

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5096651号

(P5096651)

(45) 発行日 平成24年12月12日 (2012.12.12)

(24) 登録日 平成24年9月28日 (2012.9.28)

(51) Int.Cl.		F I
B 8 1 C	3/00	(2006.01)
B 3 2 B	7/00	(2006.01)
B 8 1 B	3/00	(2006.01)

B 8 1 C	3/00
B 3 2 B	7/00
B 8 1 B	3/00

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2000-305635 (P2000-305635)	(73) 特許権者	506076606
(22) 出願日	平成12年10月5日 (2000.10.5)		アバゴ・テクノロジーズ・ジェネラル・ア
(65) 公開番号	特開2001-150399 (P2001-150399A)		イビー (シンガポール) プライベート・リ
(43) 公開日	平成13年6月5日 (2001.6.5)		ミテッド
審査請求日	平成19年10月5日 (2007.10.5)		シンガポール国シンガポール768923
審査番号	不服2011-15021 (P2011-15021/J1)		, イーシュン・アベニュー・7・ナンバー
審査請求日	平成23年7月12日 (2011.7.12)		1
(31) 優先権主張番号	09/415286	(74) 代理人	100087642
(32) 優先日	平成11年10月8日 (1999.10.8)		弁理士 古谷 聡
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100076680
			弁理士 溝部 孝彦
		(74) 代理人	100121061
			弁理士 西山 清春

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱膨張係数の異なる材料間の低応力界面及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一の材料 (104a) の熱膨張係数 (TCE) が第二の材料 (106a) のTCEよりも小さい、2つの材料の間に低応力界面 (118) を作るための方法であって、

前記第一の材料からなる第一の層 (104a) と、前記第一の材料とは異なる材料からなるとともに該第一の層 (104a) と等しいTCEを有する第二の層 (104b) とを含み、前記第一の層 (104a) が前記第二の層 (104b) よりも高い弾性係数を有し、前記第二の層 (104b) が前記第一の層 (104a) よりも厚く形成され、それらの層の間に挟まれた第三の材料 (107) からなる層 (107) を有する積層構造 (101) を形成し、この積層構造 (101) が、温度

変化に際して反りを生じない平坦な表面 (121) と、横方向の熱膨張係数 (TCE) を備え、

温度変化に際して反りを生じない平坦な表面 (122) を有するとともに前記積層構造 (101) の前記横方向のTCEと同様のTCEを備える第二の材料 (106a) と前記積層構造 (101) とを接合して、前記低応力界面 (118) を形成することからなり、

前記第二の材料 (106a) の前記平坦な表面 (122) に平行な横方向 (115) における前記第二の材料 (106a) の熱膨張が、前記積層構造 (101) の前記平坦な表面 (121) に平行な前記横方向 (115) における前記積層構造 (101) の熱膨張と等しく、それによって前記第二の材料 (106a) が、温度変化に際して反りを生じず、

前記第一の材料が石英ガラスである方法。

【請求項 2】

前記第三の材料 (107) のTCEが、前記第一の材料 (104a) のTCEとは異なり、前記第二

10

20

の材料（106a）のTCEよりも大きく、それによって前記積層構造（101）が温度変化に際して反りを生じない請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第二の材料（106a）がさらに積層構造（102）からなり、この積層構造（102）を形成する方法が、

前記第二の材料（106a）からなる第一の層（106a）を形成し、この第二の材料（106a）が温度変化に際して反りを生じない平坦な表面（122）を備え、

第四の材料（108）からなる層（108）を前記第二の材料（106a）からなる第一の層（106a）の上に形成し、

前記第二の材料（106b）からなるとともに該第一の層（106a）と等しいTCEと弾性係数を有する第二の層（106b）を前記第四の材料（108）からなる層（108）の上に前記第一の層（106a）と等しい厚みで形成することを含み、前記第四の材料（108）のTCEが、前記第二の材料（106a）のTCEとは異なり、前記第一の材料（104a）のTCEよりも小さい請求項2に記載の方法。

10

【請求項4】

前記接合することが、前記積層構造（101）の前記平坦な表面（121）を前記第二の材料（106a）の前記平坦な表面（122）にはんだ付けすることを含む請求項1に記載の方法。

【請求項5】

第一の材料（104a）と第二の材料（106a）との間の温度変化に対して低応力の界面（118）で部材同士が接合された組立体であって、

20

前記第一の材料（104a）の熱膨張係数（TCE）が前記第二の材料（106a）のTCEよりも小さく、

前記第一の材料からなる第一の層（104a）と、前記第一の材料とは異なる材料からなるとともに該第一の層（104a）と等しいTCEを有する第二の層（104b）を含み、前記第一の層（104a）が前記第二の層（104b）よりも高い弾性係数を有し、前記第二の層（104b）が前記第一の層（104a）よりも厚く形成され、それらの層の間に挟まれた第三の材料（107）からなる層（107）を備え、温度変化に際して反りを生じない平坦な表面（121）と横方向の熱膨張係数（TCE）を備えている積層構造（101）と、

前記積層構造（101）に接合されて前記界面（118）を形成する第二の材料（106a）とからなり、この第二の材料（106a）が、温度変化に際して反りを生じない平坦な表面（122）を備え、前記積層構造（101）のTCEと同様のTCEを備え、

30

前記第二の材料（106a）の前記平坦な表面（122）に平行な横方向（115）における前記第二の材料（106a）の熱膨張が、前記積層構造（101）の前記平坦な表面（121）に平行な前記横方向（115）における前記積層構造（101）の熱膨張と等しく、それによって前記第二の材料（106a）が、温度変化に際して反りを生じず、

