

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6356366号  
(P6356366)

(45) 発行日 平成30年7月11日(2018.7.11)

(24) 登録日 平成30年6月22日(2018.6.22)

(51) Int.Cl. F I  
**GO 1 N 15/02 (2006.01)** GO 1 N 15/02 A

請求項の数 14 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-563290 (P2017-563290)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成28年8月1日(2016.8.1)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/EP2016/068270</p> <p>(87) 国際公開番号 WO2017/017282</p> <p>(87) 国際公開日 平成29年2月2日(2017.2.2)</p> <p>審査請求日 平成29年12月6日(2017.12.6)</p> <p>(31) 優先権主張番号 15179036.7</p> <p>(32) 優先日 平成27年7月30日(2015.7.30)</p> <p>(33) 優先権主張国 欧州特許庁(EP)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 590000248                  コーニンクレッカ フィリップス エヌ                  ヴェ                  KONINKLIJKE PHILIPS                  N. V.                  オランダ国 5656 アーエー アイン                  ドーフェン ハイテック キャンパス 5                  High Tech Campus 5,                  NL-5656 AE Eindhove                  n</p> <p>(74) 代理人 100122769                  弁理士 笛田 秀仙</p> <p>(74) 代理人 100163809                  弁理士 五十嵐 貴裕</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 粒子サイズ検出のためのレーザセンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

空気品質を決定するために粒子サイズを検出するためのレーザセンサモジュールであって、前記レーザセンサモジュールは、少なくとも1つの第1のレーザと、少なくとも1つの第1の検出器と、少なくとも1つの電気駆動部と、少なくとも1つの評価器と、を有し、前記第1のレーザは、前記少なくとも1つの電気駆動部によって供給される信号にตอบสนองして第1のレーザ光を放射するように構成され、前記少なくとも1つの第1の検出器は、前記第1のレーザの第1のレーザキャビティ内の光波の第1の自己混合干渉信号を決定するように構成され、前記第1の自己混合干渉信号は、前記第1のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射された前記第1のレーザキャビティに再入射する第1の反射レーザ光によって引き起こされ、前記評価器は、前記第1の自己混合干渉信号により前記粒子と前記第1のレーザとの間の第1の相対距離を決定するとともに、前記第1の自己混合干渉信号により第1の振幅情報を決定することによって、粒子のサイズを決定するように構成され、前記レーザセンサモジュールは、少なくとも1つの第1の焦点領域を更に有し、前記第1の相対距離は、前記第1の焦点領域と前記粒子との間の距離に関連し、前記評価器は、前記焦点領域と前記粒子との間の距離に関連する前記第1の自己混合干渉信号の少なくとも1つの特性に基づいて前記第1の相対距離を決定するように構成され、前記第1の振幅情報は、前記第1の自己混合干渉信号の最大振幅又は最小振幅を有し、前記第1の焦点領域と前記粒子との間の距離に関連する前記第1の自己混合干渉信号の前記少なくとも1つの特性は、位相情報、振動数、相対最大値又は相対最小値の数、相対最大値及

10

20

び相対最小値の振幅比、前記第1の自己混合干渉信号の所定間隔内でのゼロ交差の数、並びに、前記ゼロ交差と前記第1の自己混合干渉信号のエンベロープの形状との間の1又は複数の距離、のうちの少なくとも1つを有する、レーザセンサモジュール。

【請求項2】

前記レーザセンサモジュールが、前記第1のレーザ光を前記第1の焦点領域に集束させるための少なくとも1つの第1の光学装置を更に有する、請求項1記載のレーザセンサモジュール。

【請求項3】

前記評価器が、前記第1の自己混合干渉信号の第1の信号振幅の絶対最大値又は絶対最小値を決定するように構成され、前記評価器が、前記第1の自己混合干渉信号の絶対最大値又は絶対最小値の周りの所定範囲内における前記第1の自己混合干渉信号の相対最大値又は相対最小値の第1の数を決定するように構成され、前記評価器が、前記所定範囲内の前記第1の自己混合干渉信号の最大又は最小の数により、前記粒子までの前記第1の相対距離を決定するように構成され、前記評価器が、前記決定された前記粒子までの第1の相対距離、並びに、前記第1の自己混合干渉信号の前記第1の信号振幅の前記絶対最大値又は前記絶対最小値により、前記粒子のサイズを決定するように更に構成される、請求項1記載のレーザセンサモジュール。

10

【請求項4】

前記評価器が、前記第1の自己混合干渉信号の前記第1の信号振幅の前記絶対最大値と前記第1の自己混合干渉信号の前記相対最大値の少なくとも1つにおける前記第1の自己混合干渉信号の振幅との間の比に基づいて、又は、前記第1の自己混合干渉信号の前記第1の信号振幅の前記絶対最小値と前記第1の自己混合干渉信号の前記相対最小値の少なくとも1つにおける前記第1の自己混合干渉信号の振幅との間の比に基づいて、前記粒子までの前記第1の相対距離の決定を精緻化するように構成される、請求項3記載のレーザセンサモジュール。

20

【請求項5】

前記レーザセンサモジュールが、前記粒子を有する所定の速度分布の粒子グループを前記第1の焦点領域に対して供給するように構成される、請求項1又は2に記載のレーザセンサモジュール。

【請求項6】

前記電気駆動部が、変調された第1の駆動電流を前記第1のレーザに供給するように構成され、前記評価器が、前記変調された第1の駆動電流から生じる前記第1の自己混合干渉信号に基づいて、前記粒子までの前記第1の相対距離を決定するように構成される、請求項1又は2に記載のレーザセンサモジュール。

30

【請求項7】

前記変調された第1の駆動電流が、少なくとも第1の駆動方式と第2の駆動方式とを有し、前記第1の駆動方式が、前記第2の駆動方式とは異なる、請求項6記載のレーザセンサモジュール。

【請求項8】

前記レーザセンサモジュールが、前記第1のレーザ光を再方向付けするための第1の可動ミラーを更に有し、前記レーザセンサモジュールは、所定のサイズ閾値より小さい粒子のサイズの検出が抑制されるように、前記第1の可動ミラーの動きを制御するように構成される、請求項1又は2に記載のレーザセンサモジュール。

40

【請求項9】

前記レーザセンサモジュールが、少なくとも第2のレーザと、少なくとも第2の検出器と、を有し、前記第2のレーザが、第2のレーザ光を放射するように構成され、前記第2のレーザ光が、前記第1のレーザ光の第1の波長とは異なる第2の波長を持ち、前記第2の検出器が、前記第2のレーザの第2のレーザキャビティ内の光波の第2の自己混合干渉信号を決定するように構成され、前記第2の自己混合干渉信号が、前記第2のレーザ光の少なくとも一部を受ける前記粒子により反射される前記第2のレーザキャビティに再入射

50

する第2の反射レーザー光によって引き起こされ、前記評価器が、前記第2の自己混合干渉信号により、前記粒子と前記第2のレーザーとの間の第2の相対距離を決定することによって、前記粒子のサイズの決定を精緻化するように構成される、請求項1又は2に記載のレーザーセンサモジュール。

【請求項10】

前記レーザーセンサモジュールが、第1の焦点領域に前記第1のレーザー光を集束させるための少なくとも1つの光学装置を有し、前記レーザーセンサモジュールが、少なくとも第2のレーザーと、少なくとも第2の検出器と、前記第2のレーザーによって放射された第2のレーザー光を第2の焦点領域に集束させるための少なくとも1つの第2の光学装置と、を更に有し、前記第2の検出器が、前記第2のレーザーの第2のレーザーキャビティ内の光波の第2の自己混合干渉信号を決定するように構成され、前記第2の自己混合干渉信号が、前記第2のレーザー光の少なくとも一部を受け前記粒子により反射される前記第2のレーザーキャビティに再入射する第2の反射レーザー光によって引き起こされ、前記評価器が、前記第2の自己混合干渉信号により前記粒子と前記第2のレーザー光との間の第2の相対距離を決定することによって、前記粒子のサイズの決定を精緻化するように構成される、請求項1に記載のレーザーセンサモジュール。

10

【請求項11】

前記第1の焦点領域の第1のサイズが、前記第2の焦点領域の第2のサイズとは異なる、請求項10に記載のレーザーセンサモジュール。

【請求項12】

粒子検出器を有する移動通信装置であって、前記粒子検出器が、請求項1乃至11のいずれか1項に記載の少なくとも1つのレーザーセンサモジュールを有する、移動通信装置。

20

【請求項13】

空気品質を決定するために粒子サイズを検出する方法であって、前記方法は、  
第1のレーザーにより、少なくとも1つの第1の焦点領域に第1のレーザー光を放射するステップと、

前記第1のレーザー光の少なくとも一部を受け粒子によって反射される第1の反射レーザー光を前記第1のレーザーの第1のレーザーキャビティにおいて受けるステップと、

前記第1のレーザーキャビティに再入射する前記第1の反射レーザー光によって引き起こされる、前記第1のレーザーの前記第1のレーザーキャビティ内の光波の第1の自己混合干渉信号を決定するステップと、

