

(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2009-136120

(P2009-136120A)

(43) 公開日 平成21年6月18日(2009.6.18)

(51) Int.Cl.	F 1		テーマコード (参考)
H02N 2/00 (2006.01)	H02N 2/00	B	2 H 04 5
G02B 26/10 (2006.01)	G02B 26/10	1 O 4 Z	2 H 1 4 1
B81B 3/00 (2006.01)	G02B 26/10	C	3 C 08 1
G02B 26/08 (2006.01)	B81B 3/00 G02B 26/08	E	

審査請求 未請求 請求項の数 31 O L (全 49 頁)

(21) 出願番号	特願2007-311796 (P2007-311796)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成19年11月30日 (2007.11.30)	(74) 代理人	100091292 弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627 弁理士 朝比 一夫
		(72) 発明者	樋口 和央 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ ーエプソン株式会社内
		(72) 発明者	松尾 泰秀 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ ーエプソン株式会社内

最終頁に続く

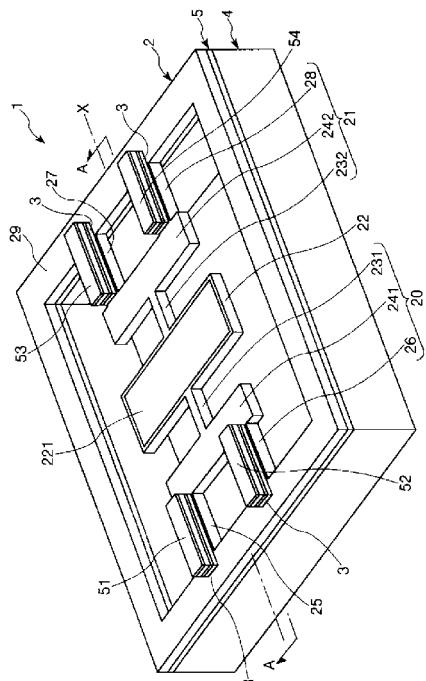
(54) 【発明の名称】アクチュエータおよび画像形成装置

(57) 【要約】

【課題】耐久性に優れるとともに、所望の振動特性を有するアクチュエータを提供すること、かかるアクチュエータを備えた画像形成装置を提供すること。

【解決手段】本発明のアクチュエータ1は、枠状をなす支持部29と、この枠状をなす支持部29の内側に設けられた光反射部221を有する可動板22と、可動板22を回動可能に支持するように支持部29と可動板22とを連結する2組の連結部20、21とを有し、連結部20は一对の弾性部材25、26を有し、連結部21は一对の弾性部材27、28を有するものであって、弾性部材25～28上には接合膜3を介して圧電素子51～54が接合されている。この接合膜3は、エネルギー付与前において、シロキサン結合を含みランダムな原子構造を有するSi骨格と、このSi骨格に結合する脱離基とを含むものである。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

可動板と、

前記可動板を回動可能に支持するように前記可動板の両側部に連結され、その少なくとも一方が、前記可動板の回動中心軸から離間した位置に設けられた弾性変形可能な弾性部材を備える連結部と、

少なくとも一つの前記弾性部材上に接合膜を介して接合され、長手形状をなし、その長手方向に伸縮することにより当該弾性部材を曲げ変形させる圧電素子とを有し、

前記接合膜は、シロキサン(Si-O)結合を含みランダムな原子構造を有するSi骨格と、該Si骨格に結合する脱離基とを含み、

前記接合膜は、その少なくとも一部の領域にエネルギーを付与することにより、前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記Si骨格から脱離し、前記接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記弾性部材と前記圧電素子とを接合していることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

前記接合膜を構成する全原子からH原子を除いた原子のうち、Si原子の含有率とO原子の含有率の合計が、10~90原子%である請求項1に記載のアクチュエータ。

【請求項 3】

前記接合膜中のSi原子とO原子の存在比は、3:7~7:3である請求項1または2に記載のアクチュエータ。

【請求項 4】

前記Si骨格の結晶化度は、45%以下である請求項1ないし3のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 5】

前記脱離基は、H原子、B原子、C原子、N原子、O原子、P原子、S原子およびハロゲン系原子、またはこれらの各原子が前記Si骨格に結合するよう配置された原子団からなる群から選択される少なくとも1種で構成されたものである請求項1ないし4のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 6】

前記脱離基は、アルキル基である請求項5に記載のアクチュエータ。

【請求項 7】

前記接合膜は、プラズマ重合法により形成されたものである請求項1ないし6のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 8】

前記接合膜は、ポリオルガノシロキサンを主材料として構成されている請求項7に記載のアクチュエータ。

【請求項 9】

前記ポリオルガノシロキサンは、オクタメチルトリシロキサンの重合物を主成分とするものである請求項8に記載のアクチュエータ。

【請求項 10】

前記接合膜の平均厚さは、1~1000nmである請求項1ないし9のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 11】

前記接合膜は、流動性を有しない固体状のものである請求項1ないし10のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 12】

前記弾性部材は、シリコン材料を主材料として構成されている請求項1ないし11のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 13】

前記圧電素子は、圧電体層と、前記圧電体層を狭持する一対の電極とを備え、

10

20

30

40

50

前記接合膜は、前記圧電素子が有する前記一対の電極のうち、一方の電極と接合されており、

前記接合膜と接合される前記電極は、金属材料を主材料として構成されている請求項1ないし12のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項14】

前記弾性部材の前記接合膜と接している面には、前記接合膜との密着性を高める表面処理が施されている請求項1ないし13のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項15】

前記圧電素子の前記接合膜と接している面には、前記接合膜との密着性を高める表面処理が施されている請求項1ないし14のいずれかに記載のアクチュエータ。 10

【請求項16】

前記表面処理は、プラズマ処理である請求項14または15に記載のアクチュエータ。

【請求項17】

前記弾性部材と前記接合膜との間に、中間層を有する請求項1ないし16のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項18】

前記圧電素子と前記接合膜との間に、中間層を有する請求項1ないし17のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項19】

前記中間層は、酸化物系材料を主材料として構成されている請求項17または18に記載のアクチュエータ。 20

【請求項20】

前記エネルギーの付与は、前記接合膜にエネルギー線を照射する方法、前記接合膜を加熱する方法、および、前記接合膜に圧縮力を付与する方法のうちの少なくとも1つの方法により行われる請求項1ないし19のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項21】

前記エネルギー線は、波長150～300nmの紫外線である請求項20に記載のアクチュエータ。

【請求項22】

前記加熱の温度は、25～100である請求項20または21に記載のアクチュエータ。 30

【請求項23】

前記圧縮力は、0.2～10MPaである請求項20ないし22のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項24】

可動板と、

前記可動板を回動可能に支持するように前記可動板の両側部に連結され、その少なくとも一方が、前記可動板の回動中心軸から離間した位置に設けられた弾性変形可能な弾性部材を備える連結部と、

少なくとも一つの前記弾性部材上に接合膜を介して接合され、長手形状をなし、その長手方向に伸縮することにより当該弾性部材を曲げ変形させる圧電素子とを有し、 40

前記接合膜は、金属原子と、該金属原子に結合する酸素原子と、前記金属原子および前記酸素原子の少なくとも一方に結合する脱離基とを含み、

前記接合膜は、その少なくとも一部の領域にエネルギーを付与することにより、前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記金属原子および前記酸素原子の少なくとも一方から脱離し、前記接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記弾性部材と前記圧電素子とを接合していることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項25】

可動板と、

前記可動板を回動可能に支持するように前記可動板の両側部に連結され、その少なくと 50

も一方が、前記可動板の回動中心軸から離間した位置に設けられた弾性変形可能な弾性部材を備える連結部と、

少なくとも一つの前記弾性部材上に接合膜を介して接合され、長手形状をなし、その長手方向に伸縮することにより当該弾性部材を曲げ変形させる圧電素子とを有し、

前記接合膜は、金属原子と、有機成分で構成される脱離基とを含み、

前記接合膜は、その少なくとも一部の領域にエネルギーを付与することにより、前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記接合膜から脱離し、前記接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記弾性部材と前記圧電素子とを接合していることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 26】

前記接合膜は、前記圧電素子への通電のための端子として機能する請求項 24 または請求項 25 に記載のアクチュエータ。

【請求項 27】

前記圧電素子は、圧電体層と、前記圧電体層の一方の面上に設けられた電極とを有し、前記圧電体層の他方の面と前記連結部とが前記接合膜を介して接合されている請求項 24 ないし 26 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 28】

前記各連結部は、前記可動板の回動中心軸を介して対向するように設けられた一対の弾性部材を備え、前記一対の弾性部材のそれぞれに、前記圧電素子が前記接合膜を介して接合されている請求項 1 ないし 27 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 29】

前記各連結部は、前記一対の弾性部材に回動可能に支持された駆動部材と、前記可動板を前記駆動部材に対して回動可能とするように、前記駆動部材と前記可動板とを連結する弾性変形可能な軸部材とを備えている請求項 1 ないし 28 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 30】

前記可動板は、光反射性を有する光反射部を備えている請求項 1 ないし 29 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 31】

請求項 30 に記載のアクチュエータを備え、前記光反射部で反射した光を走査して、画像を形成するように構成されていることを特徴とする画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、アクチュエータおよび画像形成装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、レーザープリンタ等にて光走査により描画を行うための光スキャナとして、捩り振動子で構成されたアクチュエータを用いたものが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

特許文献 1 には、反射ミラーと、反射ミラーを支持するための固定枠部と、反射ミラーを固定枠部に対して回動可能に連結する 1 対のバネ部とを備えるアクチュエータが開示されている。そして、このような各バネ部は、途中で 2 本に分岐した構造をなしている。具体的には、各バネ部は、連結体と、反射ミラーと連結体とを連結する第 1 のバネ部と、固定枠部と連結体とを連結する第 2 のバネ部を有している。さらに、第 2 のバネ部は、反射ミラーの回動中心軸に対して、互いに対向するように設けられた 1 対の弾性体で構成されている。

【0003】

各第 2 のバネ部には、圧電素子が接合されており、この圧電素子は、各第 2 のバネ部の長手方向へ伸縮する。このような圧電素子は、平面視にて、それが接合されている第 2 の

10

20

30

40

50

バネ部の全域を覆うように形成され、かつ、各圧電素子の第2のバネ部側の面の全域が、第2のバネ部と接合している。そして、アクチュエータは、この圧電素子に電圧を印加し、その圧電素子を伸縮させることで、各第2のバネ部を曲げ変形させ、それに伴い、第1のバネ部を捩れ変形させて反射ミラーを回動させ、光を反射し走査する。これにより、光走査により描画を行うことができる。

【0004】

ところで、このようなアクチュエータでは、バネ部と圧電素子との接合に、エポキシ系の接着剤が広く用いられている。このようなエポキシ系の接着剤は、静止状態では、圧電素子とバネ部とを高い接合強度で接合することができるものの、アクチュエータを駆動させる際に、圧電素子が高速で伸縮する結果、圧電素子と接着剤との界面、あるいは、バネ部と接着剤との界面で剥離が生じることがあった。また、バネ部と圧電素子との間に存在する接着剤層は、数 μm 以上の厚さを有するものであり、圧電素子の駆動力を接着剤層に吸収されてしまい、バネ部に圧電素子の駆動力を十分に伝達することが困難であった。その結果、このようなアクチュエータでは、所望の振動特性を発揮することが難しかった。

10

【0005】

【特許文献1】特開2004-191953号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、耐久性に優れるとともに、所望の振動特性を有するアクチュエータを提供すること、かかるアクチュエータを備えた画像形成装置を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

このような目的は、下記の本発明により達成される。

本発明のアクチュエータは、可動板と、

前記可動板を回動可能に支持するように前記可動板の両側部に連結され、その少なくとも一方が、前記可動板の回動中心軸から離間した位置に設けられた弾性変形可能な弾性部材を備える連結部と、

少なくとも一つの前記弾性部材上に接合膜を介して接合され、長手形状をなし、その長手方向に伸縮することにより当該弾性部材を曲げ変形させる圧電素子とを有し、

30

前記接合膜は、シリコサン(Si-O)結合を含みランダムな原子構造を有するSi骨格と、該Si骨格に結合する脱離基とを含み、

前記接合膜は、その少なくとも一部の領域にエネルギーを付与することにより、前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記Si骨格から脱離し、前記接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記弾性部材と前記圧電素子とを接合していることを特徴とする。

これにより、圧電素子の伸縮に伴い、圧電素子と弾性部材との間で剥離が起きるのが確実に防止され、アクチュエータの耐久性を優れたものとすることができます。また、圧電素子の駆動力を弾性部材に十分に伝達することができ、所望の振動特性を発揮することができるアクチュエータを提供することができる。

40

【0008】

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜を構成する全原子からH原子を除いた原子のうち、Si原子の含有率とO原子の含有率の合計が、10~90原子%であることが好ましい。

これにより、接合膜は、Si原子とO原子とが強固なネットワークを形成し、接合膜自身がより強固なものとなる。このため、接合膜は、圧電素子および弾性部材に対して、特に高い接合強度を示すものとなる。

【0009】

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜中のSi原子とO原子の存在比は、3:7~7:3であることが好ましい。

50

これにより、接合膜の安定性が高くなり、圧電素子と弾性部材とをより強固に接合することができる。

本発明のアクチュエータでは、前記Si骨格の結晶化度は、45%以下であることが好ましい。

これにより、Si骨格は十分にランダムな原子構造を含むものとなる。このため、Si骨格の特性が顕在化し、接合膜の安定性および接着性がより優れたものとなる。

【0010】

本発明のアクチュエータでは、前記脱離基は、H原子、B原子、C原子、N原子、O原子、P原子、S原子およびハロゲン系原子、またはこれらの各原子が前記Si骨格に結合するよう配置された原子団からなる群から選択される少なくとも1種で構成されたものであることが好ましい。10

これらの脱離基は、エネルギーの付与による結合／脱離の選択性に比較的優れている。このため、このような脱離基は、接合膜の接着性をより高度なものとすることができます。

【0011】

本発明のアクチュエータでは、前記脱離基は、アルキル基であることが好ましい。

アルキル基は化学的な安定性が高いため、脱離基としてアルキル基を含む接合膜は、耐候性および耐薬品性に優れたものとなる。

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜は、プラズマ重合法により形成されたものであることが好ましい。

これにより、緻密で均質な接合膜を効率よく作製することができる。その結果、接合膜の圧電素子および弾性部材に対する接合強度は特に高いものとなる。20

【0012】

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜は、ポリオルガノシロキサンを主材料として構成されていることが好ましい。

これにより、接合膜が機械的特性に優れたものとなる。また、多くの材料に対して特に優れた接着性を示す接合膜が得られる。したがって、圧電素子と弾性部材とを強固に接合することができる。

【0013】

本発明のアクチュエータでは、前記ポリオルガノシロキサンは、オクタメチルトリシリコキサンの重合物を主成分とするものであることが好ましい。30

これにより、接合膜が接着性に特に優れたものとなる。

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜の平均厚さは、1～1000nmであることが好ましい。

これにより、圧電素子と弾性部材とを、厚みムラなく十分に高い寸法精度で強固に接合させることができる。さらに、圧電素子の駆動力を弾性部材により効率良く伝達することができる。

【0014】

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜は、流動性を有しない固体状のものであることが好ましい。

これにより、接着剤に比べて接着層（接合膜）の厚さや形状がほとんど変化しない。したがって、弾性部材と対応する圧電素子とが、厚みムラなく接合され、各圧電素子が各弾性部材に伝達する駆動力にばらつきが生じるのを、より確実に防止することができる。また、接着剤の硬化に要する時間が不要になるため、短時間で強固な接合が可能となる。40

【0015】

本発明のアクチュエータでは、前記弾性部材は、シリコン材料を主材料として構成されていることが好ましい。

これにより、弾性部材と接合膜との接合強度は特に優れたものとなる。

本発明のアクチュエータでは、前記圧電素子は、圧電体層と、前記圧電体層を狭持する一対の電極とを備え、

前記接合膜は、前記圧電素子が有する前記一対の電極のうち、一方の電極と接合されて

10

20

30

40

50

おり、

前記接合膜と接合される前記電極は、金属材料を主材料として構成されていることが好ましい。

これにより、圧電素子と接合膜との接合強度は特に優れたものとなる。

【0016】

本発明のアクチュエータでは、前記弾性部材の前記接合膜と接している面には、前記接合膜との密着性を高める表面処理が施されていることが好ましい。

これにより、弾性部材の接合膜を形成すべき領域を清浄化するとともに、この領域を活性化することができる。その結果、弾性部材と接合膜との接合強度をより高めることができる。

10

【0017】

本発明のアクチュエータでは、前記圧電素子の前記接合膜と接している面には、前記接合膜との密着性を高める表面処理が施されていることが好ましい。

これにより、圧電素子の接合膜を形成すべき領域を清浄化するとともに、この領域を活性化することができる。その結果、圧電素子と接合膜との接合強度をより高めることができます。

【0018】

本発明のアクチュエータでは、前記表面処理は、プラズマ処理であることが好ましい。

これにより、接合膜を形成するために、圧電素子または弾性部材の表面を最適化することができる。

20

本発明のアクチュエータでは、前記弾性部材と前記接合膜との間に、中間層を有することが好ましい。

これにより、弾性部材と接合膜との間の接合強度を高め、信頼性の高いアクチュエータを得ることができる。

【0019】

本発明のアクチュエータでは、前記圧電素子と前記接合膜との間に、中間層を有することが好ましい。

これにより、圧電素子と接合膜との間の接合強度を高め、信頼性の高いアクチュエータを得ることができます。

本発明のアクチュエータでは、前記中間層は、酸化物系材料を主材料として構成されていることが好ましい。

30

これにより、弾性部材と接合膜との間、および、圧電素子と接合膜との間ににおいて、それぞれ接合強度を高めることができます。

【0020】

本発明のアクチュエータでは、前記エネルギーの付与は、前記接合膜にエネルギー線を照射する方法、前記接合膜を加熱する方法、および、前記接合膜に圧縮力を付与する方法のうちの少なくとも1つの方法により行われることが好ましい。

これにより、接合膜に対して比較的簡単に効率よくエネルギーを付与することができる。

【0021】

本発明のアクチュエータでは、前記エネルギー線は、波長150～300nmの紫外線であることが好ましい。

これにより、付与されるエネルギー量が最適化されるので、接合膜中のSi骨格が必要以上に破壊されるのを防止しつつ、Si骨格と脱離基との間の結合を選択的に切断することができる。これにより、接合膜の特性（機械的特性、化学的特性等）が低下するのを防止しつつ、接合膜に接着性を発現させることができる。

40

【0022】

本発明のアクチュエータでは、前記加熱の温度は、25～100であることが好ましい。

これにより、弾性部材または圧電素子等が熱によって変質・劣化するのを確実に防止し

50

つつ、接合膜を確実に活性化させることができる。

本発明のアクチュエータでは、前記圧縮力は、0.2~10 MPaであることが好ましい。

これにより、弾性部材または圧電素子に損傷等が生じるのを避けつつ、単に圧縮するのみで、接合膜に十分な接着性を発現させることができる。

【0023】

本発明のアクチュエータは、可動板と、

前記可動板を回動可能に支持するように前記可動板の両側部に連結され、その少なくとも一方が、前記可動板の回動中心軸から離間した位置に設けられた弾性変形可能な弾性部材を備える連結部と、

少なくとも一つの前記弾性部材上に接合膜を介して接合され、長手形状をなし、その長手方向に伸縮することにより当該弾性部材を曲げ変形させる圧電素子とを有し、

前記接合膜は、金属原子と、該金属原子に結合する酸素原子と、前記金属原子および前記酸素原子の少なくとも一方に結合する脱離基とを含み、

前記接合膜は、その少なくとも一部の領域にエネルギーを付与することにより、前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記金属原子および前記酸素原子の少なくとも一方から脱離し、前記接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記弾性部材と前記圧電素子とを接合していることを特徴とする。

これにより、接合膜は、金属酸化物に脱離基が結合したものとなり、变形し難い強固な膜となる。その結果、耐久性に優れるとともに、所望の振動特性を確実に発揮することができるアクチュエータが得られる。

【0024】

本発明のアクチュエータは、可動板と、

前記可動板を回動可能に支持するように前記可動板の両側部に連結され、その少なくとも一方が、前記可動板の回動中心軸から離間した位置に設けられた弾性変形可能な弾性部材を備える連結部と、

