

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7567657号  
(P7567657)

(45)発行日 令和6年10月16日(2024.10.16)

(24)登録日 令和6年10月7日(2024.10.7)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 2 N 11/00 (2006.01) H 0 2 N 11/00 Z

請求項の数 3 (全28頁)

(21)出願番号	特願2021-86358(P2021-86358)	(73)特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(22)出願日	令和3年5月21日(2021.5.21)	(74)代理人	110002572 弁理士法人平木国際特許事務所
(65)公開番号	特開2022-179102(P2022-179102 A)	(72)発明者	中川 修士 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自 動車株式会社内
(43)公開日	令和4年12月2日(2022.12.2)	審査官	稲葉 礼子
審査請求日	令和5年9月12日(2023.9.12)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アクチュエータ

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

可撓性を有するフレキシブル電極と、前記フレキシブル電極との対向面が絶縁層にて被覆されたベース電極とを有し、両電極間への電圧の印加によって前記フレキシブル電極が前記対向面に接近するよう変形するアクチュエータであって、

前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束する拘束部材を備え、

前記フレキシブル電極は、前記両電極間への前記電圧の印加によって、前記拘束部材を支点として前記対向面に接近する方向に変形する変形部を有し、

前記ベース電極は、一端部が閉塞され他端部が開口する筒部を有し、

前記筒部の外表側面は、前記ベース電極の前記対向面であり、

前記拘束部材は、前記筒部の軸線方向に交差する径方向において前記筒部の外表側面よりも外側に配置されており、前記フレキシブル電極の前記径方向への変形を拘束すると共に前記フレキシブル電極を前記軸線方向に沿って摺動可能に支持し、

前記フレキシブル電極は、前記外表側面に傾斜した状態で当該外表側面に対向するよう前記拘束部材に支持される胴部と、前記胴部に連続し前記径方向において前記拘束部材よりも外側に広がりながら前記拘束部材から前記他端部を越えて前記軸線方向に延びるスカート部と、を有し、

前記胴部は、前記変形部を有し、

前記胴部の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記径方向において前記外表側面に接近する方向に変形して、前記スカート部を前記軸線方向にお

10

20

ける前記他端部から前記一端部に向かう方向に引っ張り、

前記スカート部の先端部は、前記胴部の引っ張りによって前記拘束部材を支点として前記径方向の内側に向かって変位する

ことを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

可撓性を有するフレキシブル電極と、前記フレキシブル電極との対向面が絶縁層にて被覆されたベース電極とを有し、両電極間への電圧の印加によって前記フレキシブル電極が前記対向面に接近するよう変形するアクチュエータであって、

前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束する拘束部材を備え、

前記フレキシブル電極は、前記両電極間への前記電圧の印加によって、前記拘束部材を支点として前記対向面に接近する方向に変形する変形部を有し、

10

前記ベース電極の前記対向面は、前記フレキシブル電極から離隔する方向に窪んだ凹面部を有し、

前記フレキシブル電極は、前記凹面部に対向する一端面と、前記一端面とは反対側の他端面とを有し、

前記フレキシブル電極の前記他端面には、複数の棒状部材が取り付けられており、

前記複数の棒状部材のそれぞれの先端部は、前記他端面に沿って互いに間隔をあけて配置され、

前記拘束部材は、前記一端面の縁部と前記凹面部の縁部とを固定することによって前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束し、

20

前記一端面は、前記変形部を有し、

前記一端面の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記凹面部に接近する方向に変形し、

前記他端面は、前記一端面の変形に応じて前記凹面部に接近する方向に変形し、

前記複数の棒状部材のそれぞれの前記先端部は、前記他端面の変形に応じて前記間隔を縮小する方向に変位する

ことを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 3】

可撓性を有するフレキシブル電極と、前記フレキシブル電極との対向面が絶縁層にて被覆されたベース電極とを有し、両電極間への電圧の印加によって前記フレキシブル電極が前記対向面に接近するよう変形するアクチュエータであって、

30

前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束する拘束部材を備え、

前記フレキシブル電極は、前記両電極間への前記電圧の印加によって、前記拘束部材を支点として前記対向面に接近する方向に変形する変形部を有し、

前記フレキシブル電極は、所定の軸に交差する径方向において当該軸と間隔をあけて当該軸の周りを囲む内周面と、前記径方向において前記内周面より外側に配置された外周面とを有し、

前記ベース電極は、前記径方向において前記外周面に対向して配置され、

前記ベース電極の前記対向面は、前記外周面から離隔する方向に窪んだ凹面部を有し、前記拘束部材は、前記外周面の縁部と前記凹面部の縁部とを固定することによって前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束し、

40

前記外周面は、前記変形部を有し、

前記外周面の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記径方向において前記凹面部に接近する方向に変形し、

前記内周面は、前記外周面の変形に応じて前記径方向において前記凹面部に接近する方向に変位して、前記間隔を拡大する

ことを特徴とするアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、アクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

可撓性を有する部材の変形を動力として機械の仕事を行うソフトアクチュエータが知られている（例えば、特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第5714200号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1は、一对の電極間に挟持された誘電エラストマが変形することを開示しているものの、当該変形をアクチュエータの仕事の出力にどのように利用するのかといった点については工夫の余地がある。

【0005】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、アクチュエータの仕事の出力形態を具体化して、様々な動作を実現可能なアクチュエータを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明のアクチュエータは、可撓性を有するフレキシブル電極と、前記フレキシブル電極との対向面が絶縁層にて被覆されたベース電極とを有し、両電極間への電圧の印加によって前記フレキシブル電極が前記対向面に接近するよう変形するアクチュエータであって、前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束する拘束部材を備え、前記フレキシブル電極は、前記両電極間への前記電圧の印加によって変形する変形部を有し、前記変形部は、前記拘束部材を支点として前記対向面に接近する方向に変形する。

【0007】

このような構成により、アクチュエータは、フレキシブル電極の変形部の変形に応じて、フレキシブル電極の他の部分やアクチュエータの他の部材や対象物を変位させたり、変形部の変形に応じて生じた空間を利用したりして仕事を出力することができる。アクチュエータは、跳ねる動作や、投擲する動作や、捕集、貯留及び放出する動作や、掴んだり放したりする動作や、締め付けたり緩めたりする動作や、ポンプの動作等のような、従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった様々な動作を実現することができる。よって、本発明によれば、仕事の実出力形態を具体化して、様々な動作を実現可能なアクチュエータを提供することができる。

【0008】

更に好ましい態様として、前記ベース電極の前記対向面は、前記フレキシブル電極から離隔する方向に窪んだ凹面部を有し、前記フレキシブル電極は、張力が付与された状態で前記凹面部に対向する平板部を有し、前記拘束部材は、前記平板部の縁部と前記凹面部の縁部とを固定することによって前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束し、前記平板部は、前記変形部を有し、前記平板部の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記凹面部に接近する方向に変形し、前記電圧の印加が停止されると前記拘束部材を支点として前記凹面部から離隔する方向に前記拘束部材を越えて変形する。

【0009】

このような態様により、アクチュエータは、平板部の変形部の変形を、アクチュエータが載置された面の押圧に利用することができる。アクチュエータは、アクチュエータ自体が跳ねる動作を実現することができる。よって、アクチュエータは、仕事の実出力形態を具体化して、この跳ねる動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 0 】

更に好ましい態様として、前記ベース電極は、一端部が閉塞され他端部が開口する筒部を有し、前記筒部の外表側面は、前記ベース電極の前記対向面であり、前記拘束部材は、前記筒部の軸線方向に交差する径方向において前記筒部の外表側面よりも外側に配置されており、前記フレキシブル電極の前記径方向への変形を拘束すると共に前記フレキシブル電極を前記軸線方向に沿って摺動可能に支持し、前記フレキシブル電極は、前記外表側面に傾斜した状態で当該外表側面に対向するよう前記拘束部材に支持される胴部と、前記胴部に連続し前記径方向において前記拘束部材よりも外側に広がりながら前記拘束部材から前記他端部を越えて前記軸線方向に延びるスカート部と、を有し、前記胴部は、前記変形部を有し、前記胴部の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記径方向において前記外表側面に接近する方向に変形して、前記スカート部を前記軸線方向における前記他端部から前記一端部に向かう方向に引っ張り、前記スカート部の先端部は、前記胴部の引っ張りによって前記拘束部材を支点として前記径方向の内側に向かって変位する。

10

## 【 0 0 1 1 】

このような態様により、アクチュエータは、胴部の変形部の変形を、スカート部の先端部の径方向内側への変位に変換し、スカート部の占有面積の縮小に利用することができる。アクチュエータは、スカート部によって対象物を掻き集め、対象物を捕集する動作を実現することができる。よって、アクチュエータは、仕事の出力形態を具体化して、この捕集する動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

20

## 【 0 0 1 2 】

更に好ましい態様として、前記ベース電極の前記対向面は、前記フレキシブル電極から離隔する方向に窪んだ凹面部を有し、前記フレキシブル電極は、前記凹面部に対向する一端面と、前記一端面とは反対側の他端面とを有し、前記フレキシブル電極の前記他端面には、複数の棒状部材が取り付けられており、前記複数の棒状部材のそれぞれの先端部は、前記他端面に沿って互いに間隔をあけて配置され、前記拘束部材は、前記一端面の縁部と前記凹面部の縁部とを固定することによって前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束し、前記一端面は、前記変形部を有し、前記一端面の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記凹面部に接近する方向に変形し、前記他端面は、前記一端面の変形に応じて前記凹面部に接近する方向に変形し、前記複数の棒状部材のそれぞれの前記先端部は、前記他端面の変形に応じて前記間隔を縮小する方向に変位する。

30

## 【 0 0 1 3 】

このような態様により、アクチュエータは、一端面の変形部の変形を、複数の棒状部材のそれぞれの先端部の変位に変換し、当該先端部の間隔の縮小に利用することができる。アクチュエータは、対象物を掴む動作を実現することができる。よって、アクチュエータは、仕事の出力形態を具体化して、この掴む動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

## 【 0 0 1 4 】

更に好ましい態様として、前記フレキシブル電極は、所定の軸に交差する径方向において当該軸と間隔をあけて当該軸の周りを囲む内周面と、前記径方向において前記内周面より外側に配置された外周面とを有し、前記ベース電極は、前記径方向において前記外周面に対向して配置され、前記ベース電極の前記対向面は、前記外周面から離隔する方向に窪んだ凹面部を有し、前記拘束部材は、前記外周面の縁部と前記凹面部の縁部とを固定することによって前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束し、前記外周面は、前記変形部を有し、前記外周面の前記変形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記径方向において前記凹面部に接近する方向に変形し、前記内周面は、前記外周面の変形に応じて前記径方向において前記凹面部に接近する方向に変位して、前記間隔を拡大する。

40

## 【 0 0 1 5 】

50

このような態様により、アクチュエータは、外周面の變形部の變形を、内周面の変位に変換し、内周面と軸との間隔の拡大に利用することができる。アクチュエータは、締め付けられた対象物を緩める動作を実現することができる。よって、アクチュエータは、仕事の出力形態を具体化して、この緩める動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

【0016】

更に好ましい態様として、前記ベース電極の前記対向面は、前記フレキシブル電極から離隔する方向に窪んだ凹面部を有し、前記フレキシブル電極は、前記凹面部と間隔をあけて前記凹面部を覆い前記間隔に流路を形成する流路壁を有し、前記拘束部材は、前記流路壁の縁部と前記凹面部の縁部とを固定することによって前記フレキシブル電極を前記ベース電極に拘束し、前記流路壁は、前記變形部を有し、前記流路壁の前記變形部は、前記電圧が印加されると前記拘束部材を支点として前記凹面部に接近する方向に変形して、前記間隔を縮小する。

10

【0017】

このような態様により、アクチュエータは、流路壁の變形部の變形を、流路壁と凹面部との間隔の縮小に利用し、流路の容積の縮小に利用することができる。アクチュエータは、流路内の対象物を吐出する動作を実現することができる。よって、アクチュエータは、仕事の出力形態を具体化して、この吐出する動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

【発明の効果】

20

【0018】

本発明によれば、アクチュエータの仕事の出力形態を具体化して、様々な動作を実現可能なアクチュエータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】実施形態1のアクチュエータの構成を模式的に示す図。

