

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-59042

(P2018-59042A)

(43) 公開日 平成30年4月12日 (2018.4.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C08F 220/10 (2006.01)	C08F 220/10	4J002
C08L 83/08 (2006.01)	C08L 83/08	4J100
C08L 33/14 (2006.01)	C08L 33/14	4J246
C08G 77/04 (2006.01)	C08G 77/04	5G305
H01B 3/28 (2006.01)	H01B 3/28	
審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 34 頁)		

(21) 出願番号 特願2017-49455 (P2017-49455)
 (22) 出願日 平成29年3月15日 (2017.3.15)
 (31) 優先権主張番号 特願2016-189662 (P2016-189662)
 (32) 優先日 平成28年9月28日 (2016.9.28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(出願人による申告) 平成25年度独立行政法人科学技術振興機構 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム 産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000219602
住友理工株式会社
愛知県小牧市東三丁目1番地
 (71) 出願人 504145342
国立大学法人九州大学
福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号
 (74) 代理人 100115657
弁理士 進藤 素子
 (74) 代理人 100115646
弁理士 東口 倫昭
 (72) 発明者 ▲高▼垣 有作
愛知県小牧市東三丁目1番地 住友理工株式会社内

最終頁に続く

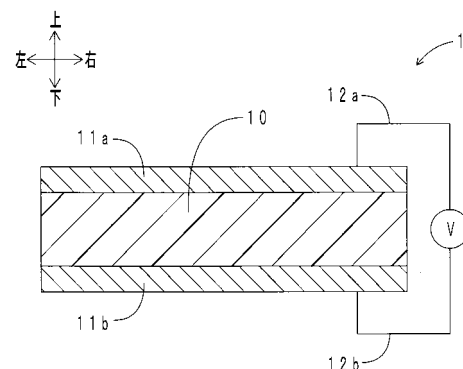
(54) 【発明の名称】 誘電エラストマー材料およびそれを用いたトランスデューサ

(57) 【要約】

【課題】 比誘電率が大きく、柔軟な誘電エラストマー材料を提供する。当該誘電エラストマー材料を用いて柔軟なトランスデューサを提供する。

【解決手段】 誘電エラストマー材料は、モノマーAと、架橋可能な官能基を有するモノマーCと、の少なくとも一方と、極性基を有するモノマーBと、がランダムまたは交互に共重合された構造を有する共重合体を含む。該共重合体中、該モノマーBからなる構成単位において、該極性基は直鎖状に繋がる3つ以上の原子を介してポリマー主鎖に結合されている。トランスデューサ1は、誘電エラストマー材料からなる誘電層10と、誘電層10を介して配置される複数の電極11a、11bと、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

モノマー A と、架橋可能な官能基を有するモノマー C と、の少なくとも一方と、極性基を有するモノマー B と、がランダムまたは交互に共重合された構造を有する共重合体を含み、

該共重合体中、該モノマー B からなる構成単位において、該極性基は直鎖状に繋がる 3 つ以上の原子を介してポリマー主鎖に結合されていることを特徴とする誘電エラストマー材料。

【請求項 2】

前記極性基の含有量は、前記共重合体の全体を 100 質量%とした場合の 10 質量%以上 25 質量%以下である請求項 1 に記載の誘電エラストマー材料。

10

【請求項 3】

前記モノマー B の含有量は、前記共重合体の全体を 100 mol%とした場合の 50 mol%以上 98 mol%以下である請求項 1 または請求項 2 に記載の誘電エラストマー材料。

【請求項 4】

前記極性基と前記ポリマー主鎖との間に介在する前記原子は、炭素、酸素、窒素、硫黄から選ばれる一種以上である請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

【請求項 5】

前記極性基は、シアノ基、エーテル基、エステル基、フッ素基、トリフルオロメチル基、カーボネート基から選ばれる一種以上である請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

20

【請求項 6】

前記共重合体の重量平均分子量は、1 万以上 500 万以下である請求項 1 ないし請求項 5 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

【請求項 7】

前記共重合体のガラス転移点は、0℃以下である請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

【請求項 8】

前記モノマー C の前記官能基は、ヒドロキシ基、アミノ基、チオール基、カルボキシル基、シラノール基、エポキシ基、ビニル基から選ばれる一種以上である請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

30

【請求項 9】

前記モノマー A は、(メタ)アクリレートモノマー、シリコンモノマー、ウレタンモノマーから選ばれる一種以上である請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

【請求項 10】

さらに、絶縁フィラーを含む請求項 1 ないし請求項 9 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

40

【請求項 11】

前記共重合体は、架橋構造を有する請求項 1 ないし請求項 10 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料。

【請求項 12】

請求項 1 ないし請求項 11 のいずれかに記載の誘電エラストマー材料からなる誘電層と、該誘電層を介して配置される複数の電極と、を備えることを特徴とするトランスデューサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、トランスデューサの誘電層などに好適な誘電エラストマー材料に関する。

【背景技術】

【0002】

トランスデューサとしては、機械エネルギーと電気エネルギーとの変換を行うアクチュエータ、センサ、発電素子など、あるいは音響エネルギーと電気エネルギーとの変換を行うスピーカ、マイクロフォンなどが知られている。柔軟性が高く、小型で軽量のトランスデューサを構成するためには、誘電エラストマーなどの高分子材料が有用である。

【0003】

例えば、誘電エラストマーからなる誘電層の厚さ方向両面に一对の電極を配置して、電歪型アクチュエータを構成することができる。この種のアクチュエータは、電極間に印加する電圧の大小により誘電層を伸長、収縮させることにより、駆動対象部材を駆動する。アクチュエータの発生力および変位量は、印加電圧の大きさと、電極間に生じる静電引力の大きさと、により決定される。すなわち、大きな電圧を印加することができ、かつ、電極間に生じる静電引力が大きいほど、アクチュエータの発生力および変位量は大きくなる。

10

【0004】

同様に、誘電エラストマーからなる誘電層の厚さ方向両面に一对の電極を配置して、センサおよび発電素子を構成することができる。センサおよび発電素子においては、誘電層が伸長、収縮することにより、起電力が生じる。起電力の発生量は、電極間距離の変位量と、誘電層の比誘電率と、に比例する。すなわち、電極間距離の変位量が大きく、誘電層の比誘電率が大きいほど、起電力は大きくなる。

20

【0005】

例えば、シリコーンゴムは、耐絶縁破壊性に優れるが比誘電率が小さい。このため、シリコーンゴムから誘電層を形成した場合には、印加電圧に対する静電引力が小さく、アクチュエータにおいて所望の発生力および変位量を得ることは難しい。また、センサおよび発電素子においても所望の起電力を得ることが難しい。一方、アクリルゴムやニトリルゴムの場合、シリコーンゴムと比較して比誘電率は大きいはまだ充分とはいえない。このため、母材となるエラストマーに極性基を導入したり、比誘電率が大きい粒子を分散したりして、誘電層の比誘電率を向上させる試みがなされている。

【0006】

30

例えば、特許文献1には、シリコーンゴムなどの側鎖に極性基を導入した電歪ポリマーからなる伸縮性薄膜と伸縮性電極とを含む人工筋肉が記載されている。特許文献2には、(メタ)アクリル酸エステル、(メタ)アクリル酸、イオン液体、およびアクリロニトリルの共重合体を架橋したポリマー材料が記載されている。特許文献3には、メタクリル酸メチルの重合体ブロック(B1)と、アクリル酸アルキルエステルの重合体ブロック(B2)と、を有するブロック共重合体(A)からなる高分子アクチュエータ用誘電体が記載されている。特許文献3の段落[0040]には、比誘電率を向上させることを目的として、重合体ブロック(B1)、(B2)が極性基を有するモノマーを副成分として含む形態が記載されている。特許文献4には、極性化合物がグラフト結合されているエラストマー製の誘電膜が記載されている。特許文献5には、シアノ基を有するナノ粒子が分散されているエラストマー製の誘電膜が記載されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2008-199784号公報

【特許文献2】特開2015-67662号公報

【特許文献3】国際公開2009/025187号

【特許文献4】特開2011-072112号公報

【特許文献5】特開2015-187931号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

エラストマーに極性基が導入されると、エラストマーの極性は高くなり比誘電率は大きくなる。この場合、次式 (i) により、電圧印加時に得られる発生力は大きくなる。このため従来は、誘電層の比誘電率を大きくするために、いかに極性基を多く含有させるかという観点で検討がなされてきた。

$$F = \varepsilon_0 \varepsilon_r \times (V/d)^2 \quad \dots (i)$$

[F：発生力、 ε_0 ：真空の誘電率、 ε_r ：誘電層の比誘電率、V：印加電圧、d：誘電層の厚さ]

しかしながら、本発明者が鋭意研究を重ねたところ、単にエラストマー中の極性基量を増加させても、弾性率が大きくなるだけで比誘電率の向上効果を充分には得られないという知見を得た。この理由は、極性基量が増えると、極性基同士あるいは極性基とポリマー鎖とが干渉したり、極性基同士が相互作用により凝集化するためと考えられる。例えば、アクリロニトリルは、極性基（シアノ基：-CN）を有している。しかし、これを重合したポリアクリロニトリルは、硬く、比誘電率も4程度であり高くはない。上記特許文献2に記載されているポリマー材料は、アクリロニトリルが共重合されている。しかし、これだけでは、比誘電率の向上効果は充分とはいえない。また、同文献の段落[0028]には、アクリロニトリルの含有量が45質量%を超えると、弾性率が大きくなる旨記載されている。

【0009】

本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、比誘電率が大きく、柔軟な誘電エラストマー材料を提供することを課題とする。また、当該誘電エラストマー材料を用いて、柔軟なトランスデューサ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】

【0010】

(1) 本発明の誘電エラストマー材料は、モノマーAと、架橋可能な官能基を有するモノマーCと、の少なくとも一方と、極性基を有するモノマーBと、がランダムまたは交互に共重合された構造を有する共重合体を含み、該共重合体中、該モノマーBからなる構成単位において、該極性基は直鎖状に繋がる3つ以上の原子を介してポリマー主鎖に結合されていることを特徴とする。

【0011】

本発明の誘電エラストマー材料を構成する共重合体は、極性基を有するモノマーBからなる構成単位を含む。極性基は、極性が高い官能基である。モノマーBからなる構成単位において、極性基は、直鎖状に繋がる3つ以上の原子を介してポリマー主鎖に結合されている。換言すると、極性基とポリマー主鎖との間には、直列に結合する少なくとも3つの原子が介在している。極性基とポリマー主鎖との間を離間させることにより、極性基がポリマー鎖と干渉しにくくなり、極性基の動きがポリマー鎖により規制されにくくなる。これにより、極性基が動きやすくなり、共重合体、ひいては誘電エラストマー材料の柔軟性を高めることができる。また、極性が高いという極性基の特性が存分に発揮されるため、共重合体、ひいては誘電エラストマー材料の比誘電率を高めることができる。

【0012】

本発明の誘電エラストマー材料を構成する共重合体は、モノマーAとモノマーCとの少なくとも一方と、モノマーBと、によるランダム共重合体または交互共重合体の構造を有する。共重合体の構成単位は、A-B、B-C、A-B-Cのいずれかである（繰り返し単位の並び順は限定されない）。各構成単位がランダムまたは交互に結合されているため、ブロック共重合体の構造と比較して、極性基を有するモノマーBからなる構成単位が連続しにくい。すなわち、極性基を有するモノマーBからなる構成単位が、隣り合わせになりにくい。これにより、極性基同士の干渉が抑制され、極性基が動きやすくなる。したがって、共重合体、ひいては誘電エラストマー材料の柔軟性を高めることができる。また、極性が高いという極性基の特性が存分に発揮されるため、共重合体、ひいては誘電エラス

トマー材料の比誘電率を高めることができる。

【0013】

上記特許文献3に記載されているのはブロック共重合体である。同文献の段落[0056]－[0060]に記載されているように、ブロック共重合体(A)は、第一の重合体ブロック(B1)を製造した後、第二の重合体ブロック(B2)を製造し、それを第一の重合体ブロック(B1)に連結させて製造されている。製造された重合体ブロック(B1)、(B2)においては、同じモノマーが連続している。このため、極性基を有するモノマーを加えて重合体ブロックを製造した場合には、極性基同士が干渉し合い、比誘電率の向上効果は小さい。

【0014】

(2) 本発明のトランスデューサは、上記本発明の誘電エラストマー材料からなる誘電層と、該誘電層を介して配置される複数の電極と、を備えることを特徴とする。

【0015】

上述したように、本発明の誘電エラストマー材料の比誘電率は大きい。このため、本発明のトランスデューサの誘電層においては、印加電圧に対する静電引力が大きい。加えて、本発明の誘電エラストマー材料は柔軟である。したがって、本発明のトランスデューサによると、印加電圧が比較的小さい場合においても、大きな力および変位量を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】 本発明のトランスデューサの一実施形態であるアクチュエータの断面模式図である。

【図2】 測定装置に取り付けられたアクチュエータの表側正面図である。

【図3】 図2のI-I断面図である。

【図4】 変位量測定用のアクチュエータの上面図である。

【図5】 図4のV-V断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の誘電エラストマー材料およびトランスデューサの実施の形態について説明する。なお、本発明の誘電エラストマー材料およびトランスデューサは、以下の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、当業者が行い得る変更、改良などを施した種々の形態にて実施することができる。

