

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5487678号
(P5487678)

(45) 発行日 平成26年5月7日 (2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年3月7日 (2014.3.7)

(51) Int.Cl.

F I

HO 2 N 11/00 (2006.01)

HO 2 N 11/00 Z

B 8 1 B 3/00 (2006.01)

B 8 1 B 3/00

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2009-84104 (P2009-84104)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成21年3月31日 (2009.3.31)		ソニー株式会社
(65) 公開番号	特開2010-239732 (P2010-239732A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	平成22年10月21日 (2010.10.21)	(74) 代理人	100112874
審査請求日	平成24年2月29日 (2012.2.29)		弁理士 渡邊 薫
		(72) 発明者	永井 信之
			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	菅澤 昌之
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニーイ
			ーエムシーエス株式会社内
		(72) 発明者	村上 一臣
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニーイ
			ーエムシーエス株式会社内
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】

イオン伝導性高分子からなるイオン伝導性高分子層と、
該イオン伝導性高分子層の両面に設けられ、少なくともイオン伝導性高分子及び2種以上のカーボン粉末を含有する1対の電極層と、
前記イオン伝導性高分子層及び前記電極層に含有されるイオン液体と、を備え、
前記電極層は、より多くのイオンが集まるカーボン粉末が外側に存在し、内側よりも外側の方が電圧印加時の膨潤量が大きいアクチュエータ。

【請求項 2】

前記電極層は、内側に存在するカーボン粉末と、外側に存在するカーボン粉末の両方が混在する領域を有し、各カーボン粉末の比率が徐々に変化している請求項1に記載のアクチュエータ。

【請求項 3】

前記電極層の内側に存在するカーボン粉末は、外側に存在するカーボン粉末よりも比表面積が小さい請求項1又は2に記載のアクチュエータ。

【請求項 4】

前記電極層は、イオン伝導性高分子層から離れるに従い、存在するカーボン粉末の比表面積が大きくなる請求項3に記載のアクチュエータ。

【請求項 5】

前記電極層の内側に存在するカーボン粉末は、外側に存在するカーボン粉末よりも粒径

が大きい請求項 1 又は 2 に記載のアクチュエータ。

【請求項 6】

前記電極層は、イオン伝導性高分子層から離れるに従い、存在するカーボン粉末の粒径が小さくなる請求項 5 に記載のアクチュエータ。

【請求項 7】

各電極層上に金属導電層が設けられている請求項 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、高分子アクチュエータに関する。より詳しくは、印加電界に応じて湾曲又は変形する高分子アクチュエータに関する。

10

【背景技術】

【0002】

イオン伝導性高分子（イオン交換樹脂）を用いた高分子アクチュエータは、軽量で発生力が高いこと等から、新しいアクチュエータとして注目されている。一般に、高分子アクチュエータは、イオン伝導性高分子（イオン交換樹脂）膜に水等のイオン伝導媒体とイオンを含有させたイオン伝導性高分子層の両面に、電極層を設けた構成となっている。そして、この高分子アクチュエータでは、1 対の電極層間に電圧を印加することにより、イオン伝導性高分子層内でイオンの移動が生じ、これによりイオン伝導性高分子層が湾曲又は変形する。

20

【0003】

しかしながら、このような従来の高分子アクチュエータは、イオン伝導媒体が水であるため、水分が蒸発して乾燥すると動作しなくなるという問題がある。そこで、従来、イオン液体（イオン性液体）を使用した高分子アクチュエータが提案されている（例えば、特許文献 1～4 参照。）。イオン液体は、常温で液体の塩であり、不揮発性であることから、このイオン液体を使用することにより、信頼性を向上させることができる。

【0004】

更に、特許文献 1、2 に記載の高分子アクチュエータでは、イオン伝導性高分子中にカーボン粉末を分散させた組成物を、イオン伝導性高分子膜の両面に塗布することにより、電極層を形成している。このように、イオン伝導性高分子とカーボン粉末とで電極層を構成することで、生産性が向上すると共に、製造コストを低減することが可能となる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2007 - 143300 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 329334 号公報

【特許文献 3】特開 2008 - 86185 号公報

【特許文献 4】特開 2008 - 251697 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

しかしながら、前述した従来の技術には、以下に示す問題点がある。即ち、特許文献 1～4 に記載されているようなイオン液体を使用した従来の高分子アクチュエータは、水等のイオン伝導媒体が不要となるため、適用範囲を拡大することが可能であるが、その一方で、変形量が少なく、動作効率が低いという問題点がある。

【0007】

そこで、本発明は、高効率で変形量の大きい高分子アクチュエータを提供することを主目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

