

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4875982号
(P4875982)

(45) 発行日 平成24年2月15日 (2012.2.15)

(24) 登録日 平成23年12月2日 (2011.12.2)

| | |
|-----------------------|----------------|
| (51) Int. Cl. | F I |
| HO2N 11/00 (2006.01) | HO2N 11/00 Z |
| HO1L 41/08 (2006.01) | HO1L 41/08 H |
| HO1L 41/193 (2006.01) | HO1L 41/18 102 |

請求項の数 48 (全 30 頁)

| | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2006-525496 (P2006-525496) | (73) 特許権者 | 501228071 |
| (86) (22) 出願日 | 平成16年9月1日 (2004.9.1) | | エスアールアイ インターナショナル |
| (65) 公表番号 | 特表2007-534283 (P2007-534283A) | | SRI International |
| (43) 公表日 | 平成19年11月22日 (2007.11.22) | | アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 |
| (86) 国際出願番号 | PCT/US2004/028929 | | 025 メンロパーク レイベンスウッド |
| (87) 国際公開番号 | W02005/079187 | | アベニュー 333 |
| (87) 国際公開日 | 平成17年9月1日 (2005.9.1) | | 333 Ravenswood Avenue, Menlo Park, Cal |
| 審査請求日 | 平成19年8月20日 (2007.8.20) | | ifornia 94025, U. S. |
| (31) 優先権主張番号 | 60/500,148 | (74) 代理人 | 110000028 |
| (32) 優先日 | 平成15年9月3日 (2003.9.3) | | 特許業務法人明成国際特許事務所 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | (72) 発明者 | ベルライン・ロナルド・イー. |
| | | | アメリカ合衆国 コロラド州80027 |
| | | | ルイスビル, アウル・ドライブ, 802 |
| | | | 最終頁に続く |

(54) 【発明の名称】 表面変形電気活性ポリマートランスデューサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気活性ポリマートランスデューサであって、前記トランスデューサは、
前記ポリマーの第1表面上の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマー

、
前記電気活性ポリマーの前記第1表面の一部に設けられた第1電極、
前記電気活性ポリマーの第2表面の一部に設けられた第2電極
を備え、

前記電気活性ポリマーは、アクティブ領域の撓みの後に前記非撓み厚さより高いポリマー表面フィーチャを含むよう構成され、前記第1電極は、アクティブ領域の撓みの後に前記非撓み厚さより低い電極表面フィーチャを含むよう構成され、

前記ポリマー表面フィーチャは、前記第1表面上の前記第1電極の外に設けられたトランスデューサ。

【請求項2】

請求項1に記載のトランスデューサであって、前記第1または第2表面上であって、前記第1電極、第2電極とは異なる位置に設けられた第3電極および第4電極をさらに備えるトランスデューサ。

【請求項3】

請求項1に記載のトランスデューサであって、前記第1電極または前記第2電極は、共通電極であ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、前記第 1 電極または前記第 2 電極は、金属を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、前記第 1 電極または前記第 2 電極は、堅固なまたは半可撓性電極を備えるトランスデューサ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記第 1 電極または前記第 2 電極は、前記ポリマー表面フィーチャまたは前記電極表面フィーチャの表面形状に影響を与えるよう表面領域内に構成されるトランスデューサ。

10

【請求項 7】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記第 1 表面は、前記撓みの前には実質的に平坦であるトランスデューサ。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記ポリマー表面フィーチャまたは電極表面フィーチャは、幾何学的形状に形成されたトランスデューサ。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記ポリマー表面フィーチャまたは電極表面フィーチャは、文字、ロゴ、またはシンボルの形状に形成されたトランスデューサ。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のトランスデューサであって、前記第 1 電極は、前記文字、ロゴ、またはシンボルの前記表面形状とした前記第 1 表面上の形状を含むトランスデューサ。

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、前記トランスデューサはアクチュエータまたはセンサのうちの 1 つに含まれるトランスデューサ。

【請求項 12】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記アクティブ領域は、前記電気活性ポリマーの一部が前記第 1 および第 2 電極によって提供される電界の変化にตอบสนองして撓むことを引き起こすやり方で構成されるトランスデューサ。

【請求項 13】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記アクティブ領域は、前記部分に印加された撓みにตอบสนองして、前記電気活性ポリマーの一部における電界の変化を引き起こすやり方で構成されるトランスデューサ。

30

【請求項 14】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記第 2 表面に取り付けられる堅固なレイヤをさらに備えるトランスデューサ。

【請求項 15】

請求項 1 に記載のトランスデューサであって、前記非撓み厚さは、前記第 2 表面から前記第 1 表面へ計測されるトランスデューサ。

【請求項 16】

電気活性ポリマートランスデューサであって、前記トランスデューサは、前記ポリマーの第 1 表面上の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマー

40

、
前記電気活性ポリマーの前記第 1 表面の一部に設けられた第 1 電極、
前記電気活性ポリマーの第 2 表面の一部に設けられた第 2 電極
を備え、

前記電気活性ポリマーおよび第 1 電極は、アクティブ領域の撓みの後に、前記第 1 表面上の表面フィーチャのセットを作るように構成され、前記フィーチャのセットは、a) 前記非撓み厚さより高く隆起されるポリマー表面フィーチャ、または b) 電極表面フィーチャが前記非撓み厚さより低く沈下される電極表面フィーチャを含み、

50

前記ポリマー表面フィーチャは、前記第 1 表面上の前記第 1 電極の外に設けられた
トランスデューサ。

【請求項 17】

請求項 16 に記載のトランスデューサであって、前記第 1 電極または前記第 2 電極は、
金属を備えるトランスデューサ。

【請求項 18】

請求項 16 に記載のトランスデューサであって、前記第 1 電極または前記第 2 電極は、
堅固なまたは半可撓性電極を備えるトランスデューサ。

【請求項 19】

請求項 16 に記載のトランスデューサであって、前記表面フィーチャは、前記第 1 表面
上の幾何学的形状に含まれるトランスデューサ。

10

【請求項 20】

請求項 16 に記載のトランスデューサであって、前記第 1 電極は、文字、ロゴ、または
シンボルの形状の前記表面形状に寄与する前記第 1 表面上の形状を含むトランスデューサ

。

【請求項 21】

電気活性ポリマーデバイスであって、前記デバイスは、
前記ポリマーの第 1 表面上の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマー

、

前記電気活性ポリマーの前記第 1 表面の一部に設けられた第 1 電極、

20

前記電気活性ポリマーの第 2 表面の一部に設けられた第 2 電極

該電気活性ポリマーの前記第 1 表面に隣接して積層されたパッシブレイヤー、
を備え、

前記電気活性ポリマーおよび第 1 電極は、アクティブ領域の撓みの後に、前記第 1 表面
上の表面フィーチャのセットを作るように構成され、前記表面フィーチャのセットは、前
記第 1 表面上の前記非撓み厚さより高いポリマー表面フィーチャ、または前記非撓み厚さ
より低い電極表面フィーチャを含み、および

前記パッシブレイヤーは、前記電気活性ポリマーの前記撓みで撓むよう構成され、前記
電気活性ポリマーにより前記第 1 表面に表面フィーチャの前記セットが作られた該電気活
性ポリマーに対向する位置に、前記第 1 表面上の表面フィーチャの前記セットに類似する
パッシブレイヤ表面フィーチャのセットが形成される

30

デバイス。

【請求項 22】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは、前記電気活性ポリマー
についての弾性係数より小さい弾性係数を備えるデバイス。

【請求項 23】

請求項 22 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは、前記電気活性ポリマー
の弾性係数の 10 分の 1 より小さい弾性係数を備えるデバイス。

【請求項 24】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは、前記電気活性ポリマー
についての厚さより大きい厚さを備えるデバイス。

40

【請求項 25】

請求項 24 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは、前記電気活性ポリマー
についての厚さの 2 倍より大きい厚さを備えるデバイス。

【請求項 26】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは実質的に平坦な表面に接
触するデバイス。

【請求項 27】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記第 1 表面は、前記撓みの前には実質的に平
坦な表面を備えるデバイス。

50

【請求項 28】

請求項 27 に記載のデバイスであって、前記第 2 ポリマー表面に隣接して積層された第 2 パッシブレイヤをさらに備え、

前記電気活性ポリマーおよび第 2 電極は、アクティブ領域の撓みの後に、前記第 2 表面上の表面フィーチャのセットを作るように構成され、前記表面フィーチャのセットは、前記第 2 表面上の前記非撓み厚さより高いポリマー表面フィーチャ、または前記非撓み厚さより低い電極表面フィーチャを含み、

前記第 2 パッシブレイヤは、前記電気活性ポリマーの前記撓みで撓むよう構成され、前記電気活性ポリマーにより前記第 2 表面に表面フィーチャの前記セットが作られた前記電気活性ポリマーに対向する位置に、前記第 2 表面上の表面フィーチャの前記セットに類似するパッシブレイヤ表面フィーチャの第 2 セットを形成する
デバイス。

10

【請求項 29】

請求項 28 に記載のデバイスであって、前記第 1 パッシブレイヤおよび前記第 2 パッシブレイヤは、非対称な厚さの変化を備えるデバイス。

【請求項 30】

請求項 29 に記載のデバイスであって、前記第 1 パッシブレイヤは、前記第 2 パッシブレイヤよりもより大きな厚さまたはより大きな剛性を有するデバイス。

【請求項 31】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーに対向する前記パッシブレイヤ表面は、前記撓みの前には実質的に平坦であるデバイス。

20

【請求項 32】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは、前記パッシブレイヤの歪みを持つ非線形弾性係数を備えるデバイス。

【請求項 33】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーから前記パッシブレイヤに力を伝達するよう構成された、前記パッシブレイヤおよび前記電気活性ポリマーの間の中間構造をさらに備えるデバイス。

【請求項 34】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記撓みの前には第 1 状態を有し、前記撓みの後には第 2 状態を有する前記パッシブレイヤに結合された機械的出力をさらに備えるデバイス。

30

【請求項 35】

請求項 34 に記載のデバイスであって、前記状態は第 1 位置であり、前記第 2 状態は第 2 位置であるデバイス。

【請求項 36】

請求項 34 に記載のデバイスであって、前記第 1 状態は第 1 形状であり、前記第 2 状態は第 2 形状であるデバイス。

【請求項 37】

請求項 34 に記載のデバイスであって、前記機械的出力は、パッシブレイヤ上に設けられた鏡面状表面であり、撓みの前後で前記鏡面状表面の形状または位置を変化させるデバイス。

