(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110300884 B
(45)授权公告日 2022.03.29

(21)申请号 201780085969.5
(22)申请日 2017.12.01
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110300884 A
(43)申请公布日 2019.10.01
(30)优先权数据
16203074.6 2016.12.09 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.08.08
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2017/081088 2017.12.01
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2018/104153 EN 2018.06.14

(73)专利权人 通快光电器件有限公司
地址 德国乌尔姆
(72)发明人 J·H·M·斯普鲁伊特
A·M·范德莱 P·T·于特 (续)
(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
代理人 周家新

(51)Int.Cl.
G01N 15/06(2006.01) (续)
(56)对比文件
CN 106066294 A,2016.11.02 (续)
审查员 魏珊珊

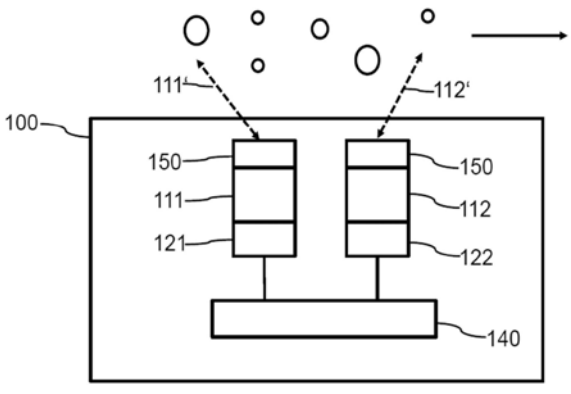
权利要求书4页 说明书19页 附图10页

(54)发明名称

光学颗粒传感器模块

(57)摘要

本发明描述一种激光传感器模块。所述激光传感器模块包括:适用于发射第一测量光束(111')的至少第一激光器(111)和适用于发射第二测量光束(112')的至少第二激光器(112);光学装置(150),其设置用于至少将所述第一测量光束(111')聚焦到第一测量区(161),所述光学装置还设置用于至少将所述第二测量光束(112')聚焦到第二测量区(162),其中,所述光学装置的特征在于关于所述第一测量光束(111')的第一数值孔径和关于所述第二测量光束(112')的第二数值孔径,其中,所述第一数值孔径和所述第二数值孔径设置用以在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸,其中,所述参考速度在包括所述参考速度的0.01m/s与7m/s之间的预定的速度范围内进行选择,其中,所述第一测量光束(111')和所述第二测量光束(112')相互围成10°和160°之间的角度;至少第一检测器(121),其适用于确定所述第一激光器(111)的第一激光器腔内的第一光波的第一自混合干涉信号;至少第二检测器(122),其适用于确定所述第二激光器(112)的第二激光器腔内的第二光波的第二自混合干涉信号;分析处理装置(140),其中,所述分析处理装置(140)适用于接收由至少第一检测器(121)和第二检测器(122)响应于所确定的自混合干涉信号而产生的检测信号,其中,所述分析处理装置(140)还适用于通过在预定的时间段内接收到的检测信号来确定由所述第一检测器(121)检测到的颗粒的至少第一平均速度和由所述第二检测器(122)检测到的颗粒的至少第二平均速度,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于由所述第一检测器(121)在预定的时间段内提供的检测信号来确定颗粒的 (续)



CN 110300884 B

[转续页]

[接上页]

(72)发明人 H•J•门希 J•W•黑尔米格
R•奥温克

(51)Int.Cl.
G01N 15/14(2006.01)

(56)对比文件
US 9354315 B2,2016.05.31
CN 102564909 A,2012.07.11
CN 102089645 A,2011.06.08
JP 2012515894 A,2012.07.12
JP 2009544024 A,2009.12.10

(57)摘要
至少第一数量并且基于由所述第二检测器(122)在预定的时间段内提供的检测信号来确定颗粒的至少第二数量,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于平均颗粒速度来确定颗粒密度,所述平均颗粒速度至少通过所述第一平均速度和所述第二平均速度、所述颗粒的至少第一数量和所述颗粒的至少第二数量来确定。本发明还涉及一种颗粒密度检测的方法和一种相应的计算机程序产品。本发明还涉及一种包括这样的激光传感器模块(100)的移动通信装置(190)。

1.一种用于检测小颗粒的颗粒密度的激光传感器模块(100),所述小颗粒具有0.05μm与10μm之间的颗粒尺寸,所述激光传感器模块包括:

至少第一激光器(111)和至少第二激光器(112),第一激光器适用于发射第一测量光束(111'),第二激光器适用于发射第二测量光束(112');

光学装置(150),所述光学装置设置用于至少将所述第一测量光束(111')聚焦到第一测量区(161),所述光学装置还设置用于至少将所述第二测量光束(112')聚焦到第二测量区(162),其中,所述光学装置的特征在于关于所述第一测量光束(111')的第一数值孔径和关于所述第二测量光束(112')的第二数值孔径,其中,所述第一数值孔径和所述第二数值孔径设置用以在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸,其中,所述参考速度在0.01m/s与7m/s之间的预定的速度范围内进行选择,其中,所述第一测量光束(111')和所述第二测量光束(112')相互围成10°和160°之间的角度Φ;

至少第一检测器(121),第一检测器适用于确定所述第一激光器(111)的第一激光器腔内的第一光波的第一自混合干涉信号;

至少第二检测器(122),第二检测器适用于确定所述第二激光器(112)的第二激光器腔内的第二光波的第二自混合干涉信号;

分析处理装置(140),其中,所述分析处理装置(140)适用于接收由至少第一检测器(121)和第二检测器(122)响应于所确定的自混合干涉信号而产生的检测信号,其中,所述分析处理装置(140)还适用于通过在预定的时间段内接收到的检测信号来确定由所述第一检测器(121)检测到的颗粒的至少第一平均速度和由所述第二检测器(122)检测到的颗粒的至少第二平均速度,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于由所述第一检测器(121)在预定的时间段内提供的检测信号来确定颗粒的至少第一数量并且基于由所述第二检测器(122)在预定的时间段内提供的检测信号来确定颗粒的至少第二数量,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于平均颗粒速度、颗粒的至少第一数量和颗粒的至少第二数量来确定颗粒密度,所述平均颗粒速度至少通过所述第一平均速度和所述第二平均速度来确定,

其中,颗粒密度为单位体积或单位面积内颗粒的平均数量。

2.根据权利要求1所述的激光传感器模块(100),其中,所述第一测量光束(111')与参考表面(102)围成第一角度β1,其中,所述第二测量光束(112')与所述参考表面(102)围成第二角度β2,其中,所述第一测量光束在所述参考表面(102)上的投影(111")和所述第二测量光束在所述参考表面(102)上的投影(112")围成20°与160°之间的角度γ。

3.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,关于所述测量光束(111',112')的所述第一数值孔径和所述第二数值孔径在0.01与0.06之间,其中,所检测到的颗粒的参考速度小于1m/s。

4.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,选择所述参考速度,使得在包括所述参考速度的所述预定的速度范围内的颗粒密度误差最小化是关于所述参考速度对称的。

5.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,所述分析处理装置(140)还适用于通过包括所述参考速度与所确定的平均颗粒速度之间的比率的立方根的因子来校正所确定的颗粒密度。

6.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,所述第一测量区(161)在所述第一测量光束(111')的方向上线性地延伸,其中,所述第二测量区(162)在所述第二测量光束(112')的方向上线性地延伸,其中,所述分析处理装置(140)适用于确定对于检测所述第一测量区(161)中的颗粒的第一相对可能性,其中,所述分析处理装置适用于确定对于检测所述第二测量区(162)中的颗粒的第二相对可能性,其中,所述分析处理装置(140)进一步适用于通过所述第一相对可能性和所述第二相对可能性来校正所确定的颗粒密度。

7.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,所述分析处理装置(140)还适用于确定在第一信噪比阈值水平下的第一颗粒计数率和在不同于所述第一信噪比阈值水平的第二信噪比阈值水平下的第二颗粒计数率,其中,所述分析处理装置(140)还适用于通过所述第一颗粒计数率和所述第二颗粒计数率来校正所确定的颗粒密度。

8.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,所述激光传感器模块(100)包括适用于发射第三测量光束(113')的至少第三激光器(113),其中,所述光学装置(150)设置用于将所述第三测量光束(113')聚焦到第三测量区(163),其中,所述第一测量光束(111')、所述第二测量光束(112')和所述第三测量光束(113')相互围成10°与110°之间的角度,所述激光传感器模块(100)还包括第三检测器,所述第三检测器适用于确定所述第三激光器(113)的第三激光器腔内的第三光波的第三自混合干涉信号,其中,所述分析处理装置(140)还适用于接收由所述第三检测器产生的检测信号,其中,所述分析处理装置(140)还适用于确定在预定的时间段内由所述第三检测器检测到的颗粒的第三平均速度,其中,所述分析处理装置(140)还适用于借助在预定的时间段内由所述第三检测器产生的检测信号来确定颗粒的第三数量,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于平均颗粒速度以及所述颗粒的第一数量、所述颗粒的第二数量和所述颗粒的第三数量来确定颗粒密度,所述平均颗粒速度通过所述第一平均速度、所述第二平均速度和所述第三平均速度来确定。

9.根据权利要求1或2所述的激光传感器模块(100),其中,所述激光传感器模块(100)设置用于在第一模式中检测所述颗粒密度,其中,所述激光传感器模块(100)设置用于在第二模式中检测具有至少1mm的尺寸的对象的接近。

10.根据权利要求2所述的激光传感器模块(100),所述第一测量光束在所述参考表面(102)上的投影(111")和所述第二测量光束在所述参考表面(102)上的投影(112")围成60°和120°之间的角度γ。

11.根据权利要求2所述的激光传感器模块(100),所述第一测量光束在所述参考表面(102)上的投影(111")和所述第二测量光束在所述参考表面(102)上的投影(112")围成80°与100°之间的角度γ。

12.根据权利要求3所述的激光传感器模块(100),关于所述测量光束(111',112')的所述第一数值孔径和所述第二数值孔径在0.02与0.04之间。

13.一种用于检测小颗粒的颗粒密度的激光传感器模块(100),所述小颗粒具有0.05μm与10μm之间的颗粒尺寸,所述激光传感器模块包括:

至少第一激光器(111)和至少第二激光器(112),第一激光器适用于发射第一测量光束(111'),第二激光器适用于发射第二测量光束(112');

光学装置(150),所述光学装置设置用于至少将所述第一测量光束(111')聚焦到第一测量区(161),所述光学装置还设置用于至少将所述第二测量光束(112')聚焦到第二测量

区(162),其中,所述光学装置的特征在于关于所述第一测量光束(111')的第一数值孔径和关于所述第二测量光束(112')的第二数值孔径,其中,所述第一数值孔径和所述第二数值孔径设置用以相对于所述测量光束(111',112')在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸,其中,所述参考速度在0.01m/s与7m/s之间的预定的速度范围内进行选择,其中,所述第一测量光束(111')和所述第二测量光束(112')相互围成10°和160°之间的角度φ;

至少第一检测器(121),第一检测器适用于确定第一干涉信号;

至少第二检测器(122),第二检测器适用于确定第二干涉信号;

分析处理装置(140),其中,所述分析处理装置(140)适用于接收由至少第一检测器(121)和第二检测器(122)响应于所确定的干涉信号而产生的检测信号,其中,所述分析处理装置(140)还适用于通过在预定的时间段内接收到的检测信号来确定由所述第一检测器(121)检测到的颗粒的至少第一平均速度和由所述第二检测器(122)检测到的颗粒的至少第二平均速度,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于由所述第一检测器(121)在预定的时间段内提供的检测信号来确定颗粒的至少第一数量并且基于由所述第二检测器(122)在预定的时间段内提供的检测信号来确定颗粒的至少第二数量,其中,所述分析处理装置(140)还适用于基于平均颗粒速度、颗粒的至少第一数量和颗粒的至少第二数量来确定颗粒密度,所述平均颗粒速度至少通过所述第一平均速度和所述第二平均速度来确定,

其中,颗粒密度为单位体积或单位面积内颗粒的平均数量。

14.根据权利要求13所述的激光传感器模块(100),其中,所述激光传感器模块(100)设置用于基于所述第一测量光束(111')通过所述第一测量光束(111')的部分反射来提供第一参考光束并且基于所述第二测量光束(112')通过所述第二测量光束(112')的部分反射来提供第二参考光束,其中,所述第一检测器(121)设置用于基于所述第一测量光束(111')的反射光与所述第一参考光束的干涉来确定所述第一干涉信号,其中,所述第二检测器(122)设置用于基于所述第二测量光束(112')的反射光与所述第二参考光束的干涉来确定所述第二干涉信号。

15.根据权利要求13或14所述的激光传感器模块(100),其中,所述第一检测器(121)与所述第一激光器(111)分离,其中,所述第二检测器(122)与所述第二激光器(112)分离,其中,所述激光传感器模块(100)还包括设置用于提供所述第一参考光束的第一分束器,其中,所述激光传感器模块(100)还包括设置用于提供所述第二参考光束的第二分束器。

16.一种移动通信装置(300),所述移动通信装置包括根据前述权利要求中任一项所述的激光传感器模块(100),其中,所述移动通信装置设置用于呈现由所述激光传感器模块(100)提供的测量结果。

17.一种用于对颗粒进行颗粒检测的方法,所述颗粒具有0.05μm与10μm之间的颗粒尺寸,所述方法包括以下步骤:

通过第一激光器(111)来发射至少第一测量光束(111');

通过第二激光器(112)来发射至少第二测量光束(112');

以第一数值孔径对第一测量光束(111')进行聚焦,其中,所述第一数值孔径设置用于在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸,其中,所述参考速度在0.01m/s与7m/s之间的预定的速度范围内;

以第二数值孔径对第二测量光束(112')进行聚焦,其中,所述第二数值孔径设置用于

在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸,其中,所述参考速度在预定的速度范围内;

确定所述第一激光器(111)的第一激光器腔内的第一光波的第一干涉信号或第一自混合干涉信号;

确定所述第二激光器(112)的第二激光器腔内的第二光波的第二干涉信号或第二自混合干涉信号;

基于在预定义的时间段内确定的第一干涉信号或第一自混合干涉信号来确定第一平均速度;

基于在预定义的时间段内确定的第二干涉信号或第二自混合干涉信号来确定第二平均速度;

通过在预定义的时间段内确定的第一干涉信号或第一自混合干涉信号来确定颗粒的第一数量;

通过在预定义的时间段内确定的第二干涉信号或第二自混合干涉信号来确定颗粒的第二数量;

至少基于所述第一平均速度和所述第二平均速度来确定平均速度;

至少基于所确定的平均速度、所述颗粒的第一数量和所述颗粒的第二数量来确定颗粒密度,

其中,颗粒密度为单位体积或单位面积内颗粒的平均数量。

18.一种计算机程序介质,其包括代码单元,所述代码单元能够被存储在由根据权利要求1-15中任一项所述的激光传感器模块(100)所包括的至少一个存储器装置上或被存储在包括所述激光传感器模块(100)的装置的至少一个存储器装置上,其中,所述代码单元设置成,使得能够通过由所述激光传感器模块(100)所包括的至少一个处理装置或通过包括所述激光传感器模块(100)的装置的至少一个处理装置来执行根据权利要求17所述的方法。

光学颗粒传感器模块

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用干涉或替代地使用自混合干涉用以颗粒密度检测的激光传感器模块，一种颗粒密度检测相关的方法和一种相应的计算机程序产品。本发明还涉及一种包括这种激光传感器模块的移动通信装置。

