

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4501008号
(P4501008)

(45) 発行日 平成22年7月14日(2010.7.14)

(24) 登録日 平成22年4月30日(2010.4.30)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 3/32 (2006.01) GO 1 N 3/32 K

請求項の数 4 (全 10 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-903 (P2007-903) (22) 出願日 平成19年1月9日(2007.1.9) (65) 公開番号 特開2008-170160 (P2008-170160A) (43) 公開日 平成20年7月24日(2008.7.24) 審査請求日 平成21年11月6日(2009.11.6)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 504139662 国立大学法人名古屋大学 愛知県名古屋市千種区不老町1番</p> <p>(72) 発明者 佐藤 一雄 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大 学法人名古屋大学内</p> <p>(72) 発明者 安藤 妙子 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大 学法人名古屋大学内</p> <p>審査官 高橋 亨</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 曲げ疲労検出用試験体並びに曲げ疲労試験方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マイクロ材料の曲げに対する疲労を試験する曲げ疲労検出用試験体において、
 前記マイクロ材料からなる膜を備える基板と、
 前記マイクロ材料からなる膜が加工されることで、先端側が自由端となる片持ち梁形状の試験片と、
 前記マイクロ材料及び前記基板が加工されることで形成される、前記試験片の先端部に当接可能な当接部と、
 前記曲げに対する疲労を試験する際に、前記曲げ疲労検出用試験体を固定するための固定部と、
 前記疲労の試験を行うため、前記試験片の先端部及び前記当接部の間で相対的変位を付与するための変位付与部とを有することを特徴とする曲げ疲労検出用試験体。

【請求項2】

請求項1に記載の曲げ疲労検出用試験体において、
 前記試験片は、シリコン基板上に成膜された膜から形成されていることを特徴とする曲げ疲労検出用試験体。

【請求項3】

請求項1または2に記載の曲げ疲労検出用試験体において、
 前記試験片に生じる状態の変化を電氣的に検出する測定部を備えることを特徴とする曲げ疲労検出用試験体。

【請求項 4】

請求項1または2に記載の曲げ疲労検出用試験体を用いて試験する曲げ疲労試験方法において、

固定部で固定した状態で、変位付与部に変位を付与させることで、片持ち梁形状の試験片の先端部を当接部に対し当接させ、片持ち梁形状の試験片に曲げ変形を誘起することを特徴とする曲げ疲労試験方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロ材料の曲げ疲労検出用試験体、および、その曲げ疲労検出用試験体を用いた曲げ疲労試験方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

現在、半導体の微細加工技術を応用発展させたマイクロマシニングにより、マイクロマシンあるいはMEMSの開発・生産が進んでいる。マイクロマシンでは、マイクロ・ナノメートル寸法の片持ち梁、ブリッジ、メンブレン等の構造体が形成され、これら構造体の変形を積極的に利用するセンサやアクチュエータと、この変形を制御あるいは検出するための電気回路素子が同一デバイス上に集積されるマイクロマシンデバイスが多い。

【0003】

これにより、シリコンやシリコン化合物、あるいは基板上に成膜された金属や有機膜など、これまで機械的要素として用いられた実績のない材料がマイクロマシンデバイスの構造部材として用いられ、その構造部材の変形や運動がデバイスの機能を決定づける。また、変形による破壊や繰り返し荷重による疲労などはデバイスの信頼性に影響を及ぼす。特にデバイスの商業化に当たっては高い信頼性が要求され、前記構造体の劣化に伴うデバイス機能の低下を回避するためにも、この構造体の疲労現象を明らかにする必要がある。

20

【0004】

従来、機械的な疲労試験には、三点曲げや四点曲げなどの曲げ試験を利用したものが用いられてきた。これを応用したマイクロ材料の疲労試験方法として、片持ち梁形状の微小試験片を作製し、この試験片の自由端に繰り返し荷重を印加して疲労寿命を測定する方法がある。例えば、特許文献1では、マイクロスケールの片持ち梁が重力の影響で変形することを回避する目的で、縦置きにして固定する疲労試験装置が開示されている。また特許文献2の発明は、作製した片持ち梁に圧縮 - 引張の応力を交互に作用させることができる試験装置である。

