

(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2009-229459

(P2009-229459A)

(43) 公開日 平成21年10月8日(2009.10.8)

(51) Int.Cl.
G 0 1 R 15/24 (2006.01)F I
G O 1 R 15/07B
テーマコード (参考)
2 G O 2 5

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-65527 (P2009-65527)
 (22) 出願日 平成21年3月18日 (2009.3.18)
 (31) 優先権主張番号 12/051, 290
 (32) 優先日 平成20年3月19日 (2008.3.19)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

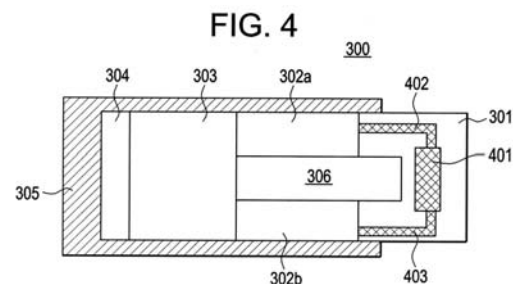
(54) 【発明の名称】 微小電子機械電流検出装置

(57) 【要約】

【課題】微小電子機械 (MEMS: micro-electromechanical) 電流検出装置を提供する。

【解決手段】微小電子機械 (MEMS) 電流検出装置は、キャリア部 (306) と、キャリア部 (306) 上に設けられ、光路 (402、403) および光路 (402、403) 内の磁気感受性要素 (401) を含む光学部 (301) と、キャリア部 (306) 上に設けられ、光路 (402) の第1の端部と動作状態で連通する光源 (302a) と、キャリア部 (306) 上に設けられ、光路 (403) の第2の端部と動作状態で連通する光検出器 (302b) とを含む。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

キャリア部 (3 0 6) と、

前記キャリア部 (3 0 6) 上に設けられ、光路 (4 0 2 、 4 0 3) および前記光路 (4 0 2 、 4 0 3) 内の磁気感受性要素 (4 0 1) を含む、光学部 (3 0 1) と、

前記キャリア部 (3 0 6) 上に設けられ、前記光路 (4 0 2) の第 1 の端部と動作状態で連通する、光源 (3 0 2 a) と、

前記キャリア部 (3 0 6) 上に設けられ、前記光路 (4 0 3) の第 2 の端部と動作状態で連通する、光検出器 (3 0 2 b) と、

を含む、微小電子機械 (MEMS : micro - electromechanical) 電流検出装置。

10

【請求項 2】

前記磁気感受性要素 (4 0 1) は、フェリ磁性ブロック、強磁性ブロック、磁気感受性結晶または偏光維持光ファイバである、請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】

前記光源 (3 0 2 a) は、スーパーミネセントダイオード、発光ダイオードまたはレーザダイオードである、請求項 1 記載の装置。

【請求項 4】

前記光検出器 (3 0 2 b) と動作状態で通信する信号処理部 (3 0 3)

をさらに含む、請求項 1 記載の装置。

20

【請求項 5】

前記信号処理部 (3 0 3) は、前記光源 (3 0 2 a) と動作状態で通信する、請求項 4 記載の装置。

【請求項 6】

前記信号処理部 (3 0 3) は、前記磁気感受性要素 (4 0 1) に比較的密接して流れる電流の量を測定するように構成される、請求項 5 記載の装置。

【請求項 7】

前記信号処理部 (3 0 3) は、前記磁気感受性要素に比較的密接して流れる電流の量を測定するように構成される、請求項 4 記載の装置。

【請求項 8】

前記信号処理部と動作状態で通信する通信部 (3 0 4) をさらに含む、請求項 1 1 記載の装置。

30

【請求項 9】

前記通信部 (3 0 4) は、前記信号処理部によって測定した電流測定結果を送信するように構成される、請求項 8 記載の装置。

【請求項 10】

前記通信部、前記信号処理部、前記光源および前記光検出器を EMI からアイソレートするように構成された電磁アイソレーション (EMI : electro - magnetic isolation) バリア (3 0 5) をさらに含む、請求項 8 記載の装置。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】**【0001】**

本開示は、一般に電流検出に関し、より詳しくは微小電子機械 (MEMS : micro - electromechanical) 電流検出装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

一般に、サージ電流および / またはインパルス電流の記録のための磁場検出装置は、ループアンテナ、すなわちロゴスキー (Rogowski) コイル (または磁気カード) を使用した半導体ベースのシステムに限定される。ループアンテナは、磁場の変化を検出し、それは、電圧の変化になり、アンテナ上の端子の電圧が記録される。しかし、アンテナ

50

および磁気カードは、電磁干渉（E M I : e l e c t r o m a g n e t i c i n t e r f e r e n c e ）を極めて受けやすいという制限がある。また、ロゴスキーコイルは、電流測定および磁場測定のための帯域幅に関する制限を受ける。

【 0 0 0 3 】

さらに、これらのデバイスは、航空機、塔、または塔状の構造物における雷検出を含む用途の際、組み込むのが困難である。たとえば、風車は、塔状の外観および構造を有し、規則的な間隔で上方に伸びる回転翼を含む。また、たとえば、航空機は、翼（エーロフォイル）を有し、それは、規則的な間隔で主要構造物（機体胴体）の外部に延在する。さらに、風車は、接地されることがあり、雷および E M I の両方の影響を受けやすい。アンテナとしてのロゴスキーコイルおよび磁気カードは、E M I に関与する用途に制限があり、風車への用途におけるそれらの有用性は、減少される恐れがある。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 米国特許第 5 5 2 1 6 0 3 号公報

【 特許文献 2 】 米国特許第 5 9 7 7 7 6 2 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

微小電子機械（M E M S : m i c r o - e l e c t r o m e c h a n i c a l ）電流検出装置を提供する。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

微小電子機械電流検出装置は、キャリア部と、キャリア部に設けられ、光路および光路内の磁気感受性要素を含む光学部と、キャリア部に設けられ、光路の第 1 の端部と動作状態で連通した光源と、キャリア部に設けられ、光路の第 2 の端部と動作状態で連通した光検出器とを含む。

【 0 0 0 7 】

これらおよび他の本発明の目的、利点および特徴は、添付図面と併せて記載された本発明の詳細な説明からよりよく理解されるであろう。

30

【 0 0 0 8 】

これらおよび他の本発明の特徴、態様および利点は、同様な参照数字が図面全体にわたって同様な要素を表す添付図面を参照して以下の詳細な説明を読むと、よりよく理解されるであろう。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 例示的な実施形態による例示的な光電流センサ装置を示す図である。

