

(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2017-510818
(P2017-510818A)

(43) 公表日 平成29年4月13日(2017.4.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 15/14 (2006.01)	GO 1 R 15/14 B	2 GO 1 7
GO 1 R 33/02 (2006.01)	GO 1 R 33/02 H	2 GO 2 5
HO 1 L 41/06 (2006.01)	HO 1 L 41/06	
HO 1 L 41/12 (2006.01)	HO 1 L 41/12	
HO 1 L 41/20 (2006.01)	HO 1 L 41/20	
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 16 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-575607 (P2016-575607)	(71) 出願人 516273464 コアテク, インコーポレイテッド QORTEK, INC. アメリカ合衆国, ペンシルベニア 17701, ウィリアムズポート, スーツ 205, ライコミング クリーク ロード 1965 1965 Lycoming Creek Road, Suite 205, Williamsport, Pennsylvania 17701 (US)
(86) (22) 出願日 平成27年3月10日 (2015.3.10)	
(85) 翻訳文提出日 平成28年10月17日 (2016.10.17)	
(86) 国際出願番号 PCT/US2015/019778	
(87) 国際公開番号 W02015/138505	
(87) 国際公開日 平成27年9月17日 (2015.9.17)	
(31) 優先権主張番号 61/950,815	
(32) 優先日 平成26年3月10日 (2014.3.10)	
(33) 優先権主張国 米国 (US)	
	(74) 代理人 110001494 前田・鈴木国際特許業務法人
最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 非接触磁歪電流センサ

(57) 【要約】

非接触電流センサは、通電導体を取り囲むギャップがある磁性コアを含む。磁歪要素は、前記ギャップがある磁性コアに機械的に接合されている。前記通電導体内を流れる電流は、前記磁歪要素を流れる前記磁性コア内の磁場を誘導する。前記ギャップがある磁性コアは、前記磁歪要素が機械的に接合した取付部を備える。前記取付部は、前記磁歪要素内の磁束を増加させる形状を有する。歪みゲージは、磁束によって誘導された前記磁歪要素の変位を測定するために、前記磁歪要素に機械的に接合している。

【選択図】 図2

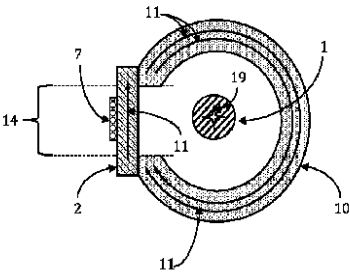


FIG. 2

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

通電導体を取り囲み、第 1 及び第 2 取付部の間に配置されたギャップを含み、前記第 1 取付部が磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第 2 取付部が磁場の方向に増加する断面積を有し、前記各取付部は略平面の取付面を含む磁性コアと、

前記通電導体によって発生した磁場の経路に配置され、前記取付面に機械的に結合した磁歪要素と、

前記磁歪要素に機械的に結合した歪みゲージと、を有する磁歪電流センサ。

【請求項 2】

前記磁歪要素は、前記磁性コアの外部に機械的に結合している請求項 1 の磁歪電流センサ。

10

【請求項 3】

前記磁歪要素は、前記取付面の表面部分を略覆うのに十分なサイズである請求項 2 の磁歪電流センサ。

【請求項 4】

前記磁歪要素は、セミフレキシブルな接着剤で前記取付面に接着されている請求項 1 ~ 3 のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項 5】

前記歪みゲージは、前記磁歪要素に強固に固定されている請求項 1 ~ 3 のいずれかの磁歪電流センサ。

20

【請求項 6】

前記磁歪要素は、鉄ガリウム合金で構成される請求項 1 ~ 3 のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項 7】

前記磁歪要素は、鉄テルビウムジスプロシウム合金で構成される請求項 1 ~ 3 のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項 8】

前記磁歪要素は、Terfenol-Dを含有する請求項 1 ~ 3 のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項 9】

30

中空磁性コアを選択することと、

前記中空磁性コアにギャップを形成することと、

前記磁性コアに第 1 及び第 2 取付部を形成し、前記第 1 取付部は、誘導された磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第 2 取付部は、誘導された磁場の方向に増加する断面積を有することと、

磁歪材料を前記第 1 及び第 2 取付部に接着することと、

歪みゲージを前記磁歪材料に固定することと、を含む磁歪電流センサを製造するための方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本願は、2014年3月10日に出願され、参照によりここに取り入れられた非接触磁歪電流センサと題された米国仮出願シリアル番号61/950,815の利益を主張している。

【0002】

本発明は、磁歪材料を用いる非接触電流感知のための方法および装置に関する。

【背景技術】**【0003】**

電流信号モニタは、特にチャレンジングである。ホール効果センサは、閉ループであるものの、より典型的な電流測定方法は、開ループである。電流測定に用いられる現在の方

50

式は、抵抗分流器、電流トランスフォーマ、ホール効果（ローレンツ力）、および、巨大磁気抵抗（GMR）の4つの主なカテゴリに分類される。これらの各アプローチは、それぞれ実的な困難および制限がある。表1は、これらの各アプローチが直面するいくつかの問題をまとめている。

【表1】

表1

表1: 空間環境における電流測定課題

抵抗分流器	電流トランスフォーマ	ホール効果	GMR
電気絶縁なし	直流電流測定不可 [#]	温度依存オフセット補償の必要性	形状の制御の必要性 [*]
高取得コスト	交流挿入損失の発生	外部電源供給の必要性	増幅回路ステージの必要性
挿入損失	出力が周波数依存	複雑な作動	コモンモード拒絶に対する問題
あらゆる測定における大型/重量損失>100 Hz	任意の大電力レベルの測定における非常に大きな大型/重量損失	限定された熱範囲及び低熱ドリフト	非線形出力反応
侵入挿入の必要性(線抵抗/電力損失)	EMI/RFI隔離実装の必要性	高重量損失(2000Kgまで)	ノイズに影響されやすい
増幅ステージの必要性			頑強性の欠如
取付困難			
[#] ゼロフラックス電流トランスフォーマは直流電流を測定できるが大電力向けに設計されている。 [*] 低電流検知では通常、測定電流がGMR(ホイートストーンブリッジ)抵抗器の直上に位置したGMRチップ上のトレースに流れ込むことが求められる。			

