

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5568099号  
(P5568099)

(45) 発行日 平成26年8月6日(2014.8.6)

(24) 登録日 平成26年6月27日(2014.6.27)

(51) Int.Cl.

G O 1 D 21/00 (2006.01)

F 1

G O 1 D 21/00

M

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2011-551078 (P2011-551078)  
 (86) (22) 出願日 平成22年1月7日 (2010.1.7)  
 (65) 公表番号 特表2012-518183 (P2012-518183A)  
 (43) 公表日 平成24年8月9日 (2012.8.9)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2010/020301  
 (87) 國際公開番号 WO2010/096209  
 (87) 國際公開日 平成22年8月26日 (2010.8.26)  
 審査請求日 平成24年11月9日 (2012.11.9)  
 (31) 優先権主張番号 12/389,196  
 (32) 優先日 平成21年2月19日 (2009.2.19)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 500520743  
 ザ・ボーイング・カンパニー  
 The Boeing Company  
 アメリカ合衆国、60606-1596  
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100  
 (74) 代理人 100109726  
 弁理士 園田 吉隆  
 (74) 代理人 100101199  
 弁理士 小林 義教  
 (72) 発明者 ヴィアン, ジョン, エル.  
 アメリカ合衆国 ワシントン 98056  
 , レントン, ノース 36番ストリート 1301

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ストレッチャブルシリコンが組み込まれたセンサネットワーク

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ストレッチャブルシリコン基板と、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作製された、センサ要素(50)と通信要素(52)とを含む複数のセンサノード(16)と、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作製されたRF送受信機(30)及び処理機能を有するプロセッサノード(14)と、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作成されたエネルギー収集及び貯蔵要素である電源ノード(12)であって、エネルギー収集及び貯蔵要素が圧電ジェネレータ効果を用い、前記ストレッチャブルシリコン基板上に成長した酸化亜鉛ナノワイヤを含んでいる電源ノード(12)と、

を備えた構造をモニタリングするためのネットワークであって、

前記ストレッチャブルシリコン基板が、前記センサノードと、前記プロセッサノードと、前記電源ノードとを相互に接続する複数の導体経路を内部に含んでおり、

前記電源ノードが、機械的応力を電気エネルギーに転換することにより、エネルギー収集及び貯蔵要素が発生した電気エネルギーを前記プロセッサノード及び前記センサノードに電力を供給するように構成され、

前記ネットワークが構造全体に取り付けられることによりセンサ要素(50)が分散配置され、前記センサ要素(50)からのデータが通信要素(52)及びRF送受信機(30)を介して外部装置に通信される、構造をモニタリングするためのネットワーク。

**【請求項 2】**

前記センサ要素（50）が、構造ヘルスモニタリング及び管理用のセンサ、着氷センサ、並びにセンサ周囲の気流の動的な流れの剥離を感知するセンサのうちの少なくとも一つを含んでいる、請求項1に記載の構造をモニタリングするためのネットワーク。

**【請求項 3】**

前記センサ要素（50）が、温度センサ、圧力センサ、及び振動センサのうちの少なくとも一つを含んでいる、請求項1に記載の構造をモニタリングするためのネットワーク。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

10

本発明の分野は、概してセンサネットワークに関するものであり、具体的には、ストレッチャブルシリコンが組み込まれたセンサネットワークに関する。

**【背景技術】****【0002】**

20

既存のモニタリング法、例えば広い面積の構造ヘルスモニタリングには、導電線と、場合によっては導電纖維とに基づいて相互に接続されたセンサネットワークが含まれる。光ファイバー通信は、一部の通信システムにおいて低消費電力の装置を可能にするが、ネットワークノード間の複雑な相互接続無しではセンサアレイのアドレッシングが可能でない。他の検討事項としては、製造可能性、入出力信号の機械的接続、スケーラビリティ、配線／光ファイバーハーネスのコスト及び信頼性、パワーバス、及びデータバスが挙げられる。

