

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5244315号
(P5244315)

(45) 発行日 平成25年7月24日 (2013. 7. 24)

(24) 登録日 平成25年4月12日 (2013. 4. 12)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/02 (2006. 01)

H O 1 L 27/12

B

H O 1 L 27/12 (2006. 01)

H O 1 L 21/265

F

H O 1 L 21/265 (2006. 01)

H O 1 L 21/265

Q

請求項の数 31 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2006-537358 (P2006-537358)
 (86) (22) 出願日 平成16年10月28日 (2004. 10. 28)
 (65) 公表番号 特表2007-510298 (P2007-510298A)
 (43) 公表日 平成19年4月19日 (2007. 4. 19)
 (86) 国際出願番号 PCT/FR2004/002779
 (87) 国際公開番号 W02005/043615
 (87) 国際公開日 平成17年5月12日 (2005. 5. 12)
 審査請求日 平成19年5月15日 (2007. 5. 15)
 審判番号 不服2012-2305 (P2012-2305/J1)
 審判請求日 平成24年2月6日 (2012. 2. 6)
 (31) 優先権主張番号 0312621
 (32) 優先日 平成15年10月28日 (2003. 10. 28)
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(73) 特許権者 500361216
 ソワテク
 フランス国 38190 ベルナン、シェ
 マーン・デ・フランク、パルク・テクノロ
 ジーク・デ・フォンタン (番地なし)
 (73) 特許権者 311015001
 コミサリヤ・ア・レネルジ・アトミック・エ
 ・オ・エネルジ・アルテルナティブ
 フランス国、エフー75015・パリ、リ
 ユ・ルブラン・25、パティマン “ル・ポ
 ナン・デ”
 (74) 代理人 100062007
 弁理士 川口 義雄
 (74) 代理人 100140523
 弁理士 渡邊 千尋

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 注入又は共注入後のパルスによる薄膜層の自立転写方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- ソース基板が用意され、
 - 第1の量のイオン又はガスである少なくとも第1の種を前記ソース基板の面に対し
 て所与の深さで前記ソース基板に注入することにより、前記ソース基板の前記所与の深さ
 に欠陥を生成し、
 - スティフナーを前記ソース基板と密着し、
 - 薄膜の熱分裂を開始させずに、実質的に前記所与の深さで埋没脆弱ゾーンが形成さ
 れるように、熱処理を前記ソース基板に所与の温度で所与の時間施し、前記熱処理は、前
 記欠陥によって、前記ソース基板中の前記埋没脆弱ゾーン全体の20%から35%が開か
 れるように実施されるものであり、
 - 前記埋没脆弱ゾーンを境界として、前記薄膜の前記ソース基板の残部からの自立剥
 離を引き起こすように、エネルギーパルスを前記ソース基板の前記埋没脆弱ゾーンの一部分
 に与える、薄膜の自立転写方法。

【請求項 2】

前記エネルギーパルスが局所的熱供給の形で適用されることを特徴とする、請求項1に
 記載の方法。

【請求項 3】

前記エネルギーパルスが、ツールによって適用される短い小振幅である単一の動きの形
 で適用されることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

前記エネルギーパルスが前記埋没脆弱ゾーンの周辺域における衝撃の形で適用されることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記エネルギーパルスが最高 300 の温度で適用されることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記エネルギーパルスが室温で適用されることを特徴とする、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記欠陥によって、前記ソース基板中の前記埋没脆弱ゾーン全体の 25% から 32% が開かれるように、前記熱処理が実施されることを特徴とする、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 8】

さらに前記欠陥の密度が 0.03 から 0.035 / 平方ミクロンとなるように、前記熱処理が実施されることを特徴とする、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

さらに前記欠陥の大きさが 7 から 8 平方ミクロンとなるように、前記熱処理が実施されることを特徴とする、請求項 7 又は請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

少なくとも前記熱処理の瞬間に前記ソース基板に密着して配置されている前記スティフナーがターゲット基板であり、前記熱処理がこれら基板間の結合エネルギーの改善に寄与することを特徴とする、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 11】

前記ターゲット基板がアモルファス材料の基板であることを特徴とする、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記ソース基板がシリコンの基板であり、前記ターゲット基板が熔融シリカの基板であることを特徴とする、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記ターゲット基板が単結晶又は多結晶材料の基板であることを特徴とする、請求項 10 に記載の方法。

30

【請求項 14】

前記ターゲット基板がシリコンの基板であることを特徴とする、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記第 1 の種が水素であることを特徴とする、請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 16】

前記第 1 の種が H^+ タイプの水素であることを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記第 1 の種が数 $10^{16} H / cm^2$ の量で注入されることを特徴とする、請求項 16 に記載の方法。

40

【請求項 18】

第 2 の種が第 2 の量でさらに注入され、前記第 2 の種が前記第 1 の種によって生成された前記欠陥を占有するように適用されることを特徴とする、請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 19】

前記第 2 の種が、前記第 1 の種よりも深いプロファイルで最初に注入されることを特徴とする、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

50

前記第 2 の種がヘリウムであることを特徴とする、請求項 18 又は請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記第 2 の種が、前記第 1 の種よりも少ない、数 10^{16} He/cm^2 の量で注入されることを特徴とする、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記ソース基板が、半導体、絶縁体、単結晶、多結晶、およびアモルファス材料からなる群から選択される材料を含むことを特徴とする、請求項 1 から 21 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 23】