10

20

【0004】

しかしながら、マグネトダイオード（高非線形且つ温度依存）やマグネトトランジスタ（ノイズ、非線形性、温度依存、大オフセット値のより高いレベル）などの個体ソリューションに対しては追加的な作業があり、現在まで、それらの性能によって、あらゆる商業的な発展が阻害されている。磁場センサに基づいた光ファイバの発展のためにファラデー効果を利用する利益もあるが、磁場センサは、取得するのが複雑かつ高価で、取り付けづらく、光電変換が必要であり、空間環境においてラッチアップを受けやすい。

【0005】

30

多くのアプリケーションにとって、電流センサを取り付けることはよりチャレンジングになり得る。これは、測定ソリューションは、高ガルバニック絶縁、高精度、放射効果耐久性、広い温度作動、そして決定的には、非常に低い周波数まで交流電流及び直流電流の両方を測定可能なことが求められる場合があるためである。そして、効果が高く、コンパクトで、軽量で、低複雑な要求を満たすことができる熱効果を受けない電流センサに対するニーズがある。

【0006】

本発明者等に知られた1つのアプローチは、磁歪材料の特性を利用することである。磁歪材料は、磁氣的及び電氣的挙動を結びつける材料である。特に、当該材料は磁場に晒される際に形状を変える。このような材料としては、テルフェロール（Terfenol）やガルフェノール（Galferol）がある。通電コンジットに隣接した磁歪要素を配置することによって、電流によって引き起こされた磁場が、歪み（ L/L ）を誘導すべく磁歪材料と相互に作用する。図1は、自由端が通電ケーブル1に近接して配置され、それに付随した磁歪要素2を有する剛性支持部5を伴うカンチレバー梁4の装置である。圧電要素3は、磁歪要素2の片側に固定されている。電流19が流れる際、マクスウェル方程式は、電流19が、磁歪要素2で生じる軸方向歪みを引き起こす磁場を誘導することを述べている。そして、この歪みは、圧電性であり、電位を生み出す結合した圧電要素に移送される。この電圧は、監視されている電流19の強度に比例するが、磁歪要素の歪みを誘導する電流は非常に小さい。圧電材料の直接効果誘電率は低いことが知られているため、磁歪挿入の歪みを圧電材料に結合させることは、無視可能でノイズやその他の測定阻害

40

50

問題を解決しなければならない場所への既に非常に小さな信号を大幅に減少させる。

統計学的に十分な電流の範囲の測定を許容するために、電流のアンペア毎に磁歪要素の十分な大きさの歪みを誘導する磁歪に基づいた電流検知装置へのニーズは残る。磁歪要素の誘導された歪みの変換において、最小の信号損失を示す磁歪に基づいた電流検知装置へのニーズもある。

【発明の概要】

【0007】

本発明は、監視される電気ケーブル又は装置において、アンペア流れ毎の抵抗出力信号に格段に大きな変化を規定し、かつ、この増加した信号強度が温度に依存しないことを保証する直流及び交流の両方の測定を可能とする新規な電流センサを提供する。当該発明は、ケーブル又は装置内を流れる電流と電気抵抗の変化との間の比例関係を提供すべく、磁氣的、磁歪的、抵抗式歪みゲージ材料の組み合わせを利用している。

ある態様において、磁歪電流センサは、通電導体を取り囲む磁気コアを含む。当該磁気コアは、第1及び第2取付部の間に配置されたギャップを含む。前記第1取付部は、前記導体によって誘導された磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第2取付部は、当該磁場の方向に増加する断面積を有する。磁歪要素は、磁場の経路に配置され、前記取付部の取付面に機械的に結合している。歪みゲージは、前記磁場によって誘導された前記磁歪要素の変位を測定すべく、前記磁歪要素に機械的に結合している。

別の態様において、磁歪電流センサを製造する方法は、中空磁気コアを選択することと、当該コアにギャップを形成することと、を含む。そして、第1及び第2取付部が、前記磁気コアに形成される。前記第1取付部は、前記誘導された磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第2取付部は、前記誘導された磁場の方向に増加する断面積を有する。そして、磁歪材料は、前記第1及び第2取付部に接着され、歪みゲージが当該磁歪材料に固定される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、本発明者等に知られた磁歪電流センサを示している。

【図2】図は、本発明のある態様に応じた電流センサを示している。

【図3A】図3Aは、本発明のある態様に応じた電流センサの上面図を描写している。

【図3B】図3Bは、図3Aの電流センサの側面図を描写している。

【図3C】図3Cは、図3Aの電流センサの正面図を描写している。

【図4A】図4Aは、本発明のさらに別の態様に応じた電流センサの上面図を描写している。

【図4B】図4Bは、図4Aの電流センサの側面図を描写している。

【図4C】図4Cは、図4Aの電流センサの正面図を示している。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明は、導体を流れる電流の変化から生じる磁歪要素の歪みの変化を測定する磁歪に基づいた電流センサに関する。通電導体内の電流は、「右手の法則」に従って磁場を誘導する。当該磁場は、閉磁路を形成するために、導体を取り囲むフェライトなどの任意の磁性材料によって閉じ込められる。また、当業者に知られるように、磁気エネルギーと機械的歪みとの結合が生じる場合の材料は磁歪であり、当該結合現象は双方向的である。このように、前記磁場は、方向に前記磁歪要素内に発生する歪みを引き起こす。また、略線形である磁歪材料における歪み対磁場の反応の有効な部分がある。

【0010】

本発明は、通常、電気導体1を取り囲むギャップのある磁性コア10を含む磁歪電流センサに関する。図2に示されるように、ページに流れ込む導体1内の電流19は、磁歪要素2内に続く矢印11によって表された方向に、磁性コア10内に磁場を作り出す。磁性コア10は、ギャップ14と、ギャップ14を跨って磁性コア10に機械的に接合した磁歪要素2とを含む。歪みゲージは、磁歪要素2と機械的に接合している。

