

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7045673号

(P7045673)

(45)発行日 令和4年4月1日(2022.4.1)

(24)登録日 令和4年3月24日(2022.3.24)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 N 2/18 (2006.01)

H 0 2 N 2/18

H 0 1 L 41/113(2006.01)

H 0 1 L 41/113

H 0 1 L 41/053(2006.01)

H 0 1 L 41/053

請求項の数 14 (全15頁)

(21)出願番号 特願2019-572414(P2019-572414)
 (86)(22)出願日 平成30年7月5日(2018.7.5)
 (65)公表番号 特表2020-526168(P2020-526168 A)
 (43)公表日 令和2年8月27日(2020.8.27)
 (86)国際出願番号 PCT/IB2018/000716
 (87)国際公開番号 WO2019/008431
 (87)国際公開日 平成31年1月10日(2019.1.10)
 審査請求日 令和2年12月3日(2020.12.3)
 (31)優先権主張番号 62/528,886
 (32)優先日 平成29年7月5日(2017.7.5)
 (33)優先権主張国・地域又は機関 米国(US)
 (31)優先権主張番号 62/532,195
 (32)優先日 平成29年7月13日(2017.7.13)
 最終頁に続く

(73)特許権者 511148237
 ユニヴェルシテ グルノーブル アルプス
 フランス国, 3 8 4 0 0 サン マルタン
 デール, 6 2 1 アベニュー セントラル
 (73)特許権者 518312493
 ヴァーモン エス・エー・
 VERMON S.A.
 フランス、エフ - 3 7 0 3 8 トゥール
 セデックス1、ビービー3 8 1 3、リュ
 ドゥ ジェネラル ルノー 1 8 0
 1 8 0 Rue du General R
 enault, BP 3 8 1 3, F -
 3 7 0 3 8 Tours Cedex 1,
 France
 (74)代理人 100065248
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電エネルギーハーベスティング曲げ構造及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

振動から電気エネルギーを収集するための圧電バイモルフカンチレバービームシステムであって、

前記システムは、第1主面、第1主面の反対側の第2主面、アンカーに接続された近位端、および前記近位端の反対側の遠位端を含むシムと、前記シムの第1主面上に積層された第1圧電層と、前記シムの第2主面上に積層された第2圧電層と、前記アンカーに隣接する前記シムの第1主面上に設けられ、かつ、第1圧電層を少なくとも部分的に覆う第1ビーム補強材とを備え、

第1圧電層の材料は、圧電材料であり、

第2圧電層の材料は、前記圧電材料であり、

第1ビーム補強材の材料は、前記圧電材料以外の材料であり、

第1ビーム補強材は、前記アンカーから前記シムの遠位端に向かって減少するように変化する厚さを有する圧電バイモルフカンチレバービームシステム。

【請求項2】

前記アンカーに隣接する前記シムの第2主面上に設けられ、かつ、第2圧電層を少なくとも部分的に覆う第2ビーム補強材をさらに備え、

第2ビーム補強材の材料は、前記圧電材料以外の材料であり、

第2ビーム補強材は、前記アンカーから前記シムの遠位端に向かって減少するように変化する厚さを有する請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

第 1 ビーム補強材、第 2 ビーム補強材、または第 1 ビーム補強材と第 2 ビーム補強材の両方は、平面状の外表面を有する請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

第 1 ビーム補強材、第 2 ビーム補強材、または第 1 ビーム補強材と第 2 ビーム補強材の両方は、湾曲した外表面を有する請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 5】

第 1 ビーム補強材、第 2 ビーム補強材、または第 1 ビーム補強材と第 2 ビーム補強材の両方は、前記圧電層上に積み重ねられた複数の層を備え、前記複数の層のそれぞれは、前記シムから離れるにつれ延びている長さが短くなる請求項 2 に記載のシステム。

10

【請求項 6】

前記複数の層のうちの 1 つ以上は、前記複数の層のうちの別の層の材料とは異なる組成を有する材料から構成される請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

第 1 ビーム補強材、第 2 ビーム補強材、または第 1 ビーム補強材と第 2 ビーム補強材の両方は、前記シムに沿った位置に基づいてサイズが変化する複数の穴を画定する請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記複数の穴は、前記アンカーから前記シムの前記遠位端に向かってサイズが大きくなる請求項 7 に記載のシステム。

20

【請求項 9】

前記複数の穴は、残りの前記ビーム補強材の材料とは異なる材料で満たされている請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記複数の穴は、前記シムの長さにわたって延びる中心線に関して対称である請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記複数の層のうちの 1 つ以上が、前記シムに沿ったその位置に基づいてサイズが変化する複数の穴を画定する請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 12】

30

第 1 ビーム補強材は、前記アンカーに組み込まれ、
第 2 ビーム補強材は、前記アンカーに組み込まれ、
第 1 ビーム補強材及び第 2 ビーム補強材は、前記アンカーと同時に形成されている請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 13】

第 1 ビーム補強材、第 2 ビーム補強材、または前記第 1 ビーム補強材と第 2 ビーム補強材の両方は、平面状の外表面を有する請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 14】

第 1 ビーム補強材、第 2 ビーム補強材、または第 1 ビーム補強材と第 2 ビーム補強材の両方は、湾曲した外表面を有する請求項 12 に記載のシステム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願

本出願は、2017年7月5日に提出された米国仮出願第62 / 528,886号および2017年7月13日に提出された米国仮出願第62 / 532,195号の利益を主張するものである。

【0002】

技術分野

本発明は、周囲の機械的振動または動きを利用して電気エネルギーを生成するための圧電カンチレバー構造に関する。この圧電カンチレバーは、センサー、電子回路または電子シ

50

システムなどの電気システムに電力を供給するために、エネルギーハーベスティング作用を最適化するための電子動力管理回路に関連して使用できる。

【背景技術】

【0003】

エネルギー供給源においてバッテリーと寿命制限なしで電気エネルギーを生成することは、現在の環境問題に対応するための電子機器の課題の1つである。したがって、エネルギーハーベスティングシステムは、バッテリー代替についての最も関連するソリューションの1つである。圧電カンチレバーバイモルフビーム/構造を利用して周囲の振動エネルギーを集めること（ハーベスティングすること）は、長い間研究されプロトタイプが製造されてきた。図1は、従来技術を表し、アンカーまたはアンカーモジュール2内にしっかりと固定されている典型的なバイモルフカンチレバービーム1の側面図である。アンカーモジュール2内に収容されているカンチレバービーム1の部分は、カンチレバービーム1の「固定された領域」として定義でき、アンカーモジュール2の外側のカンチレバービーム1の部分は、自由長または「曲げ領域」として定義できる。通常、カンチレバービーム1は振動質量3の近くのその自由端で終端され、振動質量3はシステムに望ましい共振周波数を提供するために選択される。このようなシステムの共振周波数は、主にカンチレバービーム1の剛性と、カンチレバービーム1の先端に取り付けられた振動質量3とで決まる。カンチレバービーム1の剛性は、使用する材料の弾性定数と、曲げ領域におけるカンチレバービーム1の長さ及び厚さとに依存する。