**【発明の概要】****【0003】**

20

一実施形態では、ストレッチャブルシリコン基板と、ストレッチャブルシリコン基板上に作製された複数のノードとを含むセンサネットワークが提供される。ノードは、エネルギー収集貯蔵要素、通信装置、感知装置、及びプロセッサをそれぞれ少なくとも一つ含む。ノードは、相互に接続する導体を介して相互接続される。

**【0004】**

30

別の実施形態では、ネットワークを作製する方法が提供される。この方法は、所望の領域全体にシリコンメディアを広げること、広げたシリコンメディアを加工してその上に任意の数のノードを生成すること、及びストレッチャブルメディア内の導体経路を利用することにより、生成されたノードを冗長に相互接続してネットワークを形成することを含む。

**【0005】**

また別の実施形態では、構造をモニタリングするためのネットワークが提供される。このネットワークは、ストレッチャブルシリコン基板と、ストレッチャブルシリコン基板上に作製された複数のセンサと、ストレッチャブルシリコン基板上に作製された少なくとも一つの通信装置と、ストレッチャブルシリコン基板上に作製された少なくとも一つのエネルギー収集及び貯蔵要素とを含んでいる。ストレッチャブルシリコン基板は、複数のセンサを相互接続する基板中の複数の導体経路と、少なくとも一つの通信装置と、少なくとも一つのエネルギー収集及び貯蔵要素とを含んでいる。ネットワークは、センサが分散するように基板全体に亘って取り付けられる。センサからのデータは、少なくとも一つの通信装置を介して外部装置に通信される。

40

**【図面の簡単な説明】****【0006】**

【図1】図1は、有利な実施形態におけるストレッチャブルシリコンを使用して作製されたセンサネットワークを示すブロック図である。

【図2】図2は、別の有利な実施形態におけるセンサネットワークを示す線図であり、このネットワークには、エネルギー収集及び貯蔵要素を相互接続するストレッチャブルシリコンと、無線及び有線の通信装置と、マイクロセンサと、ネットワーク管理プロセッサと

50

が含まれている。

【図3】図3は、別の有利な実施形態において、ストレッチャブルシリコンを使用してセンサネットワークを作製する方法を示すフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

図1は、ストレッチャブルシリコンに基づくセンサネットワーク10のブロック図である。図示の実施形態では、ストレッチャブルシリコン基板上に三つのノードが作製されている。これら三つのノードは、電源ノード12、プロセッサノード14、及びセンサノード16である。ノードは、ストレッチャブルシリコン基板に形成された相互に接続する導体20、22、及び24を介して相互接続されている。

10

【0008】

一実施形態では、電源ノード12はエネルギー収集及び貯蔵要素である。例えば、電源ノードは、シリコンベースのナノ/マイクロ電気機械システム(N/MEMS)に統合された圧電ジェネレータである。この実施形態では、このような組み合わせにより電力を生成して貯蔵することができる。電源ノード12は、このような電力をプロセッサノード14とセンサノード16の両方に供給することができる。他の実施形態では、複数の電源ノード12をストレッチャブルシリコン基板全体に分散させて、処理、感知、又は通信の機能を有するそれらのノードに電力を供給させることができる。

【0009】

プロセッサノード14は、処理機能を含んでおり、センサノード16の無線通信機能を有する部分と通信するRF送受信機30を含むことができる。プロセッサノード14は、更に、例えばデジタルビーケルネットワークインターフェース40を介して通信するための処理能力を含むことができる。図1の実施形態は、RF送受信機30を介したビーケルネットワーク40とセンサノード16との間の通信を容易にするRF-デジタル変換器32とデジタル-RF変換器34とを含むことができる。プロセッサノード14はセンサネットワーク10の挙動を管理及び監視することができ、このような挙動には、発電及び電力消費、データ取得、及びセンサネットワーク10内通信とビーケルネットワーク40などの外部装置との通信の両方が含まれる。

