

(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2015-517094

(P2015-517094A)

(43) 公表日 平成27年6月18日(2015.6.18)

(51) Int.Cl.

G01S 17/95 (2006.01)
G01S 7/481 (2006.01)
G01S 17/58 (2006.01)
G01N 21/49 (2006.01)
F03D 11/00 (2006.01)

F 1

GO 1 S 17/95
 GO 1 S 7/481
 GO 1 S 17/58
 GO 1 N 21/49
 F O 3 D 11/00

テーマコード(参考)

2 G 0 5 9
 3 H 1 7 8
 5 J 0 8 4
 C
 Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2015-500772 (P2015-500772)
 (86) (22) 出願日 平成25年3月25日 (2013.3.25)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年11月12日 (2014.11.12)
 (86) 國際出願番号 PCT/DK2013/050086
 (87) 國際公開番号 WO2013/139347
 (87) 國際公開日 平成25年9月26日 (2013.9.26)
 (31) 優先権主張番号 PA201270141
 (32) 優先日 平成24年3月23日 (2012.3.23)
 (33) 優先権主張国 デンマーク(DK)
 (31) 優先権主張番号 61/638,014
 (32) 優先日 平成24年4月25日 (2012.4.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 514162966
 ウィンダー フォトニクス エー／エス
 Windar Photonics A/S
 デンマーク、ディーケー-2630、トルフ、ヘルグショイ アレ 16
 Helgeshøj Alle 16,
 DK-2630 Taastrup, Denmark
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (74) 代理人 100113413
 弁理士 森下 夏樹
 (74) 代理人 100181674
 弁理士 飯田 貴敏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】複数方向のLIDARシステム

(57) 【要約】

本発明は、低コストLIDARシステムに関する。本システムは、接近する風力場の測定のために、風力タービン内に統合されてもよい。一実施形態は、実質的直線偏光出力ビームを発生させるために適合されるビーム発生区画と、出力ビームの偏光を制御可能に交互させるための第1の光学デバイスを備えるビーム操向区画であって、該第1の光学デバイスは、第1の偏光ビームスプリッタと光学接続し、該ビーム操向区画は、第1の方向と第2の方向との間で互換的に出力ビームを指向させるために適合される、ビーム操向区画とを備える、LIDARシステムに関する。

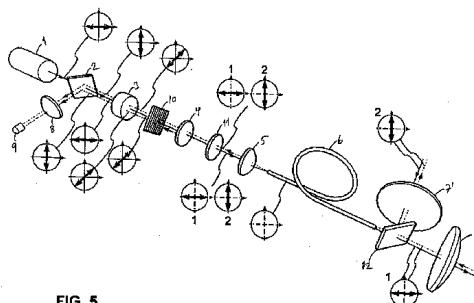


FIG. 5

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

LIDARシステムであって、

- 実質的直線偏光出力ビームを発生させるために適合されたビーム発生区画と、
- 前記出力ビームの偏光を制御可能に交互させるための第1の光学デバイスを備えるビーム操向区画であって、前記第1の光学デバイスは、第1の偏光ビームスプリッタと光学接続し、前記ビーム操向区画は、第1の方向と第2の方向との間で互換的に前記出力ビームを指向させるために適合されている、ビーム操向区画と
を備え、

10

前記LIDARシステムは、前記第1および第2の方向から受射された放射を検出、伝搬、および／または受射するために構成され、前記受射された放射は、前記出力ビームの反対方向に伝搬している、LIDARシステム。

【請求項 2】

前記ビーム発生区画はさらに、非可逆光学要素を備え、前記出力ビームおよび前記受射された放射は、前記非可逆光学要素を通して反対方向に伝搬し得、前記非可逆光学要素は、前記出力ビームおよび前記受射された放射の偏光を回転させるために適合されている、請求項1に記載のLIDARシステム。

20

【請求項 3】

前記非可逆光学要素は、前記出力ビームの偏光および前記受射された放射の偏光が、前記非可逆光学要素の片側において相互に実質的に垂直であり、かつ前記非可逆光学要素の反対側において相互に実質的に平行であるように構成されている、請求項2に記載のLIDARシステム。

【請求項 4】

前記非可逆光学要素は、前記出力ビームが前記非可逆光学要素を通して伝搬すると、前記出力ビームの偏光を約45度回転させるように適合されている、請求項2から3のいずれかに記載のLIDARシステム。

30

【請求項 5】

前記非可逆光学要素は、前記受射された放射が前記非可逆光学要素を通して伝搬すると、前記受射された放射の偏光を約45度回転させるように適合されている、請求項2から4のいずれかに記載のLIDARシステム。

【請求項 6】

ファラデー回転子等の前記非可逆光学要素は、ファラデー効果を用いて、光の偏光を回転させる、請求項2から5のいずれかに記載のLIDARシステム。

【請求項 7】

前記ビーム操向区画はさらに、前記第2の方向に伝搬する前記出力ビームの偏光を制御可能に交互させるための第2の光学デバイスを備え、前記第2の光学デバイスは、第2の偏光ビームスプリッタと光学接続し、前記ビーム操向区画は、前記第1の方向、前記第2の方向、および第3の方向間で互換的に前記出力ビームを指向させるために適合されている、請求項1から6のいずれかに記載のLIDARシステム。

40

【請求項 8】

前記第1の光学デバイスおよび／または前記第2の光学デバイスは、可逆光学要素として機能することができる、請求項1から7のいずれかに記載のLIDARシステム。

【請求項 9】

前記ビーム操向区画は、測定体積内の粒子の照明のために、前記出力ビームを前記測定体積に向かって指向させるために適合されている、請求項1から8のいずれかに記載のLIDARシステム。

【請求項 10】

前記出力ビームを測定体積上に集束させるためのレンズ配列をさらに備える、請求項1から9のいずれかに記載のLIDARシステム。

50

【請求項 11】

参照ビームを発生させるための手段をさらに備える、請求項 1 から 10 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 12】

前記参照ビームは、前記出力ビームの反対方向に伝搬している、請求項 11 に記載の L I D A R システム。

【請求項 13】

前記参照ビームは、信号ビームと同軸方向に伝搬している、請求項 11 から 12 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 14】

前記第 1、第 2、および / または第 3 の方向から受射された放射を検出、伝搬、および / または受射するために適合されている、請求項 1 から 13 のいずれかに記載の L I D A R システム。 10

【請求項 15】

前記受射された放射は、前記出力ビームの反対方向に伝搬している、請求項 14 に記載の L I D A R システム。

【請求項 16】

参照ビームは、前記受射された放射と同軸方向に伝搬している、請求項 14 から 15 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 17】

受射された放射と混合された参照ビームの検出のために適合された検出器をさらに備える、請求項 1 から 16 のいずれかに記載の L I D A R システム。 20

【請求項 18】

前記出力ビームの反対方向に伝搬している参照ビームおよび受射された放射を分割するために適合された初期偏光ビームスプリッタをさらに備える、請求項 1 から 17 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 19】

前記受射された放射は、前記出力ビームによって照明される測定体積内の粒子から放出または散乱される光を含む、請求項 1 から 18 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 20】

前記第 1 および / または第 2 の光学デバイスは、可変光学リターダである、請求項 1 から 19 のいずれかに記載の L I D A R システム。 30

【請求項 21】

前記第 1 および / または第 2 の光学デバイスは、回転可能波長板である、請求項 1 から 20 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 22】

前記第 1 および / または前記第 2 の光学デバイスは、可動部品を伴わずに、前記出力ビームの偏光を制御可能に交互させるために適合されている、請求項 1 から 21 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 23】

前記第 1 および / または前記第 2 の光学デバイスは、偏光の 2 つの具体的な状態間で前記出力ビームの偏光を制御可能に交互させるために適合されている、請求項 1 から 22 のいずれかに記載の L I D A R システム。 40

【請求項 24】

前記第 1 および / または前記第 2 の光学デバイスは、所定の周波数を伴う偏光の 2 つの具体的な状態間で前記出力ビームの偏光を制御可能に交互させるために適合されている、請求項 1 から 23 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 25】

前記周波数は、約 1 Hz、例えば、0.01 Hz ~ 1 kHz、例えば、0.01 Hz ~ 0.1 Hz、例えば、0.1 Hz ~ 0.2 Hz、例えば、0.2 Hz ~ 0.3 Hz、例えば、0.3 Hz ~ 0.4 Hz、例えば、0.4 Hz ~ 0.5 Hz、例えば、0.5 Hz ~ 50

