



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310123201.2

[43] 公开日 2004年7月7日

[11] 公开号 CN 1510394A

[22] 申请日 2003.12.19

[21] 申请号 200310123201.2

[30] 优先权

[32] 2002.12.19 [33] US [31] 10/322, 768

[71] 申请人 ASML 控股股份有限公司

地址 荷兰费尔德霍芬

[72] 发明人 博古斯瓦夫·F·盖德克科

肯尼思·M·博古斯基

丹尼尔·N·加尔博特

威利·M·桑德

凯文·J·韦奥莱特

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

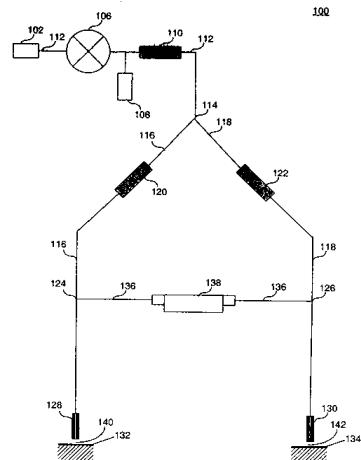
代理人 王景林

权利要求书 6 页 说明书 21 页 附图 13 页

[54] 发明名称 高分辨率气量计式接近传感器

[57] 摘要

一种用来精确检测一测量探头及一表面之间的非常小距离的位置及方法，尤其是一种接近传感器，其使用一恒定气流且感知一气动桥接内的质量流动率，以检测非常小的距离。在此装置内，以多孔材料制成的流量限制器及/或缓冲器及/或质量流动率控制器的使用致使非常小距离的检测在纳米至次纳米范围内。另一实施例，其中一接近传感器的测量通道系连接至多测量分支。



1. 一种气量计式接近传感器，用来感知一参考表面间隙与一测量表面间隙之间的差，其包含：

一交汇处，其将输入该气量计式接近传感器的气体划分至一参考通道及一测量通道；

一第一多孔流量限制器，其沿着参考通道配置，其中，该第一多孔流量限制器均匀地限制穿过参考通道的气流；

一第二多孔流量限制器，其沿着测量通道配置，其中，该第二多孔流量限制器均匀地限制穿过测量通道的气流；

一参考探头，其位于参考通道的一端，因此，气体经由参考探头而离开参考通道，并行进跨过一参考间隙，以冲击在一参考表面上；

一测量探头，其位于测量通道的端，因此，气体经由测量探头而离开测量通道，并行进跨过一测量间隙，以冲击在一测量表面上；及

一质量流量传感器，其连接于参考及测量通道之间，用来感知其间的气流的量，因此，参考与测量表面之间的间隙差可在一高灵敏度下被感知。

2. 如权利要求 1 所述的传感器，还包含一质量流量控制器，其位于该交汇处之前，以输出一恒定的气体质量流动率。

3. 如权利要求 2 所述的传感器，还包含一缓冲器，其位于该质量流量控制器之后，以减小气体紊流。

4. 如权利要求 1 所述的传感器，还包含一缓冲器，其位于该交汇处之前。

5. 如权利要求 1 所述的传感器，其中，该第一及第二多孔流量限制器分别由第一及第二多孔材料制成，该第一及第二多孔材料具有实质上相同渗透的特性。

6. 如权利要求 5 所述的传感器，其中，该第一多孔材料及第二多孔材料是相同的，并包括聚乙烯。

7. 如权利要求 5 所述的传感器，其中，该第一多孔材料及第二多

孔材料是相同的，并包括烧结的不锈钢。

8. 如权利要求1所述的传感器，其中，该第一及第二多孔流量限制器各具有约2至15 μm 之间的一长度。

9. 如权利要求1所述的传感器，其中，该参考探头及该测量探头各包含一个或多个气孔。

10. 如权利要求9所述的传感器，其中，该参考探头及该测量探头以及每一气孔沿着垂直于参考表面及测量表面的方向而延伸。

11. 如权利要求1所述的传感器，其中，该参考探头及该测量探头各包含具有约0.5至2.5 μm 之间的内径的单一气孔。

12. 如权利要求1所述的传感器，其中，该参考探头及该测量探头各包含一喷嘴。

13. 如权利要求1所述的传感器，其中，该参考探头及该测量探头各包含一喷洒头式喷嘴。

14. 如权利要求1所述的传感器，其中，由该质量流量传感器所感知的气流的量以一纳米范围表示测量间隙及参考间隙之间的差。

15. 一种气量计式接近传感器，用来感知一参考表面间隙与一测量表面间隙之间的差，其包含：

一交汇处，其将输入该气量计式接近传感器的气体划分至一参考通道及一测量通道；

一第一开关装置，其连接至测量通道及数个测量分支，其中，该第一开关装置允许气体每次流动于一测量分支，且可用于将该气体流从一测量分支切换至另一测量分支；

一第一多孔流量限制器，其沿着参考通道配置，其中，该第一多孔流量限制器均匀地限制穿过参考通道的气流；

数个测量分支多孔流量限制器，其沿着该数个测量分支部配置，其中，每一测量分支多孔流量限制器均匀地限制穿过相应测量分支的气流；

一参考探头，其位于参考通道的端，因此，气体经由参考探头而离开参考通道，并行进跨过一参考间隙，以冲击在一参考表面上；

数个测量探头，其中，一测量探头位于各测量分支的一端，因此，气体经由一测量探头而离开一测量分支，并行进跨过一测量间隙，以冲击在一测量表面上；及

一第二开关装置，其连接至桥接通道及数个测量分支，其中，该第二开关装置允许气体每次流动于一测量分支，且可用于来将该气体流从一测量分支切换至另一测量分支；

一质量流量传感器，其连接于参考通道及该第二开关装置之间，用来感知其间的气流的量，因此，参考与测量表面之间的间隙差可在一高灵敏度下被感知。

16. 如权利要求 15 所述的传感器，还包含一质量流量控制器，其位于该交汇处之前，以输出一恒定的气体质量流动率。

17. 如权利要求 16 所述的传感器，还包含一缓冲器，其位于该质量流量控制器之后，以减小气体紊流。

18. 如权利要求 15 所述的传感器，还包含一缓冲器，其位于该交汇处之前。

19. 如权利要求 15 所述的传感器，其中，该第一及各所述测量分支多孔流量限制器都由多孔材料制成，该多孔材料具有实质上相同渗透的特性。

20. 如权利要求 19 所述的传感器，其中，该第一多孔流量限制器及各所述测量分支流量限制器的多孔材料是相同的，并包括聚乙烯。

21. 如权利要求 19 所述的传感器，其中，该第一多孔流量限制器及各所述测量分支多孔流量限制器的多孔材料是相同的，并包括烧结的不锈钢。

22. 如权利要求 15 所述的传感器，其中，该参考探头及该数个测量探头的每一个都包含一喷嘴。

23. 如权利要求 15 所述的传感器，其中，该参考探头及该数个测量探头的每一个都包含一喷洒头式喷嘴。

24. 如权利要求 15 所述的传感器，其中，由该质量流量传感器所感知的气流的量以一纳米的范围表示测量间隙及参考间隙之间的差。

25. 一种用于气量计式接近传感器的桥接，其包含：

一交汇处，其接收一气流，并将该气流划分至一参考通道及一测量通道；

一第一多孔流量限制器，其沿着参考通道配置，其中，该第一多孔流量限制器均匀地限制穿过参考通道的气流；

一第二多孔流量限制器，其沿着测量通道配置，其中，该第二多孔流量限制器均匀地限制穿过测量通道的气流。

26. 一种感知一参考间隙与一测量间隙之间的差的方法，其包含以下步骤：

(a) 在一测量通道及一参考通道之间分布气流；

(b) 限制实质均匀地跨过测量及参考通道两者的横截面区的气流；

(c) 经由喷嘴从参考及测量通道输出气体，以分别地冲击在一参考表面及一测量表面上；及

(d) 感知跨过连接参考及测量通道的桥接通道的质量流动率，该质量流动率表示一测量间隙及参考间隙之间的差的大小。

27. 如权利要求 26 所述的方法，其中，步骤 (d) 包含监视跨过连接参考及测量通道的桥接通道的质量流动率的步骤，该质量流动率代表测量间隙及参考间隙之间的差的大小。

28. 如权利要求 26 所述的方法，其中，步骤 (d) 包含监视参考及测量通道中的气压差的步骤，该气压差代表测量间隙及参考间隙之间的差的大小。

29. 如权利要求 26 所述的方法，还包含根据该感知步骤进行的控制操作。

30. 如权利要求 27 所述的方法，还包含根据该感知步骤进行的控制操作。

31. 如权利要求 28 所述的方法，还包含根据该感知步骤进行的控制操作。

32. 一种感知一参考间隙与一测量间隙之间的差的方法，其包含以

下步骤：

- (a) 在测量通道及参考通道之间分布气流；
- (b) 在数个测量分支之间切换该气流，其中，该气流每次流过一测量分支；
- (c) 限制实质均匀地跨过测量及参考通道两者的横截面区的气流；
- (d) 从参考及测量通道经由喷嘴而输出气体，以分别地冲击在一参考表面及一测量表面上；及
- (e) 感知跨过连接参考及测量通道的桥接通道的质量流动率，该质量流动率表示一测量间隙及参考间隙之间的差的大小。

33. 如权利要求 32 所述的方法，其中，步骤 (e) 包含监视跨过连接该参考通道及一测量分支的桥接通道的质量流动率的步骤，该质量流动率代表测量间隙及参考间隙之间的差的大小。

34. 如权利要求 32 所述的方法，其中，步骤 (e) 包含监视该参考通道及一测量分支中的气压差的步骤，该气压差代表测量间隙及参考间隙之间的差的大小。

35. 如权利要求 32 所述的方法，还包含根据该感知步骤进行的控制操作。

36. 如权利要求 33 所述的方法，还包含根据该感知步骤进行的控制操作。

37. 如权利要求 34 所述的方法，还包含根据该感知步骤进行的控制操作。

38. 一种用来绘制一测量表面的地势图的方法，其包含：
(a) 将一气流注入具有多个测量分支的气量计式接近传感器；
(b) 使用一测量分支来绘制测量表面的一区域的地势图；
(c) 当测量表面的一区域的该绘制被完成时，将该气流从一测量分支切换至另一测量分支；及
(d) 重复步骤 (a) 至 (c)，直到要求地势图绘制的测量表面的所有区域都已完成绘制为止。