40

【請求項 38】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤは前記第 1 電極を備えるデバイス。

【請求項 39】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤ表面フィーチャは幾何学的形状に形成されたデバイス。

【請求項 40】

請求項 21 に記載のデバイスであって、前記パッシブレイヤ表面フィーチャの前記セッ

50

トは、文字、ロゴ、またはシンボルの形状に形成されたデバイス。

【請求項 4 1】

請求項 2 1 に記載のデバイスであって、前記トランスデューサは、アクチュエータまたはセンサのうちの 1 つに含まれるデバイス。

【請求項 4 2】

請求項 2 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記第 2 表面に隣接して設けられる堅固なレイヤをさらに備えるデバイス。

【請求項 4 3】

請求項 4 2 に記載のデバイスであって、前記堅固なレイヤは、前記第 2 電極を備えるデバイス。

【請求項 4 4】

ポリマーの第 1 表面上の所定の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマーを備え、前記電気活性ポリマーの第 1 の部分および第 2 の部分を個別にアクチュエーション可能な電気活性ポリマートランスデューサをアクチュエートする方法であって、

前記第 1 表面上の第 1 表面フィーチャを作るために前記第 1 部分のアクチュエーションする前には前記ポリマーの第 1 表面上の第 1 表面領域が非撓み厚さである前記電気活性ポリマーの第 1 部分を厚み方向にアクチュエートし、同時または前記第 1 部分のアクチュエートの後に、

前記第 1 表面上の第 2 表面フィーチャを作るために前記第 2 部分のアクチュエーションする前には前記ポリマーの第 1 表面上の第 2 表面領域が非撓み厚さである前記電気活性ポリマーの第 2 部分を厚み方向にアクチュエートする

方法。

【請求項 4 5】

請求項 4 4 に記載の方法であって、前記第 1 表面フィーチャは、前記電気活性ポリマーの前記第 1 部分をアクチュエートするのに用いられる電極の外である方法。

【請求項 4 6】

請求項 4 4 に記載の方法であって、前記電気活性ポリマートランスデューサは、前記撓みの後に前記第 1 表面領域についての前記非撓み厚さより低い電極表面フィーチャを備える方法。

【請求項 4 7】

請求項 4 4 に記載の方法であって、前記第 2 部分は、前記第 1 部分がアクチュエーションを終えた後にアクチュエートされる方法。

【請求項 4 8】

請求項 4 4 に記載の方法であって、前記第 1 表面フィーチャは、前記アクチュエーションの後の前記非撓み厚さより高いポリマー表面フィーチャを備える方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、United States Defense Advanced Research Project Agencyによって認められた契約番号MDA972-02-C-0001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】

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一般に関する。より具体的には、本発明は、表面変形、表面テクスチャリングおよび表面幾何学形状制御に関連する電気活性ポリマーおよびその機能および応用例に関する。

【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。電氣的エネルギーから機械的エネルギーへ変換するよくある技術は、モータおよび圧電セラミックを例えば含む。たいていの従来の電気から機械への技術は、限定された

10

20

30

40

50

機械出力能力しか提供しない。モータは、連続的な回転出力であり、不連続または低周波数の動きを提供するためには追加のかさばる結合を一般には必要とする。圧電セラミックは、約1.6パーセント未満の堅固な電極間での平面内の歪みに典型的には限定され、より大きな歪みまたは平面外変形を必要とする応用例には適さない。

【0004】

電気的エネルギーから機械的エネルギーへの、またはその逆の変換ができる新しい高機能ポリマーは、幅広いエネルギー変換応用例に今や利用可能である。これらのポリマーの1つのクラスである、電気活性ポリマー（誘電エラストマー、電子エラストマー、またはEPAM（電気活性ポリマー人工筋肉））は、広く注目を集めている。電気活性ポリマーは、高いエネルギー密度、応力、および電子機械結合効率を示しえる。今日まで、電気活

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

多くの応用例は、平面外方向において電気的および機械的エネルギー間で変換する軽量で、スケラブルなデバイスを要求する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、平面外の撓みを作る電気活性ポリマー・トランスデューサを提供する。トランスデューサは、電気活性ポリマーの撓みに基づく表面フィーチャのセットを形成する。表面フィーチャのセットは、隆起したポリマー表面フィーチャおよび/または沈下した電極表面フィーチャを含みえる。アクティブ領域のアクチュエーションは、1つ以上の表面フィーチャを作るポリマー撓みを作りえる。ある実施形態においては、パッシブレイヤがポリマーに動作可能に接続し、平面外の撓みを増す。このパッシブレイヤは、厚さ変化を増幅し、表面フィーチャの可視性を増すために、より厚くより柔らかい材料を備えうる。

20

【0007】

ある局面において、本発明は、電気活性ポリマー・トランスデューサに関する。前記トランスデューサは、前記ポリマーの第1表面上の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマーを備える。このトランスデューサはまた前記電気活性ポリマーの前記第1表面の一部に設けられた第1電極を備える。このトランスデューサはさらに前記電気活性ポリマーの第2表面の一部に設けられた第2電極を備える。前記電気活性ポリマーは、アクティブ領域の撓みの後に前記非撓み厚さより高いポリマー表面フィーチャを含むよう構成される。前記第1電極は、アクティブ領域の撓みの後に前記非撓み厚さより低い電極表面フィーチャを含むよう構成される。

30

【0008】

他の局面において、本発明は、電気活性ポリマー・トランスデューサに関する。前記トランスデューサは、前記ポリマーの第1表面上の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマーを備える。このトランスデューサは、また前記電気活性ポリマーの前記第1表面の一部に設けられた第1電極および前記電気活性ポリマーの第2表面の一部に設けられた第2電極を備える。前記電気活性ポリマーおよび第1電極は、アクティブ領域の撓みの後に、前記第1表面上の表面フィーチャのセットを作るように構成される。前記フィーチャのセットは、a) 前記非撓み厚さより高く隆起されるポリマー表面フィーチャ、またはb) 電極表面フィーチャが前記非撓み厚さより低く沈下される電極表面フィーチャを含む。

40

【0009】

他の局面において、本発明は、電気活性ポリマーデバイスに関する。前記デバイスは、前記ポリマーの第1表面上の表面領域についての非撓み厚さを有する電気活性ポリマーを備える。このデバイスは、前記電気活性ポリマーの前記第1表面の一部に設けられた第1電極、および前記電気活性ポリマーの第2表面の一部に設けられた第2電極を備える。前

50

記電気活性ポリマーおよび第1電極は、アクティブ領域の撓みの後に、前記第1表面上の表面フィーチャのセットを作るように構成される。前記表面フィーチャのセットは、前記第1表面上の前記非撓み厚さより高いポリマー表面フィーチャ、または前記非撓み厚さより低い電極表面フィーチャを含む。このデバイスは、加えて、前記第1表面に隣接し、前記電気活性ポリマーの前記撓みで撓むよう構成されることによって、前記電気活性ポリマーに対向する前記パッシブレイヤの表面が、前記第1表面上の表面フィーチャの前記セットに類似するパッシブレイヤ表面フィーチャのセットを形成するパッシブレイヤを備える。

【0010】

さらに他の局面において、本発明は、電気活性ポリマーtransducerをアクチュエートする方法に関する。この方法は、前記第1表面上の第1表面フィーチャを作るために前記第1部分のアクチュエーションの前に前記ポリマーの第1表面上の第1表面領域についての非撓み厚さを含む前記電気活性ポリマーの第1部分をアクチュエートすることを含む。この方法は、また前記第1表面上の第2表面フィーチャを作るために前記第2部分のアクチュエーションの前に前記ポリマーの第1表面上の第2表面領域についての非撓み厚さを含む前記電気活性ポリマーの第2部分をアクチュエートすることを含む。

10

【0011】

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。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0012】

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、本発明を不必要にぼかさないうえに記載されていない。

【0013】

1. 電気活性ポリマーの一般的構造

【0014】

本発明のtransducerおよびデバイスにおける電気的および機械的エネルギー間の変換は、電気活性ポリマーの弾性および電気活性ポリマー(EAP)の1つ以上の部分のエネルギー変換に基づく。

30

【0015】

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transducer部10の上部透視図である。電気活性ポリマーtransducer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。

【0016】

transducer部10は、電気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。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に取り付けられ、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transducer部10の撓みは、アクチュエーションと呼ばれる。

40

【0017】

図1Bは、電界の変化に応答する撓みを含むtransducer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

50

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。

【0018】

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、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。

10

【0019】

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。

【0020】

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。本発明については、これは、ポリマーの非圧縮性を利用し、ポリマー表面の 1 つ以上の上で表面フィーチャ（surface features）および変形（deformations）を作るためになされる。これはまた、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もなされる。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。

20

【0021】

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。

30

【0022】

図 1 C は、図 1 A に示される部分の外側の、本発明のある実施形態によるアクチュエータの前の表面領域 21 を含むトランスデューサ 10 の拡大正面図を示す。ここでこの語が用いられるように、表面領域 21 は、電極（または電極部分）によって覆われたポリマー表面の少なくとも一部、および電極（または部分）を含むアクティブ領域の撓みによって影響される電極（または部分）の外のポリマー表面を含む電気活性ポリマートランスデューサについての関心のある表面部分を一般に指す。図 1 C の平面ポリマー 12 および四角形電極 14 については、表面領域 21 は、電極 14 によって覆われたポリマー 12 の表面領域およびポリマー 12 の上部表面上で電極 14 を周辺で囲むポリマー 12 の隣接表面部分 23 を備える。ある実施形態において、表面領域 21 は、ポリマー 12 のアクティブ領域のアクチュエーションから生じる弾性および静電力によって影響される電気活性ポリマートランスデューサの全ての表面部分を備え、駆動されるアクティブ領域のポリマーおよび電極材料表面部分および駆動されるアクティブ領域に近接するポリマーおよび電極材料表面部分を含む。