前記ソース基板が、IV 族半導体から選択される材料を含むことを特徴とする、請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記ソース基板がシリコンでできていることを特徴とする、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記ソース基板がゲルマニウムでできていることを特徴とする、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 26】

前記熱処理が 200 から 400 の範囲内で選択される温度で実施されることを特徴とする、請求項 1 から 25 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 27】

前記熱処理が 300 から 350 の範囲内で選択される温度で実施されることを特徴とする、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 28】

前記熱処理が 2 時間から 5 時間実施されることを特徴とする、請求項 26 又は請求項 27 に記載の方法。

【請求項 29】

前記ソース基板が III - V 族半導体材料を含むことを特徴とする、請求項 22 に記載の方法。

【請求項 30】

前記ソース基板が GaAs でできていることを特徴とする、請求項 29 に記載の方法。

【請求項 31】

前記ソース基板が、 LiNbO_3 及び LiTaO_3 からなる群から選択される絶縁体を含むことを特徴とする、請求項 22 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エネルギーパルスによって惹起される欠陥の自立伝播を用いて超微細膜（薄膜又は超薄膜という用語も使用される）を転写させる方法に関する。本発明は、特に超小型電子技術、マイクロメカニクス、光学及び集積電子工学の分野に使用される。

【背景技術】

【0002】

薄膜の剥離は、例えばシリカのソース基板中に化学種を注入して、特定の深さで欠陥ゾーンを形成することによって実施できることが知られている。

これらの欠陥は、材料の結晶品質を局所的に乱す微泡及び／又は小板及び／又は微小空洞及び／又は転位ループ及び／又は他の結晶欠陥とすることができる。それらの性質、密度及びサイズは、注入された種（一般に水素）及びソース基板の性質に大きく依存する。次いで、熱処理を施して、脆弱ゾーン中に存在する特異的欠陥を発達させることができる。それによって、ソース基板からの薄膜の剥離をその後に実施することができる。これは、特に、米国特許第 5 374 564 号及び米国特許第 6 020 252 号などのその

10

20

30

40

50

発展 (development) に記載されている。

【 0 0 0 3 】

しかし、熱アニーリング中の自発的剥離は、ある状況、例えば接触した基板が異なる熱膨張係数を有するときには不適当なことがある。さらに、ある条件下で熱手段によって得られる破碎の場合には、後者は局所又はウェーハにおいて優先的に開始され、「大理石模様の」外観で示される表面不均質性をもたらす場合のあることが当分野で知られている（例えば米国特許第 2 0 0 3 / 0 1 3 4 4 8 9 号参照）。これらの不規則性は、純粋に熱による破碎の場合にも、その破碎を促進するように、又は続いてウェーハにかけられるサーマルバジェット (thermal budget) (温度 - 期間) を最小限に抑えるように、水素などの種の過量を注入することによって過度に脆弱化させよう (overfragilize) としたときに出現する。

10

【 0 0 0 4 】

剥離が高温（一般に約 5 0 0 近く）で生じるときには、時折遭遇する技術的問題のなかでも、熱剥離中に転写される膜の表面粗さ及び分解について言及されるべきである。これによって後続の処理段階が困難になる（例えば、転写膜はさらに磨かれなければならない、後続の処理中などに結晶欠陥が生成するリスクがある）。また、（異なる材料の基板の重ね合わせを含む）ヘテロ構造において遭遇する別の技術的問題は、接触配置されているさまざまな材料の熱膨張度係数の差のために、熱処理中、接触しているさまざまな膜中のきわめて高い応力場の存在である。これは、臨界温度よりも高い温度で熱剥離が起こる場合に、ヘテロ構造の分解をもたらすことがある。この分解は、一般に、接触した基板の一方若しくは両方の破損及び／又は結合界面における基板の破損であり得る。

20

【 0 0 0 5 】

そのため、より低温で剥離を実施することが望ましい場合がある。

【 0 0 0 6 】

低温で剥離を実施する 1 つの方法は、注入条件で「実施 (play) 」することである。例えば、注入種の量が過剰であると注入ゾーンの脆弱性が増加することがあり、外力を加えることによって低温で剥離が起きることがある。

【 0 0 0 7 】

剥離は、一般に熱処理後に、脆弱な領域において破碎を生じる外力を薄層が剥離するまで加えることによって実施することもできる。特に米国特許第 6 2 2 5 1 9 2 号 (C E A) を参照されたい。

30

【 0 0 0 8 】

所与の基板及び所与の注入条件の場合、その後の薄層剥離条件を左右するのは処理温度だけでなく、サーマルバジェット概念中に反映される処理時間でもあるということに注目することは重要である（仏国特許第 2 7 6 7 4 1 6 号 - C E A 参照）。機械的エネルギーの供給に関しては、それは例えば「ギロチン」タイプツールによって加えられる（国際公開第 0 2 / 0 8 3 3 8 7 号 - S O I T E C 参照）ものがある。

【 0 0 0 9 】

したがって、Henttinen 等 (2 0 0 0) [1] によれば、ソース基板がシリコンウェーハである場合には、 $1 \times 10^{17} \text{ H}^+ / \text{cm}^2$ （すなわち $5 \times 10^{16} \text{ H}_2 / \text{cm}^2$ ）で注入された水素イオン量によって、以下の段階、すなわち、ターゲット基板に関して、プラズマ化学活性化による処理、RCA 1 タイプの洗浄、周囲温度でのターゲット基板へのソース基板の結合及び 2 0 0 で 2 時間のアニーリングを実施した後の機械力による剥離が可能になる。利用される機械力は、結合界面に挿入されたブレードによって発生し、剥離を引き起こす。