少なくとも一つの前記弾性部材上に接合膜を介して接合され、長手形状をなし、その長手方向に伸縮することにより当該弾性部材を曲げ変形させる圧電素子とを有し、

前記接合膜は、金属原子と、有機成分で構成される脱離基とを含み、

前記接合膜は、その少なくとも一部の領域にエネルギーを付与することにより、前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記接合膜から脱離し、前記接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記弾性部材と前記圧電素子とを接合していることを特徴とする。

これにより、接合膜は、金属原子と有機成分で構成される脱離基とを含むものとなり、变形し難い強固な膜となる。その結果、耐久性に優れるとともに、所望の振動特性を確実に発揮することができるアクチュエータが得られる。

【0025】

本発明のアクチュエータでは、前記接合膜は、前記圧電素子への通電のための端子として機能することが好ましい。

これにより、圧電素子の弾性部材側の面に、別途、圧電素子に通電するための端子（電極）を設けることなく、圧電素子に電圧を印加することが可能となり、アクチュエータの製造の簡易化を図ることができる。

【0026】

本発明のアクチュエータでは、前記圧電素子は、圧電体層と、前記圧電体層の一方の面上に設けられた電極とを有し、

前記圧電体層の他方の面と前記連結部とが前記接合膜を介して接合されていることが好ましい。

これにより、圧電素子の伸縮により発生する駆動力をより効率良く弾性部材に伝達することができ、結果として、所望の振動特性をより確実に発揮することができるアクチュエータを得ることができる。

【0027】

本発明のアクチュエータでは、前記各連結部は、前記可動板の回動中心軸を介して対向するように設けられた一対の弾性部材を備え、前記一対の弾性部材のそれぞれに、前記圧電素子が前記接合膜を介して接合されていることが好ましい。

これにより、所望の振動特性で、より好適に回動可能な可動板を有するアクチュエータを得ることができる。

【0028】

本発明のアクチュエータでは、前記各連結部は、前記一対の弾性部材に回動可能に支持された駆動部材と、前記可動板を前記駆動部材に対して回動可能とするように、前記駆動部材と前記可動板とを連結する弾性変形可能な軸部材とを備えていることが好ましい。

これにより、所望の振動特性で、より好適に回動可能な可動板を有するアクチュエータを得ることができる。

【0029】

本発明のアクチュエータでは、前記可動板は、光反射性を有する光反射部を備えていることが好ましい。

これにより、アクチュエータを光学デバイスに好適に用いることができる。

本発明の画像形成装置は、本発明のアクチュエータを備え、前記光反射部で反射した光を走査して、画像を形成するように構成されていることを特徴とする。

これにより、耐久性に優れるとともに、優れた描画特性を有する画像形成装置を提供することができる。

10

20

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

以下、本発明のアクチュエータおよび画像形成装置の好適な実施形態について、添付図面を参照しつつ説明する。

<第1実施形態>

図1は、本発明のアクチュエータの第1実施形態を示す斜視図、図2は、図1に示すアクチュエータの上面図、図3は、図1中のA-A線断面図、図4は、図1に示すアクチュエータの駆動電圧の電圧波形の一例を示す図、図5は、図1に示すアクチュエータの駆動電圧として交流電圧を用いた場合における交流電圧の周波数と、可動板および駆動部材のそれぞれの振幅との関係を示すグラフである。

40

【0031】

なお、以下では、説明の便宜上、図1中の紙面手前側を「上」、紙面奥側を「下」、右側を「右」、左側を「左」と言い、図3中の上側を「上」、下側を「下」、右側を「右」、左側を「左」と言う。

アクチュエータ1は、図1に示すような2自由度振動系を有する基体2と、基体2を支持する支持基板4と、基体2の2自由度振動系を駆動するための圧電素子51、52、53、54とを有している。

【0032】

基体2は、図1、図2に示すように、枠状をなす支持部29と、この枠状をなす支持部29の内側に設けられた可動板22と、可動板22を回動可能に支持するように、可動板22と支持部29とを連結する2組の連結部20、21とを備えている。本実施形態では、基体2は平面視したときに、左右対称な形状となるように形成されている。

40

このような連結部20は、可動板22を回動中心軸Xまわりに支持する軸部材231と、軸部材231に対応して連結された駆動部材241と、駆動部材241と支持部29とを連結する一対の弾性部材25、26とを有している。また、連結部21は、可動板22を回動中心軸Xまわりに支持する軸部材232と、軸部材232に対応して連結された駆動部材242と、駆動部材242と支持部29とを連結する一対の弾性部材27、28とを有している。

【0033】

1対の駆動部材241、242は、それぞれ板状をしており、互いに間隔を隔てて設

50

けられている。このような駆動部材 241 は、支持部 29 に対して回動可能となるように、1 対の弾性部材 25、26 を介して支持部 29 に支持されている。同様に、駆動部材 242 は、支持部 29 に対して回動可能となるように、1 対の弾性部材 27、28 を介して支持部 29 に支持されている。そして、1 対の駆動部材 241、242 の間には可動板 22 が設けられている。なお、1 対の駆動部材 241、242 は互いに同一形状、同一寸法をなしている。また、各駆動部材 241、242 の形状は、特に限定されず、板状をなしていなくてもよい。

【0034】

可動板 22 は、板状をなし、その上面（すなわち、支持基板 4 とは反対側の面）には、光反射性を有する光反射部 221 が設けられている。これにより、アクチュエータ 1 を光スキャナ、光アッテネータ、光スイッチなどの光学デバイスに適用することができる。また、このような可動板 22 は、軸部材 231 を介して駆動部材 241 に支持され、軸部材 232 を介して駆動部材 242 に支持されている。

10

【0035】

軸部材 231、232 のそれぞれは、長手形状をなし、弾性変形可能である。そして、軸部材 231 は、可動板 22 を駆動部材 241 に対して回動可能とするように、可動板 22 と駆動部材 241 とを連結している。同様に、軸部材 232 は、可動板 22 を駆動部材 242 に対して回動可能とするように、可動板 22 と駆動部材 242 とを連結している。このような軸部材 231、232 は、互いに同軸的に設けられており、この軸（以下、「回動中心軸 X」という）を中心として、可動板 22 が駆動部材 241、242 に対して回動し、同様に、駆動部材 241、242 のそれぞれが支持部 29 に対して回動する。

20

【0036】

支持部 29 は、枠状（より具体的には四角環状）をなしている。

このような支持部 29 の内側には、支持部 29 に対し離間した状態で可動板 22 が設けられている。

このような支持部 29 は、弾性部材 25～28 を介して 1 対の駆動部材 241、242 を回動可能に支持している。

30

【0037】

弾性部材 25～28 のそれぞれは、長手形状をなし、弾性変形可能である。そして、このような弾性部材 25～28 のそれぞれは、回動中心軸 X と平行な方向へ延在している。

弾性部材 25、26 のそれぞれは、駆動部材 241 を支持部 29 に対して回動可能とするように、駆動部材 241 と支持部 29 とを連結している。このような 1 対の弾性部材 25、26 は、可動板 22 の平面視にて、回動中心軸 X を介して互いに対向するように設けられている。言い換えると、弾性部材 25 と弾性部材 26 とは、互いの幅方向に並設されている。

40

【0038】

同様に、1 対の弾性部材 27、28 のそれぞれは、駆動部材 242 を支持部 29 に対して回動可能とするように、駆動部材 242 と支持部 29 とを連結している。このような 1 対の弾性部材 27、28 は、可動板 22 の平面視にて、回動中心軸 X を介して互いに対向するように設けられている。言い換えると、弾性部材 27 と弾性部材 28 とは、互いの幅方向に並設されている。

50

【0039】

すなわち、アクチュエータ 1 は、幅方向に沿って並設された一対の弾性部材を有する 2 組の連結部 20、21 を備え、可動板 22 をその両側で支持部 29 に連結するように構成されている。このように、可動板 22 を両持ち支持することにより、アクチュエータ 1 は、回動中心軸 X を一定に保ちつつ、可動板 22 および駆動部材 241、242 のそれぞれを回動させることが容易となる。なお、このような弾性部材 25～28 は、互いに同一形状、同一寸法をなしている。また、1 対の弾性部材 25、26 と、1 対の弾性部材 27、28 とは、可動板 22 の平面視にて、可動板 22 を中心として左右対称となるように設けられている。

50

【0040】

ここで、各弹性部材25、26、27、28の上面にはそれぞれ、接合膜3を介して、圧電素子51、52、53、54が接合（接着）されている。

これらの各圧電素子51、52、53、54は、それぞれ、各弹性部材25、26、27、28の長手方面へ伸縮するものである。

また、各弹性部材25、26、27、28と各圧電素子51、52、53、54との間に設けられた接合膜3は、エネルギー付与前において、シロキサン（Si-O）結合を含むランダムな原子構造を有するSi骨格と、このSi骨格に結合する脱離基とを含むものである。

【0041】

そして、この接合膜3は、エネルギーを付与したことにより、脱離基がSi骨格から脱離し、これにより接合膜3の表面に発現した接着性によって、各弹性部材25、26、27、28と各圧電素子51、52、53、54とを接合している。

このような接合膜3は、シロキサン結合302を含みランダムな原子構造を有するSi骨格301の影響によって、変形し難い強固な膜となる。このような構造の接合膜3は、従来より弹性部材と圧電素子との接合に用いられてきた接着剤を硬化してなる接着剤層の厚さに比べ、その厚さを十分に薄くするとともに、十分な接合強度が得られる。特に、各圧電素子51、52、53、54が高速で伸縮した際にも、各弹性部材25、26、27、28と各圧電素子51、52、53、54とが剥離するのを確実に防止する。したがって、このようなアクチュエータ1の耐久性は優れたものとなるとともに、各圧電素子51、52、53、54の駆動力を各弹性部材25、26、27、28に十分に伝達することができる。

なお、接合膜3については、後に詳述する。

【0042】

このような基体2を備えるアクチュエータ1は、圧電素子51、52に互いに逆位相の電圧を印加することにより、1対の弹性部材25、26を互いに反対方向へ曲げ変形させて駆動部材241を回動中心軸Xまわりに回動させるとともに、圧電素子53、54に互いに逆位相の電圧を印加することにより、弹性部材27、28を互いに反対方向へ曲げ変形させて駆動部材242を回動中心軸Xまわりに回動させる。そして、1対の駆動部材241、242の回動に伴い、1対の軸部材231、232を捩り変形させながら可動板22を回動中心軸Xまわりに回動させるように構成されている。このことから、基体2は、弹性部材25～28と1対の駆動部材241、242とで構成された第1の振動系と、1対の軸部材231、232と可動板22とで構成された第2の振動系を有していると言える。すなわち、アクチュエータ1は、第1の振動系と第2の振動系とからなる2自由度振動系を有している。

【0043】

このような基体2は、例えば、シリコンを主材料として構成されていて、可動板22と、1対の軸部材231、232と、1対の駆動部材241、242と、弹性部材25～28と、支持部29とが一体的に形成されている。このように、シリコンを主材料とすることにより、優れた回動特性を実現できるとともに、優れた耐久性を発揮することができる。また、微細な処理（加工）が可能であり、アクチュエータ1の小型化を図ることができる。さらに、シリコンと後述する接合膜3を構成する材料とは、化学構造の類似性により、親和性が高い。そのため、シリコンを主材料とする基体2と後述する接合膜3との接合強度をさらに高いものとすることができます。

【0044】

なお、基体2は、SOI基板等の積層構造を有する基板から、可動板22と、軸部材231、232と、駆動部材241、242と、弹性部材25～28と、支持部29とを形成したものであってもよい。その際、可動板22と、軸部材231、232と、駆動部材241、242と、弹性部材25～28と、支持部29とが一体的となるように、これらを積層構造基板の1つの層で構成するのが好ましい。

【0045】

以上のような基体2は、接合層5を介して支持基板4と接合している。このような支持基板4は、例えば、ガラスやシリコンを主材料として構成されている。また、接合層5は、例えば、ガラス、シリコンまたはSiO₂を主材料として構成されている。

支持基板4は、枠状をなし、可動板22の平面視にて、支持部29とほぼ同一形状をしている。また、支持基板4は、その内側に空間(開口部)41を有している。この開口部31は、可動板22および駆動部材241、242が回動する際に、支持基板4に接触するのを防止する逃げ部を構成する。なお、支持基板4の形状については、これに限定されず、例えば、図1でいう左右に分割した形状であってもよいし、空間41が支持基板4の下面(基体2と反対側の面)で開口していなくてもよい。また、支持部29の形状などによっては、支持基板4を省略してもよい。

10

【0046】

アクチュエータ1は、前述したように、圧電素子51～54をそれぞれ伸縮させることで弾性部材25～28を曲げ変形させ、それに伴い、可動板22を回動させるように構成されている。

そこで、圧電素子51～54(構成、接合状態など)について説明するが、圧電素子51～54は、互いに同様の構成であるため、圧電素子51について代表して説明し、圧電素子52～54については、その説明を省略する。

20

【0047】

圧電素子51は、接合膜3を介して、弾性部材25および弾性部材25と隣接する支持部29と接合している。このような圧電素子51は、弾性部材25の長手方向へ伸縮し、その伸縮方向を長手とする長手形状をなしている。

圧電素子51は、図3に示すように、圧電材料を主材料として構成された圧電体層511と、この圧電体層511を挟持する1対の電極512、513とを有している。

【0048】

圧電体層511を構成するための圧電材料としては、例えば、酸化亜鉛、窒化アルミニウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ニオブ酸カリウム、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、チタン酸バリウム、その他、各種のものが挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることができるが、特に、酸化亜鉛、窒化アルミニウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ニオブ酸カリウムおよびチタン酸ジルコン酸鉛のうちの少なくとも1種を主とするものが好ましい。このような材料で圧電体層511を構成することにより、より高い周波数でアクチュエータ1を駆動することができる。

30

【0049】

電極512は、圧電体層511の下面の全域を覆うように形成されている。そして、図3に示すように、この電極512が、接合膜3を介して弾性部材25および支持部29の一部と接合している。一方、電極513は、圧電体層511の上面の全域を覆うように形成されている。そして、圧電素子51は、電極512および電極513が、図示しない電源回路に接続されていて、周期的に変化する電圧が印加されるようになっている。これにより圧電素子51を伸縮させることができる。

40

【0050】

このような電極512、513を構成するための材料としては、導電性を有するものであれば、特に限定されず、例えば、Pd、Pt、Au、W、Ta、Mo、Al、Cr、Ti、Cuまたはこれらを含む合金等の導電性材料、ITO、FTO、ATO、SnO₂等の導電性酸化物、カーボンブラック、カーボンナノチューブ、フラー・レン等の炭素系材料、ポリアセチレン、ポリピロール、PEDOT(poly-ethylene dioxythiophene)のようなポリチオフェン、ポリアニリン、ポリ(p-フェニレン)、ポリフルオレン、ポリカルバゾール、ポリシランまたはこれらの誘導体等の導電性高分子材料等が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることができる。なお、前記導電性高分子材料は、通常、酸化鉄、ヨウ素、無機酸、有機酸、ポリスチレンサルフォニック酸などの高分子でドープされ導電性を付与された状態で用いられる

50

。これらの中でも、電極 512、513を構成するための材料としては、Al、Au、Cr、Ni、Cu、Ptまたはこれらを含む合金を主とするものが好適に用いられる。これらの金属材料を用いると、電解あるいは無電解メッキ法を用いて、容易かつ安価に電極 512、513を形成することができる。また、このような金属材料は、後述する接合膜 3との親和性が高く、電極 512と接合膜 3との接合強度をさらに高いものとすることができます。

【0051】

以上のような構成のアクチュエータ 1は、次のようにして駆動する。

例えば、図 4(a)に示すような電圧を圧電素子 51、53に印加するとともに、図 4(b)に示すような電圧を圧電素子 52、54に印加する。すなわち、互いに位相の 180°ずれた電圧を圧電素子 51、53と圧電素子 52、54とに印加する。すると、圧電素子 51、53を伸張状態とするとともに、圧電素子 52、54を収縮状態とする状態(第 1 の状態)と、圧電素子 51、53を収縮状態とするとともに、圧電素子 52、54を伸長状態とする状態(第 2 の状態)とを交互に繰り返す。

具体的には(弹性部材 25、26について代表して説明する)、第 1 の状態では、圧電素子 51が伸張することにより、弹性部材 25が圧電素子 51と反対側に曲げ変形するとともに、圧電素子 52が収縮することにより、弹性部材 26が圧電素子 52側に曲げ変形する。

【0052】

一方、第 2 の状態では、圧電素子 51が収縮することにより、弹性部材 25が圧電素子 51側に曲げ変形するとともに、圧電素子 52が伸張することにより、弹性部材 26が圧電素子 52と反対側に曲げ変形する。

このように、弹性部材 25、26を互いに反対方向へ曲げ変形させることで駆動部材 241を回動させ、これと同時に、弹性部材 27、28を互いに反対方向へ曲げ変形させることで駆動部材 242を回動させ、それに伴い、1対の軸部材 231、232を捩り変形させて、可動板 22を回動中心軸 X まわりに回動させる。

【0053】

以上のように、アクチュエータ 1は、圧電素子 51～54により駆動力を得るため、低電圧駆動であっても比較的大きな駆動力で駆動することができる。そのため、低電圧駆動であっても、弹性部材 25～28のバネ定数(捩り剛性)を高めて、アクチュエータ 1を高周波で駆動することができる。

ところで、このような可動板 22および1対の駆動部材 241、242の振動系(2自由度振動系)では、駆動部材 241、242および可動板 22の振幅(振れ角)と、印加する交流電圧の周波数との間に、図 5に示すような周波数特性が存在している。

【0054】

すなわち、かかる振動系は、駆動部材 241、242の振幅と、可動板 22の振幅とが大きくなる2つの共振周波数 f_{m_1} [kHz]、 f_{m_3} [kHz](ただし、 $f_{m_1} < f_{m_3}$)と、駆動部材 241、242の振幅がほぼ 0となる、1つの反共振周波数 f_{m_2} [kHz]とを有している。

この振動系では、圧電素子 51～54に印加する交流電圧の周波数 F が、2つの共振周波数のうち低いもの、すなわち、 f_{m_1} とほぼ等しくなるように設定するのが好ましい。これにより、駆動部材 241、242の振幅を抑制しつつ、可動板 22の振れ角(回転角度)を大きくすることができる。

【0055】

なお、本明細書中では、F [kHz]と f_{m_1} [kHz]とがほぼ等しいとは、($f_{m_1} - 1$) F ($f_{m_1} + 1$)の条件を満足することを意味する。

ここで、接合膜 3について説明する。

なお、図 8は、本実施形態のアクチュエータ 1が有する接合膜 3のエネルギー付与前の表面付近の状態を示す部分拡大図、図 9は、本実施形態のアクチュエータ 1が有する接合膜 3のエネルギー付与後の表面付近の状態を示す部分拡大図である。

10

20

30

40

50

【0056】

接合膜3のエネルギーを付与する前の状態は、図8に示すように、シロキサン(Si-O)結合302を含み、ランダムな原子構造を有するSi骨格301と、このSi骨格301に結合する脱離基303とを含むものである。

そして、この接合膜3にエネルギーを付与すると、図9に示すように、一部の脱離基303がSi骨格301から脱離し、代わりに活性手304が生じる。これにより、接合膜3の表面に接着性が発現する。このようにして接着性が発現した接合膜3により、各弹性部材25、26、27、28(以下、単に各弹性部材ともいう。)と各圧電素子51、52、53、54(以下、単に各圧電素子ともいう。)とが接合されている。

【0057】

ところで、このようなアクチュエータでは、弹性部材と圧電素子との接合方法として、粘接着剤(例えば、エポキシ系の接着剤等)が広く用いられてきた。このような粘接着剤は、圧電素子の静止状態では、弹性部材と圧電素子とを十分に高い接合強度で接着させることができるもの、アクチュエータを駆動させると、圧電素子が高速で伸縮することにより、弹性部材と圧電素子との間で剥離が起きるという問題があった。また、このような粘接着剤を硬化、乾燥してなる粘接着剤層の厚さは、数μm以上の厚さを有するものであり、圧電素子の駆動力が接着剤層に吸収されてしまい、弹性部材に圧電素子の駆動力を十分に伝達することが困難であった。

