

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-153085

(P2018-153085A)

(43) 公開日 平成30年9月27日(2018.9.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO2N 11/00 (2006.01)	HO2N 11/00 Z	
HO1L 41/04 (2006.01)	HO1L 41/04	
HO1L 41/087 (2006.01)	HO1L 41/087	
HO1L 41/09 (2006.01)	HO1L 41/09	
HO1L 41/193 (2006.01)	HO1L 41/193	

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L 外国語出願 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2018-41400 (P2018-41400)
 (22) 出願日 平成30年3月8日(2018.3.8)
 (31) 優先権主張番号 15/454, 362
 (32) 優先日 平成29年3月9日(2017.3.9)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. KEVLAR
2. TEFLON
3. BLUETOOTH

(71) 出願人 500390995
 イマージョン コーポレーション
 IMMERSION CORPORATI
 ON
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 134 サンノゼ リオ ロブレス 50
 (74) 代理人 100094112
 弁理士 岡部 譲
 (74) 代理人 100101498
 弁理士 越智 隆夫
 (74) 代理人 100107401
 弁理士 高橋 誠一郎
 (74) 代理人 100120064
 弁理士 松井 孝夫

最終頁に続く

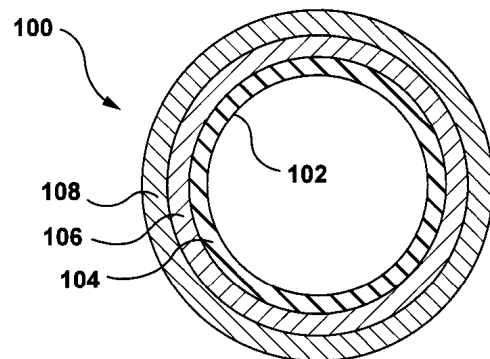
(54) 【発明の名称】 触覚フィードバックのためのファイバーアクチュエーター

(57) 【要約】

【課題】 装着具及び装身具品において容易に実施することができる、ユーザーに触覚フィードバックを与える単純なメカニズムを提供する。

【解決手段】 ファイバーアクチュエーターは、第1の導体素子と、第1の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、ポリマー層の周りに同軸に配置された第2の導体素子とを備える。ファイバーアクチュエーターは、装着具又は装身具の要素としてのものを含む構造材料において有用である。

【選択図】 図1 B



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

触覚フィードバックを与えるファイバーアクチュエーターであって、
第 1 の導体素子と、
前記第 1 の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、
前記ポリマー層の周りに同軸に配置された第 2 の導体素子と、
を備え、前記ファイバーアクチュエーターは、ほぼ長さ全体にわたって実質的に一様な断面を有する、ファイバーアクチュエーター。

【請求項 2】

前記第 1 の導体素子は、前記ファイバーアクチュエーターのソリッドコアを形成し、又は前記第 1 の導体素子は、前記ファイバーアクチュエーターの中空コアを形成する、請求項 1 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 3】

前記ポリマー層は、ポリ(フッ化ビニリデン)、ポリ(ピロール)、ポリ(チオフェン)、ポリ(アニリン)及び混合物、共重合体及びそれらの誘導体からなる群から選択された電気活性ポリマーを含む、請求項 1 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 4】

前記ポリマー層は、形状記憶ポリマーを含む、請求項 1 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 5】

前記ファイバーアクチュエーターは、構造材料に関連付けられる、請求項 1 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 6】

前記構造材料は、装着具の一部である、請求項 5 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 7】

前記ポリマー層は、前記第 1 の導体素子及び前記第 2 の導体素子間の電界に応答して変形し、触覚フィードバックを与える、請求項 1 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 8】

前記ファイバーアクチュエーターの前記長さの少なくともある区分にわたって前記第 2 の導体素子の周りに同軸に配置された絶縁体層を更に備える、請求項 1 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 9】

前記ファイバーアクチュエーターは、前記絶縁体層を含む前記長さの少なくとも前記区分にわたって静電フィードバックを与える、請求項 8 に記載のファイバーアクチュエーター。

【請求項 10】

触覚フィードバックを与えるためのスマート材料であって、
構造材料と、
前記構造材料に関連付けられたファイバーアクチュエーターと、
を備え、前記ファイバーアクチュエーターは、
第 1 の導体素子と、
前記第 1 の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、
前記ポリマー層の周りに同軸に配置された第 2 の導体素子と、
を備え、
前記ファイバーアクチュエーターは、ほぼ長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有する、スマート材料。

【請求項 11】

前記構造材料は、装着具の一部である、請求項 10 に記載のスマート材料。

【請求項 12】

前記第 1 の導体素子は、前記ファイバーアクチュエーターのソリッドコアを形成し、又は前記第 1 の導体素子は、前記ファイバーアクチュエーターの中空コアを形成する、請求項 10 に記載のスマート材料。

【請求項 13】

前記ポリマー層は、ポリ(フッ化ビニリデン)、ポリ(ピロール)、ポリ(チオフェン)、ポリ(アニリン)及び混合物、共重合体及びそれらの誘導体からなる群から選択された電気活性ポリマーを含む、請求項 10 に記載のスマート材料。

【請求項 14】

前記ポリマー層は、形状記憶ポリマーを含む、請求項 10 に記載のスマート材料。

【請求項 15】

前記ファイバーアクチュエーターに電氣的に結合された電源を更に備える、請求項 10 に記載のスマート材料。

【請求項 16】

ファイバーアクチュエーターを介して触覚フィードバックを与える方法であって、第 1 の導体素子と、

前記第 1 の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、

前記ポリマー層の周りに同軸に配置された第 2 の導体素子と、

を備えるファイバーアクチュエーターを設けることであって、前記ファイバーアクチュエーターは、ほぼ長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有することと、

前記ファイバーアクチュエーターに電氣的に結合された電源に作動信号を送信することと、

前記ファイバーアクチュエーターを介して触覚フィードバックを生成することと、を含む、方法。

【請求項 17】

前記生成することは、前記第 1 の導体素子及び前記第 2 の導体素子間に電界を生成し、これにより前記ポリマー層の変形を生じさせることを含む、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】

前記ファイバーアクチュエーターは、前記ファイバーアクチュエーターの前記長さの少なくともある区分にわたって前記第 2 の導体素子の周りに同軸に配置された絶縁体層を更に備え、前記生成することは、前記絶縁体層を含む前記長さの少なくとも前記区分にわたって前記ユーザーに対する静電フィードバックを生じさせる、請求項 16 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、触覚フィードバックと、機械的及び/又は静電的(非機械的)フィードバックの結果として生じる触覚作動とを提供するファイバーアクチュエーターに関する。こうしたファイバーアクチュエーターは、装着具(ウェアラブル)又は装身具の要素としてのものを含む構造材料において有用である。

【背景技術】

【0002】

装着具又は装身具における使用のための触覚フィードバックは、従来、偏心回転質量(ERM)モーター及びリニア共振アクチュエーター(LRA)の使用に基づいてきた。しかしながら、これらのタイプのアクチュエーターは、通常嵩張る程に大きく、多くの場合大容量の電力を必要とし、このことが、これらのアクチュエーターを衣服若しくは他の装着具又は装身具(すなわち、宝石類等)に一体化することを困難にしている。形状記憶合金もまた、装着具において使用されてきたが、ここでも同様に、電力消費によって、多くの場合、適応性と一体化の容易性とが制限される。

10

20

30

40

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0003】**

装着具及び装身具品において容易に実施することができる触覚フィードバックをユーザーに与える簡易な機構が必要とされている。

【課題を解決するための手段】**【0004】**

本開示は、触覚フィードバックを与えるファイバーアクチュエーターに関し、ファイバーアクチュエーターは、装着具及び装身具品等の種々の用途において使用することができる。

10

【0005】

例示的な実施形態において、触覚フィードバックをユーザーに与えるファイバーアクチュエーターが本明細書において提供される。ファイバーアクチュエーターは、例えば、第1の導体素子と、第1の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、ポリマー層の周りに同軸に配置された第2の導体素子とを備える。実施形態において、ファイバーアクチュエーターは、ほぼ長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有する。

【0006】

また、触覚フィードバックを与えるスマート材料も本明細書において提供される。このスマート材料は、構造材料と、構造材料に関連付けられたファイバーアクチュエーターとを備え、ファイバーアクチュエーターは、第1の導体素子と、第1の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、ポリマー層の周りに同軸に配置された第2の導体素子とを備える。好適には、ファイバーアクチュエーターは、ほぼ長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有する。

20

【0007】

ファイバーアクチュエーターを介してユーザーに触覚フィードバックを与える方法も本明細書において提供される。方法は、好適には、本明細書に記載のように、ファイバーアクチュエーターを提供することと、ファイバーアクチュエーターに電気的に結合された電源に作動信号を送信することと、ファイバーアクチュエーターを介して触覚フィードバックを生成することとを含む。

30

【図面の簡単な説明】**【0008】**

【図1A】本発明の一実施形態によるファイバーアクチュエーターを示す図である。

【図1B】本発明の一実施形態による、図1Aの線B-Bに沿う例示的なファイバーアクチュエーターの断面図である。

【図1C】本発明の一実施形態による、図1Aの線B-Bに沿う代替的なファイバーアクチュエーターの断面図である。

【図2A】本発明の一実施形態による、触覚フィードバックを与えるスマート材料を示す図である。

【図2B】本発明の一実施形態による、触覚フィードバックを与えるスマート材料を示す図である。

40

【発明を実施するための形態】**【0009】**

本技術の前述の特徴及び態様並びに他の特徴及び態様は、添付図面に示される実施形態の以下の記載からより良く理解することができる。本明細書に組み込まれて本明細書の一部をなす添付図面は、本技術の原理を説明する役割を更に果たす。図面内の構成要素は、必ずしも縮尺どおりではない。

【0010】

一部は図面を参照しながら、種々の実施形態を詳細に記載する。種々の実施形態の参照によって、本明細書に添付の特許請求の範囲の範囲が限定されることはない。さらに、本

50

明細書に記載されているいかなる実施形態も、限定を意図しておらず、添付の特許請求の範囲に対する多くの可能な実施形態のうちの一部を説明するだけのものである。

【0011】

適切な場合は常に、単数の物を指すように用いられる用語は、複数の物を含み、その逆もまた然りである。本明細書における数量を特定しない物を修飾する語の使用 (The use of "a") は、別様に述べられない限り、又は「1つ以上 (one or more)」という語の使用が明らかに不適切な場合ではない限り、「1つ以上」を意味する。「又は」の使用は、別様に述べられない限り、「及び/又は」を意味する。「含む」、「備える」及び「有する」という語句は、相互に入れ替え可能であり、限定を意図するものではない。「等の (such as)」という語句もまた、限定を意図するものではない。例えば、「を含む (including)」は、「を含むが、これに限定されない (including, but not limited to)」を意味するものとする。

10

【0012】

実施形態において、触覚フィードバックを与えるファイバークチュエーターが本明細書において提供される。このファイバークチュエーターは、第1の導体素子と、この第1の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層と、このポリマー層の周りに同軸に配置された第2の導体素子とを備える。

【0013】

更なる実施形態において、ユーザーに触覚フィードバックを与えるスマート材料が本明細書において提供される。このスマート材料は、本明細書に記載のように、構造材料と、ファイバークチュエーターとを備える。