40

【 0 0 1 0 】

この手法は、転写された表面の粗さが減少するが（純粋に熱的でプラズマ活性化しない従来の剥離法の半分）、破碎波の遅い断続的な伝播を含む。したがって、Henttinen は、ブレードの各前進によって 2 分後にある距離にわたって安定化される破碎の伝播がもたらされると報告している。

50

【 0 0 1 1 】

したがって、この機械的剥離タイプは、構造体の縁からブレードを導入することと、脆弱ゾーンに沿って「それを切除する」かのように結合構造体の実質的にすべてにわたってこのブレードを前進させることからなる。(ブレードなどの)ツールの役割は、構造体の一方の縁から他方の縁に破碎波を伝播することなので「支援型剥離」という用語が時折使用される。

【 0 0 1 2 】

この破碎タイプは、薄膜の剥離によって解放される新たな表面において以下の欠陥をもたらす。

【 0 0 1 3 】

- 例えば界面の残部よりも低過ぎる局所的結合エネルギー及び転写開始ツールの導入に係る冠部欠陥 (crown defect) (非転写ゾーン、最終生成物の周辺)、

- 特に、一般に回避しようとする研磨などの処理を次に必要とする機械的、したがって不規則な、断続的に支援された破碎波による、転写薄膜の厚さの均一性不足 (低周波粗さ (low frequency roughness))、

- 破碎の伝播を伴うツールを使用するということは、各構造体 (又はウェーハ) の個々の処理を意味することから工業化の実現が困難。

【 0 0 1 4 】

さらに、サーマルバジェットが少な過ぎる場合には薄膜の転写が低品質となり、それが多過ぎる場合には、ヘテロ構造の場合に基板の1つが破碎し得るということが見出された。したがって、(当然ながら条件、特に注入量、材料の性質、アニーリング温度などに関連した) 操作パラメータの範囲が理論的には狭いことが明らかである。今回は、この狭さが産業開発の大きな制約になっている。

【 0 0 1 5 】

これらの欠点のほとんどは、(単一成分材料 (例えば、S O I) を含む) 均一な基板における薄膜の剥離の場合に見られる。

【 0 0 1 6 】

薄膜の剥離が注入化学種の選択によっても決まることは言うまでもない。

【 0 0 1 7 】

上述したように一般には水素が注入されるが、他の選択肢、特にヘリウムの注入が提案されている。

【 0 0 1 8 】

2種類の異なる化学種を組み合わせることもできる。

【 0 0 1 9 】

したがって、Agarwal等(1998)[2]は、水素とヘリウムの両方を注入することによって、明らかに水素とヘリウムが演じる異なる役割のために、イオンの全注入量を削減できることを見出した。水素は、注入によって切断されたSi-Si結合と相互作用してSi-H結合を形成して、3から10nmの大きさの高密度の小板型欠陥(小板型H欠陥と称する)を生成するのに対して、ヘリウムは化学的に作用せず、より低密度のより大きな欠陥(約300nmを超える大きさ)を出現させる。熱処理は、物品が45020分間又は75020秒間であることを想定し、高温における剥離に関する上記欠点を必然的に含意する。

【 0 0 2 0 】

この水素-ヘリウムの組み合わせは、Cerofolini等(2000)[3]によってもより理論的に研究された。彼らは、欠陥の加圧が水素注入よりもヘリウム注入で大きく、熱処理が、選択された温度に従った異なる効果を有し得ることに注目した。150

から250のアニーリングはSi-H結合数を減少させ、300から450のアニーリングは逆にその数を増加させる。その代わりに、550を超えるアニーリングは、その数を再度減少させる。しかし、この論文は、(特に表面状態に関して)品質の良い

10

20

30

40

50

薄膜を適度なコストで得る方法に関してそこから実際の結論を推論していない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

本発明の一目的は、上記欠点を軽減することである。

【0022】

より詳細には、本発明は、（膨張係数差が大きい材料を用いたときに高い機械的応力を制限するために）低温で実施することができ、一括して実施することができ、特に破碎波の急激な動きを防止することによって薄層の剥離中の上記欠陥が抑制される、薄膜転写方法に関する。換言すれば、本発明の一目的は、適度なコストで高品位の薄膜を得て、それ

10

【課題を解決するための手段】

【0023】

そのため、本発明は、

- ソース基板が調製され、
- 第1の量の少なくとも第1のイオン又はガス種が前記ソース基板の面に対して所与の深さで前記ソース基板に注入され、前記第1の種が欠陥を生成するようになされており、
- スティフナーが前記ソース基板と密着して適用され、
- 薄膜の熱剥離を起こさずに実質的に所与の深さで埋没脆弱域が形成されるように、加熱処理が前記ソース基板に所与の温度で所与の時間施され、
- 前記ソース基板の残部に対して、前記面と埋没脆弱層の境界を画する薄膜の自立剥離を引き起こすように、エネルギーパルスが前記ソース基板に適用される、薄膜の自立転写方法を提供する。

20

【0024】

自立剥離は、本明細書では、完全で実質的に瞬間的な剥離であると定義することができ、高温での単純な熱処理によって得られ、場合によってはツールによって、あるいは何らかの破碎波に引き起こされる剥離と類似している（ツールが存在する場合には、それは剥離界面に続かずに基板及び膜とせいぜい接触するだけである）。したがって、これは

30

【0025】

2つの種、例えば水素及びヘリウムは、仏国特許第2847075号又は国際公開第04/044976号に記載のとおり好ましくは共注入することができる。複数の種の注入は同時でも同時でなくてもよい。

