

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5512834号
(P5512834)

(45) 発行日 平成26年6月4日 (2014. 6. 4)

(24) 登録日 平成26年4月4日 (2014. 4. 4)

(51) Int. Cl.

F I

HO 2 N 11/00 (2006. 01)

HO 2 N 11/00

Z

請求項の数 11 外国語出願 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2013-2984 (P2013-2984)	(73) 特許権者	501228071
(22) 出願日	平成25年1月10日 (2013. 1. 10)		エスアールアイ インターナショナル
(62) 分割の表示	特願2006-524888 (P2006-524888) の分割		SRI International
原出願日	平成16年8月27日 (2004. 8. 27)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(65) 公開番号	特開2013-70620 (P2013-70620A)		025 メンロパーク レイベンスウッド
(43) 公開日	平成25年4月18日 (2013. 4. 18)		アベニュー 333
審査請求日	平成25年2月8日 (2013. 2. 8)		333 Ravenswood Avenue, Menlo Park, Cal
(31) 優先権主張番号	60/499, 088		ifornia 94025, U. S.
(32) 優先日	平成15年8月29日 (2003. 8. 29)		A.
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	110000028
			特許業務法人明成国際特許事務所

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気活性ポリマーの予歪み

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマートランスデューサであって、

少なくとも2つの電極、および

前記少なくとも2つの電極と電気的連通にあり、予歪みされた第1部分および予歪みされた第2部分と、前記第1部分および前記第2部分における予歪みをそれぞれ維持する剛性化された部分と、を含む電気活性ポリマーを備え、

前記予歪みされた第1部分は、前記予歪みされた第2部分よりも大きい予歪みを備えるトランスデューサ。

【請求項 2】

請求項1に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第1部分は、非等方性予歪みを含むトランスデューサ。

【請求項 3】

請求項1に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第1部分は、直線方向において前記予歪みされた第2部分よりも大きい予歪みを備えるトランスデューサ。

【請求項 4】

請求項1に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第1部分および前記予歪みされた第2部分は、それぞれの部分を剛性化するために少なくとも部分的に硬化され

10

20

たポリマー要素をそれぞれ備えるトランスデューサ。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルムおよび前記コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム内またはその上に形成された支持ポリマーを備えるトランスデューサ。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のトランスデューサであって、前記支持ポリマーの硬化は、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分を定義するトランスデューサ。

【請求項 7】

請求項 5 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分は、前記予歪みされた第 2 部分より大きい前記支持ポリマーの濃度を備えるトランスデューサ。

10

【請求項 8】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 40 MPa 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 10 MPa 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

【請求項 10】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分は弾性的に予歪みされているトランスデューサ。

20

【請求項 11】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分において予歪みを維持するように構成される外部フレームまたは外部メカニズムを含まないトランスデューサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、United States Office of Naval Researchによって認められた契約番号N00014-02-C-0252の下で政府の支持で一部がなされた。政府は本発明に権利を有する。

【0002】

30

本発明は、電気エネルギーおよび機械エネルギーの間で変換する電気活性ポリマーに関する。より具体的には、本発明は予歪みが与えられた電気活性ポリマーに関する。

【背景技術】

【0003】

多くの応用例において、電気エネルギーおよび機械エネルギーの間で変換することが望ましい。電気から機械エネルギーへの変換を要求する例示的応用例は、ロボット、モータ、ポンプ、バルブ、スピーカ、センサ、マイクロ流体デバイス、一般的なオートメーション、ディスクドライブ、および人工器官器具を含む。これらの応用例は、巨視的または微視的に電気エネルギーを機械的動作に変換する 1 つ以上のトランスデューサを含む。機械から電気エネルギーへの変換を要求する例示的応用例は、センサおよび発電機を含む。

40

【0004】

電氣的エネルギーを機械的エネルギーに、およびその逆に変換できる新しい電気活性ポリマーは、広い範囲のエネルギー変換の応用例について利用可能である。電気活性ポリマーのある特定のクラスである電気活性エラストマーは、高いエネルギー密度、応力、および電気—機械変換効率を示しえる。多くの電気活性ポリマーのパフォーマンスは、ポリマーが予歪みを与えられるときに顕著に増される。

【0005】

予歪みは、ポリマーを張力で伸長し、1 つ以上のポリマーのエッジを伸長された状態で固定することによるポリマーの変形を従来、必要とした。フレームのような堅固でかさばる支持構造が予歪みを支持するために通常使われた。バネのようなメカニズムも、ポリマ

50

ー予歪みを支持するために、巻かれた電気活性ポリマーデバイスにおいては用いられてきた。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

前述を考慮すれば、電気活性ポリマーにおいて予歪みを得て維持する代替の技術が望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、電気活性ポリマーの1つ以上の部分において予歪みを維持する電気活性ポリマー、トランスデューサおよびデバイスを提供する。ここで記載される電気活性ポリマーは、予歪みされた部分および予歪みされた部分において予歪みを維持するよう構成される剛性化された部分を含みえる。ある実施形態において、本発明は、部分的に硬化された電気活性ポリマーに予歪みを与える。部分的に硬化されたポリマーは、予歪みを剛性化および維持するためにそれからさらに硬化される。他の実施形態において、支持レイヤが電気活性ポリマーの一部において予歪みを維持する前記ポリマーと結合される。

10

【0008】

本発明の他の実施形態は、電気活性ポリマー内で予歪みを維持するためにポリマー前駆体を硬化させる。硬化可能な前駆体は、電気活性ポリマーシートまたはフィルムの表面に塗布されえ、硬化の前にフィルム内へ少なくとも部分的に分散または拡散することを可能にされる。

20

【0009】

他の実施形態において、支持ポリマーのための前駆体が、ポリマーを例えば薄膜に形成する前に、電気活性ポリマーのための前駆体と混合される。前駆体は、電気活性ポリマーを形成した後にポリマーの剛性化された部分内で支持ポリマーを形成するために支持ポリマーについて硬化される。

【0010】

ある局面において、本発明は、電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマートランスデューサに関する。このトランスデューサは、少なくとも2つの電極を備える。このトランスデューサは、前記少なくとも2つの電極と電気的連通にある電気活性ポリマーも備える。この電気活性ポリマーは、予歪みされた部分および前記予歪みされた部分における予歪みを維持するよう構成される剛性化された部分を含む。

30

【0011】

他の局面において、本発明は、電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマートランスデューサに関する。このトランスデューサは、少なくとも2つの電極を備える。このトランスデューサはまた前記少なくとも2つの電極と電気的連通にあり、予歪みされた部分を含む電気活性ポリマーを備える。トランスデューサはさらに前記電気活性ポリマーの表面部分に結合され、前記予歪みされた部分において予歪みを維持するよう構成される支持レイヤを備える。

【0012】

40

他の局面において、本発明は、電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマートランスデューサに関する。このトランスデューサは、少なくとも2つの電極を備える。このトランスデューサは、前記少なくとも2つの電極と電気的連通にあり、予歪みされた第1部分および予歪みされた第2部分を含む電気活性ポリマーを備える。前記予歪みされた第1部分は、前記予歪みされた第2部分よりも大きい予歪みを備える。

【0013】

さらに他の局面において、本発明は、電気活性ポリマーを形成する方法に関する。この方法は、部分的に硬化された電気活性ポリマーを形成するための電気活性ポリマーのための前駆体を部分的に硬化させることを含む。この方法は、また前記電気活性ポリマーについての予歪みを実現するために前記部分的に硬化された電気活性ポリマーを伸長すること

50

を含む。この方法は加えて、前記部分を剛性化するために前記電気活性ポリマーの一部をさらに硬化させることを含む。

【0014】

他の局面においては、本発明は、電気活性ポリマーを形成する方法に関する。この方法は、前記ポリマーの一部において予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長することを含む。この方法はまた、前記ポリマーが予歪みされるとき、前記ポリマーの表面部分に支持レイヤを結合させることを含む。前記支持レイヤは、前記予歪みされた部分に重なり、少なくとも部分的に前記部分において前記予歪みを維持する。

【0015】

さらに他の局面において、本発明は、電気活性ポリマーを形成する方法に関する。本発明は、ポリマー前駆体を前記電気活性ポリマーの一部の表面に塗布することを含む。本発明はまた予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長することを含む。本発明は加えて前記部分を剛性化するために前記ポリマー前駆体を硬化することを含む。

【0016】

さらに他の局面において、本発明は電気活性ポリマーを形成する方法に関する。この方法は、電気活性ポリマーのための前駆体および支持ポリマーのための前駆体を備える混合物を提供することを含む。この方法は、前記混合物から前記電気活性ポリマーを形成することを含む。この方法はまた前記電気活性ポリマーの一部において予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長することを含む。この方法はさらに前記ポリマーの剛性化された部分中に前記支持ポリマーを形成するために前記支持ポリマーのための前記前駆体を硬化することを含む。本発明は、以下の適用例としても実現可能である。

[適用例 1]

電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマートランスデューサであって、

少なくとも2つの電極、および

予歪みされた部分を含み、前記予歪みされた部分における予歪みを維持するよう構成される剛性化された部分を含む前記少なくとも2つの電極と電気的連通にある電気活性ポリマー

を備えるトランスデューサ。

[適用例 2]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム、および前記コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム内またはその上に形成され前記剛性化されたポリマー部分を定義する支持ポリマーを備えるトランスデューサ。

[適用例 3]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記剛性化された部分は、前記予歪みを少なくとも部分的に維持するために前記電気活性ポリマーが予歪みされているあいだに硬化されたポリマー要素を備えるトランスデューサ。

[適用例 4]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記剛性化された部分は、前記予歪みされた部分を伸長することから生じる前記予歪みされた部分における弾性圧縮力に反対する力を提供するよう構成されるトランスデューサ。

[適用例 5]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記剛性化された部分は前記予歪みされた部分と周辺で境界をなすトランスデューサ。

[適用例 6]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 40 MPa 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 7]

適用例 6 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 10 MPa

10

20

30

40

50

未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 8]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記剛性化されたポリマー部分は、約 10 MPa 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 9]

適用例 8 に記載のトランスデューサであって、前記剛性化されたポリマー部分は、約 50 MPa より大きい弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 10]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた部分は非等方性予歪みを含むトランスデューサ。

10

[適用例 11]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた部分は弾性的に予歪みされているトランスデューサ。

[適用例 12]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマトランスデューサは、前記予歪みされた部分において予歪みを維持するよう構成される外部フレームまたは外部メカニズムを含まないトランスデューサ。

[適用例 13]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、予歪みされた部分は、実質的に電気活性ポリマーの全体を含むトランスデューサ。

20

[適用例 14]

適用例 1 に記載のトランスデューサであって、前記剛性化された部分は、主方向によって特徴付けられる直線セグメントを備え、前記直線セグメントは、前記主方向において前記予歪みされた部分の撓みを低減するトランスデューサ。

[適用例 15]

電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマトランスデューサであって、

少なくとも 2 つの電極、および

前記少なくとも 2 つの電極と電気的連通にあり、予歪みされた部分を含む電気活性ポリマー、および

30

前記電気活性ポリマーの表面部分に結合され、前記予歪みされた部分において予歪みを維持するよう構成される支持レイヤを備えるトランスデューサ。

[適用例 16]

適用例 15 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは前記予歪みされた部分に重なるトランスデューサ。

[適用例 17]

適用例 16 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは、前記少なくとも 2 つの電極のうちの 1 つの上に配置されるトランスデューサ。

[適用例 18]

40

適用例 15 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは前記表面部分に積層化されているトランスデューサ。

[適用例 19]

適用例 15 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは、前記電気活性ポリマーよりも大きい剛性を備えるトランスデューサ。

[適用例 20]

適用例 15 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは前記電気活性ポリマーと同じ材料を備えるトランスデューサ。

[適用例 21]

適用例 15 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは前記電気活性ポリマ

50

ーの撓みで撓むように構成されるトランスデューサ。

[適用例 2 2]

適用例 2 1 に記載のトランスデューサであって、前記表面部分は幾何学的形状に似るトランスデューサ。

[適用例 2 3]

適用例 1 5 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 4 0 M P a 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 2 4]

適用例 2 3 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 1 0 M P a 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

10

[適用例 2 5]

適用例 1 5 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは、約 5 0 M P a より大きい弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 2 6]

適用例 2 5 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは、約 1 0 M P a 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 2 7]

適用例 1 5 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマー トランスデューサは、前記予歪みされた部分において予歪みを維持するよう構成される外部フレームまたは外部メカニズムを含まないトランスデューサ。

20

[適用例 2 8]

適用例 1 5 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは、前記電気活性ポリマーのそれより小さい電気抵抗を備えるトランスデューサ。

[適用例 2 9]

適用例 2 8 に記載のトランスデューサであって、前記支持レイヤは、前記トランスデューサの電極として構成されるトランスデューサ。

[適用例 3 0]

適用例 1 5 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた部分は非等方性予歪みを含むトランスデューサ。

[適用例 3 1]

適用例 1 5 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた部分は弾性的に予歪みされるトランスデューサ。

30

[適用例 3 2]

電気的および機械的エネルギーの間で変換する電気活性ポリマー トランスデューサであって、

少なくとも 2 つの電極、および

前記少なくとも 2 つの電極と電気的連通にあり、予歪みされた第 1 部分および予歪みされた第 2 部分を含む電気活性ポリマーを備え、

前記予歪みされた第 1 部分は、前記予歪みされた第 2 部分よりも大きい予歪みを備えるトランスデューサ。

40

[適用例 3 3]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分は、非等方性予歪みを含むトランスデューサ。

[適用例 3 4]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分は、直線方向において前記予歪みされた第 2 部分よりも大きい予歪みを備えるトランスデューサ。

[適用例 3 5]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分は、それぞれの部分を剛性化するために少なくとも部分的に硬化さ

50

れたポリマー要素をそれぞれ備えるトランスデューサ。

[適用例 3 6]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルムおよび前記コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム内またはその上に形成された支持ポリマーを備えるトランスデューサ。

[適用例 3 6]

適用例 3 6 に記載のトランスデューサであって、前記支持ポリマーの硬化は、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分を定義するトランスデューサ。

[適用例 3 7]

適用例 3 6 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分は、前記予歪みされた第 2 部分より大きい前記支持ポリマーの濃度を備えるトランスデューサ。

[適用例 3 8]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 4 0 M P a 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 3 9]

適用例 3 8 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマーは、約 1 0 M P a 未満の弾性係数を備えるトランスデューサ。

[適用例 4 0]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分は弾性的に予歪みされているトランスデューサ。

[適用例 4 1]