【 0 0 1 1 】

図 2 に示されるように、磁歪要素 2 は、ギャップ 1 4 を橋渡しするために磁性コア 1 0 に取り付けられる。本発明のある態様を踏まえて、磁歪要素 2 は、ギャップ 1 4 において磁性コア 1 0 の形状を規定するために磁性コア 1 0 の外表面に取り付けられ、磁歪要素 2 のサイズは、磁歪要素 2 内の磁束密度を増加させるように選択される。従って、磁場 1 1 は、磁性コア 1 0 及び磁歪要素 2 を介した 1 つの連続した経路を形成する。磁場 1 1 は、磁歪要素 2 の機械的変位を誘導するが、これは導体 1 を流れる電流 1 9 に比例する。

【 0 0 1 2 】

本発明を踏まえて、磁歪要素 2 を磁性コア 1 0 の外表面に取り付けることによって、磁歪要素 2 は、磁性コア 1 0 を通過する磁場 1 1 と一直線になった長手方向において、ほぼ自由な歪み特性を有することができる。磁歪要素 2 及び磁性コア 1 0 は、同様に高い透磁率を有するため、磁場 1 1 を含有する低抵抗経路を提供する。このように、当該磁場は、ギャップ 1 4 を介してではなく、磁歪要素 2 を介して磁性コア 1 0 から伝わってくるため、連続した閉磁路が提供される。

【 0 0 1 3 】

磁場コア 1 0 のギャップ形状を介して磁歪要素 2 内の磁束密度を増加させることは、磁歪要素 2 の誘導された歪みの変化を引き起こす。すなわち、磁歪要素 2 に付与された磁場 1 1 の密度は、磁歪要素 2 歪みの振幅と、導体 1 を流れる電流レベルと、の間での供給電圧に比例した関係を制御する。ケーブル 1 を流れる電流に対応する磁歪要素 2 の領域における磁場 1 1 の集中は、電流センサ 7 のゲインの直接的な制御を提供する。また、磁歪要素 2 内の磁束密度が不十分であると、正確な測定に不適当な機械的歪みを引き起こす。

【 0 0 1 4 】

図 3 A ~ 図 3 C は、本発明の電流センサの高感度な態様を描写している。図 3 A ~ 図 3 C において、大きな磁歪要素 7 は、磁性コア 1 0 a に機械的に接合しており、磁性コア 1 0 a は、ページに流れ込む電流 1 9 と共に、導体 1 を取り囲んでいる。磁性コア 1 は、第 1 及び第 2 取付部 1 5 及び 1 6 を含む。第 1 取付部 1 5 は、磁場の方向に減少する断面積を有し、第 2 取付部 1 6 は、磁場の方向に増加する断面積を有する。いくつかの態様では、第 1 及び第 2 取付部は、互いに鏡像である。各第 1 及び第 2 取付部は、磁歪要素 2 が機械的に接合された略平面の取付面 2 0 , 2 2 を含む。磁歪要素 2 は、略平面の取付面 2 0 の全表面を実質的に覆うのに十分なサイズであってもよい。図 3 C に描写されているように、大きな磁歪要素 2 と取付部 1 5 及び 1 6 の形状との組み合わせは、大きな磁歪要素 2 内で適度な磁束密度 2 1 を引き起こし、電流センサに適度なゲインの結果をもたらす。

【 0 0 1 5 】

図 4 A ~ 図 4 C は、本発明の電流センサの低感度な態様を描写している。図 4 A ~ 図 4 C において、小さな磁歪要素は、磁性コア 1 0 a に機械的に接合しており、磁性コア 1 0 a は、ページに流れ込む電流 1 9 と共に、導体 1 を取り囲んでいる。磁性コア 1 は、第 1 及び第 2 取付部 1 5 及び 1 6 を含む。第 1 取付部 1 5 は、磁場の方向に減少する断面積を有し、第 2 取付部 1 6 は、磁場の方向に増加する断面積を有する。いくつかの態様では、第 1 及び第 2 取付部は、互いに鏡像である。各第 1 及び第 2 取付部は、磁歪要素 2 が機械的に接合された略平面の取付面 2 0 , 2 2 を含む。磁歪要素 2 は、略平面の取付面 2 0 の全表面を実質的に覆うのに十分なサイズであってもよい。図 4 C に描写されているように、小さな磁歪要素 2 と取付部 1 5 及び 1 6 の形状との組み合わせは、大きな磁歪要素 2 内で高い磁束密度 2 3 を引き起こし、電流センサに高いゲインの結果をもたらす。

磁歪要素 2 の変位又は歪みを測定するために、歪みゲージ 7 が、磁歪要素 2 に機械的に接合している。図 2 は、高強度接着性を有する磁歪要素 2 の略平面への歪みゲージ 7 を示している。いくつかの態様では、歪みゲージ 7 は、弱い又は弾力的な接着だと歪みゲージ 7 と磁歪要素 2 との接合が悪くなるため、磁歪要素 2 に強固に接着してもよい。歪みゲージ 7 は、磁歪要素 2 に存在する歪みに比例する抵抗の変化を示すが、これは導体 1 を流れる電流を表す。いくつかの態様では、歪みゲージ 7 は、歪みゲージ内に存在する熱ドリフトを補填するために、ホイートストンブリッジの構成に設定することができる。その他の

10

20

30

40

50

態様では、歪みゲージ 7 は、フォイル型であってもよい。

【0016】

本発明は、磁歪装置を用いて電流を測定するための方法を実現している。通電ワイヤは、磁性コア 10 のような磁性コアを通過し、当該コアが当該ワイヤに触れることなく当該ワイヤを取り囲むように配置されている。磁性コアは、ワイヤから磁歪要素 2 のような小さな磁歪要素内へ磁束部分を集中させている。当該磁束は、ワイヤ内の電流に比例する磁歪要素の変位を作り出す。当該磁歪要素の変位は、導体内の電流を算出するために使用されてもよい抵抗に変換する歪みゲージ 7 のような歪みゲージを使用して計測される。

