用することができる。

【0052】

ドナー基板 1 は、直径 300 mm の単結晶シリコンウェハであり、前面 1 a 上に 35 nm 厚の酸化シリコンの絶縁層 12 を含む。ヘリウムイオンおよび水素イオンを、それぞれ 35 keV および 25 keV のエネルギーで、それぞれ $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ および $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の線量で共注入することによって、埋設脆性面 11 を形成する。

【0053】

支持基板 2 は、直径 300 mm の単結晶シリコンウェハである。

【0054】

次いで、分子接着結合を目的として、2つの基板 1、2 の従来の表面処理（洗浄、プラズマ活性化）を行う。

【0055】

ドナー基板の前面 1 a と支持基板 2 の前面 2 a との直接的接触に基づく組み立てにより、接合構造体 100 を製作する。

【0056】

接合構造体 100 を熱破断処理用の RTP 炉に導入し、以下のシーケンス：

1. 密閉容器内での真空の作成；
2. 窒素 N_2 の充填：20 秒；
3. 周囲温度から 270 °C まで昇温：15 秒；
4. 270 °C での安定化：20 秒；
5. 270 °C から 600 °C まで昇温：4 °C / 秒；
6. 600 °C レベルでのアニーリング：120 秒；
7. 温度降下（600 °C から 300 °C まで）：60 秒；および
8. 温度降下（300 °C から室温まで）：450 秒

で処理する。

【0057】

接合構造体 100 の中心と周辺領域 P との間に約 50 °C の温度勾配を適用するように、RTP 炉の加熱区域を調整する。中心領域 C における局部過熱は、破断イニシエータとして作用し、破断熱処理の間、典型的には、昇温（上記シーケンスにおける工程 5）の終点において早期の分離を起こす。

【0058】

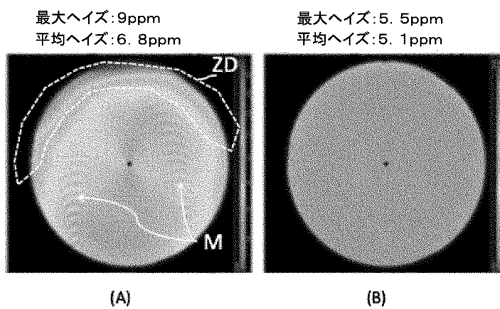
転写された薄膜 10 の表面品質 10 a は、従来の方法によって処理された接合構造体から得られた SOI 構造と比較して改善されている。なぜなら、斑紋 M または緻密区域 ZD を有さないか、またはほとんど有さないからである。また、平滑化後の薄膜 10 の面の微小粗さ（「ヘイズ」）のレベルも、従来の方法によって得られる粗さのレベルよりも低い。

【0059】

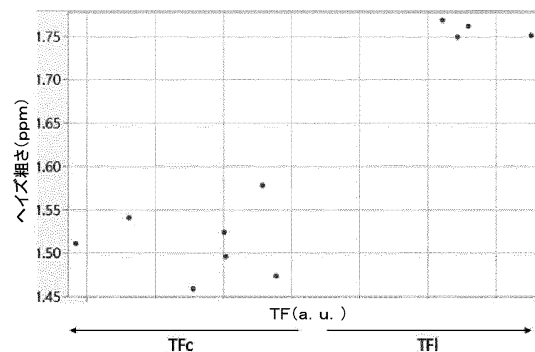
当然ながら、本発明は、説明された実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって定義される本発明の範囲から逸脱することなく、変形実施形態をそれに追加することができる。