0.6 Hz、例えば、0.6 Hz ~ 0.7 Hz、例えば、0.7 Hz ~ 0.8 Hz、例えば、0.8 Hz ~ 0.9 Hz、例えば、0.9 Hz ~ 1 Hz、例えば、1 Hz ~ 1.5 Hz、例えば、1.5 Hz ~ 2 Hz、例えば、2 Hz ~ 3 Hz、例えば、3 Hz ~ 4 Hz、例えば、4 Hz ~ 5 Hz、例えば、5 Hz ~ 6 Hz、例えば、6 Hz ~ 7 Hz、例えば、7 Hz ~ 8 Hz、例えば、8 Hz ~ 9 Hz、例えば、9 Hz ~ 10 Hz、例えば、10 Hz ~ 15 Hz、例えば、15 Hz ~ 30 Hz、例えば、30 Hz ~ 60 Hz、例えば、60 Hz ~ 100 Hz、例えば、100 Hz ~ 1 kHz である、請求項 24 に記載の LIDAR システム。

【請求項 26】

前記第 1 の光学デバイスと前記第 1 の偏光ビームスプリッタとの間の光学接続は、少なくとも部分的に、偏光維持光学導波路によって提供される、請求項 1 から 25 のいずれかに記載の LIDAR システム。 10

【請求項 27】

前記第 1 の光学デバイスと前記第 1 の偏光ビームスプリッタとの間の光学接続は、少なくとも部分的に、光ファイバ、好ましくは、偏光維持光ファイバによって提供される、請求項 1 から 26 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 28】

前記出力ビームの偏光を前記偏光維持光学導波路 / ファイバの伝搬方向に整合させるための手段をさらに備える、請求項 26 から 27 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 29】

前記ビーム発生区画はさらに、光学経路内に位置する 1 つ以上の直線偏光子を備える、請求項 1 から 28 のいずれかに記載の LIDAR システム。 20

【請求項 30】

前記ビーム発生区画は、コヒーレント光源、例えば、コヒーレントレーザ、例えば、半導体レーザ、例えば、統合された半導体レーザアセンブリを備える、請求項 1 から 29 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 31】

前記ビーム発生区画は、コリメートされた直線偏光出力を送達するコヒーレント光源を備える、請求項 1 から 30 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 32】

前記参照ビームは、少なくとも部分的に、光ファイバの第 1 または第 2 の端部表面によって発生される、請求項 11 から 31 のいずれかに記載の LIDAR システム。 30

【請求項 33】

前記参照ビームは、少なくとも部分的に、部分的反射鏡によって発生される、請求項 1 から 32 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 34】

前記参照ビームの偏光は、前記受射された放射の偏光に実質的に等しい、請求項 11 から 33 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 35】

信号プロセッサをさらに備える、請求項 1 から 34 のいずれかに記載の LIDAR システム。 40

【請求項 36】

前記信号プロセッサは、検出器信号に基づいて、粒子の速度に対応する速度信号を発生させるために適合されている、請求項 35 に記載の LIDAR システム。

【請求項 37】

前記信号プロセッサは、風速の判定のために構成されている、請求項 35 から 36 のいずれかに記載の LIDAR システム。

【請求項 38】

前記信号プロセッサは、測定体積内の乱れの判定のために構成されている、請求項 35 から 37 のいずれかに記載の LIDAR システム。 50

【請求項 3 9】

前記信号プロセッサは、測定体積内の温度の判定のために構成されている、請求項 3 5 から 3 8 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 4 0】

前記信号プロセッサは、検出器信号に基づいて、測定体積内の粒子の濃度に対応する濃度信号を発生させるために構成されている、請求項 3 5 から 3 9 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 4 1】

前記信号プロセッサは、測定体積内の粒子濃度の判定のために構成されている、請求項 3 5 から 4 0 のいずれかに記載の L I D A R システム。

10

【請求項 4 2】

前記 L I D A R システムは、コヒーレントドップラー L I D A R システムである、請求項 1 から 4 1 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 4 3】

L I D A R システムであって、

- 実質的直線偏光出力ビームを発生させるために適合されたビーム発生区画と、
- 前記出力ビームを第 1 の方向に、受射された放射を第 2 の反対方向に伝搬させるための偏光維持光学導波路と、
- 非可逆光学要素であって、前記出力ビームおよび前記受射された放射は、前記非可逆光学要素を通して、反対方向に伝搬し、前記非可逆光学要素は、前記出力ビームおよび前記受射された放射の偏光を回転させるために適合されている、非可逆光学要素とを備える、L I D A R システム。

20

【請求項 4 4】

前記光学要素は、前記出力ビームの偏光および前記受射された放射の偏光が、前記光学要素の片側において相互に実質的に垂直であり、かつ前記光学要素の反対側において相互に実質的に平行であるように構成されている、請求項 4 3 に記載の L I D A R システム。

【請求項 4 5】

請求項 1 から 4 2 のいずれかに記載のシステムの特徴のいずれかをさらに備える、請求項 4 3 から 4 4 のいずれかに記載の L I D A R システム。

30

【請求項 4 6】

窓を収容するビーム操向区画と光学接続するビーム発生区画を備える L I D A R システムであって、出力ビームは、前記窓を通して伝送され、前記ビーム発生区画は、少なくとも 1 つの光学導波路を通して前記ビーム操向区画に伝送される、加熱光源の光学出力の少なくとも一部を用いる、少なくとも 1 つの加熱光源を収容し、前記少なくとも 1 つの加熱光源は、前記窓を加熱するように適合されている、L I D A R システム。

【請求項 4 7】

前記光学導波路は、1 つ以上の光学ファイバを備える、請求項 4 6 に記載の L I D A R システム。

【請求項 4 8】

前記出力ビームの波長は、前記加熱光源の波長と異なる、請求項 4 6 から 4 7 のいずれかに記載の L I D A R システム。

40

【請求項 4 9】

前記加熱光源の波長は、前記 L I D A R システムの検出波長間隔と異なる、請求項 4 6 から 4 8 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 0】

前記少なくとも 1 つの加熱光源は、前記窓内において前記加熱光源の光学出力の電磁エネルギーを熱エネルギーに変換することによって、前記窓を加熱するように適合されている、請求項 4 6 から 4 8 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 1】

前記少なくとも 1 つの加熱光源は、少なくとも前記窓の一部の凝縮および / または氷結

50

を回避するように適合されている、請求項 4 6 から 5 0 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 2】

前記窓は、前記出力ビームを集束させるために適合されたレンズである、請求項 4 6 から 5 1 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 3】

前記窓は、楕円形、例えば、円形である、請求項 4 6 から 5 2 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 4】

前記窓の円周方向リムは、金属および／または反射コーティングを提供される、請求項 4 6 から 5 3 のいずれかに記載の L I D A R システム。 10

【請求項 5 5】

前記窓の一方または両方の表面は、反射防止コーティングを提供される、請求項 4 6 から 5 4 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 6】

前記加熱光源からの光は、前記窓の 2 つの表面間で結合される、請求項 4 6 から 5 5 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 5 7】

前記加熱光源からの光は、屈折要素、例えば、結合ファセット、拡散板、プリズム、または光導体を用いて、前記窓の 2 つの表面間で結合される、請求項 4 6 から 5 6 のいずれかに記載の L I D A R システム。 20

【請求項 5 8】

前記屈折要素は、凹面または凸面である、請求項 5 7 に記載の L I D A R システム。

【請求項 5 9】

前記加熱光源からの光は、前記窓の 2 つの表面間の全内部反射を用いて、前記窓の内側を伝搬するように適合されている、請求項 5 6 から 5 8 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 6 0】

窓材料は、前記加熱光源からの光を吸収する 1 つ以上の元素でドープされている、請求項 4 6 から 5 9 のいずれかに記載の L I D A R システム。 30

【請求項 6 1】

前記ビーム発生区画は、前記ビーム操向区画から物理的に分離されている、請求項 4 6 から 6 0 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 6 2】

前記ビーム発生区画は、前記ビーム操向区画から電気的に分離されている、請求項 4 6 から 6 1 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 6 3】

前記ビーム操向区画は、電気的に中性である、請求項 4 6 から 6 2 のいずれかに記載の L I D A R システム。

【請求項 6 4】

請求項 1 から 4 4 のいずれかに記載のシステムの特徴のいずれかをさらに備える、請求項 4 6 から 6 3 のいずれかに記載の L I D A R システム。 40

【請求項 6 5】

請求項 1 から 6 4 のいずれかに記載の L I D A R システムを備える風力タービン。

【請求項 6 6】

請求項 1 から 6 4 のいずれかに記載の L I D A R システムを備える風力タービンであって、前記ビーム発生区画は、ナセル内に完全に組み込まれ、前記ビーム操向区画は、少なくとも部分的に、前記ナセルの外側に位置し、前記出力ビームおよび前記受射された放射は、偏光維持光学ファイバを用いて、前記ナセルと前記外側との間で伝送される、風力タービン。

