

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5546454号  
(P5546454)

(45) 発行日 平成26年7月9日(2014.7.9)

(24) 登録日 平成26年5月23日(2014.5.23)

(51) Int. Cl.		F I		
<b>GO 1 N 15/02</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 N 15/02		A
<b>GO 1 N 21/27</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 N 21/27		B

請求項の数 27 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2010-520648 (P2010-520648)	(73) 特許権者	599117680
(86) (22) 出願日	平成20年8月15日 (2008.8.15)		マルベルン インストルメンツ リミテッド
(65) 公表番号	特表2010-537165 (P2010-537165A)		ド
(43) 公表日	平成22年12月2日 (2010.12.2)		MALVERN INSTRUMENTS LIMITED
(86) 国際出願番号	PCT/IB2008/003743		イギリス ダブリュアール14 1エック
(87) 国際公開番号	W02009/063322		スゼット ウースターシア マルベルン、
(87) 国際公開日	平成21年5月22日 (2009.5.22)		グローヴウッド ロード、エニグマ ビジ
審査請求日	平成23年7月6日 (2011.7.6)		ネス パーク (番地なし)
(31) 優先権主張番号	60/964,828		ENIGMA BUSINESS PAR
(32) 優先日	平成19年8月15日 (2007.8.15)	(74) 代理人	100079980
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 飯田 伸行
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広幅分光計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸に整合したビーム出力を有する第1の空間的コヒーレント光源と；  
収束ビームを形成させるため該コヒーレント光源の後の光軸に沿って配置された焦点合  
 わせ光学部材と；

該光学部材の後の光軸に沿い、かつ、該収束ビームの通路に配置されたサンプルセルと  
 ；

該サンプルセルの後の光軸に沿い、かつ、該収束ビームの通路に配置された発散光学部  
 材と；

該発散光学部材からの第1の散乱角度範囲内の散乱光を受理するため光軸の外側に配置  
 された第1の検出器と；

光軸の外側に配置され、第2の散乱角度範囲内の散乱光を直接サンプルセルから受理す  
るようにした第2の検出器と；

を具備してなる粒子特性検出機器。

【請求項 2】

前記第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を更に備えてなる請求項1記  
 載の機器。

【請求項 3】

前記第1の光源の波長が前記第2の光源の波長よりも長く、これらの異なる波長により  
 機器に対する動的範囲を増大するようにした請求項2記載の機器。

10

20

## 【請求項 4】

前記第 1 の波長が赤近傍の分光の波長を有し、前記第 2 の波長が紫近傍の分光の波長を有する請求項 3 記載の機器。

## 【請求項 5】

前記発散光学部材が少なくとも 1 つの凹状屈折面を有するレンズである請求項 1 記載の機器。

## 【請求項 6】

前記第 1 の光源の波長とは異なる波長を有する第 2 の光源を更に備えてなる請求項 5 記載の機器。

## 【請求項 7】

前記第 1 の光源の波長が前記第 2 の光源の波長よりも長く、これらの異なる波長により機器に対する動的範囲を増大するようにした請求項 6 記載の機器。

## 【請求項 8】

前記凹状屈折面が円形凹面屈折部分であって、この円形凹面の一部が切り詰められていて散乱光が屈折されずに通過し得るようになっている請求項 5 記載の機器。

## 【請求項 9】

前記第 2 の検出器が円形凹面の切り詰め部分を通過した第 2 の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するようにした請求項 8 記載の機器。

## 【請求項 10】

光軸の外側に配置された第 3 の検出器を更に有し、発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第 3 の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するようにした請求項 9 記載の機器。

## 【請求項 11】

前記第 1 の光源の波長とは異なる波長を有する第 2 の光源を更に備えてなる請求項 10 記載の機器。

## 【請求項 12】

前記発散光学部材が凸状反射面を有する請求項 1 記載の機器。

## 【請求項 13】

前記発散光学部材が反射面を有し、この反射面が円形凸面の反射部分であって、この円形凸面の一部が切り詰められていて散乱光が反射されないで通過し得るようにした請求項 12 記載の機器。

## 【請求項 14】

前記第 2 の検出器が、円形凸面の切り詰め部を通過した第 2 の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するようにした請求項 13 記載の機器。

## 【請求項 15】

光軸の外側に配置された第 3 の検出器を更に有し、発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第 3 の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するようにした請求項 14 記載の機器。

## 【請求項 16】

前記第 1 の光源の波長とは異なる波長を有する第 2 の光源を備え、前記発散光学部材が二色性のもので、第 1 の光源からの光を反射させ、第 2 の光源からの光を通過させ、更に該発散光学部材の背後に第 2 の検出器を有し、第 2 の光源からの散乱光を受理するようにした請求項 12 記載の機器。

## 【請求項 17】

光軸の外側に配置された第 3 の検出器を更に有し、前記発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第 3 の散乱角度範囲内の第 2 の波長の散乱光を更に受理するようにした請求項 16 記載の機器。

## 【請求項 18】

光源と焦点合わせ光学部材との間に配置され光軸を曲げるミラーを更に有する請求項 1 記載の機器。

10

20

30

40

50

## 【請求項 19】

前記第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備え、該ミラーが二色性のもので、該第1の光源からの光を反射させ、該第2の光源からの光を通過させるようにした請求項18記載の機器。