背景技术

[0002] DE 10 2015 207 289 A1公开一种具有光学发射器装置的颗粒传感器装置，该光学发射器装置配置用于发射光辐射，使得具有在其中可能存在至少一个颗粒的区域至少部分地是可照射的；一种光学检测器装置，其具有被在至少一个颗粒处散射的光辐射的至少一部分所撞击的至少一个检测表面，关于撞击至少一个检测表面的光辐射的强度和/或强度分布的至少一个信息信号是可显示的；以及一种分析处理装置，借助该分析处理装置可以辨识和显示关于颗粒的存在、颗粒的数量、颗粒密度和/或颗粒的至少一种特征的信息项，该颗粒传感器装置还包括至少一个透镜元件，所述至少一个透镜元件设置用于使得所发射的光辐射可聚焦到区域内的焦点区域上。颗粒传感器装置包括镜装置，该镜装置设置用于使焦点区域运动以抑制风速的影响。

[0003] US 9,354,315 B2公开一种装置，其包括：用于发射激光束(称为发射光束)的发射元件；聚焦元件，其用于将所发射的光束聚焦在预定的焦距处；接收元件，其用于在被空气中的颗粒反射后接收所发射的光束(称为反射光束)；发送元件，其用于将发射光束与反射光束之间发生的干涉信号发送到信号处理器以由此推断出颗粒的速度。发射元件包括激光二极管，并且接收元件通过自混合与激光二极管相结合。焦距在5cm与2m之间。

发明内容

[0004] 本发明的目标是提供一种用于颗粒密度检测的改进和简化的激光传感器模块。本发明由独立权利要求所定义。从属权利要求定义有利的实施方式。

[0005] 根据第一方面，提出一种用于检测小颗粒(可以保持悬浮在空气中并随风扩散的固体或液体颗粒)的颗粒密度的激光传感器模块。颗粒尺寸通常小于20μm或甚至10μm。颗粒的特征例如可以是0.05μm与10μm之间、优选0.1μm与2.5μm之间的尺寸。激光传感器模块包括：

[0006] 适用于发射第一测量光束的至少第一激光器和适用于发射第二测量光束的至少第二激光器；

[0007] 光学装置，其设置用于至少将第一测量光束聚焦到第一测量区，该光学装置还设置用于至少将第二测量光束聚焦到第二测量区，其中，光学装置的特征在于关于第一测量光束的第一数值孔径和关于第二测量光束的第二数值孔径，其中，第一数值孔径和第二数值孔径设置用于在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸，其中，参考速度在预定的速度范围内进行选择，其中，第一测量光束和第二测量光束相互围成10°与160°之间的角度Φ；

[0008] 第一检测器，其适用于确定第一激光器的第一激光器腔内的第一光波的第一干涉

信号或第一自混合干涉信号；

[0009] 第二检测器，其适用于确定第二激光器的第二激光器腔内的第二光波的第二干涉信号或第二自混合干涉信号；

[0010] 分析处理装置，其中，该分析处理装置适用于接收由第一检测器和第二检测器响应于所确定的干涉或自混合干涉信号而产生的检测信号，其中，分析处理装置还适用于通过在预定的时间段内接收的检测信号来确定由第一检测器检测到的颗粒的第一平均速度和由第二检测器检测到的颗粒的第二平均速度，其中，分析处理装置还适用于基于在预定的时间段内由第一检测器提供的检测信号来确定颗粒的第一数量，并且基于在预定的时间段内由第二检测器提供的检测信号来确定颗粒的第二数量，并且其中，分析处理装置还适用于基于平均颗粒速度来确定颗粒密度，该平均颗粒速度通过第一平均速度和第二平均速度、颗粒的第一数量和颗粒的第二数量来确定。预定的速度范围可以在0.01m/s与7m/s之间的范围内。

[0011] 用于颗粒检测并且尤其用于颗粒密度检测的光学传感技术通常使用具有已知的颗粒流的测量区。这意味着关于测量光束的速度以及颗粒流方向是已知的。颗粒流可以借助例如使颗粒运动的风扇或者借助例如使测量光束相对于颗粒运动的MEMS镜来定义。通过这些措施可以减少甚至消除风速相对于每个观察时间单位所检测到的区的影响。使用这种技术的光学传感器模块体积大并且可能不适用于所有颗粒传感应用。

[0012] 上述的激光传感器模块能够在不提供预定义的颗粒流方向和速度的情况下进行颗粒检测。第一和第二干涉信号或自混合信号用于确定颗粒的数量和颗粒的平均速度，从而可以尤其在二维的颗粒流(例如在表面上方的风)中确定平均速度。使用互相围成10°与160°之间(优选地20°与140°之间、最优选地50°与70°之间)的角度Φ的至少两个激光束或测量光束，以便确定用于确定平均速度的两个独立的速度分量。此外已经认识到，如果平均速度与传感器模块的光学系统的数值孔径的三次方之间的比率是恒定的，则计数率保持相等并且最小检测颗粒尺寸保持恒定。这意味着，在较低的平均颗粒速度下用于将测量光束聚焦到检测区的光学系统的数值孔径应该更低。包括这种模块的激光传感器模块或颗粒检测系统相对于参考速度进行设计。在这种情况下，光学装置的数值孔径定义在参考速度下可以检测到的最小颗粒尺寸。参考速度在预定的速度范围内。参考速度是另一如下的校准参数：该校准参数取决于用以通过激光传感器模块实现可靠的颗粒密度检测应覆盖的颗粒速度的范围。参考速度如此进行选择，使得可以以可靠的方式在预定的速度范围上确定所给定的颗粒密度。

[0013] 优选地，第一测量光束与参考表面围成第一角度β1，其中，第二测量光束与参考表面围成第二角度β2，其中，第一测量光束在参考表面上的第一投影与第二测量光束在参考表面上的第二投影围成20°与160°之间、优选地在30°与120°之间、最优选地在80°与100°之间的角度γ。

[0014] 参考表面或检测表面可以是包括激光传感器模块的装置的表面。第一和第二测量光束发射穿过参考表面的透射区域(窗口)。这种配置特别适用于与参考表面平行的颗粒流(参见图2)。这种装置可以是固定的装置，如传感器盒或移动装置(例如智能手机)。参考表面可以例如是智能手机的显示器的表面。用户可以握住智能手机或移动通信装置，从而显示器的表面平行于或垂直于地面。该装置的附加传感器可以有助于提供装置相对于地面的

正确位置和/或附加的速度数据可以用于获得颗粒浓度的更优化的测量(例如加速度传感器和可以用于智能手机的指南针或水平应用程序的类似物)。在特殊情况下,第一测量光束可以优选地与参考表面围成角度β1＝45°,其中,第二测量光束优选地可以与参考表面围成角度β2＝45°。在这种情况下,两个测量光束的投影可以优选地围成角度γ＝90°。在这种情况下,平行于参考表面的颗粒流的每个速度矢量与第一或第二测量光束围成角度90-α,即45°。在这种情况下,角度Φ是60°。

[0015] 优选地,光学装置的特征在于关于测量光束的第一和第二数值孔径在0.01与0.06之间、优选地在0.02与0.04之间,其中,所检测到的颗粒的参考速度小于1m/s。预定的速度范围可以在0.01m/s与7m/s之间的范围内。小的数值孔径与颗粒的缓慢运动相结合可以通过手持装置(例如移动通信装置(例如智能手机))实现颗粒的可靠检测。此外,小的数值孔径能够实现至例如包括激光传感器模块的智能手机的表面的3mm与10mm之间的可靠的检测距离(第一和第二测量区)。

[0016] 可以如此选择参考速度,使得在包括参考速度的预定的速度范围内的误差最小化是关于参考速度对称的。以这种方式选择参考速度可以实现尤其相对于预定的速度范围的边界处的速度来改进误差校正。可以降低在速度范围的上边界或下边界处系统误差上升的风险。

[0017] 实验已经表明,作为颗粒速度的函数的激光传感器模块的计数率可以通过幂次定律很好地近似地来描述。因此,在速度范围附近或在速度范围中间的对数轴上的参考速度似乎是一个很好的选择,用以能够在预定的速度范围内相对于参考速度实现对称误差最小化。对于通过移动手持装置的颗粒密度检测例如可以以0.01m/s和6m/s来限界速度范围。在这种情况下,参考速度对于光学装置的0.03的数值孔径可以优选为约0.2m/s,用以确定颗粒密度的可靠值(例如PM2.5)。

[0018] 根据激光传感器模块相对于颗粒流的平均速度,可能需要使数值孔径适用于所预期的应用。可以主要用于具有例如10m/s的平均速度的移动对象上的激光传感器模块需要更大的数值孔径,用以能够在高速下检测到更小的颗粒,否则这些小的颗粒不被计数,这增加颗粒密度检测的误差。

[0019] 第一数值孔径可以与第二数值孔径相同。这并不意味着排除变化。

[0020] 速度值v可以借助公式(式1)通过自混合干涉信号的测量频率值f来确定:

[0021] $v=f*\lambda/(2*\sin(\alpha))$,

[0022] 其中,λ是测量光束的波长(例如850nm)而角度90-α是在速度矢量与相应的测量光束之间所围成的角度,该相应的测量光束可以(至少近似地)基于第一和第二自混合干涉信号来确定。如果颗粒流与检测表面(例如移动电话的表面)平行并且两个测量光束与检测表面围成45°的角度,并且检测表面上的测量光束的投影围成90°的角度γ,则角度90-α是45°(固定的)。即使在流不完全平行的情况下,也只有很小的误差。

[0023] 通过将所测量的自混合干涉信号的分析适应于信号的有效长度或测量时间可以改善速度的确定。信号的有效长度取决于速度、光束尺寸和角度α。有效长度或测量时间可以通过在时域中检测到信号高于某个阈值的持续时间来确定。

[0024] 在两个测量光束的情况下,通过公式(式6)给出相对于每个测量光束i的平均颗粒速度$v_{平均i}$和总平均速度$v_{平均}$:

[0025] $v_{平均1}=\Sigma v(j)/N$和$v_{平均2}=\Sigma v(k)/M$，$v_{平均}=sqrt(v_{平均1}^{2}+v_{平均2}^{2})$，

[0026] 其中，v(j)、v(k)是在第一和第二测量区中所测量到的速度，N是在第一测量区中所检测到的总颗粒数，而M是在相应的第二测量区中在测量时间区间中所检测到的总颗粒数。在测量光束具有不同角度(在与窗口平行的平面中除90度之外)的情况下，可以对平均速度的等式进行简单地调整。

[0027] 分析处理装置可以进一步适用于通过包括参考速度和确定的平均颗粒速度之间的比率的立方根的因子来校正所确定的颗粒密度。

[0028] 包括参考速度和确定的平均颗粒速度之间的比率的立方根的因子用于补偿在给定的参考颗粒密度(其显示$v^{1/3}$相关性)下颗粒计数的速度相关性。实际上如此选择参考速度，使得该速度相关性在预定的速度范围内是最小的。

[0029] 此外，第一测量区可以在第一测量光束的方向上线性地延伸，而第二测量区可以在第二测量光束的方向上线性地延伸。在这种情况下，分析处理装置可以适用于确定对于检测第一测量区中的颗粒的第一相对可能性。分析处理装置还可以适用于确定对于检测第二测量区中的颗粒的第二相对可能性。分析处理装置可以进一步适用于通过第一相对可能性和第二相对可能性来校正所确定的颗粒密度。

[0030] 通过认识到小的数值孔径确实具有使测量区沿着测量光束线性延伸的效果，可以进一步改善颗粒密度的确定。通过具有较小数值孔径的光学装置进行聚焦，延伸了颗粒可以沿着测量光束被检测到的范围。由第一或第二测量光束检测到的颗粒的可能性是空气运动相对于相应的测量光束的光轴的角度的函数。由于在颗粒流与两个测量光束之间所围成的至少近似确定的角度，可以基于在第一测量区和第二测量区中测量到的计算平均速度来确定相对可能性。在3D情况下，通过包括仅两个激光器的激光传感器模块来确定该角度不是完备的。然而，该激光传感器模块能够以小于20％的误差来确定颗粒密度，这足以使例如手持移动通信装置提供关于颗粒密度是否太高(例如烟雾)而不能在外慢跑的指示。

[0031] 在具有两个测量光束的激光传感器模块的情况下，可以由以下公式基于以上给出的确定的平均速度(式3)来计算(可选的)校正：

[0032] $$p_1 \frac{05v_{平均1}^{2}}{v_{平均1}^{2}} \frac{v_{平均2}^{2}}{v_{平均2}^{2}} \quad p_2 \frac{v_{平均1}^{2}}{v_{平均1}^{2}} \frac{05v_{平均2}^{2}}{v_{平均2}^{2}}$$

[0033] 其中，p_1是在第一测量区中检测到颗粒的可能性，p_2是在第二测量区中检测到颗粒的可能性。

[0034] 分析处理装置还可以适用于确定在第一信噪比阈值水平下的第一颗粒计数率和在不同于第一信噪比阈值水平的第二信噪比阈值水平下的第二颗粒计数率。分析处理装置还适用于通过第一颗粒计数率和第二颗粒计数率来校正所确定的颗粒密度。

[0035] 实验和模型计算表明，在较高的速度下信噪比对于最小的颗粒变得太低而不能够被测量到。对颗粒计数率使用两个不同的阈值水平能够估算小颗粒的数量，并且由此估算在较高速度下所遗漏的颗粒的数量。例如可以通过以下公式来校正颗粒密度：

[0036] $$\left[1+c_2\left(\frac{v_{平均}-v_{参考}}{v_{平均}+v_{参考}}\right)\left[\left(两阈值比率_{参考}-两阈值比率_{平均}\right)\right]\right]$$

[0037] 其中，两阈值比率$_{参考}$是对于大颗粒的两个阈值(在高阈值水平下的计数Nr除以在低阈值水平下的计数的数量)的比率，而两阈值比率$_{平均}$是在颗粒密度(例如PM2.5)测量的平均速度下的两个阈值的比率。差是对于分布中的小颗粒的数量的度量。通过将该差乘以对应于相对于参考速度的速度差的度量的因子，对分布中的小颗粒进行校正。通过光学测量(例如不同于第二数值孔径的第一数值孔径)、检测器的不同敏感度(要么物理地要么通过分析处理装置设置的不同敏感度)或者例如应用于自混合干涉信号的电子滤波器可以产生不同的阈值。所检测到的颗粒数量和所检测到的平均速度的组合得出颗粒密度。颗粒密度可以表示为例如PM2.5值。分析处理装置可以例如包括一个ASIC，该ASIC适用于分析处理通过第一、第二和可选的第三激光器与第一、第二或第三检测器组合地产生的自混合干涉信号。替代地，每个检测器可以与单独的ASIC耦合。

[0038] PM 2.5值可以通过公式(式4)进行计算：

[0039] $$PM2.5\ c_1\underset{T}{(n\ p_1\ m\ p_2)}\left(\frac{v_{参考}}{v_{平均}}\right)^{\frac{1}{3}}1\ c_2\begin{pmatrix}v_{平均} & v_{参考}\\ v_{平均} & v_{参考}\end{pmatrix}\left(两阈值比率_{参考}\quad 两阈值比率_{平均}\right)$$

