

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5587041号
(P5587041)

(45) 発行日 平成26年9月10日 (2014. 9. 10)

(24) 登録日 平成26年8月1日 (2014. 8. 1)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/02 (2006. 01)	HO 1 L 21/02 B
HO 1 L 27/12 (2006. 01)	HO 1 L 27/12 B

請求項の数 10 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2010-129541 (P2010-129541)	(73) 特許権者	311015001
(22) 出願日	平成22年6月7日 (2010. 6. 7)		コミサリヤ・ア・レネルジ・アトミク・エ
(65) 公開番号	特開2011-3893 (P2011-3893A)		・オ・エネルジ・アルテルナティブ
(43) 公開日	平成23年1月6日 (2011. 1. 6)		フランス国、エフー75015・パリ、リ
審査請求日	平成25年5月30日 (2013. 5. 30)		ユ・ルブラン・25、パティマン “ル・ポ
(31) 優先権主張番号	0954126		ナン・デ”
(32) 優先日	平成21年6月18日 (2009. 6. 18)	(74) 代理人	110001173
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		特許業務法人川口国際特許事務所
		(72) 発明者	フランク・フルネル
			フランス国、38190・ピラール・ボノ
			、アレ・デ・オルキ・35、レ・レジダン
			ス・ドユ・シヤトー
		審査官	大嶋 洋一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄層をその熱膨張率と異なる熱膨張率を有するターゲット基板上に移転する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

自由表面に沿った表層が第1の材料を使うソース基板から、自由表面に沿った少なくとも1つの表層が第1の材料と異なる第2の材料を使うターゲット基板に薄層を移転する方法にして、第1の材料が、第2の材料の熱膨張率と著しく異なる熱膨張率を有する、方法であって、

ソース基板の表層内部に、将来の薄層をソース基板の自由表面とともに画定する、弱くなったゾーンが形成され、

ソース基板の自由表面が、第1の材料および第2の材料から形成される交互に重なったスタックの形でターゲット基板の自由表面に組み立てられ、その結果、密接な接触がもたらされる前記自由表面の組立てにより、界面の両側に第1の材料および第2の材料からなる層が形成され、この界面の第1の側に位置する第1の材料からなる層の累積した厚さが、この界面の他方の側に位置するこの第1の材料からなる層の累積した厚さに等しく、界面のこの第1の側に位置する第2の材料からなる層の累積した厚さが、この界面の他方の側に位置するこの第2の材料からなる層の累積した厚さに等しく、第1材料の層及び第2材料の層の厚さが、少なくとも50ミクロンに等しく、弱くなったゾーンが形成される深さの少なくとも1000倍あり、

弱くなったゾーンでの破断が、少なくとも部分的には熱エネルギーの投入により誘発されて、薄層を分離する方法。

【請求項 2】

前記スタックが、界面の両側に位置する2つの部分のそれぞれが、前記界面に平行で対称な平面を有するように材料から形成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】

前記スタックが、第1の材料および第2の材料のうち的一方または他方から形成される層だけから形成されることを特徴とする、請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

スタックの部分のうち一方が、等しい厚さを有する第2の材料からなる2つの他の層の間に、これらの他の層の厚さの2倍に等しい厚さを有する第1の材料からなる層を含み、スタックの他方の部分が、等しい厚さを有する第1の材料から形成される2つの他の層の間に、これらの他の層の厚さの2倍に等しい厚さを有する第2の材料からなる層を含むことを特徴とする、請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項5】

第1の部分が、第2の材料からなる2つの同じ層の間に挟まれた第1の材料からなる二重層を含み、他方の部分が、第1の材料からなる2つの同じ層の間に挟まれた第2の材料からなる二重層を含むことを特徴とする、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

弱くなったゾーンでの破断後に、薄層が移転された部分内部の接合界面で分離が誘発されることを特徴とする、請求項1から5のいずれか一項に記載の方法。

【請求項7】

組立体内部に形成されたより低い接合エネルギーを有する界面で分離が誘発されることを特徴とする、請求項6に記載の方法。

20

【請求項8】

新しい弱くなったゾーンを形成した後に、薄層が分離されたスタックの部分が、新しいスタックの形で使用されることを特徴とする、請求項6に記載の方法。

【請求項9】

イオンインプランテーションにより弱くなったゾーンが形成されることを特徴とする、請求項1から8のいずれか一項に記載される方法。

【請求項10】

第1の材料がシリコンであ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。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、薄層をソース基板から、ソース基板の熱膨張率と著しく異なる熱膨張率を有するターゲット基板上に移転 (transfer) することに関する。

【背景技術】

【0002】

そのような層移転のための従来の方法が、「Smart Cut (TM)」法として知られている。この方法は、主に以下のステップを実行することにある (具体的には、文献FR 2 681 472、またはその均等物であるUS 5 374 564ならびにその様々な発展形態および改良形態を参照のこと) :