## 【請求項 20】

前記第1の波長が赤色の波長であり、前記第2の波長が紫色の波長である請求項19記載の機器。

## 【請求項 21】

前記光源がソリッドステート光源である請求項1記載の機器。

## 【請求項 22】

サンプルセルの背後の光軸の外側に位置する少なくとも1つの後方散乱検出器を更に有する請求項1記載の機器。

10

## 【請求項 23】

前記第1および第2の検出器がマルチエレメント検出器である請求項1記載の機器。

## 【請求項 24】

前記発散光学部材を移動させるよう操作される少なくとも1つのアクチュエータを更に備えてなる請求項1記載の機器。

## 【請求項 25】

前記アクチュエータが前記発散光学部材をその光軸に沿って焦点調整のため移動させるよう操作される請求項24記載の機器。

20

## 【請求項 26】

前記アクチュエータが前記発散光学部材をその光軸に垂直に移動させ整合を調整するよう操作される請求項24記載の機器。

## 【請求項 27】

空間的コヒーレント光を照射させること；

光ビームを焦点合わせして、光の収束ビームを形成すること；

この光の収束ビームを複数の粒子と交差させて散乱光を生成させること；

第1の散乱角度範囲内の散乱光を発散光学系と交差させ、ついで散乱光を検出すること

;

第2の散乱角度範囲内の散乱光を直接検出すること；

30

を具備してなる粒子特性検出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は粒子からの散乱光を検出し粒子のサイズを判定するための機器に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

粒子の上に特定の波長を有する光が当てられたとき、粒子のサイズにより決定される角度範囲に亘って光が散乱することになる。従って、この散乱された光の角度範囲を測定することによりこの粒子のサイズを類推することができる。この原理は約0.1 μm乃至3000 μmの範囲の直径を有する粒子を測定するための可視レーザー光源を組み込んだ市販機器の基本として使用されている。

40

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0003】

1. フーリエ構造：

図1を参照すると、バルクサイズ分布が要求される場合、代表数（通常、多数）の粒子を光の静的ビームに通過させ、固定したサイズおよび位置の多数の光検出器上に散乱された光を検出するようにすることが好都合である。この照射ビームは、最も大きい粒子よりも直径が少なくとも10倍大きいことが好ましい。

50

## 【 0 0 0 4 】

これらの粒子は、このビームと交差する容積内で光を散乱させる。この容積の限定された広がり、セルの周りに単に配置された複数の検出器が或る角度範囲からの光を集めることを意味し、異なる粒子サイズの分別のための能力を減少させることになる。

## 【 0 0 0 5 】

図2を参照すると、フーリエ構造を採用する機器では分割された光検出器配置を使用することができる。この種の機器は異なる光の角度が解像されるような多重検出素子を備えている。

## 【 0 0 0 6 】

## 2. テレフォト(フーリエ) :

より大きい粒子の測定には、焦点を合わせたビームに近い小さな角度の検出が要求される。これは、このビームに最も近い光検出器のサイズを減少させるか、あるいはレンズからの検出器面の距離を増大させるため、より弱い焦点合わせレンズを使用することが求められるように思われる。図3を参照すると、小さな角度のみを測定する必要があるような精巧化された機器では、同様の有効焦点距離を確保しつつ、物理的距離を短縮するため、テレフォトレンズ配置が使用されている。

## 【 0 0 0 7 】

焦点合わせレンズは短い焦点距離を有し、凹レンズがその焦点より若干短い位置に配置され、散乱角度を拡張している。このシステムの限界は、著しい歪みを生じさせることなく、より大きい散乱角度を集めることのできる伸縮レンズ形式を作製することが容易ではないことである。伸縮レンズの径方向の広がりを超えて測定できる角度範囲があるが、これらは小角度検出範囲から不連続となるであろう。図示のようなレンズ配置では大きい角度を検出することができない。

## 【 0 0 0 8 】

## 2. 双眼フーリエ(クーラター) :

図4を参照すると、小さな角度と同時に、大きい角度を測定する場合の問題が、バックマンクーラターにより開発された2つの集合レンズシステムの組合せにより克服されている。光軸上のフーリエの一侧が切りつめられ、この側のより大きい角度の隠蔽されない検出を可能にし、同時に、中間角度が光軸の反対側にて検出されるようになっている。或る最小検出器空間について言うと、この機構はより長い通路長さを有するものとなる。なぜならば、有効焦点距離が軸方向レンズと検出器面との間の距離となり、セルと軸長との間に付加的距離が存在し、より大きい角度の検出を可能にするからである。

## 【 0 0 0 9 】

## 3. リバースフーリエ :

図5を参照すると、所謂リバースフーリエを使用して通路長さを減少させることが出来、この場合、焦点合わせレンズはサンプルの前に位置している。このシステムの有効焦点距離はサンプルと検出器面との間の距離となる。これは小さい前方角度から大きい前方角度までの連続的測定を可能にする。これらがレンズの焦点面に置かれる限り、検出器上にそれ以上のレンズを配置する必要はない。大きい前方角度の検出については、光集積面積を増加させるために個々の検出器の前方にレンズを配置すればよく、大きい検出器を使用する必要はない。これらの通路に適当に設計したレンズおよび開口を設けることにより、焦点面よりもサンプルにより近くにこれら検出器を配置させることが可能になる。焦点合わせレンズを測定容積から後方に適当距離セットすることにより後方散乱も測定することができる。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 0 】