30

前記第1の自己混合干渉信号により、前記第1の焦点領域と前記粒子との間の距離に関連する、前記粒子と前記第1のレーザーとの間の第1の相対距離を決定するとともに、前記第1の自己混合干渉信号により第1の振幅情報を決定することによって、前記粒子のサイズを決定するステップと、

前記第1の焦点領域と前記粒子との間の前記距離に関連する前記第1の自己混合干渉信号の少なくとも1つの特性に基づいて前記第1の相対距離を決定するステップと、  
を有し、

前記第1の振幅情報は、前記第1の自己混合干渉信号の最大振幅又は最小振幅を有し、前記第1の焦点領域と前記粒子との間の前記距離に関連する前記第1の自己混合干渉信号の前記少なくとも1つの特性は、位相情報、振動数、相対最大値又は相対最小値の数、相対最大値及び相対最小値の振幅比、前記第1の自己混合干渉信号の所定間隔内でのゼロ交差の数、並びに、前記ゼロ交差と前記第1の自己混合干渉信号のエンベロープの形状との間の1又は複数の距離、のうちの少なくとも1つを有する、方法。

40

【請求項14】

請求項1乃至12のいずれか1項に記載の前記レーザーセンサモジュールに含まれる少なくとも1つのメモリ装置、又は、請求項1乃至12のいずれか1項に記載の前記レーザーセンサモジュールを有する装置の少なくとも1つのメモリ装置に格納され得るコード手段を有するコンピュータプログラム製品であって、前記コード手段は、請求項13に記載の方法が、請求項1乃至12のいずれか1項に記載の前記レーザーセンサモジュールに含まれる少

50

なくとも1つの処理装置により、又は、前記レーザセンサモジュールを有する前記装置の少なくとも1つの処理装置により実行され得るように構成される、コンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粒子サイズ検出のためのレーザセンサ又はレーザセンサモジュール、関連する粒子サイズ検出方法、及び、対応するコンピュータプログラム製品に関する。

【背景技術】

【0002】

米国特許出願公開第2014/0226158号明細書は、粒子のサイズ及び特性を決定するために光を分析するシステム及び方法を開示している。当該システム及び方法は、複雑且つ高価である。

【0003】

米国特許第4871251号は、流動媒体に含まれる粒子を分析するための装置を開示している。当該装置は、窓を持つ本体と、好ましくは小さい発光領域を持つレーザダイオードを有する光源と、焦点のサイズがレーザダイオードの発光領域のサイズとおよそ同じとなるようにレーザダイオードからの光を焦点に集束させるための光学系と、を含む。光検出器が本体においてマウントされ、流動媒体中の粒子によって焦点から後方散乱された光を検出し、粒子に関連する一連のパルスをもつ電気信号を生成する。当該電気信号は、パルスをカウントするとともに流動媒体における粒子の数を示す検出器に入力される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従って、本発明の目的は、粒子サイズ検出のための単純且つより安価なレーザセンサモジュールを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

第1の態様によれば、粒子サイズ検出のためのレーザセンサモジュールが提供される。レーザセンサモジュールは、少なくとも1つの第1のレーザと、少なくとも1つの第1の検出器と、少なくとも1つの電気駆動部と、少なくとも1つの評価器と、を有する。第1のレーザは、少なくとも1つの駆動部によって供給される信号に応答して第1のレーザ光を放射するように構成される。少なくとも1つの第1の検出器は、第1のレーザの第1のレーザキャビティ内の光波の第1の自己混合干渉信号を決定するように構成される。第1の自己混合干渉信号は、第1のレーザキャビティに再入射する第1の反射レーザ光によって引き起こされる。第1の反射レーザ光は、第1のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される。評価器は、第1の自己混合干渉信号により粒子と第1のレーザとの間の第1の相対距離を決定するとともに、第1の自己混合干渉信号により第1の振幅情報を決定することによって、粒子のサイズを決定するように構成される。

【0006】

粒子と第1のレーザとの間の相対距離は、直接的に、又は、間接的に、決定され得る。以下で詳述されるように、直接的な決定は、変調されたレーザ光に関連してもよく、間接的な決定は、光学配置に関連してもよい。第1の振幅情報は、粒子のサイズに本質的に関連する第1の自己混合干渉信号から導出され得る全ての情報を有する。粒子のサイズは、粒子によって反射される第1のレーザ光の量を決定する。加えて、第1のレーザと粒子との間の距離は、第1の自己混合干渉信号から抽出され得る第1の振幅情報に影響を及ぼす。さらに、粒子の位置における第1のレーザ光ビームの発散は、第1のレーザの第1のレーザキャビティに入射する第1の反射レーザ光に影響を及ぼす。第1の自己混合干渉信号は、例えば、第1のレーザ光が集束され、粒子の焦点がずれている場合に影響を受ける。第1の振幅情報は、第1の自己混合干渉信号の最大及び/又は最小振幅を有していてもよ

10

20

30

40

50

い。あるいは、第1の自己混合干渉信号は、例えば、測定された第1の自己混合干渉信号の包絡線（エンベロープ）を決定するために使用されてもよい。エンベロープの最大及び／又は最小振幅は、第1の振幅情報に含まれていてもよい。エンベロープの最大及び／又は最小振幅は、第1の自己混合干渉信号の最大及び／又は最小と異なることがある。

【0007】

第1のレーザは、好ましくは、スペクトルの赤外領域において750nmを超える波長、最も好ましくは波長スペクトルの780nmと1300nmとの間の波長を有するレーザ光を放射するように構成され得る。

【0008】

第1のレーザは、サイドエミッタ又は垂直共振器面発光レーザ（VCSEL）などの半導体レーザであってもよい。

【0009】

レーザセンサモジュールは、空気品質を決定するために使用され得る粒子検出器の一部であってもよい。かかる粒子検出器は、例えば、モバイル装置、特に、移動通信装置と一体化されていてもよい。レーザセンサモジュールは、例えば、モバイル装置に組み込まれることができる別個の装置であってもよいし、又は、レーザセンサモジュールの機能の少なくとも一部は、モバイル装置によって供給されるインフラストラクチャにより実行されてもよい。特に、評価器の機能の全て又は一部は、モバイル装置の1又は複数のプロセッサにより供給されてもよい。例えば、評価器の機能の少なくとも一部を可能にするため、ソフトウェアコードがモバイル装置のストレージ装置に格納され得る。

【0010】

レーザセンサモジュールは、少なくとも1つの第1の焦点領域を有していてもよい。第1の相対距離は、第1の焦点領域と粒子との間の距離、及び、レーザセンサモジュールの光学特性によって決定される第1のレーザと第1の焦点領域との間の距離に関連する。評価器は、第1の焦点領域と粒子との間の距離に関連する第1の自己混合干渉信号の少なくとも1つの特性に基づいて、第1の相対距離を決定するように構成される。ここで、第1の振幅情報は、第1の自己混合干渉信号の最大又は最小振幅を有する。

【0011】

第1の焦点領域は、レーザキャビティ内の、又は、代替的にレーザの外の第1の焦点領域内のビームウエストを有していてもよい。ビームウエストは、粒子が、第1のレーザの出口窓近傍で第1のレーザ光を横切る、即ち、第1のレーザキャビティを形成するミラーの1つの表面近傍を横切るように、レーザセンサモジュールが構成される場合、第1の焦点領域として使用され得る。この場合、相対距離は、第1のレーザキャビティ内のビームウエストと粒子との間の距離とビームウエストと出口窓との間の距離との差であってもよい。

【0012】

レーザセンサモジュールは、代替的に、又は、追加的に、第1のレーザ光を第1の焦点領域に集束させるための少なくとも1つの第1の光学装置を有していてもよい。提示される方法は、粒子が焦点外にあったとしても、粒子のサイズを決定できるようにする。第1の焦点領域と粒子との間の距離は、デフォーカス（defocus）と称される。第1のレーザと粒子との間の相対距離は、この場合、第1のレーザと第1の焦点領域との間の距離と、第1の焦点領域と粒子との間の距離との和により与えられる（算術符号が考慮される必要がある）。粒子の位置における第1のレーザ光のデフォーカス量（即ち、ビームの振幅の拡がりと組み合わせた波面曲率）は、システムにおいて使用される第1の光学装置上で情報を用いて計算され得る。第1の光学装置は、単一のレンズを有するだけでなく、2つ、3つ、又は、それ以上のレンズ又はレンズ構成を有していてもよい。さらに、適合可能な焦点を有するレンズが、このような第1の光学装置において使用され得る。第1の焦点領域は点状であってもよいが、あるいは、規定された焦点深度を有することもできる。焦点の直径、又は、より一般的には断面は、例えば、第1のレーザ及び第1の光学装置の光学軸に沿って、規定された期間内に本質的に一定であってもよい。第1の焦点領域は、例え