10

【0058】

また、バネ部と圧電素子との接合方法として、部材同士を直接接合する個体接合を用いる方法がある。個体接合を用いる接合では、バネ部と圧電素子との間に接着剤層のような中間層が介在しないため、圧電素子の駆動力を十分にバネ部に伝達できることが期待される。しかしながら、個体接合では、接合プロセスにおいて、圧電素子およびバネ部に対して高温(例えば、700~800程度)での熱処理が必要となるため、圧電素子を構成する圧電体が脱分極してしまい、圧電アクチュエータの駆動力の低下を招いてしまう。

20

【0059】

上述したような課題は、圧電素子としてバルク状のものを用いた場合に生じる。圧電素子として蒸着やスパッタ法を用いて形成する場合には、フォトリソグラフィーなどの半導体プロセスを用いて、バネ部に対して比較的高い接合強度で接合される圧電素子を形成することができる。ところが、圧電素子が薄膜に限定されたため、大きな駆動力を必要とするアクチュエータには適用できないという問題があった。

30

【0060】

これに対して、本実施形態のアクチュエータ1では、粘接着剤のように、主に、アンカー効果のような物理的な結合に基づく接着ではなく、短時間で、かつ共有結合のような強固な化学結合に基づいて、各弹性部材と各圧電素子とが接合されている。このため、各圧電素子が高速で伸縮する際にも、各弹性部材と各圧電素子との間で剥離が生じるのが確実に防止され、アクチュエータ1の耐久性を優れたものとすることができる。また、このような接合膜3は、厚みムラが生じ難いものであるとともに、粘接着剤を熱や光により硬化させてなる粘接着剤層の厚さよりも極めて厚さが薄いものである。これにより、各圧電素子の駆動力を、接合膜3を介して接合される各弹性部材に十分に伝達することができる。結果として、所望の振動特性を有するアクチュエータ1となる。

40

【0061】

また、従来から用いられている粘接着剤は、硬化時に体積収縮を起こし、形成される粘接着剤層に残留応力が生じるものであったが、上述したような接合膜3は、体積収縮が起こらず、残留応力がほとんど発生しないものである。圧電素子と接合される弹性部材の主材料がシリコンで構成されたものである場合には、このような残留応力が生じると、圧電素子を駆動させていない状態においても、弹性部材が圧電素子側に反ってしまい、結果として、可動板に所望の回転挙動をさせることが困難となる。これに対して、各弹性部材と各圧電素子とが接合膜3を介して接合されたアクチュエータ1では、このような問題が発生するのを確実に防止することができる。また、接合膜3は、化学的に安定なSi骨格3

50

01の作用により、耐熱性に優れている。このため、各圧電素子の駆動時に発生する熱によって、接合膜3が変質、劣化するのを確実に防止することができ、各弹性部材と各圧電素子との接合強度を長期間にわたって高いものとし続けることができる。

【0062】

また、このような接合膜3は、流動性を有しない固体状のものとなる。このため、従来、流動性を有する液状または粘液状の接着剤に比べて、接着層(接合膜3)の厚さや形状がほとんど変化しない。これにより、各弹性部材と各圧電素子とが、厚みムラなく接合され、各圧電素子が各弹性部材に伝達する駆動力にばらつきが生じるのを、より確実に防止することができる。さらに、接着剤の硬化に要する時間が不要になるため、短時間で強固な接合が可能となる。

10

【0063】

このような接合膜3としては、特に、接合膜3を構成する全原子からH原子を除いた原子のうち、Si原子の含有率とO原子の含有率の合計が、10~90原子%程度であるのが好ましく、20~80原子%程度であるのがより好ましい。Si原子とO原子とが、前記範囲の含有率で含まれていれば、接合膜3は、Si原子とO原子とが強固なネットワークを形成し、接合膜3自体が強固なものとなる。また、かかる接合膜3は、各圧電素子および各弹性部材に対して、特に高い接合強度を示すものとなる。

【0064】

また、接合膜3中のSi原子とO原子の存在比は、3:7~7:3程度であるのが好ましく、4:6~6:4程度であるのがより好ましい。Si原子とO原子の存在比を前記範囲内になるよう設定することにより、接合膜3の安定性が高くなり、各弹性部材と各圧電素子とをより強固に接合することができるようになる。

20

なお、接合膜3中のSi骨格301の結晶化度は、45%以下であるのが好ましく、40%以下であるのがより好ましい。これにより、Si骨格301は十分にランダムな原子構造を含むものとなる。このため、前述したSi骨格301の特性が顕在化し、接合膜3の安定性が高くなり、各弹性部材および各圧電素子との接着性がより優れたものとなる。

【0065】

また、Si骨格301に結合する脱離基303は、前述したように、Si骨格301から脱離することによって、接合膜3に活性手を生じさせるよう振る舞うものである。したがって、脱離基303には、エネルギーを付与されることによって、比較的簡単に、かつ均一に脱離するものの、エネルギーが付与されないとには、脱離しないようSi骨格301に確実に結合しているものである必要がある。

30

【0066】

かかる観点から、脱離基303には、H原子、B原子、C原子、N原子、O原子、P原子、S原子およびハロゲン系原子、またはこれらの各原子を含み、これらの各原子がSi骨格301に結合するよう配置された原子団からなる群から選択される少なくとも1種で構成されたものが好ましく用いられる。かかる脱離基303は、エネルギーの付与による結合/脱離の選択性に比較的優れている。このため、このような脱離基303は、上記のような必要性を十分に満足し得るものとなり、接合膜3の接着性をより高度なものとすることができる。

40

【0067】

なお、上記のような各原子がSi骨格301に結合するよう配置された原子団(基)としては、例えば、メチル基、エチル基のようなアルキル基、ビニル基、アリル基のようなアルケニル基、アルデヒド基、ケトン基、カルボキシル基、アミノ基、アミド基、ニトロ基、ハロゲン化アルキル基、メルカプト基、スルホン酸基、シアノ基、イソシアネート基等が挙げられる。

【0068】

これらの各基の中でも、脱離基303は、特にアルキル基であるのが好ましい。アルキル基は化学的な安定性が高いため、アルキル基を含む接合膜3は、耐候性および耐薬品性に優れたものとなる。

50

このような特徴を有する接合膜3の構成材料としては、例えば、ポリオルガノシロキサンのようなシロキサン結合を含む重合物等が挙げられる。

【0069】

ポリオルガノシロキサンで構成された接合膜3は、それ自体が優れた機械的特性を有している。また、多くの材料に対して特に優れた接着性を示すものである。したがって、ポリオルガノシロキサンで構成された接合膜3は、各弹性部材と各圧電素子との間をより強固に接合することができる。

また、ポリオルガノシロキサンは、通常、撥水性（非接着性）を示すが、エネルギーを付与されることにより、容易に有機基を脱離させることができ、親水性に変化し、接着性を発現するが、この非接着性と接着性との制御を容易かつ確実に行えるという利点を有する。

【0070】

なお、この撥水性（非接着性）は、主に、ポリオルガノシロキサン中に含まれたアルキル基による作用である。したがって、ポリオルガノシロキサンで構成された接合膜3は、エネルギーを付与されることにより、表面に接着性が発現するとともに、表面以外の部分においては、前述したアルキル基による作用・効果が得られるという利点も有する。したがって、接合膜3は、耐候性、撥水性、および耐薬品性に優れたものとなる。

【0071】

また、ポリオルガノシロキサンの中でも、特に、オクタメチルトリシロキサンの重合物を主成分とするものが好ましい。オクタメチルトリシロキサンの重合物を主成分とする接合膜3は、接着性に特に優れることから、本実施形態のアクチュエータ1に対して特に好適に適用できるものである。また、オクタメチルトリシロキサンを主成分とする原料は、常温で液状をなし、適度な粘度を有するため、取り扱いが容易であるという利点もある。

【0072】

また、接合膜3の平均厚さは、1~1000nm程度であるのが好ましく、2~800nm程度であるのがより好ましい。接合膜3の平均厚さを前記範囲内とすることにより、各弹性部材と各圧電素子とを、厚みムラなく、十分に高い寸法精度で強固に接合させることができる。さらに、圧電素子の駆動力を弹性部材により効率良く伝達することができる。

【0073】

すなわち、接合膜3の平均厚さが前記下限値を下回った場合は、十分な接合強度を得られないおそれがある。一方、接合膜3の平均厚さが前記上限値を上回った場合は、各圧電素子の駆動力を各弹性部材に十分に伝達するのが困難となるおそれがある。

さらに、接合膜3の平均厚さが前記範囲内であれば、接合膜3に一定程度の形状追従性が確保される。このため、例えば、各弹性部材の接合面（接合膜3に隣接する面）に凹凸が存在している場合でも、その凹凸の高さにもよるが、凹凸の形状に追従するように接合膜3を被着させることができる。その結果、接合膜3は、凹凸を吸収して、その表面に生じる凹凸の高さを緩和することができる。そして、各弹性部材と各圧電素子とを貼り合わせた際に、接合膜3と、各弹性部材と各圧電素子との密着性を高めることができる。

【0074】

なお、上記のような形状追従性の程度は、接合膜3の厚さが厚いほど顕著になる。したがって、形状追従性を十分に確保するためには、接合膜3の厚さをできるだけ厚くすればよい。

このような接合膜3は、いかなる方法で作製されたものでもよく、プラズマ重合法、CVD法、PVD法のような各種気相成膜法や、各種液相成膜法等により作製することができるが、これらの中でも、プラズマ重合法により作製されたものが好ましい。プラズマ重合法によれば、緻密で均質な接合膜3を効率よく作製することができる。これにより、プラズマ重合法で作製された接合膜3は、耐久性に優れるとともに、各弹性部材と各圧電素子とを強固に接合し得るものとなる。さらに、プラズマ重合法で作製された接合膜3は、エネルギーが付与されて活性化された状態が比較的長時間にわたって維持される。このた

10

20

30

40

50

め、アクチュエータ1の製造過程の簡素化、効率化を図ることができる。

また、各弹性部材と各圧電素子は、互いに剛性が異なっているのが好ましい。これにより、各弹性部材と各圧電素子とをより強固に接合することができる。

【0075】

次に、アクチュエータ1の本発明にかかる製造方法について詳述する。

図6および図7は、それぞれ、本実施形態のアクチュエータ1の製造方法を説明するための図(図1中A-A線縦断面図に対応する図)である。なお、以下では、説明の便宜上、図6および図7中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

[1] まず、図6(a)に示すように、基体2と支持基板4とを形成するためのSOI基板7を用意する。このようなSOI基板7は、Si層71と、SiO₂層72と、Si層73とが積層した積層構造をなしている。そして、図6(b)に示すように、Si層71の上面に、可動板22と、軸部材231、232と、駆動部材241、242と、弹性部材25~28と、支持部29との平面視形状に対応する形状をなすレジストマスク81を形成するとともに、Si層73の下面に、支持基板4の平面視形状に対応する形状をなすレジストマスク82を形成する。
10

【0076】

次に、レジストマスク81を介して、Si層71をエッチングする。その後、レジストマスク81を除去する。これにより、図6(c)に示すように、可動板22と、軸部材231、232と、駆動部材241、242と、弹性部材25~28と、支持部29とが一体的に形成されたSi層71が得られる。なお、このとき、SiO₂層72は、エッチングのストップ層として機能する。このようなエッチング方法としては、例えば、プラズマエッチング、リアクティブイオンエッチング、ビームエッチング、光アシストエッチング等の物理的エッチング法、ウェットエッチング等の化学的エッチング法等のうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることができる。なお、以下の各工程におけるエッチングにおいても、同様の方法を用いることができる。
20

次に、図6(d)に示すように、Si層71の上面に、金属膜を形成し、光反射部221を形成する。このような金属膜の形成方法としては、真空蒸着、スパッタリング(低温スパッタリング)、イオンプレーティング等の乾式メッキ法、電解メッキ、無電解メッキ等の湿式メッキ法、溶射法、金属箔の接合等が挙げられる。

【0077】

[2] 次に、図6(e)に示すように、光反射部221を形成したSi層71上的一部、すなわち基体2の弹性部材25~28上、および各弹性部材と連結している支持部29上的一部の領域に接合膜3を形成する。
30

以下、基体2の一部の領域上に接合膜3を形成する方法について説明する。

まず、接合膜3をプラズマ重合法にて形成する方法について詳述するが、接合膜3の形成方法を説明するのに先立って、接合膜3を作製する際に用いるプラズマ重合装置について説明し、その後、接合膜3の形成方法について説明する。

【0078】

図10は、本実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜の作製に用いられるプラズマ重合装置を模式的に示す縦断面図である。なお、以下の説明では、図10中の上側を「上」、下側を「下」と言う。
40

図10に示すプラズマ重合装置100は、チャンバー101と、基体2(SOI基板7)を支持する第1の電極130と、第2の電極140と、各電極130、140間に高周波電圧を印加する電源回路180と、チャンバー101内にガスを供給するガス供給部190と、チャンバー101内のガスを排気する排気ポンプ170とを備えている。これらの各部のうち、第1の電極130および第2の電極140がチャンバー101内に設かれている。以下、各部について詳細に説明する。

【0079】

チャンバー101は、内部の気密を保持し得る容器であり、内部を減圧(真空)状態にして使用されるため、内部と外部との圧力差に耐え得る耐圧性能を有するものとされる。
50

図10に示すチャンバー101は、軸線が水平方向に沿って配置されたほぼ円筒形をなすチャンバー本体と、チャンバー本体の左側開口部を封止する円形の側壁と、右側開口部を封止する円形の側壁とで構成されている。

【0080】

チャンバー101の上方には供給口103が、下方には排気口104が、それぞれ設けられている。そして、供給口103にはガス供給部190が接続され、排気口104には排気ポンプ170が接続されている。

なお、本実施形態では、チャンバー101は、導電性の高い金属材料で構成されており、接地線102を介して電気的に接地されている。

【0081】

第1の電極130は、板状をなしており、基体2を支持している。

この第1の電極130は、チャンバー101の側壁の内壁面に、鉛直方向に沿って設けられており、これにより、第1の電極130は、チャンバー101を介して電気的に接地されている。なお、第1の電極130は、図10に示すように、チャンバー本体と同心状に設けられている。

【0082】

第1の電極130の基体2を支持する面には、静電チャック(吸着機構)139が設けられている。

この静電チャック139により、図10に示すように、基体2を鉛直方向に沿って支持することができる。また、基体2に多少の反りがあっても、静電チャック139に吸着させることにより、その反りを矯正した状態で基体2をプラズマ処理に供することができる。

【0083】

第2の電極140は、基体2を介して、第1の電極130と対向して設けられている。なお、第2の電極140は、チャンバー101の側壁の内壁面から離間した(絶縁された)状態で設けられている。

この第2の電極140には、配線184を介して高周波電源182が接続されている。また、配線184の途中には、マッチングボックス(整合器)183が設けられている。これらの配線184、高周波電源182およびマッチングボックス183により、電源回路180が構成されている。

【0084】

このような電源回路180によれば、第1の電極130は接地されているので、第1の電極130と第2の電極140との間に高周波電圧が印加される。これにより、第1の電極130と第2の電極140との間隙には、高い周波数で向きが反転する電界が誘起される。

ガス供給部190は、チャンバー101内に所定のガスを供給するものである。

【0085】

図10に示すガス供給部190は、液状の膜材料(原料液)を貯留する貯液部1901と、液状の膜材料を気化してガス状に変化させる気化装置1902と、キャリアガスを貯留するガスボンベ1903とを有している。また、これらの各部とチャンバー101の供給口103とが、それぞれ配管1904で接続されており、ガス状の膜材料(原料ガス)とキャリアガスとの混合ガスを、供給口103からチャンバー101内に供給するように構成されている。

【0086】

貯液部1901に貯留される液状の膜材料は、プラズマ重合装置100により、重合して基体2の表面に重合膜を形成する原材料となるものである。

このような液状の膜材料は、気化装置1902により気化され、ガス状の膜材料(原料ガス)となってチャンバー101内に供給される。なお、原料ガスについては、後に詳述する。

【0087】

10

20

30

40

50

ガスボンベ 1903 に貯留されるキャリアガスは、電界の作用により放電し、およびこの放電を維持するために導入するガスである。このようなキャリアガスとしては、例えば、Ar ガス、He ガス等が挙げられる。

また、チャンバー 101 内の供給口 103 の近傍には、拡散板 198 が設けられている。

拡散板 198 は、チャンバー 101 内に供給される混合ガスの拡散を促進する機能を有する。これにより、混合ガスは、チャンバー 101 内に、ほぼ均一の濃度で分散することができる。

【0088】

排気ポンプ 170 は、チャンバー 101 内を排気するものであり、例えば、油回転ポンプ、ターボ分子ポンプ等で構成される。このようにチャンバー 101 内を排気して減圧することにより、ガスを容易にプラズマ化することができる。また、大気雰囲気との接触による基体 2 の汚染・酸化等を防止するとともに、プラズマ処理による反応生成物をチャンバー 101 内から効果的に除去することができる。

また、排気口 104 には、チャンバー 101 内の圧力を調整する圧力制御機構 172 が設けられている。これにより、チャンバー 101 内の圧力が、ガス供給部 190 の動作状況に応じて、適宜設定される。

【0089】

次に、基体 2 の弾性部材 25～28 上、および各弾性部材と連結している支持部 29 上の一部の領域に、接合膜 3 を形成する方法について説明する。

[2-1] まず、基体 2 の弾性部材 25～28 上、および各弾性部材と連結している支持部 29 上の一部の領域に対応する形状の窓部を有するマスクを、基体 2 上に形成する。このようにしてマスクを形成した基体 2 をプラズマ重合装置 100 のチャンバー 101 内に収納して封止状態とした後、排気ポンプ 170 の作動により、チャンバー 101 内を減圧状態とする。

【0090】

次に、ガス供給部 190 を作動させ、チャンバー 101 内に原料ガスとキャリアガスの混合ガスを供給する。供給された混合ガスは、チャンバー 101 内に充填される。

ここで、混合ガス中における原料ガスの占める割合（混合比）は、原料ガスやキャリアガスの種類や目的とする成膜速度等によって若干異なるが、例えば、混合ガス中の原料ガスの割合を 20～70% 程度に設定するのが好ましく、30～60% 程度に設定するのがより好ましい。これにより、重合膜の形成（成膜）の条件の最適化を図ることができる。

【0091】

また、供給するガスの流量は、ガスの種類や目的とする成膜速度、膜厚等によって適宜決定され、特に限定されるものではないが、通常は、原料ガスおよびキャリアガスの流量を、それぞれ、1～100 cm³程度に設定するのが好ましく、10～60 cm³程度に設定するのがより好ましい。

次いで、電源回路 180 を作動させ、一対の電極 130、140 間に高周波電圧を印加する。これにより、一対の電極 130、140 間に存在するガスの分子が電離し、プラズマが発生する。このプラズマのエネルギーにより原料ガス中の分子が重合し、重合物が基体 2 上に付着・堆積する。これにより、図 6 (e) に示すように、基体 2 のマスクの窓部に対応した領域にプラズマ重合膜で構成された接合膜 3 が形成される。

【0092】

原料ガスとしては、例えば、メチルシロキサン、オクタメチルトリシロキサン、デカメチルテトラシロキサン、デカメチルシクロペンタシロキサン、オクタメチルシクロテトラシロキサン、メチルフェニルシロキサンのようなオルガノシロキサン等が挙げられる。

このような原料ガスを用いて得られるプラズマ重合膜、すなわち接合膜 3 は、これらの原料が重合してなるもの（重合物）、すなわちポリオルガノシロキサンで構成されることとなる。

【0093】

10

20

30

40

50

プラズマ重合の際、一対の電極 130、140 間に印加する高周波の周波数は、特に限定されないが、1 kHz ~ 100 MHz 程度であるのが好ましく、10 ~ 60 MHz 程度であるのがより好ましい。

また、高周波の出力密度は、特に限定されないが、0.01 ~ 10 W / cm² 程度であるのが好ましく、0.1 ~ 1 W / cm² 程度であるのがより好ましい。

【0094】

また、成膜時のチャンバー 101 内の圧力は、 133.3×10^{-5} ~ 1333 Pa (1×10^{-5} ~ 10 Torr) 程度であるのが好ましく、 133.3×10^{-4} ~ 133.3 Pa (1×10^{-4} ~ 1 Torr) 程度であるのがより好ましい。