[0040] 其中，c_1是另一校准系数而T是预定的时间段。校准系数c_1基于参考实验通过例如专业设备和参考颗粒浓度来确定。通过校准实验确定的校准因子的例子是$c_1=7.8$，$c_2=2.7$。以上给出的公式导致在0.01m/s与7m/s之间的速度范围内可靠地检测到颗粒密度，且相对于相同的速度范围内的校准实验的标准偏差约为0.2。

[0041] 光学装置可以设置用于对第一测量光束进行折叠，使得垂直于激光传感器模块的出口窗口的结构高度小于1mm。

[0042] 光学装置可以例如包括两个反射表面，所述两个反射表面如此布置，使得在穿过例如将第一测量光束聚焦到第一测量区的透镜前对第一测量光束在激光传感器模块内进行折叠。借助光学装置提供的所需的数值孔径与装置外足够远(例如5mm)的焦点位置相结合，在激光器与聚焦光学装置(例如透镜)之间需要一定距离。如果第一测量光束的光路在激光传感器模块内折叠，则可以降低激光传感器模块的结构高度。如果激光传感器模块组装在移动通信装置(例如智能手机)中，则降低激光传感器模块的结构高度可能是特别有利的。

[0043] 光学装置可以如此布置，使得第一测量区布置在垂直于激光传感器模块的出口窗口的3mm与10mm之间的距离中。出口窗口可以与用于将第一测量光束聚焦到第一测量区的光学聚焦装置相同。在3mm与10mm之间的距离降低出口窗口的表面相对于颗粒流的影响，该出口窗口的表面可以集成在装置表面中。由于手的热量和/或装置处在垂直位置，在实际的空气流模式的情况下至第一测量区的较大距离导致较低的空气速度。

[0044] 优选地，激光传感器模块包括适用于发射第三测量光束的至少第三激光器。光学装置设置用于将第三测量光束聚焦到第三测量区。第一测量光束、第二测量光束和第三测量光束相互围成10°与110°之间(优选90°)的角度。激光传感器模块还包括第三检测器，其适用于确定第三激光器的第三激光器腔内的第三光波的第三干涉信号或第三自混合干涉

信号。分析处理装置还适用于接收由第三检测器产生的检测信号。分析处理装置还适用于确定在预定的时间段内由第三检测器检测到的颗粒的第三平均速度。分析处理装置还适用于借助在预定的时间段内由第三检测器产生的检测信号来确定颗粒的第三数量。分析处理装置还适用于基于平均颗粒速度来确定颗粒密度，所述平均颗粒速度通过第一平均速度、第二平均速度和第三平均速度以及颗粒的第一数量、颗粒的第二数量和颗粒的第三数量来确定。

[0045] 第三激光器能够改进地确定颗粒流方向，因为可以测量所有三个速度分量。因此能够对平均速度的确定进行改进。此外，添加额外的测量区，使得颗粒计数率增大。可选地，可以添加另外的激光器和检测器以增加可靠性(冗余的激光器)。

[0046] 第一测量区可以与第二测量区或甚至第三测量区至少部分地重叠。重叠的测量区可以具有以下优点：可以使用相同的颗粒来确定颗粒速度的速度矢量。因此，可以提高平均速度的以及在测量光束与颗粒流之间的角度的测量精度。因为实现测量区重叠所需的激光器之间的距离，激光传感器模块的尺寸可能会增大。

[0047] 替代地，第一测量区可以与第二测量区不同并且在具有三个测量光束的激光传感器模块的情况下也与第三测量区不同。在这种情况下，几乎可以从相同位置发射测量光束。这能够实现非常紧凑的激光传感器模块，其中所有两个或三个激光器彼此非常靠近地布置。

[0048] 在集成的激光器配置的情况下，这种配置尤其有用，在集成的激光器配置中，第一激光器和第二激光器(以及可选的第三激光器)包括在一个半导体芯片上所提供的半导体层。需要如此布置层的电接通，使得能够独立地测量第一、第二和任选的第三自混合干涉信号。

[0049] 激光传感器模块还可以包括电驱动器。电驱动器可以适用于电驱动一个或多个激光器，使得所述激光器发射测量光束。

[0050] 附加地，激光传感器模块可以包括如下接口：通过该接口可以与外部控制器交换控制信号、电驱动信号或检测信号。

[0051] 根据以上描述的任一种实施方式所述的激光传感器模块可以设置用于在第一模式中检测颗粒密度。激光传感器模块还可以设置用于在第二模式中检测具有至少1mm的尺寸的对象的接近。当激光传感器模块用于颗粒密度检测时，优选地使用直流驱动电流，并且如上所述的那样通过以自混合干涉信号的调制来检测颗粒。

[0052] 根据一种替代的实施方式，激光传感器模块可以设置用于检测具有小于20μm的颗粒尺寸的颗粒的颗粒密度。激光传感器模块可以进一步设置用于检测离激光传感器模块的光发射表面的预定的检测范围内的对象的存在，其中，对象的尺寸沿着最长的延伸优选地是至少1mm。激光传感器模块包括

[0053] -至少第一激光器，其适用于发射第一测量光束；

[0054] -光学装置，其设置用于将第一测量光束聚焦到第一测量区，其中，光学装置的特征在于关于第一测量光束的第一数值孔径在0.02与0.1之间；

[0055] -至少第一检测器，其适用于确定第一干涉信号或第一自混合干涉信号；

[0056] -分析处理装置，其中，分析处理装置适用于接收由至少第一检测器响应于所确定的第一干涉信号或第一自混合干涉信号而产生的第一检测信号，其中，分析处理装置还适

用于通过第一检测信号对预定义的检测范围内对象的存在与第一测量区中颗粒的存在进行区分。

[0057] 例如对象可以是用户用于手势控制的手指或手的一部分，或者替代地是消除或减少颗粒密度的可靠检测的污垢颗粒。

[0058] 智能手机应用中的激光传感器模块或颗粒传感器必须具有在通常例如0.2m/s的低速度下良好的颗粒计数率和小的最小检测颗粒尺寸。为了适应这种情况，系统的数值孔径(NA)应该选择得相对较小，例如NA＝0.03。这个小NA有利于能够在相对较大的距离上检测到大对象。用于颗粒检测的聚焦斑点例如通常选择在智能手机盖玻璃外5mm。对于NA＝0.03系统，在例如15cm的距离上仍然可以通过干涉信号或自混合干涉(SMI)信号观察到大的对象。实际距离除了与NA有关之外，也与其他系统参数的选择(例如功率和对象的反射特性)有关。

[0059] 实验已经表明，使用转移时间算法来确定颗粒速度的单轴颗粒传感器是可能的。此外，2轴或3轴系统不必为了精确的颗粒检测结果而是正交的。这意味着：那些颗粒传感器可以使用相对于智能手机表面的法线相对较小的光束角度(在10与35度之间的范围内)。这是接近检测的有利特征。

[0060] 对于颗粒检测需要一定的最小NA，而对于接近检测需要一定的最大NA。这使得认识到，对于组合激光传感器模块必须在特定范围内选择NA。特定范围在0.02与0.1之间，用以能够对于高达6m/s的颗粒速度或风速实现可靠的颗粒密度检测和接近检测。

[0061] 当相同的激光传感器模块用于手势控制和/或接近感测时，使用经调制的驱动电流，从而可以检测到对象的距离(和/或速度)。手势控制意味着用户可以在与激光传感器模块的表面或包括激光传感器模块的装置(例如智能手机)的表面没有物理接触的情况下输入信息或操纵信息。因此，手势控制可以实现无接触地输入或操纵信息或信息的显示。

[0062] 可以通过查看所检测到的错误颗粒事件的数量来执行粗略方式的接近感测。在这种情况下，不需要提供经调制的驱动电流。

[0063] 设置用于检测颗粒密度和对象的存在的这种激光传感器模块的预定义的检测范围可以小于20cm。第一测量区处在光发射表面与预定义的检测范围之间。

[0064] 设置用于检测颗粒密度和对象的存在的激光传感器模块，其中，激光传感器模块还可以包括电驱动器。电驱动器设置用于借助第一电驱动电流在第一时间段内电驱动第一激光器。电驱动器还设置用于借助不同于第一电驱动电流的第二电驱动电流在不同于第一时间段的第二时间段内电驱动第一激光器。分析处理装置设置用于在第一时间段内在预定义的检测范围内检测对象的存在。分析处理装置还设置用于在第二时间段内检测颗粒的存在。第一电驱动电流可以例如是经调制的驱动电流(例如三角形)。第二电驱动电流可以例如是直流电流。

[0065] 设置用于检测颗粒密度和对象的存在的激光传感器模块，其中，分析处理装置设置用于在预定义的检测范围内检测对象的接近，以在第一时间段内进行手势识别。分析处理装置还设置用于在第二时间段内检测颗粒密度。分析处理装置可以设置用于在第一时间段内检测对象的运动。

[0066] 设置用于检测颗粒密度和对象的存在的激光传感器模块，其中，分析处理装置还设置用于基于由颗粒产生的第一干涉或自混合干涉信号的持续时间确定在预定的持续时

间内颗粒经过第一测量区的平均转移时间。分析处理装置还适用于在预定的时间段内基于第一干涉信号或第一自混合干涉信号来确定颗粒的数量，并且其中，分析处理装置还适用于基于平均转移时间和颗粒的数量来确定颗粒密度，如上文和下文所述的那样。

[0067] 上述的激光传感器模块能够在不提供预定义的颗粒流方向和速度的情况下进行颗粒检测。仅在一个方向上发射测量光束的仅一个激光器(和相应的检测器)可以用于基于在预定的时间段内经过第一测量区的颗粒产生第一干涉信号或第一自混合干涉信号。干涉信号或自混合干涉信号用于确定在预定时间段内经过第一测量区的颗粒的数量和颗粒的平均转移时间。每个单个颗粒的转移时间是由相应颗粒产生的干涉信号或自混合干涉信号的开始与由相应颗粒产生的干涉信号或自混合干涉信号的结束之间的时间差。平均转移时间是在预定义的时间内测量到的所有转移时间的平均值。可以定义某些阈值用以选择干涉信号或自混合干涉信号，其可以改善平均转移时间的确定。例如可以选择仅具有高于预定义的阈值幅度值的最大信号幅度的这种干涉信号或自混合干涉信号。预定义的阈值幅度值可以能够选择由颗粒沿着测量光束的方向经过测量区的中心线而引起的干涉信号或自混合干涉信号。此外，颗粒的基本上圆形的形状和第一测量光束导致作为远离中心距离的函数的转移时间仅逐渐减小，使得转移时间检测对于颗粒经由第一测量区的路径不敏感。在颗粒流的速度矢量与第一测量光束的方向之间的近似已知关系的情况下，通过干涉信号或自混合干涉信号检测到的平均转移时间和颗粒的数量足以确定颗粒密度。

[0068] 设置用于检测颗粒密度和对象的存在的激光传感器模块，其中，分析处理装置还适用于基于第一干涉信号或第一自混合干涉信号和平均转移时间来确定第一测量光束与颗粒的速度矢量之间所围成的角度，并且其中，数值孔径设置用于在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸。参考速度在0.01m/s与7m/s之间的预定的速度范围内进行选择。基于参考速度和第一测量光束的参考光束直径进一步确定颗粒密度。参考速度和参考光束直径定义具有参考颗粒尺寸的参考颗粒经过第一测量光束的参考时间。参考颗粒的速度矢量垂直于第一测量光束。在上面和下面描述的实施方式中给出进一步的细节。

[0069] 用于检测对象的颗粒密度和存在的激光传感器模块，其中，激光传感器模块包括：

[0070] -至少第二激光器，其适用于发射第二测量光束；

[0071] -光学装置，其还设置用于将至少第二测量光束聚焦到第二测量区，其中，光学装置的特征在于关于第二测量光束的第一数值孔径，其中，第一测量光束和第二测量光束相互围成5°与70°之间、更优选地7°与50°之间、最优选地10°与35°之间的角度；

[0072] -至少第二检测器，其适用于确定第二干涉信号或第二自混合干涉信号；

[0073] -分析处理装置，其还适用于接收由第二检测器响应于所确定的第二干涉信号或第二自混合干涉信号而产生的第二检测信号，其中，分析处理装置还适用于基于第一检测器信号和第二检测器信号来确定颗粒密度。

[0074] 在二维的空气或气体(或更普遍地流体)流的情况下，可以使用两个激光器和相应的检测器，以确定用于颗粒密度检测的平均颗粒速度。在未知的三维的流方向的情况下需要三个激光器和相应的检测器用以确定用于颗粒密度检测的平均颗粒速度。

[0075] 设置用于检测颗粒密度和对象的存在的激光传感器模块，其中，对象是干涉颗粒检测的阻挡对象。分析处理装置设置用于根据阻挡对象来调整颗粒密度的检测。

[0076] 激光传感器模块将(基于干涉或自混合干涉SMI)处理反射光信号以确定检测区中

的颗粒计数。在以下情况，信号将不准确：

[0077] 1.激光传感器模块的窗口被完全阻挡(即光线不能够离开传感器模块)

[0078] a.在可以检测到颗粒前，光被阻挡；

[0079] b.在对光束进行聚焦后，光被阻挡对象阻挡/反射，颗粒仍然可以通过检测光束。

[0080] 2.测量光束中的一个的光路被部分阻挡

[0081] a.被窗口上的大颗粒部分阻挡；

[0082] b.被激光束中的对象部分阻挡。

[0083] 在所有情况下，传感器将基于处理所接收到的信号给出不精确的结果。

[0084] 激光传感器模块检测到(完全地或部分地)阻挡光路的对象的存在，并且因此在该时间期间不报告颗粒读数。该检测可以基于反射光的模式。特别地：完全阻挡(1a)：干涉信号或自混合干涉信号通过将对象有效地放置在干涉仪中而产生。通常，对象将会运动，根据对象相对于检测光束的光轴的运动速度导致频率升高或降低。这些信号的幅度、持续时间、本底噪声水平和频率的组合将与颗粒信号不同，并且这些特征可以用于区分颗粒与被阻挡的传感器。这也适用于被永久阻挡的传感器(例如当激光传感器模块被例如智能手机盖阻挡或被放入口袋中时进行测量)或传感器被短暂阻挡的情况(例如当手通过传感器时)。

[0085] 在阻挡对象处在检测区后(1b)的情况下，可能发生两种情况，一种情况就像此前背景对象产生在颗粒信号中占主要的信号并且应当如以上的那样进行处理。然而如果对象的影响足够弱(即距离传感器很远(通常几厘米)的距离)，这也可能导致改变背景本底噪声水平。这可以通过时变背景噪声或噪声频谱中的频谱变化来辨识。

[0086] 在部分阻挡(2b)的情况下，激光传感器模块的分析处理装置可以设置用于去除阻挡对象的影响以如下地给出颗粒计数的结果：在干涉信号或自混合干涉信号(作为时间的函数)的部分中，信号变化将明显更高(由于阻挡对象而引入高信号分量，隐藏任何的颗粒运动)。仍然可以以降低的精度从剩余信号推导出颗粒浓度信息。

[0087] 检测传感器的部分阻挡(2b)的另一选择可以是应用经调制的测量光束。在那种情况下可以推导出对象的距离和速度。该距离可以例如对应于来自盖玻璃的干涉(可能是大的颗粒)，可以给出清洁建议。

