

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-503218
(P2015-503218A)

(43) 公表日 平成27年1月29日(2015.1.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 41/113 (2006.01)	HO 1 L 41/113	3C081
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/09	
HO 1 L 41/193 (2006.01)	HO 1 L 41/193	
HO 1 L 41/45 (2013.01)	HO 1 L 41/45	
HO 1 L 41/313 (2013.01)	HO 1 L 41/313	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-539409 (P2014-539409)
 (86) (22) 出願日 平成24年11月5日 (2012.11.5)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年6月19日 (2014.6.19)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2012/052741
 (87) 国際公開番号 W02013/064841
 (87) 国際公開日 平成25年5月10日 (2013.5.10)
 (31) 優先権主張番号 1119130.1
 (32) 優先日 平成23年11月4日 (2011.11.4)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)
 (31) 優先権主張番号 1119129.3
 (32) 優先日 平成23年11月4日 (2011.11.4)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(71) 出願人 514112064
 アルトエナジス ピーエルシー
 イギリス国 ダブリュ1 ジェイ 6 ビーデー
 ィー グレーターロンドン, ロンドン, パ
 ークレー スクエア, パークレー スクエ
 ア ハウス, セカンド フロアー (番地無
 し)
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ

(57) 【要約】

本発明は、基板(14)上に圧電性材料(12)を含む圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータに関する。圧電性材料は、複数の別個の領域に分割されており、互いに電氣的に絶縁された複数の圧電素子(16)を基板上に提供する。この素子は、好ましくは、片持ち梁の長さに沿って配置されている。圧電層は、片持ち梁の振動のねじりモード(複数可)だけでなく曲げモードにおけるエネルギー回収について、片持ち梁の長手方向に延びる方向に延びる絶縁ギャップで分割又はさらに分割することができる。

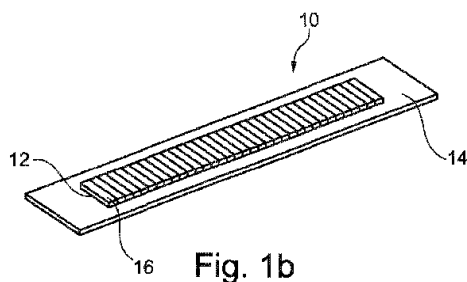


Fig. 1b

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板上に圧電性材料を含む圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータであって、前記圧電性材料は、複数の別個の領域に分割されており、互いに電氣的に絶縁された複数の圧電素子を前記基板上に提供する、

圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 2】

前記圧電素子は、隣接する圧電素子同士の間電氣的な絶縁ギャップを含むアレイとして配置されている、

請求項 1 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

10

【請求項 3】

前記圧電素子は、片持ち梁の長さに沿って配置されている、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 4】

前記片持ち梁には、バランスウェイト又はアンバランスウェイトが設けられている、

請求項 3 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 5】

前記圧電素子は、片持ち梁運動の曲げモードにおけるエネルギー回収について、前記片持ち梁の長さに沿って隣接する圧電素子同士の間電氣的な絶縁ギャップを含む配列として端から端まで配置される、

請求項 3 又は請求項 4 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

20

【請求項 6】

前記圧電層を分割して、2 ~ 30 の間の隣接素子、好ましくは 6 ~ 20 の間の隣接素子、最も好ましくは 20 個の隣接素子を提供する、

請求項 5 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 7】

前記圧電層は、片持ち梁振動のねじりモードにおけるエネルギー回収について、前記片持ち梁の長手方向に延びる絶縁ギャップで分割される又はさらに分割される、

請求項 3 ~ 6 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

30

【請求項 8】

片持ち梁振動のねじり及び曲げモードの両方における同時及び / 又は順次のエネルギー回収のための手段をさらに含む、

請求項 7 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 9】

エネルギー回収のために前記圧電層の中で 1 つ又は複数のセグメント又はグループを選択するための手段をさらに含む、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 10】

前記基板 / 圧電層の厚さの比が、実質的に 1 : 1 ~ 2 : 1 の間にある、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

40

【請求項 11】

前記基板 / 圧電層の厚さの比が、実質的に 1 : 1 又は 2 : 1 である、

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 12】

前記基板材料は、鋼である、

請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエ

50

ータ。

【請求項 13】

前記基板材料が、実質的に 100 ~ 200 マイクロメートルの範囲内の厚さを有する、請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 14】

前記圧電性材料は、両側にアルミニウムの薄い層でコーティングされたポリフッ化ビニリデン (PVDF) の圧電性フィルムを有する、

請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

10

【請求項 15】

前記圧電性材料の少なくとも一つの表面が、表面電流を最小化するように電氣的に不連続にされるように、前記圧電層をセグメントに分ける、

請求項 1 ~ 14 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 16】

一つ又は複数の前記圧電素子が、不規則形状を有する、

請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 17】

少なくとも選択された圧電素子は、異なる形状及び / 又はサイズを有する、

請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

20

【請求項 18】

請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイスを含むセンサ。

【請求項 19】

請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイスを含む無線センサ。

【請求項 20】

前記デバイスの剛性を変化させるために、前記デバイスの圧電層や他の圧電素子に電流を印加するための手段をさらに含んでおり、こうして前記デバイスの固有共振周波数を変化させる、

請求項 18 又は請求項 19 に記載のセンサ。

30

【請求項 21】

請求項 1 ~ 20 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はセンサを含む MEMS デバイス。

【請求項 22】

前記デバイスの圧電層又は他の圧電素子に電流を印加して、前記デバイス又は該デバイスの一部を撓ませるための手段を含む、

請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載のアクチュエータ。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータに関し、排他的なものではないが、具体的には、パイモルフ構成の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