50

本発明に係るアクチュエータは、イオン伝導性高分子からなるイオン伝導性高分子層と、該イオン伝導性高分子層の両面に設けられ、少なくともイオン伝導性高分子及び２種以上のカーボン粉末を含有する１対の電極層と、前記イオン伝導性高分子層及び前記電極層に含有されるイオン液体と、を備え、前記電極層は、より多くのイオンが集まるカーボン粉末が外側に存在し、内側よりも外側の方が電圧印加時の膨潤量が大きいものである。

本発明においては、電極層をイオン伝導性高分子とカーボン粉末とで構成し、その内側（イオン伝導性高分子層側）と外側とで、カーボン粉末の種類を変えているため、内側と外側とで電圧印加時の膨潤量が異なる。このため、電極層間に電圧を印加し、電極層が膨潤した際に、内側と外側とで反発が生じず、より大きな変形量が得られる。

このアクチュエータにおける電極層は、内側に存在するカーボン粉末と、外側に存在するカーボン粉末の両方が混在する領域を有し、各カーボン粉末の比率が徐々に変化していてもよい。

また、例えば、前記電極層の内側に存在するカーボン粉末は、外側に存在するカーボン粉末よりも比表面積が小さくてもよい。

その場合、前記電極層は、イオン伝導性高分子層から離れるに従い、存在するカーボン粉末の比表面積が大きくなるようにすることもできる。

又は、例えば、前記電極層の内側に存在するカーボン粉末は、外側に存在するカーボン粉末よりも、粒径が大きくてもよい。

その場合、前記電極層は、イオン伝導性高分子層から離れるに従い、存在するカーボン粉末の粒径が小さくなるようにすることもできる。

更に、各電極層上に金属導電層を設けてもよい。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、電極層の内側と外側とで含まれるカーボン粉末の種類を変えているため、高効率で変形量の大きい高分子アクチュエータを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の第１の実施形態のアクチュエータの構成を模式的に示す断面図である。

【図２】（ａ）は電圧が印加されていない状態のアクチュエータ１を模式的に示す断面図であり、（ｂ）はその一方の電極層５ｂの状態を模式的に示す断面図である。

【図３】（ａ）は湾曲状態のアクチュエータ１を模式的に示す断面図であり、（ｂ）はその一方の電極層５ｂの状態を模式的に示す断面図である。

【図４】（ａ）～（ｃ）は図１に示すアクチュエータ１の動作を模式的に示す断面図であり、（ａ）は電圧を印加していない状態、（ｂ）は電圧印加によりイオンが移動している状態、（ｃ）は電圧印加によりイオンが移動し飽和した状態を示す。

【図５】（ａ）～（ｃ）は従来のアクチュエータの動作を模式的に示す断面図であり、（ａ）は電圧を印加していない状態、（ｂ）は電圧印加によりイオンが移動している状態、（ｃ）は電圧印加によりイオンが移動し飽和した状態を示す。

【図６】本発明の変形例に係るアクチュエータの構成を模式的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、本発明の実施の形態について、添付の図面を参照して詳細に説明する。なお、本発明は、以下に示す各実施形態に限定されるものではない。また、説明は、以下の順序で行う。

- １．第１の実施の形態（比表面積が異なるカーボン粉末を用いた例）
- ２．第２の実施の形態（粒径が異なるカーボン粉末を用いた例）
- ３．変形例（金属導電層を設けた例）

【００１２】

< 1 . 第 1 の実施の形態 >

[全体構成]

先ず、本発明の第 1 の実施形態に係るアクチュエータについて説明する。図 1 は本実施形態のアクチュエータの構成を模式的に示す断面図である。図 1 に示すように、本実施形態のアクチュエータ 1 は、イオン伝導性高分子層 2 を挟むように 1 対の電極層 5 a , 5 b が設けられている。これらイオン伝導性高分子層 2 及び電極層 5 a , 5 b は、その内部にイオン液体を、印加電界に応じて移動可能な状態で含有している。そして、各電極層 5 a , 5 b は、リード線（図示せず）等を介して外部電源（図示せず）に接続される。

【 0 0 1 3 】

[イオン伝導性高分子層 2]

イオン伝導性高分子層 2 は、高分子鎖間をイオンが伝搬することにより電気伝導性を示すイオン伝導性高分子からなるフィルム又は膜等で構成されている。このようなイオン伝導性高分子としては、例えばフッ素系又は炭化水素系のイオン交換樹脂等が挙げられる。イオン交換樹脂は、特定のイオンを選択的に通過させる特性を持つものであり、陰イオン（アニオン）交換樹脂、陽イオン（カチオン）交換樹脂及び両イオン交換樹脂がある。

【 0 0 1 4 】

本実施形態のアクチュエータ 1 においては、これらのイオン交換樹脂のいずれも使用することができるが、例えば、陽イオン交換樹脂を使用すると、電極層間に電圧を印加したときに、イオン液体中の陽イオンのみをより早く移動させることができる。このような陽イオン交換樹脂としては、ポリエチレン、ポリスチレン及びフッ素系樹脂等に、スルホ基（ $-SO_3H$ ）又はカルボキシル基（ $-COOH$ ）等の官能基が導入されたものが挙げられるが、特に、フッ素系樹脂にこれらの官能基が導入されたものが好適である。