20

【0010】

センサノード16は無線動作能を有することができるが、別の実施形態は有線動作能により動作してもよい。いずれの構成においても、センサノード16は、センサ要素50と通信要素52とを含む。センサ要素50は、一体形成された信号コンディショニング回路を含むことができるか、又は信号コンディショニング回路はセンサ要素から物理的に分離されてもよい。

30

【0011】

図1に示されるセンサノード16は、上述のプロセッサノード14に類似して、無線動作に構成されている。しかしながら、ストレッチャブルシリコン相互接続20に示されるようなセンサノード16とプロセッサノード14との間の通信相互接続としてストレッチャブルシリコンメディアを使用する実施形態が考慮される。図示の実施形態では、ストレッチャブルシリコン相互接続22を利用して電源ノード12からプロセッサノード14に電力が供給されていると同時に、ストレッチャブルシリコン相互接続24を利用して電源ノード12からセンサノード16に電力が供給されている。

40

【0012】

図2は、ストレッチャブルシリコン105を使用して作製されたセンサネットワーク100を示している。図示の実施形態では、ネットワーク100は、ストレッチャブルシリコン105上に作成された複数の構成要素を含んでいる。これらの構成要素には、例えば、エネルギー収集及び貯蔵要素110、通信装置120、センサ130、及びネットワーク管理プロセッサ140が含まれる。通信装置120は、無線装置と有線装置の両方を含むことができる。本明細書に記載されるように、複数の構成要素がストレッチャブルシリコン105のメディア上に集積され、メディア内には複数の導電経路160(相互接続)

50

が形成されて、例えば、エネルギー収集及び貯蔵要素110から通信装置120、センサ130、及びネットワーク管理プロセッサ140への電力の導通を担っている。

#### 【0013】

導電経路160はまた、上記に列挙された構成要素間の通信の少なくとも一部を行う。後述で更に説明するように、一実施形態においては、ストレッチャブルシリコン105は無線センサの自律的なネットワークの一部を形成する。ストレッチャブルシリコン相互接続160を有するネットワーク100に組み込まれた冗長性により高い信頼性が得られる。したがって、ネットワーク100は、種々のネットワーク構成要素間に選択可能な経路を使用して、センサ130と既存のピークル通信ネットワークとの間に確実な通信を達成することができる。図示のネットワーク100は、独自の電源としてエネルギー収集及び貯蔵要素110を有するので、このようなネットワークを追加してもピークルパワー系統の負担にならない。10

#### 【0014】

ストレッチャブルシリコンメディア105は、同メディア上に形成された全てのノードを所望の機能を提供する構成要素に転換できるので、優良なイネーブラである。その例としては、プロセッサ機能及び小型のセンサノードが挙げられる。一実施形態では、ノードの大きさは約200マイクロメートルである。一実施形態では、ストレッチャブルシリコンメディア105は、ファウンドリ処理された、1cm~20cmの大きさのモノリシックなシリコンダイから加工されて、広い面積に広げられる。このプロセスにより、メディア105の上に作製された種々のノードの間を走る複数の頑丈な導体が得られる。20

#### 【0015】

ネットワーク100は、エネルギー貯蔵装置の重量及びサポートビリティ、ネットワークノード間の相互接続の複雑性、製造可能性、入出力信号の機械的接続、及びスケーラビリティに関連した先行技術の問題の少なくとも一部を解決する。具体的には、ネットワーク100が組み込まれたシステムは、広い面積を網羅するセンサのネットワークを可能にするもので、複数の用途を有している。そのような用途の一つは、複数の上記センサが処理要素にデータを供給し、この処理要素に外部システムから問い合わせることが可能な構造の構造ヘルスモニタリングである。他の用途には、メディア105上に作製された適用可能なセンサを使用した空力表面上の気流のモニタリング、及び航空宇宙構造の使用に伴う着氷及びその他の危険な状態のモニタリングが含まれる。30

