

(19)日本国特許庁(JP)

**(12)特許公報(B2)**

(11)特許番号  
**特許第7225755号**  
**(P7225755)**

(45)発行日 令和5年2月21日(2023.2.21)

(24)登録日 令和5年2月13日(2023.2.13)

(51)国際特許分類

H 0 2 N 11/00 (2006.01)

F I

H 0 2 N 11/00

Z Z N M

請求項の数 2 (全12頁)

(21)出願番号 特願2018-233908(P2018-233908)  
 (22)出願日 平成30年12月13日(2018.12.13)  
 (65)公開番号 特開2020-96470(P2020-96470A)  
 (43)公開日 令和2年6月18日(2020.6.18)  
 審査請求日 令和3年10月29日(2021.10.29)

(73)特許権者 000006035  
 三菱ケミカル株式会社  
 東京都千代田区丸の内1-1-1  
 (74)代理人 110002860  
 弁理士法人秀和特許事務所  
 遠田 淳  
 東京都千代田区丸の内一丁目1番1号  
 三菱ケミカル株式会社内  
 (72)発明者 三澤 哲也  
 審査官

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】**

誘電性高分子材料及び23で液体であるジオールジエステル化合物を含むゲル層と、前記ゲル層を厚さ方向に挟む陽極及び陰極とからなる単位構造を備えるアクチュエータであって、前記誘電性高分子材料が数平均分子量7万以上20万以下のポリ塩化ビニルであり、前記ジオールジエステル化合物が $R_1 - (C=O) - O - R_2 - O - (C=O) - R_3$ の式で表され、該式において、 $R_1$ は炭素数1~5の基、 $R_2$ は炭素数1~10の基、 $R_3$ は炭素数1~5の基であり、前記ゲル層中の前記ジオールジエステル化合物の含有量が5~5重量%以上である、アクチュエータ。

**【請求項2】**

前記陽極及び陰極のうちの少なくとも一方の電極が網状の形状を有する、請求項1に記載のアクチュエータ。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、アクチュエータに関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年、エネルギーや電気信号を物理的運動に変換する機械・電気回路を構成するアクチュエータの材料として、軽量性や柔軟性、加工性に優れる高分子材料が注目されている。

特に、医療機器や産業用ロボット等の分野では、伸縮性に優れる高分子ゲルを用いたアクチュエータの開発が活発に行われてきた。例えば、当該アクチュエータは、その優れた伸縮性から人工筋肉の候補に挙げられ、人の動作を補助することを目的とする福祉機器や介護機器等の製品への応用が期待されている。

#### 【0003】

特許文献1には、一方の電極を導電材からなるメッシュ体とし、当該メッシュ体を2つの高分子ゲルで挟み込んで作製され、電圧印加時にメッシュ体のメッシュ孔に高分子ゲルの一部が入り込むことにより厚さ方向に収縮し、電圧印加の解除時に元の厚さに復帰するゲルアクチュエータが開示されている。

特許文献2には、電極層を誘電性高分子材料からなるゲルシートで挟み込んだ積層体と、メッシュ体とを有し、当該メッシュ体を当該積層体で挟み込んで作製され、上記の特許文献1と同様の作用により伸縮及び復帰を行い、変位したゲルの移動先を確保するセンサ素子が開示されている。

10

#### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

##### 【0004】

【文献】特開2012-23843号公報

特開2014-32162号公報

20

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0005】

アクチュエータにおいては、印加電圧に対するアクチュエータの変位量が大きいこと、特に、低い印加電圧でアクチュエータが大きく変位することが要求される。

上記の特許文献1に記載の発明は、小型化が可能で装置に容易に組み込むことができ、取り扱いを容易とすることができますが、ゲルアクチュエータを提供するため、主として構造の観点から実現を図るというものである。上記の特許文献2に記載の発明は、小荷重の作用により容易に変位する作用を利用したセンサ素子を提供するため、特許文献1と同様に、主として構造の観点から実現を図るというものである。

一方で、高分子ゲルの材料の観点からこれらの文献に記載の発明をみると、どちらの発明においても、メッシュ体との粘着性が低いという理由から、基材としてポリ塩化ビニル(PVC)、及び可塑剤としてアジピン酸ジアルキルの一種であるアジピン酸ジブチルを用いた組み合わせが特に有効であることが開示されているのみであり、アクチュエータの変位量を大きくすることを目的とした材料の検討は行われていない。

30

##### 【0006】

そこで、本発明は、印加電圧に対する変位量が大きい高分子ゲルを用いることにより、印加電圧に対するアクチュエータの変位量を大きくすることができるアクチュエータを提供することを課題とする。

