(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115443348 A
(43)申请公布日 2022.12.06

(21)申请号 202180030493.1

(22)申请日 2021.04.15

(30)优先权数据
63/015,243 2020.04.24 US
62/706,328 2020.08.10 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2022.10.24

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2021/027555 2021.04.15

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/216352 EN 2021.10.28

(71)申请人 朗姆研究公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 约翰·福尔登·斯顿夫

(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263
专利代理师 李献忠 张华

(51)Int.Cl.
C23C 16/448(2006.01)
C23C 16/455(2006.01)
C23C 16/52(2006.01)

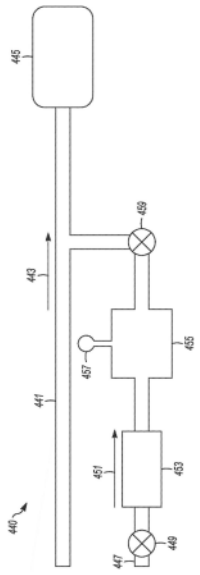
权利要求书4页 说明书19页 附图12页

(54)发明名称

无转向气体投配

(57)摘要

各种实施方案包含工艺气体的无转向配料的系统及装置,其包含沉积系统中的前体气体的无转向投配。在一实施例中,本公开的主题为一种无转向的基于压力的气体投配系统,其包含:耦合至入口阀的工艺气体入口、耦合而成为所述入口阀的下游的流动控制器和耦合而成为所述入口阀及所述流动控制器的下游的线充填体积(LCV)。所述LCV将接收所述工艺气体的初始单一剂量。压力传感器耦合至所述LCV以确定所述LCV内的压力水平且出口阀以气动方式耦合而成为所述LCV的下游。所述出口阀在所述出口阀的下游侧以气动方式耦合至处理室。公开了其他系统、装置和方法。



CN 115443348 A

1.一种无转向气体投配系统,其包含:

工艺气体入口,其以气动方式耦合至入口阀;

流动控制器,其以气动方式耦合至所述入口阀;

线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为所述入口阀和所述流动控制器的下游,所述LCV被配置成接收工艺气体的初始单一剂量;

压力传感器,其耦合至所述LCV以确定所述LCV内的压力水平;以及

出口阀,其以气动方式耦合而成为所述LCV的下游,所述出口阀被配置成以气动方式耦合至在所述出口阀的下游侧上的处理室,所述流动控制器被配置成独立于所述入口阀而控制流向所述处理室的所述工艺气体的流量并在所述出口阀处于开启状态时基本上将所述流量维持在预定的设定点,所述无转向气体投配系统就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

2.根据权利要求1所述的系统,其中在所述气体投配系统内未使用转向阀且未使用前体气体至前线的转向。

3.根据权利要求1所述的系统,其中:

仅基于所述LCV内所确定的所述压力水平确定所述工艺气体的所述初始单一剂量;以及

不基于将所述LCV充填至所述工艺气体的所述初始单一剂量的水平所需的时间,确定所述工艺气体的所述初始单一剂量。

4.根据权利要求1所述的系统,其中所述流动控制器的渐升速度和渐降速度通过在所述LCV内所确定的所述压力水平补偿。

5.根据权利要求1所述的系统,其中所述流动控制器被配置成在三种模式中的至少一者下操作,所述三种模式选自包含下列模式的模式:

流动控制模式,其中所述流动控制器被配置成控制所述工艺气体的流率;

压力控制模式,其中所述流动控制器被配置成基于来自所述压力传感器的反馈回路控制所述LCV至高达并且包含所述LCV内的预定压力;以及

维持模式,其中所述流动控制器被配置成基于所述控制阀的位置反馈维持所述流动控制器内的控制阀。

6.根据权利要求1所述的系统,其中所述出口阀被配置成维持关闭状态,直到所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于预定水平之后。

7.根据权利要求1所述的系统,其还包含:

自校准流量计,其包含:

流动控制阀;以及

第二压力传感器,其位于所述流动控制阀的上游,所述流动控制阀和所述第二压力传感器都位于所述流动控制器的下游。

8.根据权利要求7所述的自校准流量计,其还包含位于所述流动控制阀的下游且在所述LCV的上游的第三压力传感器,其中所述自校准流量计被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:

第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述第二压力传感器和所述第三压力传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数

据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间;以及

所述第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

9.根据权利要求1所述的系统,其还包含:

自校准流量计,其包含:

流动控制阀;

差动压力传感器,其耦合在所述流动控制阀的两端,所述差动压力传感器具有耦合至所述流动控制阀的上游的第一分支和耦合至所述流动控制阀的下游的第二分支;以及

温度传感器,其耦合至邻近于所述流动控制阀处和所述LCV的上游,其中所述自校准流量计被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:

第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述差动压力传感器和所述温度传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间;以及

所述第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

10.一种供给前体气体的装置,其包含:

前体气体入口,其以气动方式耦合至入口阀;

流动控制器,其以气动方式耦合而成为所述入口阀的下游;

线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为所述流动控制器的下游,所述LCV将用所述前体气体的初始单一剂量充填;

压力传感器,其耦合至所述LCV以确定所述LCV内的压力水平,基于所述LCV内的所述压力水平确定所述前体气体的所述初始单一剂量;以及

出口阀,其以气动方式耦合而成为所述LCV的下游,所述出口阀被配置成在所述出口阀的下游侧上以气动方式耦合至处理室,所述出口阀被配置成在所述LCV的所述压力水平到达预定值之后开启而将所述前体气体的所述初始单一剂量释放至所述处理室,

所述流动控制器被配置成独立于所述入口阀而控制流向所述处理室的所述前体气体的流量并在所述出口阀处于开启状态时基本上将所述流量维持在预定的设定点,所述装置就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

11.根据权利要求10所述的装置,其中在所述气体投配装置内未使用转向阀且未使用前体气体至前线的转向。

12.根据权利要求10所述的装置,其中所述流动控制器被配置成在三种模式中的至少一者下操作,所述三种模式选自包含下列模式的模式:

流动控制模式,其中所述流动控制器被配置成控制所述前体气体的流率;

压力控制模式,其中所述流动控制器被配置成基于来自所述压力传感器的反馈回路控制所述LCV至高达并且包含所述LCV内的预定压力;以及

维持模式,其中所述流动控制器被配置成基于所述控制阀的位置反馈维持所述流动控制器内的控制阀。

13.根据权利要求10所述的装置,其还包含:

自校准流量计,其包含:

流动控制阀;

第二压力传感器,其位于所述流动控制阀的上游,所述流动控制阀和所述第二压力传感器都位于所述流动控制器的下游;以及

第三压力传感器,其位于所述流动控制阀的下游且在所述LCV的上游,其中所述自校准流量计被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:

第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述第二压力传感器和所述第三压力传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间;以及

所述第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

14.根据权利要求10所述的装置,其还包含:

自校准流量计,其包含:

流动控制阀;

差动压力传感器,其耦合在所述流动控制阀的两端,所述差动压力传感器具有耦合至所述流动控制阀的上游的第一分支和耦合至所述流动控制阀的下游的第二分支;

温度传感器,其耦合至邻近于所述流动控制阀处和所述LCV的上游,其中所述自校准流量计被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:

第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述差动压力传感器和所述温度传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间;以及

所述第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

15.一种无转向气体投配系统,其包含:

第一工艺气体入口,其以气动方式耦合至第一入口阀以接收第一工艺气体;

第二工艺气体入口,其以气动方式耦合至第二入口阀以接收第二工艺气体;

第一流动控制器和第二流动控制器,其以气动方式分别耦合而成为所述第一入口阀和所述第二入口阀的下游;