【 0 0 1 5 】

なお、イオン伝導性高分子層 2 の形状は、シート状に限定されるものではなく、例えば、短冊形状、円盤形状、円柱状及び円筒状等の任意の形状を選択することができる。また、イオン伝導性高分子層 2 の厚さも特に限定されるものではなく、アクチュエータ 1 の形状及び大きさ等に応じて適宜設定することができるが、例えば短冊形状の場合は、その厚さを $30 \sim 200 \mu m$ とすることが望ましい。

【 0 0 1 6 】

[電極層 5 a , 5 b]

電極層 5 a , 5 b は、主としてイオン伝導性高分子と比表面積が異なる 2 種以上のカーボン粉末とで構成されており、その内側と外側とで含まれるカーボン粉末の比表面積が異なっている。カーボン粉末は、比表面積が大きくなるに従い、その周囲に集まるイオンの数が多くなるため、比表面積が大きなカーボン粉末が存在している部分は、膨潤量も大きくなる。そこで、内側に比表面積が小さいカーボン粉末を存在させ、外側に比表面積が大きいカーボン粉末を存在させることにより、電極層 5 a , 5 b の外側の膨潤量をより大きくすることができる。これにより、電極層 5 a , 5 b の内側の膨潤による反発を抑制し、効率よく大きな変形量を得ることができる。

【 0 0 1 7 】

このとき、電極層 5 a , 5 b の内側に存在するカーボン粉末の比表面積が、外側に存在するカーボン粉末の比表面積よりも少しでも小さければ、上述した効果が得られる。ただし、アクチュエータ 1 が湾曲したときの形状と、電極層 5 a , 5 b の内側と外側の膨潤率の差が一致したときが、最適な条件となる。この条件は、アクチュエータ 1 の全体が均一に湾曲した状態から、導くことができる。

【 0 0 1 8 】

図 2 (a) は電圧が印加されていない状態のアクチュエータ 1 を模式的に示す断面図であり、図 2 (b) はその一方の電極層 5 b の状態を模式的に示す断面図である。また、図 3 (a) は湾曲状態のアクチュエータ 1 を模式的に示す断面図であり、図 3 (b) はその一方の電極層 5 b の状態を模式的に示す断面図である。図 2 (a) 及び図 3 (a) に示すように、全体の厚さが $D (mm)$ 、長さが $L (mm)$ で、電極層 5 a , 5 b の厚さが DE

10

20

30

40

50

(mm)であるアクチュエータ1の最大湾曲量を角度 (°)とすると、その中心を円弧とする円の半径R (mm)は、下記数式1で表すことができる。

【0019】

【数1】

$$R = \frac{1}{2\pi} \times \frac{360}{\theta} \times L$$

【0020】

また、図2(b)及び図3(b)に示すように、電極層5a, 5bが、比表面積が異なるn (nは1以上の自然数。)種のカーボン粉末で形成され、カーボン粉末の種類ごとにn層に分けられる場合、各層の膨潤はそれらの中心部の伸び率と比例する。ここで、アクチュエータ1が湾曲したときの内側からi番目の層の中心部の長さL_iは、下記数式2で表される。

10

【0021】

【数2】

$$L_i = \left\{ R + \frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2i-1}{2n} \times DE \right\} \times 2\pi \times \frac{\theta}{360}$$

20

【0022】

そして、内側からi番目の層の伸び量X_iは、アクチュエータ1の中心部の長さLと、i番目の層の中心部の長さL_iとの差であるから、下記数式3で表される。

【0023】

【数3】

$$X_i = \left\{ R + \frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2i-1}{2n} \times DE \right\} \times 2\pi \times \frac{\theta}{360} - L$$

30

$$= \left\{ \frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2i-1}{2n} \times DE \right\} \times 2\pi \times \frac{\theta}{360}$$

【0024】

更に、i番目の層と最外層(n番目の層)との伸び率の比A_iは、下記数式4で表される。

【0025】

40

【数 4】

$$A_i = \frac{\left\{ \frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2i-1}{2n} \times DE \right\} \times 2\pi \times \frac{\theta}{360}}{\left\{ \frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2n-1}{2n} \times DE \right\} \times 2\pi \times \frac{\theta}{360}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2i-1}{2n} \times DE}{\frac{1}{2}(D - 2DE) + \frac{2n-1}{2n} \times DE} = \frac{D - 2DE + \frac{2i-1}{n} \times DE}{D - \frac{DE}{n}} \quad 10$$