20

【0014】

本明細書において用いられるとき、「ファイバークチュエーター (複数の場合もある)」とは、実質的に円形の断面、及びその断面の少なくとも2倍以上の長さを有する材料を指す。実施形態において、ファイバークチュエーターは、内部材料又はコア材料を含み、この内部材料又はコア材料は、追加の材料の1つ以上の層によって同軸に取り囲まれる。

【0015】

本明細書において用いられるとき、「スマート材料 (複数の場合もある)」とは、この材料の応答及び特性が外部刺激の影響を受けて変化するように制御されることが可能な材料を指す。

30

【0016】

本明細書において用いられるとき、「触覚フィードバック」又は「触覚フィードバック信号」とは、本明細書に記載するようなファイバークチュエーター及び/又はスマート材料から触覚を介してユーザーに伝達される、振動、手触り及び/又は熱等の情報を指す。

【0017】

本明細書において用いられるとき、「構造材料」とは、装着具、個人用装身具、手荷物等を構成するのに用いられる材料を意味する。構造材料の例としては、綿、絹、羊毛、ナイロン、レーヨン、合成繊維、フランネル、リネン、ポリエステル等のファブリック及びテキスタイル、こうしたファブリックの織物又は混紡等、皮革、スエード、箔等の柔軟な金属繊維、Kevlar等が挙げられる。装着具の例としては、衣類、履物、義肢等の補綴物、帽子及びヘルメット等の被りもの、身に着ける運動器材、防弾ベスト、ヘルメット及び他の防護服等の保護具が挙げられる。個人用装身具としては、眼鏡、ネクタイ及びスカーフ、ベルト及びサスペンダー、ブレスレット、ネックレス及び腕時計 (腕時計のバンド及びストラップを含む) 等の宝飾品類、財布、札入れ、手荷物用タグ等が挙げられる。手荷物としては、手提げかばん (handbag)、ハンドバッグ (purse)、旅行かばん、スーツケース、リュックサックが挙げられ、こうした物品用の持ち手等を含む。

40

【0018】

50

図 1 A は、本明細書に記載されるような例示的なファイバーアクチュエーター 100 を示す。図 1 B は、中空コアファイバーが利用されるか又は用いられる、ファイバーアクチュエーター 100 の線 B - B を通る断面図を示す。図 1 C は、ソリッドコアファイバーが利用されるか又は用いられる、ファイバーアクチュエーター 100 の線 B - B を通る断面を示す。図 1 B に示すような実施形態において、ファイバーアクチュエーター 100 は、第 1 の導体素子 102 を備える。そのような実施形態において、第 1 の導体素子 102 は、ファイバーアクチュエーター 100 の中空コアを形成し、ファイバーアクチュエーターの実質的に円形の断面を形成する。図 1 C において、第 1 の導体素子 102' は、ファイバーアクチュエーター 100 のソリッド(中実)コアであり、ファイバーアクチュエーターの実質的に円形の断面を形成する。

10

【0019】

図 1 B に示すように、ファイバーアクチュエーター 100 は、第 1 の導体素子 102 の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層 104 を更に備える。図 1 B のファイバーアクチュエーター 100 において、第 1 の導体素子 102 は、本質的に、ポリマー層 104 のコーティング又は内側ライニングを形成し、それにより、ファイバーアクチュエーター 100 の中空コア構造を提供する。図 1 C において、ポリマー層 104 は、第 1 の導体素子 102' のソリッドコアの周りに同軸に配置され、ファイバーアクチュエーター 100 のソリッドコア構造を取り囲むコーティングを形成する。

20

【0020】

ファイバーアクチュエーター 100 は、ポリマー層 104 の周りに同軸に配置された第 2 の導体素子 106 を更に備える。図 1 A 及び図 1 B において、第 2 の導体素子 106 は、ポリマー層 104 を取り囲むコーティング又は層として表される。

【0021】

本明細書に記載のように、ファイバーアクチュエーター 100 は、ソリッドコア構造を含むものであれ、中空コア構造を含むものであれ、実質的にファイバーアクチュエーターの長さ全体にわたって実質的に一様な断面を有し、いくつかの実施形態では、実質的にファイバーアクチュエーターの長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有する。本明細書に記載のように、装着具を含む構造材料における使用又は一体化を可能にする特性のうちの 1 つをファイバーアクチュエーター 100 に提供するのとは、この実質的に一様な断面(実施形態では、実質的に円形の断面)である。「実質的に一様な断面」とは、ファイバーを通じて取得されたセクションが、一様な、すなわち、ファイバーアクチュエーターの「実質的に長さ全体」にわたって約 5% ~ 10% 以内での一様な、断面を有することを意味する。「実質的に円形の断面」とは、ファイバーを通じて取得されたセクションが、一様な、すなわち、ファイバーアクチュエーターの「実質的に長さ全体」にわたって約 5% ~ 10% 以内での一様な、直径を有することを意味する。「実質的に長さ全体」とは、ファイバーアクチュエーターの長さ全体の少なくとも 80% ~ 90% を意味する。実施形態において、ファイバーアクチュエーターは、ファイバーアクチュエーターの長さ全体の少なくとも約 90% ~ 95% にわたって、好適には 95% 以上(例えば、96%、97%、98%、99% 又は 100%) にわたって、約 1% ~ 5% 以内(好適には、約 4% 以内、約 3% 以内、約 2% 以内、約 1% 以内、又は約 0.5% 以内)での一様な、断面、好適には直径を有する。更なる実施形態では、本明細書に記載のように、同様に実質的に一様な他の断面(すなわち、正方形、矩形、三角形、卵形等)も用いることができる。

30

40

【0022】

ファイバーアクチュエーター 100 において用いるための例示的な導体素子は、限定するものではないが、銀、金、様々な導電性金属又はポリマー(A1、Cr、ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフエン)、ポリスチレンスルホン酸(PEDOT: PSS)等を含む)を含む。図 1 C のように、第 1 の導体素子がソリッドコアを形成する実施形態では、第 1 の導体素子 102' は、金又は銀のワイヤ等を含む、導体素子のソリッドワイヤ又はフィラメントとすることができる。次に、ポリマー層 104 を配置するか、コーティン

50

グするか、又は他の形でソリッドコアに関連付け、同軸に配置された構造を形成することができる。本明細書において用いられるとき、「同軸に配置された」とは、構造上に施されるか又はコーティングされた材料の層（複数の場合もある）を指し、断面で見たときにこれらの層は同じ円形中心を有するようになっている。

【0023】

図1Bにおけるように、第1の導体素子が中空コアを形成する実施形態において、ポリマー層104の内面を金属又は他の材料のフィルムで覆ったり又はコーティングして、第1の導体素子102を形成することができる。同様に、第2の導体素子106を、ポリマー層104上にコーティング又は配置し、それによって、図1Bに示す構造を形成することもできる。例えば、繊維紡糸方法を用いて、中空ポリマーファイバー又はフィラメントを準備することができ、ここでは同心の円筒が用いられ、ポリマーは、円筒間の間隙を満たして、ポリマー層104等の中空のファイバーを形成する。次に、第1の導体素子102を、ポリマー層104の内面に施して、中空のファイバー構造を形成することができる。同様に、第2の導体素子106を中空ファイバーの外面、すなわちポリマー層104に施して、図1Bに示す構造を形成することができる。第1の導体素子及び第2の導体素子を施す方法は、スパッタリング、浸漬被覆、溶射、電気めっき、塗装等を含むことができる。実施形態において、表面パターンニングを用いて、ポリマー層104の表面を選択的にエッチングし、表面積を増大させるか、又は所望の構造を生成することができ、これを導電材料の薄いフィルムでコーティングするか又は覆って、本明細書に記載の第1の及び/又は第2の導体素子を生成することができる。

【0024】

更なる実施形態では、第1の導体素子102及び/又は第2の導体素子106は、ファイバーアクチュエーターの或る特定のセクション上に位置決めすることができ、導体素子間のセクションは、非アクティブ状態にある（すなわち、導体素子の1つ以上が欠けている）。ファイバーアクチュエーター100は、「アクティブ」な、すなわち電極（複数の場合もある）を含むセクションと、「非アクティブ」な、すなわち電極（複数の場合もある）のないセクションとの繰り返しによりパターンニングされたファイバーを提供するように準備することができる。そのようなパターンニングは、例えば、電極を有する約1cm~5cmの伸張部、電極なしの約1cm~5cmの伸長部、及びこれの繰り返し等により行うことができる。

【0025】

ポリマー層104は、好適には、電気活性ポリマーを含む。電気活性ポリマーとしては、限定されないがポリ（フッ化ビニリデン）、ポリ（ピロール）、ポリ（チオフェン）、ポリ（アニリン）、並びにそれらの混合物、共重合体及び誘導体等のポリマーが挙げられる。電気活性ポリマーの例示的な種類には、誘電性ポリマー及びイオンポリマーが挙げられる。誘電性ポリマー（又は誘電性エラストマー）は、2つの電極の間に発生する、ポリマーを圧搾する電界に応じて、形状を変えるようにすることができる。誘電性ポリマーは、非常に高歪みとすることができ、基本的に、電圧が印加されると、ポリマーが電界によりその厚さを圧縮させかつ面積を拡張することができるようにすることにより、静電容量を変化させるコンデンサーである。イオンポリマーは、ポリマー内部のイオンの変位により形状又はサイズを変化させることができる。さらに、イオンポリマーによっては、イオン流を維持するために水性環境の存在が必要である。

【0026】

電気活性ポリマーを作製する方法は、本技術分野において既知であり、好適には、好適な溶媒に所望のポリマーを溶解し、その後、ポリマーを所望の形状（すなわち、ファイバー又はフィラメント）にキャストすることを含むことができる。代替的に、本明細書に記載するように、所望のフィラメント寸法（コア又は中空構造）で作製されるように、ポリマーを延伸するか、又は紡糸技法により行うことができる。更なる方法としては、溶融混合が挙げられ、そこでは、ポリマーは軟化/溶融点を超えて加熱され、その後、フィルム処理（キャスト又はブローイング）技法を用いてポリマーフィルムが処理さ

れる。

【0027】

ポリマー層104は、好適には、約5 μ m~数ミリメートル、例えば、約1 μ m~5mm、約1 μ m~1mm、約1 μ m~500 μ m、又は約5 μ m~約500 μ m、又は約10 μ m~約500 μ m、又は約1 μ m~約100 μ m程度の厚みを有するが、より厚いか又はより薄いポリマー層も利用することができる。

【0028】

ソリッドコア構造の形態の第1の導体素子102'は、5 μ m~数ミリメートル、例えば、約1 μ m~10mm、約1 μ m~5mm、約1 μ m~1mm、約1 μ m~500 μ m、又は約5 μ m~約500 μ m、又は約10 μ m~500 μ m、又は約1 μ m~約100 μ m程度の直径を有することができる。図1Bにおけるように、第1の導体素子がコーティング又は層の形態をとるとき、導体素子の厚みは、通常、数ミクロン程度であり、好適には、約0.5 μ m~約500 μ m、より好適には約0.5 μ m~約100 μ m、又は約0.5 μ m~約50 μ mである。

10

【0029】

全体として、本明細書に記載のファイバーアクチュエーター100の直径は、好適には、数十ミクロン~数百ミクロン程度であるか、又は最大で数ミリメートル、例えば、約1 μ m~10mm、約1 μ m~5mm、約1 μ m~1mm、約1 μ m~500 μ m、又は約5 μ m~約500 μ m、又は約10 μ m~500 μ m、又は約1 μ m~約100 μ m程度である。ファイバーアクチュエーター100の長さは、ファイバーアクチュエーターの最終的な用途及び使用に依拠して、数ミクロン~数ミリメートル~数センチメートル~数メートル程度とすることができる。