40

50

【 0 0 2 3 】

アクチュエーションの前、トランスデューサ 10 は、表面領域 21 上で撓まされていない厚さ 22 によって記述されえる。非撓み厚さ 22 は、表面フィーチャを作るための撓みの前のポリマー 12 のおおまかな厚さを指す。厚さ 22 は、表面領域 21 にわたってポリマー 12 の一方の表面からポリマー 12 の他方の表面へと計測されえる。典型的には、ポリマー 12 は、その上部および底部表面の両方上で比較的平坦であり、比較的一定の厚さ 22 をポリマー表面および表面領域 21 にわたって有する。電極 14 および 16 は、極小または無視できる深さしかしばしば含まず、厚さ 22 にはわずかし加えないので、これらの場合、非撓み厚さ 22 は、電極 14 および 16 を含みえる。非撓み厚さ 22 は、よって断面におけるポリマーの厚さに対応する。商業的に入手可能なポリマーについては、非撓み厚さ 22 は、製造され受け取られたままのポリマーの厚さにおおまかに対応しえる。ある実施形態において、ポリマー 12 は、以下にさらに詳述されるよう予歪みが与えられ、厚さ 22 は、予歪みの後の表面領域 21 における非撓み厚さを指す。ポリマー 12 および表面領域 21 上の上部および底部表面の間の電極 14 および 16 の厚さは、場合によっては例えば 1 ~ 20 パーセントだけ、わずかに変わりえる。ここで、非撓み厚さ 22 は、表面領域 21 にわたっての変化する厚さの平均または算術表現を指す。ある種のポリマーは、完全に一貫した厚さを示さないかもしれず、表面領域 21 についての非撓み厚さはアクチュエーションの前の表面領域 21 の厚さをよりよく記述しえることが理解されよう。ある実施形態において、トランスデューサ 10 は、撓みの前には実質的に平坦である。他の実施形態において、トランスデューサ 10 は、曲面上に構成され、曲面上のポリマーについておおまかには一定である厚さを持つ。ここで説明される撓みは電極 14 および 16 を用いたアクチュエーションを介して主に記述されるが、以下に説明される発電および検出機能も撓みおよび表面フィーチャにつながりえる。

【 0 0 2 4 】

図 1 D は、本発明のある実施形態によるアクティブ領域の撓みの後の表面領域 21 を含むトランスデューサ 10 の側面図である。アクティブ領域の外のポリマー 12 の材料は、典型的にはアクティブ領域撓みに抵抗する。抵抗の量は、ポリマー全体がどの程度保持されるかまたは例えばフレームによって構成されるかに依存して変わりえる一方、アクティブ領域の外のポリマー 12 の材料は、その材料の弾性に基いてふつうはバネ力として働く。ポリマー 12 の材料はコンプライアンスを有するので、アクティブ領域の撓みまたはアクチュエーションに回答して、この材料は変形しえ、厚さ方向において（平面に直交して）平面外に膨らむ。

【 0 0 2 5 】

ポリマー 12 および電極 14 および 16 の 1 つまたは両方は、ポリマー表面フィーチャ 17 a ~ b が、アクティブ領域の撓みの後に非撓み厚さ 22 の上でポリマー 12 の表面上に形成するように作るよう構成される。ポリマー表面フィーチャ 17 は、ポリマー内での撓み、静電力および/または弾性応答の結果としての非撓み厚さ 22 より上に上がった電気活性ポリマーの部分の部分を指す。この場合、盛り上がった表面フィーチャ 17 a ~ b は、電極 14（およびより少ない程度で反対表面上の電極 16）の表面形状に対応するアクティブ領域のエッジを囲んで形成される。表面フィーチャ 17 a ~ b は、フィルムの張力および弾性に依存して、図 1 D に示されるように明確な膨らみでありえ、またはそれらは電極領域 14 の外側におけるより分散された厚さの増加でありえる。同様に、底部ポリマー表面フィーチャ 17 c ~ d は、電極 16（およびより少ない程度で反対表面上の電極 14）の表面形状に対応するアクティブ領域のエッジを囲んで形成される。ポリマー表面フィーチャ 17 は、アクチュエートされたポリマー 12 は、電極 14 および 16 の近傍のアクティブ領域上の表面面積が増す一方で、ポリマーはしばしば（設計に依存して）ポリマーの非アクティブ領域上の面積が減るという事実から一般に生じる。膨らむポリマー表面フィーチャ 17 は、それから、典型的にはアクティブ領域のための電極のエッジに位置する変位したポリマー材料を含む。この場合のトランスデューサ 10 の上部表面についての表面領域 21 は、それから電極 14 の平面領域およびポリマー表面フィーチャ 17 a ~ b を含

10

20

30

40

50

む。

【0026】

隆起したポリマー表面フィーチャ17に加えて、トランスデューサ10のポリマー12および電極14および16の1つまたは両方は、アクチュエーションのために撓みの後には非撓み厚さ22より小さく留まる低くされた電極部27を作るよう構成される。この場合、上部表面上の電極14の全ては、撓みの後は非撓み厚さ22の下に沈下される。沈下された電極部27は、ポリマー12のアクチュエーションおよび撓みおよび電極14および16の周りのポリマー12が薄くなることによって作られた電極表面フィーチャ19aとしても働く。底部、もし電極14が円として形作られるなら、電極表面フィーチャ19aは、上部から見るとき沈下された円であり、一方、ポリマー表面フィーチャ17は、沈下された円の周りの隆起した「0」の字またはリングを備える。以下に詳述されるように、電極14および16は、文字(底部a、n、y、l、e、t、r)またはより複雑なパターンおよび形状のような、カスタマイズされたポリマー表面フィーチャ17および電極表面フィーチャ19を作るようパターン付けまたは設計されえる。

10

【0027】

底部電極16は、トランスデューサ10の底部側で電極表面フィーチャ19bを作るように、同様に平面内で拡大し、薄くなる。電極表面フィーチャ19bは、トランスデューサ10の底部側についての非撓み厚さ22より薄く留まる。電極14および16の間のアクティブ領域におけるポリマー12の拡大に対するポリマー12の弾性抵抗は、トランスデューサ10の底部側上のポリマー表面フィーチャ17c~dも作る。

20

【0028】

平面外表面フィーチャ17は、アクティブ領域に比較的局所的に示されるが、平面外は、いつも示されるように局所的であるわけではない。場合によっては、もしポリマーが予歪みされるなら、表面フィーチャ17a~bは、非アクティブポリマー材料上に伸ばされ、または平滑化される。平面外変形の大きさは、特定の幾何学的形状、予歪みなどによって変わりえる。しかし、それが局所的膨らみまたは分散されたものとして記載されているかにかかわらず、非アクティブ領域は一般に断面において厚くなる。

【0029】

一般に、トランスデューサ10(ポリマー12および電極)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。より具体的には、機械的力が撓みを駆動する静電力とバランスするまで、電極14および16間のアクティブ領域内のポリマー12は、拡張し薄くなり、一方でポリマー表面フィーチャ17は、ポリマー12の表面から隆起し続け、ポリマー12の薄くなることによって電極表面フィーチャ19は形成し続ける。機械的力は、アクティブ領域の内側および外側のポリマー12の材料の弾性復元力、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/または負荷などによって提供される任意の外部の抵抗を含む。印加された電圧の結果としての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のサイズのような多くの他のファクタにも依存しえる。

30

【0030】

図1Eは、本発明のある実施形態による堅固なレイヤ62を備えるトランスデューサ60を示す。トランスデューサ60は、堅固なレイヤ62、電気活性ポリマー64、上部表面電極66、底部表面電極68、ポリマー表面フィーチャ63、および電極表面フィーチャ65を備える。

40

【0031】

堅固なレイヤ62は、ポリマー64の底部表面に取り付けられ、ポリマー64の底部表面が撓むのを防ぐ。その結果、ポリマー64の上部表面だけがポリマー表面フィーチャ63および電極表面フィーチャ65を含む。

【0032】

堅固なレイヤ62は、例えば剛性のある金属または非金属板のような堅固な構造を備える。ある実施形態において、堅固なレイヤ62は、適切に剛性のある金属のようなコン

50

プライアンスを有しない電極材料を備え、これはそれが取り付けられる表面のための電極および堅固なレイヤ62の両方として働く。堅固なレイヤ62の電極は、導電性材料の任意のタイプでありえる。例えば、堅固なレイヤ62の電極は、銅、アルミ、金、銀などのような金属でありえる。他の具体的な実施形態において、堅固なレイヤ62の電極は、導電性セラミックベースの複合材料を備えうる。

【0033】

ポリマー64は、接着剤を用いて堅固なレイヤ62に接着されえる。ポリマー64および当該構造の間の部分的な接着、すなわち接着剤の領域がポリマー64および堅固なレイヤ62の間の接触の領域より小さいことは、ポリマー64のカスタマイズされた撓みを可能にする。例えば、四角形ポリマー64および堅固なレイヤ62については、ポリマー64は、四角形の2つの辺に沿って堅固なレイヤ62に接着されえる。この場合、ポリマー64は、非接着方向において堅固なレイヤ62に対して拡張する。ポリマー64の拡張のあいだ、潤滑剤が堅固なレイヤ62およびポリマー64の間に配置されえ、2つの表面間の摩擦を低減する。オプションのパッシブレイヤも堅固なレイヤ62およびポリマー64の間に配置されえる。パッシブレイヤは、ポリマー64が撓むときにそれも撓むように選択される。この具体的な実施形態は、それが堅固なレイヤ62に直接に接着されるときに比較して、ポリマー64がより拡張することを可能にする。

【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態をとりえる。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態に関わらず、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られるのに適するポリマーの例示的クラスは、シリコンエラストマー、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、PVDf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、シリコンエラストマーおよびアクリルエラス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0V/mから約440MV/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0Paから約10MPa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、そのエラストラスに基づいてコンプライアンスを有し、選択される。約100MPaより小さいポリマー12についての弾性係数が多くの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、40MPa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、10MPaより小さい弾性係数を含む。

【0040】

ある実施形態において、電気活性ポリマー12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。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。ポリマーの予歪みは、1つ以上の方向において、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。予歪みは、ポリマー12の弾性変形を備え、例えば、ポリマーを引っ張った状態で伸長し、伸長されているあいだ1つ以上のエッジを保持することによって形成されえる。予歪みは、堅固なフレームを用いて境界において課せられえ、またはポリマーの一部について局所的にも実現されえる。他の実施形態において、ポリマーの一部は、その剛性を増し、ポリマーに予歪みを保持するために、硬化され、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。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の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。他の実施形態において、予歪みは弾性的である。アクチュエーションの後、弾性的に予歪みされたポリマーは、原則として、固定されず、その元の状態に戻りえる。