原料ガス流量は、0.5 ~ 200 sccm 程度であるのが好ましく、1 ~ 100 sccm 程度であるのがより好ましい。一方、キャリアガス流量は、5 ~ 750 sccm 程度であるのが好ましく、10 ~ 500 sccm 程度であるのがより好ましい。

【0095】

処理時間は、1 ~ 10 分程度であるのが好ましく、4 ~ 7 分程度であるのがより好ましい。なお、成膜される接合膜 3 の厚さは、主に、この処理時間に比例する。したがって、この処理時間を調整することのみで、接合膜 3 の厚さを容易に調整することができる。このため、各弹性部材と各圧電素子との間の距離を厳密に制御することができる。

また、基体 2 の温度は、25 以上であるのが好ましく、25 ~ 100 程度であるのがより好ましい。

以上のような処理を行った後、マスクを除去して接合膜 3 を得ることができる。

【0096】

[2-2] 次に、基体 2 上に形成した接合膜 3 に対してエネルギーを付与する。

エネルギーが付与されると、接合膜 3 では、図 8 に示す脱離基 303 が Si 骨格 301 から脱離する。そして、脱離基 303 が脱離した後には、図 9 に示すように、接合膜 3 の表面および内部に活性点 304 が生じる。これにより、接合膜 3 の表面に、各圧電素子との接着性が発現する。

【0097】

ここで、接合膜 3 に付与するエネルギーは、いかなる方法で付与されてもよく、例えば、(I) 接合膜 3 にエネルギー線を照射する方法、(II) 接合膜 3 を加熱する方法、(III) 接合膜 3 に圧縮力を付与する(物理的エネルギーを付与する)方法が代表的に挙げられ、この他、プラズマに曝す(プラズマエネルギーを付与する)方法、オゾンガスに曝す(化学的エネルギーを付与する)方法等が挙げられる。

このうち、接合膜 3 にエネルギーを付与する方法として、特に、上記(I)、(II)、(III) の各方法のうち、少なくとも 1 つの方法を用いるのが好ましい。これらの方法は、接合膜 3 に対して比較的簡単に効率よくエネルギーを付与することができるので、エネルギー付与方法として好適である。

【0098】

以下、上記(I)、(II)、(III) の各方法について詳述する。

(I) 接合膜 3 にエネルギー線を照射する場合、エネルギー線としては、例えば、紫外線、レーザー光のような光、X 線、線、電子線、イオンビームのような粒子線等、またはこれらのエネルギー線を組み合わせたものが挙げられる。

これらのエネルギー線の中でも、特に、波長 150 ~ 300 nm 程度の紫外線を用いるのが好ましい(図 7(a) 参照)。かかる紫外線によれば、付与されるエネルギー量が最適化されるので、接合膜 3 中の Si 骨格 301 が必要以上に破壊されるのを防止しつつ、Si 骨格 301 と脱離基 303 との間の結合を選択的に切断することができる。これにより、接合膜 3 の特性(機械的特性、化学的特性等)が低下するのを防止しつつ、接合膜 3 に接着性を発現させることができる。

【0099】

また、紫外線によれば、広い範囲をムラなく短時間に処理することができるので、脱離基 303 の脱離を効率よく行わせることができる。さらに、紫外線には、例えば、UV ラ

10

20

30

40

50

ンプ等の簡単な設備で発生させることができるという利点もある。

なお、紫外線の波長は、より好ましくは、160～200 nm程度とされる。

また、UVランプを用いる場合、その出力は、接合膜3の面積に応じて異なるが、1 mW/cm²～1 W/cm²程度であるのが好ましく、5 mW/cm²～50 mW/cm²程度であるのがより好ましい。なお、この場合、UVランプと接合膜3との離間距離は、3～3000 mm程度とするのが好ましく、10～1000 mm程度とするのがより好ましい。

【0100】

また、紫外線を照射する時間は、接合膜3の表面付近の脱離基303を脱離し得る程度の時間、すなわち、接合膜3の内部の脱離基303を多量に脱離させない程度の時間とするのが好ましい。具体的には、紫外線の光量、接合膜3の構成材料等に応じて若干異なるものの、0.5～30分程度であるのが好ましく、1～10分程度であるのがより好ましい。

また、紫外線は、時間的に連続して照射されてもよいが、間欠的（パルス状）に照射されてもよい。

【0101】

一方、レーザー光としては、例えば、エキシマレーザー（フェムト秒レーザー）、Nd-YAGレーザー、Arレーザー、CO₂レーザー、He-Neレーザー等が挙げられる。

また、接合膜3に対するエネルギー線の照射は、いかなる雰囲気中で行うようにしてもよく、具体的には、大気、酸素のような酸化性ガス雰囲気、水素のような還元性ガス雰囲気、窒素、アルゴンのような不活性ガス雰囲気、またはこれらの雰囲気を減圧した減圧（真空）雰囲気等が挙げられるが、特に大気雰囲気中で行うのが好ましい。これにより、雰囲気を制御することに手間やコストをかける必要がなくなり、エネルギー線の照射をより簡単に行うことができる。

【0102】

このように、エネルギー線を照射する方法によれば、接合膜3に対して選択的にエネルギーを付与することが容易に行えるため、例えば、エネルギーの付与による基体2の変質・劣化を防止することができる。

また、エネルギー線を照射する方法によれば、付与するエネルギーの大きさを、精度よく簡単に調整することができる。このため、接合膜3から脱離する脱離基303の脱離量を調整することができる。このように脱離基303の脱離量を調整することにより、接合膜3と各圧電素子との間の接合強度を容易に制御することができる。

【0103】

すなわち、脱離基303の脱離量を多くすることにより、接合膜3の表面および内部に、より多くの活性手が生じるため、接合膜3に発現する接着性をより高めることができる。一方、脱離基303の脱離量を少なくすることにより、接合膜3の表面および内部に生じる活性手を少なくし、接合膜3に発現する接着性を抑えることができる。

なお、付与するエネルギーの大きさを調整するためには、例えば、エネルギー線の種類、エネルギー線の出力、エネルギー線の照射時間等の条件を調整すればよい。

さらに、エネルギー線を照射する方法によれば、短時間で大きなエネルギーを付与することができるので、エネルギーの付与をより効率よく行うことができる。

このようなエネルギー線の照射は、図7(a)に示すように、基体2上全面に行ってよいし、接合膜3が設けられた領域のみに照射してもよい。

【0104】

(II) 接合膜3を加熱する場合(図示せず)、加熱温度を25～100程度に設定するのが好ましく、50～100程度に設定するのがより好ましい。かかる範囲の温度で加熱すれば、基体2等が熱によって変質・劣化するのを確実に防止しつつ、接合膜3を確実に活性化させることができる。

また、加熱時間は、接合膜3の分子結合を切断し得る程度の時間であればよく、具体的

10

20

30

40

50

には、加熱温度が前記範囲内であれば、1～30分程度であるのが好ましい。

【0105】

また、接合膜3は、いかなる方法で加熱されてもよいが、例えば、ヒータを用いる方法、赤外線を照射する方法、火炎に接触させる方法等の各種加熱方法で加熱することができる。

なお、接合される部材間の熱膨張率がほぼ等しい場合には、上記のような条件で接合膜3を加熱すればよいが、これらの熱膨張率が互いに異なっている場合には、後に詳述するが、できるだけ低温下で接合を行うのが好ましい。接合を低温下で行うことにより、接合界面に発生する熱応力のさらなる低減を図ることができる。

【0106】

(III) 本実施形態では、各弾性部材と各圧電素子とを貼り合わせる前に、接合膜3に対してエネルギーを付与する場合について説明しているが、かかるエネルギーの付与は、これらを重ね合わせた後に行われるようしてもよい。すなわち、基体2上に接合膜3を形成した後、エネルギーを付与する前に、接合膜3と各圧電素子とが密着するように、これらを重ね合わせて、仮接合体とする。そして、この仮接合体中の接合膜3に対してエネルギーを付与することにより、接合膜3に接着性が発現し、接合膜3を介して各弾性部材と各圧電素子とがそれぞれ接合(接着)される。

【0107】

この場合、仮接合体中の接合膜3に対するエネルギーの付与は、前述した(I)、(II)の方法でもよいが、接合膜3に圧縮力を付与する方法を用いてもよい。

この場合、接合される部材同士が互いに近づく方向に、0.2～10MPa程度の圧力で圧縮するのが好ましく、1～5MPa程度の圧力で圧縮するのがより好ましい。これにより、単に圧縮するのみで、接合膜3に対して適度なエネルギーを簡単に付与することができ、接合膜3に十分な接着性が発現する。なお、この圧力が前記上限値を上回っても構わないが、接合される部材の各構成材料によっては、部材に損傷等が生じるおそれがある。

【0108】

また、圧縮力を付与する時間は、特に限定されないが、10秒～30分程度であるのが好ましい。なお、圧縮力を付与する時間は、圧縮力の大きさに応じて適宜変更すればよい。具体的には、圧縮力の大きさが大きいほど、圧縮力を付与する時間を短くすることができる。

なお、仮接合体の状態では、接合される部材間は、まだ接合されていないので、これらの相対的な位置を容易に調整する(ずらす)ことができる。したがって、一旦、仮接合体を得た後、接合される部材の相対位置を微調整することにより、最終的に得られるアクチュエータ1の組み立て精度(寸法精度)を確実に高めることができる。

【0109】

以上のような(I)、(II)、(III)の各方法により、接合膜3にエネルギーを付与することができる。

なお、接合膜3の全面にエネルギーを付与するようにしてもよいが、一部の領域のみに付与するようにしてもよい。このようにすれば、接合膜3の接着性が発現する領域を制御することができ、この領域の面積・形状等を適宜調整することによって、接合界面に発生する応力の局所集中を緩和することができる。これにより、例えば、接合される部材間の熱膨張率差が大きい場合でも、これらを確実に接合することができる。

【0110】

ここで、前述したように、エネルギーが付与される前の状態の接合膜3は、図8に示すように、Si骨格301と脱離基303とを有している。かかる接合膜3にエネルギーが付与されると、脱離基303(本実施形態では、メチル基)がSi骨格301から脱離する。これにより、図9に示すように、接合膜3の表面35に活性手304が生じ、活性化される。その結果、接合膜3の表面に接着性が発現する。

【0111】

10

20

30

40

50

ここで、接合膜3を「活性化させる」とは、接合膜3の表面35および内部の脱離基303が脱離して、Si骨格301において終端化されていない結合手(以下、「未結合手」または「ダングリングボンド」とも言う。)が生じた状態や、この未結合手が水酸基(OH基)によって終端化された状態、または、これらの状態が混在した状態のことを言う。

【0112】

したがって、活性手304とは、未結合手(ダングリングボンド)、または未結合手が水酸基によって終端化されたもののことと言う。このような活性手304によれば、被着体に対して、特に強固な接合が可能となる。

なお、後者の状態(未結合手が水酸基によって終端化された状態)は、例えば、接合膜3に対して大気雰囲気中でエネルギー線を照射することにより、大気中の水分が未結合手を終端化することによって、容易に生成することができる。

【0113】

[2-3]次に、各圧電素子(被着体)を用意する。そして、図7(b)に示すように、接着性が発現してなる接合膜3と各圧電素子とが密着するように、これらを貼り合わせる。これにより、図7(c)に示すように、基体2(各弹性部材および各弹性部材と連結する支持部29の一部の領域)と各圧電素子とが、接合膜3を介して接合(接着)される。

【0114】

なお、各圧電素子の形成方法は特に限定されない。圧電素子51について代表的に説明すると、例えば、薄膜状の電極512を用意し、その面上に圧電体層511をCVD、スパッタリング、水熱合成、ゾルゲル、微粒子吹き付け等の薄膜形成法などにより形成し、その圧電体層の電極512と反対側の面に電極513を形成することにより圧電素子51を形成してもよい。また、同様にして圧電素子52、53、54を得ることができる。

【0115】

ここで、上記のようにして接合される基体2と各圧電素子の各熱膨張率は、ほぼ等しいのが好ましい。基体2と各圧電素子の各熱膨張率がほぼ等しければ、これらを貼り合せた際に、その接合界面に熱膨張に伴う応力が発生し難くなる。その結果、最終的に得られるアクチュエータ1において、剥離等の不具合が発生するのを確実に防止することができる。

【0116】

また、基体2と各圧電素子の各熱膨張率が互いに異なる場合でも、これらを貼り合わせる際の条件を以下のように最適化することにより、基体2と各圧電素子とを高い寸法精度で強固に接合することができる。

すなわち、基体2と各圧電素子の各熱膨張率が互いに異なっている場合には、できるだけ低温下で接合を行うのが好ましい。接合を低温下で行うことにより、接合界面に発生する熱応力のさらなる低減を図ることができる。

【0117】

具体的には、基体2と各圧電素子との熱膨張率差にもよるが、基体2と各圧電素子の温度が25~50°C程度である状態下で、これらを貼り合わせるのが好ましく、25~40°C

程度である状態下で貼り合わせるのがより好ましい。このような温度範囲であれば、基体2と各圧電素子との熱膨張率差がある程度大きくても、接合界面に発生する熱応力を十分に低減することができる。その結果、アクチュエータ1における反りや剥離等の発生を確実に防止することができる。

【0118】

また、この場合、基体2と各圧電素子との間の熱膨張係数の差が、 $5 \times 10^{-5} / K$ 以上あるような場合には、上記のようにして、できるだけ低温下で接合を行うことが特に推奨される。なお、接合膜3を用いることにより、上述したような低温下でも、基体2と各圧電素子とを強固に接合することができる。

また、基体2と各圧電素子は、互いに剛性が異なっているのが好ましい。これにより、

10

20

30

40

50

基体 2 と各圧電素子とをより強固に接合することができる。

【 0 1 1 9 】

なお、基体 2 の接合膜 3 を成膜する領域には、あらかじめ、接合膜 3 との密着性を高める表面処理を施すのが好ましい。これにより、基体 2 と接合膜 3 との間の接合強度をより高めることができ、最終的には、基体 2 と各圧電素子との接合強度を高めることができる。

かかる表面処理としては、例えば、スパッタリング処理、プラスト処理のような物理的表面処理、酸素プラズマ、窒素プラズマ等を用いたプラズマ処理、コロナ放電処理、エッチング処理、電子線照射処理、紫外線照射処理、オゾン暴露処理のような化学的表面処理、または、これらを組み合わせた処理等が挙げられる。このような処理を施すことにより、基体 2 の接合膜 3 を成膜する領域を清浄化するとともに、該領域を活性化させることができる。

【 0 1 2 0 】

また、これらの各表面処理の中でもプラズマ処理を用いることにより、接合膜 3 を形成するために、基体 2 の表面を特に最適化することができる。

さらに、基体 2 の接合膜 3 を成膜する領域に、以下の基や物質を有する場合には、上記のような表面処理を施さなくても、基体 2 と接合膜 3 との接合強度を十分に高くすることができる。

【 0 1 2 1 】

このような基や物質としては、例えば、水酸基、チオール基、カルボキシル基、アミノ基、ニトロ基、イミダゾール基のような官能基、ラジカル、開環分子、2重結合、3重結合のような不飽和結合、F、Cl、Br、Iのようなハロゲン、過酸化物からなる群から選択される少なくとも 1 つの基または物質が挙げられる。

また、このようなものを有する表面が得られるように、上述したような各種表面処理を選択して行うのが好ましい。

【 0 1 2 2 】

また、表面処理に代えて、基体 2 の少なくとも接合膜 3 を成膜する領域には、あらかじめ、中間層を形成しておくのが好ましい。

この中間層は、いかなる機能を有するものであってもよく、例えば、接合膜 3 との密着性を高める機能、クッション性（緩衝機能）、応力集中を緩和する機能等を有するものが好ましい。このような中間層を介して基体 2 上に接合膜 3 を成膜することにより、基体 2 と接合膜 3 との接合強度を高め、信頼性の高い接合体、すなわちアクチュエータ 1 を得ることができる。

【 0 1 2 3 】

かかる中間層の構成材料としては、例えば、アルミニウム、チタンのような金属系材料、金属酸化物、シリコン酸化物のような酸化物系材料、金属窒化物、シリコン窒化物のような窒化物系材料、グラファイト、ダイヤモンドライクカーボンのような炭素系材料、シリカクリーニング剤、チオール系化合物、金属アルコキシド、金属・ハロゲン化合物のような自己組織化膜材料等が挙げられ、これらのうちの 1 種または 2 種以上を組み合わせて用いることができる。

【 0 1 2 4 】

また、これらの各材料で構成された中間層の中でも、酸化物系材料で構成された中間層によれば、基体 2 と接合膜 3 との間の接合強度を特に高めることができる。

一方、各圧電素子の接合膜 3 と接触する領域にも、あらかじめ、接合膜 3 との密着性を高める表面処理を施すのが好ましい。これにより、各圧電素子と接合膜 3 との間の接合強度をより高めることができる。

【 0 1 2 5 】

なお、この表面処理には、基体 2 に対して施す前述したような表面処理と同様の処理を適用することができる。

また、表面処理に代えて、各圧電素子の接合膜 3 と接触する領域に、あらかじめ、接合

10

20

30

40

50

膜3との密着性を高める機能を有する中間層を形成しておくのが好ましい。これにより、各圧電素子と接合膜3との間の接合強度をより高めることができる。

【0126】

かかる中間層の構成材料には、前述の基体2に形成する中間層の構成材料と同様のものを用いることができる。

ここで、本工程において、接合膜3を備える基体2と、各圧電素子とが接合されるメカニズムについて説明する。

例えば、各圧電素子の基体2（各弹性部材および各弹性部材と連結する支持部29の一部）との接合に供される領域に、水酸基が露出している場合を例に説明すると、本工程において、接合膜3と各圧電素子とが接触するように、基体2と各圧電素子とを貼り合わせたとき、接合膜3の表面35に存在する水酸基と、各圧電素子の前記領域に存在する水酸基とが、水素結合によって互いに引き合い、水酸基同士の間に引力が発生する。この引力によって、接合膜3を備える基体2と各圧電素子とが接合されると推察される。

10

【0127】

また、この水素結合によって互いに引き合う水酸基同士は、温度条件等によって、脱水縮合を伴って表面から切断される。その結果、接合膜3と各圧電素子との接触界面では、水酸基が結合していた結合手同士が結合する。これにより、接合膜3を介して基体2と各圧電素子とがより強固に接合されると推察される。

なお、前記工程[2-2]で活性化された接合膜3の表面は、その活性状態が経時的に緩和してしまう。このため、前記工程[2-2]の終了後、できるだけ早く本工程[2-3]を行うようとするのが好ましい。具体的には、前記工程[2-2]の終了後、60分以内に本工程[2-3]を行うようとするのが好ましく、5分以内に行うのがより好ましい。かかる時間内であれば、接合膜3の表面が十分な活性状態を維持しているので、本工程で接合膜3を備える基体2と各圧電素子とを貼り合わせたとき、これらの間に十分な接合強度を得ることができる。

20

【0128】

このようにして接合された基体2（各弹性部材および各弹性部材と連結する支持部29の一部）と各圧電素子との間は、その接合強度が5MPa(50kgf/cm²)以上であるのが好ましく、10MPa(100kgf/cm²)以上であるのがより好ましい。このような接合強度であれば、接合界面の剥離を十分に防止し得るものとなる。そして、信頼性の高いアクチュエータ1が得られる。

30

【0129】

[3] 次に、レジストマスク82を介してSi層73をエッティングする。その後、レジストマスク82を除去する。これにより、図7(d)に示すように、支持基板4が形成されたSi層73が得られる。このとき、SiO₂層72は、エッティングのストップ層として機能する。最後に、空間41に対応する部分のSiO₂層72を除去し、各圧電素子を電源回路に接続（図示せず）することにより図7(e)に示すように、アクチュエータ1を得ることができる。

【0130】

なお、上記では、基体2上に成膜された接合膜3と各圧電素子とが密着するように貼り合わせる場合について説明しているが、各圧電素子の下面に成膜された接合膜3と基体2（各弹性部材および各弹性部材と連結する支持部29の一部）とが密着するように、基体2と各圧電素子とを貼り合わせるようにしてよい。