至少一个线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游,所述至少一个LCV被配置成接收以下至少一者的初始单一剂量:所述第一工艺气体与所述第二工艺气体的混合物和所述第一工艺气体与所述第二工艺气体的分离的初始单一剂量;

至少一个压力传感器,其分别耦合至所述至少一个LCV中的对应LCV,以确定所述至少一个LCV中的每一者内的压力水平;以及

出口阀,其以气动方式耦合而成为所述至少一个LCV的下游,所述出口阀被配置成在所

述出口阀的下游侧上气动耦合至处理室,所述无转向气体投配系统就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

16.根据权利要求15所述的系统,其中所述第一工艺气体入口和所述第二工艺气体入口被配置成耦合至包含不同前体气体的工艺气体供给源。

17.根据权利要求15所述的系统,其还包含:

第一自校准流量计和第二自校准流量计,其分别位于所述第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游,所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者包含:

流动控制阀;以及

第二压力传感器,其位于所述流动控制阀的上游。

18.根据权利要求17的第一自校准流量计和第二自校准流量计,其每一者还包含第三压力传感器,所述第三压力传感器位于其对应流动控制阀的下游和所述至少一个LCV的上游。

19.根据权利要求18所述的第一自校准流量计和第二自校准流量计,其中所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:

第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述第二压力传感器和所述第三压力传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间;以及

所述第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

20.根据权利要求15所述的系统,其还包含:

第一自校准流量计和第二自校准流量计,其分别位于所述第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游,所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者包含:

自校准流量计,其包含:

流动控制阀;

差动压力传感器,其耦合在相应的所述流动控制阀的两端,所述差动压力传感器具有耦合至所述流动控制阀的上游的第一分支和耦合至所述流动控制阀的下游的第二分支;以及

温度传感器,其耦合至邻近于相应的所述流动控制阀处和所述至少一个LCV的上游,其中所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:

第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述差动压力传感器和所述温度传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间;以及

所述第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

无转向气体投配

相关申请的交叉引用

[0001] 本专利申请要求2020年4月24日申请的名称为“DIVERTLESS DOSING”的美国临时专利申请序列号63/015,243的优先权,并且还要求于2020年8月10日申请的名称也为“DIVERTLESS DOSING”的美国临时专利申请序列号62/706,328的优先权,上述申请的每一者的全部公开内容都通过引用合并于此。

技术领域

[0002] 本发明的主题总体上涉及在衬底上沉积膜的领域。更具体而言,在各种实施方案中,本发明的主题涉及以前体气体的较少浪费以及剂量的数量的较少可变性将一或多种前体气体(如一或多剂)输送至处理室。

背景技术

[0003] 在典型的原子层沉积(ALD)处理中,以顺序方式将单独的前体气体以脉冲方式施加至衬底表面上而不在气相中混合前体。每一单独的前体与衬底表面反应,以一次仅一层的方式形成膜原子层。表面反应发生使得反应完全且一次仅允许沉积一层。在过量投配模式中无论有多少分子被施用于表面,都发生该表面反应。膜由在快速循环中导入变异气体的短脉动而累积。在使用液体输送系统的ALD处理期间,必须维持在气相中已形成的液体前体流。为了维持该流活性,必须在沉积处理中不需要液体前体时将该流输送至ALD室的前线。

[0004] 提供该部分中所述的信息以给本领域技术人员提供以下公开的主题的背景,因此该部分中的信息不应被认为是被承认的现有技术。

发明内容

[0005] 在多种实施方案中,公开了一种无转向气体投配系统。该无转向气体投配系统包含:工艺气体入口,其以气动方式耦合至入口阀;流动控制器,其以气动方式耦合至所述入口阀;以及线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为所述入口阀和所述流动控制器的下游。所述LCV将接收工艺气体的初始单一剂量。压力传感器被耦合至所述LCV以确定所述LCV内的压力水平。出口阀将以气动方式耦合而成为所述LCV的下游。所述出口阀被布置成以气动方式耦合至在所述出口阀的下游侧上的处理室。所述流动控制器将独立于所述入口阀而控制流向所述处理室的所述工艺气体的流量并在所述出口阀处于开启状态时基本上将所述流量维持在预定的设定点。所述无转向气体投配系统就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

[0006] 在多种实施方案中,公开了一种供给前体气体的装置。该装置包含:前体气体入口,其以气动方式耦合至入口阀;流动控制器,其以气动方式耦合而成为所述入口阀的下游;以及线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为所述流动控制器的下游。所述LCV被布置成用所述前体气体的初始单一剂量充填。压力传感器被耦合至所述LCV以确定所述LCV内

的压力水平。将基于所述LCV内的所述压力水平确定所述前体气体的所述初始单一剂量。出口阀以气动方式耦合而成为所述LCV的下游。所述出口阀被布置成在所述出口阀的下游侧上以气动方式耦合至处理室。所述出口阀还被布置成在所述LCV的所述压力水平到达预定值之后开启而将所述前体气体的所述初始单一剂量释放至所述处理室。所述流动控制器将独立于所述入口阀而控制流向所述处理室的所述前体气体的流量并在所述出口阀处于开启状态时基本上将所述流量维持在预定的设定点。所述装置就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

[0007] 在多种实施方案中，公开了一种无转向气体投配系统。该无转向气体投配系统包含：第一工艺气体入口，其以气动方式耦合至第一入口阀以接收第一工艺气体；第二工艺气体入口，其以气动方式耦合至第二入口阀以接收第二工艺气体；第一流动控制器和第二流动控制器，其以气动方式分别耦合而成为所述第一入口阀和所述第二入口阀的下游；以及至少一个线充填体积(LCV)，其以气动方式耦合而成为第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游。所述至少一个LCV将接收以下至少一者的初始单一剂量：所述第一工艺气体与所述第二工艺气体的混合物和所述第一工艺气体与所述第二工艺气体的分离的初始单一剂量。至少一个压力传感器分别耦合至所述至少一个LCV中的对应LCV，以确定所述至少一个LCV中的每一者内的压力水平。出口阀以气动方式耦合而成为所述至少一个LCV的下游。所述出口阀将在所述出口阀的下游侧上气动耦合至处理室。所述无转向气体投配系统就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

附图说明

[0008] 图1A显示了现有技术的投配转向系统的时序图；

[0009] 图1B显示了现有技术的投配转向系统；

[0010] 图2显示了线充填体积(LCV)图，其指出图1B的现有技术的投配转向系统的压力随时间变化的关系；

[0011] 图3显示了现有技术的响应可变性及渐变(ramp)速度图，其指出输送至处理室的前体气体剂量用的质量流量控制器(MFC)中的可能的大量变化；MFC变化图通常为与如图1B中所示的现有技术的投配转向系统一起使用的MFC的图；

[0012] 图4A显示了根据本公开的主题的各种实施方案的工艺程序时序图的一示例；

[0013] 图4B显示了根据本公开的主题的各种实施方案的无转向气体投配系统的一示例；

[0014] 图4C显示了根据本公开的主题的各种实施方案的无转向气体投配系统的另一示例；

[0015] 图4D显示了可以与图4B及图4C的无转向气体投配系统结合使用的自校准流量计的一示例；

[0016] 图4E至4G显示了可以与图4B及图4C的无转向气体投配系统结合使用的其他自校准流量计的示例；以及

[0017] 图5显示了根据本公开的主题的各种实施方案的包含LCV两步骤加压调整的蒸气压图的一示例。

具体实施方式

[0018] 下面的说明包含体现本公开的主题的各个方面的说明性示例、设备和装置。在下面的说明中，为了解释的目的，阐述了多个特定细节以提供对于本发明主题的各种实施方案的理解。然而本领域技术人员应当明白，本公开的主题的各种实施方案可在不具有这些特定细节的情况下实施。此外，不详细显示众所周知的结构、材料和技术以免不必要地使各种所示的实施方案难以理解。