#### 【課題を解決するための手段】

##### 【0007】

本発明者らは、上記実情に鑑み鋭意検討した結果、高分子ゲルに特定の材料の組み合わせを含有させることにより、上記課題を解決できることを見出し、本発明を達成するに至った。

40

##### 【0008】

即ち、本発明の要旨は以下の通りである。

[1] 誘電性高分子材料及び23で液体であるジオールジエステル化合物を含むゲル層と、前記ゲル層を厚さ方向に挟む陽極及び陰極とからなる単位構造を備えるアクチュエータであって、前記誘電性高分子材料が数平均分子量7万以上20万以下のポリ塩化ビニルである、アクチュエータ。

[2] 前記陽極及び陰極のうちの少なくとも一方の電極が網状の形状を有する、[1]に記載のアクチュエータ。

50

**【発明の効果】****【0009】**

本発明により、印加電圧に対するアクチュエータの変位量を大きくすることができるアクチュエータを提供することができる。さらに、当該アクチュエータは、破断伸度が大きく、加熱による重量の減少率が小さいという利点を有する。

**【図面の簡単な説明】****【0010】**

【図1】本発明の一実施形態である、ゲル層と2つの電極とからなる単位構造を備えるアクチュエータの構成と作用とを模式的に表す図である。

【図2】本発明の一実施形態である、ゲル層と2つの電極とからなる単位構造を備え、かつ、一方の電極が網状の形状を有するアクチュエータの構成と作用とを模式的に表す図である。10

【図3】本発明の一実施形態である、隣接するアクチュエータの間に絶縁層を備える積層型のアクチュエータの構成と作用とを模式的に表す図である。

【図4】本発明の一実施形態である、隣接するアクチュエータの間にゲル層を備える積層型のアクチュエータの構成と作用とを模式的に表す図である。

**【発明を実施するための形態】****【0011】**

以下に本発明の実施の形態を詳細に説明するが、これら説明は本発明の実施形態の一例(代表例)であり、本発明はその要旨を超えない限りこれらの内容に限定されない。

また、本発明において、特段限定するような記載をしていない場合、「2つの電極」とは陽極と陰極の組み合わせであることを示す。また、「一方の電極」及び「もう一方の電極」の組み合わせを用いた場合、いずれか一方が陽極であり、もう一方が陰極であることを示す。20

**【0012】**

本発明の一実施形態であるアクチュエータは、誘電性高分子材料及び23(大気圧下)で液体であるジオールジエステル化合物を含むゲル層と、前記ゲル層を厚さ方向に挟む陽極及び陰極とからなる単位構造を備えるゲルアクチュエータであって、前記誘電性高分子材料が数平均分子量7万以上20万以下のポリ塩化ビニルである、アクチュエータである。30

**【0013】**

## &lt;1. ゲル層&gt;

## &lt;1-1. ゲル層の原料&gt;

ゲル層に含まれる誘電性高分子であるポリ塩化ビニルは、屈曲変形やクリープ変形をなし、電圧を印加して電位差をかけると収縮するという特性を有する。ポリ塩化ビニルの製法は、特段制限されず、一般に市販されているものを用いることができる。

**【0014】**

ポリ塩化ビニルの数平均分子量( $M_w$ )は、特段制限されないが、電圧印加時の変位量の観点から、ゲル浸透クロマトグラフィー(GPC)により測定したポリスチレン換算で、7万以上20万以下であるが、好ましくは7.5万以上あり、より好ましくは8万以上あり、さらに好ましくは8.5万以上あり、特に好ましくは9万以上あり、また、好ましくは18万以下あり、より好ましくは16万以下あり、さらに好ましくは14万以下あり、特に好ましくは12万以下である。ポリ塩化ビニルの数平均分子量( $M_n$ )を7万以上とすることで得られたゲルが経時的に変化し電気的特性が安定しやすくなる。一方20万以下とすることにより、得られたゲルが固くなりすぎず、電圧をかけた時の変位長が十分に得られる。40

**【0015】**

ゲル層中のポリ塩化ビニルの含有量は、特段制限されないが、ゲルの変位長が十分得られる観点から、通常5重量%以上であり、好ましくは8重量%以上であり、より好ましくは10重量%以上であり、さらに好ましくは12重量%以上であり、特に好ましくは15

10

20

30

40

50

重量%以上であり、また、好ましくは60重量%以下であり、より好ましくは50重量%以下であり、さらに好ましくは45重量%以下であり、特に好ましくは40重量%以下である。