[0088] 激光传感器模块可以设置用于确定干涉信号而不是确定自混合干涉信号。在这种情况下，激光传感器模块可以设置用于基于第一测量光束通过第一测量光束的部分反射来提供第一参考光束并且通过第二测量光束的部分反射来提供第二参考光束。第一或第二测量光束可以通过在激光传感器模块内布置在第一测量光束或第二测量光束的光路中的光学结构被部分地反射。第一检测器设置用于基于第一测量光束的反射光与第一参考光束的干涉来确定第一干涉信号。第二检测器设置用于基于第二测量光束的反射光与第二参考光束的干涉来确定第二干涉信号。

[0089] 替代地或附加地，设置用于确定干涉信号而不是确定自混合干涉信号的激光传感器模块可以如此设置，使得第一检测器与第一激光器分离。第二检测器与第二激光器分离。在这种情况下，激光传感器模块还包括设置用于提供第一参考光束的第一分束器，其中，激光传感器模块还包括设置用于提供第二参考光束的第二分束器。第一和第二分束器可以是第一和第二偏振分束器。激光传感器模块还可以包括布置在第一分束器与第一聚焦装置之间的第一四分之一波长板，用以将第一测量光束聚焦到第一测量区。激光传感器模块还可

以包括布置在第二分束器与第二聚焦装置之间的第二四分之一波长板，用以将第一测量光束聚焦到第一测量区。

[0090] 空气净化器、排气室、汽车、传感器盒或可穿戴装置(例如移动通信装置)可以并且类似地包括根据如上所述的任何实施方式所述的激光传感器模块。

[0091] 根据另一方面，提出一种颗粒密度检测的方法。该方法包括以下步骤：

[0092] 通过第一激光器来发射至少第一测量光束；

[0093] 通过第二激光器来发射至少第二测量光束；

[0094] 以第一数值孔径对第一测量光束进行聚焦，其中，第一数值孔径设置用于在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸，其中，参考速度在预定的速度范围内；

[0095] 以第二数值孔径对第二测量光束进行聚焦，其中，第二数值孔径设置用于在参考速度下检测预定的最小颗粒尺寸，其中，参考速度在预定的速度范围内；

[0096] 确定第一激光器的第一激光器腔内的第一光波的第一干涉信号或第一自混合干涉信号；

[0097] 确定第二激光器的第二激光器腔内的第二光波的第二干涉信号或第二自混合干涉信号；

[0098] 基于在预定义的时间段内确定的第一干涉信号来确定第一平均速度；

[0099] 基于在预定义的时间段内确定的第二干涉信号或第二自混合干涉信号来确定第二平均速度；

[0100] 通过在预定义的时间段内确定的第一干涉信号或第一自混合干涉信号来确定颗粒的第一数量；

[0101] 通过在预定义的时间段内确定的第二干涉信号或第二自混合干涉信号来确定颗粒的第二数量；

[0102] 至少基于第一平均速度和第二平均速度来确定平均颗粒速度；

[0103] 至少基于所确定的平均速度、颗粒的第一数量和颗粒的第二数量来确定颗粒密度。

[0104] 根据一种替代的实施方式，提供一种检测具有小于20μm的颗粒尺寸的颗粒的颗粒密度的方法。该方法包括以下步骤：

[0105] -通过第一激光器来发射至少第一测量光束；

[0106] -以0.02与0.1之间的第一数值孔径对第一测量光束进行聚焦；

[0107] -确定第一干涉信号或第一自混合干涉信号；

[0108] -对预定义的检测范围内对象的存在和第一测量区中颗粒的存在进行区分，其中，对象的尺寸沿着最长的延伸优选地是至少0.5mm、更优选地是至少1mm。

[0109] 根据另一方面，提出一种计算机程序产品。该计算机程序产品包括代码单元，该代码单元可以存储在激光传感器模块的至少一个存储器装置上或者包括激光传感器模块的装置的至少一个存储器装置上。代码单元如此设置，使得可以通过激光传感器模块的至少一个处理装置或者通过包括激光传感器模块的装置的至少一个处理装置来执行上述的方法。

[0110] 存储器装置或处理装置可以由激光传感器(例如电驱动器、分析处理装置等)或包括激光传感器模块的装置所包括。包括激光传感器模块的装置的第一存储器装置和/或第

一处理装置可以与由激光传感器模块所包括的第二存储器装置和/或第二处理装置交互。

[0111] 一个或多个存储器装置可以是设置用于存储信息、尤其数字信息的任何物理装置。可以从固态存储器或光学存储器的组中特别选择存储器装置。

[0112] 一个或多个处理装置可以是设置用于执行数据处理、尤其数字数据处理的任何物理装置。尤其可以从处理器、微处理器或专用集成电路(ASIC)的组中选择处理装置。

[0113] 应当理解，根据权利要求1-12中任一项所述的激光传感器模块和权利要求14所述的方法具有类似和/或相同的实施方式，尤其如在从属权利要求中所定义的那样。

[0114] 应当理解，本发明的优选的实施方式也可以是从属权利要求与相应的独立权利要求的任何组合。

[0115] 另外的有利的实施方式定义如下。

[0116] 参考下文描述的实施方式，本发明的这些方面和其他方面将变得明显并且得以阐明。

附图说明

[0117] 附图示出：

[0118] 图1示出第一激光传感器模块的原理示意图；

[0119] 图2示出测量光束的透视图的原理示意图；

[0120] 图3示出不同颗粒分布的原理示意图；

[0121] 图4示出在不同的颗粒速度下与颗粒直径相关的颗粒计数；

[0122] 图5示出对于不同的颗粒分布作为速度的函数的颗粒计数；

[0123] 图6示出对于不同的颗粒分布作为速度的函数的经校正的颗粒计数；

[0124] 图7示出在不同信噪比阈值水平下作为对于不同颗粒速度的颗粒直径的函数的颗粒计数的比率；

[0125] 图8示出对于小颗粒经校正的颗粒计数；

[0126] 图9示出测量结果；

[0127] 图10示出第二激光传感器模块的原理示意图；

[0128] 图11示出作为数值孔径的函数的检测距离；

[0129] 图12示出作为数值孔径的函数的最小检测颗粒尺寸；

[0130] 图13示出第三激光传感器模块的原理示意图；

[0131] 图14示出第四激光传感器模块的俯视图的原理示意图；

[0132] 图15示出第一微光学元件的原理示意图；

[0133] 图16示出第一光学装置的原理示意图；

[0134] 图17示出第二光学装置的原理示意图；

[0135] 图18示出移动通信装置的原理示意图；

[0136] 图19示出确定颗粒密度的方法的原理示意图。

[0137] 在附图中，相同的数字始终表示相同的对象。附图中的对象不一定按比例绘制。

具体实施方式

[0138] 现在借助附图来描述本发明的各种实施方式。

[0139] 自混合干涉用于检测对象的运动和至对象的距离。关于自混合干涉的背景信息在《Laser diode self-mixing technique for sensing applications》,Giuliani,G、Norgia,M、Donati,S和Bosch,T.,用于传感应用的激光二极管自混合技术,光学期刊A:纯光学和应用光学,2002年4月,第283-294页中描述,其通过引用结合到本发明中。在国际专利申请No.WO 02/37410中详细描述指尖相对于光学输入装置中的传感器的运动,该专利申请通过引用结合到本发明中。基于国际专利申请No.WO 02/37410中描述的示例来讨论自混合干涉的原理。提供一种具有激光器腔的二极管激光器,用以发射激光束或测量光束。在其上侧,该装置设有对象(例如人的手指)运动穿过的透明窗口。透镜布置在二极管激光器与窗口之间。该透镜将激光束聚焦在透明窗口的上侧或附近。如果对象出现在该位置,则使该测量光束散射。测量光束的一部分辐射在照射光束的方向上散射,并且该部分通过透镜会聚在激光二极管的发射表面上并且重新进入该激光器的腔。重新进入二极管激光器的腔的辐射引起激光器的增益的变化,并且从而引起激光器所发射的辐射强度的变化,而这种现象称为二极管激光器中的自混合效应。

[0140] 由激光器发射的辐射的强度的变化或激光器腔中的光波的强度的变化可以被设置用于确定激光器腔上的阻抗变化的光电二极管或检测器检测到。二极管或阻抗检测器将辐射变化转换成电信号,并且提供电子电路用于处理该电信号。

[0141] 在颗粒检测的情况下,自混合干涉信号的特征可以是例如短信号突发或多个信号突发。在这些信号中观察到的多普勒频率是沿着光轴的颗粒速度的量度。因此,优选地可以使用直流驱动电流以简化信号检测和信号分析。可选地,信号的持续时间和强度可以用于确定颗粒尺寸。经调制的驱动电流可以用于例如借助可以通过激光在较大的颗粒或干扰对象处的反射而产生的自混合干涉信号来确定颗粒的位置或速度。可以在一次测量内或在随后的测量步骤中确定距离(和可选的速度)。因此,可以或甚至有利地在第一时间段内使用直流驱动电流,以便产生所预期的颗粒计数、速度的颗粒测量值,和使用经调制的驱动电流以确定光束中的错误的对象。

[0142] 还可以使用与用于颗粒感测相同的激光传感器模块作为接近传感器和/或用于通过改变运行模式来进行手势控制的传感器。当激光传感器模块用于颗粒检测时,优选地使用直流驱动电流,并且通过自混合干涉信号中的调制来检测颗粒。当相同的激光传感器模块用于手势控制和/或接近感测时,使用经调制的驱动电流并且可以对对象的距离(和/或速度)进行检测。所检测到的距离可以用作接近感测,例如用于测量头部到智能手机的距离。替代地,所测量的距离可以用于手势控制,例如通过改变手指到传感器的距离来放大和缩小照片。已经认识到:在低速时检测颗粒所需的最佳的低NA(数值孔径)值对于实现所需的距离范围的接近和手势检测是非常有益的。例如,在NA=0.03的情况下系统可以检测到直至5cm距离。

[0143] 图1示出第一激光传感器模块100的原理示意图。激光传感器模块包括两个垂直腔表面发射激光器(VCSEL)111、112。在这种情况下,光学装置150包括分别具有0.045的数值孔径的两个单独的透镜。第一激光器111和第二激光器112如此布置,使得在测量光束111'、112'的发射方向上的方向矢量围成90°的角度。测量光束111'、112'可以布置在由方向矢量延展的相同的平面或平行的平面中。例如两个激光束可以来源于装置中的不同位置并且大致聚焦在相同的位置。在另一示例中,两个激光束在装置中彼此相距短距离地起源并且聚

焦在不同的位置用以颗粒感测。第一激光器111与第一检测器121(例如集成的光电二极管)耦合,使得可以对第一激光器111的激光器腔中的第一自混合干涉信号进行检测。第二激光器111与第二检测器122(例如集成的光电二极管)耦合,使得可以对第二激光器112的激光器腔中的第一自混合干涉信号进行检测。通过分析处理装置140来分析处理所检测到的自混合干涉信号,该分析处理装置与第一检测器121和第二检测器122电连接。箭头指示颗粒流的方向。可选地,激光传感器模块可以包括第一接口(未示出),该第一接口设置用于接收电能和控制信号用以驱动第一激光器111和第二激光器112。此外,可以存在设置如下的第二接口:该第二接口设置用于将经分析处理的自混合干涉信号和/或所确定的颗粒密度传输至外部处理装置,用以进行进一步的数据处理。

[0144] 图2示出在参考表面102上方的第一测量光束111'和第二测量光束112'的透视图的原理示意图。这种配置可以特别适合于使激光传感器模块100设置用于确定与参考表面102平行的颗粒流的颗粒密度。参考表面102可以是激光传感器模块100的表面或包括激光传感器模块100的装置的表面的一部分。第一和第二测量光束111'、112'通过(透明的)参考表面102来发射,并且两个测量光束围成角度Φ(未示出)。第一测量光束111'与参考表面102围成角度β1,而第二测量光束112'与参考表面102围成角度β2。参考表面102上的第一测量光束111'的第一投影111"与参考表面102上的第二测量光束112'的第二投影112"围成角度γ。与参考表面102平行的颗粒流由与第二测量光束112'围成90-α的角度的箭头来表示。

[0145] 图3示出作为颗粒尺寸[μm](横坐标10)的函数的不同颗粒分布的原理示意图。纵坐标5表示按每0.1μm区间的每立方米颗粒计数。作为颗粒直径的函数的颗粒的数量可以分成0.1μm的区间。图表的0.5μm的点示出0.45μm与0.55μm之间的颗粒计数。颗粒分布11表示具有跨所有区间的恒定颗粒浓度的平坦的参考颗粒分布。颗粒分布12表示空气传播颗粒的一种典型分布。通常,空气传播颗粒是由固体的或液体的物质组成的非常细小的颗粒,该颗粒可以保持悬浮在空气中并随风传播。颗粒分布13来自香。颗粒分布14对应于上海烟雾的平均颗粒分布。不同的颗粒分布说明经污染的空气中的颗粒分布主要取决于小于0.5μm的颗粒尺寸的小颗粒。此外,给定颗粒尺寸的颗粒的数量取决于颗粒污染的来源。因此,不存在参考颗粒分布。因此,颗粒密度的可靠测量至少在一定限度内考虑不同的颗粒分布。

[0146] 图4示出在不同颗粒速度下与颗粒直径(横坐标10)相关的颗粒计数[计数/(分钟*$\mu g/m^3$)](纵坐标20)。线21表示在0.05m/s的第一速度下的颗粒计数。线22表示在0.6m/s的第二速度下的颗粒计数,而线23表示在7m/s的第三速度下的颗粒计数。借助具有0.045的数值孔径(其设计用于0.6m/s的参考速度)的激光传感器模块来检测颗粒计数或计数率。对于模型最大可能性检测和香的颗粒分布(很多非常小的颗粒),使用(见图3)上海烟雾和空气传播颗粒(很多大颗粒)。对于具有大于0.5μm的颗粒尺寸的颗粒,颗粒计数或计数率基本上与$v^{1/3}$成比例。在高速下未检测到具有小于0.3μm的尺寸的颗粒。图5对于图3所讨论的不同的颗粒分布12、13、14示出相应的颗粒计数20作为速度30的函数。图6对于不同的颗粒分布示出作为速度30的函数的经校正的颗粒计数20。通过使用校正因子$(v_{参考}/v_{平均})^{1/3}$的$v^{1/3}$速度相关性已经对颗粒计数进行校正,其中,参考速度$v_{参考}$如上已经提及的那样是0.6m/s,并且通过如上所述的公式v=f*λ/(2*sin(α))通过自混合干涉信号来确定平均速度$v_{平均}$。计数率相比于空气传播12(大颗粒)的速度的分布很好地符合$v^{1/3}$关系。如果由多普勒信号知道速度,则可以推导出颗粒密度(PM2.5值)并且结果几乎与速度无关。对于具有较小颗粒的分布

13、14，在高速下的PM2.5值将会变得太低，因为很多小颗粒不再被检测到。

[0147] 图7示出在不同信噪比阈值水平50下对于不同的颗粒速度作为颗粒直径或尺寸10的函数的颗粒计数的比率。线51表示在0.05m/s的第一速度下的颗粒计数的比率。线52表示在0.6m/s的第二速度下的颗粒计数的比率，而线53表示在7m/s的第三速度下的颗粒计数的比率。通过在6和15倍的噪声水平的阈值水平下确定计数率来获得对于小颗粒的数量的量度。关于所有颗粒尺寸的加权平均值是颗粒分布和速度的函数。对于在0.05m/s下的空气传播颗粒，该示例中的最大值是0.30，对于在7m/s下的香最小值是0.12。使用如下获得具有最小误差的PM2.5值(参见图表)