39. 如权利要求 38 所述的方法，其中，该测量表面是一半导体晶片。

高分辨率气量计式接近传感器

发明领域

本发明涉及用来检测非常小距离的装置及方法，尤其涉及以气流进行的接近感知。

现有技术

许多自动化的制造过程需要感知制造工具和被加工的产品或材料表面之间的距离。在某些情况中，诸如半导体光刻，距离必须以接近一纳米的准确度而予以测量。

与产生此种准确度的接近传感器相关联的挑战是重要的，尤其在影印成像系统的背景中。在影印成像的背景中，附加系非侵入性且具有精确检测非常小距离的能力，接近传感器亦不能引起污染物或与加工表面接触，典型地为一半导体晶片。任一情况的发生可能显著地降低或破坏半导体品质。

不同类型的接近传感器可取得来测量非常小距离。接近传感器的实例包括电容及光学量计。当使用于影印成像系统时，接近传感器具有严重的缺点，因为沉积在晶片上之材料的物理特性可影响这些装置的精确度。例如，依赖电荷浓度的电容量计在集中的一种类型的材料（例如，金属）的位置可产生谬误的接近读数。当使用以诸如砷化镓[Gallium Arsenide (GaAs)]及磷化铟[Indium Phosphide (InP)]的非导电和/或光敏材料制成的不稳定晶片，另一类的问题发生。在这些例子中，电容及光学量计可能提供谬误的结果。

美国专利第4,953,388及4,550,592号公开了关于使用一气量计式传感器的接近感知的替代方法。空气量计式传感器对于电荷的集中或晶片表面的电气、光学及其它物理特性系不易受伤的。然而，目前的半导体制造要求接近在纳米级别上以高精确度予以量计。所需要的是比上述美国专利案更精确的气量计式接近传感器。

发明概述

本发明提供一种高分辨率气量计式接近传感器及方法，其显著地改善先前类型的接近传感器的精确度。气量计式接近传感器通过检测测量及参考间隙间的差而决定接近。间隙是指接近传感器的喷嘴及喷嘴下方的表面间之距离或间隙。

为了确定间隙差，具有一恒定质量流动率之气流系以一质量流量控制器而予以量计，且被迫穿过测量通道及参考通道的两通道。根据本发明，多孔限制器使用于参考通道及测量通道。多孔限制器不会引起紊流，且减少气动噪音，同时实施传感器的适当操作所需之阻抗功能。在本发明的替代实施例中，一多孔缓冲器系置于接着质量流量控制器的接近传感器内，且，接近传感器分成参考及测量通道。多孔缓冲器使气体紊流安静，减少经由通道传播的可能噪音，并加强接近传感器的精确度。

每一通道具有一探头在远程上，此探头定位在一表面上方。一气体被迫穿过通道，并对着各别的测量及参考表面经由喷嘴射出。参考及测量通道间的桥接通道感知两个通道间的质量流量，此质量流量系由参考及测量通道中的气压差而引起的。感知的质量流动率表示参考及测量间隙间的差。换言之，跨过桥接之感知的质量流量表示一参考探头及参考通道中的参考表面的参考间隙与一测量探头及测量通道中的测量表面的测量间隙间的任何差。气量计式接近传感器可提供一指示，且基于感知的质量流动率请求一控制作用。

根据本发明的另一方面，不同喷嘴类型可被使用作为测量及参考探头。这些喷嘴致使此传感器随时适用于不同类型的加工表面。

根据本发明的另一方面，一气量计式接近传感器可包含连接至一开关装置的测量通道，此开关装置连接至多测量分支。每一测量分支具有相同如未包含测量分支的装置中的一测量通道的特性之特性。多测量分支加强一接近传感器的能力，以测量在一测量表面的较大区上的间隙。

根据本发明的另一实施例，一种方法被提供给具有单一测量通道

的气量计式接近传感器，此方法包括将气流分布进入测量及参考通道及限制气流均匀跨过每一通道的横截面区域的步骤。

根据本发明的另一实施例，一种方法系提供于具有测量分支的气量计式接近传感器。此方法包括将气流分成一测量分支及一参考通道，限制气流均匀地跨过参考通道的横截面区或一测量分支与切换在测量分支间的步骤。另一方法说明具有多测量分支的气量计式接近传感器的使用，以绘制一测量表面的地势图。

经由多孔限制器、质量流量控制器和/或缓冲器的使用，本发明的实施例以纳米的准确度在一高分辨率基于气流而致使距离的测量。本发明尤其有利于影印成像系统及工具。在影印成像系统中，逐渐增加地需要以高分辨来决定光刻产生工具的适当几何参考点及半导体晶片间的距离。使用高分辨气流接近感知技术于高分辨性能的半导体制造中，进一步提供晶片接近测量相对于晶片材料及沉积在晶片上的材料的物理参数的独立性。

本发明的其它实施例、特性及优点，以及本发明的各种实施例的结构与操作，系参考以下的附图详细的说明。

对附图的简要说明

现结合附图说明本发明。在图式中，相同附图标记标示相同或功能上相似的组件。

图 1A 是根据本发明的实施例的气量计式接近传感器的示意图。

图 1B 是根据本发明的实施例的具有多测量分支的气量计式接近传感器的示意图。

图 2 是提供根据本发明的实施例的限制器的横截面图的示意图。

图 3A 是显示喷嘴的基本特征的示意图。

图 3B 是显示根据本发明的实施例可使用于一参考探头或测量探头的喷嘴的立体图的示意图。

图 3C 是显示根据本发明的实施例的图 3B 中所示的喷嘴的横截面图的示意图。

图 3D 是显示根据本发明的实施例可使用于一参考探头或测量探头

的喷洒头式的立体图的示意图。

图 3E 是显示根据本发明的实施例的图 3D 中所示的喷嘴的横截面图的示意图。

图 4 是显示根据本发明的实施例的使用气量计式接近传感器来检测非常小距离并实施一控制作用的方法的流程图。

图 5 是示出了根据本发明的实施例的具有不同尺寸的喷嘴的测试结果的灵敏度曲线图。

图 6 是根据本发明的实施例的具有桥接架构的气量计式接近传感器的示意图。

图 7 是示出了如质量流动率及测量喷嘴间隙的函数的仿真结果的灵敏度曲线图。

图 8 是示出了如喷嘴内径 (ID) 及多孔限制器的长度的函数的仿真结果的灵敏度曲线图。

对本发明的详细说明

虽然本发明在本文中系参考特定用途的示出了实施例而予以说明，应了解到，本发明未受其限制。接近本文中所提供的教导的本领域的技术人员将认知到其范围内的附加修改、应用及实施例，以及，本发明具有重要实用性的附加领域。

内容的目录

A. 气量计式接近传感器

1. 流量限制器
2. 缓冲器
3. 喷嘴

B. 方法

C. 模式及仿真结果

1. 仿真参数的选择
2. 结果

D. 结论

A. 气量计式接近传感器

图 1A 示出了根据本发明的实施例之气量计式接近传感器 100。气量计式接近传感器 100 包括：质量流量控制器 106、中央通道 112、测量通道 116、参考通道 118、测量通道限制器 120、参考通道限制器 122、测量探头 128、参考探头 130、桥接通道 136 及质量流量传感器 138。气体供应源 102 在一想要压力下将气体喷入气量计式接近传感器 100。

中央通道 112 连接气体供应源 102 至质量流量控制器 106，然后终止在交汇处 114。质量流量控制器 106 保持一恒定流动率于气量计式接近传感器 100 内。气体经由多孔缓冲器 110 自质量流量控制器 106 被迫而出，其中蓄压器 108 附接至中央 112。缓冲器 110 降低由气体供应源 102 引入的气体紊流，且其使用选择性的。在离开缓冲器 110 之后，气体经由中央通道 112 行进至交汇处 114。中央通道 112 终止在交汇处 114，并分成测量通道 116 及参考通道 118。质量流量控制器 106 注入气体在一足够低的流动率以提供层流状且不可压缩的流体流在整个系统中，因此最小化不想要的气动噪音的产生。

桥接通道 136 系连接于测量通道 116 及参考通道 118 之间。桥接通道 136 连接至测量通道 116 在交汇处 124。桥接通道 136 连接至参考通道 118 在交汇处 126。于一实例中，交汇处 114 及交汇处 124 间的距离以及交汇处 114 及交汇处 126 间的距离系相等的。

气量计式接近传感器 100 的所有通道允许气体流过它们。通道 112、116、118 及 136 可以导管（管状筒、管子等）制成，或任何其它类型的可容纳并导引气体流过传感器 100 的结构。此通道不具有锐弯，不规则性或不必要的阻碍，其可能例如，因为制造出局部紊流或流动不稳定而产生气动噪音。测量通道 116 及参考通道 118 的整个长度可以是相等，或可不相等于其它实例中。

参考通道 118 终止参考探头 130。同样地，测量通道 116 终止于测量探头 128。参考探头 130 系定位在参考表面 134 上方。测量探头 128 系定位在测量表面 132 上方。于影印成像术的背景中，测量表面 132 通常是一半导体晶片或支撑一晶片的平台。参考表面 134 可以是一扁平金属板，然而未受限此实例。由气体供应源 102 注入的气体系发射

自探头 128、130 的每一者，并冲击在测量表面 132 及参考表面 134 上。喷嘴系设于测量探头 128 及参考探头 130。以下进一步参考图 3A-3E 说明喷嘴的实例。如上述，喷嘴与对应测量或参考表面间的距离称为间隙。

在一个实施例中，参考探头 130 系定位在具有一已知参考间隙 142 的固定参考表面 134 上方。测量探头 128 定位在具有一未知测量间隙 140 的测量表面 132 上方。已知参考间隙 142 系设定在代表一理想间隙的想要恒定值。以此种配置，测量探头 128 的回压逆流系未知测量间隙 140 的函数；及，参考探头 130 的回压逆流系已知参考间隙 142 的函数。如果间隙 140 及 142 系相等的，架构系对称的，且，桥接系平衡的。因此，没有气体流过桥接通道 136。另一方面，当测量间隙 140 及参考间隙 142 系不同，测量通道 116 及参考通道 118 间之合成压力差引起一气体流穿过质量流量传感器 138。

质量流量传感器 138 系沿着桥接通道 136 而配置，较佳地在中心点。桥接通道 136 感测由测量通道 116 及参考通道 118 间之压力差引起之气流。这些压力差由于测量表面 132 的垂直位置之变化而发生。用于一对称桥接，当测量间隙 140 及参考间隙 142 系相等时，探头 128、130 的两者相对于表面 132、134 之间隙系相同的。质量流量传感器 138 将检测不到质量流动率，因为将没有压力差在测量及参考通道之间。测量间隙 140 及参考间隙 142 间的差将导致不同压力于测量通道 116 及参考通道 118。适当的偏移可被导入用于非对称配置。

