

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7626525号

(P7626525)

(45)発行日 令和7年2月4日(2025.2.4)

(24)登録日 令和7年1月27日(2025.1.27)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 N 2/02 (2006.01)

H 0 2 N 2/02

C 0 8 K 3/04 (2006.01)

C 0 8 K 3/04

C 0 8 L 83/04 (2006.01)

C 0 8 L 83/04

C 0 8 L 101/12 (2006.01)

C 0 8 L 101/12

H 0 2 N 11/00 (2006.01)

H 0 2 N 11/00

Z

請求項の数 13 (全42頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-559653(P2018-559653)

(86)(22)出願日 平成29年12月29日(2017.12.29)

(86)国際出願番号 PCT/JP2017/047412

(87)国際公開番号 WO2018/124308

(87)国際公開日 平成30年7月5日(2018.7.5)

審査請求日 令和2年11月19日(2020.11.19)

審査番号 不服2022-18347(P2022-18347/J

1)

審判請求日 令和4年11月15日(2022.11.15)

(31)優先権主張番号 特願2016-257445(P2016-257445)

(32)優先日 平成28年12月29日(2016.12.29)

(33)優先権主張国・地域又は機関

日本国(JP)

(73)特許権者 000002185

ソニーグループ株式会社

東京都港区港南1丁目7番1号

(74)代理人 100082762

弁理士 杉浦 正知

(74)代理人 100123973

弁理士 杉浦 拓真

(72)発明者 中丸 啓

東京都港区港南1丁目7番1号

ソニー株式会社内

(72)発明者 石川 博一

東京都港区港南1丁目7番1号

ソニーグローバルマニュファクチャリン

グ&オペレーションズ株式会社内

(72)発明者 堺 健太郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アクチュエータの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

平均サイズが35nm以上37nm以下の導電性フィラー及びエラストマを含み、ヤング率が0.05MPa以上10MPa以下であり、破断歪みが200%以上1200%以下である電極と、ヤング率が0.05MPa以上10MPa以下であり、破断歪みが200%以上1200%以下であるエラストマ層とを交互に積層することにより積層体を形成する第1工程と、

形成した前記積層体を少なくとも一方向に延伸することにより、少なくとも前記一方向に、当該延伸により生じる弾性変形による50%以上の予歪みを加える第2工程と、

前記積層体の周縁全体を前記第2工程で延伸された状態で保持部により保持する第3工程と、

を有し、

前記第2工程により、前記エラストマ層の平均厚みを10μm以下とする

アクチュエータの製造方法。

【請求項2】

前記積層体の形成は、

前記電極と前記エラストマ層とを交互に基材上に積層することにより積層物を形成し、

形成した前記積層物の一部または全部を前記基材から剥離することにより前記積層体を形成することを含む請求項1に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項3】

10

20

前記電極は、導電性材料を含む塗料を塗布乾燥することにより形成され、

前記エラストマ層は、エラストマを含む塗料を塗布乾燥することにより形成される請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 4】

前記電極は、炭素系フィラーとシリコンと無極性溶媒とを含む塗料を塗布乾燥することにより形成される請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 5】

前記導電性フィラーは、炭素系フィラー、金属系フィラー、金属酸化物系フィラーおよび金属被覆系フィラーのうちの少なくとも 1 種を含む請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

10

【請求項 6】

前記電極は、導電性フィラーを含み、

前記導電性フィラーは、前記エラストマ層の表面に担持されている請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 7】

前記電極は、固体状、ゲル状または液状を有する請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 8】

前記電極は、伸縮性のイオン導電性材料と電解質とを含む請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

20

【請求項 9】

前記電極は、懸濁液と、導電性フィラーおよび導電性高分子のうちの少なくとも 1 種とを含む請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 10】

前記第 1 工程において、前記電極と前記エラストマ層とを交互に繰り返し積層する請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 11】

前記第 1 工程において、前記エラストマ層と前記電極との界面に、密着性改善の処理を施す請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 12】

30

前記電極は、炭素系フィラーとシリコンとを含む請求項 1 に記載のアクチュエータの製造方法。

【請求項 13】

前記積層体は、円筒状またはファイバ状を有している請求項 1 に記載の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】

本技術は、アクチュエータの製造方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

アクチュエータの低電圧駆動には、薄膜積層が必要であることが知られている。特許文献 1 では、エラストマに予歪みを加えることで、エラストマの運動方向を制御しつつ、薄膜化を図る技術が提案されている。また、特許文献 2 では、塗布プロセスで製膜した数十 μm 厚の誘電エラストマシートをロール状に巻き回すことで、積層体を構成する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特表 2003 - 506858 号公報

50

【 0 0 0 4 】

【文献】特開 2 0 0 5 - 3 1 2 2 3 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

本技術の目的は、駆動電圧を低減することができるアクチュエータの製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上述の課題を解決するために、本技術は、

10

平均サイズが 3 5 n m 以上 3 7 n m 以下の導電性フィラー及びエラストマを含み、ヤング率が 0 . 0 5 M P a 以上 1 0 M P a 以下であり、破断歪みが 2 0 0 % 以上 1 2 0 0 % 以下である電極と、ヤング率が 0 . 0 5 M P a 以上 1 0 M P a 以下であり、破断歪みが 2 0 0 % 以上 1 2 0 0 % 以下であるエラストマ層とを交互に積層することにより積層体を形成する第 1 工程と、

形成した積層体を少なくとも一方向に延伸することにより、少なくとも一方向に、当該延伸により生じる弾性変形による 5 0 % 以上の予歪みを加える第 2 工程と、

積層体の周縁全体を第 2 工程で延伸された状態で保持部により保持する第 3 工程と、を有し、

第 2 工程により、エラストマ層の平均厚みを 1 0 μ m 以下とする

20

アクチュエータの製造方法である。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本技術によれば、アクチュエータの駆動電圧を低減することができる。なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果またはそれらと異質な効果であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】図 1 A は、本技術の第 1 の実施形態に係るアクチュエータの構成の一例を示す斜視図である。図 1 B は、図 1 A のアクチュエータの予歪みを解放した状態を示す斜視図である。

30

【図 2】図 2 は、本技術の第 1 の実施形態の変形例に係るアクチュエータの構成の一例を示す斜視図である。

【図 3】図 3 は、本技術の第 2 の実施形態に係るアクチュエータの構成の一例を示す断面図である。

【図 4】図 4 A は、積層体の構成の一例を示す側面図である。図 4 B は、図 4 A の I V B - I V B 線に沿った断面図である。

【図 5】図 5 は、本技術の第 3 の実施形態に係るスピーカの構成の一例を示す斜視図である。

【図 6】図 6 は、本技術の第 4 の実施形態に係るスピーカの構成の一例を示す斜視図である。

40

【図 7】図 7 は、本技術の第 5 の実施形態に係る内視鏡モジュールの構成の一例を示すブロック図である。

【図 8】図 8 は、積層体の延伸量と体積抵抗率、膜厚との関係を示すグラフである。

【図 9】図 9 は、本技術の第 6 の実施形態に係るアクチュエータの高さ方向に沿った断面図である。

【図 1 0】図 1 0 は、本技術の第 6 の実施形態に係るアクチュエータの高さ方向に垂直な方向に沿った断面図である。

【図 1 1】図 1 1 A は、本技術の第 7 の実施形態に係るアクチュエータの構成の一例を示す平面図である。図 1 1 B は、図 1 1 A の X I B - X I B 線に沿った断面図である。

50

【図 1 2】図 1 2 は、本技術の第 8 の実施形態に係る触覚提示装置の構成の一例を示す平面図である。

【図 1 3】図 1 3 A、1 3 B はそれぞれ、本技術の第 8 の実施形態に係る触覚提示装置の動作の一例を説明するための側面図である。

【図 1 4】図 1 4 は、本技術の第 8 の実施形態の変形例に係る触覚提示装置の構成の一例を示す平面図である。

【図 1 5】図 1 5 は、本技術の第 9 の実施形態に係るロボットの構成の一例を示す概略図である。

【図 1 6】図 1 6 A は、サンプル 5 - 1 ~ 5 - 5 のアクチュエータの作製工程を説明するための平面図である。図 1 6 B は、サンプル 6 - 1 ~ 6 - 5 のアクチュエータの作製工程を説明するための平面図である。

10

【図 1 7】図 1 7 A は、サンプル 5 - 1 ~ 5 - 5、6 - 1 ~ 6 - 5 のアクチュエータの作製工程を説明するための平面図である。図 1 7 B は、図 1 7 A の X V I I B - X V I I B 線に沿った断面図である。

【図 1 8】図 1 8 A は、サンプル 5 - 1 ~ 5 - 5、6 - 1 ~ 6 - 5 のアクチュエータの作製工程を説明するための平面図である。図 1 8 B は、図 1 8 A の X V I I I B - X V I I I B 線に沿った断面図である。

【図 1 9】図 1 9 A は、サンプル 5 - 1 ~ 5 - 5、6 - 1 ~ 6 - 5 のアクチュエータの電圧印加時の状態を示す平面図である。図 1 9 B は、図 1 9 A の X I X B - X I X B 線に沿った断面図である。

20

【図 2 0】図 2 0 A に、2 軸延伸倍率と剛性との関係を示すグラフである。図 2 0 B に、2 軸延伸倍率と絶縁破壊強度との関係を示すグラフである。

【図 2 1】図 2 1 A に、1 軸延伸倍率と剛性との関係を示すグラフである。図 2 1 B に、1 軸延伸倍率と絶縁破壊強度との関係を示すグラフである。

【図 2 2】図 2 2 A は、サンプル 7 - 1 ~ 7 - 3 のアクチュエータの作製工程を説明するための平面図である。図 2 2 B は、図 2 2 A の X X I I B - X X I I B 線に沿った断面図である。

【図 2 3】図 2 3 A は、サンプル 7 - 1 ~ 7 - 3 のアクチュエータの作製工程を説明するための平面図である。図 2 3 B は、図 2 3 A の X X I I I B - X X I I I B 線に沿った断面図である。

30

【図 2 4】図 2 4 は、サンプル 7 - 1 ~ 7 - 3 で用いたナノカーボンの種類と抵抗率との関係を示すグラフである。

【図 2 5】図 2 5 A は、サンプル 8 - 1 ~ 8 - 4 のアクチュエータの導電性の評価方法を説明するための平面図である。図 2 5 B は、図 2 5 A の X X V B - X X V B 線に沿った断面図である。

【図 2 6】図 2 6 A は、サンプル 8 - 1 ~ 8 - 4 のアクチュエータの導電性の評価方法を説明するための平面図である。図 2 6 B は、図 2 6 A の X X V I B - X X V I B 線に沿った断面図である。

【図 2 7】図 2 7 A は、サンプル 8 - 1 ~ 8 - 4 のアクチュエータの導電性の評価方法を説明するための平面図である。図 2 7 B は、図 2 7 A の X X V I I B - X X V I I B 線に沿った断面図である。

40

【図 2 8】図 2 8 A は、サンプル 8 - 1 ~ 8 - 4 のアクチュエータの導電性の評価方法を説明するための平面図である。図 2 8 B は、図 2 8 A の X X V I I I B - X X V I I I B 線に沿った断面図である。

【図 2 9】図 2 9 A は、延伸倍率と抵抗率との関係を示すグラフである。図 2 9 B は、延伸による面積変化量と抵抗率との関係を示すグラフである。

【図 3 0】図 3 0 A は、2 軸延伸倍率と絶縁破壊強度との関係を示すグラフである。図 3 0 B は、2 軸延伸倍率と面積変化量との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 0】

50

本技術では、積層体には少なくとも一方向に50%以上の予歪み加えられている。より具体的には、積層体には一方向または二方向に50%以上の予歪み加えられている。予歪みが二方向に加えられている場合、それらの二方向の予歪みは同一であってもよいし、異なってもよい。予歪みが二方向に加えられている場合、それらの二方向は直交する方向であってもよいし、直交しない方向であってもよい。

【0011】

積層体の形状としては、例えば、平面状、円筒状などの筒状、螺旋状、球面状または湾曲状などが挙げられるが、これに限定されるものではない。湾曲状としては、例えば、部分球面状または部分円柱面状などが挙げられるが、これに限定されるものではない。

【0012】

積層体の主面の形状としては、円形、楕円形、多角形（例えば四角形状、六角形、八角形など）または不定形などが挙げられるが、これに限定されるものではない。

【0013】

本技術の実施形態について以下の順序で説明する。

- 1 第1の実施形態（アクチュエータの例）
- 2 第2の実施形態（アクチュエータの例）
- 3 第3の実施形態（スピーカの例）
- 4 第4の実施形態（スピーカの例）
- 5 第5の実施形態（内視鏡モジュールの例）
- 6 第6の実施形態（アクチュエータの例）
- 7 第7の実施形態（アクチュエータの例）
- 8 第8の実施形態（触覚提示装置の例）
- 9 第9の実施形態（ロボットの例）

【0014】

< 1 第1の実施形態 >

[アクチュエータの構成]

本技術の第1の実施形態に係るアクチュエータ10は、いわゆる誘電エラストマアクチュエータであり、図1Aに示すように、長方形のシート状を有する積層体11を備える。積層体11は、伸縮性を有する複数の電極11aと、伸縮性を有する複数のエラストマ層（誘電体層）11bとを含み、電極11aとエラストマ層11bとが積層体11の厚さ方向に交互に積層されている。第1の実施形態では、積層体11の主面が長方形を有する場合について説明するが、積層体11の主面の形状はこれに限定されるものではない。以下では、積層体11の主面を構成する対向する2組の辺のうち、一方の組の辺に平行な方向をx軸方向（第1方向）といい、他方の組の辺に平行な方向をy軸方向（第2方向）という。

【0015】

第1の実施形態に係るアクチュエータ10は、例えば、人工筋肉や内視鏡などの医療用器具、工業用器具、人口色素胞、アンテナ、電子機器、音響変換器（スピーカなど）、リハビリ機器、ロボット、ロボットスーツ、マイクロデバイス、振動デバイス（触覚提示装置など）、手ぶれ補正モジュールまたはバイブレータなどに備えられる。電子機器としては、例えば、パーソナルコンピュータ、モバイル機器、携帯電話、タブレット型コンピュータ、表示装置、撮像装置、オーディオ機器、ゲーム機器などが挙げられるが、これに限定されるものではない。

【0016】

アクチュエータ10は、100V以上4kV以下の駆動電圧で駆動可能に構成されることが好ましい。後述するように、第1の実施形態に係るアクチュエータの製造方法では、積層体11を形成後、x軸方向およびy軸方向に延伸を加えるため、エラストマ層11bを薄膜化することができる。したがって、上記のような低電圧でアクチュエータ10の駆動が可能である。

【0017】

10

20

30

40

50

積層体 1 1 には、x、y 軸方向それぞれに 5 0 % 以上の予歪みが加えられている（図 1 A、図 1 B 参照）。x、y 軸方向に加えられる予歪みは、同一であってもよいし、異なっているてもよい。x、y 軸方向に加えられる予歪みは、好ましくは 8 0 % 以上、より好ましくは 1 0 0 % 以上、更により好ましくは 1 2 0 % 以上である。x、y 軸方向における予歪みの上限値は、好ましくは 1 0 0 0 % 以下、より好ましくは 5 0 0 % 以下である。

【 0 0 1 8 】

上記の予歪みは、以下の式から求められる。

$$x \text{ 軸方向の予歪み } [\%] = ((L_x - L_{0x}) / L_{0x}) \times 100$$

$$y \text{ 軸方向の予歪み } [\%] = ((L_y - L_{0y}) / L_{0y}) \times 100$$

但し、 L_x 、 L_{0x} 、 L_y 、 L_{0y} は以下の物性値を意味する。

L_x ：予歪みが加えられ、弾性変形した状態における積層体 1 1 の x 軸方向の辺の長さ（図 1 A 参照）

L_{0x} ：予歪みが解放され、弾性変形した状態における積層体 1 1 の x 軸方向の辺の長さ（図 1 B 参照）

L_y ：予歪みが加えられ、弾性変形した状態における積層体 1 1 の y 軸方向の辺の長さ（図 1 A 参照）

L_{0y} ：予歪みが解放され、弾性変形した状態における積層体 1 1 の y 軸方向の辺の長さ（図 1 B 参照）

なお、 L_x 、 L_{0x} 、 L_y 、 L_{0y} は、いずれも室温（23℃）にて測定される値である。

【 0 0 1 9 】

（エラストマ層）

エラストマ層 1 1 b は、伸縮性を有するシートである。予歪みが加えられた状態のエラストマ層 1 1 b の平均厚みは、駆動電圧の低減の観点から、好ましくは 1 0 μm 以下、より好ましくは 5 μm 以下、更により好ましくは 3 μm 以下である。なお、従来の塗布、乾燥プロセスのみによるエラストマ層の形成方法では、エラストマ層の平均厚みを 1 0 μm 以下とすることは困難である。予歪みが加えられた状態のエラストマ層 1 1 b の平均厚みの下限値は特に限定されるものではないが、例えば、3 0 0 nm 以上である。

【 0 0 2 0 】

予歪みが解放された状態のエラストマ層 1 1 b の平均厚みは、駆動電圧の低減の観点から、好ましくは 4 0 μm 以下、より好ましくは 2 0 μm 以下、更により好ましくは 1 2 μm 以下である。予歪みが解放された状態のエラストマ層 1 1 b の平均厚みの下限値は特に限定されるものではないが、例えば、1 μm 以上である。