40

移転される将来の薄層を自由表面で画定する、埋め込まれ弱くなったゾーンをイオン注入によりソース基板内に生成、

前記自由表面でのソース基板およびターゲット基板の組立て、および

ソース基板内の弱くなったゾーンに破断を誘発するための熱エネルギー／機械的エネルギーの投入。

【0003】

この「Smart Cut (TM)」法によるヘテロ構造 (すなわち、少なくとも2つの異なる材料からなり、一般に複数の層からなり、典型的に1 μ mから1 cmの間の厚さを有する構造) 作成の間、ヘテロ構造の材料が、著しく異なる熱膨張率を有し、かつ接合

50

がもたらされた温度とは著しく異なる温度で破断を誘発する必要がある場合（たとえば、弱くなったゾーンに破断の一部またはすべてを誘発するために熱処理を使用する必要があるとき）、内部応力の制御が非常に重要である。

【0004】

たとえば、ソース基板（少なくとも表面部分はシリコンである）から、熱膨張率がシリコンソース基板の熱膨張率と非常に異なるターゲット基板（たとえば、融解シリカのターゲット基板）上にシリコンの薄膜を移転する場合、2つの固体基板は、たとえば分子接合により通常どおり室温で接合される。薄膜を移転するために、熱エネルギーの投入を利用する選択が行われた場合、そのとき、接合界面は強化されることが知られている。しかしながら、この熱処理にはまた、この接合界面の両側の膨張率の間に差がある結果として、非常に高くなる可能性のある内部応力が生成されるという影響がある。これにより、シリコン薄膜の移転が達成されたとき（すなわち、「Smart Cut (TM)」法により誘発された破断が発生するとき）、2つの基板（または、破断が基板全体にわたり広がらない場合、2つの基板の一部）は、容赦なく分離され、それから、即座に緩和（relax）状態に戻るということになる。この応力急上昇は、それがきわめて大きければ、このように分離されたヘテロ構造の2つの部分（ここで考察されている例では、移転されるシリコンの薄膜を支えるシリカ基板、および破断が誘発されるシリコン基板により形成される）のうち一方、または他方に損傷を与えるおそれがある。

10

【0005】

ヘテロ構造をその生成温度と異なる温度で分離するときに発生する応力急上昇を最小化することができることに利点があることは、明白である。

20

【0006】

そのようなどんな応力急上昇でも最小にするためには、より高温で、好ましくは破断が引き続き誘発されることになる温度に少なくともほぼ近い温度で、ヘテロ構造を作成することが考えられることがある。しかしながら、ヘテロ構造が分子接合により生成されるとき、接合が200℃を超える場合、これは、（シリコン薄膜を融解シリカ基板上に移転するために）「Smart Cut (TM)」技術を適用することが、たとえば、シリコン／融解シリカ系では熱エネルギーの投入によるだけでは困難であることがわかり得る低い温度であるが、接合エネルギーは大きく減少する。このことから、熱エネルギーの投入だけで破断を誘発する必要がある場合、実際上は200℃よりはるかに高い温度で続行する必要があるということになる。ここで、接合エネルギーが低すぎる場合、熱に由来する応力は、（弱くなったゾーン内ではなく）界面での構造の引き離しを十分に誘発する、または「Smart Cut (TM)」技術がうまく機能を果たさないことにつながる可能性がある。そのとき、接合界面は、この方法が生成するマイクロキャビティの発達により課される垂直圧に耐えないことがある（この話題については、「Silicon on insulator material technology」、M. Bruel、Electron. Lett. vol. 31-14 (1995) p. 1201を参照のこと）。

30

【0007】

応力急上昇を最小にするために、このヘテロ構造が、接合界面近傍のウェーハの一方の弱くなったゾーンに破断を誘発したい温度に持って行かれるとき、界面での応力状況が所与のしきい値未満に減少するような条件の下でヘテロ構造の部分を接合することが既に提案された。すなわち、文献FR 2 848 336、またはその均等物であるUS 2 006 / 020 517 9が、あらかじめ変形を受けた2枚のウェーハの接合を達成することを提案している。より正確には、上記の文献は、分子接合の前に、2枚のプレートを曲げることにより、室温で接合する瞬間に、ウェーハに応力を負わせることを教示している。曲率が注意深く選択された場合、破断温度でヘテロ構造の熱アニーリングにより生成される内部応力を最小にする、または取り除くことさえ可能である。しかしながら、短期間の熱アニーリングの間に「Smart Cut (TM)」法により分離を可能にするためには、この方法は、一般に、技術的観点から、工業規模で達成することが比較的困難であることが

40

50

わかり得るかなり大きな半径の曲率を有する構造を接合することを要求する。さらに、将来の破断の条件が、接合が達成されるときに知らなければならない。一方、この技術には、分子接合が室温で生み出されることができ、したがって、移転の瞬間に良い接合エネルギーを有することが可能になるという利点がある。