质量流量传感器 138 感测由一压力差或不平衡所引起的气流。压力差造成一气流，此气流的速度系测量间隙 140 的特有函数。换言之，假设气量计 100 中的恒定流动率，测量通道 116 与参考通道 118 中的气体压力间的差系间隙 140 及 142 的大小间的差的函数。如果参考间隙 142 系设为一已知间隙，测量通道 116 与参考通道 118 的气体压力间的差系测量间隙 140（亦即，测量表面 132 与测量探头 128 间的 z 方向的未知间隙）的尺寸的函数。

质量流量传感器 138 检测穿过桥接通道 136 之任一方向的气流。

因为桥接架构，仅当通道 116、118 间的压力差发生时，气流发生穿过桥接通道 136。当一压力不平衡存在时，质量流量传感器 138 检测一合成气流，且可起动一适当控制函数。质量流量传感器 138 可经由一视频显示器或声频指示来提供被感测流的指示。替代地，取代质量流量传感器，差动压力传感器可被使用。差动压力传感器测量两个通道间的压力差，此压力差系此测量与参考间隙间的差的函数。

此控制函数可用来计算精确的间隙差。于另一实施例中，此控制函数可用来增加或减小测量间隙 140 的尺寸。此系通过相对于测量探头 128 移动测量表面 132 直到压力差足够地接近零而予以完成，当不再有距测量表面 132 与参考表面 134 的间隙间的差时，此压力差发生。

图 1A 示出了本发明的至少三个组件，这些组件减小气体紊流及其它气动噪音，以使本发明达到纳米准确度。这些组件，质量流量控制器 106、缓冲器 110 及限制器 120、122，都可使用于本发明的实施例内，或根据想要的灵敏度之任何组合。例如，如果一应用需要非常精确的灵敏度，所有组件可被使用。替代地，如果一应用需要较小的灵敏度，或许仅使用缓冲器 110 需要，其中多孔限制器 120 及 122 由孔口所取代。结果，本发明提供一弹性的方法，成本利益上符合一特别应用的必备条件。

根据本发明的其它实施例，质量流量控制器 106 及/或缓冲器 110 的加入可被使用于美国专利第 4953388 及 4550592 号中所揭示的系统，明显地增强其灵敏性。

图 1B 示出了根据本发明的实施例的气量计式接近传感器 150。气量计式接近传感器 150 包括其具有相似的操作原理如气量计式接近传感器 100 的许多相同组件。两个传感器间的差别在于，气量计式接近传感器 150 具有三个测量分支，其比得上包含于气量计式接近传感器 100 内的一个测量通道。此三个测量分支为了方便示出而显示，且，本发明未受限于测量分支。二或更多的任何数量的测量分支可被使用。

气量计式接近传感器 150 包括质量流量控制器 153、中央通道 156、参考通道 158、参考通道限制器 166、参考探头 174、桥接通道 190 及

质量流量传感器 192。再者，气量计式接近传感器 150 包括测量通道 159。测量通道 159 分成三个测量分支 163、164 及 165。测量分支 163 包括测量分支限制器 167 及测量探头 175。测量分支 164 包括测量分支限制器 168 及测量探头 176。测量分支 165 包括测量分支限制器 169 及测量探头 177。最后，气量计式接近传感器 150 包括测量通道切换装置 160、桥接通道切换装置 161 及开关装置杆 162。

气体供应源 151 在一想要的压力下将气体注入气量计式接近传感器 150。中央通道 156 连接气体供应 151 至质量流量控制器 153，然后终止在交汇处 157。质量流量控制器 153 保持一恒定流动率于气量计式接近传感器 150 内。质量流量控制器 153 在一足够低的流动率而将气体注入，以提供层流状、及不可压缩流体流在整个系统，因此最小化不想要的气动噪音的产生。气体系经由多孔缓冲器 155 自质量流量控制器 153 被迫而出，其中蓄压器 154 附接至通道 156。缓冲器 155 降低由气体供应源 151 引入的气体紊流，且其使用系选择性的。在离开缓冲器 155 之后，气体行进穿过中央通道 156 至交汇处 157。中央通道 156 终止在交汇处 157，并分成测量通道 159 及参考通道 158。

测量通道 159 终止于测量通道切换装置 160。测量通道切换装置 160 可以是一扫瞄阀或其它类型的切换装置，其用来切换一测量通道至数个测量分支的一者，此测量分支亦连接至测量通道切换装置 160。测量分支的物理特性是相同于测量通道的物理特性。测量通道切换装置 160 是通过开关装置杆 162 而操作的。开关装置杆 162 控制测量分支 163、164 及 165 的其中之一经由测量通道切换装置 160 而连接至测量通道 159。

桥接通道 190 经由桥接通道切换装置 161 连接于参考通道 158 与测量分支 163、164 及 165 的一者间。桥接通道 190 在交汇处 170 连接至参考通道 158。桥接通道 190 终止于桥接通道切换装置 161。桥接通道切换装置 161 可以是一扫瞄阀或其它类型的切换装置，其用来切换一桥接通道至测量分支的其中之一。在图 1B 所示的一个实例中，三个测量分支 163、164 及 165 系分别地在交汇处 171、172 及 173 而连接

至桥接通道切换装置 161。开关装置杆 162 控制测量分支 163、164 及 165 的一者系经由桥接通道切换装置 161 而连接至桥接通道。开关装置杆 162 控制测量通道切换装置 160 及桥接通道切换装置 161 两者，以使相同的测量分支将连接至测量通道 159 及桥接通道 190 两者。替代的，两个独立的开关杆可被使用。

在一个实例中，交汇处 157 及交汇处 170 间的距离及交汇处 157 及交汇处 171、172 及 173 间的距离是相等的。

气量计式接近传感器 150 内的所有通道及分支允许气体流过它们。通道 156、158、159 及 190 与分支 163、164 及 165 可以导管（管状筒、管子等）制成，或任何其它类型，其可容纳并导引气流穿过传感器 150。此通道及分支不具有锐弯，不规则性或不必要的阻碍，其可能例如，因为制造出局部紊流或流动不稳定性而产生气动噪音。测量通道 158 及测量通道 159 的整个长度加上测量分支 163、164 及 165 的一者可以是相等，或可以是不相等于其它实例中。

参考通道 158 终止于参考探头 174。同样地，测量分支 163、164 及 165 分别终止于测量探头 175、176、177。参考探头 174 系定位在参考表面 178 上方。测量探头 175、176 及 177 定位在测量表面 179 上方。在影印成像术的背景中，测量表面 179 通常是一半导体晶片或支撑一晶片的平台。参考表面 178 可以是一扁平金属板，然而未受限此实例。由气体供应源 151 注入的气体系发射自参考探头 174，并冲击在参考表面 178 上。同样的，由气体供应 151 注入的气体系发射自测量探头 175、176 或 177 的一者，并冲击在测量表面 179 上。开关装置杆 162 的位置决定发射的哪一测量探头气体。喷嘴系设于探头 174、175、176 及 177。以下进一步参考图 3A-3E 说明喷嘴的实例。如上述，喷嘴与对应测量或参考表面间的距离称为间隙。

在一个实施例中，参考探头 174 系定位在具有一已知参考间隙 180 的固定参考表面 178 上方。测量探头 175、176 及 177 定位在具有一未知测量间隙 181、182 及 183 的测量表面 179 上方。未知测量间隙 181、182 及 183 可以是相等的，或可不相等的，其中一测量表面的地势在

每一区有所不同。已知参考间隙 180 系设定在代表一理想间隙的想要恒定值。以此种配置，来自使用中的测量探头 175、176 或 177 之回压逆流分别系未知测量间隙 181、182 或 183 的函数；及，参考探头 174 的回压逆流系已知参考间隙 180 的函数。如果使用中的参考间隙 180 及测量间隙 181、182 或 183 系相等的，架构系对称的，且，桥接系平衡的。因此，没有气流穿过桥接通道 174。另一方面，当参考间隙 180 及对应使用中的测量分支之测量间隙 181、182 或 183 系不同，参考通道 158 及使用中的测量分支 163、164 或 165 间之合成压力差包括穿过桥接通道 190 的气流。

质量流量传感器 192 沿着桥接通道 190 而配置，优选地在中心点。质量流量传感器 192 感测由参考通道 158 与使用中的测量分支 163 或 165 间的压力差所引起之气流。这些压力差由于测量表面 179 的垂直位置之变化而发生。用于一对称桥接，当已知参考间隙 180 及对应使用中的测量分支的未知测量间隙 181、182 或 183 相等时，质量流量传感器 192 将检测不到质量气流，因为在使用中的测量分支与参考通道间没有压力差。已知参考间隙 180 及对应使用中的测量分支的未知测量间隙 181、182 或 183 间的差将导致参考通道 158 及使用中的测量分支 163、164 或 165 的不同压力。适当偏移可被引用于不对称配置。

质量流量传感器 192 感测由一压力差或不平衡所引起的气流。压力差造成一气流，此气流的流动率系未知测量间隙 181、182 或 183 的唯一函数。换言之，假设气量计式 150 中的恒定流动率，测量分支 163、164 或 165 与参考通道 158 中的气体压力间的不同系已知参考间隙 180 与对应使用中的测量分支的未知测量间隙 181、182 或 183 间的不同的函数。如果已知参考间隙 180 系设定在一已知间隙，使用中的测量分支 163、164 或 165 与参考通道 158 中的气体压力间的差系一测量间隙（亦即，测量表面 179 与测量探头 175、176 或 177 间的 z 方向的未知间隙）的大小的函数。

质量流量传感器 192 检测穿过桥接通道 190 的任一方向之气流。因为桥接架构，仅当压力差发生在参考通道 158 与使用中的测量分支

163、164 或 165 之间时，气流发生穿过桥接通道 190。当压力不平衡存在时，质量流量传感器 192 检测一合成气流，且可开始一适当的控制功能。质量流量传感器 192 可提供一感测流穿过视频显示器的指示或声频指示。替代地，取代质量流量传感器，一差动压力传感器可被使用。差动压力传感器测量参考通道与一测量分支间的压力差，此压力差是一测量间隙及参考间隙之间的差的函数。

此控制函数可用来计算精确的间隙差。在另一实施例中，控制函数可用来增加或减小未知测量间隙 181、182 或 183 的尺寸。这是通过相对于一测量探头移动测量表面直到压力差足够接近零而完成的，当距一测量表面与参考表面 178 的间隙间不再有差别时，此状况发生。