50

圧電性材料は、エネルギー捕集(scavenging)用途のために機械的ひずみを電荷に変換するためのトランスデューサとして使用されてきた。いわゆるバイモルフ構成の圧電式エネルギー回収(harvesting)は、電気エネルギーを発生させるために機械的エネルギーを捕集する最も一般的な方法である。圧電式エネルギー回収は、通常、圧電性材料の層で覆われた片持ち梁を振動させる。圧電性材料は、例えば周辺振動による機械的ひずみを、電気機器に電力を供給するような電荷に変換する。あるいはまた、このようなデバイスは、例えばモータやアクチュエータ用途において電気エネルギーを機械的エネルギーや仕事に逆に変換するように作動させることができる。典型的には、このような装置の片持ち梁の長さ方向は、単一の連続的なストリップを圧電性材料で覆っている。

【0003】

機械-電気変換技術に基づいて、エネルギー回収システムは、特にワイヤレスセンサに電力を供給するために、近年研究対象としてかなりの関心を集めている。このような研究は、圧電、電磁気、及び静電を用いる変換技術に基づいたエネルギー回収の方法論を含む。当然のことながら、圧電式変換は、この分野で最も有望な技術と考えられており、この圧電式変換が、高い電気-機械結合効率を有しており、且つ他の技術と比較して外部電圧源を必要としないので、研究対象として相当注目されている。圧電式変換は、微小電気機械システム(MEMS)や無線センサネットワーク(WSN)等の応用分野で特に関心を集めている。無線センサネットワークは、ネットワークの柔軟性や、過酷な動作環境での実行能力や運用能力の容易性によって環境、健康、セキュリティ、及び軍事用途を含む様々な分野の用途において既存の有線手法と比較して有意な利点を提供する可能性を有している。現在、ほとんどの無線センサネットワークは、電池や、充電式電池又は他の電源を用いており、これらの電源は、高いコストや、バルク、サイズ、短い動作寿命によって適用範囲が制限されている。従って、(例えば、機械的振動を電気に変換する)環境によるエネルギー源から無線センサネットワークやマイクロシステムへ電力を供給するような開発が、近年益々関心を集めている。

【0004】

圧電式電力回収デバイスの広範な用途への実用化を阻害する主な要因は、公知の圧電性材料によって生成される電力量が少ないことである。最近の研究活動は、圧電式エネルギー回収デバイスのエネルギー効率や寿命を改善することに向けられている。これは：帯域幅を増加させる；片持ち梁の共振周波数を調整する；より高い結合効率を有する適切な材料(複数可)を選択する；及びAC-DC変換回路を改良する；ことによって達成することができる。デバイスの構造は、効率に影響を与える主要な因子として認識されている。現在、片持ち梁の構成は、このようなデバイスについて最も一般的な構造である。基板の上部又は下部に取り付けられた圧電性材料を有する片持ち梁の構成は、現在その単純さと良好な結合効率の観点からエネルギー回収のための最適な構造であると考えられている。従来の片持ち梁式エネルギー回収構成は、バルク圧電板又は圧電層に基づいている。しかしながら、公知の圧電性片持ち梁ベースの回収デバイスは、主に振動の曲げ運動/モードで動作する。純粋なねじりモードによって、構造体の表面に生成された電荷は、二つのグループ、正電荷及び負電荷の領域に分類される。これらの領域は、ねじり動作における片持ち梁構造体の対称的なひずみによって、反対極性の同じ量の電荷を有している。正と負の両方の領域が互いに打ち消し合い、正味ゼロの電荷を提供するので、ねじり動作における公知の構成のデバイス表面からの総電気出力は、ゼロになる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従って、改良された圧電エネルギー回収デバイス及び/又はモータ/アクチュエータの逆動作モードのときに、改善された電力消費装置の必要性がある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様によれば、基板上に圧電性材料を含む圧電式エネルギー回収デバイス又

10

20

30

40

50

はアクチュエータが提供される。この圧電性材料は、複数の別個の領域に分割されており、互いに電氣的に絶縁された複数の圧電素子を基板上に提供する。この態様では、本発明者らは、圧電性材料のセグメント化された層と基板層とを有する新規なバイモルフ片持ち梁式エネルギー回収構造を設計した。セグメント化された層は、同じサイズ及び形状の非セグメント化された層を有する公知のデバイスと比較して改善された効率を提供する。こうして、本発明のこの態様に係るデバイスは、逆方向の動作モードで作動している場合、つまりモータやアクチュエータ用途において電気エネルギーを機械的エネルギーや仕事に変換するように構成された場合には、同様の形状及びサイズの公知のデバイスより大きな発電能力及び/又はより大きな効率を有することができる。簡潔にするために、この明細書では、次の用語「エネルギー回収デバイス」は、電流がデバイスに印加されるときに、モータ/アクチュエータ等を逆方向のモードで作動させて運動を提供するように構成されたデバイス等も指す。セグメント化された層を有するデバイスは、非セグメント化層を有する同様のデバイスとは異なる固有振動数を有しており、セグメント化されたデバイスの固有振動数は、予想される動作環境の振動数に合わせることができることを理解されたい。

10

20

30

40

50

【0007】

圧電層は、圧電性材料の少なくとも一つの表面が電氣的に不連続であり、それによって、表面電流が最小化されるようにセグメント化してもよい。

好ましくは、セグメント化された圧電素子は、隣接する圧電素子同士の間電氣的な絶縁ギャップを含むアレイとして配置されている。これは、デバイスを製造するための簡易な構造を提供する。