PM2.5

[0148] $$\propto \#_{测量}\left(\frac{v_{参考}}{v_{平均}}\right)^{\frac{1}{3}} 1\, c_2 \begin{pmatrix} v_{平均} & v_{参考} \\ v_{平均} & v_{参考} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 两阈值比率_{参考} & 两阈值比率_{平均} \end{pmatrix}$$

[0149] 其中，$\#_{测量}$＝所测量到的颗粒的数量，c_2＝4.5，$v_{参考}$＝0.6m/s而两阈值比率$_{参考}$＝0.3。图7示出借助该公式对小颗粒经校正的不同颗粒分布12、13和14的颗粒计数20。所有颗粒分布12、13和14示出作为颗粒速度的函数的可接受的(几乎平坦的)计数率。如上所描述的那样，通过确定检测的相对可能性可以提供在小的数值孔径的情况下进一步地改进颗粒密度检测。可以通过在多个测量时间段内求平均来处理低频速度变化。

[0150] 图9示出借助基于速度的激光传感器模块所确定的颗粒密度的速度相关性，该速度相关性与专业设备的参考实验进行比较。纵坐标37表示相对颗粒密度。最佳结果是激光传感器模块和专业设备都测量到相同的颗粒密度。这将导致测量值48布置在与表示颗粒速度的横坐标37平行的具有纵坐标值1的直线上。在0.01m/s与7m/s之间的速度范围内在不同速度下的测量的标准偏差是0.2左右，这对于包括两个激光器和相应的检测器的简单的激光传感器模块是极好的，该激光传感器模块在基本上没有限定的颗粒流的情况下操作，用以例如给出例如空气污染的定性指示。

[0151] 图10示出第二激光传感器模块100的原理示意图。图10示出一种激光传感器模块，其设置用于基于干涉测量来检测颗粒密度并且可选地检测对象25。在该实施例中并且为了清楚起见，激光传感器模块100仅包括一个第一激光器111用以讨论测量原理。从图1、2、13和14可以明显看出扩展到两个、三个或多个激光器和相应的检测器。第一激光器111向偏振分束器152发射激光。激光在偏振分束器152处被反射并且通过四分之一波长板153、滤光器装置155和聚焦装置157。四分之一波长板153的光轴相对于第一激光器111的偏振方向设定为45°。以这种方式形成圆偏振光。滤光器装置155的特征在于围绕第一激光器111的发射波长(例如850nm)的窄通带。对滤光器装置155进行优化用以抑制周围环境光并且仅在周围环境光可能引起检测问题时才是必需的。聚焦装置157可以是透镜或例如包括超过一个光学装置的透镜或装置。第二激光传感器模块100如此设置，使得在激光离开第二激光传感器模块100前，激光的限定部分在分界面中的一个(例如滤光器装置155与空气之间的分界面)处被反射。离开第二激光传感器模块100的激光的部分是聚焦到第一测量区161的第一测量光束111'。颗粒10反射第一测量光束111'的一部分，使得反射光的一部分重新进入第二激光传感器模块110。重新进入第二激光传感器模块的反射光通过聚焦装置157、滤光器155和四

分之一波长板153。线性偏振光通过偏振分束器152并且在离开第二激光传感器模块100前与在分界面中的一个处反射的激光发生干涉。第一检测器121(例如光电二极管)检测到干涉光并且相应的测量信号被传送到分析处理装置140。基于在给定的时间段内确定的颗粒数量和颗粒速度(例如通过测量转移时间或基于不同的测量光束111'、112'、113',如上下文所述的那样)可以确定颗粒密度。可选地,第二激光传感器模块100可以设置用于确定对象25(例如手指)。

[0152] 图11示出作为数值孔径的函数的检测距离。曲线取决于特定激光器自混合干涉的敏感度和所使用的对象。因此曲线表示总体趋势,但绝对值根据特定激光器的自混合干涉的敏感度而不同。落在对象25(例如皮肤)上的由激光器111、112、113发射的测量光束111',112',113'将反向散射至激光器111、112、113。这将产生如下的多普勒信号:该多普勒信号当被相应的检测器121、122检测到时在信号的功率谱中将是可见的。当多普勒信号的信号能量大于噪声时,该信号能量可以看作功率谱中的峰值。该峰值足够宽用以观察功率谱域中的峰值高度。所测量到的检测器信号的功率谱中的多普勒信号的峰值高度为

[0153] $$\text{峰值高度} \propto \frac{1}{NA\, d^3} \qquad d \gg d_{\text{焦点}}$$

[0154] 当对象25(例如手)距透镜的距离d远大于焦点相对于透镜位置的距离$d_{焦点}$时,该公式是有效的。对于数值孔径(NA)NA 0.03并且焦点在距透镜5mm处的情况下,根据经验发现直至例如15cm可以观察到多普勒信号。假设对于NA=0.03在距离15cm处关于SNR的限制,这给出

[0155] $$NA\, d^3 = cst = 0.03 * .15^3 \Rightarrow d_{\text{限制}} = \sqrt[3]{0.03 * \frac{.15^3}{NA}}$$

[0156] 图11示出该函数关系,其中,X轴表示数值孔径62而Y轴表示以米为单位的检测距离61。接近检测的理想范围大于10cm。因此,NA应小于0.1,以便能够进行接近检测或手势控制,如图11的左侧的方形所示的那样。

[0157] 图12显示作为数值孔径的函数的最小检测颗粒尺寸。曲线还取决于特定激光器的自混合干涉的敏感度和所使用的对象。因此,曲线表示总体趋势,但绝对值根据测量系统的自混合干涉的敏感度而不同。X轴又表示数值孔径62而Y轴表示最小颗粒尺寸[μm]63。线66表示在0.02m/s的颗粒速度下可以被检测到的最小颗粒尺寸作为数值孔径62的函数。线67表示在6m/s的颗粒速度下可以被检测到的最小颗粒尺寸作为数值孔径62的函数。从图12可以看出,对于颗粒检测的NA必须选择在0.028以上才可在6m/s的颗粒速度下检测到0.4μm的颗粒,如右侧的方形所示的那样。关于图11和图12所讨论的两个条件的组合对于颗粒检测和接近感测要求0.028<NA<0.1的用于系统的数值孔径。该范围取决于如上所讨论的特定激光器。对象和最小颗粒的检测取决于系统的敏感性,而这只是特定系统的一个示例。该范围对于更敏感的系统处于0.02<NA<0.06之间并且对于最敏感的可用的系统甚至处于0.015<NA<0.05之间。

[0158] 图13示出第三激光传感器模块100的原理示意图。第三激光传感器模块100包括第一激光器111和第二激光器112。两个激光器111、112可以是设置用于在相同的方向上发射激光的侧发射器。光学装置150与各个激光器111、112光学耦合,以便重新引导相应的测量

光束111'、112',从而将两个测量光束111'和112'引导到相同的测量区。光学装置150包括用以使测量光束111'、112'偏转的表面光栅和另外的光学装置,从而测量光束111'和112'的数值孔径是0.03。在由与第三激光传感器模块100的表面平行的颗粒流所包括的颗粒将第一和/或第二测量光束111'、112'反射后,可以产生第一和第二干涉信号或自混合干涉信号。干涉信号或自混合干涉信号被第一和/或第二检测器121、122检测到。所检测到的干涉信号或自混合干涉信号通过分析处理装置140来接收和分析处理。激光器111、112通过电驱动器130来驱动。通过分析处理装置140产生的电测量结果以及电功率可以通过公共接口135来提供。替代地可以使用单独的接口。图13还示出阻挡第二测量光束112'的对象25。阻挡对象被放置在激光传感器模块100的发射窗口上。阻挡对象在预定义的时间段期间被以调制的驱动电流(例如三角形驱动电流)驱动的第二激光器112检测到。分析处理装置140可以设置用于确定干涉信号或自混合干涉信号与颗粒10的检测无关(例如长持续时间、距对象的距离近)。分析处理装置140可以设置用于忽略干涉信号或自混合干涉信号并且可选地产生相应的误差信号。

[0159] 图14示出第四激光传感器模块100的俯视图的原理示意图。三个激光器111、112、113设置用于将测量光束111'、112'、113'发射到不同的第一、第二和第三测量区161、162、163。在这种情况下,光学装置150如此设置,使得第一测量光束111'和第二测量光束112'围成的角度与第二测量光束112'和第三测量光束113'以及第三测量光束113'和第一测量光束111'所围成的角度相同。由测量光束111'、112'、113'所围成的角度优选是90°。因此,第四激光传感器模块100能够确定三维平均速度。光学装置150还包括微光学元件,其设置用于将相应的测量光束111'、112'、113'以对于各个测量区0.025的数值孔径聚焦到第一、第二、第三测量区161、162、163。

[0160] 图15示出第一微光学元件151a的原理示意图,该第一微光学元件可以由光学装置150所包括。微光学元件151a由晶圆级别的镜构成。例如,151a可以由UV固化复制材料制成。其他的技术如玻璃成型或研磨也是可能的。在这种情况下,镜以全内反射为基础,用以重新引导第一测量光束111'。第一激光器111的中心与第一微光学元件151a的边缘之间的距离x1是x1=0.04mm。第一微光学元件151a的高度为y1=0.20mm。

[0161] 图16示出第一光学装置150的一部分的原理示意图。该部分包括第一微光学部件151a和聚焦元件151b。聚焦元件151b是具有小于1mm的尺寸的透镜,并且光学装置的部分的总高度y2是y2=1.1mm。透镜设置用于将第一测量光束111'聚焦到第一测量区161。激光器111、112、113中的每一个可以分配给第一光学装置150的这样的一部分。为了清楚起见,第一微光学元件151a和聚焦元件151b表示为单独的元件。可能优选的是将这样的第一微光学部件151a中的两个或三个和这样的聚焦元件151b中的两个或三个集成在一个集成光学装置150中。一个聚焦元件151b也可以从具有相关的第一微光学元件151a的两个、三个、四个或更多个第一激光器111接收到第一测量光束111',从而例如一个阵列的激光器可以用于发射一束的第一测量光束111'。聚焦元件151b设置用于以0.03的数值孔径聚焦第一测量光束111'。

[0162] 图17示出包括第二微光学元件151a和第二聚焦元件151b的第二光学装置150的原理示意图。第二微光学元件151a包括两个反射表面,从而第一测量光束111'在微光学元件151a内以逆时针旋转90°的Z形进行折叠。第二聚焦元件151b是透镜,其设置用于以0.035的

数值孔径将第一测量光束111'聚焦到第一测量区。第二微光学元件151a、第二聚焦元件151b和第一激光器111的总高度(结构高度)是y2＝0.7mm。

[0163] 图18示出包括激光传感器模块100的移动通信装置190的原理示意图。激光传感器模块适用于发射围成角度φ＝60°的第一测量光束111'和第二测量光束112'。移动通信装置190包括用户接口191、处理装置192和主存储器装置193。主处理装置192与主存储器装置193和激光传感器模块100连接。主处理装置192包括以上描述的分析处理装置140的功能性的至少一部分。主处理装置192将与颗粒检测有关的数据存储在主存储器装置193中。在一种替代的实施方式中,主处理装置192和主存储器装置193也可以仅用于准备或调整通过激光传感器模块100所提供的数据,从而可以通过用户接口191将数据呈现给移动通信装置190的用户。激光传感器模块100通过移动通信装置190的电源供应来供电。移动通信装置190还可以包括取向检测装置(未示出)。取向检测装置可以例如适用于确定移动通信装置190相对于地面的相对位置。取向检测装置可以与分析处理装置140或主处理装置耦合,用以组合借助激光传感器模块100提供的数据和借助取向检测装置提供的数据。取向检测装置和激光传感器模块100的耦合可以实现更可靠地检测风速和颗粒密度,并且还可以提供关于风向的信息。激光传感器模块100可以进一步设置用于检测对象25。对象25可以是例如可用于手势控制的手。

[0164] 相同的原理可以用在包括激光传感器模块100的其他装置中。附加的传感器可以用于提供关于装置(例如包括激光传感器模块100的汽车)的位置或速度的信息。装置的速度例如可以用于支持测量信号的分析处理(例如确定所适用的参考速度)。

[0165] 图19示出确定颗粒密度的方法的原理示意图。在步骤410中,由通过自混合干涉信号确定的频率来确定速度值(参见式1)。在步骤420中,确定平均颗粒速度(参见式2)。在步骤430(参见式3)中,尤其在如下激光传感器模块100的情况下确定检测的相对可能性:该激光传感器模块100具有光学装置150,该光学装置的特征在于小的数值孔径(例如0.03)。在步骤440中确定颗粒密度或PM 2.5值(参见式4)。

[0166] 虽然在附图和先前的描述中已经详细地阐述和描述了本发明,但是这样的阐述和描述应被认为是说明性或示例性的而非限制性的。

[0167] 通过阅读本公开内容,其他修改对于本领域技术人员将是显而易见的。这些修改可以涉及类型已知的且可以代替或补充本文已经描述的特征的其他特征。

[0168] 通过研究附图、公开内容和技术方案,本领域技术人员可以理解和实现所公开的实施例的变型方案。在技术方案中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,而不定冠词“一”或“一个”不排除多个元件或步骤。在相互不同的优选的实施方式中所描述的某些措施的纯粹事实并不表示这些措施的组合不可以有利地使用。

[0169] 技术方案中的任何附图标记不应视为限制其范围。

[0170] 附图标记列表

[0171] 5 每0.1μm区间的每立方米颗粒数量

[0172] 10 颗粒尺寸[μm]

[0173] 11 平坦的

[0174] 12 典型的空气传播颗粒分布

[0175] 13 香

[0176] 14 上海烟雾

[0177] 20 颗粒计数/(分钟*μg/m3)

[0178] 21 0.05m/s

[0179] 22 0.6m/s

[0180] 23 7m/s

[0181] 25 对象

[0182] 30 颗粒速度[m/s]

[0183] 37 相对颗粒密度

[0184] 48 测量结果

[0185] 50 在不同的信噪比阈值水平下的颗粒计数

[0186] 51 在0.05m/s下的颗粒计数的比率

[0187] 52 在0.6m/s下的颗粒计数的比率

[0188] 53 在7m/s下的颗粒计数的比率

[0189] 61 检测距离[m]

[0190] 62 数值孔径

[0191] 63 最小颗粒尺寸[μm]