20

【0030】

ポリマー層104として有用な組成の更なる例としては、圧電ポリマー及び形状記憶ポリマーが挙げられる。例示的な圧電材料は、限定ではないが、チタン酸バリウム、ヒドロキシアパタイト、アパタイト、硫酸リチウム水和物、ニオブ酸ナトリウムカリウム、水晶、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、酒石酸、及びポリフッ化ビニリデンファイバーを含む。当該技術分野において既知の他の圧電材料も、本明細書に記載の実施形態において用いることができる。

【0031】

形状記憶ポリマー(SMP)は、ポリマーに、第1の形状から第2の形状に形状を変化させる能力を与えるようにポリマーをプログラムすることを可能にする。形状記憶効果は、固有特性でなく、ポリマーがそれ自体ではこの効果を示さないことを意味する。形状記憶は、ポリマー形態学及び特定の処理の組み合わせの結果として生じ、ポリマー機能化として理解することができる。従来処理、例えば、押出成形又は射出成形によって、ポリマーは、その初期の永久形状Bに形成される。その後、プログラミングと呼ばれるプロセスにおいて、ポリマーサンプルは変形され、一時形状Aに固定される。外部刺激(例えば、熱又は電界)の印加時に、ポリマーはその初期の永久形状Bを復元する。このプログラミング及び復元のサイクルは、後続のサイクルにおいて異なる一時的な形状を用いて、数回繰り返すことができる。形状記憶ポリマーは、適切な刺激感応スイッチを備えた弾性ポリマーネットワークとすることができる。ポリマーネットワークは、分子スイッチ及びネット点からなる。ネット点は、ポリマーネットワークの永久形状を決定し、化学的特性(共有結合)又は物理的特性(分子間相互作用)であり得る。例えばブロック共重合体に見られるように、その形態が少なくとも2つの分離した領域からなるポリマーにおいて物理的架橋結合が得られる。SMPの追加の情報及び例は、Shape Memory Polymers, Materials Today, Vol. 10, pages 20-28 (April 2007)に見ることができ、その開示は、引用することによりその全体が本明細書の一部をなす。

30

40

【0032】

1つの又は第1の構成から別の又は第2の構成へのSMPの変形は、好適には、SMPの温度をそのガラス遷移温度(Tg)に関連して制御することによって制御される。SM

50

PをそのTgを超えて加熱することによってSMPの温度を上昇させることにより、SMPアクチュエーターが、第2の(記憶された又は元の)構成に移行し、結果として、多安定材料の活性化又は作動が生じ、第1の安定構成から第2の安定構成への、好適には、第3の(所望の場合、第4の、第5の等)安定構成への動き又は変形が生じる。例示的な形状記憶ポリマーは、必要とされる形状記憶特性を有するようにプログラムされた、様々なポリ(ウレタン)、ポリ(イソプレン)、ポリ(エーテルエステル)等の様々なブロック共重合体を含む。

【0033】

本明細書に記載のファイバーアクチュエーターにおいて、ポリマー層104は、好適には、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成された、例えば電気活性ポリマーを含むソフトポリマー、又は形状記憶ポリマーである。本明細書において用いられるとき、「変形するように構成された」とは、ファイバーアクチュエーターが動き、形状を変え、振動し、伸長し、収縮するとき等に触覚フィードバックを与えるために、ポリマーが、動き、形状を変え、振動し、伸長し、収縮すること等ができるようにファイバーアクチュエーター内で成形されるか、形成されるか、方向付けられるか、又は他の形で構造化されることを意味する。ポリマー層の可鍛性又は可撓性により、ポリマー層は、第1の導体素子と第2の導体素子との間で印加された電界(及び、必要に応じて熱)にตอบสนองして変形するか又は形を変えることが可能になる。例えば、ポリマー層104は、収縮し、ファイバーアクチュエーターを縮ませるか、若しくは形状を変形させることができ、又は拡張し、ファイバーアクチュエーターに、伸展させるか、収縮させるか、又は他の形で形状を変形させることができる。通常、電界にตอบสนองしたファイバーアクチュエーターの動き又は変形の量は、ファイバーアクチュエーターの総直径及び/又は長さの数パーセント(0.5%~5%)程度である。

【0034】

図2Aに示される例示的な実施形態では、ファイバーアクチュエーター100は、スマート材料200を形成するように、構造材料210に関連付けることができる。例示的な実施形態において、構造材料210は、本明細書に記載の装着具の一部を含むテキスタイル(織物)とすることができる。

【0035】

このため、実施形態において、触覚フィードバックをユーザーに提供するためのスマート材料が本明細書において提供される。例示的なスマート材料200は、例えば、構造材料210と、この構造材料に関連付けられたファイバーアクチュエーター100とを含む。本明細書に記載のように、ファイバーアクチュエーター100は、第1の導体素子(中空ファイバーの場合、102、又はソリッドコアファイバーの場合、102')と、第1の導体素子の周りに同軸に配置され、触覚フィードバックを与えるように変形するように構成されたポリマー層104と、ポリマー層の周りに同軸に配置された第2の導体素子106とを備えることができる。説明されたように、ファイバーアクチュエーターは、実質的に一様な断面を有し、実施形態において、実質的にファイバーの長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有する。導体素子及びポリマー層として用いるための例示的な材料が本明細書に記載される。

【0036】

ファイバーアクチュエーター100を構造材料210に関連付けるか又は取り付けるための様々なメカニズムを用いることができる。例えば、ファイバーアクチュエーター100は、構造材料210に一体化することができる。ファイバーアクチュエーター100は、テキスタイルの製織又は縫製中等の構造材料210の形成中に構造材料210の一部にすることができる。すなわち、ファイバーアクチュエーター100は、テキスタイル又はファブリックに直接、例えば2つのテキスタイル間に、又はテキスタイルを含む構造材料の構造の一部として、製織又は縫製することができ、それによって、ファイバーアクチュエーターを構造材料に一体化することができる。

【0037】

10

20

30

40

50

更なる実施形態では、ファイバーアクチュエーター 100 は、構造材料 210 に固定して取り付けることができる。こうした実施形態では、ファイバーアクチュエーター 100 は、構造材料 210 に、糊付け、テープ留め、縫い合わせ、接着、ホッチキス留め、鉸留め、又は他の方法で取り付けることができる。ファイバーアクチュエーター 100 はまた、後に、構造材料 210 に取り付ける（例えば、接着するか又は縫う）ことができるパッチ、リボン又はテープの形態で、様々な基材、例えば、ゴム、シリコン、シリコンエラストマー、Teflon 又はポリ（エチレンテレフタレート）等のポリマー内に又はその上に一体化することもできる。

【0038】

ファイバーアクチュエーターを構造材料 210 に一体化する際、ファイバーアクチュエーターを平行に又は他の向きに向け、起動時に、それらの協働した動きにより、構造材料の形状又はサイズにおける変化が相殺されるのではなく、構造材料の動きが生じるようにすることが通常望ましい。一方、他の実施形態では、2組の2次元ファイバーセクションを準備し、直交するように配向することができる。そのような実施形態では、ファイバーの第1の組（又はファイバーのメッシュ）を、所望の方向における作動をもたらすように作動させ、その後、第2の方向（直交方向を含む）においてファイバーを作動させ、引き続き所望の作動を提供することができる。

10

【0039】

構造材料 210 におけるファイバーアクチュエーター 100 の数及び密度は、構造材料 210 又はスマート材料 200 の用途及びタイプに依拠して変動するが、通常、平方 cm あたり 1 ファイバーアクチュエーター、又は平方インチあたり 1 ファイバーアクチュエーター程度であり、ただし、例えば、平方センチメートル又は平方インチあたり数十ファイバー程度で、より高い密度で含めることもできる。

20

【0040】

本明細書に記載のように、電源 208 は、ファイバーアクチュエーター 100 に接続することができる。好適には、第1の導体素子及び第2の導体素子の一方又は双方に接続することができる。実施形態において、電源 208 は、ファイバーアクチュエーター 100 に永続的に接続することができるか、又は他の実施形態では、ファイバーアクチュエーターと別個にし、後に接続することができる。ファイバーアクチュエーターが構造材料の一部である、すなわち装着具である実施形態において、電源を装着具に物理的に関連付け、所望に応じて又は必要に応じてファイバーアクチュエーター 100 に取り付けることができる。

30

【0041】

電源 208 によって供給される電力量は、好適には、約 0.1 ワット (W) ~ 約 10 W、若しくはより好適には約 0.5 W ~ 約 5 W、若しくは約 1 W ~ 約 5 W、又は、約 0.5 W、約 1 W、約 2 W、約 3 W、約 4 W、若しくは約 5 W 程度である。例示的な電源 208 は、様々な電池パックや太陽エネルギー源を含む。電源 208 は、再充電可能なシステム、例えば、圧電材料の使用を通じて再充電することが可能なシステムを含むこともできる。

【0042】

本明細書に記載のように、実施形態において、ポリマー層 104 は、第1の導体素子 102 / 102' と第2の導体素子 106 との間の電界に応じて変形する。この結果、選択されたポリマーのタイプに依拠して、ポリマー層 104 の圧縮又は拡張が生じ、それによってファイバーアクチュエーターの運動又は変形をもたらすことができる。例えば、図 2A に示すように、ファイバーアクチュエーター 100 は、横方向 204 に（すなわち、ファイバーアクチュエーターの幅又は直径を横切るように）、及び / 又は縦方向 202 に（すなわち、ファイバーアクチュエーターの長さに沿って）動くか又は変形することができる。ファイバーアクチュエーター 100 の変形の結果、例えば、図 2B に示すように、構造材料 210 の動き又は変形を引き起こすことができ、構造材料が形状を変え、動き、又は他の形で変形するにつれ、それによってユーザーに触覚フィードバック（機械的触覚フ

40

50

ィードバック)がもたらされる。

【0043】

図1B及び図1Cに示すように、ファイバークチュエーター100は、第2の導体素子106の周りに同軸に配置された絶縁体層108を更に含むことができる。図1Aに示すように、絶縁体層108は、ファイバークチュエーター100の長さの少なくともある区分(セグメント)にわたって覆うことができる。このため、図1Aに示すように、ファイバークチュエーター100は、最も外側の層が絶縁体層108であるファイバーの部分と、最も外側の層が第2の導体素子106である他のセクションとを含むことができる。

【0044】

絶縁体層108を形成する際に有用な材料の例としては、例えば、ポリマー材料、ゴム、プラスチック、セラミック等が挙げられる。実施形態において、絶縁体層108のために選択される材料は、好適には、厚みが $0.5\mu\text{m} \sim 10\text{mm}$ 、より好適には約 $0.5\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ 、約 $0.5\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 、又は約 $0.5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 程度の薄い材料であり、ファイバークチュエーター100が、装着具としてのものを含めたテキスタイル又はファブリックの一部であるときに、所望の触覚フィードバックを依然としてもたらしながら、ユーザーが装着中に必要な様々な形状に曲がり適合することができるように可撓性を有するように選択される。

【0045】

ファイバークチュエーター100が絶縁体108を含む実施形態において、ファイバークチュエーターは、絶縁体を含むファイバークチュエーターのセクション又は長さにわたって、静電フィードバック又は静電相互作用(すなわち、非機械的触覚フィードバック)をユーザーに提供することができる。