【0008】

このことから、したがって、この薄層と、これから薄層が固定されるウェーハの間の接合界面は、高い接合エネルギーを有する可能性があるが、必要とされる可能性があるのと同じ高い温度で薄層をウェーハの一方から他方のウェーハに移転し、前もって形成された弱くなったゾーンで破断が発生することが可能であるということになる。それにもかかわらず、室温に戻る際に、薄層の熱膨張率が、薄層が分子接合によりしっかりと接合されたウェーハの熱膨張率と異なるので、薄層は引っ張りまたは圧縮の応力を加えられることがあることは留意されなければならない。ターゲットウェーハは、実際上は薄層よりも堅いので、破断後に温度が変化したときでもほとんど変形されず、温度変化のために、薄層の寸法に変化を強いる。

【0009】

この種の現象は、ホモ構造（すなわち、同じ材料の層または基板から形成された構造）の場合、既に利用されていた。Feijooらが、接合によりこのホモ構造を形成する直前に、変形を加えて室温でホモ構造内部に応力を課すことを提案した（D. Feijoo、I. Ong、K. Mitani、W. S. Yang、S. YuおよびU. M. Gosele、「Prestressing of bonded wafers」、Proceedings of the 1st international symposium on semiconductor wafer bonding、Science、Technology and Applications、vol. 92-7、The Electrochemical Society（1992）p. 230）。より正確には、上記の論文では、ホモ構造は、一定の曲率半径で接合された2つのシリコンウェーハからなる（この論文は、プレートが、変形の間、何度か接合、および非接合されると述べている）。著者らは、他のプレートが平面の形に戻った後に、薄くなったシリコン薄膜に高い応力を課すことができるように、その後、機械的手段（ラップ仕上げ）により室温でシリコン結晶のうちの一方を薄くするプロセスを提案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】 仏国特許出願公開第2681472号明細書

【特許文献2】 米国特許第5374564号明細書

【特許文献3】 仏国特許出願公開第2848336号明細書

【特許文献4】 米国特許出願公開第2006/0205179号明細書

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】 「Silicon on insulator material technology」、M. Bruel、Electron. Lett. vol. 31-14（1995）p. 1201

【非特許文献2】 D. Feijoo、I. Ong、K. Mitani、W. S. Yang、S. YuおよびU. M. Gosele、「Prestressing of bonded wafers」、Proceedings of the 1st international symposium on semiconductor wafer bonding、Science、Technology and Applications、vol. 92-7、The Electrochemical Society（1992）p. 230

【非特許文献3】 Zhe-Chuan FengおよびHong-du Liu J；Appl. Phys. 54（1）、1983、p. 83、「Generalized f

10

20

30

40

50

formula for curvature radius and layer stresses caused by thermal strain in semiconductor multilayer structures」

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上記の文献は、ホモ構造のプレート的一方の内部の破断により薄層を得ることを予見していないことは留意されるべきである。より確かなことには、上記の文献は、生成温度と異なる温度でヘテロ構造を分離する問題をどんな方法でも述べていない（実際には、界面での応力状態に熱の影響はないので、ホモ構造に関して具体的な問題はなかった）。 10

【0013】

本発明の目的は、2つの基板の間の接合の瞬間に、変形による応力を提供する必要なく、任意の温度で、単に熱エネルギーを投入することによってでも、前もって弱くなったゾーンでの破断により、基板の一方から他方へ薄層を移転する間の、2つの層の間の応力急上昇を最小にすることである。たとえば室温などの任意の温度で、したがって、接合エネルギーレベルを犠牲にする必要なく、あらかじめ変形を課す必要なく、したがって、たとえば平面（flat）で、将来の破断が移転を達成する状態を前もって知る必要なく、接合することにより組立てに進むことができることが利点となることは明白である。

【課題を解決するための手段】 20

【0014】

この目的を達成するために、本発明は、自由表面に沿った表層が第1の材料を使うソース基板から、自由表面に沿った少なくとも1つの表層が第1の材料と異なる第2の材料を使うターゲット基板に、薄層を移転する方法を提案する：

ソース基板の表層内部に、将来の薄層をソース基板の自由表面で画定する、弱くなったゾーンが形成される、

ソース基板の自由表面は、第1の材料および第2の材料から形成される交互に重なった層からなるスタックの形でターゲット基板の自由表面に組み立てられ、その結果、密接な接触が前記自由表面にもたらされる組立てにより、界面の両側に、第1の材料および第2の材料からなる層が形成され、この界面の第1の側に位置する第1の材料からなる層を累積した厚さが、この界面のもう一方の側に位置する第1の材料からなる層を累積した厚さと等しく、界面のこの第1の側に位置する第2の材料からなる層を累積した厚さが、この界面のもう一方の側に位置するこの第2の材料からなる層を累積した厚さと等しく、層の厚さは、少なくとも50ミクロンに等しく、弱くなったゾーンが形成される深さの少なくとも1000倍に等しい、 30