【0041】

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、両方の平面方向において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108における撓みは、直角方向110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108において10パーセント、および直角方向110において500パーセント伸長されえる。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。本発明と共に用いるのに適する予歪みは、共有された同時係属中の米国特許出願第09/619,848号にさらに記載される。

【0042】

10

20

30

40

50

ポリマー 12のエッジは、1つ以上の物体に固定されえる。ポリマーは、化学的接着剤、接着レイヤまたは材料、機械的取り付け装置などのようなこの技術で知られる従来の方法によって1つ以上の物体に固定されえる。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。ある実施形態において、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。

【0043】

2. 電極

【0044】

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。

【0045】

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 1 A および 1 B 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。

【0046】

本発明と共に用いられ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られ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。

【0047】

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、堅固な電極は、大きくは屈曲または平面伸長できない厚いレイヤに設けられた金属を備える。他の実施形態において、半可撓性電極は、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、平面内では比較的堅固である薄いシートに設けられた金属を備える。よって、ポリマーは、上述のように平面外で撓みえるが、平面内の撓みは金属シートの弾性歪みに制限

10

20

30

40

50

される。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に設けられる。

【0048】

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。

10

【0049】

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。

20

【0050】

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。

30

【0051】

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クトランスデューサ150を示す。モノリシクトランスデューサ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。モノリシクトランスデューサ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。

40

【0052】

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1

50

5 4 b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 1 5 1 の任意の他の部分を備える。

【 0 0 5 3 】

アクティブ領域 1 5 2 b は、その上部および下部表面 1 5 1 c および 1 5 1 d 上でそれぞれポリマー 1 5 1 に取り付けられた上部および下部電極 1 5 6 a および 1 5 6 b を有する。電極 1 5 6 a および 1 5 6 b は、ポリマー 1 5 1 の部分 1 5 1 b にわたって電圧差を提供する。部分 1 5 1 b は、電極 1 5 6 a および 1 5 6 b 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 1 5 1 a は、部分 1 5 1 a 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 1 5 1 b は、電極 1 5 6 a および 1 5 6 b の間のポリマー 1 5 1、および電極 1 5 6 a および 1 5 6 b 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 1 5 1 の任意の他の部分を備える。

10

【 0 0 5 4 】

ポリマー表面フィーチャは、それぞれのアクティブ領域 1 5 1 a のアクチュエーションのあいだ、上部および底部電極 1 5 4 a および 1 5 4 b の周辺の周りに形成されえる。ポリマー表面フィーチャは、上部および底部表面上のポリマー 1 5 1 の平面から垂直に盛り上がる塊状のポリマー 1 5 1 の材料を含む。上から眺めたとき、上部ポリマー表面フィーチャは、上部電極 1 5 4 a の四角形の形状に境界を持つ四角形に類似する。下から眺めたとき、底部ポリマー表面フィーチャは、上部電極 1 5 4 b の四角形の形状に境界を持つ四角形に類似する。

20

【 0 0 5 5 】

電極表面フィーチャは、アクティブ領域 1 5 1 a のアクチュエーションのあいだ、電極 1 5 4 a および 1 5 4 b の形状およびサイズに対応して形成されえる。この場合、上部および底部電極表面フィーチャは、アクチュエートされる時、それぞれ電極 1 5 4 a および 1 5 4 b に対応する寸法を持つ四角形に類似する。

【 0 0 5 6 】

アクティブ領域 1 5 2 a および 1 5 2 b 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 1 5 2 a および 1 5 2 b は、個別に、同時に、断続的になどアクチュエートされえる。

【 0 0 5 7 】

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。カスタマイズされた表面フィーチャのさらなる説明および例は、以下に記載される。

30

40

【 0 0 5 8 】

図 1 G は、本発明の具体的な実施形態による撓みの前の電気活性ポリマー トランスデューサ 7 0 を示す。トランスデューサ 7 0 は、電気活性ポリマー 7 2、電極 7 4 および電極 7 6 を備える。ポリマー 7 2 は、関心のある表面領域 8 0 についての撓みの前の非撓み厚さ 2 2 によって特徴付けられる。それぞれの表面についての非撓み厚さ 2 2 は、撓みの前に、変形されるポリマー 7 2 の表面に反対の表面から計測される。電極 7 4 は、ポリマー 7 2 の底部表面に接着され、金属を備え、厚く堅固である。電極 7 6 は、ポリマー 7 2 の上部表面に接着され、コンプライアンスを有する電極を備え、ポリマー 7 2 の形状に従う。電極 7 6 は、電極 7 4 とは異なるサイズ、水平位置および形状も含む。

50

【 0 0 5 9 】

図 1 H は、電極 7 4 および 7 6 を用いたアクチュエーションの後のトランスデューサ 7 0 およびポリマー 7 2 の一部の撓みを示す。堅固な電極 7 6 は、ポリマー 7 2 の底部表面 7 2 b が撓むことを防ぐ。この場合、ポリマー 7 2 の一部だけが撓み、平面内で拡張し、示されるように電極 7 4 および 7 6 は水平方向で重なる。撓みの後、ポリマー表面フィーチャ 8 2 は、非撓み厚さ 2 2 の上に撓みの後に作られる。加えて、コンプライアンスを有する電極 7 6 の左の部分だけが非撓み厚さ 2 2 よりも小さく、電極表面フィーチャ 8 5 を形成する。コンプライアンスを有する電極 7 6 の残りは、非撓み厚さ 2 2 に対して実質的に同じ高さに留まる。よって、場合によっては、電極は、電極表面フィーチャに寄与するアクティブ領域、およびアクティブ領域の外の部分または寄与しない電極表面フィーチャを含むことが可能である。

10

【 0 0 6 0 】

場合によっては、電極は、非撓み厚さ t より上に隆起しえる。例えば、もし第 2 アクティブ領域がポリマー表面フィーチャ 8 2 においてポリマー 7 2 の上にパターン付けされているなら、ポリマーの他の部分の撓みについて、第 2 アクティブ領域からのこの電極は非撓み厚さ 2 2 より上に上がることもありえる。よってポリマー表面フィーチャは、電極がポリマー表面フィーチャ上にパターン付けされているかどうかにかかわらず、撓みの後の非撓み厚さより上のポリマー材料を指す。

【 0 0 6 1 】

他の実施形態において、電気活性ポリマーは、共通電極を備える。共通電極は、電気活性ポリマーの 1 つ以上のアクティブ領域と電氣的に連通することができる電極である。多くの場合、共通電極は、モノリシクトランスデューサがより複雑にならずに実現されえることを可能にする（図 3 C 参照）。例えば、複数の電極がポリマーの 1 つの表面上にパターン付けされえ、一方、第 2 表面の全体が共通電極を含む。代替として、共通電極は、共通電極を通した電荷の伝搬に従って、複数のアクティブ領域を順次アクチュエートするのに用いられえ。

20

【 0 0 6 2 】

3 . パッシブレイヤ

【 0 0 6 3 】

いくつかの電気活性ポリマートランスデューサについては、絶対的には、撓みまたはアクチュエーションのあいだのポリマー厚さの変化は、平面領域寸法の変化に対して小さいかもしれない。例えば、薄いポリマーフィルムについては、面積変化は平方センチメートルのオーダーでありえ、平面寸法の変化はセンチメートルのオーダーでありえる一方、厚さの変化は、ミクロン（1 ミリメートルの 1 0 0 0 分の 1）のオーダーでありえる。しかし、この場合の電気活性ポリマーデバイス中のポリマーフィルムについての厚さの絶対的な変化は小さいが、パーセンテージ変化は依然として大きい（例えば 5 0 % 以上）。

30

【 0 0 6 4 】

ある実施形態において、本発明のトランスデューサおよびデバイスは、平面外変形を増幅し、より目に見えるポリマーおよび電極表面フィーチャを作るためのパッシブレイヤを備える。図 2 A ~ 2 B は、本発明のある実施形態によるパッシブレイヤ 5 0 を備える電気活性ポリマートランスデューサ 5 1 を示す。図 2 A は、ポリマー撓みを持たない非撓み状態にあるトランスデューサ 5 1 を示す。図 2 A に示されるように、ポリマー表面 5 2 a および 5 2 b およびポリマー 5 2 に対向するパッシブレイヤ 5 0 a は、ポリマー 5 2 の撓みの前には全て実質的に平坦である。図 2 B は、アクチュエートされた状態でのトランスデューサ 5 1 を示す。コンプライアンスを有する電極 5 4 a および 5 4 b は、それぞれその上部および底部表面 5 2 a および 5 2 b 上において、ポリマー 5 2 の中央部分 5 6 に取り付けられる。アクチュエーションのために、電圧 V を持つ電界が電極 5 4 を介してポリマー 5 2 にわたって印加され、ポリマー 5 2 の部分 5 6 をアクチュエートする。

40

【 0 0 6 5 】

パッシブレイヤ 5 0 は、ポリマー 5 2 の上部表面 5 2 a に隣接し、電気活性ポリマー 5

50

2に対向するパッシブレイヤ50の表面50aが、ポリマー52の上部表面52a上の表面フィーチャ群59のセットに類似するパッシブレイヤ表面フィーチャ群57のセットを形成するよう、電気活性ポリマーの撓みと共に撓むように構成される。パッシブレイヤ50は、それが断面形状および寸法においてポリマー52によってそれに印加される力に従うという点でパッシブである。他の実施形態において、パッシブレイヤ50は、面積および厚さ変化を持つ電気活性ポリマー52に対して、ポリマー52のように電界の印加に応答しないという点でもパッシブである考えられえ。

【0066】

トランスデューサ51について、パッシブレイヤ50は、アクチュエーションのあいだのポリマー52の表面面積および厚さの変化が、少なくとも部分的にパッシブレイヤ50に伝達するよう、電気活性ポリマー52に直接に結合する。パッシブレイヤ50が電気活性ポリマー52に結合するとき、電気活性ポリマー52における表面面積および厚さの変化は、パッシブレイヤ50の表面面積および厚さを変化させる剪断力をパッシブレイヤ50に誘起する。パッシブレイヤ50は、ポリマー52より厚く、少なくともパッシブレイヤ50およびポリマー52の結合された厚さを増すので、パッシブレイヤ50の表面面積および厚さの変化は、絶対的に、ポリマー52の厚さの変化によって作られた変位を増幅するよう用いられえ。

