

(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2019-516074

(P2019-516074A)

(43) 公表日 令和1年6月13日(2019.6.13)

(51) Int.Cl.
G01N 15/02 (2006.01)

F I
G O I N 15/02 A

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2018-549268 (P2018-549268)
 (86) (22) 出願日 平成29年3月21日 (2017. 3. 21)
 (85) 翻訳文提出日 平成30年9月18日 (2018. 9. 18)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2017/056702
 (87) 国際公開番号 W02017/162677
 (87) 国際公開日 平成29年9月28日 (2017. 9. 28)
 (31) 優先権主張番号 16161414.4
 (32) 優先日 平成28年3月21日 (2016. 3. 21)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 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
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超微粒子サイズ検出のためのレーザー・センサー

(57) 【要約】

本発明は、粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出するためのレーザー・センサー・モジュールを記述する。レーザー・センサー・モジュールは：
 ・少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される信号に反応して少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つのレーザーと；
 ・前記少なくとも一つのレーザーのレーザー空洞内の光波の自己混合干渉信号を決定するよう適応されている少なくとも一つの検出器であって、前記自己混合干渉信号は前記レーザー空洞に再入する反射されたレーザー光によって引き起こされ、前記反射されたレーザー光は、前記レーザー光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される、検出器とを有しており、
 ・当該レーザー・センサー・モジュールは、少なくとも一つの自己混合干渉測定を実行するよう構成され、
 ・当該レーザー・センサー・モジュールは、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果によって、第一の感度で第一の粒子サイズ分布関数を決定

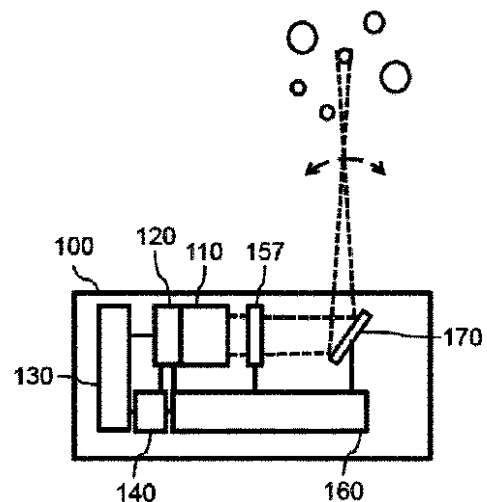


Fig. 11

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出するためのレーザー・センサー・モジュールであって、当該レーザー・センサー・モジュールは：

- ・少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される信号に反応して少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出するよう適応されている少なくとも一つのレーザーと；

- ・前記少なくとも一つのレーザーのレーザー空洞内の光波の自己混合干渉信号を決定するよう適応されている少なくとも一つの検出器であって、前記自己混合干渉信号は前記レーザー空洞に再入する反射されたレーザー光によって引き起こされ、前記反射されたレーザー光は、前記レーザー光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される、検出器とを有しており、

- ・当該レーザー・センサー・モジュールは、少なくとも一つの自己混合干渉測定を実行するよう構成され、

- ・当該レーザー・センサー・モジュールは、第一の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されており、前記第一の粒子サイズ分布関数は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果による粒子サイズ検出に関する第一の感度によって特徴付けられ、当該レーザー・センサー・モジュールは、第二の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されており、前記第二の粒子サイズ分布関数は、粒子サイズ検出に関する第二の感度によって特徴付けられ、前記第二の感度は前記第一の感度とは異なり、

- ・前記少なくとも一つの評価器は、前記第二の粒子サイズ分布関数に校正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定するよう適応されており、前記校正因子 q は、前記粒子測度が決定されることができるよう、より大きな粒子の効果が打ち消されるように決定される、レーザー・センサー・モジュール。

【請求項 2】

当該レーザー・センサー・モジュールが、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記少なくとも一つの測定結果によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されている、請求項 1 記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項 3】

- ・前記少なくとも一つの評価器は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果に第一の閾値を適用するよう適応され、前記少なくとも一つの評価器は、前記測定結果および前記第一の閾値によって前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応され、

- ・前記少なくとも一つの評価器は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記測定結果に第二の閾値を適用するようさらに適応され、前記第二の閾値は前記第一の閾値とは異なり、前記少なくとも一つの評価器は、前記測定結果および前記第二の閾値によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されている、請求項 2 記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項 4】

- ・当該レーザー・センサー・モジュールは前記第一の感度で第一の自己混合干渉測定を実行するよう構成されており、

- ・当該レーザー・センサー・モジュールは前記第二の感度で第二の自己混合干渉測定を実行するようさらに構成されており、

- ・前記少なくとも一つの評価器は、前記第一の自己混合干渉測定に基づいて決定された第一の測定結果によって前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応され、前記少なくとも一つの評価器はさらに、前記第二の自己混合干渉測定に基づいて決定された第二の測定結果によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されている、請求項 2 記載のレーザー・センサー・モジュール。

10

20

30

40

50

【請求項 5】

当該レーザー・センサー・モジュールは、前記レーザー光を合焦するための光学デバイスを有しており、該光学デバイスは、少なくとも0.06、より好ましくは少なくとも0.2、最も好ましくは少なくとも0.3の開口数によって特徴付けられる、請求項 1 ないし 4 のうちいずれか一項記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項 6】

前記粒子センサー・モジュール(100)は、レーザー光の焦点領域を動かすよう構成されている光方向修正デバイスを有しており、前記粒子センサー・モジュールはさらに、前記第一の自己混合干渉測定の間は第一の速度で、前記第二の自己混合干渉測定の間は前記第一の速度とは異なる第二の速度で、焦点領域の動きを制御するよう適応されている少なくとも一つのコントローラを有する、請求項 4 記載の粒子センサー・モジュール。

10

【請求項 7】

前記粒子センサー・モジュールは、粒子流の速度を制御するよう構成されている少なくとも一つの粒子流制御デバイスを有しており、前記粒子センサー・モジュールはさらに、前記第一の自己混合干渉測定の間は第一の粒子流速度で、前記第二の自己混合干渉測定の間は前記第一の粒子流速度とは異なる第二の粒子流速度で、粒子流制御デバイスによって粒子流の速度を制御するよう適応されている少なくとも一つの流れコントローラを有する、請求項 4 記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項 8】

当該レーザー・センサー・モジュールは：

- ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第一の信号に反応して第一の焦点領域に第一のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第一のレーザーと；

20

- ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第二の信号に反応して第二の焦点領域に第二のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第二のレーザーと；

- ・前記第一および第二の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの検出器と；

- ・少なくとも一つの光学デバイスとを有しており、前記第一のレーザー光および前記第二のレーザー光は前記少なくとも一つの光学デバイスを通じて放出され、前記第一の焦点領域における前記第一のレーザー光の収差レベルは、前記第二の焦点領域における前記第二のレーザー光の収差レベルとは異なる、

30

請求項 4 記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項 9】

当該レーザー・センサー・モジュールは：

- ・少なくとも一つの第一のレーザーであって、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第一の信号に反応して第一の焦点領域に第一のレーザー光を放出するよう適応された第一のレーザーと；

- ・前記第一の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの第一の検出器と；

40

- ・少なくとも一つの第二のレーザーであって、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第二の信号に反応して第二の焦点領域に第二のレーザー光を放出するよう適応された第二のレーザーと；

- ・前記第二の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの第二の検出器とを有する、

請求項 4 記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項 10】

前記第一のレーザーは、第一の開口数をもつ第一の光学デバイスに光学的に結合され、前記第二のレーザーは、前記第一の開口数とは異なる第二の開口数をもつ第二の光学デバイスに光学的に結合されている、請求項 9 記載の粒子センサー・モジュール。

50

【請求項 1 1】

前記粒子センサー・モジュールは、前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されている粒子検出ユニットを有する、請求項 1 記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項 1 2】

請求項 1 ないし 1 1 のうちいずれか一項記載の粒子センサー・モジュールを有する空気清浄機、センサー・ボックスまたはウェアラブル・デバイス。

【請求項 1 3】

粒子サイズ 300nm 以下、より好ましくは 200nm 以下、最も好ましくは 100nm 以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出する方法であって、当該方法は：

- ・少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出する段階と；
- ・少なくとも一つの自己混合干渉信号を決定する段階とを含み、

当該方法は：

- ・第一の粒子サイズ分布関数を決定する段階であって、前記第一の粒子サイズ分布関数は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果による第一の感度によって特徴付けられる、段階と；

- ・第二の粒子サイズ分布関数を決定する段階であって、前記第二の粒子サイズ分布関数は第二の感度によって特徴付けられ、前記第二の感度は前記第一の感度とは異なる、段階と；

- ・前記第二の粒子サイズ分布関数に較正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm 以下の粒子サイズの粒子測度を決定する段階と

を特徴としており、
前記較正因子 q は、前記粒子測度が決定されることができるよう、より大きな粒子の効果が打ち消されるように決定される、
方法。

【請求項 1 4】

当該方法が：

- ・前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するために、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果に第一の閾値を適用する段階と；

- ・前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するために、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記測定結果に第二の閾値を適用する段階
- という追加的段階を含む、請求項 1 3 記載の方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 ないし 1 1 のうちいずれか一項記載の粒子センサー・モジュールに含まれる少なくとも一つのメモリ・デバイスに、あるいは前記粒子センサー・モジュールを有するデバイスの少なくとも一つのメモリ・デバイスに保存されることができコード手段を有するコンピュータ・プログラムであって、前記コード手段は、前記粒子センサー・モジュールに含まれる少なくとも一つの処理装置によって、あるいは前記粒子センサー・モジュールを有するデバイスの少なくとも一つの処理装置によって請求項 1 3 または 1 4 記載の方法が実行されることができるよう、構成されている、コンピュータ・プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超微粒子サイズ検出のためのレーザー・センサーまたはレーザー・センサー・モジュールに関する。本発明はさらに、対応するコンピュータ・プログラム・プロダクトに関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、光学的な技術は超微粒子 (ultrafine particle) (300nm 以下のオーダーの粒径) を検出することができないと考えられている。粒子の有効反射は粒径とともに大幅に減少する。これはサイズが小さくなるためばかりでなく、さらにミー散乱によって与えら

10

20

30

40

50

れる後方散乱効率 (D が粒子の直径であるとして、0.1から1ミクロンの間の直径については $\sim D^2$ 、 <0.1 ミクロンの直径については $\sim D^4$)の低下にも起因する。

【0003】

非特許文献1は、懸濁質における小さな粒子のサイズを迅速かつ簡単に測定するための方法を記載している。この方法は、きわめて高い光学感度をもつ、レーザー・ダイオードでポンピングされる薄片 $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$ レーザーによる自己混合レーザー・ドップラー測定を使う。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第02/37410号

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】SUDOL S ET AL, "Quick and easy measurement of particle size of Brownian particles and planktons in water using a self-mixing laser", OPTICS EXPRESS, val.14, no.3, 6 February 2006 (2006-02-06), p .1044-1054, XP002753399, DOI:10.1364/OE.14.001 044

【非特許文献2】Giuliani, G.; Norgia, M.; Donati, S. & Bosch, T., "Laser diode self-mixing technique for sensing applications", Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 2002, 4, S.283-S.294

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

超微粒子サイズ検出のための簡単かつ安価なレーザー・センサー・モジュールを提供することが本発明の目的である。本発明は、独立請求項によって定義される。従属請求項は、有利な実施形態を定義する。

【0007】

第一の側面によれば、粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出するためのレーザー・センサー・モジュールが提供される。レーザー・センサー・モジュールは：

・少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される信号に反応して少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つのレーザーと；

・前記少なくとも一つのレーザーのレーザー空洞内の光波の自己混合干渉信号を決定するよう適応されている少なくとも一つの検出器であって、前記自己混合干渉信号は前記レーザー空洞に再入する反射されたレーザー光によって引き起こされ、前記反射されたレーザー光は、前記レーザー光の少なくとも一部を受け取る粒子によって反射される、検出器を有しており、