【0046】

絶縁体108を含むファイバークチュエーター100、及び/又は絶縁体108を含むファイバークチュエーター100を含むスマート材料200との、例えばユーザータッチを介した相互作用時に、静電相互作用又は静電フィードバックを介して触覚フィードバックをユーザーに提供することができる。静電フィードバックは、ユーザーに対する短い振動若しくはパルス、又は長期の振動の形態とすることができる。静電フィードバック又は相互作用の周波数は、約 $1\text{Hz} \sim 1000\text{Hz}$ 、より好適には約 $1\text{Hz} \sim 500\text{Hz}$ 、約 $1\text{Hz} \sim 200\text{Hz}$ 、約 $10\text{Hz} \sim 200\text{Hz}$ 、約 $10\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$ 、又は約 10Hz 、約 20Hz 、約 30Hz 、約 40Hz 、約 50Hz 、約 60Hz 、約 70Hz 、約 80Hz 、約 90Hz 若しくは約 100Hz 程度とすることができる。ユーザーが、スマート材料若しくはファイバークチュエーターに単に近づくか又はスマート材料若しくはファイバークチュエーターの近くにいる場合に、スマート材料に近接していることを通知して、静電相互作用によって触覚フィードバックを提供することもでき、それにより、静電相互作用、及びそこから触覚フィードバックをもたらしすることができる。

【0047】

例えば、図1Aに示すような実施形態において、ファイバークチュエーター100は、絶縁体108を有するセクションと、絶縁体108を有しないセクションとの双方を含むことができる。このため、双方のセクションを有するファイバークチュエーターは、静電相互作用又は静電フィードバック(非機械的)、及びファイバークチュエーター100の変形、動き、又は形状の変化の結果として生じる触覚フィードバック(機械的)の双方を提供することができる。

【0048】

更なる実施形態において、スマート材料200は、同じスマート材料内に、絶縁体108を含むファイバークチュエーターと、絶縁体108を含まないファイバークチュエーターとを備えることができる。そのような実施形態において、スマート材料は、静電相互作用又は静電フィードバックと、ファイバークチュエーター100の変形、動き、又は形状の変化の結果として生じる触覚フィードバックとの双方を介してフィードバックを

10

20

30

40

50

与えることができる。スマート材料 200 は、主に 1 つのタイプのファイバーアクチュエーターを含むセクション（例えば、絶縁体 108 が無い）と、主に別のタイプのファイバーアクチュエーターを含むセクション（例えば、絶縁体 108 を含む）とを含み、これによって、様々なタイプの触覚フィードバックを与えるスマート材料 200 の別個のセクションを提供することができる。更なる実施形態において、ファイバーアクチュエーターは、スマート材料全体にわたって分配することができ、それによって、動き/変形に基づく触覚フィードバックと、静電ベースの触覚フィードバックとの双方を、スマート材料の同じエリア内で提供することができる。

【0049】

静電相互作用が生成又は提供される実施形態において、第 1 の導体素子（102 又は 102'）及び/又は第 2 の導体素子 106 に接続される電源 208 は、好適には接地もされる。実施形態において、第 1 の導体素子 102 / 102' は、グラウンドとして機能することができる。第 2 の導体素子は、電源 208 に接続され、ユーザーが絶縁体層 108 に接触するときにユーザーに静電フィードバックを与える。更なる実施形態において、ユーザーの身体（例えば、腕、足、胴、頭、首等）が、静電相互作用のためのグラウンドとして機能することができる。これによって、ユーザーのタッチ（又は密な接近）により触覚フィードバックが与えられるか又は知覚される。更なる実施形態において、ユーザーのタッチは、静電相互作用のためのグラウンドとして機能することができ、それによって、触覚フィードバックは、ユーザーのタッチ（又は密な接近）を通じてではなく、ユーザーの身体を介して与えられるか又は知覚される。また更なる実施形態では、静電相互作用の形態の触覚フィードバックは、ユーザーの身体及び/又はユーザーのタッチのいずれか又は双方によって知覚することができる。

10

20

【0050】

本明細書に記載されるように、実施形態では、スマート材料 200、したがって構造材料 210 は、シャツ、ブラウス、帽子、ジャケット、コート及びズボン/半ズボンを含む、テキスタイル等の装着品に一体化するか又はこれらの一部とすることができる。構造材料はまた、財布及びハンドバッグ、手提げかばん（その持ち手を含む）、リュックサック及び宝飾品等を含む、様々な革製品を含む、装身具に一体化することもできる。

【0051】

更なる実施形態において、ファイバーアクチュエーター 100 を介してユーザーに触覚フィードバックを与えるための方法が本明細書において提供される。例示的な方法は、ファイバーアクチュエーター 100 を提供することを含み、これは、例えば、装着具、装身具等の一部として、構造材料 210 に関連付けられるか又は一体化されたファイバーアクチュエーター 100 を含むスマート材料 200 を提供することを含む。本明細書に記載のように、ファイバーアクチュエーター 100 は、第 1 の導体素子（中空ファイバーの場合、102、又はソリッドコアファイバーの場合、102'）と、第 1 の導体素子の周りに同軸に配置されたポリマー層 104 と、ポリマー層の周りに同軸に配置された第 2 の導体素子 106 とを備えることができる。説明されたように、ファイバーアクチュエーターは、実質的にファイバーの長さ全体にわたって実質的に円形の断面を有する。導体素子及びポリマー層として使用するための例示的な材料が本明細書に記載される。

30

40

【0052】

本方法は、例えば、図 2A に示されるように、ファイバーアクチュエーター 100 に電氣的に結合された電源 208 に作動信号 206 を送信することを更に含む。本方法は、ファイバーアクチュエーターを介して触覚フィードバックを生成することを更に含む。

【0053】

上記で記載したように、実施形態において、触覚フィードバックを生成することは、第 1 の導体素子（102 又は 102'）と第 2 の導体素子 106 との間に電界を生成し、結果としてポリマー層 104 の変形をもたらすことを含む。例示的な実施形態において、電気活性ポリマー又はスマートポリマーとすることができるポリマー層 104 は、変形するか、動くか、形を変えるか、又は他の形で電界に反応し、ファイバーアクチュエーターの

50

動き、及びいくつかの実施形態では構造材料 210 の動きを引き起こし、それによって触覚フィードバックをユーザーに与える。ポリマー層 104 は、電界の生成の結果として生じる温度の変化に応答して変形するか又は形状を変えることもできる。そのような動き及び触覚フィードバックは、ユーザーによって、ファイバークチュエーター、このためスマート材料 / 構造材料の動き、振動又は変形として知覚される点において本質的に「機械的」である。

【0054】

ファイバークチュエーター 100 が、ファイバークチュエーターの長さの少なくともあるセグメントにわたって第 2 の導体素子 106 の周りに配置された絶縁体層 108 を含む更なる実施形態では、触覚フィードバックを生成することは、ユーザーに対する静電フィードバックを生成することを含む。この静電フィードバックは、ユーザーが、ファイバークチュエーター又は構造材料との直接接触及び密な接近の双方を含めて、ファイバークチュエーター又は構造材料とインタラクトするときに生じることができる。この静電フィードバックは、物理的な移動又は変形ではなく、静電力の結果として生じるため、本質的に非機械的である。

10

【0055】

例示的な作動信号 206 は、携帯電話、タブレット、コンピューター、自動車インターフェース、スマートデバイス、ゲーム機等からのものとすることができ、例えば、テキストメッセージ又は電子メール、電話、アポイントメント等の受取を示すことができる。

20

【0056】

更なる実施形態では、本明細書に記載するように、外部デバイスを含むデバイスとスマート材料 200 及び / 又はファイバークチュエーター 100 との間にインターフェースを提供するために、コントローラーもまた好適に含まれる。コントローラーのコンポーネントは、本技術分野において既知であり、好適には、例えば、バス、プロセッサ、入出力 (I/O) コントローラー及びメモリを含む。バスは、I/O コントローラー及びメモリを含む、コントローラーの様々なコンポーネントをプロセッサに結合する。バスは、典型的には、制御バス、アドレスバス及びデータバスを含む。しかしながら、バスは、コントローラーのコンポーネントの間でデータを転送するのに好適な任意のバス又はバスの組み合わせとすることができ。

30

【0057】

プロセッサは、情報を処理するように構成された任意の回路を備えることができ、任意の好適なアナログ回路又はデジタル回路を備えることができる。プロセッサは、命令を実行するプログラマブル回路を備えることもできる。プログラマブル回路の例として、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラー、特定用途向け集積回路 (ASIC)、プログラマブルゲートアレイ (PGA)、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA)、又は命令を実行するのに好適な任意の他のプロセッサ若しくはハードウェアが挙げられる。種々の実施形態において、プロセッサは、単一のユニットを備えることもできるし、単一のコントローラー内に又は別個のデバイス内に物理的に配置される、2 つ以上のユニットの組み合わせを備えることもできる。

40

【0058】

I/O コントローラーは、コントローラーと周辺デバイス又は外部デバイスとの動作を監視する回路部を備える。I/O コントローラーは、コントローラーと周辺デバイス又は外部デバイスとの間のデータフローの管理も行う。I/O コントローラーがインターフェースすることができる周辺デバイス又は外部デバイスの例として、スイッチと、センサーと、外部記憶デバイスと、モニターと、キーボード、マウス又はプッシュボタン等の入力デバイスと、外部コンピューティングデバイスと、モバイル機器と、送信機 / 受信機とが挙げられる。

【0059】

メモリは、ランダムアクセスメモリ (RAM) 等の揮発性メモリ、リードオンリーメモリ (ROM)、電氣的消去可能プログラマブルリードオンリーメモリ (EEPROM)、

50

フラッシュメモリ、磁気メモリ、光学メモリ又は任意の他の好適なメモリ技術を含むことができる。メモリは、揮発性メモリと不揮発性メモリとの組み合わせを含むこともできる。

【0060】

メモリは、プロセッサによって実行するための複数のプログラムモジュールを記憶するように構成される。このモジュールは、例えば、イベント検出モジュール、効果決定モジュール、及び効果制御モジュールを含むことができる。各プログラムモジュールは、データと、ルーチンと、オブジェクトと、呼び出しと、1つ以上の特定のタスクを実行する他の命令との集合体である。或る特定のプログラムモジュールが本明細書において開示されているが、種々の実施形態において、各モジュールについて記載される種々の命令及びタスクは、単一のプログラムモジュール、異なるモジュールの組み合わせ、本明細書において開示されるモジュール以外のモジュール、又はコントローラと通信する遠隔デバイスによって実行されるモジュールによって実行することができる。

10

【0061】

本明細書に記載される実施形態では、無線送受信機（Bluetooth又は赤外線送受信機を含む）を含むことができるコントローラは、構造材料210に一体化することができる、又は構造材料とは別個とすることができる。更なる実施形態では、コントローラは、構造材料とは別個のデバイス上に配置することができるが、本明細書に記載されるファイバークチュエーター、電源及びスマート材料に作動信号206を提供するように、好適には有線を介して、又はより好適には無線信号を介して接続される。