【0026】

よって、電極層 5 a , 5 b の最外層に存在するカーボン粉末の比表面積が S (m^2 / g) のとき、内側から i 番目の層のカーボン粉末の比表面積 S_i は、下記数式 5 で表すことができる。なお、ここでいう比表面積は、BET 法 (窒素ガス吸着) により測定した値である。

【0027】

20

【数 5】

$$S_i = A_i \times S$$

【0028】

例えば、アクチュエータ 1 の厚さ D が $100 \mu\text{m}$ 、電極層 5 a , 5 b の厚さが $3 \mu\text{m}$ 、電極層 5 a , 5 b の分割数 (カーボン粉末の種類) n が 3 で、最外層に含まれるカーボン粉末の比表面積が $500 \text{m}^2 / \text{g}$ である場合、最内層に含まれるカーボン粉末の比表面積は約 $280 \text{m}^2 / \text{g}$ 、中間層に含まれるカーボン粉末の比表面積は約 $390 \text{m}^2 / \text{g}$ となる。なお、これらは理想的な場合での条件であり、この条件から外れても、電極層 5 a , 5 b の内側に存在するカーボン粉末の比表面積が、外側に存在するカーボン粉末の比表面積よりも小さければ、本発明の効果は得られる。

30

【0029】

また、本実施形態のアクチュエータ 1 における電極層 5 a , 5 b は、内側に存在するカーボン粉末と、外側に存在するカーボン粉末の両方が混在する領域を有し、各カーボン粉末の比率が徐々に変化していることが望ましい。具体的には、イオン伝導性高分子層 2 から離れるに従い、即ち内側から外側に向かって、存在するカーボン粉末の比表面積が大きくなることが望ましい。このような傾斜分布を設けることにより、各層間での膨張量の差を小さくすることができるため、アクチュエータ内での歪みが小さくなり、動作効率が向上する。

40

【0030】

一方、電極層 5 a , 5 b を構成するイオン伝導性高分子には、前述したイオン伝導性高分子膜と同じものを使用することができるが、それ以外にもフッ素系又は炭化水素系等の各種イオン交換樹脂を使用することができる。

【0031】

なお、電極層 5 a , 5 b の厚さ及び形状は、前述したイオン伝導性高分子層 2 の形状及び大きさ等に応じて適宜設定することができる。例えば、イオン伝導性高分子層 2 の厚さが $50 \mu\text{m}$ である場合は、電極層 5 a , 5 b の厚さは $10 \sim 100 \mu\text{m}$ とすることができる。

50

【 0 0 3 2 】

[イオン液体]

イオン液体（イオン性液体）は、イオン（アニオン，カチオン）のみから構成される塩であり、常温（室温）熔融塩とも言われ、不燃性・不揮発性・高イオン伝導性・高耐熱性等の性質を示す。このようなイオン液体としては、例えばイミダゾリウム系イオン液体、ピリジウム系イオン液体及び脂肪族系イオン液体等がある。本実施形態のアクチュエータ 1 においては、このイオン液体をイオン伝導性高分子層 2 及び電極層 5 a , 5 b に含有させているため、水等のイオン伝導媒体が不要となる。その結果、封止等の揮発防止処理が不要となると共に、アクチュエータ 1 の適用範囲を広げることができる。

【 0 0 3 3 】

[製造方法]

前述した構成のアクチュエータ 1 は、例えば、以下に示す方法により製造することができる。先ず、比表面積が異なる 2 種以上のカーボン粉末を用意し、それぞれイオン伝導性高分子と共に溶媒に分散して塗料化し、カーボン粉末の種類（比表面積）が異なる複数の塗料を調整する。その際使用する溶媒としては、イオン伝導性高分子が溶解可能で、かつ揮発性があるものであればよい。また、分散溶媒は、複数の溶媒を混合して使用してもよく、更に、分散後に、必要に応じて、エタノール等で希釈して使用することもできる。

【 0 0 3 4 】

また、イオン伝導性高分子とカーボン粉末の配合比は、質量比で、イオン伝導性高分子：カーボン粉末 = 1 : 1 ~ 1 : 1 0 とすることができるが、この範囲に限定されるものではなく、イオン伝導性高分子やカーボン粉末の種類等に応じて適宜設定することができる。

【 0 0 3 5 】

次に、各塗料を、イオン伝導性高分子層 2 を構成するイオン伝導性高分子膜又はイオン伝導性高分子フィルムの両面に塗布した後、溶媒を除去し、所定厚さの電極層 5 a , 5 b を形成する。具体的には、一のカーボン粉末を含む塗料を塗布し、乾燥した後、他のカーボン粉末を含む塗料を塗布する。塗布の方法は、特に限定されるものではなく、ロールコート法、スプレーコート法、ディッピング法及びスクリーン印刷等の公知の方法を適用することができる。