#### 【0016】

ゲル層は、屈曲変形やクリープ変形を示す誘電性高分子として、上記のポリ塩化ビニル以外の誘電性高分子（以下、「その他の誘電性高分子」とも称す）を含んでいてもよく、当該誘電性高分子としては、例えば、ポリメタクリル酸メチル、ポリウレタン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ナイロン6、ポリビニルアルコール、ポリカーボネイト、ポリエチレンテレフタレート、ポリアクリロニトリル、シリコーンゴム等が挙げられる。

ゲル層中のその他の誘電性高分子の含有量は、本発明の効果を大きく阻害しない範囲であればよく、通常5重量%以下、より好ましくは3重量%以下にしておくことが好ましい。

#### 【0017】

ゲル層に含まれるジオールジエステル化合物とは、ジオールの2つのヒドロキシル基がエステル化した化合物である。本実施形態では、ジオールジエステル化合物は、特に可塑剤としての役割を担い、ポリ塩化ビニルとの組成物であるアクチュエータを通常使用される温度範囲で適度な硬さを有するゲルの状態に維持する目安として、23（大気圧下）で液体であることが要求される。

ジオールジエステル化合物の種類は、特段制限されないが、例えば、ジオールの酢酸エステル化合物などが挙げられる。ジオールジエステル化合物は、1種を単独で用いても、2種以上を併用してもよい。

#### 【0018】

より具体的には、ジオールジエステル化合物は、 $R_1 - (C=O) - O - R_2 - O - (C=O) - R_3$ の式で表すことができる。

$R_2$ の炭素数は、特段制限されないが、ゲルの変位長が十分得られる観点から、通常1～10であり、3～8であることが好ましく、4～6であることがより好ましい。また、 $R_2$ の結合様式は、直鎖状であっても分岐鎖状であってもよいが、ゲルの変位長が十分得られる観点から、直鎖状であることが好ましい。さらに、 $R_2$ は、酸素(O)や窒素(N)、硫黄(S)等の元素を含む置換基を有していてもよい。

また、 $R_1$ 及び $R_3$ の炭素数は、特段制限されないが、独立して、ゲルの変位長が十分得られる観点から、通常1～5であり、1～3であることが好ましく、1であることがより好ましい。また、 $R_1$ 及び $R_3$ は、同一の構造であるか、または、異なる構造であるかは制限されないが、ゲルの変位長が十分得られる観点から、同一の構造であることが好ましい。また、 $R_1$ 及び $R_3$ の結合様式は、独立して、直鎖状であっても分岐鎖状であってもよいが、ゲルの変位長が十分得られる観点から、直鎖状であることが好ましい。さらに、 $R_1$ 及び $R_3$ は、酸素(O)や窒素(N)、硫黄(S)等の元素を含む置換基を有していてもよい。

特に、上記の $R_1$ 、 $R_2$ 及び $R_3$ の好適な態様、及び、通常使用される温度範囲での取り扱い性が良くなるような沸点や融点などを勘案すると、具体的には1,5-ジアセトキシペンタン、1,3-ジアセトキシブタン、1,2-ジアセトキシクロヘキサン、1,3-ジアセトキシクロヘキサン、3,4-ジアセトキシテトラヒドロフランが好ましく、特に好ましくは、1,4-ジアセトキシブタン及び1,6-ジアセトキシヘキサンである。これらの化合物の製法は、特段制限されず、一般的な合成法により製造されるもの、また、一般に市販されているものを用いることができる。

#### 【0019】

ポリ塩化ビニルとジオールジエステルとを組み合わせて用いた場合、特開2012-23843号公報や特開2014-32152号公報で特に有効であると記載されているポリ塩化ビニルとアジピン酸ジアルキルとの組み合わせを用いた場合よりも、電圧印加時の変位量が大きくなる。これは、ポリ塩化ビニルの結晶性を抑制して物理的な架橋構造を減らすことによるものであるためである。

#### 【0020】

10

20

30

40

50

ゲル層中のジオールジエステル化合物の含有量は、特段制限されないが、良好な変位長の発現とゲル表面のべたつき抑制の観点から、通常55重量%以上であり、好ましくは60重量%以上であり、より好ましくは65重量%以上であり、さらに好ましくは70重量%以上であり、特に好ましくは75重量%以上であり、また、好ましくは95重量%以下であり、より好ましくは90重量%以下であり、さらに好ましくは85重量%以下である。