【 図 2 】 例示的な実施形態による例示的な光電流センサ装置を示す図である。

【 図 3 】 例示的な実施形態による M E M S 電流検出装置の断面図である。

【 図 4 】 例示的な実施形態による M E M S 電流検出装置の俯瞰図である。

40

【 図 5 】 例示的な実施形態による M E M S 電流検出装置の例示的な風車への用途を示す図である。

【 図 6 】 例示的な実施形態による M E M S 電流検出装置の例示的な航空機への用途を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

詳細な例示的な実施形態が本明細書に開示される。しかし、ここに開示される具体的な機能の細部は、例示的な実施形態を説明する目的で単に表示するものである。しかし、例示的な実施形態は、多くの代替形態で実施することができ、本明細書に述べられる実施形態だけに限定されると解釈すべきでない。

50

【 0 0 1 1 】

したがって、例示的な実施形態は様々な変更および代替形態が可能であり、その実施形態が図面に例として示され、本明細書に詳細に述べられる。しかし、例示的な実施形態を、開示される特定の形態に限定する意向はなく、それとは反対に、例示的な実施形態は、例示的な実施形態の範囲内に含まれるすべての変更形態、均等物および代替形態をカバーすることになることを理解すべきである。

【 0 0 1 2 】

用語「第1の」、「第2の」などは、本明細書では様々な形態またはモデルを述べるために使用されることがあるが、これらの形態またはモデルは、これらの用語によって限定すべきでないことを理解されたい。これらの用語は、1つの形態またはモデルを他と区別するためだけに使用される。たとえば、本開示の範囲から逸脱せずに、第1の形態は、第2の形態と称することができ、同様に、第2のモデルは、第1のモデルと称することができる。用語「および/または」および「/」の記号は、本明細書で使用されるとき、関連する記載された項目の1つまたは複数の任意のすべての組合せを含む。

【 0 0 1 3 】

単数形「1つ(a)」、「1つ(an)」および「その(the)」は、本明細書で使用されるとき、文脈で他に特に明確に示されていない限り、複数形も含むと意図される。用語「含む(comprises)」、「含む(comprising)」、「含む(includes)」、および/または「含む(including)」は、本明細書で使用されるとき、述べられた特徴、整数、ステップ、操作、要素および/または構成要素の存在を規定するが、1つまたは複数の他の特徴、整数、ステップ、操作、要素、構成要素および/またはそれらの群の存在または追加を排除するものでないことをさらに理解されたい。したがって、ここで使用される用語は、特定の実施形態だけを述べる目的のためのものであり、例示的な実施形態の限定を意図するものではない。

【 0 0 1 4 】

以下に、本開示の例示的な実施形態が詳しく述べられる。例示的な実施形態によれば、MEMS構造で統合化された電流検出デバイスが開示される。MEMSデバイスの電流検出原理は、光学結晶または他の光学媒体(たとえば、光ファイバ)中のファラデー効果に基づく。少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、MEMS電流検出デバイス/装置は、エネルギー源、光源、磁気感受性材料、光検出器、信号処理/記憶ユニットおよび/または通信ユニットを含むことができるが、これらの構成要素のいくつかは、任意の特定の実装形態によっては、省略することができ、または別々に統合化することができる。比較的小さなデバイスを伝導体の近傍に配置して伝導体中の電流によって誘起された磁場を測定することによって、雷および/またはACパルス状電流事象を記録することができる。データは、事象の後(または実質的に事象と同時に)、電流検出デバイスから遠隔にあるシステム制御ユニットに送信するために、記憶することができる。デバイスは、MEMS構造上に追加の機構、たとえば加速度計、歪み測定センサおよび/または温度測定デバイスを備えることができる。いくつかの範囲の磁場を測定するために、センサの光学部が多重化される。

【 0 0 1 5 】

電流検出デバイスの1つの用途は、雷電流および/またはサージ電流の検出とすることができる。雷電流測定システムは、広い周波数スペクトル、すなわち広い測定範囲が必要があり、電磁干渉(EMI)からアイソレーションされる、または耐EMI性であることが必要な場合がある。光ファイバ電流センサ(FOCS: fiber optic current sensor)は、これらの仕様を満たすことができる。FOCSは、材料の光学的特性が磁場または材料自体の磁化の影響を受ける磁気光学効果に依存する。FOCSは、EMIに関してロバスト性である、というのは、電流によって発生された磁場は、微小寸法のデバイス中で光信号に変換することができるからである。したがって、電気信号ノイズが、データ収集ユニットに送信されない。FOCSの他の利点は、重量軽減に加えて、落雷または大電流事象によって引き起こされる予期せぬサージから生じる

10

20

30

40

50

過電流によって、センサが損傷を受ける恐れがないということである。適用された光材料に依存して、ファラデー効果に基づく様々な構成が本明細書に開示されるように実現することができる。

【0016】

図1に示すように、例示の光電流検出装置100が示してある。装置100は、第1の偏光板101および第2の偏光板102を含む。第1の偏光板101は、光ファイバ103の先頭部に位置し、第2の偏光板102は、光ファイバ103の末尾部に位置する。光ファイバ103は、少なくとも1回、伝導体104のまわりに巻き付けられる。伝導体104中の電流Iによって誘起された磁場が存在するとき、光の偏光面がファイバ中で回転する角度は、次に示す式1によって与えられる。

10

【0017】

式1： $\theta = VN I$

式1中、Vは、磁気光学材料（たとえば、光ファイバ）のベルデ定数を表し、Nは、光ファイバ103の巻数を示し、Iは、伝導体104中を流れる電流を示す。出力信号の高信号対雑音比（SNR：signal-to-noise ratio）を達成するために、伝導体104に光ファイバを何回か（巻数N）巻くことが必要になることがあり、そして外部の影響を減少させるおよび/またはなくすために、異なる光路および光回転検出方法を使用することができる。

【0018】

現在、比較的大きいベルデ定数を有したファイバが存在するが、測定可能な効果を得るために、長い伝搬経路が必要になることがある（たとえば、大きいN）。しかし、センサとして光ファイバを使用することは、いくつかの用途では実用的でない恐れがある。というのは、伝導体のまわりにファイバコイルを巻き付けることが常には実行可能でないからである。全ファイバのセンサの他の欠点は、いくつかの用途で、伝導体の直径が4～5cmより小さくない場合があるということである。この条件に違反すると、通常は温度感受性が比較的大きくなる。さらに、光ファイバ中の曲げ、および内部応力による内因性の曲げから引き起こされる誘起線形複屈折が、ファイバ電流センサ中でますます重要になる場合がある。