・当該レーザー・センサー・モジュールは、少なくとも一つの自己混合干渉測定を実行するよう構成され、

・当該レーザー・センサー・モジュールは、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果によって、第一の感度で第一の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されており、当該レーザー・センサー・モジュールは、前記第一の感度とは異なる第二の感度で第二の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されており、

・前記少なくとも一つの評価器は、前記第二の粒子サイズ分布関数に較正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定するよう適応されている。

【0008】

第二の感度は、定義された閾値粒子サイズより小さな粒子が検出されないよう選ばれてもよい。第一の感度は、前記定義された閾値粒子サイズより小さな粒子が検出されるよう

10

20

30

40

50

選ばれてもよい。第一および第二の粒子サイズ分布関数は本質的には、前記定義された閾値粒子サイズより上では同一の形状をもつ。前記信号の大きさは感度とともにスケールする。よって、前記第二の粒子サイズ分布関数に1より大きな一定の較正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、前記定義された閾値より小さな粒子サイズの粒子測度を決定することが可能である。前記より小さな粒子の信号を隠蔽しうる前記より大きな粒子によって引き起こされる効果は、較正因子 q を考慮に入れる前記減算によって消去されうる。第一の感度が第二の感度より低く、つまり第一の粒子サイズ分布関数が前記定義された閾値より小さな粒子に関係するいかなる信号も示さない場合に、同じ手順が使われてもよい。構成因子 q はこの場合は1より小さい。選ばれる閾値粒子サイズは300nm、200nm、100nmまたはさらには50nmであってもよい。構成因子 q は、前記より大きな粒子の効果が最適に打ち消されるように決定される。現在のモデル計算結果は、較正因子 q の値は粒子サイズ分布とは独立であることを示している。あるサイズからの検出された粒子の比は、粒子分布によってではなく、前記二つの測定条件によって与えられるように思われる。いずれにせよ、粒子分布が、異なる範囲の粒子サイズについて異なる q 値を要求するとしても、この測定においてこれについて補正する方法もある。 $a - qb$ によって通常どおりに超微粒子（前記定義された閾値より小さな粒子）の数を導出する。ここで a は第一の粒子サイズ分布を表わし、 b は第二の粒子サイズ分布関数を表わす。その後の段階において比 $(a - qb)/a$ が導出されることができ、この比は、前記小さな粒子の相対的な寄与についての測度となる。最後に、必要であれば前記粒子分布について q が補正されることができ、

10

20

【0009】

前記少なくとも一つのレーザーは、たとえば、側面発光レーザーまたは垂直共振器型面発光レーザー（VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser）のような半導体レーザーであってもよい。検出器は、自己混合干渉信号を決定するために前記少なくとも一つのレーザーのレーザー空洞内の光波の変動を判別するよう構成されたいかなるセンサー構成であってもよい。自己混合干渉信号は、前記少なくとも一つのレーザーの動作中に、レーザーによって放出されたレーザー光が粒子によって反射され、レーザー空洞に再入することによって生成される。検出器はたとえば、VCSEL内に統合されていてもよいフォトダイオードであってもよく、あるいはレーザー空洞にわたる電気抵抗を決定するよう構成された測定回路であってもよい。前記少なくとも一つのレーザーは、単一のレーザーまたはVCSELアレイのような、二つ、三つ、四つまたはそれ以上のレーザーが一つの光半導体チップ上に統合されたレーザー・アレイであってもよい。

30

【0010】

粒子測度（particle measure）とは、粒子の絶対数、基準体積に対する粒子密度、基準体積に対する質量濃度、粒子分布もしくは密度の任意の種類グラフィック呈示または関係した音響信号を指しうる。

【0011】

粒子は流体によって担持されうる。流体はたとえば水のような液体または空気のような気体でありうる。

【0012】

一つの自己混合干渉測定が、第一および第二の粒子サイズ分布関数を決定するために十分であることがありうる。レーザー・センサー・モジュールはこの場合、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記少なくとも一つの測定結果によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されていてもよい。

40

【0013】

前記少なくとも一つの評価器は、この場合、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果に第一の閾値を適用するよう適応されていてもよい。前記少なくとも一つの評価器は、この場合、前記測定結果および前記第一の閾値によって前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されてもよい。前記少なくとも一つの評価器は、この場合、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記

50

測定結果に第二の閾値を適用するようさらに適応されてもよく、前記第二の閾値は前記第一の閾値とは異なる。前記少なくとも一つの評価器は、この場合、前記測定結果および前記第二の閾値によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されてもよい。前記第二の閾値はたとえば前記第一の閾値より高くてもよく、前記第二の粒子サイズ分布関数は、上記で論じたように、あらかじめ決定された粒子閾値サイズにおいて、より小さい粒子に関係するいかなる信号も示さない。この場合、上記で論じたように、校正因子 q は1より大きい。検出閾値はたとえば、ある信号レベルに設定されるアナログ検出閾値レベルとして設定されることができる。このレベルより上の測定信号が粒子として検出される。レベルは、1より大きな q の場合、第二の粒子分布関数を得るために増加させられてもよい。あるいはまた、高速フーリエ変換（FFT）後、閾値は、それぞれの粒子サイズの粒子に対応するある周波数のところの信号強度に基づいて設定されることができる。ここでもまた、この閾値は、二つの粒子サイズ分布関数を得るよう変えられることができる。ひとたび検出されたら信号対雑音比（SNR）が代替的または追加的に設定されてもよい。SNR検出閾値は二つの異なる値に設定されてもよい。これは、アナログまたはデジタル領域でなされることができる。一つの変形は、SNRを決定し、要求されるSNRレベルを設定することでありうる。もう一つのオプションは、同じSNR閾値レベルを使うが、異なるノイズ帯域幅を使うことである。いずれのオプションも、アナログまたはデジタル領域で実行されることができる。時間領域で見ることとは別に、（短い時間期間の）周波数領域で見て、ここで閾値を異なる振幅レベルに設定するまたはFFTの異なる分解能帯域幅を使うこともできる。

10

20

【0014】

前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果は、このように、一つの測定結果から第一および第二の粒子サイズ分布関数を生成するために、データ処理の各段階において操作されてもよい。前記一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果は、前記あらかじめ決定された粒子サイズ閾値より下の粒子サイズをもつ粒子が第一または第二の粒子サイズ分布関数のいずれかに寄与しないような仕方で操作またはフィルタリングされてもよい。

【0015】

レーザー・センサー・モジュールは、代替的な手法では、第一の感度をもって第一の自己混合干渉測定を実行するよう構成されてもよい。レーザー・センサー・モジュールはこの場合、第二の感度をもって第二の自己混合干渉測定を実行するようさらに構成されてもよい。前記少なくとも一つの評価器は、第一の自己混合干渉測定に基づいて決定された第一の測定結果によって第一の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応され、前記少なくとも一つの評価器はさらに、第二の自己混合干渉測定に基づいて決定された第二の測定結果によって第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されてもよい。第一の自己混合干渉測定は、第二の自己混合干渉測定とは異なる測定パラメータ（異なる感度）によって実行されてもよく、それにより、第一または第二の粒子サイズ分布関数は、前記あらかじめ決定された検出閾値より小さな粒子に関係したいかなる測定信号も示さない。あるいはまた、第一または第二の自己混合干渉測定に基づく測定結果は上記のように操作またはフィルタリングされてもよい。

30

40

【0016】

レーザー・センサー・モジュールは、レーザー光を合焦するための光学デバイスを有していてもよい。該光学デバイスは、少なくとも0.06、より好ましくは少なくとも0.2、最も好ましくは少なくとも0.3の開口数によって特徴付けられる。該光学デバイスは、一つまたは複数のレンズのような一つまたは複数の光学素子を有していてもよい。

【0017】

実験によれば、小さな特に超微粒子に関して感度を高めるために開口数が使用できることが示されている。0.06の開口数は300nmより小さい粒子の検出を可能にしうる。0.2の開口数は200nmより小さい粒子の検出を可能にしうる。0.3以上の開口数は100nmより小さい粒子の検出を可能にしうる。光学デバイスの開口数が大きいほど、検出される粒子は小さ

50

くてもよい。よって、上記または下記の実施形態の一つにおいて記載されるレーザー・センサー・モジュールの光学システムまたはデバイスが大きな開口数をもつことが有益でありうる。

【0018】

粒子センサー・モジュールはさらに、レーザー光の焦点領域を動かすよう構成されている光方向修正デバイスを有していてもよい。粒子センサー・モジュールはさらに、第一の自己混合干渉測定の間は第一の速度で、第二の自己混合干渉測定の間は第一の速度とは異なる第二の速度で、焦点領域の動きを制御するよう適応されている少なくとも一つのコントローラを有していてもよい。自己混合干渉信号の信号強度は粒子のサイズおよびそれぞれの粒子がレーザー光によって照射される時間に依存する。焦点領域の動きが速いほど、信号強度は低くなる。つまり、たとえば100nmのサイズをもつ粒子は焦点領域の動きの速度があらかじめ定義された閾値より上であれば検出できないということになる。測定信号はこの場合、ノイズから区別できない。したがって、第二の速度が第一の速度より速ければ、第二の感度のほうが低くなる。この場合、較正因子 q は1より大きい。第二の速度のほうが第一の速度より遅い場合には、較正因子 q は1より小さい。光方向修正デバイスは、焦点領域を動かすことによって検出体積を増大させるのに好適ないかなる光学デバイスであってもよい。動きは連続的または不連続的な動き（段階的）でありうる。光方向修正デバイスは、たとえば、MEMSミラー、ガルバニック・ミラー（galvanic mirror）のような可動鏡であってもよい。コントローラは、焦点領域を動かすために光方向修正デバイスを制御するために使用できるいかなる種類のプロセッサ、マイクロプロセッサまたはASICであつてもよい。コントローラは、電気ドライバーと組み合わされてもよい。

10

20

【0019】

光方向修正デバイスをもつ粒子センサー・モジュールはまた、上記のように粒子測度を決定するために、一つの自己混合干渉測定だけを実行するために使われてもよい。焦点領域の動きは、定義された粒子流をシミュレートするために使われてもよい。

【0020】

粒子センサー・モジュールは代替的に、粒子流の速度を制御するよう構成されている少なくとも一つの粒子流制御デバイスを有していてもよい。粒子センサー・モジュールはさらに、第一の自己混合干渉測定の間は第一の粒子流速度で、第二の自己混合干渉測定の間は第一の粒子流速度とは異なる第二の粒子流速度で、粒子流制御デバイスによって粒子流の速度を制御するよう適応されている少なくとも一つの流れコントローラを有する。

30

【0021】

粒子流制御デバイスはたとえば、粒子流の定義された速度を提供するよう構成されているファンまたはヒーターであってもよい。粒子は流体によって運ばれてもよい。粒子流の速度は、流体の速度によって決定されてもよい。流れコントローラは、粒子流制御デバイスを制御するために使用できるいかなる種類のプロセッサ、マイクロプロセッサまたはASICであってもよい。粒子コントローラは、電気ドライバーと組み合わされてもよい。流れコントローラは、二つ、三つ、四つまたはそれ以上の離散的なステップで、または連続的な仕方で、粒子流制御デバイスによって粒子流の速度を制御するよう構成されてもよい。粒子流の異なる速度は、上記で論じたように粒子センサー・モジュールの感度を制御するために使われてもよい。さらに、粒子流のより高い速度は、あらかじめ定義された時間期間に検出される粒子の数を増す。較正因子 q は、検出される粒子数の増大とともに減少する（ $q > 1$ の場合）。よって、粒子流の速度（あるいはまた、上記で論じたように方向修正デバイスによる焦点領域の動きの速度）が、 q 因子の影響を減らすことによって粒子センサー・モジュールの堅牢さを増すために使われてもよい。全体的な感度は、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定するために、評価器のSNR、放出されるレーザー光のパワー、検出器の感度、前記光学デバイスの開口数などによって適応されてもよい。