【0018】

＜誘電エラストマー材料＞

本発明の誘電エラストマー材料は、モノマーAと、架橋可能な官能基を有するモノマーCと、の少なくとも一方と、極性基を有するモノマーBと、がランダムまたは交互に共重合された構造を有する共重合体を含む。

【0019】

[モノマーA]

モノマーAは特に限定されない。本発明の誘電エラストマー材料をトランスデューサの誘電層として用いる場合には、柔軟性を発現でき、比誘電率が比較的大きいモノマーを選択することが望ましい。また、モノマーBと共重合可能であり、共重合体としてのガラス転移点(T_g)が常温(20℃)以下になるモノマーを選択することが望ましい。例えば、イソプレングム、ブタジエングム、エチレンプロピレングム、ニトリルグム、クロロプレングム、ブチルグム、クロロスルホン化ポリエチレングム、フッ素グム、熱可塑性エラストマー、アクリルグム、シリコーングム、ウレタングムに用いるモノマーが挙げられる。なかでも、モノマーBと共重合しやすいという観点から、アクリルグム、シリコーングム、ウレタングムに用いるモノマー、すなわち、(メタ)アクリレートモノマー、シリコーンモノマー、ウレタンモノマーが好適である。モノマーAは、一種でも二種以上でもよい。

【0020】

「(メタ)アクリレート」の表記は、アクリレートとメタクリレートとの両方を含むことを意味する。(メタ)アクリレートモノマーは、(メタ)アクリロイル基を有するモノマーを意味する。「(メタ)アクリロイル基」の表記は、アクリロイル基とメタクリロイル基との両方を含むことを意味する。(メタ)アクリレートモノマーとしては、メチル(メタ)アクリレート、エチル(メタ)アクリレート、プロピル(メタ)アクリレート、ブチル(メタ)アクリレート、イソブチル(メタ)アクリレート、tert-ブチル(メタ)アクリレート、ヘキシル(メタ)アクリレート、2-エチルヘキシル(メタ)アクリレート、シクロヘキシル(メタ)アクリレート、オクチル(メタ)アクリレート、イソオクチル(メタ)アクリレート、ドデシル(メタ)アクリレート、テトラデシル(メタ)アクリレート、ヘキサデシル(メタ)アクリレート、オクタデシル(メタ)アクリレートなどのアルキル(メタ)アクリレートが好適である。

10

【0021】

アルキル(メタ)アクリレートを採用する場合、アルキル基の炭素原子数は1以上12以下であることが望ましい。8以下であるとより好適である。炭素原子数が多くなると、アルキル基が長くなったり大きくなる。この場合、モノマーBの極性基がモノマーAのアルキル基と干渉しやすくなり、比誘電率の向上効果が小さくなるおそれがある。また、アルキル基が長くなると結晶性が増加して、柔軟性が低下する。

【0022】

シリコンモノマーは、シロキサン結合が可能なモノマーを意味する。シリコンモノマーとしては、2官能のアルコキシ基を有するジエトキシジメチルシラン、ジエトキシメチルシラン、ジエトキシメチルビニルシラン、ジメトキシジメチルシラン、ジメトキシ(メチル)シラン、ジメトキシメチルビニルシランなどが好適である。ウレタンモノマーは、ウレタン結合が可能なモノマーを意味する。

20

【0023】

[モノマーB]

モノマーBは極性基を有する。極性基は、比誘電率と相関している高い双極子モーメントを有する結合からなる官能基であることが望ましい。具体的には、既知の高極性基であるシアノ基、エーテル基、エステル基、フッ素基、トリフルオロメチル基、カーボネート基などが挙げられる。

30

【0024】

共重合体中、モノマーBからなる構成単位において、極性基は直鎖状に繋がる3つ以上の原子を介してポリマー主鎖に結合されている。極性基とポリマー主鎖との間に直列に介在する原子数は、柔軟性および重合制御の観点から、4つ以上であるとより好適である。なお、極性基が複数ある場合には、ポリマー主鎖に最も近い極性基とポリマー主鎖との間に介在する原子数を数えることとする。極性基とポリマー主鎖との間に直列に介在する原子は、炭素(C)、酸素(O)、窒素(N)、硫黄(S)から選ばれる一種以上であることが望ましい。例えば、極性基を除くモノマーBの骨格は、アルキル基の炭素原子数が2以上のアルキル(メタ)アクリレート、2官能のアルコキシ基と、炭素原子数が2以上のアルキル基と、を有するシランなどが挙げられる。

40

【0025】

以上を総合すると、モノマーBは、シアノメチル(メタ)アクリレート(ポリマー主鎖-シアノ基間の原子数3)、シアノエチル(メタ)アクリレート(ポリマー主鎖-シアノ基間の原子数4)、シアノプロピル(メタ)アクリレート(ポリマー主鎖-シアノ基間の原子数5)、シアノブチル(メタ)アクリレート(ポリマー主鎖-シアノ基間の原子数6)などが好適である。また、ジメトキシ-3-メルカプトプロピルメチルシランにアクリロニトリルを反応させたシアノ基修飾シラン(ポリマー主鎖-シアノ基間の原子数6)、ジメトキシ-3-メルカプトプロピルメチルシランに、2-メチレングルタルオニトリルを反応させたシアノ基修飾シラン(ポリマー主鎖-シアノ基間の原子数6)などが好適である。これらの一種を単独で用いてもよく、二種以上を併用してもよい。

50

【0026】

極性基の含有量が多くなると、共重合体の柔軟性が低下する。一方、極性基が少な過ぎると、比誘電率の向上効果が得られない。このような理由から、極性基の含有量は、共重合体の全体を100質量%とした場合の10質量%以上、好適には12質量%以上であることが望ましい。また、極性基の含有量は、共重合体の全体を100質量%とした場合の25質量%以下、好適には22質量%以下であることが望ましい。同様の理由から、モノマーBの含有量は、共重合体の全体を100mol%とした場合の50mol%以上、好適には60mol%以上であることが望ましい。また、モノマーBの含有量は、共重合体の全体を100mol%とした場合の98mol%以下、好適には90mol%以下であることが望ましい。

10

【0027】

[モノマーC]

モノマーCは、架橋可能な官能基（架橋基）を有し、共重合体を架橋させる役割を果たす。架橋可能な官能基としては、ヒドロキシ基、アミノ基、チオール基、カルボキシル基、シラノール基、エポキシ基、ビニル基などが挙げられる。本発明の誘電エラストマー材料をトランスデューサの誘電層として用いる場合には、モノマーCとして、柔軟性を発現でき、比誘電率が比較的大きいモノマーを選択することが望ましい。例えば、（メタ）アクリル酸、（メタ）アクリル酸ヒドロキシエチル、（メタ）アクリルアミド、（メタ）アクリル酸グリシジル、3-アミノプロピルジメトキシメチルシラン、ジメトキシメチルビニルシラン、3-グリシジルオキシプロピル（ジメトキシ）メチルシラン、3-メルカプトプロピル（ジメトキシ）メチルシラン、3-アミノプロピルジエトキシメチルシラン、ジエトキシ（3-グリシジルオキシプロピル）メチルシラン、ジエトキシメチルビニルシランなどが挙げられる。モノマーCは、一種でも二種以上でもよい。

20

【0028】

[共重合体]

本発明の誘電エラストマー材料を構成する共重合体は、モノマーAとモノマーCとの少なくとも一方と、モノマーBと、によるランダム共重合体または交互共重合体の構造を有する。共重合体の製造方法は特に限定されない。例えば、モノマーAおよびモノマーBのランダム共重合体または交互共重合体、モノマーBおよびモノマーCのランダム共重合体または交互共重合体、モノマーA、モノマーB、およびモノマーCのランダム共重合体または交互共重合体のいずれかが挙げられる。また、モノマーAおよびモノマーCの少なくとも一方と、モノマーBの前駆体（極性基を有しないモノマーB'）と、をランダムまたは交互に共重合した後に、極性基を有するモノマーをモノマーB'の構成単位に反応させて、極性基を有するモノマーBからなる構成単位を合成してもよい。すなわち、モノマーAおよびモノマーCの少なくとも一方と、モノマーB'とから共重合体を製造した後で、モノマーB'に極性基を付与する修飾処理を施してもよい。例えば、シアノ基を付与する場合には、アクリロニトリル、2-メチレングルタロニトリル、テトラシアノエチレンなどのシアノ基含有モノマーを用いればよい。

30

【0029】

共重合体の重量平均分子量は、柔軟性を確保するという観点から、1万以上であるとよい。より好適には5万以上、さらには8万以上である。一方、製膜時に必要な溶剤に対する均一な溶解性を確保するという観点から、500万以下であるとよい。より好適には200万以下である。重量平均分子量は、ゲル浸透クロマトグラフィー（GPC）装置を用いて測定すればよい。

40

【0030】

共重合体のガラス転移点（T_g）は、常温（20℃）以下であり、柔軟性を確保するという観点から5℃以下であるとよい。より好適には0℃以下である。ガラス転移点は、示差走査熱量計（DSC）を用いて測定すればよい。

【0031】

共重合体の比誘電率は、10以上であるとよい。本明細書においては、共重合体のサン

50

プルをサンプルホルダー（ソーラトロン社製、12962A型）に設置し、誘電率測定インターフェイス（同社製、1296型）および周波数応答アナライザー（同社製、1255B型）を併用して、比誘電率を測定している（測定周波数100Hz）。

【0032】

共重合体は、架橋構造を有すること、すなわち架橋体であることが望ましい。架橋構造を有すると、弾性率が大きくなり機械的強度が大きくなる。また、絶縁破壊強度も大きくなる。共重合体を架橋させるには、モノマーCの架橋基に応じて公知の架橋剤、架橋促進剤、架橋助剤などを用いればよい。例えば硫黄を用いると、架橋後の共重合体中に、未反応の硫黄、加硫促進剤やこれらの分解物などからなる反応残渣が残存することが多い。反応残渣はイオン化して、共重合体、ひいては誘電エラストマー材料の絶縁破壊強度を低下させる一因となる。したがって、共重合体中のイオン成分を少なくするという理由から、架橋剤として有機金属化合物またはイソシアネート化合物を用いることが望ましい。有機金属化合物を用いた場合、有機金属化合物から生成した金属酸化物粒子が共重合体中に分散される。よって、共重合体の絶縁破壊強度をより大きくすることができる。有機金属化合物としては、金属アルコキシド化合物、金属アシレート化合物、および金属キレート化合物が挙げられる。これらから選ばれる一種を単独で用いてもよく、二種以上を併用してもよい。有機金属化合物は、チタン、ジルコニウム、アルミニウム、ケイ素、ホウ素、バナジウム、マンガン、鉄、コバルト、ゲルマニウム、イットリウム、ニオブ、ランタン、セリウム、タンタル、タングステン、およびマグネシウムから選ばれる一種以上の元素を含むことが望ましい。

【0033】

本発明の誘電エラストマー材料は、共重合体に加えて他の成分を含んでもよい。例えば、電気絶縁性を有する絶縁フィラーを含む場合には、誘電エラストマー材料の絶縁破壊強度が大きくなる。絶縁フィラーとしては、体積抵抗率が $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の無機粒子が好適である。例えば、酸化チタン、シリカ、酸化ジルコニウム、チタン酸バリウム、炭酸カルシウム、クレー、焼成クレー、タルクなどの粒子が挙げられる。絶縁フィラーとしては、一種を単独で用いてもよく、二種以上を併用してもよい。

【0034】

また、圧電フィラーを含む場合には、本発明の誘電エラストマー材料を、圧電機能を有するトランスデューサ素子の圧電層として用いることができる。圧電フィラーとしては、圧電性を有する化合物を用いればよい。圧電性を有する化合物としては、有機物、無機物の制限はなく、例えばペロブスカイト型の結晶構造を有する強誘電体が望ましい。例えば、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、ニオブ酸カリウム、ニオブ酸ナトリウム、ニオブ酸リチウム、ニオブ酸カリウムナトリウム、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）、チタン酸バリウムストロンチウム（BST）、チタン酸ビスマスランタン（BLT）、タンタル酸ビスマスストロンチウム（SBT）などが挙げられる。圧電フィラーとしては、一種を単独で用いてもよく、二種以上を併用してもよい。

【0035】

〔誘電エラストマー材料の製造方法〕

本発明の誘電エラストマー材料は、モノマーAとモノマーCとの少なくとも一方と、モノマーBと、をランダムまたは交互に共重合して製造することができる。あるいは、モノマーAとモノマーCとの少なくとも一方と、モノマーBの前駆体（極性基を有しないモノマーB'）と、をランダムまたは交互に共重合した後に、極性基を有するモノマーをモノマーB'の構成単位に反応させて製造することができる。この際、得られた共重合体に架橋剤などを加えて、共重合体を架橋させてもよい。また、機能を損なわない程度に、他のポリマーをブレンドしても構わない。また、得られた共重合体に絶縁フィラー、圧電フィラー、可塑剤、加工助剤、老化防止剤、軟化剤、着色剤などの他の成分を配合してもよい。

【0036】

<トランスデューサ>

本発明のトランスデューサは、上記本発明の誘電エラストマー材料からなる誘電層と、該誘電層を介して配置される複数の電極と、を備える。

【0037】

誘電層の厚さは、成膜精度を確保して膜の欠陥を低減するという観点から、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。一方、誘電層の厚さが大きくなると、駆動に大きな電圧が必要になりコスト高になる。このため、誘電層の厚さは、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