1つの総括的形態として、本発明は、粒子特性検出機器を提供するものであって、この機器は、光軸に整合したビーム出力を有する第1の空間的コヒーレント光源を有する。焦点合わせ光学部材がコヒーレント光源の後の光軸に沿って配置され、サンプルセルがこの焦点合わせ光学部材の後の光軸に沿って配置される。この機器は更に、このサンプルセル

10

20

30

40

50

の後の光軸に沿って配置された発散光学部材と、この発散光学部材からの第1の散乱角度範囲内の散乱光を受理するため光軸の外側に配置された検出器とを具備している。

【0011】

好ましい態様として、この装置は更に、第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備えてもよい。第1の光源の波長は第2の光源の波長よりも長いものであり、これらの異なる波長により機器に対する動的範囲を増大することができる。この第1の波長は赤近傍の分光の波長を有し、第2の波長は紫近傍の分光の波長を有するものとすることができる。この装置は更に、光軸の外側に配置された第2の検出器を有していてもよく、これは発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第2の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。発散光学部材は少なくとも1つの凹状屈折面を有するレンズであってもよい。この装置は更に、第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備えてもよい。第1の光源の波長は第2の光源の波長よりも長いものであり、これらの異なる波長により機器に対する動的範囲を増大することができる。この装置は更に、光軸の外側に配置された第2の検出器を有していてもよく、これは発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第2の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。この凹状屈折面は円形凹面の屈折部分であって、この円形凹面の一部が切り詰められていて散乱光が屈折されずに通過し得るようにしてもよい。この装置は更に、光軸の外側に配置された第2の検出器を有していてもよく、これは円形凹面の切り詰め部分を通じた第2の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。この装置は更に、光軸の外側に配置された第3の検出器を有していてもよく、これは発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第3の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。この装置は更に、第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備えてもよい。発散光学部材は凸状反射面を有していてもよい。この発散光学部材は反射面を有し、この反射面が円形凸面の反射部分であって、この円形凸面の一部が切り詰められていて散乱光が反射されずに通過し得るようにしてもよい。この装置は更に、光軸の外側に配置された第2の検出器を有していてもよく、これは円形凸面の切り詰め部分を通じた第2の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。この装置は更に、光軸の外側に配置された第3の検出器を有していてもよく、これは発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第3の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。この装置は更に、第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備えてもよい。発散光学部材は二色性のもので、第1の光源からの光を反射させ、第2の光源からの光を通過させようとしてもよい。この装置は更に、発散光学部材の背後に第2の検出器を有し、第2の光源からの散乱光を受理しようとしてもよい。この装置は更に、光軸の外側に配置された第3の検出器を有していてもよく、これは発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第3の散乱角度範囲内の第2の波長の散乱光を更に受理するためのものである。この装置は更に、光源と焦点合わせ光学部材との間に配置され光軸を曲げるミラーを有していてもよい。この装置は更に、第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備えてもよく、ここで、上記ミラーは二色性のもので、第1の光源からの光を反射させ、第2の光源からの光を通過させようとしてもよい。この第1の波長は赤色の波長であり、第2の波長は紫色の波長であってもよい。光源はソリッドステート光源であってもよい。この装置は更に、サンプルセルの背後の光軸の外側に位置させた少なくとも1つの後方散乱検出器を有していてもよい。この装置は更に、第1の光源の波長とは異なる波長を有する第2の光源を備えてもよい。この装置は更に、光軸の外側に配置された第2の検出器を有していてもよく、これは発散光学部材の外側を通過させるような十分に大きい第2の散乱角度範囲内の散乱光を更に受理するためのものである。これら第1および第2の検出器はマルチエレメント検出器であってもよい。

【0012】

他の総括的形態として、本発明は、粒子特性検出方法を提供するものであって、この方法は、空間的コヒーレント光を照射させること、光ビームを焦点合わせして焦点合わせした光ビームを形成すること、この焦点合わせした光ビームを複数の粒子と交差させて散乱

10

20

30

40

50

光を生成させること、焦点合わせした光ビームと粒子間の相互作用からもたらされる散乱光の少なくとも一部を拡張させ、拡張した散乱光ビームを生成させること、この拡張した散乱光ビームの少なくとも一部を検出することを具備してなる。

【0013】

更なる総括的形態として、本発明は、粒子特性検出機器を提供するものであって、この機器は、空間的コヒーレント光を照射するための手段と、光ビームを焦点合わせして焦点合わせした光ビームを形成するための手段と、この焦点合わせした光ビームを拘束された複数の粒子と交差させて散乱光を生成させるための手段と、焦点合わせした光ビームと粒子間の相互作用からもたらされる散乱光の少なくとも一部を拡張させ、拡張した散乱光ビームを生成させるための手段と、この拡張した散乱光ビームの少なくとも一部を検出するための手段とを具備してなる。