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

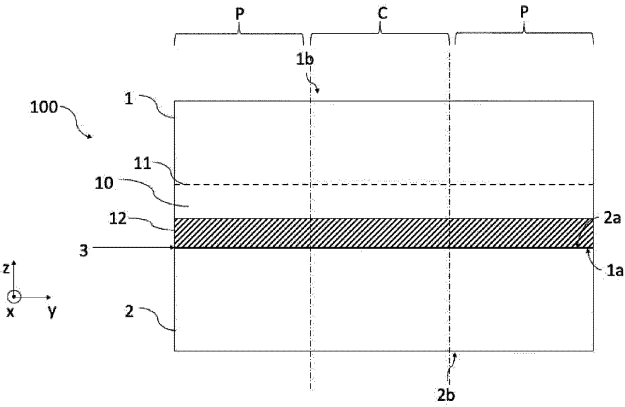
20

30

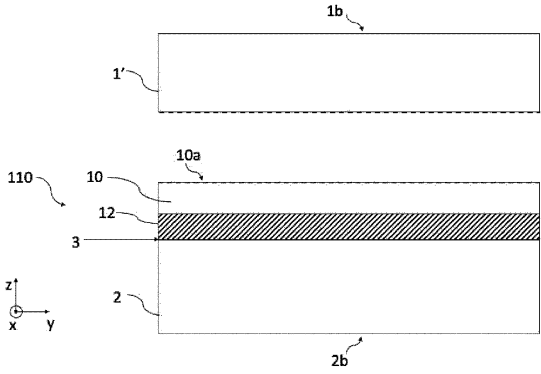
40

50

【図 3】

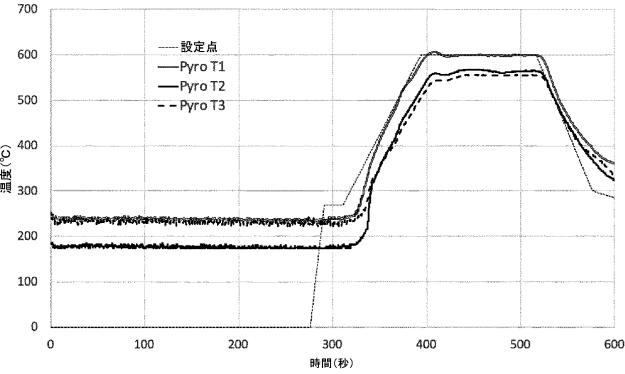


【図 4】

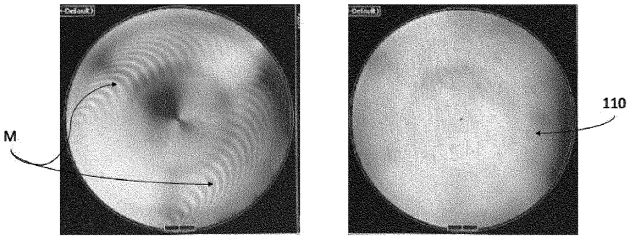


10

【図 5】



【図 6】



20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/086726

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H01L 21/18</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/762</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6540827 B1 (LEVY MIGUEL [US] ET AL) 01 April 2003 (2003-04-01) column 10, lines 9-44; figure 11	1-7
A	US 2005101104 A1 (SCHWARZENBACH WALTER [FR] ET AL) 12 May 2005 (2005-05-12) claims; figures 3,5	1-7
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 01 March 2023		Date of mailing of the international search report 15 March 2023
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Ott, André Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/086726

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	6540827	B1	01 April 2003	AU	8058301	A	30 January 2002
				US	6540827	B1	01 April 2003
				WO	0206568	A2	24 January 2002
US	2005101104	A1	12 May 2005	AT	412973	T	15 November 2008
				CN	1479353	A	03 March 2004
				EP	1359615	A1	05 November 2003
				FR	2839385	A1	07 November 2003
				JP	4688408	B2	25 May 2011
				JP	2003347526	A	05 December 2003
				KR	20030086436	A	10 November 2003
				SG	127693	A1	29 December 2006
				TW	I270931	B	11 January 2007
				US	2003216008	A1	20 November 2003
				US	2005101104	A1	12 May 2005

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2022/086726

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01L21/18 H01L21/762
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 540 827 B1 (LEVY MIGUEL [US] ET AL) 1 avril 2003 (2003-04-01) colonne 10, lignes 9-44; figure 11 -----	1-7
A	US 2005/101104 A1 (SCHWARZENBACH WALTER [FR] ET AL) 12 mai 2005 (2005-05-12) revendications; figures 3,5 -----	1-7

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
 "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
 "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
 "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
 "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
 "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
 "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
 "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

1 mars 2023

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

15/03/2023

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ott, André

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale n°

PCT/EP2022/086726

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6540827	B1	01-04-2003	AU	8058301 A	30-01-2002
			US	6540827 B1	01-04-2003
			WO	0206568 A2	24-01-2002

US 2005101104	A1	12-05-2005	AT	412973 T	15-11-2008
			CN	1479353 A	03-03-2004
			EP	1359615 A1	05-11-2003
			FR	2839385 A1	07-11-2003
			JP	4688408 B2	25-05-2011
			JP	2003347526 A	05-12-2003
			KR	20030086436 A	10-11-2003
			SG	127693 A1	29-12-2006
			TW	1270931 B	11-01-2007
			US	2003216008 A1	20-11-2003
			US	2005101104 A1	12-05-2005

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,
ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,C
O,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,I
R,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX
,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,
SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

ユマン デ フランク (番地なし) ソイテック内

(72)発明者 オレグ コノンチュク

フランス 3 8 1 9 0 ベルナン パルク テクノロジーク デ フォンティーヌ シュマン デ フラン
ク (番地なし) ソイテック内

(72)発明者 フレデリック マゼン

フランス 3 8 0 5 4 グルノーブル セデックス 9 リュ デ マルティル 17 シーイーエー グ
ルノーブル内

(72)発明者 ヘレン グランペクス

フランス 3 8 0 5 4 グルノーブル セデックス 9 リュ デ マルティル 17 シーイーエー グ
ルノーブル内