【0038】

複数の電極は、誘電層に追従して変形可能であることが望ましい。このような電極は、バインダーおよび導電材を用いて形成することができる。伸縮しても電気抵抗が増加しにくい電極を形成するという観点から、バインダーとしては、エラストマーが好適である。エラストマーとしては、ニトリルゴム（NBR）、水素化ニトリルゴム（HNBR）、エチレンプロピレンジエン共重合体（EPDM）、シリコンゴム、天然ゴム、スチレンブタジエンゴム（SBR）、アクリルゴム、ウレタンゴム、エポクロロヒドリンゴム、クロロスルホン化ポリエチレン、塩素化ポリエチレンなどの架橋ゴム、およびスチレン系、オレフィン系、塩ビ系、ポリエステル系、ポリウレタン系、ポリアミド系などの熱可塑性エラストマーが挙げられる。また、エポキシ基変性アクリルゴム、カルボキシル基変性水素化ニトリルゴムなどのように、官能基を導入するなどして変性したエラストマーを用いてもよい。

【0039】

導電材の種類は、特に限定されない。カーボンブラック、カーボンナノチューブ、グラファイト、グラフェンなどの導電性炭素粉末、銀、金、銅、ニッケル、ロジウム、パラジウム、クロム、チタン、白金、鉄、およびこれらの合金などの金属粉末などから、適宜選択すればよい。また、銀被覆銅粉末など、金属で被覆された粒子からなる粉末を用いてもよい。また、 π 電子を共役させた構造の導電性ポリマーを用いてもよい。これらの一種を単独で用いてもよく、二種以上を併用してもよい。

【0040】

電極は、バインダーおよび導電材に加えて、必要に応じて分散剤、補強剤、可塑剤、老化防止剤、着色剤などの添加剤を含んでもよい。例えば、バインダーとしてエラストマーを用いる場合、当該エラストマー分のポリマーを溶剤に溶解したポリマー溶液に、導電材、必要に応じて添加剤を添加して、攪拌、混合することにより、導電塗料を調製することができる。調製した導電塗料を、誘電層の一面に直接塗布することにより、電極を形成すればよい。あるいは、離型性フィルムに導電塗料を塗布して電極を形成し、形成した電極を、誘電層の一面に転写してもよい。

【0041】

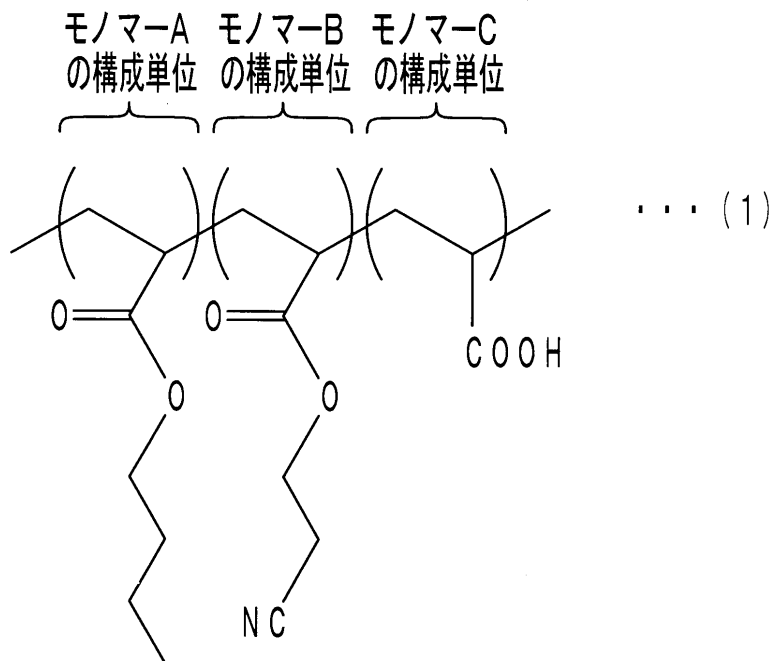
本発明のトランスデューサを、複数の誘電層と電極とを交互に積層させた積層構造とすると、より大きな力を発生させることができる。また、本発明のトランスデューサにおいては、最外層に保護層を配置してもよい。保護層を配置することにより、絶縁性を確保したり、外部からの機械的応力に対してトランスデューサを保護することができる。保護層は、柔軟で伸縮性を有することが望ましい。保護層は、例えば、ウレタンゴム、シリコンゴム、NBR、HNBR、エチレンプロピレン共重合ゴム、EPDM、天然ゴム、スチレンブタジエンゴム、アクリルゴムなどを含んで形成するとよい。また、本発明のトランスデューサにおいては、同種のあるいは異種の層を積層して誘電層を構成してもよい。さらに、電荷増幅の機能を有するイオン固定層などを誘電層に積層させてもよい。

【0042】

以下に、本発明のトランスデューサの一実施形態を説明する。図1に、アクチュエータの断面模式図を示す。図1に示すように、アクチュエータ1は、誘電層10と、一対の電極11a、11bと、配線12a、12bと、を備えている。誘電層10は、ブチルアクリレート（モノマーA）とシアノエチルアクリレート（モノマーB）とアクリル酸（モノマーC）とのランダム共重合体の架橋体からなる。ランダム共重合体の構造式を次式（1

)に示す。

【化1】



10

20

【0043】

モノマーBは、極性基としてシアノ基（ $-\text{CN}$ ）を有している。モノマーCは、架橋基としてカルボキシル基（ $-\text{COOH}$ ）を有している。式（1）に示すように、共重合体中、モノマーBからなる構成単位において、極性基（ $-\text{CN}$ ）は、自身が結合されている炭素原子を1つ目の原子として、直鎖状に繋がる4つの原子（ $\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ）を介してポリマー主鎖に結合されている。ランダム共重合体の比誘電率は1.5であり、弾性率は0.8 MPaである。ランダム共重合体の架橋体は、本発明の誘電エラストマー材料に含まれる。アクチュエータ1は、本発明のトランスデューサに含まれる。

【0044】

電極11aは、誘電層10の上面の略全体を覆うように、配置されている。同様に、電極11bは、誘電層10の下面の略全体を覆うように、配置されている。電極11a、11bは、いずれもアクリルゴムとカーボンブラックとを含んでいる。電極11a、11bは、各々、配線12a、12bを介して電源13に接続されている。

30

【0045】

一对の電極11a、11b間に電圧を印加すると、誘電層10の厚さは薄くなり、その分だけ電極11a、11b面に対して平行方向に伸長する。これにより、図中上下方向および左右方向の駆動力が出力される。

【0046】

誘電層10を構成する共重合体のモノマーBからなる構成単位において、極性基とポリマー主鎖との間には直鎖状に繋がる4つの原子が介在している。つまり、極性基とポリマー主鎖とは所定の間隔で離間している。このため、極性基がポリマー鎖と干渉しにくくなり、極性基の動きがポリマー鎖により規制されにくくなる。また、モノマーA、B、Cがランダムに共重合されているため、ブロック共重合されている場合と比較して、極性基を有するモノマーBからなる構成単位が連続しにくい。これにより、極性基同士の干渉が抑制され、極性基が動きやすくなる。したがって、共重合体の柔軟性が高くなる。また、極性が高いという極性基の特性が存分に発揮されるため、共重合体の比誘電率が高くなる。したがって、誘電層10は柔軟であり誘電層10の比誘電率は大きい。これにより、アクチュエータ1によると、大きな力および変位量を得ることができる。また、アクチュエータ1の構造をセンサとして用いると、高感度のセンサを実現することができる。

40

【実施例】

50

【0047】

次に、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。

【0048】

＜共重合体の製造＞

(1) 共重合体 1

まず、モノマーAのブチルアクリレート37.2g(0.29mol)と、モノマーBのシアノエチルアクリレート86.3g(0.69mol)と、モノマーCのアクリル酸1.4g(0.02mol)と、を三口フラスコに入れ、N,N-ジメチルホルムアミド200mlに溶解させた。次に、窒素バブリングを30分間行った。それから、ラジカル開始剤のアゾビスイソブチロニトリルをモノマー全体質量の0.1質量%添加し、窒素雰囲気下、65℃で14時間加熱還流した。反応終了後、メタノールを用いて再沈殿、洗浄を行い、減圧乾燥して共重合体1を得た。得られた共重合体を核磁気共鳴(NMR)装置で分析したところ、共重合体1は、上記式(1)に示した構造を有するランダム共重合体であることを確認した(以下、共重合体2、3において同じ)。モノマーCからなる構成単位においてカルボキシル基が存在することは、フェノールフタレイン溶液を指示薬とし、0.1N水酸化カリウムメタノール溶液を用いた中和滴定により確認した(以下、共重合体2～12、18～21において同じ)。

10

【0049】

(2) 共重合体 2

ブチルアクリレートの配合量を25.6g(0.20mol)、シアノエチルアクリレートの配合量を97.6g(0.78mol)に変更した以外は、共重合体1と同様にして共重合体2を製造した。

20

【0050】

(3) 共重合体 3

ブチルアクリレートの配合量を12.8g(0.10mol)、シアノエチルアクリレートの配合量を110.1g(0.88mol)に変更した以外は、共重合体1と同様にして共重合体3を製造した。

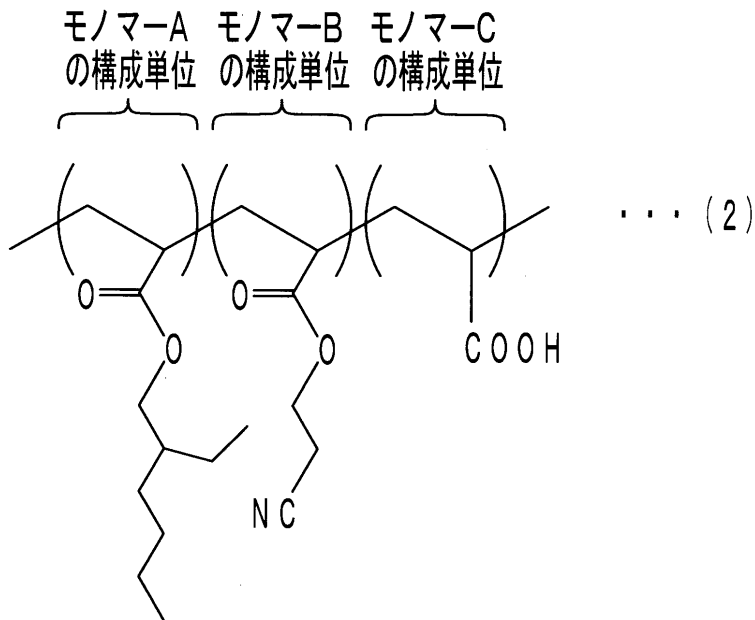
【0051】

(4) 共重合体 4

モノマーAを2-エチルヘキシルアクリレートに変更した以外は、共重合体1と同様にして共重合体4を製造した。2-エチルヘキシルアクリレートの配合量は、53.4g(0.29mol)である。得られた共重合体をNMR装置で分析したところ、共重合体4は、次式(2)に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した(以下、共重合体5、6において同じ)。

30

【化 2】



【0052】

(5) 共重合体 5

20

2-エチルヘキシルアクリレートの配合量を36.9g(0.20mol)、シアノエチルアクリレートの配合量を97.6g(0.78mol)に変更した以外は、共重合体1と同様にして共重合体5を製造した。

【0053】

(6) 共重合体 6

2-エチルヘキシルアクリレートの配合量を18.4g(0.10mol)、シアノエチルアクリレートの配合量を110.1g(0.88mol)に変更した以外は、共重合体1と同様にして共重合体6を製造した。

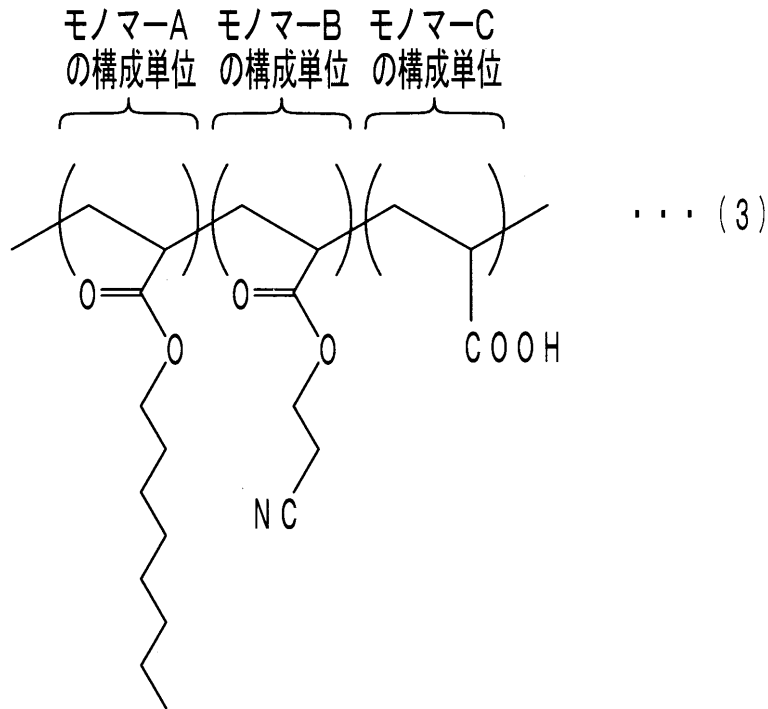
【0054】

(7) 共重合体 7

30

モノマーAをオクチルアクリレートに変更した以外は、共重合体1と同様にして共重合体7を製造した。オクチルアクリレートの配合量は、53.4g(0.29mol)である。得られた共重合体をNMR装置で分析したところ、共重合体7は、次式(3)に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した(以下、共重合体8において同じ)。

