(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-184777
(P2012-184777A)
(43)公開日　平成24年9月27日(2012.9.27)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
F03G 7/06	(2006.01)	F03G 7/06	D	

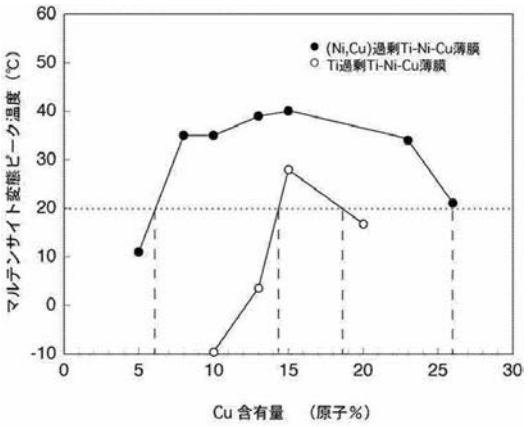
審査請求 有　請求項の数 4　ＯＬ　（全 13 頁）

(21)出願番号	特願2012-151174 (P2012-151174)
(22)出願日	平成24年7月5日 (2012.7.5)
(62)分割の表示	特願2009-515133 (P2009-515133)の分割
原出願日	平成20年5月1日 (2008.5.1)
(31)優先権主張番号	特願2007-126330 (P2007-126330)
(32)優先日	平成19年5月11日 (2007.5.11)
(33)優先権主張国	日本国(JP)
(31)優先権主張番号	特願2007-169236 (P2007-169236)
(32)優先日	平成19年6月27日 (2007.6.27)
(33)優先権主張国	日本国(JP)

(71)出願人　301023238
独立行政法人物質・材料研究機構
茨城県つくば市千現一丁目２番地１
(72)発明者　石田　章
茨城県つくば市千現一丁目２番地１　独立行政法人物質・材料研究機構内
(72)発明者　佐藤　守夫
茨城県つくば市千現一丁目２番地１　独立行政法人物質・材料研究機構内

(54)【発明の名称】２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータとそれに使用される形状記憶合金薄膜の製造方法

(57)【要約】
【課題】室温以上の温度で作動し、特段のバイアス力付与が不要な二方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータを提供すること。
【解決手段】本発明の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータは、変形加工可能な樹脂膜からなる基板と、これに一体の変態温度が室温以上の、ＴｉとＣｕと残部がＮｉよりなる結晶性の形状記憶合金薄膜からなる２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータであって、前記Ｔｉ、Ｃｕの含有量が、原子単位でＴｉ：全体の１／３超１／２未満、Ｃｕ：全体の６～２６％であることを特徴とする。
【選択図】図８



【特許請求の範囲】
【請求項１】
曲げ加工可能な樹脂膜からなる基板と、これに一体の変態温度が室温以上の、ＴｉとＣｕと残部がＮｉよりなる結晶性の形状記憶合金薄膜からなる２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータであって、前記Ｔｉ、Ｃｕの含有量が、原子単位でＴｉ：全体の１／３超１／２未満、Ｃｕ：全体の６～２６％であることを特徴とする２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータ。
【請求項２】
前記樹脂膜は、ポリミド膜よりなることを特徴とする請求項１に記載の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータ。
【請求項３】
前記形状記憶合金薄膜は、厚さ５～８μｍの薄膜よりなることを特徴とする請求項１又は２に記載の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータ。
【請求項４】
請求項１乃至３の何れか１項に記載の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータの製造方法であって、前記樹脂膜からなる基板を２７０℃以上でその耐熱温度未満に加熱しながら、この基板上に結晶性のＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ形状記憶合金薄膜を成膜することを特徴とする２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータとそれに使用される形状記憶合金薄膜の製造方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
通常の形状記憶合金薄膜では、形状を記憶しているのは高温相のみであることから、アクチュエータのように可逆的な形状変化（２方向性の形状変化）を必要とする場合には、低温相を変形させるための外部応力（バイアス力）が必要であった。バイアス力の与え方としては、５００℃以上の高温熱処理後の冷却による基板からの熱応力を負荷する方法または外部からスプリング力や静水圧を負荷する方法などがあるが、いずれも高温での熱処理や複雑な構造が必要となるなどの問題があった。
【０００３】
低温プロセスで２方向性の形状記憶合金薄膜アクチュエータを得る方法に関し、２５０℃～３８５℃に加熱したＳｉ基板上に結晶性のＴｉ過剰側Ｔｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜（$Ti_{51.7}Ni_{34.6}Cu_{14.2}$）を作製し、Ｓｉ基板からの拘束力によって２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータが得られることが報告されている（非特許文献１）。Ｔｉ－Ｎｉ二元系合金の結晶性の薄膜を得る方法については、１０００℃以上の融点をもつ金属または合金基板を２５０～５５０℃に加熱する方法が知られているが（特許文献１）、特許文献１の図６に記載されているように、室温以上の変態温度を有する薄膜は得られず、２方向性も示さない。
【０００４】
また、Ｎｉ過剰側Ｔｉ－Ｎｉ合金は、Ｔｉ過剰側Ｔｉ－Ｎｉ合金に比べて変態温度が低く（非特許文献２）、基板を３２０℃に加熱することによって結晶性のＴｉ－Ｎｉ薄膜（$Ti_{49.2}Ni_{50.8}$）が得られても、変態温度が室温よりも低いために液体窒素で冷却して使う必要があり、一方向性の形状記憶効果しか示さないために、バイアス力が必要であった（非特許文献３）。
【０００５】
さらに、室温以上の変態温度を有する（Ｎｉ，Ｃｕ）過剰側組成のＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜を作製する方法として、Ｔｉ含有量が４４～４９原子％、Ｃｕ含有量が２０～３０