#### 【0016】

次に、ネットワーク100の個々の構成要素について説明する。エネルギー収集及び貯蔵要素110は、ネットワーク100の他の要素に電力を供給する。一実施形態では、要素110内部でナノ圧電ジェネレータ効果を利用することにより、機械的応力を電流又は電圧に変換し、メディア105上に作製可能なあらゆるセンサを含むネットワーク100の他の構成要素に給電する。特定の一実施形態では、ネットワーク100に酸化亜鉛(ZnO)ナノワイヤが利用される。これらのZnOナノワイヤは、任意の曲率及び材質を有する基板上で化学合成を使用して成長させる。これらのZnOナノワイヤジェネレータは、約1平方ミリメートルの面積内にミリワット単位の電力を生成する。

#### 【0017】

このようなエネルギー収集及び貯蔵要素110に関連する電力出力は、ナノワイヤ基板の面積拡大に比例して増大する。また、このような装置は、ストレッチャブルシリコンベースのナノ/マイクロ電子デバイスと容易に集積させて、ロバストなナノ/マイクロ電気機械システム(N/MEMS)とすることができます。

#### 【0018】

通信装置120に関して、少なくとも一実施形態には、ネットワーク100とのデータの送受信を可能にする無線トランシーバノードを組み込んでいる。このような実施形態は、シリコンシステムベースのシングルチップトランシーバと呼ばれる。一実施形態は、単一のダイの上に無線トランシーバのRF及びベースバンド構成要素を構築することを含むトランシーバ用集積回路の作製に、ストレッチャブルシリコンを組み込んでいる。無線40

トランシーバのノードは、外部装置に直接接続することができる。

【0019】

シリコンは、高レベルな集積と、大量生産に望ましい低コストを提供し、更には電力消費を低減する可能性を有している。電力消費量を低下させることができれば、プラスチックなどの梱包材の価格を下げることができ、チップのコストを大きく削減することができる。集積方法にシリコンを使用する場合、バイポーラ及びCMOSが最も一般的な加工技術である。バイポーラ技術は、高速性を提供し、アナログの分野において最も一般的に使用されている。CMOSは、低い制限周波数を有しているが、デジタルの分野において魅力的な高レベルな集積を提供する。

【0020】

センサノード130は、シリコンベースのデバイスを用いて構築されたネットワークを形成する。種々の実施形態では、センサノード130には、構造ヘルスモニタリング用のセンサ、温度センサ、圧力センサ、振動センサ、着氷センサ、動的な流れ剥離センサ、及びその他の種類のセンサが含まれる。一実施形態では、センサノード130は、信号コンディショニング回路を含み、センサノード130と通信装置120との間のインターフェース、及び／又はセンサノードとネットワーク管理プロセッサ140との間のインターフェースとなっている。ネットワーク管理プロセッサ140は、有効なセンサノード130のネットワークを監視して、それらがネットワークに属するかどうかを決定することができる。通信装置120、センサノード130、及びネットワーク管理プロセッサ140が必要とする電力は、種々の実施形態では、上述のエネルギー収集及び貯蔵要素110によって供給される。

10

【0021】

図3は、ストレッチャブルシリコンを組み込んだ本明細書に記載のセンサネットワークのようなセンサネットワークの作製方法を更に示すフロー図200である。フロー図200に例示されるこの方法は、所望の領域全体にシリコンメディアを広げること202、広げたシリコンメディアを加工して、その上に任意の数のノードを生成すること204、及びストレッチャブルメディア内の導体を利用して、生成されたノードを冗長に相互接続することによりネットワークを形成すること206を含む。

20

【0022】

後述で更に説明するように、広げたシリコンメディアを加工すること204は、エネルギー収集及び貯蔵要素、通信装置、感知装置、及びプロセッサのうちの一又は複数を生成することを含むことができ、ストレッチャブルメディア内の導体を利用すること206は、エネルギー収集及び貯蔵要素から種々の通信装置、感知装置、及びプロセッサへ電力を導くことを含むことができる。