40

【0022】

前記少なくとも一つの電気ドライバーは、追加的または代替的实施形態において、第一の自己混合干渉測定の間は第一のレーザー・パワーで、第二の自己混合干渉測定の間は第

50

一のレーザー・パワーとは異なる第二のレーザー・パワーで、前記少なくとも一つのレーザーを駆動するよう適応されてもよい。レーザー・センサー・モジュールの感度はさらに、前記少なくとも一つのレーザーによって放出される光パワーによって適応されることができる。第二のレーザー・パワーが第一のレーザー・パワーより小さい場合には、第二の自己混合干渉測定のほうが感度が低い。較正因子 q はこの場合、1より大きい。第二のレーザー・パワーが第一のレーザー・パワーより大きい場合には、較正因子 q は1より小さい。この技術的施策は、上記および下記のそれぞれの他の技術的施策と組み合わせることができる。

【0023】

粒子センサー・モジュールは、代替的または追加的に、少なくとも一つの切り換え可能な光減衰器を有する。前記少なくとも一つの切り換え可能な光減衰器は、第一の自己混合干渉測定の間前記レーザー光または反射されたレーザー光に対する第一の光減衰を提供し、第二の自己混合干渉測定の間前記レーザー光または反射されたレーザー光に対する第二の光減衰を提供するよう適応されてもよく、第二の光減衰は第一の光減衰とは異なる。第二の光減衰が第一の光減衰より高い場合には、より低いレーザー・パワーの場合と同様に、第二の自己混合干渉測定のほうが感度が低い。構成因子 q はこの場合、1より大きい。較正因子 q は、第二の光減衰が第一の光減衰より小さい場合には、1より小さい。切り換え可能な光減衰器は、前記少なくとも一つのレーザーによって放出されるレーザー光を、不連続的な仕方（たとえば二つの異なる減衰レベル）または連続的な仕方減衰させるよう構成されてもよい。切り換え可能な光減衰器は、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって、または対応するプロセッサ、マイクロプロセッサまたはASICを有する別個の減衰コントローラによって、制御されうる。

【0024】

粒子センサー・モジュールは代替的または追加的に、少なくとも一つの切り換え可能な光学デバイスも有していてもよい。前記少なくとも一つの切り換え可能な光学デバイスは、第一の自己混合干渉測定の間第一の開口数を提供し、第二の自己混合干渉測定の間第二の開口数を提供するよう適応されてもよく、第二の開口数は第一の開口数とは異なる。この場合、第二の開口数が第一の開口数より小さければ、第二の自己混合干渉測定のほうが感度は低い。較正因子 q はこの場合、1より大きい。第二の開口数が第一の開口数より大きければ、較正因子 q は1より小さい。切り換え可能な光学デバイスは、不連続的な仕方（たとえば二つの異なる開口数）または連続的な仕方開口数を変えるよう構成されてもよい。切り換え可能な光学デバイスは、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって、または対応するプロセッサ、マイクロプロセッサまたはASICを有する別個の開口数コントローラによって、制御されうる。切り換え可能な光学デバイスはたとえば、虹彩絞りのような切り換え可能な開口であってもよい。

【0025】

前記少なくとも一つの検出器は、第一の自己混合干渉測定の間第一の検出閾値を、第二の自己混合干渉測定の間第二の検出閾値を提供するよう適応されてもよく、第二の検出閾値は第一の検出閾値とは異なる。この場合、第二の検出閾値が第一の検出閾値より大きければ、第二の自己混合干渉測定のほうが感度は低い。較正因子 q はこの場合、1より大きい。第二の検出閾値が第一の検出閾値より小さければ、較正因子 q は1より小さい。検出器は、不連続的な仕方または連続的な仕方検出閾値を変えるよう構成されてもよい。検出器は、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって、または対応するプロセッサ、マイクロプロセッサまたはASICを有する別個の検出器コントローラによって、制御されうる。検出閾値はたとえば、二つの異なる検出原理を使うことによって変更されてもよい。検出器は、この場合、たとえば、レーザー空洞（単数または複数）内の光波の変動を測定するフォトダイオードと、加えて、レーザー空洞（単数または複数）にまたがる抵抗を測定するよう適応された検出回路とを有していてもよい。

【0026】

粒子センサー・モジュールは、ある代替的な実施形態では：

10

20

30

40

50

- ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第一の信号に反応して第一の焦点領域に第一のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第一のレーザーと；
- ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第二の信号に反応して第二の焦点領域に第二のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第二のレーザーと；
- ・前記第一および第二の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの検出器と；
- ・少なくとも一つの光学デバイスとを有しており、前記第一のレーザー光および前記第二のレーザー光は前記少なくとも一つの光学デバイスを通じて放出され、前記第一の焦点領域における前記第一のレーザー光の収差レベルは、前記第二の焦点領域における前記第二のレーザー光の収差レベルとは異なる。

10

20

30

40

50

【0027】

前記第一のレーザー光および前記第二のレーザー光は、一つの光学デバイスを通じて放出されうる。ここで、前記第一のレーザー光は前記光学デバイスの光軸上で放出され、前記第二のレーザー光は前記光学デバイスの光軸とは平行に（たとえば40 μm 軸から外れて）放出される。第一の焦点領域における第一のレーザー光の収差レベルは0に近くてもよく、超微粒子の検出に関する最高の感度が可能にされる。軸から外れて放出される第二のレーザー光の収差レベルは異なり、それにより、超微粒子の検出に関する感度が減少する。この構成は、1に近い構成因子 q を可能にしうる。最適でない較正因子 q によって引き起こされる系統誤差の確率が低下しうる。第一のレーザー光を軸上で放出することは必須ではない。前記少なくとも一つの光学デバイスの構成に依存して、第一および第二のレーザー光が両方とも軸から外れて放出されてもよい。あるいはまた、異なる収差レベルをもつ焦点領域を提供するために、第一および第二のレーザー光がある角度をなすことも可能でありうる。第一および第二のレーザーによって放出されるレーザー・ビームそれぞれについて一つで、二つの光学デバイスがあってもよい。それぞれのレーザーについて一つの共通の検出器（たとえばフォトダイオード）があってもよく、あるいは二つの別個の検出器（たとえばフォトダイオード）があってもよい。

【0028】

- レーザー・センサー・モジュールは、ある代替的实施形態では：
- ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第一の信号に反応して第一の焦点領域に第一のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第一のレーザーと；
 - ・前記第一の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの第一の検出器と；
 - ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第二の信号に反応して第二の焦点領域に第二のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第二のレーザーと；
 - ・前記第二の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの第二の検出器とを有していてもよい。

【0029】

前記第一のレーザーノ検出器構成および前記第二のレーザーノ検出器構成の、小さな特に超微粒子に関する感度は、上記のように、ただし静的なデバイスまたは素子を用いて、適応されることができる。レーザー・パワー、光減衰、開口数、検出器の感度、測定信号に適用される閾値などは、異なるが固定でありうる（たとえば二つの異なるレベル）。両方のレーザーのための一つの電気ドライバーまたは二つの独立な電気ドライバーがあってもよい。任意的に、各レーザーは、異なる速度をもってそれぞれの焦点領域を動かすために、切り換え可能な鏡と組み合わせられてもよい。較正因子 q は、あらかじめ定義された粒子サイズ閾値より上の粒子サイズをもつ粒子に関係した信号を本質的に消去するために、較正手順によって決定される。第一のレーザーはたとえば、第一の開口数をもつ第一の光

学デバイスに光学的に結合されてもよい。第二のレーザーはたとえば、第一の開口数とは異なる第二の開口数をもつ第二の光学デバイスに光学的に結合されてもよい。較正因子 q は、上記のように第一の開口数と第二の開口数との間の関係に依存して、1より大きいまたは1より小さいのどちらかでありうる。前記少なくとも一つの第一のレーザーおよび前記少なくとも一つの第二のレーザーは、単一のレーザーまたは二つ、三つ、四つまたはそれ以上のレーザーを有するレーザー・アレイでありうる。

【0030】

粒子センサー・モジュールは、自己混合干渉信号を決定するための自己混合レーザー・センサーに加えて、粒子検出ユニットを有していてもよい。粒子検出ユニットは、第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されてもよい。粒子検出ユニットは、光源（たとえばLED）および光検出器によって、第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう構成されてもよい。光検出器は、光源によって放出され、粒子によって散乱された光を、あるいはまた光源と光検出器との間の検出体積を通過する粒子によって引き起こされうる光源によって放出された光の強度の低下を決定するよう構成されてもよい。粒子検出ユニットは、小さな、特に超微粒子に関してそれほど敏感でなくてもよい。よって、較正因子 q は通例1より大きい。

10

【0031】

空気清浄機、センサー・ボックスまたはウェアラブル・デバイスが、上記の任意の実施形態に基づく粒子センサー・モジュールを有していてもよい。センサー・ボックスは、上記のような粒子センサーであってもよく、あるいはいくつかの互いに異なるセンサー・モジュールもしくはセンサーを有するデバイスであってもよい。ウェアラブル・デバイスはたとえば、スマートフォンのようなモバイル通信装置であってもよい。

20

【0032】

第二の側面によれば、粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出するための方法が提供される。本方法は：

- ・少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出する段階と；
- ・少なくとも一つの自己混合干渉信号を決定する段階と；
- ・前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果によって、第一の感度で第一の粒子サイズ分布関数を決定する段階と；
- ・前記第一の感度とは異なる第二の感度で第二の粒子サイズ分布関数を決定する段階と；
- ・前記第二の粒子サイズ分布関数に較正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定する段階とを含む。

30

【0033】

方法段階は必ずしも上記の序列で実行されるのではない。

【0034】

本方法は：

- ・前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するために、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果に第一の閾値を適用する段階と；
- ・前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するために、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記測定結果に第二の閾値を適用する段階であって、前記第二の閾値は前記第一の閾値とは異なる、段階という追加的段階を含んでいてもよい。

40

【0035】

第三の側面によれば、コンピュータ・プログラム・プロダクトが呈示される。コンピュータ・プログラム・プロダクトは、請求項1ないし11のうちいずれか一項記載のレーザー・センサー・モジュールの少なくとも一つのメモリ・デバイスに、あるいは前記レーザー・センサー・モジュールを有するデバイスの少なくとも一つのメモリ・デバイスに保存されることができるコード手段を有する。コード手段は、請求項13または14記載の方

50

法が、請求項 1 ないし 1 1 のうちいずれか一項記載のレーザー・センサー・モジュールの少なくとも一つの処理装置によって、あるいは前記レーザー・センサー・モジュールを有するデバイスの少なくとも一つの処理装置によって実行されることができるよう、構成される。

【0036】

前記メモリ・デバイスまたは前記処理装置は、前記レーザー・センサー・モジュール（たとえば電気ドライバー、評価器など）または前記レーザー・センサー・モジュールを有するデバイスに含まれていてもよい。前記レーザー・センサー・モジュールを有するデバイスの第一のメモリ・デバイスおよび/または第一の処理装置は、前記レーザー・センサー・モジュールに含まれる第二のメモリ・デバイスおよび/または第二の処理装置と相互作用してもよい。

10

【0037】

メモリ・デバイス（単数または複数）は、情報、特にデジタル情報を記憶するよう構成されたいかなる物理的なデバイスであってもよい。メモリ・デバイスは特に、半導体メモリまたは光学式メモリの群から選択されてもよい。

【0038】

処理装置（単数または複数）は、データ処理、特にデジタル・データの処理を実行するよう構成されたいかなる物理的な装置であってもよい。処理装置は、プロセッサ、マイクロプロセッサまたは特定用途向け集積回路（ASIC）の群から選択されてもよい。

【0039】

請求項 1 ないし 1 1 のうちいずれか一項記載のレーザー・センサー・モジュールおよび請求項 1 3 または 1 4 記載の方法は同様および/または同一の実施形態、特に従属請求項において定義される実施形態をもつことを理解しておくものとする。