【0017】

本発明は、電流センサに基づいた磁歪材料を構成するための方法を実現している。エアギャップは、磁性コア 10 のギャップ 14 のような閉じた磁性コアに加工される。第 1 及び第 2 取付部は、磁性コアに形成され、各取付部は、略平面な取付面を具備する。小さな磁歪要素は、磁性コアのエアギャップのサイズより若干大きい寸法に加工される。磁歪要素が形成された後に、いくつかの態様において、装置の全体的な性能（磁場対歪み特性）を向上させるために、歪みはアニールされる。また、磁歪要素とゲージとの十分な接合を確保するために、磁歪要素が受けた範囲で歪みを測定することができるフォイル型又はホイートストンブリッジの歪みゲージが選択され、高強度な接着性又はその他の固定方式を有する磁歪要素に接合される。磁歪要素及び接合された歪みゲージは、図 2 の装置にあるようなセミフレキシブルな接着性を有する磁性コアに固定される。当該セミフレキシブルな接着性は、磁歪要素の動作を厳しく制限することなく装置が構造的に保持されることを可能にする。電氣的接続が歪みゲージになされ、通電導体は磁性コアを通過する。導体内の電流は振幅を変化させるので、出力で測定される抵抗は比例的な変化を示し、そのため非接触検知性能が提供される。取付部 15 及び 16 は台形として図 3 A ~ 3 C 及び図 4 A ~ C に描写されているが、本発明の態様に応じて、取付部 15 及び 16 は多くの異なる形状構造を有してもよい。同様に、磁歪要素 2 は、適度な磁束密度が、接合された歪みゲージで正確に測定される磁歪要素に現れるのであれば、様々なサイズかつ形状であってもよい。磁性コアは、様々な考えられる磁性材料又は磁性複合物で製造されてよい。前述された磁性コアは、トロイダルであってもよいが、コアが実質的に導体を取り囲んでいれば、大部分が正方形又は卵形などのその他の形状を選択することもできる。

【0018】

ここで使用される用語は、個々の態様を記載する目的のためだけであり、本発明を限定する意図はない。ここで使用されるように、単数の形態である「a」、「an」、「the」は、文脈が明らかにその他を示していない限り、複数の形態も含むことを意図する。基礎的な用語の「include」及び/又は「have」は、本明細書で使用される場合、言及された特徴、整数、段階、動作、要素及び/又は構成の存在を明示するが、少なくともその他の特徴、整数、段階、動作、要素、構成、及び/又はそのグループの存在も追加も除外しないことは、更に理解されるであろう。

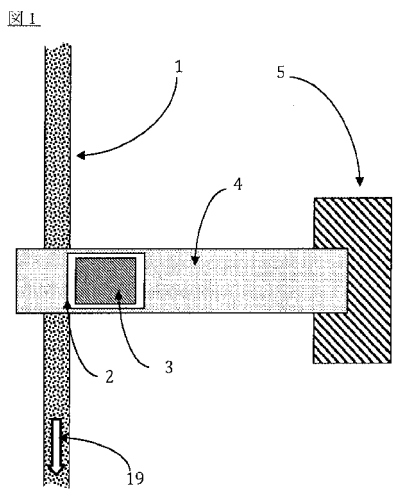
【0019】

下記の請求の範囲における全てのミーンズプラスファンクション要素に対応する構造、材料、行為、及び同等物は、具体的に主張されたその他の主張された要素との組み合わせでその機能を果たすために、任意の構造、又は材料を含むことを意図している。本発明の明細書は、実例及び記載の目的で提示されたが、網羅的であることも、開示された形式の発明に限定されることも意図しない。多くの改変及び変更は、本発明の範囲及び精神から逸脱することなく当業者に明らかであろう。ここで議論された態様は、発明の原理及び実際の応用を最も良く説明するため、かつ、当業者が、種々の変更を伴う種々の態様の発明は特定の使用に適していることを理解できるように、選択記載された。

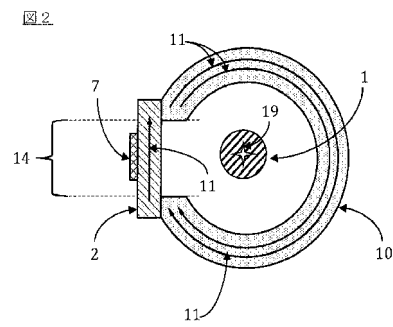
【0020】

種々の現在予見し難い又は予期されていない代替案、改変、変更又は改善が当業者によって引き続きなされている場合があり、それらが、下記の請求の範囲によって包含されることも意図されることは、理解されるだろう。