#### 【0021】

ゲル層において、前記ジオールジエステル化合物に対する前記ポリ塩化ビニルの重量比は、特段制限されないが、良好な変位長の発現とゲル表面のべたつき抑制の観点から、通常0.1以上であり、0.12以上であることが好ましく、0.15以上であることがより好ましく、0.17以上であることがさらに好ましく、また、通常10以下であり、8以下であることが好ましく、7以下であることがより好ましく、6以下であることがさらに好ましい。

#### 【0022】

ゲル層は、上記のジオールジエステル化合物以外の可塑剤（以下、「他の可塑剤」とも称す）を含んでいてもよく、当該可塑剤としては、例えば、ジメチルアセトアミド(DMA)、セバシン酸ジエチル(DESuc)、ジエタノールアミン(DEA)、アジピン酸ジブチル(DBA)、セバシン酸ジオクチル(DOS)、アジピン酸ジオクチル(DOA)、フタル酸ジメチル(DMP)、フタル酸ジブチル(DBP)、フタル酸ジオクチル(DOP)、フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)(DEHP)、コハク酸ジエチル(DESuc)、アジピン酸ジメチル(DMA)、セバシン酸ジエチル(DESeb)、セバシン酸ジブチル(DBSeb)、セバシン酸ジオクチル(DOSeb)等が挙げられる。

#### 【0023】

ゲル層中の他の可塑剤の含有量は、特段なくともよく、また混在させたとしても制限されないが、ゲル表面のべたつき抑制と相溶性向上の観点から、通常0.1重量%以上であり、好ましくは0.2重量%以上であり、より好ましくは0.3重量%以上であり、さらに好ましくは0.4重量%以上であり、特に好ましくは0.5重量%以上であり、また、好ましくは20重量%以下であり、より好ましくは15重量%以下であり、さらに好ましくは10重量%以下であり、特に好ましくは5重量%以下である。

#### 【0024】

ゲル層は、本発明の効果が発揮される範囲において、上記のポリ塩化ビニル、他の誘電性高分子、及びジオールジエステル以外の物質（以下、「他の物質」とも称す）を含んでいてもよく、例えば、電荷補足剤等が挙げられる。

#### 【0025】

電荷補足剤としては、例えば、テトラシアノキノジメタン、2,4,7-トリニトロフルオレン-9-オン等が挙げられる。

#### 【0026】

ゲル層中の他の物質の総含有量は、特段制限されないが、良好な変位長の発現の観点から、通常0.01重量%以上であり、好ましくは0.02重量%以上であり、より好ましくは0.03重量%以上であり、さらに好ましくは0.05重量%以上であり、特に好ましくは0.1重量%以上であり、また、好ましくは10重量%以下であり、より好ましくは5重量%以下であり、さらに好ましくは3重量%以下であり、特に好ましくは2重量%以下である。

#### 【0027】

##### <1-2. ゲル層の製造方法>

ゲル層の製造方法は、特段制限されず、一般的なゲルの製造方法により製造することができる。例えば、上記のポリ塩化ビニル、ジエーテルジエステル、及び他の物質に溶媒を加えた混合溶液を調製し、当該混合溶液をテフロン製シャーレ等の離型性のよい容器に移し、一定時間静置してゲル化させて溶媒を揮発させた後、容器から剥離することでゲル層を得ることができる。

#### 【0028】

10

20

30

40

50

ゲル層を製造する際に用いられる溶媒の種類は、上記のポリ塩化ビニル及びジオールジエステル化合物を溶解させるものであれば特段制限されないが、例えば、メタノール、エタノール、n-ブタノール、n-プロパノール、イソプロパノール等のアルコール系溶媒、テトラヒドロフラン、1,4-ジオキサン等のエーテル系溶媒、メチルセロソルブ、エチルセロソルブ等のセロソルブ系溶媒、N,N-ジメチルホルムアミド、N,N-ジメチルアセトアミド、N-メチルピロリドン等のアミド系溶媒、アセトニトリル等のニトリル系溶媒等の有機溶媒が挙げられる。これらは1種を単独で用いても、2種以上を併用してもよい。これらの中でも、テトラヒドロフラン、イソプロパノール、及びアセトニトリルが好ましく、特に、揮発性と臭気の観点から、テトラヒドロフランであることが好ましい。

#### 【0029】

10

溶媒を揮発させる前の組成物中の溶媒の含有量は、溶解速度と揮発速度の観点から、通常40重量%以上であり、好ましくは45重量%以上であり、より好ましくは50重量%以上であり、さらに好ましくは55重量%以上であり、特に好ましくは60重量%以上であり、また、好ましくは98重量%以下であり、より好ましくは95重量%以下であり、さらに好ましくは90重量%以下であり、特に好ましくは85重量%以下である。