40

また、接合膜3は、基体2（各弹性部材および各弹性部材と連結する支持部29の一部）と各圧電素子の双方に成膜されていてもよい。この場合、基体2上に成膜された接合膜3と、各圧電素子に成膜された接合膜3とが密着するように、基体2と各圧電素子とを貼り合わせることにより、これらをより強固に接合することができる。

また、アクチュエータ1を得た後、このアクチュエータ1に対して、必要に応じ、以下の2つの工程（[4A]および[4B]）のうちの少なくとも1つの工程（アクチュエータ1の接合強度を高める工程）を行うようにしてもよい。これにより、アクチュエータ1

50

の各部の接合強度のさらなる向上を図ることができる。

【0131】

[4A] 得られたアクチュエータ1を圧縮するように、具体的には、基体2と各圧電素子とが互いに近づく方向に加圧する。

これにより、上記各部の表面と隣接する接合膜の表面とがより近接し、アクチュエータ1における接合強度をより高めることができる。

また、アクチュエータ1を加圧することにより、アクチュエータ1中の接合界面に残存していた隙間を押し潰して、接合面積をさらに広げることができる。これにより、アクチュエータ1における接合強度をさらに高めることができる。

【0132】

なお、この圧力は、アクチュエータ1の各部の構成材料や形状、接合装置等の条件に応じて、適宜調整すればよい。具体的には、上記条件に応じて若干異なるものの、0.2~1.0 MPa程度であるのが好ましく、1~5 MPa程度であるのがより好ましい。これにより、アクチュエータ1の接合強度を確実に高めることができる。なお、この圧力が前記上限値を上回っても構わないが、アクチュエータ1の各部の構成材料によっては、アクチュエータ1に損傷等が生じるおそれがある。

また、加圧する時間は、特に限定されないが、10秒~30分程度であるのが好ましい。なお、加圧する時間は、加圧する際の圧力に応じて適宜変更すればよい。具体的には、アクチュエータ1を加圧する際の圧力が高いほど、加圧する時間を短くしても、接合強度の向上を図ることができる。

【0133】

[4B] 得られたアクチュエータ1を加熱する。

これにより、アクチュエータ1における接合強度をより高めることができる。

このとき、アクチュエータ1を加熱する際の温度は、室温より高く、アクチュエータ1の耐熱温度未満であれば、特に限定されないが、好ましくは25~100程度とされ、より好ましくは50~100程度とされる。かかる範囲の温度で加熱すれば、アクチュエータ1が熱によって変質・劣化するのを確実に防止しつつ、接合強度を確実に高めることができる。

【0134】

また、加熱時間は、特に限定されないが、1~30分程度であるのが好ましい。

なお、前記工程[4A]、[4B]の双方を行う場合、これらを同時に行うのが好ましい。すなわち、アクチュエータ1を加圧しつつ、加熱するのが好ましい。これにより、加圧による効果と、加熱による効果とが相乗的に発揮され、アクチュエータ1の接合強度を特に高めることができる。

以上のような工程を行うことにより、アクチュエータ1における接合強度のさらなる向上を容易に図ることができる。

【0135】

<第2実施形態>

次に、本発明のアクチュエータの第2実施形態について説明する。

図11は、第2実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜のエネルギー付与前の状態を示す部分拡大図、図12は、第2実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜のエネルギー付与後の状態を示す部分拡大図である。なお、以下の説明では、図11および図12中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

【0136】

以下、アクチュエータの第2実施形態について説明するが、前記第1実施形態にかかるアクチュエータとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

本実施形態にかかるアクチュエータは、接合膜の構成が異なること以外は、前記第1実施形態と同様である。

すなわち、本実施形態にかかるアクチュエータは、接合膜3がエネルギー付与前の状態

10

20

30

40

50

で、金属原子と、この金属原子に結合する酸素原子と、これら金属原子および酸素原子の少なくとも一方に結合する脱離基303とを含むものである。換言すれば、エネルギー付与前の接合膜3は、図11に示すように、金属酸化物で構成される金属酸化物膜に脱離基303を導入した膜であると言うことができる。

このような接合膜3は、エネルギーが付与されると、脱離基303が金属原子および酸素原子の少なくとも一方から脱離し、接合膜3の少なくとも表面付近に、図12に示す活性手304が生じるものである。そして、これにより、接合膜3の表面に、前記第1実施形態と同様の接着性が発現する。

【0137】

以下、本実施形態にかかる接合膜3について説明する。

接合膜3は、金属原子と、この金属原子と結合する酸素原子とで構成されるもの、すなわち金属酸化物に脱離基303が結合したものであることから、変形し難い強固な膜となる。このため、接合膜3自体が厚みムラのない寸法精度の高いものとなり、各圧電素子の駆動力を各弹性部材により効率良く伝達することができる。

【0138】

さらに、接合膜3は、流動性を有さない固体状をなすものである。このため、従来から用いられている、流動性を有する液状または粘液状(半固形状)の接着剤に比べて、接着層(接合膜3)の厚さや形状がほとんど変化しない。これにより、各弹性部材と各圧電素子とが、厚みムラなく接合され、各圧電素子が各弹性部材に伝達する駆動力にばらつきが生じるのを、より確実に防止することができる。さらに、接着剤の硬化に要する時間が不要になるため、短時間で強固な接合が可能となる。

【0139】

また、本発明では、接合膜3は、導電性を有するものであるのが好ましい。これにより、後述するアクチュエータ1において、意図しない帯電を抑制または防止することができる。その結果、静電気力に伴うアクチュエータ1の不具合、具体的には、各圧電素子に不本意な電圧が印加されるのが確実に防止され、所望の振動特性を確実に発揮することができるアクチュエータ1を得ることができる。

【0140】

また、導電性を有する接合膜3は、圧電素子に通電するための端子(電極)および配線としての機能を併せ持つことができる。これにより、各圧電素子の接合膜と接合される側に電極を設ける必要がなくなり(例えば、圧電素子51の場合、電極512を設ける必要がなくなる。)、アクチュエータ1の構造をより簡単にするとともに、製造工程の簡素化を図ることができる。

【0141】

また、接合膜3が導電性を有する場合、接合膜3の抵抗率は、構成材料の組成に応じて若干異なるものの、 $1 \times 10^{-3} \text{ } \cdot \text{ cm}$ 以下であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-4} \text{ } \cdot \text{ cm}$ 以下であるのがより好ましい。

なお、脱離基303は、少なくとも接合膜3の表面35付近に存在していればよく、接合膜3のほぼ全体に存在していてもよいし、接合膜3の表面35付近に偏在していてもよい。脱離基303が表面35付近に偏在する構成とすることにより、接合膜3に金属酸化物膜としての機能を好適に発揮させることができる。すなわち、接合膜3に、接合を担う機能の他に、導電性および透光性等の特性に優れた金属酸化物膜としての機能を好適に付与することができるという利点も得られる。換言すれば、脱離基303が、接合膜3の導電性および透光性等の特性を阻害してしまうのを確実に防止することができる。

【0142】

以上のような接合膜3としての機能が好適に発揮されるように、金属原子が選択される。

具体的には、金属原子としては、特に限定されないが、例えば、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、各種ランタノイド元素、各種アク

10

20

30

40

50

チノイド元素のような遷移金属元素、Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、Zn、Ga、Rb、Sr、Cd、In、Sn、Sb、Cs、Ba、Tl、Pd、Bi、Poのような典型金属元素等が挙げられる。

【0143】

このうち、遷移金属は、最外殻電子がd軌道またはf軌道に位置しており、各遷移金属元素間は、最外殻電子の数が異なることのみの差異であるため、物性が類似している。そして、遷移金属は、一般に、硬度や融点が高く、電気伝導性および熱伝導性が高い。このため、接合膜3が含む金属原子として、遷移金属元素の原子を選択することにより、接合膜3に発現する接着性をより高めることができる。また、それとともに、接合膜3の導電性をより高めることができる。

10

【0144】

また、特に、接合膜3が含む金属原子としてIn、Sn、Zn、TiおよびSbのうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることにより、接合膜3は、特に優れた導電性を発揮するものとなる。

より具体的には、金属酸化物としては、例えば、インジウム錫酸化物(ITO)、インジウム亜鉛酸化物(IZO)、アンチモン錫酸化物ATO)、フッ素含有インジウム錫酸化物(FTO)、酸化亜鉛(ZnO)および二酸化チタン(TiO₂)等が挙げられる。

20

【0145】

なお、金属酸化物としてインジウム錫酸化物(ITO)を用いる場合には、インジウムとスズとの原子比(インジウム/スズ比)は、99/1~80/20であるのが好ましく、97/3~85/15であるのがより好ましい。これにより、前述したような効果をより顕著に発揮させることができる。

また、接合膜3中の金属原子と酸素原子の存在比は、3:7~7:3程度であるのが好ましく、4:6~6:4程度であるのがより好ましい。金属原子と酸素原子の存在比を前記範囲内になるよう設定することにより、接合膜3の安定性が高くなり、基体2と各圧電素子とをより強固に接合することができるようになる。

30

【0146】

また、脱離基303は、前述したように、金属原子および酸素原子の少なくとも一方から脱離することにより、接合膜3に活性手を生じさせるよう振る舞うものである。したがって、脱離基303には、エネルギーを付与されることによって、比較的簡単に、かつ均一に脱離するものの、エネルギーが付与されないときには、脱離しないよう接合膜3に確実に結合しているものが好適に選択される。

30

【0147】

かかる観点から、脱離基303には、水素原子、炭素原子、窒素原子、リン原子、硫黄原子およびハロゲン原子、またはこれらの各原子で構成される原子団の少なくとも1種が好適に用いられる。かかる脱離基303は、エネルギーの付与による結合/脱離の選択性に比較的優れている。このため、このような脱離基303は、上記のような必要性を十分に満足し得るものとなり、基体2と各圧電素子との接着性をより高度なものとすることができる。

40

【0148】

なお、上記の各原子で構成される原子団(基)としては、例えば、メチル基、エチル基のようなアルキル基、メトキシ基、エトキシ基のようなアルコキシ基、カルボキシル基、アミノ基およびスルホン酸基等が挙げられる。

以上のような各原子および原子団の中でも、脱離基303は、特に、水素原子であるのが好ましい。水素原子で構成される脱離基303は、化学的な安定性が高いため、脱離基303として水素原子を備える接合膜3は、耐候性および耐薬品性に優れたものとなる。

【0149】

以上のことを考慮すると、接合膜3としては、インジウム錫酸化物(ITO)、インジウム亜鉛酸化物(IZO)、アンチモン錫酸化物ATO)、フッ素含有インジウム錫酸

50

化物 (FTO)、酸化亜鉛 (ZnO) または二酸化チタン (TiO₂) の金属酸化物に、脱離基 303 として水素原子が導入されたものが好適に選択される。

かかる構成の接合膜 3 は、それ自体が優れた機械的特性を有している。また、多くの材料に対して特に優れた接着性を示すものである。したがって、このような接合膜 3 は、基体 2 に対して特に強固に接着するとともに、各圧電素子に対しても特に強い被着力を示し、その結果として、基体 2 と各圧電素子とを強固に接合することができる。

【0150】

また、接合膜 3 の平均厚さは、1 ~ 1000 nm 程度であるのが好ましく、2 ~ 800 nm 程度であるのがより好ましい。接合膜 3 の平均厚さを前記範囲内とすることにより、アクチュエータ 1 の寸法精度が著しく低下するのを防止しつつ、基体 2 と各圧電素子とをより強固に接合することができる。10

すなわち、接合膜 3 の平均厚さが前記下限値を下回った場合は、十分な接合強度が得られないおそれがある。一方、接合膜 3 の平均厚さが前記上限値を上回った場合は、アクチュエータ 1 の寸法精度が著しく低下するおそれがある。

【0151】

さらに、接合膜 3 の平均厚さが前記範囲内であれば、接合膜 3 にある程度の形状追従性が確保される。このため、例えば、基体 2 の接合面（接合膜 3 を成膜する面）に凹凸が存在している場合でも、その凹凸の高さにもよるが、凹凸の形状に追従するように接合膜 3 を被着させることができる。その結果、接合膜 3 は、凹凸を吸収して、その表面に生じる凹凸の高さを緩和することができる。そして、基体 2 と各圧電素子とを貼り合わせた際に、接合膜 3 の各圧電素子に対する密着性を高めることができる。20

【0152】

なお、上記のような形状追従性の程度は、接合膜 3 の厚さが厚いほど顕著になる。したがって、形状追従性を十分に確保するためには、接合膜 3 の厚さをできるだけ厚くすればよい。

以上説明したような接合膜 3 は、接合膜 3 のほぼ全体に脱離基 303 を存在させる場合には、例えば、A：脱離基 303 を構成する原子成分を含む雰囲気下で、物理的気相成膜法により、金属原子と酸素原子とを含む金属酸化物材料を成膜することにより形成することができる。また、脱離基 303 を接合膜 3 の表面 35 付近に偏在させる場合には、例えば、B：金属原子と前記酸素原子とを含む金属酸化物膜を成膜した後、この金属酸化物膜の表面付近に含まれる金属原子および酸素原子の少なくとも一方に脱離基 303 を導入することにより形成することができる。30

【0153】

以下、A および B の方法を用いて、基体 2 上に接合膜 3 を成膜する場合について、詳述する。

< A > A の方法では、接合膜 3 は、上記のように、脱離基 303 を構成する原子成分を含む雰囲気下で、物理的気相成膜法 (PVD 法) により、金属原子と酸素原子とを含む金属酸化物材料を成膜することにより形成される。このように PVD 法を用いる構成とすれば、金属酸化物材料を基体 2 に向かって飛来させる際に、比較的容易に金属原子および酸素原子の少なくとも一方に脱離基 303 を導入することができる。このため、接合膜 3 のほぼ全体にわたって脱離基 303 を導入することができる。40

【0154】

さらに、PVD 法によれば、緻密で均質な接合膜 3 を効率よく成膜することができる。これにより、PVD 法で成膜された接合膜 3 は、各圧電素子に対して特に強固に接合し得るものとなる。さらに、PVD 法で成膜された接合膜 3 は、エネルギーが付与されて活性化された状態が比較的長時間にわたって維持される。このため、アクチュエータ 1 の製造過程の簡素化、効率化を図ることができる。

【0155】

また、PVD 法としては、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、レーザーアブレーション法等が挙げられるが、中でも、スパッタリング法を用いるのが好

ましい。スパッタリング法によれば、金属原子と酸素原子との結合が切断することなく、脱離基 303 を構成する原子成分を含む雰囲気中に、金属酸化物の粒子を叩き出すことができる。そして、金属酸化物の粒子が叩き出された状態で、脱離基 303 を構成する原子成分を含むガスと接触させることができるために、金属酸化物（金属原子または酸素原子）への脱離基 303 の導入をより円滑に行うことができる。

【0156】

以下、PVD 法により接合膜 3 を成膜する方法として、スパッタリング法（イオンビームスパッタリング法）により、接合膜 3 を成膜する場合を代表に説明する。

まず、接合膜 3 の成膜方法を説明するのに先立って、基体 2 上にイオンビームスパッタリング法により接合膜 3 を成膜する際に用いられる成膜装置 200 について説明する。

図 13 は、本実施形態にかかる接合膜の作製に用いられる成膜装置を模式的に示す縦断面図、図 14 は、図 13 に示す成膜装置が備えるイオン源の構成を示す模式図である。なお、以下の説明では、図 13 中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

【0157】

図 13 に示す成膜装置 200 は、イオンビームスパッタリング法による接合膜 3 の形成がチャンバー（装置）内で行えるように構成されている。

具体的には、成膜装置 200 は、チャンバー（真空チャンバー）211 と、このチャンバー 211 内に設置され、基体 2（成膜対象物）を保持する基板ホルダー（成膜対象物保持部）212 と、チャンバー 211 内に設置され、チャンバー 211 内に向かってイオンビーム B を照射するイオン源（イオン供給部）215 と、イオンビーム B の照射により、金属原子と酸素原子とを含む金属酸化物（例えば、ITO）を発生させるターゲット（金属酸化物材料）216 を保持するターゲットホルダー（ターゲット保持部）217 とを有している。

【0158】

また、チャンバー 211 には、チャンバー 211 内に、脱離基 303 を構成する原子成分を含むガス（例えば、水素ガス）を供給するガス供給手段 260 と、チャンバー 211 内の排気をして圧力を制御する排気手段 230 とを有している。

なお、本実施形態では、基板ホルダー 212 は、チャンバー 211 の天井部に取り付けられている。この基板ホルダー 212 は、回動可能となっている。これにより、基体 2 上に接合膜 3 を均質かつ均一な厚さで成膜することができる。

【0159】

イオン源（イオン銃）215 は、図 14 に示すように、開口（照射口）250 が形成されたイオン発生室 256 と、イオン発生室 256 内に設けられたフィラメント 257 と、グリッド 253、254 と、イオン発生室 256 の外側に設置された磁石 255 とを有している。

また、イオン発生室 256 には、図 13 に示すように、その内部にガス（スパッタリング用ガス）を供給するガス供給源 219 が接続されている。

【0160】

このイオン源 215 では、イオン発生室 256 内に、ガス供給源 219 からガスを供給した状態で、フィラメント 257 を通電加熱すると、フィラメント 257 から電子が放出され、放出された電子が磁石 255 の磁場によって運動し、イオン発生室 256 内に供給されたガス分子と衝突する。これにより、ガス分子がイオン化する。このガスのイオン I^+ は、グリッド 253 とグリッド 254 との間の電圧勾配により、イオン発生室 256 内から引き出されるとともに加速され、開口 250 を介してイオンビーム B としてイオン源 215 から放出（照射）される。

【0161】

イオン源 215 から照射されたイオンビーム B は、ターゲット 216 の表面に衝突し、ターゲット 216 からは粒子（スパッタ粒子）が叩き出される。このターゲット 216 は、前述したような金属酸化物材料で構成されている。

この成膜装置 200 では、イオン源 215 は、その開口 250 がチャンバー 211 内に

10

20

30

40

50

位置するように、チャンバー211の側壁に固定（設置）されている。なお、イオン源215は、チャンバー211から離間した位置に配置し、接続部を介してチャンバー211に接続した構成とすることもできるが、本実施形態のような構成とすることにより、成膜装置200の小型化を図ることができる。

【0162】

また、イオン源215は、その開口250が、基板ホルダー212と異なる方向、本実施形態では、チャンバー211の底部側を向くように設置されている。

なお、イオン源215の設置個数は、1つに限定されるものではなく、複数とすることもできる。イオン源215を複数設置することにより、接合膜3の成膜速度をより速くすることができる。

10

【0163】

また、ターゲットホルダー217および基板ホルダー212の近傍には、それぞれ、これらを覆うことができる第1のシャッター220および第2のシャッター222が配設されている。

これらシャッター220、222は、それぞれ、ターゲット216、基体2および接合膜3が、不要な雰囲気等に曝されるのを防ぐためのものである。

【0164】

また、排気手段230は、ポンプ2302と、ポンプ2302とチャンバー211とを連通する排気ライン2301と、排気ライン2301の途中に設けられたバルブ2303とで構成されており、チャンバー211内を所望の圧力に減圧し得るようになっている。

20

さらに、ガス供給手段260は、脱離基303を構成する原子成分を含むガス（例えば、水素ガス）を貯留するガスボンベ264と、ガスボンベ264からこのガスをチャンバー211に導くガス供給ライン261と、ガス供給ライン261の途中に設けられたポンプ262およびバルブ263とで構成されており、脱離基303を構成する原子成分を含むガスをチャンバー211内に供給し得るようになっている。

【0165】

以上のような構成の成膜装置200を用いて、以下のようにして接合膜3が形成される。

ここでは、基体2上に接合膜3を成膜する方法について説明する。

まず、基体2を用意し、この基体2を成膜装置200のチャンバー211内に搬入し、基板ホルダー212に装着（セット）する。

30

【0166】

次に、排気手段230を動作させ、すなわちポンプ2302を作動させた状態でバルブ2303を開くことにより、チャンバー211内を減圧状態にする。この減圧の程度（真空度）は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$ Torr 程度であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ Torr 程度であるのがより好ましい。

さらに、ガス供給手段260を動作させ、すなわちポンプ262を作動させた状態でバルブ263を開くことにより、チャンバー211内に脱離基303を構成する原子成分を含むガスを供給する。これにより、チャンバー内をかかるガスを含む雰囲気下（水素ガス雰囲気下）とすることができる。