10

【0014】

更なる総括的形態として、本発明は、粒子特性検出機器を提供するものであって、この機器は、第1の波長と第1のビーム出力を有する第1の空間的コヒーレント光源と；該第1の波長とは異なる第2の波長と第2のビーム出力を有する第2の光源と；第1のビーム出力および第2のビーム出力にตอบสนองし、該第1のビーム出力からの第1の出力ビームの少なくとも一部および該第2のビーム出力からの第2の出力ビームの少なくとも一部を同じ光軸に沿って向けさせるよう配置された第1の光学的結合手段と；該同じ光軸に沿って配置され、同じ光軸に沿って向けさせられた第1の出力ビームおよび第2の出力ビームを受理するサンプルセルと；前記光軸の外側に配置され、該サンプルと、該第1の出力ビーム又は第2の出力ビームのいずれかとの間での相互作用からもたらされるサンプルセルからの散乱光を受理するための第1の検出器とを具備してなる。

20

【0015】

好ましい具体例として、前記光学的結合手段は二色性ミラーであってもよい。この機器は更にもう1つのミラーを有するものでもよく、この場合、二色性ミラーは第1の出力ビームの少なくとも一部を上記光軸に沿って再配向させ、他のミラーは第2の出力ビームの少なくとも一部を上記光軸に沿って再配向させるようにする。この機器は更に、第1の出力ビームの少なくとも一部を受理するよう配置された第1の検出器と、第2の出力ビームの少なくとも一部を受理するよう配置された第2の検出器とを具備するものであってもよい。前記光学的結合手段はこれらビームの完全なオーバーラップを可能にするよう配置させることができる。前記第2の光源は空間的コヒーレント光源であってもよい。

30

【0016】

他の総括的形態として、本発明は、粒子特性検出方法を提供するものであって、この方法は、第1の波長を有する第1の空間的コヒーレント光ビームを照射させること、第2の波長を有する第2の光ビームを照射させること、該第1および第2の光ビームの少なくとも一方を同じ光軸に沿って照射させるよう方向づけること、第1の方向づけられた光ビームを光軸中の複数の粒子を含むサンプルと相互作用させ散乱光を生成させること、第1の光ビームからの散乱光を検出すること、第2の方向づけられた光ビームを光軸中のサンプルと相互作用させ更なる散乱光を生成させること、第2の光ビームからの散乱光を検出することを具備してなる。

40

【0017】

好ましい具体例として、前記方向づけ工程が、第1および第2の光ビームを再配向させる2部工程であってもよい。第2の光ビームを照射させる工程が空間的コヒーレント光を照射させるものであってもよい。第1の光ビームを照射させる工程および第1の光ビームからの散乱光を検出する工程は、第2の光ビームを照射させる工程の前に行われるものであってもよい。

【0018】

更なる総括的形態として、本発明は、粒子特性検出機器を提供するものであって、この機器は、第1の波長を有する第1の空間的コヒーレント光ビームを照射させる手段と；第2の波長を有する第2の空間的コヒーレント光ビームを照射させる手段と；該第1および

50

第2の光ビームの少なくとも一方を同じ光軸に沿って照射させるよう方向づける手段と；第1の方向づけられた光ビームを光軸中の複数の粒子を含むサンプルと相互作用させ散乱光を生成させる手段と；第2の方向づけられた光ビームを光軸中のサンプルと相互作用させ更なる散乱光を生成させる手段と；該第1および第2の光ビームからの散乱光を検出するための手段とを具備してなる。

【発明の効果】

【0019】

本発明に係る機器は、実用的でない小さな検出素子又は長い光学路の使用を必要とすることなく、同じハードウェア構成で前方角度の高解像度の検出および大きい前方および後方角度の検出が可能となる。さらに、これをネガティブレンズなどの発散光学部材をリバー  
10  
ースフーリエ構造に付加し、焦点合わせされたビーム近傍の小さな角度を拡大することにより達成することができる。本発明に係る機器は、二重光源などの使用を介するなどして広い波長域に亘って高品質測定を可能にするなどの点でも有益である。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】フーリエを使用して従来の粒子測定機器を模式的に示す図。

【図2】従来の分割された検出器配列の1セットを示す斜視図。

【図3】テレフォト受理レンズ構造を使用する低角度検出能を備えた従来の機器を示す模式図。

【図4】クールター双目光学部材を備えた従来の機器を示す模式図。  
20

【図5】リバーフーリエ光学部材構造を備えた従来の機器を示す模式図。

【図6】発散レンズを採用した本発明による粒子サイズ測定機器を示す斜視図。

【図7】発散ミラーを採用した本発明による粒子サイズ測定機器を示す斜視図。

【図8】2つの波長を使用した本発明による粒子サイズ測定機器を示す斜視図。

【図9】2つの波長を使用した本発明による粒子サイズ測定機器を示す立面図。

【図10】図8および図9との関連で表した二重波長アプローチを総括的に示す模式図。

【図11】図8および図9との関連で表した二重波長アプローチを示すものであって、赤のサンプリングが別のホールドミラー上で行われる模式図。

【発明を実施するための形態】

【0021】  
30

図6および図7を参照すると、本発明の1つの好ましい形態において、広い範囲のサンプルサイズを小さな空間に収めつつ測定することが可能な機器を作り出すための僅かな付加的特徴が備えられている。レーザーダイオードからの赤色光がピンホールを介して焦点に結ばれ、光源から収差および迷光を取除くようにしている。ついで、この光は平面ミラー70を使用して機器の光軸内に反射される。小さいが固定された割合の光が二色性コーティングを介して光検出器に通される。この光検出器はレーザー源の出力をモニターしたり制御したりするのに使用される。