【0067】

ある実施形態において、パッシブレイヤ50は、ポリマー52に接触し、パッシブレイヤ50およびポリマー52の間の結合は、直接接合、接着剤、またはパッシブレイヤ50のポリマー52（またはその部分）上への接着などを含みえる。代替として、それぞれのパッシブレイヤ50は、表面コーティングとして電気活性ポリマー52に塗布されえ。他の実施形態において、パッシブレイヤ50は、ポリマー52と接触せず、1つ以上の中間剛性構造がパッシブレイヤ50およびポリマー52の間に設けられる。金属ポストのようなこの剛性構造は、パッシブレイヤ50およびポリマー52の両方に取り付けられ、電気活性ポリマーからパッシブレイヤ50へ力を伝達するよう構成される。中間剛性構造は、それからパッシブレイヤ50およびポリマー52を機械的に結合し、ポリマー52の撓みがあると力を伝達する。

【0068】

図2Bに示される断面において、隆起されたパッシブレイヤ表面フィーチャ57aおよび57bは、上部電極54aのエッジにおいて、変位された上部および隆起したポリマー表面フィーチャ59aおよび59bにそれぞれ対応する上部電極54aのエッジの周りに作られる。パッシブレイヤ表面フィーチャ57aおよび57bは、電極54aおよび54bの形状に対応する部分56および電極54によって作られるアクティブ領域上の面積において増す一方、パッシブレイヤ50は典型的には（設計に依存する）電極45およびアクティブ領域の外のポリマー52の非アクティブ領域55上では面積が減るという事実から、パッシブレイヤ50において一般的に生じる。パッシブレイヤ50は一般に実質的に一定の総容積（パッシブレイヤ50が圧縮性発泡材を含むときを除く）を維持するので、もしその表面面積がアクチュエーションまたはポリマー撓みのあいだに非アクティブ領域で減るなら、パッシブレイヤ50厚さは典型的には増し、表面フィーチャ57を形成する。厚さ増加および表面フィーチャの位置は、パッシブレイヤ50中の応力蓄積に基づいて典型的には予想可能である。多くの場合、厚さ増加は、トランスデューサ51の電極54およびアクティブ領域と直接に境界を接するもののような、高応力の領域において高められる。

【0069】

このようにして、パッシブレイヤ50は、ポリマー52の上部表面上の表面フィーチャ59のセットに類似するパッシブレイヤ表面フィーチャ57のセットを形成する。ポリマー52の上部表面上の表面フィーチャ59のセットは、隆起したポリマー表面フィーチャおよび沈下した電極表面フィーチャの両方を含む。よって、パッシブレイヤ表面フィーチャ57のセットは、パッシブレイヤ50の元の厚さに対して隆起された部分および沈下さ

10

20

30

40

50

れた部分の両方を含みえる。トランスデューサ 5 1 について、パッシブレイヤ表面フィーチャ 5 7 のセットは、上部ポリマー表面フィーチャ 5 9 a および 5 9 b に対応する隆起された部分 5 7 a および 5 7 b、および中央部分 5 6 におけるポリマー 5 2 の薄くなった部分に対応する沈下された部分 5 7 c を含む。パッシブレイヤ表面フィーチャ 5 7 は、ポリマー 5 2 上のポリマー表面フィーチャおよびへこんだ電極表面フィーチャの空間的構成およびサイズと正確に似る必要はなく、空間的オフセット、相対的变化およびマイナーな定量的差異を含みえる。しかし一般に、パッシブレイヤ表面フィーチャ 5 7 のセットは、おおよその空間的構成、相対的サイズなどにおいて、ポリマー 5 2 の上部表面上の表面フィーチャ 5 9 のセットに似る。パッシブレイヤ 5 0 についての表面フィーチャ 5 7 の個数は、ポリマー 5 2 の上部表面上の表面フィーチャ 5 9 の個数に一般に対応し、それぞれのセットは、ポリマー 5 2 上の電極の個数、複雑さおよびレイアウトに依存して、1 から 2 0 0 の表面フィーチャ、またはそれ以上を含みえる。

10

【 0 0 7 0 】

図 2 C は、本発明の具体的な実施形態による 2 つのパッシブレイヤ 5 0 および 5 8 の間の電気活性ポリマー 5 2 を備えるトランスデューサ 5 1 を示す。

【 0 0 7 1 】

電極 5 4 を介した部分 5 6 におけるポリマー 5 2 のアクチュエーションは、部分 5 6 におけるポリマー 5 2 が、平面面積において増し、厚さにおいて減るようにさせる。対応して、ポリマー 5 2 の部分 5 6 がアクチュエートされる時、この表面領域におけるパッシブレイヤ 5 0 および 5 8 は、両方とも面積が増す。ポリマー 5 2 のアクチュエーションは、よって、ポリマー 5 2 の厚さが収縮した領域において部分 5 6 の周りで上部および底部パッシブレイヤ 5 0 および 5 8 の厚さを減らす。上部パッシブレイヤ 5 0 および底部レイヤ 5 8 の厚さの減少は、それらの厚さから計測されるように、それぞれ距離 D_1 および D_4 である。ポリマー 5 2 が上部パッシブレイヤ 5 0 および底部パッシブレイヤ 5 8 と接触するところにおける厚さの変化は、それぞれ D_2 および D_3 である。上部および底部パッシブレイヤ 5 0 および 5 8 は、それぞれポリマー 5 2 より厚い。したがって、上部および底部パッシブレイヤ 5 0 および 5 8 の厚さにおける変化は、部分 5 6 におけるポリマー 5 2 の厚さの変化よりも大きく、すなわち $D_1 > D_2$ および $D_4 > D_3$ である。このようにして、それぞれパッシブレイヤ 5 0 および 5 8 は、パッシブレイヤを持たない電気活性ポリマー トランスデューサ に比較して、絶対的変位（厚さの変化）を増幅する。

20

30

【 0 0 7 2 】

ポリマー 5 2 における部分 5 6 のアクチュエーションによって発生された力の大きさは、それぞれのパッシブレイヤ 5 0 の厚さおよび剛性を制限する。当業者には解るように、部分 5 6 のアクチュエーションによって発生された力の量は、例えば、部分 5 6 のサイズ、ポリマー 5 2 の材料、誘電率、およびアクチュエーション電圧によって影響される。それぞれのパッシブレイヤ 5 0 の厚さまたは剛性が増すにつれ、それを変位させるために要求される剪断力も増す。よって、パッシブレイヤ 5 0 の厚さが増すにつれ、ポリマーからの一定の力についてのパッシブレイヤ 5 0 の撓みは減る。また、もしパッシブレイヤ 5 0 が比較的コンプライアンスを有するが厚いなら、部分 5 6 のアクチュエーションは、やはりパッシブレイヤを変位させるが、結果として生じるパッシブレイヤ 5 0 中の厚さ変化およびパッシブレイヤ表面フィーチャの解像度は、部分 5 6 に対して、平滑化され、シャープなエッジ精細度を有しないかもしれない。

40

【 0 0 7 3 】

よってパッシブレイヤ 5 0 および 5 8 の剛性は、所望の絶対変位に依存して選択される。ある実施形態において、パッシブレイヤ 5 0 は、電気活性ポリマー 5 2 の弾性係数より小さい弾性係数を備える。これは、トランスデューサ 5 1 上にパッシブレイヤ 5 0 によって提供される弾性抵抗を減らし、与えられた電気的入力についてのパッシブレイヤ表面フィーチャの大きさおよび精細度を増す。他の実施形態において、パッシブレイヤ 5 0 は、電気活性ポリマー 5 2 の弾性係数の 1 0 分の 1 より小さい弾性係数を備える。

【 0 0 7 4 】

50

パッシブレイヤ50および58の厚さは、所望の絶対的変位に依存しても選択されえる。ある実施形態において、パッシブレイヤ50は、電気活性ポリマー52の厚さより大きい厚さを備える。これは、部分56のアクチュエーションによって作られる表面フィーチャの可視出力を増す。他の実施形態においては、パッシブレイヤ50は、ポリマー52の厚さの2倍よりも大きい厚さを備える。

【0075】

ポリマー（および電極）および/またはパッシブレイヤの複数のレイヤも採用されえる。これは、他の表面フィーチャの上に表面フィーチャがアクチュエートされることを可能にし、例えば、1つのレイヤが広いすり鉢形状をアクチュエートし、他のレイヤがそのすり鉢の中に小さなバンプをアクチュエートする。

10

【0076】

一般に、パッシブレイヤ50は、電気活性ポリマー52中の表面フィーチャの垂直プロフィールおよび/または可視性を増幅するのに適する任意の材料を備えうる。例示的パッシブレイヤ50は、シリコン、柔らかいポリマー、柔らかいエラストマー（ゲル）、柔らかいポリマー発泡材、またはポリマー/ゲル複合材を例えば含む。パッシブレイヤ50において用いられる材料は、ポリマー52の弾性係数およびパッシブレイヤ50の厚さのようなパラメータに依存して、特定の電気活性ポリマー52との互換性のために選択されえる。具体的な実施形態において、パッシブレイヤ50は、パッシブレイヤの歪みを伴う非線形弾性係数を含む圧縮可能な発泡材を備える。この場合、パッシブレイヤ50の弾性応答は線形ではなく、よって非線形応力/歪み曲線に基づいて、変化する出力（変化する割合で薄くなったり厚くなったりする）を提供する。

20

【0077】

上部および底部レイヤ50および58の撓み、表面フィーチャおよび厚さ変化は、非対称でありえる。図2Bに示されるように、上部レイヤ50は、底部レイヤ58より小さい厚さ変化を含む。変位非対称性は、上部および底部パッシブレイヤ50および58について異なる剛性を持つ異なる材料を使うこと、上部および底部パッシブレイヤ50および58について同じパッシブレイヤ材料であるが異なる厚さを持たせること、上部および底部レイヤ上に異なる予歪みを与えること、前記技術の組み合わせなどのような、いくつかの技術を介して達成されえる。代替として、上部および底部パッシブレイヤ50および58の間で実質的に同一の材料および類似のアクチュエート条件を用いることは、上部および