图 1B 示出了本发明的至少三个组件，此组件降低气体紊流及其它气动噪音，以致使本发明达到纳米准确性。这些组件，质量流量控制器 153、缓冲器 155 及限制器 166、1678、168 及 169，都可使用在本发明的实施例，或根据想要的灵敏度以任何组合方式。例如，如果一应用需要非常精确灵敏度，所有组件可被使用。替代地，如果一应用需要较少灵敏度，大概仅针对缓冲器 155，其中多孔限制器 166、167、168 及 169 由于孔口而取代。结果，本发明提供一弹性的方法，成本利益上符合一特别应用的必备条件。

1. 流量限制器

根据本发明的一个实施例并参照气量计式接近传感器 100，测量通道 116 及参考通道 118 包含限制器 120、122。每一限制器 120、122 限制气流行进穿过各自的测量通道 116 及参考通道 118。测量通道限制器 120 系位于交汇处 114 及交汇处 124 间的测量通道 116 内。同样的，参考通道限制器 122 系位于交汇处 114 及交汇处 126 间的参考通道 118 内。于一个实例中，自交汇处 114 至测量通道限制器 120 之距离及自交汇处 114 至参考通道限制器 122 之距离系不相等的。于其它实例中，距离是不相等的。这是没有硬性规定传感器必须是对称的，然而，如果几何上系对称的，传感器较容易使用。

根据本发明的另一特性，每一限制器 120、122 包含一多孔材料，

诸如聚乙烯或烧结的不锈钢。图2提供具有多孔材料210之限制器120的横截面图，气流200通过此多孔材料210。测量通道限制器120及参考通道限制器122具有实质地相同的尺寸及渗透特性。限制器的长度一般在2至15mm的范围，然而未受限于这些长度。测量通道限制器120及参考通道限制器122限制气流平顺地跨过通道116、118的横截区域。本发明人发现到，比较由使用自一固体非多孔材料钻孔的单一孔口的限制器所引起之紊流及噪音的量，多孔材料限制器提供一明显的降低于气流中之紊流及相关的气动噪音。于气量计式接近传感器150内，具有上述特性的多孔限制器166、167、168及169亦被使用来达到这些优点。

此限制器提供两个主要功能。首先，它们缓和存在于气量计式接近传感器100的压力及气流扰动，由缓冲器110产生的最显著扰动，或听觉拾取的来源。次者，它们用作为桥接内的必要阻抗组件。

气量计式接近传感器的示范性已被提出。本发明未受限此实例。此实例在本文中提出用于说明的目的，而不是限制。基于包含于本文中的教导，对于本领域的技术人员而言，其它的选择（包括本文中所述的等效物、扩充、变化、误差等）将显而易见。此种选择属于本发明的范围及精神。

2. 缓冲器

根据本发明的一个实施例并参照气量计式接近传感器100，通道112容纳缓冲器110。相似于限制器的操作，缓冲器110减小由气体供应源102所引起的气体紊流，并隔绝质量流量传感器免于气量计式传感器的上游部中的听觉拾取。缓冲器110系位于蓄压器108及交汇处114间的通道112中。根据本发明的另一特性，缓冲器110包括一多孔材料，诸如聚乙烯或烧结的不锈钢。本发明人发现，多孔材料提供显著减小于紊流及气流中相关的气动噪音。使用于气量计式接近传感器150的缓冲器155具有如缓冲器110的相同特性，且使用来达到相同利益。

3. 喷嘴

在气量计式接近传感器 100 中，根据特别应用而定，不同类型的喷嘴可被使用作为参考探头 130 及测量探头 128。相同的，不同类型的喷嘴可使用于参考探头 174 及未知测量间隙 181、182 及 183 用的气量计式接近传感器 150。在其它用途方面，喷嘴类型的选择根据所需的脚印（测量区）。

气量计式喷嘴 300 的基板架构的特征在于，一扁平端表面平行于测量表面的表面，如图 3A 所示。一喷嘴的几何系由量计间隙 h 及内径 d 予以决定。通常，喷嘴压降在喷嘴外径 D 上的相关性系微小，如果 D 系足够大的话。剩下的物理参数为： Q_m -气体的质量流动率，及 Δp -横过喷嘴的压降。气体系以密度 ρ 及动态粘度 η 为其特征。

非尺寸参数间寻求的关系为： $\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho u^2}$ 、雷诺数 Re 、及 $\frac{h}{d}$ ，其中径向速度 u 系在喷嘴面及晶片间的圆柱形区的入口处取得。雷诺数系界定为 $Re = \frac{ud}{\nu}$ ，其中 ν 为运动粘度系数。

一连串之变化的测量间隙测试系使用具有不同内径 d 的喷嘴及使用不同质量流动率予以实施。图 5 绘出这些测试的数据点。对于获得自这些测试的数据点（如图 5 所示）之适当吻合而产生以下的关系式：

$$\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho u^2} \cdot \frac{ud}{\nu} = 78.493 \left(\frac{h}{d} \right)^{-1.3114} \quad (1)$$

因为空气通过喷嘴的质量流动率可写成：

$$Q_m = \rho u \pi d h \quad (2)$$

以质量流动率 Q_m 及喷嘴内径 d 来表示速度 u 而产生：

$$\Delta p \cong \frac{78.493}{2\pi} \cdot Q_m \nu h^{-2.3114} d^{-0.6886} \quad (3)$$

喷嘴的性能然后系以五个物理变量： ν 、 Δp 、 Q_m 、 d 及 h 的字眼予以表示。Eq (3) 提供两个主要变量 Δp 及 h 间的关系，因为剩下的变量用于实际系统通常将是常数。此关系致使用于需要不同灵敏度的

不同应用的喷嘴类型的发展。

图 3B 及 3C 示出了根据本发明的实施例的喷嘴 310，其可使用作为参考探头或测量探头。喷嘴 310 包括前表面 312、气体内径前开口 314 及气体内径后开口 315。

喷嘴 310 附接至测量通道 116 及参考通道 118 两者。在一个实施例中，两个相同的喷嘴 310 作为测量探头 128 及参考探头 130。原则上，喷嘴不需是相同的。喷嘴 310 附接至测量通道 116。前表面 312 应平行至测量表面 132。行进穿过测量通道 116 的气体经由气体内径后开口 315 而进入喷嘴 310，并经由气体内径前开口 314 而离开。相同地，喷嘴 310 系附接至参考通道 118。前表面 312 系平行至气体内径前开口 314。行进穿过参考通道 118 的气体经由气体内径后开口 315 而进入喷嘴 310 中，并经由气体内径前开口 314 离开。气体内径前开口 314 的直径可依一特定用途而变化。在一个实例中，气体内径前开口 314 的内径在约 0.5 及 2.5 毫米 (mm) 之间。以下参考图 6-8 进一步说明具有多孔流限制器及单一气体内径喷嘴在探头的气量计式接近传感器模式的实例灵敏度分析结果。

图 3D 及 3E 示出了根据本发明的实施例之喷洒头式喷嘴 350，其可使用作为参考及测量探头。喷洒头式喷嘴 350 包括前表面 355、数个气体内径前开口 360 及气体内径后开口 365。多气体内径前开口分布压力在测量表面 132 比喷嘴 310 更宽的区域。一喷洒头式喷嘴主要是使用来降低空间分辨率，以平坦地整合接近测量在一更宽的空间区域。替代的方式应使用含有孔过滤器的喷嘴。

喷洒头式喷嘴 350 附接至测量通道 116 及参考通道 118 两者。在一个实施例中，两个相同的喷洒头式喷嘴 350 作为测量探头 128 及参考探头 130。原则上，喷嘴不需是相同的。喷洒头式喷嘴 350 附接至测量通道 116。前表面 355 系平行至测量表面 132。行进穿过测量通道 116 的气体经由气体内径后开口 365 而进入喷洒头式喷嘴 350，并经由数个气体内径前开口 360 而离开。相同地，喷洒头式喷嘴 350 系附接至参考通道 118。前表面 355 系平行至参考表面 134。行进穿过参考通

道限制器 122 的气体经由气体内径后开口 365 而进入喷洒头式喷嘴 350， 并经由数个气体内径前开口 360 离开。为了方便示出了，喷嘴的使用已参考气量计式接近传感器 100 而予以说明。喷嘴类型的每一者亦可使用有气量计式接近传感器 150， 其中喷嘴附接至测量分支探头及参考通道探头的每一者。

不同类型的喷嘴的示范性实施例已被提出。本发明未受限此实例。此实例在本文中提出用于说明的目的，而不是限制。基于包含于本文中的教导，对于本领域的技术人员而言，其它的选择（包括本文中所述的等效物、扩充、变化、误差等）将显而易见。此种选择属于本发明的范围及精神。

B. 方法

图 4 所述的过程提出使用气流的方法 400，以检测非常小距离并实施一控制作用（步骤 410-470）。为了方便起见，参考气量计式接近传感器 100 说明的方法 400。然而，方法 400 不必要由传感器 100 的结构而予以限制，且可以气量计式接近传感器 150 或具有不同结构的传感器而予以实施。

此过程起始于步骤 410。在步骤 410 中，一操作者或机械装置放置一参考探头在一参考表面上方。例如，一操作者或机械装置以已知参考间隙 142 定位参考探头 130 在参考表面 134 上方。替代地，参考间隙可配置于传感器组合内，亦即，传感器组合的内部。参考间隙系预先邻接至一特定值，此值通常将保持恒定。在步骤 420 中，一操作者或机械装置放置一测量探头在一测量表面上方。例如，一操作者或机械装置定位测量探头 128 在测量表面 132 上方以形成测量间隙 140。

在步骤 430 中，气体被注入一传感器中。例如，一测量气体系以一恒定质量流动率而注入气量计式接近传感器 100。在步骤 440 中，进入一恒定的气体流动率被保持。例如，质量流量控制器 106 保持一恒定气体流动率。在步骤 450 中，气流系分布于测量及参考通道之间。例如，气量计式接近传感器 100 致使测量气体的流动均匀地分布在测量通道 116 及参考通道 118 之间。

在步骤 460 中，测量通道及参考通道中的气流被限制均匀地分布在通道的横截面区域。测量通道限制器 120 及参考通道限制器 122 限制气体的流动，并作为气量计式接近传感器 100 中的阻抗组件。

在步骤 470 中，气体被迫离开参考及测量探头。例如，气量计式接近传感器 100 迫使气体离开测量探头 128 及参考探头 130。在步骤 480 中，气体的流动系经由连接参考通道及测量通道之桥接通道而予以监视。在步骤 490 中，一控制作用基于参考及测量通道间的压力差而予以实施。例如，质量流量传感器 138 监视测量通道 116 及参考通道 118 间的质量流动率。基于此质量流动率，质量流量传感器 138 起动一控制作用。此种控制作用可包括提供被感知的质量流量的指示，感知指示一被感知的质量流量的讯息，或起动一伺服控制作用来重新定位测量表面相对于参考表面的位置，直到没有质量流量或一固定参考值的质量流量被感知到。