10

20

30

40

50

ば、円形又は楕円形の断面を有することができる。

【 0 0 1 3 】

第 1 の焦点領域と粒子との間の距離に関連する第 1 の自己混合干渉信号の少なくとも 1 つの特性は、位相情報、振動数、相対最大値又は相対最小値の数、相対最大振幅と相対最小振幅との比、第 1 の自己混合干渉信号の規定された間隔内のゼロ交差の数、ゼロ交差と第 1 の自己混合干渉信号の包絡線（エンベロープ）の形状との間の 1 又は複数の距離を有していてもよい。第 1 のレーザと粒子との間の相対距離を意味する第 1 の相対距離は、第 1 の自己混合干渉信号の振動の特性又は形状に強く影響を及ぼす。位相情報、振動数、相対最大値又は相対最小値の数、相対最大振幅と相対最小振幅との比、第 1 の自己混合干渉信号の規定された間隔内のゼロ交差の数、ゼロ交差と第 1 の自己混合干渉信号の包絡線（エンベロープ）の形状との間の 1 又は複数の距離は、第 1 の自己混合干渉信号の規定された部分から得られる。振動の数、及びノイズ又は、第 1 の自己混合干渉信号のゼロ交差の非均一な時間間隔は、粒子のサイズを決定するために使用され得る。第 1 の自己混合干渉信号の一部のサイズは、第 1 の自己混合干渉信号の振幅の絶対最大値及びノイズレベルに依存し得る。空間的デフォーカスフィールドに相対的に移動する粒子の理論的に期待される強度挙動に適合すると、粒子のサイズを決定するのに十分な情報が得られる。測定される第 1 の自己混合干渉信号は、理論的に期待される曲線に適合されてもよい。ここで、位相情報、振動数、相対最大値又は相対最小値の数、相対最大振幅と相対最小振幅との比、第 1 の自己混合干渉信号の規定された間隔内のゼロ交差の数、ゼロ交差と第 1 の自己混合干渉信号の包絡線（エンベロープ）の形状との間の 1 又は複数の距離のうちの少なくとも 1 つが使用され得る。測定された第 1 の自己混合干渉信号のフィッティングを実行するために、ウェーブレットタイプの解析又はそれに応じたアルゴリズムを用いたニューラルネットワークが使用され得る。

【 0 0 1 4 】

評価器は、第 1 の自己混合干渉信号の第 1 の信号振幅の絶対最大値又は絶対最小値を決定するように構成され得る。評価器は、第 1 の自己混合干渉信号の絶対最大値又は絶対最小値付近の規定された範囲内の第 1 の自己混合干渉信号の相対最大値又は相対最小値の第 1 の数を決定するように構成されてもよい。評価器は、規定の範囲内での第 1 の自己混合干渉信号の最大値又は最小値の数により、粒子に対する第 1 の相対距離を決定するように構成されてもよい。また、評価器は、決定された粒子に対する第 1 の相対距離、及び、第 1 の自己混合干渉信号の第 1 の信号振幅の絶対最大値又は絶対最小値により、粒子のサイズを決定するように構成されてもよい。

【 0 0 1 5 】

第 1 の自己混合干渉信号は、従来のドップラー周波数、第 1 のレーザと粒子との間の光路に起因する位相（これは、例えば、走査ミラーによって引き起こされ得るビームの軸外回転に起因して影響を受け得る）、及び、ビームのデフォーカスに起因する空間位相プロファイルの有していてもよい。空間位相プロファイルは、粒子のサイズを決定するために使用される。例えば、ドップラー周波数のような他の効果は、代替的な測定によって決定されてもよく、又は、その効果は、例えば、ドップラー周波数がデフォーカス効果によるものよりも低いという意味で、無視できるものであってもよい。これは、例えば、第 1 のレーザ光のビームに平行な速度と比較して、第 1 のレーザ光のビームに直角な速いスポットの動き又は誘起された速い粒子の動きによって達成され得る。

【 0 0 1 6 】

評価器は、第 1 の自己混合干渉信号の第 1 の信号振幅の絶対最大値と第 1 の自己混合干渉信号の相対最大値の少なくとも 1 つにおける第 1 の自己混合干渉信号の振幅との間の比に基づいて、又は、第 1 の自己混合干渉信号の第 1 の信号振幅の絶対最小値と第 1 の自己混合干渉信号の相対最小値の少なくとも 1 つの第 1 の自己混合干渉信号の振幅との間の比に基づいて、粒子に対する第 1 の相対距離の決定を精緻化するように構成されてもよい。第 1 の自己混合干渉信号の相対最大値又は相対最小値は、測定される絶対最大値又は絶対最小値に関する信号の減衰を決定するために直接的に使用されてもよい。あるいは、自己

混合干渉信号の絶対最大値及び絶対最小値の相対最大値及び相対最小値との組み合わせは、信号の減衰を数学的に記述する測定信号に対する包絡関数をモデル化する、又は、適合するために使用され得る。第1の自己混合干渉信号の減衰は、信号が自己混合干渉信号のノイズレベルよりも高い絶対最大値又は絶対最小値付近の範囲において分析され得る。

【0017】

レーザセンサモジュールは、第1の焦点領域に対して、規定された速度分布の粒子を有する粒子群を供給するように構成されてもよい。規定された速度分布は、例えば、ファンにより供給され得る。ファンは、例えば、規定された速度分布を供給するため、管において粒子を有する気体を吹かせ（ブローし）てもよい。規定された速度分布は、代替的に、又は、追加的に、第1のレーザ光を反射する可動ミラーによって引き起こされ得る第1のレーザ光のビームに関して相対的な速度分布であってもよい。

10

【0018】

電気駆動部は、変調された第1の駆動電流を第1のレーザに供給するように構成され得る。評価器は、第1の変調された駆動電流から生じる第1の自己混合干渉信号に基づいて、粒子に対する第1の相対距離を決定するように構成されてもよい。変調された駆動電流は、例えば、三角波駆動電流又は矩形波駆動電流を有していてもよい。変調された駆動電流により決定された第1の相対距離は、第1の焦点領域に対する粒子の相対位置により引き起こされる第1の自己混合干渉信号のデフォーカスを計算又は決定するために使用され得る。位相情報、振動数、相対最大値又は相対最小値の数、相対最大振幅と相対最小振幅との比、第1の自己混合干渉信号の規定された間隔内のゼロ交差の数、ゼロ交差と第1の自己混合干渉信号の包絡線（エンベロープ）の形状との間の1又は複数の距離は、追加的に、粒子のサイズが第1の振幅情報を考慮して決定されることができるよう、相対距離又はデフォーカスを決定するために使用され得る。変調された第1の駆動電流は、少なくとも第1の駆動方式と第2の駆動方式とを有していてもよい。ここで、第1の駆動方式は、第2の駆動方式と異なる。さらに、精度改善のため、粒子までの距離ひいてはデフォーカスを検出するための異なるメカニズムが使用可能であるように、変調された第1の駆動電流と非変調の第1の駆動電流とを交互に使用することも可能である。

20

【0019】

オプションで、三角波駆動電流が、第1の自己混合干渉信号に一定の周波数を加えるために使用され得る。FM技術が、位相変調及び振幅として第1の自己混合干渉信号において含まれる粒子サイズを決定するために使用されてもよい。さらに、レーザからの粒子の距離も、三角波駆動電流によって供給される一定の周波数に含まれ、付加情報として使用され得る。

30

【0020】

方形波変調により、粒子信号の2つの直交成分が得られる。矩形波又は方形波駆動電流は、第1のレーザの誘起された波長シフトが、第1のレーザにおける後方散乱光の90度位相シフトをもたらすようなものである。2つの直交成分を利用することにより、最大粒子信号振幅を常に再構成することができる。この解決策の欠点は、信号電力の半分が直角位相を再構成するために使用されるため、第1の自己混合干渉信号の信号対雑音比（SNR）が、3dB減少することである。

40

【0021】

レーザセンサモジュールは、第1のレーザ光を再方向付けするための第1の可動ミラーを有していてもよい。レーザセンサモジュールは、規定のサイズ閾値よりも低いサイズの粒子の検出が抑制され得るように、第1の可動ミラーの動きを制御するように構成され得る。

【0022】

第1の自己混合干渉信号の周波数帯域幅は、粒子の相対速度と第1のレーザ光のビームとに依存する。速度が速いほど帯域幅の広い信号を意味し、帯域幅の広い信号は、信号対雑音比（SNR）が低いことを意味する。第1の自己混合干渉信号の粒子信号振幅は、粒子サイズに依存する。（粒径が波長より小さい場合）粒径が小さいほど振幅が小さい。小

50

さな粒子のSNRが検出限界以下になるように相対速度を変化させることにより、より大きな粒子のみが計数される。これにより、ミラー速度粒子サイズ情報の関数として、粒子数統計から抽出することが可能になる。相対速度を上げるためには、時間当たりの検出量も増加し、計数統計を修正する必要があることも考慮に入れなければならない。