20

【0062】

例えば、コントローラは、本明細書に記載するようなスマート材料又はシステムのユーザーに触覚フィードバックを提供するように、本明細書に記載するスマート材料又はファイバークチュエーターのアクチュエーター駆動回路に作動信号206を提供することができる、アクチュエーター駆動回路は電源208と通信する。例えば、例としてコントローラが無線接続を介してペアリングされている携帯電話又は他のデバイスがメッセージ又は電子メールを受け取るとき、所望の触覚フィードバックが発生することができる。追加の例としては、ゲームコントローラ、システム又はゲーム機、コンピューター、タブレット、自動車又はトラックインターフェース又はコンピューター、健康監視デバイス、自動支払機又はキオスク、様々なキーパッドデバイス、テレビ受像機、様々な機械等のデバイスと関連付けられているコントローラが挙げられる。こうした実施形態では、コントローラは、好適にはアクチュエーター駆動回路に作動信号206を提供して、外部デバイスによって又は外部デバイスから発生する信号に応じて、ユーザーに触覚フィードバックを提供する。デバイスは、本明細書に記載する触覚フィードバックシステムの様々な構成要素が含まれる装着具の一部とすることもできる。例えば、本明細書に記載のファイバークチュエーターは、腕時計のバンドの一部とすることができ、ここで、腕時計の盤面は、例えばスマートウォッチであり、ユーザーは、バンドに一体化されたファイバークチュエーターを介して触覚フィードバック（すなわち、受信した電子メール、アラーム、その他の通知に基づいて振動、動き、収縮等）を提供するように腕時計を設定する。デバイスによって提供することができる例示的なフィードバック又は信号は、例えば、第三者から到来するメッセージ又は通信、警告信号、健康ステータス更新（すなわち、血圧又は心臓の動悸）、ゲームインタラクション、運転者認識信号、コンピュータープロンプト等のインジケーションを含む。

30

40

【0063】

更なる実施形態において、本明細書に記載のスマート材料及びコンポーネントは、仮想現実又は拡張現実システムと一体化するか、又はその一部とすることができる。そのような実施形態において、スマート材料は、ユーザーが仮想現実システム又は拡張現実システムとインタラクトするときに、ユーザーに触覚フィードバックを与え、仮想現実又は拡張現実コンポーネント及びデバイスによって開始される応答又はフィードバックを与えることができる。

50

【 0 0 6 4 】

更なる実施形態において、ユーザーと、ファイバーアクチュエーター100と、外部デバイスとの間のインタラクションは、ユーザーとファイバーアクチュエーター100又はスマート材料200との間の直接インタラクションにより生じることができ、それにより、外部デバイスに信号が提供される。例えば、ユーザーは、ユーザーの身体上の装着具の形態のスマート材料と、この装着具の構造材料をタッチするか、スワイプするか、押すか、又は他の形でタッチすることによってインタラクトすることができる。装着具は、好適には本明細書に記載のファイバーアクチュエーターを含む。このインタラクションの結果として、信号が外部デバイスに送信され、ユーザーインタラクションが行われたことを実証又は確認することができる。

10

【 0 0 6 5 】

本明細書に記載の本方法の実施形態において、本明細書に記載の作動信号（複数の場合もある）は、電源に送信される。次に、ファイバーアクチュエーターにおいて動きが生成され、結果として構造材料が作動する。さらに、ファイバーアクチュエーターが静電フィードバックを与えるように設計される実施形態において、ユーザーインタラクション時に静電相互作用も生成することができる。ファイバーアクチュエーターの動き、及び/又は静電相互作用の組み合わせによって、触覚フィードバックがユーザーに与えられる。様々な実施形態において、ファイバーアクチュエーターの動きと、静電相互作用との双方の順序、シーケンス、頻度及び強度は、インタラクションの種類、又は所望のフィードバックの種類に依拠して変動することができる。

20

【 0 0 6 6 】

例えば、実施形態において、ユーザーは、ファイバーアクチュエーターの動きから触覚フィードバックを体験することができ、このとき、ユーザーは、このファイバーアクチュエーター又はスマート材料内の他のファイバーアクチュエーターとインタラクトし、静電相互作用を生成し、これにより、追加の更なる触覚フィードバックを与えることができる。更なる実施形態において、ユーザーは、構造材料とインタラクトすることができ、そして構造材料は静電相互作用を与え、構造材料は、ファイバーアクチュエーターからの動きを更に与えて、触覚フィードバックを与えることができる。更なる実施形態において、ユーザーは、第1のファイバーアクチュエーターとインタラクトすることができ、第1のファイバーアクチュエーターは、インタラクションに成功したことを示す運動ベースの又は機械的触覚フィードバックを与え、その後、第2のファイバーアクチュエーターからの静電相互作用（非機械的フィードバック）が、例えば、所望のタスクが完了したことを示す。

30

【 0 0 6 7 】

様々な触覚フィードバックの強度、頻度及びタイミングの例が本明細書に提供されており、それらは、ユーザー又はユーザーがインタラクトしている装置によって望ましいように適合させることができる。組み合わせられたスマート材料をアクティベート又は作動する装置及び方法の例が本明細書に記載されており、それには、様々なコンピューター、移動デバイス、ゲームシステム、自動車等が含まれる。

【 0 0 6 8 】

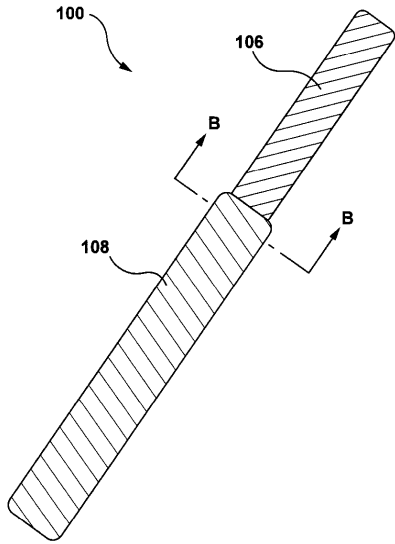
上記で記載された種々の実施形態は、例示によってのみ提供されており、添付の特許請求の範囲を制限するものと解釈するべきではない。当業者であれば、本明細書において図示及び記載された例示の実施形態及び応用形態に従うことなく、また、添付の特許請求の真の趣旨及び範囲から逸脱することなく行うことができる種々の改変及び変更を容易に認識するであろう。

40

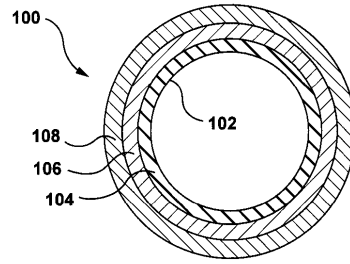
【 0 0 6 9 】

本出願は、2017年3月9日に出願された、米国特許出願第15/454,362号の利益を主張し、その開示は引用することによりその全体が本明細書の一部をなす。

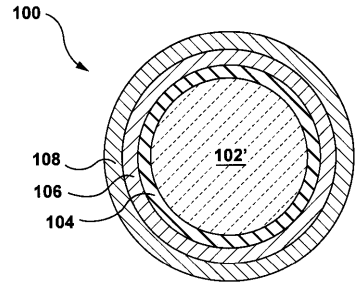
【 図 1 A 】



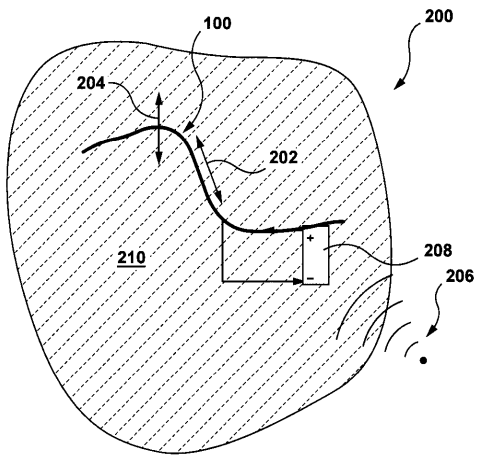
【 図 1 B 】



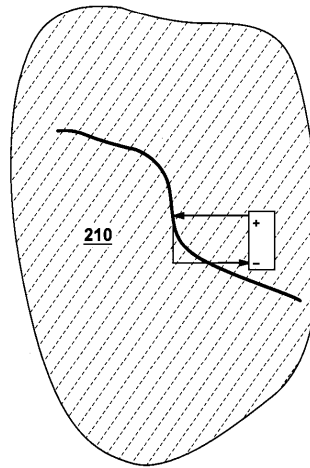
【 図 1 C 】



【 図 2 A 】



【 図 2 B 】



フロントページの続き

(74)代理人 100154162

弁理士 内田 浩輔

(74)代理人 100182257

弁理士 川内 英主

(74)代理人 100202119

弁理士 岩附 秀幸

(72)発明者 ヴァヒド コシュカヴァ

カナダ エッチ2エックス 3アール4 ケベック, モントリオール, プリンス アーサー ウエスト 350, ディー516

(72)発明者 ジュアン マニユエル クルツ - ヘルナンデス

カナダ エッチ3ゼット 1ティー1 ケベック, モントリオール, ステ - キャサリン ウエスト 4840

【 外国語明細書 】

[Title of the Invention]
FIBER ACTUATOR FOR HAPTIC FEEDBACK

[Technical Field]

[0001] The present invention relates to fiber actuators for providing haptic feedback, and haptic actuation resulting from mechanical and/or electrostatic (non-mechanical) feedback. Such fiber actuators are useful in structural materials, including as elements of wearables or accessories.

[Background Art]

[0002] Haptic feedback for use in wearables or accessories has traditionally been based on the use of eccentric rotating mass (ERM) motors and linear resonant actuators (LRA). However, these types of actuators are typically bulky and often require large amounts of power, making them difficult to integrate into clothing or other wearables or accessories (i.e., jewelry, etc.). Shape memory alloys have also been used in wearables, but again, power consumption often limits their applicability and ease of integration.

[0003] What is needed is a simple mechanism for providing haptic feedback to a user that can readily be implemented in wearable and accessory goods.

[Summary of the Invention]

[0004] This disclosure relates to fiber actuators for providing haptic feedback, wherein the fiber actuator may be used in various applications, such as wearables and accessory goods.

[0005] In exemplary embodiments, provided herein are fiber actuators for providing haptic feedback to a user. Fiber actuators include, for example, a first conductive element, a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback, and a second conductive element concentrically disposed about the

polymeric layer. In embodiments, the fiber actuator has a substantially circular cross-section for substantially an entire length thereof.

[0006] Also provided herein are smart materials for providing haptic feedback, which include, a structural material, and a fiber actuator associated with the structural material, which includes a first conductive element, a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback, and a second conductive element concentrically disposed about the polymeric layer. Suitably, the fiber actuator has a substantially circular cross-section for substantially an entire length thereof.

[0007] Also provided herein are methods for providing haptic feedback to a user via a fiber actuator. The methods suitably include providing a fiber actuator as described herein, transmitting an actuation signal to a power source electrically coupled to the fiber actuator, and generating haptic feedback via the fiber actuator.

[Brief Description of the Drawings]

[0008] FIG. 1A shows a fiber actuator in accordance with an embodiment hereof.

[0009] FIG. 1B shows a sectional view of an exemplary fiber actuator of FIG. 1A, taken through line B-B, in accordance with an embodiment hereof.

[0010] FIG. 1C shows a section view of an alternative fiber actuator of FIG. 1A, taken through line B-B, in accordance with an embodiment hereof.

[0011] FIGs. 2A-2B show a smart material for providing haptic feedback in accordance with an embodiment hereof.

[Configuration to Work the Invention]

[0012] The foregoing and other features and aspects of the present technology can be better understood from the following description of embodiments and as illustrated in the

accompanying drawings. The accompanying drawings, which are incorporated herein and form a part of the specification, further serve to illustrate the principles of the present technology. The components in the drawings are not necessarily to scale.