【 0 0 2 1 】

エラストマ層 1 1 b の平均厚みは以下のようにして求められる。まず、積層体 1 1 を F I B（Focused Ion Beam）法などにより加工して断面を作製し、走査電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）を用いて断面画像（以下「断面 SEM 像」という。）を撮影する。次に、この断面 SEM 像中の 1 つのエラストマ層 1 1 b から、1 0 点のポイントを無作為に選び出して、それぞれのポイントでエラストマ層 1 1 b の厚みを測定し、これらの測定値を単純に平均（算術平均）してエラストマ層 1 1 b の平均厚みを求める。

【 0 0 2 2 】

エラストマ層 1 1 b のヤング率が、好ましくは 1 0 MPa 以下、より好ましくは 0 . 0 5 MPa 以上 1 0 MPa 以下、更により好ましくは 0 . 1 MPa 以上 1 MPa 以下である。上記のヤング率は、JIS K 6251:2010 に準拠して測定された値である。ヤング率が 1 0 MPa 以下であると、容易に延伸できる。一方、ヤング率が 0 . 0 5 MPa 以上であると、容易にハンドリングできる。エラストマ層 1 1 b の破断歪みが、好ましくは 2 0 0 % 以上、より好ましくは 2 0 0 % 以上 1 2 0 0 % 以下である。破断歪みが 2 0 0 % 以上であると、延伸量をより大きくとることができる。破断歪みは、例えば JIS K 6251:2010 によって計測される。

10

20

30

40

50

【0023】

エラストマ層11bは、例えば、絶縁性伸縮材料として絶縁性エラストマを含んでいる。エラストマ層11bは、必要に応じて添加剤を含んでいてもよい。添加剤は、例えば、架橋剤、可塑剤、老化防止剤、界面活性剤、粘度調整剤、補強剤および着色剤などのうちの少なくとも1種である。絶縁性エラストマは、例えば、アクリルゴム、シリコンゴム、エチレン-プロピレン-ジエン三元共重合体(EPM)、天然ゴム(NR)、ブチルゴム(IIR)、イソpreneゴム(IR)、アクリロニトリル-ブタジエン共重合ゴム(NBR)、水素化アクリロニトリル-ブタジエン共重合ゴム(H-NBR)、ヒドリン系ゴム、クロロpreneゴム(CR)、フッ素ゴムおよびウレタンゴムなどのうちの少なくとも1種を含んでいる。良好な導電性を発現させるためには、絶縁性エラストマとしては、酸化チタンまたは酸化ケイ素などの添加物が含まれていないものを用いることが好ましい。

10

【0024】

(電極)

電極11aは、伸縮性を有している。電極11aが伸縮性を有することで、アクチュエータ10を駆動させた際に、電極11aがエラストマ層11bの変形に追従して変形することが可能になる。また、後述するように積層体11の延伸の際に、エラストマ層11bの変形に追従するように電極11aを変形させることができる。

【0025】

電極11aは、例えば、固体状、ゲル状または液状である。電極11aは、薄膜であってもよいし、バインダレスでエラストマ層11bの表面に担持された導電性材料であってもよい。電極11aは、エラストマ層11bの表面の全体またはほぼ全体に設けられていてもよいし、エラストマ層11bの表面に所定のパターンで部分的に設けられていてもよい。図1Aでは、後者の例が示されている。所定のパターンは、例えば、ストライプ状、格子状、螺旋状、同心状、メッシュ状または幾何学模様状などが挙げられるが、これに限定されるものではない。

20

【0026】

予歪みが解放された状態の電極11aの平均厚みは、好ましくは50μm以下、より好ましくは5μm以下、更により好ましくは3μm以下である。予歪みが解放された状態の電極11aの平均厚みの下限値は特に限定されるものではないが、例えば300nm以上である。上記の電極11aの平均厚みは、上記のエラストマ層11bの平均厚みと同様に

30

【0027】

電極11aのヤング率が、好ましくは10MPa以下、より好ましくは0.05MPa以上10MPa以下、更により好ましくは0.1MPa以上1MPa以下である。上記のヤング率は、JIS K 6251:2010に準拠して測定された値である。ヤング率が10MPa以下であると、容易に延伸できる。一方、ヤング率が0.05MPa以上であると、容易にハンドリングできる。電極11aの破断歪みが、好ましくは200%以上、より好ましくは200%以上1200%以下である。破断歪みが200%以上であると、延伸量を大きくとることができる。破断歪みは、例えばJIS K 6251:2010によって計測される。

【0028】

40

積層体11に100%以上の歪みが加えられた状態における電極11aの体積抵抗率は、10MΩ・cm以下であることが好ましい。これにより、積層体11に100%以上の歪みが加えられた場合にも、電極11aを良好な導電性を有する電極として機能させることができる。上記歪みの上限値は特に限定されるものではないが、好ましくは1000%以下、より好ましくは500%以下である。上記の電極11aの体積抵抗率は、JIS K 7194-1994に準拠して4端子法により求められた値である。JIS K 5600-5-6:1999に準拠したクロスカット試験において電極11aとエラストマ層11bとの密着性は、分類0から2のいずれかであることが好ましい。分類0から2のいずれかであると、50%以上の予歪みが加わるように、積層体11を大延伸させた際に、エラストマ層11bと電極11aとの剛性の違いから、エラストマ層11bと電極11aとの間が剥離してしまうことを

50

抑制できる。

【0029】

電極11aは、導電性材料を含んでいる。電極11aが、必要に応じて伸縮性を有するバインダ、ゲル、懸濁液およびオイルのうちの少なくとも1種を更に含んでいてもよい。また、電極11aが、必要に応じて添加剤を更に含んでいてもよい。

【0030】

導電性材料は、例えば導電性フィラーおよび導電性高分子のうちの少なくとも1種である。導電性フィラーの形状としては、例えば、球状、楕円体状、針状、板状、鱗片状、チューブ状、ワイヤー状、棒状（ロッド状）、繊維状、不定形状などが挙げられるが、特にこれらに限定されるものではない。なお、1種状の形状の導電性フィラーのみを用いてもよいし、2種以上の形状の導電性フィラーを組み合わせ用いてもよい。

10

【0031】

導電性フィラーは、例えば、炭素系フィラー、金属系フィラー、金属酸化物系フィラーおよび金属被覆系フィラーのうちの少なくとも1種を含んでいる。ここで、金属には、半金属が含まれるものと定義する。

【0032】

炭素系フィラーは、例えば、カーボンブラック（例えばケッチェンブラック、アセチレンブラックなど）、ポラスカーボン、炭素繊維（例えばPAN系、ピッチ系など）、カーボンナノファイバー、フラーレン、グラフェン、気相成長炭素繊維（VGCF）、カーボンナノチューブ（例えばSWCNT、MWCNTなど）、カーボンマイクロコイルおよびカーボンナノホーンのうちの少なくとも1種を含んでいる。

20

【0033】

金属系フィラーは、例えば、銅、銀、金、白金、パラジウム、ニッケル、錫、コバルト、ロジウム、イリジウム、鉄、ルテニウム、オスミウム、マンガン、モリブデン、タングステン、ニオブ、タンタル、チタン、ビスマス、アンチモンおよび鉛のうちの少なくとも1種を含んでいる。

【0034】

金属酸化物系フィラーは、例えば、インジウム錫酸化物（ITO）、酸化亜鉛、酸化インジウム、アンチモン添加酸化錫、フッ素添加酸化錫、アルミニウム添加酸化亜鉛、ガリウム添加酸化亜鉛、シリコン添加酸化亜鉛、酸化亜鉛 - 酸化錫、酸化インジウム - 酸化錫または酸化亜鉛 - 酸化インジウム - 酸化マグネシウムを含んでいる。

30

【0035】

金属被覆系フィラーは、ベースフィラーを金属で被覆したものである。ベースフィラーは、例えば、マイカ、ガラスビーズ、ガラス繊維、炭素繊維、炭酸カルシウム、酸化亜鉛または酸化チタンである。ベースフィラーを被覆する金属は、例えば、NiおよびAlのうちの少なくとも1種を含んでいる。

【0036】

導電性フィラーの平均サイズは、35nm以上37nm以下であることが好ましい。特に優れた導電性を有する電極11aが得られるからである。ここで、平均サイズは以下のようにして求められる。まず、走査電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope；SEM）を用いて、導電性フィラーのSEM像を撮影する。その後、画像解析ソフトを用いて、SEM像中から無作為に10個の導電性フィラーを選び出し、それらのフィラーのサイズをそれぞれ測定する。ここで、導電性フィラーのサイズは、いわゆる最大フェレ径を意味し、具体的には、導電性フィラーの輪郭に接するように、あらゆる角度から引いた2本の平行線間の距離のうち最大のものをいう。

40

【0037】

導電性高分子は、例えば、ポリエチレンジオキシチオフェン/ポリスチレンスルホン酸（PEDOT/PSS）、ポリアニリン、ポリアセチレンおよびポリピロールのうちの少なくとも1種である。

【0038】

50

バインダは、エラストマであることが好ましい。エラストマとしては、エラストマ層 1 1 b と同様のものを例示することができる。添加剤としては、エラストマ層と同様のものを例示することができる。

【 0 0 3 9 】

電極 1 1 a はコンポジット材料（複合材料）を含んでいてもよい。コンポジット材料は、例えば、エラストマと導電性高分子および導電性フィラーの少なくとも 1 種とのコンポジット材料、伸縮性のイオン導電性材料と電界質を含むコンポジット材料、高分子の懸濁液（アクリルエマルジョン等）と導電性高分子および導電性フィラーの少なくとも 1 種とのコンポジット材料、ブロックコポリマと導電性高分子および導電性フィラーの少なくとも 1 種とのコンポジット材料、および高分子ゲルとイオン導電体とのコンポジット材料のうちの少なくとも 1 種を含んでいる。

10

【 0 0 4 0 】

（密着性の改善）

エラストマ層 1 1 b と電極 1 1 a との界面には密着性改善の処理が施されていることが好ましい。密着性が改善されていることで、50%以上の予歪み加わるように、積層体 1 1 を大延伸させた際に、エラストマ層 1 1 b と電極 1 1 a との剛性の違いから、エラストマ層 1 1 b と電極 1 1 a との間が剥離してしまうことを抑制できる。

【 0 0 4 1 】

上記界面の密着性改善のためには、積層体 1 1 が、（1）エラストマ層 1 1 b と電極 1 1 a との間に設けられたシランカップリング剤、（2）エラストマ層 1 1 b と電極 1 1 a との間に設けられたプライマー層、（3）物理的前処理が施されたエラストマ層 1 1 b および電極 1 1 a の少なくとも一方の表面、および（4）エラストマ層 1 1 b および電極 1 1 a の少なくとも一方の表面に付与された微細凹凸、のうちの少なくとも 1 種を備えることが好ましい。なお、物理的前処理は、例えば、エキシマ光照射処理、紫外線照射処理、プラズマ処理およびコロナ処理のうちの少なくとも 1 種である。

20

【 0 0 4 2 】

（シランカップリング剤）

シランカップリング剤の種類は特に限定されず、公知のシランカップリング剤を用いることができる。シランカップリング剤の具体例としては、ビニルトリクロロシラン、ビニルトリメトキシシラン、ビニルトリエトキシシラン、2 - （3, 4 - エポキシクロヘキシル）エチルトリメトキシシラン、3 - グリシドキシプロピルトリメトキシシラン、3 - グリシドキシプロピルメチルジエトキシシラン、3 - グリシドキシプロピルトリエトキシシラン、p - スチリルトリメトキシシラン、3 - メタクリロキシプロピルメチルジメトキシシラン、3 - メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン、3 - メタクリロキシプロピルメチルジエトキシシラン、3 - メタクリロキシプロピルトリエトキシシラン、3 - アクリロキシプロピルトリメトキシシラン、N - 2 - （アミノエチル） - 3 - アミノプロピルメチルジメトキシシラン、N - 2 - （アミノエチル） - 3 - アミノプロピルトリメトキシシラン、N - 2 - （アミノエチル） - 3 - アミノプロピルトリエトキシシラン、3 - アミノプロピルトリメトキシシラン、3 - アミノプロピルトリエトキシシラン、3 - トリエトキシシリル - N - （1, 3 - ジメチル - プチリデン）プロピルアミン、N - フェニル - 3 - アミノプロピルトリメトキシシラン、N - （ビニルベンジル） - 2 - アミノエチル - 3 - アミノプロピルトリメトキシシランの塩酸塩、3 - ウレイドプロピルトリエトキシシラン、3 - クロロプロピルトリメトキシシラン、3 - メルカプトプロピルメチルジメトキシシラン、3 - メルカプトプロピルトリメトキシシラン、ビス（トリエトキシシリルプロピル）テトラスルフィド、3 - イソシアネートプロピルトリエトキシシランなどが挙げられる。

30

40

【 0 0 4 3 】

〔アクチュエータの動作〕

次に、本技術の第 1 の実施形態に係るアクチュエータ 1 0 の動作の一例について説明する。

50

【 0 0 4 4 】

エラストマ層 1 1 b を介して対向する電極 1 1 a、1 1 a 間に駆動電圧が印加されると、両電極 1 1 a、1 1 a にクーロン力による引力が作用する。このため、両電極 1 1 a、1 1 a 間に配置されたエラストマ層 1 1 b は、その厚さ方向に押圧されて薄くなると共に、伸張する。

【 0 0 4 5 】

一方、エラストマ層 1 1 b を介して対向する電極 1 1 a、1 1 a 間に印加された駆動電圧が解除されると、両電極 1 1 a、1 1 a にクーロン力による引力が作用しなくなる。このため、エラストマ層 1 1 b の復元力によりエラストマ層 1 1 b は元の厚さに戻ると共に、収縮して元の大きさに戻る。

10

【 0 0 4 6 】

[アクチュエータの製造方法]

次に、本技術の第 1 の実施形態に係るアクチュエータ 1 0 の製造方法の一例について説明する。

【 0 0 4 7 】

(導電性塗料の調製工程)

導電性材料を溶剤に加えて分散させることにより、電極形成用塗料である導電性塗料を調製する。必要に応じて、バインダおよび添加剤のうちの少なくとも 1 種を溶剤に更に加えるようにしてもよい。例えば、エラストマ層 1 1 b への導電性塗料の塗布性やポットライフを向上させる目的で、必要に応じて界面活性剤、粘度調整剤、分散剤などの添加剤を加えてもよい。導電性塗料は導電性インクであってもよいし、導電性ペーストであってもよい。分散方法としては、攪拌、超音波分散、ビーズ分散、混練、ホモジナイザー処理などを用いることが好ましい。

20

【 0 0 4 8 】

溶剤は、極性溶媒および無極性溶媒のいずれであってもよいが、無極性溶媒が好ましい。溶剤は、導電性材料を分散できるものであればよく、特に限定されるものではない。例えば、水、トルエン、酢酸エチル、エタノール、メチルエチルケトン、イソプロパノール、アルコール、アセトン、アノン（シクロヘキサノン、シクロペンタノン）、炭化水素（ヘキサン）、アミド（DMF）、スルフィド（DMSO）、ブチルセロソルブ、ブチルトリグリコール、プロピレングリコールモノメチルエーテル、プロピレングリコールモノエチルエーテル、エチレングリコールモノエチルエーテル、エチレングリコールモノプロピルエーテル、エチレングリコールモノイソプロピルエーテル、ジエチレングリコールモノブチルエーテル、ジエチレングリコールモノエチルエーテル、ジエチレングリコールモノメチルエーテル、ジエチレングリコールジエチルエーテル、ジプロピレングリコールモノメチルエーテル、トリプロピレングリコールモノメチルエーテル、プロピレングリコールモノブチルエーテル、プロピレングリコールイソプロピルエーテル、ジプロピレングリコールイソプロピルエーテル、トリプロピレングリコールイソプロピルエーテル、メチルグリコール、テルピネオール、ブチルカルビトールアセテートなどが挙げられる。具体的には、導電性塗料としては、炭素系フィラーとシリコンと無極性溶媒とを含むものが好ましい。

30

40

【 0 0 4 9 】

(エラストマ層形成用塗料の調製工程)

エラストマを溶剤に加えて分散させることにより、エラストマ層形成用塗料を調製する。必要に応じて、エラストマ以外の樹脂材料および添加剤のうちの少なくとも 1 種を溶剤に更に加えるようにしてもよい。例えば、電極 1 1 a へのエラストマ層形成用塗料の塗布性やポットライフを向上させる目的で、必要に応じて界面活性剤、粘度調整剤、分散剤などの添加剤を加えてもよい。分散手法としては、上記の導電性塗料の調製工程と同様のものを例示することができる。また、溶剤は、エラストマを分散できるものであればよく、特に限定されるものではない。例えば、上記の導電性塗料の調製工程と同様のものを例示することができる。

50

【 0 0 5 0 】

(積層体の作製工程)

積層体 1 1 を次のようにして作製する。まず、基材を準備し、必要に応じて基材の表面に剥離処理を施す。基材としては、無機基材およびプラスチック基材のいずれであってもよい。基材は、例えば、板状またはシート状である。

【 0 0 5 1 】

次に、導電性塗料を基材の一方の面に塗布し、塗膜を形成する。ここで、塗布には印刷も含まれるものとする。塗布法としては、例えば、マイクログラビアコート法、ワイヤーバーコート法、ダイレクトグラビアコート法、ダイコート法、ディップ法、スプレーコート法、リバースロールコート法、カーテンコート法、コンマコート法、ナイフコート法、スピコート法、インクジェット印刷法、凸版印刷法、オフセット印刷法、グラビア印刷法、凹版印刷法、ゴム版印刷法、スクリーン印刷法またはフレキソ印刷法などを用いることができるが、特にこれに限定されるものではない。