30

【特許文献1】特開2005 249590号公報

【特許文献2】特開2005 37361号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、試験装置に対して対象とするマイクロ材料は非常に小さく、試験片を試験装置に取り付けるときの誤差、あるいは繰り返し負荷における荷重点位置のずれなどは、試験片が小さくなるとともに相対的に大きくなる。生じた微小な変位や印加される曲げ応力を高精度に測定するためには、荷重を正確に同じ位置に印加し、この状態を維持し続けることが好ましい。一方、微小な試験片の固定方法には一般的に機械的に把持する手法が用いられるが、対象がマイクロ材料では適用が困難であり、また長時間に及ぶ疲労試験では同条件の把持状態を保証することは難しい。

40

【0006】

本発明は、マイクロ材料の曲げ疲労試験における不確かさの要因となる位置合わせ等を必要としない、高精度で信頼性の高い曲げ疲労検出用試験体を提供することを目的とし、さらに、この曲げ疲労検出用試験体を用いた、優れた試験方法を提供することを目的とする。

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明はかかる課題を解決するため、請求項1に記載の発明は、マイクロ材料の曲げに対する疲労を試験する曲げ疲労検出用試験体において、前記マイクロ材料からなる膜を備える基板と、前記マイクロ材料からなる膜が加工されることで、先端側が自由端となる片持ち梁形状の試験片と、前記マイクロ材料及び前記基板が加工されることで形成される、前記試験片の先端部に当接可能な当接部と、前記曲げに対する疲労を試験する際に、前記曲げ疲労検出用試験体を固定するための固定部と、前記疲労の試験を行うため、前記試験片の先端部及び前記当接部の間で相対的変位を付与するための変位付与部とを有することを特徴とする。

10

このような曲げ疲労検出用試験体の場合、曲げ疲労検出用試験体を固定部で固定した状態で、変位付与部に変位を付与させることで、片持ち梁形状の試験片の先端部を当接部に対し当接させ、試験片に曲げ変形を誘起させる。これにより、試験片が曲げ状態となる疲労試験が行われることになるが、この曲げ疲労検出用試験体では、従来のマイクロ材料の曲げ疲労試験における不確かさの要因となる位置合わせ等が不要になる。

【0008】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の曲げ疲労検出用試験体において、前記試験片は、シリコン基板上に成膜された膜から形成されている。これにより、シリコン基板上に成膜された膜の疲労試験が可能となる。

【0009】

請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の曲げ疲労検出用試験体において、前記試験片に生じる状態の変化を電気的に検出する測定部を備える。

20

【0010】

請求項4に記載の発明は、請求項1または2に記載の曲げ疲労検出用試験体を用いて試験する曲げ疲労試験方法において、

曲げ疲労検出用試験体を固定部で固定した状態で、変位付与部に変位を付与させることで、片持ち梁形状の試験片の先端部を当接部に対し当接させ、片持ち梁形状の試験片に曲げ変形を誘起することを特徴とする曲げ疲労試験方法。

【発明の効果】

【0011】

本発明の曲げ疲労検出用試験体を用いる場合、マイクロ材料の曲げ疲労試験において、微小な試験片を直接取り扱うことがなく、試験片の一定位置に正確に荷重を負荷させることができ、従来のマイクロ材料の曲げ疲労試験における不確かさの要因となる位置合わせ等が不要になる。

30

そして本発明の曲げ疲労検出用試験体を用いる曲げ疲労試験において、微小な試験片の位置合わせ作業が省略されるため、煩雑な手順が減り、作業能率を上げることができる。また、従来の試験と異なり、微小な試験片を直接取り扱うことがないので、試験前における試験片の損傷を回避できる効果がある。

さらに、試験片の当接部が、曲げ疲労検出用試験体の内部に備えられているため、試験片に対し繰り返し負荷を与える場合において、常に試験片の正確な位置に荷重を負荷させることができる。

40

請求項3は発明では、試験片の表面に被試験材料が成膜され、電気的に検査する配線が形成されているので、外力の作用による配線の異常を容易に検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