適用例 3 2 に記載のトランスデューサであって、前記電気活性ポリマー トランスデューサは、前記予歪みされた第 1 部分および前記予歪みされた第 2 部分において予歪みを維持するよう構成される外部フレームまたは外部メカニズムを含まないトランスデューサ。

[適用例 4 2]

電気活性ポリマーを形成する方法であって、
部分的に硬化された電気活性ポリマーを形成するための電気活性ポリマーのための前駆体を部分的に硬化させること、

前記電気活性ポリマーについての予歪みを実現するために前記部分的に硬化された電気活性ポリマーを伸長すること、および

前記部分を剛性化するために前記電気活性ポリマーの一部をさらに硬化させることを含む方法。

[適用例 4 3]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記部分的に硬化させること、または前記さらに硬化させることは、熱的硬化を採用する方法。

[適用例 4 4]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記剛性化された部分は、前記電気活性ポリマーの予歪みされた第 2 部分と境界をなし、前記剛性化された部分は前記予歪みされた第 2 部分についての予歪みを維持するよう構成される方法。

[適用例 4 5]

適用例 4 4 に記載の方法であって、前記剛性化された部分は、前記予歪みされた部分における弾性圧縮力に反対する力を提供するよう構成されるトランスデューサ。

[適用例 4 6]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記剛性化された部分は、約 1 0 M P a より大きい弾性係数を備えるようにさらに硬化される方法。

[適用例 4 7]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーをさらに硬化させることは、前記電気活性ポリマーを照射に曝露することを含む方法。

[適用例 4 8]

10

20

30

40

50

適用例 4 7 に記載の方法であって、前記部分の形状およびサイズを定義する前記ポリマーの表面にマスクを適用することをさらに含む方法。

[適用例 4 9]

適用例 4 8 に記載の方法であって、前記マスクは、前記部分および前記電気活性ポリマーの第 2 部分に差分照射曝露を行う方法。

[適用例 5 0]

適用例 4 9 に記載の方法であって、前記マスクは、前記電気活性ポリマーのエッジ部分への照射曝露の量を減らす方法。

[適用例 5 1]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記部分は、硬化されるときに少なくとも部分的に電気活性ポリマーを剛性化するポリマー前駆体を備える方法。

10

[適用例 5 2]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは、コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム、および前記コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム内またはその上に形成された支持ポリマーを備える方法。

[適用例 5 3]

適用例 5 2 に記載の方法であって、前記支持ポリマーの硬化は前記部分を剛性化する方法。

[適用例 5 4]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記部分的に硬化された電気活性ポリマーは、前記部分的に硬化された電気活性ポリマーを弾性的に伸長するのに適する機械的完全性を備える方法。

20

[適用例 5 5]

適用例 4 2 に記載の方法であって、電気活性ポリマーは第 2 方向より第 1 方向において大きく伸長される方法。

[適用例 5 6]

適用例 4 2 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは、弾性予歪みを達成するために伸長される方法。

[適用例 5 7]

適用例 4 2 に記載の方法であって、電極を前記電気活性ポリマーの表面に堆積することをさらに含む方法。

30

[適用例 5 8]

適用例 5 7 に記載の方法であって、前記電極は前記ポリマー上にスプレーされる方法。

[適用例 5 9]

電気活性ポリマーを形成する方法であって、
前記ポリマーの一部において予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長すること、および

前記ポリマーが予歪みされるとき、前記ポリマーの表面部分に支持レイヤを結合させること

を含む方法であって、前記支持レイヤは、前記予歪みされた部分に重なり、少なくとも部分的に前記部分において前記予歪みを維持する方法。

40

[適用例 6 0]

適用例 5 9 に記載の方法であって、
前記支持レイヤが前記表面部分に結合される状態で、前記予歪みを維持するためにフレームで前記電気活性ポリマーを保持すること、および
前記電気活性ポリマーを前記フレームから解放すること
を含む方法。

[適用例 6 1]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記支持レイヤは、前記ポリマーについての弾性係数より大きい弾性係数を備える方法。

50

[適用例 6 2]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記表面部分は電極と重なる方法。

[適用例 6 3]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記表面部分は幾何学的形状に類似する方法。

[適用例 6 4]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは、約 1 0 M P a 未満の弾性係数を備える方法。

[適用例 6 5]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記支持レイヤは、約 1 0 M P a 未満の弾性係数を備える方法。

[適用例 6 6]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記支持レイヤを前記ポリマーに結合させる前に、電極を前記電気活性ポリマーの表面に堆積することをさらに含む方法。

[適用例 6 7]

適用例 6 6 に記載の方法であって、前記電極は前記ポリマー上にスプレーされる方法。

[適用例 6 8]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーがトランスデューサ内で採用されるときに、前記支持レイヤは前記電気活性ポリマーについての電極として働く方法。

[適用例 6 9]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは第 2 方向より第 1 方向において大きく伸長される方法。

[適用例 7 0]

適用例 5 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは、弾性予歪みを達成するために伸長される方法。

[適用例 7 1]

電気活性ポリマーを形成する方法であって、
ポリマー前駆体を前記電気活性ポリマーの一部の表面に塗布すること、
予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長すること、および
前記部分を剛性化するために前記ポリマー前駆体を硬化すること
を含む方法。

[適用例 7 2]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記ポリマー前駆体は、前記電気活性ポリマーが予歪みされた後で、前記表面上に塗布される方法。

[適用例 7 3]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記剛性化された部分は、硬化の後に前記剛性化された部分において前記予歪みを少なくとも部分的に維持する方法。

[適用例 7 4]

適用例 7 3 に記載の方法であって、電極を前記部分上の前記表面に設けることをさらに含む方法。

[適用例 7 5]

適用例 7 1 に記載の方法であって、剛性化された部分は、前記電気活性ポリマーの予歪みされた第 2 部分と境界をなす方法。

[適用例 7 6]

適用例 7 5 に記載の方法であって、電極を前記予歪みされた第 2 部分の表面上の前記表面にさらに備える方法。

[適用例 7 7]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記ポリマー前駆体を前記電気活性ポリマーの第 2 部分上に塗布することをさらに含む方法。

[適用例 7 8]

適用例 7 7 に記載の方法であって、前記第 1 部分よりも前記第 2 部分に前記ポリマー前

10

20

30

40

50

駆体のより多い量が塗布される方法。

[適用例 7 9]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記ポリマー前駆体を前記部分内に拡散させることをさらに含む方法。

[適用例 8 0]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記ポリマー前駆体は、前記電気活性ポリマーの前記表面部分にスプレーされる方法。

[適用例 8 1]

適用例 8 0 に記載の方法であって、前記部分の形状およびサイズを定義するマスクを前記ポリマー表面に適用することをさらに備える方法。

10

[適用例 8 2]

適用例 8 1 に記載の方法であって、前記予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長することは、前記電気活性ポリマーを歪みを与えられた状態に保持するフレームを用いる方法。

[適用例 8 3]

適用例 8 2 に記載の方法であって、硬化が完了した後で、前記電気活性ポリマーを前記フレームから解放することをさらに備える方法。

[適用例 8 4]

適用例 7 1 に記載の方法であって、電気活性ポリマーは第 2 方向より第 1 方向において大きく伸長される方法。

20

[適用例 8 5]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは、弾性予歪みを達成するために伸長される方法。

[適用例 8 6]

適用例 7 1 に記載の方法であって、前記ポリマー前駆体を硬化させることは、前記部分を照射に曝露することを含む方法。

[適用例 8 7]

適用例 8 6 に記載の方法であって、前記部分の形状およびサイズを定義する前記電気活性ポリマーの表面にマスクを適用することをさらに含む方法。

[適用例 8 8]

30

適用例 7 5 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーを形成することをさらに含む方法。

[適用例 8 9]

電気活性ポリマーを形成する方法であって、

電気活性ポリマーのための前駆体および支持ポリマーのための前駆体を備える混合物を提供すること、

前記混合物から前記電気活性ポリマーを形成すること、

前記電気活性ポリマーの一部において予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長すること、および

前記ポリマーの剛性化された部分中に前記支持ポリマーを形成するために前記支持ポリマーのための前記前駆体を硬化することを含む方法。

40

[適用例 9 0]

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記剛性化された部分は、前記予歪みされた部分に重なる方法。

[適用例 9 1]

適用例 9 0 に記載の方法であって、電極を前記予歪みされた部分上の表面に設けることをさらに含む方法。

[適用例 9 2]

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記剛性化された部分は、前記電気活性ポリマーの

50

前記予歪みされた部分に隣接する方法。

[適用例 9 3]

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは、弾性予歪みを実現するために伸長される方法。

[適用例 9 4]

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーを形成することは前記混合物をキャストリングすることを含む方法。

[適用例 9 5]

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記支持ポリマーのための前記前駆体は、前記剛性化された部分のための表面を照射に曝露することを含む方法。

10

[適用例 9 6]

適用例 9 5 に記載の方法であって、前記剛性化された部分の形状およびサイズを定義するマスクを前記ポリマー表面に適用することをさらに含む方法。

[適用例 9 7]

適用例 9 6 に記載の方法であって、前記マスクは差分照射曝露を前記剛性化された部分および前記電気活性ポリマーの第 2 部分に行う方法。

[適用例 9 8]

適用例 9 7 に記載の方法であって、前記マスクは、前記電気活性ポリマーのエッジ部分への照射曝露の量を減らす方法。

[適用例 9 9]

20

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記予歪みを実現するために前記電気活性ポリマーを伸長することは、前記電気活性ポリマーを歪みが与えられた状態に保持するフレームを用いる方法。

[適用例 1 0 0]

適用例 9 9 に記載の方法であって、照射曝露が完了した後、前記電気活性ポリマーを前記フレームから解放することをさらに含む方法。

[適用例 1 0 1]

適用例 8 9 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマーは第 2 方向より第 1 方向において大きく伸長される方法。

【 0 0 1 7 】

30

本発明のこれらおよび他の特徴および優位性は、以下の本発明の説明および関連付けられる図において記載される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1 A】本発明のある実施形態による電圧の印加の前のトランスデューサの上部透視図である。

【図 1 B】本発明のある実施形態による電圧の印加の後のトランスデューサの上部透視図である。

【図 1 C】本発明のある実施形態による複数のアクティブ領域を備えるモノリシックトランスデューサを示す図である。

40

【図 2 A】本発明のある実施形態による予歪みされた部分および剛性化された部分を備える電気活性ポリマーを示す図である。

【図 2 B】本発明のある実施形態による剛性化された部分に対応する予歪みされた部分を備える電気活性ポリマーを示す図である。

【図 2 C】本発明のある実施形態による単一のポリマー上にパターン付けされた複数の剛性化された領域を備える電気活性ポリマーを示す図である。

【図 3 A】本発明のある実施形態による電気的および機械的エネルギー間で変換する電気活性ポリマートランスデューサを示す図である。

【図 3 B】本発明のある実施形態による伸長されたフィルムアクチュエータを示す図である。

50

【図 3 C】本発明の具体的な実施形態による撓みに影響を与える直線セグメントを備える電気活性ポリマートランスデューサを示す図である。

【図 4】本発明のある実施形態による電気活性ポリマーを形成するデュアル硬化プロセスフローの図である。

【図 5】本発明のある実施形態による電気活性ポリマーを形成する支持レイヤ結合プロセスフローの図である。

【図 6】本発明のある実施形態による電気活性ポリマーを形成するポリマー前駆体を採用するプロセスフローの図である。

【図 7】本発明のある実施形態による電気活性ポリマーを形成する、支持ポリマーのためのポリマー前駆体および電気活性ポリマーのための前駆体を備える混合物を採用するプロセスフローの図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0019】

本発明は、添付の図面に示されるいくつかの好ましい実施形態を参照して詳細に説明される。以下の記載において、本発明の完全な理解を促すために多くの具体的な詳細が述べられている。しかし本発明はこれら特定の詳細の一部または全てがなくても実施されえることは当業者には明らかだろう。他の場合においてはよく知られたプロセスステップおよび/または構成は、本発明を不必要にばかさないために記載されていない。

【0020】

概観

20

【0021】

電気活性ポリマーは、機械的および電気的エネルギーの間で変換する。本発明は、電気的および機械的エネルギーの間の変換を改善するために予歪みが与えられている電気活性ポリマーに関する。予歪みは、電気活性ポリマーのパフォーマンスを向上させる。例えば、予歪みは、歪みが与えられていない (non-strained) 電気活性ポリマーに対して電気活性ポリマーの機械的応答を改善する。改善された機械的応答は、その電気活性ポリマーについてより大きな機械的仕事、例えばより大きな撓み (deflections) およびアクチュエーション圧力を可能にする。面積比で 2 倍から 2.5 倍の予歪みは、多くの電気活性ポリマーのパフォーマンスを大きく改善する。例えば、予歪みされるとき、アクリルコポリマーエラストマー (例えば 3M Corporation によって提供される 3M VHB 4910) は、面積比または直線歪みで 100% から 380% の大きくかつ可逆な電気機械的歪み (strain) を作る。少なくとも約 200 パーセントの歪みおよび少なくとも約 300 パーセントの面積歪みは、本発明の他の予歪みされたポリマーではふつうである。

30

【0022】

予歪みは、ポリマーの異なる方向において変わりえる。予歪みの方向的可変性を結合すると、ポリマーを制約する異なるやり方、微視的および巨視的レベルの両方についての電気活性ポリマーのスケラビリティ、および異なるポリマー方向付け (例えば、個別のポリマーレイヤを巻くことまたは重ねること) は、電気的および機械的エネルギーの間で変換する幅広いトランスデューサ、デバイス、アクチュエータ、センサおよび発電機を可能にする。

40

【0023】

本発明は、ポリマーにおいて予歪みを保持するための堅固なフレームまたは別個のメカニズムの必要を減らす (デバイスによっては依然としてフレームを含みえるが、ポリマー中の予歪みを維持する必要はない)。予歪みを保持するためのフレームのような非能動構造を減らすこと、またはなくすことは、電気活性ポリマーデバイスの製造および構成の複雑さを減らし、デバイスの機械的安定性を改善し、デバイスをパッケージする代替のやり方を可能にし、全体のデバイスエネルギー密度を増し、および電気活性ポリマーデバイスのかさおよび重さを減らす。