[0019] 如相关领域中所公知的，一般而言化学气相沉积(CVD)工艺或尤其是原子层沉积(ALD)工艺将工件(例如衬底，如半导体晶片)暴露于化学前体气体(前体气体“A”的后续施加)及/或交替化学前体气体(如前体气体“A”与“B”)的多种施加。

[0020] 在使用两种前体气体的ALD工艺的示例期间，第一前体“A”在衬底上形成单层膜。第二前体“B”与“A”的单层膜进行化学反应而在衬底上形成第三期望化合物“C”的单层膜。为了在衬底上形成可用的化合物膜“C”，将衬底暴露于数百或甚至数千次的交替“A”与“B”前体气体的施加。为了增加半导体ALD沉积工具的生产能力，必须减少或最少化前体步骤(在此示例中“A”或“B”)中的至少一者的时间长度。

[0021] 如下面将更详细说明的，本发明所公开的主题的各种实施方案对气体(如前体气体)输送硬件或软件程序进行物理性及操作性的改变，以减少ALD工艺时间、减少工艺可变性和消除专用工艺气体的浪费，由此减少操作成本。

[0022] 例如，基于热的质量流量控制器(MFC)通常可能需要约500msec至约1000msec以到达特定的流量设定点。目前在ALD工艺循环期间，使前体气体流过MFC约一至两秒进入气体转向元件(“转向件”)，然后通过开启处理室的出口阀将气体路径从转向件切换以使气体输送至处理室。目前遵循该程序，使得MFC处于稳态控制的流动水平以增加或最大化输送至处理室的气流，由此减少或最少化ALD工艺中每一步骤的时间。此外，气体到达MFC的特定设定点的渐升的速度及可变性可大幅影响输送至处理室的气体的质量。

[0023] 然而，输送前体至转向件因而绕过处理室会浪费前体气体。因此被浪费的前体气体会增加操作ALD半导体工具的拥有成本(COO)。在某些情况中及如下面更详细解释的，为了强调本公开的主题优于目前技术的明显优点，在工艺中的额外步骤包含：当MFC流动时先关闭转向阀，接着在开启处理室的出口阀之前等待一段时间。该程序会给在MFC与处理室出口阀之间的管线加压；加压程序常被称为“线充填体积”(LCV)操作。可通过例如改变气体线的内直径和/或增加气体线的长度将LCV“室”设计成包含期望的体积。也可通过添加累积器室来增加LCV。通过将MFC下游的LCV加压，接着开启出口阀，可将具有比稳态MFC流率更高流率及压力的气体的脉冲(或者剂量)输送至处理室，从而进一步加速ALD工艺。增加脉冲化剂量的流率及压力的效果是，在工艺步骤早期增加了前体气体的摩尔比例。在工艺步骤早期增加摩尔比例会增加一种或者多种相应的前体气体进入例如复杂竖直结构(如字线)的扩散，其更快速地发生，由此减少整体前体步骤时间。目前通过按设定的进度或配方开关各种阀来达到增加的摩尔比例。参考图1A显示了目前的程序。

[0024] 图1A显示了现有技术的投配转向系统的时序图100。下面将参考图1B说明投配转向系统的示例。图1A显示了出口阀时序信号110、转向阀时序信号130和MFC时序信号150的单独示意图。出口阀时序信号110及转向阀时序信号130中的每一者分别以“0”及“1”表示阀的关闭位置及开启位置。MFC时序信号150分别以“0”表示关闭位置并以“SP”表示设定点值。

[0025] 在第一时间段101内(可被认定为MFC稳定化期间),出口阀时序信号110处于“0”。因此,当如上所述转向阀时序信号130处于“1”而MFC时序信号150处于设定点值“SP”时,出口阀处于关闭位置。因此,转向阀和MFC分别处于开启位置及设定点位置。

[0026] 在第二时间段103内(可被认定为线充填期间),关闭两个非MFC阀(即转向阀和出口阀)。因此,出口阀维持关闭、转向阀现在关闭、同时MFC维持在设定点位置处。在第三时间段105内(可被认定为前体气体流至处理室的期间),开启出口阀以使前体气体流至处理室中、出口阀现在开启、转向阀关闭、同时MFC维持在设定点位置处。在第四时间段107内(构成清扫期间),出口阀、转向阀和MFC全部关闭。时间段109开始一个新的重复性的循环系列,因此代表如前所述的前四个时间段101、103、105、107的重复。

[0027] 现在参考图1B,显示了现有技术的投配转向系统170。图1B包含惰性气体线171、流动控制器181(如MFC)、充填体积183、转向阀185和耦合至处理室175的出口阀。

[0028] 如果使用惰性气体流(如氮(N_2)或氩(Ar)),则惰性气体在惰性气体线171中沿着方向173朝向处理室175流动。如果流动控制器181开启(如处于SP的设定),则前体气体沿着方向179朝向充填体积183流动。如果转向阀185开启,则前体气体流过转向阀185并被转向至前线(例如促进废弃物流经真空泵或以其他方式转向绕过处理室175而不进入处理室)。如果流动控制器181开启、或充填体积183内有一定体积的前体气体,则一旦出口阀187开启,前体气体就流入处理室175中。

[0029] 继续参考图1B并同时参考回图1A,本领域中普通技术人员应当明白投配转向系统170如何运行。在一特定示例中,在第一时间段101内(MFC稳定化期间),MFC(如流动控制器181)使前体气体流动两秒并使信号设定在SP处让前体气体流向转向阀(如转向阀185)而达到稳态。在第二时间段103内(线充填期间),MFC维持在SP流并使转向阀和出口阀(如出口阀187)两者都关闭(即发送至转向阀和出口阀两者的信号都处于“0”)以在MFC下游的LCV(如充填体积183)内累积压力。在第三时间段105内(前体气体流至处理室的期间),出口阀开启例如五秒,将气体输送至处理室(如处理室175)。在第四时间段107内(清扫循环),MFC、转向阀和出口阀皆为了清扫循环而关闭以清除前体气体。

[0030] 现在参考图2,显示了线充填体积(LCV)图200,其表示图1B的现有技术的投配转向系统170的压力随时间变化的关系。继续参考图1B,图2显示了输送压力201的水平(即至处理室175的水平)、LCV209(如图1B的充填体积183)内的压力的水平、在将前体气体输送至处理室(如图1B的处理室175)前的前体气体的初始压力及流脉冲211和在处理室之前的稳态压力207的水平。LCV图200还显示了LCV内的压力高于稳态输送压力201的第一时间段203,其发生在出口阀(如图1B的出口阀187)开启且维持开启的第二时间段205之前。

[0031] 参考图1B说明和显示了使用充填体积183的ALD序列能缩短前体气体输送至处理室175的输送时间。此外,还将前体气体的初始压力和流脉冲211输送至处理室,两者都能加速前体在衬底表面饱和。这些效果都能减少整体ALD循环时间。输送至处理室的前体气体的总质量由以下等式表示:

$$m_{total} = t_{>ss} \cdot \dot{m} + t_{ov} \cdot \dot{m} \qquad (1)$$

其中前体气体的总质量m_{total}等于阀流动系数(C_v)高于稳态输送压力201水平的时间量$t_{>ss}$乘上前体气体的质量流率$\dot{m}$再加上出口阀187开启的时间t_{ov}乘上质量流率$\dot{m}$。