【0023】

レーザセンサモジュールは、少なくとも第2のレーザと、少なくとも第2の検出器と、を有していてもよい。第2のレーザは、第2のレーザ光を放射するように構成され得る。第2のレーザ光は、第1のレーザ光の第1の波長とは異なる第2の波長を有してもよい。第2の検出器は、第2のレーザの第2のレーザキャビティ内の光波の第2の自己混合干渉信号を決定するように構成され得る。第2の自己混合干渉信号は、第2のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される、第2のレーザキャビティに再入射する第2の反射レーザ光によって引き起こされる。評価器は、第2の自己混合干渉信号により、粒子と第2のレーザとの間の第2の相対距離を決定することによって、粒子のサイズの決定を精緻化するように構成され得る。

10

【0024】

同じサイズの粒子は、異なる波長のために異なる信号強度応答を有する。この追加情報は、距離情報及び信号強度情報と組み合わせられ得る。異なる波長に対する応答の差は、粒子サイズの追加の弁別器として使用され得る。第1のレーザ及び第2のレーザは、第1のレーザ及び第2のレーザによる粒子の同時検出が可能であるように、多かれ少なかれ重なるビームプロファイルを有することができる。あるいは、第1のレーザ及び第2のレーザは、重なり合わないビームを有してもよく、情報は、統計的方法によって比較又は分析されてもよい。

20

【0025】

レーザセンサモジュールは、第1のレーザ光を第1の焦点領域に集束するための少なくとも1つの第1の光学装置を有していてもよい。レーザセンサモジュールは、少なくとも第2のレーザと、少なくとも第2の検出器と、第2のレーザによって放射された第2のレーザ光を第2の焦点領域に集束させる少なくとも1つの第2の光学装置と、を更に有していてもよい。第2の検出器は、第2のレーザの第2のレーザキャビティ内の光波の第2の自己混合干渉信号を決定するように構成され得る。第2の自己混合干渉信号は、第2のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子により反射される第2のレーザキャビティに再入射する第2の反射レーザ光によって、引き起こされる。評価器は、第2の自己混合干渉信号により、粒子と第2のレーザとの間の第2の相対距離を決定することによって、粒子のサイズの決定を精緻化するように構成されてもよい。

30

【0026】

第1及び第2の焦点領域のサイズは、異なってもよい（異なる焦点長さ、異なるサイズの焦点など）。相対的にシャープな第1の焦点が、第1の光学装置と組み合わせて第1のレーザにより供給され、第2の焦点線は、第2の光学装置と組み合わせて第2のレーザにより供給され得る。ここで、第1の焦点は、例えば、第2の焦点線上に配置され得る。第2の焦点線は、第2のレーザの光学軸に沿って配置され得る。第1のレーザと第1の焦点領域との間の第1の距離は、第2のレーザと第2の焦点領域との間の第2の距離と異なってもよい。第1の焦点領域は、上述したように、第2の焦点領域と重なっていてもよい。あるいは、第1の焦点領域は、上述したように、第2の焦点領域と重なっていてもよい。

40

【0027】

他の態様によれば、粒子サイズ検出のための方法が提供される。当該方法は、第1のレーザにより、第1のレーザ光を放射するステップと、第1のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される第1の反射レーザ光を第1のレーザの第1のレーザキャビティにおいて受けるステップと、第1のレーザキャビティに再入射する第1の反射レーザ光によって引き起こされる、第1のレーザの第1のレーザキャビティ内の光波の第1の自己混合干渉信号を決定するステ

50



ップと、

第1の自己混合干渉信号により粒子と第1のレーザとの間の第1の相対距離を決定するとともに、第1の自己混合干渉信号により第1の振幅情報を決定することによって、粒子のサイズを決定するステップと、  
を有する。

【0028】

上記方法のステップは、必ずしも、上述した順序で実行される必要はない。

【0029】

他の態様によれば、コンピュータプログラム製品が提示される。当該コンピュータプログラム製品は、請求項1乃至13のいずれか1項に記載のレーザセンサモジュールの少なくとも1つのメモリ装置、又は、レーザセンサモジュールを有する装置の少なくとも1つのメモリ装置に格納され得るコード手段を有する。当該コード手段は、請求項14記載の方法が、請求項1乃至13のいずれか1項に記載のレーザセンサモジュールの少なくとも1つの処理装置により、又は、レーザセンサモジュールを有する装置の少なくとも1つの処理装置により実行され得るように構成される。メモリ装置又は処理装置は、レーザセンサモジュール（電気駆動部、評価器など）に含まれていてもよく、装置は、レーザセンサモジュールを有していてもよい。レーザセンサモジュールを有する上記装置の第1のメモリ装置及び/又は第1の処理装置は、レーザセンサモジュールに含まれる第2のメモリ装置及び/又は第2の処理装置と相互作用してもよい。

【0030】

請求項1乃至13のいずれか1項に記載のレーザセンサモジュール及び請求項14記載の方法は、特に、従属項に規定されるように、類似の、及び/又は、同一の実施形態を有することが理解されるべきである。

【0031】

また、本発明の好適な実施形態は、各独立項と従属項との任意の組み合わせであってもよいことが理解されるべきである。

【0032】

他の好適な実施形態が、以下に規定される。

【図面の簡単な説明】

【0033】

本発明のこれらの態様及び他の態様が、以下に説明される実施形態を参照して、明確且つ明らかになる。

本発明は、一例として、添付の図面を参照して実施形態に基づいて説明される。

図を通じて、同様の数字は、同様の物体を表している。図における物体は、必ずしも原寸通りには描かれていない。

【図1】図1は、第1のレーザセンサモジュールの原理図を示している。

【図2】図2は、第2のレーザセンサモジュールの原理図を示している。

【図3】図3は、第3のレーザセンサモジュールの原理図を示している。

【図4】図4は、第4のレーザセンサモジュールの原理図を示している。

【図5】図5は、第1の焦点領域の原理図を示している。

【図6】図6は、第5のレーザセンサモジュールの原理図を示している。

【図7】図7は、第6のレーザセンサモジュールの原理図を示している。

【図8】図8は、第1の自己混合干渉信号の第1の実施形態を示している。

【図9】図9は、第1の自己混合干渉信号の第2の実施形態を示している。

【図10】図10は、レーザセンサモジュールを有する移動通信装置を示している。

【図11】図11は、粒子サイズを検出するための方法の原理図を示している。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下、本発明の様々な実施形態が、図により説明される。

【0035】

10

20

30

40

50

物体の移動、及び、物体までの距離を検出するために、自己混合干渉が用いられる。自己混合干渉についての背景情報は、参照により組み込まれる、Giuliani, G., Norgia, M., Donati, S., Bosch, T.らの「センサアプリケーションのためのレーザダイオード自己混合技術」(センサアプリケーションのためのレーザダイオード自己混合技術、Journal of Optics A: Pure and Applied Optics、2002年4月、第283項乃至第294項)で説明されている。光入力装置内のセンサに対する指先の動きの検出は、国際特許出願公開W002/37410号に詳細に記載されている。国際特許出願公開W002/37410号における距離及び動きの検出に関する開示は、参考として援用される。

【0036】

自己混合干渉の原理は、国際特許出願公開W002/37410号に提示される例に基づいて議論される。レーザキャビティを持つダイオードレーザは、レーザ又は測定ビームを放出するために供給される。その上流側において、例えば、人間の指などの物体が移動される透明な窓を有する装置が設けられる。例えば、平凸レンズなどのレンズが、ダイオードレーザと窓との間に配置される。このレンズは、透明な窓の上流側において、又は、透明な窓の上流側近傍で、レーザビームを集束させる。物体がこの位置に存在する場合、物体は、測定ビームを散乱させる。測定ビームの放射の一部は、照明ビームの方向に散乱され、この部分は、レーザダイオードの放射面上のレンズによって収束され、このレーザのキャビティに再入射する。ダイオードレーザのキャビティに再入射する放射は、レーザの利得の変化、ひいてはレーザによって放射される放射の強度の変化を誘発し、これはダイオードレーザにおける自己混合効果と呼ばれる現象である。

【0037】

レーザによって放射される放射線の強度の変化は、この目的のために提供されるフォトダイオードによって検出され、このダイオードは放射変動を電気信号に変換し、この電気信号を処理するための電子回路が設けられる。

【0038】

測定ビームに対する物体の移動は、物体によって反射された放射をドップラーシフトさせる。これは、この放射の周波数が変化するか、周波数シフトが生じることを意味する。この周波数シフトは、物体が移動する速度に依存し、数kHzからMHzのオーダーである。レーザキャビティに再入射する周波数シフトされた放射は、このキャビティ内で生成される光波又は放射と干渉し、即ち、このキャビティ内で自己混合効果が生じる。光波とキャビティに再入射する放射との間の位相シフト量に依存して、干渉は、発散的又は負である。即ち、レーザ放射の強度は、周期的に、増減する。このようにして生成されたレーザ放射変動の周波数は、キャビティ内の光波の周波数と、キャビティに再入射するドップラーシフト放射の周波数との間の差と正確に等しい。周波数差は、数kHzから数MHz程度であり、検出が容易である。自己混合効果とドップラーシフトとの組み合わせは、レーザキャビティの挙動の変化、特に、その利得又は光増幅の変化を引き起こす。レーザキャビティのインピーダンス又はレーザによって放射される放射の強度は、例えば、測定されてもよく、センサに対する物体の移動量(即ち、移動距離)を評価することができるだけでなく、国際特許出願公開第02/37410号に詳細に記載されているように、運動の方向も決定することができる。