原子％、残部が不可避的元素とＮｉからなる非晶質Ｔｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金を５００～７００℃において１００時間を超えない範囲で加熱して結晶化するＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ三元系形状記憶合金の製造方法が知られているが（特許文献２）、このように高温で熱処理を必要とする欠点があった。

【特許文献１】特開２０００－５４１２２号公報

【特許文献２】特開２００５－１７２９３９号公報

【非特許文献１】Constrained martensitic transformations in TiNiCu films, Cornelius M. Craciunescu, Jian Li, Manfred Wuttig, Thin Solid Films 434(2003)271-275

【非特許文献２】形状記憶合金薄膜の研究と今後の展望，石田章，まてりあ ４０（２００１）４４－５１

【非特許文献３】Structure and thermal stability in titanium-nickel thin films sputtered at elevated-temperature on inorganic and polymeric substrate, Li Hou, T. J. Pence and David S. Grummon, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 360(1995)369-374

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

本発明は、以上のような状況に鑑み、室温以上の温度で作動し、特段のバイアス力付与が不要な二方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータを実現し、また、これを簡便に製造することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

【０００８】

【０００９】

本発明の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータは、曲げ加工可能な樹脂膜からなる基板と、これに一体の変態温度が室温以上の、ＴｉとＣｕと残部がＮｉよりなる結晶性の形状記憶合金薄膜からなる２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータであって、前記Ｔｉ、Ｃｕの含有量が、原子単位でＴｉ：全体の１／３超１／２未満、Ｃｕ：全体の６％～２６％であることを特徴としている。

本発明の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータにおいて、好ましくは、樹脂膜は、ポリミド膜よりなるとよい。また、形状記憶合金薄膜は、厚さ５～８μｍの薄膜よりなるとよい。

【００１０】

本方法発明は、本発明の２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータの製造方法であって、樹脂膜からなる基板を２７０℃以上でその耐熱温度未満に加熱しながら、基板上に結晶性のＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜を成膜することを特徴としている。

【００１１】

【００１２】

【００１３】

【００１４】

【発明の効果】

【００１５】

【００１６】

【００１７】

本発明の形状記憶合金薄膜アクチュエータでは、基板に変形を与えて立体的に自由に配置した２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータを製造することができる。

【００１８】

本方法発明により、本発明の２方向形状記憶合金薄膜アクチュエータにおける形状記憶合金薄膜を効率よく製造することができる。

【００１９】

【００２０】

【図面の簡単な説明】
【００２１】
【図１】実施例１のアクチェータの動作を示す写真で、（Ａ）は室温時の状態、（Ｂ）は加熱による変形状態を示している。
【図２】実施例２のアクチュエータの加工と動作を示す写真で、（Ａ）は無加工状態、（Ｂ）は加工中、（Ｃ）は常温状態、（Ｄ）は加熱時のそれぞれの形状を示している。
【図３】実施例３のアクチュエータの動作を示す写真で、（Ａ）は室温時の状態、（Ｂ）は加熱による変形状態を示している。
【図４】ガラス基板を２７０℃に加熱して成膜した$Ti_{49}Ni_{28}Cu_{23}$合金薄膜のＸ線解析パターン（室温）である。
【図５】実施例２のアクチュエータの原理を示す模式図である。
【図６】実施例３のアクチュエータの加工例を示す斜視図である。
【図７】実施例３のアクチュエータの別の加工例を示す斜視図である。
【図８】２７０℃に加熱したガラス基板に作製したＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ結晶薄膜のマルテンサイト変態ピーク温度とＣｕ含有量の関係を示すグラフである。
【発明を実施するための最良の形態】
【００２２】
〔実施例１〕
【００２３】
本実施例は、成膜時に発生する残留応力を利用したアクチュエータの例である。
【００２４】
薄膜内に蓄積された残留応力を有効に利用するためには、基板の拘束から開放することが必要であり、そのためにエッチング等で基板を完全に除去する。このようにして得られた２方向性形状記憶合金薄膜は、バイアス力を必要としないのでアクチュエータを簡便に作製することができる。
【００２５】
ここでいう基板とは成膜時に土台として使用した厚い基板（通常１００μｍ以上の厚さを有する）のことである。なお、成膜時に必要に応じて薄膜と基板の間に絶縁層または拡散バリア層として挟んだ薄い層を形成しておく場合があるが、この膜が形状記憶合金薄膜の機械的特性に影響しないものは取り除く必要がない。
【００２６】
本実施例のアクチュエータは、以下の通りに作製されたものである。
【００２７】
多元マグネトロンスパッタリング装置中にて、ガラス基板（厚さ１．３ｍｍ）を２７０℃に加熱して、厚さ５μｍの５２原子％Ｔｉ－３３原子％Ｎｉ－１５原子％Ｃｕ薄膜を作製し、成膜後、ガラス基板から剥離させた。
【００２８】
結晶性の薄膜では成膜時に残留応力が残っており、基板からの拘束を取り除くことによって、残留応力をバイアス力とした２方向形状記憶合金薄膜アクチュエータを作製できることを確認した。図１の写真は、薄膜単体の室温における形状と１００℃に加熱した時の形状を示している。これらの形状は、冷却・加熱により可逆的に変化し、単体でアクチュエータとして使えることを確認した。
〔実施例２〕
【００２９】
本実施例は、形状記憶合金薄膜の２方向性の形状変化をより正確に制御するために、塑性変形可能な基板を用いた例である。
【００３０】
ここで塑性変形可能な基板としては、形状記憶合金薄膜が低温相になっている温度でバリアントの再配列域内の変形（例えばＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ薄膜では５％程度までの変形）で永久ひずみを与えることができる材料であれば何でも良く、Ａｌ，Ｃｕ，Ｗなどの金属も