20

【0019】

しかし、例示の実施形態は、すべて光ファイバからなる電流センサに限定されない。いくつかの例示の実施形態によれば、光学的に透明な、または半透明なフェリ磁性材料を使用することができる。たとえば、光学的に透明なフェリ磁性および強磁性の結晶材料は、大きいベルデ定数、したがって単位長さ当たりの回転角度が増加することによる、より高い感受性が特徴である。フェリ磁性鉄ガーネット結晶は、通常の常磁性および反磁性の材料の磁気光学的感受性よりけた違いに高い磁気光学的感受性を示す。イットリウム鉄ガーネット（YIG）では、帯域幅が500+MHzである約0.3°mTの感受性が、直径1mmおよび長さ5mmの磁束を成長させたロッド中で得られる。Ga：YIGなどの置換型ガーネットは、しばしば共振周波数が低くなり、帯域幅が減少する恐れがあるが、より大きな感受性を示す。

30

【0020】

フェリ磁性材料を含む例示の実施形態をさらによく理解するため、一般的なファラデー効果、フェリ磁性材料でのファラデー効果およびフェリ磁性ブロックを含む例示の電流検出装置について、本明細書の以降で説明する。

40

【0021】

ファラデー効果は、縦方向に加えられた磁場による、媒体から出現時に線形に偏光された光の偏光面の回転から一般に構成することができる。反磁性および常磁性の材料の場合、磁場の方向に進む光は、線形に偏光されて、以下に示す式2が満たされるような正味の回転角度で、出現する。

【0022】

式2： $\theta(\omega, T) = V(\omega, T) H d l$

50

式 2 では、 λ は、出現光の電場による回転の測定角度を示し、 λ_0 は、出現光の自由空間波長を示し、 T は、室温を示し、 V は、磁気光学材料のベルデ定数であり、 H は、伝搬経路に沿った磁場強度を示す。

【 0 0 2 3 】

回転方向が伝搬方向と直接関連する光学活性とは違って、ファラデー効果は、非相互的である。その回転は、磁場にもっとも直接的に関連し、したがってそれ自体に戻る光の反射が回転を倍にし、それは、特に検出要素としてファイバコイルを使用する F O C S に、役立つ特性になることができる。

【 0 0 2 4 】

反磁性および常磁性の材料について、式 (式 2) によると、ベルデ定数は、ファラデー回転子として磁性材料を使用する場合、その磁性材料の適合性の指標になる。電子構造物を通過する偏光光の光学的回転は、円複屈折として理解することができ、それは、左円偏光および右円偏光の光成分について異なる屈折率の存在によって説明される。各成分は、異なる屈折率 n を伴って、したがって異なる速度を伴ってサンプルを通る。

【 0 0 2 5 】

周波数 f の光が、L a m b o r 周波数 f_L によって回転している電子システムおよび / または光路を通っている場合、周波数依存の屈折率は、以下に示す式 3 および式 4 によって与えられる。

【 0 0 2 6 】

$$\text{式 3 : } n_l = n (f - f_L)$$

$$\text{式 4 : } n_r = n (f + f_L)$$

したがって、ベルデ定数の式の結果は、次に示す式 5 によって与えられる。

【 0 0 2 7 】

【 数 1 】

$$\text{式 5 : } V = \frac{e}{2mc} \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

ベルデ定数は、光波長および媒体中のその分散の両方に比例し、それは、温度に依存する。フェリ磁性および強磁性の材料では、磁化は、磁場強度に非線形に関連する。したがって、ベルデ定数は、使用することができない。

【 0 0 2 8 】

たとえばイットリウムおよび他の希土類鉄ガーネット (たとえば Y I G および R I G) などのフェリ磁性材料は、比ファラデー回転 (specific Faraday rotation) が、一般に、光ファイバと比較した場合、比較的それより大きい。これは、所与の磁場強度を測定するためのファラデー回転子が小さくなることになり、したがって軽量の磁気光学変換器が可能になる。これらの材料を成長させる方法は、十分に確立されている。さらに、変換器のパッケージは、高ベルデ定数の材料を導入することによって、より小型にすることができる。

【 0 0 2 9 】

原子レベルに根源を有する固有の磁気特性のため、フェリ磁性および強磁性の材料に関する考えられる 1 つの欠点は、理論的レベルでのこれらの複雑性であり、そのため、式 2 を十分適用することができる反磁性および常磁性の材料とは違って、これらの材料にはファラデー回転の純理論的予測が十分に与えられない。

【 0 0 3 0 】

フェリ磁性材料中のファラデー効果に関し、フェリ磁性および強磁性の材料は、外部磁場中で帯磁し、磁場が除去された後も帯磁状態のままである。これらは、ともに自発磁化を示すことがある (すなわち、これらは、磁場がない場合に正味の磁気モーメントを有する)。フェリ磁性材料では、異なるサブラティス上の原子の磁気モーメントが互いに対抗する。しかし、対抗モーメントが同じでなく、正味の磁化が残る。強磁性材料では、すべての磁気イオンが正味の磁化にプラス側で寄与をする。磁性は、電子のスピンとその軌道

10

20

30

40

50

角運動量の組合せによってもたらされる磁気双極子モーメントによる。フェリ磁性体および強磁性体では、原子は、部分的に満たされたシェルまたはスピンを有し、それらは、双極子モーメントを相殺する上/下対ではなく、したがってこれらの磁性体は、外部磁場を加えることなく、正味の磁化を有することができる。

【 0 0 3 1 】

電子は、パウリの排他原理によって同じ方向になる。しかし、矛盾する現象が存在し、それは、隣接した双極子が反対方向で整列する傾向を有するということである。これによって磁区が生成され、これによって近距離の双極子整列が生じるが、長距離では反整列になる。2つの磁区間の遷移は、磁壁またはブロッホ壁と呼ばれる。強力で十分な外部磁場の下では、磁区は再整列することになる。しかし、これはまた、低い磁場が加えられた場合、これらの磁区の存在、および増大または変化する磁場とのその相互作用を考慮しなければならないことを示している。材料の磁化を変化させることができる速さが磁壁運動の動的特性によって制限される。

10

【 0 0 3 2 】

Y I G、つまりイットリウム鉄ガーネットは、組成が $Y_3Fe_5O_{12}$ であるフェリ磁性ガーネット結晶である。これは、波長が約 $1.1 \mu m$ より長い光に透明である。 $1.3 \mu m$ および $1.5 \mu m$ の波長では、信頼性のある源および検出器が電気通信で容易に得られ、光学的損失が比較的低い。