【 0 0 3 6 】

なお、電極層の形成方法は、異なる種類のカーボン粉末を含有する塗料を塗布する方法に限定されるものではなく、各種方法を適用することができる。例えば、イオン伝導性高分子及びカーボン粉末からなり、含有するカーボン粉末の種類が異なる複数種のシート（フィルム・膜）を作製し、これらを所定の順番で積層し、熱圧着等により一体化することにより、電極層を形成することもできる。

【 0 0 3 7 】

また、その際、比表面積が小さいカーボン粉末を含む塗料を塗布した後、比表面積が大きいカーボン粉末を含む塗料を塗布することが望ましい。更に、カーボン粉末の比表面積が異なる 3 種以上の塗料を使用する場合は、含有するカーボン粉末の比表面積が小さいものから順に塗布することが望ましい。これにより、電極層 5 a , 5 b 内に、その内側から外側に向かって、存在するカーボン粉末の比表面積が大きくなる傾斜分布を形成することができる。

【 0 0 3 8 】

その後、イオン伝導高分子層 2 及び電極層 5 a , 5 b に、イオン液体を含有させる。具体的には、イオン伝導高分子層 2 の両面に電極層 5 a , 5 b を形成したものを、イオン液体中に浸漬して、その内部にイオン液体を含浸させる。

【 0 0 3 9 】

[動作]

次に、本実施形態のアクチュエータ 1 の動作について、イオン伝導性高分子層 2 及び電極層 5 a , 5 b を構成するイオン伝導性高分子に、陽イオン（カチオン）交換樹脂を使用

10

20

30

40

50

した場合を例にして説明する。図4(a)~(c)は図1に示すアクチュエータ1の動作を模式的に示す断面図であり、図4(a)は電圧を印加していない状態、図4(b)は電圧印加によりイオンが移動している状態、図4(c)は電圧印加によりイオンが移動し飽和した状態を示す。また、図5(a)~(c)は従来のアクチュエータの動作を模式的に示す断面図であり、図5(a)は電圧を印加していない状態、図5(b)は電圧印加によりイオンが移動している状態、図5(c)は電圧印加によりイオンが移動し飽和した状態を示す。

【0040】

図4(a)に示すように、本実施形態のアクチュエータ1は、電圧が印加されていないときは、その内部にイオンが均一に分布し、真っ直ぐな状態になっている。なお、図4(a)においては、陽(+)イオンのみ示しているが、陰(-)イオンも同様にアクチュエータ1内に均一に分布している。

【0041】

一方、外部電源(図示せず)により、各電極層5a, 5b間に電圧を印加すると、マイナス電極側に陽イオンが移動し、プラス電極側に陰イオンが移動する。例えば、図4(b)に示すように、電極層5aにプラスの電位、電極層5bにマイナスの電位を印加すると、電極層5aに陰イオン(図示せず)が集まり、電極層5bに陽イオンが集まる。このとき、陽イオン(カチオン)交換樹脂内では、陰イオンは移動しにくいいため、主に陽イオンが移動することとなる。そして、この陽イオンの偏在による濃度差により、電極層5a, 5bに体積差が生じ、アクチュエータ1全体が湾曲(変形する)する。即ち、陽イオンが増加した電極層5bは膨潤し、陽イオンが減少した電極層5aは収縮する。

【0042】

なお、イオン伝導性高分子層2及び電極層5a, 5bを構成するイオン伝導性高分子に、陰イオン(アニオン)交換樹脂を使用した場合や、電極層5a, 5b間に印加する電圧の極性を逆にした場合は、アクチュエータ1の湾曲方向は逆になる。また、このアクチュエータ1では、DC電圧の極性を切り替えることで、湾曲方向を容易に制御することができる。更に、図4(b)では、陽イオンの全てが電極層5bに移動しているが、本発明はこれに限定されるものではなく、電極層5aに陽イオンが残留していてもよい。

【0043】

ここで、図5(a)~(c)に示すように、電極層105a, 105bの内側と外側とでカーボン粉末の種類を変えていない従来のアクチュエータ100では、電圧を印加したときに、電極層105a, 105bの内側と外側とで膨潤量が同等となる。このため、電極層105a, 105bの厚さが厚いと、その外側が膨潤して湾曲(変形)しても、内側の膨潤による力によって押し戻され、結果的にアクチュエータ100全体の湾曲量(変形量)が小さくなってしまう。

【0044】

これに対して、本実施形態のアクチュエータ1では、内側電極層3a, 3bと外側電極層4a, 4bとでカーボン粉末の比表面積を変えているため、内側電極層3a, 3bの押し戻しを抑制することができる。具体的には、図4(c)に示すように、比表面積が大きいカーボン粉末を含む外側電極層4a, 4bでは、カーボン粉末の周囲に電気二重層を形成し、より多くのイオンが集まるため、膨潤量が大きくなる。一方、比表面積が小さいカーボン粉末を含む内側電極層3a, 3bでは、外側電極層4a, 4bよりも集まるイオンの量が少なく、その分膨潤量も少なくなる。これにより、内側電極層3a, 3bの膨潤に起因する反発力を低減することができる。