20

【0040】

本発明の好ましい実施形態は、従属請求項の任意の、それぞれの独立請求項との組み合わせであることもできることを理解しておくものとする。

【0041】

さらなる有利な実施形態は下記で定義される。

【0042】

本発明のこれらおよび他の側面は、以下に記載される実施形態を参照することから明白となり、明快にされるであろう。

30

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図 1】第一のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図 2】検出アルゴリズムの原理図である。

【図 3】粒子サイズの関数として粒子の検出される数を示す第一のグラフである。

【図 4】レーザー・センサー・モジュールのある実施形態および対応する方法の第一の感度曲線を示す図である。

【図 5】レーザー・センサー・モジュールのある実施形態および対応する方法の第二の感度曲線を示す図である。

40

【図 6】測定データおよびシミュレートされたデータの第一の比較を示す図である。

【図 7】業務用設備と比べた測定データの第二の比較を示す図である。

【図 8】第二のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図 9】粒子サイズの関数として粒子の検出された数を示す第二のグラフである。

【図 10】第三のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図 11】第四のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図 12】第五のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図 13】レーザー・センサー・モジュールのある実施形態の第三の感度曲線を示す図である。

【図 14】収差レベルに依存する感度を示す図である。

50

【図15】第六のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図16】第七のレーザー・センサー・モジュールの原理図である。

【図17】空気清浄機の原理図である。

【図18】超微粒子を検出する方法の原理図である。

【0044】

図面において、同様の符号は全体を通じて同様のオブジェクトを指す。図面におけるオブジェクトは必ずしも同縮尺ではない。

【発明を実施するための形態】

【0045】

本発明のさまざまな実施形態について、ここで図面によって記述する。

10

【0046】

オブジェクトの動きおよびオブジェクトへの距離を検出するために、自己混合干渉 (self-mixing interference) が使われる。自己混合干渉についての背景情報は、参照によって組み込まれる非特許文献2に記載されている。光入力装置におけるセンサーに関する指先の動きの検出は、特許文献1において詳細に記載されている。特許文献1における距離および動きの検出に関する開示は参照によって組み込まれる。

【0047】

自己混合干渉の原理を、特許文献1に呈示される例に基づいて論じておく。レーザー空洞をもつダイオード・レーザーがレーザー・ビームまたは測定ビームを放出するために設けられる。その上側において、デバイスは透明窓を設けられ、それを通じてオブジェクト、たとえば人間の指が動かされる。レンズ、たとえば平凸レンズがダイオード・レーザーと窓との間に配置される。このレンズがレーザー・ビームを透明窓の上側またはその近くに合焦する。この位置にオブジェクトが存在すれば、オブジェクトが測定ビームを散乱する。測定ビームの放射の一部は照射ビームの方向に散乱されて、この部分がレンズによってレーザー・ダイオードの放出面上に集束させられ、このレーザーの空洞に再入する。ダイオード・レーザーの空洞に再入する放射は、レーザーの利得の変動を、よってレーザーによって放出される放射の強度の変動を誘起する。この現象が、ダイオード・レーザーにおける自己混合効果と称される。

20

【0048】

レーザーによって放出される放射の強度における変化は、この目的のために設けられるフォトダイオードによって検出されることができる。該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に電子回路が設けられる。

30

【0049】

測定ビームに対するオブジェクトの動きがあると、それによって反射される放射がドップラー偏移を受ける。つまり、この放射の振動数が変化する、あるいは周波数偏移が起こる。この周波数偏移は、オブジェクトが動く速度に依存し、数kHzないしMHzのオーダーである。空洞に再入する周波数偏移した放射は、この空洞内で生成される光波または放射と干渉する。すなわち、この空洞において自己混合効果が起こる。光波と空洞に再入する放射との間の位相偏移に依存して、干渉は強め合うまたは弱め合う。すなわち、レーザー放射の強度は周期的に増加または減少する。このようにして生成されるレーザー放射変調の周波数は、空洞内の光波の周波数と空洞に再入するドップラー偏移した放射の周波数との間の差にちょうど等しい。周波数差は数kHzないしMHzのオーダーであり、よって検出するのが容易である。自己混合効果とドップラー偏移の組み合わせは、レーザー空洞の挙動における変動を引き起こす。特に、その利得および光増幅が変化する。レーザー空洞のインピーダンスまたはレーザーによって放出される放射の強度がたとえば測定されてもよく、センサーに対するオブジェクトの動きの量(すなわち移動した距離)が評価できるだけでなく、動きの方向も決定できる。これについては特許文献1に記載されている。

40

【0050】

自己混合干渉信号は、粒子検出の場合、たとえば、短い信号パーストまたはいくつかの信号パーストによって特徴付けられてもよい。したがって、信号検出および信号解析を単

50

純化するために、DC駆動電流を使うことが好ましいことがありうる。代替的または追加的に、たとえば上記のようにより大きな粒子におけるレーザー光の反射によって生成される自己混合干渉信号によって粒子の位置および/または速度を決定するために、変調された駆動電流が使われてもよい。距離および/または速度は、一つの測定内で決定されてもよく、あるいはその後の測定段階において決定されてもよい。したがって、意図される粒子サイズの粒子測度を生成するためには第一の時間期間においてDC駆動電流を使い、粒子流の距離および/または速度を決定するためには変調された駆動電流を使うことが可能であり、さらには有益でありうる。

【0051】

図1は、第一のレーザー・センサー・モジュール100の原理図を示している。第一のレーザー・センサー・モジュールは、統合された検出器120をもつレーザー110を有している。統合された検出器120は、レーザー110の層構造の一部である統合されたフォトダイオードである。統合されたフォトダイオードは、レーザー110のレーザー空洞内の光波の振動を判別する。第一のレーザー・センサー・モジュール100はさらに、電気ドライバー130および評価器140を有する。評価器140は、レーザー110に、あるいはより精密には検出器120および電気ドライバー130に接続されている。レーザー光を放出するために、電気ドライバー130は電力をレーザー110に供給する。レーザー110はこの場合、統合されたフォトダイオードをもつ垂直共振器型面発光レーザー（VCSEL）である。レーザー・センサー・モジュール100は、DCであるまたは変調されている、電気ドライバー130によって供給される電力を提供する電源（図示せず）に接続されている。電気ドライバー130は、レーザー110に種々の変調方式を提供するよう構成される。レーザー110によって放出されるレーザー光がレーザー光の焦点領域を通過する粒子によって反射される場合に、自己混合干渉信号が生成される。粒子は好ましくは本質的に一定の流れ速度で移動する。定義された流れは、粒子を担持する流体（この場合は空気）を加熱するよう構成された加熱要素（図示せず）またはファン（図示せず）によって生成される。加熱要素またはファンおよび対応する流体チャネル（図示せず）は、第一のレーザー・センサー・モジュール100を有する粒子センサー（図示せず）の一部または粒子センサー・モジュール100を有するデバイスの一部であってもよい。矢印は、粒子の動きまたは流れの方向を示している。流れ速度はあらかじめ決定されていてもよく、あるいは別個の流れセンサー（図示せず）によってまたは上記のようにレーザー・センサー・モジュール100によって実行される対応する自己混合干渉測定手順によって測定されてもよい。流れ速度がは、たとえば粒子密度を決定するために評価器140によって使われてもよい。この場合、評価器140は、あらかじめ決定された時間期間内に多数の粒子によって反射されるレーザー光によって生成される自己混合干渉信号に対して、異なる信号対雑音比を適用するよう構成される。

【0052】

図2は、対応する検出アルゴリズムの原理図を示している。段階210では、レーザー110のレーザー空洞内の光波の変動に基づいて、自己混合干渉信号が検出器120によって生成される。自己混合干渉信号は段階220においてデジタイズされ、段階230において二つの異なる検出閾値が評価器140によって決定される。検出閾値は二つの異なる信号対雑音比に対応し、それらの信号対雑音比の第二のもの（第二の閾値に対応）は、たとえば150nm未満の粒子サイズをもつ粒子が、評価器140によって背景ノイズから区別できる自己混合干渉信号を生成しないよう、決定される。自己混合干渉信号は、第一の閾値において粒子数を、あるいはより正確には第一の粒子分布関数を決定するために、段階244において評価器140によって処理される。同じ自己混合干渉信号は、第二の閾値において粒子数を、あるいはより正確には第二の粒子分布関数を決定するために、段階248において評価器140によってさらに処理される。段階250において基準体積（たとえば m^3 ）内における150nm未満の粒子サイズをもつ超微粒子の数についての測度を決定するために、第二の粒子分布関数は校正因子 q を乗算されて、第一の粒子分布関数から減算される。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

図 3 は、レーザー・センサー・モジュール 1 0 0 によって生成される測定結果を示す第一のグラフを示している。横軸 3 0 2 は粒子の直径 (μm) によって決定される粒子サイズを示す。縦軸 3 0 1 は、検出された粒子の数をカウント毎 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で示す。曲線 3 0 5、3 0 6 は粒子の検出された数を、粒子サイズの関数として示す。曲線 3 0 5、3 0 6 は開口数 0.5 で測定されている。第一の曲線 3 0 5 は信号対雑音比 25 で測定されている。第二の曲線 3 0 6 は信号対雑音比 (SRT) 6 で測定されている。基本的には、どちらの曲線も、最も小さな粒子サイズのところを除いて、同一の形を示している。これらの粒子については、もはや SNR 値 25 には達しない。一方、SNR = 6 に対応する検出閾値では、これらの小さな粒子はいまだ観察される。よって、SNR = 6 の曲線から SNR = 25 の曲線の q 倍を減算することによって、図 4 の第一の感度曲線 3 0 7 が得られる。この状況について、校正因子は $q = 6.5$ であった。第一の感度曲線 3 0 7 は、100nm よりわずかに上の信号は消去されることができ、100nm 未満の粒子サイズをもつ超微粒子の数および質量濃度が決定できることを示している。検出される粒子の数に対する計算は、7m/s の粒子流または焦点領域の速度について実行された。

10

【 0 0 5 4 】

図 5 は、レーザー・センサー・モジュール 1 0 0 および対応する方法の第二の感度曲線を示している。レーザー・センサー・モジュール 1 0 0 は、50nm のサイズをもつ粒子を検出するために最適化された。現在の経験は、粒子カウントを粒子サイズの関数として測定するレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 について、モデルとの良好な相関が得られるというものである。さらに、自己混合干渉信号によって測定される粒子カウントと業務用の設備 (Grimm 11-R) によって決定される粒子濃度との間に良好な相関が示されることができ、開口数 (NA: numerical aperture) はこの実施形態では NA = 0.6 に拡大されており、測定速度は約 50nm の粒子サイズをもつ粒子について良好な感度を得るために、1m/s である。この場合、SNR 24 および SNR 6 が、図 4 に示され上記で論じたのと同じように使われた。校正因子 q はこの場合 6.2 であった。

20

【 0 0 5 5 】

図 6 に示されるグラフは、線 3 1 8 において、NA = 0.1 という比較的小さな NA をもつ SMI デバイスで粒子サイズの関数として測定された $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 当たりカウント数が得られたことを示している。測定は、この低い NA での制限および業務用デバイスの制限 (約 250nm) のため、300nm より大きな粒子サイズに限定された。線 3 1 7 は、上記および下記の方法を適用することによって得られたシミュレートされたデータを示している。また、これらのモデル計算において、開口数 0.1 が使われる。測定データとシミュレートされたデータの比較は、モデルと実験について、粒子サイズの関数としての挙動の良好な一致を示している。

30

【 0 0 5 6 】

図 7 は、業務用設備によって決定されたおよび NA = 0.1 をもつ SMI デバイスを使って同時に測定された測定データ 3 3 0 の相関プロットを示している。縦軸 3 2 0 は、業務用設備によって決定された $\mu\text{g}/\text{m}^3$ での PM 2.5 値を示し、横軸 3 2 1 はレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 によって決定された粒子カウント・レート (#/s) を示している。当てはめは、線形の式