[0192] 65 作为数值孔径的函数的检测距离

[0193] 66 在0.02m/s下作为数值孔径的函数的最小检测颗粒尺寸

[0194] 67 在6m/s下作为数值孔径的函数的最小检测颗粒尺寸

[0195] 100 激光传感器模块

[0196] 102 参考表面

[0197] 111 第一激光器

[0198] 111’ 第一测量光束

[0199] 111” 第一测量光束的第一投影

[0200] 112 第二激光器

[0201] 112’ 第二测量光束

[0202] 112” 第二测量光束的第二投影

[0203] 113 第三激光器

[0204] 113’ 第三测量光束

[0205] 121 第一检测器

[0206] 122 第二检测器

[0207] 130 电驱动器

[0208] 135 接口

[0209] 140 分析处理装置

[0210] 150 光学装置

[0211] 151a 微光学元件

[0212] 151b 聚焦元件

[0213] 151c 测量窗口

[0214] 152 分束器

[0215] 153 四分之一波长板

[0216] 155 滤光器装置

[0217] 157 聚焦装置

[0218] 161 第一测量区

[0219] 162 第二测量区

[0220] 163 第三测量区

[0221] 190 移动通信装置

[0222] 191 用户接口

[0223] 192 主处理装置

[0224] 193 主存储器装置

[0225] 410 确定速度值

[0226] 420 确定平均颗粒速度

[0227] 430 确定对于检测的相对可能性

[0228] 440 确定颗粒密度

[0229] 90-α 在测量光束与颗粒流之间所围成的角度

[0230] β1 在第一测量光束与第一投影之间所围成的角度

[0231] β2 在第二测量光束与第二投影之间所围成的角度

[0232] γ 在参考表面上在第一投影与第二投影之间所围成的角度

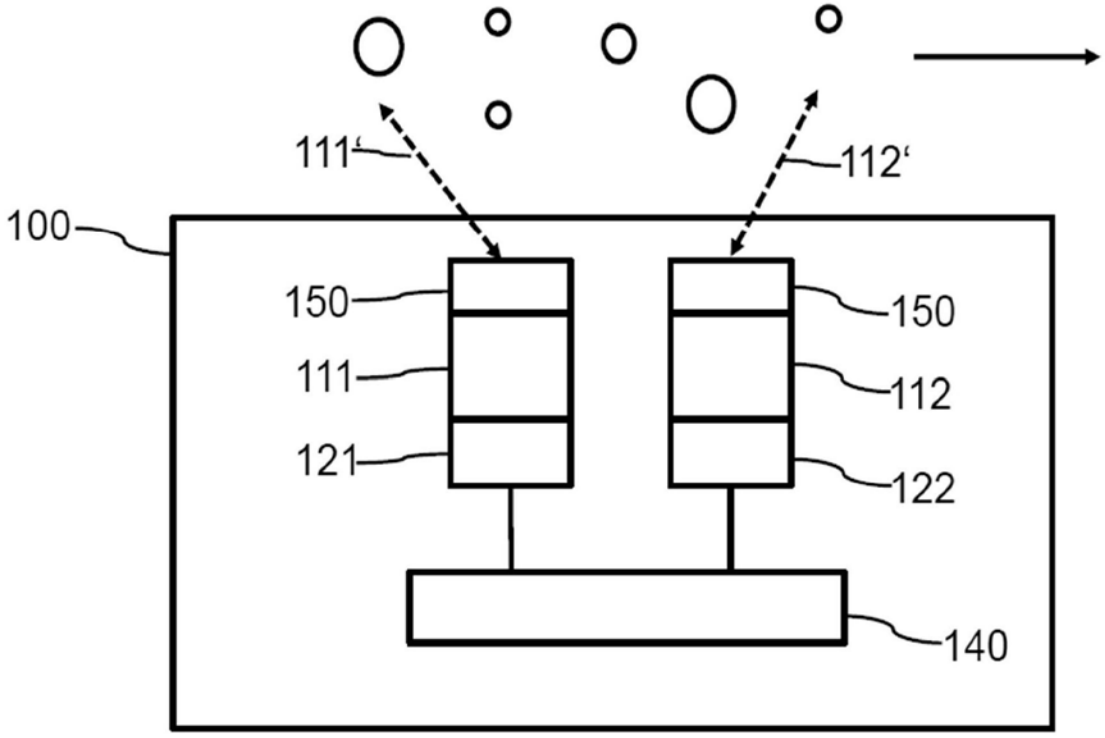

111‘
112‘
100
150
111
121
150
112
122
140

图1

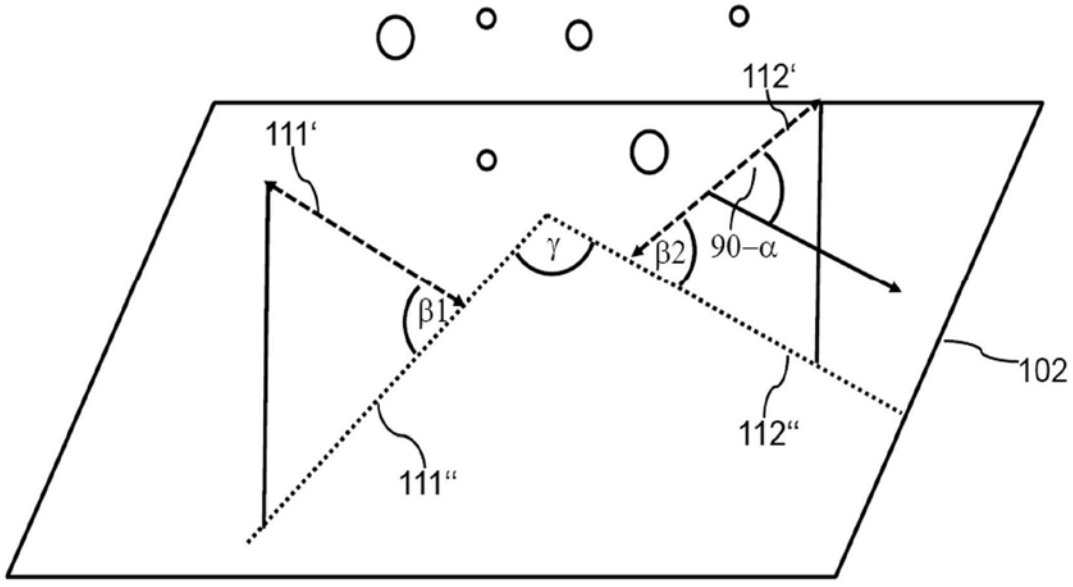

112‘
111‘
γ
β2
90−α
β1
102
112“
111“

图2

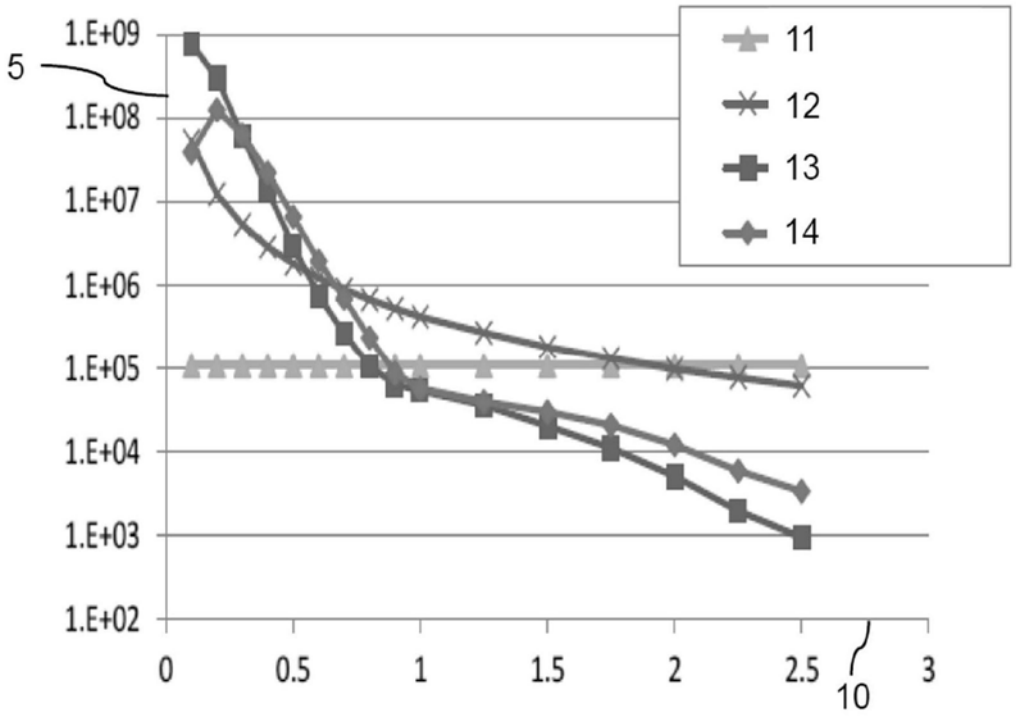

5
1.E+09
1.E+08
1.E+07
1.E+06
1.E+05
1.E+04
1.E+03
1.E+02
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
10
11
12
13
14

图3

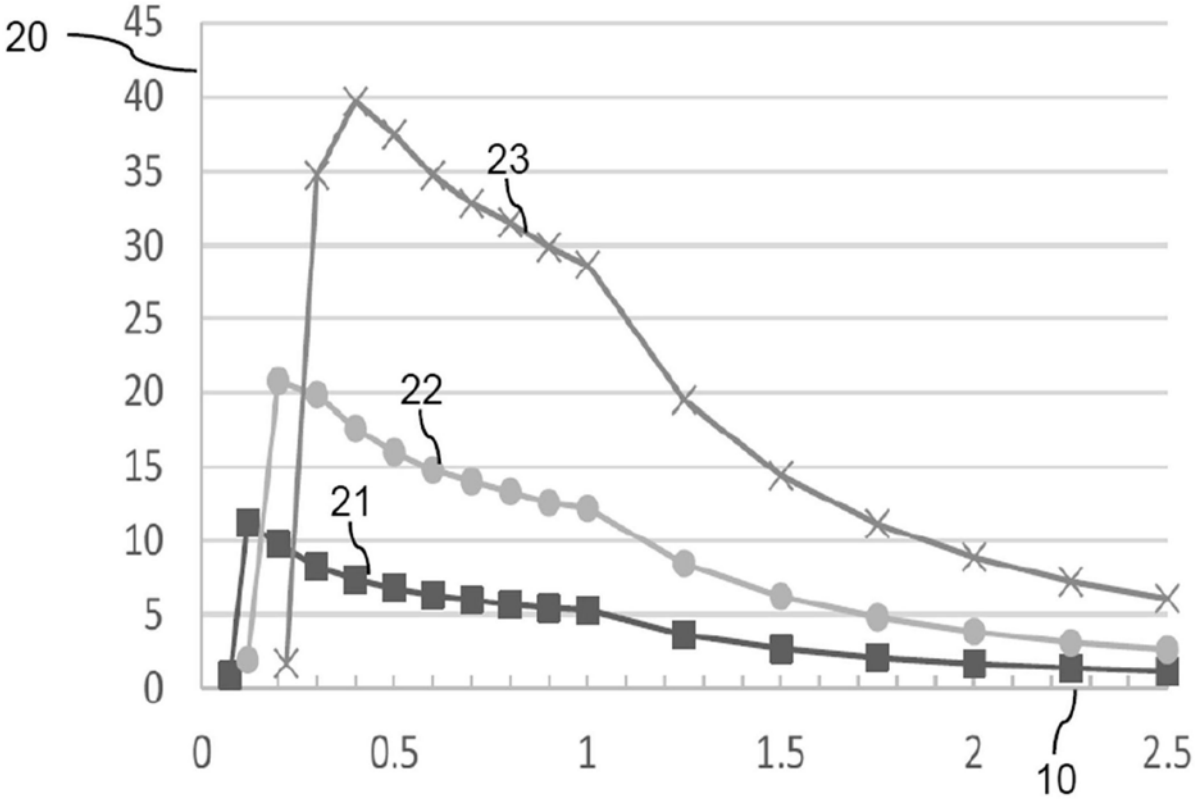

20
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
0.5
1
1.5
2
2.5
10
23
22
21