#### 【0030】

##### <1-3. ゲル層の構造及び特性>

ゲル層の形状等の構造は、特段制限されないが、例えば、その形状はシート状であることが好ましく、その厚さは、通常0.1~1.0mmであり、0.2~0.8mmであることが好ましく、0.25~0.75mmであることがより好ましい。また、シート状の場合、その平面形状は円形であることが好ましく、その直径は、アクチュエータの必要とされる大きさであればよく、通常2~100mmであり、3~80mmであることが好ましく、4~70mmであることがより好ましい。

20

#### 【0031】

ゲル層の力学特性について、JIS K 6251の規定に準じた引張試験により得られる引張弾性率は、通常0.1~2MPaであり、0.12~1.8MPaであることが好ましく、0.15~1.6MPaであることがより好ましく、引張強度は、通常0.1~2MPaであり、0.15~1.8MPaであることが好ましく、0.2~1.6MPaであることがより好ましく、破断伸度は、通常150~1000%であり、180~950%であることが好ましく、200~900%であることがより好ましい。なお、引張試験に用いられる引張試験機としては、例えば、島津製作所製EZ-Test-100N等を用いることができる。

30

上記範囲を満たす力学特性を有するゲル層であれば、破断伸度に至らない変位をしても元の形状に戻るという利点を有する。

#### 【0032】

本発明におけるゲル層の重量保持率とは、空気下に保持したゲルを室温から特定の温度まで昇温速度毎分10°で昇温した場合における、{(特定の温度におけるゲルの重量) × 100} / (室温におけるゲルの重量)の式で算出される特性である。なお、重量保持率の測定器としては、例えば、SII社製のTG/DTA6200を用いることができる。

ゲルの重量保持率の特性値は大きい方が好ましいが、例えば、上記の特定の温度を150°とした場合の重量保持率は、通常99%以下であり、90%以上であると、多少の温度の上昇を伴う条件下でも重量変化がなく一定の変位を得ることができる。

40

#### 【0033】

ゲル層の密度は、通常0.7~1.5g/cm<sup>3</sup>であり、0.8~1.4g/cm<sup>3</sup>であることが好ましく、0.85~1.35g/cm<sup>3</sup>であることがより好ましい。

ゲル層の密度が上記範囲内であると、厚みが薄くなっても荷重を支えることが可能であり、厚みが厚くなってもアクチュエータの重量の増加を抑えることが可能であるという利点がある。なお、測定方法については、一般的な密度の測定方法を適用できる。

#### 【0034】

##### <2. 電極>

50

前記ゲル層を厚さ方向に挟む陽極と陰極（これらをまとめて「2つの電極」とも称す）の形状は、特段制限されないが、電圧の印加により変位したゲルが移動できる空間がある形状、例えば、電極の一部に切欠きを有する形状、凹凸を有する形状、網状の形状等が挙げられる。特に、変位時にゲルが容易に上記空間に入り込むことができる点で、網状の形状であることが好ましい。電極が上記空間を有しない場合、厚さ方向に電圧を印加しても、ゲル層が平板状のまま平面方向へ変位することになるため、厚さ方向への大きな変位は生じない。なお、上記の電圧の印加により変位したゲルが移動できる空間がある形状を有する電極は、上記の2つの電極のうちの少なくとも一方の電極に用いることができるが、電圧印加時のアクチュエータの変位量を大きくするという観点から、両方の電極に用いることが好ましい。

10

#### 【0035】

電極の厚さは、アクチュエータの用途に応じて任意に選択できるが、通常0.01~1mmであり、0.012~0.9mmであることが好ましく、0.015~0.8mmであることがより好ましい。

また、電極の形状が網状である場合、電極のメッシュ数（1インチの一辺の線の中心から中心においての網目の数）は、通常1~200であり、5~150であることが好ましく、構成する電線の直径は通常0.01~1mmであり、0.02~0.9mmであることが好ましく、0.03から0.8mmであることがより好ましい。網の織り方には、平織、綾織、繡子織とあるが、開口部の多い平織が好ましい。