図1は、本発明に係るマイクロ材料の曲げ疲労検出用試験体の構成を示す斜視図であり、図2は、図1の線分A-A'における断面図で、図2(a)は変形前、図2(b)は変形後の様子を表した図である。

曲げ疲労検出用試験体6は、片持ち梁形状の試験片1と、試験片1を保持する中央部材2と、中央部材2に連結される梁部材3と、梁部材3に連結される枠部材4と、試験片1

50

の先端側に位置する当接部 5 とを備えている。

この実施の形態の場合、試験片 1 は、曲げ疲労検出用試験体 6 の中央にあるブロック形状の中央部材 2 から左右に突き出るように最上層に配置されている。中央部材 2 は、4 本の梁部材 3 によって、中央部材 2 の外周に位置する枠部材 4 に連結されている。枠部材 4 は、左右の試験片 1 に対向する位置に当接部 5 を一対備えており、当接部 5 は初期段階で試験片 1 に曲げ荷重を与えないよう段差になっている。

図 2 に示すように試験片 1 は、基端部 7 において中央部材 2 に固定されている。当接部 5 は試験片 1 のやや下方に位置するように段差状になっており、試験片 1 と初期状態では接触していない。中央部材 2 が、試験片 1 に対し変位を付与するための変位付与部として機能し、また、枠部材 4 は、試験片 1 および中央部材 2 以外のマイクロ材料を固定するための固定部の一部として機能する。

10

そして、図 2 (b) に示すように、中央部材 2 が、矢印 8 の方向、枠部材 4 が矢印 9 の方向に相対的に変位すると、試験片 1 の先端部が、当接部 5 に対し相対的に上下方向に移動して当接する。この場合、対象に配置された 4 本の梁部材 3 がガイド部の役割を果たし、相対的な移動は精度の良いものとなる。

図 1 と図 2 に示すように 2 本の試験片 1 を中央部材 2 の対称な 2 箇所配置して対称形状とすることにより、一方が壊れるまで中央部材 2 は平衡が保たれた状態で移動する。そして、片持ち梁形状の試験片 1 の先端部を当接部 5 に対し当接させ、試験片 1 に曲げ変形を誘起させ、試験片 1 が曲げ状態となることで、疲労試験が行われる。

【 0 0 1 3 】

20

次に、試験材料として単結晶シリコンを用いる場合の、曲げ疲労検出用試験体 6 の製作工程例を、図 3 を用いて説明する。

曲げ疲労検出用試験体 6 のスタート材料として厚さが $350\ \mu\text{m}$ の単結晶シリコン基板 10 を用意する。さらに、試験材料となるマイクロ材料として、厚さが $10\ \mu\text{m}$ の単結晶シリコンの活性層 11 がシリコン酸化膜 12 によって結合された、SOI ウェハを用意する。活性層 11 にレジスト 13 を塗布し、フォトリソグラフィによりパターンニングを行う (図 3 (a) 参照) 。このレジスト 13 をマスク材料として、六フッ化硫黄ガスによる反応性イオンエッチングを活性層 11 に施し、試験片 1 や梁部材 4 の形状を決定する。その後マスク材料として利用したレジスト 13 をアセトンにより除去する (図 3 (b) 参照)

30

次に SOI ウェハを 1100°C で熱酸化し、全面にシリコン酸化膜 14 を形成し、フォトリソグラフィにより裏面をパターンニングする (図 3 (c) 参照) 。水酸化カリウム水溶液によりシリコン基板をエッチングし、残り $100\ \mu\text{m}$ 程度になったところで薬液を所定の水溶液に変更し、エッチングを続ける (図 3 (d) 参照) 。薬液を変更することにより、シリコン基板 10 と活性層 11 の間のシリコン酸化膜 12 までのエッチングを過不足なく、再現性の良い状態で行うことができる。最後にウェハの表面と試験片の下側にあるシリコン酸化膜 12、14 を、フッ酸とフッ化アンモニウムの混合液によるエッチングで除去することで、曲げ疲労検出用試験体 6 が完成する (図 3 (e) 参照) 。