【0024】

電気活性ポリマーにおいて予歪みを維持するためのいくつかの技術が説明される。ある

50

技術は、ポリマーの１つ以上の部分を剛性化し、予歪みを維持するために積層体を採用する。他の技術は、ポリマーの１つ以上の部分を剛性化するために硬化技術を採用する。他の実施形態において、本発明は、１つ以上の硬化可能なポリマー前駆体 (curable polymer precursors) を電気活性ポリマーに追加することを含む。具体的な実施形態において、硬化可能なポリマー前駆体は、電気活性ポリマーのシートまたは膜の表面に塗布され、その膜内へ分散または拡散することが可能にされる。それからこの混合物は、１つ以上のより剛性を持つ部分を形成するよう硬化される。

【００２５】

他の局面において、本発明は、電気活性ポリマーを製造する方法、および１つ以上の予歪みされた電気活性ポリマーを含む電気機械デバイスを提供する。

10

【００２６】

電気活性ポリマートランスデューサの一般的な構造

本発明のトランスデューサおよびデバイスにおける電気および機械エネルギー間の変換は、電気活性ポリマーのエラストランスおよび電気活性ポリマーの１つ以上の部分のエネルギー変換に基づく。電気エネルギーを機械エネルギーへ変換する電気活性ポリマーのパフォーマンスを示すのに役立つよう、図１Ａは、本発明のある実施形態によるトランスデューサ部１０の上部透視図である。電気活性ポリマートランスデューサがここで構造体として説明されるが、当業者には本発明は後述されるような動作を実行する方法を包含することが理解されよう。

【００２７】

20

トランスデューサ部１０は、電氣的エネルギーおよび機械的エネルギー間で変換する活性ポリマー１２を備える。ある実施形態において、電気活性ポリマーは、２つの電極間の絶縁誘電体として振る舞い、２つの電極間での電圧差の印加とともに撓みえるポリマーを指す。ポリマー１２は、電氣的に電極１４および１６と連通する。より具体的には、上部および底部電極１４および１６は、それぞれその上部および底部表面において電気活性ポリマー１２に接触し、ポリマー１２の一部にわたって電圧差を提供する。ポリマー１２は、上部および底部電極１４および１６によって提供される電界における変化で撓む。電極１４および１６によって提供される電界における変化に応答するトランスデューサ部１０の撓みは、アクチュエーションと呼ばれる。ポリマー１２のサイズが変化するにつれ、この撓みは機械的仕事を作るのに用いられえる。

30

【００２８】

図１Ｂは、電界の変化に応答する撓みを含むトランスデューサ部１０の上部透視図である。一般に、撓み (deflection) は、ポリマー１２の一部の任意の変位、膨張、収縮、膨らみ、ねじれ、線または面積歪み、または任意の他の変形を指す。電極１４および１６に、またはそれらによって印加された電圧差に対応する電界における変化は、ポリマー１２内に機械的圧力を作る。この場合、電極１４および１６によって作られた異なる電氣的電荷は、互いに引き合い、電極１４および１６間に圧縮力を、平面方向１８および２０においてポリマー１２に伸長力を提供し、ポリマー１２が電極１４および１６間で圧力し、平面方向１８および２０において伸長するようにさせる。

【００２９】

40

電極１４および１６間の電圧の印加の後に、平面方向１８および２０の両方においてポリマー１２は拡大する (伸長する)。場合によっては、ポリマー１２は、非圧縮性であり、例えば応力下で実質的に一定の容積を有する。非圧縮性ポリマー１２については、ポリマー１２は、ポリマー１２は、平面方向１８および２０での拡大の結果、厚さが減る。本発明は非圧縮性ポリマー１２に限定されず、ポリマー１２の撓みはそのような簡単な関係に従わなくてもよいことが理解されよう。

【００３０】

一般に、トランスデューサ部１０は、機械的力が撓みを駆動する静電力とバランスするまで撓み続ける。機械的力は、ポリマー１２材料の弾性復元力、電極１４および１６のコンプライアンス、およびトランスデューサ部１０に結合されたデバイスおよび/または負

50

荷によって提供される任意の外部抵抗などを含む。印加された電圧の結果によるトランスデューサ部 10 の撓みは、ポリマー 12 の誘電率およびポリマー 12 の大きさのような多くの他のファクタにも依存しえる。

【0031】

図 1 A に示されるトランスデューサ部 10 上の電極 14 および 16 間の比較的大きな電圧差の印加は、よってトランスデューサ部 10 が図 1 B に示されるようにより薄く、より大きな面積形状へと変化するようにさせる。このようにして、トランスデューサ部 10 は、電氣的エネルギーを機械的エネルギーへ変換する。機械的エネルギーから電氣的エネルギーへ変換するためのトランスデューサ部 10 の使用が以下に説明される。

【0032】

図 1 A および 1 B に示されるように、電極 14 および 16 は、示されるポリマー 12 の全体の部分を覆う。よりふつうには、電極 14 および 16 は、ポリマーの全表面面積に対してポリマー 12 の限られた部分を覆う。これは、ポリマー 12 のエッジの周りの電氣的ブレイクダウンを防ぐためになされえる。電極は、以下にさらに詳細に説明されるように、カスタマイズされた表面撓みを達成するために特別な形状でパターン付けされてもよい。代替として、これは、ポリマーの非圧縮性を利用し、1 つ以上のポリマー表面上で表面特徴および変形を作るためになされえる。

【0033】

ここでこの語が用いられるように、アクティブ領域は、ポリマー材料 12 および少なくとも 2 つの電極を備えるトランスデューサの一部を指す。このアクティブ領域が電氣的エネルギーを機械的エネルギーに変換するのに用いられるとき、アクティブ領域は、この部分の撓みを可能にするだけ十分な静電力を有するポリマー 12 の一部を含む。アクティブ領域が機械的エネルギーを電氣的エネルギーに変換するのに用いられるとき、このアクティブ領域は、静電エネルギーの変化を可能にするのに十分な撓みを有するポリマー 12 の一部を含む。以下で説明されるように、本発明のポリマーは、複数のアクティブ領域を有しえる。

【0034】

一般に、本発明のトランスデューサと用いられるのに適するポリマーは、静電力に応答して変形する、またはその変形が電界の変化を生じる、任意の実質的に絶縁性のポリマーまたはゴム（またはそれらの混合物）を含む。好ましくは、ポリマーの変形は、広い範囲の歪みにわたって可逆である。多くのエラストマーポリマーは、この目的を果たしえる。適切なポリマーを設計または選択するときには、最適な材料、物理的特性、および化学的特性を考慮すべきだろう。そのような特性は、モノマー（任意の側鎖を含む）、添加剤、架橋の度合い、結晶化度、分子量などの思慮深い選択によって調節されえる。

【0035】

ポリマー 12 は、多くの異なる物理的および化学的状态をとりえる。例えば、ポリマーは、可塑剤のような添加剤と共に、またはそれなしで用いられえる。またそれらは、モノリシックポリマーシートまたは積層体またはパッチワークのようなポリマーの組み合わせでありえる。さらに、ポリマーは、単一の相または多相で存在しえる。多相材料の 1 つの例は、そこに混合された無機充填剤粒子を有するポリマーマトリックスである。

【0036】

トランスデューサポリマーの最終的な化学的および物理的状态に関わらず、それはポリマーマトリックスを含むことになる。このマトリックスは、ホモポリマーまたはコポリマー、架橋有り、または架橋なし、直鎖または分岐などでありえる。本発明のトランスデューサと用いるのに適するポリマーの例示的クラスは、シリコーンエラストマー、アクリルエラストマー、ポリウレタン、熱可塑性エラストマー、P V D F を備えるコポリマー、感圧性接着剤、フルオロエラストマー、シリコーンおよびアクリル残基 (moieties) などを備えるポリマーを含む。明らかに、これら材料のいくつかの組み合わせは、本発明のトランスデューサのポリマーマトリックスとして用いられえる。コポリマーおよび混合物も適するポリマーのクラスに入る。ある例は、シリコーンエラストマーおよびアクリルエラス

10

20

30

40

50

トマーの混合物である。

【0037】

ある適する商業的に入手可能なポリマーは、カリフォルニア州、CarpenteriaのNuSil Technologyによって提供されるNuSil CF19-2186である。適するシリコンエラストマーの例は、デラウェア州、WilmingtonのDow Corningによって提供されるDow Corning HS3である。適するフルオロシリコンの一例は、デラウェア州、WilmingtonのDow Corningによって提供されるDow Corning 730である。適するアクリルの例は、ミネソタ州、St. Paulの3M Corp.によって提供される4900 VHBアクリルシリーズ中の任意のアクリルを含む。

【0038】

電気活性ポリマー、またはその一部のための適切なアクチュエーション電圧は、ポリマー膜の厚さのようなポリマーの寸法と共に、誘電率のような電気活性ポリマーの材料特性に依存しえる。例えば、図1Aのポリマー12をアクチュエートするのに用いられるアクチュエーション電界は、約0 V/mから約440 MV/mまでの大きさに範囲しえる。この範囲のアクチュエーション電界は、約0 Paから約10 MPaまでの範囲の圧力を作りえる。トランスデューサがより大きな力を作るためには、ポリマーレイヤの厚さが増されなければならない。特定のポリマーについてのアクチュエーション電圧は、例えば、誘電率を増し、ポリマー厚さを減らし、かつ弾性係数を減らすことによって低減されえる。

【0039】

ある実施形態において、ポリマー12は、そのエラストランスに基づいてコンプライアンスを有し、選択される。約100 MPaより小さいポリマー12についての弾性係数が多い実施形態について適する。ある具体的な実施形態において、電気活性ポリマー12は、40 MPaより小さい弾性係数を含む。他の具体的な実施形態においては、電気活性ポリマー12は、比較的コンプライアンスがあり、10 MPaより小さい弾性係数を含む。

【0040】

本発明のトランスデューサおよびポリマーは、特定の幾何学形状または撓みのタイプに限定されない。例えば、ポリマーおよび電極は、円筒およびロール、複数の堅固な構造の間に取り付けられた伸長されたポリマー、ここで記載された技術によって維持される任意の幾何学形状の伸長されたポリマー（曲面または複雑な幾何学形状、1つ以上のジョイントを有するフレームにわたるものなどを含む）を含む任意の幾何学的配置または形状に形成されえる。本発明によるトランスデューサの撓みは、直線状拡張および/または1つ以上の方向における圧縮、屈曲、ポリマーが巻かれるときは軸についての撓み、基板に設けられる穴から出る撓みなどを含みえる。トランスデューサの撓みは、どのようにポリマーがフレーム、ポリマーに取り付けられた堅固な構造、またはポリマーの剛性化された部分（例えば、硬化または積層化を介して）によって制約されるかによって影響されえる。具体的な実施形態において、ポリマーより伸長においてより剛性のある可撓性材料がトランスデューサの一端に取り付けられ、ポリマーがアクチュエートされるとき屈曲を生じる。

【0041】

直線歪みおよび面歪みは、予歪みされたポリマーの撓みを記述するために用いられえる。ここでこの語が用いられるように、予歪みされたポリマーの線歪みは、アクチュエートされない状態に対しての撓みのラインに沿った単位長当たりの撓みを指す。少なくとも約50%の最大線歪み（引張または圧縮）が本発明の予歪みされたポリマーについてはふつつうである。もちろん、ポリマーは、この最大より小さい歪みで撓みえ、歪みは、印加される電圧を調節することによって調整されえる。ある予歪みされたポリマーについては、少なくとも約100%の最大線歪みがふつつうである。ミネソタ州、St. Paulの3M Corp.によって製造されるVHB 4910のようなポリマーについては、40から215パーセントの範囲にある最大線歪みがふつつうである。電気活性ポリマーの面歪みは、例えば図1Aおよび1Bにおける方向108および110によって定義される平面における変化のような、アクチュエートされない状態に対するアクチュエーション時のポリマーの単位面積当たりの平面領域における変化を指す。少なくとも約100パーセントの最大面歪みが本発明の予歪みされたポリマーについては可能である。いくつかの予歪みされたポリマーについては、

70から330パーセントの範囲の最大面歪みがふつうである。

【0042】

本発明の電気活性ポリマーは高い歪みにおいて撓みえるので、ポリマーに取り付けられた電極も機械的または電氣的パフォーマンスで妥協することなく撓まなければならない。一般に、本発明と共に用いられるのに適する電極は、それらが電気活性ポリマーに適切な電圧を印加でき、またはそれから適切な電圧を受け取れる限り、任意の形状および材料でありえる。電圧は、時間について一定または可変のいずれでもよい。ある実施形態において、電極は、ポリマーの表面に接着する。ポリマーに接着する電極は、コンプライアンスがあり、ポリマーの変化する形状に従いえる。電極は、電気活性ポリマーの一部に適用されえ、その幾何学形状にしたがってアクティブ領域を定義しえる。以下に記載されるように、電極は、ポリマーの撓みによって作られる表面フィーチャのための所望の形状を達成するようパターン付けされえる。

10

【0043】

ある実施形態において、電極14および16は、コンプライアンスを有し、それらが取り付けられる電気活性ポリマーの形状に従う。図1Aおよび1Bを再び参照し、ポリマー12および電極14および16の構成は、撓みについてのポリマー12の応答の増加を提供する。より具体的には、トランスデューサ部10が撓むにつれ、ポリマー12の圧縮は、電極14および16の反対の電荷がより近くなるようにし、ポリマー12の伸長はそれぞれの電極中の同極の電荷を引き離す。ある実施形態においては、電極14および16のうちの1つはグラウンドである。

20

【0044】

本発明と共に用いるのに適するさまざまなタイプの電極は、共有された同時係属中の米国特許出願第09/619,848号に記載され、全ての目的のために参照によって援用される。そこで記載された本発明とともに用いるのに適した電極には、金属トレースおよび電荷分配レイヤを含む構造化電極、さまざまな平面外寸法を含む模様付き電極、カーボングリースまたはシルバークリースのような導電グリース、コロイド懸濁液、カーボン微小繊維およびカーボンナノチューブのような高アスペクト比導電材料、およびイオン導電材料の混合物が含まれる。本発明は、金属および半可撓性電極も採用しえる。ある実施形態において、例えば錫箔のように金属レイヤが平面外では可撓性であり、平面内では比較的剛性があるように金属は薄いシートで設けられる。平面外では可撓性であり、平面内では比較的剛性がある他の電極は、アルミニウム付きマイラのシートを備えうる。他の実施形態においては、この金属は、金属レイヤが堅固であり、取り付けられた表面上で撓みからポリマーを制約するように厚いシートで設けられる。