30

【0023】

広げたシリコンメディアを加工すること204は、一実施形態では、無線通信能を有する少なくとも一つの通信装置を生成することを含む。別の実施形態では、広げたシリコンメディアを加工すること204は、外部ネットワークと通信できる少なくとも一つのプロセッサを生成することを含む。後述で更に説明するように、フロー図200に記載の方法は複数の用途に有用であるので、広げたシリコンメディアを加工すること204は、限定しないが、例えば、構造ヘルスモニタリング及び管理用のセンサを生成すること、着氷センサを生成すること、及びセンサ周囲の気流の動的な流れの剥離を感知するためのセンサを生成することを含むことができる。

40

【0024】

本明細書に記載された種々の実施形態は、例えば航空機及び他のビークルの、構造ヘルスモニタリング及び管理のために使用することができる。このような用途では、ストレッチャブルシリコン基板は、例えば元の大きさの100倍まで広げることができる。構造ヘルスの分野では、このような基板を構造の関連部位全体に取り付けることができる。このような構成では、センサは、環境の変化を感じて、ネットワーク管理プロセッサ140のようなネットワークプロセッサにデータを送信することができ、ネットワーク管理

50

プロセッサ 140 は、次いで、通信装置 120 を利用して外部システムにセンサデータを通信する。構造ヘルスモニタリング以外の用途の例としては、周囲の気流の動的な流れの剥離、及び構造上の着氷のモニタリングが挙げられる。

#### 【 0025 】

本明細書に記載された無線センサの自律的なネットワークは、航空宇宙の分野の厳密な構造制御の要求に応え、有害環境における設置に適したセンサの設計及び構築方法を向上させる。独特の適用が望まれる航空機及び航空エンジンに、厳しく要求の大きな環境用の広い範囲の温度センサ、圧力センサ及び流動センサが利用可能となる。また、記載されたネットワークには、多数の分散センサからの大量のヘルス管理データを通信、記憶、及び処理するのに必要な最新のデータシステムアーキテクチャを組み込むことができる。

10

#### 【 0026 】

一実施例では、ネットワーク 100 は、最適なビーカル管理及びミッションコントロールのための構造的システム、推進システム、熱防御システム、及びその他の重要なシステムをリアルタイムで把握することができる統合ビーカル健全性管理 (IVHM) システムの一部として実行することができる。このようなシステムでは、内蔵式のリアルタイム感知システムは、ビーカル健全性管理システムの必須の構成要素である。このような性能を提供するために、ネットワーク 100 は、厳しい航空宇宙動作環境に耐える能力を有しながら、最小のサイズ、重量、及び電力要件を有するセンサも含む。

#### 【 0027 】

本明細書では、実施例を使用して、ベストモードを含む種々の実施形態を開示し、且つ当業者が、任意のデバイス又はシステムを作製及び使用すること、及び任意の方法を実行することを含めてこのような実施形態を実施することを可能にしている。特許可能な範囲は、請求の範囲によって規定され、当業者が想起する他の実施例を含みうる。このような他の実施例は、特許請求の範囲の字義通りの説明から逸脱しない構造的要素を有する場合、又は特許請求の範囲の字義通りの説明から無視できる程度の差異を有する等価な構造的要素を有する場合、特許請求の範囲に含まれる。

20

また、本願は以下に記載する態様を含む。

##### ( 態様 1 )

ストレッチャブルシリコン基板と、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作製された複数のノードであって、エネルギー収集及び貯蔵要素、通信装置、感知装置、及びプロセッサのうちの少なくとも一つを含み、前記基板上に形成された相互に接続する導体を介して相互接続された前記ノードとを備えたセンサネットワーク。

30

##### ( 態様 2 )

前記エネルギー収集及び貯蔵要素が、前記通信装置、前記感知装置、及び前記プロセッサに電力を供給する、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