【請求項 6 7】

請求項 1 から 6 4 のいずれかに記載の L I D A R システムを備える帆船。

【請求項 6 8】

請求項 1 から 6 4 のいずれかに記載の L I D A R システムを備える航空機。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、低コスト L I D A R システムに関する。本システムは、接近する風力場の測定のために、風力タービン内に統合されてもよい。

【背景技術】

10

【0 0 0 2】**(発明の背景)**

コヒーレント L I D A R システムは、遠隔場所における風速の判定のための魅力的システムである。基本原理は、コヒーレントレーザ光によって照射されると、粒子、例えば、エアロゾル、水滴、粉塵等から後方散乱された光が発生する、ドップラーシフトに関する。粒子移動が、気流に非常に類似するという仮定の下、測定されたドップラー周波数は、それに関する比例風速の計算のために使用されることができる。

【0 0 0 3】

20

L I D A R の広範な使用を阻害している要因は、コスト、電力消費、サイズ、および耐久性である。今日の市販の L I D A R システムは、約 2 0 0 , 0 0 0 U S D かかり、これは、多くの用途が利用されることを阻む価格レベルである。遠隔場所、例えば、海洋風力タービン用地における L I D A R システムの使用は、長期間、殆どまたは全く保守を伴わず、かつより低電力消費の動作を要求する。

【0 0 0 4】

30

以前、コヒーレント L I D A R システム内で最も効果かつ複雑であった構成要素は、レーザアセンブリであった。エアロゾルの極端に低い後方散乱係数（約 10^{-12} ）のため、高品質、高電力、コヒーレント光源に大きく依拠する、改良された検出方式が、要求される。低電力消費を伴う、低コスト、コンパクト、かつコヒーレントな L I D A R システムが、統合された半導体レーザアセンブリを採用する、第 W O 2 0 0 9 / 0 4 6 7 1 7 号に開示された。しかしながら、本 L I D A R システムは、視程測定に限定され、風力場の判定を妨げる。

【0 0 0 5】

40

視程を超えて、風速測定を拡張可能にするために、L I D A R のプローブビームは、複数の方向に指向されなければならない。これは、3 次元コーン内の風速の測定を可能にする回転鏡またはプリズムアセンブリに依拠する、走査式 L I D A R によって提供され得る。しかしながら、風力タービンの上部に回転鏡を有することは、耐久性のある解決策ではない。1 つ以上の L I D A R はまた、回転ハブ内または風力タービンのブレード上に統合され得る。ハブおよびブレードの回転は、プローブビームが風力タービンの正面のコーンを走査することを確実にするが、回転移動は、実際には、L I D A R の動作要件と互換性がない。第 W O 0 3 / 0 4 8 8 0 4 号は、プローブビームを複数の方向に指向させるために光学スイッチを採用する、L I D A R システムを開示している。しかしながら、光学スイッチの特性は、長いコヒーレンス長を伴う高価なレーザ源が使用されることを要求し、低コストの統合された半導体レーザアセンブリの使用を阻む。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0 0 0 6】**

【特許文献 1】国際公開第 W O 2 0 0 9 / 0 4 6 7 1 7 号

【特許文献 2】国際公開第 W O 0 3 / 0 4 8 8 0 4 号

【発明の概要】**【課題を解決するための手段】**

50

【0007】

(発明の要約)

市場は、したがって、依然として、視程測定に限定されない、低コストの耐久性のある LIDAR システムを必要としている。これは、LIDAR システムであって、実質的直線偏光出力ビームを発生させるために適合されるビーム発生区画と、出力ビームの偏光を制御可能に交互させるための第1の光学デバイスを備える、ビーム操向区画であって、該第1の光学デバイスは、第1の偏光ビームスプリッタと光学接続し、該ビーム操向区画は、第1の方向と第2の方向との間で互換的に出力ビームを指向させるために適合される、ビーム操向区画とを備える、システムを開示する、本発明の一実施形態によって達成され得る。

10

【0008】

偏光ビームスプリッタの派生特徴は、入射ビームを異なる線形偏光の2つのビームに分割する、すなわち、ビーム伝搬方向が、入射ビームの偏光に依存することである。本発明は、偏光ビームスプリッタ(PBS)の本特徴を利用する、すなわち、入射ビームの偏光を制御することによって、伝搬の方向が、制御されることができる。LIDAR システム内に組み込まれると、出力ビームの方向は、それによって、ビームの偏光が制御可能である場合、可変である。光の偏光は、機械的受動構成要素によって、すなわち、可動部品を伴わずに、制御可能であるため、本発明による、LIDAR システムは、測定体積内を移動する粒子の速さおよび方向の判定のために、耐久性のある低コスト LIDAR を可能にし、それによって、例えば、風力タービンの正面において、風力場のリアルタイム判定を可能にする。第 WO 2012 / 019871 号は、測定体積内の粒子の速度ベクトルを判定するための方法を開示している。第 WO 2012 / 019871 号は、参照することによって本明細書に全体として組み込まれる。

20

【0009】

本発明のさらなる側面は、LIDAR システムであって、実質的直線偏光出力ビームを発生させるために適合されるビーム発生区画と、出力ビームを第1の方向に、受射された放射を第2の反対方向に伝搬させるための偏光維持光学導波路と、それを通して、出力ビームおよび受射された放射が、反対方向に伝搬する、非可逆光学要素であって、出力ビームおよび受射された放射の偏光を回転させるために適合される、非可逆光学要素とを備える、システムに関する。そのような非可逆光学要素の実施例は、ファラデー効果によって、光の偏光を回転させる、ファラデー回転子である。ファラデー回転は、非可逆光学伝搬の実施例である。同一のファラデー媒体を通して直線偏光ビームを後方反射させることによって、媒体を通した前方通過においてビームが被った偏光変化が元に戻ることはない。非可逆光学要素は、好ましくは、出力ビームの偏光および受射された放射の偏光が、光学要素の片側において、相互に実質的に垂直であり、かつ光学要素の反対側において、相互に実質的に平行であるように構成される。これは、受射された放射および/または参照ビームが、検出目的のために分割される必要があるときに利用され得る。

30

【0010】

LIDAR システムでは、プローブ光は、典型的には、測定体積に向かって指向され、受射された放射は、検出器によって受射されるように、システムを通して後方に伝搬する。LIDAR システムは、典型的には、屋外で動作するため、システムの構成要素は、典型的には、天候から保護され、プローブビームおよび受信される信号は、ある種の窓を通して伝搬している。変化する気象条件では、窓に凝縮が発生するリスクがあり、これは、窓の透明度を著しく低下させ得る。本問題は、ある種の電気熱源を窓に接続させ、窓を保温し、凝縮を回避することによって、非常に容易に解決され得る。しかしながら、電気的に接続された窓は、不利である状況があり得る。例えば、LIDAR システムが、風力タービン内に設置されるときである。プローブビームは、ブレードの正面の測定体積に向かって、すなわち、ナセルの上部、側部、または底部から、選択的に放出されなければならない。しかしながら、LIDAR システムの電子的に駆動される構成要素は、稻妻が頻繁に生じ得る、ナセルの外側に設置される場合、不利益な状態に置かれるであろう。したが

40

50

って、好ましくは、LIDARシステム、例えば、ビーム発生区画の電子的に駆動される構成要素が、ナセルの内側に設置される一方、稻妻によって影響を受けない、単純光学構成要素、例えば、窓を含む、ビーム操向区画は、ナセルの外側に設置され得る。しかし、電気的に中性である、ビーム操向区画を用いれば、窓を加熱させるために電力がいらない、したがって、凝縮は、問題となり得ない。したがって、本発明のさらなる側面は、LIDARシステムであって、それを通して、出力ビームが伝送される、窓を収容する、ビーム操向区画と光学接続する、ビーム発生区画を備え、ビーム発生区画は、少なくとも1つの光学導波路を通してビーム操向区画に伝送される、加熱光源の光学出力の少なくとも一部を用いる、少なくとも1つの加熱光源を収容し、該少なくとも1つの加熱光源は、該窓を加熱するように適合される、システムに関する。したがって、基本概念は、加熱光源が、窓内において、加熱光源の光学出力の電磁エネルギーを熱エネルギーに変換することによって、窓を加熱するように適合されるというものである。