40

【0167】

脱離基303を構成する原子成分を含むガスの流量は、1~100ccm程度であるのが好ましく、10~60ccm程度であるのがより好ましい。これにより、金属原子および酸素原子の少なくとも一方に確実に脱離基303を導入することができる。

また、チャンバー211内の温度は、25以上であればよいが、25~100程度であるのが好ましい。かかる範囲内に設定することにより、金属原子または酸素原子と、前記原子成分を含むガスとの反応が効率良く行われ、金属原子および酸素原子に確実に、前記原子成分を含むガスを導入することができる。

【0168】

次に、第2のシャッター222を開き、さらに第1のシャッター220を開いた状態に

50

する。

この状態で、イオン源 215 のイオン発生室 256 内にガスを導入するとともに、フィラメント 257 に通電して加熱する。これにより、フィラメント 257 から電子が放出され、この放出された電子とガス分子が衝突することにより、ガス分子がイオン化する。

【0169】

このガスのイオン I^+ は、グリッド 253 とグリッド 254 とにより加速されて、イオン源 215 から放出され、陰極材料で構成されるターゲット 216 に衝突する。これにより、ターゲット 216 から金属酸化物（例えば、ITO）の粒子が叩き出される。このとき、チャンバー 211 内が脱離基 303 を構成する原子成分を含むガスを含む雰囲気下（例えば、水素ガス雰囲気下）であることから、チャンバー 211 内に叩き出された粒子に含まれる金属原子および酸素原子に脱離基 303 が導入される。そして、この脱離基 303 が導入された金属酸化物が基体 2 上に堆積することにより、接合膜 3 が形成される。

【0170】

なお、本実施形態で説明したイオンビームスパッタリング法では、イオン源 215 のイオン発生室 256 内で、放電が行われ、電子 e^- が発生するが、この電子 e^- は、グリッド 253 により遮蔽され、チャンバー 211 内への放出が防止される。

さらに、イオンビーム B の照射方向（イオン源 215 の開口 250）がターゲット 216（チャンバー 211 の底部側と異なる方向）に向いているので、イオン発生室 256 内で発生した紫外線が、成膜された接合膜 3 に照射されるのがより確実に防止されて、接合膜 3 の成膜中に導入された脱離基 303 が脱離するのを確実に防止することができる。

以上のようにして、ほぼ全体にわたって脱離基 303 が存在する接合膜 3 を成膜することができる。

【0171】

< B > 一方、B の方法では、接合膜 3 は、上記のように、金属原子と酸素原子とを含む金属酸化物膜を成膜した後、この金属酸化物膜の表面付近に含まれる金属原子および酸素原子の少なくとも一方に脱離基 303 を導入することにより形成される。かかる方法によれば、比較的簡単な工程で、金属酸化物膜の表面付近に脱離基 303 を偏在させた状態で導入することができ、接合膜および金属酸化物膜としての双方の特性に優れた接合膜 3 を形成することができる。

【0172】

ここで、金属酸化物膜は、いかなる方法で成膜されたものでもよく、例えば、PVD 法（物理的気相成膜法）、CVD 法（化学的気相成膜法）、プラズマ重合法のような各種気相成膜法や、各種液相成膜法等により成膜することができるが、中でも、特に、PVD 法により成膜するのが好ましい。PVD 法によれば、緻密で均質な金属酸化物膜を効率よく成膜することができる。

【0173】

また、PVD 法としては、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法およびレーザープレーショント等が挙げられるが、中でも、スパッタリング法を用いるのが好ましい。スパッタリング法によれば、金属原子と酸素原子との結合が切断することなく、雰囲気中に金属酸化物の粒子を叩き出して、基体 2 上に供給することができるため、特性に優れた金属酸化物膜を成膜することができる。

【0174】

さらに、金属酸化物膜の表面付近に脱離基 303 を導入する方法としては、各種方法が用いられ、例えば、B1：脱離基 303 を構成する原子成分を含む雰囲気下で金属酸化物膜を熱処理（アニーリング）する方法、B2：イオン・インプランテーション等が挙げられるが、中でも、特に、B1 の方法を用いるのが好ましい。B1 の方法によれば、比較的容易に、脱離基 303 を金属酸化物膜の表面付近に選択的に導入することができる。また、熱処理を施す際の、雰囲気温度や処理時間等の処理条件を適宜設定することにより、導入する脱離基 303 の量、さらには脱離基 303 が導入される金属酸化物膜の厚さの制御を的確に行うことができる。

10

20

30

40

50

【0175】

以下、金属酸化物膜をスパッタリング法（イオンビームスパッタリング法）により成膜し、次に、得られた金属酸化物膜を、脱離基303を構成する原子成分を含む雰囲気下で熱処理（アニーリング）することにより、接合膜3を得る場合を代表に説明する。

なお、Bの方法を用いて接合膜3の成膜する場合も、Aの方法を用いて接合膜3を成膜する際に用いられる成膜装置200と同様の成膜装置が用いられるため、成膜装置に関する説明は省略する。

【0176】

[i] まず、基体2を用意する。そして、この基体2を成膜装置200のチャンバー211内に搬入し、基板ホルダー212に装着（セット）する。
10

[ii] 次に、排気手段230を動作させ、すなわちポンプ2302を作動させた状態でバルブ2303を開くことにより、チャンバー211内を減圧状態にする。この減圧の程度（真空度）は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$ Torr 程度であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ Torr 程度であるのがより好ましい。

また、このとき、加熱手段を動作させ、チャンバー211内を加熱する。チャンバー211内の温度は、25以上であればよいが、25~100程度であるのが好ましい。かかる範囲内に設定することにより、膜密度の高い金属酸化物膜を成膜することができる。

【0177】

[iii] 次に、第2のシャッター222を開き、さらに第1のシャッター220を開いた状態にする。
20

この状態で、イオン源215のイオン発生室256内にガスを導入するとともに、フィラメント257に通電して加熱する。これにより、フィラメント257から電子が放出され、この放出された電子とガス分子が衝突することにより、ガス分子がイオン化する。

【0178】

このガスのイオン I^+ は、グリッド253とグリッド254とにより加速されて、イオン源215から放出され、陰極材料で構成されるターゲット216に衝突する。これにより、ターゲット216から金属酸化物（例えば、ITO）の粒子が叩き出され、基体2上に堆積して、金属原子と、この金属原子に結合する酸素原子とを含む金属酸化物膜が形成される。
30

【0179】

なお、本実施形態で説明したイオンビームスパッタリング法では、イオン源215のイオン発生室256内で、放電が行われ、電子 e^- が発生するが、この電子 e^- は、グリッド253により遮蔽され、チャンバー211内への放出が防止される。

さらに、イオンビームBの照射方向（イオン源215の開口250）がターゲット216（チャンバー211の底部側と異なる方向）に向いているので、イオン発生室256内で発生した紫外線が、成膜された接合膜3に照射されるのがより確実に防止されて、接合膜3の成膜中に導入された脱離基303が脱離するのを確実に防止することができる。

【0180】

[iv] 次に、第2のシャッター222を開いた状態で、第1のシャッター220を閉じる。
40

この状態で、加熱手段を動作させ、チャンバー211内をさらに加熱する。チャンバー211内の温度は、金属酸化物膜の表面に効率良く脱離基303が導入される温度に設定され、100~600程度であるのが好ましく、150~300程度であるのがより好ましい。かかる範囲内に設定することにより、次工程[v]において、基体2および金属酸化物膜を変質・劣化させることなく、金属酸化物膜の表面に効率良く脱離基303を導入することができる。

【0181】

[v] 次に、ガス供給手段260を動作させ、すなわちポンプ262を作動させた状態でバルブ263を開くことにより、チャンバー211内に脱離基303を構成する原子
50

成分を含むガスを供給する。これにより、チャンバー211内をかかるガスを含む雰囲気下(水素ガス雰囲気下)とすることができます。

このように、前記工程[iv]でチャンバー211内が加熱された状態で、チャンバー211内を、脱離基303を構成する原子成分を含むガスを含む雰囲気下(例えば、水素ガス雰囲気下)とすると、金属酸化物膜の表面付近に存在する金属原子および酸素原子の少なくとも一方に脱離基303が導入されて、接合膜3が形成される。

【0182】

脱離基303を構成する原子成分を含むガスの流量は、1~100ccm程度であるのが好ましく、10~60ccm程度であるのがより好ましい。これにより、金属原子および酸素原子の少なくとも一方に確実に脱離基303を導入することができる。

なお、チャンバー211内は、前記工程[ii]において、排気手段230を動作させることにより調整された減圧状態を維持しているのが好ましい。これにより、金属酸化物膜の表面付近に対する脱離基303の導入をより円滑に行うことができる。また、前記工程[ii]の減圧状態を維持したまま、本工程においてチャンバー211内を減圧する構成することにより、再度減圧する手間が省けることから、成膜時間および成膜コスト等の削減を図ることができるという利点も得られる。

【0183】

この減圧の程度(真空度)は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$ Torr程度であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ Torr程度であるのがより好ましい。

また、熱処理を施す時間は、15~120分程度であるのが好ましく、30~60分程度であるのがより好ましい。

【0184】

導入する脱離基303の種類等によっても異なるが、熱処理を施す際の条件(チャンバー211内の温度、真空度、ガス流量、処理時間)を上記範囲内に設定することにより、金属酸化物膜の表面付近に脱離基303を選択的に導入することができる。

以上のようにして、表面35付近に脱離基303が偏在する接合膜3を成膜することができる。

以上のような第2実施形態にかかるアクチュエータ1においても、前記第1実施形態と同様の作用・効果が得られる。

【0185】

<第3実施形態>

次に、本発明のアクチュエータの第3実施形態について説明する。

以下、アクチュエータの第3実施形態について説明するが、前記第1実施形態にかかるアクチュエータとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

本実施形態にかかるアクチュエータは、接合膜の構成が異なること以外は、前記第1実施形態と同様である。

【0186】

すなわち、本実施形態にかかるアクチュエータは、接合膜3がエネルギー付与前の状態で、金属原子と、有機成分で構成される脱離基303を含むものである。

このような接合膜3は、エネルギーが付与されると、脱離基303が接合膜3から脱離し、接合膜3の少なくとも表面付近に、活性手304が生じるものである。そして、これにより、接合膜3の表面に、前記第1実施形態と同様の接着性が発現する。

【0187】

以下、本実施形態にかかる接合膜3について説明する。

接合膜3は、基体2上に設けられ、金属原子と、有機成分で構成される脱離基303を含むものである。

このような接合膜3は、エネルギーが付与されると、脱離基303の接合手が切れて接合膜3の少なくとも表面35付近から脱離し、図12に示すように、接合膜3の少なくと

10

20

30

40

50

も表面35付近に、活性手304が生じるものである。そして、これにより、接合膜3の表面35に接着性が発現する。かかる接着性が発現すると、接合膜3を備えた基体2は、各圧電素子に対して、高い寸法精度で強固に効率よく接合可能なものとなる。

【0188】

また、接合膜3は、金属原子と、有機成分で構成される脱離基303とを含むもの、すなわち有機金属膜であることから、変形し難い強固な膜となる。このため、接合膜3自体が寸法精度の高いものとなり、最終的に得られるアクチュエータ1においても、寸法精度が高いものが得られる。

さらに、接合膜3は、流動性を有さない固体状をなすものである。このため、従来から用いられている、流動性を有する液状または粘液状(半固形状)の接着剤に比べて、接着層(接合膜3)の厚さや形状がほとんど変化しない。これにより、各弹性部材と各圧電素子とが、厚みムラなく接合され、各圧電素子が各弹性部材に伝達する駆動力にばらつきが生じるのを、より確実に防止することができる。さらに、接着剤の硬化に要する時間が不要になるため、短時間で強固な接合が可能となる。

10

【0189】

また、本発明では、接合膜3は、導電性を有するものであるのが好ましい。これにより、後述するアクチュエータ1において、意図しない帯電を抑制または防止することができる。その結果、静電気力に伴うアクチュエータ1の不具合、具体的には、各圧電素子に不本意な電圧が印加されるのが確実に防止され、所望の振動特性を確実に發揮することができるアクチュエータ1を得ることができる。

20

【0190】

また、導電性を有する接合膜3は、電力線および端子(電極)としての機能を併せ持つことができる。これにより、各圧電素子の接合膜と接合される側に電極を設ける必要がなくなり(例えば、圧電素子51の場合、電極512を設ける必要がなくなる。)、アクチュエータ1の構造をより簡単にするとともに、製造工程の簡素化を図ることができる。

【0191】

以上のような接合膜3としての機能が好適に發揮されるように、金属原子および脱離基303が選択される。

具体的には、金属原子としては、例えば、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、各種ランタノイド元素、各種アクチノイド元素のような遷移金属元素、Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、Zn、Ga、Rb、Sr、Cd、In、Sn、Sb、Cs、Ba、Tl、Pd、Bi、Poのような典型金属元素等が挙げられる。

30

【0192】

このうち、遷移金属は、前述したように、各遷移金属元素間は、最外殻電子の数が異なることのみの差異であるため、物性が類似している。そして、遷移金属は、一般に、硬度や融点が高く、電気伝導性および熱伝導性が高い。このため、接合膜3が含む金属原子として、遷移金属元素の原子を選択することにより、接合膜3に発現する接着性をより高めることができる。また、それとともに、接合膜3の導電性をより高めることができる。

40

【0193】

また、特に、接合膜3が含む金属原子としてCu、Al、ZnおよびFeのうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることにより、接合膜3は、特に優れた導電性を発揮するものとなる。さらに、接合膜3を後述する有機金属化学気相成長法を用いて成膜する場合には、これらの金属を含む金属錯体等を原材料として用いて、比較的容易かつ均一な膜厚の接合膜3を成膜することができる。

【0194】

また、脱離基303は、前述したように、接合膜3から脱離することにより、接合膜3に活性手を生じさせるよう振る舞うものである。したがって、脱離基303には、エネル

50

ギーを付与されることによって、比較的簡単に、かつ均一に脱離するものの、エネルギーが付与されないときには、脱離しないよう接合膜3に確実に結合しているものが好適に選択される。

【0195】

具体的には、脱離基303としては、炭素原子を必須成分とし、水素原子、窒素原子、リン原子、硫黄原子およびハロゲン原子のうちの少なくとも1種を含む原子団が好適に選択される。かかる脱離基303は、エネルギーの付与による結合／脱離の選択性に比較的優れている。このため、このような脱離基303は、上記のような必要性を十分に満足し得るものとなり、接合膜3の接着性をより高度なものとすることができる。

【0196】

より具体的には、原子団(基)としては、例えば、メチル基、エチル基のようなアルキル基、メトキシ基、エトキシ基のようなアルコキシ基、カルボキシリ基の他、前記アルキル基の末端がイソシアネート基、アミノ基およびスルホン酸基等で終端しているもの等が挙げられる。

以上のような原子団の中でも、脱離基303は、特に、アルキル基であるのが好ましい。アルキル基で構成される脱離基303は、化学的な安定性が高いため、脱離基303としてアルキル基を備える接合膜3は、耐候性および耐薬品性に優れたものとなる。

【0197】

また、かかる構成の接合膜3において、金属原子と酸素原子の存在比は、3:7~7:3程度であるのが好ましく、4:6~6:4程度であるのがより好ましい。金属原子と炭素原子の存在比を前記範囲内になるよう設定することにより、接合膜3の安定性が高くなり、基体2と各圧電素子とをより強固に接合することができるようになる。また、接合膜3を優れた導電性を発揮するものとすることができる。

【0198】

また、接合膜3の平均厚さは、0.2~1000nm程度であるのが好ましく、2~800nm程度であるのがより好ましい。接合膜3の平均厚さを前記範囲内とすることにより、アクチュエータ1の寸法精度が著しく低下するのを防止しつつ、基体2と各圧電素子とをより強固に接合することができる。

すなわち、接合膜3の平均厚さが前記下限値を下回った場合は、十分な接合強度が得られないおそれがある。一方、接合膜3の平均厚さが前記上限値を上回った場合は、アクチュエータ1の寸法精度が著しく低下するおそれがある。

【0199】

さらに、接合膜3の平均厚さが前記範囲内であれば、接合膜3にある程度の形状追従性が確保される。このため、例えば、基体2の接合面(接合膜3を成膜する面)に凹凸が存在している場合でも、その凹凸の高さにもよるが、凹凸の形状に追従するように接合膜3を被着させることができる。その結果、接合膜3は、凹凸を吸収して、その表面に生じる凹凸の高さを緩和することができる。そして、基体2と各圧電素子とを貼り合わせた際に、接合膜3の各圧電素子に対する密着性を高めることができる。

なお、上記のような形状追従性の程度は、接合膜3の厚さが厚いほど顕著になる。したがって、形状追従性を十分に確保するためには、接合膜3の厚さをできるだけ厚くすればよい。

【0200】

以上説明したような接合膜3は、いかなる方法で成膜してもよいが、例えば、IIa:金属原子で構成される金属膜に、脱離基(有機成分)303を含む有機物を、金属膜のほぼ全体または表面付近に選択的に付与(化学修飾)して接合膜3を形成する方法、IIb:金属原子と、脱離基(有機成分)303を含む有機物とを有する有機金属材料を原材料として有機金属化学気相成長法を用いて接合膜3を形成する方法(積層させる方法あるいは、単原子層からなる接合層を形成)、IIc:金属原子と脱離基303を含む有機物とを有する有機金属材料を原材料として適切な溶媒に溶解させスピンドルコート法などを用いて接合膜を形成する方法等が挙げられる。これらの中でも、IIbの方法により接合膜3を成膜する

10

20

30

40

50

のが好ましい。かかる方法によれば、比較的簡単な工程で、かつ、均一な膜厚の接合膜3を形成することができる。

【0201】

以下、IIbの方法、すなわち金属原子と、脱離基(有機成分)303を含む有機物とを有する有機金属材料を原材料として有機金属化学気相成長法を用いて接合膜3を形成する方法により、接合膜3を得る場合を代表に説明する。

まず、接合膜3の成膜方法を説明するのに先立って、接合膜3を成膜する際に用いられる成膜装置400について説明する。

【0202】

図15は、本実施形態において、接合膜の作製に用いられる成膜装置を模式的に示す縦断面図である。なお、以下の説明では、図15中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

図15に示す成膜装置400は、有機金属化学気相成長法(以下、「MOCVD法」と省略することもある。)による接合膜3の形成をチャンバー411内で行えるように構成されている。

【0203】

具体的には、成膜装置400は、チャンバー(真空チャンバー)411と、このチャンバー411内に設置され、基体2(成膜対象物)を保持する基板ホルダー(成膜対象物保持部)412と、チャンバー411内に、気化または霧化した有機金属材料を供給する有機金属材料供給手段460と、チャンバー411内を低還元性雰囲気下とするためのガスを供給するガス供給手段470と、チャンバー411内の排気をして圧力を制御する排気手段430と、基板ホルダー412を加熱する加熱手段(図示せず)とを有している。

【0204】

基板ホルダー412は、本実施形態では、チャンバー411の底部に取り付けられている。この基板ホルダー412は、モータの作動により回動可能となっている。これにより、基体2上に接合膜3を均質かつ均一な厚さで成膜することができる。

また、基板ホルダー412の近傍には、それぞれ、これらを覆うことができるシャッタ-421が配設されている。このシャッタ-421は、基体2および接合膜3が不要な雰囲気等に曝されるのを防ぐためのものである。

【0205】

有機金属材料供給手段460は、チャンバー411に接続されている。この有機金属材料供給手段460は、固形状の有機金属材料を貯留する貯留槽462と、気化または霧化した有機金属材料をチャンバー411内に送気するキャリアガスを貯留するガスボンベ465と、キャリアガスと気化または霧化した有機金属材料をチャンバー411内に導くガス供給ライン461と、ガス供給ライン461の途中に設けられたポンプ464およびバルブ463とで構成されている。かかる構成の有機金属材料供給手段460では、貯留槽462は、加熱手段を有しており、この加熱手段の作動により固形状の有機金属材料を加熱して気化し得るようになっている。そのため、バルブ463を開放した状態で、ポンプ464を作動させて、キャリアガスをガスボンベ465から貯留槽462に供給すると、このキャリアガスとともに気化または霧化した有機金属材料が、供給ライン461内を通過してチャンバー411内に供給されるようになっている。