好ましい実施形態では、圧電素子を、片持ち梁の長さに沿って配置してもよい。なお、本発明は、片持ち梁構成だけでなく他の構成を有するデバイスに同様に適用可能であることを理解されたい。

【0008】

好ましくは、片持ち梁には、バランスウェイト又はアンバランスウェイトが設けられている。多くの用途では、片持ち梁には、このような片持ち梁のバランスを実用的にとるために、アンバランスウェイトを設けることが想定される。

好ましい実施形態では、圧電素子は、片持ち梁運動の曲げモード（複数可）におけるエネルギー回収について、片持ち梁の長さに沿って隣接する圧電素子同士の間電氣的な絶縁ギャップを含む配列として端から端まで配置してもよい。

【0009】

本発明の上述した態様に係る圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータは、圧電層を有しており、この圧電層を分割して、2～30の間の隣接素子、好ましくは6～20の間の隣接素子、最も好ましくは20個の隣接素子を提供する。一実施形態では、本発明者らは、効率は2～30の間の隣接素子で改善されるが、最適な数のセグメント化された隣接素子は、20又はその範囲内にあることを見出した。

【0010】

本発明の上述した態様に係る圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータは、片持ち梁振動のねじりモード（複数可）におけるエネルギー回収について、片持ち梁の長手方向に延びる絶縁ギャップで分割され又はさらに分割された圧電層を有する。振動のねじりモードによって生成された電荷は、使用時に、単一の非セグメント化された層を有する公知のデバイスと同様に分配される。しかしながら、ギャップの隣接する側面の正電荷及び負電荷は、電氣的に接続されないため、互いに相殺されないが、それ以外の場合は、非セグメント化圧電層を有するデバイスのように相殺される。ギャップの両側の圧電層によって生成された電気エネルギーは、デバイスの電力生成能力を改善するために上乘せすることができる。このギャップによって、セグメントを電氣的に絶縁して、曲げ及びねじりモード/運動の両方でエネルギー回収を可能にする。

【0011】

好ましい実施形態では、圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータは、片持ち

梁振動のねじり及び曲げモードの両方における同時及び／又は順次の電気エネルギー回収のための手段をさらに含む。このようにして、エネルギーを、複数の振動モードにおいて単一のデバイスから回収して、デバイスが生成することができる電力量を最大化させることができる。

【0012】

圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータは、1つ又は複数の振動モードにおけるエネルギー回収について、圧電層の中で1つ又は複数のセグメント又はグループを選択するための手段をさらに含む。このようにして、デバイス、より具体的には圧電層の選択された面積又は領域のみを、エネルギー回収のために選択することができる。基板又は他の基準に対して最大の電位差を有する面積又は領域を選択して、1つ又は複数の振動モードでのデバイスの効率を最大化することができる。選択されたセグメントや領域によって生成されるエネルギーを合計して、デバイスの出力を増加させることができる。

10

【0013】

本発明者らは、片持ち梁の端部に固定された支持基板及びアンバランス質量体を含んだ状態で、2つの別々の部品に分割された圧電層を有する圧電性片持ち梁式エネルギー回収デバイスやアクチュエータの実験的検討によって、この構成が、曲げ及びねじりモード／運動の両方でエネルギー変換を可能にすることを実証した。ねじりモードは、片持ち梁について低次の曲げモードよりも高い固有周波数を有する傾向があるので、デバイスの使用可能な帯域幅は、曲げ及びねじりモードの両方で、基本波及び高次モードの両方で、エネルギーを回収することによって改善されることを理解されたい。

20

【0014】

好ましい実施形態では、基板／圧電層の厚さの比が、実質的に1:1~2:1の間であり、好ましくは、基板／圧電層の厚さ比は、実質的に1:1又は2:1である。圧電体と基板との間の厚さの比は、エネルギー回収デバイスの性能の観点から重要な因子である。最適な厚さの比は、デバイスのサイズ及び形状（幅及び長さ）とは無関係であり、いくつかの実施形態では、エネルギー回収のための最適な厚さの比は、約1:1であることが見出されている。

好ましくは、基板材料は、鋼である。

【0015】

好ましい実施形態では、基板材料は、実質的に100~200マイクロメートルの範囲内の厚さを有する。基板材料として鋼を有するデバイスでは、蓄積されたエネルギー及び開回路電圧は、鋼製基板の厚さが、1:1及び2:1の厚さの比に対応するような100又は200マイクロメートルである場合に、最大化されることが見出されている。

30

好ましくは、圧電性材料は、両側にアルミニウムの薄い層でコーティングされたポリフッ化ビニリデン（PVDF）の圧電性フィルムを有する。

【0016】

本発明は、本発明の上述した態様に係る圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータを有するようなセンサや、無線センサ又はMEMSデバイスを含む他の態様も企図する。

本発明は、デバイスの剛性を変化させるために、デバイスの圧電層や他の圧電素子に電流を印加するための手段をさらに含んでおり、こうして、デバイスの固有共振周波数を変化させるようなセンサや無線センサも企図する。これは、センサの感度を変化させるような実施形態において有用となる。

40

【0017】

本発明は、デバイスの圧電層又は他の圧電素子に電流を印加して、デバイス又はこのデバイスの一部を撓ませるための手段をさらに含むような圧電アクチュエータも企図する。本発明のこの態様によって、例えば駆動力を提供するために運動が必要とされる用途において特定の用途が見出された。

本発明の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータは、不規則形状を有する1つ又は複数の圧電素子を含んでもよい。例えば矩形等の規則的な形状の代わりに、1つ又