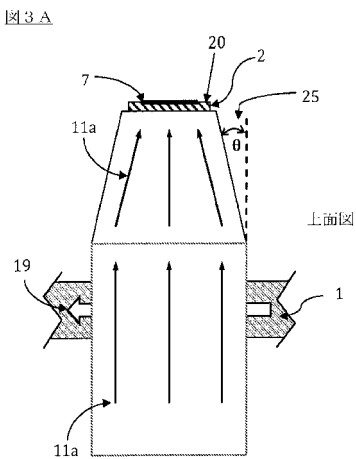
【 図 1 】



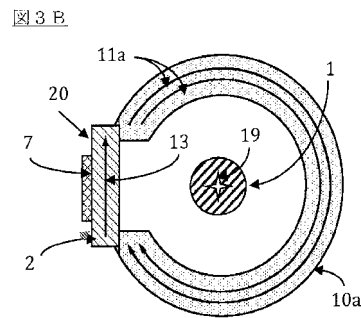
【 図 2 】



【 図 3 A 】

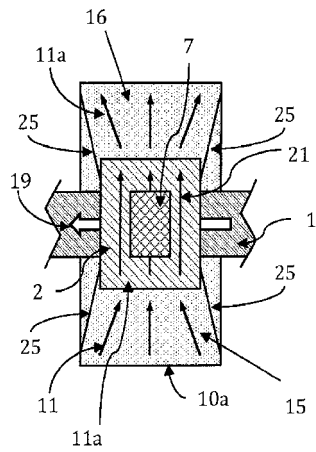


【 図 3 B 】



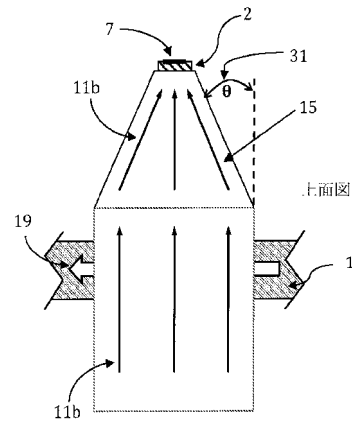
【図 3 C】

図 3 C



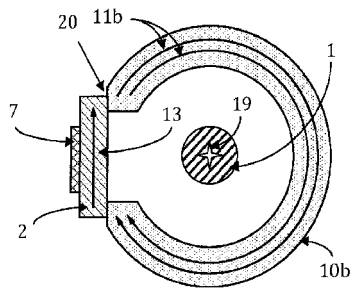
【図 4 A】

図 4 A



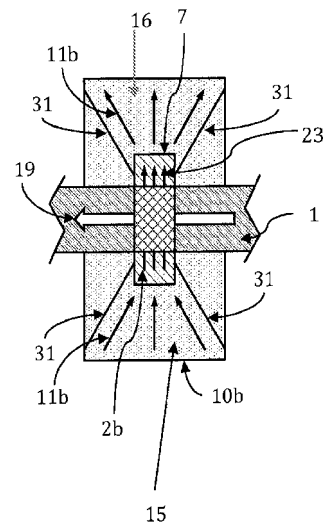
【図 4 B】

図 4 B



【図 4 C】

図 4 C



【手続補正書】

【提出日】平成28年1月11日(2016.1.11)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2014年3月10日に出願され、参照によりここに取り入れられた非接触磁歪電流センサと題された米国仮出願シリアル番号61/950,815の利益を主張している。

【0002】

本発明は、磁歪材料を用いる非接触電流感知のための方法および装置に関する。

【背景技術】

【0003】

電流信号モニタは、特にチャレンジングである。ホール効果センサは、閉ループであるものの、より典型的な電流測定方法は、開ループである。電流測定に用いられる現在の方式は、抵抗分流器、電流トランスフォーマ、ホール効果（ローレンツ力）、および、巨大磁気抵抗（GMR）の4つの主なカテゴリに分類される。これらの各アプローチは、それぞれ実地的な困難および制限がある。表1は、これらの各アプローチが直面するいくつかの問題をまとめている。

【表1】

表1

表1: 空間環境における電流測定課題

抵抗分流器	電流トランスフォーマ	ホール効果	GMR
電気絶縁なし	直流電流測定不可 [#]	温度依存オフセット補償の必要性	形状の制御の必要性 [*]
高取得コスト	交流挿入損失の発生	外部電源供給の必要性	増幅回路ステージの必要性
挿入損失	出力が周波数依存	複雑な作動	コモンモード拒絶に対する問題
あらゆる測定における大型/重量損失>100 Hz	任意の大電力レベルの測定における非常に大きな大型/重量損失	限定された熱範囲及び低熱ドリフト	非線形出力反応
侵入挿入の必要性(線抵抗/電力損失)	EMI/RFI隔離実装の必要性	高重量損失(2000Kgまで)	ノイズに影響されやすい
増幅ステージの必要性			頑強性の欠如
取付困難			
[#] ゼロフラックス電流トランスフォーマは直流電流を測定できるが大電力向けに設計されている。 [*] 低電流検知では通常、測定電流がGMR(ホイートストーンブリッジ)抵抗器の直上に位置したGMRチップ上のトレースに流れ込むことが求められる。			

【0004】

しかしながら、マグネトダイオード（高非線形且つ温度依存）やマグネトトランジスタ（ノイズ、非線形性、温度依存、大オフセット値のより高いレベル）などの個体ソリューションに対しては追加的な作業があり、現在まで、それらの性能によって、あらゆる商業的な発展が阻害されている。磁場センサに基づいた光ファイバの発展のためにファラデー効果を利用する利益もあるが、磁場センサは、取得するのが複雑かつ高価で、取り付けづらく、光電変換が必要であり、空間環境においてラッチアップを受けやすい。

【0005】

多くのアプリケーションにとって、電流センサを取り付けることはよりチャレンジング

になり得る。これは、測定ソリューションは、高ガルバニック絶縁、高精度、放射効果耐久性、広い温度作動、そして、非常に低い周波数まで交流電流及び直流電流の両方を測定可能なことが求められる場合があるためである。そして、効果が高く、コンパクトで、軽量で、低複雑な要求を満たすことができる熱効果を受けない電流センサに対するニーズがある。

【 0 0 0 6 】

本発明者等に知られた1つのアプローチは、磁歪材料の特性を利用することである。磁歪材料は、磁氣的及び電氣的挙動を結びつける材料である。特に、当該材料は磁場に晒される際に形状を変える。このような材料としては、テルフェロール (Terfenol) やガルフェノール (Galfenol) がある。通電コンジットに隣接した磁歪要素を配置することによって、電流によって引き起こされた磁場が、歪み ($\Delta L / L$) を誘導すべく磁歪材料と相互に作用する。図1は、自由端が通電ケーブル1に近接して配置され、それに付随した磁歪要素2を有する剛性支持部5を伴うカンチレバー梁4の装置である。圧電要素3は、磁歪要素2の片側に固定されている。電流19が流れる際、マクスウェル方程式は、電流19が、磁歪要素2で生じる軸方向歪みを引き起こす磁場を誘導することを述べている。そして、この歪みは、圧電性であり、電位を生み出す結合した圧電要素に移送される。この電圧は、監視されている電流19の強度に比例するが、磁歪要素の歪みを誘導する電流は非常に小さい。圧電材料の直接効果誘電率は低いことが知られているため、磁歪挿入の歪みを圧電材料に結合させることは、無視可能でノイズやその他の測定阻害問題を解決しなければならない場所への既に非常に小さな信号を大幅に減少させる。

統計学的に十分な電流の範囲の測定を許容するために、電流のアンペア毎に磁歪要素の十分な大きさの歪みを誘導する磁歪に基づいた電流検知装置へのニーズは残る。磁歪要素の誘導された歪みの変換において、最小の信号損失を示す磁歪に基づいた電流検知装置へのニーズもある。