##### ( 態様 3 )

前記エネルギー収集及び貯蔵要素が、機械的応力を電気エネルギーに転換する圧電装置を含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

40

##### ( 態様 4 )

前記ストレッチャブルシリコン基板が、前記ノードを相互に接続する複数の導体を含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

##### ( 態様 5 )

前記ノードの一部が無線通信能を含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

##### ( 態様 6 )

無線通信能が RF トランシーバを含んでいる、態様 5 に記載のセンサネットワーク。

##### ( 態様 7 )

前記ノードの少なくとも一つが、前記センサネットワークの外部のシステムと通信する処理能力を含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

##### ( 態様 8 )

50

外部システムとの通信がピークルネットワークインターフェースを介して行われる、態様 7 に記載のセンサネットワーク。

(態様 9 )

前記感知装置が、構造ヘルスモニタリング及び管理用のセンサ、着氷センサ、並びにセンサ周囲の気流の動的な流れの剥離を感じするセンサのうちの少なくとも一つを含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

(態様 10 )

前記ストレッチャブルシリコン基板が、一の領域全体に広げられたモノリシックなシリコンダイを含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

(態様 11 )

前記エネルギー収集及び貯蔵要素が、前記ストレッチャブルシリコン基板上に成長した酸化亜鉛ナノワイヤを含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

10

(態様 12 )

前記感知装置が、温度センサ、圧力センサ、及び振動センサのうちの少なくとも一つを含んでいる、態様 1 に記載のセンサネットワーク。

(態様 13 )

所望の領域全体にシリコンメディアを広げること、

広げたシリコンメディアを加工することにより、メディアの上に任意の数のノードを生成すること、及び

ストレッチャブルメディア内の導体を利用して、生成されたノードを冗長に相互接続することによりネットワークを形成することを含む、ネットワーク作製方法。

20

(態様 14 )

広げたシリコンメディアを加工することが、エネルギー収集及び貯蔵要素、通信装置、感知装置、及びプロセッサそれぞれのうちの少なくとも一つを生成することを含む、態様 13 に記載の方法。

(態様 15 )

ストレッチャブルメディア内の導体を利用するが、エネルギー収集及び貯蔵要素から通信装置、感知装置、及びプロセッサへと電力を導くことを含む、態様 14 に記載の方法。

30

(態様 16 )

広げたシリコンメディアを加工することが、無線通信能を有する少なくとも一つの通信装置を生成することを含む、態様 14 に記載の方法。

(態様 17 )

広げたシリコンメディアを加工することが、外部ネットワークと通信できる少なくとも一つのプロセッサを生成することを含む、態様 14 に記載の方法。

(態様 18 )

広げたシリコンメディアを加工することが、構造ヘルスモニタリング及び管理用のセンサ、着氷センサ、並びにセンサ周囲の気流の動的な流れの剥離を感じするセンサのうちの少なくとも一つを生成することを含む、態様 13 に記載の方法。

40

(態様 19 )

ストレッチャブルシリコン基板と、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作製された複数のセンサと、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作製された少なくとも一つの通信装置と、

前記ストレッチャブルシリコン基板上に作成された少なくとも一つのエネルギー収集及び貯蔵要素と

を備えた構造をモニタリングするためのネットワークであって、

前記ストレッチャブルシリコン基板が、前記複数のセンサと、前記少なくとも一つの通信装置と、前記少なくとも一つのエネルギー収集及び貯蔵要素とを相互に接続する複数の導体経路を内部に含んでおり、前記ネットワークが構造全体に取り付けられることにより