しくは合金またはポリミドなどの樹脂が該当する。

【００３１】

本実施例のアクチュエータは、以下の通りに作製されたものである。

【００３２】

多元マグネトロンスパッタリング装置中にて、３１０℃に加熱した厚さ１６μｍの家庭用Ａｌ箔の上に厚さ８μｍの４９原子％Ｔｉ－２８原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕの薄膜を成膜した。完成直後は、図２（Ａ）に示すような外観を有している。成膜後の無加工状態では、基材の基本形状に沿う平坦な状態である。

【００３３】

次に、円筒形に成形するため、図２（Ｂ）に示すように薄膜を内側にして、筒状軸（１）に巻き付け塑性変形を与える。ここで塑性変形によって与える形状としては、バリアントの再配列が可能な変形量であれば、円筒状に限定されることはなく、より複雑な３次元形状も可能である。このようにして塑性変形を与えた状態で筒状軸（１）を抜き出した状態を図２（Ｃ）に示す。

【００３４】

図２（Ｃ）より、筒状軸（１）に巻き付けた形に近い形状（変形のうち弾性変形分は戻る）であることから、基材が所望の形状に塑性変形したことが分かる。

【００３５】

１００℃に加熱すると、図２（Ｄ）に示すように、成膜後の無加工状態の形状に戻り、常温になるにつれ、加工した初期の形状（図２（Ｃ））に戻ることを確認した。

【００３６】

このような２方向性アクチュエータが得られる原理を以下に説明する（図５参照）。

【００３７】

図５（ａ）には成膜後の無加工状態を示し、薄膜は低温相の状態にあるが、この状態で、図５（ｂ）に示すように基板に塑性変形を与えることが重要である。薄膜は低温相のバリアントの再配列によって形状を変えるだけなので、加熱すると元の形状を覚えており、基板は弾性変形を受けて元の形状に近い形状（図５（ｃ））まで変化する。次に、冷却すると、薄膜は低温相になって柔らかくなるために、加工によって変形させた基板の形状（図５（ｄ））に戻る。

【００３８】

室温で塑性変形が与えられる基板が好適であるが、上記原理から明らかなように、薄膜が低温相になる温度域であれば、加熱または冷却してもよい。また、基板の一部に塑性変形可能な材料を用いていれば、バイアス力の負荷が可能であり、基板が２層以上の複合材料になっていても構わない。

〔実施例３〕

【００３９】

本実施例は、変形加工が可能な樹脂や金属薄膜に低温成膜を行って得られた２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータの例である。

【００４０】

２方向性の形状変化を与える方法としては、Ｓｉ基板からの拘束力を利用するものが知られているが、基板を変形して使うことができないために、形状記憶合金薄膜アクチュエータを平面上（２次元的）に配置したデバイスしか作製できなかった。本実施例では、Ｓｉ基板に替えて変形加工が可能な樹脂や金属薄膜に低温成膜を行うことにより、図６に示したような立体的な配置も可能な２方向性形状記憶合金薄膜アクチュエータを作製することが可能になる。

【００４１】

変形可能な基板としては、厚さ１ｍｍ以下のポリミド膜等の合成樹脂膜やＡｌ，Ｃｕ，Ｗなどの箔が好適である。

【００４２】

本実施例のアクチュエータは、多元マグネトロンスパッタリング装置中にて、厚さ２５

μｍのポリミド膜を３１０℃に加熱して厚さ８μｍの４９原子％Ｔｉ－２８原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕの薄膜を成膜して作製されたものである。このようにして作製されたポリミド基板と薄膜から構成される複合体は、加熱・冷却によって、図３に示すような可逆的な形状変化を示す。この複合体を加工成形すると、図６に示すような部分アクチュエータを作製することができる。このアクチュエータは、形状記憶合金薄膜全体をアクチュエータに使用するのではなく、その大部分を保持部（円環状の部分）とし、一部をアクチュエータとして使用したものである。この場合、アクチュエータとして使用しない薄膜はパターニング等によって除去してしまっても構わない。