【図2】図1に示すフレキシブル電極とベース電極との間に電圧が印加された場合のアクチュエータを説明する図。

【図3】図2に示す場合の後に電圧の印加が停止された場合のアクチュエータを説明する図。

30

【図4】図1に示すベース電極の他の例を説明する図。

【図5】実施形態2のアクチュエータの構成を模式的に示す図。

【図6】図5に示すフレキシブル電極とベース電極との間への電圧の印加が停止された場合のアクチュエータを説明する図。

【図7】実施形態3のアクチュエータの構成を模式的に示す図。

【図8】図7に示すフレキシブル電極とベース電極との間に電圧が印加された場合のアクチュエータを説明する図。

【図9】図8に示す場合の後に逆電圧が印加された場合のアクチュエータを説明する図。

【図10】図9に示す場合の後に電圧の印加が停止された場合のアクチュエータを説明する図。

40

【図11】図7に示すアクチュエータの他の例を説明する図。

【図12】図11に示すフレキシブル電極とベース電極との間に電圧が印加された場合のアクチュエータを説明する図。

【図13】実施形態4のアクチュエータの構成を模式的に示す図。

【図14】図13に示すフレキシブル電極とベース電極との間に電圧が印加された場合のアクチュエータを説明する図。

【図15】図13に示すアクチュエータの他の例を説明する図。

【図16】図13に示す駆動回路の他の例を説明する図。

【図17】実施形態5のアクチュエータの構成を模式的に示す図。

【図18】図17に示すフレキシブル電極とベース電極との間に電圧が印加された場合の

50

アクチュエータを説明する図。

【図 19】実施形態 6 のアクチュエータの構成を模式的に示す図。

【図 20】図 19 に示すフレキシブル電極とベース電極との間に電圧が印加された場合のアクチュエータを説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。各実施形態において同一の符号を付された構成については、特に言及しない限り、各実施形態において同様の機能を有し、その説明を省略する。

【0021】

[実施形態 1]

図 1 ~ 図 4 を用いて、実施形態 1 のアクチュエータ 1 について説明する。

図 1 は、実施形態 1 のアクチュエータ 1 の構成を模式的に示す図である。

【0022】

アクチュエータ 1 は、可撓性を有するフレキシブル電極 10 の変形を動力として機械的仕事を行うソフトアクチュエータである。アクチュエータ 1 は、一对の電極間に挟持された誘電エラストマの変形を動力とする従来のソフトアクチュエータとは異なり、フレキシブル電極 10 自体が変形する。アクチュエータ 1 は、各種産業機械又はロボット等に使用される各種アクチュエータに適用可能である。

【0023】

実施形態 1 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 がアクチュエータ 1 の外部の面 P 1 に接触するように面 P 1 に載置される（図 2 を参照）。実施形態 1 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 の両電極間への電圧の印加により発生するクーロン力によって、ベース電極 20 のフレキシブル電極 10 との対向面 21 にフレキシブル電極 10 が接近するようフレキシブル電極 10 を変形させる。その後、アクチュエータ 1 は、両電極間への電圧の印加を停止して、フレキシブル電極 10 を復元させる（図 3 を参照）。これによって、アクチュエータ 1 は、面 P 1 を跳ねる動作を実現することができる。実施形態 1 のアクチュエータ 1 の仕事は出力される対象は、アクチュエータ 1 が載置される面 P 1 である。

【0024】

アクチュエータ 1 は、可能性を有するフレキシブル電極 10 と、フレキシブル電極 10 を変形させるクーロン力を発生させるために電圧を印加するためのベース電極 20 とを備える。更に、アクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 をベース電極 20 に拘束する拘束部材 40 を備える。

【0025】

フレキシブル電極 10 は、拘束部材 40 によって所定方向への変形が拘束される部分と、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との両電極間への電圧の印加によって変形する変形部 10 a とを有する。変形部 10 a は、当該両電極間への電圧の印加によって、拘束部材 40 を支点としてベース電極 20 の対向面 21 に接近する方向に変形する。

【0026】

フレキシブル電極 10 は、可撓性を有する導電体によって形成される。フレキシブル電極 10 の可撓性は、ベース電極 20 との間に電圧が印加されることにより発生するクーロン力の作用によって変形し、当該電圧の印加が停止されると、原形（変形前の形状、すなわち当該電圧が印加される前の形状）に復元するような可撓性である。

【0027】

フレキシブル電極 10 は、導電ゴム又は導電ゲル等を用いて形成されてもよい。この導電ゴムとしては、例えば、導電材を混ぜ合わせて成形されたエラストマが挙げられる。この導電材としては、例えば、カーボンブラック、アセチレンブラック若しくはカーボンナノチューブの微粉末、銀若しくは銅の金属微粉末、又は、シリカ若しくはアルミナ等の絶縁体にスパッタ等によって金属をコートしたコアシェル構造の導電体微粉末等が挙げられ

10

20

30

40

50

る。上記の導電ゲルとしては、例えば、3次元ポリマーマトリックスの中に、水若しくは保湿剤等の溶媒、電解質及び添加剤等を保持させた機能性ゲル材料等が挙げられる。この機能性ゲル材料としては、例えば、積水化成工業株式会社のテクノゲル（登録商標）が挙げられる。また、フレキシブル電極10は、金属材料を用いて弾性変形可能に形成された板ばね等によって構成されてもよい。

【0028】

フレキシブル電極10は、円形又は多角形の板状に形成される。本実施形態では、フレキシブル電極10は、円板状に形成される。フレキシブル電極10は、ベース電極20の後述する凹面部27に対向する平板部12を有する。平板部12は、平板部12に沿った方向に張力が付与された状態で凹面部27に対向するよう拘束部材40によって固定される。平板部12に張力が付与された状態とは、平板部12が自身の重量によって撓まないよう平板部12に沿った方向に平板部12が引っ張られた状態である。

10

【0029】

平板部12は、縁部12aと、平板部12の縁部12a以外の部分である主部12bとを有する。平板部12の縁部12aは、拘束部材40によって凹面部27の縁部27aに固定される。平板部12の縁部12aは、拘束部材40により固定されることによって、平板部12に沿った方向への変形、及び、平板部12に交差する方向への変形が拘束される。平板部12に交差する方向は、ベース電極20の対向面21の凹面部27に対して接近又は離隔する方向を含む。

【0030】

平板部12の主部12bは、平板部12の拘束部材40に固定されていない部分である。平板部12の主部12bは、凹面部27に対して接近又は離隔する方向への変形が拘束されない。平板部12の主部12bは、フレキシブル電極10の変形部10aである。平板部12の主部12bは、フレキシブル電極10とベース電極20との間への電圧の印加時に、拘束部材40を支点として凹面部27に接近する方向に変形する。平板部12の変形部10aである主部12bは、電圧の印加停止時に、拘束部材40を支点として凹面部27から離隔する方向に拘束部材40を越えて変形する。

20

【0031】

ベース電極20は、剛性を有する導電体によって形成される。ベース電極20の形成に用いられる材料としては、鉄、銅又はアルミニウムのような金属材料が挙げられる。或いは、ベース電極20は、セラミックス等の耐熱性、剛性及び絶縁性を有する非金属材料を用いて形成された基板の一面を、導電性を有する金属膜等にて被覆することによって形成されてもよい。金属膜が被覆される基板の一面は、フレキシブル電極10に対向する面である。

30

【0032】

ベース電極20のフレキシブル電極10との対向面21は、絶縁層22によって被覆される。絶縁層22は、ベース電極20とフレキシブル電極10との間への電圧の印加によってベース電極20に蓄積された電荷が確実に維持されるよう、セラミックスから成る強誘電体を用いて形成される。特に、絶縁層22は、ペロブスカイト構造を有する強誘電体を用いて形成される。ペロブスカイト構造を有する強誘電体としては、例えば、チタン酸バリウム ( $BaTiO_3$ )、チタン酸鉛 ( $PbTiO_3$ )、チタン酸ジルコン酸鉛 ( $Pb(Zr, Ti)O_3$ )、チタン酸ジルコン酸ランタン鉛 ( $(Pb, La)(Zr, Ti)O_3$ )、チタン酸ストロンチウム ( $SrTiO_3$ )、チタン酸バリウムストロンチウム ( $(Ba, Sr)TiO_3$ )、又は、ニオブ酸カリウムナトリウム ( $(NaK)NbO_3$ ) 等が挙げられる。チタン酸バリウムには、 $CaZrO_3$  や  $BaSnO_3$  等の物質が固溶されていてもよい。

40

【0033】

また、絶縁層22の形成に用いられる材料としては、フレキシブル電極10を変形させるクーロン力が発生し得るような高い比誘電率を有する材料であることが好ましい。絶縁層22の比誘電率は、例えば、セラミックス（ファインセラミックス）が採用されること

50

によって1000以上であってもよい。チタン酸バリウムは、比誘電率が1000～10000前後である。チタン酸ジルコン酸鉛は、比誘電率が500～5000である。チタン酸ストロンチウムは、比誘電率が200～500である。これらのペロブスカイト構造を有する強誘電体は、高い比誘電率を有する材料である。

#### 【0034】

ベース電極20は、円柱状又は多角柱状に形成される。ベース電極20は、軽量化の観点から、中空構造を有するように形成されてもよい。本実施形態では、ベース電極20は、円柱状に形成される。ベース電極20の一方の底面は、フレキシブル電極10との対向面21である。ベース電極20の対向面21は、フレキシブル電極10から離隔する方向に窪んだ凹面部27を有する。凹面部27は、フレキシブル電極10の平板部12に対向する位置に形成される。凹面部27は、フレキシブル電極10の平板部12に対応する形状に形成される。本実施形態では、凹面部27は、半球面等の湾曲した面によって形成されてもよい。凹面部27と平板部12との間、すなわちベース電極20とフレキシブル電極10の間には、空間24が形成される。空間24は、フレキシブル電極10とベース電極20の間への電圧の印加時に、ベース電極20の対向面21に接近するよう変形するフレキシブル電極10を受け入れるための空間である。

10

#### 【0035】

拘束部材40は、フレキシブル電極10の平板部12の縁部12aと、ベース電極20の凹面部27の縁部27aとを固定することによって、フレキシブル電極10をベース電極20に拘束する。拘束部材40は、平板部12の縁部12aを固定端として支持する。拘束部材40は、絶縁体によって形成される。拘束部材40は、ブラケット若しくはジョイント等の固定具、ねじ若しくはビス等の締結具、又は、接着剤等によって構成されてもよい。

20

#### 【0036】

アクチュエータ1は、フレキシブル電極10とベース電極20との間に電圧を印加してアクチュエータ1を駆動する駆動回路60に接続される。

#### 【0037】

駆動回路60は、直流電圧源等によって構成される電源61と、駆動回路60の各構成要素とフレキシブル電極10及びベース電極20とを接続する配線62と、半導体素子等によって構成されるスイッチ63a～64bと、集積回路等によって構成される制御部65とを含む。

30

#### 【0038】

フレキシブル電極10は、配線62によって、電源61の正極及び負極の一方に接続されると共に、フレームグラウンド(又はアース)に接続される。ベース電極20は、配線62によって、電源61の正極及び負極の他方に接続されると共に、フレームグラウンドに接続される。スイッチ63aは、フレキシブル電極10と電源61との間に接続される。スイッチ63bは、フレキシブル電極10とフレームグラウンドとの間に接続される。スイッチ64aは、ベース電極20と電源61との間に接続される。スイッチ64bは、ベース電極20とフレームグラウンドとの間に接続される。

#### 【0039】

制御部65は、駆動回路60の各構成要素を制御する回路である。制御部65は、スイッチ63a～64bのON/OFF状態を制御することによって、フレキシブル電極10とベース電極20との間における電圧の印加と停止とを切り替える。また、制御部65は、電源61の出力電圧の大きさを制御することによって、印加される電圧の大きさを制御することができる。これにより、制御部65は、フレキシブル電極10に作用するクーロンの大きさを制御することができ、フレキシブル電極10の変形量を制御することができる。更に、制御部65は、電圧の印加と停止とを切り替える速度を制御することによって、フレキシブル電極10の変形速度を制御することができる。更に、制御部65は、電圧の印加と停止とを切り替えるタイミングを制御することによって、フレキシブル電極10の変形タイミングを制御することができる。

40

50

## 【 0 0 4 0 】

図 2 は、図 1 に示すフレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間に電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。図 3 は、図 2 に示す場合の後に電圧の印加が停止された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。