30

【0045】

本発明の電極に用いられる材料はさまざまである。電極として用いられる適切な材料には、グラファイト、カーボンブラック、コロイド懸濁液、銀および金を含む薄い金属、銀が満たされた、またはカーボンが満たされたゲルまたはポリマー、ゼラチン、イオンのまたは電子的に導電性を有するポリマーが含まれる。特定の実施形態において、本発明と共に用いられるのに適切な電極は、ペンシルバニア州のPhiladelphiaのStockwell Rubber Co. Inc.によって製造されるStockwell RTV60-CONのようなシリコンラバーバインダ中の80パーセントカーボングリースおよび20パーセントカーボンブラックを含む。カーボングリースは、マサチューセッツ州のFairhavenのNye Lubricant Inc.によって提供されるNyoGel 756Gのようなタイプである。導電グリースはまた、ニューヨーク州、WaterfordのGeneral Electricによって製造されるRTV 118のようなエラストマーと混合され、ゲル状の導電グリースを提供しえる。

40

【0046】

ある種の電極材料は特定のポリマーとうまく働き、他のものとはうまく働かないということもありえることが理解されよう。たいいていのトランスデューサについて、コンプライアンスを有する電極について望ましい特性は、以下のうちの1つ以上を含みえる。すなわち低弾性率、低機械的減衰、低表面抵抗、均一な抵抗、化学的および環境的安定性、電気

50

活性ポリマーとの化学的適合性、電気活性ポリマーへの良好な接着性、および滑らかな表面を形成できる性能である。場合によっては、本発明のトランスデューサは、例えばそれぞれのアクティブ領域についての異なる電極タイプ、またはポリマーの反対側上の異なる電極タイプのような２つの異なるタイプの電極を実現しえる。

【００４７】

電子ドライバが電極に典型的には接続される。電気活性ポリマーに提供される電圧は、トランスデューサおよび応用例の具体的事項に依存する。ある実施形態において、本発明のトランスデューサは、ＤＣバイアス電圧の周りで印加された電圧を変調することによって電氣的に駆動される。バイアス電圧についての変調は、印加された電圧に対してのトランスデューサの改良された感度および直線性を可能にする。例えば、オーディオ応用例において用いられるトランスデューサは、約７５０から２０００ボルトＤＣに範囲するバイアス電圧の上に２００から１０００ボルトに達するピークツーピークの信号によって駆動されえる。

10

【００４８】

本発明によれば、「モノリシック」という語は、ここでは複数のアクティブ領域を単一のポリマー上に備える電気活性ポリマー、トランスデューサ、およびデバイスを指すのに用いられる。図１Ｃは、本発明のある実施形態によって複数のアクティブ領域を備えるモノリシックストランスデューサ１５０を示す。モノリシックストランスデューサ１５０は、電気エネルギーおよび機械エネルギーの間で変換をする。モノリシックストランスデューサ１５０は、２つのアクティブ領域１５２ａおよび１５２ｂを有する電気活性ポリマー１５１を備える。

20

【００４９】

アクティブ領域１５２ａは、その上部および下部表面１５１ｃおよび１５１ｄ上でそれぞれポリマー１５１に取り付けられた上部および下部電極１５４ａおよび１５４ｂを有する。電極１５４ａおよび１５４ｂは、ポリマー１５１の部分１５１ａにわたって電圧差を与える。部分１５１ａは、電極１５４ａおよび１５４ｂによって与えられた電界の変化によって撓む。より具体的には、部分１５１ａは、部分１５１ａにわたっての適切な電圧差で、平面において拡張し、垂直には（またはその平面と直交して）薄くなる。部分１５１ａは、電極１５４ａおよび１５４ｂの間のポリマー１５１、および電極１５４ａおよび１５４ｂを用いた電圧の印加による撓みおよび薄くなることを可能にするのに静電力によって誘導された十分な応力を有するポリマー１５１の任意の他の部分を備える。

30

【００５０】

アクティブ領域１５２ｂは、その上部および下部表面１５１ｃおよび１５１ｄ上でそれぞれポリマー１５１に取り付けられた上部および下部電極１５６ａおよび１５６ｂを有する。電極１５６ａおよび１５６ｂは、ポリマー１５１の部分１５１ｂにわたって電圧差を提供する。部分１５１ｂは、電極１５６ａおよび１５６ｂによって与えられた電界の変化によって撓む。より具体的には、部分１５１ｂは、部分１５１ｂにわたっての適切な電圧差で、平面において拡張し、垂直には（またはその平面と直交して）薄くなる。部分１５１ｂは、電極１５６ａおよび１５６ｂの間のポリマー１５１、および電極１５６ａおよび１５６ｂを用いた電圧の印加による撓みを可能にする静電力によって誘導された十分な応力を有するポリマー１５１の任意の他の部分を備える。

40

【００５１】

アクティブ領域１５２ａおよび１５２ｂは、それらそれぞれの電極を介して独立制御を許す。よって適切な制御電子回路と共に、アクティブ領域１５２ａおよび１５２ｂは、個別に、同時に、断続的になどアクチュエートされえる。

【００５２】

ここまでは、ここまで記載された電気活性ポリマーの反対側表面上の電極は、サイズ、形状および位置において対称的であった。本発明のトランスデューサの反対側上の電極は、対称的設計またはレイアウトに限定されず、電気活性ポリマーの反対側表面上で異なるサイズ、形状、タイプ、および／または位置を有しえる。ポリマー上の電極は、所望のよ

50

うにパターン付けされえる。例えば、1つ以上の電極は、マスクまたはステンシルによって決定される形状でポリマーの表面上にスプレーされえる。異なるマスクがそれぞれのポリマー表面について用いられえる。カスタマイズされた電極形状は、ポリマー部分からのカスタマイズされた撓みを可能にする。それぞれのアクティブ領域についての電極の制御は、それぞれのカスタムパターン付けされたアクティブ領域が個別に、同時に、断続的になどアクチュエートされることを可能にする。

【0053】

電気活性ポリマー予歪み

電気活性ポリマー12、または1つ以上のその部分は予歪みが与えられる。多くのポリマーのパフォーマンスは、ポリマーが面積で予歪みされると顕著に増される。多くのポリマーについて、予歪みは、電気的および機械的エネルギー間の変換を改善する。改善された機械的応答は、電気活性ポリマーについてより大きな機械的仕事、例えばより大きな撓みおよびアクチュエーション圧力を可能にする。ある実施形態において、予歪みは、ポリマーの誘電強度を改善する。例えば10倍から25倍の面積増加は、多くの電気活性ポリマーエラストマーのパフォーマンスを改善する。

【0054】

ある実施形態において、予歪みは弾性的である。原則的に、弾性的に予歪みされたポリマーは、除去された予歪みを維持し、その元の歪みがない状態に戻る任意の力または変化を有しえる。

【0055】

予歪みは、ポリマー12の弾性変形を備え得て、例えばポリマーを張力を持って伸長させ、ポリマーが伸長されるあいだにここで記載された技術の1つ以上を適用することによって形成されえる。ある実施形態において、電気活性ポリマー、またはポリマーに追加されたポリマー前駆体の部分は、それらの剛性を増し、ポリマーの1つ以上の部分についての予歪みを保持するために硬化またはそうでなければ剛性化される。これは、予歪みが外部フレームなしで保持されることを可能にする。本発明は、ポリマーの1つ以上の部分について予歪みを維持するためにポリマー上に積層された1つ以上の剛性のあるレイヤを採用しえる。

【0056】

1つ以上の方向においてポリマーの予歪みは、予歪み後のある方向における寸法の、予歪み前のその方向における寸法に対する変化として記述されえる。ある実施形態において、予歪みは、等方性予歪みポリマーを作るためにポリマー12の部分にわたって均一に与えられる。例として、アクリルエラストマーポリマーは、平面方向18および20（図1A）において200から400パーセントだけ伸長されえる。他の実施形態において、予歪みは、非等方性予歪みポリマーを作るためにポリマー12の部分について異なる方向に不均一に与えられる。この場合、ポリマー12は、アクチュエートされるとき、ある方向より他の方向により大きく撓みえる。理論によって束縛されることを望まないが、ある方向にポリマーを予歪みすることは、その予歪み方向においてポリマーの剛性を増しえると考えられている。結果として、ポリマーは、その予歪み方向においては比較的剛性があり、低い予歪み方向においてはよりコンプライアンスを有し、アクチュエーションと共に、より多くの撓みが低予歪み方向に起きる。ある実施形態においては、トランスデューサ部10の方向18における撓みは、直角方向20における大きな予歪みを採用することによって向上されえる。例えば、トランスデューサ部10として用いられるアクリルエラストマーポリマーは、方向18において10パーセント、および直角方向20において500パーセント伸長されえる。

【0057】

ポリマーについての予歪みの量は、電気活性ポリマー材料およびアクチュエータ、発電機、センサまたは応用例における電気活性ポリマートランスデューサの所望のパフォーマンスに基づきえる。本発明のあるポリマーについては、1つ以上の方向における予歪みは、-100パーセントから600パーセントに範囲しえる。例として、等方性予歪みを有

10

20

30

40

50

するVHBアクリルエラストマーについては、少なくとも約100パーセント、および好ましくは約200～400パーセントの間の予歪みがそれぞれの方向において用いられる。ある実施形態において、ポリマーは、元の面積の約1.5倍から50倍の範囲の係数によって予歪みされる。コンプライアンスのある方向におけるアクチュエーションを向上させるために予歪みされる非等方性アクリルについては、約400～500パーセントの間の予歪みが剛性化方向において用いられ、約20～200パーセントの間の予歪みがコンプライアンス方向において用いられる。場合によっては、予歪みは、負の予歪みが他の方向に起きるように、例えば、ある方向に600パーセントで、直交する方向に-100パーセントであるように、ある方向において追加されえる。これらの場合、予歪みによる面積の正味の変化は、典型的には正である。本発明と用いるのに適する予歪みは、共有される米国特許第6,545,384号にさらに記載され、その全体が全ての目的のために参照によって援用される。

10

【0058】

予歪みは、ポリマー12の他の特性に影響を与えうる。大きな予歪みは、ポリマーの弾性特性を変化させ、より低い粘弾性損失でより剛性のある組織に変えうる。あるポリマーについては、予歪みは、ポリマー12の電氣的ブレイクダウン強度を増し、これはさらに高い電界がポリマー内で用いられることを可能にし、より高いアクチュエーション圧力およびより高い撓みを許す。

【0059】

予歪みは、実質的にポリマー全体について施されてもよく、またはポリマーの一部について局所的に実現されてもよい。ポリマーの異なる部分は、後述のように異なる予歪みも含みえる（例えば図2C）。

20

【0060】

例示的予歪み構成

本発明は、ポリマーおよび/または積層体の剛性化された部分を用いて、予歪みを電気活性ポリマーの1つ以上の部分について維持する。ポリマーまたはその一部について予歪みを維持するフレームまたは1つ以上の構造的支持部として形づくられた剛性化された部分を有する電気活性ポリマー、トランスデューサまたはデバイスの構成は数え切れないほど存在する。電気活性ポリマーデバイスのためのフレームおよび構造的な要素の多くの例は、共有される米国特許第6,545,384号にさらに記載され、上で参照によって援用された。いくつかの例示的電気活性ポリマー構成がここで説明を進めるために示される。

30

【0061】

図2Aは、本発明のある実施形態による予歪みされた部分42および剛性化された部分44を備えうる電気活性ポリマー40を示す。予歪みされた部分42は、非等方性および/または弾性予歪みのような予歪みを含むポリマー40の一部を含む。

【0062】

剛性化された部分44は、予歪みされた部分42において予歪みを維持するよう構成される。剛性化された部分44は、予歪み部分42において予歪みを保持し維持する構造要素として働く。より具体的には、剛性化された部分44は、その予歪みを得るために予歪み部分42が伸長されたときに発生される伸長された予歪み部分42における弾性収縮力に反対する力を提供するように構成される。よって剛性化された部分44は、ポリマー40についての機械的安定性を提供する。示されるように、剛性化された部分44は、予歪みされた部分42を周辺で境界線を作る四角形の窓を備える。

40

【0063】

剛性化された部分44は、予歪み部分42よりもより大きい剛性を有する（またはより少ない圧縮性を有する）ポリマー40の一部を備えうる。ある実施形態において、剛性化されたポリマー部分は、約10MPaより大きい弾性係数を備える。他の実施形態において、剛性化されたポリマー部分は、約50MPaより大きい弾性係数を備える。

【0064】

ある実施形態において、剛性化された部分44は、電気活性ポリマー40が少なくとも

50

部分的に予歪み部分 4 2 において予歪みを維持するよう予歪みされた状態で硬化されたポリマー要素を備える。以下にさらに詳述されるように、剛性化された部分 4 4 は、示される剛性化された部分 4 4 によって示される領域においてポリマー 4 0 を硬化させること、剛性化された部分 4 4 によって示される領域に含まれるポリマー前駆体を硬化させること、または剛性化された部分 4 4 によって示される領域に支持レイヤを積層させることを介しても形成されえる。

【 0 0 6 5 】

1 つ以上の電極は、剛性化された部分 4 4 内のアクティブ領域を作るために予歪みされた部分 4 2 の両方の表面上に配置されえる。図 3 B は、電極 2 7 5 および 2 7 6 がポリマーに硬化されたフレーム 2 7 1 内の予歪み部分 2 7 3 の上部および底部表面上にパターン付けされる、伸長されたフィルムアクチュエータを示す。この場合、予歪みされた部分のポリマー 2 7 3 は、フレーム 2 7 1 を剛性化するのに用いられるメカニズムを含む必要はない。例えば、もしポリマー前駆体がフレーム 2 7 1 を剛性化するよう硬化されるなら、予歪み部分ポリマー 2 7 3 は、ポリマー前駆体を含まなくてもよく、または大きく硬化させることなくポリマー前駆体を含んでもよい。

【 0 0 6 6 】

ある実施形態において、電気活性ポリマー 4 0 は、コンプライアンスを有する電気活性ポリマー膜および剛性化されたポリマー部分 4 4 を定義するコンプライアンスを有する電気活性ポリマー膜内またはその上に形成された支持ポリマーを備える。硬化のような支持ポリマーを形成する技術は後述される。

【 0 0 6 7 】

剛性化された部分 4 4 は、「in-situ」のしかし別個の機械的支持を予歪み部分 4 2 のために提供する。すなわち、電気活性ポリマー 4 0 は、予歪み部分 4 2 において予歪みを維持するよう構成される外部フレームまたは外部メカニズムを含まず、その代わり、増強された剛性を有するポリマー 4 0 の部分に頼る。これは、ポリマー 4 0 を採用するトランスデューサおよびデバイスの製造を簡略化し、トランスデューサおよびデバイスの力密度を増す。