10

【0011】

本発明のさらなる側面は、本開示されるLIDARシステムを備える、風力タービンに関する。特に、ビーム発生区画は、ナセル内に完全に組み込まれ、ビーム操向区画は、少なくとも部分的に、ナセルの外側に位置し、出力ビームおよび受射された放射は、偏光維持光学ファイバを用いて、ナセルと外側との間で伝送される、本開示されるLIDARシステムを備える、風力タービンに関する。

20

【0012】

本発明のさらなる側面は、本開示されるLIDARシステムを備える、帆船に関する。本発明のなおもさらなる側面は、本開示されるLIDARシステムを備える、航空機に関する。

【0013】

LIDAR背景

コヒーレントLIDARの基本原理は、35年以上前に遡る。“Signal-to-Noise Relationships for Coaxial Systems that Heterodyne Backscatter from the Atmosphere”, Applied Optics, Vol. 10, No. 7, July 1971, C.M. Sonnenschein and F.A. Horriganを参照されたい。その用途は、従来、科学的な関心、例えば、大気物理学の範囲内であった。しかしながら、今日、LIDARは、ますます、実践的産業用途に関連しつつある。そのような実施例の1つは、風力タービンの制御に関するものである。より高い効率の必要性によって、風力タービン産業は、設置された風力タービンあたりの抽出される電気エネルギーの観点から、性能を改善するために、過去数十年にわたって、翼幅を継続的に増加させることを余儀なくされている。しかしながら、翼幅の増加は、特に、強風および風の乱れによって課される実質的機械負荷につながる。風上の数十メートルの風速予測のためのコンパクトであり、耐久性があり、かつ安価なコヒーレントLIDARデバイスは、風力タービンの最適化および保護を可能にするであろう。実際の風速測定と風が実際に風力タービンに到達した時間との間の時間遅延は、例えば、翼のピッチを変更することによって、翼の負荷を保護するために使用することができる。別の実施例は、着陸する航空機によって発生される旋風検出である。航空機の着陸（または、離陸）頻度は、主に、前の航空機によって発生された旋風から危険が生じないことを確実にするよう、安全域によって判定される。旋風監視のためのコヒーレントLIDARの使用は、本安全周期が最小限にされ、したがって、利用率、それによって、空港の収容能力を増加させることを可能にする。

30

【0014】

連続波(CW)コヒーレントLIDARは、実際のプローブ体積を限定するために使用される望遠鏡の集束特性に依拠する。プローブ体積の幅は、集束領域内のレーザビームの直径（すなわち、焦点ビームウエスト）によって限定される。ビーム軸に沿ったプローブ体積の長さは、ほぼ焦点深度または集束レーザビームのレイリー長の2倍に限定される。

40

50

CW LIDARシステムから100メートルの距離に集束されるCW LIDARの場合、プローブ体積の幅は、典型的には、約1センチメートルであり、プローブ体積の長さは、波長および集束光学（望遠鏡）に応じて、約10メートルである。パルス状システムの場合、プローブ体積の幅は、CW LIDARの場合と同一であるが、プローブ体積の長さは、 $cT/2$ および焦点深度の小さい方によって与えられる（Tは、放出されるパルス幅であり、cは、光の速さである）。

【0015】

LIDARシステムにおいて使用されるレーザ源からのCW出力電力は、検出されるべき十分な後方散乱光を取得するために、約1ワットであるべきである。ホモダイン検出法は、第1に、光源のコヒーレンス長が、本質的に、プローブ体積までの距離の2倍、例えば、典型的風力タービン用途の場合、200メートルであることを要求する。これは、約200THzの中心周波数に対して、わずか100kHzのレーザスペクトルの半値全幅（FWHM）に対応する。第2に、レーザビームの空間コヒーレンスは、二次検出器からの最大ビート信号の発生を確実にするように、理想的ガウスビームに近似すべきである。ビート信号は、参照信号と後方散乱およびドップラーシフト信号との間の周波数差によって特徴付けられる。最後に、レーザの相対強度雑音（RIN）は、検出器におけるビート信号を区別するために十分に低くあるべきである。第WO2009/046717号は、統合された半導体レーザアセンブリを用いて、これらの品質を得る方法について説明している。第WO2009/046717号は、したがって、参照することによって全体として組み込まれる。

10

20

【0016】

用語「ヘテロダイン検出」は、多くの場合、光学干渉法に関連して使用されるが、用語「ホモダイン検出」は、参照ビーム（局部発振器）が、変調プロセス、すなわち、標的による散乱前に、信号ビームと同一の源から導出されることを示すために、本開示全体を通して使用される。

【0017】

ここで、本発明が、図面を参照して、より詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、本発明による、LIDARシステムの斜視図である。

30

【図2】図2は、直線偏光子が追加された、図1のシステムである。

【図3】図3は、本発明による、多指向性LIDARシステムの斜視図であり、出力ビームは、2つの異なる方向に指向される。

【図4】図4は、本発明による、多指向性LIDARシステムの斜視図であり、出力ビームは、3つの異なる方向に指向される。

【図5】図5は、偏光状態が示される、図3のシステムである。

【図6】図6は、ファイバ結合加熱光源と窓／レンズとの間の結合の斜視図である。

【図7】図7および8は、伸縮自在レンズ間にPBSを伴わない、本発明による、多指向性LIDARシステムの斜視図である。

【図8】図7および8は、伸縮自在レンズ間にPBSを伴わない、本発明による、多指向性LIDARシステムの斜視図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0019】

（発明の詳細な説明）

本発明の一実施形態では、LIDARシステムは、コヒーレントドップラーリングシステムである。

【0020】

本LIDARシステムの基本構成は、出力ビームを2つの方向、すなわち、第1および第2の方向に指向させることである。しかしながら、原理は、より多くの偏光制御光学デバイスおよびより多くのPBSを追加することによって、多重化されてもよい。したがつ

50

て、本発明のさらなる実施形態では、ビーム操向区画はさらに、第2の方向に伝搬する出力ビームの偏光を制御可能に交互させるための第2の光学デバイスを備え、該第2の光学デバイスは、第2の偏光ビームスプリッタと光学接続し、該ビーム操向区画は、第1の方向、第2の方向、および第3の方向間で互換的に出力ビームを指向させるために適合される。3つの方向を用いて、出力ビームは、3D測定体積に指向することができる。しかしながら、より多くの出力ビーム方向、例えば、第4、第5、第6、第7、第8、第9、および第10方向が、追加されてもよい。各付加的対の偏光制御デバイスおよびPBSは、1つまたは2つの新しい方向を提供することができる。より多くの方向を追加する本原理は、図4に図示される。

【0021】

LIDARシステムでは、ビーム操向区画は、典型的には、測定体積内の粒子の照明のために、出力ビームを測定体積に向かって指向させるために適合される。本システムはさらに、出力ビームを測定体積上に集束させるためのレンズ配列を備えてよい。標的は、入射光と相互作用し、標的からの光の散乱、吸収、および/または放出をもたらすことが可能な任意の物体であってもよい。測定体積内の標的は、例えば、エアロゾル、例えば、水液滴、粉塵等、粒子、分子、原子、測定体積の幅より大きい物体の表面等であってもよい。本開示全体を通して、用語「粒子」は、エアロゾル、分子、原子等を含む。

10

【0022】

LIDARシステムはまた、典型的には、参照ビームを発生させるための手段を備える。好ましくは、参照ビームは、少なくとも、受信される信号ビームと同軸方向に、かつ同一の方向に、および可能性として、また、出力ビームの反対方向に、伝搬している。参照ビームは、少なくとも部分的に、部分反射鏡によって発生されてもよい。参照ビームは、代替として、少なくとも部分的に、光ファイバの第1または第2の端部表面によって発生されてもよい。

20

【0023】

本発明の好ましい実施形態では、LIDARシステムは、該第1、第2、および/または第3の方向から受射された放射を検出、伝搬、および/または受射するために適合される。受射された放射は、例えば、出力ビームによって照明される測定体積内の粒子から放出される光を含み得る。受射された放射は、好ましくは、出力ビームの反対方向に伝搬している。LIDARシステムはさらに、受射された放射と混合された参照ビームの検出のために適合される検出器を備えてよい。本発明の好ましい実施形態では、参照ビームの偏光は、受射された放射の偏光に実質的に等しい。

30

【0024】

本発明の好ましい実施形態では、LIDARシステムはさらに、両方とも出力ビームの反対方向に伝搬している参照ビームおよび受射された放射を分割するために適合される、初期偏光ビームスプリッタを備える。