前記第一の材料が石英ガラスである、温度変化に対して低応力の界面で部材同士が接合された組立体。

【請求項6】

前記第三の材料（107）のTCEが、前記第一の材料（104a）のTCEと異なり、前記第二の材料（106a）のTCEよりも大きい請求項5に記載の組立体。

40

【請求項7】

前記第二の材料（106a）が、さらに積層構造（102）からなり、この積層構造（102）が、

前記第二の材料（106a）からなる第一の層（106a）と、前記第二の材料（106a）が平坦な表面（122）を備え、

前記第二の材料（106a）からなる第一の層（106a）の上の第四の材料（108）からなる層（108）と、

前記第二の材料（106b）からなるとともに該第一の層（106a）と等しいTCEと弾性係数を有し、前記第四の材料（108）からなる層（108）の上に前記第一の層（106a）と等しい厚みで形成された第二の層（106b）とを含み、前記第四の材料（108）のTCEが、前記第二

50

の材料(106b)のTCEと異なり、前記第二の材料(104a)のTCEよりも小さい請求項6に記載の組立体。

【請求項8】

前記積層構造(101)と前記第二の材料(106a)が、はんだ接続(112)により接合されている請求項5に記載の組立体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般に異なる材料を接合することに関する。より詳細には本発明は、異なる熱膨張係数を持つ材料間の低応力界面及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

マイクロシステムは、サブミリメートルスケールにおいて、光の特性及び光の進行、機械的部品、気体、液体及び電子を利用し、これにより光学的、化学的、物理的、生物学的及び電子的用途で有用な機能をもたらす。このようなシステムにおいて異なる材料を接合する場合、これらの材料間の界面に生じるたわみや応力、そしてクリープにより製造上、保存上及び機能上の問題が生じる。このような界面領域は通常、単なる受動性の機械的接合部ではなく、デバイスの活性領域であることが多い。

【0003】

マイクロシステムの一例として、本願に参考資料として取り込まれる、本出願人に譲渡されたFouquetらの米国特許第5,699,462号に記載されている超小型流体光学スイッチ素子をあげることができるが、この超小型流体光学スイッチ素子は、2つの平坦な光導波路素子の交差点においてガラス中にエッチングされ、液体で満たされたトレンチ内に配設されている。充填液体の屈折率は、導波路素子の屈折率に一致する。2つの導波路素子の交差点に気泡が存在しない場合、いずれかの導波路素子から入力された光は直線経路に沿って引き続きトレンチ中を通り、トレンチの反対側から、トレンチの反対側にあるその導波路素子の延長部分へと出て行く。しかしながらトレンチ中に気泡がある場合、トレンチの屈折率は導波路素子よりも低くなり、一方の導波路から入力された光は気泡の表面で反射し、他方の導波路へと進路を変える。気泡は、電子抵抗加熱手段により導入及び除去され、光学スイッチングを実施することができる。

【0004】

上述の光学スイッチ素子は、複数のスイッチのアレイとして製造することができ、このアレイは、例えば32の入力チャンネルと、これらから切り替えることができる32の出力チャンネルを備えることができる。この構成は32×32スイッチと呼ばれ、32×32=1024個の別個のスイッチ素子を含む。このようなスイッチの導波路及び接続されるトレンチは通常、平坦なガラス基板中に形成されるが、このガラス基板は実質的に石英ガラス(熔融シリカ)と等しい機械特性を有し、特に0.55 ppm/ という非常に低い熱膨張係数(TCE)を備える。32本の単一モード光ファイバを束ねた(代表的には中心間の距離が250 µmである)リボンケーブルが、ガラス基板の4辺にそれぞれ取り付けられ、入力及び出力チャンネルがもたらされる。各単一モードファイバコアの平坦導波路素子各々への位置合わせは、挿入損失を低くするためにサブマイクロメートルの精度で行われなければならない。

【0005】

32×32スイッチの抵抗加熱手段としては、平坦なシリコン集積回路基板上に設けられた薄膜電子抵抗器の平坦なアレイが通常用いられるが、その膨張係数はより詳細には2.6 ppm/ が一般的である。これは殆どの工学材料と比較して低いが、しかし石英ガラスよりも大幅に大きい。

【0006】

32×32スイッチ全体の製造においては、何らかのハーメチックシール手段を利用して平坦なシリコン基盤を平坦なガラス基板へと取り付け、それによって平坦な導波路素子と一致する屈折率を備える液体でスイッチを満たすことができるようにする。その後、光ファイ

10

20

30

40

50

バリボンケーブルは、平坦なガラス基板の辺に取り付けることができるが、これはリボンケーブルを配置した後、完全に固定する前に、平坦導波路素子を介しての光伝送を評価することができる光学活性モードで行われる。各導波路素子に対してサブミクロンの精度で各ファイバコアを整合させるには、第1に基板の各辺に沿ったガラス基板の平坦面をサブマイクロメートルレベルで反らさなければならない。残念ながら、ガラスとシリコンとの熱膨張係数の相違は、この複合装置中に少なくとも数 μm のそりを生じる要因となり得る。

【0007】

このようなそりは、異なるTCEを備える2枚の金属層からなる装置の中で生じる場合、バイメタル効果と呼ばれる。この解釈を拡大し、異なるTCEを備える2つの材料間で生じる作用もまたバイメタル効果と呼ばれる。

10

【0008】

ガラス及びシリコン間のバイメタル効果は、そりを生じるだけではなく、温度変化に際して、これら2つの材料間の界面に応力をも生じる。このガラス及びシリコンが、例えば165の温度ではんだにより互いに接合されている場合、熱いはんだが冷えて固体となり、バイメタル対が室温に向かって冷めるにつれ、シリコンはガラスよりも収縮することになる。この結果、ガラス/シリコン対はシリコン側では凹状、ガラス側では凸状となり、2つの材料間のはんだ界面にはせん断応力が作用する。

【0009】

図1Aは、この効果を説明するための図であり、ガラス部12と、これにはんだ16を介して接合されるシリコン部14を含む従来型のマイクロシステム11の断面概略図である。図1Aははんだ付け温度にまで加熱された場合であり、ガラス部12及びシリコン部14は互いに対して平らなままである。

20

【0010】

図1Bは、図1Aのマイクロシステム11が室温にまで冷却された後の状態を示す断面概略図である。マイクロシステム11がはんだ付け温度から冷却されていくと、シリコン部14はガラス部12よりも激しく収縮し、マイクロシステム11はシリコン側では凹状となり、ガラス側では凸状となる。このそりが上記のバイメタル効果の結果である。