【0004】

多くの場合、これらの構造は、デバイスの効率を最大化するための多層構造を示す。カンチレバーバイモルフビームの最も一般的なデザインは、一般に、電極がめっきされた2つの圧電層の間に挟まれたアモルファスシム層（コア）を含み、オプションでビームの端に振動質量が取り付けられている。カンチレバービームは、振動質量が取り付けられている端とは反対側の一方の端でしっかりと支持されている。振動にさらされると、カンチレバービームが規則的に揺れ、その先端が特定の振幅で振動する。この動作中、圧電層に内部歪みが生成され、そして内在的に発生する電荷は、電子動力管理回路で2つの圧電層を接続することにより集められる。

【0005】

振動に強く応答すると、カンチレバービームの原理により、圧電層内およびカンチレバービームに沿って機械的歪みが発生し、電荷が生成される。ただし、ひずみレベルはビームの長軸に規則的に分散されておらず、最大のひずみはカンチレバービームとアンカーモジュール間の接合界面に生じる。そのため、圧電カンチレバービームは、多くの場合、中心層と外層で構成され、これらの層は、構造がビームの主面に直交する方向に曲げられた場合に異なる機械的ストレスにさらされる。厚さ断面におけるビームのシムの対称軸に対応する中心線は、理論的には機械的ストレスを生成せず、ビームの中立軸またはファイバと呼ばれる。また、対向した面に取り付けられ中立軸から離れた他の層には中立軸を隔てる距離に比例してストレスがかかる。さらに、カンチレバービームがアンカーモジュールに埋め込まれている領域は曲がることなく、カンチレバービームとアンカーモジュールによって決まる外部接合界面は、強いストレスが生じうる領域である。これにより、カンチレバービームの構造の機械的制約が指数関数的に上昇する。この領域で観察される非常に高いストレスは、デバイスの信頼性または平均故障間隔（MTBF）に劇的に影響を与える材料の微小亀裂または層間剥離を伴うビームの損傷の原因となる。

【0006】

これまで、信頼性およびロバスト性を改善するために、圧電バイモルフカンチレバービームについていくつかの最適化が開示されている。ベナシュッティD（Benasciutti D.）らの出版物（最適化された形状の圧電バイモルフによる振動エネルギースカベンジング、マイクロシストテクノロ（Microsyst Technol）、2010、pp. 657-668）、及びデフォアスューM（Defosseux, M.）らの出版物（圧電振動エネルギーハーベスティングのさまざまなビーム形状の比較、プロシーディングオブパワーMEMS 2010）においてデザイ

10

20

30

40

50

ンのいくつかの例が開示されており、ここでは、可変幅のカンチレバーが研究されテストされている。ベナシュッティ (Benasciutti) とデフォアスユー (Defosseux) によって提案されたソリューションは、ビームの形状を変更しており、形状が制約される一部のアプリケーションでは機能しない場合がある。セディック B A (Seddik, B. A) らによる別の開示 US 2013/0342075 では、中間シム層の厚さが変化することにより、固定側のストレスが減少し、一定の厚さの構造と比較してよりよいストレスの分布が得られる。残念なことに、このようなシムを作製することは一般的なプロセスではなく、特定のツールを必要とし、シムの厚さの変化を正確に制御する必要がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述の説明を考慮すると、上述の欠点を克服する圧電カンチレバービームのより良いデザインが明らかに必要である。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の概要

本発明の目的は、固定界面で発生する機械的制約およびストレスを制御するために、圧電バイモルフカンチレバービームの新しいデザインおよび関連する製造方法を提供し、それにより動作中の圧電バイモルフカンチレバービームのロバスト性および耐久性を高めることである。構成している複数の層が、同じ厚さを有し、かつ、中立軸またはファイバを対称軸として対称に配置されている圧電バイモルフカンチレバービームの共通構造から、本発明の圧電バイモルフカンチレバービームは、圧電バイモルフカンチレバービームの主面を覆うように設けられたビーム補強部又はビーム補強材を備え、ビーム補強部又はビーム補強材は固定界面から前記ビームの反対側の端に向かってその引張強度が変化する。

【発明の効果】

【0009】

ビーム補強材の存在は、固定界面からビームの反対側の端部に向けて機械的ストレスを徐々に分散させる作用により、ビームの固定界面でのストレスを最小化する。このストレス低減は、固定界面での疲労を軽減するため、動作中のハーベスタの寿命を延ばす。

【0010】

ある実施形態では、ビーム補強材がビームの各面に設けられ、ビーム補強材の引張強度の変化は、その厚さを変えることにより得られる。さらに、厚さの変化がビーム長に平行な座標関数として定義され、最適にデザインされている場合、ビームの最大ストレスは仕様に合わせて調整できる。このような場合、固定界面におけるストレスの減少は、このシステム (ビーム+アンカーモジュール) の全体的な発電出力に影響しない。本発明の第1実施形態の製造および実現の方法を容易にするために、同じ材料で構成された補強材の様々な長さの多重の複数層を使用することによりビーム補強材の変化する厚さを実現できる。各層の長さが適切にデザインされている場合、そのようにして得られた多層構造全体は、変化する厚さを有するビーム補強材と近似することができる。これらの複数の層の厚さと数がこの近似の精度を左右する。極度に単純化すると、1つのレイヤーのみとみなすことができる。

【0011】

他のある実施形態では、補強材の引張強度の変化は、剛性が変化する複数の層を使ってビーム補強材の材料組成を変えること、材料に複数の穴を開けて複数の層を構造化すること、又はビーム補強材の複数の層の内部に1つまたは複数の材料の内包物を設けることにより得られる。得られる剛性に応じて多くの異なる形状と組成を適用でき、異なる引張特性の材料で複数の穴を埋めることができる。

【0012】

さらに他の実施形態では、バイモルフ構造の層厚、特に外層の層厚は、ビーム長に平行な座標に沿って変化し得る。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0013】

本明細書の実施形態は、図解のための添付の図面と説明図と共に以下に説明され、特許請求の範囲を限定するものではない。

【図1】図1は、従来技術で一般的に知られている典型的なパイモルフカンチレバービームの断面図である。

【図2】図2は、2つの圧電層の間に挟まれたシムを有する圧電パイモルフカンチレバービームの断面図である。

【図3】図3は、カンチレバービームシステムで使用されるそれぞれの方向の説明図である。

10

【図4】図4は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第1実施形態の断面図である。

【図5】図5は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第2実施形態の断面図である。

【図6】図6は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第3実施形態の断面図である。

【図7】図7は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第4実施形態の断面図である。

【図8】図8は、ビーム補強材の影響を受けている、カンチレバービームに沿ったストレスの変化を示すグラフである。

20

【図9】図9は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第5実施形態の斜視図である。

【図10】図10は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第6実施形態の斜視図である。

【図11】図11は、本発明に従って作製された圧電パイモルフカンチレバービームシステムの第7実施形態の斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明の例示的な実施形態の詳細な説明