【００４３】

このように合成樹脂膜やＡｌ，Ｃｕ，Ｗなどの箔を基材としたものでは、基材の成形性を利用してアクチュエータとこれに付随する部分とを一体的に得ることが可能である。

【００４４】

所定間隔で複数のアクチュエータを配置する場合には、予め作製した蒸着膜を成形加工することにより図７に示すようなものが得られる。

【００４５】

図７に示した部分アクチュエータは、角筒状保持部の角を基点の４方にアクチュエータが突出している。

〔実施例４〕

【００４６】

本実施例は、実施例１～３のいずれにも適用可能な合金組成と、その蒸着方法について説明するものである。

【００４７】

スパッタリング法により、基板を２７０℃以上基板の耐熱温度未満に加熱して結晶性の形状記憶合金薄膜を作製する。

【００４８】

基板温度が２７０℃以下では、作製した薄膜はアモルファス相となり、形状記憶効果を示さない。一方、基板の耐熱温度以上となると基板の変形が生じることになる。基板の耐熱温度が４５０℃を超えるものである場合は、４５０℃を超えて加熱しても結晶性の膜は得られるが、基板と薄膜の間の反応が問題になり、良好な特性を有する形状記憶合金薄膜を得にくい。

【００４９】

形状記憶合金薄膜のうち、（Ｎｉ，Ｃｕ）側Ｔｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜は、２７０℃以上基板の耐熱温度未満に加熱した基板上に、原子単位での含有量がＴｉ：全体の１／３超１／２未満、Ｃｕ：全体の６～２６％、残部がＮｉからなる（Ｎｉ，Ｃｕ）過剰側組成のＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜を成膜することによって得られる。

【００５０】

Ｔｉ含有量はＴｉＮｉＣｕ相とＢ２相の２相共存領域として限定される。すなわち、ＴｉＮｉＣｕ相が存在しないと十分な発生力が得られず、また、形状記憶効果を担っているＢ２相がないとアクチュエータとしての機能が得られない。

【００５１】

Ｃｕ量が６％未満であると、変態温度が室温以下になって実用的なアクチュエータが得られない。また、Ｃｕ量が２６％を超えると脆くなり、変態温度も室温以下に下がるので、Ｃｕ量は全体の６～２６％である必要がある。

【００５２】

一方、形状記憶合金薄膜のうち、Ｔｉ過剰側Ｔｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜は、２７０℃以上基板の耐熱温度未満に加熱した基板上に、原子単位での含有量がＴｉ：全体の１／２超２／３未満、Ｃｕ：全体の１４～１９％、残部がＮｉからなるＴｉ過剰側組成のＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜を成膜することによって得られる。

【００５３】

Ｔｉ含有量はTi_2（Ｎｉ，Ｃｕ）相とＢ２相の２相共存領域として限定される。

【００５４】
すなわち、Ti_2（Ｎｉ，Ｃｕ）相が存在しないと十分な発生力が得られず、また、形状記憶効果を担っているＢ２相がないとアクチュエータとしての機能が得られない。
【００５５】
Ｃｕ量が１４％未満であると、結晶性の膜が得られないか変態温度が室温以下になって実用的なアクチュエータが得られない。また、Ｃｕ量が１９％を超えることになると脆くなり、変態温度も室温以下に下がるので、Ｃｕ量は全体の１４～１９％である必要がある。
【００５６】
基板を２７０℃以上基板の耐熱温度未満に加熱しておけば、種々の成膜法を利用することができるが、組成制御が容易なスパッタリング法が好適である。特に、（Ｎｉ，Ｃｕ）過剰側のＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜は、Ｔｉ，Ｎｉ，Ｃｕの３種類の純金属ターゲットを用いた多元スパッタリングによっても作製することができるが、ＮｉおよびＣｕのスパッタ率がＴｉに比べて大きいことを利用して、鋳造可能な$Ti_{50}Ni_{(50-X)}Cu_X$合金ターゲットを用いて作製することができる。
【００５７】
実際に、多元マグネトロンスパッタリング装置を用いて、５５原子％Ｔｉ－４５原子％Ｎｉ、５２原子％Ｔｉ－２５原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕ、５２原子％Ｔｉ－３３原子％Ｎｉ－１５原子％ＣｕおよびＴｉ－２８原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕの薄膜を、２１０℃～３４０℃に加熱したガラス板上に成膜した。表１は、作製した薄膜の結晶性を調べた結果を示している。
【００５８】
５５原子％Ｔｉ－４５原子％Ｎｉ薄膜では３４０℃以上、その他の薄膜では２７０℃以上で結晶性の膜が得られることが分かる。表１に示した基板温度は、非接触温度計を用いて測定した基板表面（成膜面）の温度である。
【００５９】
【表１】