【 0 0 3 3 】

電気双極子遷移からの分散的回転および磁気双極子遷移からの非分散的部分回転は、Y I G の場合、その大きいファラデー回転によって区別することができる。異なる電子からの単位長さ当たりの磁気光学回転に対する寄与は、次に示す式 6 によって記述することができる。

20

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

式 6 :

$$\theta(T) = (A_m + A_e)M_{Fe}^0(T) + (B_m + B_e)M_{Fe}^t(T) + (C_m + C_e)M_R(T)$$

インデックス m および e は、異なるタイプの共振からの寄与を示し、上付き文字 o および t は、Y I G の鉄原子からの八面体および四面体の位置を示す。周波数が低い場合、フェリ磁性材料に基づいた電流検出装置中で電流によって誘起された近傍磁場は、次の式 7 によって表されるビオサールの法則によって計算することができる。

30

【 0 0 3 5 】

【 数 3 】

$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$

式 7 :

式 7 では、ベクトル H は、磁場を示し、I は、所与のワイヤセグメント中の電流を示し、ベクトル l は、ワイヤセグメントの長さ要素を表し、ベクトル r は、磁気感受性要素から磁場ポイントまでの変位ベクトルを表す。したがって、フェリ磁性材料は、ファラデー効果を検出するために使用することができ、それゆえ光電流検出装置中で使用することができる。たとえば、図 2 に、例示的な実施形態による、フェリ磁性材料を含む例示的な光電流検出装置 200 を示す。

40

【 0 0 3 6 】

装置 200 は、偏光板 201 および 202 を含む。偏光板 201 および 202 は、偏光板 101 および 102 に類似であってもよい。たとえば、偏光板 201 および 202 は、装置 200 に入射する光を効果的に偏光し、装置 200 から出射する光の偏光角度の変化を表す角度を測定するために使用することができる。装置 200 は、フェリ磁性ブロッ

50

ク 2 0 3 をさらに含む。フェリ磁性ブロック 2 0 3 は、たとえば上述のような任意のフェリ磁性材料を含むことができる。さらに、フェリ磁性ブロック 2 0 3 は、一般に形状を長方形とすることができる。あるいは、フェリ磁性ブロック 2 0 3 は、一般に楕円形としてもよく、ブロック 2 0 3 に入射する光がブロック 2 0 3 の全長を表す距離 1 を進行することを可能にする。光が距離 1 を進むとき、偏光角度は、フェリ磁性ブロック 2 0 3 に作用する磁場に関連付けられた変化を受ける。たとえば、磁場の作用は、上記に詳しく述べている。

【 0 0 3 7 】

装置 2 0 0 は、伝導体 1 0 4 をさらに含む。伝導体 1 0 4 は、図 1 の伝導体 1 0 4 と類似であってもよく、したがって、装置 2 0 0 によって測定する電流 I を通すことができる。電流 I は、フェリ磁性ブロック 2 0 3 に作用する磁場 B を生成し、それによってフェリ磁性ブロック 2 0 3 内で光の偏光角度が変更されて、装置 2 0 0 によって効率的に電流 I を測定することが可能になる。

10

【 0 0 3 8 】

電流（たとえば、雷電流）を測定するために、光ファイバ磁場センサの検出要素（すなわちブロック 2 0 3）は、電流によって生成されたまたは誘起された磁場密度 B または磁場 H を検出し、干渉源から生じる作用を最小限にするために伝導体 1 0 4 の比較的近くに配置することができる。センサヘッドでは、磁気光学性鉄ガーネットまたはブロック 2 0 3 は、2 つの偏光板 2 0 1 および 2 0 2 の間に配置することができる（図 2 参照）。光源として、スーパーミネセントダイオード（SLD）、レーザダイオードまたは発光ダイオードを使用することができ、それは、光導波路（たとえば光ファイバ）中に光を結合してブロック 2 0 3 に入射させる。たとえばレンズや他のデバイスなどの追加の光学デバイスを使用して、光導波路から出射する光をフェリ磁性ブロック 2 0 3 に結合するのに役立てることができる。類似の光学デバイス（たとえばレンズなど）を使用して、フェリ磁性ブロック 2 0 3 から出射する光を他の光導波路に結合して、半導体受光器、逆バイアスダイオードまたは光電気変換器などの他の適切なデバイスなどの光センサに送ることができる。したがって、センサヘッドの出力は、輝度変調光信号であり、それは、他の光導波路を介して光電気（ $o/e:opto-electrical$ ）変換器に送られる。

20

【 0 0 3 9 】

以下では、MEMS 電流検出装置について、図 3 および 4 を参照して説明する。MEMS 電流検出装置は、上述の原理に基づき動作することができ、ファラデー効果を検出するためにフェリ磁性および/または強磁性材料、および/または他の磁気感受性材料を含むことができ、したがって電流検出の用途に使用することができる。

30

【 0 0 4 0 】

図 3 を見ると、例示的な実施形態による MEMS 電流検出装置 3 0 0 の断面が示してある。装置 3 0 0 は、光学部 3 0 1 を含む。光学部 3 0 1 は、光導波路および磁気感受性要素、たとえば光ファイバおよび/またはフェリ磁性材料を含むことができる。装置 3 0 0 は、光源/光検出器部 3 0 2 a / b をさらに含む。部 3 0 2 a / b は、光学部 3 0 1 を通して偏光光を送るための別の光源、および光学部 3 0 1 から出射した偏光光からファラデー効果を検出するための別の光検出器を含むことができる。

40

【 0 0 4 1 】

装置 3 0 0 は、信号処理/エネルギー源部 3 0 3 をさらに含む。部 3 0 3 は、部 3 0 2 の光源および装置 3 0 0 の他の部にエネルギーを供給することができる。さらに、部 3 0 3 は、たとえば上に詳しく述べた式にいくらか類似した操作などの信号処理操作を実施することができる。それらの操作は、電流値を測定するステップ、または光学部 3 0 1 から出射した偏光光の角度差に基づき落雷を検出するステップを含むことができる。

【 0 0 4 2 】

装置 3 0 0 は、通信ユニット 3 0 4 をさらに含む。通信ユニット 3 0 4 は、部 3 0 3 と動作状態で通信することができ、装置 3 0 0 によって検出された電流に関する情報を送信することができる。たとえば、電流は、装置 3 0 0 に比較的密接して流れることができる