【0026】

熱処理温度は、自発的熱剥離を引き起こさずに、脆弱領域における結晶欠陥の発達を促進するように選択されることが有利である。この温度は、ソース基板及び/又は任意のターゲット基板が膨張係数のきわめて異なる材料を含むことを想定して、基板中の高過ぎる機械的応力を生成しないように十分に低いものである。そのため、本方法は比較的低温で行われる転写方法である（例えば、シリコン/石英ヘテロ構造の場合には500以下）。

40

【0027】

本発明によれば、破碎は、自立破碎波の伝播によって得られ、壊れ易い領域において適用されたエネルギーパルスによって自立破碎波の伝播が惹起された後に得られる（このパルスは局所的又は全体的である）。この現象を得るために、注入条件（量、エネルギー、種の性質、電流、注入順序（2種類以上ある場合）及び基板の深さにおける注入種の相対位置（複数の種を注入する場合）、注入温度など）及び適切な処理（例えば熱処理）によって、壊れ易い領域を形成する結晶欠陥の分布、形態、サイズ（空洞、小板、微小泡、巨大泡及び他の欠陥タイプ）の整形が可能になると考えられる。自立破碎の結果が得られる

50

ようになると考えられるのは、まさに、壊れ易い領域を整形する作業である。

【 0 0 2 8 】

本発明は、熱的破碎現象が得られる諸条件にまで行かないが、本質的に近い脆弱化条件を促進することにある。次いで、追加のエネルギーは、熱処理の最後又は熱処理中にエネルギーを衝撃的に追加することによって供給され、自立破碎の伝播を誘発する。

【 0 0 2 9 】

破碎波の自立伝播は、ツールを進めること又は開始エネルギーパルスを繰り返すことによって波の伝播を支援することが不要であることを意味する。また、本発明の重要な特徴は、破碎波が、最高 3 0 0 m m の直径に対して、波の表面全体にわたって 1 秒未満、さらには 1 ミリ秒の桁で (1 0 0 m / s を超える速度) 伝播することである。

10

【 0 0 3 0 】

1 つの可能な自立 (又は自立) 破碎の起源は、埋没欠陥の性質から生じる。(ゲルマニウムについての、ただしシリコンに適用可能な) 研究によれば、自立破碎条件下では、欠陥 (微小割れ、空洞、小板、微小泡、巨大泡など) の密度は 0 . 0 3 から 0 . 0 3 5 / 平方ミクロンと推定され、それらの大きさは 7 から 8 平方ミクロンであり、これらの欠陥によって開拓される領域は、ウェーハの全領域の割合として 2 5 から 3 2 % と推定される。脆弱領域に特徴的なこれらの値は、破碎が熱的手段によって得られる場合に示される特性値と類似しているかも知れないが、支援型機械的破碎を必要とする脆弱化処理後に得られる特性値とは異なる (この場合、開拓される領域の割合は 1 0 % を超える程度) 。

【 0 0 3 1 】

20

開拓された領域に関する少なくとも上記条件が好ましくは適用され (それは最も重要であると考えられる ; それは 2 0 % から 3 5 % の範囲に一般化することができると考えられる) 、欠陥の密度又は大きさに関する条件の一方又は両方によって必要に応じて補完される。

【 0 0 3 2 】

他の効果又は原因がこの解釈によって排除されないことは言うまでもなく、特に基板中の結合の化学的性質によって自立破碎波の現象の発生を促進することもできる。

【 0 0 3 3 】

換言すれば、本発明は、熱的破碎の場合に得られる諸条件にそこまで行かなくても本質的に近い脆弱化条件を促進することにあると考えられる。次いで、追加のエネルギーは、エネルギーを衝撃的に追加することによって供給される。

30

【 0 0 3 4 】

その結果がそれ自体きわめて望ましいと見られたとしても、かかる条件に到達することが自立破碎を得ることになるということは、当業者に自明ではないことは強調されなければならない。

【 0 0 3 5 】

機械的破碎の結果を改善しようとする当業者は、例えば、スティフナー基板に結合された注入構造へのサーマルバジェット (t h e r m a l b u d g e t i n p u t) を増加させることによって、基板をより脆弱にしようとするかもしれない。そして、当業者は、サーマルバジェットを増加させることによって、結合波を伝播するのに必要な力が実際は減少することを検証することができるであろう。しかし、当業者は、特に好都合な条件下でのみ発生する自己伝播破碎波現象を観察することができないであろう (下記参照) 。特に、当業者は、熱的破碎の瞬間に先立つ理想的な点まで脆弱化を続けようとは思わない。というのは、注入及び熱処理の一般的条件下では、その点は、達成しようとするのが有害又は無駄である不安定な点だからである。特に、ヘテロ構造を組み立てる場合には、この不安定な点の通過、したがって基板の熱的破碎は、結合された基板に貯蔵された熱機械的起源の応力が破碎のときに突然放出されることに関連して、最終生成物の完全な破壊をもたらすことが多い。

40

【 0 0 3 6 】

したがって、当業者は、せいぜい、破碎波を伝播するのに必要な連続の力がより少ない

50

と予想するはずである。したがって、特に、当業者は、脆弱化アニーリングを単に延長し（従来技術を超えて）、続いて衝撃力を適用することが自立破砕波をもたらすと考えことに客観的な理由を持たないはずである。