## 【 0 0 4 1 】

図 2 に示すように、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間には、電圧が印加される。この場合、電源 6 1 の正極に接続されたフレキシブル電極 1 0 は正の電荷を帯び、電源 6 1 の負極に接続されたベース電極 2 0 は負の電荷を帯びる。ベース電極 2 0 の対向面 2 1 を被覆する絶縁層 2 2 は、誘電分極する。絶縁層 2 2 は、対向面 2 1 との界面付近が正の電荷を帯び、当該界面の反対側（空間 2 4 側）の表面付近が負の電荷を帯びる。絶縁層 2 2 とフレキシブル電極 1 0 との間には、クーロン力が発生する。当該クーロン力によって、フレキシブル電極 1 0 は、絶縁層 2 2 に引き付けられる。すなわち、当該クーロン力によって、フレキシブル電極 1 0 の平板部 1 2 は、ベース電極 2 0 の対向面 2 1 の凹面部 2 7 に接近するように変形する。平板部 1 2 の変形部 1 0 a である主部 1 2 b は、拘束部材 4 0 を支点として、凹面部 2 7 に接近する方向に変形する。

10

## 【 0 0 4 2 】

図 2 に示す場合の後、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、図 3 に示すように、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間への電圧の印加が停止される。この場合、フレキシブル電極 1 0 及びベース電極 2 0 に蓄積された電荷は、フレームグラウンドに解放される。フレキシブル電極 1 0 は、フレキシブル電極 1 0 の復元力によってベース電極 2 0 の対向面 2 1 から離隔するように変形する。すなわち、当該復元力によって、フレキシブル電極 1 0 の平板部 1 2 は、ベース電極 2 0 の対向面 2 1 の凹面部 2 7 から離隔するように変形する。ここで、平板部 1 2 は、図 1 に示す電圧が印加される前の初期段階では、上記のように張力を付与された状態で固定される。したがって、平板部 1 2 は、図 3 に示す場合において、図 1 に示す初期段階よりも凹面部 2 7 から離隔するように変形する。平板部 1 2 の変形部 1 0 a である主部 1 2 b は、拘束部材 4 0 を支点として、凹面部 2 7 から離隔する方向に拘束部材 4 0 を越えて変形する。これにより、平板部 1 2 の変形部 1 0 a である主部 1 2 b は、アクチュエータ 1 が載置された面 P 1 を押圧することができる。平板部 1 2 の変形部 1 0 a である主部 1 2 b による押圧の反力によって、アクチュエータ 1 は、面 P 1 から跳ね上がることができる。

20

30

## 【 0 0 4 3 】

すなわち、アクチュエータ 1 は、平板部 1 2 の変形部 1 0 a の変形を、アクチュエータ 1 が載置された面 P 1 の押圧に利用することによって、アクチュエータ 1 自体が跳ねる動作を実現することができる。平板部 1 2 の変形部 1 0 a は、アクチュエータ 1 の外部に仕事を出力する出力部として機能し得る。実施形態 1 のアクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の仕事の出力形態を具体化して、跳ねる動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

40

## 【 0 0 4 4 】

図 4 は、図 1 に示すベース電極 2 0 の他の例を説明する図である。図 4 では、絶縁層 2 2 の図示が省略されている。

## 【 0 0 4 5 】

実施形態 1 のベース電極 2 0 は、図 4 に示すように、ベース電極 2 0 の対向面 2 1 の凹面部 2 7 を分割することによって、複数の電極部 2 5 a ~ 2 5 d に分割されていてもよい。分割される電極部の数は、任意である。複数の電極部 2 5 a ~ 2 5 d は、板状の絶縁部 2 6 によって互いに絶縁されている。板状の絶縁部 2 6 により、複数の電極部 2 5 a ~ 2 5 d には、フレキシブル電極 1 0 との間において互いに独立して電圧が印加される。駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、複数の電極部 2 5 a ~ 2 5 d のそれぞれに対して印加される電

50

圧の大きさを制御したり、電圧の印加又は停止のタイミングを制御したりすることができる。これにより、フレキシブル電極 10 は、電圧が印加された電極部 25 a ~ 25 d に応じて、様々な形態に変形することができる。したがって、実施形態 1 のアクチュエータ 1 は、任意の力によって、任意の方向に、任意のタイミングで面 P 1 から跳ね上がることができる。

【0046】

[実施形態 2]

図 5 ~ 図 6 を用いて、実施形態 2 のアクチュエータ 1 について説明する。実施形態 2 のアクチュエータ 1 において、従前の実施形態と同様の構成及び動作については、その説明を省略する。

10

図 5 は、実施形態 2 のアクチュエータ 1 の構成を模式的に示す図である。図 5 は、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間に電圧が印加された場合を示す。図 6 は、図 5 に示すフレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間への電圧の印加が停止された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。図 5 ~ 図 6 では、駆動回路 60 の図示が省略されている。

【0047】

実施形態 1 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 が面 P 1 に接触するように面 P 1 に載置されていた。実施形態 1 のアクチュエータ 1 の仕事は出力される対象物は、アクチュエータ 1 が載置される面 P 1 である。実施形態 1 のアクチュエータ 1 は、平板部 12 の変形部 10 a の変形を、アクチュエータ 1 が載置された面 P 1 の押圧に利用することによって、アクチュエータ 1 自体が跳ねる動作を実現していた。

20

【0048】

一方、実施形態 2 のアクチュエータ 1 は、ベース電極 20 が面 P 1 に接触するように面 P 1 に載置される。実施形態 2 のベース電極 20 は、面 P 1 に交差する方向に移動しないよう面 P 1 に固定されていてもよい。実施形態 2 のアクチュエータ 1 の仕事は出力される対象は、図 5 及び図 6 に示すようなフレキシブル電極 10 に載置される対象物 T 1 である。実施形態 2 のアクチュエータ 1 は、平板部 12 の変形部 10 a の変形を、対象物 T 1 を弾き出すことに利用することによって、対象物 T 1 を投擲する動作を実現することができる。実施形態 2 のアクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の仕事の出力形態を具体化して、投擲する動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

30

【0049】

なお、実施形態 2 のベース電極 20 は、図 4 に示すベース電極 20 と同様に、互いに独立して電圧が印加される複数の電極部 25 a ~ 25 d に分割されていてもよい。実施形態 2 のアクチュエータ 1 においても、実施形態 1 と同様に、任意の力によって、任意の方向に、任意のタイミングで対象物 T 1 を投擲することができる。

【0050】

[実施形態 3]

図 7 ~ 図 12 を用いて、実施形態 3 のアクチュエータ 1 について説明する。実施形態 3 のアクチュエータ 1 において、従前の実施形態と同様の構成及び動作については、その説明を省略する。

40

図 7 は、実施形態 3 のアクチュエータ 1 の構成を模式的に示す図である。図 7 では、ベース電極 20 の対向面 21 を被覆する絶縁層 22 の図示が省略されている。図 8 ~ 図 20 でも同様に、絶縁層 22 の図示が省略されている。

【0051】

実施形態 3 のアクチュエータ 1 は、対象物 T 2 の上方に配置される。対象物 T 2 は、アクチュエータ 1 の外部の面 P 2 上の液体又は粉体等である。実施形態 3 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 の両電極間への電圧の印加によって、フレキシブル電極 10 の後述するスカート部 14 を、ベース電極 20 の後述する筒部 28 の径方向内側に向かって変位させる（図 8 を参照）。これにより、実施形態 3 のアクチュエ

50

ータ 1 は、対象物 T 2 を捕集する動作を実現することができる。実施形態 3 のアクチュエータ 1 の仕事は出力される対象は、面 P 2 上の対象物 T 2 である。

【 0 0 5 2 】

実施形態 3 のベース電極 2 0 は、一端部 2 8 a が閉塞され他端部 2 8 b が開口する筒部 2 8 を有する。筒部 2 8 は、中空構造を有し、円筒状又は多角筒状に形成される。筒部 2 8 は、筒部 2 8 の軸線方向に沿った断面が 歯状を有するように形成される。筒部 2 8 は、底部 2 9 と、フランジ部 3 0 と、開口部 3 1 と、外壁部 3 2 と、内壁部 3 3 とを有する。

【 0 0 5 3 】

底部 2 9 は、筒部 2 8 の一端部 2 8 a に設けられ、一端部 2 8 a を閉塞する。底部 2 9 は、筒部 2 8 の内部の空気を一端部 2 8 a から筒部 2 8 の外部に排出する孔を有していてもよい。底部 2 9 は、筒部 2 8 の径方向に延びる。筒部 2 8 の径方向は、筒部 2 8 の中心軸が延びる方向である筒部 2 8 の軸線方向に交差（直交）する方向である。フランジ部 3 0 は、底部 2 9 から、筒部 2 8 の径方向の外側に延びる。筒部 2 8 の径方向の外側は、筒部 2 8 の径方向において筒部 2 8 の外部に向かう側である。フランジ部 3 0 は、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c に連続する下面 3 0 a を有する。下面 3 0 a は、筒部 2 8 の径方向に沿って延びると共に筒部 2 8 の軸線方向に交差（直交）する。筒部 2 8 の外表側面 2 8 c は、筒部 2 8 の軸線方向に沿って延びると共に、筒部 2 8 の径方向に交差（直交）する。

【 0 0 5 4 】

外壁部 3 2 及び内壁部 3 3 は、底部 2 9 から開口部 3 1 まで筒部 2 8 の軸線方向に延びる。外壁部 3 2 は、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c を形成する。内壁部 3 3 は、外壁部 3 2 から径方向の内側に向かって間隔をあけて配置される。外壁部 3 2 及び内壁部 3 3 は、同一の中心軸を有する円筒状又は多角筒状に形成されてもよい。開口部 3 1 は、外壁部 3 2 の先端部と内壁部 3 3 の先端部とによって形成されると共に、内壁部 3 3 の先端部同士によって形成される。外壁部 3 2 の先端部及び内壁部 3 3 の先端部は、それぞれ、軸線方向において底部 2 9 とは反対側に位置する外壁部 3 2 の端部及び内壁部 3 3 の端部である。

【 0 0 5 5 】

実施形態 3 のベース電極 2 0 の対向面 2 1 は、後述するように、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c と、フランジ部 3 0 の下面 3 0 a とによって構成される。フランジ部 3 0 の下面 3 0 a は、実施形態 1 と同様に、絶縁層 2 2 によって被覆される。筒部 2 8 の外表側面 2 8 c は、絶縁層 2 2 よりも十分に厚い絶縁層 2 3 によって被覆される。また、対象物 T 2 が水又は電解液等の導電性液体である場合、フランジ部 3 0 の下面 3 0 a だけでなく、筒部 2 8 の内表面（外壁部 3 2 の内表面及び先端面、内壁部 3 3 の内外表面及び先端面、並びに、底部 2 9 の下面）についても、絶縁層 2 2 によって被覆される。

【 0 0 5 6 】

実施形態 3 の拘束部材 4 0 は、第 1 拘束部材 4 1 と、第 2 拘束部材 4 2 とを有する。第 1 拘束部材 4 1 は、筒部 2 8 の径方向において筒部 2 8 の外表側面 2 8 c よりも外側に配置される。第 1 拘束部材 4 1 は、外壁部 3 2 の先端部付近の外表側面 2 8 c を被覆する絶縁層 2 3 上に取り付けられる。第 1 拘束部材 4 1 は、筒部 2 8 の径方向におけるフレキシブル電極 1 0 の変形を拘束する。第 1 拘束部材 4 1 は、フレキシブル電極 1 0 を筒部 2 8 の軸線方向に沿って摺動可能に支持する。具体的には、第 1 拘束部材 4 1 は、フレキシブル電極 1 0 の胴部 1 3 の先端部 1 3 b を、筒部 2 8 の軸線方向に沿って摺動可能に支持し、当該先端部 1 3 b の径方向における変形を拘束する。これにより、第 1 拘束部材 4 1 は、筒部 2 8 の径方向においてフレキシブル電極 1 0 をベース電極 2 0 に拘束する。