50

。電流は、光学部 301 から出射した光の偏光の角度変化によって検出することができ、それは、光の輝度の変化によって検出することができる。部 303 は、角度差を解釈し、電流または磁場の変動事象（たとえば落雷）が起きたかどうかを判定することができる。その後、または実質的に同時に、通信部 304 は、その判定に関する情報を送信することができる。

【0043】

装置 300 は、EMI アイソレーションまたは減少バリア 305 をさらに含む。バリア 305 は、装置 300 のために、EMI に対する何らかの遮へいを提供すること、または EMI を減少させることができる。たとえば光学部 301 は、EMI から比較的影響を受ける恐れがないが、部 304 および / または 304 は、ある量の EMI 減少 / アイソレーションが必要になることがある。バリア 305 は、EMI を減少させるために、任意の適切な材料から構成することができる。

10

【0044】

装置 300 は、キャリア 306 をさらに含む。キャリア 306 は、装置 300 の様々な部（たとえば、301 ~ 305）を実際に支持する機械部または基板とすることができる。図 4 を見ると、例示的な実施形態による MEMS 電流検出装置 300 の俯瞰図が示してある。

【0045】

図 4 に示すように、装置 300 は、光学部 301 内またはその上に位置した光導波路 402 および 403 をさらに含むことができる。光導波路は、光が光源 / 光検出器部 302 a / b 間を行き来する経路を提供することができる。装置 300 は、磁気感受性要素 401 をさらに含む。磁気感受性要素 401 は、フェリ磁性、強磁性または他の適切な材料を含むことができ、かつ、磁場が磁気感受性要素 401 に影響を及ぼした場合、磁気感受性要素 401 中を進む光の偏光角度の変化を確立することができる。たとえば、装置 300 に比較的密接して伝導体中を流れる電流は、磁気感受性要素 401 に影響を及ぼす磁場を生成することができ、それによって光学部 301 内の光の偏光変化を記録することができる。

20

【0046】

したがって、上述のように、例示的な実施形態は、MEMS ベースの電流検出装置を提供する。ここで述べた電流検出装置は、EMI または他の形態の電気干渉の影響を受けやすい様々な用途に使用できるということに留意されたい。たとえば上述のように、風車または航空機は、比較的大きい量の EMI を受けることがある。さらに、風車または航空機で落雷を検出する（たとえば、大きい電流スパイクを検出する）ことが望ましいことがある。したがって、風車および航空機を含む例示的な応用例がここに述べられる。この例示的な応用例は、例示的な実施形態をさらによく理解する目的のためだけのものであり、それゆえ例示的な実施形態を決して限定しない。

30

【0047】

図 5 は、例示的な実施形態による、MEMS 電流検出装置の例示的な風車への応用例を示している。この図に示すように、風車 500 は、複数の回転翼 510 を含むことができる。各回転翼は、雷または他の電流事象の影響を受けやすい恐れがあり、したがって風車の回転翼 510 の 1 つまたは複数が MEMS 電流検出装置 502 を備えることができる。装置 502 は、上述の装置 300 に実質的に同様なものとすることができる。

40

【0048】

通信チャネル 503 は、装置 502 と風車制御ユニット 501 の間で相互接続することができる。通信チャネル 503 は、装置 502 と制御ユニット 501 の間の情報通信を実際に可能にする任意の通信チャネルとすることができる。たとえば、通信チャネル 503 は、光ファイバチャネル、電気通信チャネル、または他の適切なチャネルとすることができる。制御ユニット 501 は、風車 500 のノーズコーン部 511 上に、またはその中に組み込むこと、または搭載することができ、装置 502 と通信すること、および風車 500 の動作を制御することの両方ができる。

50

【0049】

図6は、例示的な実施形態による、MEMS電流検出装置の例示的な航空機への応用例を示している。この図に示すように、航空機600は、複数の翼（エアロfoil）610を含むことができる。各翼は、雷または他の電流事象の影響を受けやすい恐れがあり、したがって航空機の翼610の1つまたは複数がMEMS電流検出装置602を備えることができる。装置602は、上述の装置300に実質的に同様なものとすることができる。

【0050】

通信チャンネル603は、装置602と航空機制御ユニット601の間で相互接続することができる。通信チャンネル603は、装置602と制御ユニット601の間の情報通信を実際に可能にする任意の通信チャンネルとすることができる。たとえば、通信チャンネル603は、光ファイバチャンネル、電気通信チャンネル、または他の適切なチャンネルとすることができる。制御ユニット601は、航空機600の胴体部611上に、またはその中に組み込むこと、または搭載することができ、装置602と通信すること、および航空機600の操作を制御することの両方ができる。

【0051】

例示的な実施形態によれば、雷検出システムがスタンバイ方式であり、落雷の場合に始動されるように準備されている期間中、o/e変換器が指定された設定点で一定信号を出力するように光源を通る電流が調節されることに、さらに留意されたい。落雷が発生したとき、出力信号は、落雷電流の極性に依拠してプラスまたはマイナスの方向に変調される。しかし、室温の変化によって、かつ光学装置中の他の作用によって、この設定点信号は、一定ではない。このドリフトが設定点においてシステムの始動に影響を与え、トリガーレベルを超える、またはo/e変換器の限界に向けて移行することがある。

【0052】

マルチセンサシステムの場合（たとえば、複数のセンサが、複数の風車の回転翼または航空機の翼に取り付けられる場合）、光源が1つで共通に使用されたとき、各センサヘッドにおけるドリフトを同じである。したがって、1つのチャンネルを観察することによって、他のセンサのドリフトを推定することができる。ドリフトを抑制し、設定点を最適レベルに調節して維持するために、追加の低周波数信号入力がデータ収集システムに組み込まれる。このチャンネルは、制御回路に接続され、それが比例積分微分（PID）制御器を用いて設定点を調節する。制御回路のサンプリングレートは、雷電流測定のためのデータ収集より低く、制御器システムは、雷電流測定を妨げない。