50

は複数、或いは全ての素子を、不規則形状としてもよい。

【 0 0 1 8 】

本発明の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータは、異なる形状及び/又はサイズを有する圧電素子を含んでもよい。こうして、選択された1つ又は複数の圧電素子は、デバイスのある領域でより大きな効率のために選択された1つの特定の形状及びサイズを有してもよく、及び他の素子のグループからなる他の素子を有してもよい。特定の実施形態では、全ての圧電素子が、異なる形状及びサイズであってもよいことを理解されるであろう。

本発明は、添付図面を参照しながら、ほんの一例として、ここでより具体的に説明する。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

【 図 1 a 】 従来のバルク・バイモルフ型圧電式回収デバイスの概略構成を示す図である。

【 図 1 b 】 20個にセグメント化された圧電式回収デバイスの概略構成を示す図であり、ここで圧電層の寸法は、長さ14mm、幅2mm、厚さ0.2mmである。圧電層の0.05mmのギャップを有するセグメントは、軸線Xに沿って均一に配置されている。

【 図 1 c 】 セグメント化されたFEモデルのメッシュである。

【 図 2 】 公知のバルクプレート構成、及び本発明の実施形態に係るエネルギー回収デバイスの6個、20個にセグメント化された構成の軸線Xに沿った表面電位を示すグラフである。

20

【 図 3 】 公知のバルクプレート構成、及び図2のようにセグメント化された構成の軸線Xに沿った電気変位のグラフである。

【 図 4 】 蓄積された電気エネルギー対セグメント化された圧電層を有するデバイスにおける別々のセグメント数のグラフ特徴である。

【 図 5 】 公知のバルク層構成及び20個にセグメント化された層デバイスの動的応答を示すグラフである。

【 図 6 】 エネルギー回収デバイスについて公知の単一（又はバルク）圧電層の片持ち梁構造の概略図である。

【 図 7 】 本発明の一実施形態に係るエネルギー回収デバイスについての分割フィルム状圧電層の片持ち梁構造の概略図である。

30

【 図 8 】 従来のバルク層構造体の周波数応答を示す図である。

【 図 9 a 】 図7の構成における1つのフィルム（又はセグメント）の周波数応答を示す図である。

【 図 9 b 】 図7の構成における隣接するフィルム（又はセグメント）の周波数応答を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 0 】

前述したように、従来の片持ち梁式エネルギー回収構成は、例えば図1aに示されるように、バルク圧電板又は層に基づくものである。より高い出力電力を実現するため、本発明者らは、より大きなエネルギー回収効率が、圧電性材料12のセグメント化された層と基板層14とを有するバイモルフ片持ち梁式エネルギー回収構成10で実現されることを見出した。これらの例が、図1bに示され、FEモデルが図1cに示される。本発明のエネルギー回収デバイスの効率性の向上は、発明者らによって、従来の構成（図1a）や様々なセグメント化された図1bの構成（すなわち、様々な数でセグメント化され、電氣的に分離された圧電素子16）を使用する有限要素法（FEM）を用いた比較検討を次から次に行うことによって実証された。図1aに示される公知の構成では、非セグメント化された圧電性材料12aの層が、基板14a上に示されている。

40

【 0 0 2 1 】

技術背景として、圧電式エネルギー回収の方法は、以下の理論に基づいている。

圧電効果、電場と構造体との間における相互作用は、1880年にキュリー夫妻によっ

50

て発見された。圧電式エネルギー回収は、機械的な応力を与えた場合に電荷を生成するような活性材料を用いる。パイモルフ片持ち梁のひずみ、応力、電場、及び電気変位の間にある関係は、ひずみ - 電荷の形式で表された数式によって支配されている。

$$S = s^E T + d^T E \quad (1)$$

$$D = {}^T E + d T \quad (2)$$

ここで、 S は機械的なひずみベクトルであり、 T は機械的な応力ベクトルであり、 s^E は弾性コンプライアンステンソルであり、 d は圧電ひずみ定数であり、 D は電気変位ベクトルであり、 E は電場ベクトルであり、 T は誘電体の誘電率テンソルである。

【0022】

図1bに示されるパイモルフ片持ち梁式エネルギー回収構成10は、圧電性材料12のセグメント化された層と基板層(単結晶シリコン)14とを有する。圧電性材料は、標準CMOS技術、生体適合性、優れた圧電係数、優れた電気機械結合係数、低誘電率、及び高ヤング率と適合するように、好ましくは窒化アルミニウム(AlN)である。圧電層は、基板の長さに沿ってセグメント化又は分割されており、それによって、各セグメントは、圧電層における比較的小さな絶縁ギャップ又は不連続性によって圧電素子の隣接するセグメントから電氣的に絶縁されるような別個の圧電素子を提供する。示される例では、ギャップは、隣接する圧電素子16同士の間を示されており、これらの圧電素子は、圧電層及び基板を含む片持ち梁の長手方向に垂直に延びるギャップを含む1次元アレイとして基板の長さに沿って配置されている。ひずみによって圧電層12上に誘導される電荷は以下の式から決定することができることを理解されたい。

【0023】

【数1】

$$Q_{out} = \int_{A_p} D_{z,p} dA_p \quad (3)$$

ここで、 $D_{z,p}$ は電気変位であり、 A_p は圧電体の面積である。セグメント化された回収デバイスの蓄積された電気エネルギー E_{stored} は、以下のように表すことができる。

【0024】

【数2】

$$E_{stored} = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i \cdot V_i}{2} = \sum_{i=1}^N \frac{C_i \cdot V_i^2}{2} = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i^2}{2C_i} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \frac{(\int_{A_{p,i}} D_{z,p,i} dA_{p,i})^2}{C_i} \quad (4)$$