このような方法で、マイクロ材料が加工されることで、先端側が自由端となる片持ち梁形状の試験片 1 が形成され、また、マイクロ材料及びシリコン基板 10 が加工されることで、試験片 1 の先端部に当接可能な当接部 5 が形成されることになる。

40

【 0 0 1 4 】

シリコン以外の材料を試験片とする場合には、シリコン基板を予め熱酸化して表面にシリコン酸化膜を形成した後、上面に試験材料となる膜を蒸着・スパッタ法などを施して形成する。形成した試験材料の加工は図 3 (a) ~ (b) と同じ工程、シリコン基板の加工は図 3 (c) ~ (d) と同じ工程で行うことができる。ただし図 3 (c) で全面に形成したシリコン酸化膜 14 は、シリコン窒化膜、金属膜、有機膜などで代用する。

このような試験体を使用することで、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、金属膜、有機膜などからなる試験片 1 の疲労試験が可能となる。

次に曲げ疲労試験装置について説明する。図 4 は正面図であり、図 5 は曲げ疲労試験装

50

置全体の斜視図である。図4は図5中の矢印15から見た図を示す。ただし説明しやすいように、図4では変位を検出するためのレーザ29や光センサ26等一式が、図5では同じくレーザ29や支持材一式等を適宜省略している。

図4、図5において、曲げ疲労試験装置50は、曲げ疲労検出用試験体6を固定するためのホルダ16を備える。ホルダ16は、垂直方向に駆動するアクチュエータ(図示略)に取り付けられており、該アクチュエータはアクチュエータホルダ17に取り付けられる。アクチュエータホルダ17はXYZステージ18に4個のボルトを介して取り付けられる。XYZステージ18はベース19上に固定されており、ベース19は除振台20上に設置される。ベース19上には平板から構成される2本の側部支持材21が取り付けられ、側部支持材21の上部に平板からなる上部支持材22が取り付けられている。

10

【0015】

曲げ疲労試験装置50は、積層型圧電体により構成された力センサ23と、力センサ23の先端に四角柱状のブロック24を有している。力センサ23は上部支持材22に接着剤により固定されている。ブロック24の下面は前記中央部材2の上面よりも小さくなるよう設定され、ブロック24を中央部材2の真上に配置するように、XYZステージ18を用いて位置合わせを行う。なお、力センサ23は積層型圧電体の他、ロードセルやこれに準じるひずみゲージ式のセンサ等でもよい。

【0016】

45度の斜面がミラーコーティングされた直角二等辺三角柱の形状のプリズムミラー25(図5、図6では25a、25bとして記載)は、上部支持材22に、力センサ23を対称軸とする位置に接着剤により固定されている。2分割フォトダイオードと回路からなる光センサ26は、平板からなる固定部材27を介してXYステージ28に取り付けられており、XYステージ28はベース19に固定されている。

20

【0017】

次に、この曲げ疲労試験装置50を用いた、曲げ疲労検出用試験体6の曲げ疲労試験方法について詳細に説明する。

ホルダ16の中央には円形または四角形状の孔または凹部が設けられており、曲げ疲労検出用試験体6を固定したとき、枠部材4のみがホルダ16に接触し、孔や凹部に配置された中央部材2は上下方向に自由に移動できる。枠部材4のうちホルダ16に接触する部分が、曲げ疲労検出用試験体6を固定するための固定部として機能する。

30

ホルダ16に曲げ疲労検出用試験体6を固定した後、XYZステージ18を用いて中央部材2とブロック24を対向させ、XYZステージ18を上方向に移動させて中央部材2とブロック24を接触させる。接触点は、力センサ23からの検出値が急激に増加した点で特定する。

【0018】

アクチュエータホルダ17は、上下方向に駆動するアクチュエータを前記XYZステージ18に固定するために用いるが、アクチュエータの形態によっては省略できる。この実施例では該アクチュエータにボイスコイルモータが用いられている。なお、アクチュエータは電気信号によって変位を発生する圧電素子などでもよい。