30

【0078】

ある場合には、より大きく、またはより詳細な表面フィーチャ57が望ましく、表面フィーチャ57の高さを増すような方法が実現されえる。例えば、パッシブレイヤ50の厚さは増されえ、より多くのレイヤが追加または使用されえ、電極54の幾何学的形状が変化され、ポリマー52の幾何学的形状が変化され、パッシブレイヤ50の幾何学的形状または材料が変化され、または表面フィーチャ57の高さを増すために電極54にわたっての電荷の分布が変化される。代替として、もし所望なら、表面フィーチャ57aおよび57bは、パッシブレイヤ50に歪みを与えるような方法によって、パッシブレイヤ50上に表面コーティングを施すことによって、電極54の幾何学的形状を変化させることによ

40

【0079】

4. 幾何学的表面フィーチャの例

【0080】

本発明のトランスデューサは、個々のフィーチャについての個数および具体的な形状または幾何学的配置の両方について、表面フィーチャのセットに広い可変性を作りえる。表面フィーチャは、ポリマー平面の外にあるポリマー変形に基づいた1つ以上の隆起した表面フィーチャおよび/またはアクティブ領域の周辺における電極およびポリマーが薄くな

50

ることに基づいた1つ以上の沈下した表面フィーチャを含みえる。以下に記載されるのはいくつかの図解例である。

【0081】

図3Aは、本発明の具体的な実施形態によるトランスデューサ220についての交差共通電極の上部立体図を示す。この場合、水平上部表面共通電極222のセットは互いにリンクされ、透明電気活性ポリマー221の上部表面上に配置される。加えて、垂直例えば表面共通電極224のセットが互いにリンクされ、透明電気活性ポリマー221の底部表面上に配置される。上部表面電極222は、底部表面電極224ができるように、共通してアクティベートされえる。

【0082】

図3B～3Cは、本発明の他の具体的な実施形態によるトランスデューサ240についてのアクチュエーションパターンの上部立体写真を示す。トランスデューサ240は、電気活性ポリマー（不図示）の上部表面上に配置されるパッシブレイヤ242を含む。パッシブレイヤ242は、ポリマーにおける厚さ変化、およびパッシブレイヤ242の表面上の表面フィーチャの可視化を向上させる。図3Bにおいて、電圧は電気活性ポリマーに印加されず、パッシブレイヤ242の表面は、実質的に滑らかで実質的に平坦である。図3Cにおいては、電圧が共通電極に印加され、沈下した四角形表面フィーチャ246のセットが作られる。四角形表面フィーチャ246のセットの上には3つの沈下した平行線表面フィーチャ248のセットも示される。

【0083】

変位は、パッシブレイヤにわたって非対称でもありえる。例えば、電気活性ポリマーは、パッシブレイヤでコーティングされた複数のアクティブ領域を含みえ、ここで変位は、異なるアクティブ領域についての变化するパッシブレイヤの厚さに基づいて、レイヤにわたってあるアクティブ領域から他のアクティブ領域へと変わりえる。

【0084】

ある実施形態において、1つ以上の電極は、表面フィーチャについて表面形状および外観に影響を与えるために表面領域にパターン付けされ、または構成される。図3Dは、本発明の具体的な実施形態によるトランスデューサ200（パッシブレイヤなし）の上部立体図を示す。トランスデューサ200は、電気活性ポリマー206の上部表面204上に設けられた電極202a～g、および底部側（不図示）上に設けられた共通電極を備える。それぞれの電極202a～gは、示されるように文字に似る。

【0085】

それぞれの電極202a～gに対応するアクティブ領域のアクチュエーションは、表面204上の表面フィーチャ210が目に見えるようになるようにする。図3Eは、1文字のアクチュエーションを示す。より具体的には、電極202aに対応するアクティブ領域のアクチュエーションは、ポリマー206の薄くなることに対応して文字「a」の平面サイズが大きくなり、ポリマー206へ沈下するようにさせ、よってポリマー厚さより低い電極表面フィーチャ210aを作る。加えて、電極202aに対応するアクティブ領域のアクチュエーションは、文字「a」の形状の電極202aの平面サイズが増し、拡張された電極202aに境界を接するポリマー206が隆起し、電極202aの周囲にリッジポリマー表面フィーチャ212aを作るようにする。電極202aは、よって、沈下された電極表面フィーチャ210aおよび隆起された表面フィーチャ212aについての表面形状に影響を与えるように表面領域において構成される。

【0086】

電極202a～gおよびその対応するアクティブ領域および表面フィーチャは、独立に制御されえる。よって、適切な制御電子回路と共に、電極202a～cおよびそのそれぞれのアクティブ領域および表面フィーチャは、語を綴るポリマー表面フィーチャを作るように同時にアクチュエートされえる。他の文字もカスタマイズされた目に見える語および出力を作るようにパターン付けされえる。

【0087】

10

20

30

40

50

本発明は、単純な正方形または長方形の幾何学的形状に限定されない。本発明では他の形状（円形、三角形など）または複雑なパターンが発生されえる。例えば、電極は、ロゴ、線図などのためにパターン付けされえる。他の実施形態においては、図3Aの四角形は、個別にパターン付けされ、異なる表面フィーチャ出力を発生するように制御されえる。

【0088】

図3Fは、本発明の他の具体的な実施形態によるトランスデューサ260のためのグリッド状表面フィーチャの側面図を示す。コンプライアンスを有しない電極262が堅固な構造264にマウントされる。パッシブレイヤ266は、ポリマー268の上部表面上にマウントされる。ポリマー268の上部表面上には、金属ワイヤのような薄い導電性ストリップ270のグリッドがある。ポリマー268がアクチュエートされる時、導電性ワイヤ270は、ポリマー268中に切り込みポリマー268がワイヤ270の周りで膨らむようにする。ポリマー268中の膨張する表面ポリマーフィーチャ269は、パッシブレイヤ266中に対応する膨張する表面フィーチャ267を生じる。例えば、ある実施形態においては、金属ワイヤ270は、キルトのようなダイヤモンドパターンで格子の中に配置され、ポリマー268がアクチュエートされる時、パッシブレイヤ266は、パッシブレイヤ266の表面上にキルトパターンを示す。

【0089】

5. 多機能性

【0090】

電気活性ポリマーは、双方向性で電気的エネルギーおよび機械的エネルギーの間で変換しえる。電気活性ポリマートランスデューサの電気的特性を検出することは、検出機能性も可能にする。

【0091】

図1Aおよび1Bは、トランスデューサ部10が機械的エネルギーを電気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10が外部力によって図1B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1Bの構成へ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14および16の間に印加されるなら、トランスデューサ部10は、外部の力が取り除かれる時、図1A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18および20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、外部の電気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10の位置を指す。いったんトランスデューサ部10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10はしたがって収縮し、それはより厚くなり、方向18および20（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12がより厚くなる時、それは電極14および16およびそれらの対応する異極電荷を引き離し、よって電気的エネルギー、および電荷の電圧を上昇させる。さらに、電極14および16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、電気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14および16上の異なる電荷では、図1Bに示される形状から図1A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10は発電機として働く。

【0092】

場合によっては、トランスデューサ部10は、可変キャパシタとして電気的に記述されえる。図1Bに示されるものから図1A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14および16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14および16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 $U = 0.5 Q^2$

10

20

30

40

50

/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12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が減少するならば、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、または用いられる。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る。

【0093】

本発明の電気活性ポリマーは、センサとしても構成される。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る。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ตอบสนอง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る。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る。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ば、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。

【0094】

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る。典型的には、本発明の発電機は、ポリマーの一部の撓みにตอบสนอง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る。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。

【0095】

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。

【0096】

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る。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るようにトランスデューサに印加される。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る。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

10

20

30

40

50

シングするトランスデューサの電気的狀態を検出するのに、さまざまな度合いの複雑さの回路が用いられる。

【0097】

ある実施形態において、電気活性ポリマートランスデューサアクティブ領域は、時間と共に変化するパッシブレイヤにおける可変表面フィーチャ高さおよび変位の深さを提供するために、適切な電子制御（例えばアクティブ領域を制御するよう構成されるプロセッサ）を介して電気的に制御される。例えば、電気活性ポリマートランスデューサのアクチュエーションを制御するマイクロプロセッサがセンサに接続される。変位の深さは、センサによって測られる計測に従ってマイクロプロセッサによって時間と共に変化する。

【0098】

6. 使用法

【0099】

本発明は、電気活性ポリマートランスデューサを用いる方法も含む。図4は、本発明のある実施形態による電気活性ポリマートランスデューサを用いるプロセスフロー300を示す。電気活性ポリマートランスデューサは方法として記載されるが、本発明は以下に記載される動作を実行することができるトランスデューサおよびデバイスを含むことが当業者には理解されよう。

【0100】

プロセスフロー300は、電気活性ポリマーの第1部分をアクチュエートすることによって開始する(302)。第1部分は、第1部分のアクチュエーションの前のポリマーの第1表面上の第1表面領域についての非撓み厚さを含む。アクチュエーションは、第1表面上に第1表面フィーチャを作る。表面フィーチャは、アクチュエーション後に非撓み厚さより上に隆起するポリマー表面フィーチャ、またはアクチュエーション後に第1表面領域についての非撓み厚さより下になる電極部分を備えうる。例示的フィーチャ形状および構成は上述のようである。

【0101】

プロセスフロー300は、電気活性ポリマーの第2部分をアクチュエートすることによって進む(304)。第2部分は、ポリマーの第1表面上の第2表面領域についての非撓み厚さを含む。第2アクチュエーションは、第2表面フィーチャを第1表面上に作る。ある実施形態において、第1および第2部分は、同時にアクチュエートされる。他の実施形態において、第2部分は、第1部分の後にアクチュエートする。

【0102】

図5Aは、具体的な実施形態によって複数のアクティブ領域のステップワイズな撓みを用いて互いに対して2つの物体を動かす方法を示す。物体322は、表面324上でスライドしているように示される。表面変形電気活性ポリマートランスデューサ326は、物体322の底面に接触する。トランスデューサ326上のアクティブ領域328のアクチュエーションは、物体322を表面324から押し出し、物体322を傾ける。連続的にアクティブ領域328a、328b、および328cをアクチュエートすることは、物体322を表面324に沿って方向329に押す。よって、トランスデューサ326は、表面324にわたって物体322を押し出す境界にわたって伝搬波を駆動するように用いられる。他の実施形態において、表面変形トランスデューサ326は、表面324に接触し、表面上で物体を移動させるための表面324上のコンベヤーとして働く。