【 0 0 5 7 】

第 2 拘束部材 4 2 は、筒部 2 8 の径方向において第 1 拘束部材 4 1 よりも外側に配置される。第 2 拘束部材 4 2 は、フランジ部 3 0 の縁部付近の下面 3 0 a を被覆する絶縁層 2 2 上に取り付けられる。第 2 拘束部材 4 2 は、フレキシブル電極 1 0 の胴部 1 3 の基端部 1 3 a と、フランジ部 3 0 の縁部とを固定することによってフレキシブル電極 1 0 をベース電極 2 0 に拘束する。第 2 拘束部材 4 2 は、胴部 1 3 の基端部 1 3 a を固定端として支持する。第 2 拘束部材 4 2 は、実施形態 1 の拘束部材 4 0 と同様に構成されてもよい。

## 【 0 0 5 8 】

実施形態 3 のフレキシブル電極 1 0 は、ベース電極 2 0 の筒部 2 8 の周囲を覆う帯状又は板状に形成される。フレキシブル電極 1 0 は、胴部 1 3 とスカート部 1 4 とを有する。胴部 1 3 は、第 1 拘束部材 4 1 よりも、筒部 2 8 の他端部 2 8 b から一端部 2 8 a に向かう方向に延びるフレキシブル電極 1 0 の部分である。胴部 1 3 は、第 1 拘束部材 4 1 と第 2 拘束部材 4 2 との間に配置される。胴部 1 3 は、筒部 2 8 の軸線方向において一端部 2 8 a 側に位置する基端部 1 3 a と、他端部 2 8 b 側に位置する先端部 1 3 b と、基端部 1 3 a 及び先端部 1 3 b 以外の部分である主部 1 3 c とを有する。胴部 1 3 の基端部 1 3 a は、第 2 拘束部材 4 2 に固定される部分である。胴部 1 3 の先端部 1 3 b は、第 1 拘束部材 4 1 に支持される部分である。胴部 1 3 の主部 1 3 c は、第 1 拘束部材 4 1 又は第 2 拘束部材 4 2 に支持又は固定されない部分である。胴部 1 3 の主部 1 3 c は、フレキシブル電極 1 0 の変形部 1 0 a である。

10

## 【 0 0 5 9 】

胴部 1 3 は、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c 及びフランジ部 3 0 の下面 3 0 a のそれぞれに傾斜した状態で、当該外表側面 2 8 c 及び下面 3 0 a のそれぞれに対向するように、第 1 拘束部材 4 1 及び第 2 拘束部材 4 2 に支持される。筒部 2 8 の外表側面 2 8 c 及びフランジ部 3 0 の下面 3 0 a は、ベース電極 2 0 のフレキシブル電極 1 0 との対向面 2 1 である。筒部 2 8 の外表側面 2 8 c 及びフランジ部 3 0 の下面 3 0 a と胴部 1 3 との間には、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との電圧の印加時に、ベース電極 2 0 の対向面 2 1 に接近するよう変形するフレキシブル電極 1 0 を受け入れる空間 2 4 が形成される。

20

## 【 0 0 6 0 】

スカート部 1 4 は、第 1 拘束部材 4 1 よりも、筒部 2 8 の一端部 2 8 a から他端部 2 8 b に向かう方向に延びるフレキシブル電極 1 0 の部分である。スカート部 1 4 は、胴部 1 3 の先端部 1 3 b に連続する。スカート部 1 4 は、面 P 2 に載置された対象物 T 2 を覆う。スカート部 1 4 は、筒部 2 8 の径方向において第 1 拘束部材 4 1 よりも外側に広がりながら、第 1 拘束部材 4 1 から他端部 2 8 b を越えて軸線方向に延びる。スカート部 1 4 の先端部 1 4 a は、面 P 2 に接触する。

## 【 0 0 6 1 】

実施形態 3 の駆動回路 6 0 は、実施形態 1 の駆動回路 6 0 に対して、電源 6 6 及びスイッチ 6 7 が追加される。電源 6 6 は、電源 6 1 に対して並列且つ逆向きに接続される。スイッチ 6 7 は、電源 6 1 及び電源 6 6 とスイッチ 6 3 a との間、又は、電源 6 1 及び電源 6 6 とスイッチ 6 4 a との間に接続される。スイッチ 6 7 は、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間に印加される電圧を、電源 6 1 の出力電圧とするか、電源 6 6 の出力電圧とするかを切り替えるためのスイッチである。スイッチ 6 7 は、制御部 6 5 によって制御される。

30

## 【 0 0 6 2 】

図 8 は、図 7 に示すフレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間に電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。図 9 は、図 8 に示す場合の後に逆電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。図 1 0 は、図 9 に示す場合の後に電圧の印加が停止された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。

40

## 【 0 0 6 3 】

図 8 に示すように、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、スイッチ 6 7 を電源 6 1 に導通させ、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間には、電源 6 1 の出力電圧が印加される。この場合、フレキシブル電極 1 0 の胴部 1 3 は、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c 及びフランジ部 3 0 の下面 3 0 a に接近するように変形する。胴部 1 3 の変形部 1 0 a である主部 1 3 c は、第 1 拘束部材 4 1 及び第 2 拘束部材 4 2 を支点として、筒部 2 8 の径方向において外表側面 2 8 c に接近する方向に変形し、且つ、フランジ部 3 0 の下面 3 0 a に接近する方向に変形する。

## 【 0 0 6 4 】

50

ここで、第1拘束部材41は、フレキシブル電極10を筒部28の軸線方向に沿って摺動可能に支持する。これにより、胴部13に連続するスカート部14は、筒部28の軸線方向における他端部28bから一端部28aに向かう方向に引っ張られる。すなわち、胴部13の変形部10aである主部13cは、上記のような変形によって、スカート部14を、筒部28の軸線方向における他端部28bから一端部28aに向かう方向に引っ張る。更に、第1拘束部材41は、フレキシブル電極10の筒部28の径方向への変形を拘束する。これにより、スカート部14の先端部14aは、胴部13の主部13cによるスカート部14の引っ張りによって、第1拘束部材41を支点として筒部28の径方向の内側に向かって変位する。スカート部14の先端部14aによって囲まれた面P2の面積である占有面積は、電圧が印加される前の初期段階において、図7に示すように占有面積Q1であったものが、電圧印加時には図8に示すように占有面積Q2に縮小する。

10

## 【0065】

すなわち、実施形態3のアクチュエータ1は、胴部13の変形部10aの変形を、スカート部14の先端部14aの径方向内側への変位に変換し、スカート部14の占有面積の縮小に利用することによって、スカート部14によって対象物T2を掻き集め、対象物T2を捕集する動作を実現することができる。スカート部14の先端部14aは、アクチュエータ1の外部に仕事を出力する出力部として機能し得る。

## 【0066】

また、フランジ部30の下面30aは、絶縁層22によって被覆され、筒部28の外表側面28cは、絶縁層22よりも厚い絶縁層23によって被覆される。下面30aを被覆する絶縁層22と胴部13との間に発生するクーロン力は、外表側面28cを被覆する絶縁層23と胴部13との間に発生するクーロン力よりも大きい。したがって、胴部13は、まずフランジ部30の下面30aに接近してから筒部28の外表側面28cに接近するように変形する。すなわち、胴部13は、ベース電極20の対向面21のうちの第1拘束部材41に遠い部分に対して先行して接近した後、対向面21のうちの第1拘束部材41に近い部分に対して後続して接近するように変形する。これにより、胴部13の主部13cは、スカート部14を、筒部28の軸線方向における他端部28bから一端部28aに向かう方向に確実に十分引っ張ることができる。スカート部14の先端部14aは、第1拘束部材41を支点として筒部28の径方向の内側に向かって確実に十分変位することができる。実施形態3のアクチュエータ1は、対象物T2を捕集する動作を更に確実に実現することができる。

20

30

## 【0067】

電圧印加時、対象物T2は、スカート部14と接触する。対象物T2が導電性液体である場合、対象物T2は、スカート部14からの電荷の移動によって、フレキシブル電極10と同じ極性の電荷を帯びる。図8に示す場合、対象物T2は正の電荷を帯びる。ベース電極20の筒部28と対象物T2との間にクーロン力が発生する。当該クーロン力によって、対象物T2は、筒部28の開口部31から筒部28の内部に吸引される。これにより、実施形態3のアクチュエータ1は、更に多くの対象物T2を迅速に捕集することができる。しかも、実施形態3のアクチュエータ1は、電圧印加を継続することによって、吸引された対象物T2を筒部28の内部に貯留する動作を実現することができる。

40

## 【0068】

図8に示す場合の後、駆動回路60の制御部65は、図9に示すように、スイッチ67を電源66に導通させる。すると、フレキシブル電極10とベース電極20の間には、電源66の出力電圧が印加される。この場合、フレキシブル電極10は、図8に示す場合とは逆に、負の電荷を帯びる。ベース電極20は、図8に示す場合とは逆に、正の電荷を帯びる。胴部13の変形部10aである主部13cは、図8に示す場合と同様に、筒部28の外表側面28c及びフランジ部30の下面30aに接近する方向に変形したままである。スカート部14の先端部14aは、径方向の内側に変位したままである。スカート部14の先端部14aの占有面積は、占有面積Q2に縮小したままである。

## 【0069】

50

対象物 T 2 が導電性液体である場合、ベース電極 2 0 の筒部 2 8 が帯びた電荷の極性と、筒部 2 8 の内部に貯留された対象物 T 2 が帯びた電荷の極性とは同じになる。筒部 2 8 の内部に貯留された対象物 T 2 は、筒部 2 8 と反発する斥力が作用することによって、筒部 2 8 の開口部 3 1 から外部に放出される。この際、アクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の外部の面であって面 P 2 とは異なる面 P 3 に対して対象物 T 2 を放出することによって、対象物 T 2 を面 P 2 上から面 P 3 上に移動させることができる。

【 0 0 7 0 】

図 9 に示す場合の後、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、図 1 0 に示すように、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間への電圧の印加が停止される。この場合、胴部 1 3 の変形部 1 0 a である主部 1 3 c は、フレキシブル電極 1 0 の復元力によって、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c 及びフランジ部 3 0 の下面 3 0 a から離隔する方向に変形し、図 7 に示すような電圧が印加される前の初期位置に復元する。スカート部 1 4 の先端部 1 4 a は、径方向の外側に変位し、初期位置に復元する。スカート部 1 4 の先端部 1 4 a の占有面積は、初期の占有面積 Q 1 に復元する。

10

【 0 0 7 1 】

このように、実施形態 3 のアクチュエータ 1 は、胴部 1 3 の変形部 1 0 a の変形を、出力部を構成するスカート部 1 4 の変位に変換することによって、対象物 T 2 を捕集する動作を実現することができる。実施形態 3 のアクチュエータ 1 は、対象物 T 2 が導電性液体の場合、対象物 T 2 を貯留する動作及び放出する動作を実現することができる。実施形態 3 のアクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の仕事の出力形態を具体化して、捕集、貯留及び放出する動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

20

【 0 0 7 2 】

図 1 1 は、図 7 に示すアクチュエータ 1 の他の例を説明する図。図 1 2 は、図 1 1 に示すフレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間に電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。

【 0 0 7 3 】

実施形態 3 のアクチュエータ 1 は、少なくとも第 1 拘束部材 4 1 が設けられていればよく、図 1 1 に示すように、フレキシブル電極 1 0 の胴部 1 3 の基端部 1 3 a を固定する第 2 拘束部材 4 2 を省略することができる。図 1 1 に示すアクチュエータ 1 は、ベース電極 2 0 の筒部 2 8 を収容する有底筒状の筐体 3 4 を備える。筐体 3 4 は、絶縁体によって形成される。筐体 3 4 は、筒部 2 8 の軸線方向に沿って延びる。筐体 3 4 の底部 3 4 a は、筒部 2 8 の一端部 2 8 a 側に配置される。筐体 3 4 の底部 3 4 a は、筒部 2 8 の底部 2 9 に取り付けられる。筐体 3 4 の開口部を形成する縁部 3 4 b は、筒部 2 8 の他端部 2 8 b 側に配置される。

30

【 0 0 7 4 】

図 1 1 に示す第 1 拘束部材 4 1 は、筐体 3 4 の縁部 3 4 b に取り付けられる。図 1 1 に示す第 1 拘束部材 4 1 は、筒部 2 8 の径方向において筒部 2 8 の外表側面 2 8 c よりも外側に配置される。図 1 1 に示す第 1 拘束部材 4 1 は、筒部 2 8 の径方向におけるフレキシブル電極 1 0 の変形を拘束する。図 1 1 に示す第 1 拘束部材 4 1 は、フレキシブル電極 1 0 を筒部 2 8 の軸線方向に沿って摺動可能に支持する。図 1 1 に示す第 1 拘束部材 4 1 は、筐体 3 4 を介してフレキシブル電極 1 0 をベース電極 2 0 に拘束する。