【0011】

図1Cは、図1A及び図1Bのマイクロシステム11において、ガラス部12とシリコン部14とを接合するはんだ部分16を小さくした場合を示す断面概略図である。マイクロシステム11が冷却されると、ガラス部12とシリコン部14との間にある平坦な界面に沿って、ガラス部12とシリコン部14の間のギャップ18の厚みが変化する。このギャップ18が一定でなければならないマイクロシステム11に、ガラス及びシリコンの2つの材料を利用することは、これらの材料のTCEの相違から適当ではない。

30

【0012】

このマイクロシステム技術を利用して製造されるデバイスは、出荷及び保存の間に、-40までの低温に耐え得るものでなければならないことが一般的であるが、はんだのボンディング部はこのような低温において破損する可能性がある。たとえ目立った破損がなかったとしても、長期間にわたって温度が変化する間のはんだのクリープは、導波路交点に対して加熱抵抗器が縦横方向に変位させることがある。

40

【0013】

さらにより深刻な問題となるのは、ガラス基板とシリコン基板との間のボンディング部が、外周リングとして2つの基板の32×32能動アレイを取り囲む外周リングとしてのみ形成されることが望まれるという点である。大面積封止とは異なり、外周封止を採用すると気体及び液体のミクロ流体的移動が生じ得る容積は最大化され、そして32×32アレイ中の各スイッチ位置における構造的な複雑性が最小化される。外周はんだ付け領域にさらにはんだ付け領域を加える必要が生じると、このようなアレイの設計や製造が複雑化し、製造コストが上昇することとなる。他方、このような外周封止はガラスとシリコンとの間の小さな面積にしかボンディングしないため、応力(単位面積あたりにかかる力)は大面積ボン

50

ディングよりも大きくなり、温度変化によるボンディング部の破損がより一層生じやすくなる。

【0014】

さらにガラス基板とシリコン基板間の間隔は、スイッチの 32×32 アレイ中の1024個のスイッチ素子全てにわたって、均一に保たれていることが望ましい。2枚の隣接する平板間の単位長あたりの流体抵抗は板間の間隔の3乗として変化するため、2枚の板間の間隔における小さな変化は流体抵抗の大きな変化を生み出すことになる。光学交差点スイッチアレイの場合、このような変化は、アレイ全体にわたる気泡制御パラメータにばらつきをもたらし、結果として動作に支障をきたし、より高コストの制御用電子部品を要することになる。このような問題は、ガラスとシリコン間の間隔を一定に保持することができれば回避することができる。ガラスとシリコンが外周ボンディングにより接合され、温度に対して異なる割合で収縮した場合、ガラスとシリコンとの間の間隔に温度依存性及び位置依存性の変化が生じることになる。

10

【0015】

しかしながら、ガラスとシリコンが温度変化に対して同じ割合で横方向（ガラス及びシリコンの平坦面に対して平行方向）に収縮する平坦面を有する場合、垂直方向（ガラス及びシリコンの平坦面に直交する方向）の間隔は温度が変わっても一定に保たれる。

【0016】

したがって光学交差点スイッチアレイは、ガラス及びシリコン部品が実質的に平坦で、かつ互いに対して平行であり、ガラス基板上の造作と対応するシリコン上の造作とが、長期にわたって、かつ広い温度範囲にわたって横方向、縦方向どちらにもよく整合していることが望ましい。さらにこのような利点をガラスとシリコン間に必要とされるボンディング面積を最小限に抑えつつ得ることが望ましい。

20

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、異なる熱膨張係数を有する材料間の低応力界面とその製造方法を提供することを課題とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明は、第一の材料と、それとは異なる熱膨張係数（TCE）を備える第二の材料との間に低応力の界面を構成するための方法であると概念化することができる。この方法は、第一の材料を含む第一の層と、別の材料からなる第二の層を含み、それらの層の間に挟まれた第三の材料からなる層を備える積層構造を形成するステップと、この積層構造が、実質的に平坦な表面と、ある横方向の熱膨張係数（TCE）を備え、実質的に平坦な表面及び積層構造のTCEと同様の横方向の熱膨張係数を備える第二の材料にこの積層構造を接合して低応力界面を形成するステップと、からなる。

30

【0019】

構造的には、本発明は、第一の材料と、これとは異なる熱膨張係数（TCE）を備える第二の材料との間の低応力界面を提供する。本発明は、第一の材料からなる第一の層と、別の材料からなる第二の層を含み、それらの層の間に挟まれた第三の材料からなる層を備える積層構造と、この積層構造が、実質的に平坦な表面と、ある横方向の熱膨張係数（TCE）を備えることと、この積層構造に接合して界面を形成する第二の材料と、この第二の材料が、実質的に平坦な表面と、積層構造と同様の横方向のTCEを備えることと、からなる。

40

【0020】

本発明には様々な利点があるが、以下にその中の少数を単なる例として説明する。

【0021】

本発明の利点の一つは、光学交差点スイッチを異なる熱膨張係数を備える材料を利用して容易に製造できるところにある。

【0022】

50

本発明の他の利点は、光学交差点スイッチを光ファイバコネクタへと容易に接続できるところにある。

【 0 0 2 3 】

本発明のさらなる利点は、光学交差点スイッチの素子を同様の熱膨張係数を持つ材料を用いて製造できるところにある。

【 0 0 2 4 】

本発明の他の特徴及び利点は、添付図を参照しつつ以下の詳細な説明を読むことにより当業者に明らかとなる。本発明の範囲はこれらのさらなる特徴及び利点を包含することを意図したものである。

【 0 0 2 5 】

【発明の実施の形態】

以下の添付図を参照することで、特許請求の範囲に画定される本発明をより深く理解することができる。図中の要素は必ずしも正確な相対的寸法で描かれたものではなく、本発明の原理をわかり易く説明することに重点を置いて描かれたものである。