[0032] 然而,除了如参考图1B的投配转向系统170说明将宝贵的前体气体浪费至转向过

程之外，在设定的进度上进行排序更会导致LCV中的压力的可变性。压力的可变性与被输送至处理室的前体气体的量直接相关(由于前体气体包含不同于液体的可压缩材料)。此外，单元与单元之间的可变性(例如LCV与LCV之间的充填)是由于体积差异、流率差异、阀流动系数(Cv)差异、温度差异和本领域普通技术人员已知的其他因素而导致。因此，不同循环之间或不同时间(例如一星期与另一星期)之间递送的前体气体量也可因阀Cv变化、温度变化、流率漂移、维护而变化，该维护可因配件的修补及其他因素而改变LCV的体积。不同单元(一处理室与另一处理室、一处理站与另一处理站、一工具与另一工具)之间、不同循环之间和不同时间之间的性能可变性都会直接影响经历ALD工艺的衬底上的沉积的可变性。沉积可变性可导致管芯损失、甚至整个衬底的损失。

[0033] 此外，流动控制器(如图1B的流动控制器181)还具有固有的响应可变性。图3显示了现有技术的响应可变性及渐变速度图300，其显示输送至处理室(如图1B的处理室175)的前体气体剂量用的质量流量控制器(MFC)中的可能的巨大变化。该MFC变化图是如图1B中所示的现有技术的投配转向系统使用的典型图。

[0034] 上图310显示了理想化的流动设定点指令，其中MFC在时间t_1处立即反应而从完全关闭变为完全位于SP水平。MFC在时间t_3处类似地反应而从完全位于设定点水平SP变为完全关闭。下图330显示对指令的实际响应。在时间t_1处信号“SP”被发送至MFC以开启至设定点值SP。然而，MFC直到约时间t_2处才完全位于SP的水平303处。根据信号的实际上升时间(在接收到SP信号之后的开启响应时间)(例如MFC需要多久的时间去响应SP信号)，实际上可在时间t_2之前或之后到达水平303，具体取决于实际上升时间的可变性301R。可变性301R代表，MFC变得完全位于SP处所需的上升时间的可变性，具体取决于MFC响应有多快。

[0035] 当MFC接收信号“0”而在时间t_3关闭时，类似的情况发生。根据信号的实际下降时间(在接收信号0之后的关闭响应时间)(例如MFC需要多久的时间响应0信号)，MFC可能直到时间t_4或时间t_4之后才能从水平303完全关闭。因此，可能在时间t_4之前或时间t_4之后才能实际上达到MFC的完全关闭，具体取决于实际下降时间的可变性301F。可变性301F代表MFC变得完全关闭的下降时间的可变性，再次具体取决于MFC响应有多快。

[0036] 上面参考图3所述的可变性可能因为例如用于制造MFC的部件的公差以及特定MFC的年龄而在不同MFC之间显著变化，即使是相同公司所制造的MFC也如此。基于MFC的设计，MFC可具有固有的流动变化时间常数且时间常数可在不同的时间之间及不同的单元之间变化。此外，每一种类型及品牌的MFC可能具有不同的响应。甚至相同类型或相同品牌的每个单元在渐变速度上都可能有可变性。此外，在相同的MFC内也会存在不同时间之间的差异。

[0037] 这些可变性中的每一种可对被输送至处理室的前体气体的实际质量有显著的影响。如参考上式(1)所述，流率对时间的积分是被输送至处理室的流体的质量。因此，针对相同的时间及流动设定点，被输送的质量会基于上面参考图3所述的流动渐升和渐降的形状与速度而改变。图1B的投配转向系统170试图通过在填充充填体积183或流至处理室175之前使前体气体流至转向件持续一定时间段(由此浪费前体气体)，移除MFC渐升的可变性，从而克服这些限制。

[0038] 在现有技术中存在的定时无转向气体投配系统类型中，投配可例如通过以下方式完成：

[0039] 开启入口阀及指示设定点(SP)信号被发送至位于入口阀的下游的MFC；

[0040] 当LCV下游的出口阀关闭时,压力在LCV中累积;

[0041] 在某些预定时间处,出口阀分别对于位于LCV及出口阀的下游的处理室开启;

[0042] 接着流脉冲被输送至处理室-—接着MFC将工艺气体的流率控制至用于流向处理室的稳态流的初始设定点值;以及

[0043] MFC流SP在剩余的处理期间维持常数。

[0044] 前面的示例仅作为向本领域技术人员提供以下公开主题的背景的示例来提供,并且不应被认为是被承认的现有技术。

[0045] 然而,与参考现有技术的投配转向系统以及定时无转向气体投配系统所述的前体气体浪费及可变性相比,本公开的主题对气体输送硬件及工艺序列进行物理性及操作性的改变,以便减少ALD工艺时间、减少工艺可变性和消除专用前体气体的浪费,由此减少操作成本(COO)。例如,如下面所将更详细说明的,本公开的主题通过将LCV填充至预定压力并进而以可变时间填充LCV来消除MFC渐升和渐降的可变性。可变的填充时间补偿任何渐变的可变性而不需要浪费流经转向件的前体气体。

[0046] 此外,与现有技术的定时无转向气体投配系统相比,本公开的主题对如下所示的现有技术的下列明显缺点提供解决方案。

[0047] 如上面参考图3所讨论的,MFC的渐升速度和阀(如现有技术的入口阀及出口阀)的时序差异可能会造成LCV中的不同最终压力,因此造成被输送至处理室的剂量在不同时间之间和不同单元之间的不同大小(例如体积和/或质量)。因此,使用现有技术的定时无转向气体投配系统,不同处理室可能无法产生相同的衬底上的结果(如膜的质量、膜的均匀度和/或膜的厚度)、或一处理室在不同天可能会产生不同的工艺。

[0048] 没有能力改变脉冲被输送至处理室的时间。例如,实现优选的流脉冲(如最佳的LCV压力)的最佳时间长度可能比基于其他投配步骤或清扫步骤输送脉冲的最佳时间更长或更短。

[0049] 当出口阀开启、流体上升(导致剂量增加)时,MFC感受到增加的流体并试图修正增加的流体而关闭阀;MFC随后在压力相等时增加流体。该MFC的阀动作及响应可能会在投配期间和投配之后造成暂时的流体差异。暂时响应中的这些差异会在不同单元中和/或不同时间处变化。

[0050] 下文所述的各种实施方案对于现有技术(投配转向系统和定时无转向气体投配系统两者)的上述缺点中的每一者,提供了解决方案。下面将详细说明本公开的主题的每一优点。

[0051] 作为更进一步的概况,相比于例如图1B的投配转向系统170,本公开的主题的各种实施方案以较少或无前体气体浪费及较低的剂量可变性将ALD前体气体剂量输送至处理室。减少的浪费及较低的可变性通过下列方式实现:利用MFC,用前体气体将线充填体积(LCV,如在压力下可储存特定气体体积的气体累积器,下面将更详细定义)填充至预定压力、维持体积内的压力、将MFC控制阀维持在设定位置中(如在填充LCV的该点处MFC不控制流)以及将气体体积释放至处理室中。在LCV内的气体被释放至处理室中之后,接着对前体气体的流量控制恢复到MFC。因此本公开的主题的各种实施方案能消除如前所述的转向(该转向目前用于通过使前体气体流动以使该气体最初就从处理室转向而使流量稳定)的任何需要。因此能消除前体气体浪费。下面将在各种实施方案中更详细说明这些构思。