20

#### 【0036】

電極の材料の種類は、特段制限されず、例えば、白金、金、銀、アルミニウム、クロム、ニッケル、銅、チタン、マグネシウム、カルシウム、バリウム、ナトリウム等の金属あるいはそれらの合金（例えば、ステンレス鋼や黄銅）；酸化インジウムや酸化錫等の金属酸化物、あるいはその合金（ITO等）；ポリアニリン、ポリピロール、ポリチオフェン、ポリアセチレン等の導電性高分子；前記導電性高分子に、塩酸、硫酸、スルホン酸等の酸、FeCl<sub>3</sub>等のルイス酸、ヨウ素等のハロゲン原子、ナトリウム、カリウム等の金属原子などのドーパントを含有させたもの；金属粒子、カーボンブラック、フラー・レン、カーボンナノチューブ等の導電性粒子をポリマー・バインダー等のマトリクスに分散した導電性の複合材料などが挙げられる。これらは1種を単独で用いても、2種以上を併用してもよい。これらの中でも、特に、電気特性や加工性、生産性の観点から、ステンレス鋼や黄銅が好ましい。

30

#### 【0037】

##### <3. アクチュエータの構成>

図1は、ゲル層10と、当該ゲル層を厚さ方向に挟む電極11及び12（変位したゲルが移動できる空間がない形状を有する電極）とからなる単位構造を備えるアクチュエータ1の構成とその作用を示す。当該アクチュエータ1は、図1に示すように、電圧を印加しない状態においては、2つの電極の間のゲル層10が均一な厚さとなっており、厚さ方向に電圧を印加すると、ゲルが変位し、アクチュエータ1の全体の厚さが小さくなる。

このように、アクチュエータ1は、2つの電極11及び12の間に電圧を印加する操作をON-OFFすることにより、変位状態と元の厚さに復帰する状態とを切り替えることができる。すなわち、アクチュエータ1は、電圧の印加操作によって厚さ方向に変位するアクチュエータとして作用する。

40

#### 【0038】

図2は、2つの電極11及び12の一方の電極11の形状が網状である場合のアクチュエータ1の構成とその作用を示す。当該アクチュエータ1は、電圧を印加しない状態においては、図1のアクチュエータ1と同様に、2つの電極11及び12の間のゲル層がほぼ均一な厚さとなっている。しかし、厚さ方向に電圧を印加すると、網状の形状の孔の部分にゲルが入り込むように変位するため、図2のアクチュエータ1の変位量は、変位したゲルが移動できる空間がない形状を有する電極を用いた図1のアクチュエータ1の変位量よりも大きくなる。

50

### 【0039】

単位構造であるアクチュエータは、単独で用いる、又は厚さ方向に複数個重ね合せて作製した積層型で用いることができる。積層型で用いる場合、図3に示すように、隣接するアクチュエータの間に絶縁層を備えて積層させる態様、また、図4に示すように、隣接するアクチュエータの間にゲル層を備えて積層させる態様とすることができる。

なお、アクチュエータと電源やスイッチとの接続の態様は、特段制限されず、積層型の場合、例えば、図3に示すように、単位構造であるアクチュエータ毎に電源やスイッチを設けて接続する態様、また、図4に示すように、積層された単位構造であるアクチュエータの各々の電極に接続された導線を一つの電源やスイッチに接続させ、一つのスイッチのON-OFFで複数のゲルの変位を制御するような態様とができる。

上記の絶縁層の種類は、特段限定されず、例えば、シリコンの熱酸化膜(SiO<sub>2</sub>)、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、ZrO<sub>2</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等を用いることができる。また、絶縁層の厚さは、用途に応じて適宜選択することができるが、良好な絶縁性を保持しつつ小型化を可能とする観点から、通常10nm～10mmであり、好ましくは1μm～5mmである。

### 【0040】

アクチュエータ中のゲル層の重量は、アクチュエータの用途に応じて任意に選択できるが、特にゲル層を複数有するアクチュエータの変位長を確保する観点から、通常10重量%以上であり、好ましくは15重量%以上であり、より好ましくは18重量%以上であり、さらに好ましくは20重量%以上であり、特に好ましくは22重量%以上であり、また、好ましくは50重量%以下であり、より好ましくは45重量%以下であり、さらに好ましくは43重量%以下であり、特に好ましくは40重量%以下である。

アクチュエータ全体の厚さに対するゲル層の厚さの割合は、アクチュエータの用途に応じて任意に選択できるが、通常15～80%であり、20～75%であることが好ましく、25～70%であることがより好ましく、28～65%であることがさらに好ましい。上記の下限を下回ると、荷重を支えることができずにゲル層が無課電であってもメッシュに食い込んでしまって変位長が小さく傾向となりやすく、また、上記の上限を上回ると、メッシュとの接触確率が低下して変位する電圧の上昇を招くこととなりやすい。