以上方法可适于使用具有多测量分支的传感器，诸如气量计式接近传感器 150。当气量计式接近传感器 150 被使用时，一附加步骤可被结合，其包括自一个测量分支的使用而切换至另一测量分支。

气量计式接近传感器 150 的使用亦可更有利于一测量表面的地势图的绘制。绘制可经由以上方法所述的原理而予以完成，其中地势图测量系实施在使用测量分支的一者之工作表面的特定区域。如果一地势图绘制被要求一不同区，气体的流动可切换至一不同测量分支，以绘制一不同区的地势图。因为可能存在于移动一测量表面的能力中之限制，具有多分支的接近传感器可使用于某些例子中，比起具有仅一测量通道的接近传感器，更随时地绘制一测量表面的地势图。

例如，在一个实施例中，用来绘制地势图的方法包括将气体注入诸如气量计式接近传感器 150 的接近传感器，以及，通过使用测量分支的一者来实施一系列的测量。在完成可通过一特定测量分支予以绘制的区的绘制之后，接近传感器将切换至一不同测量分支，以重新因此测量分支达到的区之绘制过程。此过程将被重复，直到一地势图绘制的表面要求被完成为止。测量表面可以是一半导体晶片，或一地势

图绘制要求的其它测量表面。

对于本领域的技术人员所知之附加步骤或对以上步骤的加强形成本文中的教导，亦由本发明所包含。

本发明已参考一气体并参照图 1-4 而说明。在一个实施例中，此气体为空气。本发明未受限于空气。其它气体或气体的组合可被使用。例如，依被测量的表面而定，具有一降低湿气含量的气体或一惰性气体可被使用。比起空气，低湿气含量气体或惰性气体较不可能与被测量的表面反应。

C. 模型及仿真结果

以根据本发明的实施例建立一原型之桥接架构，本发明人开发了一维（1-D）模型来仿真一气量计式接近传感器（气量计）的操作。图 6 是气量计式接近传感器 600（亦称为“桥接”600）的示意图，其操作系相对于此一维模型而说明。如图 6 所示，气量计 600 包括五条引线 11-15、两个多孔流量限制器 630、635、测量喷嘴 640、参考喷嘴 645 及质量流量传感器 665。引线 11 自交汇处 114 延伸至交汇处 124。引线 12 自交汇处 114 延伸至交汇处 126。引线 13 延伸在交汇处 124 及 126 之间。引线 14 自交汇处 124 延伸至测量喷嘴 640。引线 15 自交汇处 126 延伸至参考喷嘴 645。多孔流量限制器 630 系沿着引线 11 而配置。多孔流量限制器 635 沿着引线 12 而配置。测量喷嘴 640 设在引线 14 的端部。参考喷嘴 645 设在引线 15 的端部。质量流量传感器 665 系沿着引线 13 而设置。

气量计的 1-D 模型辅助气量计的发展过程。此模型允许气量计物理参数的选择，且在稳定状态操作下，产生气量计性能的快速评估。

假设，桥接 600 的所有气体通路具有相同直径的圆形横截面。对于桥接的引线中的压降之最显著贡献系来自限制器 630、635 及喷嘴 640、645，然而，来自引线 11-15 的管中的粘滞损失之分布贡献被考虑。在弯管及交汇处 114、124、126 的局部损失被忽略，因为它们相对小。

以这些假设，气体穿过桥接 600 的稳定不可压缩流，如图 6 所示，

系由以下的一组代数式来决定：

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (4)$$

$$Q_4 = Q_1 + Q_3, \quad (5)$$

$$Q_5 = Q_2 - Q_3, \quad (6)$$

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 + \Delta p_3, \quad (7)$$

$$\Delta p_5 = \Delta p_4 + \Delta p_3, \quad (8)$$

$$\Delta p_i = f_i(Q_i), \quad i = 1, \dots, 5 \quad (9)$$

平衡桥接的交汇处中之流动率 Q_i 导出公式 (4-6)，同时，平衡跨接桥接的回路中的引线之压降 Δp_i 的值产生公式 (7) 及 (8)。公式 (9) 界定流动率 Q 及跨接引线 ($i = 1 \dots 5$) 的每一者的压降 Δp 间的关系。

上引线 11 及 12 的压降是管状筒中的粘滞损失及多孔限制器中粘滞损失的总和：

$$\Delta p_i = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \rho \frac{w_i^2}{2} + \frac{\mu}{K} l_{Ri} w_i \quad i = 1, 2, \dots \quad (10)$$

其中 l_i 及 d_i 是管状筒长度及直径，然而 w_i 是引线 i 中的（横截面平均）速度。用于层状管流，压力损失系数仅是雷诺数（Reynolds number）的函数：

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (11)$$

多孔限制器的压力损失是在达西（Darcy's）定律之后模型化。见 A. Bejan Convective Heat Transfer, Chapter 10 John Wiley&Sons, 1984. 限制器 630、635 具有长度 l_R ，且具有如引线 11 及 12 的管状筒之相同直径，此直径导致相同的平均速度 w_i 。常数 μ 及 K 分别地系流体（空气）的动态粘度及多孔材料的渗透度。压降可以质量率 Q_i 的字眼而表示。代入速度 w_i ，

$$w_i = \frac{4Q_i}{\pi d_i^2} \quad (12)$$

产生

$$\Delta p_i = \left(A \frac{l_i}{d_i^4} + C \frac{l_{Ri}}{d_i^2} \right) Q_i \quad i = 1, 2, \dots \quad (13)$$

以及常数 A 及 C:

$$A = \frac{128\nu}{\pi}, \quad C = \frac{4\Theta}{\pi\rho}. \quad (14)$$

ν 及 ρ 分别是气体（空气）的运动粘度及密度，以及， Θ 是多孔材料的传导率。

桥接引线 13 中的压降系简单地模型化为：

$$\Delta p_3 = aQ_3, \quad (15)$$

因为质量流量传感器的实际性能在概算的充份位准下系线性的。系数 a 系实验决定，其显示与质量流量计的技术规格之良好一致性。

引线 14 及 15 的压降系模型化为管中的粘度损失（相似如引线 11 及 12）及喷嘴中的损失的总和：

$$\Delta p_i = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \rho \frac{w_i^2}{2} + \frac{\rho u_i^2}{2} \frac{78.493}{u_i D} \left(\frac{h_i}{D} \right)^{-1.3114} \quad i = 4,5, \quad (16)$$

公式 (16) 中的总和的第二分量代表跨接一喷嘴的压降之半实验性以相似性为基础的模型。变量 u_i 表示径向粘度的区域平均值在一晶片的表面及空气量计喷嘴的面间的环形区。此速度可被计算为：

$$u_i = \frac{Q_i}{\pi D h_i} \quad i = 4,5, \quad (17)$$

其中， D 是喷嘴的内径 ID（喷嘴 640、645 两者系相同），及 h_i 是测量间隙。适当的取代而产生：

$$\Delta p_i = \left(A \frac{l_i}{d_i^4} + \frac{78.493\nu}{2\pi} h_i^{-2.3114} D^{-0.6886} \right) Q_i \quad i = 4,5. \quad (18)$$

十个方程 (4-8、13、15、18) 的系统相对于流动率 Q_i 是线性的。层流状假设的有效性是通过计算进入系统的各别段的雷诺数而予以确定。用于一指定组的输入参数，Matlab 程序可使用来以数字的方式解答以上公式。

1. 仿真参数的选择

仿真用的主要参数被选择来符合以空气作为气体之量计 100、600 的工作原型。主要参数概述如下。

空气的特性:密度 $\rho = 1.2003 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ 动态粘度 $\mu = 1.8189 \times 10^{-5} \text{ [kg/(ms)]}$ 运动粘度 $\nu = 1.5157 \times 10^{-5} \text{ [m}^2/\text{s}]$ 多孔材料的特性:多孔传导性 $= 4327 \times 10^{-2} \text{ [kg/(sm}^3\text{)]}$ 流量计反应(线性):校准常数 $a = 1144 \times 10^{-4} \text{ [1/(ms)]}$ 空气量计几何参数:

引线#	1	2	3	4	5
直径 (mm)	3.37	3.37	-	3.37	3.37
长度 (mm)	38.1	101.6	-	70.9	32.4
多孔插入长度 (mm)	7.0	7.0	-	-	-

2. 结果

仿真的结果系以灵敏度曲线而予以显示，如质量流动率及测量喷嘴间隙的函数(图7)，以及如喷嘴ID及多孔限制器的长度的函数(图8)。

特定地，图7示出了如质量流动率及测量喷嘴间隙的函数之灵敏度曲线图，用于具有1.14 mm内径(ID)的喷嘴之量计及7 mm长度的限制器。为了产生此曲线，40至140 mm范围的量计间隙被使用，及流动率在100至500 sccm的范围。曲线显示，随时量计间隙变更小，量计检测参考间隙及测量间隙间的差别变化增加。此曲线显示，随着量计间隙变小，灵敏度增加率在更高的流动率表示更多。同样地，用于一恒定量计间隙，如气体穿过量计的流动率增大，灵敏度亦增大。

图8示出了当测量间隙系100 mm且流动率系200 sccm时，如喷嘴ID及限制器长度的函数之灵敏度曲线图。为产生此曲线图，0.5至2.5 mm范围的ID之喷嘴被使用，且，5至15 mm范围的长度之限制器被使用。此曲线显示，喷嘴ID变更小，量计检测参考间隙及测量间隙间的差别变化增加。此曲线另显示，如喷嘴ID变得更小，灵敏度增加率在

不同限制器长度上保持相对地一致。最后，此曲线示出了量计灵敏度在两个限制器的长度上的相对小的相关性。

如图 7 及 8 所示，依附在流动率及间隙上的灵敏性系相对重要的。在比线性率更快下，灵敏性随着流动率（线性）增加，而间隙减小。依附在其它两参数（喷嘴 ID 及限制器长度）于这些参数的可变性的实际范围内系更相当弱的。灵敏度随着喷嘴的 ID 减小，而，随着限制器长度增加。此资料显示，增加流动率可使用来改善量计灵敏度，只要这将不会造成气动噪音的增加。对紊流的转移将确实为可被使用的最大流动率上的实际限制。

D. 结论

虽然本发明的各种实施例已被说明，应了解到，它们已经由实例而予以提出，而不是限制。对于本领域的技术人员而言，将系显而易见，形式及细节上的各种改变可被制作于其中，而不超过本发明的范围及精神。