【0103】

7. 応用例

【0104】

いくつかのさらなる例示的応用例がここで記載される。これら応用例は、図示目的で与えられ、ここで記載されたトランスデューサおよびデバイスの応用例をいかなるようにも限定するようには意図されない。ここで記載される電気活性ポリマートランスデューサおよびデバイスは、非常にスケラブルである。よって、本発明のトランスデューサおよびデバイスは、スピーカのような巨視的応用例、または半導体デバイス上に製造されるアク

10

20

30

40

50

チュエータのような微視的応用例の両方において用いられえる。

【0105】

上述のような文字の作成は、再構築可能なディスプレイにおいて用いられるのに非常に適する。例えば、車の中のダッシュボードは、複数の状態を含む表面変形電気活性ポリマーランスデューサを含みえる。ある状態は、ほとんどまたは全く表面フィーチャが見えないようにきれいでありえる。ユーザによってイニシエーションされると、さまざまなメニューおよびコントロールがダッシュボード上にそれから作られる。ポリマーの検出機能と組み合わせることによって、運転者または乗客はコマンドを入力し、プロセッサとインタフェースし、または車の中の1つ以上の制御されたシステムに影響を与えることができる。ダッシュボード表面フィーチャは、文字、ロゴ、シンボルおよび環境制御、オーディオシステム、ナビゲーションシステムなどのような車内のシステムの制御に関する他のフィーチャを含みえる。ダッシュボード以外に、そのような再構築可能なアクチュエータおよびセンサは、電卓、キーボード、携帯電子機器などを作るのに有用である。

10

【0106】

ある実施形態において、表面変形トランスデューサおよびデバイスは、スピーカのような音響発生応用例のために用いられえる。電気活性ポリマーを用いた音響発生のさらなる説明は、米国特許第6,343,129号に記載される。

【0107】

他の実施形態において、表面変形電気活性ポリマーランスデューサデバイスは、物体および表面の間の摩擦係数を増したり、減らしたりするのにアクチュエートされえる。ある実施形態において、表面変形トランスデューサデバイスは、物体の底面にわたって可変摩擦係数を提供するようにアクチュエートされる物体の底面にわたってマウントされえる。摩擦の可変係数は、摩擦ステアリングを発生するために用いられえる。摩擦制御が適用されえるある応用例は、スキーまたはスノーボードの底面上である。摩擦制御は、スキーまたはスノーボードのブレーキまたは回転を助けるのに有用でありえる。

20

【0108】

図5Bは、本発明の具体的な実施形態による、それぞれ翼343およびフラップ345の表面にマウントされた表面変形電気活性ポリマーランスデューサ340および342を示す。トランスデューサ340および342のアクチュエーションは、ウィング343およびフラップ345上の空気の流れの特性を変化させる。例えば、翼の動作条件に依存して、翼上のリフトおよびドラッグを増加または減少するためにトランスデューサ340上のアクティブ領域がアクチュエートされえ、例えば、表面粗さおよび翼上を通る空気の流れの乱流を増すためにアクチュエートされえる。他の実施形態においては、トランスデューサ340および342のアクチュエーションは、翼表面のレーダ断面積特性を変化させるために用いられえる。

30

【0109】

表面変形電気活性ポリマーランスデューサの他の例示的応用例は、1)点字デバイス、2)表面変形トランスデューサが触覚的フィードバックを提供するようアクチュエートされるキーボードまたは他のインタフェースのようなタッチセンシティブデバイス、3)マッサージ機、4)パイブレーションデバイス、5)ポンプおよび6)リニアアクチュエータを含む。点字デバイスにおいては、表面変形トランスデューサは、点字として触って読める表面テクスチャを作るために用いられえる。他の関連する応用例においては、表面変形トランスデューサは、表面テクスチャがある地形領域の表面地勢の表現である3-D地形ディスプレイにおいて用いられえる。

40

【0110】

ある具体的な実施形態において、可変容量キャパシタを作るために、それぞれの対向する表面上にパッシブレイヤを持つトランスデューサは、2つの金属レイヤのような2つの堅固な導電性レイヤの間に挟持される。ポリマーおよびパッシブレイヤをアクチュエートし、2つの金属レイヤ間の距離が変化させることによって、キャパシタの容量は、金属レイヤが充電されるときに変化されえる。

50

【 0 1 1 1 】

表面のテクスチャを変えることは、その撓みの後に「アクティブな」軍用カムフラージュのような軍用応用例においても望ましい。

【 0 1 1 2 】

ある実施形態においては、本発明のアクチュエータおよびトランスデューサは、流体システムにおいて熱力学的仕事を実行するために、または流体を制御するために採用される。流体システムは広範に分布する。自動車産業、配管産業、化学処理産業および宇宙産業は、流体システムが広く用いられるいくつかの例である。流体システムにおいては、流体システムのパフォーマンスまたは効率を改善するために流体システム中の流体の流れの特性を制御すること、または流体システムが特定の目的のために動作することを可能にするやり方で流体システム中の流体を制御することがしばしば望ましい。流体の制御の1つの方法は、流体表面インタフェースの制御を通してである。それから本発明は、1つ以上の電気活性ポリマーアクチュエータデバイスおよび表面インタフェースを用いて流体表面インタフェースを制御するデバイスおよび方法を含みえる。具体的な実施形態において、表面変形トランスデューサは、流体導管の内側表面にマウントされる。表面変形トランスデューサは、導管内に波状パターンを発生するようアクチュエートされえる。例えば、混合を促進するために波状パターンが用いられえる。代替として、表面変形トランスデューサは、導管内の摩擦を低減するためにアクチュエートされえる。

10

【 0 1 1 3 】

他の具体的な応用例において、パッシブレイヤは、機械的出力またはリンケージに接続し、それによりポリマーによって発生された厚さ変位がリンケージに転送される。それからポリマーの撓みは、機械的出力のための状態を制御し、すなわち機械的出力は、撓み前の第1状態および撓み後の第2状態を有する。例えば、表面変形トランスデューサ（またはその一部分）は、機械的出力または機械的リンケージに接続される物体の位置を制御するのに用いられえる。代替として、表面変形トランスデューサ（またはその一部分）は、機械的出力の形状を制御するのに用いられえる。例えば、機械的出力は、パッシブレイヤ上に設けられる鏡面状表面を含みえ、ポリマーの撓みは、鏡によって反射される光を変えるために鏡の形状または位置を変化させるのに用いられえる。

20

【 0 1 1 4 】

8 . 結論

30

【 0 1 1 5 】

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。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 1 6 】

【 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。

40

【 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アクチュエーションの前の表面領域を含むトランスデューサの側面図である。