【発明の概要】

【 0 0 0 7 】

本発明は、監視される電気ケーブル又は装置において、アンペア流れ毎の抵抗出力信号に格段に大きな変化を規定し、かつ、この増加した信号強度が温度に依存しないことを保証する直流及び交流の両方の測定を可能とする新規な電流センサを提供する。当該発明は、ケーブル又は装置内を流れる電流と電気抵抗の変化との間の比例関係を提供すべく、磁氣的、磁歪的、抵抗式歪みゲージ材料の組み合わせを利用している。

ある態様において、磁歪電流センサは、通電導体を取り囲む磁気コアを含む。当該磁気コアは、第1及び第2取付部の間に配置されたギャップを含む。前記第1取付部は、前記導体によって誘導された磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第2取付部は、当該磁場の方向に増加する断面積を有する。磁歪要素は、磁場の経路に配置され、前記取付部の取付面に機械的に結合している。歪みゲージは、前記磁場によって誘導された前記磁歪要素の変位を測定すべく、前記磁歪要素に機械的に結合している。

別の態様において、磁歪電流センサを製造する方法は、中空磁気コアを選択することと、当該コアにギャップを形成することと、を含む。そして、第1及び第2取付部が、前記磁気コアに形成される。前記第1取付部は、前記誘導された磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第2取付部は、前記誘導された磁場の方向に増加する断面積を有する。そして、磁歪材料は、前記第1及び第2取付部に接着され、歪みゲージが当該磁歪材料に固定される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図1】図1は、本発明者等に知られた磁歪電流センサを示している。

【図2】図は、本発明のある態様に応じた電流センサを示している。

【図3A】図3Aは、本発明のある態様に応じた電流センサの上面図を描写している。

【図3B】図3Bは、図3Aの電流センサの側面図を描写している。

【図3C】図3Cは、図3Aの電流センサの正面図を描写している。

【図４Ａ】図４Ａは、本発明のさらに別の態様に応じた電流センサの上面図を描写している。

【図４Ｂ】図４Ｂは、図４Ａの電流センサの側面図を描写している。

【図４Ｃ】図４Ｃは、図４Ａの電流センサの正面図を示している。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

本発明は、導体を流れる電流の変化から生じる磁歪要素の歪みの変化を測定する磁歪に基づいた電流センサに関する。通電導体内の電流は、「右手の法則」に従って磁場を誘導する。当該磁場は、閉磁路を形成するために、導体を取り囲むフェライトなどの任意の磁性材料によって閉じ込められる。また、当業者に知られるように、磁気エネルギーと機械的歪みとの結合が生じる場合の材料は磁歪であり、当該結合現象は双方向的である。このように、前記磁場は、その方向に前記磁歪要素内に発生する歪みを引き起こす。また、略線形である磁歪材料における歪み対磁場の反応の有効な部分がある。

【００１０】

本発明は、通常、電気導体１を取り囲むギャップのある磁性コア１０を含む磁歪電流センサに関する。図２に示されるように、ページに流れ込む導体１内の電流１９は、磁歪要素２内に続く矢印１１によって表された方向に、磁性コア１０内に磁場を作り出す。磁性コア１０は、ギャップ１４と、ギャップ１４を跨って磁性コア１０に機械的に接合した磁歪要素２とを含む。歪みゲージは、磁歪要素２と機械的に接合している。

【００１１】

図２に示されるように、磁歪要素２は、ギャップ１４を橋渡しするために磁性コア１０に取り付けられる。本発明のある態様を踏まえて、磁歪要素２は、ギャップ１４において磁性コア１０の形状を規定するために磁性コア１０の外表面に取り付けられ、磁歪要素２のサイズは、磁歪要素２内の磁束密度を増加させるように選択される。従って、磁場１１は、磁性コア１０及び磁歪要素２を介した１つの連続した経路を形成する。磁場１１は、磁歪要素２の機械的変位を誘導するが、これは導体１を流れる電流１９に比例する。

【００１２】

本発明を踏まえて、磁歪要素２を磁性コア１０の外表面に取り付けることによって、磁歪要素２は、磁性コア１０を通過する磁場１１と一直線になった長手方向において、ほぼ自由な歪み特性を有することができる。磁歪要素２及び磁性コア１０は、同様に高い透磁率を有するため、磁場１１を含有する低抵抗経路を提供する。このように、当該磁場は、ギャップ１４を介してではなく、磁歪要素２を介して磁性コア１０から伝わってくるため、連続した閉磁路が提供される。

【００１３】

磁場コア１０のギャップ形状を介して磁歪要素２内の磁束密度を増加させることは、磁歪要素２の誘導された歪みの変化を引き起こす。すなわち、磁歪要素２に付与された磁場１１の密度は、磁歪要素２の歪みの振幅と、導体１を流れる電流レベルと、の間での供給電圧に比例した関係を制御する。ケーブル１を流れる電流に対応する磁歪要素２の領域における磁場１１の集中は、電流センサ７のゲインの直接的な制御を提供する。また、磁歪要素２内の磁束密度が不十分であると、正確な測定に不適当な機械的歪みを引き起こす。

【００１４】

図３Ａ～図３Ｃは、本発明の電流センサの高感度な態様を描写している。図３Ａ～図３Ｃにおいて、大きな磁歪要素７は、磁性コア１０ａに機械的に接合しており、磁性コア１０ａは、ページに流れ込む電流１９と共に、導体１を取り囲んでいる。磁性コア１は、第１及び第２取付部１５及び１６を含む。第１取付部１５は、磁場の方向に減少する断面積を有し、第２取付部１６は、磁場の方向に増加する断面積を有する。いくつかの態様では、第１及び第２取付部は、互いに鏡像である。各第１及び第２取付部は、磁歪要素２が機械的に接合された略平面の取付面２０，２２を含む。磁歪要素２は、略平面の取付面２０の全表面を実質的に覆うのに十分なサイズであってもよい。図３Ｃに描写されているように、大きな磁歪要素２と取付部１５及び１６の形状との組み合わせは、大きな磁歪要素２