【0025】

本発明の一実施形態では、第1および/または第2の光学デバイスは、可逆偏光交互光学デバイスとして機能してもよい。偏光されたビームが、同一の可逆偏光交互光学デバイスを通して後方に反射されるとき、デバイスを通したその前方通過においてビームが被った偏光変化は、ビームの偏光状態および偏光交互光学デバイスの構成に応じて、元に戻されてもよい。可変光学リターダは、少なくとも、ビームが直線偏光である場合、可逆偏光交互光学デバイスとして機能することができる。本発明の一実施形態では、第1および/または第2の光学デバイスは、可変光学リターダである。波長板は、光学リターダの実施例であり、回転可能波長板は、可変光学リターダの実施例である。直線偏光ビームを、例えば、半波長板に印加すると、直線偏光ビームとして現れるが、その偏光(平面)は、入射ビームの偏光(平面)に対して回転される。したがって、PBSと併用されると、出力ビームは、対応して、波長板を回転させることによって、2つの異なる方向に指向され得る。

40

【0026】

50

可変光学リターダの別の実施例は、液晶分子の溶液で充填された透明セルから成る、液晶可変光学リターダである。セル壁の2つの平行面は、電圧が、セルにわたって印加され得るように、透明伝導性フィルムでコーティングされる。液晶分子の配向は、印加された電圧の不在下、整合層によって判定される。A C 電圧が印加されると、分子は、電圧の印加された $r m s$ 値に基づいて、そのデフォルト配向から変化するであろう。故に、光の直線偏光ビーム内の位相オフセットが、印加される電圧を変動させることによって能動的に制御することができる、すなわち、印加される電圧を変動させることによって、入射直線偏光ビームの偏光は、制御可能に回転されることがある。本可変光学リターダの主要利点は、可動部品がないことである。したがって、本発明のさらなる実施形態では、第1および／または第2の光学デバイスは、可動部品を伴わずに、出力ビームの偏光を制御可能に交互させるために適合される。好ましくは、第1および／または第2の光学デバイスは、好ましくは、所定の周波数を伴う偏光の2つの具体的な状態間で、出力ビームの偏光を制御可能に交互させるために適合される。可変光学リターダはまた、光ファイバ内に統合されてもよく、本ファイバを通して伝搬する直線偏光ビームにおける位相オフセットは、例えば、光ファイバと接触する圧電要素によって制御されることがある。そのような溶液の利点は、L I D A Rシステムの光学経路のより大きな部分が、光ファイバの内側で伝搬し続けることができるということである。

10

【0027】

該周波数は、約1Hz、例えば、0.01Hz～1kHz、例えば、0.01Hz～0.1Hz、例えば、0.1Hz～0.2Hz、例えば、0.2Hz～0.3Hz、例えば、0.3Hz～0.4Hz、例えば、0.4Hz～0.5Hz、例えば、0.5Hz～0.6Hz、例えば、0.6Hz～0.7Hz、例えば、0.7Hz～0.8Hz、例えば、0.8Hz～0.9Hz、例えば、0.9Hz～1Hz、例えば、1Hz～1.5Hz、例えば、1.5Hz～2Hz、例えば、2Hz～3Hz、例えば、3Hz～4Hz、例えば、4Hz～5Hz、例えば、5Hz～6Hz、例えば、6Hz～7Hz、例えば、7Hz～8Hz、例えば、8Hz～9Hz、例えば、9Hz～10Hz、例えば、10Hz～15Hz、例えば、15Hz～30Hz、例えば、30Hz～60Hz、例えば、60Hz～100Hz、例えば、100Hz～1kHzであってもよい。

20

【0028】

本発明の一実施形態では、第1の光学デバイスと第1の偏光ビームスプリッタとの間の光学接続は、少なくとも部分的に、偏光維持光学導波路によって提供される。さらなる実施形態では、第1の光学デバイスと第1の偏光ビームスプリッタとの間の光学接続は、少なくとも部分的に、光ファイバ、好ましくは、偏光維持光ファイバ、例えば、PandaタイプPMファイバによって提供される。可能性として考えられる第2、第3等の光学デバイスと第2、第3等のPBSとの間の接続の場合も同様である。LIDARシステムはさらに、出力ビームの偏光を偏光維持光学導波路／ファイバの伝搬方向に整合させるための手段を備えてよい。

30

【0029】

本発明の一実施形態では、ビーム発生区画はさらに、光学経路内に位置する、1つ以上の偏光子、好ましくは、吸収型偏光子、例えば、1つ以上の直線偏光子、例えば、1つ以上の45度直線偏光子を備える。これは、光学経路内の任意の望ましくない偏光状態が吸収されることを確実にするのに役立ち得る。

40

【0030】

本発明の一実施形態では、ビーム発生区画はさらに、それを通して、出力ビームおよび受射された放射が、反対方向に伝搬する、非可逆光学要素であって、出力ビームおよび受射された放射の偏光を回転させるために適合される、非可逆光学要素を備える。そのような非可逆光学要素の実施例は、ファラデー効果によって、光の偏光を回転させる、ファラデー回転子である。偏光されたビームを同一のファラデー媒体を通して後方反射することは、媒体を通したその前方通過においてビームが被った偏光変化を元に戻すことになる。非可逆光学要素は、好ましくは、出力ビームの偏光および受射された放射の偏光が

50

、非可逆光学要素の片側において、相互に実質的に垂直であり、かつ非可逆光学要素の反対側において、相互に実質的に平行であるように構成される。非可逆光学要素のさらなる利点は、迷光の十分な抑制を可能にし、光源として制限されたコヒーレンス時間を伴う、低コスト半導体レーザの使用を可能にすることである。非可逆光学要素はさらに、出力ビームが該非可逆光学要素を通して伝搬すると、出力ビームの偏光を約45度回転させるように適合されてもよい。同様に、非可逆光学要素は、受射された放射が該非可逆光学要素を通して伝搬すると、受射された放射の偏光を約45度回転させるように適合されてもよい。さらに、非可逆光学要素は、参照ビームが該非可逆光学要素を通して伝搬すると、参照ビームの偏光を約45度回転させるように適合されてもよい。例えば、ファラデー回転子の形態において、非可逆光学要素を有する利点は、LIDARの大部分が、单一光学軸に沿って伝搬されることが可能にされ得ることである。

10

【0031】

本発明の一実施形態では、ビーム発生区画は、コスト効果的解決策であり得る、コヒーレント光源、例えば、コヒーレントレーザ、例えば、半導体レーザ、例えば、統合された半導体レーザアセンブリを備える。好ましくは、ビーム発生区画は、コリメートされた直線偏光出力を送達するコヒーレント光源を備える。

20

【0032】

測定体積からの後方散乱信号のドップラーシフトの測定は、粒子の速度の判定のために使用されることができる。したがって、本発明のさらなる実施形態では、LIDARシステムはさらに、信号プロセッサを備えてもよい。信号プロセッサは、検出器信号に基づいて、粒子の速度に対応する速度信号を発生させるために適合されてもよい。信号プロセッサはさらに、風速、測定体積内の乱れ、測定体積内の温度、および／または測定体積内の粒子濃度の判定のために構成されてもよい。後方散乱されたドップラーシフト信号の振幅は、測定体積内の粒子の濃度の判定のために使用されてもよい。したがって、信号プロセッサはさらに、検出器信号に基づいて、測定体積内の粒子の濃度に対応する濃度信号を発生させるために構成されてもよい。

20

【0033】

粒子流の不在下、すなわち、速度は、ゼロまたは非常に遅い状況下では、ドップラー周波数は、ゼロとなり、振幅は、検出プロセスから生じる他のDC信号のため、抽出が困難となるであろう。これを克服するための方法の1つは、出力ビームおよび／または参照ビームを周波数シフトさせるために、システム内に周波数シフト要素、例えば、音響光学変調器を含むことであり得る。それによって、周波数バイアスが、周波数シフト要素によって誘発された周波数シフトに対応する、受信される信号に追加されてもよい。

30

【0034】

検出器によって出力される検出器信号は、例えば、参照ビームと、測定体積内の標的の移動によって発生されるドップラーシフトに対応する、標的から放出される光との間の周波数差を含有し得る。風速測定の場合、例えば、空気中に懸濁するエアロゾルおよびその後の風の動きに基づいて、乱れ情報が、抽出されることができる。

【0035】

測定体積内に常駐する媒体が、ガスである場合は、レイリー散乱が、プローブされることができる。レイリー散乱は、励起光ビームとガスの分子との間の弾性相互作用から生じる。その場合、ドップラースペクトルの幅は、ガスの温度に対応する。したがって、ガスの温度が、長距離で測定され得る。エアロゾルからの後方散乱信号と比較して、レイリー散乱信号は、通常、数桁小さく、具体的ガス成分および励起波長に大きく依存することに留意されたい（レイリー散乱は、マイナス4の累乗に対する波長の関数である）。着目する特殊ガス成分は、酸素、窒素、二酸化炭素、およびNO_xガスであり得る。