【0206】

なお、キャリアガスとしては、特に限定されず、例えば、窒素ガス、アルゴンガスおよびヘリウムガス等が好適に用いられる。

また、本実施形態では、ガス供給手段470がチャンバー411に接続されている。ガス供給手段470は、チャンバー411内を低還元性雰囲気下とするためのガスを貯留するガスボンベ475と、前記低還元性雰囲気下とするためのガスをチャンバー411内に導くガス供給ライン471と、ガス供給ライン471の途中に設けられたポンプ474およびバルブ473とで構成されている。かかる構成のガス供給手段470では、バルブ473を開放した状態で、ポンプ474を作動させると、前記低還元性雰囲気下とするためのガスが、ガスボンベ475から、供給ライン471を介して、チャンバー411内に供

10

20

30

40

50

給されるようになっている。ガス供給手段470をかかる構成とすることにより、チャンバー411内を有機金属材料に対して確実に低還元な雰囲気とすることができます。その結果、有機金属材料を原材料としてMOCVD法を用いて接合膜3を成膜する際に、有機金属材料に含まれる有機成分の少なくとも一部を脱離基303として残存させた状態で接合膜3が成膜される。

【0207】

チャンバー411内を低還元性雰囲気下とするためのガスとしては、特に限定されないが、例えば、窒素ガスおよびヘリウム、アルゴン、キセノンのような希ガス、一酸化窒素、一酸化二窒素等が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を組み合わせて用いることができる。10

なお、有機金属材料として、後述する2,4-ペンタジオネート-銅(II)や[Cu(hfac)(VTMS)]等のように分子構造中に酸素原子を含有するものを用いる場合には、低還元性雰囲気下とするためのガスに、水素ガスを添加するのが好ましい。これにより、酸素原子に対する還元性を向上させることができ、接合膜3に過度の酸素原子が残存することなく、接合膜3を成膜することができる。その結果、この接合膜3は、膜中における金属酸化物の存在率が低いものとなり、優れた導電性を発揮することとなる。

【0208】

また、キャリアガスとして前述した窒素ガス、アルゴンガスおよびヘリウムガスのうちの少なくとも1種を用いる場合には、このキャリアガスに低還元性雰囲気下とするためのガスとしての機能をも発揮させることができる。20

また、排気手段430は、ポンプ432と、ポンプ432とチャンバー411とを連通する排気ライン431と、排気ライン431の途中に設けられたバルブ433とで構成されており、チャンバー411内を所望の圧力に減圧し得るようになっている。

以上のような構成の成膜装置400を用いてMOCVD法により、以下のようにして基体2上に接合膜3が形成される。

【0209】

[i] まず、基体2を用意する。そして、この基体2を成膜装置400のチャンバー411内に搬入し、基板ホルダー412に装着(セット)する。

[ii] 次に、排気手段430を動作させ、すなわちポンプ432を作動させた状態でバルブ433を開くことにより、チャンバー411内を減圧状態にする。この減圧の程度(真空度)は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$ Torr 程度であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ Torr 程度であるのがより好ましい。30

【0210】

また、ガス供給手段470を動作させ、すなわちポンプ474を作動させた状態でバルブ473を開くことにより、チャンバー411内に、低還元性雰囲気下とするためのガスを供給して、チャンバー411内を低還元性雰囲気下とする。ガス供給手段470による前記ガスの流量は、特に限定されないが、0.1~10 sccm程度であるのが好ましく、0.5~5 sccm程度であるのがより好ましい。

【0211】

さらに、このとき、加熱手段を動作させ、基板ホルダー412を加熱する。基板ホルダー412の温度は、形成する接合膜3の種類、すなわち、接合膜3を形成する際に用いる原材料の種類によっても若干異なるが、80~600 程度であるのが好ましく、100~450 程度であるのがより好ましく、200~300 程度であるのがさらに好ましい。かかる範囲内に設定することにより、後述する有機金属材料を用いて、優れた接着性を有する接合膜3を成膜することができる。40

【0212】

[iii] 次に、シャッター421を開いた状態にする。

そして、固形状の有機金属材料を貯留された貯留槽462が備える加熱手段を動作させることにより、有機金属材料を気化させた状態で、ポンプ464を動作させるとともに、バルブ463を開くことにより、気化または霧化した有機金属材料をキャリアガスとともに

にチャンバー内に導入する。

【0213】

このように、前記工程 [ii] で基板ホルダー 412 が加熱された状態で、チャンバー 411 内に、気化または霧化した有機金属材料を供給すると、基体 2 上で有機金属材料が加熱されることにより、有機金属材料中に含まれる有機物の一部が残存した状態で、基体 2 上に接合膜 3 を形成することができる。

すなわち、MOCVD 法によれば、有機金属材料に含まれる有機物の一部が残存するように金属原子を含む膜を形成すれば、この有機物の一部が脱離基 303 としての機能を発揮する接合膜 3 を基体 2 上に形成することができる。

【0214】

このような MOCVD 法に用いられる、有機金属材料としては、特に限定されないが、例えば、2,4-ペンタジオネット-銅 (II)、トリス (8-キノリノラト) アルミニウム (Alq₃)、トリス (4-メチル-8キノリノレート) アルミニウム (III) (Almq₃)、(8-ヒドロキシキノリン) 亜鉛 (Znq₂)、銅フタロシアニン、Cu (ヘキサフルオロアセチルアセトネット) (ビニルトリメチルシラン) [Cu (hfac) (VTMS)]、Cu (ヘキサフルオロアセチルアセトネット) (2-メチル-1-ヘキセン-3-エン) [Cu (hfac) (MHY)]、Cu (パーフルオロアセチルアセトネット) (ビニルトリメチルシラン) [Cu (pfac) (VTMS)]、Cu (パーフルオロアセチルアセトネット) (2-メチル-1-ヘキセン-3-エン) [Cu (pfac) (MHY)] 等、各種遷移金属元素を含んだアミド系、アセチルアセトネット系、アルコキシ系、シリコンを含むシリル系、カルボキシル基をもつカルボニル系のような金属錯体、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、ジエチル亜鉛のようなアルキル金属や、その誘導体等が挙げられる。これらの中でも、有機金属材料としては、金属錯体であるのが好ましい。金属錯体を用いることにより、金属錯体中に含まれる有機物の一部を残存した状態で、接合膜 3 を確実に形成することができる。

【0215】

また、本実施形態では、ガス供給手段 470 を動作させることにより、チャンバー 411 内を低還元性雰囲気下となっているが、このような雰囲気下とすることにより、基体 2 上に純粋な金属膜が形成されることなく、有機金属材料中に含まれる有機物の一部を残存させた状態で成膜することができる。すなわち、接合膜および金属膜としての双方の特性に優れた接合膜 3 を形成することができる。

【0216】

気化または霧化した有機金属材料の流量は、0.1~100 cm³程度であるのが好ましく、0.5~60 cm³程度であるのがより好ましい。これにより、均一な膜厚で、かつ、有機金属材料中に含まれる有機物の一部を残存させた状態で、接合膜 3 を成膜することができる。

以上のように、接合膜 3 を成膜した際に膜中に残存する残存物を脱離基 303 として用いる構成とすることにより、形成した金属膜等に脱離基を導入する必要がなく、比較的簡単な工程で接合膜 3 を成膜することができる。

【0217】

なお、有機金属材料を用いて形成された接合膜 3 に残存する前記有機物の一部は、その全てが脱離基 303 として機能するものであってもよいし、その一部が脱離基 303 として機能するものであってもよい。

以上のようにして、接合膜 3 を成膜することができる。

以上のような第 3 実施形態にかかるアクチュエータ 1 においても、前記第 1 実施形態と同様の作用・効果が得られる。

【0218】

ここで、以上説明したようなアクチュエータ 1 を光スキャナとして用いた場合について説明する。

このような光スキャナは、例えば、レーザープリンタ、イメージング用ディスプレイ、

10

20

30

40

50

バーコードリーダー、走査型共焦点顕微鏡などの画像形成装置に好適に適用することができる。この場合、光反射部 221 で反射した光を主走査および / または副走査して、対象物上に画像を形成する。本発明の光スキャナを備えた画像形成装置、すなわち、本発明の画像形成装置は、優れた耐衝撃性を有する。

【0219】

以下、本発明の画像形成装置の具体例を説明する。

まず、電子写真方式を採用するプリンタに本発明を適用した例を説明する。

図 16 は、本発明の画像形成装置（プリンタ）の一例を示す全体構成の模式的断面図、図 17 は、図 16 に示す画像形成装置に備えられた露光ユニットの概略構成を示す図である。

10

【0220】

図 16 に示す画像形成装置 110（プリンタ）は、露光・現像・転写・定着を含む一連の画像形成プロセスによって、トナーからなる画像を紙や OHP シートなどの記録媒体に記録するものである。このような画像形成装置 110 は、図 16 に示すように、図示矢印方向に回転する感光体 111 を有し、その回転方向に沿って順次、帯電ユニット 112、露光ユニット 113、現像ユニット 114、転写ユニット 115、クリーニングユニット 116 が配設されている。また、画像形成装置 110 は、図 16 にて、下部に、紙などの記録媒体 P を収容する給紙トレイ 117 が設けられ、上部に、定着装置 118 が設けられている。

【0221】

このような画像形成装置 110 にあっては、まず、図示しないホストコンピュータからの指令により、感光体 111、現像ユニット 114 に設けられた現像ローラ（図示せず）、および中間転写ベルト 151 が回転を開始する。そして、感光体 111 は、回転しながら、帯電ユニット 112 により順次帯電される。

感光体 111 の帯電された領域は、感光体 111 の回転に伴って露光位置に至り、露光ユニット 113 によって、第 1 色目、例えばイエロー Y の画像情報に応じた潜像が前記領域に形成される。

【0222】

感光体 111 上に形成された潜像は、感光体 111 の回転に伴って現像位置に至り、イエロー現像のための現像装置 144 によってイエロートナーで現像される。これにより、感光体 111 上にイエロートナー像が形成される。このとき、現像ユニット 114 は、現像装置 144 が選択的に前記現像位置にて感光体 111 と対向している。なお、この選択は、保持体 145 の軸 146 まわりの回転により、現像装置 141 ~ 144 の相対位置関係を維持しつつそれぞれの位置を変えることで行う。

30

【0223】

感光体 111 上に形成されたイエロートナー像は、感光体 111 の回転に伴って一次転写位置（すなわち、感光体 111 と一次転写ローラ 152 との対向部）に至り、一次転写ローラ 152 によって、中間転写ベルト 151 に転写（一次転写）される。このとき、一次転写ローラ 152 には、トナーの帶電極性とは逆の極性の一次転写電圧（一次転写バイアス）が印加される。なお、この間、二次転写ローラ 155 は、中間転写ベルト 151 から離間している。

40

前述の処理と同様の処理が、第 2 色目、第 3 色目および第 4 色目について繰り返して実行されることにより、各画像信号に対応した各色のトナー像が、中間転写ベルト 151 に重なり合って転写される。これにより、中間転写ベルト 151 上にはフルカラートナー像が形成される。

【0224】

一方、記録媒体 P は、給紙トレイ 117 から、給紙ローラ 171、レジローラ 172 によって二次転写位置（すなわち、二次転写ローラ 155 と駆動ローラ 154 との対向部）へ搬送される。

中間転写ベルト 151 上に形成されたフルカラートナー像は、中間転写ベルト 151 の

50

回転に伴って二次転写位置に至り、二次転写ローラ 155 によって記録媒体 P に転写（二次転写）される。このとき、二次転写ローラ 155 は中間転写ベルト 151 に押圧されるとともに二次転写電圧（二次転写バイアス）が印加される。また、中間転写ベルト 151 は、駆動ローラ 154 を回転させることで一次転写ローラ 152 および従動ローラ 153 を従動回転させながら回転する。

記録媒体 P に転写されたフルカラートナー像は、定着装置 118 によって加熱および加圧されて記録媒体 P に融着される。その後、片面プリントの場合には、記録媒体 P は、排紙ローラ対 173 によって画像形成装置 110 の外部へ排出される。

【0225】

一方、感光体 111 は一次転写位置を経過した後に、クリーニングユニット 116 のクリーニングブレード 161 によって、その表面に付着しているトナーが搔き落とされ、次の潜像を形成するための帯電に備える。搔き落とされたトナーは、クリーニングユニット 116 内の残存トナー回収部に回収される。

両面プリントの場合には、定着装置 118 によって一方の面に定着処理された記録媒体 P を一旦排紙ローラ対 173 により挟持した後に、排紙ローラ対 173 を反転駆動するとともに、搬送ローラ対 174、176 を駆動して、当該記録媒体 P を搬送路 175 を通じて表裏反転して二次転写位置へ帰還させ、前述と同様の動作により、記録媒体 P の他方の面に画像を形成する。

【0226】

このような画像形成装置に備えられた露光ユニット 113 は、図示しないパーソナルコンピュータなどのホストコンピュータから画像情報を受けこれに応じて、一様に帯電された感光体 111 上に、レーザーを選択的に照射することによって、静電的な潜像を形成する装置である。

より具体的に説明すると、露光ユニット 113 は、図 17 に示すように、光スキャナであるアクチュエータ 1 と、レーザー光源 131 と、コリメータレンズ 132 と、f レンズ 133 とを有している。

【0227】

露光ユニット 113 にあっては、レーザー光源 131 からコリメータレンズ 132 を介してアクチュエータ 1（光反射部 221）にレーザー光 L が照射される。そして、光反射部 221 で反射したレーザー光 L が f レンズを介して感光体 111 上に照射される。

その際、アクチュエータ 1 の駆動（可動板 22 の回動中心軸 X まわりの回動）により、光反射部 221 で反射した光（レーザー L）は、感光体 111 の軸線方向に走査（主走査）される。一方、感光体 111 の回転により、光反射部 221 で反射した光（レーザー L）は、感光体 111 の周方向に走査（副走査）される。また、レーザー光源 131 から出力されるレーザー光 L の強度は、図示しないホストコンピュータから受けた画像情報に応じて変化する。

このようにして露光ユニット 113 は、感光体 111 上を選択的に露光して画像形成（描画）を行う。

【0228】

次に、イメージングディスプレイ（表示装置）に本発明を適用した例を説明する。

図 18 は、本発明の画像形成装置（イメージングディスプレイ）の一例を示す概略図である。

図 18 に示す画像形成装置 119 は、光スキャナであるアクチュエータ 1 と、R（赤）、G（緑）、B（青）の 3 色の光源 191、192、193 と、クロスダイクロイックプリズム（X プリズム）194 と、ガルバノミラー 195 と、固定ミラー 196 と、スクリーン 197 とを備えている。

【0229】

このような画像形成装置 119 にあっては、光源 191、192、193 からクロスダイクロイックプリズム 194 を介してアクチュエータ 1（光反射部 221）に各色の光が照射される。このとき、光源 191 からの赤色の光と、光源 192 からの緑色の光と、光

10

20

30

40

50

源 193 からの青色の光とが、クロスダイクロイックプリズム 194 にて合成される。

そして、光反射部 221 で反射した光（3 色の合成光）は、ガルバノミラー 195 で反射した後に、固定ミラー 196 で反射し、スクリーン 197 上に照射される。

【0230】

その際、アクチュエータ 1 の駆動（可動板 22 の回動中心軸 X まわりの回動）により、光反射部 221 で反射した光は、スクリーン 197 の横方向に走査（主走査）される。一方、ガルバノミラー 195 の軸線 Y まわりの回転により、光反射部 221 で反射した光は、スクリーン 197 の縦方向に走査（副走査）される。また、各色の光源 191、192、193 から出力される光の強度は、図示しないホストコンピュータから受けた画像情報に応じて変化する。

10

【0231】

このようにして画像形成装置 119 は、スクリーン 197 上に画像形成（描画）を行う。

以上、本発明のアクチュエータおよび画像形成装置について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、本発明のアクチュエータおよび画像形成装置では、各部の構成は、同様の機能を発揮する任意の構成のものに置換することができ、また、任意の構成を付加することもできる。

【0232】

また、アクチュエータ 1 を構成する基体 2 と支持基板 4 との接合には、接合層 5 の代わりに、エポキシ系接着剤、ウレタン系接着剤、シリコーン系接着剤等の接着剤等を用いてもよい。

20

また、前述した各実施形態では、2 組の連結部が、それぞれ、軸部材と、軸部材に連結された駆動部材と、駆動部材と支持部とを連結する一対の弾性部材とを備えるものについて説明したが、これに限定されず、例えば、少なくとも一方の連結部が、一対の弾性部材のみから構成されていてもよい。

【0233】

また、2 組の連結部のうち、どちらか一方の連結部は、弾性部材を 1 つだけ有するものであってもよい。

また、2 組の連結部が有する各駆動部材の代わりに、可動板の外周を囲むように形成された枠状の駆動部材を用いてもよい。

30

また、前述した実施形態では、全ての弾性部材上に圧電素子が接合膜を介して接合されたものについて説明したが、これに限定されず、少なくとも一つの弾性部材上に接合膜を介して圧電素子が接合されたものであってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0234】

【図 1】本発明のアクチュエータの実施形態を示す斜視図である。

【図 2】図 1 に示すアクチュエータの上面図である。

【図 3】図 1 中の A - A 線断面図である。

【図 4】図 1 に示すアクチュエータの駆動電圧の電圧波形の一例を示す図である。

【図 5】図 1 に示すアクチュエータにおける印加した交流電圧の周波数と、可動板および駆動部材の共振曲線を示すグラフある。

40

【図 6】図 1 中に示すアクチュエータの製造方法を説明するための図である。

【図 7】図 1 中に示すアクチュエータの製造方法を説明するための図である。

【図 8】第 1 実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜のエネルギー付与前の状態を示す部分拡大図である。

【図 9】第 1 実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜のエネルギー付与後の状態を示す部分拡大図である。

【図 10】第 1 実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜の作製に用いられるプラズマ重合装置を模式的に示す縦断面図である。