[0013] Various embodiments will be described in detail, some with reference to the drawings.

Reference to various embodiments does not limit the scope of the claims attached hereto.

Additionally, any embodiments set forth in this specification are not intended to be limiting and merely set forth some of the many possible embodiments for the appended claims.

[0014] Whenever appropriate, terms used in the singular also will include the plural and vice versa. The use of “a” herein means “one or more” unless stated otherwise or where the use of “one or more” is clearly inappropriate. The use of “or” means “and/or” unless stated otherwise. The use of “comprise,” “comprises,” “comprising,” “include,” “includes,” “including,” “has,” and “having” are interchangeable and not intended to be limiting. The term “such as” also is not intended to be limiting. For example, the term “including” shall mean “including, but not limited to.”

[0015] In embodiments, provided herein are fiber actuators for providing haptic feedback, which include a first conductive element, a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback, and a second conductive element concentrically disposed about the polymeric layer.

[0016] In further embodiments, provided herein are smart materials for providing haptic feedback to a user, which include a structural material and a fiber actuator, as described herein.

[0017] As used herein “fiber actuator(s)” refers to a material having a cross-section that is substantially circular, and a length that is at least 2 or more times greater than its cross-section. In

embodiments, the fiber actuators contain an inner or core material, which is surrounded, concentrically, by one or more layers of additional materials.

[0018] As used herein “smart material(s)” refers to a material that is capable of being controlled such that the response and properties of the material change under the influence of an external stimulus.

[0019] As used herein “haptic feedback” or “haptic feedback signal” refer to information such as vibration, texture, and/or heat, etc., that are transferred, via the sense of touch, from a fiber actuator and/or smart material as described herein, to a user.

[0020] As used herein, “structural material” means a material used in constructing a wearable, personal accessory, luggage, etc. Examples of structural materials include: fabrics and textiles, such as cotton, silk, wool, nylon, rayon, synthetics, flannel, linen, polyester, woven or blends of such fabrics, etc.; leather; suede; pliable metallic such as foil; Kevlar, etc. Examples of wearables include: clothing; footwear; prosthetics such as artificial limbs; headwear such as hats and helmets; athletic equipment worn on the body; protective equipment such as ballistic vests, helmets, and other body armor. Personal accessories include: eyeglasses; neckties and scarfs; belts and suspenders; jewelry such as bracelets, necklaces, and watches (including watch bands and straps); and wallets, billfolds, luggage tags, etc. Luggage includes: handbags, purses, travel bags, suitcases, backpacks, and including handles for such articles, etc.

[0021] FIG. 1A illustrates an exemplary fiber actuator 100 as described herein. FIG. 1B shows a section through line B-B of fiber actuator 100, in which a hollow core fiber is utilized or employed. FIG. 1C shows a cross-section through line B-B of fiber actuator 100, in which a solid core fiber is utilized or employed. In embodiments, as shown in FIG. 1B, fiber actuator 100 includes a first conductive element 102. In such embodiments, first conductive element 102 forms a hollow core of

fiber actuator 100, forming a substantially circular cross-section of the fiber actuator. In FIG. 1C, first conductive element 102' is a solid core of fiber actuator 100, forming a substantially circular cross-section of the fiber actuator.

[0022] As shown in FIG. 1B, fiber actuator 100 further includes a polymeric layer 104 concentrically disposed about first conductive element 102 and configured to deform so as to provide haptic feedback. In fiber actuator 100 of FIG. 1B, first conductive element 102 essentially forms a coating or inner lining of polymeric layer 104, thereby providing the hollow core structure of fiber actuator 100. In FIG. 1C, polymeric layer 104 is concentrically disposed about the solid core of first conductive element 102', forming a coating surrounding the solid core structure of fiber actuator 100.

[0023] Fiber actuator 100 further includes a second conductive element 106, concentrically disposed about polymeric layer 104. In FIG. 1A and 1B, second conductive element 106 is represented as a coating or layer surrounding polymeric layer 104.

[0024] As described herein, fiber actuator 100, whether including a solid or hollow core structure, has a substantially uniform cross-section for substantially an entire length of the fiber actuator, and in certain embodiments, has a substantially circular cross-section for substantially an entire length of the fiber actuator. It is this substantially uniform cross-section (and in embodiments the substantially circular cross-section) that provides fiber actuator 100 with one of its characteristics to allow for use or integration in structural materials, including wearables, as described herein.

“Substantially uniform cross-section” means that a section taken through the fiber has a cross-section that is uniform, i.e., within about 5-10% throughout “substantially an entire length” of the fiber actuator. “Substantially circular cross-section” means that a section taken through the fiber has a diameter that is uniform, i.e., within about 5-10% throughout “substantially an entire length”

of the fiber actuator. “Substantially an entire length” means at least 80-90% of the entire length of the fiber actuator. In embodiments, the fiber actuator has a cross-section, and suitably a diameter, that is uniform within about 1-5% (suitably within about 4%, about 3%, about 2% about 1% or about 0.5%) over at least about 90-95%, and suitably 95% or more (e.g., 96%, 97%, 98%, 99% or 100%) of the entire length of the fiber actuator. In further embodiments, other cross-sections (i.e., square, rectangular, triangular, oval, etc.), can also be used that are also substantially uniform, as described herein.

[0025] Exemplary conductive elements for use in fiber actuator 100 include, but are not limited to, silver, gold, various conductive metals or polymers, including, Al, Cr, poly(3,4-ethylenedioxythiophene), polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS), etc.). In embodiments where the first conductive element forms a solid core, as FIG. 1C, first conductive element 102' can be a solid wire or filament of a conductive element, including a gold or silver wire, etc. Polymeric layer 104 can then be disposed, coated or otherwise associated with the solid core to form the concentrically disposed structure. As used herein “concentrically disposed” refers to a layer(s) of material that is applied or coated on a structure, such that the layers have the same circular center when viewed in cross-section.

[0026] In embodiments where the first conductive element forms a hollow core, as in FIG. 1B, the inner surface of polymeric layer 104 can be coated or covered with a film or coating of a metal or other material, to form first conductive element 102. Similarly, second conductive element 106 can also be coated or disposed on polymeric layer 104, thereby forming the structure shown in FIG. 1B. For example, a hollow polymeric fiber or filament can be prepared, using for example, a fiber spinning method wherein concentric cylinders are used, and a polymer fills in the gaps between the cylinders to form a hollow fiber, such as polymeric layer 104. First

conductive element 102 can then be applied to the inner surface of polymeric layer 104 to form the hollow fiber structure. Similarly, second conductive element 106 can be applied to the outer surface of the hollow fiber, polymeric layer 104, to form the structure shown in FIG. 1B.

Methods of applying first and second conductive elements can include sputtering, dip-coating, spraying, electro-plating, painting, etc. In embodiments, surface patterning can be used to selectively etch the surface of polymeric layer 104 to increase the surface area or create a desired structure which can then be coated or covered with a thin film of conductive material to create the first and/or second conductive elements described herein.

[0027] In further embodiments, first 102 and/or second 106 conductive elements can be positioned over certain sections of the fiber actuator, with sections between the conductive elements in a non-active state (i.e., lacking one or more of the conductive elements). Fiber actuator 100 can be prepared with repeated sections of “active” – containing electrode(s) and “inactive,” – lacking electrode(s) to provide a patterned fiber. Such patterning can occur, for example, over a stretch of about 1-5 cm with electrodes, about 1-5 cm without electrodes, and then repeated, etc.

[0028] Polymeric layer 104 suitably includes an electroactive polymer. Electroactive polymers include polymers such as, but not limited to, poly(vinylidene fluoride), poly(pyrrole), poly(thiophene), poly(aniline) and mixtures, co-polymers, and derivatives thereof. Exemplary classes of electroactive polymers include dielectric and ionic polymers. A dielectric polymer (or dielectric elastomer) may be made to change shape in response to an electric field being generated between two electrodes that then squeezes the polymer. Dielectric polymers are capable of very high strains and are fundamentally a capacitor that changes its capacitance when a voltage is applied by allowing the polymer to compress in thickness and expand in area due to

the electric field. An ionic polymer may undergo a change in shape or size due to displacement of ions inside the polymer. In addition, some ionic polymers require the presence of an aqueous environment to maintain an ionic flow.

[0029] Methods of preparing electroactive polymers are known in the art, and can suitably include dissolving a desired polymer in a suitable solvent, and then casting the polymer in the desired shape (i.e., fiber or filament). Alternatively, the polymer may be drawn, or subjected to fiber spinning techniques, so as to be prepared with the desired filament (core or hollow structure) dimensions, as described herein. Additional methods include melt mixing, in which the polymer is heated above the softening/melting point, and then the polymer film is processed using film processing (casting or blowing) techniques.

[0030] Polymer layer 104 will suitably have a thickness on the order of about 5 μm to millimeters, e.g., about 1 μm to 5 mm, about 1 μm to 1 mm, about 1 μm to 500 μm , or about 5 μm to about 500 μm , or about 10 μm to 500 μm , or about 1 μm to about 100 μm , though thicker or thinner polymer layers can also be utilized.

[0031] First conductive element 102', in the form of a solid core structure, can have a diameter on the order of 5 μm to millimeters, e.g., about 1 μm to 10 mm, about 1 μm to 5 mm, about 1 μm to 1 mm, about 1 μm to 500 μm , or about 5 μm to about 500 μm , or about 10 μm to 500 μm , or about 1 μm to about 100 μm . When first conductive element is in the form of a coating or layer, as in FIG. 1B, the thickness of the conductive element will generally be on the order of microns, suitably about 0.5 μm to about 500 μm , more suitably about 0.5 μm to about 100 μm , or about 0.5 μm to about 50 μm .

[0032] Overall, the diameter of the fiber actuators 100 described herein is suitably on the order of 10's to 100's of microns, or up to millimeters, for example, on the order of about 1 μm to 10 mm,

about 1 μm to 5 mm, about 1 μm to 1 mm, about 1 μm to 500 μm , or about 5 μm to about 500 μm , or about 10 μm to 500 μm , or about 1 μm to about 100 μm . The length of fiber actuators 100 can be on the order of microns to millimeters to centimeters to meters, depending on the ultimate application and use of the fiber actuator.

[0033] Additional examples of compositions useful as polymer layer 104 include piezoelectric polymers and shape memory polymers. Exemplary piezoelectric materials include, but are not limited to, barium titanate, hydroxyapatite, apatite, lithium sulfate monohydrate, sodium potassium niobate, quartz, lead zirconium titanate (PZT), tartaric acid and polyvinylidene difluoride fibers. Other piezoelectric materials known in the art can also be used in the embodiments described herein.

[0034] Shape memory polymers (SMP) allow for programming of the polymer providing it with the ability to change shape from a first to a second shape. The shape-memory effect is not an intrinsic property, meaning that polymers do not display this effect by themselves. Shape memory results from a combination of polymer morphology and specific processing and can be understood as a polymer functionalization. By conventional processing, e.g. extruding or injection molding, the polymer is formed into its initial, permanent shape B. Afterwards, in a process called programming, the polymer sample is deformed and fixed into the temporary shape A. Upon application of an external stimulus (e.g., heat or electric field), the polymer recovers its initial permanent shape B. This cycle of programming and recovery can be repeated several times, with different temporary shapes in subsequent cycles. Shape-memory polymers can be elastic polymer networks that are equipped with suitable stimuli-sensitive switches. The polymer network consists of molecular switches and net points. The net points determine the permanent shape of the polymer network and can be a chemical (covalent bonds) or physical

(intermolecular interactions) nature. Physical cross-linking is obtained in a polymer whose morphology consists of at least two segregated domains, as found for example in block copolymers. Additional information and examples of SMPs can be found in Shape Memory Polymers, *MaterialsToday*, Vol. 10, pages 20-28 (April 2007), the disclosure of which is incorporated by reference herein in its entirety.