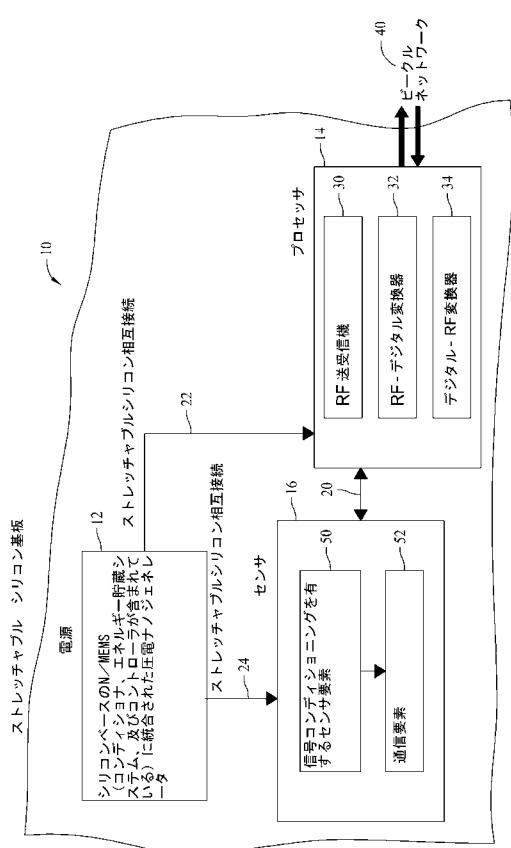
50

センサが分散配置され、前記センサからのデータが前記少なくとも一つの通信装置を介して外部装置に通信される、  
構造をモニタリングするためのネットワーク。

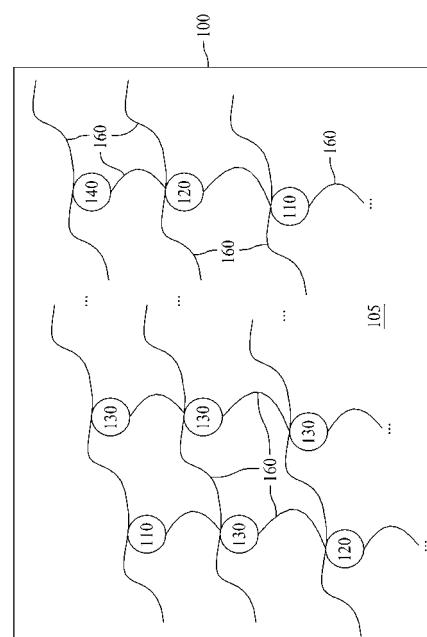
(態様 20)

前記少なくとも一つのエネルギー収集及び貯蔵要素、前記少なくとも一つの通信装置、  
及び前記複数のセンサと相互に接続されて、前記ネットワークの外部のシステムと通信す  
るように動作可能な少なくとも一つのプロセッサを更に備えている、態様 19 に記載の構  
造をモニタリングするためのネットワーク。

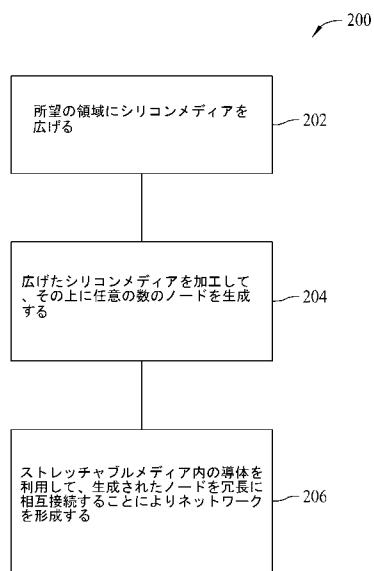
【図 1】



【図 2】



【図3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 カッラレーロ，マイケル，エー。

アメリカ合衆国 カリフォルニア 92649，ハンティントン ビーチ，ビーコン，ワーナー アヴェニュー 4682

審査官 井上 昌宏

(56)参考文献 米国特許出願公開第2008/0064125(US,A1)

特開2008-162885(JP,A)

特開2007-125687(JP,A)

米国特許出願公開第2007/0125176(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01D18/00~21/02

G08C13/00~25/04