アクチュエータは上下方向に往復運動することができ、図示省略の信号発生器などに接続され、信号発生器からの制御信号によって駆動する。アクチュエータの駆動はホルダ16を介して曲げ疲労検出用試験体6に伝達され、枠部材4が上下方向に駆動する。中央部材2は力センサ23によって上方向の変位が拘束され、枠部材4が接触点より上方で駆動するときは、中央部材2と枠部材4の間、もしくは試験片の当接部5と基端部7の間で相対的な変位が生じる。

40

【0019】

図6は、曲げ試験において枠部材4に発生した変位の検出方法について示す図で、図6(a)は上方から見た図、図5(b)は正面図である。

レーザ29から発振したレーザ光は光路30を通りプリズムミラー25aに入射し、光路31に曲げられ曲げ疲労検出用試験体6に照射する。曲げ疲労検出用試験体6からの反

50

射された光は光路 3 2 を通ってプリズムミラー 2 5 b に入射し、光路 3 3 を通って光センサ 2 6 に入射する。図 6 に示すように、プリズムミラー 2 5 a、2 5 b はともに上面から見て 4 5 °、正面から見て 4 5 ° 傾いた状態で設置する。曲げ疲労検出用試験体 6 の上下方向の変位に伴って生じる光路差を、光センサ 2 6 によって電気信号に変換して検出する。

【 0 0 2 0 】

なお、変位の測定は半導体のプロセスにより、梁部材 3 の根元にひずみゲージを作製することによって測定することもできる。

【 0 0 2 1 】

次に、曲げ疲労検出用試験体の第 2 実施形態を説明する。図 7 は第 2 実施形態の曲げ疲労検出用試験体 3 4 を示す。すなわち、2 本の試験片 3 5 を枠部材 3 6 に固定し、当接部 3 7 は対向する中央部材 3 8 に設けることとなり、基端部 3 9 は試験片 3 5 と枠部材 3 6 の連結部となる。中央部材 3 8 が、当接部 3 7 に対し変位を付与するための変位付与部として機能し、また、枠部材 3 6 は、曲げ疲労検出用試験体 3 4 を固定するための固定部の一部として機能する。

【 0 0 2 2 】

曲げ疲労検出用試験体 6 あるいは曲げ疲労検出用試験体 3 4 では、シリコンなどの試験片 1 上に試験材料となる金属材料を成膜し、曲げ疲労による電気信号の変化を測定することによって、材料に生じる異常を検出することもできる。

【 0 0 2 3 】

図 8 は異常検出用の金属配線を形成した試験片の図で、図 8 (a) は試験片上に配線パターンを形成、図 8 (b) は試験片がコの字形状で突き出しておりその上に配線パターンを形成したものである。この場合、曲げ疲労検出用試験体は、試験片に生じる状態の変化を電氣的に検出する測定部を備えることになる。

具体的には、試験片 1 あるいは試験片 3 5 上に、金属膜でコの字形状の配線パターン 4 0 と、電気信号を外部に取り出すための電極パッド 4 1 が作製されている。電極パッド 4 1 は中央部材 2 (中央部材 2 に試験片 1 が支持されている場合) または枠部材 4 (枠部材 4 に試験片 1 が支持されている場合) 上に形成される。電極パッド 4 1 を介して配線パターン 4 0 の電気抵抗を測定することにより、曲げ疲労試験による配線材料の電氣的な劣化を測定することができる。

この発明は、上記発明の実施の形態の説明に何ら限定されるものではない。特許請求の範囲の記載を逸脱せず、当業者が容易に想到できる範囲で種々の変形態様もこの発明に含まれる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 図 1 は本発明の実施形態における片持ち梁の曲げ疲労検出用試験体の斜視図を示す。