[0035] Transformation of SMPs from one or a first configuration to another or a second configuration is suitably controlled by controlling the temperature of the SMP in relation to its glass transition temperature (T_g). Raising the temperature of the SMP by heating it above its T_g , will cause the SMP actuator to transition to its second (memorized or original) configuration, resulting in activation or actuation of the multi-stable material and moving or transforming from a first stable configuration to a second stable configuration, and suitably to a third (and fourth, fifth etc., if desired) stable configuration. Exemplary shape memory polymers include various block copolymers, such as various poly(urethanes), poly(isoprene) and poly(ether esters), which have been programmed to have the required shape memory characteristics.

[0036] In the fiber actuators described herein, polymeric layer 104 is suitably a soft polymer, including for example an electroactive polymer, or a shape memory polymer, configured to deform so as to provide haptic feedback. As used herein “configured to deform” means that the polymer is shaped, formed, oriented or otherwise structured in the fiber actuator so as to be able to move, change shape, vibrate, elongate, contract, etc., so as to provide haptic feedback as the fiber actuator moves, changes shape, vibrates, elongates, contracts, etc. The malleability or flexibility of the polymer layer allows for it to deform or change shape in response to an electric field (and heating if required) applied between the first and second conductive elements. For example, polymeric layer 104 can contract, causing the fiber actuator to shrink or deform in

shape, or can expand, causing the fiber actuator to extend, contract or otherwise deform in shape. In general, the amount of movement or deformation of fiber actuators in response to an electric field will be on the order of a few percent (0.5-5%) of the total diameter and/or length of the fiber actuator.

[0037] In exemplary embodiments, as shown in FIG. 2A, fiber actuator 100 can be associated with a structural material 210, so as to form a smart material 200. In exemplary embodiments, structural material 210 can be a textile, including part of a wearable, as described herein.

[0038] Thus, in embodiments, provided herein are smart materials for providing haptic feedback to a user. Exemplary smart materials 200 include, for example, structural material 210 and fiber actuator 100 associated with the structural material. As described herein, fiber actuator 100 can include first conductive element (102 if hollow fiber or 102' if solid core fiber) polymeric layer 104 concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback, and second conductive element 106 concentrically disposed about the polymeric layer. As described through, the fiber actuator has a substantially uniform cross-section, and in embodiments, a substantially circular cross-section, for substantially an entire length of the fiber. Exemplary materials for use as the conductive elements and the polymeric layers are described herein.

[0039] Various mechanisms for associating or attaching fiber actuator 100 to structural material 210 can be used. For example, fiber actuator 100 can be integrated into structural material 210. Fiber actuator 100 can be made part of structural material 210 during formation of structural material 210, such as during weaving or sewing of a textile, etc. That is, fiber actuator 100 can be directly sewn or weaved into a textile or fabric, for example, between two pieces of a textile,

or as part of the structure of a structural material, including a textile, thereby integrating the fiber actuator into the structural material.

[0040] In additional embodiments, fiber actuator 100 can be fixedly attached to structural material 210. In such embodiments, fiber actuator 100 can be glued, taped, stitched, adhered, stapled, tacked, or otherwise attached to structural material 210. Fiber actuator 100 can also be integrated into, or on, various substrates, e.g., polymers such as rubbers, silicones, silicone elastomers, Teflon, or poly(ethylene terephthalate), etc., in the form of patches, ribbons or tapes that can then be attached to structural material 210 (e.g., adhered or sewn).

[0041] In integrating fiber actuators into structural material 210, it is generally desirable to orient the fiber actuators in a parallel or other orientation such that when activated, their movement in concert results in movement of the structural material, rather than cancelling out their changes in shape or size. In other embodiments, two sets of two-dimensional fiber sections can be prepared, however, and oriented in a perpendicular manner. In such embodiments, a first set of fibers (or a mesh of fibers) can be actuated to provide actuation in a desired direction, followed by actuating the fibers in a second direction (including a perpendicular direction), and still provide the desired actuation.

[0042] The number and concentration of fiber actuators 100 in structural material 210 will vary depending on the application and type of structural material 210 or smart material 200, but is in general on the order of one fiber actuator per square centimeter or one fiber actuator per square inch, but can be included at a higher density, e.g., on the order of 10's of fibers per square centimeter or square inch.

[0043] As described herein, power source 208 can be connected to fiber actuator 100, and suitably to one or both of the first and second conductive elements. In embodiments, power

source 208 can be permanently connected to fiber actuator 100, or in other embodiments, can be separate from the fiber actuator, and later connected. In embodiments where the fiber actuator is part of a structural material, i.e., a wearable, the power source can be physically associated with the wearable, and attached as desired or required, to fiber actuator 100.

[0044] The amount of power provided by power source 208 is suitably on the order of about 0.1 Watts (W) to about 10 W, or more suitably about 0.5 W to about 5 W, or about 1 W to about 5 W, or about 0.5 W, about 1 W, about 2 W, about 3 W, about 4 W or about 5 W. Exemplary power sources 208 including various battery packs as well as solar energy sources. Power source 208 can also include a re-chargeable system, for example, a system capable of recharging through the use of a piezoelectric material.

[0045] As described herein, in embodiments, polymeric layer 104 deforms in response to an electric field between first conductive element 102/102' and second conductive element 106. This can result in compression or expansion of polymeric layer 104, depending on the type of polymer selected, thereby providing motion or deformation of the fiber actuator. For example, as shown in FIG. 2A, fiber actuator 100 can move or deform in a lateral direction 204 (i.e., across the width or diameter of the fiber actuator), and/or a longitudinal direction 202 (i.e., along the length of the fiber actuator). The deformation of fiber actuator 100 can result in movement or deformation of structural material 210, for example, as shown in FIG. 2B, as the structural material changes shape, moves, or otherwise deforms, thereby providing haptic feedback to a user (mechanical haptic feedback).

[0046] As shown in FIG. 1B and FIG. 1C, fiber actuator 100 can further include an insulator layer 108, concentrically disposed about the second conductive element 106. As shown in FIG. 1A, insulator layer 108 can cover over at least a segment of the length of fiber actuator 100.

Thus, as shown in FIG. 1A, fiber actuator 100 can include portions of the fiber, where the outer most layer is insulator layer 108, and other sections, where the outer most layer is second conductive element 106.

[0047] Examples of material useful in forming insulator layer 108 include for example, polymeric materials, rubbers, plastics, ceramics etc.. In embodiments, the materials selected for insulator layer 108 are suitably thin materials, on the order of 0.5 μm to 10 mm in thickness, more suitably about 0.5 μm to 1 mm, about 0.5 μm to 100 μm , or about 0.5 μm to 10 μm , and are selected so as to be flexible such that when fiber actuator 100 is part of a textile or fabric, including as a wearable, the materials can bend and conform to the various shapes necessary during wearing by a user, while still providing the desired haptic feedback.

[0048] In embodiments where fiber actuator 100 comprises insulator 108, the fiber actuator can provide electrostatic feedback or an electrostatic interaction (i.e., non-mechanical haptic feedback) to a user, over the section or length of the fiber actuator that includes the insulator.

[0049] Upon interaction with fiber actuator 100 that includes insulator 108, and/or smart material 200 which includes fiber actuator 100 that includes insulator 108, for example via a user touch, haptic feedback can be provided via an electrostatic interaction or electrostatic feedback to the user. The electrostatic feedback can be in the form of a short vibration or pulse, or an extended vibration to the user. The frequency of the electrostatic feedback or interaction can be on the order of about 1 Hz to about 1000 Hz, more suitably about 1 Hz to about 500 Hz, about 1 Hz to about 200 Hz, about 10 Hz to about 200 Hz, about 10 Hz to about 100 Hz, or about 10 Hz, about 20 Hz, about 30 Hz, about 40 Hz, about 50 Hz, about 60 Hz, about 70 Hz, about 80 Hz, about 90 Hz or about 100 Hz. Haptic feedback can also be provided by the electrostatic interaction if a user simply approaches, or is near, the smart material or the fiber actuator,

signaling a close proximity to the smart material, which may result in the electrostatic interaction and the haptic feedback therefrom.

[0050] In embodiments, for example as shown in FIG. 1A, fiber actuator 100 can include both sections that have insulator 108, and sections that do not have insulator 108. Fiber actuators that have both sections can thus provide both an electrostatic interaction or electrostatic feedback (non-mechanical), as well as haptic feedback resulting from the deformation, movement or change in shape (mechanical) of fiber actuator 100.

[0051] In additional embodiments, smart material 200 can include fiber actuators that include insulator 108, and fiber actuators that lack insulator 108, in the same smart material. In such embodiments, the smart material can provide feedback via both electrostatic interaction or electrostatic feedback and haptic feedback resulting from the deformation, movement or change in shape of fiber actuator 100. Smart material 200 can comprise sections that include primarily one type of fiber actuator (e.g., lacking insulator 108) and sections that include primarily another type of fiber actuator (e.g., including insulator 108), thereby providing distinct sections of smart material 200 that provide different types of haptic feedback. In further embodiments, the fiber actuators can be distributed throughout the smart material so that both movement/deformation-based haptic feedback and electrostatic-based haptic feedback can be provided in the same area of the smart material.

[0052] In embodiments in which electrostatic interactions are produced or provided, power source 208, which is connected to first (102 or 102') and/or second conductive element 106, is also suitably connected to ground. In embodiments, first conductive element 102/102' can act as ground, with second conductive element being connected to power source 208 to provide electrostatic feedback to a user when the user contacts insulator layer 108. In additional

embodiments, a user's body (e.g., arm, leg, torso, head, neck, etc.) can act as a ground for the electrostatic interaction, whereby the haptic feedback is provided or felt via the user's touch (or close approach). In further embodiments, a user's touch can act as ground for the electrostatic interaction, whereby the haptic feedback is provided or felt via the user's body, rather than through user's touch (or close approach). In still further embodiments, the haptic feedback in the form of an electrostatic interaction can be felt by either, or both, user's body and/or user's touch.

[0053] As described herein, in embodiments, smart material 200, and thus structural material 210, can be incorporated into or be part of wearable articles, such as, textiles, including shirts, blouses, hats, jackets, coats and pants/shorts, resulting in a wearable smart material. The structural materials can also be integrated into accessories, including various leather goods, including wallets and purses, handbags (including handles of such), backpacks, and jewelry, etc.

[0054] In additional embodiments, provided herein are methods for providing haptic feedback to a user via fiber actuator 100. Exemplary methods include providing fiber actuator 100, which includes providing smart material 200, including fiber actuator 100 associated with or integrated into structural material 210, for example, as part of a wearable, accessory good, etc. As described herein, fiber actuator 100 can include first conductive element (102 if hollow fiber or 102' if solid core fiber) polymeric layer 104 concentrically disposed about the first conductive element, and second conductive element 106 concentrically disposed about the polymeric layer. As described through, the fiber actuator has a substantially circular cross-section over substantially an entire length of the fiber. Exemplary materials for use as the conductive elements and polymeric layers are described herein.