以上，本发明已经由方法步骤的辅助而予以说明，其示出了特定函数的功能及其关系。为了说明的方便性，这些方法步骤的边界在此已随意地予以界定。选择性边界可被界定，只要此特定功能及其关系系适当地实施。任何此种替代边界因此属于所申请发明的范围及精神内。因此，本发明的范围及领域应不受限于上述示范性实施例的任何者，然而应仅根据以下申请专利及其等效物而予以界定。

图 1A

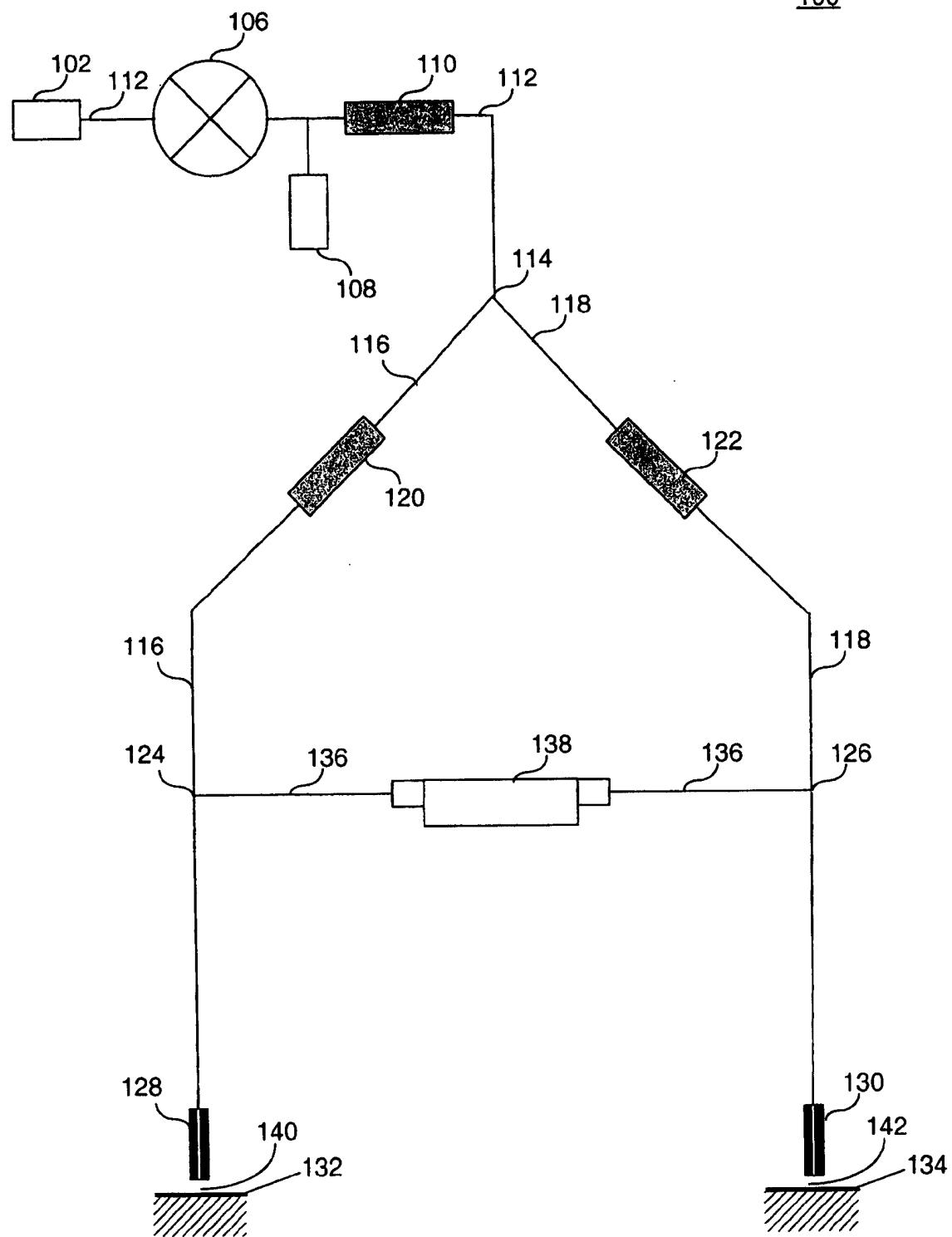
100

图 1B

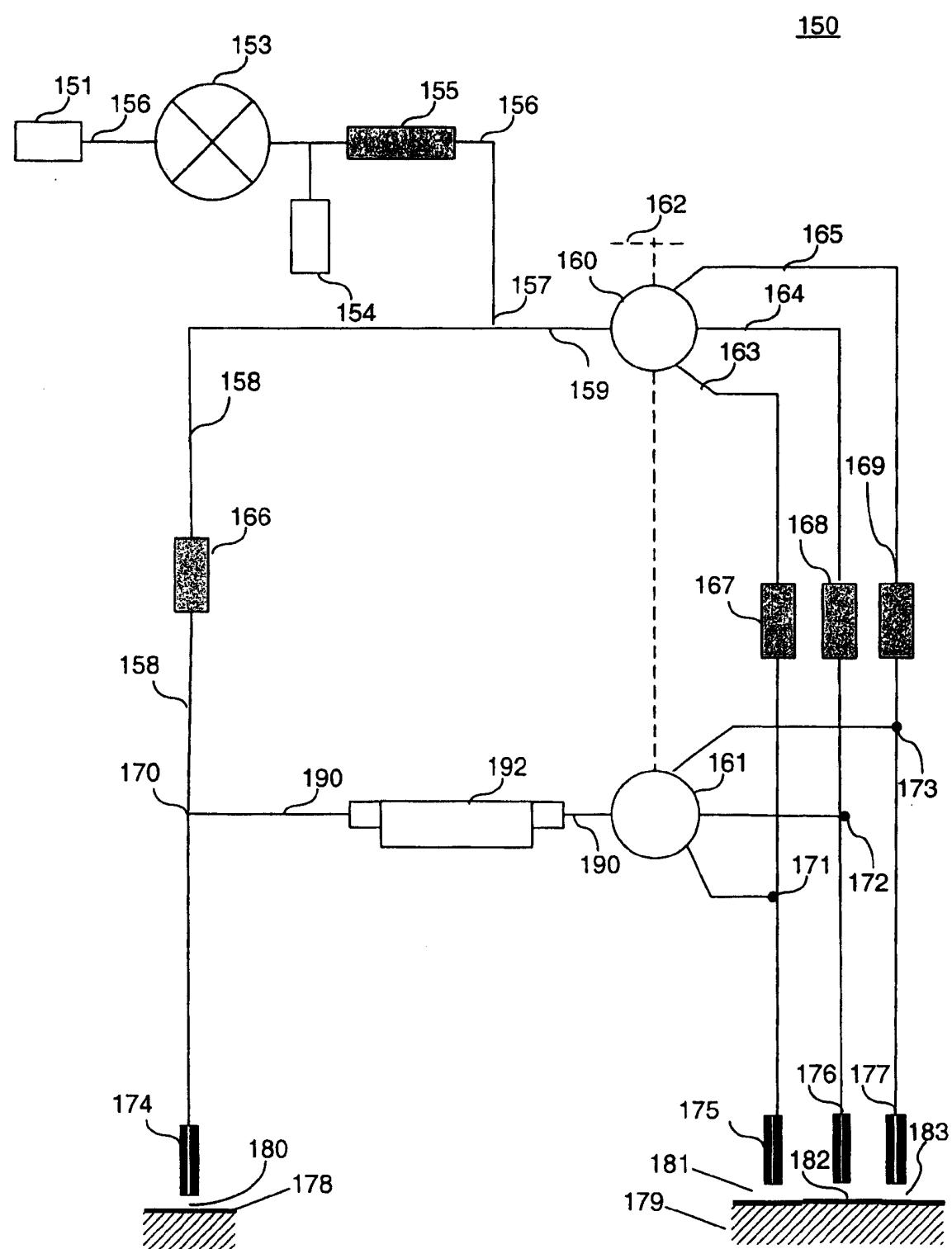
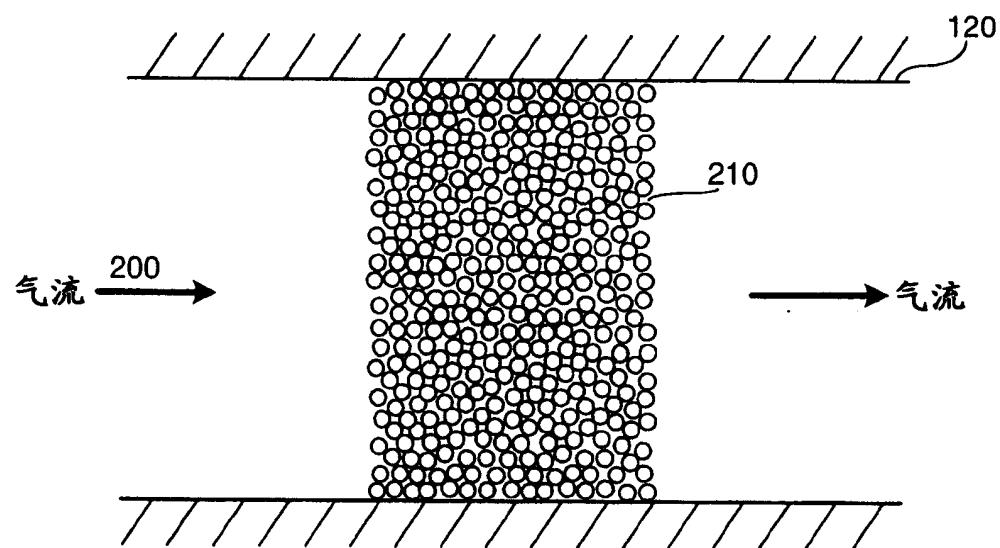