【0037】

実際、衝撃エネルギーの適用は、全体的（熱ショック、超音波など）でも局所的（レーザー、機械的ショック、牽引力など）でもよい。

【0038】

このパルスは好ましくは局所的であり、小振幅で少しの間動くツールによって都合よく適用される。このエネルギーを加えることは、埋没層に隣接して都合よく適用され、その一部のみ、好ましくはその周辺部分に限定される。

10

【0039】

このパルスは、特に、（例えばレーザーパルスによって適用される）局所的熱供給又は（例えば、脆弱領域に隣接した、その縁部における）外部応力からなることもできる。

【0040】

簡単に実施できるようにするため、破砕は、例えば、組立品の境界に局所的な機械的ショックを加えることによって、室温付近（0から50）で得ることができる。しかし、この特定の実施態様は本発明を限定するものではなく、より高い温度で、例えば約300で破砕を開始することが好ましい状況もあり得る。

【0041】

壊れ易い層のレベルでの界面を破砕波がきわめて局所的に開拓するとき、破砕波を惹起するのにエネルギーパルスのすべてが有効になるということが認められた。したがって、ブレード型ツールによって与えられるショック又はより一般的にあらゆる牽引型の力は、自立破砕の伝播をきわめて効果的に引き起こす。

20

【0042】

補足的処理はサーマルバジェットを適用する形で実施され、このサーマルバジェットは破砕を得るのに必要なサーマルバジェットよりも少ない。

【0043】

破砕後に形成される基板の表面状態は、高周波及び低周波粗さが従来技術よりも改善される。この結果は、特に、低周波、特に破砕波のない低周波で明白である。この結果は、本発明では、従来技術において得られるものと比較して、破砕波が中断なしに（脆弱層内の優先的な領域において波の伝播を促進する）きわめて脆弱な層内で連続的に伝播することに関連していると考えられる。

30

【0044】

標準注入条件（シリコンSi中 $5 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ 20から300 keVの H^+ の注入）下では、自立破砕現象は、系統的に再現することが困難な狭い操作点でのみ観察される。

【0045】

一方、特に、他の条件下では、自立破砕現象を得るための操作範囲は広い。これは、この現象が、壊れ易い層を得るための広範なパラメータ（特に、注入及び追加の熱処理のパラメータ）で観察可能であることを意味する。これは、例えば、注入が、定義された条件（下記参照）下での共注入のとき及び/又は追加処理の温度プロファイルが適用範囲（adapted phase）を含むときである。工業用途では、当然ながら不可避である操作パラメータのドリフト、誤り及び変動に関して方法を堅牢にすることが重要である。実際には、この大きな堅牢性によって、超小型電子技術産業における標準的慣行である、ウェーハ1枚ずつではなくウェーハのバッチに対する方法の使用が認められる。したがって、国際公開第03013815号に開示されたようなウェーハ操作ツールを用いてウェーハのバッチ（25枚のウェーハ）全体にわたる破砕を得ることができることを検証することができる。本方法を実施するのに必要な時間が従来技術方法を実施する時間に実質的に対応することも注目される。

40

【0046】

50

換言すれば、本発明の特定の一側面によれば、本発明は、

- 基板の各々の注入、
- 前記基板のバッチとしての脆弱化处理、
- 前記基板の各々に対するエネルギーパルスの同時適用（一括処理）

の段階を含む、基板のバッチを組み立てる方法を提案する。

【0047】

本発明によれば、基板は脆弱になり、脆弱化「エネルギー」は、エネルギーパルスを適用する瞬間まで維持する必要はないことに留意すべきと考えられる。高温で自立伝播を引き起こすことは、ヘテロ構造の場合には推奨されないことも付け加えることができる。というのは、熱膨張係数差から生じ、破碎の瞬間に放出される応力は、基板の破壊をもたら

10

【0048】

本発明によれば、ある注入条件下では、注入された領域は、純粹に熱剥離を生じずにきわめて強力に脆弱化され、これはきわめて高いアニーリング温度に対してでもあり（下記低温における24時間のアニーリング後に剥離は観察されない）、一方、自立剥離は、（例えば、脆弱化された界面のレベルにおける機械的ショックなどの）衝撃エネルギーを単純に加えることによって惹起されることは強調するに値する。

【0049】

この結果は重要である：

・ アニーリング段階の操作範囲はきわめて広い場合がある：この予備脆弱化アニーリング期間の最大限界はるか後方に押しやられている（又はもはや存在しない）；これは、プロセスの工業化に全体として好ましい。

20

【0050】

・ 自立破碎によって破碎波をウェーハ領域全体にわたって瞬時に中断なしに伝播することができるので支援型剥離は存在しない；ブレードは、基板と新たな薄膜の間に貫通する必要はなく、そのため剥離ツールによって転写された層への損傷が回避される。自立破碎は、このようにして暴露された表面のトポロジーも明確に改善し（例えば（特に低周波における）より少ない粗さ）、冠部欠陥を回避し、その周辺を含めて薄膜全体を使用可能にする。

【0051】

・ いかなるツールももはや導入する必要がないということは、プロセスの工業化及びウェーハのバッチによる基板の一括処理にも有利である。

30

【0052】

ソース基板は、遅くとも熱処理の時間には、前記面を介してスティフナー又はターゲット基板と密着して配置される点で、熱処理は、これらの基板の結合エネルギーを改善するのに寄与する。

【0053】

このターゲット基板又はスティフナーは、特にシリコン、サファイアなどの単結晶若しくは多結晶材料から有利には選択され、又は例えば溶融シリカの形のようなアモルファス材料の形である。