【 0 0 2 6 】

本発明は、異なる熱膨張係数を備える材料間の低応力界面及びその製造方法を提供する。

【 0 0 2 7 】

本発明は、異なる熱膨張係数を備える材料から製造される2つの部分を利用し、これら2つの部分の各々は、温度変化に際してそりを生じることなく平らなまま維持されるように、そしてこれら2つの部分の平坦な主面に平行な横方向における熱膨張係数が実質的に同じとなるように設計、製作される。これら2つの部分が互いに対して隣接して配置され、共にボンディングされると、これらの熱膨張係数によってそれらの間のボンディング部にはわずかな応力がかかる。この部分の平坦面に対して垂直な方向においては、各部分の熱膨張率は著しく異なる場合もあるが、しかしこの差異によって2つの部分間の界面に応力がかかることは無い。2つの部分間の界面に間隔が設けられている場合、このギャップは、2つの部分の横方向の熱膨張率が一致しているために、温度変化を経ても、一定に保たれる。

【 0 0 2 8 】

本発明は、一方の部分をバイメタル効果によるそりを呈することのない単一材料構造として、又は3層複合構造として形成することによって、温度変化に際して平らであることが維持されるように、2つの部分のそれぞれを設計し製造することを含む。各部分は、その横方向の熱膨張率が他方の部分に一致するように設計、製造される。その後2つの部分は並列配置され、所望であれば部分間の界面面積のうち、わずかな領域を接着層によりボンディングする。幾つかの用途においては、例えば一方の部分が使い捨ての試験用ユニットであり、他方の部分が試験装置設備の装備部材である場合、2つの部分の接合は一時的なものであることもあり、この場合においては2つの部分間にボンディングは必要とされない。光学交差点スイッチアレイのような他の用途では、恒久的なボンディングが望ましい。

【 0 0 2 9 】

図2は、本発明に基づく低応力インターフェースを利用して構成したマイクロシステム100の第一の実施例を示す断面概略図である。

【 0 0 3 0 】

一般的に2つの部分の各々は、以下のように形成された三層複合構造の平坦な基板である。低TCEの第一の材料「A」104aを、より高いTCEを備える第二の材料「B」106aへとボンディングしたい場合、材料「A」からなる第一の層104a及び104bは、高いTCEを備える材料「C」からなる第三の層107の両面へとボンディングされる。これにより複合層、すなわち積層構造体A / C / A 101が形成される。層104aの表面121は実質的に平坦である。この複合層A / C / A 101の横方向のTCEは、材料「A」のTCEよりも高い(すなわち層104a及び104bのみのTCEよりは高い)が、材料「B」106aのTCE以下である。横方向のTCEとは、層の主面に平行な方向のTCEとして画定され、一般的に矢印115によって示されるTCE

10

20

30

40

50

のことを言う。複合層 A / C / A 101は対称であるために、温度変化の間も層101を通じての温度が均一である限りは、そりを生じることはない。材料「C」のTCEは、材料「A」のTCEとは異なり、材料「B」のTCE側にある。すなわち材料「A」のTCEの値を基準とすると、材料「B」及び「C」のTCEの値は同じ側にある。引き続き図2を参照すると、第二の材料「B」からなる層106a及び106bは、第四の材料「D」からなる層108の両側にボンディングされている。層108としては、例えばフィラデルフィア州レディング市のCarpenter Technology Corp.が販売する「スーパーインバー (Super Invar)」を利用可能である。スーパーインバーは低いTCEを備え、サンドイッチ構造、すなわち積層構造 B / D / B 102を形成するために利用される。複合層 B / D / B の横方向のTCEは、第二の材料「B」106a及び106bのみのTCEよりは低い、第一の材料「A」104a及び104bのTCEとは同
10
等か、又はこれより高い。層106aの表面122は、層104aの表面121と同様に実質的に平坦である。ここでもその対称性により、複合層 B / D / B 102は、温度が層を通じて均一である限りは温度変化に対してそりを生じることはない。

【0031】

複合層 A / C / A 101及び B / D / B 102各々の横方向のTCEは、他方の複合層と一致するように選択されるが、これは単に材料「C」及び「D」からなる層の厚みを変えることにより、材料「A」のTCEから材料「B」のTCEまでの広い範囲にわたって変化させることができる。例えば材料「D」からなる層が非常に薄く、材料「C」からなる層が非常に厚い場合、各複合層の横方向のTCEは材料「B」のTCEに近づくことになる。

【0032】

実際ある場合においては、材料「C」の層を厚くする一方で、材料「D」の層の厚みを零に近づけること又は零とすることができる。このような場合、複合層 B / D / B 102は材料Bからなる単一層とすることができる。この場合については、図4及び図5を参照しつつ後に説明する。同様に、材料「D」の層を厚くする一方で、材料「C」の層の厚みを零に近づけること又は零とすることができる。このような場合、複合層 A / C / A 101は材料「A」からなる単一層とすることができる。通常、これら2つの場合は工学的に最適な状態から程遠く、デバイスの合計の厚みが所望の厚みより大きく、そしていずれか一方の複合層にかかる界面応力が所望の値よりも大きくなってしまう結果となる。

【0033】

しかしながら、これら2つの場合は本発明の範囲に含まれる。これら2つの場合によれば、複合層 A / C / A 101の概念には、材料「A」からなる単一材料層が含まれ、そして複合層 B / D / B 102の概念には、材料「B」からなる単一材料層が含まれるものと考えられる。
20
30

【0034】

さらに本発明の概念をよりわかり易く説明するために、上記に説明した構造は、各々が同じ材料を外側層とした2つのサンドイッチ構造 A / C / A 101及び B / D / B 102として取り扱う。つまり材料「A」からなる2つの層がサンドイッチ構造 A / C / A 101の外側層を形成し、材料「B」からなる2つの層がサンドイッチ構造 B / D / B 102の外側層を形成する。しかしながら、サンドイッチ構造各々の外側層を必ずしも同じ材料から構成する必要は無い。サンドイッチ構造の2つの外側層の各々の熱膨張係数は、実質的に等しく
40
なければならぬ。例えば材料「A」のTCEに実質的に等しいTCEを有しているが、弾性計数は材料「A」よりも低い材料「E」(図示せず)の場合を考える。サンドイッチ構造 E / C / A (図示せず)は、材料「E」の層を材料「A」の層よりも厚く構成することができるが、このサンドイッチ構造は温度変化によるそりを生じること無く、このサンドイッチ構造 E / C / A の横方向の熱膨張係数はサンドイッチ構造 B / D / B 102の横方向の熱膨張係数と一致する。