ここで複数の図面と複数の説明図に関して、本発明は、周囲環境の振動から電気エネルギーを直接収集するための圧電パイモルフカンチレバービーム(pBCB)を製造するシステムおよび方法に関する。本発明はパイモルフカンチレバービームに限定されないが、この特定の実施形態は、明確にするために本出願の説明に使用される。本発明において、pBCBは、主に数十Hzの範囲の低周波振動に向けられデザインされており、好ましくは、医療用途のセンサーインプラントまたは産業用途のセンサーノードに統合される小さな寸法および体積を示すようにデザインされている。しかし、本発明はこれらの特定のデザイン上の選択に限定されない。

30

【0015】

動作の原理は、圧電層に生じる機械的ストレスに基づき電極上に電荷が生成され、これらの電荷はその後、バッテリーまたはスーパーキャパシタを充電するか或いはシステムまたはセンサーに電力を供給するための電力管理回路(PMC)によって集められ整流される。カンチレバービーム構造として、pBCBは一般にビーム形状にデザインされており、この厚さ寸法は構造の他の寸法に比べて小さい。そして、振動力は、構造を曲げるために好ましくはデバイスの厚さに垂直な方向に加えられ、従って、好ましい結晶方位で圧電材料にストレスがかかる。

40

【0016】

図2にpBCB10の詳細図が提供されており、ここで、シム30は第1圧電層40aと第2圧電層40bとの間に挟まれ、第1圧電層40aと第2圧電層40bは好ましくはシム30に関して対称に配置される。特に、シム30は、アンカーまたはアンカーモジュール20の内部に入り込み接続された近位端32と、近位端32の反対側の遠位端34また

50

は自由端 3 4 とを有する。第 1 圧電層 4 0 a はシム 3 0 の第 1 主面 3 6 上に積層され、第 2 圧電層は、第 1 主面 3 6 の反対側のシム 3 0 の第 2 主面 3 8 上に積層される。第 1 および第 2 の圧電層 4 0 a、4 0 b の各々は、その表面 4 2 a、4 2 b 上に堆積された電極（図示せず）を有する。通常用いられるように、図 3 に示されるように、主要な直交 3 方向は、p B C B 1 0 を機械的に特徴付ける。ここで、垂直方向 Z が前記 p B C B 1 0 の主面に垂直であり、方向 X および Y は p B C B 1 0 の主面に平行である。図 2 に示されるように、圧電層 4 0 a、4 0 b の各々は、上下に動かされたときに対称的な動作を提供するために実質的に同じ厚さを有することが好ましい。しかし、本発明によれば、複数の圧電層は、以下でさらに議論されるように、異なる厚さでまたは変化する厚さで提供される、或いは異なる表面面積を有する。

10

【 0 0 1 7 】

収集する振動周波数に応じて、p B C B 1 0 の長さおよび剛性はデバイスの共振周波数を左右する、一方、幅寸法は電気出力に比例的に影響する。p B C B 1 0 の長さは、通常、低周波数システム（ $< 100 \text{ Hz}$ ）の場合、数十ミリメートルから 100 ミリメートルまでの範囲にある。p B C B 1 0 の幅は、p B C B 1 0 の全表面（電気出力）を最適化するために決定され、システムの体積拘束に従って微調整される。通常、この幅は長さよりも短く、通常は数ミリメートルから数十ミリメートルの範囲である。中立軸またはファイバを構成するシム層は、全体の厚さを適切な比率に維持しながら、デバイスの圧電材料比率を最大化するために可能な限り薄く決定される。製造プロセスを容易にするため、その厚さは通常約 10 マイクロメートルである。圧電層 4 0 a、4 0 b の両方は、通常、シム 3 0 の厚さ内の中立ファイバを維持するために同じ厚さを有する。圧電層 4 0 a、4 0 b の厚さは、動作周波数およびパワー考察に基づいて決定される。典型的な周波数範囲（数ヘルツから数百ヘルツ）の場合、最小厚さは通常約数マイクロメートルで、最大厚さは数百マイクロメートルまでである。

20

【 0 0 1 8 】

ここで図 4 を参照すると、本発明の例示的なシステムにおいて、アンカーモジュール 2 0 に取り付けられた p B C B 1 0 は、p B C B の両方の主面（例えば、圧電層 4 0 a、4 0 b の外面 4 2 a、4 2 b）に対称的に配置された第 1 ビーム補強材 6 0 a および第 2 ビーム補強材 6 0 b を組み入れている。具体的には、例示的な p B C B 1 0 は、第 1 主面 3 6 と、第 1 主面 3 6 の反対側の第 2 主面 3 8 とを有するシム 3 0 を含む。さらに、シム 3 0 の近位端 3 2 はアンカーモジュール 2 0 に接続し、遠位端 3 4 は近位端 3 2 の反対側である。図示されていないが、p B C B 1 0 の遠位端（すなわち、シム 3 0 の遠位端 3 4 に隣接）は、振動質量を取り付けるように構成されている。

30

【 0 0 1 9 】

例示的な p B C B 1 0 は、シム 3 0 の第 1 主面 3 6 上に積層された第 1 圧電層 4 0 a と、シム 3 0 の第 2 主面 3 8 上に積層された第 2 圧電層 4 0 b とをさらに含む。圧電層 4 0 a、4 0 b のそれぞれは、その外面 4 2 a、4 2 b 上に配置された 1 つ以上の電極（図示せず）を含む。これらの電極は、一般的に幅、すなわち図 1 の Y 方向、が均一であり、p B C B 1 0 の長さ全体に実質的に広がっている。しかし、いくつかの好ましい実施形態では、p B C B 1 0 の自由端での曲げひずみが電荷収集に効率的に貢献するには低すぎるため、これらの電極はシム 3 0 の遠位端 3 4 まで完全には広がっていない。特に、振動質量が p B C B 1 0 に接続されるとき、振動質量と p B C B 1 0 との間の界面では曲げることができない、したがって、この界面に電極が存在する必要はない。これらの電極の厚さは、それらを得るために使用される堆積プロセスに応じて、数百ナノメートルから数マイクロメートルの範囲である。また、これらの電極は、センサまたは電子回路などのシステムの残りの部分に p B C B 1 0 を接続するために、一般的には、アンカーモジュール 2 0 を通って広がっている。しかし、アンカーモジュール 2 0 の下の電極の寄生容量を最小化するために、p B C B 1 0 の幅の小さな部分だけが電極で覆われている、通常は p B C B 1 0 の幅の 4 分の 1 が覆われる。