【 0 0 6 8 】

図 2 A のように剛性化された部分および予歪みされた部分を分離することに対して、本発明は、剛性化を含む予歪み部分を作るために、電気活性ポリマーの一部（またはポリマー全体）を剛性化しえる。この場合、剛性化された部分は、予歪み局所的に支持し、共通の予歪み / 剛性化部分が撓むように意図される。よって、剛性化された部分は、予歪みにロックされ、一方、共通の剛性化 / 予歪み部分はやはり動く。これは、予歪みを含むが、予歪みを維持するためにポリマーを固定するフレームの必要をなくすポリマーシートを有利に提供する。フレームは、デバイスにおけるポリマーに結合するためのような他の理由のためにも用いられえが、予歪みを保持するのにフレームからポリマー上に加えられる応力はなくされる。これは、予歪みは含むが、予歪みを保持するためのポリマー中の応力を含まないポリマー、またはその部分を作る。

【 0 0 6 9 】

図 2 B は、本発明のある実施形態による剛性化された部分 6 4 に対応する予歪みされた部分 6 2 を備える電気活性ポリマー 6 0 を示す。示されるように、剛性化された部分 6 4 は、実質的に電気活性ポリマー 6 0 の全体を備える。加えて、予歪みされた部分 6 2 は、剛性化された部分 6 4 と表面領域で一致し、実質的に電気活性ポリマー 6 0 の全体を備える。この場合、剛性化されたポリマー 6 0 の部分が予歪みを内的に維持する。換言すれば、予歪み部分 6 2 は、予歪みされた部分 6 2 がその予歪みを得るために伸長されたときに発生された伸長された予歪み部分 6 2 における弾性圧縮力に反対する力を提供するよう剛性化されている。

【 0 0 7 0 】

ある実施形態において、剛性化部分 6 4 は、硬化された電気活性ポリマーを備え、一方、ポリマー 6 0 全体は所望の剛性、コンプライアンスまたは予歪みレベルを得るために伸

10

20

30

40

50

長されている。この場合、共通剛性化部分 6 4 / 予歪み部分 6 2 は、製造において予歪みを保持するのに用いられるために硬化に利用不可能なポリマーを保持するのに必要とされるもの（例えば放射硬化に対して可視ではないもの）を除いて、硬化されたポリマー 6 0 の全ての部分を含みえる。熱硬化については、共通剛性化部分 6 4 / 予歪み部分 6 2 は、全体のポリマー 6 0 を含みえる。

【 0 0 7 1 】

他の実施形態において、剛性化された部分 6 4 は、全体の電気活性ポリマー 6 0 に加えられ、全体のポリマー 6 0 が伸長されているときに硬化されたポリマー要素を備える。再び、これはポリマー成分を追加するのに利用不可能な部分を除外しえる。ポリマー成分を追加するときマスクを用いてパターニングすること、または硬化においてマスクでパターニングすることは、カスタムサイズの予歪み部分 6 2 を作るために用いられえ。代替として、ポリマー成分は、全体のポリマー 6 0 および全体のポリマー 6 0 を予歪みおよび剛性化するために硬化された（例えばオープン内で熱的に）全体のポリマーに追加されえ。

10

【 0 0 7 2 】

ポリマー前駆体を硬化させることも、予歪みされた部分 6 2（ポリマー 6 0 の全体だろうが、またはその一部だろうが）を形成しえる。再び、ポリマー前駆体を追加するときマスクを用いてパターニングすること、または硬化においてマスクでパターニングすることは、カスタムサイズの予歪み部分 6 2 を作るために用いられえ。またはポリマー全体がこのやり方で予歪みおよび硬化されえ、例えば予歪みされた部分 6 2 およびポリマー 6 0 の寸法に似た剛性化部分をつくる。

20

【 0 0 7 3 】

電気活性ポリマーのための前駆体および支持ポリマーのための前駆体を備える混合物中で混合された支持ポリマーについての前駆体を硬化させることも、予歪み部分 6 2 を形成しえる。ある実施形態において、硬化された組成の技術は、ポリマー 6 0 の全体を剛性化させ、実質的に均一な予歪み特性を持つ電気活性ポリマー全体を備える剛性化された部分を作る。

【 0 0 7 4 】

図 2 B に示される予歪みもポリマーについてのブレークダウン電圧を増しえる。これは、予歪みなしの同じポリマーよりも絶縁体およびキャパシタとしてのポリマーの使用を改善する。加えて、ポリマー 6 0 は、予歪みを支持するフレームの使用から生まれるアクチュエータレベルにおいて印加された予歪み応力を含まない。

30

【 0 0 7 5 】

図 2 B は、ポリマー 6 0 の全体のサイズと空間的に一致する剛性化された部分 6 4 を示すが、6 0 のより小さい部分は、剛性化された部分と表面領域において一致する予歪みされた部分を含みえることが理解されよう。例えば、マスクは、図 2 C に示される形状（境界をなす支持部分なしで）を作るために用いられえ。

【 0 0 7 6 】

図 2 C は、本発明のある実施形態によって単一のポリマー上にパターン付けされた複数の剛性化された領域 8 2、8 4 および 8 6 を備える電気活性ポリマー 8 0 を示す。剛性化された部分 8 2 は、四角の予歪みされた部分 8 3 について境界をなし、予歪みを維持し、一方、剛性化された部分 8 4 は、円形の予歪みされた部分 8 5 について境界をなし、予歪みを維持する。予歪みされた部分 8 6 は、予歪みされた部分 8 6 と空間的に一致する剛性化された部分を含み、剛性化された部分 8 2 および 8 4 より少ない剛性を備えることによって、共通予歪み部分 / 剛性化部分 8 6 の撓みを許す。

40

【 0 0 7 7 】

ポリマー 8 0 は、複数の電気活性ポリマー トランスデューサのバッチ製造を許し、予歪みされた部分 8 3 および 8 5 およびそのそれぞれの剛性化された領域を備える トランスデューサ および デバイスの製造を簡略化する。例えば写真硬化の単一のマスクを用いて多くの剛性化された領域 8 2 および 8 4 をパターン付けすることは、全体のポリマー およびそ

50

の上に形成された全体の予歪みされた部分 8 3、8 5 および 8 6 のための予歪みを達成するために、全体の電気活性ポリマー 8 0 のための 1 つの伸長アクションを可能にする。より多くおよびより少なく異なる部分を写真硬化することは、それから所望の剛性をそれぞれの部分に作りえる。例えば、予歪みされた部分 8 6 a は、増された硬化および剛性化を含みえ、よってより剛性のあるポリマーおよび増された予歪みを部分 8 6 a に作り、これに対して 8 6 b は、より少ない硬化および剛性化を備え、よってより柔らかいポリマーおよび減らされた予歪みを部分 8 6 b に作る。

【 0 0 7 8 】

ある実施形態において、剛性化された領域 8 2 は、剛性化された領域 8 4 よりもより大きい剛性を備える。差分剛性化のためのいくつかの技術が後述される。例えば剛性化された領域 8 2 は、予歪みされた部分 8 3 上に課せられる予歪みを完全に維持するより大きな剛性を備えうるが、一方、剛性化された領域 8 4 は、予歪み部分 8 3 に課せられた予歪みを部分的に維持する、例えばそれぞれの方向において予歪みを半分だけ維持するより小さい剛性を備えうる。ポリマー 8 0 が一定の予歪みを全体にわたって含むとき、この差分剛性は、単一の電気活性ポリマー上に差分予歪みを持つ領域群を作る。よって、電気活性ポリマー 8 0 は、第 2 予歪みされた部分 8 5 よりより大きい予歪みを有する予歪みされた部分 8 3 を備える。

【 0 0 7 9 】

それぞれの予歪みされた部分および剛性化された部分は、適切なマスクまたはエッチング技術を用いて形成されえる。それぞれの予歪みされた部分 8 5 および剛性化された部分 8 4 は、例えばダイヤフラムアクチュエータにおいて用いられえ。このダイヤフラムアクチュエータは、剛性のある部分 8 4 および電極 8 8 で覆われた剛性のある部分 8 4 内の穴に架かるポリマーを含む。それぞれの予歪みされた部分 8 3 および剛性化された部分 8 2 は、例えば伸長されたフィルムアクチュエータにおいて用いられえ（図 2 D）。予歪みされた部分 8 6 b は、巻かれた電気活性ポリマーアクチュエータ、発電機またはセンサにおいて用いられえ。予歪みされた部分 8 6 a は、リニアボウタイアクチュエータ（linear bowtie actuator）において用いられえ。それぞれの予歪みされた部分は、ポリマー 8 0 から切り抜かれ、それぞれのポリマー部分についての個別の製造を進められえ。それぞれの予歪みされた部分をポリマーから分離することは、電極が追加される前または後に起こりえ。示されるように、電極 8 8 は、それぞれの予歪みされた部分に追加されている。

【 0 0 8 0 】

電気活性ポリマー 8 0 は異なる予歪みされた部分形状で示されるが、単一のポリマーについてそれぞれの予歪みされた部分は同じ形状を含みえることが理解されよう。この場合、非等方性予歪みは、ポリマー 8 0 の全体およびその上にパターン付けされたそれぞれの部分に印加されえ。ある実施形態において、予歪みされた部分 8 3 および予歪みされた部分 8 5 は、それぞれの部分を剛性化するために少なくとも部分的に硬化されたポリマー成分をそれぞれ備える。硬化のあいだにマスクを適用することは、ポリマー 8 0 上のそれぞれの部分について形状、サイズおよび剛性をそれからカスタマイズしえ（マスクは硬化エネルギーに対して選択的な透過性を含む）。他の実施形態において、電気活性ポリマー 8 0 は、コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルムおよびそのコンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム内にまたはその上に形成された支持ポリマーを備える。この場合、ポリマーの異なる部分に適用され、ポリマー内に拡散することを許された支持ポリマーの量は、部分についての剛性または予歪みレベルを制御するために変化させられる。例えば、予歪み部分 8 5 は、予歪み部分 8 3 よりも支持ポリマーのより高い濃度を備えうる。

【 0 0 8 1 】

図 3 A は、本発明のある実施形態によって電気的および機械的の間で変換する電気活性ポリマートランスデューサ 1 0 0 を示す。トランスデューサ 1 0 0 は、ポリマー 1 0 2、電極 1 0 4 および 1 0 6 および支持レイヤ 1 0 8 を備える。電気活性ポリマー 1 0 2 は、

電極 104 および 106 と電氣的に導電性の連通にあり、予歪みされた部分 110 を含む。

【0082】

支持レイヤ 108 は、電気活性ポリマー 102 の表面部分 109 に結合され、部分 110 において予歪みを維持するよう構成される。支持レイヤ 108 は、予歪みされた部分 110 における予歪みを保持および維持する構造的要素として働く。より具体的には、支持レイヤ 108 は、伸長された予歪み部分 110 における弾性圧縮力に反対する力を提供する。支持レイヤは、電気活性ポリマー 102 の撓みで撓むようにも構成される。よって、支持レイヤ 108 が部分 110 において予歪みを維持するための適切な剛性を含む一方、支持レイヤ 108 は、アクチュエーションまたはポリマー 102 の他の撓みに従うのに充分なコンプライアンスを有する。

10

【0083】

支持レイヤ 108 についての剛性は、結合されたレイヤ 108 およびポリマー 102 についての総剛性を達成するよう選ばれえる。ある実施形態において、結合されたレイヤ 108 およびポリマー 102 は、約 10 MPa より小さい弾性係数を備える。支持レイヤ 108 についての剛性は、ポリマー 102 についての剛性に一致するよう調整されえる。支持レイヤ 108 によって提供される剛性は、支持レイヤ 108 の弾性係数およびレイヤ 108 の厚さに依存することが理解されよう。ある実施形態においては、支持レイヤ 108 は、ポリマー 102 よりより大きい剛性を備える。具体的な実施形態においては、支持レイヤ 108 は、約 50 MPa より大きい弾性係数を備える。この場合、レイヤ 108 の厚さは、電氣的入力に対して増された撓みが望ましいときは低減されえる。他の実施形態において、支持レイヤ 108 は、電氣的に誘起された歪みを増すために比較的柔らかく、約 10 MPa より小さい弾性係数を備える。

20

【0084】

表面部分 109 は、支持レイヤ 108 に接触するポリマー 102 の表面上の領域を表す。示されるように、支持レイヤ 108 は、予歪み部分 110 と重なる。支持レイヤ 108 および予歪み部分 110 間での重なりは、支持レイヤ 108 および部分 110 の間のポリマー 108 の表面上の少なくとも部分的な交差を表す。典型的には、これは、表面領域の視点から捉えられ、支持レイヤ 108 および部分 110 の両方が可視であることはないかもしれないことが理解されよう。支持レイヤ 108 は電極 104 と重なる。ある実施形態において、支持レイヤ 108 は、電極 104 を超えて延び、電極 104 の外のポリマーに取り付けられる（またはポリマー上の複数のアクティブ領域に対応する他の電極と重なる）。具体的な実施形態において、支持レイヤ 108 は、ポリマー部分またはそれが覆う電極の形状に類似する。ポリマー部分および電気活性ポリマートランスデューサの電極は、幾何学的形状のようなカスタム形状を含みえるので、表面部分 109 はよってポリマー部分または電極の表面形状に一致する幾何学的形状に類似しえる。

30

【0085】

支持レイヤ 108 およびポリマー 102 の表面の間の結合は、積層、貼り合わせられる材料に基づく適切な接着剤を用いた取り付け、接着レイヤのような中間レイヤを通した取り付けなどを備えうる。積層は、貼り合わせられる 2 つの材料によって決定される 2 つの表面間の任意の適切な化学接着を備えうる。ある実施形態において、支持レイヤ 108 は、それらの間の積層を促進するためにポリマー 102 と同じ材料を備える。この場合、支持レイヤ 108 は、伸長された予歪み部分 110 における弾性圧縮力を少なくとも均衡するか、それを克服する異なる応力においてポリマー 102 上に配置される。

40

【0086】

ある実施形態において、支持レイヤ 108 は、電気活性ポリマーのそれよりも小さい電氣的抵抗を備える。この抵抗は、印加のための妥当な充電時間を達成するために十分に低くありえ、寄生リーケージ（例えば空気を通して）の存在下で十分に導電性である。この場合、支持レイヤ 108 は、トランスデューサの電極として構成されえる。