【0035】

さらに温度勾配がある場合、そりを回避し、かつ所望の横方向の熱膨張係数を維持するために、材料「E」のTCEが材料「A」のTCEに実質上等しくなければならぬという条件から離れた方が望ましい場合もある。このような変更は本発明の範囲から予想されるもので
50

あり、本発明の範囲内に含まれる。

【0036】

同様に、材料「B」のTCEに実質的に等しいTCEを有するが、その弾性係数は材料「B」よりも大きい材料「F」（図示せず）を検討する。サンドイッチ構造B/D/F（図示せず）は、材料「F」の層を材料「B」の層よりも厚く構成しても、このサンドイッチ構造は温度変化によるそりは生じず、このサンドイッチ構造B/D/Fの横方向のTCEはサンドイッチ構造A/C/A 101の横方向のTCEと一致する。

【0037】

材料及びその厚みの選択を、以下に詳細を説明する手順にしたがって行えば、2つの複合層A/C/A 101及びB/D/B 102の横方向のTCEは等しくなる。2つの複合層101及び102が組み合わされてA/C/A : B/D/Bの構造（ここでコロン「:」は2つの複合層間の界面を表す記号とする）を備えるマイクロシステム100が形成されると、界面領域A : B 118の横方向の応力及び曲げ応力は最良の場合で零となる。

10

【0038】

材料及びそれらの厚みを選択する手順は以下の通りである。第一の材料「A」104a、104bが TCE_A で示される低いTCEを備え、第二の材料「B」106a、106bが TCE_B で示される高いTCEを備える場合、第三の材料「C」は TCE_A よりも高い TCE_C を備えるものでなければならない。第四の材料「D」108は TCE_B よりも低く、さらに TCE_C よりも低い TCE_D を備えるものでなければならない。4つの材料はそれぞれ弾性係数 E_A 、 E_B 、 E_C 、 E_D と、層厚 t_A 、 t_B 、 t_C 、 t_D を有する。始めに t_A 及び t_B を選択すれば、 t_C 及び t_D を計算することができる。

20

【0039】

材料は以下の表1から選ぶものとする。

【0040】

【表1】

4つの選択される材料の性質

材料	構成要素	TCE (ppm/°C)	弾性率 (GPa)	厚み (mm)
A	石英ガラス	0.55	72.4	1.0
B	シリコン	2.6	170	0.5
C	コーニング TM 7740 ガラス (パイレックス TM)	3.5	62.7	計算される 厚み
D	スーパーインバー	0.4	141.3	計算される 厚み

【0041】

一次近似法として4材料全てのTCE、弾性係数及び厚みは温度に対して一定であるものとし、それらの材料の横方向の寸法が温度により変化するものとする。

【0042】

複合層 A / C / A 101は、第三の材料「C」107と第一の材料「A」の2つの層104a及び104bとの間の界面119a及び119bに、透明なUV硬化性接着剤109（例えばNorland Products, Inc.の“Norland Optical Adhesive61”のような接着剤）によって貼り合わせることができる。この接着剤は - 150 から125 までの温度に耐え、3000 psi 20 Mpaの引張強度（せん断強度のデータは無い）を有する。この接着剤を温度 $T_{Hi} = 30$ で硬化し、サンドイッチ構造 A / C / A 101の温度を $T_{Low} = - 40$ まで冷却するものとする。複合層 A / C / A 101は、この温度範囲全体にわたって平坦に保たれ、この温度範囲にわたる熱膨張率は複合層 B / D / B 102の熱膨張率に一致する。

【0043】

図3は、熱応力下にある図2のマイクロシステム100の断面概略図である。複合層 A /

10

20

30

40

50

C / A 101及び複合層 B / D / B 102の両方の横方向のTCEは、第一の材料「A」104aのTCE 0.55 ppm / と第二の材料「B」106aのTCE 2.6 ppm / の中間にあることが望ましい。したがって望ましいTCE値は、 $TCE_{A/C/A} = TCE_{B/D/B} = (0.55 + 2.6) / 2 \text{ ppm} / = 1.575 \text{ ppm} /$ である。

【0044】

複合層 A / C / A 101の温度が変化すると、第三の材料「C」107からなる内側層 ($TCE_C > TCE_A$) は相対的に大きい収縮量で縮もうとするが、その横方向の寸法変化は第一の材料「A」からなる外側層104a及び104bにより抑制される。同様に、第一の材料「A」からなる層104a及び104bは相対的に小さい収縮量で縮もうとするが、その横方向の寸法変化は第三の材料「C」からなる内側層107から加わる力により大きくなる。各層をその自由状態から抑制状態へと抑えるために要する力は、第三の材料「C」の層107と材料「A」の2つの層104a及び104bそれぞれとの間の2つの界面119a及び119bにおけるせん断応力として生じる。

10

【0045】

第一の材料「A」の外側層104a及び104bが生じる単位温度変化あたりの横方向の力を計算することができる。その後この力と、第三の材料「C」の層107によって生じる、単位温度変化あたり、単位幅あたりの反対に作用する横方向の力とのバランスを取り、この力を発生するために必要な層「C」107の厚みが以下の通りに計算される。

【0046】

第一の材料「A」が抑制されない場合、この材料は温度の増加と共に以下のように膨張する；

20

$$L_{A2} / L_{A/C/A,1} = [1 + (T_{Hi} - T_{Low}) \times TCE_A] \quad \text{式 1}$$

ここでLは材料の対象となる部分の長さであり、Tは温度である。

【0047】

これが抑制状態の場合、層 A / C / A 101は温度の増加と共に以下のように膨張する；

$$L_{A/C/A,2} / L_{A/C/A,1} = [1 + (T_{Hi} - T_{Low}) \times TCE_{A/C/A}] \quad \text{式 2}$$