内で適度な磁束密度 21 を引き起こし、電流センサに適度なゲインの結果をもたらす。

【0015】

図4A～図4Cは、本発明の電流センサの低感度な態様を描写している。図4A～図4Cにおいて、小さな磁歪要素は、磁性コア10aに機械的に接合しており、磁性コア10aは、ページに流れ込む電流19と共に、導体1を取り囲んでいる。磁性コア1は、第1及び第2取付部15及び16を含む。第1取付部15は、磁場の方向に減少する断面積を有し、第2取付部16は、磁場の方向に増加する断面積を有する。いくつかの態様では、第1及び第2取付部は、互いに鏡像である。各第1及び第2取付部は、磁歪要素2が機械的に接合された略平面の取付面20, 22を含む。磁歪要素2は、略平面の取付面20の全表面を実質的に覆うのに十分なサイズであってもよい。図4Cに描写されているように、小さな磁歪要素2と取付部15及び16の形状との組み合わせは、大きな磁歪要素2内で高い磁束密度23を引き起こし、電流センサに高いゲインの結果をもたらす。

磁歪要素2の変位又は歪みを測定するために、歪みゲージ7が、磁歪要素2に機械的に接合している。図2は、高強度接着性を有する磁歪要素2の略平面に取り付けられた歪みゲージ7を示している。いくつかの態様では、歪みゲージ7は、弱い又は弾力的な接着だと歪みゲージ7と磁歪要素2との接合が悪くなるため、磁歪要素2に強固に接着してもよい。歪みゲージ7は、磁歪要素2に存在する歪みに比例する抵抗の変化を示すが、これは導体1を流れる電流を表す。いくつかの態様では、歪みゲージ7は、歪みゲージ内に存在する熱ドリフトを補填するために、ホイートストンブリッジの構成に設定することができる。その他の態様では、歪みゲージ7は、フォイル型であってもよい。

【0016】

本発明は、磁歪装置を用いて電流を測定するための方法を実現している。通電ワイヤは、磁性コア10のような磁性コアを通過し、当該コアが当該ワイヤに触れることなく当該ワイヤを取り囲むように配置されている。磁性コアは、ワイヤから磁歪要素2のような小さな磁歪要素内へ磁束部分を集中させている。当該磁束は、ワイヤ内の電流に比例する磁歪要素の変位を作り出す。当該磁歪要素の変位は、導体内の電流を算出するために使用されてもよい抵抗に変換する歪みゲージ7のような歪みゲージを使用して計測される。

【0017】

本発明は、電流センサに基づいた磁歪材料を構成するための方法を実現している。エアギャップは、磁性コア10のギャップ14のような閉じた磁性コアに加工される。第1及び第2取付部は、磁性コアに形成され、各取付部は、略平面な取付面を具備する。小さな磁歪要素は、磁性コアのエアギャップのサイズより若干大きい寸法に加工される。磁歪要素が形成された後に、いくつかの態様において、装置の全体的な性能（磁場対歪み特性）を向上させるために、歪みはアニールされる。また、磁歪要素とゲージとの十分な接合を確保するために、磁歪要素が受けた範囲で歪みを測定することができるフォイル型又はホイートストンブリッジの歪みゲージが選択され、高強度な接着性又はその他の固定方式を有する磁歪要素に接合される。磁歪要素及び接合された歪みゲージは、図2の装置にあるようなセミフレキシブルな接着性を有する磁性コアに固定される。当該セミフレキシブルな接着性は、磁歪要素の動作を厳しく制限することなく装置が構造的に保持されることを可能にする。電氣的接続が歪みゲージになされ、通電導体は磁性コアを通過する。導体内の電流は振幅を変化させるので、出力で測定される抵抗は比例的な変化を示し、そのため非接触検知性能が提供される。取付部15及び16は台形として図3A～3C及び図4A～Cに描写されているが、本発明の態様に応じて、取付部15及び16は多くの異なる形状構造を有してもよい。同様に、磁歪要素2は、適度な磁束密度が、接合された歪みゲージで正確に測定される磁歪要素に現れるのであれば、様々なサイズかつ形状であってもよい。磁性コアは、様々な考えられる磁性材料又は磁性複合物で製造されてよい。前述された磁性コアは、トロイダルであってもよいが、コアが実質的に導体を取り囲んでいれば、大部分が正方形又は卵形などのその他の形状を選択することもできる。

【0018】

ここで使用される用語は、個々の態様を記載する目的のためだけであり、本発明を限定

する意図はない。ここで使用されるように、単数の形態である「a」、「an」、「the」は、文脈が明らかにその他を示していない限り、複数の形態も含むことを意図する。基礎的な用語の「include」及び/又は「have」は、本明細書で使用される場合、言及された特徴、整数、段階、動作、要素及び/又は構成の存在を明示するが、少なくともその他の特徴、整数、段階、動作、要素、構成、及び/又はそのグループの存在も追加も除外しないことは、更に理解されるであろう。

【0019】

下記の請求の範囲における全てのミーンズプラスファンクション要素に対応する構造、材料、行為、及び同等物は、具体的に主張されたその他の主張された要素との組み合わせでその機能を果たすために、任意の構造、又は材料を含むことを意図している。本発明の明細書は、実例及び記載の目的で提示されたが、網羅的であることも、開示された形式の発明に限定されることも意図しない。多くの改変及び変更は、本発明の範囲及び精神から逸脱することなく当業者に明らかであろう。ここで議論された態様は、発明の原理及び実際的な応用を最も良く説明するため、かつ、当業者が、種々の変更を伴う種々の態様の発明は特定の使用に適していることを理解できるように、選択記載された。

【0020】

種々の現在予見し難い又は予期されていない代替案、改変、変更又は改善が当業者によって引き続きなされている場合があり、それらが、下記の請求の範囲によって包含されることも意図されることは、理解されるだろう。

【手続補正2】

【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】

通電導体を取り囲み、第1及び第2取付部の間に配置されたギャップを含み、前記第1取付部が磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第2取付部が磁場の方向に増加する断面積を有し、前記各取付部は略平面の取付面を含む磁性コアと、