【化 3】



10

20

【0055】

(8) 共重合体 8

オクチルアクリレートの配合量を 36.9 g (0.20 mol)、シアノエチルアクリレートの配合量を 97.6 g (0.78 mol) に変更した以外は、共重合体 7 と同様にして共重合体 8 を製造した。

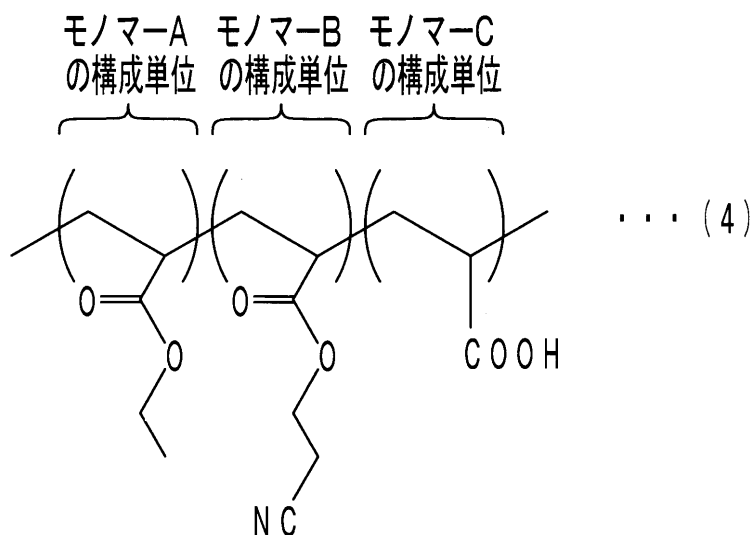
【0056】

(9) 共重合体 9

モノマー A をエチルアクリレートに変更した以外は、共重合体 1 と同様にして共重合体 9 を製造した。エチルアクリレートの配合量は、29.0 g (0.29 mol) である。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 9 は、次式 (4) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

30

【化 4】



40

【0057】

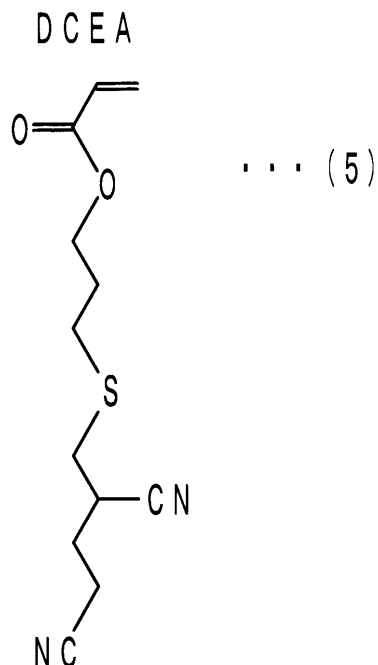
(10) 共重合体 10

まず、モノマー B としての DCEA を製造した。2-メチレングルタロニトリル 10.

50

6 g (0.10 mol) と、3-メルカプト-1-プロパノール 9.2 g (0.10 mol) と、ジイソプロピルアミン 0.62 ml と、をナスフラスコに入れ、メタノール 100 ml に溶解させた後、室温にて 6 時間攪拌した。反応終了後、減圧乾燥し、さらにトルエン 100 ml、アクリル酸 7.2 g (0.10 mol)、pトルエンスルホン酸 0.5 g、およびヒドロキノン 0.01 g を添加して、6 時間加熱還流した。反応終了後、精製水を用いた分液操作で有機相を回収し、減圧乾燥して次式 (5) に示す構造の DCEA を得た。

【化 5】



10

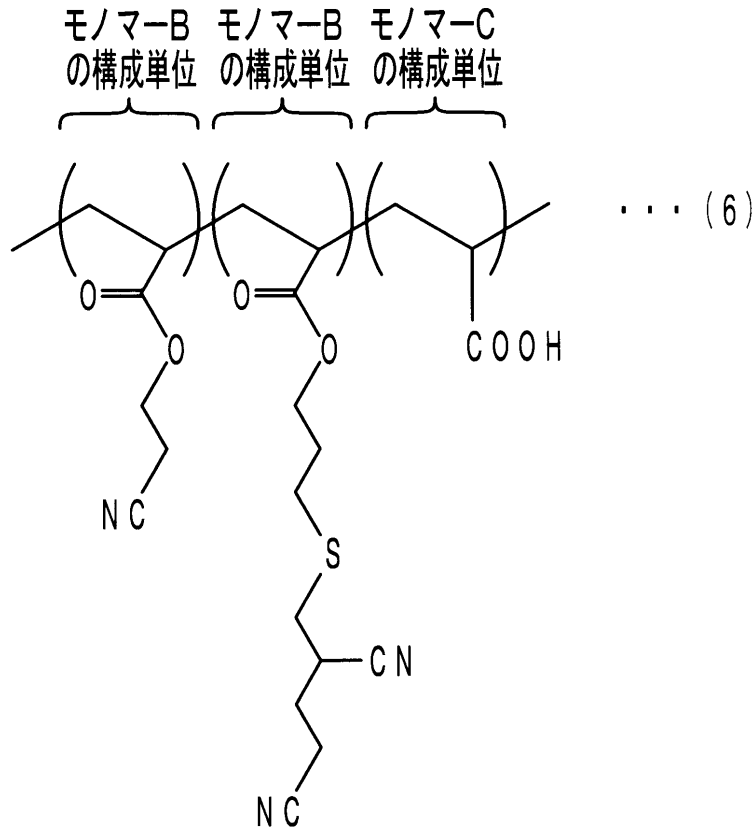
20

【0058】

次に、モノマーBのシアノエチルアクリレート 97.6 g (0.78 mol) と、モノマーBのDCEA 50.5 g (0.20 mol) と、モノマーCのアクリル酸 1.4 g (0.02 mol) と、を三口フラスコに入れ、N,N-ジメチルホルムアミド 200 ml に溶解させた。続いて、窒素バブリングを 30 分間行った。それから、ラジカル開始剤のアゾビスイソブチロニトリルをモノマー全体質量の 0.1 質量% 添加し、窒素雰囲気下、65℃で 14 時間加熱還流した。反応終了後、メタノールを用いて再沈殿、洗浄を行い、減圧乾燥して共重合体 10 を得た。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 10 は、次式 (6) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

30

【化 6】



10

20

【0059】

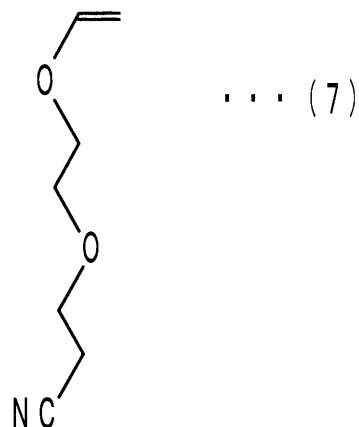
(11) 共重合体 11

まず、モノマーBとしてのCEVEを製造した。エチレングリコールモノビニルエーテル8.8g(0.10mol)と、アクリロニトリル5.3g(0.10mol)と、をナスフラスコに入れ、2Mの水酸化ナトリウム水溶液100mlに溶解させた後、室温にて6時間攪拌した。反応終了後、ジクロロメタンおよび精製水を用いた分液操作で有機相を回収し、減圧乾燥して次式(7)に示す構造のCEVEを得た。

30

【化 7】

CEVE



40

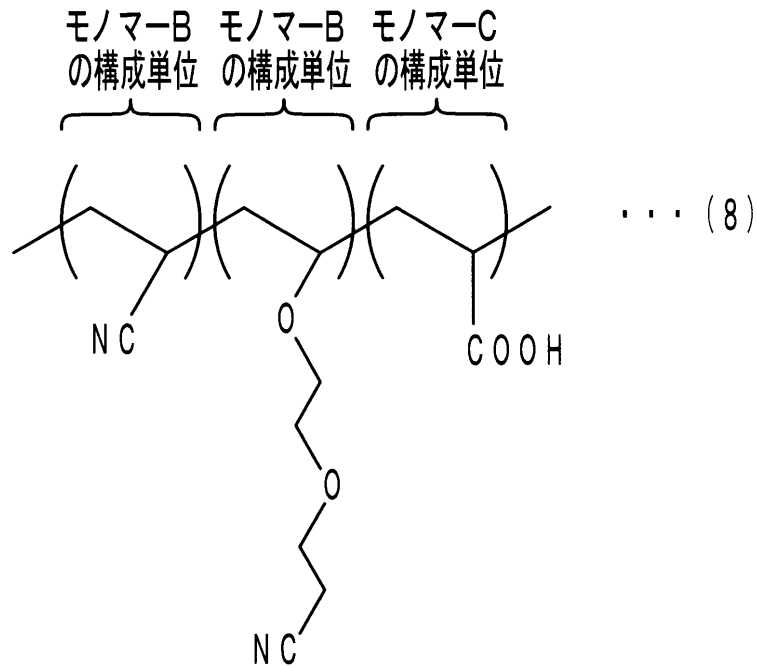
【0060】

次に、モノマーBのアクリロニトリル18.0g(0.34mol)と、モノマーBのCEVE90.4g(0.64mol)と、モノマーCのアクリル酸1.4g(0.02mol)と、を三つ口フラスコに入れ、N,N-ジメチルホルムアミド200mlに溶解

50

させた。続いて、窒素バブリングを 30 分間行った。それから、ラジカル開始剤のアゾビスイソブチロニトリルをモノマー全体質量の 0.1 質量% 添加し、窒素雰囲気下、65℃ で 14 時間加熱還流した。反応終了後、メタノールを用いて再沈殿、洗浄を行い、減圧乾燥して共重合体 11 を得た。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 11 は、次式 (8) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

【化 8】

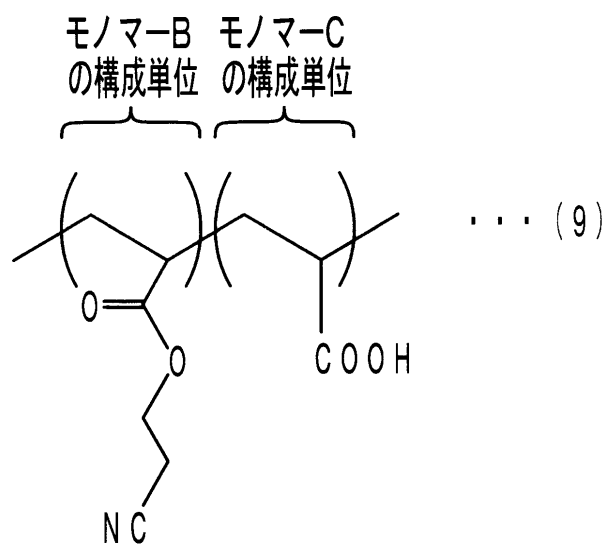


【0061】

(12) 共重合体 12

モノマー A を用いず、シアノエチルアクリレートの配合量を 122.6 g (0.98 mol) に変更した以外は、共重合体 1 と同様にして共重合体 12 を製造した。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 12 は、次式 (9) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

【化 9】



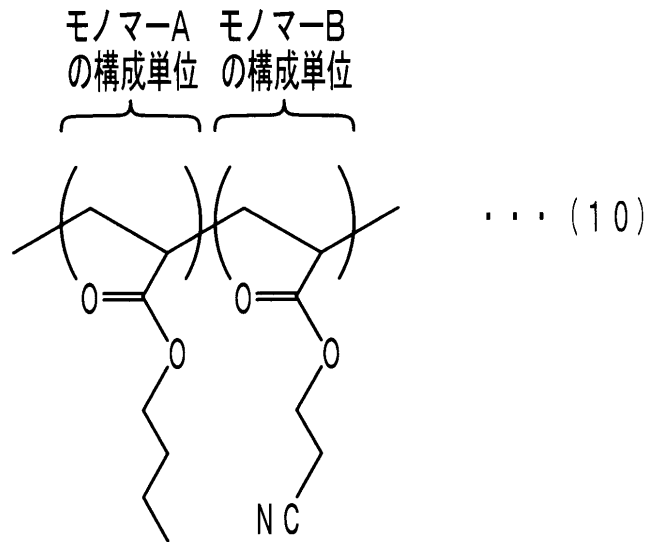
【0062】

(13) 共重合体 13

モノマー C を用いず、ブチルアクリレートの配合量を 38.5 g (0.30 mol)、シアノエチルアクリレートの配合量を 87.6 g (0.70 mol) に変更した以外は、

共重合体 1 と同様にして共重合体 1 3 を製造した。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 1 3 は、次式 (10) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

【化 10】



10

【0063】

20

(14) 共重合体 1 4

まず、モノマー B としてのシアン基修飾シラン 1 とシアン基修飾シラン 2 とを製造した。

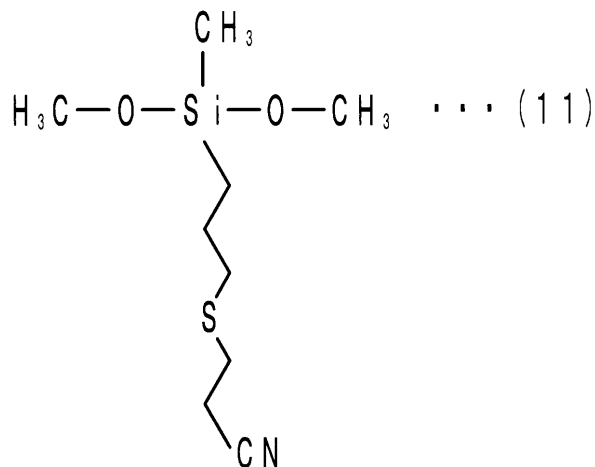
【0064】

[シアン基修飾シラン 1]