40

【 0 0 2 0 】

50

加えて、2つの圧電層40a、40bは、直列構成で電氣的に接続されている。そのために、シム30は、圧電層40aおよび40bの両方を電氣的に接続するために導電性でなければならない。したがって、シム30の材料は、銅またはアルミニウムなどの金属製であることが好ましく、一方、圧電層40a、40bは、通常、PZTまたは他の鉛フリー材料（例えば、PNM-PT、BTN）である。

【0021】

前述のように、pBCB10は、第1圧電層40aの外表面42a上に設けられた第1ビーム補強材60aと、第2圧電層40bの外表面40b上に設けられた第2ビーム補強材60bとを含む。図4に示すように、ビーム補強材60a、60bのそれぞれは、変化する厚さを有する。特に、ビーム補強材60a、60bは、それぞれアンカーモジュール20に隣接してすぐにより厚い部分を有し、この厚みは、pBCB10に沿って所定の距離で終端するまでアンカーモジュール20からシム30の遠位端34に向かって減少する。図4に示した実施形態において、ビーム補強材60a、60bの厚さの変化は、長さとの間の線形関数として定義される。すなわち、ビーム補強材60a、60bの外表面62a、62bは、実質的に平面であるか、または線形である。いくつかの実施形態において、ビーム補強材の特定の形状は、構造内のストレスの長手方向成分を考慮したモデリングプロセスに基づいて得られる。特に、補強材で最適に補われた構造の長手方向のストレス成分は、pBCBの自由長全体に沿って一定である。これに到達するために、補強材の形状は、pBCBの自由長のストレスプロファイルの形状に対応するべきである。

【0022】

いくつかの例示的な実施形態では、ビーム補強材は好ましくは対称性を有し、このビーム補強材は好ましくはシムの幅とほぼ同じ幅（すなわち図3のY方向）を有する。ビーム補強材の長さは、特に限定されず、本発明のpBCBの期待応答に応じて変更することができる。すなわち、いくつかの実施形態では、ビーム補強材は実質的にpBCBの長さ全体に広がり、他のいくつかの実施形態では、ビーム補強材はpBCBの長さに沿って途中で終端する。

【0023】

図4に示す例示的なシステムでは、ビーム補強材60a、60bは、アンカーモジュール20に一体化されている（例えば、同時に形成される）。この結果のために、ビーム補強材60a、60bの材料は、アンカーモジュール20の材料と同じであり、例えば、pBCB10を覆うようにポリマー又は複合樹脂をオーバーモールドすることにより形成される。しかし、他の実施形態では、ビーム補強材は、アンカーモジュール20の材料とは異なる密度およびヤング率を有する材料で作られている。例えば、いくつかの実施形態では、ビーム補強材は、金属（例えば、アルミニウム、銅など）、有機材料、または両方の複合物（例えば、FR4、アルミン（alumin）など）で構成され、一方で、アンカーモジュール20は、同様の材料で構成されるか、或いは例えばタンゲステンのようなより重い材料で構成される。ビーム補強材が導電性材料で構成される実施形態では、ビーム補強材自体が電極として機能すると考えられ、したがって圧電層の外表面に付加的な電極が不要になる。

【0024】

前述のように、図4に示される実施形態では、ビーム補強材60a、60bの厚さの変化は、長さとの間の線形関数として定義される。ここで図5を参照すると、もう1つの例示的なシステムでは、ビーム補強材の厚さの変化は非線形関数として定義される。言い換えれば、ビーム補強材の外表面は湾曲する。具体的にいうと、図5に示される例示的なシステムでは、上記のpBCB10と実質的に同じように、例示的なpBCB110は、第1主面136、第1主面136の反対側の第2主面138、アンカーモジュール120に接続される近位端132、および近位端132の反対側の遠位端134を有するシム130を含む。例示的なpBCB110は、上述のpBCB10と実質的に同じように、シム130の第1主面136上に積層された第1圧電層140aと、シム130の第2主面138上に積層された第2圧電層140bとをさらに含む。

【 0 0 2 5 】

また、図 4 のシステムと同じように、第 1 ビーム補強材 1 6 0 a は第 1 圧電層 1 4 0 a の外面 1 4 2 a を覆うように設けられ、第 2 ビーム補強材 1 6 0 b は第 2 圧電層 1 4 0 b の外面 1 4 0 b を覆うように設けられる。しかし、図 4 のシステムとは違って、上述のように、図 5 に示している例示的なシステムでは、ビーム補強材 1 6 0 a、1 6 0 b の厚さの変化は、補強材 1 6 0 a、1 6 0 b の外面 1 6 2 a、1 6 2 b が湾曲するような非線形関数として定義される。もちろん、本発明によれば、ビーム補強材の断面プロファイルは、多くの形態および形状をとることができ、したがって、ある程度のデザインの自由度が与えられる。ここでも、第 1 ビーム補強材 1 6 0 a の外面 1 6 2 a の曲率を、所望の効果に応じて、第 2 ビーム補強材 1 6 0 b の外面 1 6 2 b の曲率と同じにすることもでき異なるものとすることもできる。

10

【 0 0 2 6 】

さらに、図 4 に示されたシステムと同じように、図 5 に図解されているように、p B C B 1 1 0 は、アンカーモジュール 1 2 0 に埋め込まれている。しかし、ビーム補強材 1 6 0 a、1 6 0 b は、アンカーモジュール 1 2 0 と一体化してなく、アンカーモジュール 1 2 0 から独立している。もちろん、図 5 に示したような湾曲したビーム補強材は、図 4 に関して上述した構成と実質的に同じように、アンカーモジュールと一体的に形成することができる。

【 0 0 2 7 】

ここで、図 6 および図 7 を参照すると、本発明のいくつかの実施形態では、p B C B をアンカーモジュールに埋め込むのではなく、p B C B はアンカーモジュールの側面に直接取り付けられる。具体的には、特に図 6 を参照すると、例示的な p B C B 2 1 0 は、第 1 主面 2 3 6 と、第 1 主面 2 3 6 の反対側の第 2 主面 2 3 8 と、アンカーモジュール 2 2 0 の側面 2 2 2 にすぐ隣接して配置される近位端 2 3 2 と、近位端 2 3 2 の反対側の遠位端 2 3 4 とを有するシム 2 3 0 を含む。例示的な p B C B 2 1 0 は、シム 2 3 0 の第 1 主面 2 3 6 上に積層された第 1 圧電層 2 4 0 a と、シム 2 3 0 の第 2 主面 2 3 8 上に積層された第 2 圧電層 2 4 0 b とをさらに含み、この圧電層 2 4 0 a、2 4 0 b は、シム 2 3 0 の実質的に全長に沿って近位端 2 3 2 から遠位端 2 3 4 まで延びている。