40

$$\text{PM } 2.5 = 26.07 * (\text{粒子カウント} \cdot \text{レート}) - 0.12106$$
 によって記述できる。

【 0 0 5 7 】

両方の測定方法の間の見事な相関が観察される。二つの 90%CI 線 3 4 0 は、当てはめされたデータの 90% の確実性の区間を示している。二つの 90%PI 線 3 5 0 は、90% の確実性で個々の測定が載る区間を示している。この見事な相関は、上記および下記で論じた、より大きな粒子の検出に関係した信号の消去の堅牢性をさらに確認する。図 6 および図 7 はさらに、レーザー・センサー・モジュール 1 0 0 および対応する方法が、300nm より大きいサイズをもつ粒子の検出のために使用されることもできることを示している。よって、レ

50

ーザー・センサー・モジュール100は、2500nm(2.5 μ m)、1500nm(1.5 μ m)または1000nm(1 μ m)より小さなサイズをもつ体積内の小さな粒子を、あるいはより正確には小さな粒子の濃度を決定するために使用されてもよい。

【0058】

図8は、第二のレーザー・センサー・モジュール100の原理図を示している。第二のレーザー・センサー・モジュール100は、統合された検出器120をもつレーザー110を有している。統合された検出器120は、レーザー110の層構造の一部である統合されたフォトダイオードである。第二のレーザー・センサー・モジュール100はさらに電気ドライバー130および評価器140および光学デバイス150を有する。評価器140は、レーザー110に、あるいはより精密には検出器120および電気ドライバー130に接続されている。レーザー光を放出するために、電気ドライバー130は電力を第一のレーザー110に供給する。レーザー110はこの場合、統合されたフォトダイオードをもつ垂直共振器型面発光レーザー(VCSEL)である。レーザー・センサー・モジュール100は、変調されている、電気ドライバー130によって供給される電力を提供する電源(図示せず)に接続されている。光学デバイス150は、図5に関して論じたように約50nmの粒子直径をもつ超微粒子の測定を可能にするために、0.6という大きな開口数(NA)を提供するよう構成される。電気ドライバー130は、この場合、少なくとも二つの異なる電力レベルをレーザー110に提供するようにさらに適応される。よって、第一の自己混合干渉信号に基づく第一のレーザー・パワーでの第一の粒子サイズ分布と、第二の自己混合干渉信号に基づく第二の異なるレーザー・パワーでの第二の粒子サイズ分布とを決定することがさらに可能である。評価器140は、上記で論じたように、第一および第二の粒子サイズ分布関数に基づいて粒子測度を計算するために、メモリ・デバイス内の対応する校正因子qを決定するよう適応される。

【0059】

図9は、粒子サイズの関数として粒子のモデル計算を示す図3と同様の第二のグラフを示している。曲線310、311、312は、図11に描かれている可動鏡170をもつレーザー・センサー・モジュール100によって生成された測定結果を示している。可動鏡は、レーザー110によって放出されるレーザー光の焦点領域が7m/sの速度で動くよう構成された。あるいはまた、たとえばファンによって流体流れが同じ速度で提供されることが可能である。曲線310は、0.1の開口数をもつ光学デバイス150によって生成される粒子サイズ分布関数を示している。曲線311は、0.3の開口数をもつ光学デバイス150によって生成される粒子サイズ分布関数を示している。曲線312は、0.5の開口数をもつ光学デバイス150によって生成される粒子サイズ分布関数を示している。曲線310、311、312は、より小さな粒子に関する感度は、開口数の増大とともに増大することを示している。開口数は、特に超微粒子についての感度を増すために適応されることが可能である唯一のパラメータではない。流れ(あるいはまた、可動鏡170による焦点領域の動き)の速度が、上記で図5に関して論じたようにたとえば1m/sの比較的遅い速度を使うことによって感度を高めるためのさらなるパラメータである。

【0060】

図10は、第三のレーザー・センサー・モジュール100の原理図を示している。第三のレーザー・センサー・モジュール100は第二のレーザー・センサー・モジュール100とよく似ている。第三のレーザー・センサー・モジュール100は加えて、切り換え可能な光減衰器155を有する。切り換え可能な光減衰器155は、第一の自己混合干渉信号の生成中はレーザー110によって放出されるレーザー光に対して第一の光減衰を、第二の自己混合干渉信号の生成中は第二の光減衰を提供する。レーザー・センサー・モジュール100はこの場合、第二の自己混合干渉信号によって決定された第二の粒子サイズ分布関数に校正因子qを乗算したものを、第一の自己混合干渉信号によって決定された第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、この場合200nmより小さい粒子サイズをもつ粒子の粒子測度を決定するよう構成される。第一の光減衰はこの場合、第二の光減衰より大きく、校正因子qは1より小さい。

【 0 0 6 1 】

図 1 1 は、第四のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 の原理図を示している。第四のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 は、統合された検出器 1 2 0 をもつレーザー 1 1 0 を有している。第四のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 はさらに、電気ドライバー 1 3 0、評価器 1 4 0、切り換え可能な光学デバイス 1 5 7 および可動鏡 1 7 0 とし
て構成された光方向修正デバイスならびに可動鏡 1 7 0 を制御するためのコントローラ 1
6 0 を有する。評価器 1 4 0 は検出器 1 2 0、電気ドライバー 1 3 0 およびコントローラ
1 6 0 に接続されている。レーザー光を放出するために、電気ドライバー 1 3 0 は電力を
レーザー 1 1 0 に供給する。評価器 1 4 0 は、検出器 1 2 0 によって判別されるレーザー
1 1 0 のレーザー空洞内の自己混合干渉によって引き起こされる検出器 1 2 0 によって提
供される電気信号を受領する。評価器 1 4 0 はさらに、第一の検出器 1 2 0 によって測定
された自己混合干渉信号を解釈するために、電気ドライバー 1 3 0 およびコントローラ 1
6 0 から情報を受領する。電気ドライバー 1 3 0 によって提供される情報は、レーザー 1
1 0 に提供される駆動方式に関する情報を含んでいてもよい。コントローラ 1 6 0 によ
って提供される情報は、鏡動きの角速度、振幅、鏡動きの位相、任意的には種々の角度での
保持時間などを含んでいてもよい。評価器 1 4 0 は、この情報によって、たとえば、可動
鏡 1 7 0 の速度、あるいはより精密には角速度に依存して、粒子サイズ分布関数を決定す
ることができるようになる。レーザー 1 1 0 によって放出されるレーザー光は、統合され
たレンズ（レーザー 1 1 0 に接合されたマイクロレンズ）によって焦点領域に合焦される
。焦点領域は、可動鏡 1 7 0 の振動の間、走査方向に沿って動く。粒子は、焦点領域のま
わりの領域内で検出されることができる。

10

20

【 0 0 6 2 】

可動鏡 1 7 0 のより大きな速度については SNR が低下する。よって、レーザー・センサ
ー・モジュールの感度は、可動鏡 1 7 0 の速度によって変えられることができる。さらに
、第四のレーザー・センサー・モジュールの開口数を操作または変更するために、切り換
え可能な光学デバイス 1 5 7 が使用されることができる。さらに、レーザー 1 1 0 のレー
ザー・パワーは、異なる検出期間については、電気ドライバー 1 3 0 によって変えられる
ことができる。よって、評価器 1 4 0 によって実行できる自己混合干渉測定の結果のフィルタ
リングの操作に加えて、異なるハードウェア・パラメータによって第四のレーザー・
センサー・モジュール 1 0 0 の感度を調整することが可能である。よって、感度および対
応する粒子サイズ分布関数を広い範囲で変えることが可能である。評価器 1 4 0 はさらに
、ハードウェア・パラメータ（鏡速度、開口数など）、評価器 1 4 0 によって適用される
評価パラメータ（たとえば SNR）および対応する校正因子 q の間の関係を有する少なくと
も一つのメモリ・デバイスを有する。該関係は、関数依存性によって、またはテーブルにお
いて記憶されうる。空気または流体速度が大きいほど、検出体積の増大のため、毎秒より
多くの粒子が検出されることを注意しておく。これは事実上、方向修正デバイスまたは外
部ファンによって速度が変えられる諸方法について、 $q > 1$ の場合の q 因子の低下（あるい
は一般には q が 1 より近くなる）を意味する。 q 因子の低下は、校正因子 q の系統的な影響
が軽減されうるので、より堅牢なシステム設計につながる。

30

40

【 0 0 6 3 】

図 1 2 は、第五のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 の原理図を示している。第五
のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 は、統合された第一の検出器 1 2 0 をもつ第一
のレーザー 1 1 1 および統合された第二の検出器 1 2 2 をもつ第二のレーザー 1 1 2 を有
している。第一のレーザー 1 1 0 および第二のレーザー 1 1 1 は第一および第二のレー
ザー光を放出する。第五のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 は、第一のレーザー 1 1
1 および第二のレーザー 1 1 2 に駆動電流を提供するよう適応された電気ドライバー 1 3
0 を有する。電気ドライバーは、第一のレーザー 1 1 0 および第二のレーザー 1 1 1 に接
続されている評価器 1 4 0 を有する。第五のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 はさ
らに、第一のレーザー光を第一の焦点領域に合焦するための第一の開口数をもつ第一の光
学デバイス 1 5 1 を有する。第五のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 はさらに、第

50

二のレーザー光を第二の焦点領域に合焦するための第一の開口数とは異なる第二の開口数をもつ第二の光学デバイス152を有する。第一の焦点領域はこの実施形態では第二の焦点領域と重ならないが、別の実施形態では重なってもよい。評価器140は、第一の自己混合干渉信号によって引き起こされる第一の検出器121によって提供される電気信号を受領する。評価器140はさらに、第二の自己混合干渉信号によって引き起こされる第二の検出器122によって提供される電気信号を受領する。評価器140はさらに、電気ドライバー130から情報を受領する。評価器140は、この情報により、第一および第二の粒子サイズ分布関数を、また上記で論じたようにしかるべく適応された較正因子 q によって対応する粒子測度を、決定できる。

【0064】

図13は、開口数の二つの異なるセットアップ、よって二つの異なる自己混合干渉信号によって生成されるレーザー・センサー・モジュール100のある実施形態の第三の感度曲線を示している。レーザー・センサー・モジュール100は、この場合、図11に関して上記したのと同様の可動鏡170を有する。どちらのシミュレーションも、焦点領域が7m/sの速度で動くよう実行された。図12に関して論じた第五のレーザー・センサー・モジュール100と組み合わせて粒子をもつ流体を対応する速度でファンが動かす場合、同様の手法を使用できる。曲線315によって示される第一の測定では、0.1の第一の開口数および0.3の第二の開口数が使用される。較正因子 q はこの場合0.32である。曲線316によって示される第二の測定では、0.1の第一の開口数および0.5の第二の開口数が使用される。較正因子 q はこの場合0.2である。より小さな、特に超微粒子 (ultrafine particles) を測定するために現在使われている業務用設備によって測定された結果との最良一致を得るために、あるいは検出されたUFP粒子サイズを関心領域に調整するために、パラメータの組み合わせが使用されることができ。