【0022】  
40

主ビームは焦点合わせレンズ72に到達するまで膨張し続け、これを越えると50mm離れたフローセル(74)で10mmの $1/\sqrt{2}$ 径に収束する。散乱しなかった光は、それが発散レンズ76(図6)又は凸状青色通過二色性ミラー108(図7)に当たるまで焦点に向かって収束し続ける。これらは1側が切欠されていて $3.7^\circ$ 以上の散乱角度を許容し、光を1側において焦点面中の光検出器列78に向けて通過させる。この湾曲ミラーが光軸80および散乱検出と垂直な面に傾けられ、反射されたビームが他の焦点面検出器上に焦点を結ぶようになっている。このミラーは更に低角度散乱光を第2の検出器配列に反射させるようになっている。焦点合わせさせたビームの上下で $1.7^\circ$ まで検出できるようになっている。なぜならば、このレンズがその5mm下方が切り詰められていて水平に又は上方に $4^\circ$ までの角度の範囲を検出できるようになっているからである。 $4^\circ$ ないし $7.6^\circ$ の範囲の角度の検出は反射レンズを避けるため、下向きでなければならない。 $7.6^\circ$ からセル限界までの前方角度は、低角度焦点面検出器により不明瞭とならない任意の方位で検出することができる。好ましい  
50

具体例において、これらの大きい前方角度は、焦点合わせされたビームの上下の一連のサイドスキャター検出器および2個又は3個の更なる個々のレンズ付き検出器を用いて上方で検出される。

【0023】

この機構の有効焦点長さはこのシステムの通路長さよりも多数倍長い。好ましい具体例において、検出器に焦点合わせされたビームの開口数は、セルから検出器までの900mmの距離と等価であるが、全体の光学列は300mmよりも短い。

【0024】

1具体例において、0.905開口数の658nm光源からの第1のレンズの第1の面の距離は128.6mmである。この第1のレンズはN-BK7ガラスから作られ、中心の厚みが5.0mmで、曲率半径がそれぞれ-102.3mmおよび-41.3mmである。

10

【0025】

第2のレンズは接合二重レンズ系(ダブレット)であって、光軸に沿って最初のレンズから1.0mmのエアギャップを有する。最初の表面の曲率半径は115.2mmでセンターラインの厚みは2.5mmで、材料はN-LASF44ガラスである。

【0026】

界面表面の曲率半径は35.8mmである。このダブレットの第2の構成要素はN-BK7ガラスであって、中心の厚みが8mmで、出口曲率半径が-93.8mmである。これらの構成要素は図6A中、72で示すモジュールを形成している。フローセルは図6Aの73で示すように50mm離れていて、厚さ3mm、ウォータギャップが2.2mmの2つのN-BK7窓を有する。

20

【0027】

ネガティブレンズはN-LASF44ガラスからなり、図6A、6B中76として示されている。その最初の曲率半径は-22.1mmであり、フローセル出口面から139.2mm離れている。その中心の厚みは2.5mmであって、その第2の面の曲率半径は70.4mmである。その中心軸の1側に5mmの弦状カットが施されている。

【0028】

焦点面検出器配列はネガティブレンズの出口面から95.5mm離れていて、図6A中、78で示されている。更に0.1mmの径のピンホールを有し、焦点合わせされたビームの通過を許容するように配置されている。この焦点面検出器配列は38個の感光素子を有し、これらの殆どは、後方検出器間の拡大比約20%の割合で0.08mmないし65.3mmの距離を以って一方の側に配置されている。

30

【0029】

伸縮レンズの切欠部側近傍に配置されたサイドスキャター検出器は、4度もの低い散乱角度を測定することができ、これは焦点面上の外側検出器により十分に測定可能な範囲内のものである。

【0030】

図7を参照すると、本発明による粒子サイズ測定機器は発散ミラー108を使用することができる。この種の具体例において、低角度散乱光110が低角度焦点面検出器104へと反射して戻される。この配置は、機器を更に短くすることを可能にする。このミラーベースの具体例は、他の点においてはレンズベースの具体例と同様のものでよい。

40

【0031】

これら検出器は、粒子の形状又は配向についての情報を収集する必要がある場合には、2以上の散乱面内の光を収集するように配置することができる。

【0032】

図8および図9を参照すると、上述の構成は光の2以上の波長の測定を可能にするよう向上させることができる。好ましい具体例において、焦点合わせされたビームの主たるものは、レーザーダイオードからの公称658nmの波長のものであり、バイオレットLEDでは403nmである。このLEDからの光はマスクし、赤色レーザービームと同様の(又は若干小さい)開口数を提供するように調整する必要がある。それ自身の二色性ミラー120, 130で反射されるようにする。この光は赤色ビーム122, 132を反射、分割させるのに使用される二色性