10

【 0 0 5 2 】

続いて、基材の一方の面に形成した塗膜を乾燥させる。乾燥条件は特に限定されるものではなく、自然乾燥および加熱乾燥のいずれであってもよい。これにより、基材の一方の表面に電極 1 1 a が形成される。次に、必要に応じて、この電極 1 1 a の一方の表面に、上記の密着性改善の処理を施すようにしてもよい。

【 0 0 5 3 】

次に、電極 1 1 a の一方の表面にエラストマ層形成用塗料を塗布し、塗膜を形成する。塗布法としては、導電性塗料と同様の塗布法を例示することができる。続いて、基材の一方の面に形成した塗膜を乾燥させる。乾燥条件は特に限定されるものではなく、自然乾燥および加熱乾燥のいずれであってもよい。これにより、電極 1 1 a の一方の表面にエラストマ層 1 1 b が形成される。次に、必要に応じて、このエラストマ層 1 1 b の一方の表面に、上記の密着性改善の処理を施すようにしてもよい。

20

【 0 0 5 4 】

その後、上記の電極 1 1 a の形成工程とエラストマ層 1 1 b の載置工程とを交互に繰り返し、基材の一方の表面上に積層物を形成したのち、基材から積層物の全体を剥離するか、または基材から積層物の一部を剥離する。これにより、積層体 1 1 が得られる。

【 0 0 5 5 】

(延伸工程)

続いて、得られた積層体 1 1 を x、y 方軸向に延伸 (2 軸延伸) する。これにより、x、y 方軸向に 5 0 % 以上の予歪みが加えられる。この延伸された状態で積層体 1 1 の周囲を保持体により保持するようにしてもよい。以上により、目的とするアクチュエータ 1 0 が得られる。

30

【 0 0 5 6 】

[効果]

第 1 の実施形態に係るアクチュエータ 1 0 は、伸縮性を有する複数のエラストマ層 1 1 b と、伸縮性を有する複数の電極 1 1 a とが交互に積層された積層体 1 1 を備え、積層体 1 1 には x、y 軸方向に 5 0 % 以上の予歪みが加えられている。これにより、エラストマ層 1 1 b が薄膜化されているので、駆動電圧を低減することができる。

40

【 0 0 5 7 】

また、第 1 の実施形態に係るアクチュエータ 1 0 では、電極 1 1 a は大きく伸張されても電極として機能可能な構成を有しているため、積層体 1 1 を形成後に大延伸させて、積層体 1 1 に x、y 軸方向に 5 0 % 以上の予歪みを加えることができる。これに対して、通常はアクチュエータでは、電極の追従性は初期長さに対してせいぜい数十 % 程度であるため、電極が大きく伸張されると電極としての機能が損なわれる虞がある。したがって、積層体を大きく延伸させて、積層体に x、y 軸方向に 5 0 % 以上の予歪みを加えることは困難である。

【 0 0 5 8 】

50

また、第 1 の実施形態に係るアクチュエータの製造方法では、塗布プロセスにより電極 1 1 a およびエラストマ層 1 1 b を繰り返し積層して積層体 1 1 を形成したのち、積層体を延伸することにより、積層体 1 1 を得る。このため、通常の塗布プロセスでは困難な膜厚のエラストマ層 1 1 b と電極 1 1 a の積層体 1 1 を形成することができる。

【 0 0 5 9 】

また、一般的なアクチュエータの製造方法では、エラストマ層を単層でハンドリングするため、エラストマ層のハンドリング性が悪化したり、アクチュエータの製造効率が低下したりする虞がある。これに対して、第 1 の実施形態に係るアクチュエータの製造方法では、エラストマ層 1 1 b を単層ではなく、積層体 1 1 としてハンドリングするため、エラストマ層 1 1 b のハンドリング性が向上し、アクチュエータ 1 0 の製造効率を向上できる。また、単層では扱いにくいエラストマ層 1 1 b を積層することで、エラストマ層 1 1 b の切り出しや重ね合わせをはじめとしたハンドリングが容易になる。また、表面の凹凸の影響を小さく抑えることができる。

10

【 0 0 6 0 】

[変形例]

(変形例 1)

アクチュエータ 1 0 は、図 2 に示すように、積層体 1 1 を予歪みが加えられた状態に保持する保持部 1 2 を更に備えていてもよい。保持部 1 2 は、積層体 1 1 の周縁全体を保持している。保持部 1 2 は、図 2 中に矢印で示すように x、y 軸方向に伸縮可能な構成を有していてもよい。すなわち、積層体 1 1 のサイズを可変可能な構成を有していてもよい。積層体 1 1 のサイズを変更することで、積層体 1 1 に加えられる予歪みを調整することができる。

20

【 0 0 6 1 】

なお、保持部 1 2 は、積層体 1 1 を x、y 軸方向に予歪みが加えられた状態に保持可能なものであればよく、上記構成に限定されるものではない。例えば、保持部 1 2 は、積層体 1 1 の周縁を飛び飛びの位置で部分的に保持するものであってもよい。また、保持部 1 2 は、電子機器の筐体またはフレームなどに予め設けられていてもよい。また、積層体 1 1 の周縁などを電子機器の筐体またはフレームなどに貼付けることで、積層体 1 1 を予歪みが加えられた状態に保持してもよい。

【 0 0 6 2 】

(変形例 2)

エラストマ層形成用塗料を電極 1 1 a の一方の表面に塗布乾燥させてエラストマ層 1 1 b を形成する代わりに、電極 1 1 a の一方の表面にシート状のエラストマ層 1 1 b を載置するようにしてもよい。なお、エラストマ層 1 1 b の載置前に、エラストマ層 1 1 b が載置される電極 1 1 a の表面、および電極 1 1 a 上に載置されるエラストマ層 1 1 b の表面の少なくとも一方に、上記の密着性改善の処理を施すようにしてもよい。

30

【 0 0 6 3 】

(変形例 3)

エラストマ層 1 1 b が、多層構造を有していてもよい。この場合、電極 1 1 a と接する面を構成する層を、電極 1 1 a との密着性が高い材料で構成するようにしてもよい。

40

【 0 0 6 4 】

(変形例 4)

エラストマ層 1 1 b は、延伸後のエラストマ層 1 1 b のヤング率が、好ましくは 0 . 0 5 M P a 以上 1 0 M P a 以下、より好ましくは 0 . 1 M P a 以上 1 M P a 以下であり、その延伸状態から更に延伸を加えるとヤング率が 0 . 3 M P a 以上 5 M p a 程度まで急激に上昇する延伸および歪み特性を有するものであってもよい。

【 0 0 6 5 】

(変形例 5)

電極 1 1 a の少なくとも一部は、ヤング率が 1 0 M P a を超える硬い材料で構成されていてもよい。例えば、電極 1 1 a が、伸縮性を有する柔軟な部分と、この部分より伸縮性

50

が低く硬い部分とを有していてもよい。硬い部分は、駆動部位のうち破壊が起きやすい箇所に設けられていることが好ましい。硬い部分は、例えば金属などにより構成される。

【 0 0 6 6 】

(変形例 6)

電極 1 1 a が伸縮性に異方性を有していてもよい。具体的には、電極は、第 1 方向と第 2 方向とで伸縮性が異なってもよい。例えば、電極が、第 1 の方向には伸縮性を有するのに対して、第 2 の方向には殆ど伸縮性を有していなくてもよい。

【 0 0 6 7 】

第 1 の実施形態では積層体 1 1 の全体に予歪みが加えられている構成を例として説明したが、積層体 1 1 のうちの一部に予歪みが加えられていてもよい。この場合、上記の予歪みは、以下の式から求められる。

$$x \text{ 軸方向の予歪み } [\%] = ((M_x - M_{0x}) / M_{0x}) \times 100$$

$$y \text{ 軸方向の予歪み } [\%] = ((M_y - M_{0y}) / M_{0y}) \times 100$$

但し、 M_x 、 M_{0x} 、 M_y 、 M_{0y} は以下の物性値を意味する。

M_x : 予歪みが加えられた状態における予歪み部分の x 軸方向の長さ

M_{0x} : 予歪みが解放された状態における予歪み部分の x 軸方向の辺の長さ

M_y : 予歪みが加えられた状態における予歪み部分の y 軸方向の辺の長さ

M_{0y} : 予歪みが解放された状態における予歪み部分の y 軸方向の辺の長さ

なお、 M_x 、 M_{0x} 、 M_y 、 M_{0y} は、いずれも室温 (2 3) にて測定される値である。

【 0 0 6 8 】

< 2 第 2 の実施形態 >

[アクチュエータの構成]

本技術の第 2 の実施形態に係るアクチュエータ 2 0 は、図 3 に示すように、円筒状のシート状の積層体 2 1 と、積層体 2 1 の内周面を支持する円筒状のコイルスプリング 2 2 と、積層体 2 1 の両端の開口部を閉鎖する封止部材 2 3、2 4 とを備える。アクチュエータ 2 0 が、積層体 2 1 の外周面を覆う、図示しない円筒状の保護層を更に備えるようにしてもよい。積層体 2 1 は、予め円筒状に形成されたものであってもよいし、コイルスプリング 2 2 に巻き付けられて円筒状となったものであってもよい。

【 0 0 6 9 】

アクチュエータ 2 0 は、例えば、内視鏡などの医療用器具、工業用器具、電子機器、人工筋肉、ロボット、ロボットスーツなどに備えられる。アクチュエータ 2 0 は、継続的に使用可能なものであってもよいし、使い捨てのものであってもよい。アクチュエータ 2 0 を内視鏡などの医療用器具に適用する場合、衛生上の観点から、アクチュエータ 2 0 は使い捨てのものであることが好ましい。

【 0 0 7 0 】

アクチュエータ 2 0 は、密閉された円柱状の内部空間を有し、この内部空間にコイルスプリング 2 2 が設けられている。内部空間は、流体としての気体により満たされている。気体は、例えば、空気、希ガスおよび二酸化炭素などのうちの少なくとも 1 種である。

【 0 0 7 1 】

以下、アクチュエータ 2 0 が備える積層体 2 1、コイルスプリング 2 2、封止部材 2 3、2 4 および保護層について順次説明する。

【 0 0 7 2 】

(積層体)

積層体 2 1 には、図 4 A、図 4 B 中に矢印で示すように、積層体 2 1 の高さ方向および周方向それぞれに 5 0 % 以上の予歪みが加えられている。積層体 2 1 の両端は封止部材 2 3、2 4 またはコイルスプリング 2 2 の両端に保持されることで、予歪みが加えられた状態に保持されている。高さ方向および周方向に加えられる予歪みは、同一であってもよいし、異なってもよい。高さ方向および周方向に加えられる予歪みは、好ましくは 8 0 % 以上、より好ましくは 1 0 0 % 以上、更により好ましくは 1 2 0 % 以上である。高さ方

10

20

30

40

50

向および周方向における予歪みの上限値は、好ましくは４００％以下、より好ましくは３００％以下である。

【００７３】

上記の予歪みは、以下の式から求められる。

$$\text{高さ方向の予歪み} [\%] = ((H - H_0) / H_0) \times 100$$

$$\text{周方向の予歪み} [\%] = ((C - C_0) / C_0) \times 100$$

H：予歪みが加えられた状態における円筒状の積層体２１の高さ

H₀：予歪みが解放された状態における円筒状の積層体２１の高さ

C：予歪みが加えられた状態における円筒状の積層体２１の外周の長さ

C₀：予歪みが解放された状態における円筒状の積層体２１の外周の長さ

なお、H、H₀、C、C₀は、いずれも室温（２３）にて測定される値である。

【００７４】

積層体２１は、図４Ａ、図４Ｂに示すように、伸縮性を有する複数の電極２１ａと、伸縮性を有する複数のエラストマ層２１ｂとを含み、電極２１ａとエラストマ層２１ｂと積層体２１の径方向に交互に積層されている。

【００７５】

（エラストマ層）

エラストマ層２１ｂは、円筒状を有するシートである。複数のエラストマ層２１ｂがコイルスプリング２２を中心として同心状に積層されている。なお、帯状を有するエラストマ層２１ｂがコイルスプリング２２の周面に螺旋状に巻き付けられていてもよい。エラストマ層２１ｂは、予め円筒状に形成されたものであってもよいし、コイルスプリング２２に巻き付けられて円筒状となったものであってもよい。エラストマ層２１ｂは、これ以外の点では第１の実施形態におけるエラストマ層１１ｂと同様である。

【００７６】

（電極）

電極２１ａは、積層体２１の高さ方向に延設され、かつ周方向に等間隔で設けられている。また、電極２１ａは、積層体２１の径方向に重なるように設けられている。すなわち、エラストマ層１１ｂの両面に設けられた電極２１ａは、エラストマ層１１ｂを介して対向するように設けられている。電極２１ａは、これ以外の点では第１の実施形態における電極１１ａと同様である。

【００７７】

（コイルスプリング）

コイルスプリング２２は、任意の方向に湾曲可能であり、かつ弾性変形可能な支持体の一例である。コイルスプリング２２は、金属線などの線状部材が円筒状の螺旋に巻かれたコイル状のパネであり、線状部材間には隙間が形成されている。このため、コイルスプリング２２は、積層体２１の内周面を積層体２１の高さ方向に離散的に支持している。このように積層体２１の内周面が支持されることで、積層体２１が変形しやすくなり、アクチュエータ２０が伸縮動作や屈曲動作しやすくなる。ここで、“積層体２１の内周面を積層体２１の高さ方向に離散的に支持している”とは、積層体２１の高さ方向にとびとびの位置で、積層体２１の内周面を支持していることを意味する。ここで、とびとびの位置の間隔は一定であってもよいし、変化してもよい。

【００７８】

（封止部材）

封止部材２３、２４は、円盤状を有している。封止部材２３、２４は、金属または高分子樹脂を含んでいる。封止部材２３、２４が、エラストマなどを含み、弾性変形可能であってもよい。封止部材２３、２４は、アクチュエータ２０の端部に設けられるデバイス（例えばカメラなどの電子機器）、またはアクチュエータ２０の操作部であってもよい。

【００７９】

（保護層）

保護層は、電極１１ａを保護するためのものであり、伸縮性を有するシートである。保

10

20

30

40

50

護層は、絶縁性を有する高分子樹脂を含んでいる。高分子樹脂としては、例えば塩化ビニルを用いることができる。

【 0 0 8 0 】

[アクチュエータの動作]

次に、本技術の第 2 の実施形態に係るアクチュエータ 2 0 の動作の一例について説明する。

【 0 0 8 1 】

エラストマ層 2 1 b を介して対向する複数の組の電極 2 1 a、2 1 a のうち、1 つの組の電極 2 1 a、2 1 a に駆動電圧が印加されると、その電極 2 1 a、2 1 a 間に配置されたエラストマ層 1 1 b の伸張によって、アクチュエータ 2 0 が屈曲する。1 つの組の電極 2 1 a、2 1 a に印加された駆動電圧が解除されると、アクチュエータ 2 0 は元の円柱形状に戻る。

10

【 0 0 8 2 】

[アクチュエータの製造方法]

次に、本技術の第 2 の実施形態に係るアクチュエータの製造方法の一例について説明する。

【 0 0 8 3 】

まず、円筒状の基材の円柱面に、導電性塗料およびエラストマ層形成用塗料を交互に塗布乾燥させたのち、基材から積層体の全体を剥離するか、または基材から積層体の一部を剥離することにより、積層体 2 1 を得る。

20

【 0 0 8 4 】

次に、積層体 2 1 の高さ方向および周方向に延伸（2 軸延伸）する。これにより、高さ方向および周方向に 5 0 % 以上の予歪みが加えられる。予歪みが加えられた積層体 2 1 の内側にコイルスプリング 2 2 を挿入する。なお、積層体 2 1 をその高さ方向および周方向に延伸しながら、積層体 2 1 の内側にコイルスプリング 2 2 を挿入するようにしてもよい。次に、封止部材 2 3、2 4 をそれぞれ積層体 2 1 の両端の開口部に嵌め合わせることで、積層体 2 1 の両端の開口部を閉鎖する。次に、積層体 2 1 の両端を封止部材 2 3、2 4 またはコイルスプリング 2 2 の両端で保持する。これにより、図 3 に示すアクチュエータ 2 0 が得られる。

【 0 0 8 5 】

30

[効果]

第 2 の実施形態に係るアクチュエータ 2 0 およびその製造方法では、第 1 の実施形態に係るアクチュエータ 1 0 およびその製造方法と同様の効果が得られる。

【 0 0 8 6 】

[変形例]

（変形例 1）

第 1 の実施形態では、電極 2 1 a がエラストマ層 2 1 b の周面に所定のパターンで部分的に設けられている場合について説明したが、電極 2 1 a がエラストマ層 2 1 b の周面の全体に設けられていてもよい。

【 0 0 8 7 】

40

（変形例 2）

アクチュエータ 2 0 を以下のようにして製造するようにしてもよい。まず、導電性塗料をストライプ状に塗布する以外は、第 1 の実施形態と同様にして帯状の積層体 2 1 を得る。なお、基材としてシートを用いる場合、Roll to Roll により積層体 2 1 を作製するようにしてもよい。次に、積層体 2 1 の高さ方向および周方向に延伸しながら、積層体 2 1 をコイルスプリング 2 2 の周面に巻き付ける。これ以降の工程は、第 2 の実施形態と同様である。