20

【 0 0 2 8 】

図 6 に示すシステムでは、ビーム補強材 2 6 0 a、2 6 0 b は、図 5 に関して上述したビーム補強材 1 6 0 a、1 6 0 b と実質的に同じ方法で、圧電層 2 4 0 a、2 4 0 b の外面 2 4 2 a、2 4 2 b 上に形成される。すなわち、ビーム補強材 2 6 0 a、2 6 0 b の外面 2 6 2 a、2 6 2 b は湾曲しており、ビーム補強材 2 6 0 a、2 6 0 b は、アンカーモジュール 2 2 0 と一体化されるのではなく、アンカーモジュール 2 2 0 と p B C B 2 1 0 との間の接合部から始まる。

30

【 0 0 2 9 】

ここで図 7 を参照すると、もう 1 つの例示的な実施形態では、ビーム補強材のそれぞれは、複数の積み重ねられた層から構成される。図 6 に示されるシステムと同じように、図 7 のシステムでは、例示的な p B C B 3 1 0 は、第 1 主面 3 3 6 と、第 1 主面 3 3 6 の反対側の第 2 主面 3 3 8 と、アンカーモジュール 3 2 0 の側面 3 2 2 にすぐ隣接して配置される近位端 3 3 2 と、近位端 3 3 2 の反対側の遠位端 3 3 4 とを有するシム 3 3 0 を含む。例示的な p B C B 3 1 0 は、シム 3 3 0 の第 1 主面 3 3 6 に積層された第 1 圧電層 3 4 0 a と、シム 3 3 0 の第 2 主面 3 3 8 に積層された第 2 圧電層 3 4 0 b とをさらに含み、この圧電層 3 4 0 a、3 4 0 b は、近位端 3 3 2 から遠位端 3 3 4 までシム 3 3 0 の実質的に全長に沿って延びる。

40

【 0 0 3 0 】

上述したように、各ビーム補強材は、それぞれの圧電層 3 4 0 a、3 4 0 b の外面 3 4 2 a、3 4 2 b 上に積層された複数の層 3 7 1 a ~ 3 7 8 a、3 7 1 b ~ 3 7 1 b を含み、複数の層 3 7 1 a ~ 3 7 8 a、3 7 1 b ~ 3 7 1 b のそれぞれはシム 3 3 0 から遠くなると延びている長さが減少する。各層 3 7 1 a ~ 3 7 8 a、3 7 1 b ~ 3 7 1 b の長さが適

50

切にデザインされている場合、そのようにして得られた多層構造全体は、変化する厚さを有するビーム補強材に近似することができる。この複数の層の厚さと数がこの近似の精度を左右する。したがって、積み重ねられた層 371 ~ 378 の全体的な効果は、上述のビーム補強材 60、160、260 と同様に、厚さが減少するビーム補強材を提供する。実際、ビーム補強材の特定の構成に関係なく、図 4 ~ 7 に図解しているように、本発明のいくつかの好ましい実施形態では、ビーム補強材の厚さは、アンカー部材に隣接してすぐが最も厚く、シムの遠位端に向かって延びるに従って厚さが徐々に薄くなると考えられる。

【0031】

多層構造が使用される実施形態では、個々の層の全体の剛性、つまりビーム補強材全体の応答に影響を与える各層の材料の組成を変えることができると考えられる。

【0032】

図 8 のグラフは、一例として、圧電層の自由長 (FL) における外面の 1 つにかかるストレスの縦方向成分のシミュレートされたプロファイルを示している。このグラフでは、ビーム補強材が N 個の真鍮層で形成されている 4 つの例が比較されている、ここで各真鍮層は、4 μ m の厚さを有する真鍮層のそれぞれが FL / (N + 1) で連続して短くなる長さを有する。プロファイル 0 L は、図 2 に示す構造と実質的に同様のビーム補強材のないカンチレバービームである。比較すると、プロファイル 2 L は 2 層で構成される補強材を含むカンチレバービームに対応し、プロファイル 4 L は 4 層で構成される補強材を含むカンチレバービームに対応し、プロファイル 6 L は 6 層で構成される補強材を含むカンチレバービームに対応する。層の数が p B C B に与える影響は、出力パワーと最大ストレスの比として定義される性能指数 (F o M) で表される。各プロファイルの F o M 値は、最大出力パワーを小さな割合だけ低下させるが最大ストレスレベルを大幅に削減する追加した層の増えた数の有益な効果を明らかにする。特に、プロファイル 0 L では F o M は 1 . 4 であり、プロファイル 2 L では F o M は 1 . 7 であり、プロファイル 4 L では F o M は 2 . 1 であり、プロファイル 6 L では F o M は 2 . 1 4 である。

【0033】

ここで図 9 を参照すると、本発明のさらなる別の例示的な実施形態において、p B C B 410 は、その端の 1 つでアンカーモジュール 420 に取り付けられている。明示的に示されていないが、p B C B 410 は、図 4 ~ 図 5 に関して上記で示し説明した方法 (すなわち、p B C B 410 はアンカーモジュール 420 に埋め込まれている) 又は図 6 ~ 図 7 に関して上記で示し説明した方法 (すなわち、p B C B 410 がアンカーモジュール 420 の側面 422 に直接取り付けられている) のどちらか一方でアンカーモジュール 420 に取り付けることができると考えられる。p B C B 410 は、p B C B 410 の一方の面に取り付けられた補強材 460 をさらに含むが、第 2 補強材も p B C B 410 の他方の面に取り付けることができると考えられる。補強材 460 は、補強材 460 の残りの材料が p B C B 410 の長さ (すなわち図 3 の X 方向) に沿ったその引張強度の長手方向の変化を示すように丸い穴 491 ~ 495 を有する。すなわち、アンカーモジュール 420 に隣接してすぐの穴 491 の第 1 列は第 1 直径で定められ、穴 492 の第 2 列は第 1 直径よりも大きい第 2 直径で定められる。同様に、穴 493 の第 3 列、穴 494 の第 4 列、および穴 495 の第 5 列は、それぞれ、徐々に増加する直径を有する。

【0034】

穴 491 の第 1 列のようなより小さい穴では、穴のサイズと補強材 460 の厚さとのアスペクト比は概して 10 : 1 である (例えば、補強材の厚さが十 (10) マイクロメートルのとき、百 (100) マイクロメートルの穴の直径)。一方、穴 495 の第 5 列のようなより大きな穴では、補強材の厚さに関して隣接する 2 つの穴を隔てる壁のアスペクト比も概して 10 : 1 である。

【0035】

配置に関して、一列に並んだ複数の穴の中心は、ビームの X 方向に関して隣接する穴の列と整列しているか、又は穴の中心が隣接する列の最も近い穴によって形成されるセグメントの垂直二等分線上に位置するように交互に配置されている。隣接する列の間の穴の配置