图 2



300

图 3A

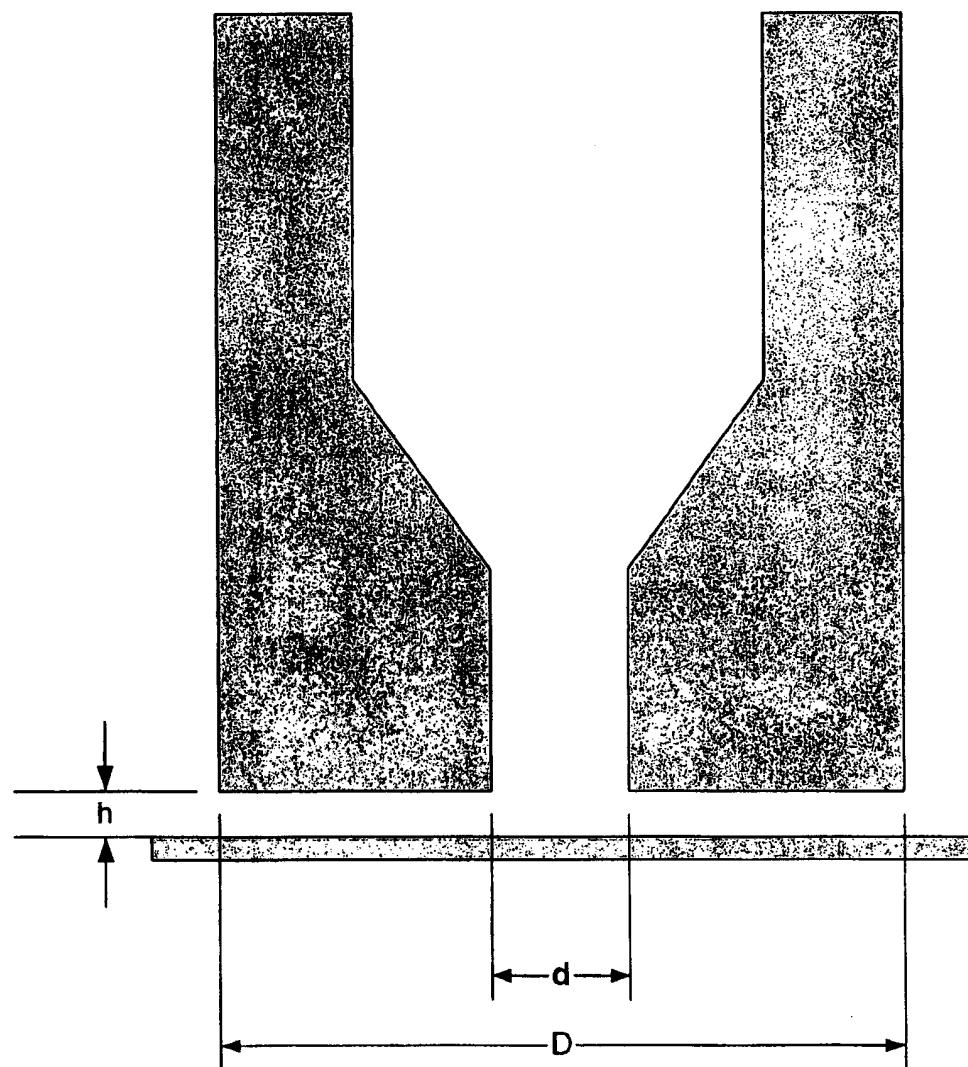


图 3B

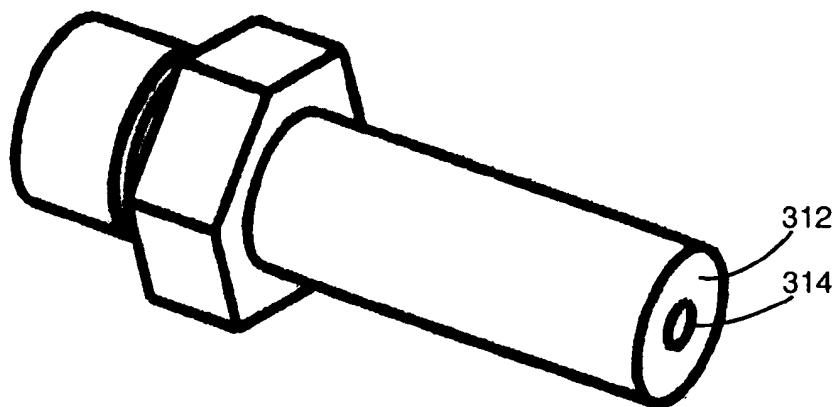
310

图 3C

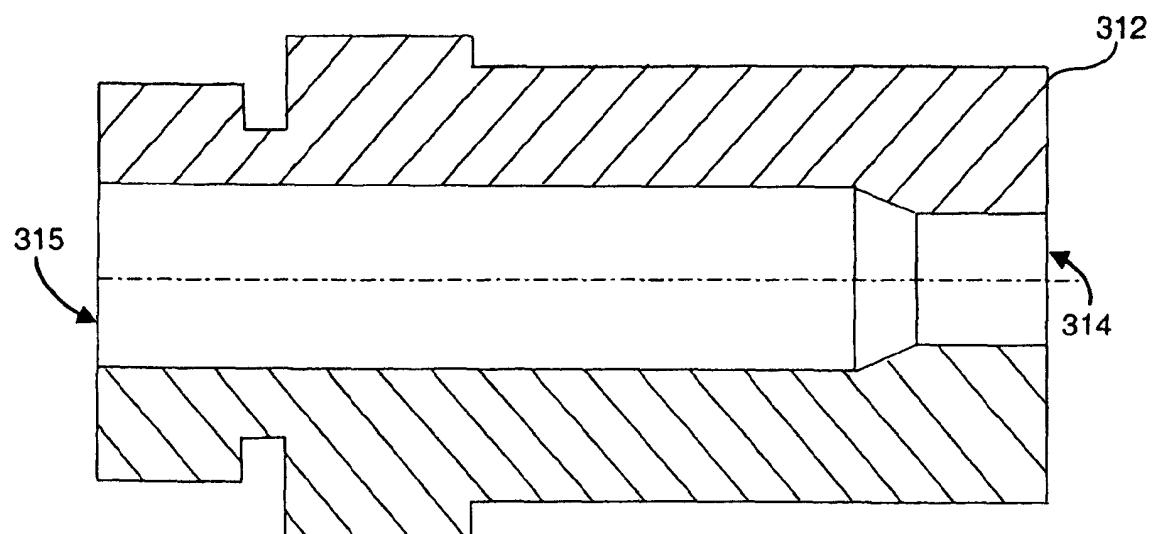


图 3D

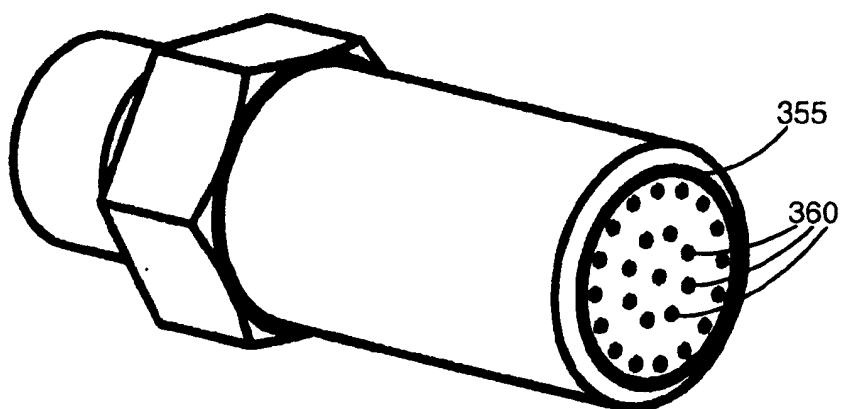
350

图 3E

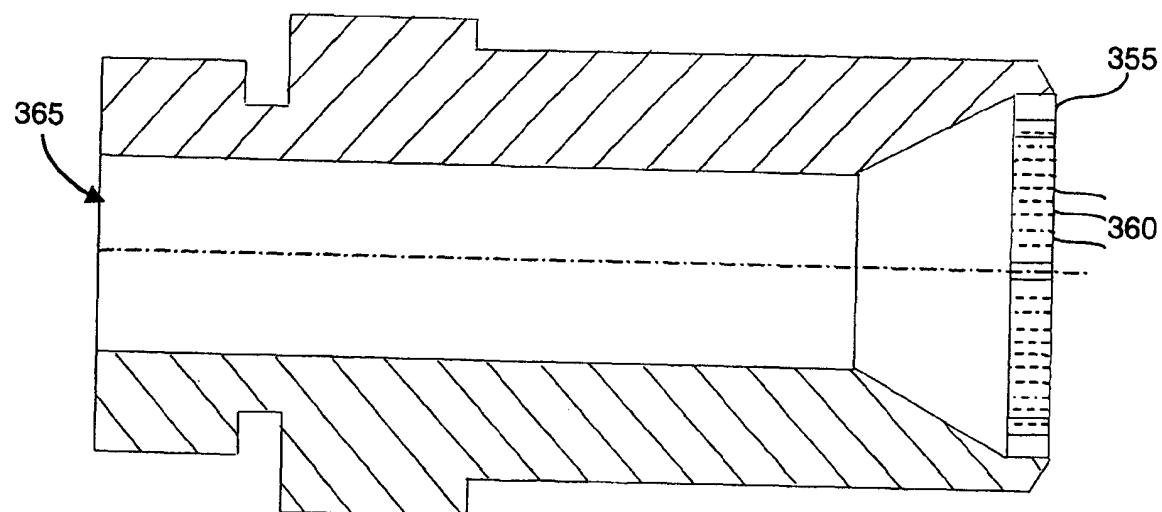
310

图 4

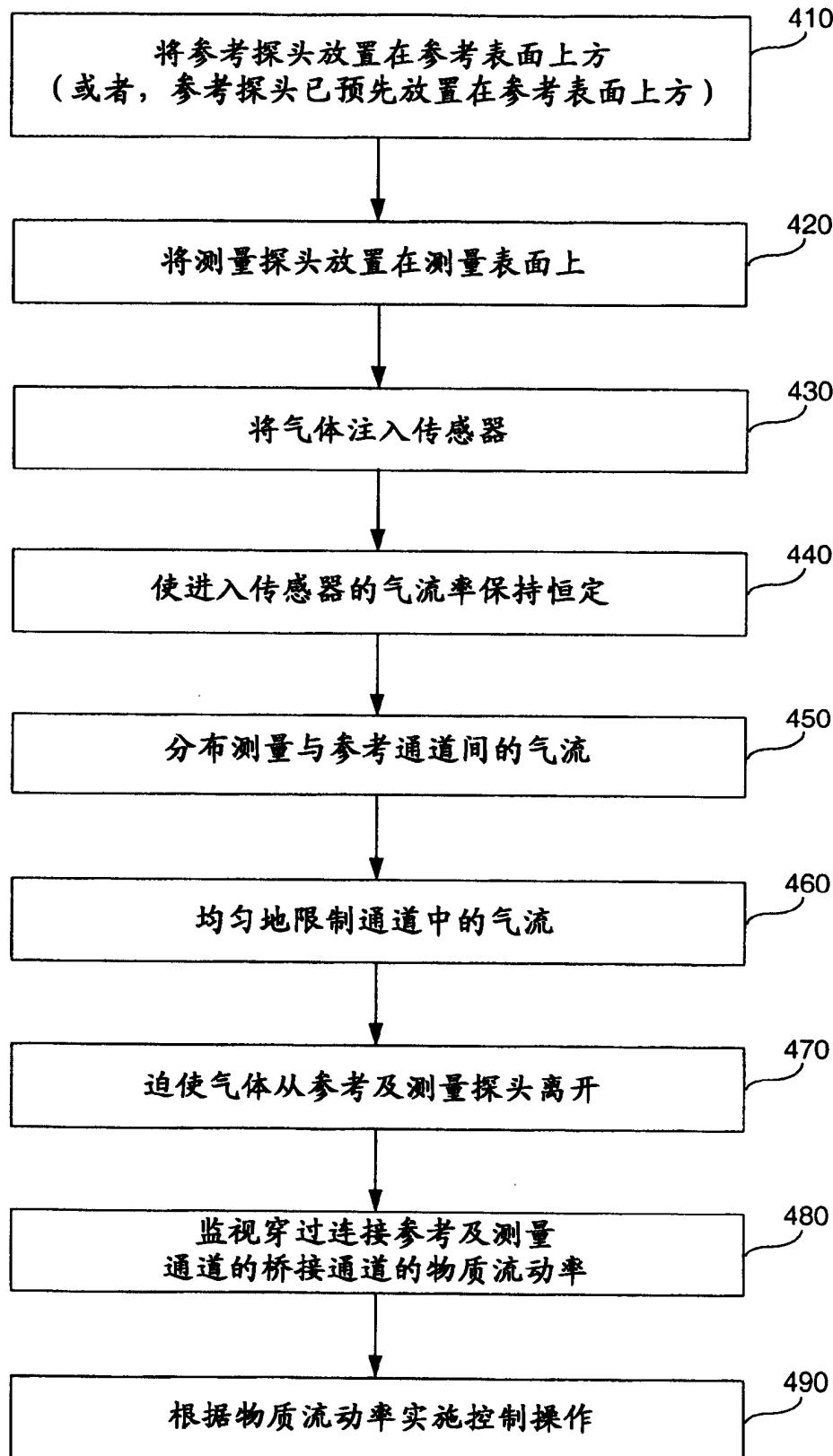