【 0 0 8 8 】

（変形例 3）

積層体 2 1 の周方向における予歪みが、積層体 2 1 の高さ方向における予歪みよりも大

50

きくてもよい。この場合、積層体 2 1 の高さ方向の変位を良好に保ちつつ、積層体 2 1 の絶縁破壊耐性を向上することができる。

【 0 0 8 9 】

(変形例 4)

積層体 2 1 には、周方向に予歪みが加えられているのに対して、高さ方向に予歪みが加えられていなくてもよい。この場合にも、積層体 2 1 の高さ方向の変位を良好に保ちつつ、積層体 2 1 の絶縁破壊耐性を向上することができる。

【 0 0 9 0 】

< 3 第 3 の実施形態 >

[スピーカの構成]

本技術の第 3 の実施形態に係るスピーカ 1 1 0 は、図 5 に示すように、長方形状のアクチュエータ 1 1 1 と、アクチュエータ 1 1 1 の周縁部を保持する保持部 1 1 2 とを備える。アクチュエータ 1 1 1 は、第 1 の実施形態に係るアクチュエータ 1 0 である。

【 0 0 9 1 】

保持部 1 1 2 は、アクチュエータ 1 1 1 (すなわち積層体) がアーチ状に湾曲すると共に、アクチュエータ 1 1 1 の湾曲方向および幅方向 (図 5 中の矢印方向) にそれぞれ 5 0 % 以上の予歪みが加わるように、アクチュエータ 1 1 1 を保持している。

【 0 0 9 2 】

[効果]

第 3 の実施形態に係るスピーカ 1 1 0 では、アクチュエータ 1 1 1 (すなわち積層体) には、湾曲方向および幅方向にそれぞれ 5 0 % 以上の予歪みが加えられているので、スピーカ 1 1 0 の駆動電圧を低減できる。

【 0 0 9 3 】

< 4 第 4 の実施形態 >

[スピーカの構成]

本技術の第 4 の実施形態に係るスピーカ 2 1 0 は、図 6 に示すように、円筒のシート状を有するアクチュエータ 2 1 1 と、アクチュエータ 2 1 1 の両端部を保持する保持部 2 1 2 とを備える。アクチュエータ 2 1 1 は、エラストマ層および電極が円筒状を有している以外の点では、第 1 の実施形態に係るアクチュエータと同様である。

【 0 0 9 4 】

保持部 2 1 2 は、軸部 2 1 2 a と、軸部 2 1 2 a の両端に設けられた円盤状の保持部材 2 1 2 b、2 1 2 c とを備える。保持部材 2 1 2 b、2 1 2 c は、アクチュエータ 2 1 1 の高さ方向および周方向の 2 方向にそれぞれ 5 0 % 以上の予歪みが加わるように、アクチュエータ 2 1 1 を円筒状に保持している。

【 0 0 9 5 】

[効果]

第 4 の実施形態に係るスピーカ 2 1 0 では、アクチュエータ 2 1 1 には高さ方向および周方向にそれぞれ 5 0 % 以上の予歪みが加えられているので、スピーカ 2 1 0 の駆動電圧を低減できる。

【 0 0 9 6 】

[変形例]

アクチュエータ 2 1 1 が四角筒状などの角筒状を有し、保持部材 2 1 2 b、2 1 2 c が四角形などの多角形状を有していてもよい。

【 0 0 9 7 】

< 5 第 5 の実施形態 >

本技術の第 5 の実施形態に係る内視鏡モジュールは、図 7 に示すように、内視鏡 3 1 0 と、制御部 3 2 1 とを備える。制御部 3 2 1 は電源 3 2 3 に接続される。なお、第 5 の実施形態において第 2 の実施形態と同様の箇所には同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 0 9 8 】

内視鏡 3 1 0 は、操作部 3 1 1 と、屈曲部であるアクチュエータ 3 1 2 と、先端部 3 1

10

20

30

40

50

3とを備える。操作部311には、内視鏡を操作するためのものボタンやノブなどが設けられている。

【0099】

アクチュエータ312は、積層体21とコイルスプリング22とを備え、アクチュエータ312の内部空間は密閉されている。アクチュエータ312の一方の開口部は先端部313により閉鎖され、他端の開口部は操作部311により閉鎖されている。先端部313の先端面には、照明レンズおよび対物レンズ（図示せず）が設けられている。先端部313の表面のうち照明レンズおよび対物レンズ以外の部分は、例えばステンレス鋼などにより構成されている。照明レンズおよび対物レンズは、例えばガラスレンズである。照明レンズの内側には照明装置が設けられ、対物レンズの内側にはCCD Charge Coupled Device）またはCMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）などの撮像素子が設けられている。撮像素子は、図示しない画像処理部を介して図示しない表示装置に接続されている。

10

【0100】

先端部313と操作部311とは、アクチュエータ312の内部空間に配置されたケーブルにより接続されており、このケーブルを介して操作信号が操作部311から先端部313に供給される。また、先端部313と画像処理部とは、アクチュエータ312の内部空間に配置されたケーブルにより接続されており、このケーブルを介して先端部313から画像処理部に映像信号が供給される。但し、操作部311が無線により操作信号を先端部313に供給するようにしてもよいし、先端部313が無線により映像信号を画像処理部に供給するようにしてもよい。

20

【0101】

制御部321は、操作部311から供給される制御信号に基づき、屈曲駆動回路322を制御する。屈曲駆動回路322は、制御部321から供給される制御信号に基づき、アクチュエータ312を屈曲駆動させる。屈曲駆動回路322は、操作部311に設けられていてもよい。

【0102】

[効果]

第5の実施形態に係る内視鏡モジュールでは、アクチュエータ312が高さ方向および周方向に50%以上の予歪みが加えられた円筒状の積層体21を備えるので、内視鏡モジュールの駆動電圧を低減することができる。

30

【0103】

< 第6の実施形態 >

[アクチュエータの構成]

本技術の第6の実施形態に係るアクチュエータ30は、図9に示すように、円筒状の積層体31と、積層体31の内周面を支持する円筒状のコイルスプリング22と、積層体31の両端の開口部を閉鎖する封止部材23、24とを備える。なお、第6の実施形態において第2の実施形態と同様の箇所には同一の符号を付して説明を省略する。

【0104】

(積層体)

積層体31には周方向に予歪みが加えられているのに対して、高さ方向に予歪みが加えられていない。ここで、積層体31の高さ方向が、アクチュエータ30の駆動方向であり、積層体31の周方向は、アクチュエータ30の駆動方向に直交する方向である。

40

【0105】

積層体31の周方向に加えられる予歪みは、50%以上、好ましくは80%以上、より好ましくは100%以上、更により好ましくは120%以上である。積層体31の周方向における予歪みの上限値は、好ましくは400%以下、より好ましくは300%以下である。

【0106】

積層体31は、アクチュエータ30の本体であり、図10に示すように、長尺状を有す

50

る電極シート 3 2 と、長尺状を有する電極シート 3 3 とを備える。電極シート 3 2、3 3 は、長手方向の一端が内周側となり、長手方向の他端が外周側となるように支持体としてのコイルスプリング 2 2 の周面に螺旋状に巻回されている。

【 0 1 0 7 】

電極シート 3 2 は、周方向に一軸延伸されており、伸縮性を有するエラストマ層（誘電体層）3 2 a と、エラストマ層 3 2 a の一方の面に設けられ、伸縮性を有する電極 3 2 b とを備える。エラストマ層 3 2 a と電極 3 2 b とは共に長尺の矩形状を有し、エラストマ層 3 2 a と電極 3 2 b との長手方向が一致するように、電極 3 2 b はエラストマ層 3 2 a の一方の面に設けられている。

【 0 1 0 8 】

電極シート 3 3 は、周方向に一軸延伸されており、伸縮性を有するエラストマ層（誘電体層）3 3 a と、エラストマ層 3 3 a の一方の面に設けられ、伸縮性を有する電極 3 3 b とを備える。エラストマ層 3 3 a と電極 3 3 b とは共に長尺の矩形状を有し、エラストマ層 3 3 a と電極 3 3 b との長手方向が一致するように、電極 3 3 b はエラストマ層 3 3 a の一方の面に設けられている。

【 0 1 0 9 】

電極シート 3 2、3 3 は、各辺を重ね合わせるようにして、当該電極シート 3 2、3 3 の長手方向に螺旋状に巻回されおり、巻回された電極 3 2 b、3 3 b の間にはエラストマ層 3 2 a またはエラストマ層 3 3 a が挟まれている。具体的には、電極シート 3 2、3 3 は、積層体 3 1 の中心から外周に向かって電極 3 2 b、エラストマ層 3 2 a、電極 3 3 b、エラストマ層 3 3 a がこの順序で繰り返されるようにして、電極シート 3 2、3 3 の長手方向に巻回されている。

【 0 1 1 0 】

エラストマ層 3 2 a およびエラストマ層 3 3 a は、上記以外の点では第 1 の実施形態におけるエラストマ層 1 1 b と同様である。また、電極 3 2 b、3 3 b は、上記以外の点では第 1 の実施形態における電極 1 1 a と同様である。

【 0 1 1 1 】

[アクチュエータの動作]

次に、本技術の第 6 の実施形態に係るアクチュエータ 3 0 の動作の一例について説明する。

【 0 1 1 2 】

エラストマ層 3 2 a またはエラストマ層 3 3 a を介して対向する電極 3 2 b、3 3 b 間に駆動電圧が印加されると、両電極 3 2 b、3 3 b にクーロン力による引力が作用する。これにより、両電極 3 2 b、3 3 b 間に配置されたエラストマ層 3 2 a、3 3 a は、その厚さ方向に押圧されて薄くなり、積層体 3 1 はその高さ方向（駆動方向）に伸張する。

【 0 1 1 3 】

一方、エラストマ層 3 2 a またはエラストマ層 3 3 a を介して対向する電極 3 2 b、3 3 b 間に印加された駆動電圧が解除されると、両電極 3 2 b、3 3 b にクーロン力による引力が作用しなくなる。これにより、エラストマ層 3 2 a、3 3 a の復元力によりエラストマ層 3 2 a、3 3 a は元の厚さに戻ると共に、収縮して元の大きさに戻る。

【 0 1 1 4 】

[アクチュエータの製造方法]

次に、本技術の第 6 の実施形態に係るアクチュエータの製造方法の一例について説明する。

【 0 1 1 5 】

（電極シートの作製工程）

電極シート 3 2 を次のようにして作製する。まず、基材を準備し、必要に応じて基材の一方の面に剥離処理を施す。基材としては、無機基材を用いてもよいし、プラスチック基材を用いてもよい。また、基材としては、板状のものを用いてもよいし、シート状のものを用いてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 6 】

次に、エラストマ層形成用塗料を基材の一方の面に塗布し、長尺の矩形状を有する塗膜を形成する。ここで、塗布には印刷も含まれるものとする。続いて、基材の一方の面に形成した塗膜を乾燥させる。乾燥条件は特に限定されるものではなく、自然乾燥および加熱乾燥のいずれであってもよい。これにより、基材の一方の面にエラストマ層 3 2 a が形成される。その後、必要に応じて、このエラストマ層 3 2 a の一方の面に、密着性改善の処理を施すようにしてもよい。

【 0 1 1 7 】

次に、導電性塗料をエラストマ層 3 2 a の一方の面に塗布し、長尺の矩形状を有する塗膜を形成する。続いて、エラストマ層 3 2 a の一方の面に形成した塗膜を乾燥させることにより、電極 3 2 b を形成する。乾燥条件は特に限定されるものではなく、自然乾燥および加熱乾燥のいずれであってもよい。以上により、電極シート 3 2 が作製される。

10

【 0 1 1 8 】

電極シート 3 3 は、電極シート 3 2 と同様にして作製される。

【 0 1 1 9 】

(電極シートの積層工程)

電極シート 3 2 、 3 3 の各辺を重ね合わせると共に、電極 3 3 b とエラストマ層 3 2 a とを対向させるようにして、電極シート 3 3 上に電極シート 3 2 を載置することにより、長尺の矩形状を有する積層体 3 1 を得る。

【 0 1 2 0 】

20

(積層体の巻回工程)

得られた積層体 3 1 を長手方向 (周方向) に 1 軸延伸しながら、積層体 3 1 の長手方向の一端が内周側となり、積層体 3 1 の他端が外周側となるようにして、積層体 3 1 をコイルスプリング 2 2 の周面に螺旋状に巻回する。

【 0 1 2 1 】

(封止工程)

まず、封止部材 2 3 、 2 4 をそれぞれ積層体 3 1 の両端の開口部に嵌め合わせることにより、積層体 3 1 の両端の開口部を閉鎖する。次に、積層体 3 1 の両端を封止部材 2 3 、 2 4 またはコイルスプリング 2 2 の両端で保持する。これにより、図 9 、 1 0 に示すアクチュエータ 3 0 が得られる。

30

【 0 1 2 2 】

[効果]

第 6 の実施形態に係るアクチュエータ 3 0 では、積層体 3 1 には、周方向 (駆動方向に直交する方向) に予歪みが加えられているのに対して、高さ方向 (駆動方向) に予歪みが加えられていないため、駆動方向の変位を良好に保ちつつ、絶縁破壊耐性を向上することができる。また、積層体 3 1 の周方向に予歪みが加えられることで、エラストマ層 3 2 a およびエラストマ層 3 3 a が薄膜化されているので、駆動電圧を低減することもできる。

【 0 1 2 3 】

[変形例]

(変形例 1)

40

積層体 3 1 には周方向および高さ方向の両方向に予歪みが加えられていてもよい。この場合、積層体 3 1 の周方向における予歪みは、積層体 3 1 の高さ方向における予歪みより大きいことが好ましい。より具体的には、積層体 3 1 の周方向における予歪みは、50% 以上、好ましくは 80% 以上、より好ましくは 100% 以上、更により好ましくは 120% 以上である。積層体 3 1 の周方向における予歪みの上限値は、好ましくは 400% 以下、より好ましくは 300% 以下である。一方、積層体 3 1 の高さ方向における予歪みは、50% 未満、好ましくは 30% 以下、より好ましくは 20% 以下、更により好ましくは 10% 以下、特に好ましくは 5% 以下である。

【 0 1 2 4 】

(変形例 2)

50

電極シート 3 2、3 3 が円筒状を有し、複数の電極シート 3 2、3 3 がコイルスプリング 2 2 を中心として同心状に積層されることで、積層体 3 1 が構成されていてもよい。

【 0 1 2 5 】

< 7 第 7 の実施形態 >

[アクチュエータの構成]

本技術の第 7 の実施形態に係るアクチュエータ 4 0 は、図 1 1 A に示すように、ファイバ状の巻回体 4 1 と、巻回体 4 1 の一方の端部から取り出された端子 4 2 A と、巻回体 4 1 の他方の端部から取り出された端子 4 2 B とを備える。なお、第 7 の実施形態において第 6 の実施形態と同様の箇所には同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 1 2 6 】

巻回体 4 1 には周方向に予歪みが加えられているのに対して、長さ方向に予歪みが加えられていない。ここで、巻回体 4 1 の長さ方向が、アクチュエータ 4 0 の駆動方向であり、巻回体 4 1 の周方向は、アクチュエータ 4 0 の駆動方向に直交する方向である。

【 0 1 2 7 】

巻回体 4 1 は、積層体の一例である。巻回体 4 1 は、中心部にコイルスプリング 2 2 を備えておらず、またファイバ状を有すること以外は第 6 の実施形態における積層体 3 1 と同様である。巻回体 4 1 は、中心に孔部を有していてもよいし、有していなくてもよい。

【 0 1 2 8 】

端子 4 2 A、4 2 B は長尺状を有している。図 1 1 B に示すように、端子 4 2 A の一端は電極 3 2 b に接続され、他端は巻回体 4 1 の一方の端部から取り出されている。また、端子 4 2 B の一端は電極 3 3 b に接続され、他端は巻回体 4 1 の他方の端部から取り出されている。

【 0 1 2 9 】

[効果]

第 7 の実施形態に係るアクチュエータ 4 0 では、積層体の一例である巻回体 4 1 には、周方向（駆動方向に直交する方向）に予歪みが加えられているのに対して、長さ方向（駆動方向）に予歪みが加えられていないため、駆動方向の変位を良好に保ちつつ、絶縁破壊耐性を向上することができる。また、巻回体 4 1 の周方向に予歪みが加えられることで、エラストマ層 3 2 a およびエラストマ層 3 3 a が薄膜化されているので、駆動電圧を低減することもできる。

【 0 1 3 0 】

[変形例]

(変形例 1)

巻回体 4 1 には周方向および長さ方向の両方に予歪みが加えられていてもよい。この場合、巻回体 4 1 の周方向における予歪みは、巻回体 4 1 の長さ方向における予歪みより大きいことが好ましい。より具体的には、巻回体 4 1 の周方向、長さ方向における予歪みの値はそれぞれ、第 6 の実施形態の変形例 1 における積層体 3 1 の周方向、高さ方向における予歪と同様の値に設定することが好ましい。

【 0 1 3 1 】

(変形例 2)

電極シート 3 2、3 3 が円筒状を有し、複数の電極シート 3 2、3 3 が積層されることで、ファイバ状の積層体が構成されていてもよい。

【 0 1 3 2 】

< 8 第 8 の実施形態 >

[触覚提示装置の構成]