### 【0041】

#### <4. アクチュエータの変位量の測定>

電圧印加時のアクチュエータの変位量の測定方法は、特段制限されるものではないが、例えば、一方の電極を直流電源装置（例えば、松定社製P4L650-0.1）の正極に接続し、もう一方の電極を同装置の負極に接続した後、直流で一定電圧を一定時間印加して保持し、電荷を除荷した後、白色干渉3D変位計（例えば、キーエンス社製WI-010）で電極の変位量を測定する方法が挙げられる。

アクチュエータにおいては、印加電圧に対するアクチュエータの変位量が大きいこと、特に、低い印加電圧（例えば、100～300V）でアクチュエータが大きく変位することが要求される。

### 【0042】

#### <5. アクチュエータの用途>

アクチュエータは、自動車部品や電子部品、食品、医薬品、医療機器、製紙、検査機器等の種々の分野で用いられる機械部品において、入力されたエネルギー又はコンピュータが出力した電気信号を物理的運動に変換する機械・電気回路を構成する機械要素として用いることができる。特に、ゲルを用いたアクチュエータに特有の優れた伸縮性から、人工筋肉として応用することができ、人の動作を補助することを目的とする福祉機器や介護機器等に用いることができる。

### 【実施例】

### 【0043】

以下に、実施例及び比較例を挙げて本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は、これらの実施例に限定されるものではない。

10

20

30

40

50

## 【0044】

&lt;実験I&gt;

## [実施例1]

50ccのねじ口サンプル管に、テトラヒドロフラン(富士フィルム和光純薬社製)24g、23(大気圧下)で液体である1,6-ジアセトキシヘキサン4.8g(東京化成社製)、ポリ塩化ビニル(アルドリッヂ社製)1.2gを加えて60のホップレートの上に置いて均一の溶液を得た。室温まで冷えたところで、これを直径75mmのテフロン製シャーレに14.2g移し、ポリカップをかぶせてドラフト内に60時間静置した後、テトラヒドロフランが蒸散して残っていないことを秤量により確認した後、ゲルをシャーレから剥がし取った。

当該ゲルを直径15.8mmに切り出し、直径20mmのステンレス製金属網(100メッシュ、電線径0.1mm、メッシュ厚み0.15mm)の上に置き、当該ゲルの上に直径10mm、厚み2mmの黄銅製金属板を置いた。次いで、金属網を直流電源装置(松定社製P4L650-0.1)の正極に接続し、金属板を同装置の負極に接続した。電源装置を使って直流100V、200V、300V、400V、500V、600Vと順番にそれぞれ6秒保持、除荷10秒し、金属板の移動距離を白色干渉3D変位計(キーエンス社製WI-010)を使用して測定した。その結果を表1に記載する。

なお、上記のポリ塩化ビニルの数平均分子量は、ゲル浸透クロマトグラフィーにより測定したポリスチレン換算で99,000であった。

## [比較例1]

1,6-ジアセトキシヘキサンをアジピン酸ジエチルに代えたこと以外は実施例1と同様の操作を行った。結果を表1に記載する。

## 【0045】

## 【表1】

表1.

	厚み mm	変位長			
		100V μm	200V μm	300V μm	600V μm
実施例1	0.5832	5	11	16	25
比較例1	0.4688	2	8	15	19

## 【0046】

表1から、実施例1のゲルの変位長が比較例1のゲルの変位量よりも大きいことがわかる。特に、600Vの高い電圧だけでなく、100Vや200Vの低い電圧でもその効果を確認することができる。

## 【0047】

&lt;実験II&gt;

## [実施例2]

1,6-ジアセトキシヘキサンを、23(大気圧下)で液体である1,4-ジアセトキシブタンに代えたこと以外は実施例1と同様の操作を行った。JIS K6251に準じた引張試験により、得られたゲルの破断弾性率、破断強度、破断伸度を得た。結果を表2に記載する。

## 【0048】

## [比較例2]

1,4-ジアセトキシブタンをコハク酸ジエチルに代えた以外は実施例1と同じようにゲルを作製し、実施例2と同様の引張試験を行った。結果を表2に記載する。

## 【0049】

10

20

30

40

50

## 【表2】

表2.