ここで、 Q_i 、 V_i 、 C_i 、 $D_{z,p,i}$ 、 $A_{p,i}$ は、 i 番目のセグメント化された圧電ピースに誘導された電荷、電圧、容量、電気変位、面積である。従来の構成では、 $N = 1$ である。誘導された電気エネルギーは、式(4)から電気変位の二乗値に比例することが分かる。軸線Yに沿った電気変位分布が、ここで適用される構造において均一であるので、圧電性材料の蓄積された電気エネルギーは、X軸に沿った電気変位分布に依存する。

【0025】

FEMに基づいた典型的なモデリング及びシミュレーションは、高効率のエネルギー回収デバイスの性能を検討し且つ予測するための標準的な手順である。図1cに示されるFEMは、市販のソフトウェア-COMSOLを用いてモデリングしたものである。本発明者らは、1~30までの様々なセグメント構成を検討した、すなわち、圧電性材料の中で

2個～30個に分離し且つ電氣的に絶縁されたセグメントに変えて、様々な程度のセグメントでのFEMのモデリングを行った。20個のセグメント構成の場合では、例として説明されるFEMメッシュは、総数106015の自由度を有する2328の圧電素子を含む。各材料層は、厚さに沿って離間した3つの直線状素子に分割される(図1c)。窒化アルミニウムの特性は、COMSOLによって提供される。支持構造体-シリコンについて、この例では、以下の材料特性をモデルに適用した:ヤング率 $E = 205 \text{ GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.28$ 及び密度 $\rho = 2,330 \text{ kg/m}^3$ 。図1bに示される 0.01 N の点力がここで加えられ、デバイス上に機械的ひずみを誘発する。静的モードでの出力電圧及び蓄積された電気エネルギーや、その動的応答が、FEMモデルを用いて決定される。

【0026】

圧電層内の2～30の別個のセグメント又は圧電素子に基づくFEMを検討した。いくつかの代表的な構成、例えばバルクや6個及び20個のセグメントの軸線Xに沿った表面電位及び電気変位の予測値が、図2及び図3にそれぞれ示されている。静的モードで蓄積された電気エネルギーは、式(4)に従って計算される。なお、図4から、圧電層を20ピースに分割するとき、蓄積された電気エネルギーは、検討された特定のFEMにおいて最大値を有することが分かる。

【0027】

動的モードでは、図5に示されるように、バルク構成(ゼロのセグメント)の蓄積された電気エネルギーは、 1120 Hz の共振周波数で $1.98 \times 10^{-9} \text{ J}$ であるが、20個にセグメント化された構成の蓄積された電気エネルギーは、 1120 Hz の共振周波数で $3.86 \times 10^{-9} \text{ J}$ である。

【0028】

要約すると、本発明者らは、AlN系の様々なセグメント化された圧電層のエネルギー回収の静的及び動的な性能の両方を検討した。これらの構成の理論解析及びシミュレーション結果は、セグメント化された構成では、公知の構造、すなわち非セグメント化された構成よりもより高い電気エネルギー出力を有することを示した。また、セグメント化された構成は、より低い共振周波数を有しており、この共振周波数は、周辺の振動周波数に一致させ、且つ本発明のこの態様に係るエネルギー回収デバイスの出力電力を増加させる能力を増大させる。

【0029】

ここで図6～9bを参照すると、図7に示される圧電性片持ち梁式エネルギー回収デバイス20のさらなる実施形態は、実質的に同じサイズ及び形状の長手方向に平行に延びる隣接するストリップ24及び26のペアとして分割された圧電層22と、支持基板28と、片持ち梁基板の自由端又は遠位端に固定されたアンバランス質量体30とを有する。この実施形態では、圧電ストリップ24及び26は、ストリップ同士の間の圧電性材料の長手方向ギャップ32によって互い電氣的に絶縁されている。さらに説明するように、この配置は、曲げ及びねじりモード/運動の両方でのエネルギー変換を可能にする。

【0030】

なお、この実施形態では、純粋なねじり運動/モードでは、2つの圧電ストリップ24及び26によって生成された電荷は、各ストリップで多少なりとも等しいことを理解されたい。しかしながら、各ストリップによって生成された電荷は、反対側の極性、一方が正極性、他方が負極性を有することになる。この実施形態では、圧電ストリップは、使用中に、図1aに示した公知の構成のように、2つの圧電ストリップが、圧電層の中間の細かいギャップ32によって電氣的に分離されるので、互いに相殺しないような別個の圧電素子を規定する。

【0031】

さらなる実験的検討では、本発明のこの実施形態に従って構成されたバイモルフ型圧電エネルギー回収デバイス(図7)の性能特性と、図1aに示され且つバルク層構成として以前説明した形態と同様の公知の構造の素子(図6)との間で直接比較を行った。実験的検討における両方のデバイスは、前述したような本実施形態に係るデバイスにおいて圧電

10

20

30

40

50

層を平行なストリップに分割した状態で、P V D F 材料の圧電層と薄い鋼製基板片持ち梁を用いて構成した。

【 0 0 3 2 】

図 6 及び図 7 の両方のデバイスは、両側にアルミニウムの薄層でコーティングされたポリフッ化ビニリデン (P V D F) 圧電フィルムと鋼製片持ち梁基板とを含む圧電性片持ち梁構造を有する。P V D F フィルムは、導電性エポキシによって鋼製片持ち梁基板上に接合される。この点において、フィルムの片面が鋼製基板に接続されており、他面が開いた状態であることを理解されたい。9 mm × 8 mm × 6 mm 寸法のアンバランス鋼質量体が、片持ち梁の自由端又は遠位端に非導電性エポキシで接合されている。