50

ミラーを通過することができる。この光は同一の検出器の使用を可能にするため、赤色ビームの光軸に整合させる必要がある。

【0033】

バイオレットLEDからのビームの質は一般に、赤色レーザーの場合と同様にその伝達が測定できるほど十分に良好ではないので、好ましい具体例においては、伸縮レンズ上の反射性コーティングはショートパス (short-pass) 二色性であって紫色光を通過させる。伸縮レンズの裏面は、検出器面の中心に光が焦点を結ぶような形状となっている。

【0034】

もちろん、他の波長範囲のものを使用することができる。例えば、赤色源を近赤外線源で置換することができ、紫色源を青色又は近紫外線源で置換することもできる。これらの置換により機器の動的範囲を改善することができるが、更なる問題を生起させることもある。例えば、より高価な光学材料を必要とすることがある。或る具体例として、整調可能な波長源、又は二重波長源を使用してもよい。

【0035】

光源は真に単色性である必要はないが、これらは空間的コヒーレントであることが好ましく、それにより、より大きい粒子からの散乱を焦点合わせされたビームから差別させるようにする。レーザーダイオードおよびLEDが現在使用されているが、他のタイプの光源を使用することも可能である。例えば、ナトリウムランプ、水銀アークランプ、他のタイプのレーザーである。

【0036】

多重光源を使用する場合、これらは図8および図9に示すようなミラー配置を有する装置と結合させる必要はない。例えば、単一のミラーを分ち合い光源を連続的にオンにしたり、オフにしたりする。これら光源は、システムの主光源と整合するようにその1つ又はそれ以上を配置させることによりシステムに結合させてもよい。しかし、その場合、機器の長さが延びることになる。これら光源は公知のモジュール化方法により駆動させてもよい。

【0037】

図10および図11を参照すると、2以上の光源の使用は、従来のジオメトリーを使用する機器にも適用することができる。同軸に配置した2つの照明光源を設けることにより同一の検出器を使用して異なる波長での散乱を検出することができる。これは異なる角度で照明ビームを使用する従来のシステムに対する改善となる。なぜならば、検出器の全範囲が活用されるからである。

【0038】

少なくとも1個の二色性ミラーの使用はこの場合好ましいが、ビームを組み合わせる他のアプローチも使用することができる。例えば、偏光、ポルカドットミラー又はセミシルバード (semi-silvered) ミラーの使用である。この場合、赤色モニタリングを可能し、ガラス表面を、表面不完全による回折システムにおいて、小さくすることができるという利点も生じる。

【0039】

伝達された第2の波長 (すなわち、青色) の光は、図11に示すような第2の赤色パス二色性ミラー196により反射された後、(i) 焦点面検出器の内側チャンネルの幾つかにより、又は(ii) 別の検出器194により測定することができる。このアプローチの利点は、ダイオード表面からの反射がセルに後戻りしバックscatter信号が汚染されるのを防止する効果的方法であるという点である。更に、青色源がLEDである場合、すなわち、レーザーと同じように視準できないLEDである場合、同一の光軸に従う2つのビーム間に幾らかの不整合又は若干の角度が生じる。

【0040】

第2の波長のためブルーレーザーを使用する場合、双方のレーザーとも同一の点に焦点合わせさせたり、整合させたりすることができる。別の整合機構がこれを達成するのに必要となるであろう。例えば、ブルーサンプルミラー170に対しチップチルト機構を使用す

10

20

30

40

50

ることである。この場合、これらレーザーは検出器面で数ミクロンの範囲以内で（赤色ビームで達成されたものと等価で）、セルにて1又は2ミリ又はそれより良く一致させる必要がある。この設計の意図はこれらが完全に同軸となるようにすることである。

【0041】

焦点面検出器近傍の二色性ミラー196は、青色光が焦点面検出器190上に集まるのを防止するが、赤色光とは干渉しない。このミラーは、より大きな角度（すなわち、青色光源の視準限界より実質的に上の角度）が、散乱赤色光を測定することを意図するものと同じ検出器に対し得られるように位置決めされる。例えば、1実施例において、15の“サイドスキャター”検出器素子が焦点面の1側に配置されており、これらは双方の波長について6ないし60度の散乱角度を集めることができる。この焦点面検出器素子は赤色光のみを集めるようになっている。低角度青色光は青色トランスミッションモニター194により集められる。

10

【0042】

この機器は二色性ミラー196およびトランスミッションモニター194なしで傾斜焦点面検出器190を使用することもできる。この構造を使用する場合、焦点面検出器を小さな角度で傾斜させるなどの手段により、焦点面からの反射光が反射によりセルに戻されないように確保する必要がある。

【0043】

これら検出器は素子の配列として、および/又は個々の検出器として組織化することができる。周知のように、これら検出器を実質的な対数数列に従い、幾つかを検出器の角度範囲内でオーバーラップするようにして組織化することが好ましい。

20

【0044】

サンプルは種々の様式で機器に提供することができるが、サンプルの深さは機器の正確性を維持するために抑制する必要がある。この目的のため、光軸に対し少なくともほぼ垂直な少なくとも2つの壁面を有するサンプルセルが好ましい。更に、これら壁面はサンプル材料が機器を汚染しないよう提供することもできる。