基板温度	薄膜組成			
	(A)	(B)	(C)	(D)
３４０℃	結晶膜	結晶膜	－	－
２７０℃	アモルファス	結晶膜	結晶膜	結晶膜
２１０℃	アモルファス	アモルファス	アモルファス	アモルファス

(A) $Ti_{55}Ni_{45}$
(B) $Ti_{52}Ni_{33}Cu_{15}$
(C) $Ti_{52}Ni_{25}Cu_{23}$
(D) $Ti_{49}Ni_{28}Cu_{23}$

【００６０】
図４に、ガラス基板を２７０℃に加熱して作製した４９原子％Ｔｉ－２８原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕ薄膜の室温におけるＸ線回折パターンを示す。図４図中のピークは、ＴｉＮｉＣｕ相のピークを除けば、いずれもＢ１９相の回折ピークであることが分かる。Ｂ１９相はＴｉ－Ｎｉ－Ｃｕ系合金薄膜の低温相（マルテンサイト相）であることから、この薄膜は、結晶性の薄膜であり、かつマルテンサイト変態温度が室温以上になっていることが確認される。
【００６１】
さらに、５２原子％Ｔｉ－２５原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕ、５２原子％Ｔｉ－２８原子％Ｎｉ－２０原子％Ｃｕ、５２原子％Ｔｉ－３３原子％Ｎｉ－１５原子％ＣｕおよびＴｉ－２８原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕの薄膜（厚さはいずれも５～８μｍ）を

３１０℃に加熱した家庭用Ａｌ箔（厚さ１６μｍ）、ポリミド（厚さ２５μｍ）およびガラス基板上に成膜した。ただし、薄膜および基板の厚さは、これらの厚さに限定されるものではなく、通常のスパッタリング法で得られる厚さ３０μｍ以下の薄膜に適用することができ、また、基板の厚さも変形可能な厚さ、たとえば、１ｍｍ以下であればよい。

【００６２】

多元マグネトロンスパッタリング装置を用いて、５２原子％Ｔｉ－３８原子％Ｎｉ－１０原子％Ｃｕ、５２原子％Ｔｉ－３５原子％Ｎｉ－１３原子％Ｃｕ、５２原子％－３３原子％Ｎｉ－１５原子％Ｃｕ、５２原子％Ｔｉ－２８原子％Ｎｉ－２０原子％Ｃｕ、５１原子％Ｔｉ－２６原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕ、４９原子％Ｔｉ－４６原子％Ｎｉ－５原子％Ｃｕ、４９原子％Ｔｉ－４３原子％Ｎｉ－８原子％Ｃｕ、４９原子％Ｔｉ－４１原子％Ｎｉ－１０原子％Ｃｕ、４９原子％Ｔｉ－３８原子％Ｎｉ－１３原子％Ｃｕ、４９原子％Ｔｉ－３６原子％Ｎｉ－１５原子％Ｃｕ、４９原子％Ｎｉ－２８原子％Ｎｉ－２３原子％Ｃｕ、４９原子％Ｔｉ－２５原子％Ｎｉ－２６原子％Ｃｕの薄膜を、２７０℃に加熱したガラス板上に成膜した。

【００６３】

表２は、示差熱分析装置を用いて測定した薄膜のマルテンサイト変態ピーク温度を示している。図８は、マルテンサイト変態ピーク温度をＣｕ含有量で整理したグラフである。室温以上の変態温度を得るためにはＣｕ含有量を制御する必要があり、Ｃｕ含有量が低くても高くても室温以上の変態温度は得られない。Ｃｕ含有量の最適組成範囲は、Ｔｉ過剰側Ｔｉ－Ｎｉ－Ｃｕ合金薄膜と（Ｎｉ，Ｃｕ）過剰側合金薄膜では異なり、Ｔｉ過剰側薄膜では１４～１９％であるが、（Ｎｉ，Ｃｕ）過剰側合金薄膜では６～２６％と広くなり、この組成範囲において変態温度がほぼ一定になる傾向がある。また、Ｔｉ過剰側合金薄膜ではＣｕ含有量が２０％を超えると脆くなるのに対して、（Ｎｉ，Ｃｕ）過剰側薄膜では２０％を超えても割れにくい傾向があり、Ｔｉ過剰側合金に比べてより実用的であると評価される。

【００６４】

【表２】

薄膜の組成	マルテンサイト変態ピーク温度（℃）
$Ti_{52}Ni_{38}Cu_{10}$	－１０
$Ti_{52}Ni_{35}Cu_{13}$	４
$Ti_{52}Ni_{33}Cu_{15}$	２８
$Ti_{52}Ni_{28}Cu_{20}$	１７
$Ti_{51}Ni_{26}Cu_{23}$	脆くて測定不能
$Ti_{49}Ni_{46}Cu_{5}$	１１
$Ti_{49}Ni_{43}Cu_{8}$	３５
$Ti_{49}Ni_{41}Cu_{10}$	３５
$Ti_{49}Ni_{38}Cu_{13}$	３９
$Ti_{49}Ni_{36}Cu_{15}$	４０
$Ti_{49}Ni_{28}Cu_{23}$	３４
$Ti_{49}Ni_{25}Cu_{26}$	２１