【0053】

ここで述べたように、例示的な実施形態は、光材料を使用した電流検出装置を提供する。装置は、電源と一体化することができる。電源は、光源、光検出器、データ処理ユニットおよび/または通信ユニットに電力を配給することができる。電源は、バッテリー、（たとえば、光ファイバまたは日光によって供給される）光電セル、および/または電気機械変成器（electromechanical transformer）とすることができる。光源は、スーパーluminescentダイオード（SLD）、レーザダイオードまたは発光ダイオードとすることができる。放射光は、線形に偏光することができる。光は、装置のMEMS構造物上、統合光誘導システムで磁気感受性要素または結晶まで誘導することができる。偏光状態が光源によって制御することができない場合、結晶の前に偏光板を組み込むことができる。比較的高いベルデ定数（Verdet constant）を特徴とする光学的結晶構造（たとえば、フェリ磁性または強磁性の結晶）はいずれも、MEMS処理中に直接設けること、または構造内でその後に配置することができる。結晶の後に、第2の偏光板（たとえば入射光に対して45°）が磁場に関して通過光の輝度変調を引き起こす（ファラデー効果）。光検出器ユニットが、この輝度を測定することができる。信号処理ユニットは、時間に関する微係数を測定することができる。雷または電流は、この微係数が所与の限度（プラスまたはマイナス側）を超えたときに検出される。

【0054】

落雷の例では、情報は、記憶することができ、かつ通信ユニットによって光ファイバリンク、無線送信、電気送信などを介して制御ユニットに送ることができる。装置の電子部は、EMIをアイソレートすることができる。電流測定の実用例では、たとえば雷パラメータを測定する高度MEMS装置は、光源制御ループを備えることができる。このループは、雷周波数より低い周波数によって制御され、比較的定常値に出力輝度を維持することができる。磁場測定値を校正するために、EMIアイソレーションMEMS構造中に温度検出デバイスを実装することができる。

【0055】

本発明のほんのいくつかの例示的な実施形態についてここまで説明したが、それらは、多くの方法で変更できることが明らかである。上記の本発明の説明では、任意のデバイスまたはシステムを作り、使用し、そして任意の連携した方法を実施することを含み、すべての当業者が本発明を実施することができるように、最良の形態を含むこれらの例を用いている。本発明の特許性のある範囲は、特許請求の範囲によって規定され、当業者が想起する他の例を含むことができる。そのような他の例は、特許請求の範囲と一字一句相違しない構造の要素を有する場合、または特許請求の範囲とは表現が異なっても実質的な相違のない同等の構造の要素を含む場合、特許請求の範囲の範囲内に含まれると意図される。そのような変更形態は、本発明の精神および範囲から逸脱しているとみなすべきでなく、そして、すべてのそのような修正形態は、次の特許請求の範囲で述べるような本発明の範囲内に含まれると意図される。

【符号の説明】

【0056】

- 100 電流検出装置
- 101 偏光板
- 102 偏光板
- 103 光ファイバ
- 104 伝導体
- 200 電流検出装置
- 201 偏光板
- 202 偏光板
- 203 磁気ガーネット / フェリ磁性ブロック
- 301 光学部
- 302 a / b 光源 / 光検出器
- 303 信号処理部
- 304 通信部
- 305 EMIアイソレーションバリア
- 306 キャリア部
- 401 磁気感受性要素
- 402 光導波路
- 403 光導波路
- 500 風車
- 501 制御ユニット
- 502 MEMS電流センサ
- 503 通信チャネル
- 510 風車の回転翼
- 511 ノーズコーン
- 601 航空機制御ユニット
- 602 MEMS電流センサ
- 603 通信チャネル
- 610 エーロfoil
- 611 胴体