アクリロニトリル 5.3 g (0.10 mol) と、ジメトキシ-3-メルカプトプロピルメチルシラン 19.8 g (0.11 mol) とジイソプロピルアミン 0.62 ml と、をナスフラスコに入れ、メタノール 100 ml に溶解させた後、室温にて 6 時間攪拌した。反応終了後、減圧乾燥して、次式 (11) に示す構造のシアン基修飾シラン 1 を得た。

【化 11】

30



40

【0065】

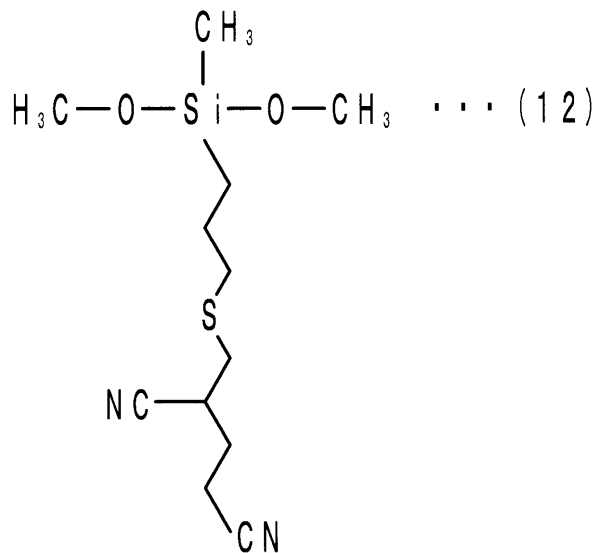
[シアン基修飾シラン 2]

2-メチレングルタロニトリル 10.6 g (0.10 mol) と、ジメトキシ-3-メルカプトプロピルメチルシラン 19.8 g (0.11 mol) とジイソプロピルアミン 0.62 ml と、をナスフラスコに入れ、メタノール 100 ml に溶解させた後、室温にて 6 時間攪拌した。反応終了後、減圧乾燥して、次式 (12) に示す構造のシアン基修飾シ

50

ラン 2 を得た。

【化 1 2】



10

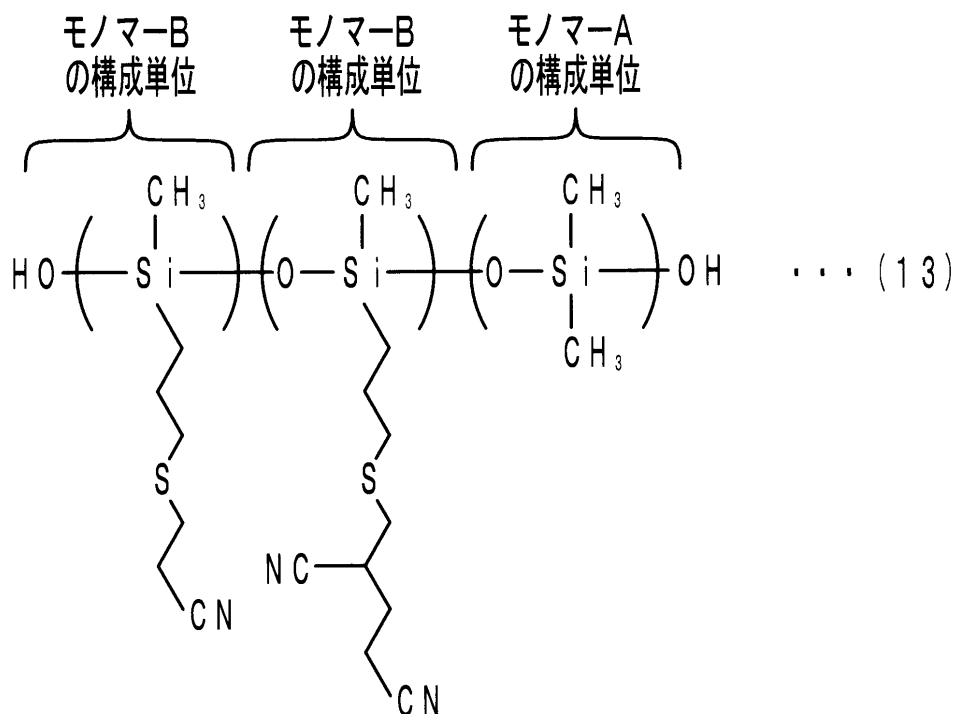
【0066】

次に、モノマー C を用いずにモノマー A とモノマー B とから共重合体を製造した。まず、モノマー A のジエトキシジメチルシラン 40.9 g (0.34 mol) と、モノマー B としてシアノ基修飾シラン 1 の 77.0 g (0.33 mol) およびシアノ基修飾シラン 2 の 94.5 g (0.33 mol) と、をナスフラスコに入れ、室温にて 1 時間攪拌した。続いて、触媒のジブチルスズジアセタートを全モノマー質量に対して 10 質量% 添加し、大気圧下、110℃ で 6 時間加熱攪拌した。反応終了後、メタノールを用いて再沈殿、洗浄を行い、減圧乾燥して共重合体 14 (シアノ基修飾シリコンゴム) を得た。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 14 は、次式 (13) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。なお、ここではジエトキシジメチルシランをモノマー A として扱った。しかし、ジエトキシジメチルシランは架橋可能な官能基であるシラノール基を有する。このため、ジエトキシジメチルシランをモノマー C として扱ってもよい (以下、共重合体 15 ~ 17 においても同じ)。

20

30

【化 1 3】



40

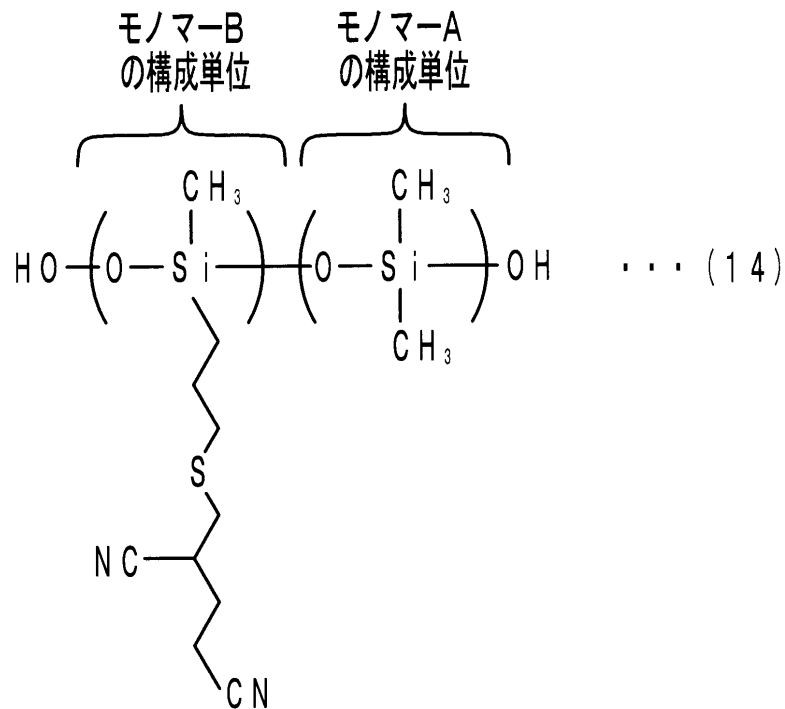
50

【0067】

(15) 共重合体15

モノマーBとしてシアン基修飾シラン2のみを189.1g (0.66mol) 用いたこと以外は、共重合体14と同様にして共重合体15を製造した。得られた共重合体をNMR装置で分析したところ、共重合体15は、次式(14)に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

【化14】



10

20

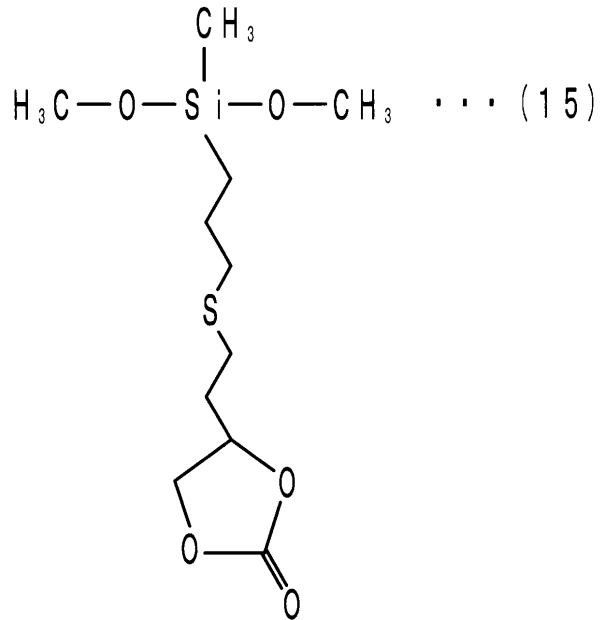
【0068】

(16) 共重合体16

まず、モノマーBとしてのカーボネート基修飾シランを製造した。ビニルエチレンカーボネート11.4g (0.10mol) と、ジメトキシ-3-メルカプトプロピルメチルシラン19.8g (0.11mol) とジイソプロピルアミン0.62ml と、をナスフラスコに入れ、メタノール100mlに溶解させた後、室温にて6時間攪拌した。反応終了後、減圧乾燥して、次式(15)に示す構造のカーボネート基修飾シランを得た。

30

【化 1 5】



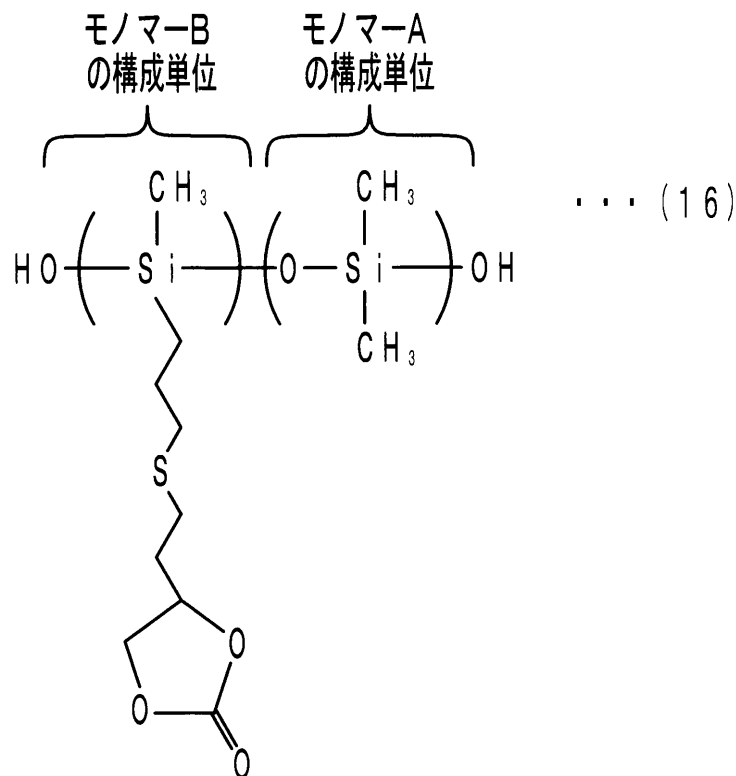
10

【0069】

次に、モノマーBとしてカーボネート基修飾シランのみを194.3 g (0.66 mol) 用いたこと以外は、共重合体14と同様にして共重合体16を製造した。得られた共重合体をNMR装置で分析したところ、共重合体16は、次式(16)に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

20

【化 1 6】



30

40

【0070】

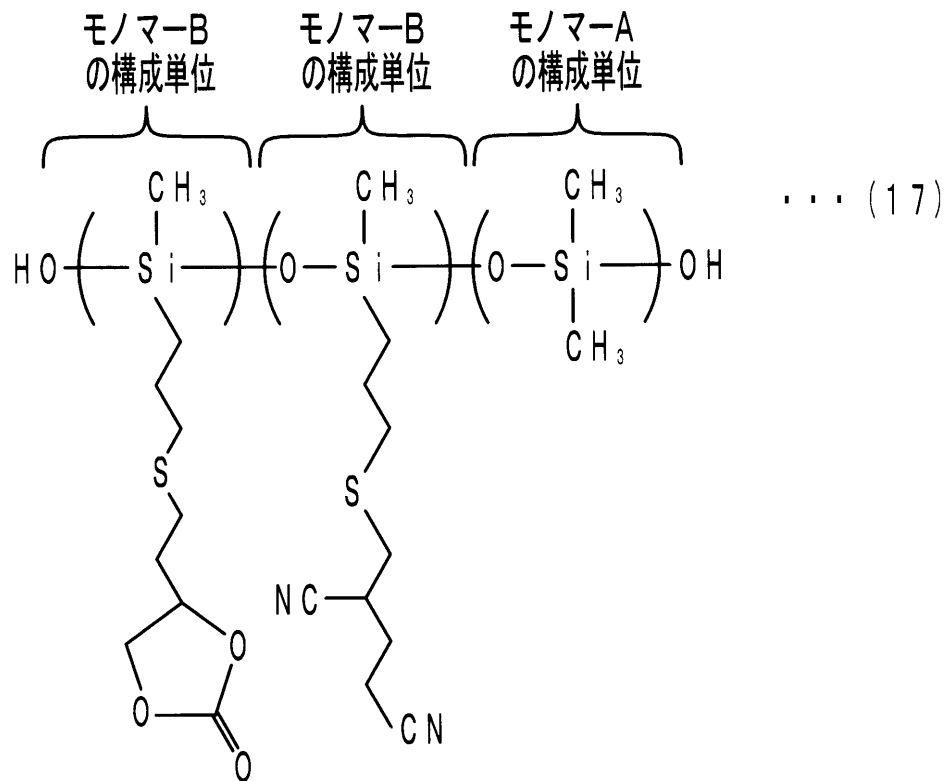
(17) 共重合体17

モノマーBとして、シアン基修飾シラン2を94.5 g (0.33 mol)、カーボネート基修飾シランを97.2 g (0.33 mol) 用いたこと以外は、共重合体14と同様にして共重合体17を製造した。得られた共重合体をNMR装置で分析したところ、共