弱くなったゾーンでの破断は、少なくとも部分的な熱エネルギーの投入により誘発されて、薄層を分離する。

【0015】

本発明は、ヘテロ構造内の応力を最小にしようすることなく、弱くなったゾーンでの破断の間に発生する応力急上昇を最小にすることは留意されるべきである。破断の瞬間に、弱くなったゾーンの反対側で個々に応力状況を最小にしようとした従来技術の解決策とは対照的に、本発明は、破断の前後で実質的に同じ応力を生成しようとする。したがって、破断の間に応力の突然の変化はない。ヘテロ構造の層を劣化させやすいのは、応力の絶対値ではなく、応力の急激な変化である。 40

【0016】

本発明の好ましい特徴によれば、以下の組合せが適切である：

界面の両側に位置する2つの部分のそれぞれが、前記界面に対称で平行な平面を有するように、材料から前記スタックが作り出される、

前記スタックが、第1の材料または第2の材料のうち的一方または他方から形成される層だけから形成される、 50

スタックの部分のうちの一方が、実質的に同じ厚さを有する第2の材料からなる2つの他の層の間に、これらの他の層の2倍の厚さに実質的に等しい厚さを有する第1の材料からなる層を含み、スタックのもう一方の部分、実質的に同じ厚さを有する第1の材料から形成される2つの他の層の間に、これらの他の層の2倍の厚さに実質的に等しい厚さを有する第2の材料からなる層を含む、

第1の部分が、第2の材料からなる2つの同じ層の間に挟まれた第1の材料からなる二重層を含み、もう一方の部分が、第1の材料からなる2つの同じ層の間に挟まれた第2の層からなる二重層を含む、

弱くなったゾーンでの破断後、薄層が移転された部分の内部の接合界面で分離が誘発される、

10

組立体内部で形成された、より低い接合エネルギーを有する界面で分離が誘発される。この分離は移転される薄膜の側に生み出されないという事実には、損傷のリスクがない（機械的移転とは対照的である）という利点があることには留意されたい、

破断により解放された自由表面との境界を定める将来の薄層である新しい弱くなったゾーンを形成した後に、薄層が分離されたスタックの部分は、新しいスタックとして使用される、

弱くなったゾーンは、イオンインプランテーションにより形成される、

第1の材料はシリコンである。

【0017】

本発明の目的、特徴、および利点が、添付の図面を参照して例示的であり限定しない例により示される以下の説明により明らかになる。

20

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の第1の実施形態のスタックを表す図である。

【図2】本発明の第2の実施形態のスタックを表す図である。

【図3】弱くなったゾーンの上部にある、スタックの図1の部分の層内の応力の進展を、破断の前後の温度の関数として表すグラフからなる図である。

【図4】弱くなったゾーンの下部にある、スタックの図1の部分の層内の応力の進展を、破断の前後の温度の関数として表すグラフからなる図である。

【図5】ソース基板の薄層が移転されなければならないターゲット基板が最上部にあるソース基板の両側の応力の進展を、破断の前後の温度の関数として表すグラフからなる図である。

30

【図6】図5の薄層が移転されなければならないターゲット基板の両側の応力の進展を、破断の前後の温度の関数として表すグラフからなる図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

図1および図2は、本発明に従って、基板に著しい熱膨張率の違いがあるときでさえ、少なくとも部分的な熱エネルギーの投入により、ターゲット基板からソース基板への薄層の移転を確実に進めることができるようになるスタックの2つの例を表す。

【0020】

40

実際には、異なる材料からなる2層が互いに接合され、次に、熱エネルギーの投入を受けるときに、この熱エネルギーの投入が、接合界面の水平面、またはそれに平行な水平面で、熱膨張率がより低い表層に引っ張り応力を、熱膨張率がより高い他の層の表層に圧縮応力を生成する（より膨張する層は、膨張が少ない層を伸ばし、後者は、より膨張する層の自然な膨張を妨げる傾向がある）。

【0021】

これら2つの実施形態が示すように、本発明は、第1の材料を使う第1の層から第2の材料を使う別の層への移転を可能にすることを目指し、これらの第1の材料および第2の材料は、著しく異なる熱膨張率を有し、これらの層は関係するスタックの中央の場所に位置する。これらのスタックは、第1の層内の弱くなったゾーンの水平面で破断により取り

50

除かれる (f r e e d) 表面に沿って存在する応力を最小にするのではなく、この弱くなったゾーンの両側にローカルに存在する応力による破断の瞬間に変化を低減するように設計されている。すなわち、本発明は、応力急上昇が無視できないレベルで存在することを受け入れると同時に、破断の瞬間に発生する応力急上昇を低減することを目指す。

【0022】

これらのスタックは、破断を誘発することが意図される温度に比べてどんな温度でも作られる。最も簡単な方法は、室温で続けることである。さらに、接合による組立ての瞬間に、このスタックの層にプレストレスが故意に加えられることがない。層は、実際上は平面なので、組立ては、実際上は水平 (f l a t) に実行される。