400

图 5

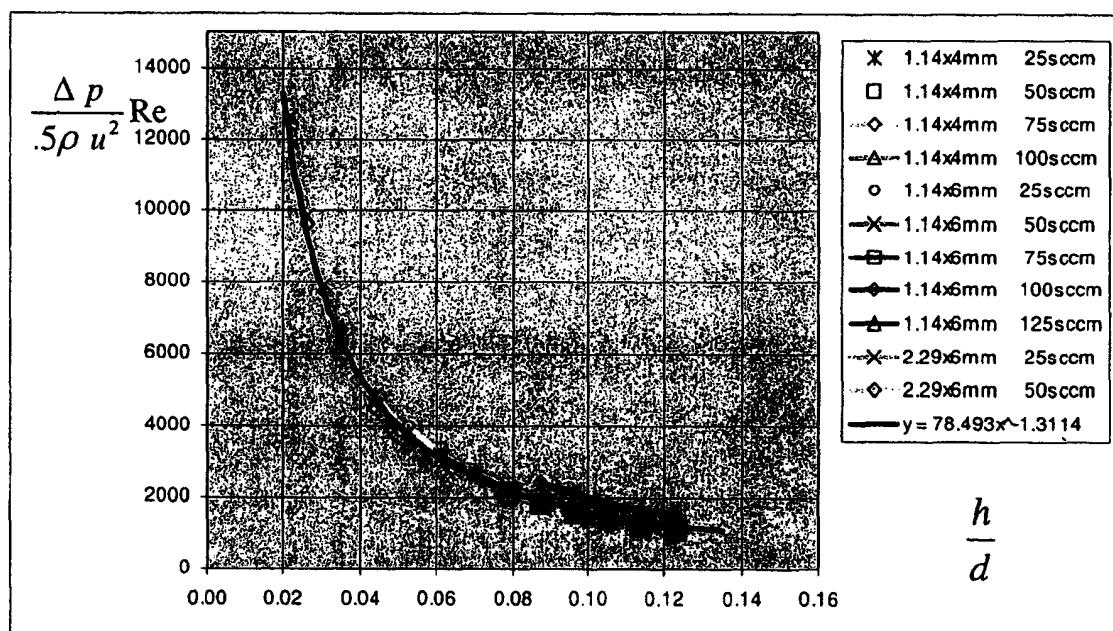
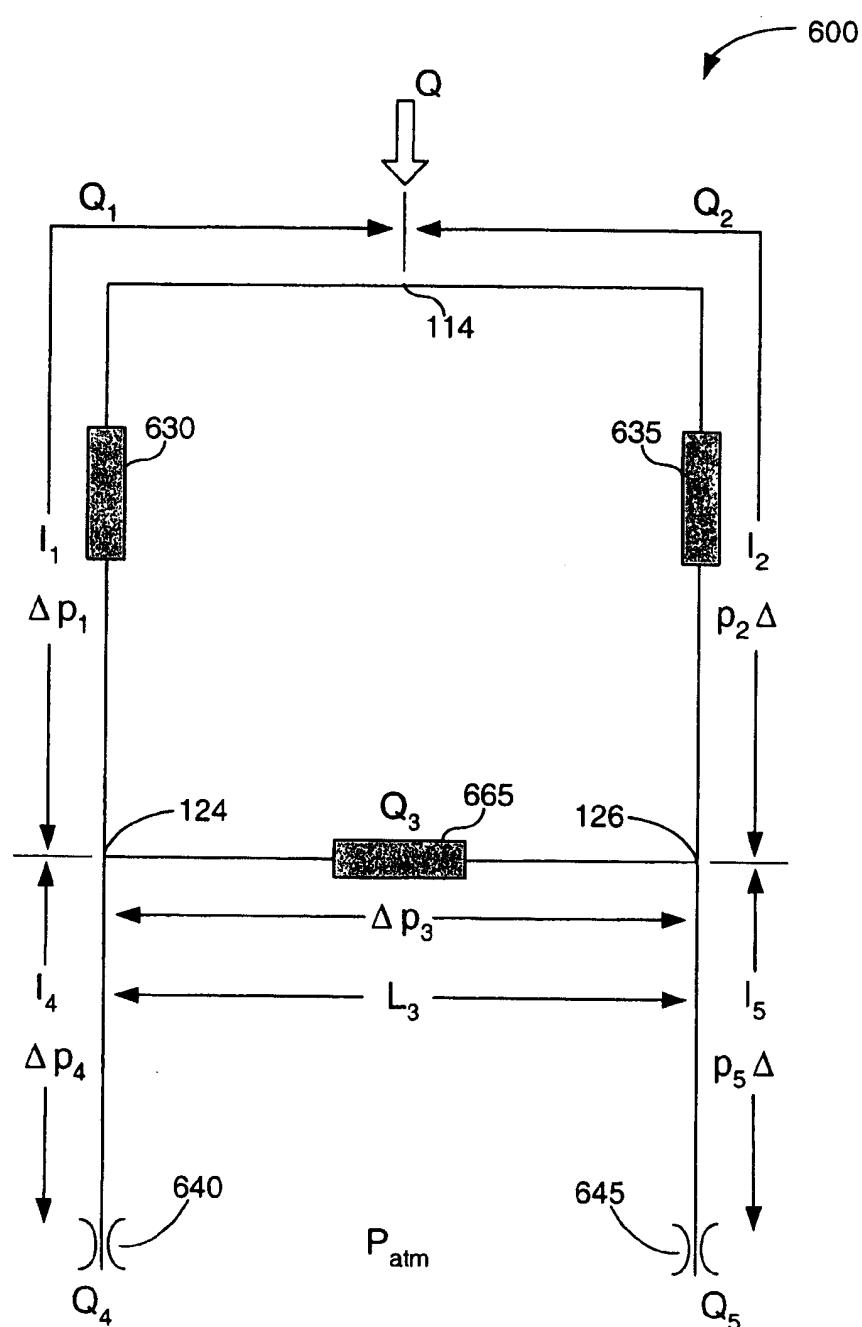
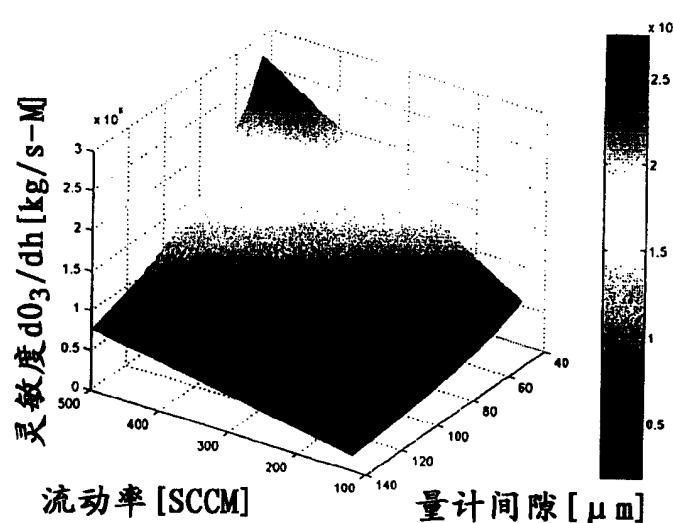


图 6



700
↗

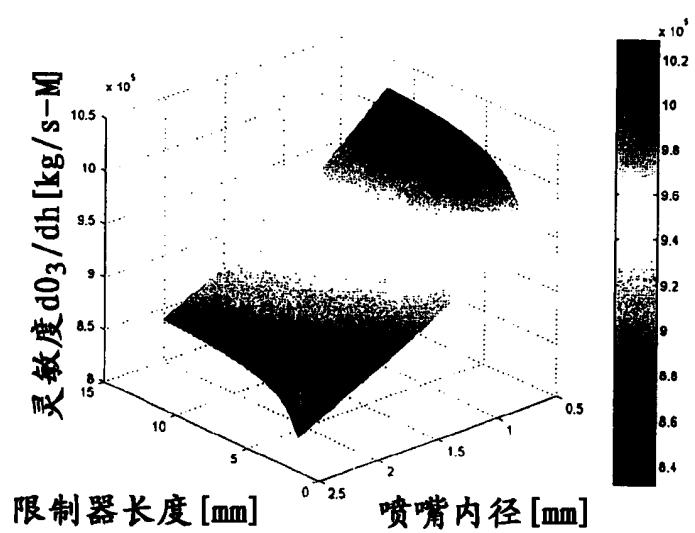
图 7



1. 14mm喷嘴内径及7mm长的多孔限制器的空气量计
对空气流动率及间隙的灵敏度

800

图 8



200 SCCM空气流动率及100 μm 间隙的空气量计
对喷嘴内径及限制器长度的灵敏度