40

【 0 0 7 5 】

図 1 1 に示すフレキシブル電極 1 0 の胴部 1 3 は、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c に対して傾斜した状態で当該外表側面 2 8 c に対向するように第 1 拘束部材 4 1 に支持される。図 1 1 に示すスカート部 1 4 は、胴部 1 3 に連続し、筒部 2 8 の径方向において第 1 拘束部材 4 1 よりも外側に広がりながら、第 1 拘束部材 4 1 から他端部 2 8 b を越えて軸線方向に延びる。

【 0 0 7 6 】

50

図 1 1 に示すベース電極 2 0 の対向面 2 1 は、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c によって構成される。図 1 1 に示すベース電極 2 0 は、図示していないが、筒部 2 8 の軸線方向に沿って筒部 2 8 の外表側面 2 8 c を分割することによって、複数の電極部に分割されている。複数の電極部は、互いに独立して電圧の印加が可能である。

【 0 0 7 7 】

図 1 1 に示すアクチュエータ 1 の駆動回路 6 0 は、図示していないが、複数の電極部に対して、筒部 2 8 の他端部 2 8 b から一端部 2 8 a に向かう方向に沿って順次電圧を印加する。すると、フレキシブル電極 1 0 の胴部 1 3 の変形部 1 0 a である主部 1 3 c は、図 1 2 に示すように、筒部 2 8 の外表側面 2 8 c に接近するように変形すると共に、筒部 2 8 の軸線方向における他端部 2 8 b から一端部 2 8 a に向かう方向に変位する。胴部 1 3 の変形部 1 0 a である主部 1 3 c は、スカート部 1 4 を、筒部 2 8 の軸線方向における他端部 2 8 b から一端部 2 8 a に向かう方向に引っ張る。スカート部 1 4 の先端部 1 4 a は、胴部 1 3 によるスカート部 1 4 の引っ張りによって、第 1 拘束部材 4 1 を支点として筒部 2 8 の径方向の内側に向かって変位する。

10

【 0 0 7 8 】

このように、図 1 1 に示すアクチュエータ 1 は、図 7 に示すアクチュエータ 1 と同様に、胴部 1 3 の変形部 1 0 a の変形を、出力部を構成するスカート部 1 4 の変位に変換することによって、対象物 T 2 を捕集する動作を実現することができる。

【 0 0 7 9 】

[ 実施形態 4 ]

図 1 3 ~ 図 1 6 を用いて、実施形態 4 のアクチュエータ 1 について説明する。実施形態 4 のアクチュエータ 1 において、従前の実施形態と同様の構成及び動作については、その説明を省略する。

20

図 1 3 は、実施形態 4 のアクチュエータ 1 の構成を模式的に示す図である。

【 0 0 8 0 】

実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 1 0 及びベース電極 2 0 の両電極間への電圧の印加によって、フレキシブル電極 1 0 の後述する一端面 1 6 がベース電極 2 0 の後述する凹面部 3 5 に接近するようにフレキシブル電極 1 0 を変形させる（図 1 4 を参照）。これにより、実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 1 0 の後述する他端面 1 7 に取り付けられた複数の棒状部材 5 0 によって対象物を掴む動作を実現することができる。

30

【 0 0 8 1 】

実施形態 4 のベース電極 2 0 は、フレキシブル電極 1 0 の一端面 1 6 に沿った稜線部を有する谷形の板状に形成されてもよい。ベース電極 2 0 の対向面 2 1 は、フレキシブル電極 1 0 から離隔する方向に窪んだ凹面部 3 5 を有する。凹面部 3 5 は、一端面 1 6 に対して傾斜する。凹面部 3 5 と一端面 1 6 との間には、空間 2 4 が形成される。凹面部 3 5 は、断面が V 字に屈曲した面によって形成されてもよい。

【 0 0 8 2 】

実施形態 4 のフレキシブル電極 1 0 は、直方体等の六面体 1 5 に形成される。フレキシブル電極 1 0 は、凹面部 3 5 に対向する一端面 1 6 と、フレキシブル電極 1 0 からベース電極 2 0 に向かう方向において一端面 1 6 とは反対側の他端面 1 7 とを有する。

40

【 0 0 8 3 】

フレキシブル電極 1 0 の一端面 1 6 は、縁部 1 6 a と、縁部 1 6 a 以外の部分である主部 1 6 b とを有する。一端面 1 6 の縁部 1 6 a は、拘束部材 4 0 に固定される部分である。一端面 1 6 の主部 1 6 b は、拘束部材 4 0 に固定されない部分である。一端面 1 6 の主部 1 6 b は、変形部 1 0 a である。フレキシブル電極 1 0 の他端面 1 7 は、縁部 1 7 a と、縁部 1 7 a 以外の部分である主部 1 7 b とを含む。他端面 1 7 の縁部 1 7 a には、複数の棒状部材 5 0 が取り付けられる。他端面 1 7 の主部 1 7 b は、複数の棒状部材 5 0 が取り付けられない部分である。

【 0 0 8 4 】

50

複数の棒状部材 50 のそれぞれは、絶縁体によって形成される。複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、他端面 17 に沿って互いに間隔 G1 をあけて配置される。複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、例えばピンセットのように、対象物を掴み易い形状に形成されてもよい。

【0085】

実施形態 4 の拘束部材 40 は、フレキシブル電極 10 の一端面 16 の縁部 16 a と、ベース電極 20 の凹面部 35 の縁部 35 a とを固定することによって、フレキシブル電極 10 をベース電極 20 に拘束する。拘束部材 40 は、一端面 16 の縁部 16 a を固定端として支持する。拘束部材 40 は、実施形態 1 と同様に構成されてもよい。

【0086】

図 14 は、図 13 に示すフレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間に電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。

【0087】

図 14 に示すように、駆動回路 60 の制御部 65 は、スイッチ 63 a , 64 a を ON 状態に制御し、スイッチ 63 b , 64 b を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間には、電圧が印加される。この場合、フレキシブル電極 10 の一端面 16 は、凹面部 35 に接近するように変形する。一端面 16 の変形部 10 a である主部 16 b は、拘束部材 40 を支点として凹面部 35 に接近する方向に変形する。フレキシブル電極 10 の他端面 17 の主部 17 b は、一端面 16 の主部 16 b の変形に応じて、凹面部 35 に接近する方向に変形する。複数の棒状部材 50 のそれぞれは、間隔 G1 を縮小するように回動する。すなわち、複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、他端面 17 の主部 17 b の変形に応じて、間隔 G1 を縮小する方向に変位する。これにより、複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、対象物を掴むことができる。

【0088】

すなわち、実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、一端面 16 の変形部 10 a の変形を、複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a の変位に変換し、複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a の間隔 G1 の縮小に利用することによって、対象物を掴む動作を実現することができる。複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、アクチュエータ 1 の外部に仕事を出力する出力部として機能し得る。

【0089】

図 14 に示す場合の後、駆動回路 60 の制御部 65 は、スイッチ 63 b , 64 b を ON 状態に制御し、スイッチ 63 a , 64 a を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間への電圧の印加が停止される。この場合、一端面 16 の変形部 10 a である主部 16 b は、フレキシブル電極 10 の復元力によって、拘束部材 40 を支点として凹面部 35 から離隔する方向に変形し、図 13 に示すような初期位置に復元する。複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、一端面 16 の変形部 10 a である主部 16 b の変形及び他端面 17 の主部 17 b の変形に応じて、間隔 G1 を拡大する方向に変位し、初期位置に復元する。これにより、複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a は、掴んだ対象物を放すことができる。

【0090】

このように、実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、一端面 16 の変形部 10 a の変形を、出力部を構成する複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a の変位に変換することによって、対象物を掴む動作を実現することができる。実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の仕事の出力形態を具体化して、対象物を掴んだり放したりする動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

【0091】

図 15 は、図 13 に示すアクチュエータ 1 の他の例を説明する図である。

【0092】

実施形態 4 のベース電極 20 は、図 15 に示すように、複数の棒状部材 50 のそれぞれが取り付けられた位置に応じて、複数の電極部 25 e , 25 f に分割されていてもよい。

10

20

30

40

50

例えば、ベース電極 20 は、対向面 21 を分割する板状の絶縁部 26 を含む平面が、複数の棒状部材 50 のそれぞれを画定するように、複数の電極部 25 e , 25 f に分割されていてもよい。複数の電極部 25 e , 25 f は、絶縁部 26 によって互いに絶縁されている。絶縁部 26 により、複数の電極部 25 e , 25 f には、フレキシブル電極 10 との間において互いに独立して電圧が印加される。駆動回路 60 の制御部 65 は、複数の電極部 25 e , 25 f のそれぞれに対して印加される電圧の大きさを制御したり、電圧の印加又は停止のタイミングを制御したりすることができる。これにより、実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、複数の棒状部材 50 のそれぞれの先端部 50 a の位置やそれぞれの先端部 50 a が対象物を掴む力を、精確に制御することができる。

【0093】

図 16 は、図 13 に示す駆動回路 60 の他の例を説明する図である。

【0094】

実施形態 4 の駆動回路 60 は、図 16 に示すように、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 を、フレームグラウンドに接続しなくてもよい。図 16 に示す駆動回路 60 は、スイッチ 63 a ~ 64 b の代わりに、スイッチ 68 a , 68 b を有する。図 16 に示す駆動回路 60 において、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 は、スイッチ 68 a を介して電源 61 に接続される。フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 は、スイッチ 68 b を介して互いに接続される。

【0095】

図 16 に示す駆動回路 60 の制御部 65 は、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間に電圧を印加する場合、スイッチ 68 a を ON 状態に制御し、スイッチ 68 b を OFF 状態に制御すればよい。図 16 に示す駆動回路 60 の制御部 65 は、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間への電圧の印加を停止する場合、スイッチ 68 b を ON 状態に制御し、スイッチ 68 a を OFF 状態に制御すればよい。フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 のそれぞれに蓄積された電荷が中和するまで移動し、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 とが同電位になるので、電圧の印加は停止する。

【0096】

これにより、図 16 に示す駆動回路 60 は、図 13 に示す駆動回路 60 よりも、回路構成を簡素化することができる。なお、図 16 に示す駆動回路 60 は、実施形態 4 以外のアクチュエータ 1 を駆動する駆動回路 60 にも適用可能である。また、実施形態 4 のアクチュエータ 1 は、対象物への帯電の影響がなければ、棒状部材 50 を省略し、フレキシブル電極 10 が対象物を直接掴むように構成されてもよい。

【0097】

[実施形態 5]

図 17 ~ 図 18 を用いて、実施形態 5 のアクチュエータ 1 について説明する。実施形態 5 のアクチュエータ 1 において、従前の実施形態と同様の構成及び動作については、その説明を省略する。

図 17 は、実施形態 5 のアクチュエータ 1 の構成を模式的に示す図である。

【0098】

実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 の両電極間への電圧の印加によって、フレキシブル電極 10 の後述する外周面 182 がベース電極 20 の後述する凹面部 36 に接近するようにフレキシブル電極 10 を変形させる（図 18 を参照）。これにより、実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 の後述する内周面 181 による対象物 T3 の締め付けを緩める動作を実現することができる。対象物 T3 は、ピン、シャフト又はねじ等の軸 A の軸線方向に延びる部材である。

【0099】

実施形態 5 のフレキシブル電極 10 は、所定の軸 A の周りを囲む円筒体 18 に形成される。フレキシブル電極 10 は、軸 A に交差（直交）する径方向において軸 A と間隔 G2 をあけて軸 A の周りを囲む内周面 181 と、径方向において内周面 181 より外側に配置された外周面 182 とを有する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 0 0 】