【 図 2 】 図 2 は図 1 中試験体の A - A ' 断面図を示す。

【 図 3 】 図 3 は曲げ疲労検出用試験体のプロセス工程図である。

【 図 4 】 図 4 は曲げ疲労試験装置の一部を正面から見た図である。

【 図 5 】 図 5 は曲げ疲労試験装置全体の斜視図である。

【 図 6 】 図 6 は試験体の変位量を測定するレーザ光の照射を示す概念図である。

【 図 7 】 図 7 は本発明に係る曲げ疲労検出用試験体の第 2 実施形態を示す斜視図である。

【 図 8 】 図 8 は配線パターンを形成した片持ち梁試験片である。

【 符号の説明 】

【 0 0 2 5 】

- 1、試験片
- 2、中央部材
- 3、梁部材
- 4、枠部材

10

20

30

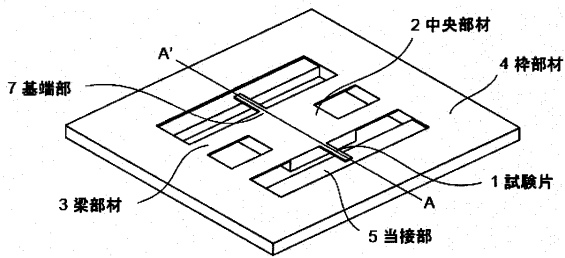
40

50

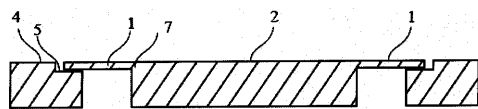
- 5、当接部
- 6、曲げ疲労検出用試験体
- 7、基端部
- 16、ホルダ
- 17、アクチュエータホルダ
- 18、XYZステージ
- 23、力センサ
- 24、ブロック
- 25、プリズムミラー
- 26、光センサ
- 29、レーザ
- 30、31、32、33、光路
- 34、曲げ疲労検出用試験体
- 50、曲げ疲労試験装置

【図1】

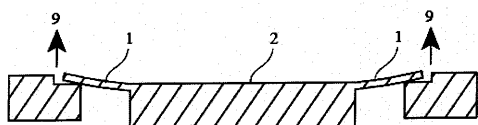
6 曲げ疲労検出用試験体



【図2】

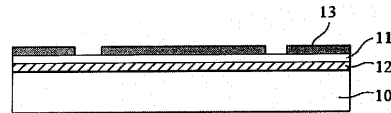


(a)

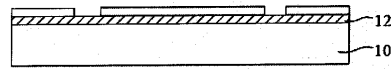


(b)

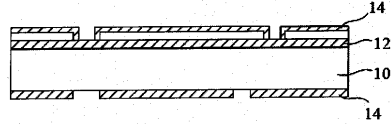
【図3】



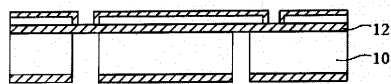
(a)



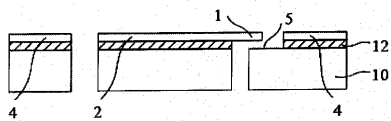
(b)



(c)

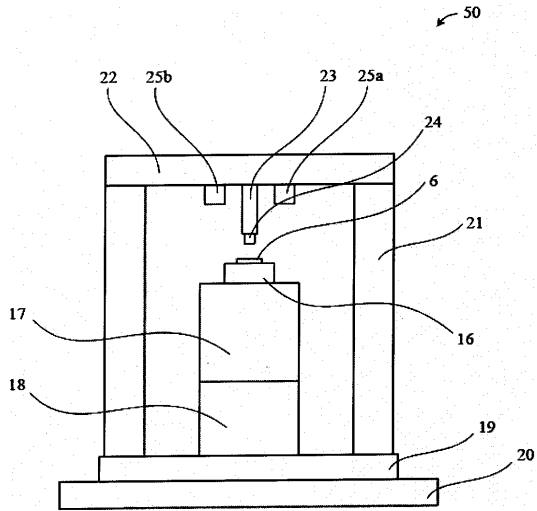


(d)