【 0 0 3 3 】

鋼製基板及び圧電性 P V D F フィルムの寸法を示す構造が、図 6 及び図 7 に示されている。図 7 の分割フィルム状片持ち梁の実施形態は、基板表面に固定された 2 つの薄い P V D F フィルムで構成される。図 6 及び図 7 では、それぞれの片持ち梁の幅広の近位端が、上述した実験的検討の目的のために、加振台 (図示せず) に取り付けられたホルダ (図示せず) 上に固定されることを理解されたい。

【 0 0 3 4 】

上述した検討では、機械的加振器 (L D S V 4 0 6) を、振動する機械的な力を生成するために使用した。加振器は、加振器端子に 8 0 0 m V ピーク間正弦波信号を生成する発振機能をプログラム可能な市販の T T i T G 1 0 1 0 によって駆動させた。圧電フィルムの出力は、オシロスコープに接続させた。

【 0 0 3 5 】

実験により決定されたような、図 6 及び図 7 の両方の圧電構造体の周波数応答特性 (電圧対周波数) がそれぞれ、図 8、図 9 a 及び図 9 b に表されている。図 6 の公知の構成について、デバイスの出力端子は、P V D F フィルムの上面と基板端子とに存在している。図 8 は、様々な機械的な励起周波数における公知の構造の応答を示している。1 6 . 4 H z、1 9 5 H z、及び 5 9 0 H z において 3 つの主なピークがあることが分かる。異なる共振周波数での出力電圧間には相当な差があることに留意されたい。最大電圧は、1 9 5 H z で 4 . 8 V のピーク値を発生する。

【 0 0 3 6 】

図 7 の構成では、両方のフィルムについての出力電圧が、それぞれのフィルムと基板との間で測定される。図 9 a 及び図 9 b は、上側及び下側フィルムそれぞれの周波数応答を示している。一方のフィルムをこれ以降上側フィルムと呼称し、この上側フィルムは、4 つの主なピーク (図 6 の公知の構成よりも 1 つ多いピーク) を有しており、他方のフィルムをこれ以降下側フィルムと呼称し、この下側フィルムは、3 つの主なピークを有している。図 9 a では、3 つのピークは、単一フィルムのピークに近い周波数 (1 8 H z、2 0 0 H z、及び 6 3 0 H z) に存在する。残りのピークは、5 7 5 H z に存在する。下側フィルムについて、5 7 5 H z のピークは明らかではないが、代わりに、6 3 0 H z 付近に中心がある幅広のガウス分布曲線が示されている。振幅に関して、公知の構造体は、実験で用いた公知の構造体の圧電性材料の面積よりはるかに大きいので、新たな構造体より高い電圧を生成する。従来の構造体の最大電圧は、4 . 8 V として測定され、新しいデバイスの 1 つのフィルムの最大測定電圧は、1 . 1 4 V である。

【 0 0 3 7 】

1 5 ~ 2 0 H z 付近の低い周波数領域では、公知の構造体及び分割フィルム状構造体の両方は、機械的な共振を有する。公知の構造体の場合には、機械的な加振器が、1 6 . 5 H z の共振周波数で 8 0 0 m V ピーク間の正弦波入力信号を有するときに、出力信号は、線形であり且つ小さな位相だけ遅れることが観察された。この周波数でのピーク間電圧は、2 . 3 2 V である。分割フィルム状デバイスの出力は、ほぼ同じ共振周波数 (1 8 H z) で測定され、同じ入力条件下での上下のフィルム両方の出力は、各フィルムについて約 1 V ピーク間として観測された。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

理論を検証するために、分割フィルム状圧電性片持ち梁を曲げ及びねじりモードで動作させたが、本発明者らは、18 Hz 及び 200 Hz において両方のフィルムの出力電圧が観測された。フィルムの出力は、圧電性分割フィルム構造体がこれらの周波数で曲げモードであることを示すようなほぼ同相となることを見出された。560 Hz での上下のフィルム間で観測された 180° の位相シフトは、この周波数での実験する分割フィルム構造体の共振モードが、ねじり成分を有することが示された。分割フィルム構造体の両方のフィルムの出力が、外部の移相調整機を用いて組み合わせられている場合には、出力電力の大幅な増加を有した状態で、2.5 V ピーク間電圧が達成されることを理解すべきである。

【0039】

要約すると、図6～図9bは、曲げ及びねじり運動の両方でエネルギー回収の利点を有する新規の圧電式エネルギー回収構造体の実験による検証を説明した。公知のデバイスと比較して、分割したフィルム構造体は、共通基板上に2つの分割した圧電フィルムを含む。公知の及び分割フィルム状圧電性片持ち梁構造体の両方を試験して、周波数応答及び電力出力に関して特徴付けを行った。実験によって、本発明者らは、分割フィルム構造体が、曲げ及びねじり運動の両方でエネルギー回収を行うことが確認できた。