[0055] The methods further comprise transmitting an actuation signal 206, for example, as illustrated in FIG. 2A, to power source 208, which is electrically coupled to fiber actuator 100.

The methods further comprise generating haptic feedback via the fiber actuator.

[0056] As described through, in embodiments, generating haptic feedback includes generating an electric field between first conductive element (102 or 102') and second conductive element 106, resulting in deformation of polymeric layer 104. In exemplary embodiments, polymeric layer 104, which can be an electroactive polymer or a smart polymer, deforms, moves, changes shape, or otherwise reacts to the electric field causing movement of the fiber actuator, and in embodiments, movement of structural material 210, thereby providing haptic feedback to a user. The polymeric layer 104 can also deform or change shape in response to a change in temperature which results from the generation of the electric field. Such movement and haptic feedback is "mechanical" in nature, in that it is felt by the user as a movement, vibration or deformation of the fiber actuator, and thus the smart material/structural material.

[0057] In still further embodiments where fiber actuator 100 includes insulator layer 108 disposed about second conductive 106 element over at least a segment of the length of the fiber actuator, the generating haptic feedback includes generating an electrostatic feedback to the user. This electrostatic feedback can occur as a user interacts with the fiber actuator or the structural material, including both direct contact and close contact with the fiber actuator or the structural material. This electrostatic feedback is non-mechanical in nature as it results from electrostatic forces, rather than physical movement or deformation.

[0058] Exemplary actuation signals 206 can be from a cellular phone, tablet, computer, car interface, smart device, game console, etc., and can indicate for example the receipt of a text message or e-mail, phone call, appointment, etc.

[0059] In further embodiments, a controller is also suitably included to provide an interface between a device, including an external device, and smart materials 200 and/or fiber actuators 100, as described herein. Components of a controller are well known in the art, and suitably include a bus, a processor, an input/output (I/O) controller and a memory, for example. A bus couples the various components of controller, including the I/O controller and memory, to the processor. The bus typically comprises a control bus, address bus, and data bus. However, the bus can be any bus or combination of busses suitable to transfer data between components in the controller.

[0060] A processor can comprise any circuit configured to process information and can include any suitable analog or digital circuit. The processor can also include a programmable circuit that executes instructions. Examples of programmable circuits include microprocessors, microcontrollers, application specific integrated circuits (ASICs), programmable gate arrays (PGAs), field programmable gate arrays (FPGAs), or any other processor or hardware suitable for executing instructions. In the various embodiments, the processor can comprise a single unit, or a combination of two or more units, with the units physically located in a single controller or in separate devices.

[0061] An I/O controller comprises circuitry that monitors the operation of the controller and peripheral or external devices. The I/O controller also manages data flow between the controller and peripherals or external devices. Examples of peripheral or external devices with the which I/O controller can interface include switches, sensors, external storage devices, monitors, input devices such as keyboards, mice or pushbuttons, external computing devices, mobile devices, and transmitters/receivers.

[0062] The memory can comprise volatile memory such as random access memory (RAM), read only memory (ROM), electrically erasable programmable read only memory (EEPROM), flash memory, magnetic memory, optical memory or any other suitable memory technology. Memory can also comprise a combination of volatile and nonvolatile memory.

[0063] The memory is configured to store a number of program modules for execution by the processor. The modules can, for example, include an event detection module, an effect determination module, and an effect control module. Each program module is a collection of data, routines, objects, calls and other instructions that perform one or more particular task. Although certain program modules are disclosed herein, the various instructions and tasks described for each module can, in various embodiments, be performed by a single program module, a different combination of modules, modules other than those disclosed herein, or modules executed by remote devices that are in communication with the controller.

[0064] In embodiments described herein, the controller, which can include a wireless transceiver (including a Bluetooth or infrared transceiver), can be integrated into structural material 210 or can be separate from the structural material. In further embodiments, the controller can be on a separate device from the structural material, but is suitably connected via a wired or more suitably a wireless signal, so as to provide actuation signal 206 to the fiber actuators, power sources, and smart materials described herein.

[0065] For example, the controller can provide actuation signal 206 to an actuator drive circuit, which in turn communicates with power supply 208, of the smart materials or fiber actuators described herein, so as to provide haptic feedback to a user of a smart material or system as described herein. For example, desired haptic feedback can occur, for example, when a mobile phone or other device to which a controller is paired via wireless connection receives a message

or email. Additional examples include a controller being associated with devices such as game controllers, systems or consoles, computers, tablets, car or truck interfaces or computers, a health monitoring device, automated payment machines or kiosks, various keypad devices, televisions, various machinery, etc. In such embodiments, the controller suitably provides actuation signal 206 to an actuator drive circuit, to provide haptic feedback to a user in response to a signal originated by or from an external device. The device can also be a part of the wearable on which the various components of the haptic feedback systems described herein are contained. For example, the fiber actuators described herein can be made part of a watch band, where the face of the watch is a smart watch, for example, and the user sets the watch to provide haptic feedback via the fiber actuators integrated into the band (i.e., vibrate, motion, contraction etc., based on a received e-mail, alarm, other notification). Exemplary feedback or signals that can be provided by a device, include, for example, indications of incoming messages or communication from a third party, warning signals, health status updates (i.e., blood pressure or heart palpitations), gaming interaction, driver awareness signals, computer prompts, etc.

[0066] In further embodiments, the smart materials and components described herein can be integrated with or be part of a virtual reality or augmented reality system. In such embodiments, the smart materials can provide haptic feedback to a user as he or she interacts with a virtual or augmented reality system, providing responses or feedback initiated by the virtual reality or augmented reality components and devices.

[0067] In further embodiments, the interaction between the user, fiber actuator 100 and an external device can occur via direct interaction between the user and fiber actuator 100 or smart material 200, which in turn provides a signal to an external device. For example, a user can interact with a smart material in the form of a wearable on the user's body, by touching, swiping,

pressing or otherwise touching the structural material of the wearable, which suitably includes the fiber actuators described herein. This interaction can result in a signal being transferred to an external device, demonstrating or confirming a user interaction has taken place.

[0068] In embodiments of the methods described herein, the actuation signal(s) described herein is transmitted to the power source. Movement is then generated in the fiber actuator, resulting in actuation of the structural material. In addition, an electrostatic interaction can also be generated upon user interaction, in embodiments where the fiber actuator is designed to provide electrostatic feedback. The combination of the movement of the fiber actuator, and/or the electrostatic interaction, provides haptic feedback to the user. In various embodiments, the order, sequence, frequency, and intensity of both the movement of the fiber actuator and electrostatic interaction can be varied, depending on the type of interaction or the type of desired feedback.

[0069] For example, in embodiments, a user may experience haptic feedback from the movement of the fiber actuator, upon which the user may interact with the fiber actuator, or other fiber actuators in the smart material, creating an electrostatic interaction which provides additional, further haptic feedback. In further embodiments, the user may interact with the structural material, which in turn provides an electrostatic interaction, and the structural material may further provide movement from the fiber actuator to provide the haptic feedback. In further embodiments, the user can interact with a first fiber actuator, which provides a motion-based or mechanical haptic feedback indicating that the interaction has been successful, followed by an electrostatic interaction (non-mechanical feedback) from a second fiber actuator, indicating that, for example, a desired task has been completed.

[0070] Examples of intensity, frequency and timing of the various haptic feedback are provided herein, and can be tailored as desired by the user or the device with which the user is interacting. Examples of devices and methods for activating or actuating the combined smart materials are described herein, and include various computers, mobile devices, gaming systems, automobiles, etc.

[0071] The various embodiments described above are provided by way of illustration only and should not be construed to limit the claims attached hereto. Those skilled in the art will readily recognize various modifications and changes that may be made without following the example embodiments and applications illustrated and described herein, and without departing from the true spirit and scope of the following claims.

[0072] The present application claims benefit of U.S. Patent application No.15/454,362, filed on March 9, 2017, the disclosure of which is incorporated by reference in its entirety.

1. A fiber actuator for providing haptic feedback, comprising:
 - a first conductive element;
 - a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback; and
 - a second conductive element concentrically disposed about the polymeric layer,wherein the fiber actuator has a substantially uniform cross-section for substantially an entire length thereof.
2. The fiber actuator of claim 1, wherein the first conductive element forms a solid core of the fiber actuator, or wherein the first conductive element forms a hollow core of the fiber actuator.
3. The fiber actuator of claim 1, wherein the polymeric layer comprises an electroactive polymer selected from the group comprising poly(vinylidene fluoride), poly(pyrrole), poly(thiophene), poly(aniline) and mixtures, co-polymers, and derivatives thereof.
4. The fiber actuator of claim 1, wherein the polymeric layer comprises a shape memory polymer.
5. The fiber actuator of claim 1, wherein the fiber actuator is associated with a structural material.
6. The fiber actuator of claim 5, wherein the structural material is part of a wearable.
7. The fiber actuator of claim 1, wherein the polymeric layer deforms in response to an electric field between the first conductive element and the second conductive element, to provide haptic feedback.

8. The fiber actuator of claim 1, further comprising an insulator layer concentrically disposed about the second conductive element over at least a segment of the length of the fiber actuator.
9. The fiber actuator of claim 8, wherein the fiber actuator provides an electrostatic feedback over at least the portion of the length comprising the insulator layer.
10. A smart material for providing haptic feedback, comprising:
 - a structural material; and
 - a fiber actuator associated with the structural material, comprising:
 - a first conductive element;
 - a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback; and
 - a second conductive element concentrically disposed about the polymeric layer,wherein the fiber actuator has a substantially circular cross-section for substantially an entire length thereof.
11. The smart material of claim 10, wherein the structural material is part of a wearable.
12. The smart material of claim 10, wherein the first conductive element forms a solid core of the fiber actuator, or wherein the first conductive element forms a hollow core of the fiber actuator.
13. The smart material of claim 10, wherein the polymeric layer comprises an electroactive polymer, selected from the group comprising poly(vinylidene fluoride), poly(pyrrole), poly(thiophene), poly(aniline) and mixtures, co-polymers, and derivatives thereof.

14. The smart material of claim 10, wherein the polymeric layer comprises a shape memory polymer.
15. The smart material of claim 10, further comprising a power source electrically coupled to the fiber actuator.
16. A method for providing haptic feedback via a fiber actuator, the method comprising:
 - providing a fiber actuator, comprising:
 - a first conductive element;
 - a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback; and
 - a second conductive element concentrically disposed about the polymeric layer,
 - wherein the fiber actuator has a substantially circular cross-section for substantially an entire length thereof,
 - transmitting an actuation signal to a power source electrically coupled to the fiber actuator; and
 - generating haptic feedback via the fiber actuator.
17. The method of claim 16, wherein the generating comprises generating an electric field between the first conductive element and the second conductive element, resulting in a deformation of the polymeric layer.
18. The method of claim 16, wherein the fiber actuator further comprises an insulator layer concentrically disposed about the second conductive element over at least a segment of the length of the fiber actuator, and the generating results in an electrostatic feedback to the user over at least the segment of the length comprising the insulator layer.

[Abstract]

Problem to be solved: To provide a simple mechanism for providing haptic feedback to a user that can readily be implemented in wearable and accessory goods.

Solution: The fiber actuators include a first conductive element, a polymeric layer concentrically disposed about the first conductive element and configured to deform so as to provide haptic feedback, and a second conductive element concentrically disposed about the polymeric layer. The fiber actuators are useful in structural materials, including as elements of wearables or accessories.

[Representative Drawing]

Fig. 1B