フレキシブル電極 1 0 の内周面 1 8 1 は、軸 A に対向して配置される。内周面 1 8 1 は、対象物 T 3 に接触して、対象物 T 3 を締め付ける面である。内周面 1 8 1 は、絶縁層によって被覆されていてもよい。内周面 1 8 1 は、縁部 1 8 1 a と、縁部 1 8 1 a 以外の部分である主部 1 8 1 b とを有する。内周面 1 8 1 の縁部 1 8 1 a は、拘束部材 4 0 に固定される部分である。内周面 1 8 1 の主部 1 8 1 b は、拘束部材 4 0 に固定されない部分である。フレキシブル電極 1 0 の外周面 1 8 2 は、縁部 1 8 2 a と、縁部 1 8 2 a 以外の部分である主部 1 8 2 b とを有する。外周面 1 8 2 の縁部 1 8 2 a は、拘束部材 4 0 に固定される部分である。外周面 1 8 2 の主部 1 8 2 b は、拘束部材 4 0 に固定されない部分である。外周面 1 8 2 の主部 1 8 2 b は、変形部 1 0 a である。

10

## 【 0 1 0 1 】

実施形態 5 のベース電極 2 0 は、軸 A の周回方向に沿ってフレキシブル電極 1 0 の外周面 1 8 2 を囲む筒体に形成される。ベース電極 2 0 は、径方向において外周面 1 8 2 に対向して配置される。ベース電極 2 0 の対向面 2 1 は、外周面 1 8 2 から離隔する方向に窪んだ凹面部 3 6 を有する。凹面部 3 6 は、外周面 1 8 2 に対して傾斜する。凹面部 3 6 と外周面 1 8 2 との間には、空間 2 4 が形成される。凹面部 3 6 は、断面がくの字に屈曲した面によって形成されてもよい。

## 【 0 1 0 2 】

実施形態 5 の拘束部材 4 0 は、フレキシブル電極 1 0 の内周面 1 8 1 の縁部 1 8 1 a と、外周面 1 8 2 の縁部 1 8 2 a と、凹面部 3 6 の縁部 3 6 a とを固定することによって、フレキシブル電極 1 0 をベース電極 2 0 に拘束する。拘束部材 4 0 は、内周面 1 8 1 の縁部 1 8 1 a と外周面 1 8 2 の縁部 1 8 2 a とを固定端として支持する。拘束部材 4 0 は、一对の板状部材 4 3 によって構成されてもよい。一对の板状部材 4 3 は、径方向に延びる。一对の板状部材 4 3 は、軸 A の軸線方向の両側からフレキシブル電極 1 0 及びベース電極 2 0 を挟持する。一对の板状部材 4 3 には、軸線方向に延びて、対象物 T 3 を挿通可能な貫通孔が設けられる。

20

## 【 0 1 0 3 】

図 1 8 は、図 1 7 に示すフレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間に電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。

## 【 0 1 0 4 】

図 1 8 に示すように、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間には、電圧が印加される。この場合、フレキシブル電極 1 0 の外周面 1 8 2 は、凹面部 3 6 に接近するように変形する。外周面 1 8 2 の変形部 1 0 a である主部 1 8 2 b は、拘束部材 4 0 の縁部 1 8 2 a の支持位置を支点として径方向において凹面部 3 6 に接近する方向に変形する。フレキシブル電極 1 0 の内周面 1 8 1 の主部 1 8 1 b は、外周面 1 8 2 の変形部 1 0 a である主部 1 8 2 b の変形に応じて、径方向において凹面部 3 6 に接近する方向に変位する。内周面 1 8 1 の主部 1 8 1 b は、軸 A との間隔 G 2 を拡大する。これにより、内周面 1 8 1 と対象物 T 3 との間には、空間 S が形成される。内周面 1 8 1 は、対象物 T 3 の締め付けを緩めることができる。

30

40

## 【 0 1 0 5 】

すなわち、実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、外周面 1 8 2 の変形部 1 0 a の変形を、内周面 1 8 1 の主部 1 8 1 b の変位に変換し、内周面 1 8 1 と軸 A との間隔 G 2 の拡大に利用することによって、締め付けられた対象物 T 3 を緩める動作を実現することができる。内周面 1 8 1 の主部 1 8 1 b は、アクチュエータ 1 の外部に仕事を出力する出力部として機能し得る。

## 【 0 1 0 6 】

図 1 8 に示す場合の後、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間への電圧の印加が停止される。この場合、外周面 1 8 2

50

の変形部 10 a である主部 182 b は、フレキシブル電極 10 の復元力によって、拘束部材 40 の外周面 182 の支持位置を支点として径方向において凹面部 36 から離隔する方向に変形し、図 17 に示すような原形に復元する。内周面 181 の主部 181 b は、外周面 182 の変形部 10 a である主部 182 b の変形に応じて、間隔 G2 を縮小する方向に変位し、初期位置に復元する。これにより、内周面 181 は、再び対象物 T3 を締め付けることができる。

#### 【0107】

このように、実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、外周面 182 の変形部 10 a の変形を、出力部を構成する内周面 181 の主部 181 b の変位に変換することによって、対象物 T3 を締め付けたり緩めたりする動作を実現することができる。実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の仕事の出力形態を具体化して、対象物 T3 を締め付けたり緩めたりする動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

10

#### 【0108】

なお、実施形態 5 の拘束部材 40 は、少なくともフレキシブル電極 10 の外周面 182 の縁部 182 a と、凹面部 36 の縁部 36 a とを固定すればよい。実施形態 5 の拘束部材 40 が内周面 181 の縁部 181 a と凹面部 36 の縁部 36 a とを固定することは必須ではない。

#### 【0109】

また、実施形態 5 のベース電極 20 は、軸 A の周回方向に沿って配置される複数の電極部に分割されていてもよい。複数の電極部は、絶縁部 26 によって互いに絶縁される。絶縁部 26 により、複数の電極部には、フレキシブル電極 10 との間において互いに独立して電圧が印加可能である。駆動回路 60 の制御部 65 は、複数の電極部のそれぞれに対して印加される電圧の大きさを制御したり、電圧の印加又は停止のタイミングを制御したりすることができる。また、実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 を一組として、軸 A の周回方向に沿って配置される複数組のフレキシブル電極 10 及びベース電極 20 を有していてもよい。それぞれの組を構成するフレキシブル電極 10 は、軸 A の周りを囲む円筒体 18 を、軸 A の周回方向に沿って組ごとに分割した形状を有する。それぞれの組を構成するベース電極 20 は、フレキシブル電極 10 の外周面 182 を囲む筒体を、軸 A の周回方向に沿って組ごとに分割した形状を有する。それぞれの組を構成するフレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間には、互いに独立して電圧が印加可能である。駆動回路 60 は、それぞれの組ごとに複数設けられてもよい。駆動回路 60 の制御部 65 は、それぞれの組に対して印加される電圧の大きさを制御したり、電圧の印加又は停止のタイミングを制御したりすることができる。これにより、実施形態 5 のアクチュエータ 1 は、それぞれのフレキシブル電極 10 の内周面 181 の主部 181 b の位置や、それぞれのフレキシブル電極 10 の内周面 181 が対象物 T3 を締め付ける力を、精確に制御することができる。

20

30

#### 【0110】

##### [実施形態 6]

図 19 ~ 図 20 を用いて、実施形態 6 のアクチュエータ 1 について説明する。実施形態 6 のアクチュエータ 1 において、従前の実施形態と同様の構成及び動作については、その説明を省略する。

40

図 19 は、実施形態 6 のアクチュエータ 1 の構成を模式的に示す図である。

#### 【0111】

実施形態 6 のアクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 及びベース電極 20 の両電極間への電圧の印加によって、フレキシブル電極 10 の後述する流路壁 191 がベース電極 20 の後述する凹面部 38 に接近するようにフレキシブル電極 10 を変形させる（図 20 を参照）。これにより、実施形態 6 のアクチュエータ 1 は、流路壁 191 と凹面部 38 とによって形成された流路 F 内の対象物 T4 を吐出する動作を実現することができる。対象物 T4 は、気体、液体又は粉体等である。

50

## 【 0 1 1 2 】

実施形態 6 のベース電極 2 0 は、所定の長さを有する溝 3 7 が設けられた板状に形成されてもよい。ベース電極 2 0 の対向面 2 1 は、溝 3 7 を構成する凹面部 3 8 と、溝 3 7 の周辺の平面部 3 9 とを有する。凹面部 3 8 は、フレキシブル電極 1 0 から離隔する方向に窪む。凹面部 3 8 は、溝 3 7 が延びる方向に延びる。凹面部 3 8 は、断面が湾曲した面によって形成されてもよい。平面部 3 9 は、凹面部 3 8 の縁部 3 8 a に連続する。平面部 3 9 は、溝 3 7 が延びる方向、及び、溝 3 7 に交差する方向に広がる。

## 【 0 1 1 3 】

実施形態 6 のフレキシブル電極 1 0 は、半筒状の流路壁 1 9 1 が設けられた板状に形成されてもよい。フレキシブル電極 1 0 は、溝 3 7 に対応する流路壁 1 9 1 と、流路壁 1 9 1 の周辺の板部 1 9 2 とを有する。流路壁 1 9 1 は、凹面部 3 8 と間隔 G 3 をあけて凹面部 3 8 を覆う。流路壁 1 9 1 と凹面部 3 8 との間には、空間 2 4 が形成される。空間 2 4 は、対象物 T 4 の流路 F として機能する。すなわち、流路壁 1 9 1 は、凹面部 3 8 と協働して間隔 G 3 に流路 F を形成する。流路壁 1 9 1 は、溝 3 7 が延びる方向に延びる。流路壁 1 9 1 は、電圧印加時において凹面部 3 8 に接近するように変形した際に、凹面部 3 8 に吻合する形状に形成されてもよい。

10

## 【 0 1 1 4 】

流路壁 1 9 1 は、縁部 1 9 1 a と、縁部 1 9 1 a 以外の部分である主部 1 9 1 b とを有する。流路壁 1 9 1 の縁部 1 9 1 a は、拘束部材 4 0 に固定される部分である。流路壁 1 9 1 の主部 1 9 1 b は、拘束部材 4 0 に固定されない部分である。流路壁 1 9 1 の主部 1 9 1 b は、変形部 1 0 a である。流路壁 1 9 1 の内面 1 9 1 c は、絶縁層によって被覆されていてよい。板部 1 9 2 は、流路壁 1 9 1 の縁部 1 9 1 a に連続する。板部 1 9 2 は、溝 3 7 が延びる方向、及び、溝 3 7 に交差する方向に広がる。板部 1 9 2 の内面 1 9 2 a は、ベース電極 2 0 の平面部 3 9 に対向する。

20

## 【 0 1 1 5 】

実施形態 6 の拘束部材 4 0 は、流路壁 1 9 1 の縁部 1 9 1 a と、凹面部 3 8 の縁部 3 8 a とを固定することによってフレキシブル電極 1 0 をベース電極 2 0 に拘束する。拘束部材 4 0 は、流路壁 1 9 1 の縁部 1 9 1 a を固定端として支持する。拘束部材 4 0 は、絶縁性を有する接着剤 4 4 によって構成されてもよい。接着剤 4 4 は、フレキシブル電極 1 0 の板部 1 9 2 の内面 1 9 2 a と、ベース電極 2 0 の平面部 3 9 とを接着する。

30

## 【 0 1 1 6 】

図 2 0 は、図 1 9 に示すフレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間に電圧が印加された場合のアクチュエータ 1 を説明する図である。

## 【 0 1 1 7 】

図 2 0 に示すように、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、スイッチ 6 3 a , 6 4 a を ON 状態に制御し、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 1 0 とベース電極 2 0 との間には、電圧が印加される。この場合、フレキシブル電極 1 0 の流路壁 1 9 1 は、凹面部 3 8 に接近するように変形する。流路壁 1 9 1 の変形部 1 0 a である主部 1 9 1 b は、拘束部材 4 0 の縁部 1 9 1 a の支持位置を支点として溝 3 7 に交差する方向において凹面部 3 8 に接近する方向に変形する。流路壁 1 9 1 の変形部 1 0 a である主部 1 9 1 b は、凹面部 3 8 との間隔 G 3 を縮小する。これにより、流路 F の容積は、縮小する。流路壁 1 9 1 は、対象物 T 4 を流路 F から吐出することができる。

40

## 【 0 1 1 8 】

すなわち、実施形態 6 のアクチュエータ 1 は、流路壁 1 9 1 の変形部 1 0 a の変形を、流路壁 1 9 1 と凹面部 3 8 との間隔 G 3 の縮小に利用し、流路 F の容積の縮小に利用することによって、流路 F 内の対象物 T 4 を吐出する動作を実現することができる。流路壁 1 9 1 の変形部 1 0 a は、アクチュエータ 1 の外部に仕事を出力する出力部として機能し得る。