40

【0054】

本発明の特に有利な一特徴によれば、複数の種が同時に又は他の方法で注入される。これは、水素とヘリウムの共注入が有利であり得る。

【0055】

有利には、ヘリウムの場合、水素 - ヘリウム共注入の場合、水素は、比較的低用量（一般に数 $10^{16} \text{ H} / \text{cm}^2$ ）で（好ましくは H^+ の形で）注入することができる。水素は脆弱化層を形成する高い効力を示すことに留意されたい。この層のレベルにおいて、ヘリウムは比較的低用量（一般に $10^{16} \text{ He} / \text{cm}^2$ 又は数 $10^{16} \text{ He} / \text{cm}^2$ ）で注入することができる。

【0056】

50

ソース基板がターゲット基板に結合されているときには、低温熱処理（温度は、それでも結合界面の良好な固体性（solidity）を得るのに十分である）は、外部パルスによって惹起される超微細できわめて滑らかな膜（数nmの粗さ）の剥離をもたらす効果を有する。共注入の利点は、ヘテロ構造が耐えることのできない過剰な温度に達することなしに、かつ（脆弱領域を発生させるのに必要な温度を制限する公知の手段である）きわめて高い注入量を使用する必要なしに、結合界面の固体性に十分な温度でこの領域の最大脆弱化が得られることである。

【0057】

2種類の種は同じレベルで有利には注入されるが、1個の変異体は注入プロファイルをずらすことにある。2種類の種は任意の順序で注入することができるが、シリコン基板及び水素 - ヘリウム共注入の場合には、より深いプロファイルを最初に注入することが好ましく有利である。

10

【0058】

実際、シリコン基板において水素 - ヘリウム共注入に少なくとも進むときには、200から400の熱処理温度を選択することができる。

【0059】

ソース基板は、好ましくは、半導体及び絶縁体、単結晶、多結晶又はアモルファスから選択される材料である。したがって、それはIV族半導体から選択することができる。特に有利な例はシリコンであるが、ゲルマニウム又はSi - Geアロイとすることもできる。それは、As - Ga又はInPのようなIII - V族若しくはII - VI族材料由来の材料、又は強誘電性材料、例えばLiNbO₃、LiTaO₃などの絶縁材料における材料とすることもできる。

20

【0060】

熱処理は、例えば2002年12月10日に出願された欧州特許出願第02 - 293049号に開示されるように、その処理時間を削減するようになされたプロファイルを有することもできる。

【0061】

実際、温度範囲は、注入種の性質、ソース基板を構成する材料の性質及び特にヘテロ構造の場合には補剛基板の性質に主に依存する。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0062】

一般的説明

本発明の目的、特徴及び利点は、添付図面を参照して非限定的な実例として与えられた以下の説明から明白になるはずである。

【0063】

したがって、図1は、矢印2で示される、例えばイオン又はガス状種の照射による注入処理に供されている基板1、例えばその表面4が有利には酸化されたシリコンを示す。

【0064】

この注入は、所与の深さにおいて、欠陥を生成するようになされた第1の種、例えば好ましくはH⁺イオンの形の水素を注入するものである。本発明の好ましい一実施態様においては、この注入は、2種類の種、例えば水素 - ヘリウムの共注入とすることができる。示された例においては、2種類の種は同じ深さに注入されるが、或いは注入された第1の種はそのプロファイルがより深いもの、例えば水素の前のヘリウムが好ましい。

40

【0065】

具体的には、第1の種、すなわち水素を注入することによって開始され、さらにそれにヘリウムを注入することができる。しかし、2つの注入が同じ深さでない場合でも、逆順の注入が好ましいことがある。

【0066】

埋没ゾーン3はこれから生成し、欠陥の存在によって脆弱化される。

【0067】

50

脆弱ゾーン 3 は、ソース基板内で新たな薄膜 5 と基板残部 6、すなわち、薄膜剥離後のソース基板の残部の境界を画する。この残部は、手順の新しい実施サイクル用のソース基板として役立つことができる。

【 0 0 6 8 】

図 2 は、埋没脆弱ゾーン 3 を含むソース基板がその面 4 によってターゲット基板 7 の対応面と一般に直接の分子結合（その機能はスティフナーの機能である）によって密着している最中の段階である。

【 0 0 6 9 】

次いで、熱処理が適用され、一方では埋没層 3 の脆弱化を進行させることができ、他方では、結合段階が生じたときに、ソース基板とターゲット基板の結合を強化することができる。

10

【 0 0 7 0 】

より具体的には、この熱処理の温度は、脆弱ゾーンを発生させるのに適切な温度範囲から選択される。

【 0 0 7 1 】

この処理は、200 から 400、好ましくは 300 から 350 の範囲から選択される温度で、一般に選択される数時間、例えば 2 時間実施されることが有利である。したがって、サーマルバジェット（温度 - 期間の組み合わせ）は工業的に現実的である。

【 0 0 7 2 】

図 3 は、振幅が好ましくは短く限定された、例えばショック又はパルス形の衝撃エネルギー供給を適用することによってソース基板の残部から薄膜 3 が剥離する段階である。