10

20

30

40

50

がどうであれ、同じ列にある穴は、好ましくは、図 3 で定義される X 軸および Z 軸によって形成される p B C B 4 1 0 の中間面に関して対称である。

【 0 0 3 6 】

ここで図 1 0 を参照すると、別の形に成形した穴も考えられる。特に、図 1 0 に示されるように、p B C B 5 1 0 は、その端の 1 つがアンカーモジュール 5 2 0 に取り付けられている。明確に示されていないが、p B C B 5 1 0 は、図 4 ~ 図 5 に関して上述において示され説明された方法（すなわち、p B C B 5 1 0 がアンカーモジュール 5 2 0 に埋め込まれている）又は図 6 ~ 図 7 に関して上述において示され説明された方法（すなわち、p B C B 5 1 0 がアンカーモジュール 5 2 0 の側面 5 2 2 に直接取り付けられている）のどちらか一方でアンカーモジュール 5 2 0 に取り付けることができると考えられる。p B C B 5 1 0 は、p B C B 5 1 0 の一方の面上に取り付けられた補強材 5 6 0 をさらに含むが、p B C B 5 1 0 の他方の面上に第 2 補強材を取り付けることも考えられる。補強材 5 6 0 は、補強材 5 6 0 の残りの材料が p B C B 5 1 0 の長さ（すなわち図 3 の X 方向）に沿ったその引張強度の長手方向の変化を示すように三角形の穴 5 9 1 ~ 5 9 8 を有する。具体的には、図 1 0 に示したように、交互に並ぶ穴列は、向かい合って面している。すなわち、三角形の穴 5 9 1 の第 1 列、三角形の穴 5 9 3 の第 3 列、三角形の穴 5 9 5 の第 5 列、および三角形の穴 5 9 7 の第 7 列のそれぞれは同じ方向を向いており、三角形の穴 5 9 2 の第 2 列、三角形の穴 5 9 4 の第 4 列、三角形の穴 5 9 6 の第 6 列、および三角形の穴 5 9 8 の第 8 列は、反対方向を向いている。さらに、穴 5 9 1 ~ 5 9 8 の列のそれぞれは、サイズが次第に大きくなっている。もちろん、穴の特定の数、配置、および形状は限定されない。

【 0 0 3 7 】

ここで図 1 1 を参照すると、補強材に複数の穴列を含めるのではなく、補強材は、ボディ間の結果的に生じた隙間が補強材の長さに渡って広がるように、補強材の長さに沿って幅が先細りする複数のボディを含むことができる。具体的には、図 1 1 に示されているように、p B C B 6 1 0 は、その端の 1 つにおいてアンカーモジュール 6 2 0 に取り付けられている。明示的に示されていないが、p B C B 6 1 0 は、図 4 ~ 図 5 に関して上記で示し説明した方法（すなわち、p B C B 6 1 0 はアンカーモジュール 6 2 0 に埋め込まれている）又は図 6 ~ 図 7 に関して上記で示し説明した方法（すなわち、p B C B 6 1 0 がアンカーモジュール 6 2 0 の側面 6 2 2 に直接取り付けられている）のどちらか一方でアンカーモジュール 6 2 0 に取り付けることができると考えられる。補強材 6 6 0 は 4 つのボディ 6 9 1 ~ 6 9 4 で構成され、これらのボディは、ボディ間に形成された穴が補強材 6 6 0 の長さにわたって広がるように、補強材 6 6 0 の長さに沿って（すなわち、アンカーモジュール 6 2 0 から p B C B 6 1 0 の遠位端に向かって）幅が先細りになる。図 1 1 に示されるように、補強材のボディ 6 9 1 ~ 6 9 4 は、アンカーモジュール 6 2 0 に隣接している p B C B 6 1 0 の全幅にわたって集合的に広がり、ボディ 6 9 1 ~ 6 9 4 のそれぞれは、ボディ 6 9 1 ~ 6 9 4 がアンカーモジュール 6 2 0 から離れるにつれて実質的に三角形の先細りとなる。もちろん、ボディの特定の数、配置、および形状は限定されない。

【 0 0 3 8 】

図 9 ~ 1 1 に示される例示的な実施形態のように、ビーム補強材の表面領域が一様でない実施形態では、残りの補強材の材料とは異なる材料で穴を埋めてビーム補強材の全体的な剛性に影響を与えることが考えられる。さらに、当然のことながら、一様ではない複数の層は重ねて形成され、ビーム補強材全体の応答のさらなるカスタマイズを提供することができる。

【 0 0 3 9 】

本発明の圧電バイモルフカンチレバービームは、いくつかの製造プロセスで得ることができる。これらに限定されないが例として、スクリーン印刷、インクジェット印刷、ディップコーティング、スピンコーティング、スプレー、スパッタリング、エアロゾルデポジション法、電気泳動、無電解法、又は電気化学的方法などの異なる堆積方法でバイモルフ構造に補強材を付け加えることができる。これらの方法によれば、補強材は、先行する層の

より薄くする必要があるゾーンを隠すためのマスクを使用した後続の堆積ステップにより形成される。

【 0 0 4 0 】

別の方法によれば、補強材は、樹脂（例えば、エポキシ、ポリウレタン、シリコンなど）でオーバーモールドすることにより形成される。有利には、オーバーモールドプロセスにより、補強材の形状を滑らかにすることができる。

【 0 0 4 1 】

さらに別の方法によれば、先に均一な層を形成し、続いて選択的エッチングのようなレーザーアブレーションプロセスにより補強材から材料を除去して穴などの配列を形成することにより、補強材が形成される。

10

【 0 0 4 2 】

当業者は、本発明の教示から逸脱することなく追加の実施形態が可能であることを認識するであろう。この詳細な説明、および特にそこに開示されている例示的な実施形態の特定の詳細は、主に理解を明確にするために与えられており、不必要な制限がそこから理解されるべきではない、改良について、この開示を読むことに基づいて当業者にとって明らかになるだろう、そして本発明の精神または範囲から逸脱することなく行うことができる。

【 0 0 4 3 】

参考文献

[1] ベナシュッティ D (Benasciutti, D.), モロ L (Moro, L.), ゼレニカ S (Zelenika S.), 最適化された形状の圧電バイモルフによる振動エネルギースカベンジング, マイクロシストテクノロ (Microsyst Technol), 2010, pp. 657-668.

20

[2] デフォアスユー M (Defosseux, M.), アラン M (Allain, M.), バスロア S (Basro ur, S.), 圧電振動エネルギーハーベスティングのための異なるビーム形状の比較, プロシーディングオブパワーMEMS 2010, 11月30日 - 12月3日, ルーバン, ベルギー, pp. 339-342.