【0023】

図1の例では、目的は、薄層を材料Aのソース層11から材料Bのターゲット層21に移転することである。これらの層にはそれぞれ自由表面があり、これらの層の個々の自由表面が、密接な接触が達成された後に、これらの層のうち的一方から他方に薄層が移転されることになる。これらの層の厚さは少なくとも50ミクロンあり、少なくとも100ミクロンあることが好ましい（したがって、これらは薄層ではなく、むしろ一般に「厚い」層と呼ばれる層である）。

【0024】

あらかじめ、弱くなった層Zが、層11の表面下の選ばれた距離に作成され、次に、層21の表面と密接な接触をもたらされる。この弱くなった層は、典型的には、1つまたは複数の種類のインプラネーション（実際上はイオン照射）、とりわけ水素、ヘリウム、もしくは別の元素、またはより重い元素のインプラネーションにより作成される。ターゲット層の自由表面と弱くなったゾーンの間の選ばれた距離は、実際上は、高々その層の厚さの100分の1に等しい。将来の薄層（この表面とこの弱くなったゾーンの間の境界を定められる）の厚さは、高々層の厚さの1000分の1である。図1は、読みやすさという明白な理由のためにこの比に従っていない。

【0025】

層11は、単に少なくとも1つの別の下にある層から形成されるソース基板の表層とすることができる。同様に、層21は、単に少なくとも1つの別のより上の層から形成されるターゲット基板の表層とすることができる。

【0026】

本発明によれば、弱くなった層Zに破断が誘発される間の分離ステップの前に、自由表面に密接な接触をもたらすことにより形成される界面の両側で：

第1の材料から形成される層の累積した厚さが実質的に等しくなり、

第2の材料から形成される層の累積した厚さが実質的に等しくなるように、ソース基板およびターゲット基板は、第1の材料または第2の材料から形成される交互に重なった層のスタック内の自由表面で組み立てられる。

【0027】

このスタックは、層11と21の間の界面の両側に位置するスタックの2つの部分がそれぞれ、破線X-XおよびX-Yにより図で表される対称な平面を有するようになっており有利である。

【0028】

材料Aの層または材料Bの層の間に薄い中間層があり得るが、スタックはこれらの材料Aまたは材料Bのうち的一方または他方から形成される層だけから形成されることが好ましい（中間の付加層があるとしても、それらの累積した厚さは、スタック全体の厚さの1%以下に相当する）。

【0029】

より正確には、図1からスタックが：

材料Aの層13の上の、材料Bの層12の上の、材料Aの層11から形成され、層12の厚さは層11の厚さの2倍あり、層13の厚さは層11と同じ厚さである下部10、

材料Bから形成される層23の上の、材料Aの層22の上の、材料Bの層21から形成

10

20

30

40

50

され、層 2 2 の厚さは層 2 1 の厚さの 2 倍あり、層 2 3 の厚さはこの層 2 1 と同じである上部 2 0 から形成される。

【0030】

その結果、層 2 1 に薄層を移転することが望まれる層 1 1 は、材料 B の層 (1 2 および 2 1) の間に挟まれ、層 2 1 はまた層 (1 1 および 2 2) の間に挟まれている。このことから、組立て後の温度変化の間に、層 1 1 および 2 1 はそれぞれ、その上面および下面に沿って同様な方法で負荷を加えられことになり、そのために、ほぼ様な応力場になる。

【0031】

このことから、組立て後に加えられた熱処理が室温で有利に行われる間、弱くなったゾーン Z の両側で層 1 1 に存在する応力がほぼ同じとなるということになり、層 1 1 の 2 つの部分のうちの一方を劣化させやすい十分な大きさの破断により分離される層 1 1 の 2 つの部分で、破断はどんな応力急上昇も伴わないという結果になる。

10

【0032】

Z-C Feng らにより開発された機械的計算 (Zhe-Chuan Feng および Hong-du Liu J; Appl. Phys. 54 (1)、1983、p. 83、「Generalized formula for curvature radius and layer stresses caused by thermal strain in semiconductor multilayer structures」) ならば、弱くなったゾーンでの破断による分離の前と後で、スタックの層 1 0 + 2 0 (ヘテロ構造を形成する) の内部に出現する応力を予測することが可能であることに留意されたい。

20

【0033】

スタックは、4 対の層 A-B のスタックから形成されることがあることに留意されたい (底部から始まり、図 1 のスタックは、実際には対 A-B、対 B-A、対 B-A、および次に対 A-B の連続であるとして説明されることができる)。

【0034】

図 1 のスタックでは、層 1 1 および 2 1 (したがって、さらに層 1 3 および 2 3) は、厚さが等しく $a = b$ であり、層 1 2 および 2 2 は、厚さが等しく $2a = 2b$ である。対 A-B への分解は、同じ厚さの層の対に対応し、スタックは下側のサブスタック A B B A、および上側のスタック B A A B の組立体として表されることがあり、弱くなった層での破断は、下側の組立体 A B B A'、および上側の組立体 a B A A B の形成につながる (A' は、薄層「a」の分離後に層 1 1 に残るものを表す)。