10

20

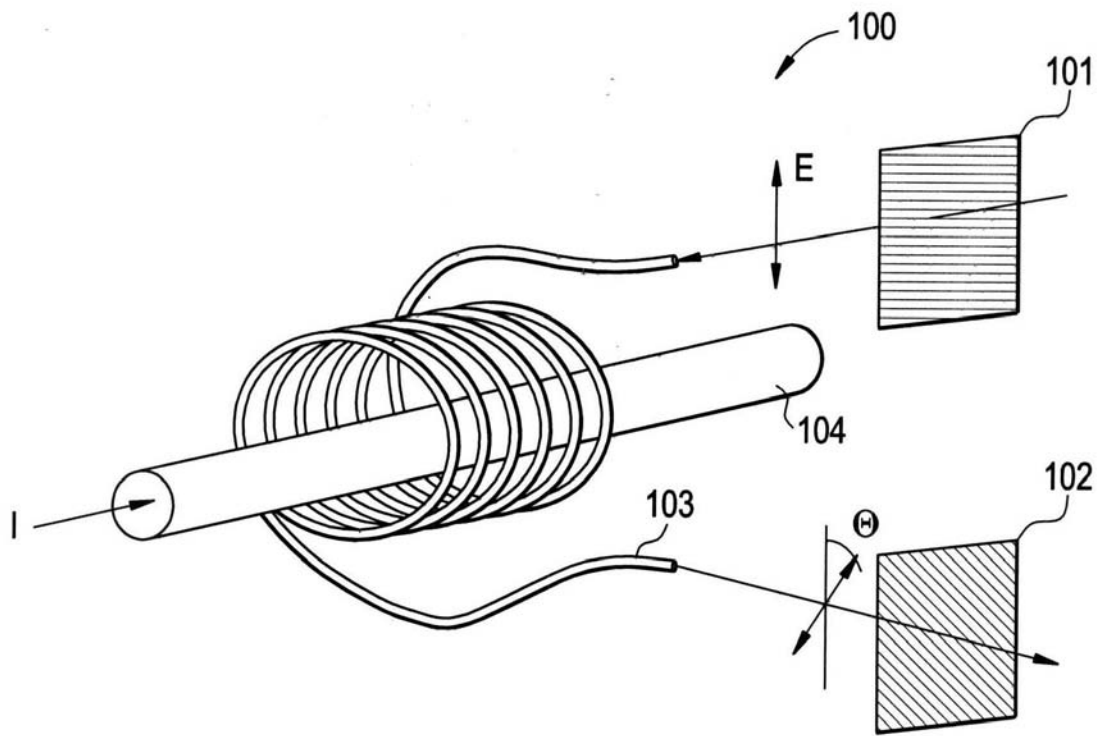
30

40

50

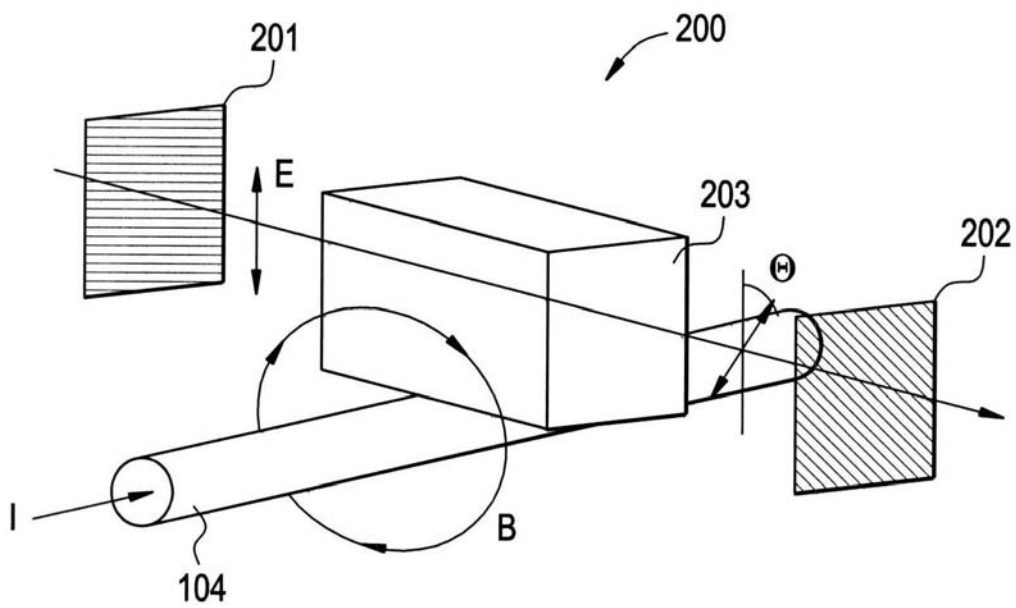
【 図 1 】

FIG. 1



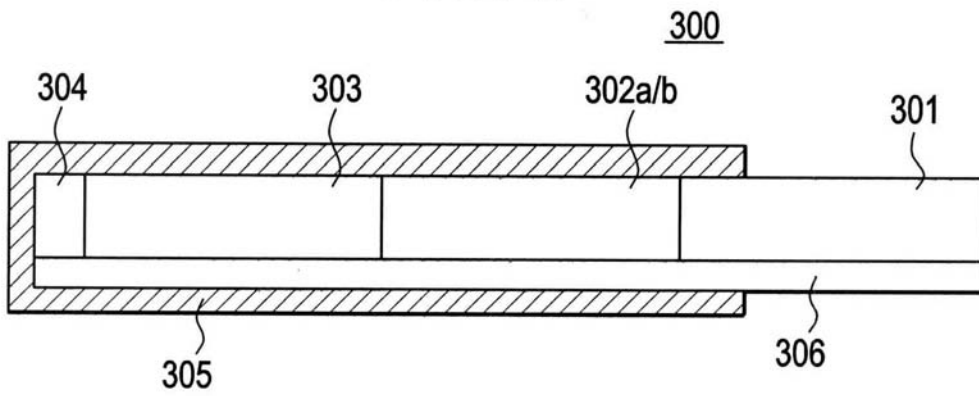
【 図 2 】

FIG. 2



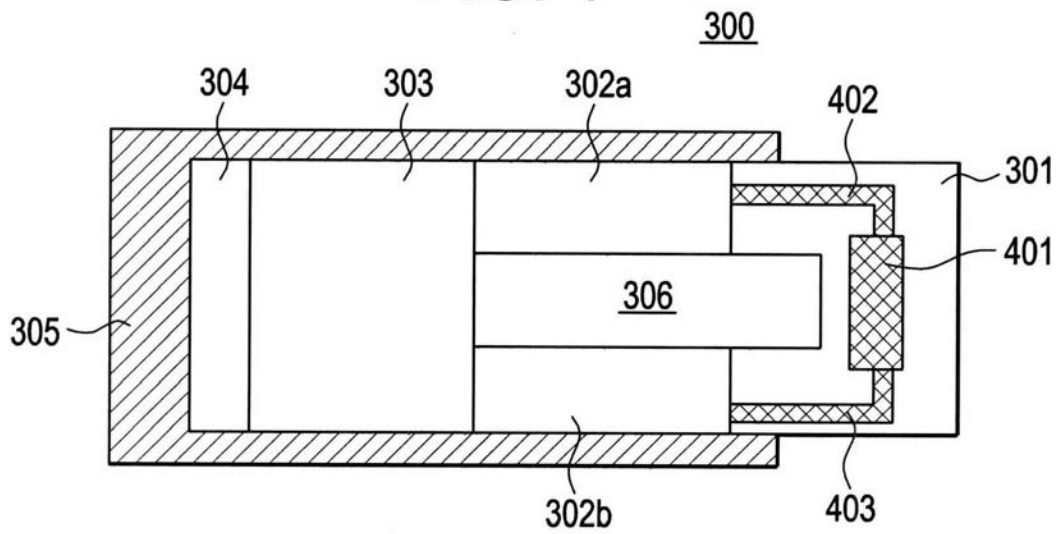
【 図 3 】

FIG. 3



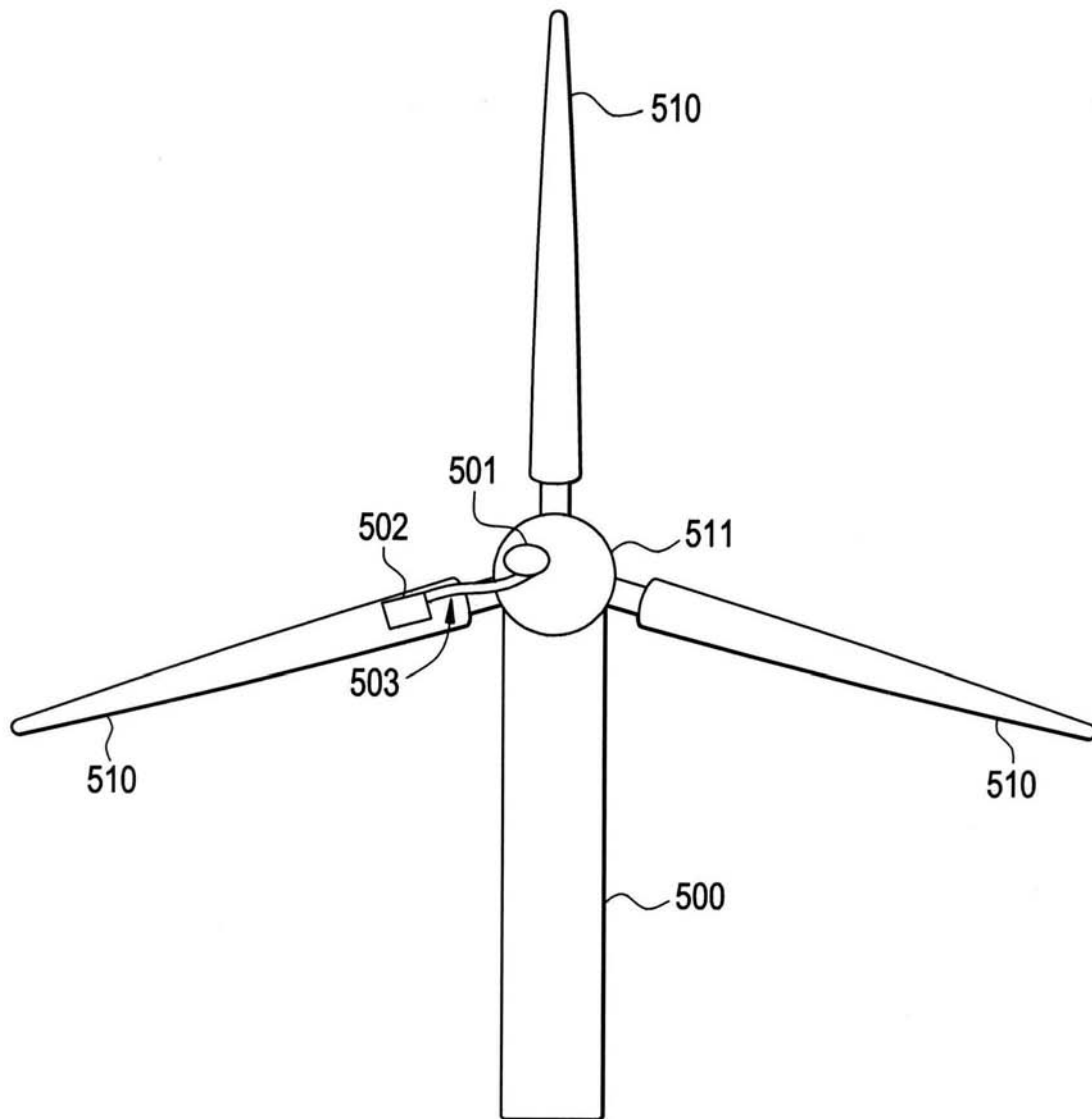