すると自由状態における長さと抑制状態における長さの違いは以下により求められる；

$$\begin{aligned} \Delta L_A / L_{A/C/A,1} &= (L_{A2} - L_{A/C/A,2}) / L_{A/C/A,1} \\ &= (T_{Hi} - T_{Low}) \times (TCE_A - TCE_{A/C/A}) \end{aligned} \quad \text{式 3}$$

30

同様に、第三の材料「C」の場合は以下の通りである；

$$\begin{aligned} \Delta L_C / L_{C1} &= (L_{C2} - L_{A/C/A,2}) / L_{A/C/A,1} \\ &= (T_{Hi} - T_{Low}) \times (TCE_C - TCE_{A/C/A}) \end{aligned} \quad \text{式 4}$$

せん断応力は以下のばねの方程式を用いて計算することができる；

$$F = -k \times x \quad \text{式 5}$$

ここで、Fはばねにより生じる力（例えばN（ニュートン）単位で示される力）であり、kはばね定数（例えばN / m（メートルあたりのニュートン）単位）、そしてxは変位（例えばm（メートル）単位）である。マイナス記号はその力が変位に抗して作用し、ばねが伸びた位置から元に戻ろうとする傾向があることを示す。

40

【0048】

第三の材料「C」の層107は、 $TCE_C = 3.5 \text{ ppm} /$ であり、 $TCE_A = 0.55 \text{ ppm} /$ を備える第一の材料「A」の外側層104a及び104bよりも大幅に縮もうとする。したがって幅wのサンドイッチ構造 A / C / A 101のはんだ界面におけるばね力は以下の通りである；

$$F = -k_A \times L \quad \text{式 6}$$

ばね定数 k_A は以下により求められる；

$$k_A = (E_A \times w \times t_A) / L_A \quad \text{式 7}$$

第三の材料「C」の層107が、第一の材料「A」の2層104a及び104bの力と変位に、温度範囲全体にわたって抗するには、以下により求められるばね定数 $k_C = k_A$ を備えていなければならない；

50

$$k_c = (E_c \times w \times t_c / 2) / L_c \quad \text{式 8}$$

ここで第三の材料「C」の層107は第一の材料「A」の2つの外側層104a及び104bからの作用を受けるため、式8においては、その厚みが2で割られている。

【0049】

式7及び式8の右辺の項を等しくし、式3及び式4から L_A 及び L_C に関する式を挿入することにより、第三の材料「C」の層107の厚み t_c に対する解が得られる。上記の表1で与えられた値に対して得られる値は $t_c = 1.23 \text{ mm}$ となる。

【0050】

さらに図3を参照しつつ説明を続けると、複合層B/D/B 102の接着を、 $T = 179$ で凝固し、7540 psi 52 Mpaのせん断強度を備えるはんだ111（例えば米国のIndium Corporationから市販されるIndalloy Sn62のようなはんだ）によって行うものとする。所望の横方向の熱膨張係数 $TCE_{B/D/B} = 1.575 \text{ ppm/}$ を得るために必要なスーパーインバーの層108の厚みは、上記と同様の方法で計算することができ、その値は $t_D = 0.68 \text{ mm}$ である。

【0051】

その後2つの複合層A/C/A 101及びB/D/B 102を、はんだ112（例えば凝固温度 $T = 70$ 、せん断強度300 psi 2.1 MpaのIndalloy158のようなはんだ）を利用してボンディングし、マイクロシステム100を形成することができる。第三の材料「C」の層107及び第四の材料「D」の層108の厚みが正しく選択されると、温度変化に対して、このより弱いはんだにかかる応力は基本的に零となる。

【0052】

代表的なマイクロシステムにおいては、複合層A/C/A 101及びB/D/B 102間のギャップ118は非常に小さく、代表的には数 μm 程度しかない。32×32光学交差点スイッチにおいては、ギャップの大きさは1~10 μm である。また他のマイクロシステムにおいては、ギャップを0.1 μm とごく小さくしたり、又は100 μm まで大きくしたりすることもできる。このようなギャップは全て本発明の範囲内に入るものである。

【0053】

本発明を採用したマイクロシステムの横方向の寸法は、代表的には数mm~数十mmの範囲にある。例えば32×32光学交差点スイッチにおいては、光学導波路は中心間が250 μm の間隔で並び、この結果32×250 $\mu\text{m} = 8000 \text{ } \mu\text{m} = 8 \text{ mm}$ の横寸法を持っている。さらにより小さな横寸法を備えるマイクロシステムにおいては、バイメタル効果が許容される場合も多いが、このようなマイクロシステムにおいても複合層間のギャップが小さい場合には、本発明の効果が顕著に示される。

【0054】

上述のマイクロシステムは互いにボンディングすることを前提に説明したが、試験や確認操作を行う場合のように、2つの複合層A/C/A 101及びB/D/B 102を恒久的に接合しないことが望ましい状況もあり得る。

【0055】

複合層A/C/A 101及びB/D/B 102を互いに封止し、それらの間にハーメチックシールチャンバを形成する場合、大気圧変化又は意図的に加えた圧力変化が、複合層間のギャップを圧力にともなって変化させてしまう可能性がある。このような場合、ギャップ118の内部に支柱（図示せず）を組み込むことが望ましい。このような支柱も本発明の範囲から外れるものではない。

【0056】

図4は、本発明に基づいて構成されたマイクロシステム200の第二の実施例の断面概略図である。

【0057】

マイクロシステム200は平坦基板201及び202を含む。平坦基板201は、図2に関連して上述した複合層101と同様のものであり、ここではその詳細説明を省く。複合層101中の要素と同様の複合層201中の要素は、図2においては1から始まった符合を、図4においては2から始まる同様の符号により示した。例えば、図4の複合層201は図2の複合層101に対応

する。

【 0 0 5 8 】

図 2 に関して記述された点と異なる点は、好ましくは平坦基板202が複合層201のTCEと同様のTCEを備える材料からなる単一層である点である。複合層201は、図 2 のはんだ接合部112に関して説明した方法と類似の方法で、平坦基板202にはんだ接合部212を介して接合されている。