【0039】

図1は、第1のレーザセンサモジュール100の原理図を示している。第1のレーザセンサモジュールは、一体化された第1の検出器120を具備する第1のレーザ110を有する。一体型の第1の検出器120は、第1のレーザ110のレイヤ構造の一部である一体型フォトダイオードである。一体型フォトダイオードは、第1のレーザの第1のレーザキャビティ内の光波の振動を決定する。第1のレーザセンサモジュール100は、電気駆動部130と、評価器140と、を更に有する。評価器140は、第1のレーザ110に接続され、より正確には、第1の検出器120及び電気駆動部130に接続される。電気駆動部130は、第1のレーザ光を放射するために、第1のレーザ110に給電する。第1のレーザ110は、この場合、一体型フォトダイオードを具備する垂直共振器面発光レ

10

20

30

40

50

ーザ（VCSSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser）である。レーザセンサモジュール100は、電気駆動部130により変調且つ供給される電力を供給する電源（図示省略）に接続される。電気駆動部130は、第1のレーザ110に対して、異なる変調方式を交互に供給する。第1の変調方式では、定電流が供給される。第2の変調方式では、三角波変調方式を有する駆動電流が供給される。三角波変調方式は、第1の自己混合干渉信号30により第1のレーザ110と粒子との間の相対距離を決定するために使用される。評価器140は、第1の自己混合干渉信号30によって引き起こされる、第1の検出器120により供給される電気信号を受信する。また、評価器140は、電気駆動部130から駆動方式に関する情報を受信する。評価器140は、この情報により、第1のレーザ110と第1の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。異なる散乱角度において粒子により散乱される第1のレーザ光を決定するために、追加の検出器が供給されてもよい。1又は複数の追加の検出器は、粒子サイズの検出を改善するために使用され得る。異なる粒子サイズに関する散乱光は、角度依存性を有する。第1の自己混合干渉信号30と組み合わせる追加の検出器を用いることにより、評価器140による粒子サイズ推定が改善され得る。追加の検出器及び第1の自己混合干渉信号30によって供給される信号における一致検出は、評価器140によって可能とされてもよい。

10

#### 【0040】

図2は、第2のレーザセンサモジュール100の原理図を示している。第2のレーザセンサモジュールは、第1のレーザ110を有する。第2の検出器120は、第1のレーザキャビティに印加される電圧を決定する、又は、より一般的には、第1の自己混合干渉信号によって影響を受ける第1のレーザキャビティのインピーダンスを決定する外部測定回路として配置される。第1のレーザセンサモジュール100は、電気駆動部130及び評価器140を更に有する。評価器140は、第1のレーザ110、第1の検出器120、及び、電気駆動部130に接続される。電気駆動部130は、第1のレーザ光を放射するため、第1のレーザ110に電力を供給する。第1のレーザ110は、この場合、側面発光型半導体レーザである。レーザセンサモジュール100は、電気駆動部130により変調及び供給される電力を供給する電源（図示省略）に接続される。電気駆動部130は、一定の駆動電流を供給する。評価器140は、第1の自己混合干渉信号30により引き起こされる第1の検出器120によって供給される電気信号を受信する。評価器140は、電気駆動部130から情報を受信する。評価器140は、第1のレーザ装置から温度情報を更に受信する。評価器140は、この情報により、第1のレーザ110と第1の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。焦点の比較的遠くを通る粒子は、第1の自己混合干渉信号において十分目に見える振動を有し、一定の駆動電流のため、信頼できる位置ひいては粒径を決定する。この変調方式の利点は、全信号電力を使用して信号の1つの直角位相のみを再構成することである。これは、最小の粒子を検出するための最良のSNRを与える。

20

30

#### 【0041】

図3は、第3のレーザセンサモジュール100の原理図を示している。第3のレーザセンサモジュールは、一体型の第1の検出器120を具備する第1のレーザ110を有する。一体型の第1の検出器120は、第1のレーザ110のレイヤ構造の一部である一体型フォトダイオードである。第3のレーザセンサモジュール100は、電気駆動部130、評価器140、及び、第1の光学装置150を更に有する。評価器140は、第1のレーザ110に接続され、より正確には、第1の検出器120及び電気駆動部130に接続される。電気駆動部130は、第1のレーザ光を放射するため、第1のレーザ110に電力を供給する。第1のレーザ110は、この場合、一体型フォトダイオードを具備する垂直共振器面発光レーザ（VCSSEL）である。レーザセンサモジュール100は、電気駆動部130により変調及び供給される電力を供給する電源（図示省略）に接続される。電気駆動部130は、一定の駆動電流を供給する。評価器140は、第1の自己混合干渉信号30により引き起こされ、第1の検出器120によって供給される電気信号を受信する。評価器140は、電気駆動部130から情報を更に受信する。評価器140は、この情報

40

50

により、第1のレーザ110と第1の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。第1のレーザ110によって放射される第1のレーザ光は、第1の光学装置150により第1の焦点領域155に集束される。粒子は、第1の焦点領域155の周囲の範囲内で検出され得る。第1の焦点領域155と粒子との間の距離は、デフォーカスと称される。デフォーカスは、第1の自己混合干渉信号30に影響を及ぼし、第1のレーザ110と粒子との間の相対距離を決定するために情報を供給する。この情報は、粒子のサイズを決定するために、評価器140により第1の振幅情報と組み合わせて使用される。

【0042】

第1の光学装置150は、例えば、規定の直径 $r_{lens}$ を有するただ一つのレンズを有していてもよい。第1の自己混合干渉信号は、 $(1 - \exp[-(r_{lens}/w_{pupil})^2])^2$ としてスケールリングされる。ここで、 $w_{pupil}$ は、レンズ瞳孔における第1のレーザ光のガウシアンビームのウエストパラメータ (waist parameter) である。レンズは、第1のレーザ光の後方散乱ビーム又は反射ビームの口径食 (ケラレ) による信号損失を回避するため、或る最小直径を有すべきである。好ましい実施形態は、レンズ直径  $> 1.1$  瞳孔直径 (これは、3 dB の信号損失に対応する) を有する。ガウシアンビームの  $1.5$  倍の瞳孔直径 (1 dB の信号損失) より大きいレンズがより優れている。

10

【0043】

粒子のサイズの決定についての理論的背景に関する詳細は、以下に詳述されている。

【0044】

粒子からの後方散乱光又は反射された第1のレーザ光に起因する第1のレーザ110の第1のレーザキャビティ内の電力変化は、以下の式によって与えられる。

20

【数1】

$$\frac{\Delta P}{P} \sim E_{laser}^*(x, y, z) \frac{\lambda}{k} |E_{bs}| \cos(\varphi)$$

【0045】

$P/P$  は粒子からの後方散乱光に起因する第1のレーザキャビティ内の光波のレーザ強度の相対パワー変化であり、 $E_{laser}(x, y, z)$  は粒子の位置におけるレーザフィールドであり、 $|E_{bs}|$  は後方における粒子からの後方散乱光に関連し、 $\lambda$  は波長であり、 $k$  は  $2/\lambda$  であり、 $\varphi$  は後方散乱光と第1のレーザキャビティ内の光波との間の最終的な位相である。この位相は、後方散乱光の振幅に対して非線形的に依存し得る。

30

【0046】

$|E_{bs}|$  は、以下の式によって与えられる。

【数2】

$$|E_{bs}| = |E_{laser}(x, y, z)| k \sqrt{\frac{d\sigma}{d\Omega}}$$

【0047】

ここで、 $d\sigma/d\Omega$  は後方に関する第1のレーザ光のビームの散乱断面積である。(ここでは、レーザビームの受光角内で一定とする。)

40

【0048】

信号強度の総和は以下ようになる。

【数3】

$$\frac{\Delta P}{P} = I_{laser}(x, y, z) \lambda \sqrt{\frac{d\sigma}{d\Omega}} \cos[\phi(x, y, z)]$$

【0049】

上記等式の最初の部分は、信号の振幅を記述しており、最後の部分は、その位相を記述している。

【0050】

50

この位相は、干渉計において周知であるように、第1のレーザ110から粒子までの距離と、第1のレーザ光の入射レーザビームの位相とによって決定される。走査スポット又は横方向の粒子の移動、特にフィールドの横方向成分への依存に自己混合干渉を用いるレーザセンサモジュール100では、 $x$ 、 $y$ が興味深い。第1のレーザ光のガウシアンビームでは、それは、以下の式によって与えられる。