【 図 4 】

FIG. 4



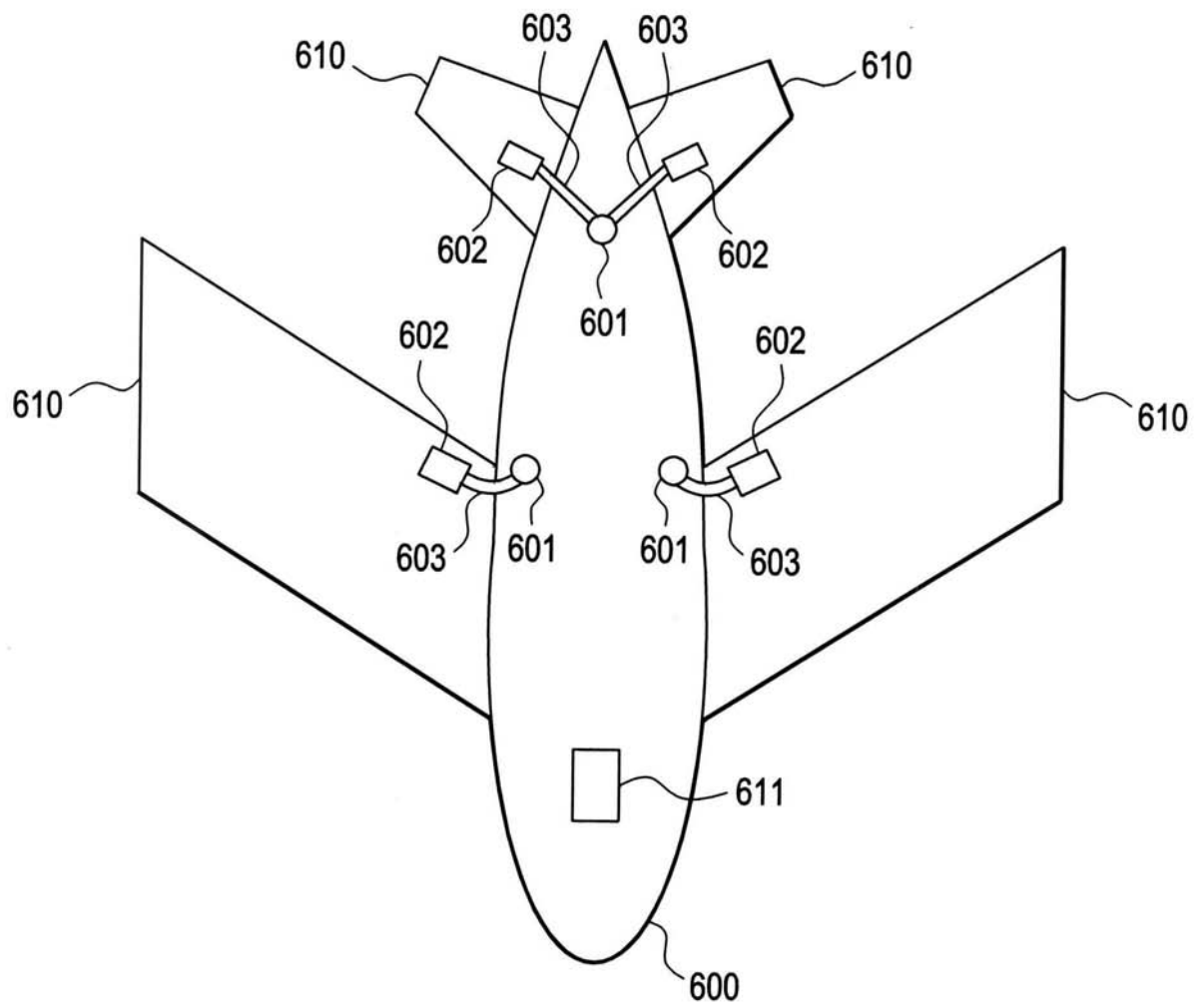
【 図 5 】

FIG. 5



【 図 6 】

FIG. 6



フロントページの続き

(72)発明者 セバスチャン・ゲハート・マクシム・クレイマー

ドイツ、バーヴァリア、ミュニッック、リチャード - ストラウス - ストラッセ・40番

(72)発明者 ヤル・ナジェム・メンデス・ヘルナンデス

ドイツ、バーヴァリア、ミュニッック、アウヴィーセンヴェグ・2番

Fターム(参考) 2G025 AA05 AA11 AB10 AC01