【 0 0 5 9 】

複合層 A / C / A 201の横方向TCEは、材料「 A 」のTCE (すなわち204a及び204b自体のTCE) よりも高く、平坦基板202を構成する材料のTCEに等しい。その対称性により、複合層 A / C / A 201は温度変化を経ても、層201を介しての温度が均一である限り、そりや歪を生じない。

10

【 0 0 6 0 】

図 5 は、熱応力下にある図 4 のマイクロシステム200の断面概略図を示す。複合層 A / C / A 201の温度が変化するにしたがい、 $TCE_C > TCE_A$ である第三の材料「 C 」207の内側層は相対的に大きな収縮量で縮もうとする。しかしながら第一の材料「 A 」の外側層204a及び204bにより、横方向の寸法変化が抑制される。同様に、第一の材料「 A 」の層204a及び204bは相対的に小さな収縮量で縮もうとするが、これらの横方向の寸法変化は、第三の材料「 C 」207の内側層から加わる力によって増大する。各層をその自由状態から抑制状態へと抑えるために必要な力は、第三の材料「 C 」の層207と、第一の材料「 A 」の2つの層204a及び204bのそれぞれとの間にある2つの界面219a及び219bにおけるせん断応力として生じる。

20

【 0 0 6 1 】

複合層201の単位温度変化あたりの横方向の力は、図 2 の複合層101について計算されたのと同様の方法で算出することができ、したがってここでは繰り返しの説明を省く。

【 0 0 6 2 】

本発明によれば、複合層 A / C / A 201のTCEは平坦基板202のTCEにほぼ一致し、その結果複合層201及び平坦基板202間の界面218は、上述の温度変化範囲全体にわたって一定に保たれる。

【 0 0 6 3 】

上記に挙げたような本発明の好適な実施例には、本発明の原理から実質上逸脱することなく、多くの変更及び変化を加えることができることは当業者に明らかである。例えば上述の計算式及びそれらから算出された数値は、単に一次近似法によるものでしかない。さらに図 4 及び図 5 においては複合層 A / C / A をもう一方の単層の平坦基板へと接合することについて説明したが、本発明によれば複合層 B / D / B をもう他の単層の平坦基板へと接合することも企図し得る。さらにまた、複合層に当業者に周知の様々な接着強化層を加えたとしても本発明の範囲を外れることはなく、上記の実施例で採用した方法を拡大して3層を超える層からなる複合層に適用することも可能である。特許請求の範囲に画定される本発明の範囲は、これらのような変更形態及び変化形態を全て包含することを意図したものである。

30

【 0 0 6 4 】

以下においては、本発明の種々の構成要件の組み合わせからなる例示的な実施態様を示す。

40

【 0 0 6 5 】

1 . 異なる熱膨張係数 (TCE) を有する第一の材料 (104a) と第二の材料 (106a) との間に低応力界面を作るための方法であって ;
前記第一の材料からなる第一の層 (104a) と、別の材料からなる第二の層 (104b) とを含み、それらの層の間に挟まれた第三の材料 (107) からなる層 (107) を有する積層構造 (101) を形成するステップと、この積層構造 (101) が、実質的に平坦な表面 (121) と、ある横方向の熱膨張係数 (TCE) を備え、
実質的に平坦な表面 (122) を有し、前記積層構造 (101) の前記横方向のTCEと同様のTCE

50

を備える第二の材料（106a）と前記積層構造（101）を接合して、前記低応力界面（118）を形成するステップとからなる方法。

【0066】

2．前記第三の材料（107）のTCEが、前記第一の材料（104a）のTCEとは異なり、前記第二の材料（106a）のTCE側にあり、それによって前記積層構造（101）が温度変化に際して実質的にそりを生じない、1項に記載の方法。

【0067】

3．前記第二の材料（106a）の前記実質的に平坦な表面（122）に平行な横方向（115）における前記第二の材料（106a）の熱膨張が、前記積層構造（101）の前記実質的に平坦な表面（121）に平行な前記横方向（115）における前記積層構造（101）の熱膨張と実質的に等しく、それによって前記第二の材料（106a）が、温度変化に際して実質的にそりを生じない、1項に記載の方法。

10

【0068】

4．前記第二の材料（106a）がさらに積層構造（102）からなり、この積層構造（102）を形成する方法が、

前記第二の材料（106a）からなる第一の層（106a）を形成するステップと、この第二の材料（106a）からなる第一の層が実質的に平坦な表面（122）を備え、

第四の材料（108）からなる層（108）を形成するステップと、

前記第二の材料（106b）からなる第二の層（106b）を形成するステップとを含み、前記第四の材料（108）のTCEが、前記第二の材料（106a）のTCEとは異なり、前記第一の材料（104a）のTCE側にある、1項に記載の方法。

20

【0069】

5．前記接合するステップが、前記積層構造（101）の前記実質的に平坦な表面（121）を前記第二の材料（106a）の前記実質的に平坦な表面（112）にはんだ付けするステップを含む、1項に記載の方法。

【0070】

6．異なる熱膨張係数（TCE）を備える第一の材料（104a）と第二の材料（106a）との間の低応力界面（118）であって、

前記第一の材料からなる第一の層（104a）と別の材料からなる第二の層（104b）を含み、それらの層の間に挟まれた第三の材料（107）からなる層（107）を備える積層構造（101）と、この積層構造（101）が、実質的に平坦な表面（121）と、ある横方向の熱膨張係数（TCE）を備えることと、

30

前記積層構造（101）に接合されて前記界面（118）を形成する第二の材料（106a）と、この第二の材料（106a）が、実質的に平坦な表面（122）及び、前記積層構造（101）のTCEと同様のTCEを備えることとからなる低応力界面。

【0071】

7．前記第三の材料（107）のTCEが、前記第一の材料（104a）のTCEと異なり、前記第二の材料（106a）のTCE側にある、6項に記載の低応力界面。

【0072】

8．前記第二の材料（106a）の前記実質的に平坦な表面（122）に平行な横方向（115）における前記第二の材料（106a）の熱膨張が、前記積層構造（101）の前記実質的に平坦な表面（121）に平行な前記横方向（115）における前記積層構造（101）の熱膨張と実質的に等しい、6項に記載の低応力界面。