30

【0035】

それにもかかわらず、本発明はまた、厚さ b が厚さ a の $2/3$ となっている図 2 に図示されるように、異なる厚さを有する層の場合にも適用される。「プライム」サフィックスを付加して図 1 と同じ参照記号により層を指定し、上部の中間層 2 2' は、厚さが層 2 1' および 2 3' の厚さの 3 倍あり、中間層 1 2' の厚さは、層 1 1' および 1 3' の厚さよりもかろうじて大きい。

【0036】

それにもかかわらず、そのような違いがあっても、前述の計算は、破断の瞬間に大きな応力急上昇がなく破断を可能にする応力場が作られることを実証することを可能にする。

40

【0037】

図 3 および図 4 は、破断熱処理のための温度上昇の間 (破断は、これらの曲線の右側の枠上のアスタリスクにより図で表される)、およびその後の室温に戻る間の、室温での組立て後の様々な層内の応力の変化曲線を表す。

【0038】

より正確には、図 3 は、中間層 2 2 自体が 2 つの同じ層 2 2-1 および 2 2-2 から形成され、移転される薄層 1 1 a を伴う場合の、最上部から始まり、図 1 のスタックの上部の各層に相当する曲線をグループ化している。

【0039】

50

図4に関しては、中間層12自体が2つの同じ層12-1および12-2から形成される場合の、層11から始まり、図1のスタックの下部の各層に相当する曲線をグループ化している。

【0040】

これらの曲線は、以下の場合に計算されたものである：

層11、13、22-1、および22-2は、シリコンであり、厚さは750ミクロンに等しい、

層21、23、および12-1、および12-2は、融解シリカであり、厚さは1200ミクロンである。

【0041】

シリコンは融解シリカよりも大きく広がっているので、温度上昇が、層間の界面に平行に、シリコンによるシリカの引っ張り応力を生成し、したがって、シリコンによるシリカの圧縮応力を生成することが理解される。すなわち、シリカ層は、層23、21、12-1、および12-2内の同様によく定義された曲線に沿う正の（引っ張り）応力の場所であり、対照的に、シリコン層は、層22-1、22-2、11a、11、および13内の同様によく定義された曲線に沿う負の（圧縮）応力の場所である。

【0042】

右側に向けられた矢印は、温度上昇の間に曲線が移動する方向を示し、左側に向けられた矢印は、冷却の間に同じ曲線が移動する方向を示す。最大温度で構造の2つのサブ構造への分離を伴う破断が発生したが、加熱方向および冷却の間に同じ曲線がたどられていることが理解される。

【0043】

実際には、薄膜が基板のうちの一方から取り去られるので、応力は層内部で正確には全く同じではなく、このことが2つのサブ構造の均衡をわずかに失わせ、層11の弱くなったゾーンでの破断で小さな応力急上昇があることになる。しかしながら、シリコン層およびシリカ層、ならびにシリコン層およびシリカ層の厚さの1000分の1未満の厚さの薄層が交互になった考察がされている例では、急上昇はほんの0.1MPa程度であり、これは破断のときに（薄層を含む）層を劣化させない。この急上昇はまた、各構造のたわみの進展にわずかに影響を及ぼすが、これはほんの少ししか変えない（0.5ミクロン未満）。

【0044】

これらの熱処理の間に（層が組み立てられるにつれて、およびそのときに）別々に、または組み合わせて層の操作を促進する、破断の間を含む温度変化の間に、スタックの層が実質的に平面のままであることを注目することは興味深い。

【0045】

本明細書で上記に述べられたように、ソース基板は、層11だけからなる、あるいは、層11および12-1、またはさらに層11および12、または層11、12、および13から形成されることができる。同様に、ターゲット基板は、層21だけ、層21および22-2、またはさらに層21および22、または層21、22、および23からなることができる。いずれの場合も、ことによると層を追加することにより、層の相対的厚さに応じて図1（または図2）のスタックを生成することが可能であることは明白である。

【0046】

移転および破断の後、移転された層を有するターゲット基板を回復する必要がある場合、スタックを形成するために、このターゲット基板に付加された1つまたは複数の層を分離することができることは有用である。

【0047】

この目的を達成するために、この始めのターゲット基板は、低減された接合エネルギーを接合界面に与えられて、たとえばこの方法で組み立てられる表面の一方または両方を粗くすることにより、必要とされるスタックを形成するのに必要な隣接層に有利に組み立てられる。その結果、破断後に得られた組立体11a-21-22-23の冷却後に、たと