20

【 0 0 7 3 】

それは、例えば、矢印 10 によって示される機械的応力によってなされる。

【 0 0 7 4 】

得られる剥離は、特に、脆弱層に沿ったツールの動きがない点で自立である。

【 0 0 7 5 】

この局所的エネルギー供給は、本明細書では埋没層の一部に限定され、その埋没脆弱層の一部の上（又は近位）のブレードなどのツールによって適用されるショックに対応するコーナー効果の形で表されるが、任意の他の性質、例えば小さな角振幅のパルスの形で有利には適用される埋没脆弱層の面に平行な偶力（couple）とすることができる。本発明による方法によって、埋没脆弱ゾーンにおける自立剥離によって開放される薄膜の面は（実際には、実質的に平面状）、粗さ R_a が従来法よりもかなり小さく、剥離後に転写表面の特別な処理もかなりの（「粗い」）研磨も不要である。剥離は自立しているので、表面波を生成しがちである破碎波の断続的な真の伝播がなく、新たに形成される表面に沿ったいかなるツールの動き（又は埋没層の両側の 2 つの部分の間の相対的動き）もないので、かくして開放された表面の劣化がなく、したがって自立剥離によって誘導されるきわめて滑らかな表面状態を有することは注目に値する。

30

【 0 0 7 6 】

ソース基板 1 は、シリコンだけでなく、より一般的に任意の適切な公知材料、例えば I V、I I I - V 又は I I - V i 族半導体、強誘電性、単結晶又は多結晶、さらにはアモルファスで構成することもでき、したがってソース基板は、

40

- ・ 元素周期表 I V 族の別の半導体、例えばゲルマニウム、
- ・ 特に A s G a、I n P などの I I I - V 又は I I - V I 族の半導体、
- ・ 例えば特に L i N b O₃、L i T a O₃ などのニオブート又はタンタラートタイプの絶縁体

とすることができる。

【 0 0 7 7 】

ターゲット基板は、多種多様な材料とすることができ、必要に応じて選択され、単結晶又は多結晶（例えばソース基板と同じ材料からの例えば半導体）、さらにはアモルファス（例えばガラス又はポリマータイプ）とすることができ、したがって特に、

50

- ・ サファイアなどの結晶性材料、
- ・ 熔融シリカ製又は別のガラス製、
- ・ 適切な公知技術によって付着された例えば厚さ数ミクロンの酸化物の単純な補剛層（これは、明らかに、図面に示されるタイプのバルクターゲット基板にもはや相当しない）

とすることができる。

【0078】

ターゲット基板は、薄膜がそこから最終基板上にその後転写される単なる中間基板とすることができることは注目に値する。

【実施例】

【0079】

共注入

本発明の第1の実施態様によれば、表面に熱的SiO₂層（例えば145nm）を含むSi基板（約700μm）は、70keV - 1×10^{16} He/cm²の注入条件下で最初にヘリウム原子を注入することができ、次いで30keV - 4.25×10^{16} H/cm²の注入条件下で水素原子を注入することができる。したがって、より深い注入プロファイルが最初に実施される。次に、このソース基板は分子結合によってSiターゲット基板（約700nm）に連結することができる。次いで、約350で一定時間（例えば2時間）の熱処理が該構造体に適用される。熱処理が適切である場合には、例えば欧州特許出願第02-293049号に開示されるように、自立破碎現象を得る範囲は数時間（すなわち、2から6時間の脆弱化アニーリング）である。次いで、結合界面の間にショックの形でブレードをほとんど挿入開始せずに、最大水素濃度の位置における自立剥離によってターゲット基板上にSi薄膜が転写する。したがって、本発明の条件下でのソース基板における水素とヘリウムの共注入によるこれらの試行によって、自立剥離、すなわち完全で準瞬間的な剥離がもたらされ、衝撃エネルギーを加えることによって惹起される、自立した破碎波が連続して平面伝播され、進行性の分離と比較して、特に、表面起伏を回避する、すなわち破碎後の表面粗さの重要な変動を回避する利点を有した。このため、この衝撃的剥離は、その後に研磨が少なく済むことを意味する。

【0080】

転写表面の（原子間力顕微鏡法によって）高周波で測定された45から50オングストロームRMSの転写表面の粗さ及び（プロフィルメーター法による）低周波で測定された10オングストロームRMSオーダーの転写表面の粗さは、H注入（32keV - 5.5×10^{16} H/cm²）のみとそれに続く500の熱処理の場合に得ることができる粗さ（高周波における75オングストロームRMSオーダーの粗さ及び低周波における26オングストロームRMSオーダーの粗さ）よりも実質的に小さい。

【0081】

本発明の別の実施態様によれば、表面に熱的SiO₂層（例えば200nm）を含むSi基板（約700μm）は、70keV - 2×10^{16} He/cm²の注入条件下で最初にヘリウム原子が注入され、次いで30keV - 3×10^{16} H/cm²の注入条件下で水素原子が注入される。したがって、最も深いプロファイルが最初に注入される。次いで、このソース基板は、熔融シリカのターゲット基板（約1000μm）に直接結合によって連結される。次いで、約300の熱処理がこの構造体にある時間（例えば、3時間又は脆弱化処理が適合される場合にはそれ以上）施される。次いで、構造体を周囲温度に戻した後に、結合界面にほんのわずかに挿入されたブレードのみによって移動パルス（すなわちショック）を与え、水素プロファイルの最大において自立剥離させると、剥離後のヘテロ構造から誘導される基板のどちら（一方のSi薄膜を含む熔融シリカ基板ともう一方のそれから分離した表面薄膜を含む最初のSi基板）の破壊も分解もなく、Si薄膜が熔融シリカ基板上に転写する。転写表面のプロフィルメーター法による低周波で測定された転写表面の粗さ（低周波において14オングストロームRMSオーダー）及び原子間力顕微鏡法によって測定された転写表面の粗さ（高周波で75オングストロームオーダー）は、