图4

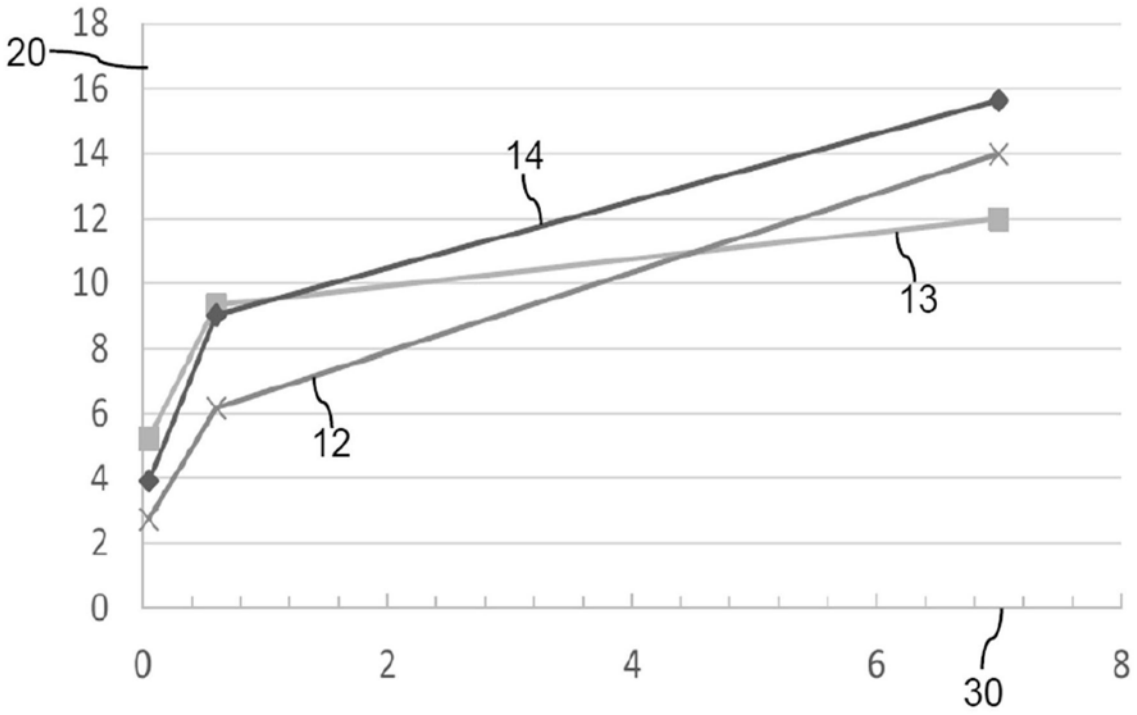

20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
2
4
6
8
30
14
13
12

图5

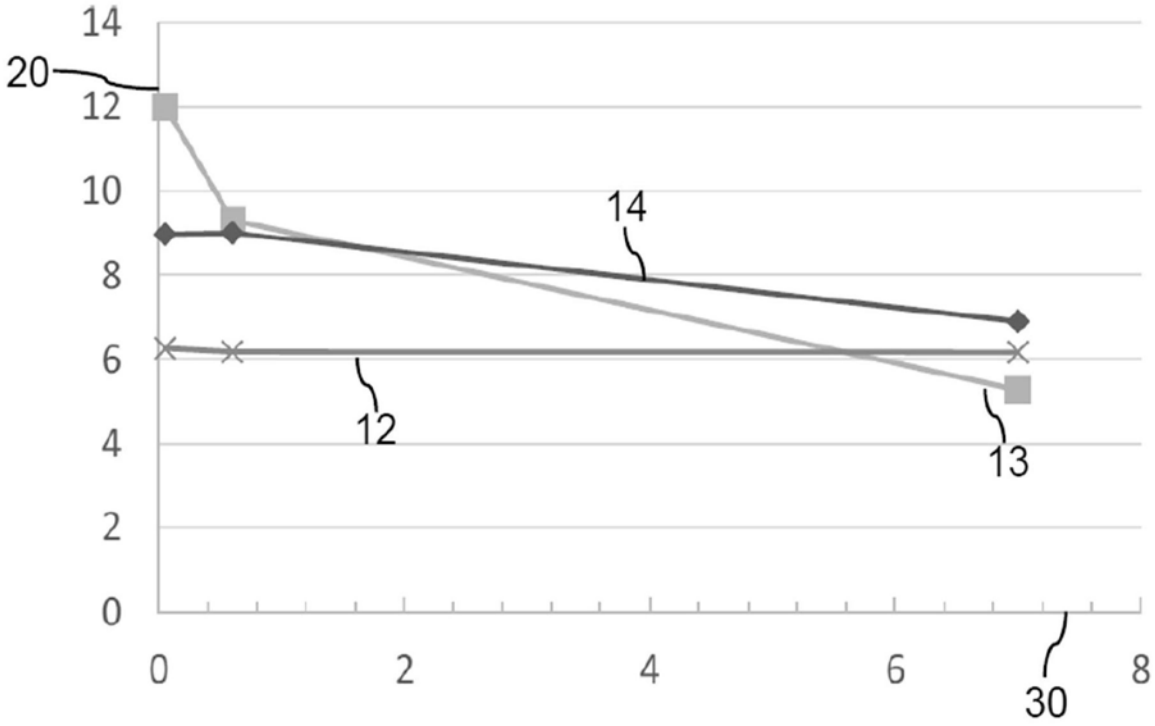

20
14
12
10
8
6
4
2
0
0
2
4
6
8
30
14
12
13

图6

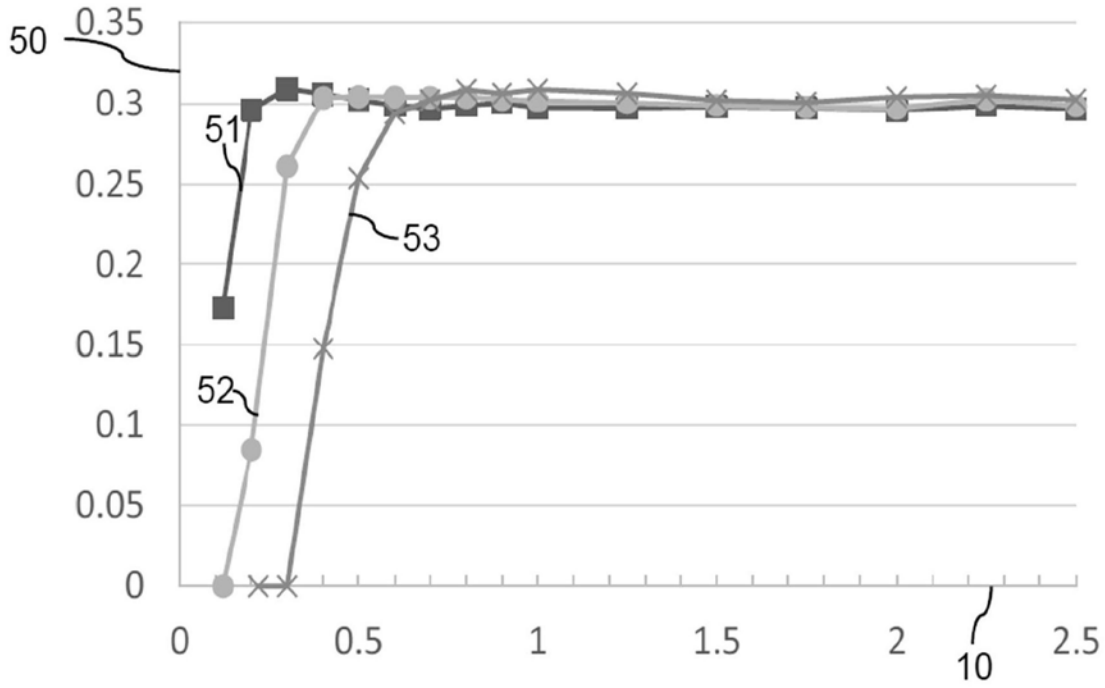

50
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
51
53
52
0
0.5
1
1.5
2
2.5
10

图7

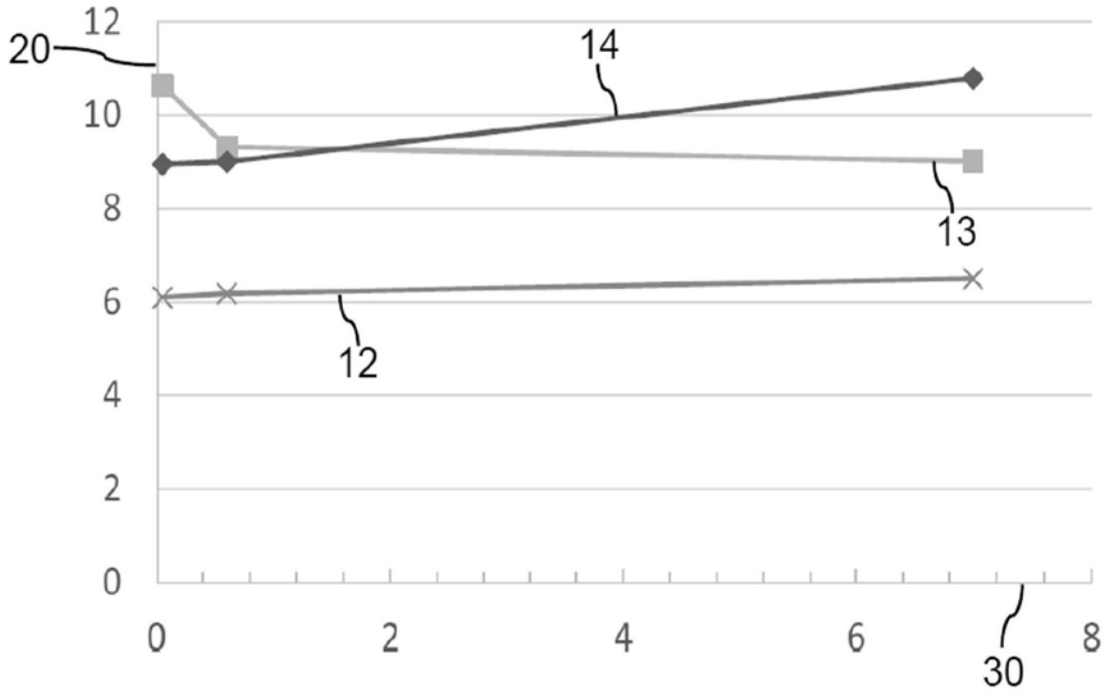

20
12
10
8
6
4
2
0
14
13
12
0
2
4
6
8
30

图8

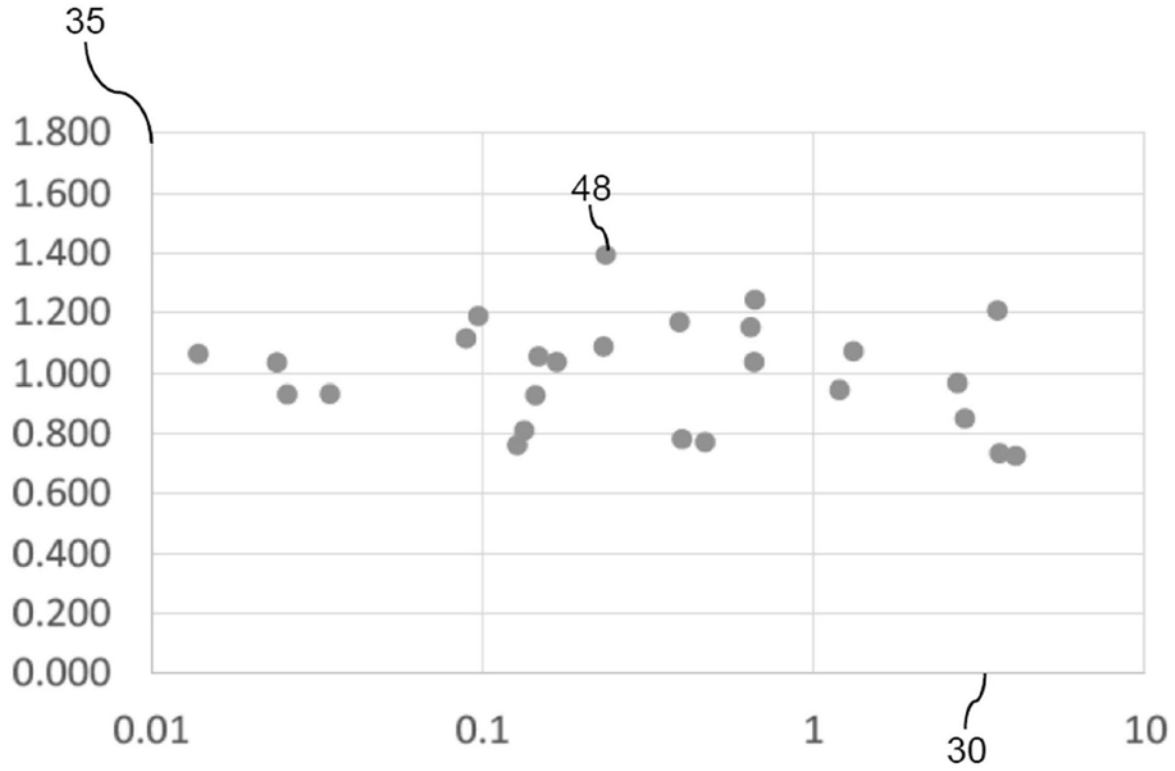

35
1.800
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
48
0.01
0.1
1
30
10

图9

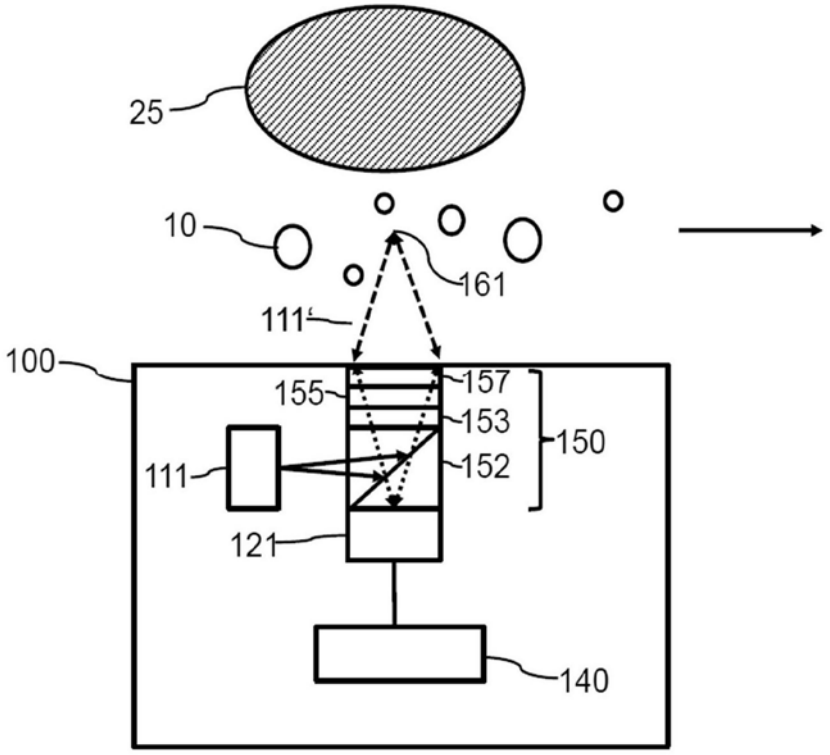

25
10
161
111'
100
155
157
153
150
152
111
121
140

图10

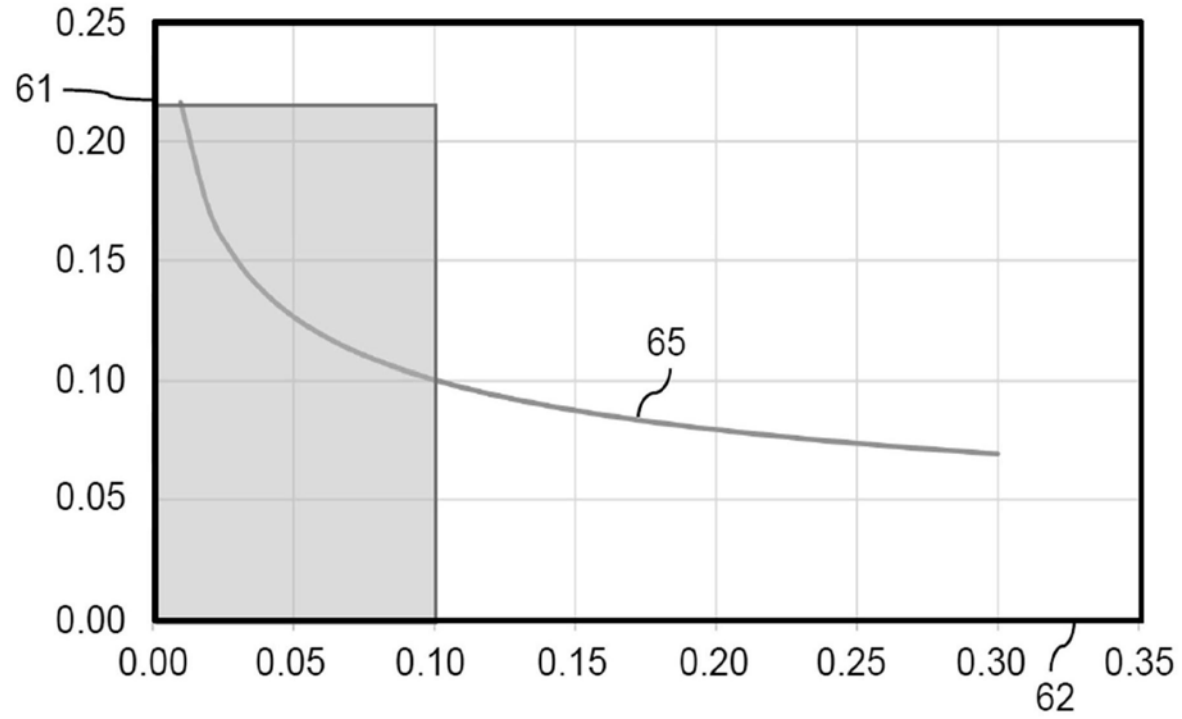

0.25
61
0.20
0.15
65
0.10
0.05
0.00
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
62