## 【 0 1 1 9 】

図 2 0 に示す場合の後、駆動回路 6 0 の制御部 6 5 は、スイッチ 6 3 b , 6 4 b を ON

50

状態に制御し、スイッチ 63a, 64a を OFF 状態に制御する。すると、フレキシブル電極 10 とベース電極 20 との間への電圧の印加が停止される。この場合、流路壁 191 の変形部 10a である主部 191b は、フレキシブル電極 10 の復元力によって、拘束部材 40 の縁部 191a の支持位置を支点として溝 37 に交差する方向において凹面部 38 から離隔する方向に変形し、図 19 に示すような原形に復元する。間隔 G3 は拡大し、電圧が印加される前の初期の長さに復元する。これにより、流路 F の容積は、拡大する。流路壁 191 は、対象物 T4 を流路 F に吸引することができる。

#### 【0120】

このように、実施形態 6 のアクチュエータ 1 は、流路壁 191 の変形部 10a の変形を、流路 F の容積の縮小又は拡大に利用することによって、流路 F に対して対象物 T4 を吐出したり吸引したりする動作、すなわちポンプの動作を実現することができる。実施形態 6 のアクチュエータ 1 は、アクチュエータ 1 の仕事の出力形態を具体化して、ポンプの動作のような従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった動作を実現することができる。

10

#### 【0121】

上記のように、アクチュエータ 1 は、可撓性を有するフレキシブル電極 10 と、フレキシブル電極 10 との対向面 21 が絶縁層 22 にて被覆されたベース電極 20 とを有し、両電極間への電圧の印加によってフレキシブル電極 10 が対向面 21 に接近するよう変形するアクチュエータである。アクチュエータ 1 は、フレキシブル電極 10 をベース電極 20 に拘束する拘束部材 40 を備える。フレキシブル電極 10 は、両電極間への電圧の印加によって変形する変形部 10a を有する。変形部 10a は、拘束部材 40 を支点として対向面 21 に接近する方向に変形する。

20

#### 【0122】

このような構成により、アクチュエータ 1 は、変形部 10a の変形に応じて、フレキシブル電極 10 の他の部分やアクチュエータ 1 の他の部材や対象物を変位させたり、変形部 10a の変形に応じて生じた空間を利用したりといった、様々な形態で仕事を出力することができる。そして、アクチュエータ 1 は、跳ねる動作や、投擲する動作や、捕集、貯留及び放出する動作や、掴んだり放したりする動作や、締め付けたり緩めたりする動作や、ポンプの動作等のような、従来のソフトアクチュエータでは実現できなかった様々な動作を実現することができる。よって、アクチュエータ 1 は、仕事の出力形態を具体化して、様々な動作を実現することができる。

30

#### 【0123】

以上、本発明の実施形態について詳述したが、本発明は、上記の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の精神を逸脱しない範囲で、種々の変更を行うことができる。本発明は、或る実施形態の構成を他の実施形態の構成に追加したり、或る実施形態の構成を他の実施形態と置換したり、或る実施形態の構成の一部を削除したりすることができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0124】

1 ... アクチュエータ、10 ... フレキシブル電極、10a ... 変形部、12 ... 平板部、12a ... 縁部、12b ... 主部、13 ... 胴部、13a ... 基端部、13b ... 先端部、13c ... 主部、14 ... スカート部、14a ... 先端部、15 ... 六面体、16 ... 一端面、16a ... 縁部、16b ... 主部、17 ... 他端面、17a ... 縁部、17b ... 主部、18 ... 円筒体、181 ... 内周面、181a ... 縁部、181b ... 主部、182 ... 外周面、182a ... 縁部、182b ... 主部、191 ... 流路壁、191a ... 縁部、191b ... 主部、191c ... 内面、192 ... 板部、192a ... 内面、20 ... ベース電極、21 ... 対向面、22 ... 絶縁層、23 ... 絶縁層、24 ... 空間、25a ~ 25f ... 電極部、26 ... 絶縁部、27 ... 凹面部、27a ... 縁部、28 ... 筒部、28a ... 一端部、28b ... 他端部、28c ... 外表側面、29 ... 底部、30 ... フランジ部、30a ... 下面、31 ... 開口部、32 ... 外壁部、33 ... 内壁部、34 ... 筐体、34a ... 底部、34b ... 縁部、35 ... 凹面部、35a ... 縁部、36 ... 凹面部、36a ... 縁部、

40

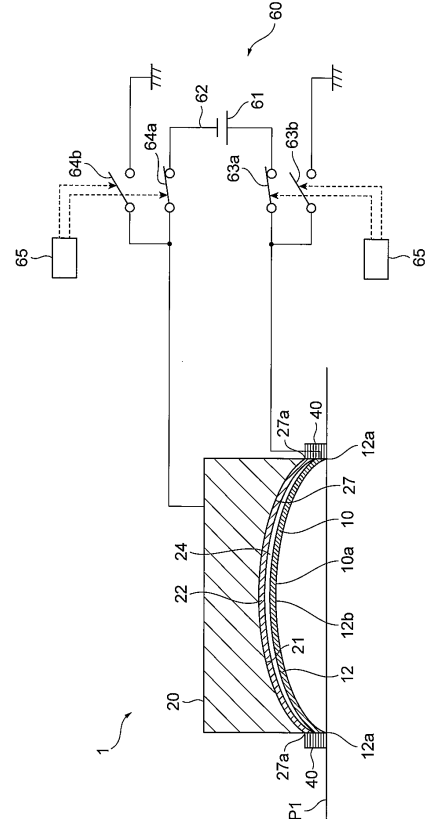
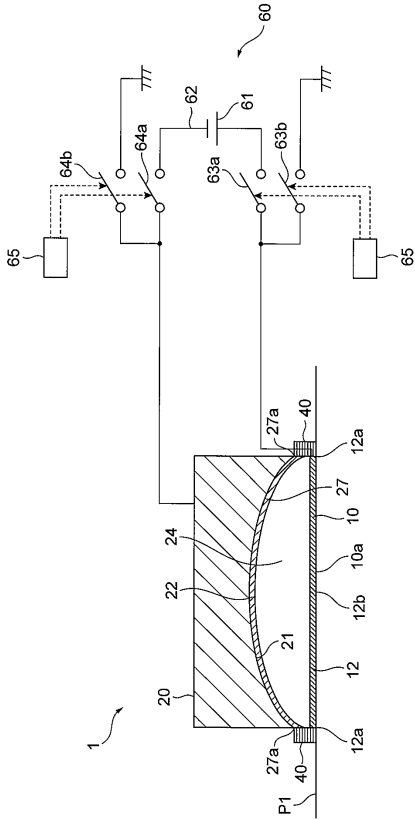
50

37...溝、38...凹面部、38a...縁部、39...平面部、40...拘束部材、41...第1拘束部材、42...第2拘束部材、43...板状部材、44...接着剤、50...棒状部材、50a...先端部、60...駆動回路、61...電源、62...配線、63a, 63b, 64a, 64b, 67, 68a, 68b...スイッチ、65...制御部、66...電源、A...軸、F...流路、G1~G3...間隔、P1~P3...面、Q1, Q2...占有面積、S...空間、T1~T4...対象物