40

【0036】

前述のように、本発明のさらなる側面は、LIDARシステムであって、それを通して、出力ビームが伝送される、窓を収容する、ビーム操向区画と光学接続する、ビーム発生区画を備え、ビーム発生区画は、少なくとも1つの光学導波路を通してビーム操向区画に

50

伝送される、加熱光源の光学出力の少なくとも一部を用いる、少なくとも1つの加熱光源を収容し、該少なくとも1つの加熱光源は、該窓を加熱するように適合される、システムに関する。

【0037】

好ましくは、該少なくとも1つの加熱光源は、窓内において、加熱光源の光学出力の電磁エネルギーを熱エネルギーに変換することによって、該窓を加熱するように適合される。例えば、該少なくとも1つの加熱光源は、熱源として光学電力のみを使用して、窓の少なくとも一部の凝縮を回避するように適合されてもよい（すなわち、曇り防止システム）。好ましくは、光学導波路は、1つ以上の光学ファイバを備える。出力ビームの波長は、好ましくは、加熱光源の波長と異なる。LIDARシステムは、典型的には、ある波長間隔において動作し、それに敏感である、検出器を提供される。したがって、好ましくは、加熱光源の波長は、LIDARシステムの検出波長間隔と異なる。例えば、InGaAs系検出器は、波長間隔約800-1700nmに敏感であり、加熱光源の波長は、したがって、眼の安全性が問題とならない、本範囲外、例えば、1700nmを上回るように選択されるべきである。加熱光源の波長はさらに、ガラス中の典型的不純物の吸収スペクトル、例えば、OH吸收の範囲内であるように選択されてもよい。

10

【0038】

窓は、「通常」の光学透明窓であってもよく、またはLIDARシステム内のレンズ、例えば、出力ビームを集束させるために適合されるレンズであってもよい。窓は、好ましくは、楕円形、例えば、円形である。窓は、好ましくは、第1および第2の表面を提供される。窓の一方または両方の表面は、反射防止コーティングを提供されてもよい。

20

【0039】

本発明の好ましい実施形態では、加熱光源からの光は、窓の2つの表面間で結合される。加熱光源からの光は、次いで、窓の2つの表面間の全内部反射を用いて、窓の内側を伝搬することができる。本伝搬の際、光学電力は、例えば、窓内の不純物による吸収のために、少なくとも部分的に、窓内において、熱に変換される。ガラスが、高光学品質である場合、不純物の存在は、低くあり得るが、光が、全表面からの内部反射によって、窓の内側を伝搬するため、光は、容易に出射せず、ビーム経路が比較的に長くなることを確実にし、それによって、ある程度の光の吸収を確実にする。窓材料はさらに、加熱光源からの光を吸収する1つ以上の元素でドープされ、窓内で消散される熱への光学電力の変換を増加させてもよい。

30

【0040】

加熱光源からの光は、屈折要素、例えば、結合ファセット、プリズム、または光導体を用いて、窓の2つの表面間で結合されてもよい。屈折要素は、好ましくは、光が、より広い出射角にわたって、窓内に分散されるように、凹面である。光が窓の円周方向境界を通して出射しないように防止するために、本境界は、金属および/または反射コーティングを提供されてもよい。円周方向境界はまた、ある種のリムを提供されてもよく、リムの内側は、反射性であり、例えば、金属封入リム、可能性として、コーティングされたリムである。したがって、光は、窓内に後方反射されることができ、熱は、境界/リム内で消散され、それによって、窓を加熱するのに役立ち得る。

40

【0041】

ビーム発生区画は、ビーム操向区画から物理的に分離されてもよい。さらに、ビーム発生区画は、ビーム操向区画から電気的に分離されてもよい。さらに、ビーム操向区画は、電気的に中性であってもよい。本発明の本側面はさらに、本明細書に記載のLIDARシステム特徴のいずれかを備えててもよい。

【0042】

図面の詳細な説明

図1は、ファラデー回転子3の形態の非可逆要素を伴う、本発明による、単指向性LIDARシステムを図式的に図示する。半導体レーザアセンブリ1は、偏光ビームスプリッタ(PBS)2を通して完全に伝送される、直線偏光出力ビームを提供する。ファラデー

50

回転子 3 は、出力ビームの偏光を約 45 度回転させる。部分的に、反射鏡 4 は、ある割合の出力ビームを後方反射せしようにコーティングされる。後方反射ビーム、すなわち、参照ビームは、ファラデー回転子を通して後方に、すなわち、出力の反対方向に伝送される。参照の偏光は、ここで、ファラデー回転子の非可逆伝搬特性のため、ファラデー回転子によって、さらに 45 度回転される。結果として、初期 PBS 2 に入射するときの参照ビームの偏光は、出力ビームの偏光に垂直であり、参照ビームは、したがって、PBS 2 の表面によって完全に反射される。参照ビームは、レンズ 8 によって、検出器 9 上に集束される。

【0043】

レーザ光学出力、すなわち、出力ビームの大部分は、参照窓 4 を通して、線形偏光された光として伝送され、集束レンズ 5 を用いて、偏光維持光ファイバ 6 に集束される。出力ビームは、次いで、望遠鏡レンズ 7 を用いて、測定体積（図示せず）上に集束される。望遠鏡の焦点距離は、システムの測定距離を設定する。測定体積内の粒子またはエアロゾルは、速度成分を伝送される出力ビームの伝搬経路に沿って指向させる。測定体積からの後方散乱およびドップラーシフト信号ビームは、送信機部品内でも使用される、同一のレンズ 7 によって受射され、光ファイバ 6、レンズ 5、および参照窓 4 を通して、後方伝送される。受射された放射の偏光は、全体を通して保存されているが、ファラデー回転子 3 を通して伝搬するとき、受射された放射の偏光は、さらに 45 度回転される。受射された放射の偏光は、参照ビームの偏光と整合される。初期偏光ビームスプリッタ 3 は、次いで、受射された放射を完全に反射させ、精密に整合させ、集束レンズ 8 を通して、参照ビームを追従させ、両ビームを検出器 9 上に集束させる。検出器の表面は、若干、傾斜され、システムの光学経路内を後方伝搬するいかなる後方反射も回避してもよい。

10

20

30

40

50

【0044】

受射された放射および参照ビームは、検出器表面上に時変光学干渉信号を形成し、これは、検出器における検出プロセスとともに、受射された放射のドップラー周波数のホモダイン検出を形成する。検出手段は、光学信号を電気ドップラー信号に変換する。検出器 9 からの電気ドップラー信号は、さらに増幅され、信号プロセッサ（図示せず）によって Fourier 分析ができる。

【0045】

单一半導体レーザのみ、ドップラー信号を検出するために必要とされる十分な光学電力を発生させるために必要である。PBS 2 およびファラデー回転子 6 の組み合わせは、ビームダイレクタとして作用し、参照ビームおよび受射された放射からの全光学電力を検出器 9 に向かって指向させる。また、偏光ビームスプリッタ 2 およびファラデー回転子 4 の同一の組み合わせは、光学アイソレータとして作用し、いかなる戻り光学電力もレーザ 1 に向かって伝搬しないように防止する。

【0046】

図 2 は、光学経路内のいかなる望ましくない偏光状態も吸収されることを確実にするために、付加的直線偏光子 10 を伴う、図 1 の設定に対応する。直線偏光子は、ある方向に伝搬する出力ビームおよび反対方向に伝搬する受射された放射および参照ビームから、望ましくない偏光状態を除去するであろうことに留意されたい。図 2 では、直線偏光子は、ファラデー回転子と鏡 4 との間の光学経路内に位置するが、光学経路内の任意の場所内に位置してもよく、いくつかの直線偏光子は、光学経路内に置かれてもよい。図 2 では、直線偏光子は、ファラデー回転子が出力ビームの偏光を約 45 度回転させたことを図示するために、約 45 度に配向されたワイヤグリッドとともに図示される。

【0047】

図 3 は、本発明による、多指向性 LIDAR システムの斜視図を示す。図 2 に図示されるシステムと比較して、可変光学リターダ 11、PBS 12、および付加的レンズ 7' は、光学経路内に挿入されている。光学リターダ 11 は、出力ビームの偏光が波長板の角度に対して回転される、回転可能波長板、または電圧がリターダにわたって印加されると、出力ビームの偏光が回転される、液晶系光学リターダであってもよい。PBS 12 と併用