50

重合体 17 は、次式 (17) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

【化 17】



10

20

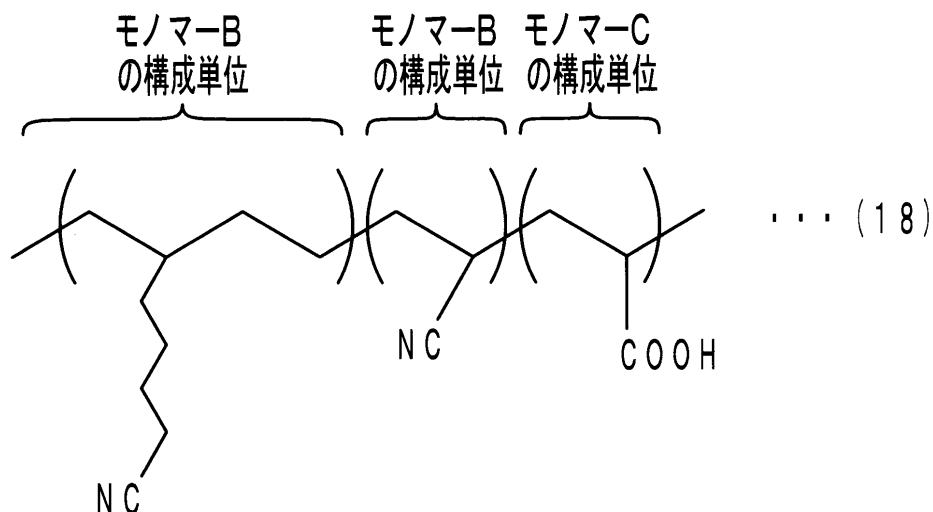
【0071】

(18) 共重合体 18

まず、カルボキシル基含有 NBR (JSR (株) 製「XER-32」) 1.25 g をテトラヒドロフラン (THF) 100 ml に溶解させた後、0.5 M の 9-ボラビシクロ [3.3.1] ノナン (9-BBN) の THF 溶液 18.4 ml と、5-クロロバレロニトリル 0.95 g と、を添加して、0.5 時間攪拌した。続いて、水浴中で、ポタシウム 2,6-ジ-tert-ブチルフェノール 1.90 g を加えて、2 時間攪拌した。反応終了後、メタノールを用いて再沈殿、洗浄を行い、減圧乾燥して共重合体 18 (シアノ基修飾 NBR) を得た。得られた共重合体を NMR 装置で分析したところ、共重合体 18 は、次式 (18) に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した。

30

【化 18】



40

50

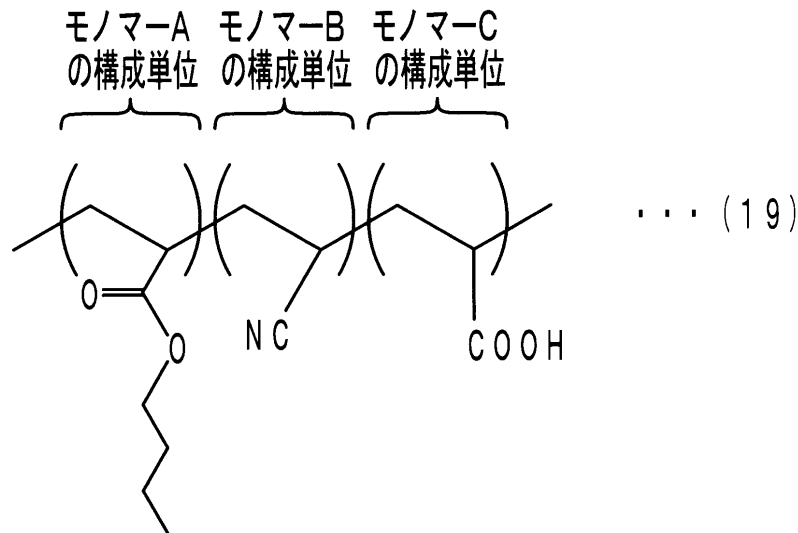
【0072】

(19) 共重合体 19

まず、モノマーAのブチルアクリレート88.4g(0.69mol)と、極性基を有するモノマーのアクリロニトリル15.4g(0.29mol)と、モノマーCのアクリル酸1.4g(0.02mol)と、を三口フラスコに入れ、窒素バブリングを30分間行った。次に、ラジカル開始剤のアゾビスイソブチロニトリルをモノマー全体質量の0.1質量%添加し、窒素雰囲気下、65℃で3時間加熱還流した。反応終了後、メタノールを用いて再沈殿、洗浄を行い、減圧乾燥して共重合体19を得た。得られた共重合体をNMR装置で分析したところ、共重合体19は、次式(19)に示す構造を有するランダム共重合体であることを確認した(以下、共重合体20、21において同じ)。

10

【化19】



20

【0073】

(20) 共重合体 20

ブチルアクリレートの配合量を69.2g(0.54mol)、アクリロニトリルの配合量を23.3g(0.44mol)に変更した以外は、共重合体19と同様にして共重合体20を製造した。

30

【0074】

(21) 共重合体 21

ブチルアクリレートの配合量を62.8g(0.49mol)、アクリロニトリルの配合量を26.0g(0.49mol)に変更した以外は、共重合体19と同様にして共重合体21を製造した。

【0075】

<共重合体の物性測定>

製造した共重合体の重量平均分子量をGPC装置を用いて測定し、ガラス転移点をDSCを用いて測定した。また、共重合体の比誘電率、体積抵抗率、弾性率の測定には、次のようにして製造した測定用サンプルを用いた。まず、共重合体をアセチルアセトンに溶解し、固形分濃度が20質量%のポリマー溶液を調製した。次に、調製したポリマー溶液を基材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で60分間加熱して、薄膜状の測定用サンプルを得た。

40

【0076】

[比誘電率]

比誘電率については、上述したように、ソーラトロン社製の装置を使用して周波数100Hzにて測定した。

【0077】

[体積抵抗率]

50

体積抵抗率については、J I S K 6 2 7 1 : 2 0 0 8 に規定される平行端子電極法に準じて測定した。測定は、直流電圧 1 0 0 V を印加して行った。

【 0 0 7 8 】

〔弾性率〕

弾性率については、J I S K 6 2 5 4 : 2 0 1 0 に規定される静的せん断弾性率の測定方法に準じて測定した。測定には、短冊状 1 号形の試験片を用い、引張試験における引張速度は 1 0 0 mm / m i n 、引張歪みは 2 5 % とした。

【 0 0 7 9 】

表 1、表 2 に、共重合体の組成、物性をまとめて示す。共重合体 1 ~ 1 8 は、本発明の誘電エラストマー材料を構成する共重合体に含まれる。比較のため、市販のアクリルゴム（日本ゼオン（株）製「N i p o l（登録商標）A R 5 3 L」）、シリコーンゴム（信越化学工業（株）製「K E - 1 9 3 5」）、およびカルボキシル基含有 N B R（J S R（株）製「X E R - 3 2」）の物性も併せて示す。

【表 1】

A+B+C														B+C			A+B
実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8	実施例9	実施例10	実施例11	実施例12	実施例13					
共重合体1	共重合体2	共重合体3	共重合体4	共重合体5	共重合体6	共重合体7	共重合体8	共重合体9	共重合体10	共重合体11	共重合体12	共重合体13					
-	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-					
29	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30					
-	-	-	29	20	10	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	29	20	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-					
69	78	88	69	78	88	69	78	69	78	-	98	70					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-	-					
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
8.0×10 ⁴	5.6×10 ⁴	5.2×10 ⁴	1.4×10 ⁵	1.1×10 ⁵	8.8×10 ⁴	1.1×10 ⁵	1.7×10 ⁵	1.2×10 ⁵	2.5×10 ⁵	1.1×10 ⁶	1.5×10 ⁵	8.0×10 ⁴					
-14	-8	-12	-18	-11	-2	-13	-3	-3	-8	-22	4	-14					
15	17	19	13	15	18	13	16	16	21	23	21	15					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
15	17	19	13	15	18	13	16	16	21	23	21	15					
15	16	17	12	14	15	10	13	15	19	25	9	14					
1.3×10 ¹¹	8.8×10 ¹⁰	1.7×10 ¹¹	1.0×10 ¹¹	2.1×10 ¹¹	1.6×10 ¹¹	1.3×10 ¹¹	2.4×10 ¹¹	5.8×10 ¹⁰	1.4×10 ¹¹	7.5×10 ¹⁰	6.3×10 ¹¹	2.2×10 ¹¹					
0.8	1.8	3.2	0.6	0.9	1.8	0.8	2.0	0.8	3.0	2.9	4.5	0.2					

10

20

30

40

【表 2】

共重合体組成 [mol%]	モノマー	A+B				B+C			A+B+C			比較例6 カルボキシル基 含有NBR
		実施例14 共重合体14	実施例15 共重合体15	実施例16 共重合体16	実施例17 共重合体17	実施例18 共重合体18			比較例1 共重合体19	比較例2 共重合体20	比較例3 共重合体21	
		共重合体14	共重合体15	共重合体16	共重合体17	共重合体18	共重合体19	共重合体20	共重合体21	共重合体22	共重合体23	
アクリル ゴム系	エチルアクリレート	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ブチルアクリレート	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-エチルヘキシルアクリレート	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	オクチルアクリレート	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	アクリロニトリル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	シアノエチルアクリレート	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DOEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CEVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	アクリル酸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	モノマー-C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シリコン ゴム系	モノマー-A	34	34	34	34	-	-	-	-	-	-	-
	モノマー-B	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	モノマー-C	33	66	-	33	-	-	-	-	-	-	-
	モノマー-D	-	-	66	33	-	-	-	-	-	-	-
共重合体の物性	シリコン ゴム系	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
	重量平均分子量	1.0 × 10 ⁵	6.8 × 10 ⁴	2.6 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁵	4.4 × 10 ⁵	4.1 × 10 ⁵	4.0 × 10 ⁵	4.2 × 10 ⁵	7.5 × 10 ⁵	-	4.4 × 10 ⁵
	ガラス転移点 [°C]	-54	-46	-44	-48	-21	-30	-3	5	-26	-	-21
	極性基量 [wt%]	16	19	-	9	20	10	16	19	1	-	14
	極性基量 [wt%]	-	-	21	10	-	-	-	-	-	-	-
	合計	16	19	21	19	20	10	16	19	1	-	14
	比誘電率(測定周波数100Hz)	14	14	17	18	17	8	8	7	6	3	9
	体積抵抗率 [Ω・cm]	1.1 × 10 ⁹	5.7 × 10 ⁹	3.2 × 10 ⁹	4.3 × 10 ¹⁰	1.0 × 10 ¹¹	2.3 × 10 ¹²	6.7 × 10 ¹²	1.0 × 10 ¹³	2.7 × 10 ¹¹	1.0 × 10 ¹⁴	5.0 × 10 ¹⁰
	弾性率 [MPa]	1.0	0.9	0.9	0.8	2.6	0.6	0.7	3.0	0.1	1.2	2.5

【0080】

実施例1～13と比較例1～4、実施例14～17と比較例5、実施例18と比較例6、
 というように、ベースポリマーが同じもの同士を比較すると、実施例の比誘電率は、比
 較例のそれより大きくなった。実施例1～13（共重合体1～13）と比較例1～3（共

重合体 19～21) との主な違いは、モノマー B の種類である。比較例 1～3 においては、モノマー B としてアクリロニトリルを使用した。この場合、共重合体 19～21 のモノマー B からなる構成単位において、シアノ基はポリマー主鎖の炭素に直接結合されている。すなわち、シアノ基とポリマー主鎖との間には、原子が 1 つも介在していない。したがって、シアノ基がポリマー鎖と干渉して、極性基としての特性が発揮されにくいと考えられる。

【0081】

実施例の共重合体 1～3、4～6、7、8 に着目すると、モノマー B の種類が同じ場合、その配合量が増加するにつれて、比誘電率および弾性率が大きくなることが確認された。これに対して、比較例の共重合体 19～21 においては、モノマー B の配合量を増加してシアノ基の含有量を多くしても、弾性率は大きくなるが、比誘電率は大きくななかった。この理由も、シアノ基がポリマー主鎖の炭素に直接結合されていることにより、シアノ基がポリマー鎖と干渉して、極性基としての特性が発揮されにくいためと考えられる。