【0087】

50

図 3 B は、本発明の他の実施形態による直線撓みを提供する伸長されたフィルムアクチュエータ 270 を示す。伸長されたフィルムアクチュエータ 270 は、穴 272 を有する剛性化されたポリマーフレーム部分 271 を含む。剛性化されたポリマーフレーム部分 271 は、引っ張り状態にあり、穴 272 に架かる予歪みされたポリマー部分 273 について予歪みを維持する。堅固なバー 274 は、ポリマー部分 273 の中央領域に取り付けられ、ポリマー部分 273 の撓みに対応する外部変位を提供する。コンプライアンスを有する電極ペア 275 および 276 は、堅固なバー 274 のそれぞれ左および右側上でポリマー部分 273 の上部および底部表面上でパターン付けされる。電極ペア 275 がアクチュエートされるとき、電極ペア 275 についてのアクティブ領域が伸長し堅固なバー 274 は右に動く。逆に、電極ペア 276 がアクチュエートされるとき、電極ペア 276 についてのアクティブ領域が伸長し堅固なバー 274 は左に動く。電極 275 および 276 の交互のアクチュエーションは、堅固なバー 274 についての実効的により大きな総ストロークを提供する。このアクチュエータのあるバリエーションは、ポリマー 273 に非等方性予歪みを追加することによって、ポリマー部分 273 が高い予歪み（および剛性）を堅固なバーの変位に直角な方向に有するようにすることを含む。他のバリエーションは、電極ペア 275 および 276 のうちの 1 つをなくすことである。

10

【0088】

他の実施形態において、電気活性ポリマーの部分は、撓みの方向に影響を与えるように剛性化される。図 3 C は、本発明のある実施形態によって撓みに影響を与える剛性のあるセグメント 122 を備える電気活性ポリマートランスデューサ 120 を示す。

20

【0089】

剛性のあるセグメント 122 は、ポリマー 124 上に構成された積層またはポリマー 124 の剛性化された部分を備え、一方、このポリマーは、予歪み状態にあり、例えばそれは伸長されている。予歪みされた部分 126 は、セグメント 122 の間に形成される。剛性のあるセグメント 122 は、主方向 123 によって特徴付けられ、主方向 123 において予歪みされた部分の撓みを減らす。剛性物 122 は、方向 123 においてセグメント 122 の軸に沿った部分 126 についての予歪みも維持する。加えて、剛性物 122 は、直交方向 125 においてだけ撓みを許す。方向 123 において増された剛性は、セグメント 122 によって提供される増された剛性と共に、予歪みされた方向 123 におけるポリマーの増された剛性を備える。

30

【0090】

示されるように、多くの剛性のあるセグメント 122 が平行に構成され、方向 125 において増された累積出力を可能にする。剛性のあるセグメント 122 は、例えば半径方向のセグメントのような、トランスデューサ 120 の方向性コンプライアンスを達成するために他の構成においても構成されえる。剛性のあるセグメント 122 は、ポリマー 124 の剛性化された部分または剛性のあるセグメント 122 が示されるように構成される 1 つ以上の積層物を用いて獲得されえる。

【0091】

デュアル硬化予歪み製造

予歪みポリマーは、幅広いアクチュエータ設計において、幅広い材料を用いて、幅広い応用例において微視および巨視スケールの両方で実現されえるので、本発明と共に用いられる製造プロセスは非常に大きく変わりえる。ある局面において、本発明は、電気活性ポリマーおよび 1 つ以上の予歪みされたポリマーを含む電気活性ポリマートランスデューサおよびデバイスを製造する方法を提供する。

40

【0092】

ある実施形態において、本発明は、部分的に硬化された電気活性ポリマーに予歪みを印加する。部分的に硬化されたポリマーは、予歪みを支持および保持するためにそれからさらに硬化される。この技術は、電気活性ポリマーが 1 つ以上の反応性基を備え、硬化がポリマー鎖の架橋を生じえ、予歪みを支持を提供するときには有用である。

【0093】

50

図4は、本発明のある実施形態による電気活性ポリマーを形成するデュアル硬化プロセスフロー400を示す。本発明によるプロセスは、本発明をばかさないためにここで記載または図示されないいくつかの追加ステップを含みえる。場合によっては、本発明の製造プロセスは、マイクロエレクトロニクスの製造および電子工学技術において用いられる商業的に入手可能なポリマーおよび技術のような従来の材料および技術を含みえる。加えて、ここで記載される電気活性ポリマーを採用したデバイスの製造は、本発明をばかさないためにここで記載または図示されないいくつかの追加ステップを含みえる。例えば、マイクロダイヤフラムアクチュエータは、穴を形成しポリマーおよび電極を適用するために従来技術を用いてシリコン上でin situで製造されえる。

【0094】

プロセスフロー400は、部分的に硬化された電気活性ポリマーを形成するために、電気活性ポリマーのための前駆体を備える混合物を部分的に硬化させることによって始まる(402)。ある実施形態において、電気活性ポリマーは、ポリマーが硬化された電気活性ポリマーを弾性的に伸長するのに適する機械的完全性を備えるまで、部分的に硬化される。硬化は、例えば熱的に、写真化学的に、または放射によって実行されえる。熱的硬化は、化学的作用物質の追加なく、または適切な開始作用物質または1つ以上の追加硬化作用物質の追加によって採用されえる。熱的硬化は、例えば従来のオープン内で実施されえる。電気活性ポリマー前駆体中の重合可能な基は、鎖成長重合化(chain-growth polymerization)(炭素-炭素の二重結合を含む化合物中におけるように)、開環重合化(エポキシ、テトラヒドロフラン、ラクトン、ラクタム、および脂環におけるもののような)、またはステップ成長重合化(ポリエステル、ポリアミド、ポリイミド、およびポリウレタンの形成におけるもののような)がなされえる。

【0095】

部分的に硬化された電気活性ポリマーは、電気活性ポリマーについて予歪みを達成するためにそれから伸長される(404)。予歪みは、多くの技術によって達成されえる。ある実施形態においては、予歪みは、1つ以上の方向においてポリマーを機械的に伸長し、および伸長されるあいだに一時的にそれを1つ以上の固体部材(例えば堅固な板または製造フレーム)に固定することによって達成される。ポリマーは、代替として適切な堅固な基板を用いて、例えばポリマーを伸長し、それからそれを堅固な基板に取り付けることによって、一時的に予歪み状態に保持されえる。適切な非等方性および弾性予歪み特性は上に説明された。

【0096】

プロセスフロー400はそれから、電気活性ポリマーの一部をさらに硬化させることによって、その部分(ポリマー全体)を剛性化することによって進む(406)。硬化の後、剛性化された部分は、硬化されたポリマー成分を備え、一方、電気活性ポリマーはロックインつまり予歪みを維持するために歪みが与えられている。ポリマー成分は、電気活性ポリマーまたは後述のポリマー前駆体のような別個の添加剤を備えうる。他の実施形態において、電気活性ポリマーは、コンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルムおよびコンプライアンスを有する電気活性ポリマーフィルム内またはその上に形成された支持ポリマーを備える。支持ポリマーの硬化はその部分を剛性化する。第2硬化は、例えば、熱的に、写真化学的に、または照射によって実行されえる。電気活性ポリマー前駆体中の重合化可能な基(または部分的に形成/硬化されたポリマー鎖/網)は、さらに鎖成長重合化、開環重合化、またはステップ成長重合化をなされえる。さらに、既存のポリマー鎖は、硬化/剛性化を行うために架橋(または既存の架橋状態を超えてさらに架橋)されえる。一般に、剛性化された部分は、硬化されるときに(鎖成長または架橋によって)少なくとも部分的にその部分における電気活性ポリマー材料を剛性化する任意のポリマー前駆体を備えうる。

【0097】

硬化メカニズムの使用は剛性を許し、およびポリマーの出力が増されるようにする。最大アクチュエート歪みは、剛性を増すことで減らしえ、しかしより高い力の出力は、多く

10

20

30

40

50

の応用例で有用である。ある実施形態において、硬化された部分は、その部分がアクチュエーションのために採用されるとき、硬化後に約 10 MPa より小さい弾性係数を備える。このポリマーは、所望の剛性にも硬化されえ、予歪みフレームから開放された後の所望の厚さのような他の特性を得るように硬化もされえる。他の実施形態において、剛性化された部分は、ポリマーの隣接する部分において予歪みを維持するよう採用されるとき、さらに硬化される。例えば、剛性化された部分は、ポリマーの隣接する部分において予歪みを維持するよう採用されるときそれが約 50 MPa より上の弾性係数を備えるようさらに硬化されえる。

【0098】

第2硬化は、電気活性ポリマーを紫外または赤外照射のような照射に曝すことを備える。マスクまたはスクリーンがポリマーの表面に適用されえ、それによって剛性化される部分の形状およびサイズを定義する。剛性化された部分は、予歪み部分を伸長することから生じる予歪み部分における圧縮力に抵抗する力を提供するようそれから空間的に構成されえる。いくつかのマスクは、ポリマーの複数の部分に差分照射露光を行い、よってポリマーの異なる部分がさまざまな程度まで硬化および剛性化されるようにする。具体的な実施形態においては、マスクは、電気活性ポリマーのエッジ部分への照射露光の量を減らす。これは、エッジ部分の厚さを増し、このエッジ部分におけるポリマーブレイクダウン強度を増す（図3Aについて上述の支持レイヤを用いて同様の効果が得られる）。

【0099】

第2硬化が完了された後、電気活性ポリマーは、予歪みに一時的に固定する堅固なフレームまたは基板から解放される。イソプロピルアルコールのような解放する薬剤がレイヤ化された基板からの解放を促進するために用いられえ。

【0100】

予歪みを持つ電気活性ポリマーの硬化および形成の後、1つ以上の電極がポリマーの表面上に堆積されえる。具体的な実施形態において、1つ以上のグラファイト電極がマスクまたはステンシルを用いてパターン付けされ、堆積される。導電性シリコンと混合された導電性グリースを備える電極が、導電性グリースおよび未硬化導電性シリコンを溶液中で溶かすことによって製造されえる。この溶液はそれから電気活性ポリマー材料上にスプレーされえ、特定の電極またはアクティブ領域パターンを達成するためにマスクまたはステンシルを含みえる。

【0101】

それから予歪みされたポリマーおよび電極を備えるトランスデューサは、パッケージされえ、またはさらに応用例に従ってアセンブルされえる。パッケージングは、機械的に結合されたまたは複数のレイヤとしてスタックされた複数のトランスデューサのアセンブリを含みえる。加えて、トランスデューサへの機械的および電氣的接続が特定のデバイス設計に従って形成されえる。

【0102】

支持レイヤ結合を介した予歪み維持

他の局面において、本発明は、電気活性ポリマーの一部において予歪みを維持するポリマーに結合された支持レイヤを備える電気活性ポリマーを製造する方法に関する。

【0103】

図5は、本発明のある実施形態によって電気活性ポリマー形成する支持レイヤ結合プロセス500を示す。本発明によるプロセスは、本発明をぼかさないためにここで記載または図示されないいくつかの追加ステップを含みえる。

【0104】

プロセスフロー500は、ポリマーの一部に予歪みを達成するために電気活性ポリマーを伸長することによって始まる（502）。弾性予歪みを達成し一時的に維持するためにポリマーを伸長するいくつかの技術は、プロセスフロー400の404について上述された。例えば、電気活性ポリマーは、1つ以上の方向において機械的に伸長されえ、伸長されているあいだ1つ以上の堅固な部材（例えば堅固な板または製造フレーム）に一時的に

固定される。

【0105】

予歪みを印加する前に、電気活性ポリマーがいくつかの方法に従って受け取られえ、または製造されえる。ある実施形態においては、ポリマーは、商業的に入手可能なアクリルエラストマーフィルムのような商業的に入手可能な製品である。他の実施形態においては、このポリマーは、キャストリング、ディッピング、スピンコーティングまたはスプレーイングのうちの1つによって製造されるフィルムである。ポリマー製造のさらなる詳細はプロセスフロー700の704について提供される。

【0106】

支持レイヤの適用の前に、1つ以上の電極がポリマーの表面上に堆積されえる。スプレーイングおよびマスクまたはステンシルを用いたパターンニングのような電極を適用するために適切な技術は、上述された。

【0107】

プロセスフロー500は、ポリマーが予歪みされているときに支持レイヤをポリマーの表面部分に結合することによって進む(504)。支持レイヤは、予歪みされた部分に重なり、少なくともその部分においては予歪みを維持する。支持レイヤは、ポリマー表面上に堆積された1つ以上の電極とも重なりえる。代替として、上述のように、支持レイヤは、電極として構成されえる。ある例示的支持レイヤは、図3Aについて上述された。ある実施形態において、支持レイヤは、ポリマーについての弾性係数より大きい弾性係数を含む。支持レイヤは、a)結合のために表面部分上に堆積され、その上で硬化されえ、またはb)予め硬化されたフィルムとしてポリマー電極トランスデューサに適切な接着剤を用いて取り付けられえる。場合によっては、支持レイヤが自身に付着するのを防ぐためにタルクのような軽い粉が望ましい。具体的な実施形態において、支持レイヤは、積層を介してポリマーの表面部分に結合される弾性フィルムのようなポリマーを含む。

【0108】

支持レイヤを電気活性ポリマーに固定した後、それから積層は、一時的予歪みを印加するフレームまたはデバイスから解放される。積層をフレームから解放することは、支持レイヤが圧縮するようにさせる。場合によっては、電気活性ポリマー中の初期予歪みが低減しえる。

【0109】

プロセス500についての具体的な実施形態において、1mm厚さのアクリル電気活性ポリマーは、面積で400%×400%に予歪みされる。予歪みされた領域は4"×4"である。70%のイソプロピルアルコール中のカーボン微小繊維が電極としてポリマー上に塗布される。支持レイヤは、118シリコンを2に対して10センチストークのシリコンオイル1を備える混合物2.8gを含む。支持レイヤを広げるのに役立つように0.7gのナフタも混合物に追加された。一時的な予歪み支持から解放されるとき、アクリル電気活性ポリマーフィルムは、面積予歪みにおいて約200%×200%に収縮した。製造されたポリマーは、線歪みで70~80%にも高い歪みをアクチュエートし、これは予歪みなしの電気活性ポリマーによって達成されたものよりかなり上である。

【0110】

ポリマー部分を剛性化するための前駆体の硬化

他の実施形態において、本発明は、ポリマー前駆体を硬化させて、電気活性ポリマー中で予歪みを維持する。硬化可能なポリマー前駆体は、電気活性ポリマーシートまたはフィルムの表面に塗布され、フィルムをコーティング、フィルムに分散または拡散することを可能にされえる。添加剤はそれから硬化され、1つ以上のより剛性のある部分を形成する。場合によっては、硬化は「ロックイン」し、ポリマー鎖の架橋された網を形成することによって電気活性ポリマーフィルム中に予歪みを維持する。