【0065】

図14は、対応する光学デバイスの収差に依存する粒子検出に関する感度を示している。横軸302は、粒子の直径 (μm) によって決定される粒子サイズを示している。縦軸303は毎秒の ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 当たりのカウント [$\#/\text{s}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$] で、検出された粒子の数を示している。曲線365、366、367は、レーザー (単数または複数) によって放出されるレーザー光のスポットまたは合焦点の収差レベルの関数として、カウント・レートのシミュレーションを示している。三つの曲線365、366、367はみな、0.5の開口数および850nmのレーザーの発光波長でシミュレートされている。曲線365は、0m の収差レベルでのシミュレートされたカウント・レートを示している。曲線366は、70m の収差レベルでのシミュレートされたカウント・レートを示している。曲線367は、140m の収差レベルでのシミュレートされたカウント・レートを示している。スポット収差に関する粒子カウント・レートのモデル計算から、焦点位置または領域の非常に近くで検出される小さな粒子については、検出される粒子の数は、焦点領域の収差レベルについて非常に敏感であることが明らかである。最適な焦点領域のまわりのずっと大きなエリアで検出される、より大きな粒子については、検出される粒子の数は、収差レベルとともにほとんど変化しない。図14を図3と比べると、図3に関して論じた手法に比べたときの、二つの測定における異なる感度を提供するための収差レベルの変動の潜在的な利点が見られる。0.15 μm より大きい粒子サイズをもつ、より大きな粒子のカウント・レートは、ほとんど同一である。よって、 q 因子は、1に非常に近いことができる。これは、非最適な q 因子 (たとえば正しい最適な q 因子6.5の代わりに6) によって引き起こされうる測定における最終的な誤差を低減させる。さらに、焦点領域における収差レベルを調整するための一つまたは複数の光学デバイスをもつことで、これは、本質的に収差なしである第一の測定について、焦点領域またはスポットの品質が最適化されることができ、その結果、可能な最も小さい、最小の検出される粒子サイズとなる。超微粒子に関して異なる感度で測定結果を得るために異なる収差レベルを使うことは、静的な焦点領域をもつレーザー・センサー・モジュール (たとえば図1、図8、図10参照) においても、動的なまたは可動な焦点領域をもつレーザー・モジュール (たとえば図11参照) にお

10

20

30

40

50

いても利用されることができ、あるいはまた、二つの異なる感度での同時測定を可能にするために、二つのレーザーおよび異なる収差レベルをもつ二つの異なる光学デバイスを使うことも可能である（図12参照）。異なる収差レベルを使ういくつかの具体的実施形態が、以下の実施形態に関して論じられる。

【0066】

実施形態1：LCセル

第一の実施形態では、液晶セル（LC）が焦点領域の収差レベルを調整するために使われる。たとえば、図10において、光減衰器155がこのLCセルによって置き換えられることができる。LCセルは、焦点領域またはスポットにおいて能動的に収差が導入されることのできるデバイスである。それはこの方法のために要求されることである。同じLCセルが、光学系からの他の収差を補償または部分的に補償するために使われることができる。そうすることで、第一の測定において、超微粒子カウント・レートおよび最小の検出される粒子サイズに対する最良の性能が得られる。

10

【0067】

実施形態2：回転ガラス板

第二の実施形態では、ガラス板の傾きが、収差レベルを変えるために使われる。たとえば、図8において、カバーガラス（図示せず）が、測定の光軸に本質的に垂直な軸のまわりに回転できるように、光学デバイス150の測定経路に取り付けられることができる。これは、特に非点収差を導入する。また、同じ板が、第一の測定においてスポットの非点収差が最小値になるよう最適化するために使用されることができ。

20

【0068】

実施形態3：ガラス板の除去/挿入

この実施形態では、光学系は、たとえば図8における光学デバイス150の後に挿入されたガラス板を用いて最適に整列〔アラインメント〕される。ガラス板の除去は第二の測定のために収差を導入する。光学系は、ガラス板なしで最適化されることもでき、ガラス板を挿入することによって、収差が導入される。これらの収差はガラス板自身の厚さに由来してもよく（特に球面収差）、あるいはガラス板の傾きとの組み合わせに由来してもよい（主として球面収差と非点収差の組み合わせを生じる）。

【0069】

実施形態4：可変形鏡

測定ビームの光路に挿入されうる可変形鏡によって、レーザー・センサー・モジュールにおいて、収差が影響されうる。同じ鏡が第一の測定のための収差を最小化するためにも使われてもよい。

30

【0070】

実施形態5：可動レンズをもつ二レンズ・システム

図8の光学デバイス150は、収差を生成する二つのレンズを有していてもよい。これらの収差は、両方のレンズが測定ビームの光軸上にあるときは互いに打ち消し合う。一方のレンズが軸外れするとき、収差が現われる。たとえば、平行ビームにおける球面収差をもつ二つのレンズで、一方のレンズが軸から外れている場合に、コマが生じる。

40

【0071】

実施形態6：可動レンズをもつ単一レンズ・システム

図8の光学デバイス150または図11の切り換え可能な光学デバイス157は、アクチュエーター、たとえばボイスコイルモーターによって光軸に垂直に動かされる、光場について非最適なデザインのレンズを有していてもよい。

【0072】

実施形態7：エレクトロウエッティング

図8の光学デバイス150または図11の切り換え可能な光学デバイス157は、エレクトロウエッティング・レンズを有していてもよい。エレクトロウエッティング・レンズの一つまたは複数の光学流体に電圧をかけることによって、ビーム変形またはより精密には収差が変更されうる。

50

【 0 0 7 3 】

実施形態 8：複数メサ・レーザー (multiple mesa laser)

第六のレーザー・センサー・モジュールの原理図を示す図 1 5 に関して論じられる実施形態についての非常にエレガントな解決策が、複数メサ・レーザーを使うことによって得られる。この実施形態は図 1 2 に関して論じた実施形態ときわめてよく似ている。レーザー・チップが、同一チップ上の一つの検出器 1 2 0 フォトダイオードの上に二つの独立なレーザー 1 1 1、1 1 2 をもつ。第一のレーザー 1 1 1 が軸上になり (最良の信号)、第二のレーザー 1 1 2 がたとえば 40 μm 軸から外れるよう、光学的な整列がなされる。第二のレーザー・ビームは、収差のため、より大きなスポット・サイズにつながり、結果として、小さな粒子を測定する能力が制限される。二つのレーザーは、時間切り換えモードで、電気ドライバー 1 3 0 によって動作させられる。第一の、最適に整列されたレーザーは第一の測定を提供し、第二のレーザーが第二の測定を提供する。

10

【 0 0 7 4 】

実施形態 9：並列に動作させられる複数メサ・レーザー

それぞれが図 1 2 に関して論じられたような独自の検出器 1 2 1、1 2 2 および検出電子回路をもつ二つのレーザー 1 1 1、1 1 2 を並列に使うことによって、それぞれの焦点領域において異なる収差をもつ測定ビームを生成するために、図 1 2 に関して論じた第一および第二の光学デバイス 1 5 1、1 5 2 または図 1 5 に関して論じた一つの光学デバイス 1 5 0 を使って、第一および第二の測定が同時に実行されることができる。

20

【 0 0 7 5 】

図 1 6 は、第七のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 の原理図を示している。第六のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 は、統合された検出器 1 2 0 をもつレーザー 1 1 0 を有している。該レーザーは、この場合レンズである光学デバイス 1 5 0 を通じてレーザー光を発する。統合された検出器 1 2 0 は、レーザー 1 1 0 の層構造の一部である統合されたフォトダイオードである。第六のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 はさらに、光源 (LED) 1 1 5 および光検出器 1 2 5 をもつ粒子検出ユニットを有する。これは、LED によって放出された光が光検出器 1 2 5 によって受光されるよう配置される。光検出器 1 2 5 は、LED と光検出器 1 2 5 の間の体積を通過する粒子によって引き起こされる、LED によって放出された光の強度の変動を測定するよう構成される。第二のレーザー・センサー・モジュール 1 0 0 はさらに、電気ドライバー 1 3 0 および評価器 1 4 0 を有する。評価器 1 4 0 は、レーザー 1 1 0 に、あるいはより精密には検出器 1 2 0、LED、光検出器 1 2 5 および電気ドライバー 1 3 0 に接続されている。電気ドライバー 1 3 0 は、レーザー光を放出するためにレーザー 1 1 0 に、また LED に電力を供給する。レーザー 1 1 0 はこの場合、統合されたフォトダイオードをもつ垂直共振器型面発光レーザー (VCSEL) である。レーザー・センサー・モジュール 1 0 0 は、変調されている、電気ドライバー 1 3 0 によって供給される電力を提供する電源 (図示せず) に接続されている。光学デバイス 1 5 0 は、約 300nm の粒子直径をもつ小さな粒子の測定を可能にするために、0.06 の開口数 (NA) を提供するよう構成される。検出器 1 2 0 は、第一の粒子サイズ分布関数を生成するために自己混合干渉信号を決定するよう構成される。粒子検出ユニットは、それほど敏感ではなく、約 300nm のサイズをもつ粒子を判別するようには構成されていない。よって、光検出器 1 2 5 によって検出される信号は、第二の粒子サイズ分布関数を決定するために使われる。評価器 1 4 0 は、上記のように第一および第二の粒子サイズ分布関数に基づいて 300nm 以下の粒子サイズをもつ粒子の粒子測度を計算するために、メモリ・デバイス内の対応する校正因子 q を決定するよう適応されている。粒子検出ユニットについての代替的な概念は、光検出器 1 2 5 を 90 度のもとに置くことであってもよい。それにより、透過変化ではなく、粒子からの散乱光のみが検出される。そのような構成の感度は、上記で論じた透過配位に比べて向上されうる。

30

40

【 0 0 7 6 】

図 1 7 は、空気清浄機 4 0 0 の原理図を示している。空気清浄機 4 0 0 は、粒子流制御デバイス 4 1 0 (たとえばファン)、フィルタ・システム 4 2 0 および上記の実施形態の

50

いずれかに基づくレーザー・センサー・モジュール100を有する。ファンおよびフィルタ・システム420は、たとえば、空気が流れる管内に配置される。ファンは、画定された流れまたは粒子速度を生成するために、空気を管の軸に沿って加速する。レーザー・センサー・モジュール100は、意図される粒子サイズの粒子測度および任意的には粒子流の速度を決定する。空気清浄機400は、エアコンディショナーに統合されてもよい。エアコンディショナーはたとえば、粒子測度が閾値より上であれば信号を提供してもよい。レーザー・センサー・モジュール100は好ましくは、粒子流制御デバイス410から情報を受け取ってもよい。たとえば粒子流制御デバイス410によって引き起こされる空気または粒子流の速度に関して測定を較正するためである。粒子流制御デバイス410はこの場合、二つ以上の流れ粒子速度を可能にするために、レーザー・センサー・モジュール100によって制御されてもよい。レーザー・センサー・モジュール100はこの場合、粒子流制御デバイス410を制御するために流れコントローラを有する。空気清浄機400は代替的に、粒子流制御デバイス410およびレーザー・センサー・モジュール100からデータを受け取るために、プロセッサおよび対応する記憶装置を有していてもよい。矢印は、空気の方向を示す。レーザー・センサー・モジュール100の測定結果は、空気がクリーニングされるときに、対応する制御回路または空気清浄機のプロセッサ上で走る制御アプリケーションによって空気清浄機がスイッチオフされることができるとかを判断するために使われてもよい。

【0077】

図18は、小さい、特に超微粒子を検出する方法の原理図を示している。段階510において、レーザー光が少なくとも一つの焦点領域に放出される。段階520において、少なくとも一つの自己混合干渉信号が決定される。段階530において、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果によって、第一の感度での第一の粒子サイズ分布関数が決定される。段階540において、第二の感度での第二の粒子サイズ分布関数が決定される。第二の感度は第一の感度とは異なる。第二の粒子サイズ分布関数に較正因子 q を乗算したものを、第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズをもつ粒子の粒子測度が決定される。

【0078】

異なる感度で二つの測定結果を生成するまたは二つの測定を実行することによって、300nmより小さな粒子サイズをもつ小さな粒子を感知するためのレーザー・センサー・モジュール100および対応する方法を提供することが本発明の基本的発想である。あるサイズ領域における小さな、あるいはさらに超微粒子の粒子測度が、低感度モードでの粒子数の q 倍を、敏感なモードでの粒子数から減算することによって導出される。より小さな粒子は、本質的には、低感度モードでは見えないが、より大きな粒子についての測定結果の形状は本質的には同じだが、較正因子 q でスケールされたものとなっている。本発明は、レーザー自己混合干渉に基づく、簡単かつ低コストの粒子検出モジュールまたは粒子検出器であって、100nmまたさらにはより小さなサイズをもつ粒子を検出できるものを可能にする。