[2] セディック B A (Seddik, B. A.), デフェイ E (Defay, E.), デスペセ G (Despess e, G.), 機械的エネルギーを電気エネルギーに変換するための最適化されたデバイス, 米国特許No. 2013/0342075.

30

40

50

【図面】

【図 1】

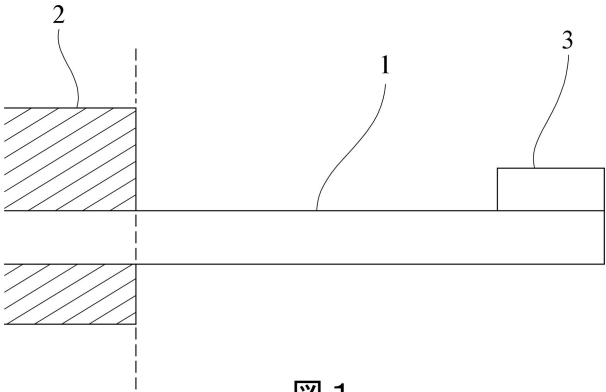


図 1
(従来技術)

【図 2】

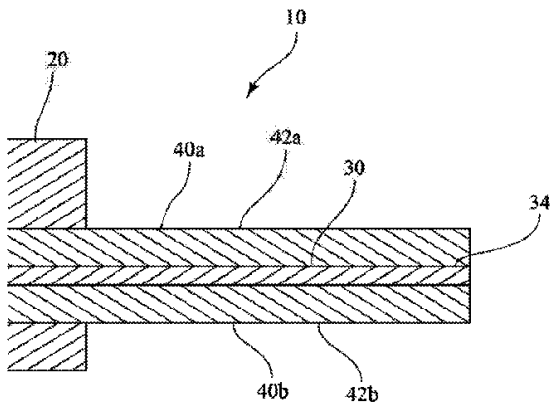


FIG. 2

【図 3】

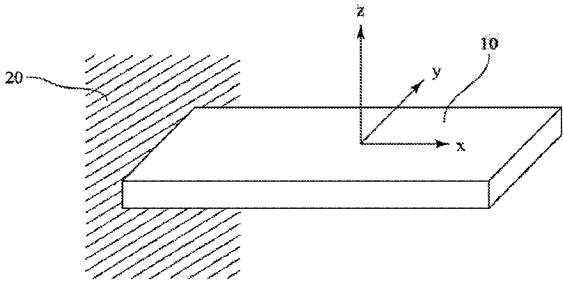


FIG. 3

【図 4】

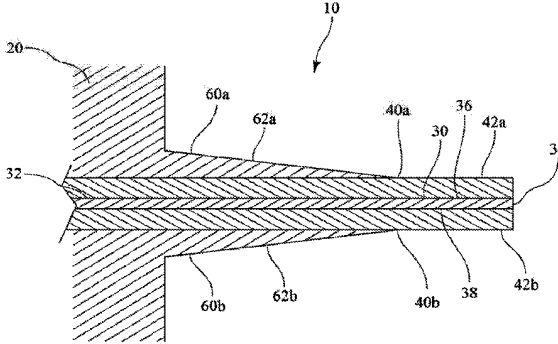


FIG. 4

10

20

30

40

50

【図 5】

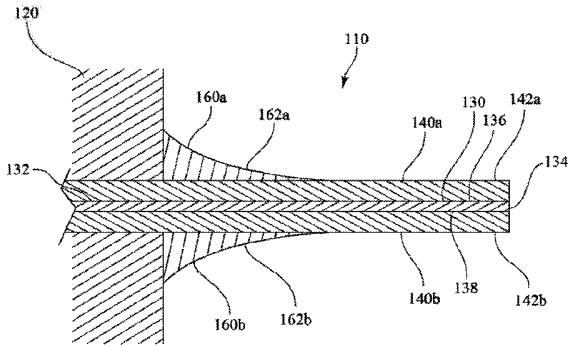


FIG. 5

【図 6】

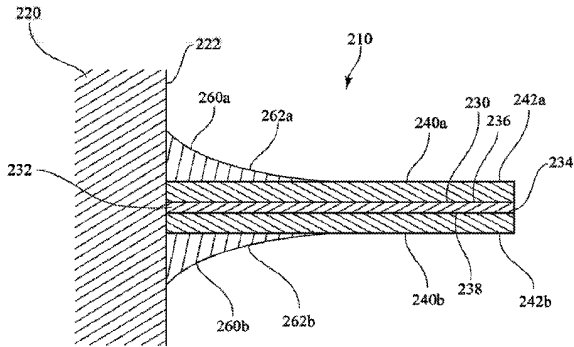


FIG. 6

【図 7】

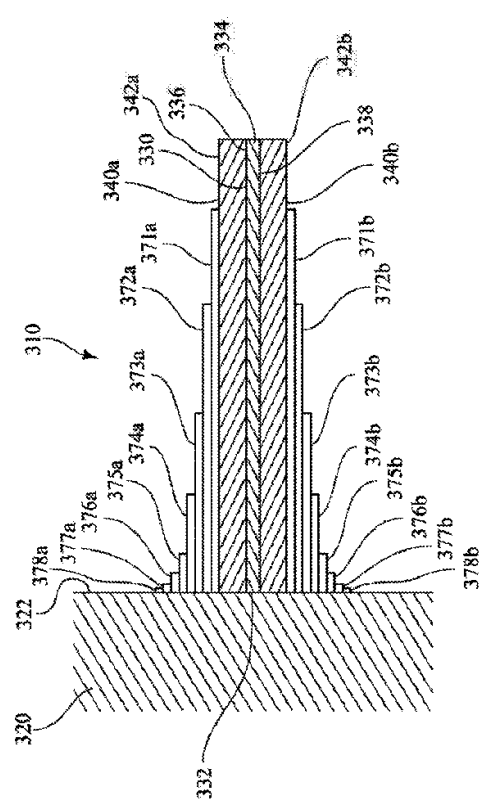


FIG. 7

【図 8】

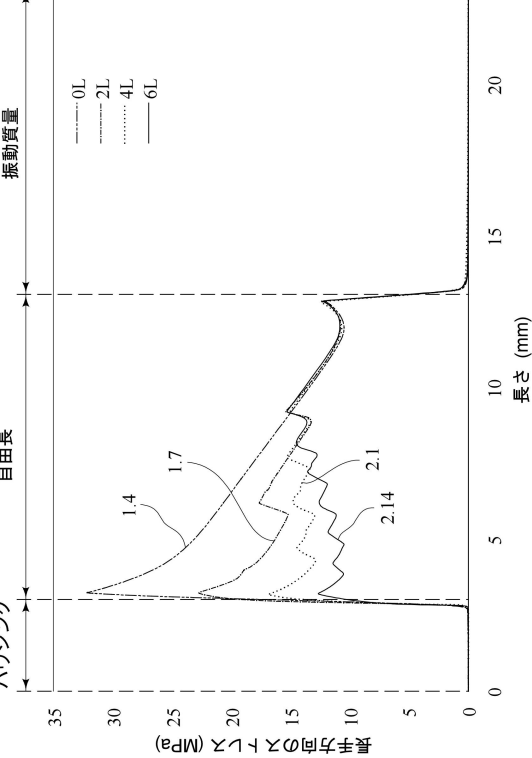


図 8

10

20

30

40

50

【図 9】

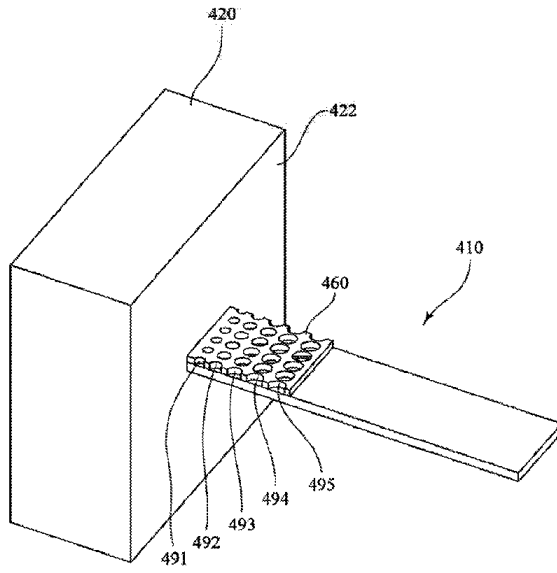


FIG. 9

【図 10】

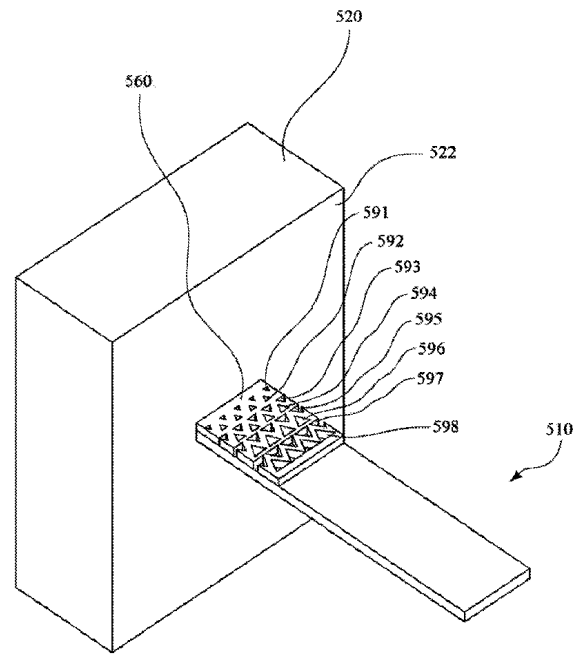


FIG. 10

【図 11】

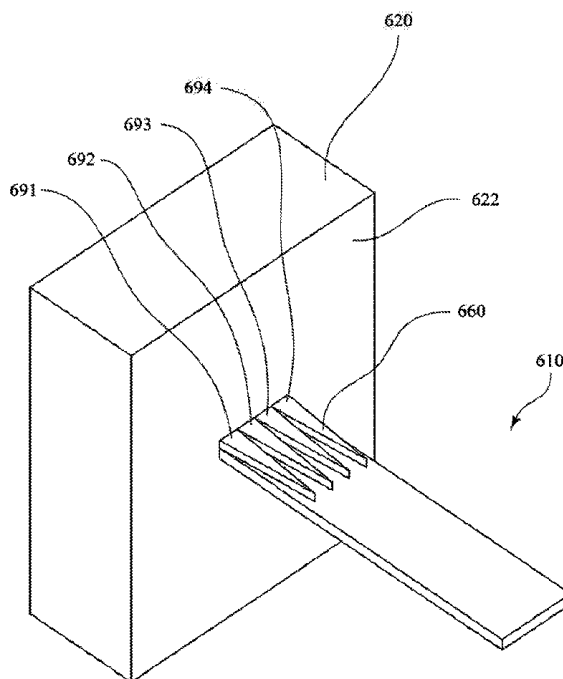


FIG. 11

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

弁理士 野河 信太郎

(74)代理人 100159385

弁理士 甲斐 伸二

(74)代理人 100163407

弁理士 金子 裕輔

(74)代理人 100166936

弁理士 稲本 潔

(74)代理人 100174883

弁理士 富田 雅己

(72)発明者 ルーファー, リボル