【0111】

図6は、本発明のある実施形態によって電気活性ポリマーを形成するためのポリマー前駆体を採用するプロセスフロー600を示す。本発明によるプロセスは、本発明をばか

10

20

30

40

50

ないためにここで記載または図示されないいくつかの追加ステップを含みえる。

【0112】

プロセスフロー600は、ポリマー前駆体を電気活性ポリマーの一部（または全体、図2B参照）の表面に塗布することによって始まる（602）。電気活性ポリマーは、以前に受け取られえ、または上述のようにスピンコーティングのようないくつかの方法に従って製造されえる。ある実施形態において、ポリマー前駆体（例えば、適切な開始エージェントを持つアクリレート）は、電気活性ポリマーフィルムに塗布され、フィルムのバルク中に分散することが可能になる。ある実施形態において、ポリマー前駆体は、スプレーイング（しばしば希釈溶液から）または印刷によって電気活性ポリマーの表面の1つ以上の部分上に塗布される。ポリマー前駆体は、表面部分の正確な形状およびサイズのパターンニング、ポリマーのエッジにおける局所的な強化などを可能にするために、シャドーマスキングまたは印刷を通して限定された領域に選択的にも塗布されえる。マスクを用いることは、一部の中の複数の部分が単一のステップで容易にパターン付けされることを可能にする。追加される前駆体の量は、一時的予歪みからポリマーが解放されるとき、部分中の予歪みの所望の量および/または圧縮の所望の量に従って変化する。

10

【0113】

ある実施形態において、ポリマー前駆体は、予歪みが望まれるポリマーの全ての表面に塗布される。他の実施形態において、ポリマー前駆体で処理された電気活性ポリマーの剛性化された部分は、ポリマーの他の部分における予歪みを保持する構造要素としてそれから働く（図2Aの剛性のある領域を参照）。

20

【0114】

多くの実施形態において、それからポリマー前駆体は、ポリマー内に少なくとも部分的に拡散する。ポリマー中への不完全な拡散および分散は、多くの場合において適切であることが理解されよう。完全な浸透に満たないものについて、剛性のあるレイヤは、ポリマー中に形成されえ、これは多くの応用例において許容可能である。ポリマー内への拡散は、長い時間、例えば数時間にわたって続きえる。再び、いくつかの実施形態は、パイレイヤ構造（積層体に類似する）を形成するためには、前駆体をポリマーに単にコーティングし、後にそのコーティングを硬化させることを伴うが、下層のポリマー基板内へは大きく拡散させない。

【0115】

それからポリマーは、ポリマーの一部において予歪みを達成するために伸長される（604）。非等方性および/または弾性予歪みを達成し、一時的に維持するためにポリマーを伸長するいくつかの技術は、プロセスフロー400の404について上述された。他の実施形態において、ポリマー前駆体は、電気活性ポリマーが予歪みされた後に表面上に塗布される。これは前駆体がポリマー中に浸透するのに必要とされる時間を低減しえる。

30

【0116】

プロセスフローは、ポリマー前駆体を前記部分を剛性化するために硬化することによって進む（606）。ポリマー前駆体は硬化されるとき、少なくとも部分的にその部分における電気活性ポリマー材料を硬化させる。ポリマー前駆体は、ディマー（すなわちそれぞれの分子が2つの重合化可能な基を含む）またはオリゴマーを備えうる。ポリマー前駆体の1つの適切なクラスはアクリレートを含む。アクリレート以外に多くの硬化可能な化合物が用いられえ、例えばメタクリレート、エポキシ、シリコンなどが含まれる。必要な物理的剛性化を提供する任意の適切な剛性化エージェントが採用されえる。化学的な組成は支配的な要素ではない。

40

【0117】

硬化は、熱的、写真化学的などで実行されえる。電気活性ポリマー前駆体中の重合化可能な基は、鎖成長重合化、開環重合化、またはステップ成長重合化を例えばなされえる。プロセスフロー400の406について上述のものと同様に、硬化は、電気活性ポリマーを照射に曝露させることを備えうる。マスクまたはスクリーンがポリマーの表面に適用されえ、硬化作用を定義しえる。ある種のマスクは差分照射曝露をポリマーの複数の部分に

50

行い、よってポリマーの異なる部分がさまざまな程度に硬化および剛性化されることを可能にする。

【 0 1 1 8 】

ポリマー前駆体の量は、しばしば硬化の後のその部分の剛性に影響する。よって、より多いポリマー前駆体の量が第 1 部分よりも第 2 部分上に塗布されえる。

【 0 1 1 9 】

硬化後、1 つ以上の電極がポリマーの表面上に堆積されえる。表面は、剛性化されるべき部分（図 2 B 参照）または剛性化されるべき部分によって境界が分けられる電気活性ポリマーの第 2 予歪み部分（図 2 A 参照）を含みえる。マスクまたはステンシルを用いてスプレーイングすることおよびパターニングすることのような電極を適用する適切な技術は

10

上述された。積層もその後、一時的予歪みを印加するフレームまたはデバイスから解放される。

【 0 1 2 0 】

プロセスフロー 6 0 0 の具体的な実施形態において、1 , 6 ヘキサンジオールダイアクリレート（3 . 2 グラム）および過酸化ベンゾイル（0 . 3 2 グラム）が 2 0 m l のエチルアセテートと混合された。この溶液は、3 0 0 % × 3 0 0 % の予歪みを持つ VHB 4910 アクリル電気活性ポリマー上にスプレーされた。ポリマーは、それから 8 0 の真空オープン中に 5 時間置かれた。この場合、ポリマー前駆体によって生じたポリマーフィルム中の架橋は、予歪みを支持するのに有効だった。しかしこの場合、ポリマーがより剛性を持つようになるにつれ、電圧印加のときのアクチュエートされた歪みは減る。

20

【 0 1 2 1 】

他の具体的な実施形態において、6 ヘキサンジオールダイアクリレート（2 . 0 グラム）および過酸化ベンゾイル（0 . 2 グラム）が 4 0 m l のエチルアセテートと混合された。この溶液は、4 0 0 % × 4 0 0 % の予歪みを持つ VHB 4910 アクリル電気活性ポリマー上にスプレーされた。ポリマーフィルムは、それから 7 8 の真空オープン中に 4 時間置かれた。

【 0 1 2 2 】

【 表 1 】

ダイアクリレート量 グラム / 2 5 平方 インチ	0	0.4	0.5	0.6	1.0
予歪みされたフレイ ム上の厚さ (mil)	1.4		1.53		
解放された後の厚さ (mil)	38	3.35	3.7	2.6	2.2
6.2 kV におけるアク チュエーション (面積増加)	-	100%	100% 200% @ 7 kV	80%	20% 50% @ 8 kV

30

40

【 0 1 2 3 】

予混合されたポリマー前駆体硬化

他の実施形態において、支持レイヤのための前駆体は、例えば薄膜へのポリマーの形成の前に、電気活性ポリマーのための前駆体と混合される。これは、エラストマーのような化学的に架橋されておらず、したがって溶解され支持ポリマー前駆体と共に混合されえる電気活性ポリマーのために有用である。

【 0 1 2 4 】

図 7 は、本発明のある実施形態によって電気活性ポリマーを形成するための支持ポリマーのためのポリマー前駆体および電気活性ポリマーのための前駆体を備える混合物を採用

50

するプロセスフロー 700 を示す。本発明によるプロセスは、本発明をばかさないためにここで記載または図示されないいくつかの追加ステップを含みえる。

【0125】

プロセスフロー 700 は、電気活性ポリマーのための前駆体および支持レイヤのための前駆体を備える混合物を提供することによって始まる (702)。ポリマー前駆体の具体的な例は、上述された。未架橋電気活性ポリマーの具体的な例は、クラトン (シェルによるポリスチレンーポリブタジエンーポリスチレントライブロックコポリマー) および熱可塑性ポリウレタンを含む。

【0126】

それからこの混合物から電気活性ポリマーが形成される (704)。ある実施形態において、このポリマーは、キャストリング、ディッピング、スピンコーティングまたはスプレーイングのうちの 1 つによって製造されるフィルムである。スピンコーティングは典型的には堅固な基板上に混合物を塗布し、所望の厚さに回転させることを伴う。この混合物は、支持ポリマーのための前駆体、電気活性ポリマーのための前駆体および揮発性分散剤または溶剤を含みえる。分散剤の量、分散剤の揮発性、およびスピン速度は、所望のポリマーを作るために変更されえる。例として、ポリウレタンフィルムは、ポリウレタンおよびテトラヒドロフラン (THF) またはシクロヘキサノンの溶液においてスピンコートされえる。シリコン基板の場合、ポリマーは、アルミ付きプラスチックまたはシリコンカーバイド上にスピンコートされえる。アルミおよびシリコンカーバイドは、適切なエッチャントによってその後除去される犠牲レイヤを形成する。1 マイクロメートル厚さの範囲の電気活性ポリマーフィルムがこのようにしてスピンコーティングによって作られえる。シリコンのようなポリマーフィルムのスピンコーティングは、ポリメチルメタクリレートまたはテフロン (登録商標) のような滑らかな非固着プラスチック基板上でなされえる。ポリマーフィルムは、機械的に剥がすことによって、またはアルコールまたは他の適切な解放薬剤の補助によってそれから解放される。スピンコーティングは、10 ~ 750 マイクロメートルの範囲のより厚いポリマーを製造するのにも適する。

【0127】

このポリマーはそれから伸長されてポリマーの一部で予歪みを達成する (706)。非等方性および / または弾性予歪みを達成し一時的に維持するためにポリマーを伸長するいくつかの技術は、プロセスフロー 400 の 404 について上述された。

【0128】

それから前駆体は、支持ポリマーがポリマーの剛性化された部分においてポリマーを支持するように硬化される (708)。硬化の後、電気活性ポリマーは、2 つの要素を備える。すなわち下層にある電気活性ポリマーおよび追加物である。複合電気活性ポリマーはそれから、可撓性電気活性ポリマーシートまたはフィルム、および活性ポリマーシート内またはその上で形成され、剛性化された領域を定義するより堅固な保持ポリマーを備える。ポリマー前駆体は硬化されると少なくとも部分的にその部分の電気活性ポリマー材料を剛性化する。ある実施形態において、ポリマーは支持ポリマーと架橋する。硬化は、熱的に、写真化学的に、または照射などによって実行されえる。電気活性ポリマー前駆体中の重合化可能な基は、鎖成長重合化、開環重合化、またはステップ成長重合化を例えばなされえる。プロセスフロー 400 の 406 について上述のものと同様に、硬化は、電気活性ポリマーを照射に曝露させることを備える。マスクまたはスクリーンがポリマーの表面に適用されえ、硬化作用を定義しえる。ある種のマスクは差分照射曝露をポリマーの複数の部分に行い、よってポリマーの異なる部分がさまざまな程度に硬化および剛性化されることを可能にする。ポリマー前駆体の量は、しばしば硬化の後のその部分の剛性に影響する。よって、より多いポリマー前駆体の量が第 1 部分よりも第 2 部分上に塗布されえる。

【0129】

硬化されるときポリマー前駆体は、予歪みを予歪みされた部分において硬化後も少なくとも部分的に維持する。ある実施形態において、剛性化された部分は予歪みされた部分と

重なる（図 2 B 参照）。他の実施形態において、剛性化された部分は電気活性ポリマーの予歪みされた部分と隣接する（図 2 A 参照）。

【 0 1 3 0 】

硬化された後、1つ以上の電極は、ポリマーのための1つ以上のアクティブ領域の製造に従ってポリマーの表面上に堆積されえる。このポリマーはまた、一時的予歪みを印加するフレームまたはデバイスからその後解放される。

【 0 1 3 1 】

電気活性ポリマーを形成する前に電気活性ポリマーのための前駆体および支持ポリマーのための前駆体を混合することは、より統合された混合物ポリマーを提供する。混合物ポリマーを形成した後で、支持ポリマーは、電気活性ポリマー鎖の中で非常に均一に分散されえる。この高度に統合化された混合物電気活性ポリマーは、よりよい機械的安定性、予歪みのためのよりよい支持、およびより高いパフォーマンスを提供しえる。

【 0 1 3 2 】

多機能性

電気活性ポリマーは、双方向で電氣的エネルギーおよび機械的エネルギー間で変換しえる。よって、ここで説明されたトランスデューサは、電氣的エネルギーを機械的エネルギーに変換するアクチュエータ、および/または機械的エネルギーを電氣的エネルギーに変換する発電機として用いられえる。電気活性ポリマートランスデューサの電氣的特性を検出することは、センシング機能を可能にする。

【 0 1 3 3 】

図 1 A および 1 B は、トランスデューサ部 1 0 が機械的エネルギーを電氣的エネルギーに変換するあるやり方を示すのに用いられえる。例えば、もしトランスデューサ部 1 0 が外部力によって図 1 B に示されるようにより薄く、より大きな面積の形状に機械的に伸長され、比較的小さい電圧差（図 1 B の構成ヘフィルムをアクチュエートするのに必要な電圧より小さい）が電極 1 4 および 1 6 の間に印加されるなら、トランスデューサ部 1 0 は、外部の力が取り除かれるとき、図 1 A のような形状に電極間で面積において収縮する。トランスデューサを伸長させることは、トランスデューサをその元の休止位置（典型的には例えば電極間で方向 1 8 および 2 0 によって定義される平面内で電極間のより大きい正味の面積になる）から撓ませることを指す。休止位置は、外部の電氣的または機械的入力を有さず、ポリマー中で予歪みを備えうるトランスデューサ部 1 0 の位置を指す。いったんトランスデューサ部 1 0 が伸長されると、結果として生じる静電力が伸長の弾性復元力と平衡するのに不十分なように比較的小さい電圧差が提供される。トランスデューサ部 1 0 はしたがって収縮し、それはより厚くなり、方向 1 8 および 2 0（電極間での厚さに直交する）によって定義された平面内でより狭い平面領域を有する。ポリマー 1 2 がより厚くなるとき、それは電極 1 4 および 1 6 およびそれらの対応する異極電荷を引き離し、よって電氣的エネルギー、および電荷の電圧を上昇させる。さらに、電極 1 4 および 1 6 がより小さい面積で接触するとき、それぞれの電極内の同極電荷は圧縮し、電氣的エネルギーおよび電荷の電圧を上昇させる。よって電極 1 4 および 1 6 上の異なる電荷では、図 1 B に示される形状から図 1 A に示されるものへの収縮は、電荷の電気エネルギーを上げる。すなわち、機械的撓みが電気エネルギーに変わり、トランスデューサ部 1 0 は発電機として働く。