されると、可変光学リターダは、出力ビームが、P B S 1 2 およびレンズ 7 を通して伝送されるか、またはP B S 上に反射され、レンズ 7' を通して持続するかを選択することができる。したがって、L I D A R システムは、可変光学リターダ 1 1 を経由して、光の偏光を制御することによって、出力ビームを 2 つの方向に指向させている。

【0048】

本原理は、図 4 に図示されるように、一般化されることができる。付加的 P B S 1 3 および付加的可変光学リターダ 1 1' を光学経路内に挿入することによって、出力ビームのより多くの方向が、選択されることがある。第 1 の可変光学リターダ 1 1 は、出力ビームが、

1) P B S 1 3 を通り、レンズ 5 を通り、P M 光ファイバ 6 内に伝搬し、P B S 1 2 に反射し、かつ出力ビームの第 1 の方向である、レンズ 7 を通して持続するか、
または出力ビームが、

2) P B S 1 3 から、第 2 の可変光学リターダ 1 1' を通して反射される、
ように、2 つの状態間で偏光を切り替える。

【0049】

本第 2 の可変光学リターダ 1 1' は、再び、2 つの状態間で偏光を切り替え、第 2 の P B S 1 2' と併せて、レンズ 7' を通る出力ビームの第 2 の方向およびレンズ 7'' を通る出力ビームの第 3 の方向を選択することができる。出力ビームの第 4 の方向は、第 3 の可変光学リターダを P B S 1 3 とレンズ 5 との間に置き、P B S 1 2 と協働することによって提供されることがある。付加的レンズ 7''' (図示せず) もまた、必要とされるであろう。

【0050】

図 5 は、偏光の状態が示される、図 3 における設定の「機能」図である。図 5 に示される偏光の軸は、例証的目的のために任意に選択され、すぐ右にも図示されるように、挿入された絵文字を介して図示される。出力ビームは、はっきりと描かれた線で図示される一方、参照ビームおよび受射された放射は、点線で図示される。ビームの伝搬方向は、矢印で示される。参照ビームと受射された放射を区別するために、参照ビームは、参照ビーム発生器 4 から反射される。

【化 1】



30

【0051】

最初に、光源 1 から放出された出力ビームを辿る。出力ビームは、ここでは、絵文字を介して、水平平面において発振するように図示される、直線偏光光として、レーザ 1 から放出される。P B S 2 を通して通過後、出力ビームの偏光は、水平平面において発振している。出力ビームが、ファラデー回転子 3 を通して伝搬すると、出力ビームの偏光は、対応する絵文字によって図示されるように、約 45 度右に回転される。ファラデー回転子もまた、偏光を約 45 度左に回転させるように適合され得る。直線偏光子 1 0 および鏡 4 は、出力ビームの偏光を変化させない。可変光学リターダ 1 1 は、絵文字によって図示されるように、2 つの直交状態「1」と「2」との間で出力ビームの偏光を切り替える。P M ファイバ 6 は、偏光に影響を及ぼさずに、両状態「1」および「2」を伝送させる。「1」状態は、P B S 1 2 およびレンズ 7 を通して、出力ビームの第 1 の方向に伝送される。直交「2」状態は、P B S 1 2 から、レンズ 7' を通して、出力ビームの第 2 の方向に反射される。

【0052】

測定体積から受射される放射は、レンズ 7、7' に隣接する絵文字に図示されるように、出力ビームと同一の偏光を有する。受射された放射は、光ファイバおよび可変光学リターダ 1 1 を通して、後方伝搬する。リターダは、非可逆光学要素ではない。この場合、そ

40

50

れぞれ、水平および垂直平面に発振している、受射された放射の2つの直交状態「1」および「2」は、45度偏光状態に戻されるであろう。受射された放射が、非可逆ファラデー回転子を通して伝搬するとき、受射された放射の偏光は、さらに45度回転され、それによって、対応する絵文字に図示されるように、垂直平面において発振するであろう。受射された放射は、したがって、初期PBS2から、検出器内に反射されるであろう。

【0053】

鏡4によって発生される参照ビームも同様である。本反射は、45度偏光を維持する。参照ビームが、非可逆ファラデー回転子を通して伝搬するとき、参照ビームの偏光が、さらに45度回転され、それによって、対応する絵文字に図示されるように、垂直平面において発振するであろう。参照ビームは、したがって、初期PBS2から、検出器内に反射されるであろう。10

【0054】

図5から、ファラデー回転子の片側では、出力ビームの偏光、受射された放射、および参照ビームは、整合される一方、ファラデー回転子の反対側では、出力ビームの偏光は、受射された放射の偏光および参照ビームに垂直であることが分かる。

【0055】

図面から、光ファイバ後では、構成要素は、単純に光学である一方、光ファイバ前には、電気的および/または機械的に駆動された構成要素、例えば、光源1、検出器9、ファラデー回転子3、および可変光学リターダ11が存在することが分かる。したがって、本LIDARシステムを風力タービン内に統合するとき、電気的および/または機械的に駆動された構成要素は、ナセルの内側に統合されることができる一方、単純光学構成要素、例えば、PBSおよびレンズ7、7'は、ナセルの外側、例えば、風力タービンの上部に位置することができる。LIDARシステムの2つの区画間の光学接続は、1つ以上のPM光ファイバを備える、耐候性光学ケーブルによって提供される。したがって、本発明は、低コスト可撓性LIDARシステムを提供する。20

【0056】

いくつかの事例では、PBSを高度に収束または高度に発散するビーム内に置くことは、LIDARの集束能力に不利であり得る。図7および8は、本問題に対処する実施例を示す。図7では、PBS12は、望遠鏡レンズ12後に置かれる一方、図8では、PBSは、レンズ5の前に置かれる。図8における設定は、必然的に、付加的レンズ5'がレンズ7'と対応することを要求する。したがって、図7および8では、PBS12は、レンズ5および7(または、5'および7')の伸縮自在構成間のビーム経路内に位置しない。図7および8は、ビーム経路内に光学ファイバを伴わない、本発明によるLIDARシステムの実施例を示すことに留意されたい。同様に、図5、7、および8はまた、光学軸に沿った偏光状態を示す、機能図を示す。30

【0057】

図5、7、および8から明白であるように、ファラデー回転子の形態における非可逆光学要素の採用は、LIDARの大部分が、単一光学軸、すなわち、図5、7および8における偏光ビームスプリッタ2と12との間の単一光学軸に沿って伝搬することを可能にする。

【0058】

図6は、LIDARシステムの出射窓の光学加熱、すなわち、本質的に、曇り防止および/または氷結防止システムに関する。加熱光源21は、ファイバ22からの光を、LIDARシステムの通常窓またはレンズであり得る、窓23に分散させる、屈折要素24に接続された光ファイバケーブル22に結合される。円形容窓23は、内側が反射性であるリム26を提供される。加熱光源21から生じる光は、次いで、例えば、ビーム経路27によって実施例として示される、2つの窓表面間の全内部反射を用いて、窓23の内側を伝搬する、または光は、例えば、ビーム経路28によって示されるように、直接、窓を通して伝搬し、リム28の内側に反射され得る。加熱光源21からの光が、窓23の内側を伝搬するとき、光は、窓21内に徐々に吸収される。吸収された光の一部は、窓23内に熱4050

として消散される。全内部反射およびリムにおける反射によって、窓 2 3 に入射する光は、最終的に、吸収のため消失するまで、長い有効経路を進行し、したがって、窓内の熱への光中の光学エネルギーの効果的変換を確実にするであろう。光ファイバを使用することによって、ある種の電力を要求する光源 2 1 は、窓 2 3 から物理的に分離されることができる。したがって、窓 2 3 の加熱および曇り防止／氷結防止は、電力が利用不可能または非好適である場合、例えば、風力タービンのナセルの上部にも提供されることができる。