[0052] 虽然在文中使用“前体气体”及“ALD序列”或“ALD工艺”等术语以更完全地说明本公开的主题的新颖概念，但本发明人不意图进行此类限制。例如，在阅读及了解本公开的主题时，本领域普通技术人员将明白所述的概念可与任何工艺气体(如不同于前体气体或前体气体的补充)或任何工艺(例如不同于ALD工艺，包含例如气相工艺期间的化学气相沉积(CVD)或物理气相沉积(PVD))一起使用。

[0053] 图4A显示了根据本公开的主题的各种实施方案的工艺序列时序图400的一示例。图4B显示了根据本公开的主题的各种实施方案的无转向气体投配系统440的一示例。本领域技术人员在阅读及了解本公开的主题时应当能明白，无转向气体投配系统440并不依赖于转向(因此浪费)将在处理室中使用的工艺气体。

[0054] 同时参考图4A和图4B，显示了图4A包含出口阀时序信号410、入口阀时序信号430、LCV压力传感器信号450和MFC(如流动控制器)时序信号470的单独的图。出口阀时序信号410及入口阀时序信号430中的每一者分别以“0”和“1”表示阀的关闭位置和开启位置。LCV压力传感器信号450显示了LCV内的实际压力。MFC时序信号470相应地表示了关闭位置“0”和设定点值“SP”。显示了图4B包含气体入口447、入口阀449、流动控制器453(如MFC)、线充填体积(LCV)455、耦合至LCV455的压力传感器457和耦合至处理室445的出口阀459。如果入口阀449和流动控制器453开启(例如流动控制器453处于设定的SP)，前体气体沿着方向451朝向LCV455流动。如果使用惰性气体流(例如氮(N_2)或氩(Ar))，则惰性气体流在惰性气体线441中沿着方向443朝向处理室445流动。如果不使用惰性气体流，可能不需要惰性气体线441，因此惰性气体线441可被认为是选择性的。

[0055] LCV455可由任何数量的超高纯度的非渗透性材料所形成。例如，在一特定的示例性实施方案中，LCV455可被认为是一种累积器室且可由不锈钢(如316L不锈钢)形成。在另一特定的示例性实施方案中，LCV455可由本领域中所公知的各种高性能合金(也已知为超合金)形成。这些高性能合金包含例如Inconel®(可从不同源获得，包含从Inco Alloys International,Inc.(Huntington,West Virginia,USA)获得)或Hastelloy®(可从不同源获得，包含从Haynes Stellite Company(Kokomo,Indiana,USA)和Union Carbide Corporation(New York,New York,USA)获得)。可电解抛光此类材料或不锈钢材料或其他超高纯度的非渗透性材料，例如达到小于例如约0.5μm、或小于约0.1μm、或甚至更小的表面粗糙度值Ra，具体取决于特定的工艺。此外，本领域技术人员在阅读和理解本公开的主题后将能明白，所用的前体气体的类型也可能会影响用于形成LCV455(及其他部件)的材料的类型。此外，虽然将LCV455显示为分离的体积，但在某些实施方案中，LCV455可包含载有工艺气体本身的线的体积。虽然可设计LCV455使其容纳各种气体体积，例如针对特定的工艺或室尺寸进行设计，但在一特定的示例性实施方案中LCV455可具有约0.03升至约0.3升的体积。在阅读和理解本公开的主题时本领域技术人员应当明白，可能需要LCV455具有特定的体积。

[0056] 再次参考图4A并继续参考图4B，第一时间段401包含入口阀449开启的时间段。还开启流动控制器453，提供前体气体的实际流量417，从而达到设定点SP值。根据从压力传感器457接收的LCV压力传感器信号450的值来监测LCV455内的压力水平。当压力渐升411至预定压力413时，入口阀449维持开启。在此第一时间段401内，LCV455“填充”至预定压力水平。一旦LCV455到达预定压力(确定出第一时间段401的终结)之后，关闭入口阀449。当入口阀

449关闭时，没有任何流体流进入流动控制器453中。因此，流动控制器453可维持开启或可关闭(如工艺序列时序图400中在第一时间段的终结处所示的关闭)。如本领域普通技术人员应当明白的，如果流动控制器453维持开启且无气流流过其中，则例如在伴随的工艺配方中可覆盖被设定表示“无流动”条件的任何警示。在实施方案中，流动控制器453本身能切换控制模式——在控制压力和控制流动之间切换。因此，当控制压力时，不会产生“不正确的流动信号”。下面将更详细说明此类模式。

[0057] 第二时间段403可被认定为其中LCV455被完全充填至预定压力水平的时间。在一特定的示例性实施方案中，绝对压力的范围可例如介于约200Torr至约2000Torr之间。然而，实际压力可取决于各种因素，如特定工艺或处理室体积。如上所述及显示于工艺序列时序图400中的，在第二时间段403的较后部421(第二时间段403与第一时间段401之间的时间差)内的任何时间处流动控制器453维持开启或可关闭。

[0058] 在第三时间段405内，在一实施方案中入口阀449再次开启且流动控制器453(如果原本是关闭的)再次开启至实际流量417。开启出口阀459，由此从LCV455释放前体气体使其流至处理室445中。当前体气体从LCV455被释放，流脉冲419被输送至处理室445且压力415随着持续流入处理室中的流体衰减至稳态水平，流入处理室中的流体受到位于设定点值处的MFC控制成为实际流量417。然而，下面将更详细解释各种实施方案及操作差异。

[0059] 在第四时间段407期间，清扫系统。可在重复时间段409中重复整个循环(包含先前的时间段401、403、405、407中的任一者或全部)。在此点处未定义LCV455的压力。在重复时间段409内可使用相同的前体气体或其他前体气体。

[0060] 在各种实施方案中，取决于MFC是处于流动控制模式还是基于阀位置控制模式，基于阀位置反馈(即物理方式测量到的开启距离(其可基于例如电容型位置传感器、电感型位置传感器、或其他类型的位置传感器))及基于例如先前的MFC历史或校准表，可将阀设定在已知位置。MFC可具有阀位置对流率和压力的映射。因此，此操作构成一种开回路控制——阀被开放至具有上游压力P_1和下游压力P_2的位置“x”。接着可从校准表读取流率。如果该流是阻塞流(对本领域技术人员而言是可理解的)，则只有上游压力P_1才重要。可通过内置到校准表中的P_1和P_2值确定阻塞流。可产生校准表并在MFC处于流动控制模式的任何时间处通过比较校准表与实际流量信号来修改校准表。因此，当在第一时间段401内操作无转向气体投配系统440时，可如校准表中所指示的将阀驱动至前体气体的实际流量417的期望稳态流的位置并保留在该位置，直到流脉冲419之后流率稳定下来。在该实施方案中，基于LCV压力关闭入口阀449但并未移动控制阀。因此，在第一时间段401内，MFC可在流动控制模式或阀位置控制模式下操作。在第一时间段401之后并进入第二时间段403的较后部中，MFC可在阀位置控制模式下操作。在第三时间段405内，在流动信号稳定后(如在流脉冲419之后；通常仅在达到稳态流之后才会大致上进行模式改变的转换)，MFC可从阀位置控制模式转换至流动控制模式。此外，使用MFC的模式可能不需要针对每一循环改变(例如总是位于阀位置控制模式)。例如，可通过使MFC在流动控制模式下运行并检查/修改阀位置的校准，而周期性地(如每天)校准MFC阀位置。该操作能使MFC于处理期间在更快的阀位置控制模式下运行，接着在模块或处理室闲置时进行重新校准。也可使用惰性气体并在MFC中转变为的前体气体以重新校准MFC，从而不浪费前体气体。