前記通電導体によって発生した磁場の経路に配置され、前記取付面に機械的に結合した磁歪要素と、

前記磁歪要素に機械的に結合した歪みゲージと、を有する磁歪電流センサ。

【請求項2】

前記磁歪要素は、前記磁性コアの外部に機械的に結合している請求項1の磁歪電流センサ。

【請求項3】

前記磁歪要素は、前記取付面の表面部分を略覆うのに十分なサイズである請求項2の磁歪電流センサ。

【請求項4】

前記磁歪要素は、セミフレキシブルな接着剤で前記取付面に接着されている請求項1～3のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項5】

前記歪みゲージは、前記磁歪要素に強固に固定されている請求項1～3のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項6】

前記磁歪要素は、鉄ガリウム合金で構成される請求項1～3のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項7】

前記磁歪要素は、鉄テルビウムジスプロシウム合金で構成される請求項1～3のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項 8】

前記磁歪要素は、Terfenol-Dを含有する請求項 1～3 のいずれかの磁歪電流センサ。

【請求項 9】

中空磁性コアを選択することと、

前記中空磁性コアにギャップを形成することと、

前記磁性コアに第 1 及び第 2 取付部を形成し、前記第 1 取付部は、誘導された磁場の方向に減少する断面積を有し、前記第 2 取付部は、誘導された磁場の方向に増加する断面積を有することと、

磁歪要素を前記第 1 及び第 2 取付部に固定することと、

歪みゲージを前記磁歪材料に接着することと、を含む磁歪電流センサを製造するための方法。

【請求項 10】

前記磁歪材料を固定することは、前記磁歪要素をセミフレキシブルな接着性を有する前記磁性コアに固定することを含む請求項 9 の方法。

【請求項 11】

通電導体を取り囲み、第 1 及び第 2 台形取付部の間に配置されたギャップを含み、前記各取付部は略平面の取付面を含む磁性コアと、

前記通電導体によって発生した磁場の経路に配置され、前記第 1 及び第 2 台形取付面に機械的に接合しており、前記磁場が前記磁性コア及び磁歪要素の中の 1 つの連続した経路を進むように前記第 1 及び第 2 台形取付部の前記取付面の全表面を実質的に覆うのに十分なサイズであり、略平面の取付面を更に含む前記磁歪要素と、

前記磁歪要素と共に存在する歪みに比例する抵抗の変化を示す前記磁歪要素の前記取付面に強固に接着した歪みゲージと、を有する磁歪電流センサ。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US15/19778

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - G01L 3/10; G01R 15/18; H01L 41/12 (2015.01) CPC - G01L 3/102; G01R 15/183; H01L 41/12 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) IPC(8) Classification(s): G01L 3/10; G01R 15/18; H01L 41/12 (2015.01) CPC Classification(s): G01L 3/102; G01R 15/183; H01L 41/12, 41/125 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) PatSeer (US, EP, WO, JP, DE, GB, CN, FR, KR, ES, AU, IN, CA, INPADOC Data); Google Scholar; IEEE; EBSCO Keywords used: magnetostrictive current sensor; current signal monitoring; gap; strain gauge; minimal signal loss; conversion induced strain; mechanical displacement; magnetostrictive element; magnetic field; high sensitivity; iron gallium alloy; iron terbium dysprosium alloy		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2008/0054881 A1 (KIM, H) March 6, 2008; figures 4-6; paragraphs [0023-0024]; [0046]; [0057-0058]; [0068-0069]	1-3, 4/1-8/3, 9
Y	US 2009/0072822 A1 (SUN, H et al.) March 19, 2009; figures 1, 5-6; paragraphs [0018]; [0025]	1-3, 4/1-8/3, 9
Y	US 6,781,285 B1 (LAZARUS, K et al) August 24, 2004; abstract; column 1, lines 11-36; column 3, lines 9-40; column 5, lines 11-22	4/1-4/3
Y	US 3,504,282 A (OPSAHL, E et al.) March 31, 1970; figures 2, 4; column 2, lines 63-66; column 3, lines 1-15 and lines 53-75	1-3, 4/1-8/3
Y	US 2011/0192508 A1 (GAO, X et al.) August 11, 2011; abstract; paragraphs [0007-0008]; [0029]	6/1-6/3
Y	US 2007/0241849 A1 (HEINRICH, R et al.) October 18, 2007; paragraphs [0003]; [0013]; [0046]	7/1-7/3, 8/1-8/3
Y	ZHANG, J et al. "Enhanced sensitivity in magnetoelectric current-sensing devices with frequency up-conversion mechanism by modulating the magnetostrictive strain" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 115, 17E505-1 to 17E505-3; January 22, 2014 [online]; [retrieved on May 13, 2015]; <URL: http://content.ebscohost.com>; figure 1; page 17E505-2, column 1, lines 20-33	9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input 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 15 May 2015 (15.05.2015)		Date of mailing of the international search report 24 JUN 2015
Name and mailing address of the ISA/ Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer Shane Thomas PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

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 41/47 (2013.01) H 0 1 L 41/47

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, 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, KM, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ノウルズ, ガレス ジェイ.
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 7 7 0 1, ウィリアムズポート, スーツ 2 0 5,
 ライコミング クリーク ロード 1 9 6 5

(72)発明者 ブラッドレー, ウィリアム エム.
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 7 7 0 1, ウィリアムズポート, スーツ 2 0 5,
 ライコミング クリーク ロード 1 9 6 5

(72)発明者 ズーク, ジョナサン エム.
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 7 7 0 1, ウィリアムズポート, スーツ 2 0 5,
 ライコミング クリーク ロード 1 9 6 5

(72)発明者 バード, ロス
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 7 7 0 1, ウィリアムズポート, スーツ 2 0 5,
 ライコミング クリーク ロード 1 9 6 5

(72)発明者 ツンクデミール, シャファクキャン
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 7 7 0 1, ウィリアムズポート, スーツ 2 0 5,
 ライコミング クリーク ロード 1 9 6 5

F ターム(参考) 2G017 AA14 AA15 AC07 AD05 AD69 BA09
 2G025 AA08 AB00 AC01