图11

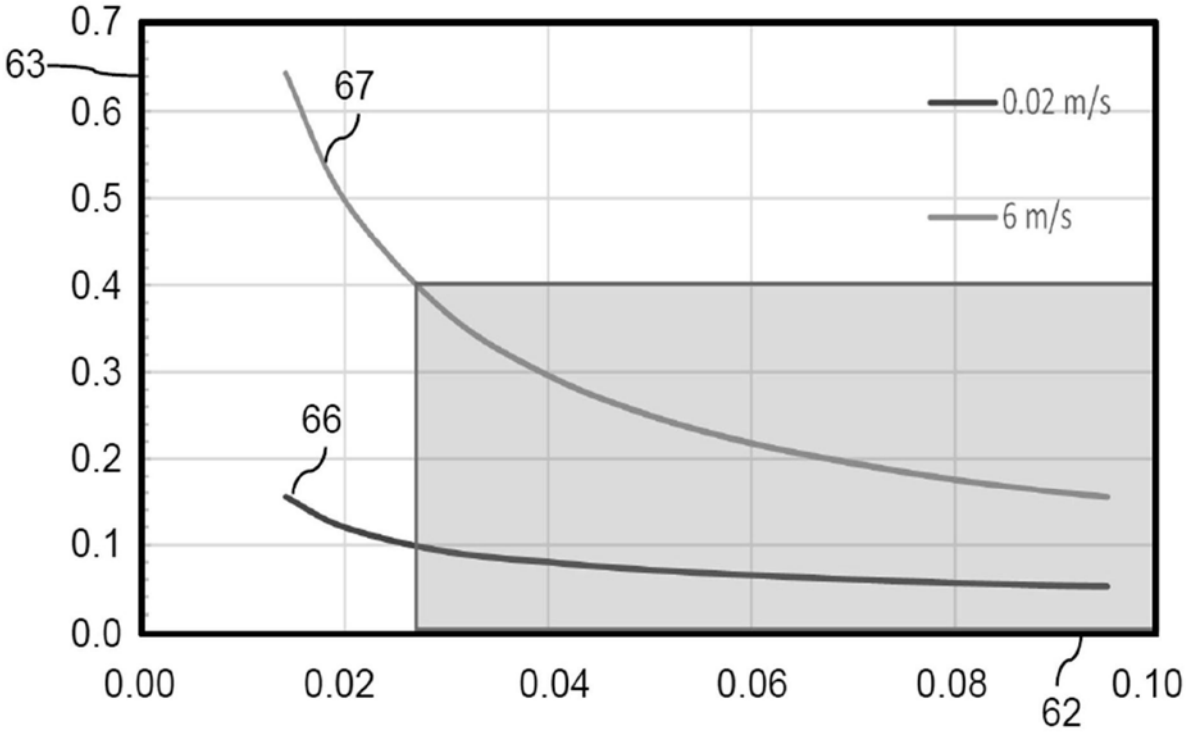

0.7
63
0.6
67
0.02 m/s
0.5
6 m/s
0.4
0.3
66
0.2
0.1
0.0
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
62

图12

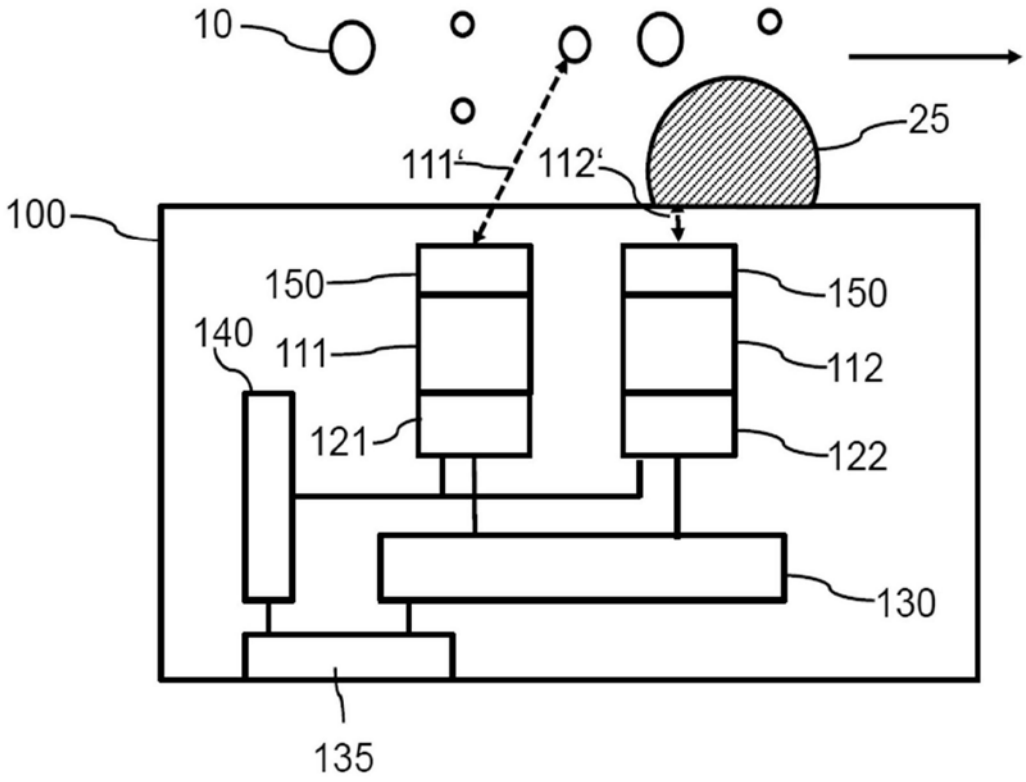

10
25
111'
112'
100
150
150
140
111
112
121
122
130
135

图13

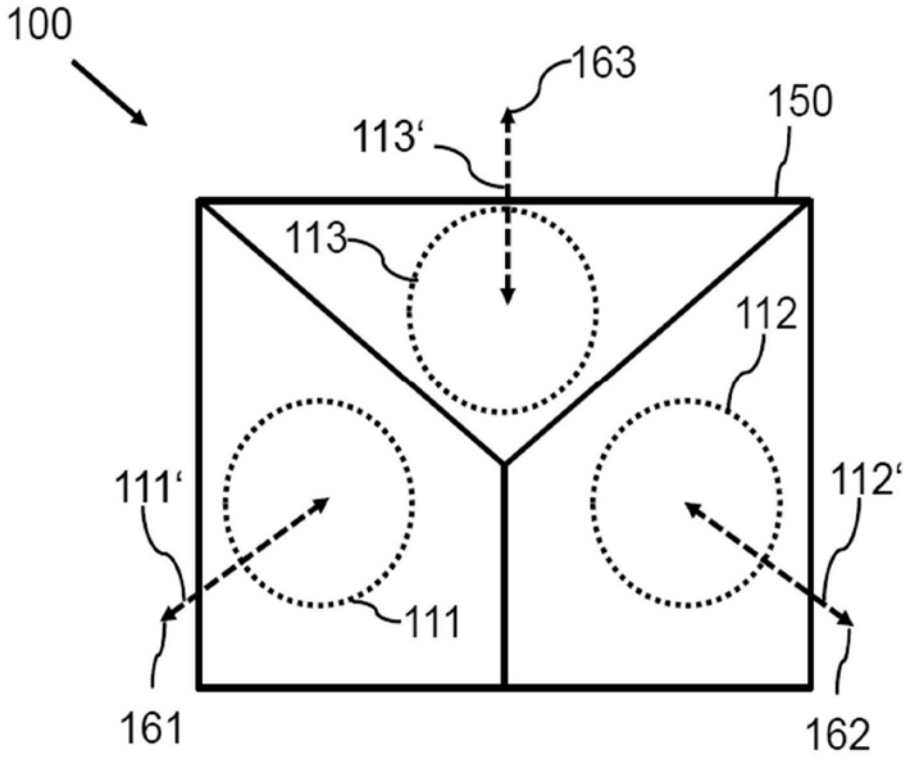

100
163
150
113'
113
112
111'
112'
111
161
162

图14

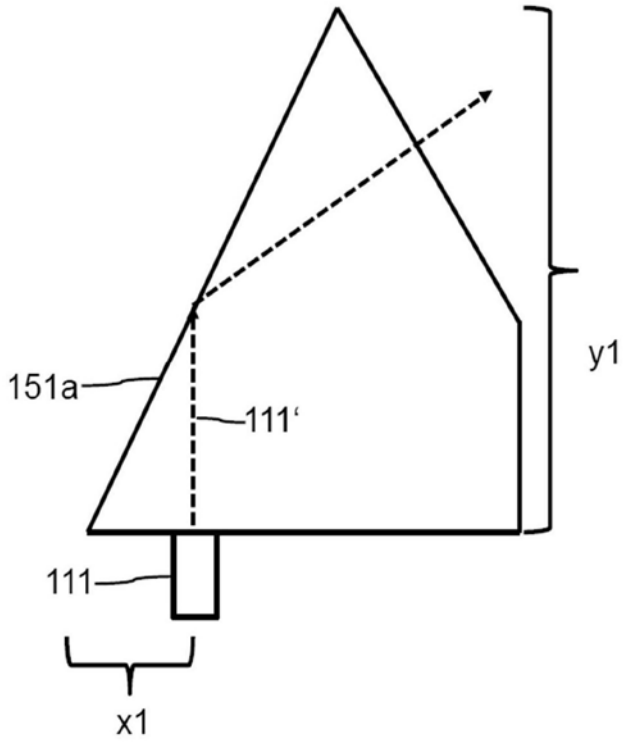


图15

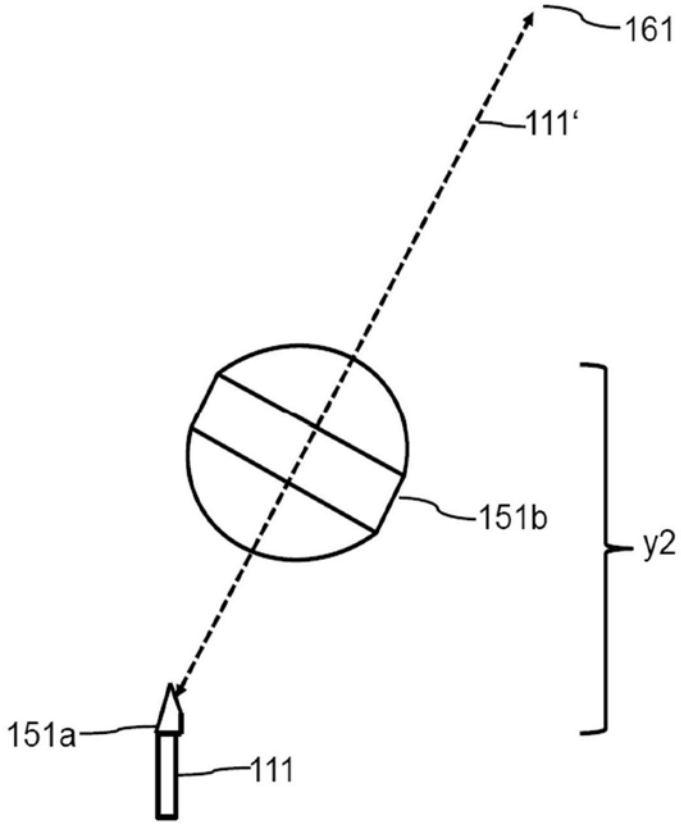


图16

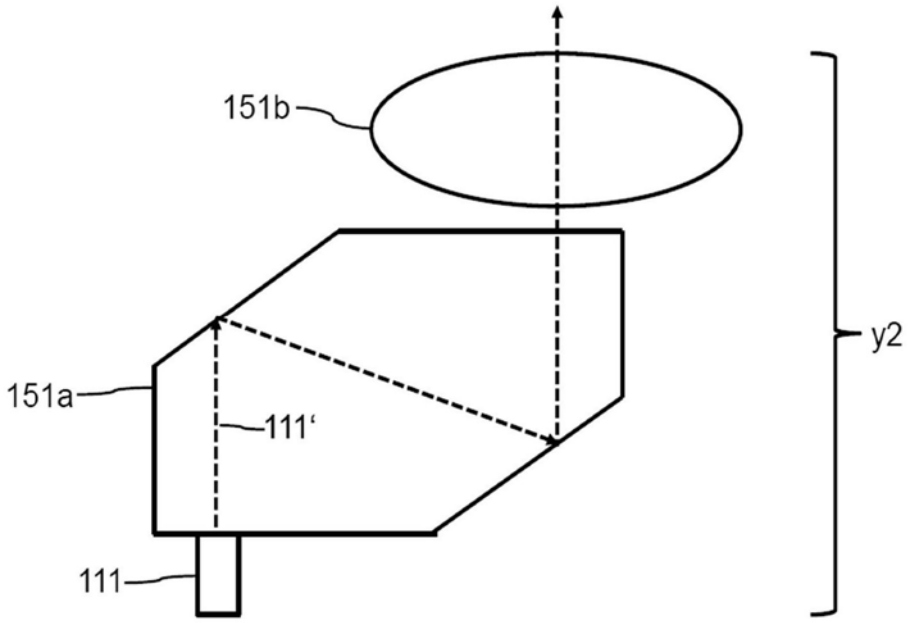


图17

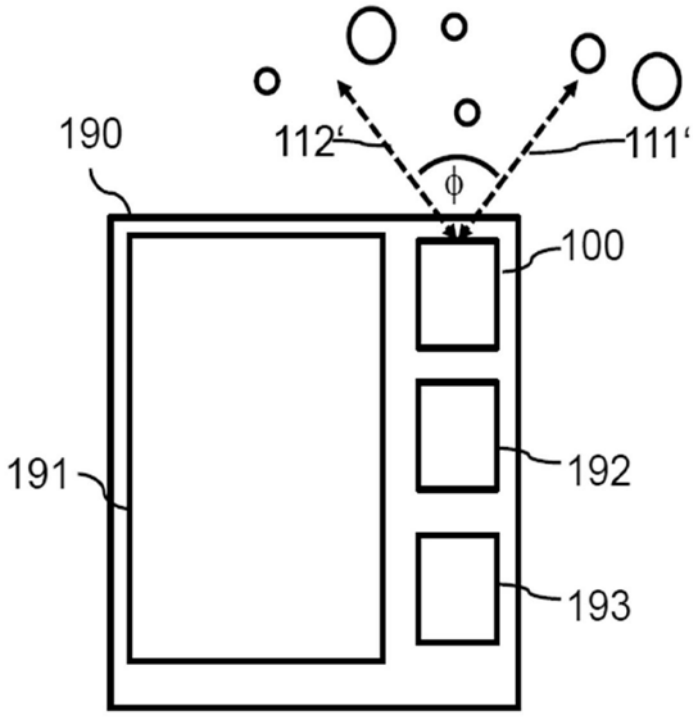


图18

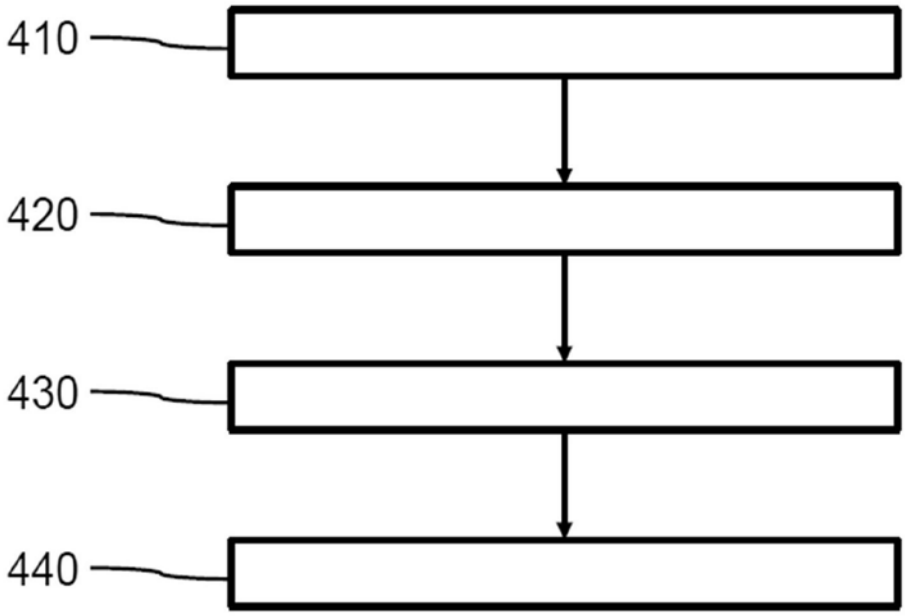


图19