【0045】

このように、本実施形態のアクチュエータ1では、電極層5a, 5bの内側と外側とで含有されるカーボン粉末の比表面積が異なるため、電極層5a, 5bの内側と外側とで電圧印加時の膨潤量を変えることができる。このため、例えば、内側電極層3a, 3bに配合するカーボン粉末を、外側電極層4a, 4bに配合するカーボン粉末よりも、比表面積が小さいものにするにより、内側電極層3a, 3bの膨潤量を小さくすることができ

10

20

30

40

50

る。その結果、電圧印加時に生じる反発力が低減するため、変形効率が向上し、変形量を増加させることができる。

【 0 0 4 6 】

< 2 . 第 2 の実施の形態 >

[全体構成]

次に、本発明の第 2 の実施形態に係るアクチュエータについて説明する。前述した第 1 の実施形態では、比表面積が異なる 2 種以上のカーボン粉末を使用したアクチュエータを例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、粒径が異なる 2 種以上のカーボン粉末を使用することもできる。具体的には、本実施形態のアクチュエータでは、イオン伝導性高分子層を挟むように 1 対の電極層が設けられており、各電極層は、主としてイオン伝導性高分子と粒径が異なる 2 種以上のカーボン粉末とで構成されている。

10

【 0 0 4 7 】

[電極層]

本実施形態のアクチュエータにおける電極層は、その内側と外側とで含まれるカーボン粉末の粒径が異なっている。なお、ここでいう粒径とは、動的光散乱法 (F F T パワースペクトル法) による粒度分布や、S E M (Scanning Electron Microscope : 走査型電子顕微鏡) 写真上で計測した粒子の外径の平均値である。カーボン粉末は、粒径が小さくなるに従い、単位体積あたりの比表面積が大きくなるため、その周囲に集まるイオンの数が多くなる。即ち、粒径が小さいカーボン粉末を含む層ほど、膨潤量が大きくなる。そこで、内側に粒径が大きいカーボン粉末を存在させ、外側に粒径が小さいカーボン粉末を存在させることにより、電極層の内側の膨潤量を抑え、外側の膨潤量をより大きくすることができる。その結果、電極層の内側の膨潤による反発を抑制し、効率よく大きな変形量を得ることができる。

20

【 0 0 4 8 】

このとき、電極層の外側に存在するカーボン粉末の粒径が、内側に存在するカーボン粉末の粒径よりも少しでも小さければ、上述した効果は得られるが、最内層と最外層とで粒径に 2 ~ 1 0 倍程度の差があることが好ましい。更に、カーボン粉末の比表面積が、上記数式 5 に示す条件を満たすことがより好ましい。これにより、反発力抑制の効果をより高めることができる。

【 0 0 4 9 】

30

なお、カーボン粉末の種類は変えず、電極層の内側と外側とでカーボン粉末の含有量を変えることにより、具体的には、内側のカーボン粉末含有量を少なくすることにより、同様の効果を得ることは可能である。しかしながら、その場合、カーボン粉末含有量が少なくなるため、電極層の抵抗値が上昇し、アクチュエータの特性が劣化する虞がある。

【 0 0 5 0 】

また、本実施形態のアクチュエータでは、前述した第 1 の実施形態のアクチュエータと同様に、小径のカーボン粉末と、大径のカーボン粉末の両方が混在する領域を有し、各カーボン粉末の比率が徐々に変化していることが望ましい。具体的には、イオン伝導性高分子層から離れるに従い、即ち内側から外側に向かって、存在するカーボン粉末の粒径が小さくなることが望ましい。このような傾斜分布を設けることにより、各層間での膨張量の差が低減し、アクチュエータ内での歪みが小さくなるため、動作効率を向上することができる。

40

【 0 0 5 1 】

このように、本実施形態のアクチュエータでは、電極層の内側と外側とで含有されるカーボン粉末の粒径が異なるため、電極層の内側と外側とで電圧印加時の膨潤量に差をつけることができる。このため、例えば、内側電極層に配合するカーボン粉末を、外側電極層に配合するカーボン粉末よりも、粒径が大きいものにする事により、内側電極層の膨潤量を小さくすることができる。その結果、電圧印加時に生じる反発力が低減するため、変形効率が向上し、変形量を増加させることができる。