【数4】

$$E_{laser}(x, y, z) = E_0 \sqrt{\frac{2}{\pi w^2(z)}} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{w^2(z)}} e^{-i(kz+\zeta(z))} e^{-\frac{ik(x^2+y^2)}{2R(z)}}$$

【0051】

$z$  = 一定の平面における位相は、 $R(z)$ によってパラメータ化され得る第1のレーザ光のビームのデフォーカス量により決定される。

【数5】

$$R(z) = z \left[ 1 + \left( \frac{z_r}{z} \right)^2 \right]$$

【0052】

一定の $z$ 平面におけるビームの振幅は、 $w(z)$ によってパラメータ化される、そのビームウェストによって決定されるガウシアンである。

【数6】

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left( \frac{z}{z_r} \right)^2}$$

ここで、 $z_r$ はレイリー範囲であり、

【数7】

$$z_r = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

である。

【0053】

ガウシアンビームの第1の部分は、振幅依存性と複素数の部分とをビームの位相プロファイルに指数関数的に与える。

【0054】

このガウシアンビームプロファイルは、レーザパワーに関する等式に挿入され得る。(また、他のレーザビームプロファイルも挿入され得る)。これは、以下のようになる。

【数8】

$$\frac{\Delta P}{P} = I_0 \frac{2}{\pi w^2(z)} e^{-\frac{2(x^2+y^2)}{w^2(z)}} \lambda \sqrt{\frac{d\sigma}{d\Omega}} \cos \left[ (kz + \zeta(z) + \frac{k(x^2+y^2)}{2R(z)}) \right]$$

【0055】

位相項の幾つかの言葉は、粒子及びレーザの相対的な $z$ 運動がドップラー位相シフトに対応し、 $x$ 、 $y$ 相対運動がデフォーカス位相シフトに対応することができる。

【0056】

焦点に関する粒子軌跡が分かっているとき、この等式は、レーザの観測された強度振動を記述する。基本的な未知数

【数9】

$$\sqrt{\frac{d\sigma}{d\Omega}}$$

は、粒子のサイズ(及び、その誘電特性、ただし、一般に、光学粒子カウンタは、散乱断

10

20

30

40

50

面積

【数 1 0】

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$$

が粒子サイズに相関するとともに、異なる粒子の誘電特性が同じであると仮定する)に依存し、他の全てのパラメータが既知である場合、後方散乱断面積は、測定信号から決定され得る。

【0 0 5 7】

粒子の運動は、小さくてもよい、又は、所定の粒子軌道が提供されてもよい。1つのオプションは、制御された空気フローを使用することである。他のオプションは、粒子移動がスポットの移動よりも著しく小さいという仮定の下、例えば、図4に記載されるように、MEMSミラーによって走査スポットを使用することである。また、走査スポットは、その軌道中の粒子と第1のレーザとの間の相対距離が分かることを保証する。

10

【0 0 5 8】

粒子とレーザスポットとが十分に定義された横方向の相対速度を有し、レーザスポットを変位させる走査ミラー、又は、粒子を変位させる制御された空気フローによって、z依存性を無視することができる場合、後方散乱光の位相はデフォーカス項のために変化する。この位相変化は、第1の自己混合干渉信号30の振動につながる。この位相変化とは別に、ビームの振幅も減少し、粒子信号のより低い信号をもたらす。粒子は、焦点の外へ移動するため、位相振動項は、横方向の減衰に比して大きくなる( $z_R$ は、レイリー範囲である)。

20

【数 1 1】

$$\frac{k}{2R(z)} = \frac{k}{2} \frac{z}{z^2 + z_R^2} (\text{横方向指数位相レーザフィールド})$$

$$\frac{1}{2w^2(z)} = \frac{\frac{\pi}{\lambda} z_R}{2(z^2 + z_R^2)} (\text{横方向指数強度ビーム})$$

$$\frac{2R(z)}{2kw^2(z)} = \frac{z_R}{2z} (\text{2つの比})$$

30

【0 0 5 9】

これは、第1の自己混合干渉信号30がノイズレベル以下に減衰する前に、焦点から外れて、粒子信号のより多くの振動が存在することを意味する。従って、信号の減衰の関数としての振動の量から、粒子の位置が決定され得る。最大信号振幅は、焦点外れとして減衰し、レーザビームの最大強度はより低くなる。

【0 0 6 0】

重要な点は、第1の自己混合干渉信号30の振幅、例えば振動周期の量及びその周波数を考慮すると、焦点からの距離を決定することができ、その情報及び第1の自己混合干渉信号30の最大振幅があれば、粒子サイズが決定され得る。代替的に、又は、追加的に、第1の自己混合干渉信号30のゼロ交差、及び、ゼロ交差間の距離が使用され得る。さらに、第1の自己混合干渉信号30の包絡線をモデル化することができ、上記距離は、包絡線の最大及び/又は最小、並びに、包絡線が第1の自己混合干渉信号30のノイズレベルを上回る限り、包絡線の減衰により決定され得る。

40

【0 0 6 1】

図4は、第4のレーザセンサモジュール100の原理図を示している。第4のレーザセンサモジュールは、一体型の第1の検出器120を具備する第1のレーザ110を有する。第4のレーザセンサモジュール100は、電気駆動部130、評価器140、第1の光学装置150、可動ミラー170、及び、可動ミラー170を制御するためのコントロー

50

ラ 160 を更に有する。評価器は、第 1 の検出器 120、電気駆動部 130、及び、コントローラ 160 に接続される。電気駆動部 130 は、第 1 のレーザ光を放射するために、第 1 のレーザ 110 に電力を供給する。電気駆動部 130 は、変調された駆動電流（矩形の駆動電流）を供給する。評価器 140 は、第 1 の自己混合干渉信号 30 により引き起こされる、第 1 の検出器 120 によって供給される電気信号を受信する。評価器 140 は、第 1 の検出器 120 によって測定される第 1 の自己混合干渉信号 30 を解釈するため、電気駆動部 130 及びコントローラ 160 から情報を更に受信する。電気駆動部 130 によって供給される情報は、決定された瞬間において供給される電流振幅を有していてもよい。コントローラ 160 によって供給される情報は、角速度、ミラー運動の振幅などを有していてもよい。評価器 140 は、上述のように、この情報により、第 1 のレーザ 110 と第 1 の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。第 1 のレーザ 110 によって放射された第 1 のレーザ光は、第 1 の光学装置 150 により、可動ミラー 170 のために走査方向 175（例えば、図 5 参照）に沿って移動する第 1 の焦点領域 155 に集束される。粒子は、第 1 の焦点領域 155 の周囲の範囲内で検出され得る。第 1 の焦点領域 155 と粒子との間の距離は、デフォーカスと称される。デフォーカスは、上述のように、第 1 の自己混合干渉信号 30 に影響を及ぼすとともに、第 1 のレーザ 110 と粒子との間の相対距離を決定するため、情報を供給する。この情報は、上述のように、粒子のサイズを決定するために、第 1 の振幅情報と組み合わせて評価器 140 により使用される。

10

#### 【0062】

第 1 の自己混合干渉信号 30 の粒子信号振幅は、集束スポットの開口数（又は、ガウシアンビームのビームウエスト）と可動ミラー 170 のミラー移動との間の相互作用である。最初に、検出される最小粒子サイズが決定されるべきである。これは、フィルタリングが第 1 の自己混合干渉信号 30 内に存在することができる最大雑音電力の限界をもたらす。上述のように、スポットと粒子との相対速度は、信号の周波数帯域幅を決定する。速度が遅い場合、サンプリングされた空気量は少なく、速度が増加するとサンプリングされた体積が増え、従って、検出される粒子が多くなる。また、S N R も大きな速度で減少するが、これは、所望の最小粒子が依然として検出可能である限り、重要ではない。レーザビームの形状もサンプリングされる空気量に影響する。大きなウエストを有するガウシアンビームは、より大きい直径及びレイリー範囲を有し、小さいウエスト（高い開口数）を有するビームよりも多くの断面積をもたらす。大きなウエストは、局所強度が低いほど散乱信号が低いことを意味する。これは、ビームを集束させるために使用されるレンズの開口数と相対速度との間にトレードが存在することを意味する。

20

30

#### 【0063】

空気の移動が制御されていない場合、スポットを変位させるために走査ミラーが使用される。0.1 m/s 乃至 1 m/s の通常の空気速度よりも高い速度を選択することが好ましい。このため、5 m/s 乃至 20 m/s の値を持つことが好適である。その場合、300 nm よりも大きい粒子が検出可能であるべき場合、0.05 乃至 0.2 の間の焦点レンズの開口数の値が最適である。（開口数は、ガウシアンビームの遠視野角の強度値の  $1/e^2$  倍を用いて定義される。）