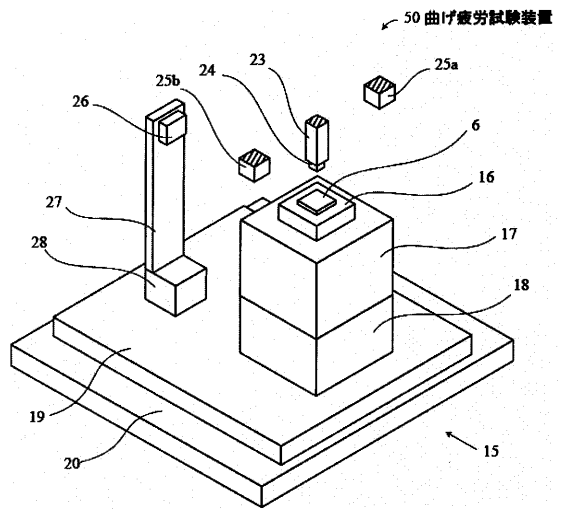


(e)

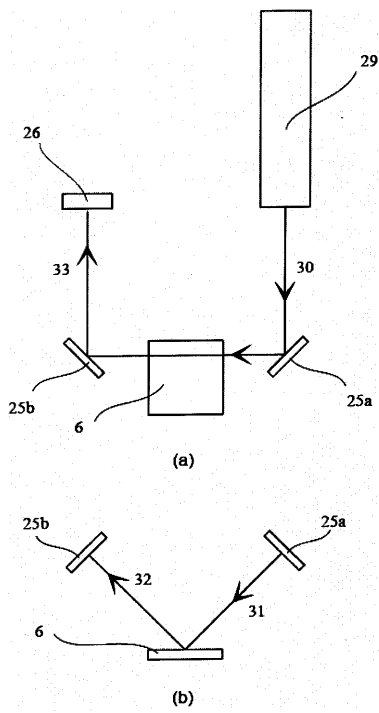
【図4】



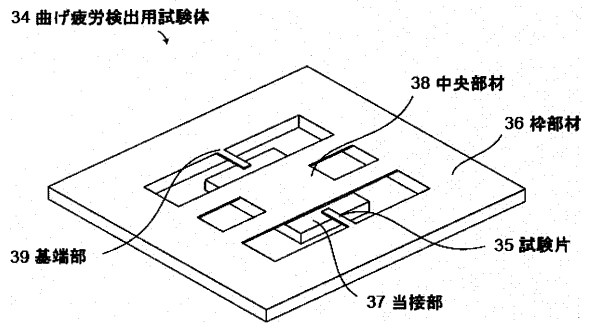
【図5】



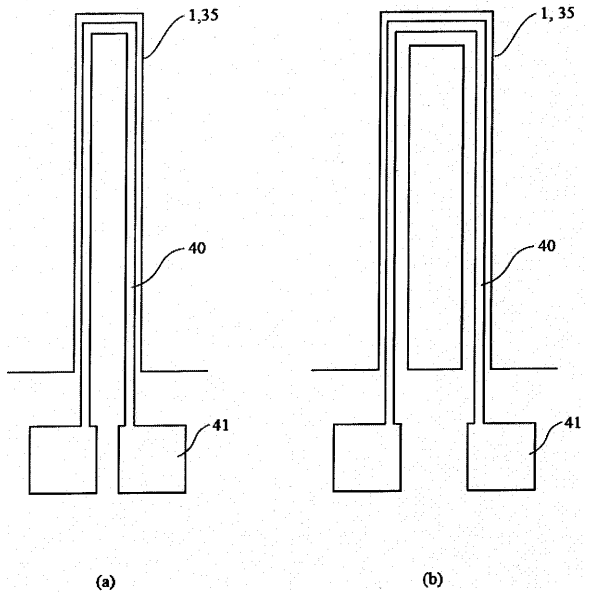
【図6】



【図7】



【 図 8 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-037361(JP,A)

特開2008-175725(JP,A)

安藤妙子, 室屋伸吾, 佐藤一雄, 薄膜の曲げ試験用デバイスの開発, 日本機械学会2007年度年次大会講演論文集, 日本, 社団法人日本機械学会, 2007年 9月 7日, No.07-1, pp.717-718

田中完弘, 生津資大, 井上尚三, 薄膜材料のポアソン比測定に向けたオンチップ純曲げ試験, 第50回日本学術会議材料工学連合講演会論文集, 日本, 社団法人日本材料学会, 2006年12月13日, pp.116-117

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 3/32

JSTPlus(JDreamII)