【 0 0 5 2 】

50

なお、本実施形態のアクチュエータにおける上記以外の構成、動作及び効果は、前述した第1の実施形態のアクチュエータと同様である。

【0053】

< 3. 変形例 >

次に、前述した第1及び第2の実施形態の変形例に係るアクチュエータについて説明する。図6は本変形例のアクチュエータの構成を模式的に示す断面図である。なお、図6においては、図1に示すアクチュエータ1の構成要素と同じものには、同じ符号を付し、その詳細な説明は省略する。図6に示すように、本変形例のアクチュエータ10は、イオン伝導性高分子層2を挟むように1対の電極層5a, 5bが設けられており、更に各電極層5a, 5b上には、金属導電層6a, 6bが形成されている。このアクチュエータ10では、金属導電層6a, 6bにリード線（図示せず）が接合され、電極層5a, 5bは、金属導電層6a, 6b及びリード線等を介して外部電源（図示せず）に接続される。

10

【0054】

[金属導電層6a, 6b]

金属導電層6a, 6bは、金又は白金等の導電性に優れ、酸化しにくい金属材料で形成することができる。また、その厚さは、特に限定されるものではないが、リード線からの電圧が電極層5a, 5bに均等に印加されるように、連続した膜となる程度の厚さであることが望ましい。また、その形成方法も特に限定されるものではなく、めっき法、蒸着法及びスパッタ法等公知の製膜方法を適用することができる。

【0055】

本変形例のアクチュエータ10では、電極層5a, 5b上に金属導電層6a, 6bを設けているため、表面抵抗が十分に低くなり、アクチュエータ全体に均一に電圧が印加されることとなる。これにより、アクチュエータ全体を均一に変形させることができる。

20

【0056】

なお、本変形例では、図1に示す第1の実施形態のアクチュエータ1に、金属導電層6a, 6bを設けた場合を例に説明しているが、当然ながら、前述した第2の実施形態のアクチュエータに適用した場合でも、同様の効果が得られる。また、本変形例のアクチュエータ10における上記以外の構成、動作及び効果は、前述した第1及び第2の実施形態のアクチュエータと同様である。

【実施例】

30

【0057】

以下、本発明の実施例により、本発明の効果について具体的に説明する。先ず、本発明の実施例として、図1に示すアクチュエータ1を作製した。その際、イオン伝導性高分子層2を構成するイオン伝導性フィルムには、デュボン社製、イオン伝導性フィルム Nafion（登録商標） NRE-212（厚さ：50 μm ，官能基：スルホ基）を使用した。また、電極層5a, 5bを構成するイオン伝導性高分子には、デュボン社製 イオン交換樹脂 Nafion（登録商標）の分散液（DE2020，官能基：スルホ基）を使用し、カーボン粉末は比表面積が800 m^2/g のもの（カーボン粉末A）と1200 m^2/g のもの（カーボン粉末B）を使用した。

【0058】

40

そして、イオン伝導性高分子と各カーボン粉末とを、質量比で、1：1となるように調合し、更に、固形分濃度が5質量%となるように、エタノールを添加して希釈した。その後、この組成物を、アジター（往復型シェイカー）で8時間分散し、カーボン粉末の比表面積が異なる2種類の塗料を作製した。

【0059】

次に、比表面積が小さいカーボン粉末Aを含む塗料を、スプレーコーターにより、イオン伝導性フィルムの両面に塗布し、乾燥させた後、ホットプレスにより熱処理を行った。この工程を繰り返し、厚さ25 μm の内側電極層3a, 3bを形成した。その後、同様の方法で、内側電極層3a, 3b上に、比表面積が大きいカーボン粉末Bを含む塗料を塗布し、乾燥及び熱処理を行い、厚さ25 μm の外側電極層4a, 4bを形成した。そして、

50

このイオン伝導性フィルムの両面に電極層を形成したものを、イミダゾリウム系イオン液体中に浸漬し、その内部にイオン液体を含浸させて、実施例のアクチュエータとした。

【 0 0 6 0 】

また、本発明の比較例として、図 5 に示す従来のアクチュエータ 1 0 0 を作製した。その際、電極層 1 0 5 a , 1 0 5 b に含有するカーボン粉末を、比表面積が $800 \text{ m}^2 / \text{g}$ のもののみにした以外は、前述した実施例のアクチュエータと同様にした。

【 0 0 6 1 】

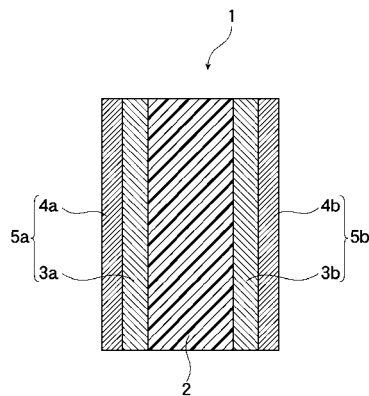
次に、前述した方法で作製した実施例及び比較例のアクチュエータの各電極層 5 a , 5 b , 1 0 5 a , 1 0 5 b にリード線を接続し、その特性を確認した。具体的には、アクチュエータの一端を固定し、1 対の電極層それぞれに印加するプラス又はマイナスの電位を 0 . 1 H z の周期で切り替えながら、電極層間に 2 V の電圧を印加し、固定した根元から 1 5 m m 離れた位置の変形量をレーザー変位計で測定した。また、各電極層へのプラス又はマイナス電位の印加切り替えを 1 H z として、同様に変形量を測定した。その結果、本実施例のアクチュエータは、比較例のアクチュエータに比べて、高効率で、変形量が大きいことが確認された。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 2 】