【0045】

本発明に従って構築された機器は、一般に、異なる環境条件下およびサンプル提示配置の下で整合および焦点合わせを維持する必要がある。焦点面光検出器配列を移動させる従来の機構とは異なり、この光学機構は光軸に対し垂直な2つの軸に伸縮性光学部材を移動させることにより再整合を達成することができ、その間、焦点面配列は機器の他の部材との関連で固定され続けることができる。このレンズの必要とする移動量は、同じ不整合を修正するために焦点面配列を移動させるのに必要な移動量よりも小さい（望遠鏡比に似た係数で）。このことは、焦点面検出エレクトロニクスを移動させるのに必要な、より厄介な機構ではなく、単純な微調整装置により予想される移動範囲を実行することを可能にする。

30

【0046】

焦点修正も同様に、伸縮光学部材の光軸に沿う小さな移動により達成することができ、必要な動きの範囲および複雑性を同様にして有益に減少させることができる。光学部材の動きは、特定の条件について検出器素子により受理される光のパターンを最適化するため、各測定の前に行われる。検出器配列を移動させるのに使用し得る任意の方法を、伸縮光学部材の移動にも使用することができる。そのような方法には、圧電性アクチュエータなどの種々の異なるアクチュエータの使用が含まれる。

40

【0047】

以上、本発明を、種々の具体例を参照して説明したが、本発明の範囲に包含される多くの変形例が可能であることは当業者にとって自明であろう。従って、本発明の範囲は、ここに添付した特許請求の範囲によってのみ制限されるべきものである。更に、請求項の記載の順序は請求項中の用語の範囲を制限するものと解すべきではない。

【符号の説明】

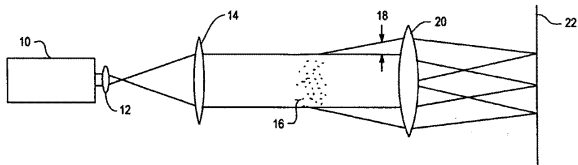
【0048】

50

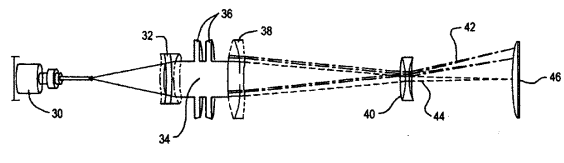
10	1 mW He/Neレーザー	
12	ビームエキスパンダー	
14	視準レンズなどからの平行単色光	
16	粒子フィールド	
18	1 $\mu\text{m}$ 粒子についての - 1.1 度	
20	フーリエ変換レンズ	
22	レンズの焦点面中の検出器	
24	分割された光検出器配列	
30	レーザー源	
32	視準レンズ	10
34	サンプル	
36	セルの窓	
38	焦点合わせレンズ	
40	伸縮レンズ	
42	高角度散乱 (小さい粒子)	
44	低角度散乱 (大きい粒子)	
46	平面検出器配列	
50	レーザー	
52	後方散乱光検出器	
70(図6)	平面ミラー	20
70(図7)	青色通過二色性ミラー	
72	焦点合わせレンズシステム	
74	フローセル	
76	発散レンズ	
78	光検出器配列	
80	光軸	
90	ダイオード源赤色レーザー	
92	後方散乱光検出器	
94	後方散乱光検出器	
96	フローセル	30
98	焦点面検出器、低角度	
100	散乱光検出器	
102	低開口数ビーム	
104	高開口数ビーム	
106	焦点面検出器、高角度	
108	切り詰められた傾斜凸面ミラー	
110	低角度散乱光	
120	紫色二色性ミラー	
122	赤色二色性ミラー	
130	紫色二色性ミラー	40
132	赤色二色性ミラー	
140	青色サンプルミラー	
142	二色性ミラー	
144	抗反射性コーティング (青色)	
146	抗反射性コーティング (赤色)	
150	青又は紫色LED	
152	レーザー (赤色)	
154	光収集レンズ	
156	検出器	
164	光収集レンズ	50

- 166 検出器
- 170 青色サンプルミラー
- 172 赤色通過二色性ミラー
- 174 光収集レンズ
- 176 赤色サンプルミラー
- 178 光収集レンズ
- 184 サンプルセル
- 186 抗反射性コーティング
- 188 抗反射性コーティング
- 190 焦点面検出器
- 192 主焦点合わせレンズ
- 194 青色伝達モニター
- 196 二色性（青色光を反射する）