【図 1】

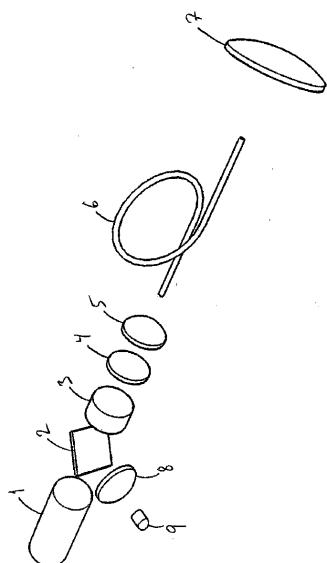


Fig. 1

【図 2】

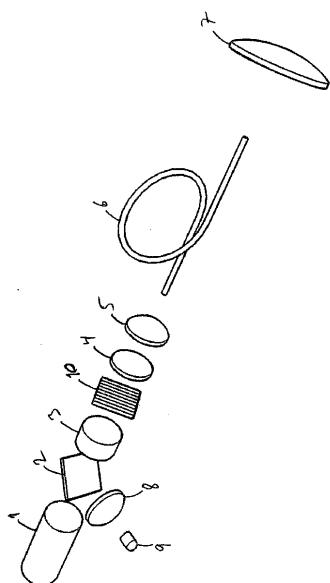


Fig. 2

【図3】

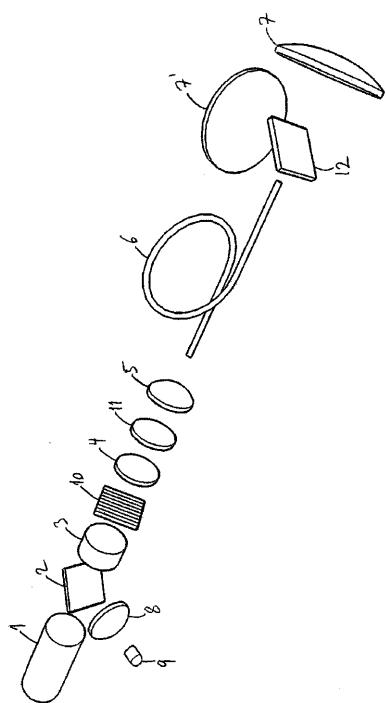


Fig. 3

【図4】

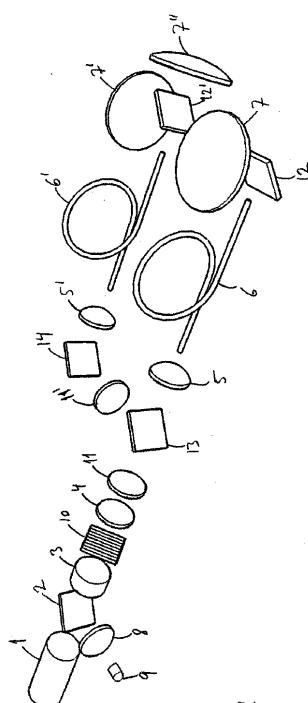


Fig. 4

【図5】

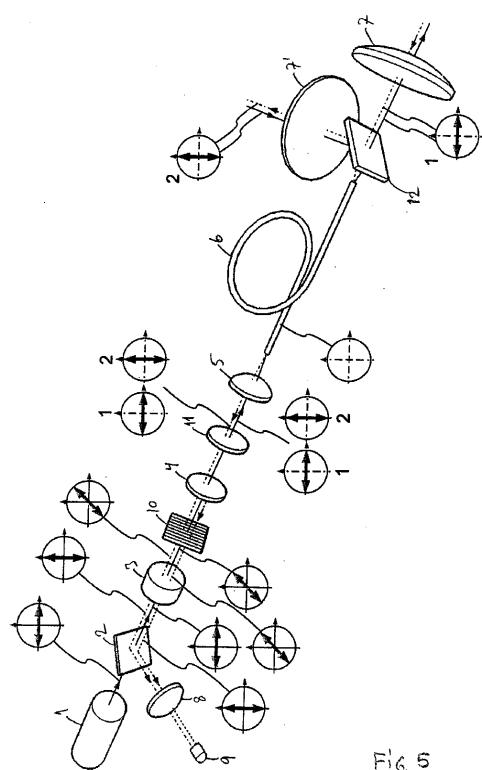


Fig. 5

【図6】

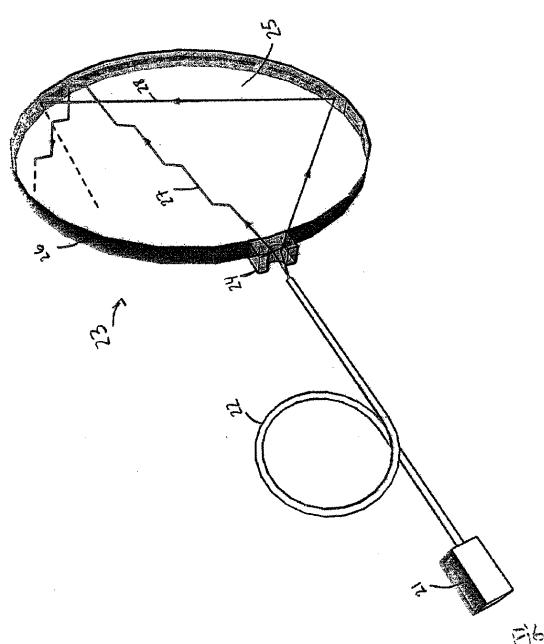


Fig. 6

【図7】

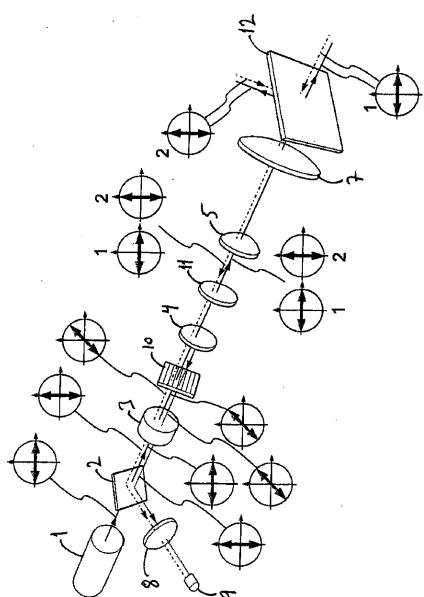


Fig. 7

【図8】

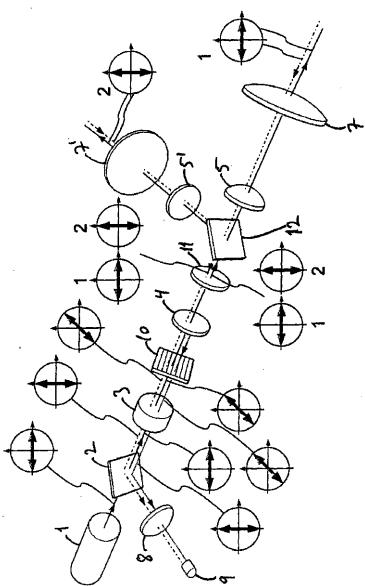


Fig. 8

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/DK2013/050086

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01S17/95 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) G01S		
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, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/050750 A1 (HAYS PAUL BYRON [US] ET AL) 1 March 2012 (2012-03-01) abstract paragraphs [0185], [0186], [0310], [0376], [0384] figures 1-3 ----- A WO 2011/014743 A2 (UNIV NORTH CAROLINA STATE [US]; BOULDER NONLINEAR SYSTEMS INC [US]; ES) 3 February 2011 (2011-02-03) abstract paragraphs [0090], [0091], [0127] -----	1-45
<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		
Date of the actual completion of the international search 30 July 2013		Date of mailing of the international search report 12/09/2013
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 Van den Bosch, I

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/DK2013/050086

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-45

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DK2013/050086

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012050750 A1	01-03-2012	NONE	
WO 2011014743 A2	03-02-2011	US 2012188467 A1 WO 2011014743 A2	26-07-2012 03-02-2011

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

International Application No. PCT/ DK2013/ 050086

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-45

Beam steering with polarizing beam splitter

2. claims: 46-68

Heating of glass surface with lidar beam

フロントページの続き

(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,R,S,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,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

(74)代理人 100181641

弁理士 石川 大輔

(74)代理人 230113332

弁護士 山本 健策

(72)発明者 ピーダーセン, ク里斯チャン

デンマーク国 ディーケー- 4 0 0 0 ロスキレ, エステー. テーヴェー., メレフーゼネ
8

(72)発明者 ロドリーゴ, ピーター ジョン

デンマーク国 ディーケー- 2 6 5 0 ビズオウア, ストランボヴェイ 8 8

(72)発明者 アイバーセン, テイス ファーバ クヴィス

デンマーク国 ディーケー- 2 7 2 0 バンレーセ, グレンダール パルクヴェイ 9 4

F ターム(参考) 2G059 AA05 BB02 CC11 CC19 EE02 GG01 GG02 GG04 GG06 HH01

JJ11 JJ13 JJ17 JJ18 JJ20 JJ22

3H178 AA20 AA40 BB31 BB65 BB71 CC25 DD52X

5J084 AA01 AA07 AB08 AB12 AB14 AD04 BA04 BB02 BB15 BB17
BB19 BB30 BB31 BB40 CA42 CA48 EA33