10

20

30

40

50

えば取り除かれるように界面の中にブレードを挿入することにより、低減されたエネルギー界面での分離が、容易に達成されることができ。これが室温で行われた場合、分離の瞬間に応力急上昇が全くないことは注目されるべきである。一方、室温とは異なる温度で（したがって、スタックが生成されたのとは異なる温度で）そのような分離を達成する選択がなされた場合、生成される応力急上昇は、もしあるとしても、移転された薄層の反対側のターゲット基板の面で起こるので、この応力急上昇は、もしあるとしても、薄層に大きな影響はない。低エネルギー接合は、弱くなったゾーンから、ある距離をおいて生み出されるので、低エネルギー接合は、それにもかかわらず、熱処理の間に様々な界面で生成される全応力に十分耐えることができることを考慮すると、裂け目はこの弱くなったゾーンに効果的に局在化されることに留意されたい。

10

【0048】

実際には、機械的分離が、 0.15 J/m^2 などの高い接合エネルギーまで依然として可能なので、前述の接合界面での分離は、接合エネルギーのレベルが落とされないとしても、良い条件の下で制御されることができ。

【0049】

ソース基板を含むスタックの下部に関しては、さらに弱める処理を行い、前述の接合水平面で分離されたスタックの一部をスタックの下部に付加した後に、始めのターゲット基板に似たターゲット基板にスタックの下部を接合することにより、層11から新しい薄層を移転するために直接再利用されることができ。

【0050】

20

また言及されたように、材料Aおよび材料Bから形成される層の付加が、付加層の介在により促進されることが可能である。このことは、AまたはBから形成されない中間層の累積した厚さが、関係する層の厚さの約0.1%未満のままであることを考慮すれば、依然として全く正しい。

【0051】

熱処理だけでなく、機械的エネルギー（流体、ブレード、振動、超音波）の適用により破断を誘発することが望まれるときに、本発明の利点が保持されることは明らかである。

【0052】

図5および図6は、一方では付加層12および13、他方では付加層22および23のない、前述の層11および21だけに類似した、ソース層およびターゲット層の向かい合った面に沿った応力の変化を表す曲線を比較によって表す。

30

【0053】

前述の寸法条件からわずかに逸脱した場合でさえ、本発明の利点が得られることがあることは明らかである。したがって、これらの利点には、推奨される厚さのほぼ20%の違いまで保たれるものがある。

【0054】

実施例

シリコン層および融解シリカ層が使用される。

【0055】

4つのシリコン基板、および4つの融解シリカ基板が、分子接合のために各基板の2つの表面を準備することにより準備される。シリコン基板のうちの1つの2つの面は、 70°C で20分間、SC1（相対比5対1対1の $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液）を使用する化学処理により粗くされる。次に、後面の接合エネルギーレベルが低下しないように、この基板の後面が磨かれる。

40

【0056】

別のシリコン基板が、線量 6.1016 at/cm^2 、およびエネルギー 76 keV の水素イオンを使いインプラントされる。次に、連続的な分子接合により、スタックB-A-A（粗い）-B-A（インプラント済み）-B-B-Aが構築される。

【0057】

500°C で1時間のアニーリング処理が加えられ、これが、それぞれB-A-A（粗い

50

) - B - a (Aの薄膜)、およびA (より薄い薄層) - B - B - Aという2つの構造に組立体が分離するのを誘発する。

【0058】

次に、A (粗い) およびB - aの前もって粗くされた接合界面の水平面でブレードを挿入することにより、必要とされる最終製品B - aが分離される。

【0059】

図3および図4の曲線は、上記で説明された例に対応する計算結果に対応し、以下の値を取る：

シリコンのヤング率：130 GPa

シリカのヤング率：70 GPa

シリコンのポアソン係数：0.3

シリカのポアソン係数：0.17

シリコンの各層の厚さ：750ミクロン

シリカの各層の厚さ：1200ミクロン

シリカの熱膨張率： 0.55×10^{-6}

シリコンの熱膨張率：文献に示されるように、くぼんだ側が下を向く増大する曲線に沿って右側に向かって、 2.4×10^{-6} と 4.2×10^{-6} の間で変化する。