#### 【0064】

図 5 は、図 4 において説明されたように、可動ミラー 170 により走査方向 175 を横切って移動する第 1 の焦点領域 155 の断面積の原理図を示している。断面は楕円形の焦点を示している。楕円形のスポットに焦点を合わせることによって、デフォーカスに対する感度を楕円の短軸に沿って最大にすることができる。走査方向 175 を楕円の短軸に平行に配置することが好ましい。このスポット形状は、アナモルフィックプリズム対を用いて、又は、シリンダリカルレンズを使用することによって、あるいは、例えば、楕円形モードプロファイルを有する V C S E L を使用することによって、形成され得る。

40

#### 【0065】

図 6 は、第 5 のレーザセンサモジュール 100 の原理図を示している。第 5 のレーザセンサモジュール 100 は、一体型の第 1 の検出器 120 を具備する第 1 のレーザ 110 と

50

、一体型の第2の検出器121を具備する第2のレーザ111と、を有する。第1のレーザ110は、第1の波長を有する第1のレーザ光を放射し、第2のレーザ111は、第2の波長を有する第2のレーザ光を放射する。第2の波長は、第1の波長と異なる。第5のレーザセンサモジュール100は、第1のレーザ110及び第2のレーザ111に駆動電流を供給するように構成される電気駆動部130を有する。第5のレーザセンサモジュール100は、第2のレーザ121を電氣的に駆動するための他の電気駆動部130の代替的な実施形態を有していてもよい。第5のレーザセンサモジュールは、評価器140を更に有する。評価器140は、第1のレーザ110、第2のレーザ111、及び、電気駆動部130に接続される。第5のレーザセンサモジュール100は、第1のレーザ光を第1の焦点領域155に集束させるための第1の光学装置150を更に有する。第5のレーザセンサモジュール100は、第2のレーザ光を第2の焦点領域158に集束させるための第2の光学装置156を更に有する。評価器140は、第1の自己混合干渉信号30により引き起こされる、第1の検出器120によって供給される電気信号を受信するとともに、第2の自己混合干渉信号により引き起こされる、第2の検出器121によって供給される電気信号を受信する。評価器140は、電気駆動部130から情報を更に受信する。評価器140は、この情報により、第1のレーザ110と第1の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。また、評価器140は、この情報により、第2のレーザ111と第2の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。粒子のサイズは、第1の自己混合干渉信号30とは独立したこの情報により決定され得る。評価器140は、粒子運動の理論モデルに基づく、あるいは、例えば、第1及び第2のレーザ光に対して透明な、又は、窓(図示省略)を有する、管内でファンにより誘起され得る粒子運動についての情報に基づく静的分析により、第1の自己混合干渉信号30及び第2の自己混合干渉信号を評価するように更に構成される。

#### 【0066】

図7は、第6のレーザセンサモジュール100の原理図を示している。第6のレーザセンサモジュール100は、一体型の第1の検出器120を具備する第1のレーザ110と、一体型の第2の検出器121を具備する第2のレーザ111と、を有する。第1のレーザ110及び第2のレーザ111は、同一波長を有する第1及び第2のレーザ光を放射する。第6のレーザセンサモジュール100は、第1のレーザ110及び第2のレーザ111に駆動電流を供給するように構成された電気駆動部130を有する。電気駆動部は、第1のレーザ110及び第2のレーザ111に接続される評価器140を有する。第6のレーザセンサモジュール100は、第1の焦点領域155に第1のレーザ光を集束させるための第1の光学装置150を更に有する。第6のレーザセンサモジュール100は、第2の焦点領域158に第2のレーザ光を集束させるための第2の光学装置156を更に有する。第1の焦点領域155は、第1のレーザ110及び第1の光学装置150の光軸に沿って延在し、従って、第1の焦点領域155内で第1のレーザ110に略一定のフィードバックを供給する。第2の焦点領域158は、鋭い焦点を有する。第1の焦点領域155は、第2の焦点領域158と重なっている。評価器140は、第1の自己混合干渉信号30により引き起こされる第1の検出器120によって供給される電気信号を受信するとともに、第2の自己混合干渉信号により引き起こされる第2の検出器121によって供給される電気信号を受信する。評価器140は、電気駆動部130から情報を更に受信する。評価器140は、この情報により、第1のレーザ110と第1の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。評価器140は、さらに、この情報により、第2のレーザ111と第2の振幅情報との間の相対距離を決定することができる。粒子のサイズは、第1の自己混合干渉信号30とは独立したこの情報により決定され得る。第1のレーザ110のライン焦点又は第1の焦点領域155は、第1のレーザ110及び第1の光学装置150の光軸に沿って、略同じ第1の自己混合干渉信号30を与える。第2の自己混合干渉信号から、焦点外れ位置を決定することができ、従って、第1の自己混合干渉信号30が一定の第1の焦点領域155から生じるかどうかは、評価器140によって推測することができる。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 6 7 】

図 8 は、第 1 の自己混合干渉信号 3 0 の第 1 の実施形態を示している。6 0 0 n m の粒子の測定された第 1 の自己混合干渉信号 3 0 が存在している。垂直軸は振幅軸 1 0 を示しており、水平軸は時間軸 2 0 を示している。粒子は焦点から遠ざかり、これは、極めて低振幅の第 1 の自己混合干渉信号 3 0 を生じさせる。これとは対照的に、図 9 に示される第 1 の自己混合干渉信号の振幅は、粒子が第 1 の光学装置の焦点内又はその近傍で測定されたため、高い。図 8 の最大（又は最小）振幅の周りの 0 . 0 2 m s の所定の時間範囲内の振動の数は、図 9 の最大振幅又は最小振幅の周りの同じ時間範囲内の振動の数と比較して高い。さらに、図 8 の第 1 の自己混合干渉信号 3 0 の振幅相対最大値は、図 9 と比較してゆっくりと減衰する。実際には、ノイズは、粒子信号が識別される検出閾値を設定する。粒子のサイズは、主に第 1 の自己混合干渉信号 3 0 の振幅に影響を及ぼし、デフォーカス量は、主にその時間の延びを決定する。信号が正規化されるとき、同じ量の焦点がずれても、任意の位相係数（及び、レーザビームサイズに関して粒子サイズが無視できない場合の補正項）を除いて、同じ信号形状が得られる。振幅を粒子サイズに関連付ける際のあいまい性は、第 1 のレーザ 1 1 0 及び第 1 の光学装置 1 5 0 の光軸に対して垂直（ビームの走査が x 方向である場合の y 方向）な可能性があるため残るが、平均粒径が決定され得る。そのような曖昧さは、異なる散乱角で独立した検出器を使用することによって、あるいは、2 つ、3 つ、又は、それ以上のレーザ 1 1 0 , 1 1 1 を対応する検出器 1 2 0 , 1 2 1 と共に使用することによって低減され得る。

10

## 【 0 0 6 8 】

図 1 0 は、レーザセンサモジュール 1 0 0 を有する移動通信装置 1 9 0 を示している。当該移動通信装置 1 9 0 は、ユーザインタフェース 1 9 1、処理装置 1 9 2、及び、主記憶装置 1 9 3 を有する。主処理装置 1 9 2 は、主記憶装置 1 9 3 に接続されるとともに、レーザセンサモジュール 1 0 0 に接続される。主処理装置 1 9 2 は、上述の評価器 1 4 0 の機能の少なくとも一部を有する。主処理装置 1 9 2 は、粒子検出に関するデータを主記憶装置 1 9 3 に格納する。代替的な実施形態では、データがユーザインタフェース 1 9 1 により移動通信装置 1 9 0 のユーザに提示され得るように、主処理装置 1 9 2 及び主記憶装置 1 9 3 が、レーザセンサモジュール 1 0 0 により供給されるデータを処理又は適合するためのみに使用されることも可能である。レーザセンサモジュール 1 0 0 は、移動通信装置 1 9 0 の電源により給電される。

20

30

## 【 0 0 6 9 】

図 1 1 は、粒子サイズを検出する方法の原理図を示している。ステップ 2 1 0 において、第 1 のレーザ 1 1 0 により第 1 のレーザ光が放射される。ステップ 2 2 0 において、第 1 のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される第 1 の反射レーザ光が、第 1 のレーザ 1 1 0 の第 1 のレーザキャビティにおいて反射される。第 1 のレーザ 1 1 0 の第 1 のレーザキャビティ内の光波の第 1 の自己混合干渉信号 3 0 が、ステップ 2 3 0 において検出される。第 1 の自己混合干渉信号 3 0 は、第 1 のレーザキャビティに再入射する第 1 の反射レーザ光によって引き起こされる。ステップ 2 4 0 において、第 1 の自己混合干渉信号 3 0 により粒子と第 1 のレーザ 1 1 0 との間の第 1 の相対距離を決定するとともに、第 1 の自己混合干渉信号 3 0 により第 1 の振幅情報を決定することによって、粒子のサイズが決定される。

40

## 【 0 0 7 0 】

本発明の基本的な考え方は、自己混合干渉信号の距離及び振幅情報を用いて粒子のサイズを決定することである。特に、自己混合干渉信号の最大又は最小の周囲の規定期間内の自己混合干渉信号の形状が、粒子サイズを決定するために使用され得る情報を提供する。