【0082】

実施例の共重合体 10～17 は、モノマー B、C またはモノマー A、B からなる二元共重合体である。これらについても、モノマー A、B、C からなる三元共重合体と同じように、比誘電率の向上効果が見られた。

【0083】

＜アクチュエータ特性 1＞

共重合体 1、2、11、14、19 を用いて誘電層を製造し、当該誘電層を備える電歪型のアクチュエータを製造した。まず、共重合体をアセチルアセトンに溶解し、固形分濃度が 20 質量% のポリマー溶液を調製した。次に、ポリマー溶液 100 質量部に対して、架橋剤のテトラキス(2-エチルヘキシルオキシ)チタンのアセトン溶液(濃度 20 質量%) を 5 質量部、絶縁フィラーの酸化チタン粒子を 12.42 質量部添加して、混合液を調製した。調製した混合液を基材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で 60 分間加熱することにより、厚さ 10 μm の薄膜状の誘電層を製造した。これとは別に、アクリルゴムポリマー溶液 100 質量部に対してカーボンブラックを 10 質量部添加して導電塗料を調製した。調製した導電塗料を基材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で 60 分間加熱して、厚さ 5 μm の薄膜状の電極を製造した。電極の体積抵抗率は、5 Ω・cm である。製造した電極を、誘電層の厚さ方向の表裏両面に貼り付けて、一对の電極を形成した。このようにして、誘電層が異なる四種類のアクチュエータを製造した。共重合体 1、2、11、14 は、本発明の誘電エラストマー材料を構成する共重合体に含まれる。共重合体 1、2、11、14 から製造された誘電層を備える実施例 1、2、11、14 のアクチュエータは、本発明のトランスデューサに含まれる。また、上述した市販のアクリルゴム、シリコンゴムからも各々誘電層を製造し、同じようにして誘電層の厚さ方向の表裏両面に電極を形成して、アクチュエータを製造した。そして、各アクチュエータについて、絶縁破壊強度、発生力、および変位量を測定した。

【0084】

まず、絶縁破壊強度の測定装置および測定方法について説明する。図 2 に、測定装置に取り付けられたアクチュエータの表側正面図を示す。図 3 に、図 2 の I I I - I I I 断面図を示す。

【0085】

図 2、図 3 に示すように、アクチュエータ 5 の上端は、測定装置における上側チャック 52 により把持されている。アクチュエータ 5 の下端は、下側チャック 53 により把持されている。アクチュエータ 5 は、予め上下方向に延伸された状態で、上側チャック 52 と下側チャック 53 との間に、取り付けられている(延伸率 25%)。上側チャック 52 の上方には、ロードセル(図略)が配置されている。

【0086】

アクチュエータ 5 は、誘電層 50 と一对の電極 51a、51b とからなる。誘電層 50 は、自然状態で、縦 50 mm、横 25 mm の矩形板状を呈している。電極 51a、51b

は、誘電層 50 を挟んで表裏方向に対向するよう配置されている。電極 51 a、51 b は、自然状態で、各々、縦 40 mm、横 25 mm、厚さ約 10 μ m の矩形板状を呈している。電極 51 a、51 b は、上下方向に 10 mm ずれた状態で配置されている。つまり、電極 51 a、51 b は、誘電層 50 を介して、縦 30 mm、横 25 mm の範囲で重なっている。電極 51 a の下端には、配線（図略）が接続されている。同様に、電極 51 b の上端には、配線（図略）が接続されている。電極 51 a、51 b は、各々の配線を介して、電源（図略）に接続されている。

【0087】

絶縁破壊強度の測定は、電極 51 a、51 b 間に印加する電圧を段階的に増加して、誘電層 50 が破壊されるまで行った。そして、誘電層 50 が破壊される寸前の電圧値を誘電層 50 の厚さで除した値を、絶縁破壊強度とした。

【0088】

次に、発生力の測定装置および測定方法について説明する。発生力の測定は、絶縁破壊強度の測定と同じ装置を用いて行った（図 2、図 3 参照）。電極 51 a、51 b 間に電圧を印加すると、電極 51 a、51 b 間に静電引力が生じて、誘電層 50 を圧縮する。これにより、誘電層 50 の厚さは薄くなり、延伸方向（上下方向）に伸長する。誘電層 50 の伸長により、上下方向の延伸力は減少する。電圧印加時に減少した延伸力を、ロードセルにより測定して、発生力とした。発生力の測定は、電界強度を 30 V/ μ m にして行った。

次に、変位量の測定装置および測定方法について説明する。図 4 に、アクチュエータの上面図を示す。図 5 に、図 4 の V-V 断面図を示す。図 4、図 5 に示すように、アクチュエータ 6 は、誘電層 60 と一对の電極 61 a、61 b とからなる。誘電層 60 は、直径 70 mm の円形の薄膜状を呈している。誘電層 60 は、縦横の二軸方向に 25 % 延伸された状態で配置されている。一对の電極 61 a、61 b は、誘電層 60 を挟んで厚さ方向に対向するよう配置されている。電極 61 a、61 b は、直径約 27 mm の円形の薄膜状を呈しており、各々、誘電層 60 と略同心円状に配置されている。電極 61 a の外周縁には、拡径方向に突出する端子部 610 a が形成されている。端子部 610 a は矩形板状を呈している。同様に、電極 61 b の外周縁には、拡径方向に突出する端子部 610 b が形成されている。端子部 610 b は矩形板状を呈している。端子部 610 b は、端子部 610 a に対して、180° 対向する位置に配置されている。端子部 610 a、610 b は、各々、導線を介して電源 62 に接続されている。

【0089】

電極 61 a、61 b 間に電圧を印加すると、電極 61 a、61 b 間に静電引力が生じて、誘電層 60 を圧縮する。これにより、誘電層 60 の厚さは薄くなり、拡径方向に伸長する。この時、電極 61 a、61 b も、誘電層 60 と一体となって拡径方向に伸長する。電極 61 a には、予め、マーカー 630 が取り付けられている。マーカー 630 の変位を、変位計 63 により測定し、アクチュエータ 6 の変位量とした。変位量の測定は、電界強度を 30 V/ μ m にして行った。そして、測定された変位量から、次式 (i i) により変位率を算出した。

変位率 (%) = (変位量 / 電極の半径) $\times$ 100 . . . (i i)

表 3 および表 4 に、各アクチュエータの発生力、変位率、および絶縁破壊強度の測定結果を示す。

【表 3】

	実施例1 共重合体1	実施例2 共重合体2	実施例3 共重合体3	実施例4 共重合体4	実施例5 共重合体5	実施例6 共重合体6	実施例7 共重合体7	実施例8 共重合体8	実施例9 共重合体9	A+B+C			B+C			A+B
共重合体 組成 [mol%]	エチルアクリレート	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-	-
	ブチルアクリレート	29	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
	2-エチルヘキシルアクリレート	-	-	-	29	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	オクチルアクリレート	-	-	-	-	-	29	20	-	-	-	-	-	-	-	-
	アクリロニトリル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-
	シアノエチルアクリレート	69	78	88	69	78	88	78	69	78	-	-	98	-	70	-
	DOEA	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-
	CEVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-
	アクリル酸	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
	モ/マ-C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シリコン ゴム系	シメキジメチルシラン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	シアノ基修飾シラン1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	シアノ基修飾シラン2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	カーボネート基修飾シラン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	シアノ基修飾NBR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	発生力 [MPa]	0.11	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	-	-
	変位率 [%]	2.41	1.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.33	-	-
	絶縁破壊強度 [V/ μ m]	50	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-
	発生力 [MPa]	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74	-	-
	変位率 [%]	4.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.76	-	-
センサ特性	絶縁破壊強度 [V/ μ m]	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-
	初期の静電容量 [nF]	0.83	0.87	0.89	0.68	0.72	0.80	0.70	0.91	1.00	1.31	0.50	0.74	1.00	0.50	0.74
	100%伸長時の静電容量 [nF]	1.90	1.74	1.78	1.50	1.45	1.61	1.39	2.02	2.21	2.88	1.00	1.48	2.21	1.00	1.48
	静電容量変化量 [nF]	1.07	0.87	0.89	0.82	0.73	0.81	0.78	1.11	1.21	1.57	0.50	0.74	1.21	0.50	0.74

10

20

30

40

【表 4】

共重合体組成 [mol%]	シリコンゴム系	アクリルゴム系	モノマーA	モノマーB	モノマーC	A+B			B+C			A+B+C			比較例5 シリコンゴム	比較例6 カルボキシル基含有NBR
						実施例14	実施例15	実施例16	実施例17	実施例18	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4		
						共重合体14	共重合体15	共重合体16	共重合体17	共重合体18	共重合体19	共重合体20	共重合体21	共重合体22		
			エチルアクリレート			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			ブチルアクリレート			-	-	-	-	-	69	54	49	-	-	-
			2-エチルヘキシルアクリレート			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			オクチルアクリレート			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			アクリロニトリル			-	-	-	-	-	29	44	49	-	-	-
			シア/エチルアクリレート			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			DCEA			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			CEVE			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			アクリル酸			-	-	-	-	-	2	2	2	-	-	-
			ジメチルシメチルシラン			34	34	34	34	-	-	-	-	-	-	-
			シア/基修飾シラン1			33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			シア/基修飾シラン2			33	66	-	33	-	-	-	-	-	-	-
			カーボネート基修飾シラン			-	-	66	33	-	-	-	-	-	-	-
			シア/基修飾NBR			-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
アクチュエータ特性1 (単層)	発生力 [MPa]	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	0.01	0.01	-
	変位率 [%]	2.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	0.08	0.13	-
	絶縁破壊強度 [V/ μ m]	35	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	40	140	-
アクチュエータ特性2 (積層)	発生力 [MPa]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	変位率 [%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	絶縁破壊強度 [V/ μ m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
センサ特性	初期の静電容量 [nF]	0.77	0.77	0.77	0.90	0.90	0.94	0.92	0.92	0.92	0.45	0.42	0.39	0.28	0.15	0.49
	100%伸長時の静電容量 [nF]	1.54	1.68	1.68	1.99	1.99	2.06	2.03	2.03	2.03	1.08	0.84	0.78	0.55	0.30	0.98
	静電容量変化量 [nF]	0.77	0.91	0.91	1.09	1.09	1.12	1.11	1.11	1.11	0.63	0.42	0.39	0.27	0.15	0.49

【0090】

上述したように、共重合体1、2と共重合体19とにおいては、モノマーBの種類が異なり、共重合体1、2の方が比誘電率が大きい。その結果、表3および表4に示すように、共重合体1、2から製造された誘電層を備える実施例1、2のアクチュエータにおいては、共重合体19から製造された誘電層を備える比較例1のアクチュエータと比較して、

発生力および変位率が大きくなった。また、アクリルゴムまたはシリコンゴムから製造された誘電層を備える比較例 4、5 のアクチュエータと比較すると、実施例 1、2、11、14 のアクチュエータの方が、発生力および変位率が大きくなった。

【0091】

<アクチュエータ特性 2>

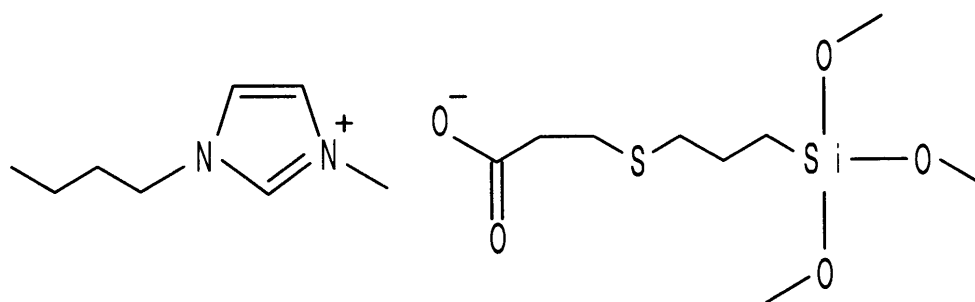
共重合体 1、11 を用いて誘電層を製造し、当該誘電層を備える電歪型のアクチュエータを製造した。製造したアクチュエータの構成は、誘電層の厚さ方向の表裏両面にイオン固定層が積層されている点以外は、<アクチュエータ特性 1>におけるそれと同じである。すなわち、製造したアクチュエータにおいては、カチオン固定層／誘電層／アニオン固定層からなる積層体の表裏両面に電極が配置されている。誘電層および電極の製造方法は、<アクチュエータ特性 1>におけるそれと同じである。以下、アニオン固定層およびカチオン固定層（イオン固定層）について説明する。

【0092】

[アニオン固定層]

まず、反応性イオン液体を製造した。1-ブチル-3-メチルイミダゾリウム炭酸水素塩の溶液 5.0 g（溶剤：メタノール／水＝3：2 混合液、濃度 50 質量％、0.0125 mol）中に、等モルのアクリル酸モノマー（0.0125 mol）を氷浴上で滴下した。その際、気泡が出るのを確認した。30 分後に室温に戻し、6 時間攪拌した。溶媒を減圧留去した後、メタノール（超脱水）（和光純薬工業）を加えて、再度溶媒を減圧留去した。このようにして、イオン液体モノマーを得た。得られたイオン液体モノマー 2.10 g（10.0 mmol）と、3-メルカプトプロピルトリメトキシシラン 1.87 ml（10.1 mmol）と、をメタノール（超脱水）20 ml に溶解した。3-メルカプトプロピルトリメトキシシランに対して 10 mol％のジイソプロピルアミンを触媒として加えて、室温で 20 時間攪拌し、溶媒を減圧留去して、次式（20）に示される反応性イオン液体を得た。