フランス、3 8 0 3 1 グルノーブル セデックス、アヴェニュー フェリックス ヴィアレ、4 6、
シーノオー ラボラトワール ティーアイエムエー

(72)発明者 バスラウール, スキャンダー

フランス、3 8 0 3 1 グルノーブル セデックス、アヴェニュー フェリックス ヴィアレ、4 6、
シーノオー ラボラトワール ティーアイエムエー

(72)発明者 トリウー, エミリー

フランス、3 8 0 3 1 グルノーブル セデックス、アヴェニュー フェリックス ヴィアレ、4 6、
シーノオー ラボラトワール ティーアイエムエー

(72)発明者 フェリン, ギヨーム

フランス、3 7 0 3 8 トゥール セデックス 1、ビーピー3 8 1 3、リュ ドゥ ジェネラル ル
ノー 1 8 0、ヴァーモン エス・エー。

(72)発明者 バンティグニーズ, クレール

フランス、3 7 0 3 8 トゥール セデックス 1、ビーピー3 8 1 3、リュ ドゥ ジェネラル ル
ノー 1 8 0、ヴァーモン エス・エー。

(72)発明者 ル カン, フン

フランス、3 7 0 3 8 トゥール セデックス 1、ビーピー3 8 1 3、リュ ドゥ ジェネラル ル
ノー 1 8 0、ヴァーモン エス・エー。

(72)発明者 ロジンスキー, ボグダン

フランス、3 7 0 3 8 トゥール セデックス 1、ビーピー3 8 1 3、リュ ドゥ ジェネラル ル
ノー 1 8 0、ヴァーモン エス・エー。

(72)発明者 ゲン - デイン, アン

フランス、3 7 0 3 8 トゥール セデックス 1、ビーピー3 8 1 3、リュ ドゥ ジェネラル ル
ノー 1 8 0、ヴァーモン エス・エー。

審査官 中島 亮

(56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 2 0 7 5 2 0 (U S , A 1)

特開平 0 6 - 2 0 3 3 5 1 (J P , A)

特開昭 5 6 - 0 9 8 8 8 3 (J P , A)

中国特許出願公開第 1 0 4 0 2 2 6 8 5 (C N , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 0 2 N 2 / 0 0 - 2 / 1 8

H 0 1 L 4 1 / 1 1 3

H 0 1 L 4 1 / 0 5 3