【 0 1 3 4 】

場合によっては、トランスデューサ部 1 0 は、可変キャパシタとして電氣的に記述されえる。図 1 B に示されるものから図 1 A に示されるものへの形状変化に伴い、キャパシタンスは減少する。典型的には、電極 1 4 および 1 6 間の電圧差は、収縮によって上げられる。これは例えばもし追加の電荷が収縮プロセス中に電極 1 4 および 1 6 に加えられたり引かれたりしないなら、通常のケースである。電気エネルギーの増加 U は、式 $U = 0.5 \cdot Q^2 / C$ によって表され、ここで Q は、正極上の正電荷の量であり、 C は、ポリマー 1 2 およびその幾何学形状の固有誘電体特性に関する可変キャパシタンスである。もし Q が固定で、 C が減少するなら、電気エネルギー U は増加する。この電気エネルギーおよび電圧の増加

は、電極 14 および 16 と電氣的に連通する適切なデバイスまたは電気回路において取り戻し、または用いられえ。加えて、トランスデューサ部 10 は、ポリマーを撓ませ、機械エネルギーを与える機械入力に機械的に結合されえ。

【0135】

本発明の電気活性ポリマーは、センサとしても構成されえ。一般に、本発明の電気活性ポリマーセンサは、「パラメータ」および/またはパラメータの変化を検出する。このパラメータはふつう、歪み、変形、速度、位置、接触、加速度、振動、圧力、サイズなどのような対象物の物理的特性である。場合によっては、検出されるパラメータは物理的「イベント」に関連付けられる。検出される物理的イベントは、物理または化学特性の特定の値または状態の達成でありえ。電気活性ポリマーセンサは、検出されるパラメータの変化に応答して電気活性ポリマーの一部が撓むよう構成される。ポリマーの電気エネルギー状態および撓み状態は関連する。電気エネルギーの変化、または撓みから生じるアクティブ領域の電気インピーダンスの変化は、それから、アクティブ領域電極と電氣的に通信する検出電子回路によって検出されえ。この変化は、ポリマーのキャパシタンス変化、ポリマーの抵抗変化、および/または電極の抵抗変化、またはこれらの組み合わせを構成しえ。電極と電氣的に通信する電子回路は、電氣的特性の変化を検出する。もし例えばトランスデューサのキャパシタンスまたは抵抗の変化が計測されるなら、電気エネルギーをトランスデューサに含まれる電極に印加し、電氣的パラメータの変化を観測することになる。

【0136】

理解を容易にするために、本発明は、エネルギー変換の単一の方向に焦点をあてて主に説明され示されてきた。より具体的には、本発明は電氣的エネルギーを機械的エネルギーに変換することに焦点をあてている。しかし、本発明の全ての図および説明において、ポリマーおよびデバイスは、電氣的エネルギーおよび機械的エネルギーの間で双方向に変換しえることに注意することが重要である。よって、ここで説明された例示的トランスデューサは、発電機またはセンサと共に用いられえ。典型的には、本発明の発電機は、ポリマーの一部の撓みに応答して電界の変化を生むように構成されたポリマーを備え。電界の変化は、電界の向きにおけるポリマー寸法の変化と共に、電圧の変化を作り、よって電氣的エネルギーの変化を生む。

【0137】

ここで用いられる語として、トランスデューサは、少なくとも 2 つの電極を持つ電気活性ポリマーを指す。電気活性ポリマーデバイスは、少なくとも 1 つの追加の機械的結合または要素を持つトランスデューサを指す。電気活性ポリマーアクチュエータは、何らかの形態の機械的出力を作るよう構成されたトランスデューサまたはデバイスを指す。電気活性ポリマー発電機は、電氣的エネルギーを作るよう構成されたトランスデューサまたはデバイスを指す。そして電気活性ポリマーセンサは、特性またはイベントを検出するよう構成されたトランスデューサまたはデバイスを指す。

【0138】

よって、本発明のポリマーおよびトランスデューサは、電氣的から機械的エネルギーへ変換するアクチュエータ、機械的から電氣的エネルギーへ変換する発電機、ポリマーの機械的または電氣的状態の変化を検出するセンサ、またはそれらの組み合わせとして用いられえ。機械的エネルギーは、電氣的エネルギーが除去され、または電氣的变化が検出されえるようにトランスデューサに印加されえ。機械的エネルギーを印加する、機械的エネルギーを除去する、およびトランスデューサからの電氣的变化を検出する多くの方法が可能である。アクチュエーション、発電および検出デバイスは、なんらかの種類の条件付け電子回路を必要としえ。例えば、トランスデューサから電氣的エネルギーを印加または除去するために少なくとも最低限の回路が必要とされる。さらに他の例としては、センシングするトランスデューサの電氣的状態を検出するのに、さまざまな度合いの複雑さの回路が用いられえ。

【0139】

結論

本発明は、いくつかの好ましい実施形態について記載されてきたが、簡潔さのために省略された本発明の範囲に入る改変物、組み合わせ、および等価物が存在する。例として、本発明はいくつかのポリマー材料および幾何学的形状について記載されてきたが、本発明は、これら材料および幾何学的形状に限定されない。したがって本発明の範囲は添付の特許請求の範囲を参照して決定されるべきだと意図される。

【図 1 A】

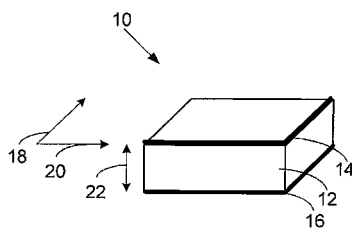


FIG. 1A

【図 1 C】

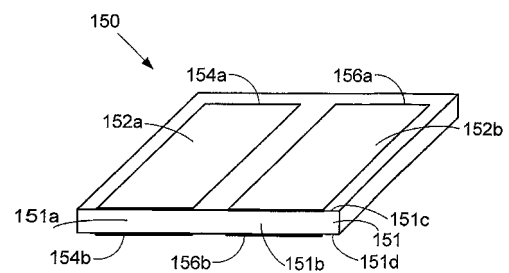


FIG. 1C

【図 1 B】

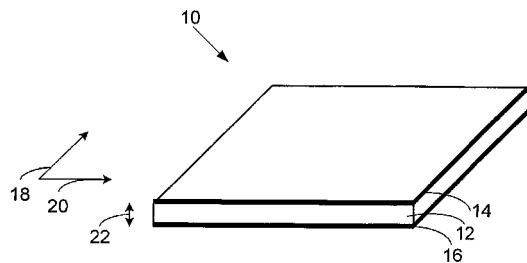


FIG. 1B

【図 2 A】

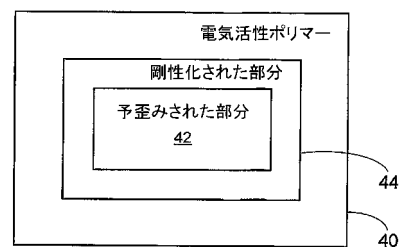


FIG. 2A

【図 2 B】

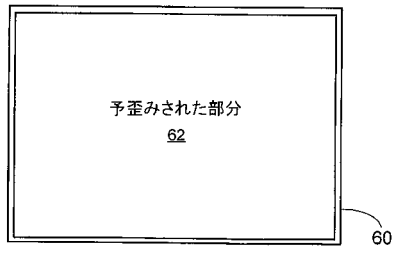


FIG. 2B

【図 2 C】

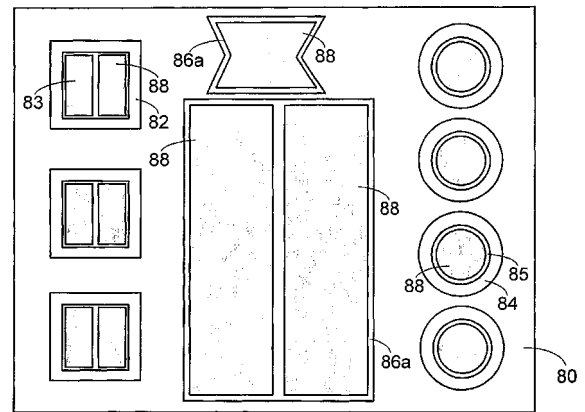


FIG. 2C

【図 3 A】

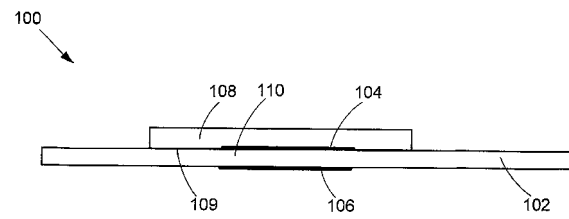


FIG. 3A

【図 3 B】

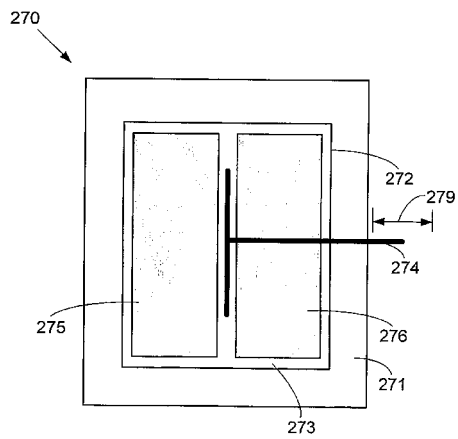


FIG. 3B

【図 3 C】

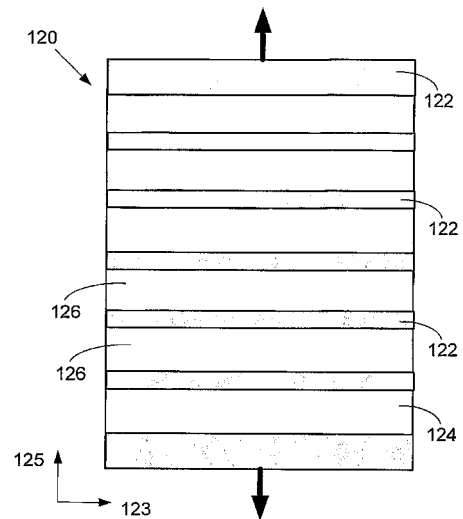


FIG. 3C

【図 4】

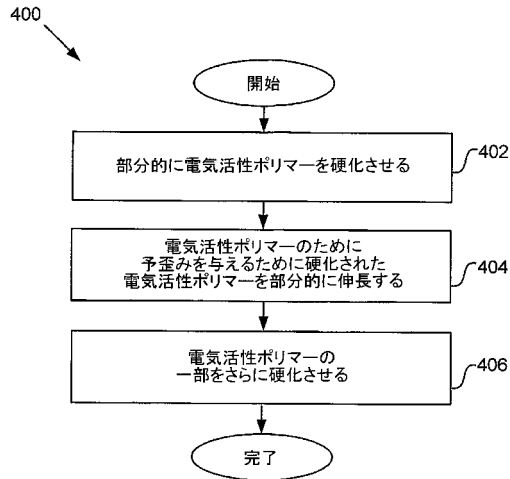


FIG. 4

【図 5】

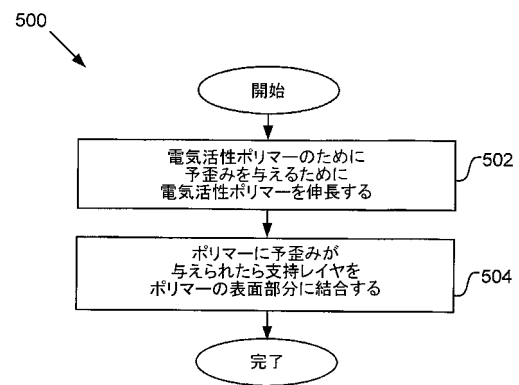


FIG. 5

【図 6】

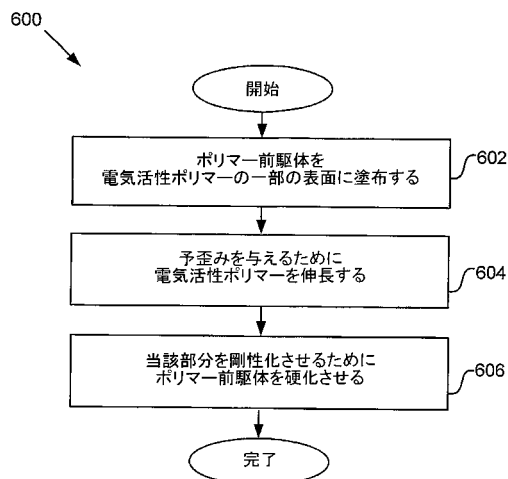


FIG. 6

【図 7】

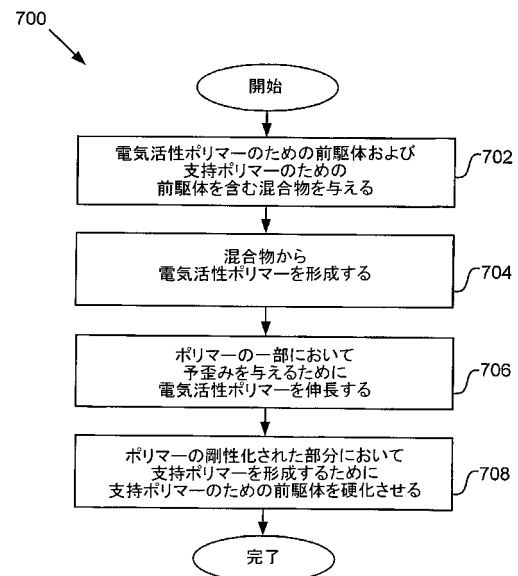


FIG. 7

フロントページの続き

- (72)発明者 ペイ・キピング
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 5 9 2 テメキュラ, リージェンツ・ヒル・サークル, 4
2 3 0 1
- (72)発明者 ペルライン・ロナルド・イー.
アメリカ合衆国 コロラド州 8 0 0 2 7 ルイスビル, アウル・ドライブ, 8 0 2
- (72)発明者 ローゼンタール・マーカス
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 4 4 パシフィカ, リンダ・マー・ブルバード, 7 9 6

審査官 松永 謙一

- (56)参考文献 特表 2 0 0 3 - 5 0 5 8 6 5 (J P , A)
特表 2 0 0 3 - 5 0 6 8 5 8 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 6 0 9 9 9 (J P , A)
特表平 1 1 - 5 0 3 2 7 2 (J P , A)
特開平 8 - 3 3 5 7 2 6 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 1 / 0 6 5 6 1 5 (W O , A 2)

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