10

20

30

40

50

周囲温度で進行性機械的剥離方法を用いて 400 で 2 時間アニールされた H 注入のみ ($32\text{ keV} - 5.5 \times 10^{16}\text{ H/cm}^2$) の場合に得ることができる粗さ (高周波における 90 オングストローム RMS オーダーの粗さ及び低周波における 40 オングストローム RMS オーダーの粗さ) よりも実質的に小さい。

【0082】

絶縁体上のゲルマニウム

上記情報は、以下の脆弱化パラメータを用いて固体ゲルマニウムのソース基板の状況に一般化することができる：転写される厚さに応じて 30 から 200 keV のエネルギーで用量 $7 \times 10^{16}\text{ H/cm}^2$ 及び 300 である時間 (一般に 30 分から 1 時間、すなわち 30 分間の操作範囲) のアニーリング。

10

【0083】

これらの注入条件に特異的なこの熱処理後に、注入領域のレベルにおいて存在する微小割れの密度は 0.03 から 0.035 / 平方ミクロンと推定される。微小割れの大きさは 7 から 8 平方ミクロンであり、これらの欠陥によって開拓される領域はウェーハの全領域の割合として 25 から 32% である。脆弱領域の特性は、破砕が熱的に得られたときに認められる特性に類似しているが、 280 15 分間の脆弱化処理後に得られる特性とは異なるように見えるかもしれない。これは、支援型機械的破砕を意味する。この場合、これらの値はより低い。例えば、微小割れによって開拓される領域はウェーハの全領域の 10% 未満である。

【0084】

20

絶縁体上のシリコン

プロセス範囲を広げるために、例えば、より高用量、例えば $30\text{ keV} - 1.1 \times 10^{17}\text{ H/cm}^2$ を注入し、次いで 350 で 30 分間熱処理を施すことが好ましいことがある。このようにして、熱的破砕をもたらさないにもかかわらず自立破砕現象の出現に対する 1 から 2 分間の範囲を得ることが可能である。

【0085】

絶縁体上の AsGa

以下の条件が適用される：

- 注入 $5 \times 10^{16}\text{ at/cm}^2$; 約 100 keV 、
- 250 で 3 から 30 分間のアニーリング。

30

【0086】

自立破砕現象は、脆弱化アニーリングが 3 から 30 分間の範囲で実施されるときに観察することができる。

【0087】

(参考文献)

[1] K. Henttinen et al., Applied Physics Letters, Volume 16, Number 17, 24 April 2000; pp. 2370 - 2372

[2] A. Argawal et al. Applied Physics Letters, volume 72, Number 9, 2 March 1998; pp. 1086 - 1088

40

[3] G. F. Cerofolini et al., Materials Science and Engineering B71 - 2000, pp. 196 - 202

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図1】注入中のソース基板を示す図である。

【図2】ターゲット基板と密着 (結合) した後のソース基板の図である。

【図3】ソース基板から誘導される薄膜の剥離中のソース基板の図である。

【図 1】

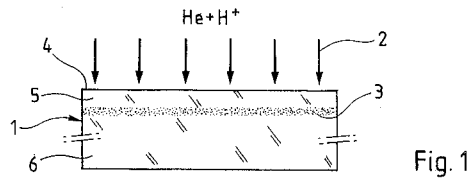


Fig. 1

【図 2】

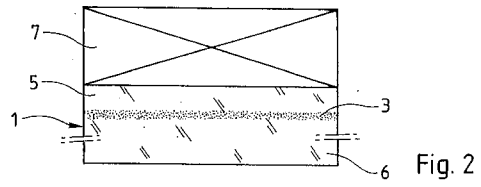


Fig. 2

【図 3】

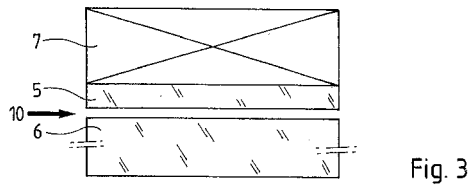


Fig. 3

フロントページの続き

(74)代理人 100103920

弁理士 大崎 勝真

(72)発明者 グエン, グエット - ブオン

フランス国、エフ - 3 8 1 0 0 ・ グルノーブル、リュ・ジョセフ・ブシャイエ、6 5

(72)発明者 カイルフルク, イアン

フランス国、エフ - 3 8 3 3 0 ・ サン・ナゼール・レ・ゼエム、シュマン・ドウ・トウイ・7 4

(72)発明者 ラガフ - ブランシャール, クリステル

フランス国、エフ - 3 8 1 3 4 ・ サン・ジョゼフ・ドウ・リビエール、ルート・ドウ・ラ・カスカ
ード、ラ・ギーエンシエール

(72)発明者 ブルデル, コンスタンタン

フランス国、エフ - 3 8 9 3 0 ・ クロル、リュ・ドユ・ルユイセ、2 2

(72)発明者 トザン, オレリ

フランス国、エフ - 3 8 0 0 0 ・ グルノーブル、リュ・アンペール、3 2

(72)発明者 フルネル, フランク

フランス国、エフ - 3 8 4 3 0 ・ モアラン、ルート・デ・ジル、9

合議体

審判長 池淵 立

審判官 恩田 春香

審判官 藤原 敬士

(56)参考文献 特表 2 0 0 3 - 5 3 5 4 7 2 (J P , A)

特表 2 0 0 1 - 5 2 5 9 9 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L21/02

H01L27/12