【0079】

本発明は、図面および以上の記述において詳細に示され、記述されてきたが、そのような例解および記述は制約するものではなく、例解または例示するものであると考えられるべきである。

【0080】

本開示を読むことで、他の修正が当業者には明白になるであろう。そのような修正は、本稿ですでに述べた特徴の代わりにまたはそれに加えて使用されうる、当技術分野においてすでに知られている他の特徴に関わることがある。

【0081】

図面、本開示および付属の請求項の吟味から、開示される実施形態への変形が、当業者によって理解され、実施されることができると考えられる。請求項では、単語「有する/含む」は他の要素やステップを排除するものではなく、単数表現は複数の要素やステップを排除するも

のではない。ある種の施策が互いに異なる従属請求項において記載されているというだけの事実が、これらの施策の組み合わせが有利に使用できないことを示すものではない。

【0082】

請求項に参照符号があったとしても、その範囲を限定するものと解釈すべきではない。

【符号の説明】

【0083】

100	レーザー・センサー・モジュール	
110	レーザー	
111	第一のレーザー	
112	第二のレーザー	10
115	光源	
120	検出器	
121	第一の検出器	
122	第二の検出器	
125	光検出器	
130	電気ドライバー	
140	評価器	
150	光学デバイス	
151	第一の光学デバイス	
152	第二の光学デバイス	20
155	光減衰器	
157	切り換え可能な光学デバイス	
160	コントローラ	
170	可動鏡	
210	自己混合干渉信号を受領	
220	自己混合干渉信号のデジタル化	
230	検出閾値を決定	
244	第一の閾値で決定	
248	第二の閾値で決定	
250	超微粒子の数を決定	30
301	検出される粒子 (数/μg/m ³)	
303	粒子カウント・レート (#/数/(μg/m ³))	
305	検出された粒子数	
306	検出された粒子数	
307	超微粒子の数	
308	超微粒子の数	
310	検出された粒子数	
311	検出された粒子数	
312	検出された粒子数	
315	超微粒子の数	40
316	超微粒子の数	
317	シミュレートされたデータ	
318	実験データ	
320	PM2.5 (μg/m ³)	
321	粒子カウント (数/s)	
330	測定データ	
335	当てはめ〔フィット〕	
340	90%CI	
350	90%PI	
365	第一の収差レベル	50

- 3 6 6 第二の収差レベル
- 3 6 7 第三の収差レベル
- 4 0 0 空気清浄機
- 4 1 0 粒子流制御デバイス
- 4 2 0 フィルタ・システム
- 5 1 0 レーザー光を放出
- 5 2 0 自己混合干渉信号を決定
- 5 3 0 第一の粒子サイズ分布関数を決定
- 5 4 0 第二の粒子サイズ分布関数を決定
- 5 5 0 小さな粒子の数を決定

【 図 1 】

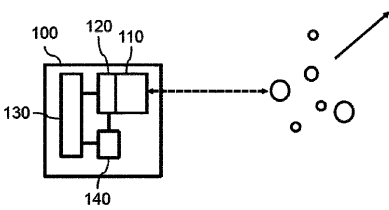


Fig. 1

【 図 2 】

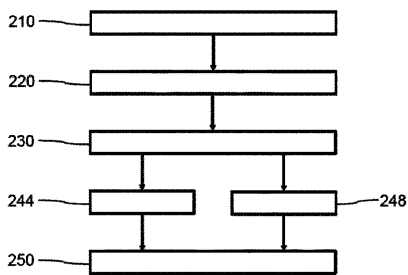


Fig. 2

【 図 3 】

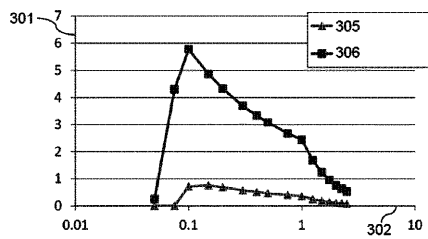


Fig. 3

【 図 4 】

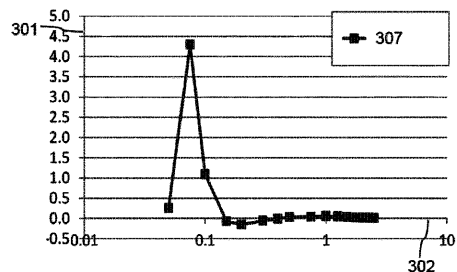


Fig. 4

【 図 5 】

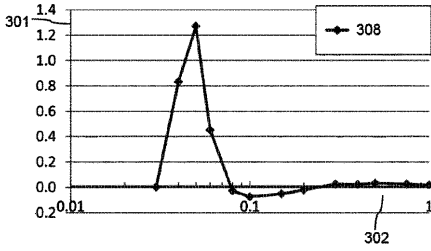


Fig. 5

【 図 6 】

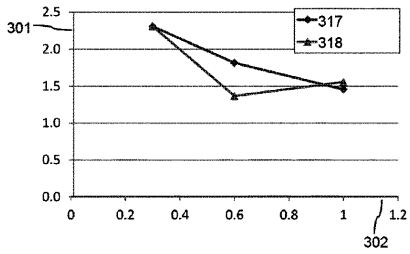


Fig. 6

【 図 9 】

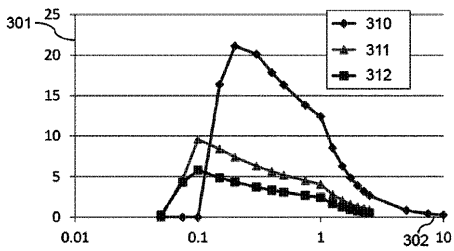


Fig. 9

【 図 7 】

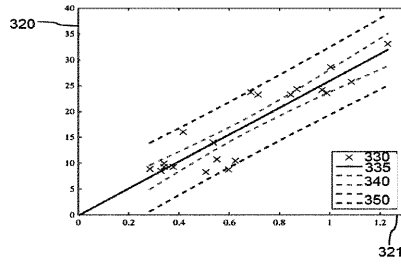


Fig. 7

【 図 8 】

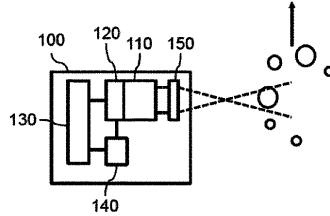


Fig. 8

【 図 10 】

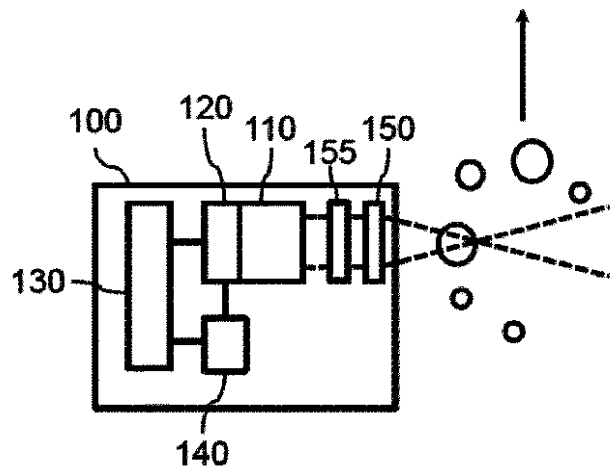


Fig. 10

【 図 1 1 】

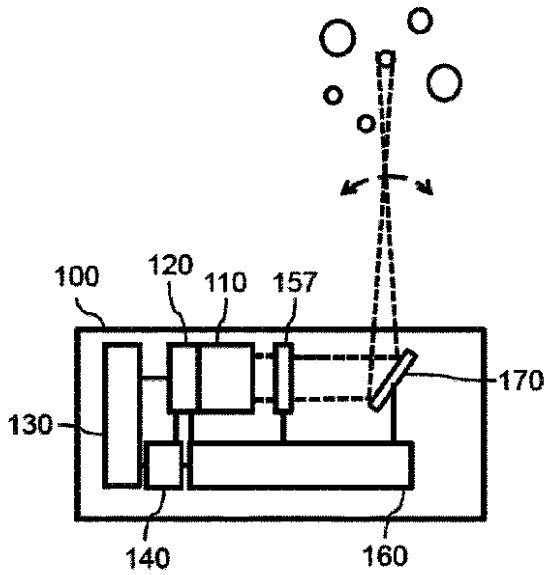


Fig. 11

【 図 1 2 】

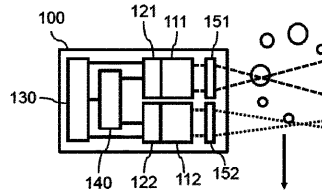


Fig. 12

【 図 1 3 】

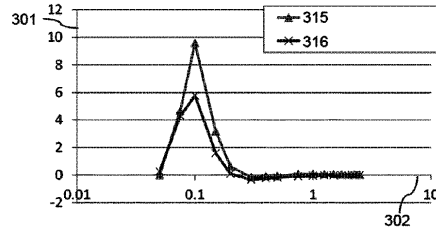


Fig. 13

【 図 1 4 】

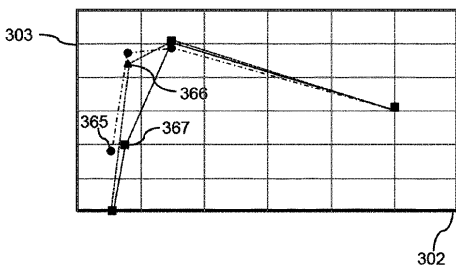


Fig. 14

【 図 1 6 】

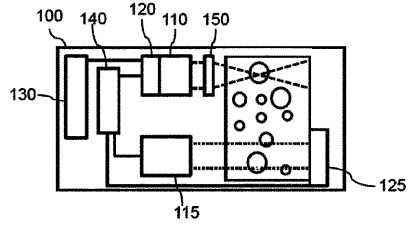


Fig. 16

【 図 1 5 】

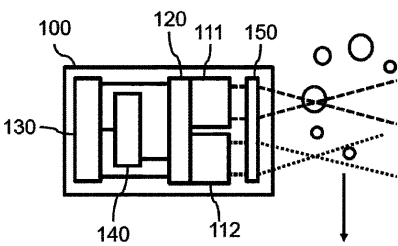


Fig. 15

【図17】

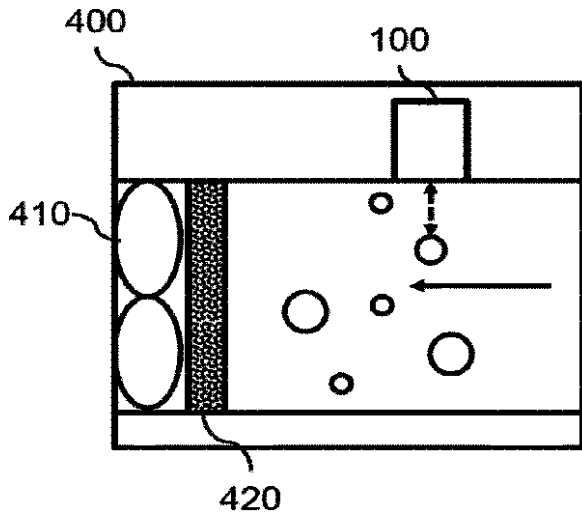


Fig. 17

【図18】

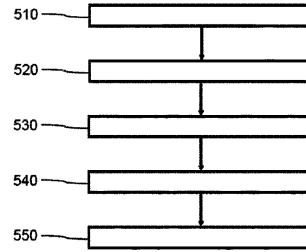


Fig. 18

【手続補正書】

【提出日】平成30年9月25日(2018.9.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出するためのレーザー・センサー・モジュールであって、当該レーザー・センサー・モジュールは：

- ・少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される信号に反応して少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出するよう適応されている少なくとも一つのレーザーと；