図 1 2 を参照して、本技術を触覚提示装置に適用した例について説明する。触覚提示装置は、駆動装置の一例であり、アクチュエータアレイ 4 1 1 と、電圧源 4 1 2 と、図示しない制御部とを備える。なお、第 8 の実施形態において第 7 の実施形態と同様の箇所には同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 1 3 3 】

10

20

30

40

50

アクチュエータアレイ 4 1 1 は、駆動部材の一例であり、ファイバ状を有する複数のアクチュエータ 4 0 を備える。複数のアクチュエータ 4 0 は、各アクチュエータ 4 0 の長さ方向が同一方向となり、かつ、隣接するアクチュエータ 4 0 の周面同士が対向するように一列に配置されている。端子 4 2 A、4 2 B はそれぞれ、配線 4 1 3 A、4 1 3 B を介して電圧源 4 1 2 に接続されている。電圧源 4 1 2 は、図示しない制御部からの制御信号に基づき、所定の周波数の駆動電圧を各アクチュエータ 4 0 に供給する。なお、アクチュエータ 4 0 は、第 7 の実施形態の変形例におけるものであってもよい。

【 0 1 3 4 】

[触感提示装置の動作]

図 1 3 A、1 3 B を参照して、上述の構成を有する触覚提示装置の動作の一例について説明する。ここでは、図 1 3 A に示すように、アクチュエータアレイ 4 1 1 を構成するアクチュエータ 4 0の両端がそれぞれ、支持体 4 1 4 に支持されている場合について説明する。

10

【 0 1 3 5 】

アクチュエータ 4 0 に駆動電圧が印加されると、図 1 3 B に示すように、アクチュエータ 4 0 が伸び、湾曲する。アクチュエータ 4 0 に印加された駆動電圧が解除されると、図 1 3 A に示すように、アクチュエータ 4 0 が縮み、元の長さに戻り、直線状となる。

【 0 1 3 6 】

[効果]

第 8 の実施形態に係る触覚提示装置では、アクチュエータアレイ 4 1 1 が、第 7 の実施形態に係る複数のアクチュエータ 4 0 を備えるため、触覚提示装置の絶縁破壊耐性を向上し、かつ消費電力を低減することができる。

20

【 0 1 3 7 】

[変形例]

図 1 4 を参照して、本技術を触覚提示装置に適用した他の例について説明する。触覚提示装置は、アクチュエータアレイ 4 2 1 と、電圧源 4 1 2 と、図示しない制御部とを備える。なお、本変形例において第 8 の実施形態と同様の箇所には同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 1 3 8 】

アクチュエータアレイ 4 2 1 は、網目状に 2 次元配置された複数のアクチュエータ 4 0 を備える。より具体的には、アクチュエータアレイ 4 2 1 は、第 1 のアクチュエータ群 4 0 G₁と、第 1 のアクチュエータ群 4 0 G₁上に設けられた第 2 のアクチュエータ群 4 0 G₂とを備える。第 1 のアクチュエータ群 4 0 G₁は、第 1 の方向を向くように配列された複数のアクチュエータ 4 0 を備える。また、第 2 のアクチュエータ群 4 0 G₂は、第 1 の方向に直交する第 2 の方向を向くように配列された複数のアクチュエータ 4 0 を備える。なお、第 1、第 2 の方向が直交していなくてもよい。

30

【 0 1 3 9 】

< 9 第 9 の実施形態 >

[ロボットの構成]

図 1 5 を参照して、本技術をロボットに適用した例について説明する。ロボットは、腕部に関節駆動装置 5 1 0 を備える。

40

【 0 1 4 0 】

[触感提示装置の動作]

関節駆動装置 5 1 0 は、駆動装置の一例であり、柱状体 5 1 1 と、ファイバ状を有する一対のアクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B と、柱状体 5 1 1 およびアクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B の一端を支持する支持体 5 1 3 と、柱状体 5 1 1 の他端に回転可能に支持された回転体 5 1 4 と、回転体 5 1 4 に支持された駆動軸 5 1 5 とを備える。

【 0 1 4 1 】

柱状体 5 1 1、アクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B および支持体 5 1 3 は、ロボットの腕のうち上腕部に設けられ、支持体 5 1 3 は上腕部の上部に支持されている。駆動軸 5 1

50

5 は、ロボットの腕のうち前腕部に設けられ、駆動軸 5 1 5 の駆動に伴って前腕部が動くようになっている。回転体 5 1 4 は、ロボットの腕のうち、上腕部と前腕部の間の関節部に設けられ、関節として機能するようになっている。

【0 1 4 2】

回転体 5 1 4 の周面には、ワイヤーなどの線状部材 5 1 6 が架けられている。線状部材 5 1 6 の一端はアクチュエータ 5 1 2 A の他端に接続され、線状部材 5 1 6 の他端はアクチュエータ 5 1 2 B の他端に接続されている。回転体 5 1 4 は、アクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B の伸縮により線状部材を介して回転可能となっている。

【0 1 4 3】

アクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B は、第 7 の実施形態またはその変形例に係るアクチュエータ 4 0 である。

【0 1 4 4】

ロボットは、図示しない電圧源および制御部をさらに備え、電圧源は配線を介してアクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B と電氣的に接続されている。電圧源は、制御部からの制御信号に基づき、駆動電圧をアクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B に供給する。

【0 1 4 5】

[ロボットの動作]

上述の構成を有するロボットは、次のような動作をする。すなわち、駆動電圧を制御し、アクチュエータ 5 1 2 A を伸ばし、アクチュエータ 5 1 2 A が伸びた分だけアクチュエータ 5 1 2 B を縮めると、線状部材 5 1 6 を介して回転体 5 1 4 は図 1 5 に対して反時計周りの方向に回転する。これにより、駆動軸 5 1 5 は矢印 5 1 7 A に示す方向に駆動する。一方、駆動電圧を制御し、アクチュエータ 5 1 2 A を縮め、アクチュエータ 5 1 2 A が縮んだ分だけアクチュエータ 5 1 2 B を伸ばすと、線状部材 5 1 6 を介して回転体 5 1 4 は図 1 5 に対して時計回りに回転する。これにより、駆動軸 5 1 5 は矢印 5 1 7 B に示す方向に駆動する。

【0 1 4 6】

[効果]

第 9 の実施形態に係るロボットは、関節駆動装置 5 1 0 のアクチュエータ 5 1 2 A、5 1 2 B として、第 7 の実施形態またはその変形例に係るアクチュエータ 4 0 を備える。したがって、ロボットの耐久性を向上し、かつ消費電力を低減することができる。

【0 1 4 7】

[変形例]

第 7 の実施形態ではロボットが腕部に関節駆動装置 5 1 0 を備える構成について説明したが、脚部に関節駆動装置 5 1 0 を備えるようにしてもよい。

【実施例】

【0 1 4 8】

以下、実施例により本技術を具体的に説明するが、本技術はこれらの実施例のみに限定されるものではない。

【0 1 4 9】

以下のサンプル 1 ~ 3 にて用いた材料は次の通りである。

ポリアニリン：化研産業株式会社製、トルエンタイプ (6 . 0 質量 % Toluene solution)

S E B S (poly(styrene-co-ethylenebutylene-co-styrene)) : クレイトンポリマー株式会社製、A1535HU

S E B S - g - M A (poly(styrene-co-ethylenebutylene-co-styrene) grafted with maleic anhydride) : クレイトンポリマー株式会社製、FG1924GT

アクリルエラストマーシート：3 M 社製、VHB4905J (初期厚み：5 0 0 μ m)

シリコーン：Smooth on 社製、Dragon Skin 30

シランカップリング剤 (3 - アミノプロピルトリエトキシシラン) : シグマアルドリッチ社製

10

20

30

40

50

【 0 1 5 0 】

< 延伸量を変化させたサンプル >

[サンプル 1]

まず、SEBSを50 g / Lの濃度となるようにトルエンに溶解させた第1溶液と、SEBS - g - MAを50 g / Lの濃度となるようにトルエンに溶解させた第2溶液とを用意した。なお、SEBS - g - MAは溶解に時間がかかるため、SEBS - g - MAをトルエンに加えたのち、密閉状態にした上で1時間、超音波攪拌を行った。

【 0 1 5 1 】

次に、第1溶液と第2溶液とを、第1溶液：第2溶液 = 1：9の質量比となるように混合し、ポリマー溶液を調製した。続いて、6質量%のポリアニリンがトルエンに溶解された溶液を用意し、この溶液と、上記のポリマー溶液とを混合した。この際、溶液全体に対してポリアニリンの量が4.2質量%になるように調整した。混合後、15分程、超音波攪拌を行うことにより、電極形成用の塗料を得た。誘電エラストマーアクチュエータ(Dielectric Elastomer Actuator: DEA)の電極として使用するためには重量比で1質量%以上添加することが好ましい。

10

【 0 1 5 2 】

その後、初期歪を加えていない矩形状のアクリルエラストマーシートを用意し、上記の電極形成用の塗料をナイロン製の刷毛で塗布し、自然乾燥させた。これにより、目的とする矩形のシート状の積層体を得られた。

【 0 1 5 3 】

20

[サンプル 2]

積層体を延伸し、一辺当たり50%の予歪み(延伸量 $\lambda = 1.5$)を加えること以外はサンプル1と同様にして、積層体を得た。

【 0 1 5 4 】

[サンプル 3]

積層体を延伸し、一辺当たり100%の予歪み(延伸量 $\lambda = 2$)を加えること以外はサンプル1と同様にして、積層体を得た。

【 0 1 5 5 】

[評価]

上述のようにして得られたサンプル1～3の積層体に対して、以下の評価を行った。

30

【 0 1 5 6 】

(積層体の厚み)

エラストマ層の膜厚を断面SEM像から求めた。

【 0 1 5 7 】

(体積抵抗率)

積層体表面の電極の体積抵抗率をJIS K 7194-1994に準拠して4端子法により求めた。

【 0 1 5 8 】

図8は、サンプル1～3の積層体のエラストマ層の膜厚および体積抵抗率の評価結果を示す。エラストマは非圧縮性材料のために2軸延伸量 λ の2乗に反比例して薄くなる。追従性電極の抵抗値は延伸量に合わせて増加している。これは延伸に伴い、電極の厚みが薄くなっていることが要因と考えられる。なお、実際に延伸によって作製したサンプル1～3の積層体に駆動電圧を加えたところ、アクチュエータとして動作する様子も確認することができた。

40

【 0 1 5 9 】

< エラストマ層と電極との密着性を改善したサンプル >

[サンプル 4]

まず、バーコート法でシリコーンを塗布して、厚み50 μm のシリコーンエラストマシートを成膜した。次に、このシートの表面に3分間エキシマ洗浄処理を行ったのち、シランカップリング剤を塗布し、塗膜を形成した。続いて、その塗膜上にサンプル1と同様の電極形成用の塗料(アニリン/SEBS/SEBS - g - MA混合体)を塗布、乾燥する

50

ことにより、電極を形成した。これにより、目的とする積層体を得られた。

【 0 1 6 0 】

(テーブ剥離試験)

まず、JIS K 5600-5-6:1999に準拠したクロスカット試験を電極に対して実施した。次に、試験後の碁盤目の状態を上記のJIS K 5600-5-6:1999に記載の分類 1 ～ 5 に基づき評価し、その評価結果に基づき以下の基準で密着性を判定した。その結果、“良好”な判定結果が得られた。

良好：上記のJIS K 5600-5-6:1999に記載の状態の分類 0 ～ 2 に該当する。

不良：上記のJIS K 5600-5-6:1999に記載の状態の分類 3 ～ 5 に該当する。

なお、分類 3 ～ 5 であると、積層体の延伸時に電極が剥がれてしまう虞がある。

10

【 0 1 6 1 】

上記試験結果から、シリコンシート表面にエキシマ洗浄等の前処理を行ったのち、シランカップリング剤を塗布することで、エラストマシートと電極との密着性を高めることが可能であることがわかる。なお、エラストマシートの表面にエキシマ洗浄またはUV洗浄を行うのみでも、密着性を改善することができる。

【 0 1 6 2 】

上記サンプル 4 では、シランカップリング剤としてトリアルコキシシラン系のものを用いたが、トリアルコキシシラン系以外のジアルコキシシラン系またはモノアルコキシシラン系等を使用しても、同様の密着性改善の効果が得られる。また、末端の官能基もアクリル基、メタクリル基、エポキシ基、ビニル基、スチリル基、イソシアネート基、メルカプト基などをポリマー種類に合わせて使用することができる。

20

【 0 1 6 3 】

< 1 軸延伸量または 2 軸延伸量を変化させて剛性および絶縁破壊強度を評価したサンプル > [サンプル 5 - 1 ～ 5 - 5]

まず、図 1 6 A に示すように、厚み 93 μm、円形状のシリコンエラストマシート（エラストマ層）6 1 1 a を準備し、エラストマシート 6 1 1 a を X、Y 軸方向に 2 軸延伸した。この際、表 1 に示すように、X、Y 軸方向の延伸倍率をサンプル毎に変化させ、1.14、1.43、1.90、2.38、2.86 となるように延伸量（延伸倍率）を調整した。次に、図 1 7 A、1 7 B に示すように、2 軸延伸したエラストマシート 6 1 1 a の周縁部を内径 8 cm、リング状の固定治具 6 1 2 に固定した。続いて、図 1 8 A、1 8 B に示すように、エラストマシート 6 1 1 a の両面の中央部にそれぞれ、カーボンブラック粉を含む塗料を塗布し、直径 3 cm、円形状の電極 6 1 1 b を形成した。これにより、目的とするアクチュエータが得られた。

30

【 0 1 6 4 】

[サンプル 6 - 1 ～ 6 - 5]

まず、図 1 6 B に示すように、厚み 93 μm、楕円状のシリコンエラストマシート（エラストマ層）6 1 1 a を準備し、エラストマシート 6 1 1 a を Y 軸方向（短軸方向）に 1 軸延伸した。この際、表 2 に示すように、Y 軸方向の延伸倍率をサンプル毎に変化させ、1.43、1.90、2.38、2.86、3.81 となるように延伸量（延伸倍率）を調整した。これ以降の工程をサンプル 5 - 1 ～ 5 - 5 と同様に実施することにより、目的とするアクチュエータを得た。

40

【 0 1 6 5 】

[剛性および絶縁破壊強度の評価]

上述のようにして得られたサンプル 5 - 1 ～ 5 - 5、6 - 1 ～ 6 - 5 のアクチュエータの剛性および絶縁破壊強度を評価した。まず、図 1 9 A、1 9 B に示すように、電極 6 1 1 b、6 1 1 b への印加電圧を徐々に増加させていき、絶縁破壊する直前の電圧（以下、「絶縁耐圧」という。）V と電極幅 x、y を測定した。次に、その結果から、絶縁破壊強度 E と X、Y 軸方向の剛性 E_x、E_y を以下の式に基づいて算出した。

$$\text{絶縁破壊強度 } E = (V / t_0) \times ((x \times y) / (x_0 \times y_0))$$

但し、式中、V：絶縁耐圧、t₀：初期厚、x：X 軸方向の電極幅、y：Y 軸方向の電極

50

幅、 x_0 ：初期状態のX軸方向の電極幅、 y_0 ：初期状態のY軸方向の電極幅である。ここで、初期状態とは、電圧印加前における状態を意味する。

$$x \text{ 軸方向の剛性 } E_X = \sigma / \varepsilon_X$$

$$y \text{ 軸方向の剛性 } E_Y = \sigma / \varepsilon_Y$$

但し、式中、 σ ：マクスウェル応力、 ε_X ：X軸方向のひずみ、 ε_Y ：Y軸方向のひずみであり、それぞれ以下の式により求められる。

$$\sigma = \varepsilon \times E^2 \text{ (但し、} \varepsilon \text{：誘電率である。)}$$

$$\varepsilon_X = x / x_0$$

$$\varepsilon_Y = y / y_0$$

【 0 1 6 6 】

表 1 は、サンプル 5 - 1 ~ 5 - 5 のアクチュエータの評価結果を示す。

【表 1】

サンプルNo.	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5
絶縁耐圧 [V]	5400	4250	3400	2600	2000
エラストマ層の延伸前厚 [μm]	93	93	93	93	93
x軸方向延伸倍率	1.14	1.43	1.90	2.38	2.86
y軸方向延伸倍率	1.14	1.43	1.90	2.38	2.86
エラストマ層の初期厚 [μm]	71.20	45.57	25.63	16.41	11.39
誘電率 [F/m]	2.48E-11	2.48E-11	2.48E-11	2.48E-11	2.48E-11
初期x軸方向の電極幅 [cm]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
初期y軸方向の電極幅 [cm]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
延伸後のx軸方向の電極幅 [cm]	3.40	4.03	3.75	3.44	3.13
延伸後のy軸方向の電極幅 [cm]	3.40	4.03	3.75	3.44	3.13
絶縁破壊強度 [MV/m]	97.51	168.20	207.79	208.92	190.57
マクスウェル応力 [Mpa]	0.24	0.70	1.07	1.08	0.90
x軸方向剛性 [Mpa]	1.76	2.04	4.25	7.30	21.49
y軸方向剛性 [Mpa]	1.76	2.04	4.25	7.30	21.49