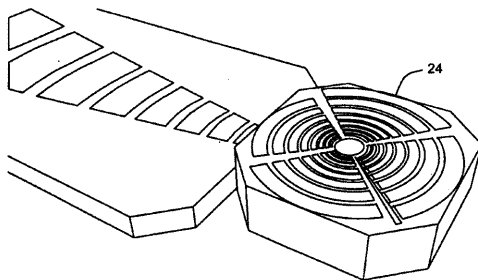
【図1】



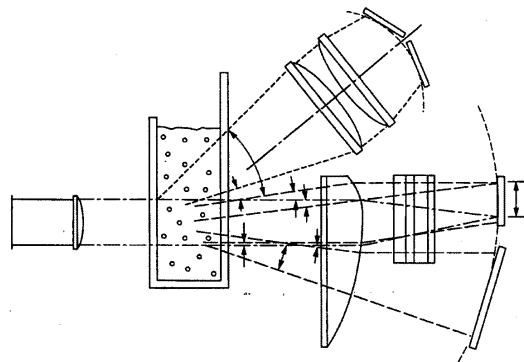
【図3】



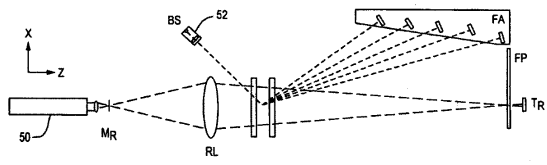
【図2】



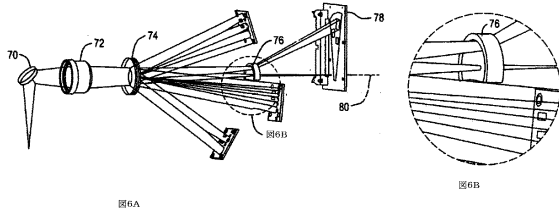
【図4】



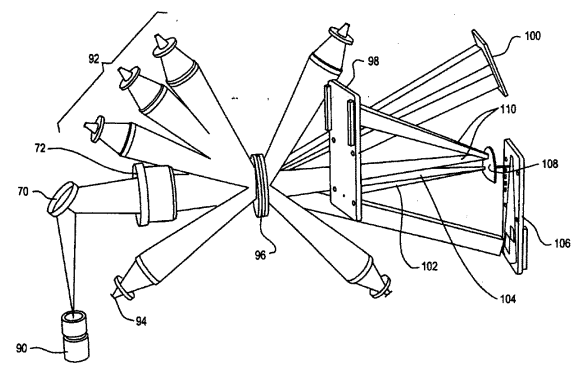
【 図 5 】



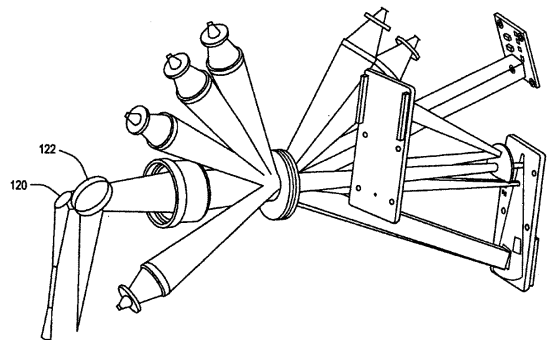
【 図 6 】



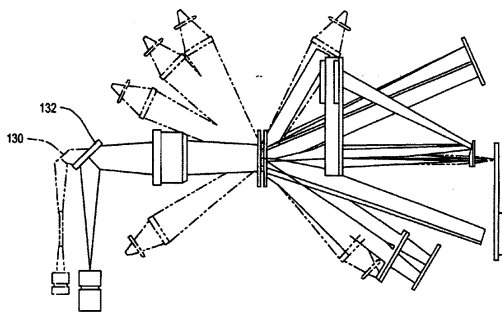
【 図 7 】



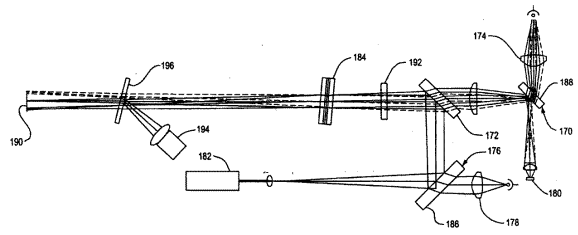
【 図 8 】



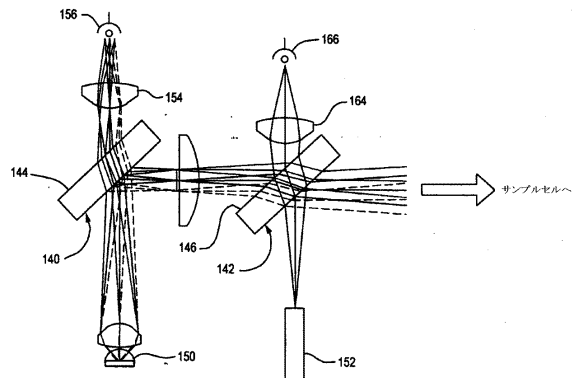
【 図 9 】



【 図 11 】



【 図 10 】



## フロントページの続き

- (72)発明者 ジョーンズ, ルイス  
イギリス ダブリュール14 4エヌイー ウースターシア, ウェスト マルベルン, ラム バ  
ンク 3
- (72)発明者 ライトフット, ナイジェル  
イギリス ダブリュール14 2エヌジェイ ウースターシア, マルベルン, サンライズ 22
- (72)発明者 スプリッグス, デイビッド  
イギリス ダブリュール14 1イーピー ウースターシア, マルベルン, ロウアー ハウエル  
ロード, ホリーズ ミューズ 5
- (72)発明者 スtringフェロー, デイビッド  
イギリス ダブリュール14 4イーピー ウースターシア, マルベルン, オールド ウィッチ  
ェ ロード 40

審査官 高橋 亨

- (56)参考文献 特開2000-105185(JP, A)  
特開2001-330551(JP, A)  
特開平03-505131(JP, A)  
特開2001-116692(JP, A)  
特開平02-173550(JP, A)  
特表平03-505130(JP, A)  
実開平04-078543(JP, U)  
特表平10-500776(JP, A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 15/00 - 15/14  
G01N 21/27