【産業上の利用可能性】

【００６５】

本発明の２方向性形状記憶合金アクチュエータは、低温で作製することができ、また、アクチュエータの配置を平面に限定する必要がないことから、種々の部品を動かすアクチュエータとして使用することができる。

【００６６】

【００６７】

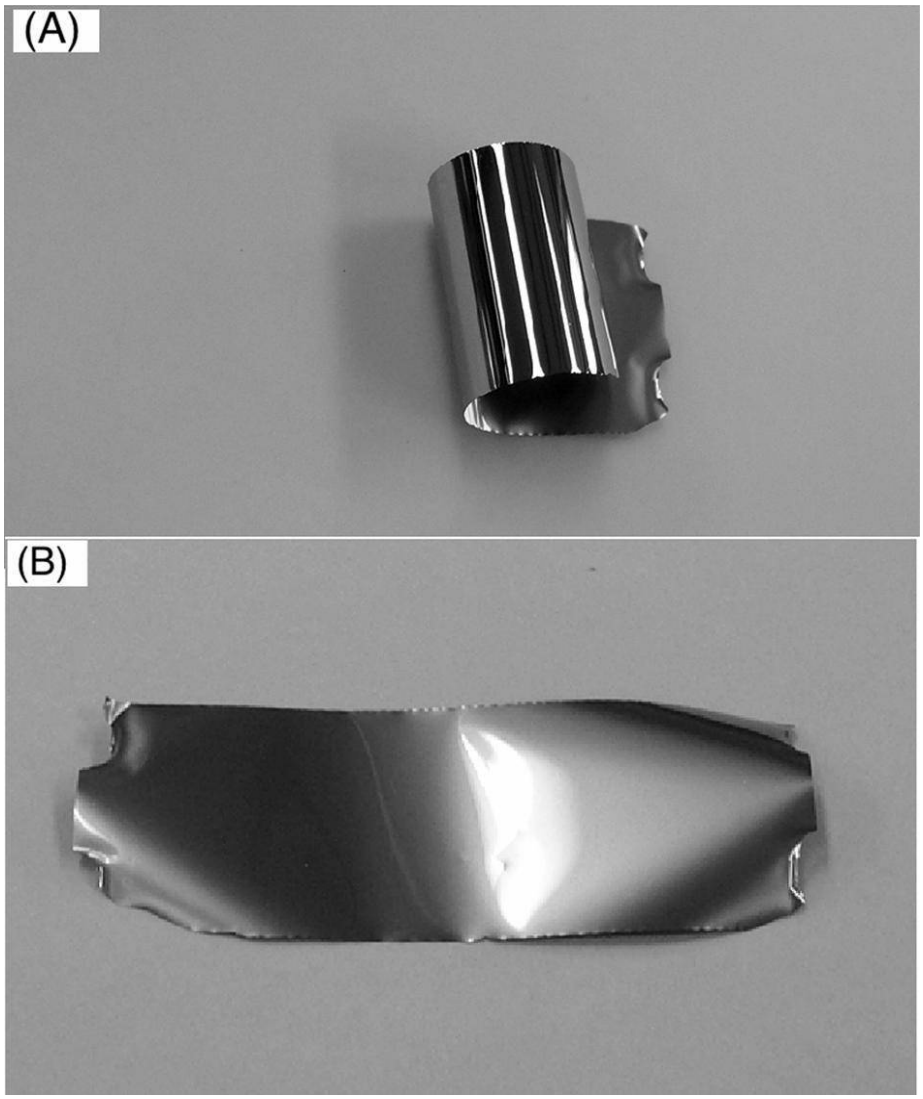
また、基板を塑性変形して所期形状を設定するものは、室温で所望の形状に変化させ、

次いで加熱によりまっすぐにして狭窄部分を通した後、再び室温で複雑な形状に戻して使うなどの応用が考えられる。

【００６８】

さらに、Ａｌ製の耐熱粘着テープなどに成膜することによって、湾曲部等に貼り付けて使用する簡易型アクチュエータとしても使うことができる。たとえば、空間を自由に移動する立体的なマイクロロボットや湾曲部分に利用することによって、人工筋肉のような使い方も可能であると考えられる。また、ポンプのダイアフラムなどに成膜すれば、簡便な駆動機構としても使うことができる。

【図１】

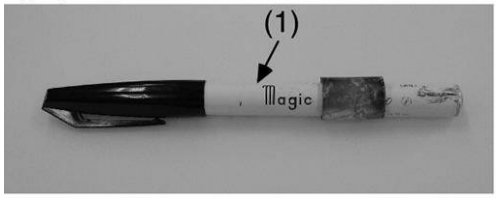


【図２】

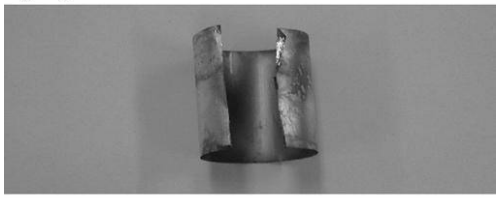
(A)