【 0 1 6 7 】

表 2 は、サンプル 6 - 1 ~ 6 - 5 のアクチュエータの評価結果を示す。

10

20

30

40

50

【表 2】

サンプルNo.	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5
絶縁耐圧 [V]	5800	4750	4500	3900	3400
エラストマ層の延伸前厚 [μm]	93	93	93	93	93
x軸方向延伸倍率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
y軸方向延伸倍率	1.43	1.90	2.38	2.86	3.81
エラストマ層の初期厚 [μm]	65.10	48.83	39.06	32.55	24.41
誘電率 [F/m]	2.48E-11	2.48E-11	2.48E-11	2.48E-11	2.48E-11
初期x軸方向の電極幅 [cm]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
初期y軸方向の電極幅 [cm]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
延伸後のx軸方向の電極幅 [cm]	3.24	3.37	3.50	3.68	3.49
延伸後のy軸方向の電極幅 [cm]	3.27	3.41	3.49	3.53	3.09
絶縁破壊強度 [MV/m]	104.84	124.19	156.39	172.83	166.83
マクスウェル応力 [Mpa]	0.27	0.38	0.61	0.74	0.69
x軸方向剛性 [Mpa]	3.38	3.12	3.62	3.26	4.23
y軸方向剛性 [Mpa]	3.06	2.79	3.72	4.22	23.09

10

【0168】

なお、表 1、2 中の“誘電率”の記載欄において、“A E - B”の表記は $A \times 10^B$ を意味する。

20

【0169】

図 20 A に、2 軸延伸倍率と剛性との関係を示す。図 20 B に、2 軸延伸倍率と絶縁破壊強度との関係を示す。図 21 A に、1 軸延伸倍率と剛性との関係を示す。図 21 B に、1 軸延伸倍率と絶縁破壊強度との関係を示す。

【0170】

図 20 A、20 B から以下のことがわかる。すなわち、エラストマシート 611 a を X、Y 軸方向に 2 軸延伸させた場合、2 軸延伸倍率の増加に伴い剛性が高くなる。また、2 軸延伸倍率の増加に伴い絶縁破壊強度が向上する。

30

図 21 A、21 B から以下のことがわかる。すなわち、エラストマシート 611 a を y 軸方向に 1 軸延伸させた場合、1 軸延伸倍率の増加に対して X 軸方向の剛性はほぼ一定である一方で、1 軸延伸倍率の増加に対して Y 軸方向の剛性が高くなる。また、1 軸延伸倍率の増加に伴い絶縁破壊強度が向上する。

したがって、駆動方向に垂直な方向にアクチュエータを 1 軸延伸させることで、駆動方向の変位を良好に保ちつつ、絶縁破壊耐性を向上することができる。

【0171】

<電極材料として異なるカーボンフィラーを用いたサンプル>

[サンプル 7 - 1]

まず、図 22 A、22 B に示すように、サイズ $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ を有する正方形のシリコーンエラストマシート 621 a を準備した。次に、エラストマシート 621 a の中央部にスプレー塗布により、図 23 A、23 B に示すように、サイズ $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ を有する矩形状の電極 621 b を形成した。

40

【0172】

以下に、電極 621 b の形成工程の詳細について説明する。

(カーボンフィラー溶液の調製)

ナノカーボンとイソプロパノールを 1 : 20 (ナノカーボン : イソプロパノール) の質量比で混合し、 $\phi 10 \text{ mm}$ のジルコニアビーズ 6 個と共に容積 50 ml のポリプロピレンケース (アズワン株式会社、アイボーイ広口 PP 製) に入れて、10 分間加振による攪拌を行った。なお、ナノカーボンとしてはデンカ工業株式会社製の DENKA BLACK Li (L

50

i-100、平均粒径 35 nm) を用いた。また、加振にはヴォルテックスを使用した。

【0173】

(エラストマ溶液の調製)

エラストマ(バインダ)を質量比で20質量%含有するトルエン溶液を調製した。エラストマーとしてはシリコーン樹脂(東レ・ダウコーニング社製、MS1003)を用いた。

【0174】

(溶液の調製)

まず、カーボンフィラー溶液とエラストマ溶液とを、カーボンフィラーとエラストマの質量比(カーボンフィラー:エラストマ)が10:90となるように混合し、ジルコニアビーズを加えて10分間攪拌した。その後、ジルコニアビーズを取り除いた。これにより、カーボン・シリコーン溶液を得た。

【0175】

(塗布電極の作製)

上述のようにして得られたカーボン・シリコーン溶液を明治精機製のエアースプレーガン(FS110丸吹型)で、約30cmの距離からエラストマシート621aに吹き付け、目視で均一になるように塗布を行った。空気の流量は約0.15MPaのハウスラインをつなぎ、FS110の気体流量コントロールノズルを一周半分開放した条件に設定した。これにより、表面粗さがピークトゥーピークで20μm程度である、厚み10μm程度の電極621bが形成された。以上により、目的とするアクチュエータが得られた。

【0176】

[サンプル7-2]

ナノカーボンとしてデンカ工業株式会社製のDENKA BLACK Li(Li-250、平均粒径37nm)を用いること以外はサンプル7-1と同様にしてアクチュエータを得た。

【0177】

[サンプル7-3]

ナノカーボンとしてデンカ工業株式会社製のDENKA BLACK Li(Li-400、平均粒径48nm)を用いること以外はサンプル7-1と同様にしてアクチュエータを得た。

【0178】

[電極の導電性の評価]

まず、アクチュエータの端部が座屈しないように固定したのち、無延伸(X軸方向の延伸倍率:1、Y軸方向の延伸倍率:1)の状態ではアクチュエータの上面(電極621bの表面)に4端子プローブを接触させて抵抗値の測定を行った。次に、電極621bの膜厚を段差計により測定し、電極621bの断面積を求めた。そして、上述のようにして得られた電極621bの抵抗値と断面積を用いて、電極621bの抵抗率を算出した。

【0179】

図24は、サンプル7-1~7-3で用いたナノカーボンの種類と抵抗率との関係を示す。図24から、ナノカーボンの平均粒径が、35nm以上37nm以下であるときに、特に優れた導電性を示すことが確認できる。

【0180】

<1軸延伸量または2軸延伸量を変化させて抵抗率を評価したサンプル>

[サンプル8-1~8-4]

溶液の調製工程において、カーボンフィラー溶液とエラストマ溶液とを、カーボンフィラー(デンカ工業株式会社製、DENKA BLACK Li(Li-100))とエラストマ(東レ・ダウコーニング社製、MS1003)の質量比(カーボンフィラー:エラストマ)が19:81、24:76、30:70、35:65となるように混合したこと以外はサンプル7-1と同様にしてアクチュエータを得た。

【0181】

[2軸延伸時の導電性の評価]

まず、両面粘着性のアクリルエラストマシート(3M社製、VHB4905J)を口の字型に切り取ったエラストマシート622を一組準備した。そして、図25A、25Bに示すよ

10

20

30

40

50

うに、この一組のエラストマシート 6 2 2 により、エラストマシート 6 2 1 a のうち電極 6 2 1 b が形成されていない部分を挟み込むことで、治具に固定する部位を形成した。次に、図 2 6 A、2 6 B に示すように、エラストマシート 6 2 2 の 4 辺を 2 軸延伸治具 6 2 3 に固定したのち、図 2 7 A、2 7 B に示すように、2 軸延伸（X 軸方向の延伸倍率：1 ~ 3 . 2 5、Y 軸方向の延伸倍率：1 ~ 3 . 2 5）した。

【 0 1 8 2 】

次に、JIS K7194 規格に準拠した 4 端子プローブ 6 2 4 が取り付けられたデジタルマルチメーター（Keithley 社製、2800 Digital Multi mater）を準備し、図 2 8 A、2 8 B に示すように、延伸した状態でアクチュエータの上面（電極 6 2 1 b の表面）に 4 端子プローブ 6 2 4 を接触させて抵抗値の測定を行った。次に、電極 6 2 1 b の膜厚を段差計により測定し、電極 6 2 1 b の断面積を求めた。そして、上述のようにして得られた電極 6 2 1 b の抵抗値と断面積を用いて、電極 6 2 1 b の抵抗率を算出した。なお、抵抗率の算出は延伸倍率を 0 . 2 5 倍増加させる毎に行った。

10

【 0 1 8 3 】

[1 軸延伸時の導電性の評価]

延伸を 1 軸延伸とし、かつその延伸倍率 1 ~ 3 . 2 5 の範囲とする以外は上述の 2 軸延伸時の導電性の評価と同様にして抵抗率を測定した。

【 0 1 8 4 】

表 3 は、サンプル 8 - 1 ~ 8 - 4 のアクチュエータの評価結果を示す。

20

30

40

50

【表 3】

	カーボン 添加量 [質量%]	2軸延伸倍率									
		1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25
サンプル8-1	19	2.72	2.11	2.00	2.65	11.15	12.95	—	—	—	—
サンプル8-2	24	2.23	2.04	2.02	3.29	7.05	8.20	14.55	28.81	61.71	—
サンプル8-3	30	0.30	0.25	0.32	0.31	0.58	1.07	1.44	1.94	4.73	—
サンプル8-4	35	0.26	0.34	0.31	0.36	0.78	1.33	1.79	3.82	6.04	22.90

【0185】

図29Aは、延伸倍率と抵抗率と関係を示す。図29Bは、延伸による面積変化量と抵抗率との関係を示す。図29A、29Bから、延伸に対する抵抗値変化は1軸方向の延伸の大小ではなく、シート全体の面積変化量によって決まることがわかる。

【0186】

<エラストマ層と電極とを積層したアクチュエータ>

以下に説明するサンプル9-1～9-3、10-1～10-3において、サンプル5-1と対応する箇所には同一の符号を付す。

【0187】

〔 サンプル 9 - 1 ~ 9 - 3 〕

電極 6 1 1 b と、1 0 0 μ m 厚のシリコンエラストマシート 6 1 1 a とを繰り返し積層し積層体を形成した。また、表 4 に示すように、X 軸方向、Y 軸方向の 2 軸延伸倍率を 1、1.5、1.7 とした。なお、積層に際しては、エラストマシート 6 1 1 a が電極 6 1 1 b により挟まれ、かつ、エラストマシート 6 1 1 a の層数が 1 0 層となるようにした。また、電極 6 1 1 b としては、ナノカーボン（デンカ工業株式会社製、DENKA BLACK Li（Li-100））とシリコンエラストマ（東レ・ダウコーニング社製、MS1003）とを質量比（ナノカーボン：シリコンエラストマ）1 9：8 1 で含むものを作製した。上記以外のことはサンプル 5 - 1 と同様にしてアクチュエータを得た。

【 0 1 8 8 】

10

〔 サンプル 1 0 - 1 ~ 1 0 - 3 〕

エラストマシート 6 1 1 a の層数を 1 層とすること以外はサンプル 9 - 1 ~ 9 - 3 と同様にしてアクチュエータを得た。

【 0 1 8 9 】

〔 絶縁破壊強度の評価 〕

上述のようにして得られたサンプル 9 - 1 ~ 9 - 3、1 0 - 1 ~ 1 0 - 3 のアクチュエータの絶縁破壊強度をサンプル 5 - 1 の絶縁破壊強度の評価と同様にして算出した。

【 0 1 9 0 】

表 4 は、サンプル 9 - 1 ~ 9 - 3 のアクチュエータの評価結果を示す。

【 表 4 】

20

	エラストマ層 の積層数	2軸延伸倍率	絶縁破壊強度 (MV/m)
サンプル9-1	10	1	71
サンプル9-2		1.5	101
サンプル9-3		1.7	132

【 0 1 9 1 】

表 5 は、サンプル 1 0 - 1 ~ 1 0 - 3 のアクチュエータの評価結果を示す。

【 表 5 】

30

	エラストマ層 の積層数	2軸延伸倍率	絶縁破壊強度 (MV/m)
サンプル10-1	1	1	80
サンプル10-2		1.5	110
サンプル10-3		1.7	135

【 0 1 9 2 】

図 3 0 A は、2 軸延伸倍率と絶縁破壊強度との関係を示す。図 3 0 A から、エラストマシート 6 1 1 a を 1 0 層積層したアクチュエータの絶縁破壊強度は、単相のエラストマシート 6 1 1 a を有するアクチュエータの絶縁破壊強度と同様に、延伸量に応じて向上していることがわかる。

40

【 0 1 9 3 】

〔 面積変化量の評価 〕

1 0 0 MV / m の電界を印加したときのサンプル 9 - 2、9 - 3（エラストマシート 6 1 1 a を 1 0 層積層した延伸サンプル）の面積変化量を求めた。

【 0 1 9 4 】

表 6 は、サンプル 9 - 2、9 - 3 のアクチュエータの評価結果を示す。

50

【表 6】

	エラストマ層 の積層数	2軸延伸倍率	面積変化量 (%)
サンプル9-2	10	1.5	13.4
サンプル9-3		1.7	18.9

【0195】

図30Bは、2軸延伸倍率と面積変化量との関係を示す。図30Bから、エラストマシート611aを10層積層し延伸したアクチュエータでも、10%以上の大きな面積変化量を実現できることがわかる。

10

【0196】

以上、本技術の実施形態および実施例について具体的に説明したが、本技術は、上述の実施形態および実施例に限定されるものではなく、本技術の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0197】

例えば、上述の実施形態および実施例において挙げた構成、方法、工程、形状、材料および数値などはあくまでも例に過ぎず、必要に応じてこれと異なる構成、方法、工程、形状、材料および数値などを用いてもよい。

【0198】

また、上述の実施形態および実施例の構成、方法、工程、形状、材料および数値などは、本技術の主旨を逸脱しない限り、互いに組み合わせることが可能である。

20

【0199】

また、本技術は以下の構成を採用することもできる。

(1)

エラストマ層と、

前記エラストマ層の両面に設けられた伸縮性の電極と

を含む積層体を備え、

前記積層体には少なくとも一方向に50%以上の予歪みが加えられているアクチュエータ。

(2)

前記エラストマ層のヤング率が、10MPa以下であり、

前記エラストマ層の破断歪みが、200%以上である(1)に記載のアクチュエータ。

30

(3)

予歪みが解放された状態の前記電極の平均厚みは、500μm以下であり、

前記積層体に100%以上の歪みが加えられた状態における前記電極の体積抵抗率は、10MΩ・cm以下である(1)または(2)に記載のアクチュエータ。

(4)

前記電極は、導電性フィラーおよび導電性高分子のうちの少なくとも1種を含む(1)から(3)のいずれかに記載のアクチュエータ。

(5)

前記電極は、エラストマを更に含む(4)に記載のアクチュエータ。

40

(6)

前記導電性フィラーは、炭素系フィラー、金属系フィラー、金属酸化物系フィラーおよび金属被覆系フィラーのうちの少なくとも1種を含む(4)または(5)に記載のアクチュエータ。

(7)

前記電極は、導電性フィラーを含み、

前記導電性フィラーは、前記エラストマ層の表面に担持されている(1)から(3)のいずれかに記載のアクチュエータ。

(8)

50

前記電極は、固体状、ゲル状または液状を有する（１）から（７）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（９）

前記電極は、伸縮性のイオン導電性材料と電界質とを含む（１）から（３）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１０）

前記電極は、懸濁液と、導電性フィラーおよび導電性高分子のうちの少なくとも１種とを含む（１）から（３）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１１）

前記電極と前記エラストマ層とが交互に繰り返して積層されている（１）から（１０）のいずれかに記載のアクチュエータ。

10

（１２）

前記電極のうちの一部は、１０ＭＰａを超えるヤング率を有する（１）から（１１）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１３）

前記エラストマ層と前記電極との界面には、密着性改善の処理が施されている（１）から（１２）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１４）

前記積層体を保持する保持部を更に備え、
前記保持部は、前記積層体のサイズを可変可能な構成を有している（１）から（１３）のいずれかに記載のアクチュエータ。

20

（１５）

前記積層体を予歪みが加えられた状態に保持する保持部を更に備える（１）から（１３）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１６）

前記積層体には駆動方向に直交する方向に５０％以上の予歪みが加えられており、
前記駆動方向に直交する方向における予歪みは、前記駆動方向における予歪みよりも大きい（１）から（１５）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１７）

前記積層体には、駆動方向に直交する方向に５０％以上の予歪みが加えられているのに対して、前記駆動方向に予歪みが加えられていない（１）から（１５）のいずれかに記載のアクチュエータ。

30

（１８）

前記電極は、炭素系フィラーとシリコンとを含む（１）から（１７）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（１９）

前記積層体は、円筒状またはファイバ状を有している（１）から（１８）のいずれかに記載のアクチュエータ。

（２０）

エラストマ層と
前記エラストマ層の両面に設けられた伸縮性の電極とを含む積層体を備え、
前記積層体には少なくとも一方向に予歪みが加えられており、
前記エラストマ層の平均厚みが、３μm以下であるアクチュエータ。

40

（２１）

電極とエラストマ層とを交互に積層することにより積層体を形成し、
形成した前記積層体を少なくとも一方向に延伸することを含むアクチュエータの製造方法。

（２２）

前記積層体の形成は、

50

前記電極と前記エラストマ層とを交互に基材上に積層することにより積層物を形成し、
形成した前記積層物の一部または全部を前記基材から剥離することにより前記積層体を
形成する

ことを含む(21)に記載のアクチュエータの製造方法。

(23)

前記電極は、導電性材料を含む塗料を塗布乾燥することにより形成され、

前記エラストマ層は、エラストマを含む塗料を塗布乾燥することにより形成される(21)または(22)に記載のアクチュエータの製造方法。

(24)