【図1a】

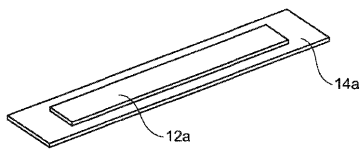


Fig. 1a

【図1b】

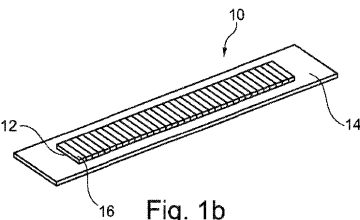


Fig. 1b

【図1c】

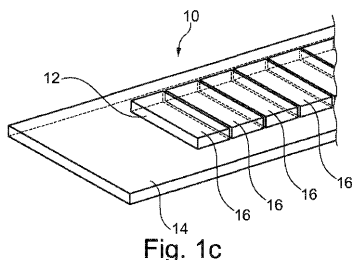
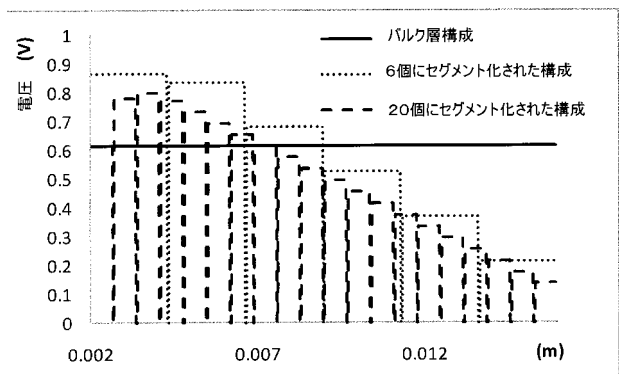
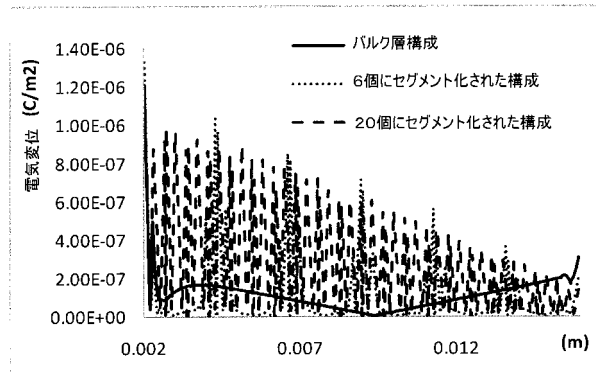


Fig. 1c

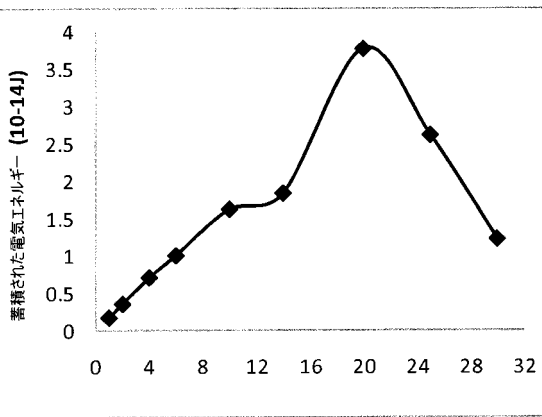
【図2】



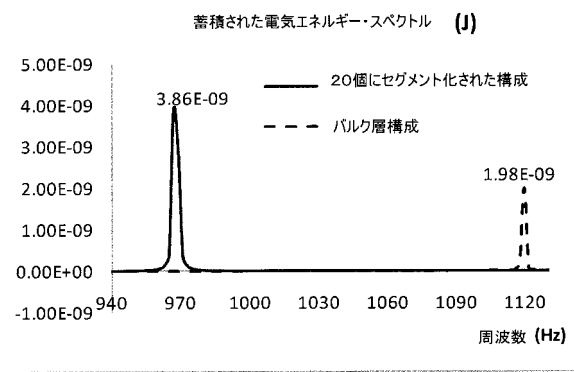
【図3】



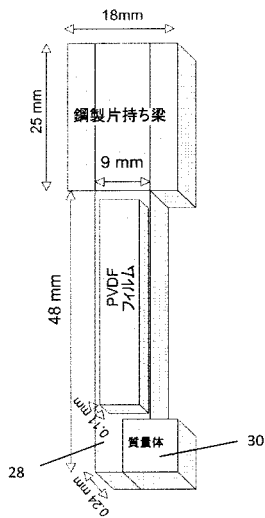
【 図 4 】



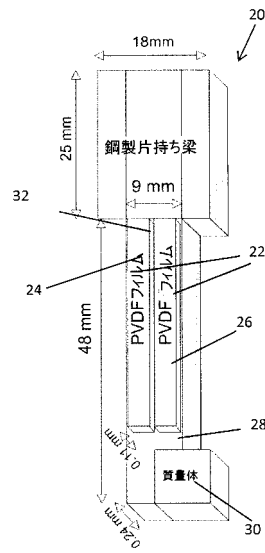
【 図 5 】



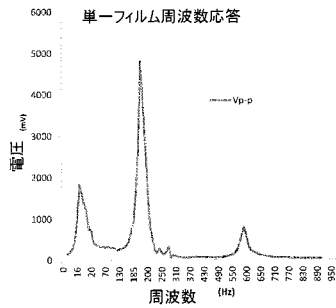
【 図 6 】



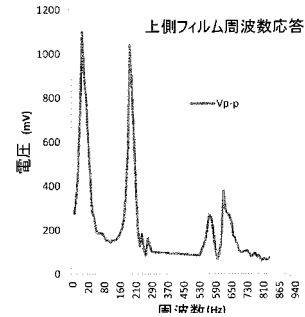
【 図 7 】



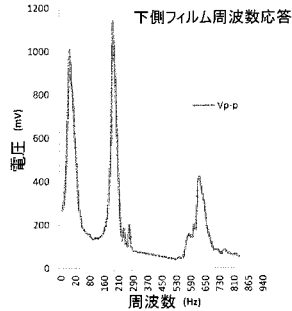
【 図 8 】



【 図 9 b 】



【 図 9 a 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】平成25年9月3日 (2013.9.3)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】全文

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

基板上に圧電性材料を含む圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータであって、前記圧電性材料は、複数の別個の領域に分割されており、互いに電氣的に絶縁された複数の圧電素子を前記基板上に提供し、