【図面】

【図1】

【図2】



10

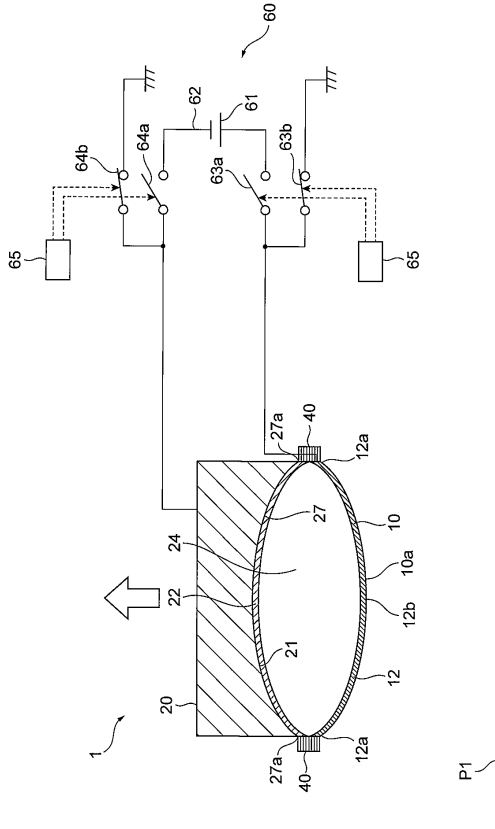
20

30

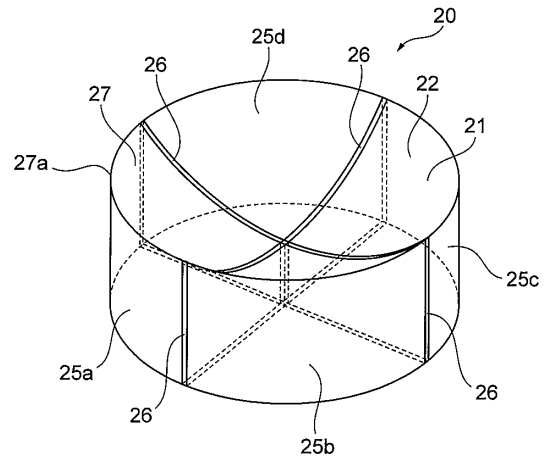
40

50

【図 3】



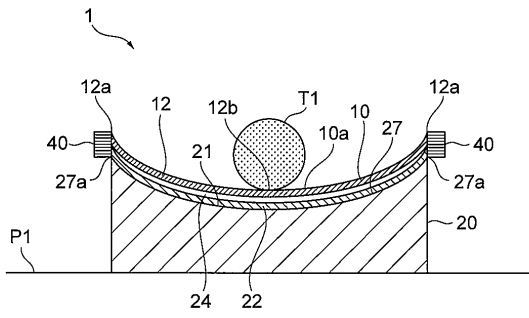
【図 4】



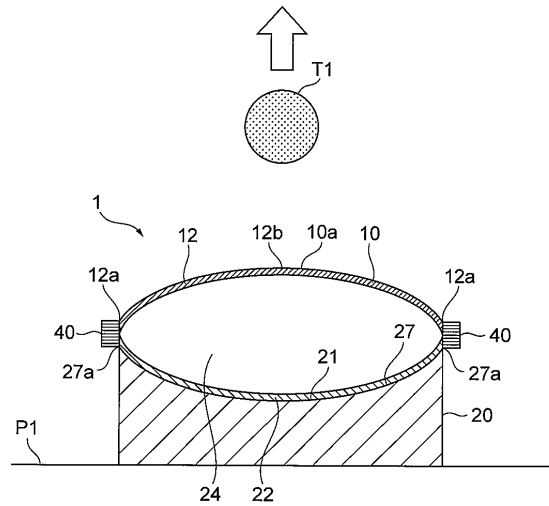
10

20

【図 5】



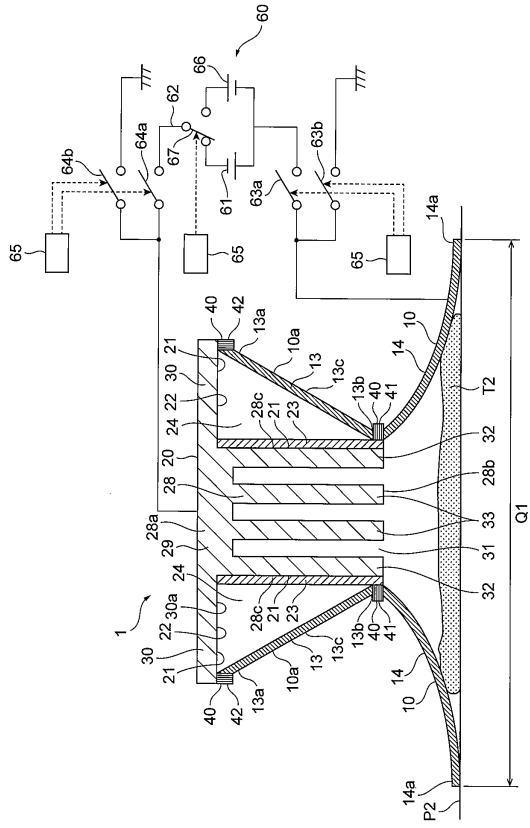
【図 6】



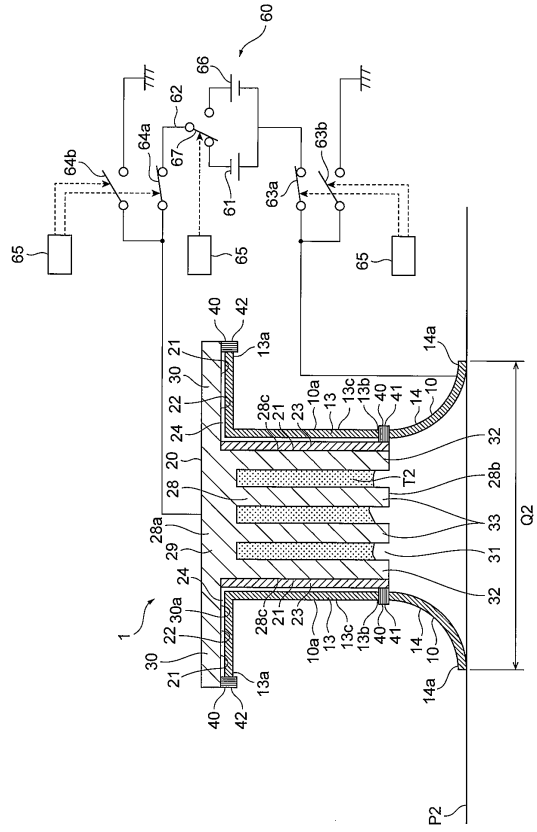
30

40

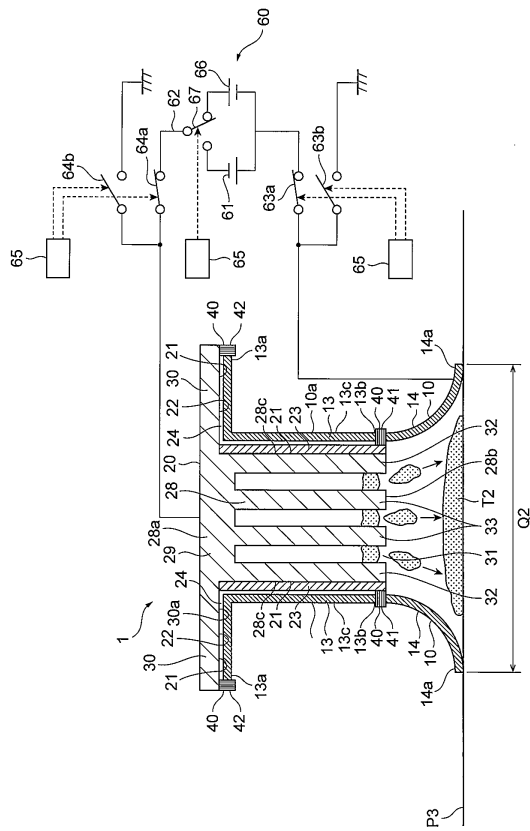
【図 7】



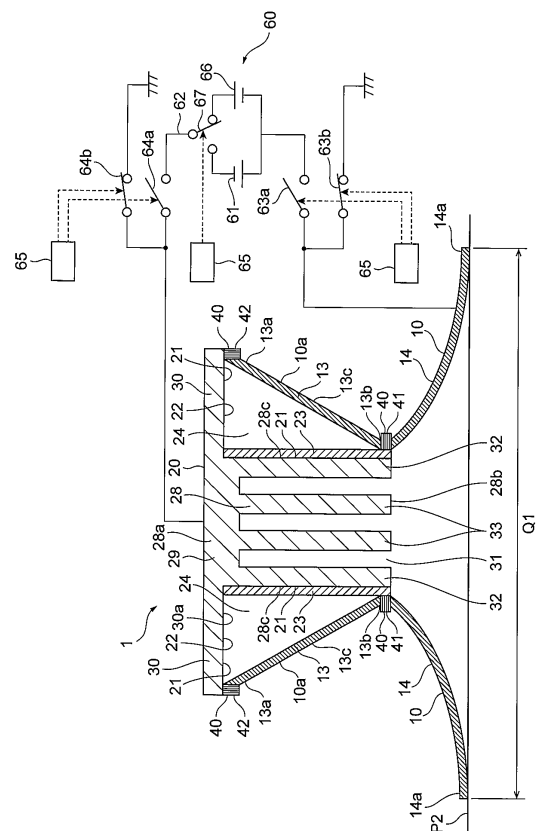
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

20

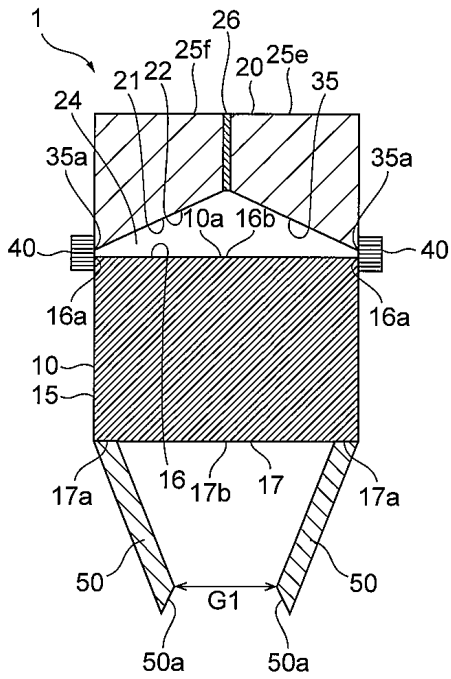
30

40

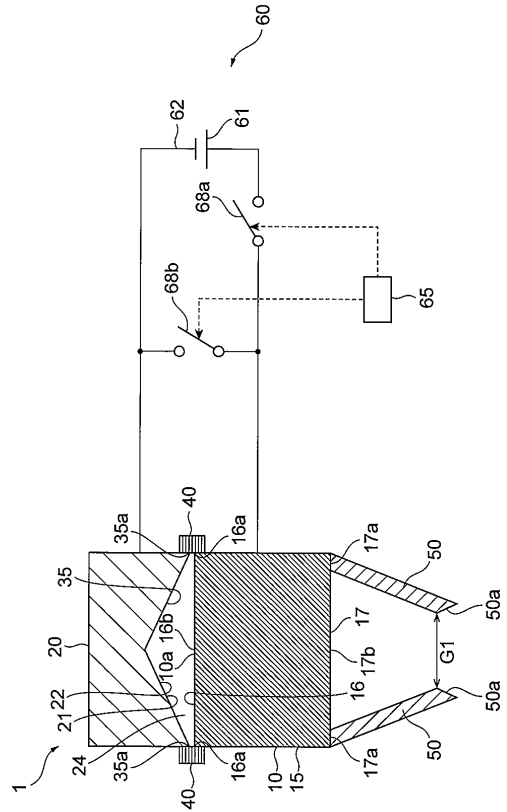
50



【図 15】



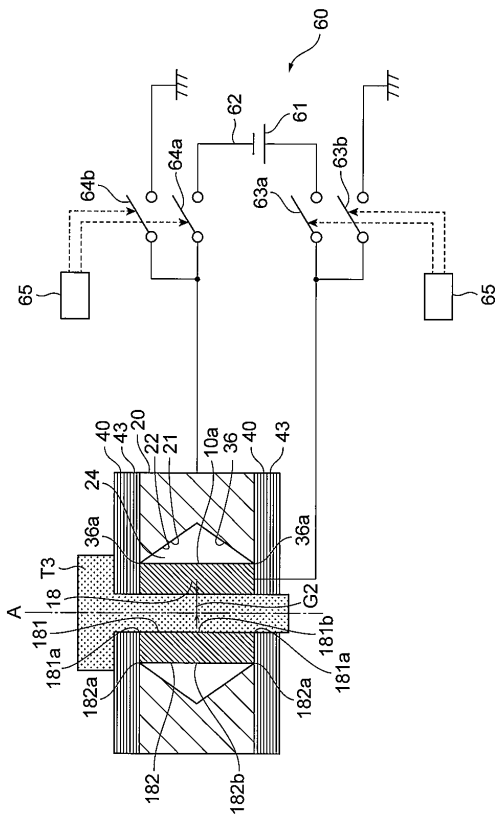
【図 16】



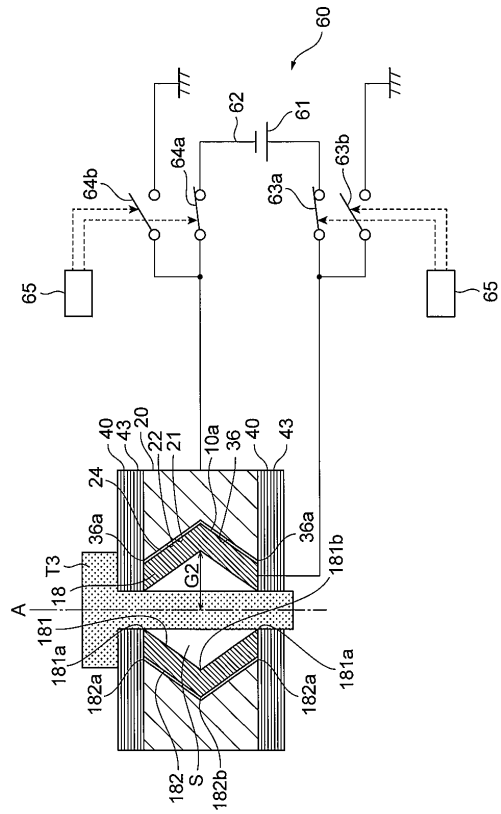
10

20

【図 17】



【図 18】

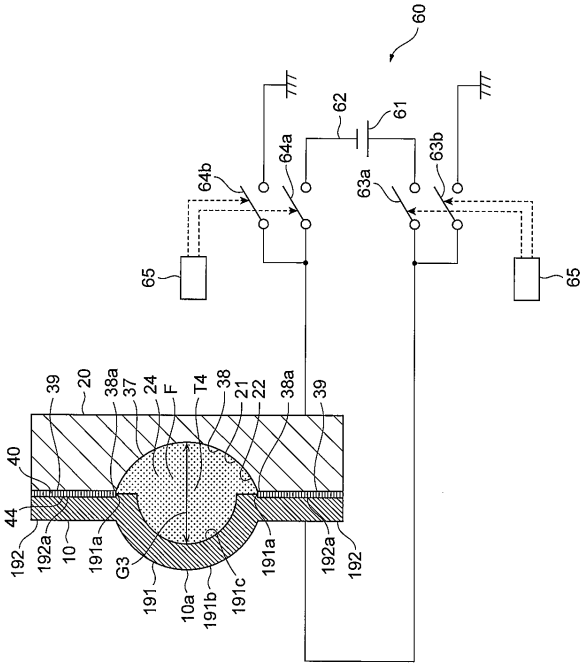


30

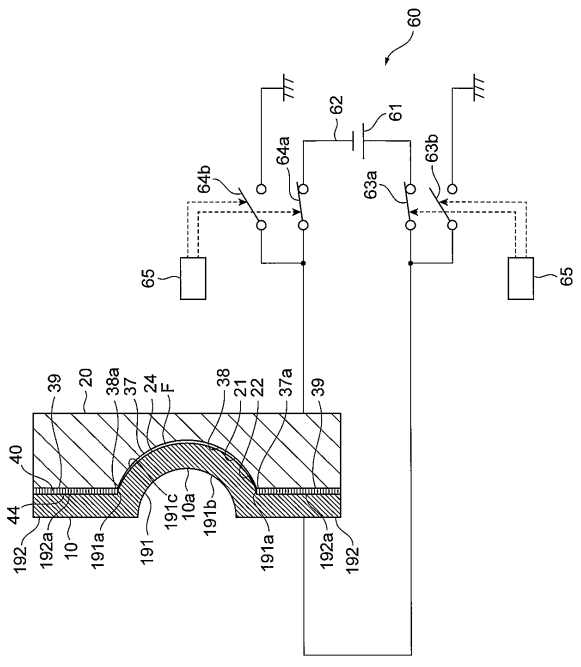
40

50

【図 19】



【図 20】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2007/0188582 (US, A1)  
特表2004-502562 (JP, A)  
特表2002-534275 (JP, A)  
特開2013-102681 (JP, A)  
特開2003-341059 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H02N 11/00