前記電極は、炭素系フィラーとシリコンと無極性溶媒とを含む塗料を塗布乾燥することにより形成される(21)または(22)に記載のアクチュエータの製造方法。

10

【符号の説明】

【0200】

10、20、30、40、111、210、312 アクチュエータ

11、21、31 積層体

11a、21a 電極

11b、21b エラストマ層

12、112、212 保持部

22 コイルスプリング

23、24 封止部材

20

32、33 電極シート

32a、33a エラストマ層

32b、33b 電極

40G₁ 第1のアクチュエータ群

40G₂ 第2のアクチュエータ群

41 巻回体

42A、42B 端子

110 スピーカ

212a 軸部

212b、212c 保持部材

30

310 内視鏡

311 操作部

313 先端部

321 制御部

322 屈曲駆動回路

323 電源

411、421 アクチュエータアレイ

412 電圧源

413A、413B 配線

414 支持体

40

510 関節駆動装置

511 柱状体

512A、512B アクチュエータ

513 支持体

514 回転体

515 駆動軸

516 線状部材

611a、621a、622 エラストマシート

611b、621b 電極

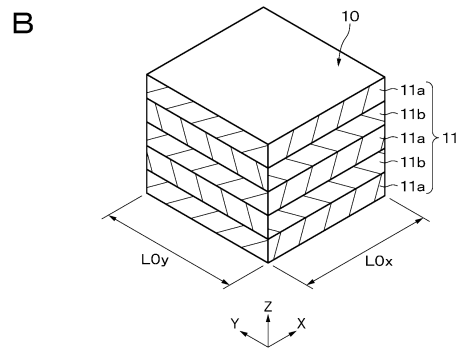
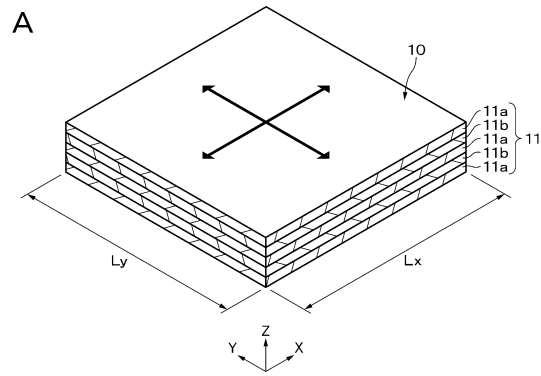
612 固定治具

50

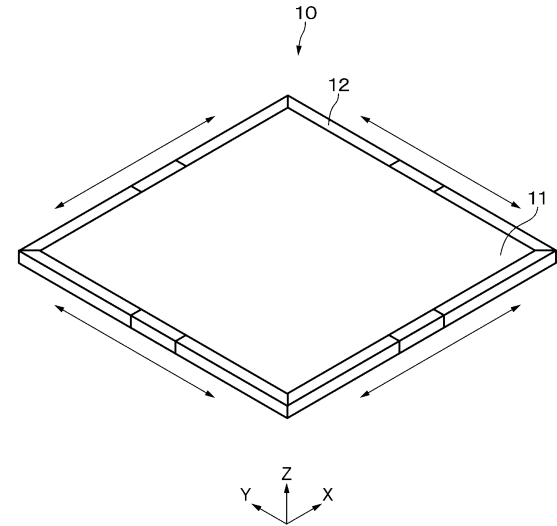
6 2 3 2 軸延伸治具
6 2 4 4 端子プローブ

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

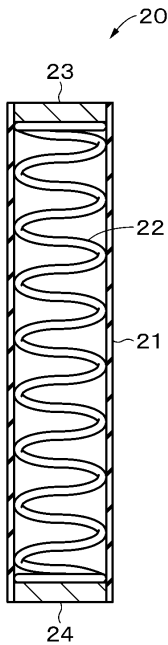
20

30

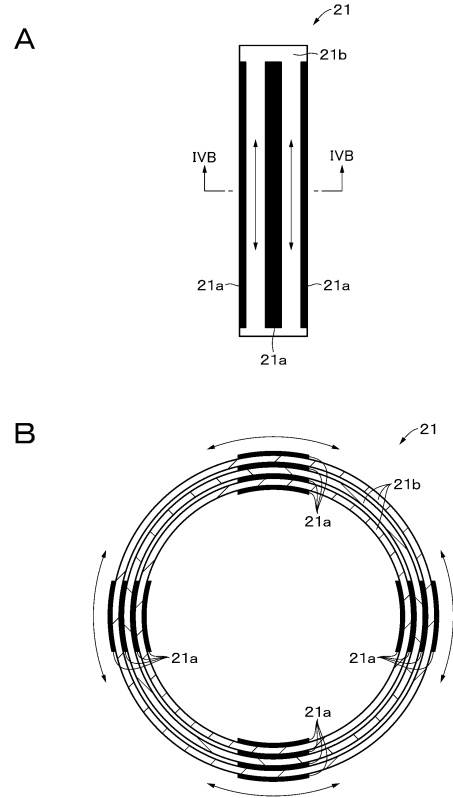
40

50

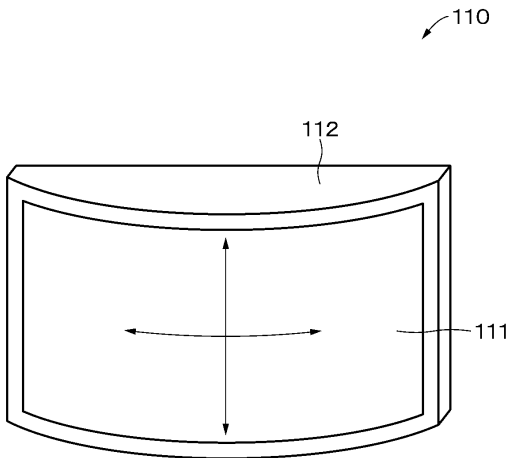
【図 3】



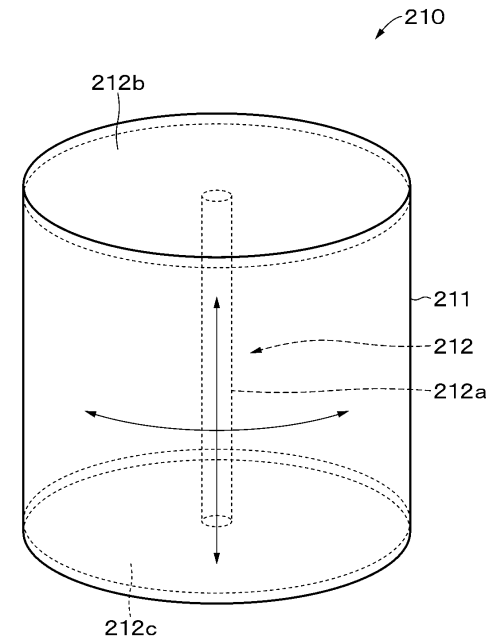
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