## 【 0 0 7 1 】

本発明は、図面及び前述の説明において詳細に図示され説明されてきたが、そのような図示及び説明は、例示的であって制限的ではないとみなされるべきである。

## 【 0 0 7 2 】

本開示を読むことで、他の修正例が、当該技術分野における当業者にとって明らかであ

50

ろう。かかる修正例は、当該技術分野において既知であり、ここで説明された特徴の代わりに、又は、当該特徴に追加して使用され得る、他の特徴を含んでいてもよい。

【 0 0 7 3 】

図面、開示、及び、添付の請求項の研究から、開示の実施形態に対する変形が、当該技術分野における当業者によって、理解及び実施され得る。請求項中、「有する」なる用語は、他の要素又はステップを除外せず、単数形は、要素又はステップが複数であることを除外しない。特定的手段が相互に異なる従属項において言及されているという単なる事実、これらの手段の組み合わせが好適に用いられないということを示すものではない。

【 0 0 7 4 】

請求項中の任意の参照符号は、本発明の範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。

10

【符号の説明】

【 0 0 7 5 】

1 0 振幅軸

2 0 時間軸

3 0 第 1 の自己混合干渉信号

4 0 振幅基準

1 0 0 レーザセンサモジュール

1 1 0 第 1 のレーザ

1 1 1 第 2 のレーザ

20

1 2 0 第 1 の検出器

1 2 1 第 2 の検出器

1 3 0 電気駆動部

1 4 0 評価器

1 5 0 第 1 の光学装置

1 5 5 第 1 の焦点領域

1 5 6 第 2 の光学装置

1 5 8 第 2 の焦点領域

1 6 0 コントローラ

1 7 0 可動ミラー

30

1 7 5 走査方向

1 9 0 移動通信装置

1 9 1 ユーザインタフェース

1 9 2 主処理装置

1 9 3 主記憶装置

2 1 0 第 1 のレーザ光を放射するステップ

2 2 0 第 1 の反射レーザ光を受けるステップ

2 3 0 第 1 の自己混合干渉信号を決定するステップ

2 4 0 粒子のサイズを決定するステップ

【要約】

40

本発明は、粒子サイズ検出のためのレーザセンサモジュールを説明している。レーザセンサモジュール 1 0 0 は、少なくとも 1 つの第 1 のレーザ 1 1 0 と、少なくとも 1 つの第 1 の検出器 1 2 0 と、少なくとも 1 つの電気駆動部 1 3 0 と、少なくとも 1 つの評価器 1 4 0 と、を有する。第 1 のレーザ 1 1 0 は、少なくとも 1 つの電気駆動部 1 3 0 によって供給される信号にตอบสนองして第 1 のレーザ光を放射するように構成される。少なくとも 1 つの第 1 の検出器 1 2 0 は、第 1 のレーザ 1 1 0 の第 1 のレーザキャビティ内の光波の第 1 の自己混合干渉信号 3 0 を決定するように構成される。第 1 の自己混合干渉信号 3 0 は、第 1 のレーザ光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される第 1 のレーザキャビティに再入射する第 1 の反射レーザ光によって引き起こされる。評価器 1 4 0 は、第 1 の自己混合干渉信号 3 0 により粒子と第 1 のレーザ 1 1 0 との間の第 1 の相対距離を決定する

50

とともに、第 1 の自己混合干渉信号 3 0 により第 1 の振幅情報を決定することによって、粒子のサイズを決定するように構成される。また、本発明は、粒子サイズを決定するための対応する方法にも関する。

【 図 1 】

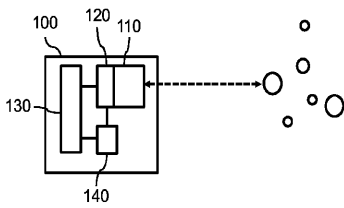


Fig. 1

【 図 3 】

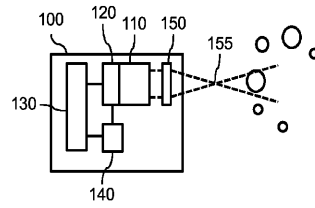


Fig. 3

【 図 2 】

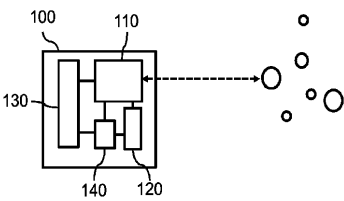


Fig. 2

【 図 4 】

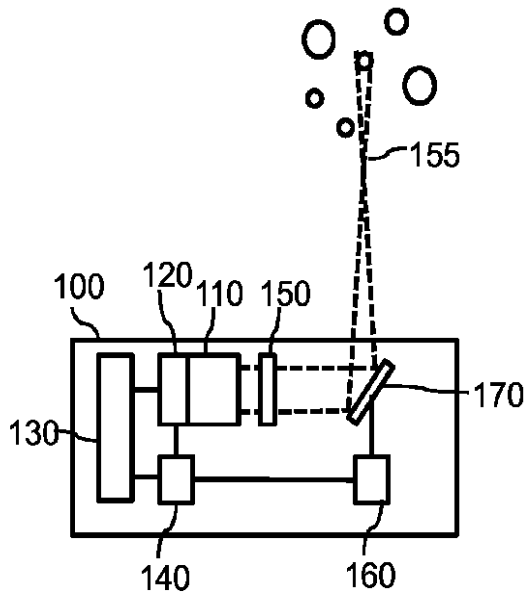


Fig. 4

【 図 5 】

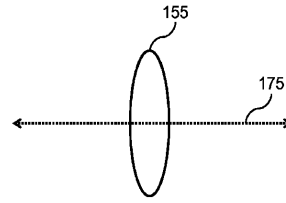


Fig. 5

【 図 6 】

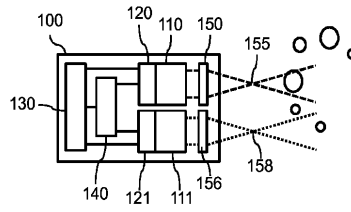


Fig. 6

【 図 7 】

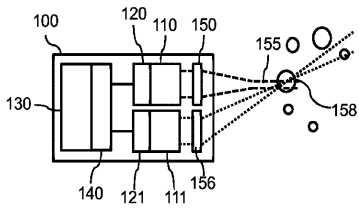


Fig. 7

【 図 9 】

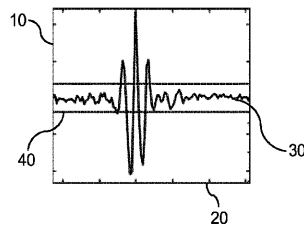


Fig. 9

【 図 8 】

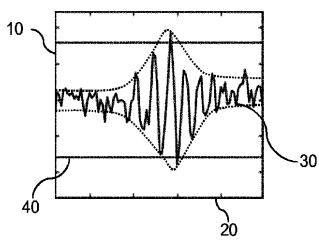


Fig. 8

【 10 】

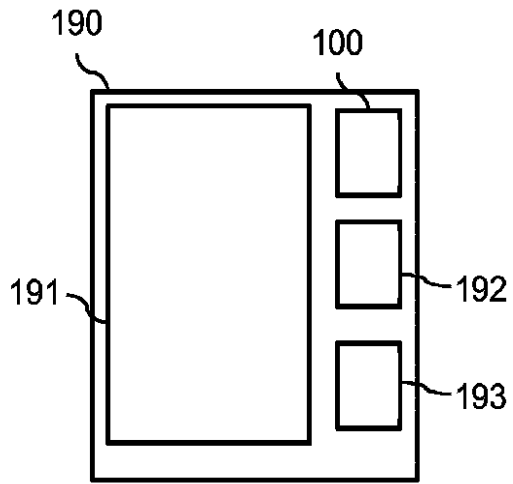


Fig. 10

【 11 】

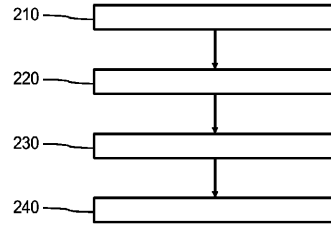


Fig. 11

## フロントページの続き

(74)代理人 100171701

弁理士 浅村 敬一

(72)発明者 ファン デル リー アレクサンダー マーク

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

(72)発明者 ヘルミグ ホアキム ウィルヘルム

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

(72)発明者 スプライト ヨハネス ヘンドリクス マリア

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

審査官 渡 辺 純也

(56)参考文献 特開2014-81330(JP, A)

中国特許出願公開第104458514(CN, A)

米国特許出願公開第2009/0323061(US, A1)

国際公開第2017/162677(WO, A1)

Seiichi Sudo et al, Quick and easy measurement of particle size of Brownian particles and plankton in water using a self-mixing laser, OPTICS EXPRESS, 米国, Optical Society of America, 2006年 2月 6日, Vol. 14, No. 3, p1044 - 1054

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 15/00 ~ 15/14

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

Scopus