- ・前記少なくとも一つのレーザーのレーザー空洞内の光波の自己混合干渉信号を決定するよう適応されている少なくとも一つの検出器であって、前記自己混合干渉信号は前記レーザー空洞に再入する反射されたレーザー光によって引き起こされ、前記反射されたレーザー光は、前記レーザー光の少なくとも一部を受ける粒子によって反射される、検出器とを有しており、

- ・当該レーザー・センサー・モジュールは、少なくとも一つの自己混合干渉測定を実行するよう構成され、

- ・当該レーザー・センサー・モジュールは、第一の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されており、前記第一の粒子サイズ分布関数は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果による粒子サイズ検出に関する第一の感度によって特徴付けられ、当該レーザー・センサー・モジュールは、第二の粒子サイズ

分布関数を決定するようさらに適応されており、前記第二の粒子サイズ分布関数は、粒子サイズ検出に関する第二の感度によって特徴付けられ、前記第二の感度は前記第一の感度とは異なり、前記第一の感度または前記第二の感度のいずれかは、300nm以下の定義された閾値粒子サイズより小さい粒子が検出されないように選ばれ、前記第一および第二の粒子サイズ分布関数は、較正因子qでスケールングされて、前記定義された閾値粒子サイズより上での本質的に同一の形をもち、

・前記少なくとも一つの評価器は、前記第二の粒子サイズ分布関数に前記較正因子qを乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定するよう適応されており、
レーザー・センサー・モジュール。

【請求項2】

当該レーザー・センサー・モジュールが、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記少なくとも一つの測定結果によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されている、請求項1記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項3】

・前記少なくとも一つの評価器は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果に第一の閾値を適用することによって前記第一の感度を提供するよう適応され、前記少なくとも一つの評価器は、前記測定結果および前記第一の閾値によって前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応され、

・前記少なくとも一つの評価器は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記測定結果に第二の閾値を適用することによって前記第二の感度を提供するようさらに適応され、前記第二の閾値は前記第一の閾値とは異なり、前記少なくとも一つの評価器は、前記測定結果および前記第二の閾値によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されている、

請求項2記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項4】

・当該レーザー・センサー・モジュールは前記第一の感度で第一の自己混合干渉測定を実行するよう構成されており、

・当該レーザー・センサー・モジュールは前記第二の感度で第二の自己混合干渉測定を実行するようさらに構成されており、

・前記少なくとも一つの評価器は、前記第一の自己混合干渉測定に基づいて決定された第一の測定結果によって前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応され、前記少なくとも一つの評価器はさらに、前記第二の自己混合干渉測定に基づいて決定された第二の測定結果によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されている、

請求項2記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項5】

当該レーザー・センサー・モジュールは、前記レーザー光を前記少なくとも一つの焦点領域に合焦するための光学デバイスを有しており、該光学デバイスは、少なくとも0.06、より好ましくは少なくとも0.2、最も好ましくは少なくとも0.3の開口数によって特徴付けられる、請求項1ないし4のうちいずれか一項記載のレーザー・センサー・モジュール。

【請求項6】

前記粒子センサー・モジュールは、レーザー光の焦点領域を動かすよう構成されている光方向修正デバイスを有しており、前記粒子センサー・モジュールはさらに、前記第一の自己混合干渉測定の間は第一の速度で、前記第二の自己混合干渉測定の間は前記第一の速度とは異なる第二の速度で、焦点領域の動きを制御するよう適応されている少なくとも一つのコントローラを有する、請求項4記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項7】

前記粒子センサー・モジュールは、粒子流の速度を制御するよう構成されている少なくとも一つの粒子流制御デバイスを有しており、前記粒子センサー・モジュールはさらに、前記第一の自己混合干渉測定の間は第一の粒子流速度で、前記第二の自己混合干渉測定の間は

間は前記第一の粒子流速度とは異なる第二の粒子流速度で、粒子流制御デバイスによって粒子流の速度を制御するよう適応されている少なくとも一つの流れコントローラを有する、請求項4記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項8】

当該レーザー・センサー・モジュールは：

- ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第一の信号に反応して第一の焦点領域に第一のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第一のレーザーと；
 - ・前記少なくとも一つの電気ドライバーによって提供される第二の信号に反応して第二の焦点領域に第二のレーザー光を放出するよう適応された少なくとも一つの第二のレーザーと；
 - ・前記第一および第二の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの検出器と；
 - ・少なくとも一つの光学デバイスとを有しており、前記第一のレーザー光および前記第二のレーザー光は前記少なくとも一つの光学デバイスを通じて放出され、前記第一の焦点領域における前記第一のレーザー光の収差レベルは、前記第二の焦点領域における前記第二のレーザー光の収差レベルとは異なる、
- 請求項4記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項9】

当該レーザー・センサー・モジュールは：

- ・少なくとも一つの第一のレーザーであって、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって前記第一のレーザーに提供される信号に反応して第一の焦点領域に第一のレーザー光を放出するよう適応された第一のレーザーと；
 - ・前記第一の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの第一の検出器と；
 - ・少なくとも一つの第二のレーザーであって、前記少なくとも一つの電気ドライバーによって前記第二のレーザーに提供される信号に反応して第二の焦点領域に第二のレーザー光を放出するよう適応された第二のレーザーと；
 - ・前記第二の自己混合干渉信号を決定するよう適応された少なくとも一つの第二の検出器とを有する、
- 請求項4記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項10】

前記第一のレーザーは、第一の開口数をもつ第一の光学デバイスに光学的に結合され、前記第二のレーザーは、前記第一の開口数とは異なる第二の開口数をもつ第二の光学デバイスに光学的に結合されている、請求項9記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項11】

前記粒子センサー・モジュールは、前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう適応されている粒子検出ユニットを有する、前記粒子検出ユニットは、光源および光検出器によって前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するよう構成されており、前記光検出器は、前記光源によって放出され、前記粒子によって散乱された光を決定する、あるいは前記光源と前記光検出器の間の検出体積を通過する粒子によって引き起こされる、前記光源によって放出された光の強度の低下を決定するよう構成されている、請求項1記載の粒子センサー・モジュール。

【請求項12】

請求項1ないし11のうちいずれか一項記載の粒子センサー・モジュールを有する空気清浄機、センサー・ボックスまたはウェアラブル・デバイス。

【請求項13】

粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出する方法であって、当該方法は：

- ・少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出する段階と；

・少なくとも一つの自己混合干渉信号を決定する段階とを含み、

当該方法は：

・第一の粒子サイズ分布関数を決定する段階であって、前記第一の粒子サイズ分布関数は、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果による第一の感度によって特徴付けられる、段階と；

・第二の粒子サイズ分布関数を決定する段階であって、前記第二の粒子サイズ分布関数は第二の感度によって特徴付けられ、前記第二の感度は前記第一の感度とは異なり、前記第一の感度または前記第二の感度のいずれかは、300nm以下の定義された閾値粒子サイズより小さい粒子が検出されないように選ばれ、前記第一および第二の粒子サイズ分布関数は、較正因子qでスケールングされて、前記定義された閾値粒子サイズより上での本質的に同一の形をもつ、段階と；

・前記第二の粒子サイズ分布関数に前記較正因子qを乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定する段階とを特徴とする、

方法。

【請求項14】

当該方法が：

・前記第一の粒子サイズ分布関数を決定するために、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された測定結果に第一の閾値を適用することによって前記第一の感度を提供する段階と；

・前記第二の粒子サイズ分布関数を決定するために、前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された前記測定結果に第二の閾値を適用することによって前記第二の感度を提供する段階

という追加的段階を含む、請求項13記載の方法。

【請求項15】

請求項1ないし11のうちいずれか一項記載の粒子センサー・モジュールに含まれる少なくとも一つのメモリ・デバイスに、あるいは前記粒子センサー・モジュールを有するデバイスの少なくとも一つのメモリ・デバイスに保存されることができるコード手段を有するコンピュータ・プログラムであって、前記コード手段は、前記粒子センサー・モジュールに含まれる少なくとも一つの処理装置によって、あるいは前記粒子センサー・モジュールを有するデバイスの少なくとも一つの処理装置によって請求項13または14記載の方法が実行されることができるよう、構成されている、コンピュータ・プログラム。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0003】

非特許文献1は、懸濁質における小さな粒子のサイズを迅速かつ簡単に測定するための方法を記載している。この方法は、きわめて高い光学感度をもつ、レーザー・ダイオードでポンピングされる薄片 $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$ レーザーによる自己混合レーザー・ドップラー測定を使う。

CN104458514Aは、ナノ粒子直径分布を高速測定するためのレーザー自己混合方法および対応する測定装置を開示している。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0032】

第二の側面によれば、粒子サイズ300nm以下、より好ましくは200nm以下、最も好ましくは100nm以下の粒子サイズをもつ超微粒子を検出するための方法が提供される。本方法は

：

- ・ 少なくとも一つの焦点領域にレーザー光を放出する段階と；
- ・ 少なくとも一つの自己混合干渉信号を決定する段階と；
- ・ 前記少なくとも一つの自己混合干渉測定に基づいて決定された少なくとも一つの測定結果によって、第一の感度で第一の粒子サイズ分布関数を決定する段階と；
- ・ 前記第一の感度とは異なる第二の感度で第二の粒子サイズ分布関数を決定する段階と；
- ・ 前記第二の粒子サイズ分布関数に較正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定する段階とを含み、前記第一の感度または前記第二の感度のいずれかは、300nm以下の定義された閾値粒子サイズより小さい粒子が検出されないように選ばれ、前記第一および第二の粒子サイズ分布関数は、較正因子 q でスケーリングされて、前記定義された閾値粒子サイズより上での本質的に同一の形をもつ。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056702

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N15/02 G01B9/02 G01N15/14 G01N15/00 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) G01N G01B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	CN 104 458 514 A (UNIV JIANGSU NORMAL) 25 March 2015 (2015-03-25) abstract; figures 1, 2	1,2,4,7, 12,13,15 3,5,6, 8-11,14
Y	----- EP 1 716 476 A2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 2 November 2006 (2006-11-02) abstract; figures 2, 4a-5, 9a-10 paragraphs [0001] - [0003], [0007] - [0012], [0028] - [0030], [0033], [0044] - [0046] - paragraphs [0048] - [0050], [0052] - [0055], [0059] - [0063], [0067] -----	3,5,6, 8-11,14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 9 June 2017		Date of mailing of the international search report 28/06/2017
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 Zarowna-Dabrowska, A

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/056702

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CN 104458514	A	25-03-2015	NONE

EP 1716476	A2	02-11-2006	CN 1947085 A 11-04-2007
			EP 1716476 A2 02-11-2006
			JP 4705047 B2 22-06-2011
			JP 2007522557 A 09-08-2007
			KR 20070005592 A 10-01-2007
			US 2007164201 A1 19-07-2007
			WO 2005076116 A2 18-08-2005

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, 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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, 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

(74) 代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72) 発明者 スプライト, ヨーハネス ヘンドリキウス 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

(72) 発明者 ファン デル レー, アレクサンデル マルク

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 ユッテ, ペトリュス テオドリュス

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 ロンダ, コルネリス レインデル

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 デ フラーフ, パスカル

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 メンヒ, ホルガー

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 ヘルミック, ヨーアヒム 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

【要約の続き】

するよう適応されており、当該レーザー・センサー・モジュールは、前記第一の感度とは異なる第二の感度で第二の粒子サイズ分布関数を決定するようさらに適応されており、前記少なくとも一つの評価器は、前記第二の粒子サイズ分布関数に較正因子 q を乗算したものを前記第一の粒子サイズ分布関数から減算することによって、300nm以下の粒子サイズの粒子測度を決定するよう適応されている。本発明はさらに、対応する方法およびコンピュータ・プログラム・プロダクトを記述する。本発明は、100nmまたはさらにはそれ未満のサイズをもつ粒子を検出できる、レーザー自己混合干渉に基づく簡単で低コストの粒子検出モジュールまたは流水検出器を可能にする。