	厚み mm	引張弾性率 MPa	引張強度 MPa	破断伸度 %
実施例2	0.874	0.21	0.77	533
比較例2	0.74	0.26	0.77	380

## 【0050】

表2から、実施例2は、比較例2と比較して破断伸度が大きく、変位しても破断しにくいことが分かる。

## 【0051】

## &lt;実験III&gt;

上記の実施例2で得られたゲルを、示差熱熱重量同時測定装置（SII社製TGA6200）を用いて、空気下に保持したゲルを室温から550まで昇温速度毎分10で昇温させ、室温、50、100、150、200、及び250の時点におけるそれぞれのゲルの重量を測定し、重量保持率を $\{(\text{特定の温度におけるゲルの重量}) \times 100\} / (\text{室温におけるゲルの重量})$ の式で算出した。結果を表3に記載する。

## 【0052】

## [比較例3]

1,4-ジアセトキシブタンをコハク酸ジエチルに代えた以外実施例2と同じようにゲルを作製し、上記の実施例2を用いた操作と同様の操作を行い、重量保持率を算出した。結果を表3に記載する。

## 【0053】

## 【表3】

表3.

	重量保持率(%)				
	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C
実施例2	100	100	95	80	20
比較例3	100	90	50	35	28

表3から、実施例2は、比較例3と比較して、加熱による重量の減少が小さいため、加熱時の安定性が高いということが分かる。

## 【0054】

## &lt;実験IV&gt;

## [比較例4]

50ccのねじ口サンプル管に、テトラヒドロフラン（キシダ化学）24g、23（大気圧）で固体である1,10-ジアセトキシデカン3.2g（東京化成社製）、ポリ塩化ビニル（アルドリッヂ社製重量分子量99,000）0.8gを加えて60のホップレートの上に置いて均一の溶液を得た。これを直径75mmのテフロン製シャーレに14.2g移し、ポリカップをかぶせてドラフト内に60時間静置したところ、白色の弾性を有さない固体となり、当該固体をシャーレから一体として取り出すことができなかった。

## 【符号の説明】

## 【0055】

1 アクチュエータ

10 ゲル層

11 電極

10

20

30

40

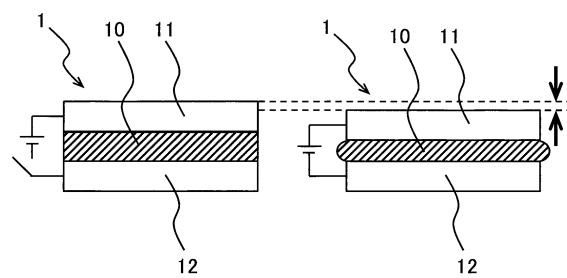
50

1 2 電極

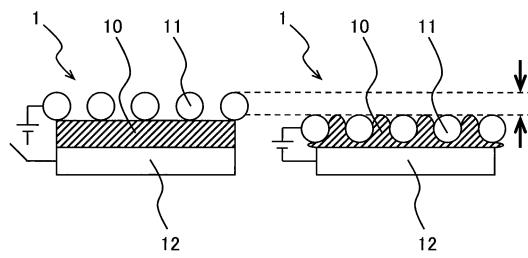
1 3 絶縁層

## 【図面】

## 【図 1】

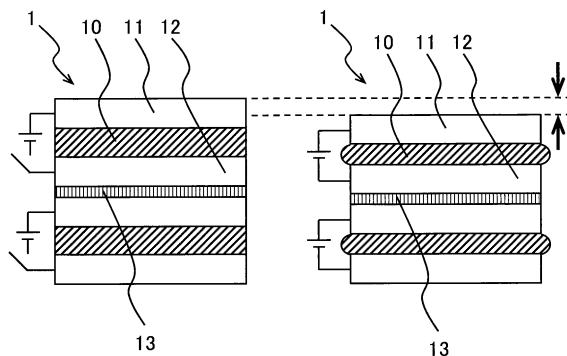


## 【図 2】



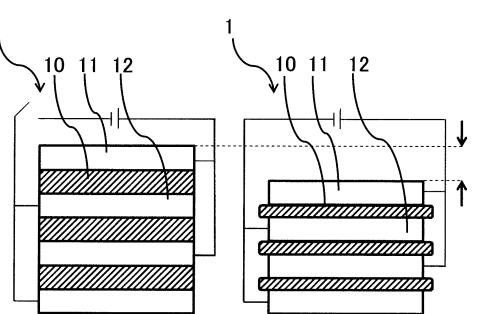
10

## 【図 3】



13

## 【図 4】



20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献      特開2013-192333 (JP, A)  
                  特開2008-133372 (JP, A)  
                  特開2018-154719 (JP, A)  
                  国際公開第2017/110479 (WO, A1)  
                  韓国登録特許第10-1664980 (KR, B1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
                  H02N 11/00