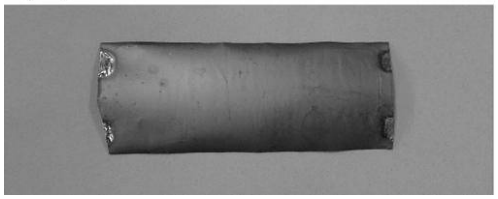
(B)



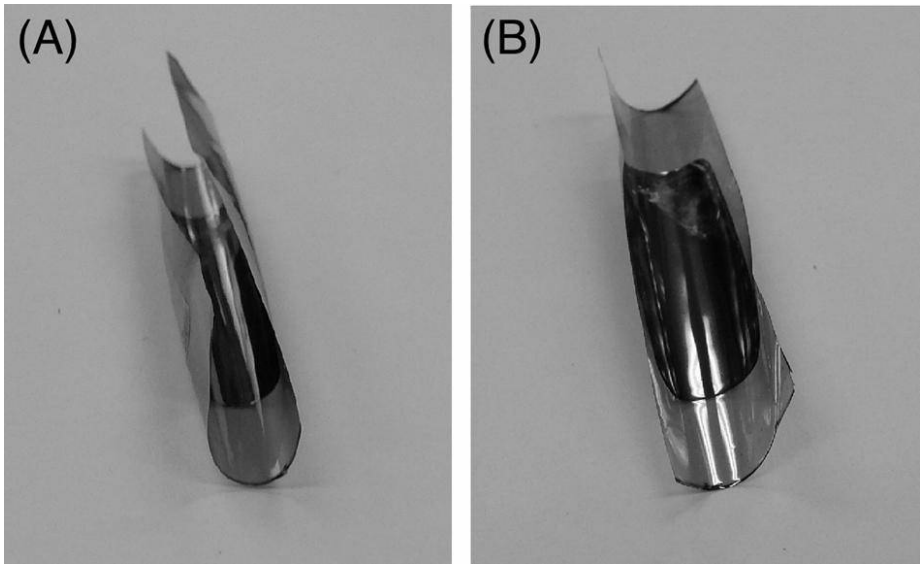
(C)



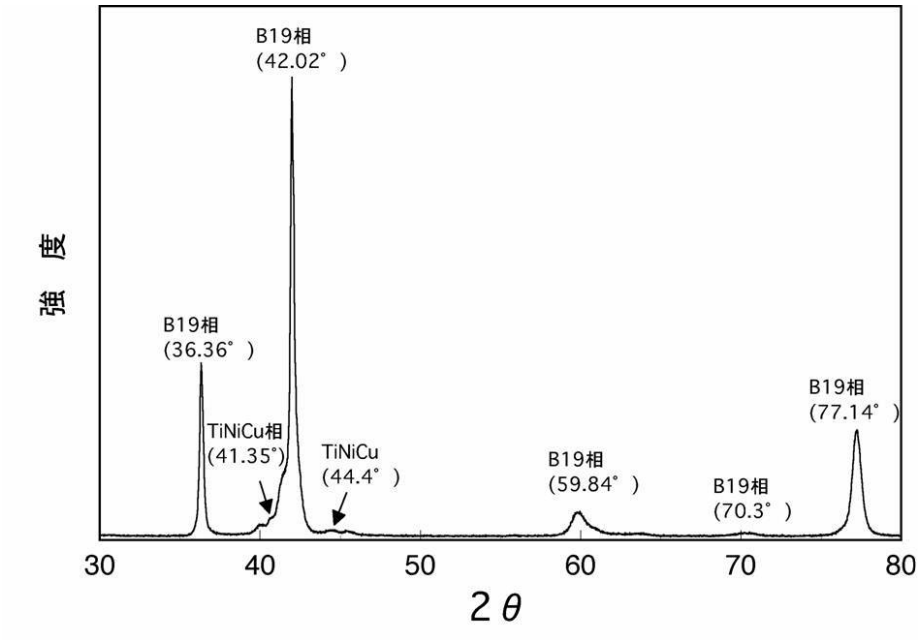
(D)