前記圧電素子は、片持ち梁の長さに沿って配置されており、前記圧電層は、片持ち梁振動のねじりモードにおけるエネルギー回収について、前記片持ち梁の長手方向に延びる絶縁ギャップで分割される又はさらに分割される、

圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【 請求項 2 】

前記圧電素子は、隣接する圧電素子同士の間電氣的な絶縁ギャップを含むアレイとして配置されている、

請求項 1 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【 請求項 3 】

前記片持ち梁には、バランスウェイト又はアンバランスウェイトが設けられている、

請求項 1 又は 2 に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【 請求項 4 】

前記圧電素子は、片持ち梁運動の曲げモードにおけるエネルギー回収について、前記片

持ち梁の長さに沿って隣接する圧電素子同士の間には絶縁ギャップを含む配列として端から端まで配置される、

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 5】

片持ち梁振動のねじり及び曲げモードの両方における同時及び / 又は順次のエネルギー回収のための手段をさらに含む、

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 6】

前記圧電層を分割して、2 ~ 30 の間の隣接素子、好ましくは 6 ~ 20 の間の隣接素子、最も好ましくは 20 個の隣接素子を提供する、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 7】

エネルギー回収のために前記圧電層の中で 1 つ又は複数のセグメント又はグループを選択するための手段をさらに含む、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 8】

前記基板 / 圧電層の厚さの比が、実質的に 1 : 1 ~ 2 : 1 の間にある、

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 9】

前記基板 / 圧電層の厚さの比が、実質的に 1 : 1 又は 2 : 1 である、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 10】

前記基板材料は、鋼である、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 11】

前記基板材料が、実質的に 100 ~ 200 マイクロメートルの範囲内の厚さを有する、

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 12】

前記圧電性材料は、両側にアルミニウムの薄い層でコーティングされたポリフッ化ビニリデン (PVDF) の圧電性フィルムを有する、

請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 13】

前記圧電性材料の少なくとも一つの表面が、表面電流を最小化するように電氣的に不連続にされるように、前記圧電層をセグメントに分ける、

請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 14】

一つ又は複数の前記圧電素子が、不規則形状を有する、

請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 15】

少なくとも選択された圧電素子は、異なる形状及び/又はサイズを有する、
請求項 1 ~ 1 4 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はアクチュエータ。

【請求項 1 6】

請求項 1 ~ 1 5 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイスを含むセンサ。

【請求項 1 7】

請求項 1 ~ 1 5 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイスを含む無線センサ。

【請求項 1 8】

前記デバイスの剛性を変化させるために、前記デバイスの圧電層や他の圧電素子に電流を印加するための手段をさらに含んでおり、こうして前記デバイスの固有共振周波数を変化させる、

請求項 1 6 又は請求項 1 7 に記載のセンサ。

【請求項 1 9】

請求項 1 ~ 1 8 のいずれか一項に記載の圧電式エネルギー回収デバイス又はセンサを含む MEMS デバイス。

【請求項 2 0】

前記デバイスの圧電層又は他の圧電素子に電流を印加して、前記デバイス又は該デバイスの一部を撓ませるための手段を含む、

請求項 1 ~ 1 5 のいずれか一項に記載のアクチュエータ。

—

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/GB2012/052741

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L41/09 H01L41/113 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2010 018875 A1 (SIEMENS AG [DE]) 3 November 2011 (2011-11-03) paragraphs [0002], [0003], [0025] - [0041]; figures 1-3 -----	1,3,5,6, 9,17-22
X	US 2007/125176 A1 (LIU YUE [US]) 7 June 2007 (2007-06-07) paragraphs [0021] - [0028]; figures 1,3 -----	1-8,10, 11,13, 15-22
X	EP 2 109 217 A2 (STICHTING IMEC NEDERLAND [NL]) 14 October 2009 (2009-10-14) paragraphs [0033] - [0038]; figures 1-4 -----	1,2,12, 14,17-22
X	US 7 839 058 B1 (CHURCHILL DAVID L [US] ET AL) 23 November 2010 (2010-11-23) column 3, line 42 - column 6, line 62; figures 1-4 -----	1,2,12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 14 January 2013		Date of mailing of the international search report 31/01/2013
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Steiner, Markus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/GB2012/052741

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102010018875 A1	03-11-2011	DE 102010018875 A1 WO 2011134789 A1	03-11-2011 03-11-2011
US 2007125176 A1	07-06-2007	NONE	
EP 2109217 A2	14-10-2009	EP 2109217 A2 US 2009284102 A1	14-10-2009 19-11-2009
US 7839058 B1	23-11-2010	US 7839058 B1 US 8134282 B1 US 8154177 B1 US 8319402 B1	23-11-2010 13-03-2012 10-04-2012 27-11-2012

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 41/053 (2006.01)	H 0 1 L 41/053	
H 0 2 N 2/18 (2006.01)	H 0 2 N 2/00	A
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00	

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

(72) 発明者 リィ, リージェ

イギリス国 エスエー 2 8 ビーピー ウェスト グラモーガン, スウォンジー, シングルトン
パーク, スウォンジー ユニヴァーシティ, デパートメント オブ リサーチ アンド イノベ
ーション内(番地無し)

(72) 発明者 ロナン, ジェラード アンソニー

イギリス国 エスエー 2 8 ビーピー ウェスト グラモーガン, スウォンジー, シングルトン
パーク, スウォンジー ユニヴァーシティ, デパートメント オブ リサーチ アンド イノベ
ーション内(番地無し)

Fターム(参考) 3C081 AA09 BA43 BA47 BA48 BA55 DA11 DA30 DA31 EA41