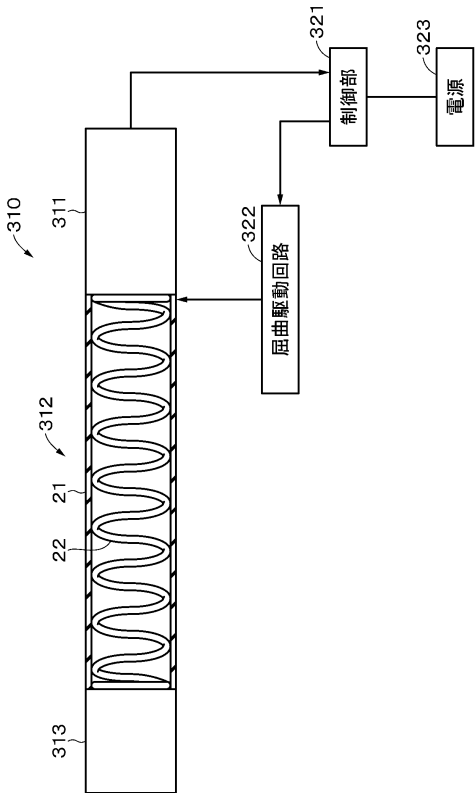
20

30

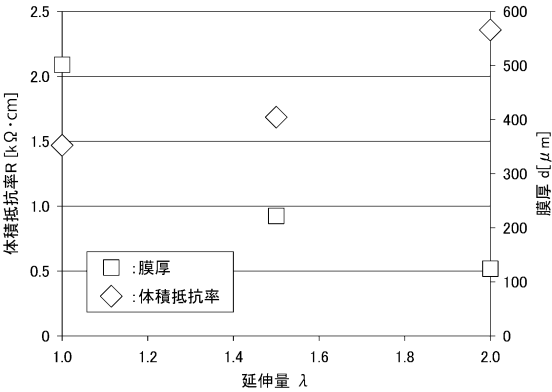
40

50

【図 7】



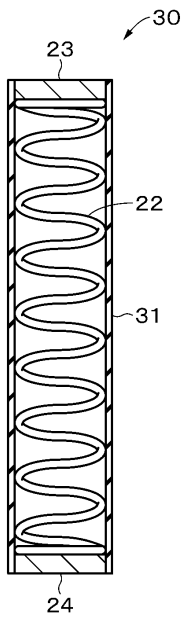
【図 8】



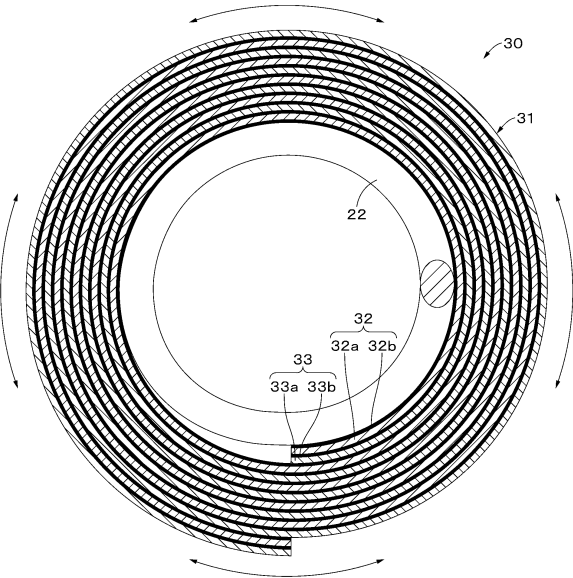
10

20

【図 9】



【図 10】



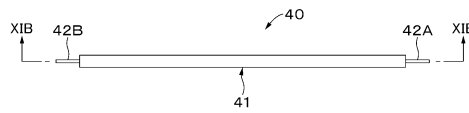
30

40

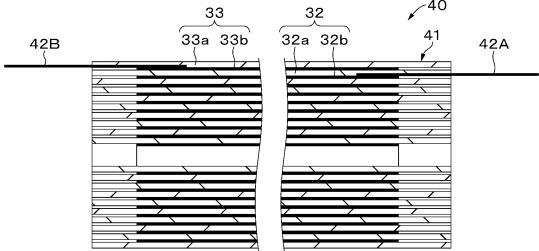
50

【図 1 1】

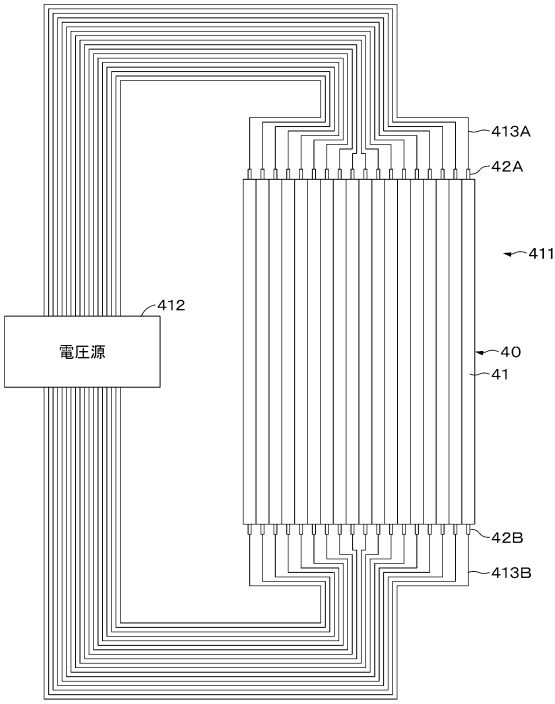
A



B



【図 1 2】

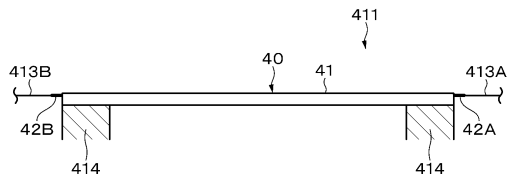


10

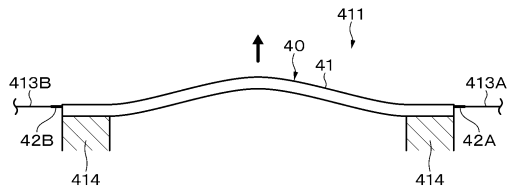
20

【図 1 3】

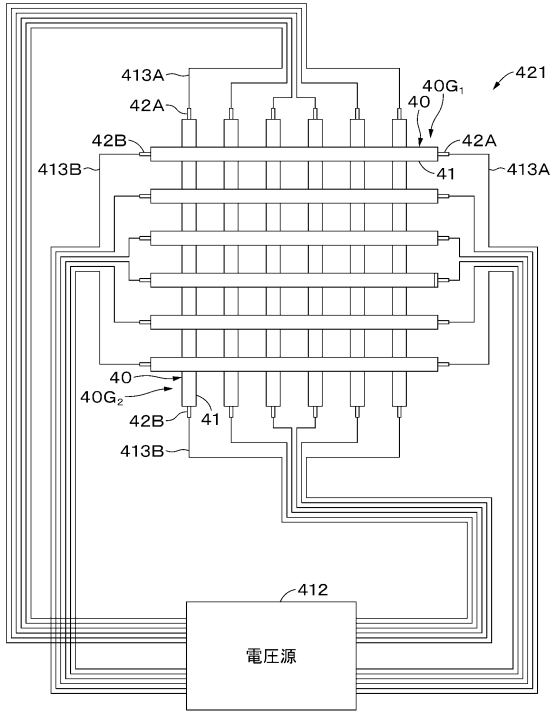
A



B



【図 1 4】

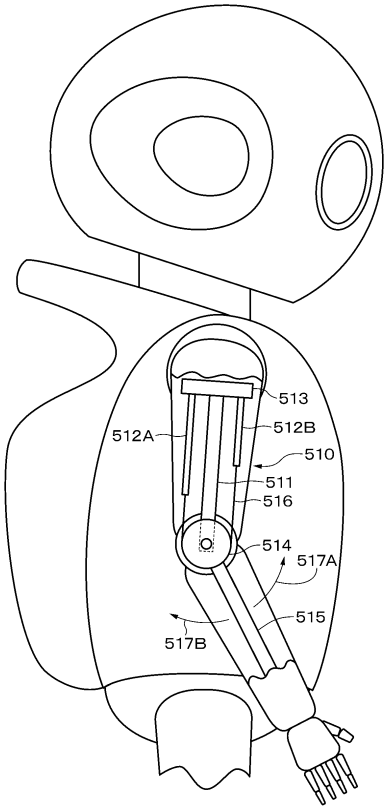


30

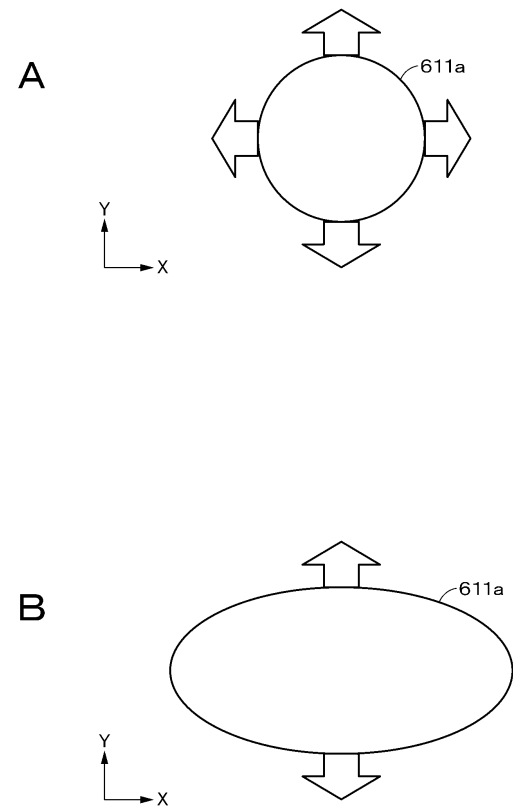
40

50

【図 15】



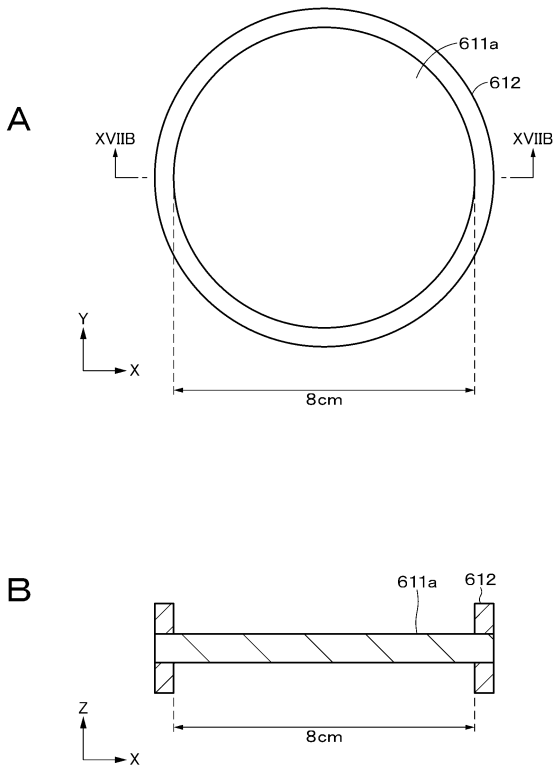
【図 16】



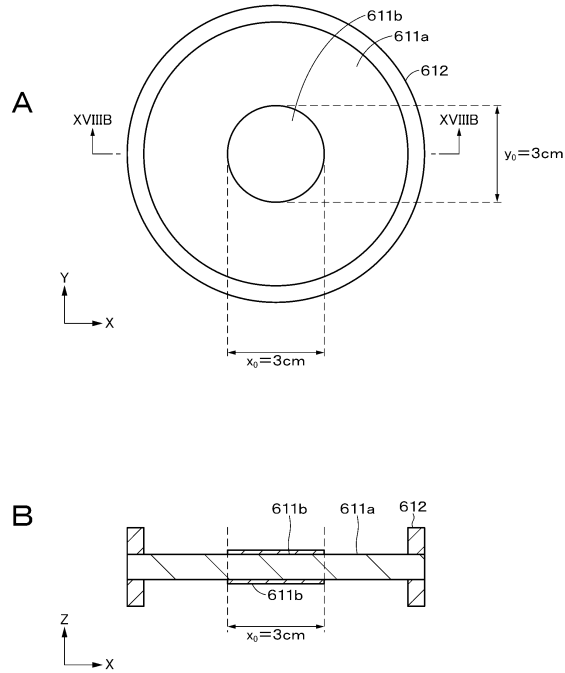
10

20

【図 17】



【図 18】

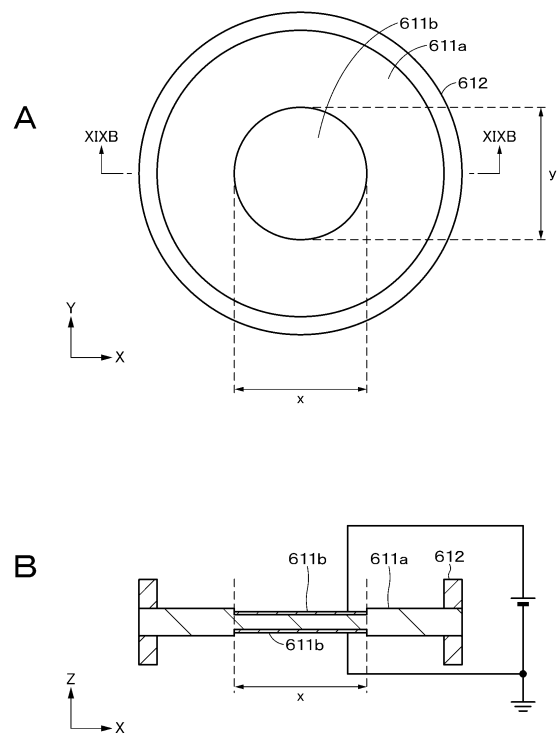


30

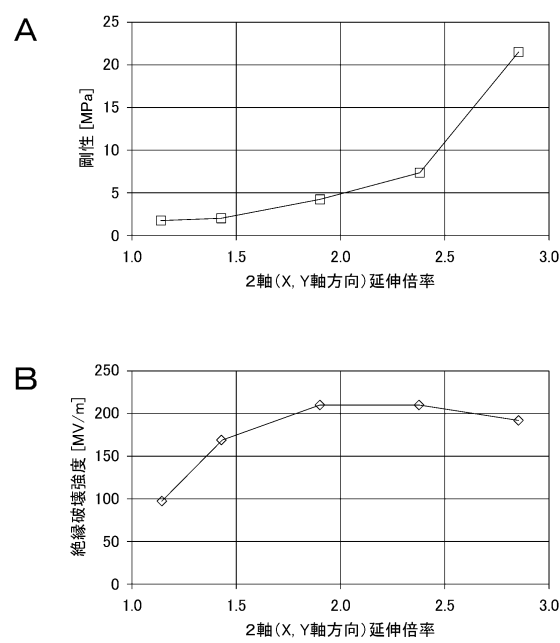
40

50

【図 19】



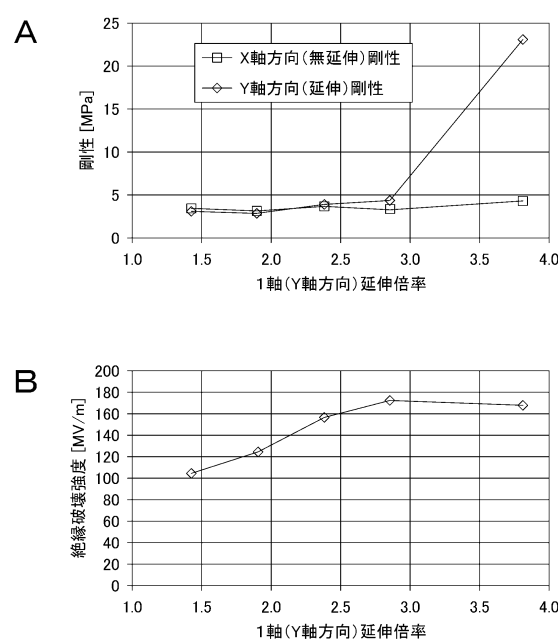
【図 20】



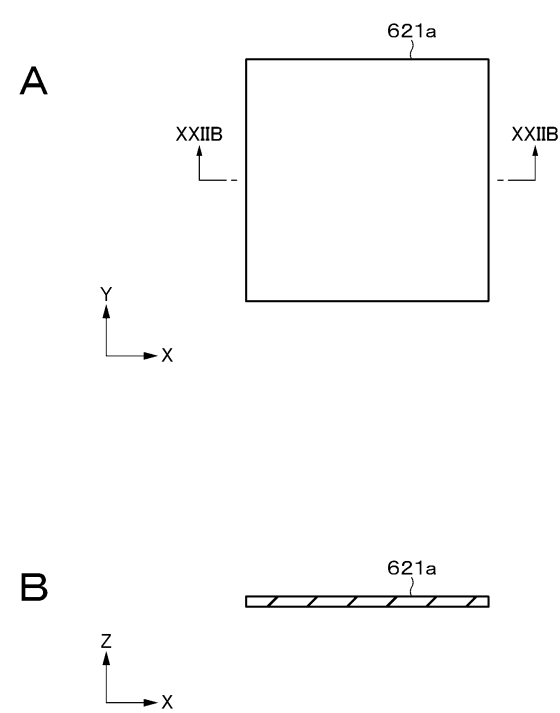
10

20

【図 21】



【図 22】

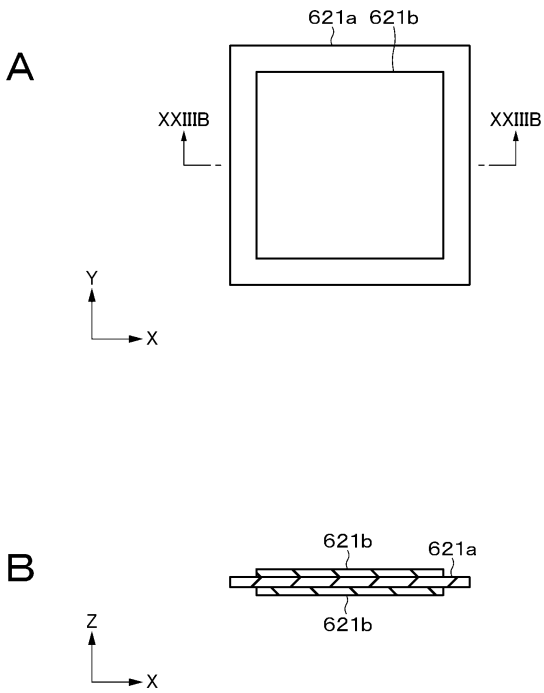


30

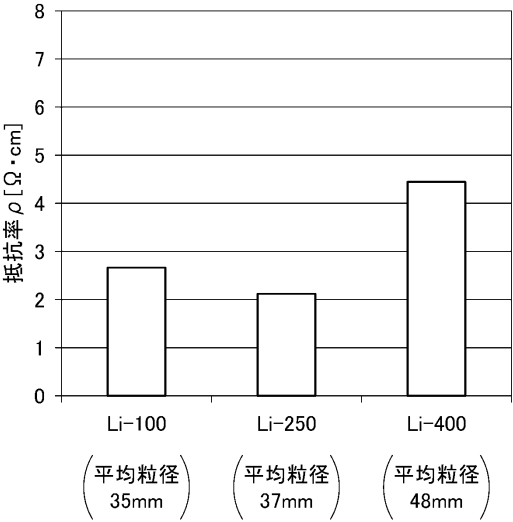
40

50

【図 2 3】



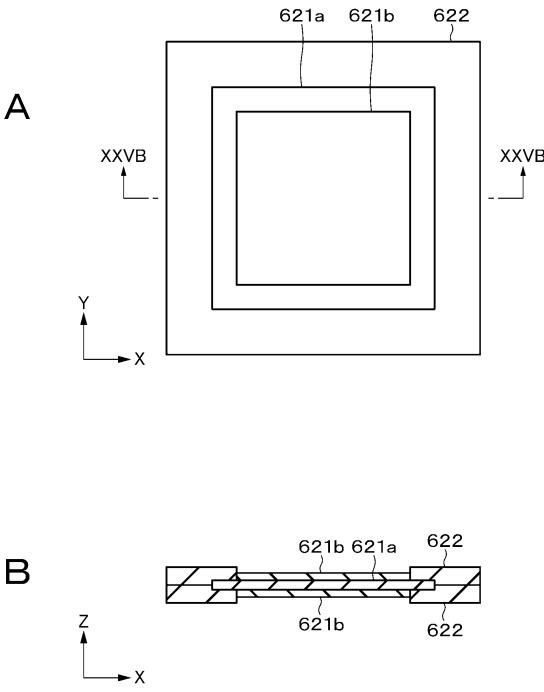
【図 2 4】



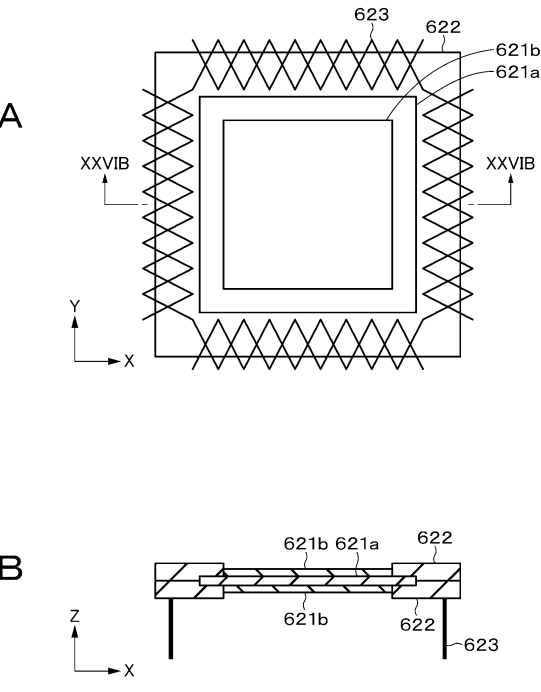
10

20

【図 2 5】



【図 2 6】

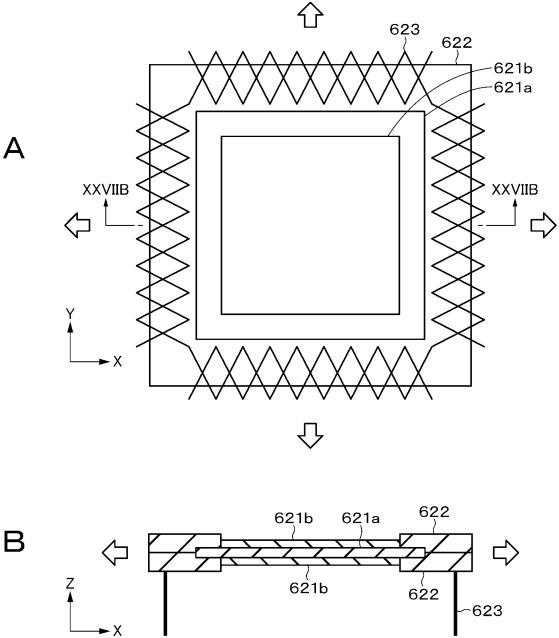


30

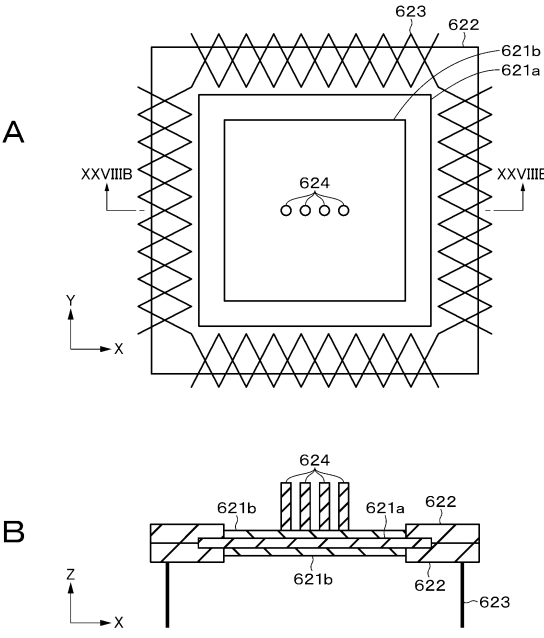
40

50

【図 27】



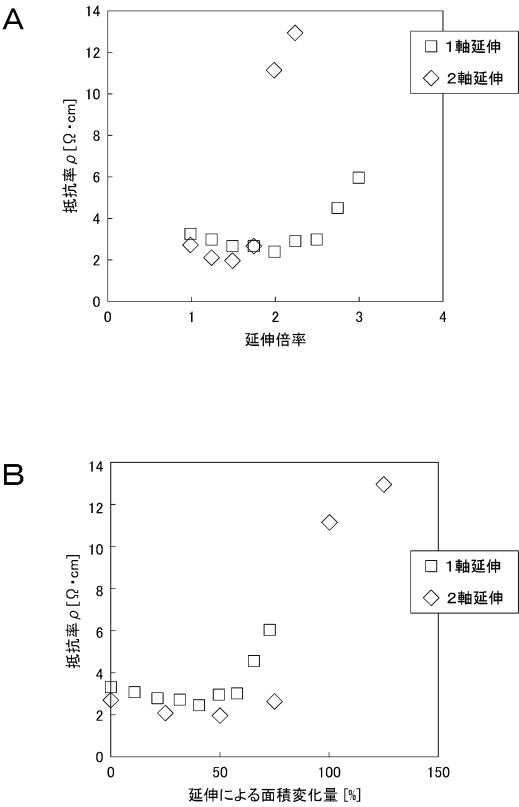
【図 28】



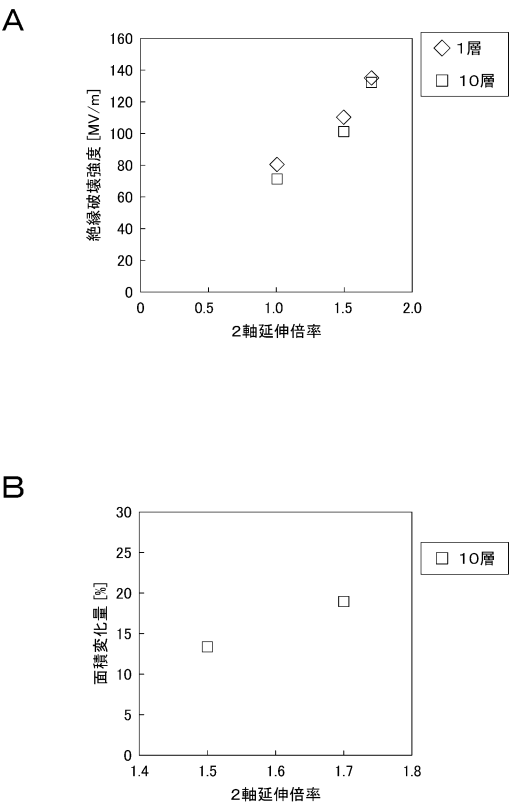
10

20

【図 29】



【図 30】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I		
H 1 0 N	30/20 (2023.01)	H 1 0 N	30/20
H 1 0 N	30/50 (2023.01)	H 1 0 N	30/50
H 1 0 N	30/857 (2023.01)	H 1 0 N	30/857
	東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号		ソニーグローバルマニュファクチャリング&オ
	ペレーションズ株式会社内		
(72)発明者	中田 哲博		
	東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号		ソニー株式会社内
(72)発明者	若菜 和仁		
	東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号		ソニー株式会社内
(72)発明者	後藤 義夫		
	東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号		ソニー株式会社内
合議体			
審判長	柿崎 拓		
審判官	北村 英隆		
審判官	永富 宏之		
(56)参考文献	特表 2 0 0 3 - 5 0 5 8 6 5 (J P , A)		
	特表 2 0 1 6 - 5 0 9 8 2 6 (J P , A)		
	特開 2 0 0 8 - 1 8 7 8 8 1 (J P , A)		
	特開 2 0 0 1 - 2 3 8 4 7 2 (J P , A)		
	特開 2 0 1 2 - 6 5 4 2 6 (J P , A)		
	特開 2 0 1 6 - 2 0 1 9 9 5 (J P , A)		
(58)調査した分野	(Int.Cl. , D B 名)		
	H02N 2/00		