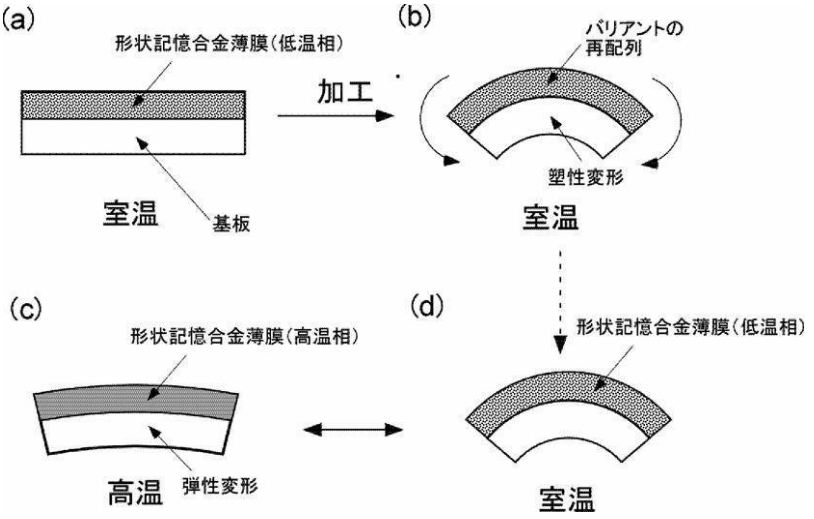
【図３】



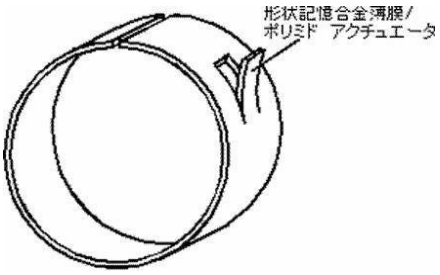
【図４】


B19相
(42.02°)
B19相
(36.36°)
TiNiCu相
(41.35°)
TiNiCu
(44.4°)
B19相
(59.84°)
B19相
(70.3°)
B19相
(77.14°)
強度
30
40
50
60
70
80
2θ

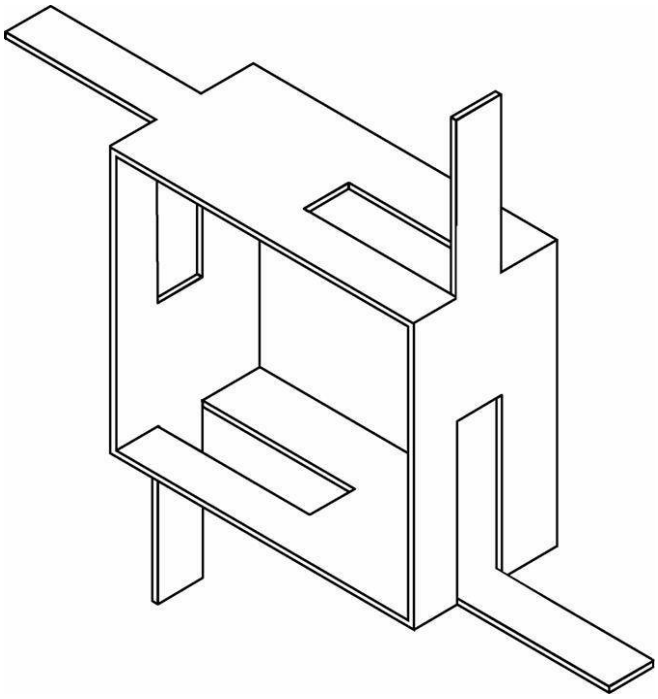
【図５】


(a)
形状記憶合金薄膜(低温相)
加工
室温
基板
(b)
バリアントの
再配列
塑性変形
室温
(c)
形状記憶合金薄膜(高温相)
高温
弾性変形
(d)
形状記憶合金薄膜(低温相)
室温

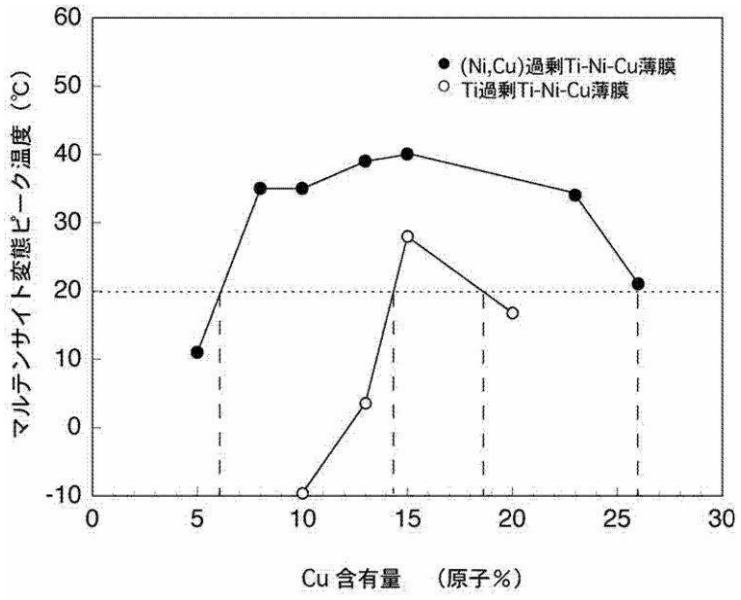
【図６】


形状記憶合金薄膜/
ポリミド アクチュエータ

【図７】



【図８】


60
50
40
30
20
10
0
-10
0
5
10
15
20
25
30
マルテンサイト変態ピーク温度（℃）
Cu 含有量　（原子％）
● (Ni,Cu)過剰Ti-Ni-Cu薄膜
○ Ti過剰Ti-Ni-Cu薄膜