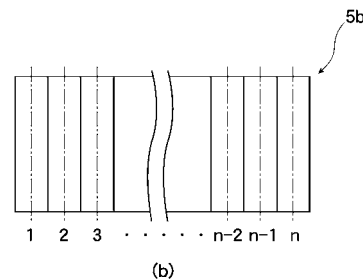
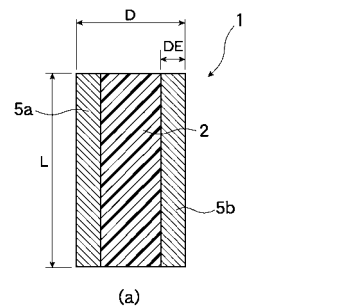
- 1、1 0、1 0 0 アクチュエータ
- 2、1 2 イオン伝導性高分子層
- 3 a、3 b 内側電極層
- 4 a、4 b 外側電極層
- 5 a、5 b、1 0 5 a、1 0 5 b 電極層
- 6 a、6 b 金属導電層

【 図 1 】



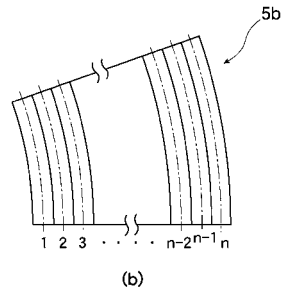
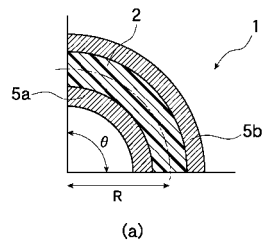
1 : アクチュエータ
2 : イオン伝導性高分子層
3a, 3b : 内側電極層
4a, 4b : 外側電極層
5a, 5b : 電極層

【 図 2 】



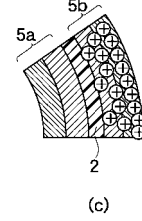
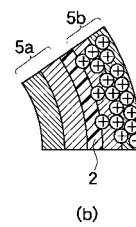
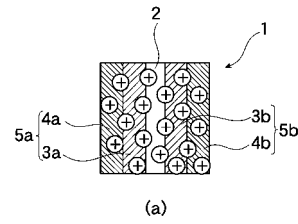
1 : アクチュエータ
2 : イオン伝導性高分子層
5a, 5b : 電極層

【図 3】



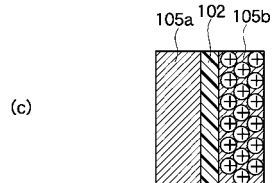
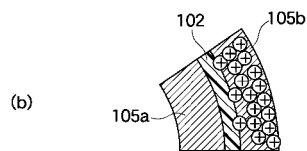
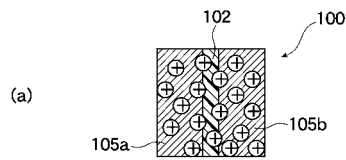
1 : アクチュエータ
2 : イオン伝導性高分子層
5a, 5b : 電極層

【図 4】



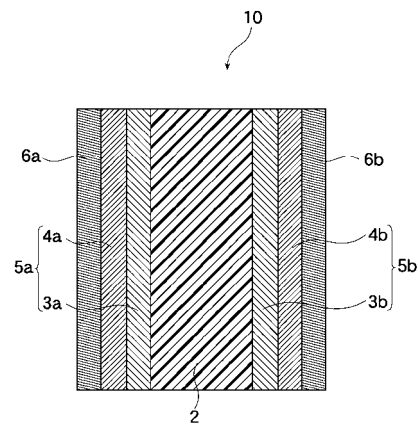
1 : アクチュエータ
2 : イオン伝導性高分子層
3a, 3b : 内側電極層
4a, 4b : 外側電極層
5a, 5b : 電極層

【図 5】



100 : アクチュエータ
102 : イオン伝導性高分子層
105a, 105b : 電極層

【図 6】



2 : イオン伝導性高分子層
3a, 3b : 内側電極層
4a, 4b : 外側電極層
5a, 5b : 電極層
6a, 6b : 金属導電層
10 : アクチュエータ

フロントページの続き

審査官 服部 俊樹

(56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 0 5 9 8 5 6 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 4 3 3 0 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 N 1 1 / 0 0
B 8 1 B 3 / 0 0