40

【0073】

9．前記第二の材料（106a）が、さらに積層構造（102）からなり、この積層構造（102）が、

前記第二の材料（106a）からなる第一の層（106a）と、前記第二の材料（106a）が実質的に平坦な表面（122）を備えることと、

第四の材料（108）からなる層（108）と、

前記第二の材料（106b）からなる第二の層（106b）とを含み、前記第四の材料（108）のT

50

CEが、前記第二の材料（106b）のTCEと異なり、前記第一の材料（104a）のTCE側にある、6項に記載の低応力界面。

【0074】

10．前記積層構造（101）と前記第二の材料（106a）が、はんだ接続（112）により接合されている、6項に記載の低応力界面。

【0075】

【発明の効果】

本発明は、異なる熱膨張係数を備える材料間の低応力界面（118）及びその製造方法に関する。この低応力界面（118）は積層構造の層（101）を利用し、この積層構造の層（101）は、それに接合される材料の他の層（106a）の熱膨張係数（TCE）に一致する、横方向のTCEを備える。接合される材料（106a）のTCEと同様の横方向のTCEを備える積層材料（101）を利用することによって、相互間の界面（118）における2つの材料の横方向の熱膨張を等しくすることができ、2つの材料を接合する材料（112）に加わる応力を最小化することができる。さらに積層構造（101）に接合される材料の層を積層構造（102）とすることもできる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】図1Aは、従来型のマイクロシステムを示す断面概略図である。図1Bは、図1Aのマイクロシステムを室温まで冷却した後の状態を示す断面概略図である。図1Cは、図1A及び図1Bのマイクロシステムにおいて、ガラス部分とシリコン部分の間を接続するのに使用される、はんだ接合部をより小さくした場合を示す断面概略図である。

20

【図2】本発明に基づき、低応力界面を利用して構築されたマイクロシステムの第一の実施例を示す断面概略図である。

【図3】図2のマイクロシステムに熱応力を負荷した状態を示す断面概略図である。

【図4】本発明に基づいて構築されたマイクロシステムの第二の実施例を示す断面概略図である。

【図5】図4のマイクロシステムに熱応力を負荷した状態を示す断面概略図である。

【符号の説明】

101：積層構造

102：積層構造

104：第一の材料

106：第二の材料

107：第三の材料

108：第四の材料

112：接合部

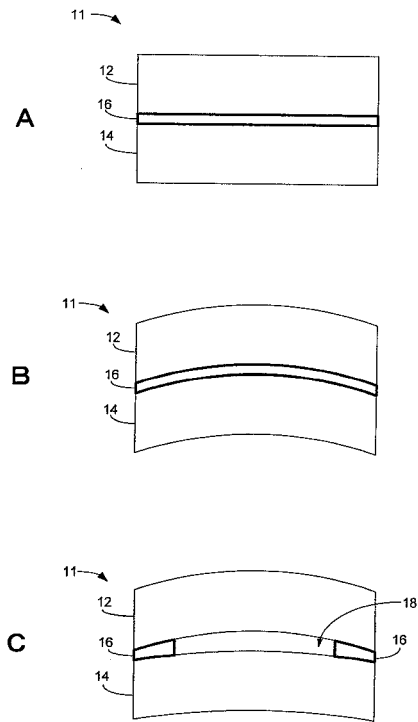
118：低応力界面

121：積層構造101の平坦な表面

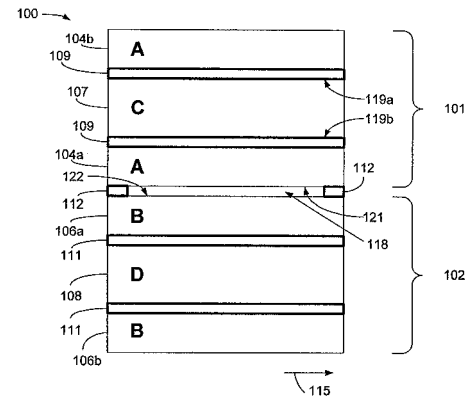
122：積層構造102の平坦な表面

30

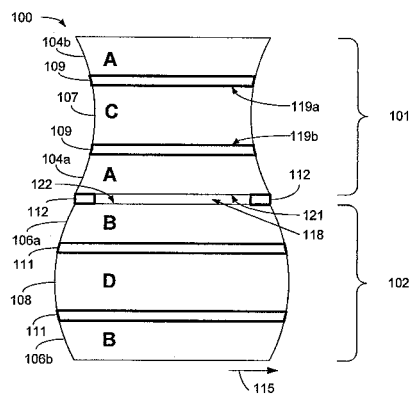
【図 1】



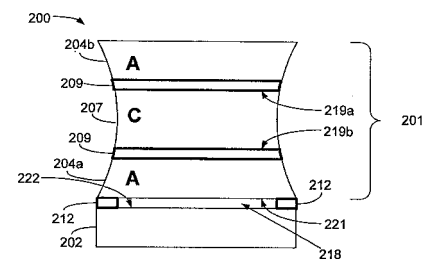
【図 2】



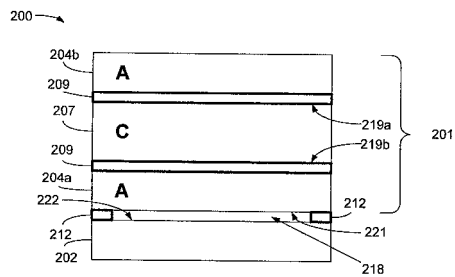
【図 3】



【図 5】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 フィリップ・ダブリュー・パース
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 2 8 , ポートラバレイ , ウェイサイド・ロード・ 8 1 1

合議体

審判長 豊原 邦雄

審判官 菅澤 洋二

審判官 刈間 宏信

(56)参考文献 特開平 (J P , A) 3 - 1 1 2 6 3 8
特開平 (J P , A) 8 - 2 5 5 8 8 7

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B81C 3/00

B81B 1/00

B32B 7/00