【符号の説明】

【0060】

10、20 スタック下部

11、11' 材料Aのソース層

12、12'、23、23' 材料Bの層

13、13'、22、22' 材料Aの層

21、21' 材料Bのターゲット層

【図1】

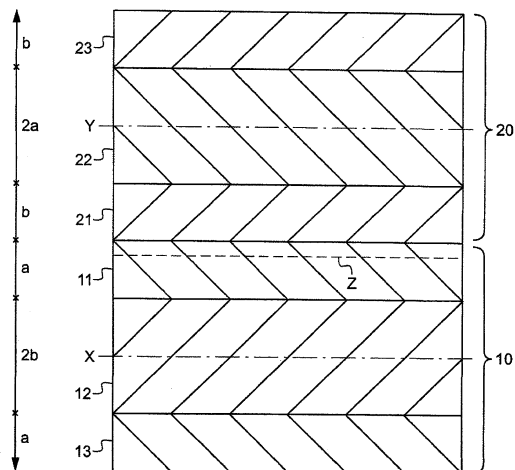


Fig. 1

【図2】

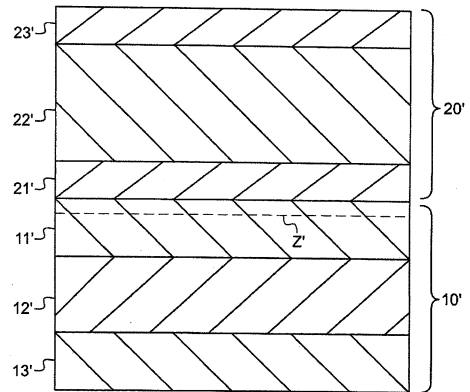


Fig. 2

10

20

【図 3】

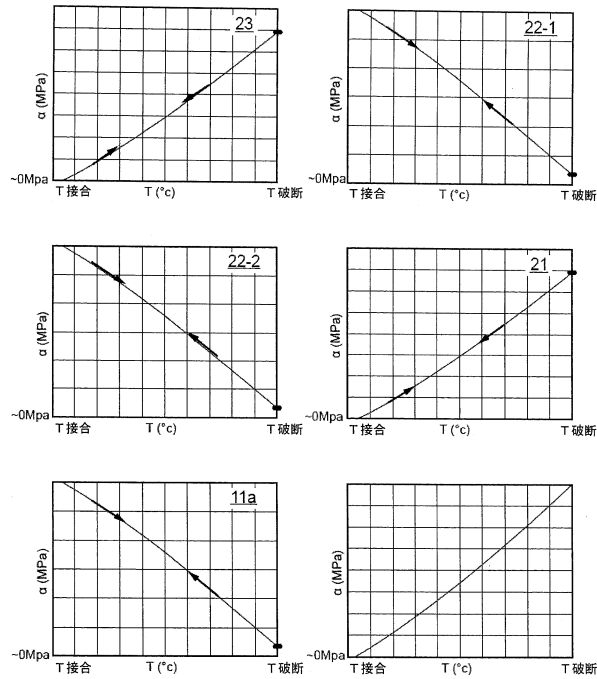


Fig. 3

【図 4】

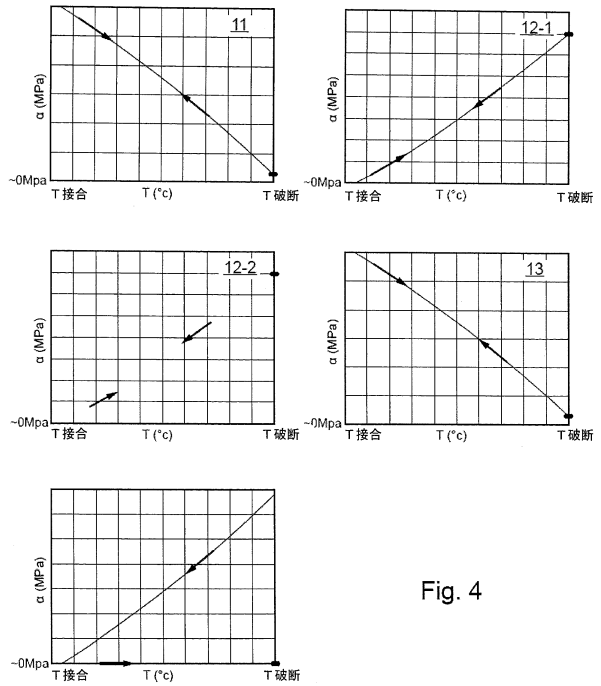


Fig. 4

【図 5】

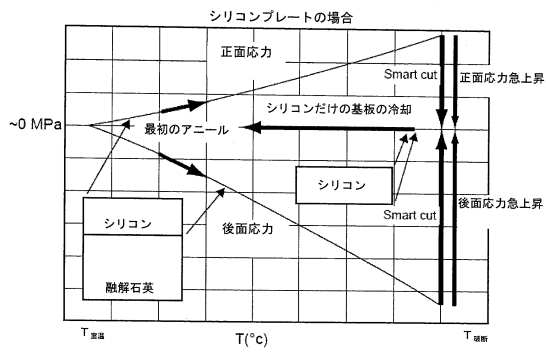


Fig. 5

【図 6】

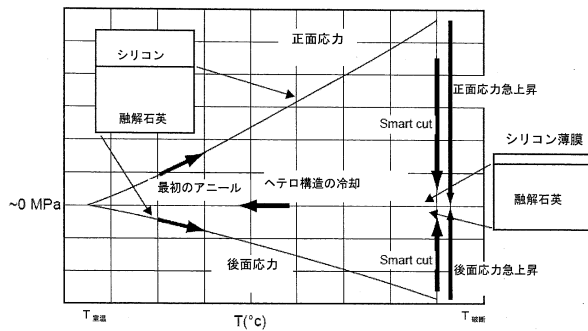


Fig. 6

フロントページの続き

(56)参考文献 特表2009-500839 (JP, A)
特表2007-523472 (JP, A)
特開2005-005708 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/02
H01L 27/12