【化 20】



... (20)

【0093】

次に、アニオン固定層を製造した。製造した反応性イオン液体を、チタンテトライソプロポキシドとアセチルアセトンとをモル比で 1：1 で混合した混合液に溶解させた。この混合液にイソプロピルアルコール（IPA）を添加し、さらにチタンテトライソプロポキシドのモル数の 4 倍量の水を滴下して加水分解反応を行った。このようにして、反応性イオン液体のアニオン成分が固定された TiO_2 粒子と、反応性イオン液体のカチオン成分と、を含むゾルを得た。得られたゾルを、カルボキシル基変性水素化ニトリルゴム（HX-NBR、ランクセス社製「テルバン（登録商標）XT8889」）の 12 質量％溶液（溶媒：アセチルアセトン）に混合した。ゾルは、HX-NBR 100 質量部に対して TiO_2 換算で 2.4 質量部入るように混合した。ゾルを混合した混合液に、架橋剤としてテトラキス（2-エチルヘキシルオキシ）チタンのアセチルアセトン溶液（濃度 20 質量％）を 5 質量部添加して、液状のエラストマー組成物を調製した。エラストマー組成物を基

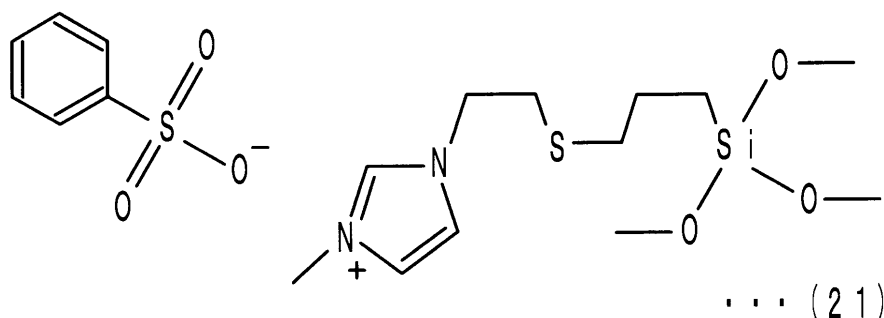
材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で1時間加熱して、アニオン固定層を得た。アニオン固定層の厚さは10μmであった。

【0094】

[カチオン固定層]

まず、反応性イオン液体を製造した。1-メチル-3-ビニルイミダゾリウム炭酸メチル塩の溶液16.2g（溶剤：メタノール／水＝3：2混合液、濃度25質量％、0.022mol）中に、等モルのベンゼンスルホン酸・一水和物3.80（0.022mol）を滴下した。室温で1時間攪拌した後、溶媒を減圧留去し、減圧乾燥を2時間行った。このようにして、イオン液体モノマーを得た。得られたイオン液体モノマー3.00g（11.3mmol）と、3-メルカプトトリメトキシシラン2.43g（12.4mmol）と、をメタノール（超脱水）40mlに溶解した。3-メルカプトトリメトキシシランに対して15mol％のアゾビスイソブチロニトリルをラジカル発生剤として加えて、アルゴンバブリングを30分間行った後、温度75℃、アルゴン下において7時間還流した。溶媒を減圧留去し、ジエチルエーテルで洗浄した後、減圧乾燥して、次式（21）に示される反応性イオン液体を得た。

【化21】



【0095】

次に、カチオン固定層を製造した。製造した反応性イオン液体を、チタンテトライソプロポキシドとアセチルアセトンとをモル比で1：1で混合した混合液に溶解させた。この混合液にIPAを添加し、さらにチタンテトライソプロポキシドのモル数の4倍量の水を滴下して加水分解反応を行った。このようにして、反応性イオン液体のカチオン成分が固定されたTiO₂粒子と、反応性イオン液体のアニオン成分と、を含むゾルを得た。得られたゾルを、HX-NBR（同上）の12質量％溶液（溶媒：アセチルアセトン）に混合した。ゾルは、HX-NBR100質量部に対してTiO₂換算で2.4質量部入るよう混合した。ゾルを混合した混合液に、架橋剤としてテトラキス（2-エチルヘキシルオキシ）チタンのアセチルアセトン溶液（濃度20質量％）を5質量部添加して、液状のエラストマー組成物を調製した。エラストマー組成物を基材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で1時間加熱して、カチオン固定層を得た。カチオン固定層の厚さは10μmであった。

【0096】

誘電層の表面にカチオン固定層を、裏面にアニオン固定層を貼り付けて、各々から基材を剥離することにより、三層構造の積層体を製造した。製造した積層体の表裏両面に電極を貼り付けてアクチュエータを製造した。共重合体1、11から製造された誘電層を備える実施例1、11のアクチュエータは、本発明のトランスデューサに含まれる。各アクチュエータについて、＜アクチュエータ特性1＞で行ったのと同様にして、絶縁破壊強度、発生力、および変位量を測定した。

【0097】

先の表3に、各アクチュエータの発生力、変位率、および絶縁破壊強度の測定結果を併せて示す。表3に示すように、共重合体1、11から製造された誘電層にイオン固定層を積層することにより、発生力、変位率、絶縁破壊強度のいずれも大幅に大きくなった。

【0098】

<センサ特性>

共重合体1～21を用いて誘電層を製造し、当該誘電層を備える静電容量型センサを製造した。まず、共重合体をアセチルアセトンに溶解し、固形分濃度が20質量%のポリマー溶液を調製した。次に、ポリマー溶液100質量部に対して、架橋剤のテトラキス（2-エチルヘキシルオキシ）チタンのアセトン溶液（濃度20質量%）を5質量部添加して、混合液を調製した。調製した混合液を基材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で60分間加熱することにより、厚さ10μmの薄膜状の誘電層を製造した。これとは別に、アクリルゴムポリマー溶液100質量部に対してカーボンブラックを10質量部添加して導電塗料を調製した。調製した導電塗料を基材上に塗布し、乾燥させた後、150℃で60分間加熱して、厚さ5μmの薄膜状の電極を製造した。電極の体積抵抗率は、5Ω・cmである。製造した電極を、誘電層の厚さ方向の表裏両面に貼り付けて、一対の電極を形成した。このようにして、誘電層が異なる十五種類のセンサを製造した。共重合体1～18は、本発明の誘電エラストマー材料を構成する共重合体に含まれる。共重合体1～18から製造された誘電層を備える実施例1～18のセンサは、本発明のトランスデューサに含まれる。また、上述した市販のアクリルゴム、シリコーンゴム、カルボキシル基含有NBRからも誘電層を製造し、同じようにして製造した電極を誘電層の厚さ方向の表裏両面に貼り付けて、センサを製造した。

10

【0099】

製造したセンサについて、まずは初期（未伸長時）の静電容量を測定した。次に、センサを面方向の一方向に伸長し、伸長率100%下での静電容量を測定した。そして、伸長時の静電容量から初期の静電容量を差し引いて、静電容量変化量を算出した。静電容量は、LCRメータ（Keysight社製「E4980AL」）を用いて測定した。

20

【0100】

表3および表4に、各センサの初期および伸長時の静電容量、静電容量変化量の測定結果を併せて示す。表3および表4に示すように、実施例1～13と比較例1～4、実施例14～17と比較例5、実施例18と比較例6、というように、ベースポリマーが同じものの同士を比較すると、実施例のセンサの方が比較例のセンサよりも、静電容量および静電容量変化量が大きくなった。実施例12のセンサにおいては、静電容量変化量が比較例1のセンサよりも若干小さくなったが、比較例2～4のセンサと比較すると大きくなった。静電容量変化量が大きいほど、感度が高く、より小さな変位を検出することができる。

30

【産業上の利用可能性】

【0101】

本発明のトランスデューサは、機械エネルギーと電気エネルギーとの変換を行うアクチュエータ、センサ、発電素子など、あるいは音響エネルギーと電気エネルギーとの変換を行うスピーカ、マイクロフォン、ノイズキャンセラなどとして、広く用いることができる。なかでも、産業、医療、福祉ロボットやアシストスーツなどに用いられる人工筋肉、電子部品冷却用や医療用などの小型ポンプ、振動による触覚機能（ハプティクス）素子、および医療用器具などに用いられる柔軟なアクチュエータとして好適である。また、ウェアラブルな生体情報センサや、ロボットの人工皮膚、医療用、介護用などのマットレス、車椅子のシートなどに配置される圧力センサとして好適である。

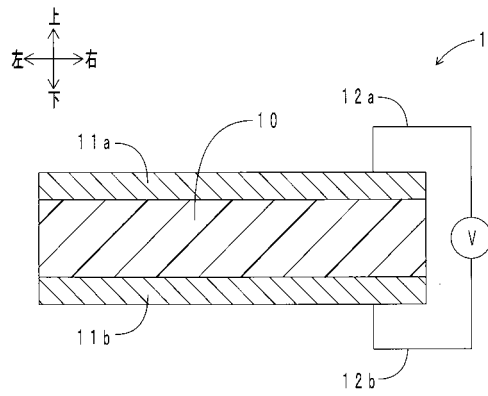
40

【符号の説明】

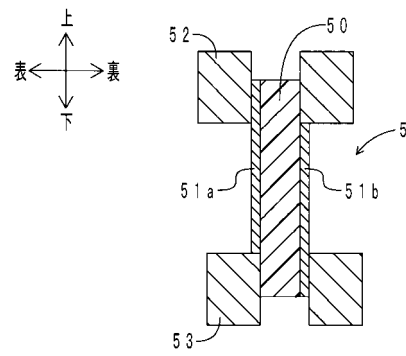
【0102】

1：アクチュエータ（トランスデューサ）、10：誘電層、11a、11b：電極、12a、12b：配線。
5：アクチュエータ、50：誘電層、51a、51b：電極、52：上側チャック、53：下側チャック。
6：アクチュエータ、60：誘電層、61a、61b：電極、62：電源、63：変位計、610a、610b：端子部、630：マーカー。

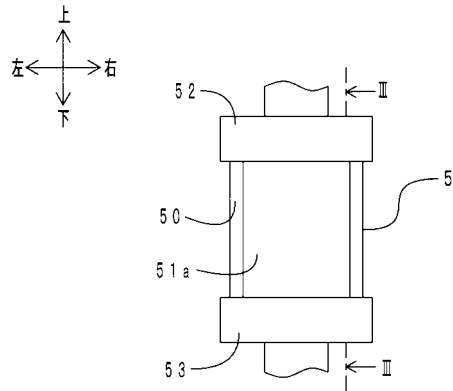
【図 1】



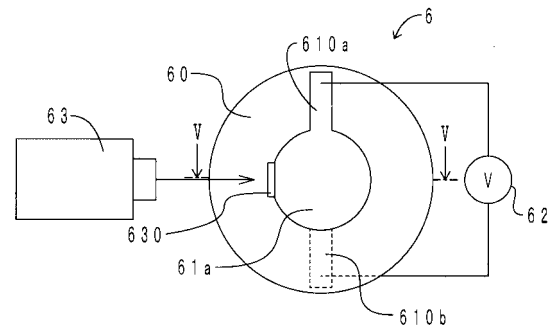
【図 3】



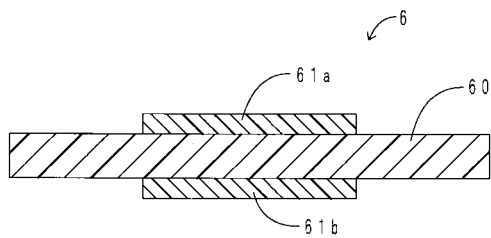
【図 2】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 松下 祐子
愛知県小牧市東三丁目1番地 住友理工株式会社内
- (72)発明者 小林 淳
愛知県小牧市東三丁目1番地 住友理工株式会社内
- (72)発明者 吉川 均
愛知県小牧市東三丁目1番地 住友理工株式会社内
- (72)発明者 高橋 渉
愛知県小牧市東三丁目1番地 住友理工株式会社内
- (72)発明者 伊藤 貴雅
愛知県小牧市東三丁目1番地 住友理工株式会社内
- (72)発明者 高原 淳
福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内
- (72)発明者 松野 亮介
福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内
- (72)発明者 大背戸 豊
福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内

Fターム(参考) 4J002 BG071 BG101 BP031 CP091 CP101 CP171 DE096 DE136 DE186 DE236
DJ016 DJ036 DJ046 FD110 FD126 FD140 FD200 GQ00
4J100 AE09P AJ02R AL03Q AL04Q AL05Q AL08P AL09R AL10R AM02P AM15R
BA02P BA40P BA51P CA04 CA05 DA55 DA57 JA43 JA44
4J246 AA03 AB01 BA020 BA02X BB020 BB022 BB02X CA120 CA12E CA12X
CA240 CA24X CA340 CA660 CA66X CA680 CA760 CA780 CA78X CA830
CA840 CA84X FA061 FA121 FA131 FA321 FA471 FC191 FE02 FE04
FE06 FE22 FE33 FE35 GA01 GA06 GA20 GB12 GC01 GC11
GC53 HA01 HA65
5G305 AA20 AB09 AB17 BA13 CA07 CA18 CA26 CA47 CA51 CC02
CC20 CD01