【 図 1 D 】 本発明のある実施形態によるアクチュエーションの後の表面領域を含むトランスデューサの側面図である。

【 図 1 E 】 本発明のある実施形態による堅固なレイヤを備えるトランスデューサを示す図である。

【 図 1 F 】 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。

50

【図 1 G】本発明の具体的な実施形態による撓みの前の電気活性ポリマートランスデューサを示す図である。

【図 1 H】撓みの後の図 1 G のトランスデューサを示す図である。

【図 2 A】本発明のある実施形態による平面外の撓みを向上させるパッシブレイヤを含むトランスデューサを示す図である。

【図 2 B】アクチュエートされた状態における図 2 A のトランスデューサを示す図である。

【図 2 C】本発明の具体的な実施形態による 2 つのパッシブレイヤの間に電気活性ポリマーを備えるトランスデューサを示す図である。

【図 3 A】本発明の具体的な実施形態によるトランスデューサのための交差する共通電極の上部立体図である。

10

【図 3 B】本発明の他の具体的な実施形態によるパッシブレイヤを含むトランスデューサについての上部立体写真である。

【図 3 C】本発明の他の具体的な実施形態によるパッシブレイヤを含むトランスデューサについての上部立体写真である。

【図 3 D】本発明の他の具体的な実施形態によるトランスデューサの上部立体図である。

【図 3 E】文字のアクチュエーションを持つ図 3 D のトランスデューサの上部立体図である。

【図 3 F】本発明の他の具体的な実施形態によるトランスデューサのためのグリッド表面フィーチャ電極の側面図である。

20

【図 4】本発明のある実施形態による電気活性ポリマートランスデューサを用いるプロセスフローの図である。

【図 5 A】具体的な実施形態による複数のアクティブ領域のステップワイズ撓みを用いてそれぞれに対して 2 つの物体を動かす方法を示す図である。

【図 5 B】具体的な実施形態による翼およびフラップの表面にマウントされた表面変形電気活性ポリマートランスデューサを示す図である。

【 図 1 A 】

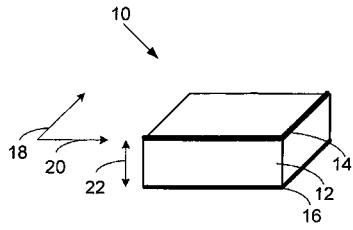


FIG. 1A

【 図 1 C 】

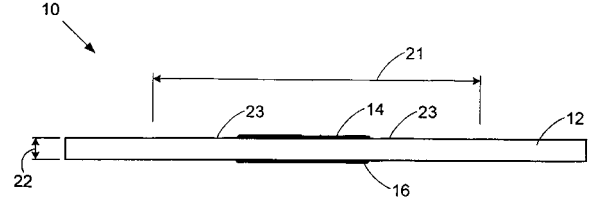


FIG. 1C

【 図 1 B 】

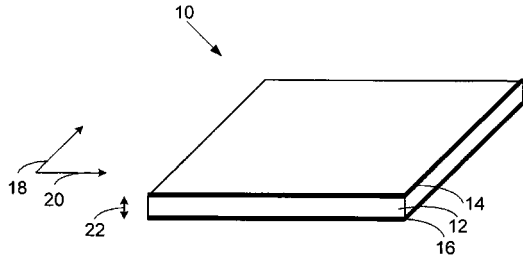


FIG. 1B

【 図 1 D 】

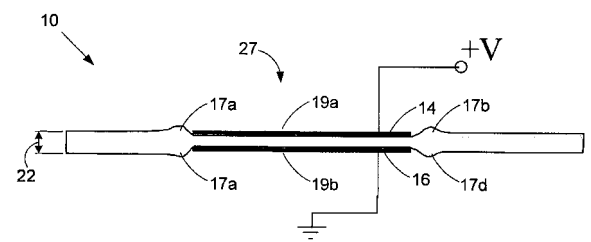


FIG. 1D

【 図 1 E 】

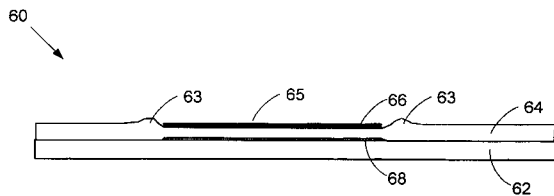


FIG. 1E

【 図 1 G 】

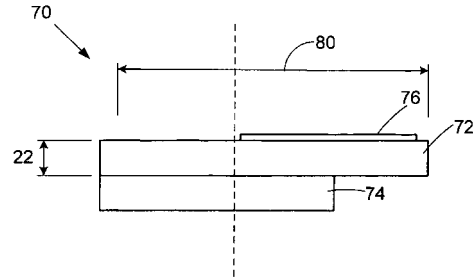


FIG. 1G

【 図 1 F 】

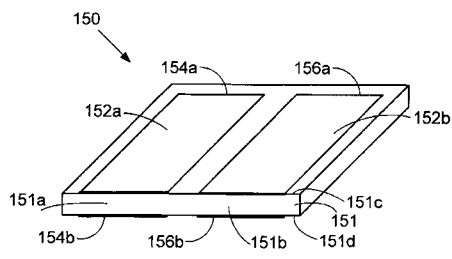


FIG. 1F

【 図 1 H 】

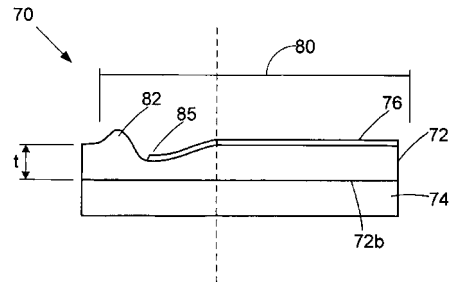


FIG. 1H

【 2 A 】

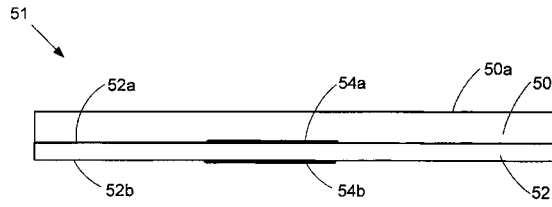


FIG. 2A

【 2 C 】

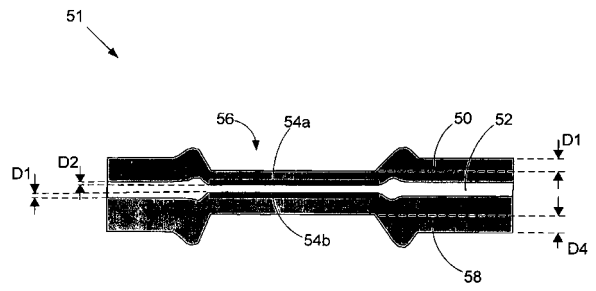


FIG. 2C

【 2 B 】

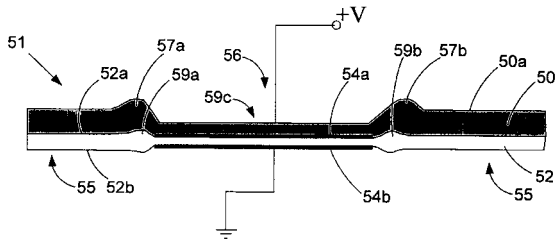


FIG. 2B

【 3 A 】

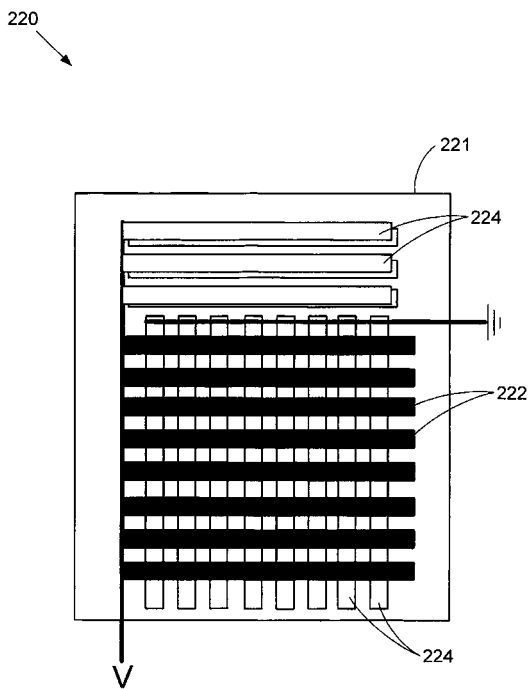


FIG. 3A

【 3 B 】

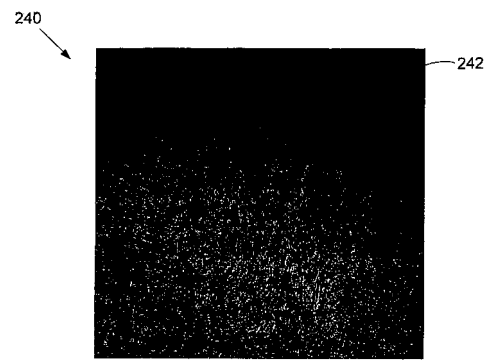


FIG. 3B

【 3 C 】

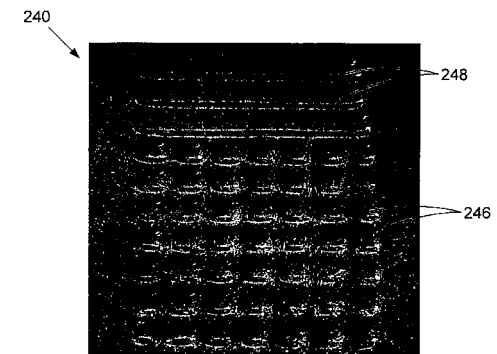


FIG. 3C

【図3D】

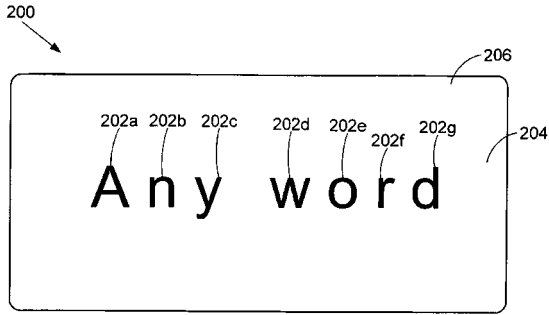


FIG. 3D

【図3F】

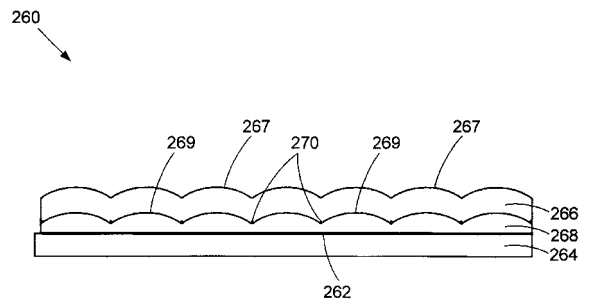


FIG. 3F

【図3E】

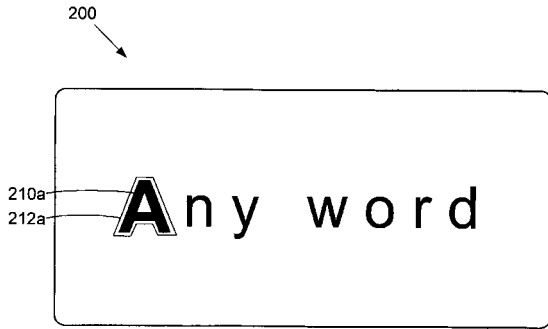


FIG. 3E

【図4】

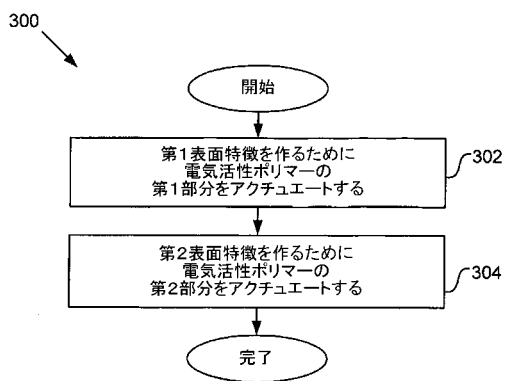


FIG. 4

【図5A】

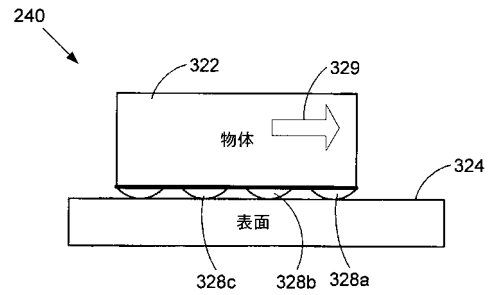


FIG. 5A

【図5B】

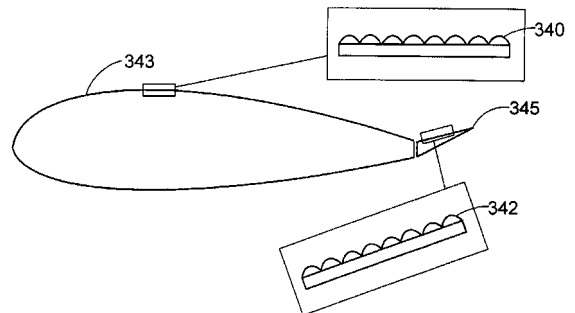


FIG. 5B

フロントページの続き

- (72)発明者 コーンブルー・ロイ・ディ .
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 1 パロ・アルト, パロ・アルト・ドライブ, 2 6 0
- (72)発明者 ブラッド・ハーシャ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 1 4 クパチーノ, スタンダール・レーン, 7 9 9

審査官 仲村 靖

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

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- H02N 11/00
H01L 41/08
H01L 41/193