[0061] 使用相同序列或具有稍微变化的图4A的工艺序列时序图400可与无转向气体投配

系统的另一实施方案一起使用。现在参考图4C，其显示了根据本公开主题的各种实施方案的无转向气体投配系统460的另一示例。

[0062] 显示图4C包含第一气体入口467、第一入口阀469、第一流动控制器473(例如MFC)、选择性的控制器出口阀474、线充填体积(LCV)475、耦合至LCV475的压力传感器477和耦合至处理室465的出口阀479。还显示图4C包含额外的入口阀及流动控制器台，其包含第二气体入口481和第二流动控制器487。如果流动控制器473、487或对应的入口阀469、483开启(例如位于流动控制器的设定SP)，则一或多种前体气体分别沿着方向471、485朝向LCV475流动。如果使用惰性气体流(如氮(N_2)或氩(Ar))，则惰性气体在惰性气体线461会沿着方向463朝向处理室465流动。如图4B的惰性气体线441，对于未使用惰性气体的情况而言，惰性气体线461可被认为是选择性的。此外，本领域技术人员在阅读和理解本公开的主题时应当明白，图4C的每一部件可以与图4B中的部件相同或类似。

[0063] 虽然无转向气体投配系统460显示了一个额外的入口阀及流动控制器台，但本领域技术人员在阅读和理解本发明的主题时应当明白，可将任何数量的额外的入口阀和流动控制器台添加至无转向气体投配系统460而仍被认为落在本文提供的公开内容的范围内。此外，对系统所进行的改变(例如入口阀与流动控制器相对于彼此的放置)应被认为本公开的一部分。也就是说，入口阀可位于流动控制器的下游而仍被认定为落在本发明的范围内(可根据需要，对图4A的工艺序列时序图400进行适当的改变)。此外，虽然仅显示单一LCV，但不应认为有此限制。可添加一或多个额外的LCV室而仍被认定为落在本发明的范围内。

[0064] 使用图4C的无转向气体投配系统460，两或更多流动控制器可流入单一线充填体积。工艺气体流可在相同时间在相同压力处在两个(或两个以上)流动控制器上停止，或者例如先通过一流动控制器，接着通过另一流动控制器(包含两个以上的流动控制器)连续充填LCV，以产生期望比例和压力的期望气体混合物以用于释放至处理室中。

[0065] 此外，如下面参考图5所述，可加热LCV以提高容纳于其中的气体的凝结压力，使得低蒸气压的气体(如六氟化钨(WF_6))可先将LCV475加压至例如0.5巴(约375托)，接着将LCV475内的气体加热至约60℃并用Ar加压至约2巴(约1500托)。在一特定的示例性实施方案中，在用WF_6将LCV475加压至约375托之后，可关闭选择性的控制器出口阀474以使第一流动控制器473与LCV475中的压力隔离。

[0066] 图4D显示了可以与图4B及图4C的无转向气体投配系统440、460结合使用的自校准流量计490的一示例。示出自校准流量计490包含流量计491、第一压力传感器493、第二压力传感器495和具有位置感测设备(未明确显示)的流动控制阀497。

[0067] 在各种示例性实施方案中，流量计491包含例如热质量流量计、基于压力的流量计(如使用孔口以产生被输送通过该孔口的流体的压降)、衰减率流量计、或相关领域中已知的其他类型流量计。在某些实施方案中流量计491可被认为是选择性的元件。本领域普通技术人员应当明白，可以使用其他设备确定流经自校准流量计490的体积流量和/或质量流量。例如，通过测量在流动控制阀497两端的压力传感器493、495的压差，可确定流体的体积流量。如果已知流体的温度、压力和热力学特性，也可确定质量流率。下面将参考图4F和图4G更详细讨论使用温度传感器或温度计的这种布置。压力传感器493、495可与上面参考图4B和图4C所述的压力传感器457、477相同或相似。

[0068] 压力传感器493、495可包含本领域中已知的各种类型的压力传感器，其例如是基

于压阻式应变片技术、电容式压力传感技术、电磁压力传感技术、压电压力传感技术和相关领域中已知的其他技术。

[0069] 流动控制阀497可包含各种类型的节流阀(如球阀、闸阀、蝶阀、或其他控制阀)、压电阀、或相关领域中已知的其他类型的流体控制阀中的一者。阀可以是手动控制的或自动控制的(如气动控制的、电控制的、或液压控制的)。使用上述的位置感测设备测量流动控制阀497开启的距离或量。

[0070] 在操作中,将阀位置校准至压力传感器493、495及流动标准设备(未明确显示,但本领域技术人员应当明白)所分别指示的压力P_1和P_2。也可根据来自流动标准设备的读数来校准流量计491(如果使用的话)。

[0071] 自校准流量计490可在至少两种模式下操作。在自校准流量计490的第一模式中,流动控制阀497的位置是基于来自两个压力传感器493、495的读数以及校准数据。可使用第一模式提供快速响应时间(如少于约100msec、或少于约10msec)。在自校准流量计490的第二模式中,对流动控制阀497的控制是基于来自流量计491的反馈(如所指示的体积流率或质量流率)。如果自校准流量计490的实施方案包含MFC,则第二控制模式可具有比第一控制模式更高的准确度水平和/或更高的精确度水平。在阅读和理解本公开的主题时本领域技术人员应当明白,在给定的应用中,何时使用第一模式或第二模式可能是有利的。

[0072] 自校准流量计490可以与图4B及图4C的流动控制器453、473、487串联使用或取代图4B和图4C的流动控制器453、473、487。此外,第二压力传感器495可以与图4B和图4C的压力传感器457、477结合使用或取代图4B和图4C的压力传感器457、477。此外,可以如上所述定期或持续地校准自校准流量计490。

[0073] 图4E至图4G显示了可与图4B与图4C的无转向气体投配系统结合使用的其他自校准流量计的示例。例如,图4E显示使用差动压力传感器492而非图4D的压力传感器493、495的自校准流量计490的另一示例性实施方案。差动压力传感器492具有耦合至流动控制阀497的上游的第一分支及耦合至流动控制阀497的下游的第二分支。差动压力传感器492可提供上游压力与下游压力之间压力差提高的准确度。此外,如前所讨论的,在某些实施方案中流量计491可被认为是选择性的元件。

[0074] 还显示图4E包含位于流动控制阀497的上游的压力传感器496。虽然未明确显示,但在其他实施方案中,压力传感器496可位于流动控制阀497的下游。压力传感器496可与图4D的压力传感器493、495中的一者或两者相同或相似。取决于其位置,压力传感器496可用于确定在自校准流量计490内流动的气体的流动控制阀497的入口压力或出口压力。例如,差动压力传感器492可在流动控制阀497的任一侧上读到上游压力与下游压力之间有260托(约5psig)的差。然而,如果系统具有内520托(约10psig)与外260托的压力相对于内780托(约15psig)与外520托的压力,则实际流率会不同。此外,如本领域技术人员所公知的,气体的质量在不同压力下不同。因此质量流率和体积流率两者都可能显著不同。下面将参考图4G说明额外的实施方案。

[0075] 本领域普通技术人员应当明白,差动压力传感器492使用例如传感器感测流体流路径的两部分之间的压力差。接着传感器将压力差转化为成比例的输出。在另一示例中,差动压力传感器492使用电极附近的挠性膜以感测压力差。例如,正压力使膜朝向电极挠曲,由此增加膜与电极之间的电容值。压力的减小会使膜移动远离电极,由此减少电容。耦合至

传感器每一侧的传感器测量膜每一侧上的两压力所造成的电容差。已知其他类型的差动压力传感器或差动压力计。此外，如本领域技术人员所公知的，压力差并非参考特定参考压力来计量。