【図 11】第 2 実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜のエネルギー付与前の状

50

態を示す部分拡大図である。

【図12】第2実施形態にかかるアクチュエータが備える接合膜のエネルギー付与後の状態を示す部分拡大図である。

【図13】第2実施形態にかかる接合膜の作製に用いられる成膜装置を模式的に示す縦断面図である。

【図14】図13に示す成膜装置が備えるイオン源の構成を示す模式図である。

【図15】第3実施形態において、接合膜の作製に用いられる成膜装置を模式的に示す縦断面図である。

【図16】本発明の画像形成装置（プリンタ）の一例を示す全体構成の模式的断面図である。10

【図17】図16に示す画像形成装置に備えられた露光ユニットの概略構成を示す図である。

【図18】本発明の画像形成装置（イメージングディスプレイ）の一例を示す概略図である。

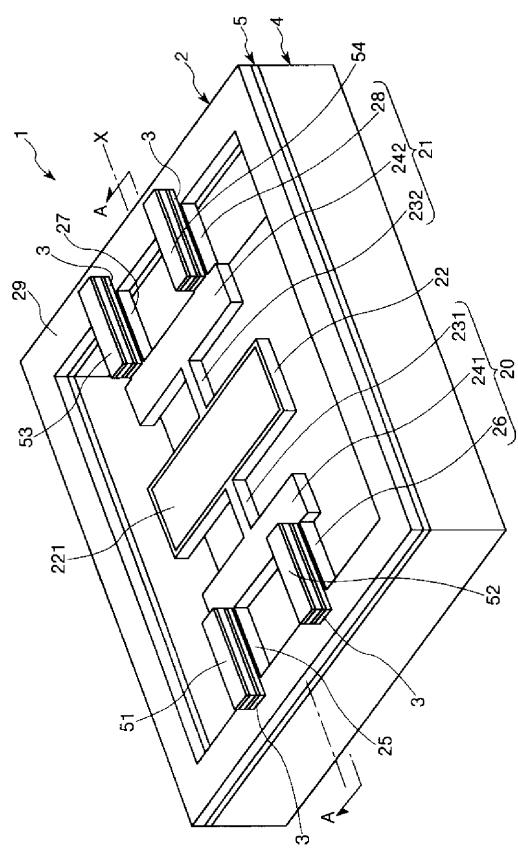
【符号の説明】

【0235】

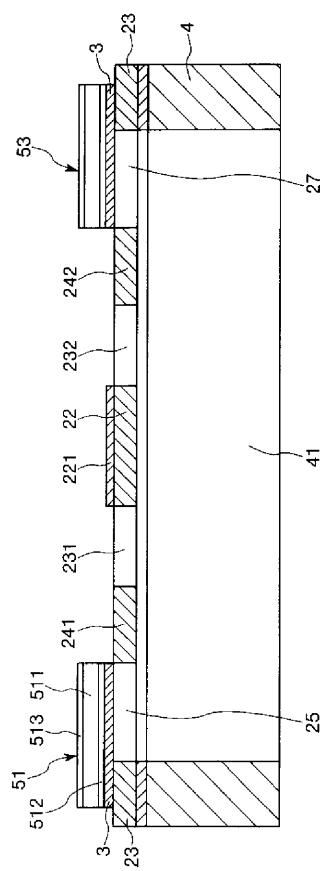
1	アクチュエータ	2	基体	20、21	連結部	22	可動板	
221	光反射部	231、232	軸部材	241、242	駆動部材			
25～28	弾性部材	29	支持部	3…接合膜	35…表面	301		
…Si骨格	302…シロキサン結合	303…脱離基	304…活性手	4				20
支持基板	41	空間（開口部）	5	接合層	51～54	圧電素子		
511	圧電体層	512、513	電極	7	SOI基板	71、73		
Si層	72	SiO ₂ 層	81、82	レジストマスク	110…画			
像形成装置	111…感光体	112…帶電ユニット	113…露光ユニット	1				
14…現像ユニット	115…転写ユニット	116…クリーニングユニット	1					
17…給紙トレイ	118…定着装置	119…画像形成装置	131…レーザー光源	132…コリメータレンズ	133…fレンズ	141～144…現像装置	145…保持体	146…軸
145…保持体	146…軸	151…中間転写ベルト	152…一次転写ローラ	153…従動ローラ	154…駆動ローラ	155…二次転写ローラ	156…クリーニングブレード	157…給紙ローラ
161…クリーニングブレード	171…給紙ローラ	172…レジローラ	173…排紙ローラ対	174、176…搬送ローラ対	175…搬送路	191、192…光源	193…光源	194…クロスダイクロイックプリズム
195…ガルバノミラー	196…固定ミラー	197…スクリーン	P…記録媒体	X…回動中心軸	100…プラズマ重合装置	101…チャンバー	102…接地線	103…供給口
104…排気口	130…第1の電極	139…静電チャック	140…第2の電極	170…排気ポンプ	172…圧力制御機構	180…電源回路	182…高周波電源	183…マッチングボックス
184…配線	1901…貯液部	1902…気化装置	1903…ガスボンベ	1904…配管	198…拡散板	200…成膜装置	211…チャンバー	212…基板ホルダー
215…イオン源	216…ターゲット	217…ターゲットホルダー	219…ガス供給源	220…第1のシャッター	222…第2のシャッター	230…排気手段	2301…排気ライン	2302…ポンプ
2303…バルブ	250…開口	253…グリッド	254…グリッド	255…磁石	256…イオン発生室	257…フィラメント	260…ガス供給手段	261…ガス供給ライン
262…ポンプ	263…バルブ	264…ガスボンベ	400…成膜装置	411…チャンバー	412…基板ホルダー	421…シャッター	430…排気手段	431…排気ライン
432…ポンプ	433…バルブ	460…有機金属材料供給手段	461…ガス供給ライン	462…貯留槽	463…バルブ	464…ポンプ	465…ガスボンベ	470…ガス供給手段
471…ガス供給ライン	473…バルブ	474…ポンプ	475…					

... ガスポンベ

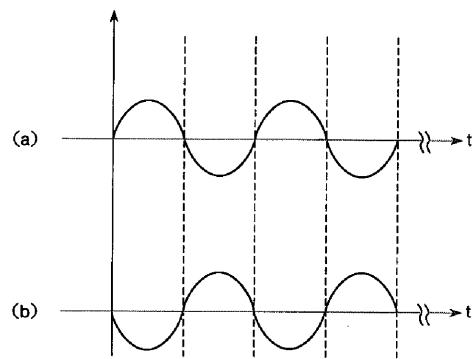
【図 1】



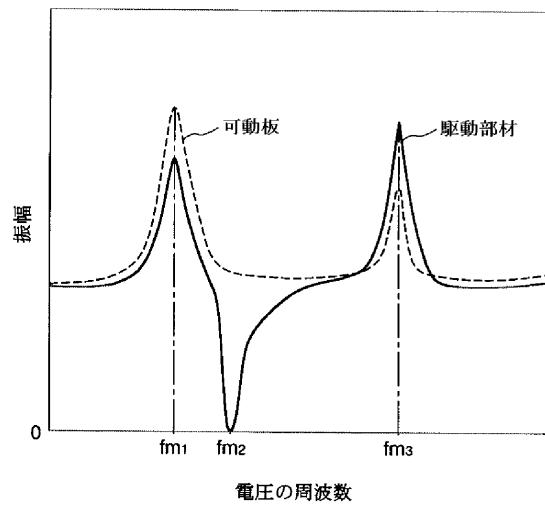
【図3】



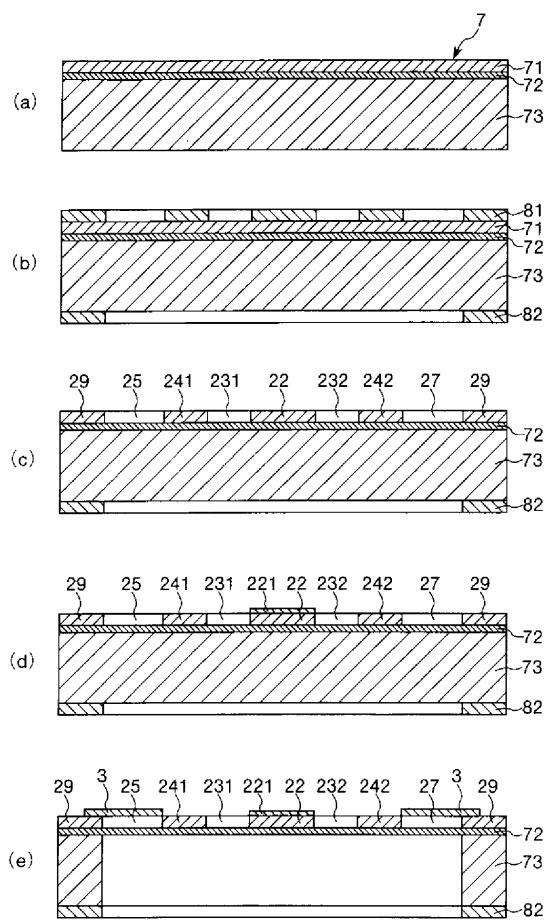
【図4】



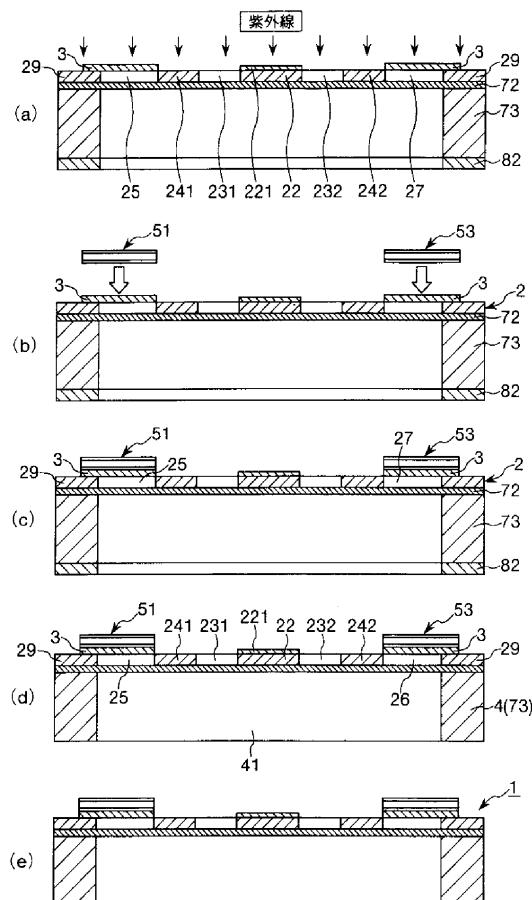
【図5】



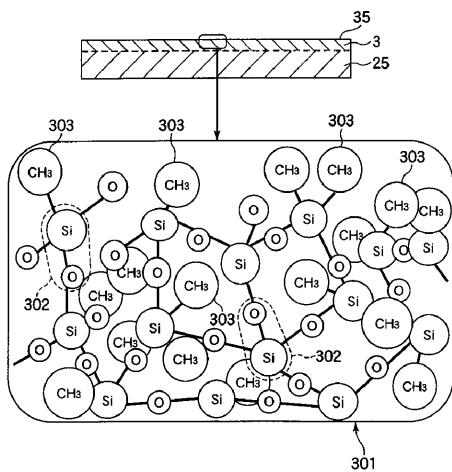
【図6】



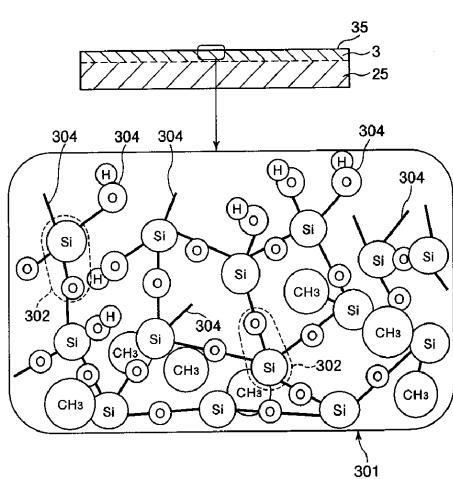
【図7】



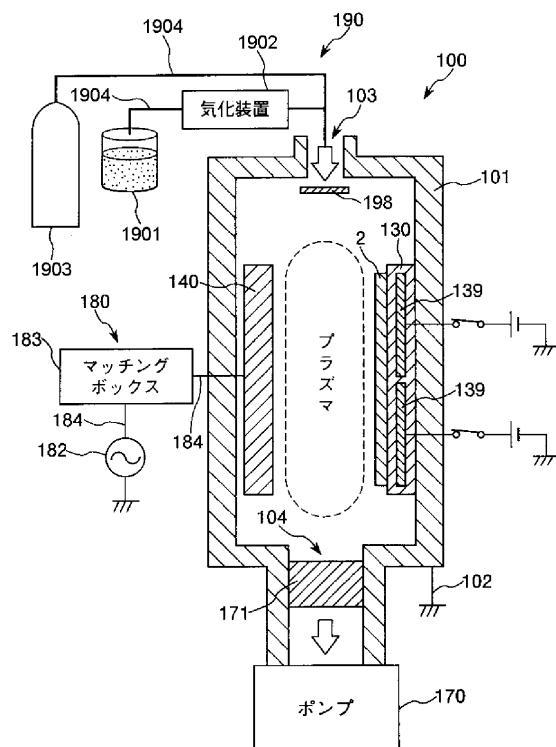
【 図 8 】



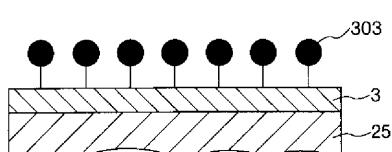
【 9 】



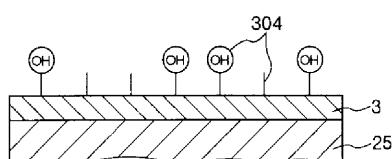
【 図 1 0 】



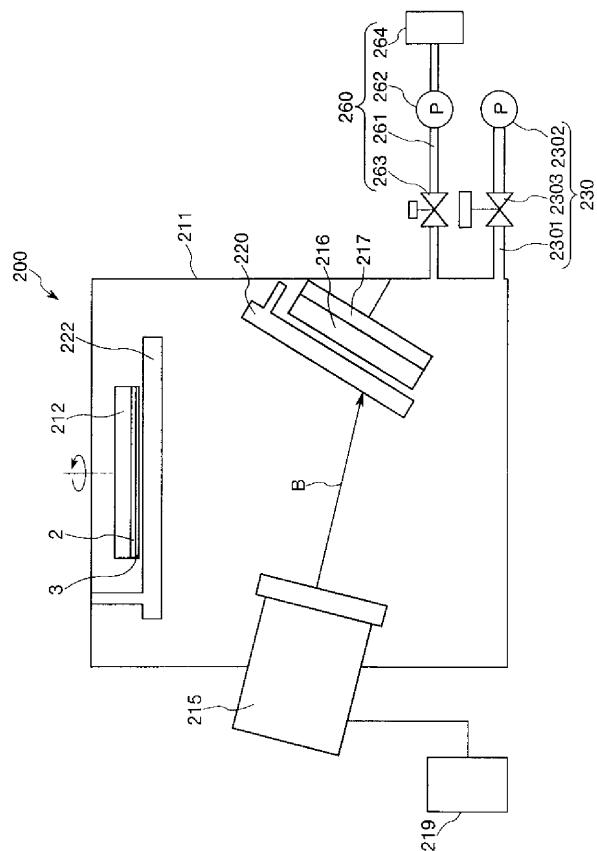
【図 1 1】



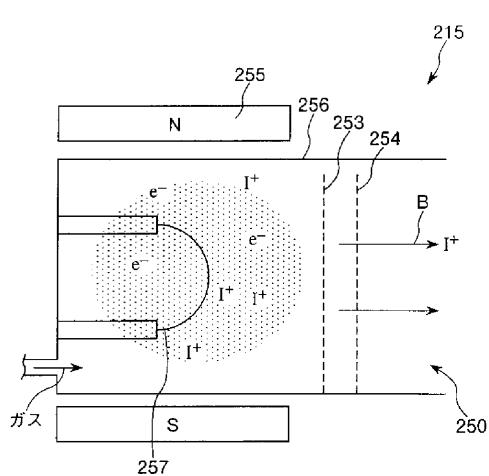
【図 1 2】



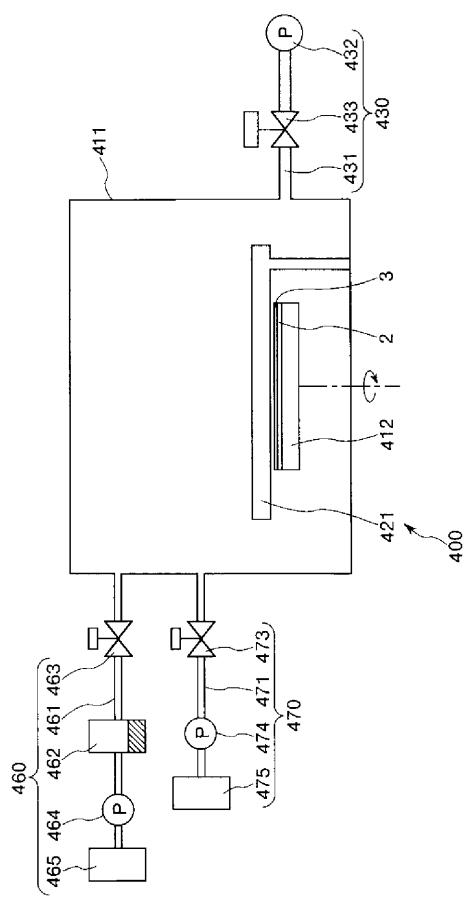
【図 1 3】



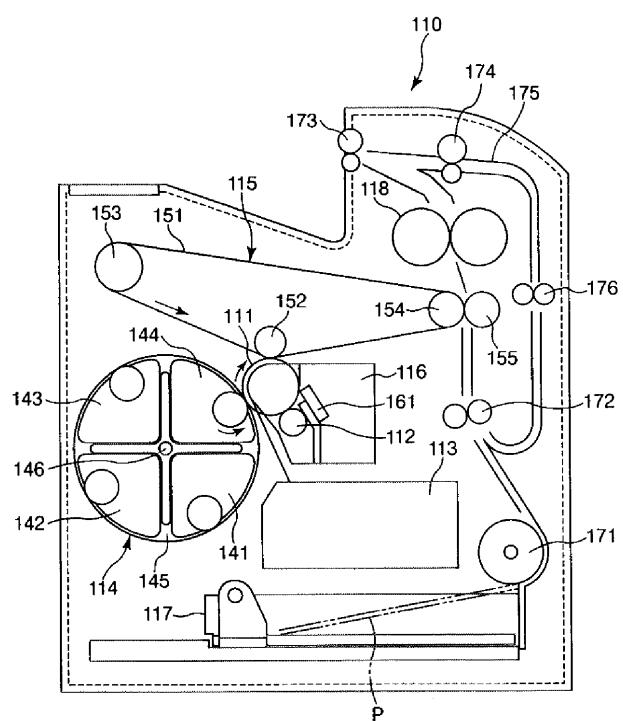
【図 1 4】



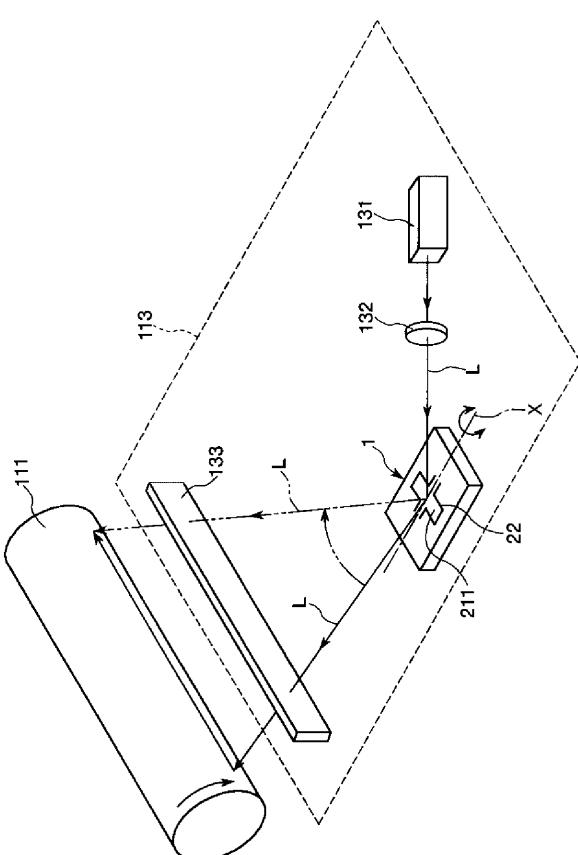
【図 1 5】



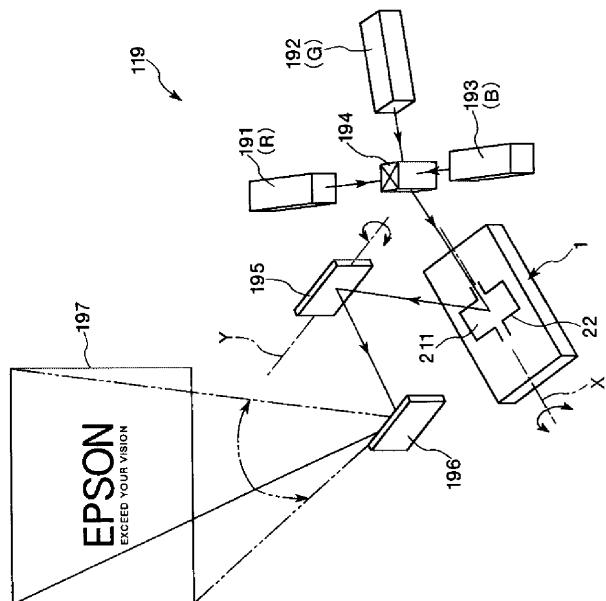
【図16】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 大塚 賢治

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーホームズ株式会社内

(72)発明者 若松 康介

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーホームズ株式会社内

F ターム(参考) 2H045 AB06 AB72 AB81 BA12 DA11

2H141 MA12 MB24 MC09 MD12 MD16 MD20 MD22 MD24 MD40 ME01
ME09 ME25 MF02 MF24 MG03 MG07 MG08 MZ06 MZ16 MZ19
MZ25
3C081 AA13 BA28 BA44 BA48 BA55 CA13 CA26 CA30 CA32 DA03
DA06 DA24 DA27 EA11