[0076] 图4F显示了可以与图4B及图4C的无转向气体投配系统440、460结合使用的自校准流量计490的另一示例性实施方案。显示了自校准流量计490包含流量计491、第一压力传感器493、第二压力传感器495和具有位置感测设备(未明确显示)的流动控制阀497。还显示了图4F包含温度传感器494。虽然显示温度传感器494耦合至流动控制阀497，但温度传感器可耦合至流动控制阀497的上游或下游或附近。各种类型的温度传感器和温度计是该领域中已知的。如前所讨论的，在某些实施方案中流量计491可被认为是选择性的元件。

[0077] 如本领域技术人员所进一步公知的，各种类型的材料会因温度变化而扩张和收缩。继续参考图4F，如果流动控制阀497位置所在的环境温度变化，或者压电叠堆的自我加热(上面所讨论的)导致温度变化，则部件的相对位置会改变，因此受到影响的部件的报道输出值会改变。此外，例如流动控制阀497的流动通道的上游和/或下游可能会因为温度变化而改变尺寸和/或形状。这些尺寸和形状的变化会影响在系统内流动的流体的流动特性。因此，输送特定流(如预定值的流)的流动控制阀497的位置可基于流动控制阀497和周围的流动通道温度而改变。此外，气体的特性会基于温度而改变。为了至少这些原因，为了达到高水平的校准准确度，在该实施方案中可监控流动控制阀497中以及附近的流动路径的面积中的温度并将其反馈至用于流动控制阀497的算法。

[0078] 图4G显示了也使用差动压力传感器492而非图4D和图4F的压力传感器493、495的自校准流量计490的另一示例性实施方案。如上面参考图4E所述，差动压力传感器492具有耦合至流动控制阀497的上游的第一分支和耦合至流动控制阀497的下游的第二分支。差动压力传感器492可以与参考图4E所述的差动压力传感器492相同或相似。此外，如前所讨论的，在某些实施方案中流量计491可被认为是选择性的元件。如前所述，差动压力传感器492可提供上游压力与下游压力之间压力差的提高的准确度。

[0079] 如上面参考图4F所述，还显示图4G包含温度传感器494。虽然显示温度传感器494耦合至流动控制阀497，但温度传感器可耦合至流动控制阀497的上游或下游或附近。温度传感器494可以与图4F的温度传感器494相同或相似。

[0080] 此外，显示图4G包含位于流动控制阀497的上游的压力传感器496。虽然未明确显示，但在其他实施方案中压力传感器496可位于流动控制阀497的下游。压力传感器496可以与图4D的压力传感器493、495中的一者或两者、或图4E的压力传感器相同或类似。如上参考图4E所述，取于其位置，可使用压力传感器496确定在自校准流量计490内流动的气体的流动控制阀497的入口压力或出口压力。压力传感器496、差动压力传感器492和温度传感器494可将对应的信号发送至例如中央控制器或处理器(未显示)，以基于测量到的温度和测量到的压力计算流动控制阀497的上游和下游两者的实际质量流率和/或体积流率。

[0081] 参考图5，其显示根据本公开的主题的各种实施方案的包含LCV两步骤加压调整的蒸气压力图500的示例。蒸气压力图500显示了WF_6的蒸气压力随温度变化的曲线，其中还显示了WF_6气体的临界点505。(本领域技术人员应当明白，WF_6或大部分的其他分子所具有的热力学特性可以被认为不会超过例如临界点505)。此外，如本领域技术人员能认识到的，蒸气压力图的右侧503的WF_6处于气相而蒸气压力图的左侧501的WF_6处于液相。根据各种实施方

案,两步骤加压调整的一示例可包含:(1)步骤1(操作507)——在约室温(约20℃)下将LCV内的WF_6气体加压至约0.53巴(约400托);及增加温度和压力以使WF_6气体沿着气相的压力-温度曲线上的线509移动至(2)步骤2(操作511)——在约60℃的温度下添加氩(Ar)并将气体混合物的压强增加至约2巴(约1500托)。

[0082] 因此,在LCV中或在LCV之前可混合多种气体,且加压LCV(以及根据需要可加热LCV)以提供能快速被输送至处理室的气体的高压贮存器,进而加速ALD工艺。可校准LCV和相关管道的体积,使得在流体流至LCV期间的上升速率可提供对MFC流率的独立测量,由此提供在MFC寿命期间校准MFC的方式。例如,多个质量流量控制器可以与多种气体(如不同体积及混合物比例的WF_6和H_2)一起使用。可在处理工具或如下面将更详细说明的被配置成在处理工具上执行指令的设备内,储存特定气体或多种气体的混合物的变化以及按顺序填充LCV的操作的各种工艺配方的变化中的每一者。在其他实施方案中,多个质量流量控制器中的每一者可分别耦合至不同的LCV。此外,不同LCV中的每一者可耦合至单一出口阀,因此控制流至处理室中的流基本上同时来自所有的LCV。在其他实施方案中,不同LCV中的每一者可分别耦合至多个出口阀,其中每个LCV具有一个出口阀。

[0083] 如上所述,在根据本文中所述的各种实施方案中,消除图1B的转向阀185与从转向阀连接至真空源的管道连接件以及相关硬件。取而代之的是,添加入口阀、或将现有的阀重新调整用于将一或多种前体输送至处理室。此外,添加压力传感器、或将现有的压力传感器重新调整以用作控制工艺序列的变量(如图4A的工艺序列时序图400)。

[0084] 因此优于现有技术的某些优点例如包含,通过不使任何气体绕过处理室而不浪费宝贵的前体气体,由此为处理工具的拥有者节省拥有成本及耗材成本。不需要转向阀及相关的硬件,从而导致较低的成本。此外,相比于现有技术的转向件系统,能提高将本文中所述的无转向件系统的部件装进较紧密空间中的附随能力。由于LCV的加压是基于压力测量而非现行技术下所使用的时间,因此能通过LCV填充的可变时间来补偿MFC渐升速度及曲线形状的差异(例如,参见图3),由此减少前体气体输送至衬底的输送可变性,从而导致在衬底内的改进的均匀度、不同衬底之间的改进的一致性和不同批次之间的改进的一致性。因此,不再需要任何形式的转向阀也不再需要将前体气体转向至前线。

[0085] 例如在各种实施方案中,上述参考图4A至图4C及图5所述的与本公开的主题一起使用的流动控制器(如MFC)可被配置成在至少三个不同的模式下操作:(1)流动控制模式——MFC的标称模式;(2)压力控制模式——MFC基于来自压力传感器的反馈回路将LCV控制至高达所确定的压力并且包含所确定的压力;(3)维持模式——MFC利用控制阀的位置反馈保持MFC内的控制阀(如将控制阀移动至特定位置、开始使前体气体流动、接着调整流;还可针对给定流率将控制阀设定返回至预定位置,使得开回路控制有受限的上升时间)。这三种不同的模式可使用MFC的固件和/或软件变化、或在MFC之外的以及控制MFC的固件/软件。

[0086] 如前所述,协调入口阀与出口阀、压力传感器和MFC的操作以进行顺序工艺,顺序工艺可在工具水平或系统水平的固件和/或软件上实施。

[0087] 上述的这种方法和各种工艺配方可在下面更详细说明的各种类型的设备上进行。各种时序和/或热力学特性可以算法或查找表的形式被储存在本领域中已知的各种类型的设备上。设备例如包含计算机或微处理器,专用处理器,例如现场可编程门阵列(FPGA)或专用集成电路(ASIC),其以软件、固件形式或作为硬件实现形式利用上述本公开的主题的一

个或多个方面被程序化。

[0088] 本文中所述的某些实施方案或工艺配方可利用各种类型的逻辑、或多个部件、模块、或机构执行。模块可构成软件模块(如在机器可读介质或传输信号中体现的程序代码)或硬件模块。“硬件模块”是能进行某些操作的有形单元,其可以某些物理方式配置或布置。在各种实施方案中,一或多个计算机系统(如独立的计算机系统、客户端的计算机系统、或服务器计算机系统)、或处理工具或计算机系统(如处理器或一组处理器)的一或多个硬件模块可以通过软件(如应用程序或应用程序部分)配置成为能操作以执行本文中所述的某些操作的硬件模块。

[0089] 在某些实施方案中,可以机械方式、电气方式、或任何合适的组合实现硬件模块。例如,硬件模块可包含被永久配置成执行某些操作的专用电路或逻辑。例如,硬件模块可以是专用处理器,例如FPGA或ASIC。

[0090] 硬件模块还可包含暂时通过软件配置而用以进行某些操作的可编程的逻辑或电路。例如,硬件模块可以包含被包含于专用处理器或其他可编程的处理器内的软件。应当明白,是否以机械方式、以专用及永久配置的电路、或以暂时配置的电路(如通过软件配置的电路)实现硬件模块的决定会受成本及时间因素驱动。

[0091] 因此,短语“硬件模块”应被理解为包含有形实体,有形实体是通过物理方式构造、永久配置(如经硬接线)或暂时配置(如被程序化)成以某些方式操作或执行本文中所述的某些操作的实体。如本文所使用的,“以硬件实现的模块”是指硬件模块。考虑其中暂时配置(如程序化)硬件模块的实施方案,硬件模块中的每一者不需要在时间上于任一时刻处配置或实现。例如,在硬件模块包含以软件配置而成为专用处理器的通用处理器的情况中,可在不同时间处配置通用处理器以成为相应不同的专用处理器(例如包含不同硬件模块)。因此软件可配置处理器,使其例如在一时刻处构成特定的硬件模块并在不同的时刻处构成不同的硬件模块。

[0092] 硬件模块可对其他硬件模块提供信息并从其接收信息。因此,所述的硬件模块可被视为是通信耦合的(例如以运行一或多个工艺配方)。在多个硬件模块同时存在的情况中,通信可经由两或更多硬件模块之间的信号传输(如在适当的电路及总线上)来实现。在不同时间处配置或实现多个硬件模块的实施方案中,此类硬件模块之间的通信可例如经由在多个硬件模块可访问的存储器结构中的信息储存及信息检索来实现。例如,一个硬件模块可进行操作并将该操作的输出储存在与其通信耦合的存储器设备中。接着另一硬件模块可在较晚的时间处访问该存储器设备以取出及处理该经储存的输出。硬件模块也可启动与输入或输出设备的通信,且可对资源(如信息的集合)进行操作。

[0093] 本文中所述的示例性方法的各种操作及工艺配方可至少部分通过经暂时配置(如通过软件配置)或永久配置而能进行相关操作的一或多个处理器来执行。无论是暂时或永久配置的,此类处理器可构成能操作以执行本文中所述的一或多个操作或功能的以处理器实现的模块。如本文所使用的,“以处理器实现的模块”是指利用一或多个处理器实现的硬件模块。

[0094] 类似地,无论是本文中明指或暗示的方法和工艺配方都可以是至少部分以处理器实现的,处理器是硬件的示例。例如,方法的至少一些操作可通过一或多个处理器或以处理器实现的模块进行。此外,一或多个处理器也可操作以支持“云端计算”环境中的相关操作

的执行或作为“软件即服务”(SaaS)。例如,至少某些操作可通过一组计算机(包含处理器的机器的示例)执行,这些操作可通过网络(如因特网)以及通过一或多个适当的接口(应用程序编程接口(API))访问。

[0095] 某些操作的执行可分配至一或多个处理器(不仅仅可座落于单一装置(如处理工具)内且可横跨多个机器部署。在某些实施方案中,一或多个处理器或以处理器实现的模块可位于单一地理位置中(家庭环境、办公室环境、服务器机房、或制造设施(fab)内)。在其他实施方案中,一或多个处理器或以处理器实现的模块可分布于多个地理位置处。

[0096] 如本文中所使用的,术语“或”可以以包含或排除方式解读。此外,本领域普通技术人员基于阅读和理解所提供的公开内容应当理解其他实施方案。此外,本领域普通技术人员应当容易理解,本文中所提供的技术及示例的各种组合皆可以各种组合应用。

[0097] 在整个本说明书中,多个实例可将所述的部件、操作、或结构实现为单一实例。虽然一或多个方法的各个操作被例示及说明为单独的操作,但所述各个操作中的一或多者可同时进行,因此除非特别指出,否则操作不必以所示的顺序进行。在示例性配置中被显示为单独的部件的结构及功能可以以组合结构或部件实现。类似地,被显示为单一部件的结构及功能可以单独的部件实现。这些和其他变化、修改、添加和改善都落在本文所述的主题的范围内。

[0098] 虽然分别讨论了各种实施方案,但这些单独的实施方案不旨在被视为是独立的技术或设计。如上所述,各种部分中的每一者可以相互关联的且可分离使用或与本文中所讨论的本公开的主题的其他实施方案组合使用。例如,虽然已说明方法、操作、系统和工艺的各种实施方案,但这些方法、操作、系统和工艺可单独使用或以各种组合的方式使用。

[0099] 因此,本领域普通技术人员在阅读和理解本文中所提供的内容时将明白,可进行许多修改及变化。除了本文中列举的之外,本领域技术人员根据前面的说明应当能明白在本公开的范围内的功能等效的方法和设备。某些实施方案中的部分及特征可被包含于其他实施方案中的部分及特征中或被其他实施方案中的部分及特征所取代。此类修改及变化旨在落在所附权利要求的范围内。因此,本公开仅会受到随附的权利要求以及此类权利要求所应享有的等同方案的全范围所限制。还应理解,本文中所使用的术语仅用于说明特定实施方案的目的且不应是限制性的。

[0100] 提供本公开的摘要以使读者能快速了解本公开的技术内容的本质。提交摘要应理解,其不是用于解释或限制权利要求。此外,在前文具体实施方式中可见各种特征被组合在单一实施方案中以用于精简本公开内容。本公开的方法不应被解读为限制权利要求。因此,下面的权利要求被并入具体实施方式中,其中每一权利要求独自地作为单独的实施方案。

下列有编号的实施例包含本公开的主题的实施方案

[0101] 实施例1:在一实施方案中,本公开的主题包含一种无转向气体投配系统。该无转向气体投配系统包含:工艺气体入口,其以气动方式耦合至入口阀;流动控制器,其以气动方式耦合至所述入口阀;以及线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为所述入口阀和所述流动控制器的下游。所述LCV将接收工艺气体的初始单一剂量。压力传感器被耦合至所述LCV以确定所述LCV内的压力水平。出口阀将以气动方式耦合而成为所述LCV的下游。所述出口将以气动方式耦合至在所述出口阀的下游侧上的处理室。所述流动控制器被布置成独立于所述入口阀而控制流向所述处理室的所述工艺气体的流量并在所述出口阀处于开启状

态时基本上将所述流量维持在预定的设定点。所述无转向气体投配系统就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

[0102] 实施例2:根据实施例1所述的系统,其还包含以气动方式耦合而成为所述出口阀的下游的惰性气体线,所述惰性气体线还将被耦合至所述处理室。

[0103] 实施例3:根据实施例1或实施例2所述的系统,其中所述LCV是累积器室。

[0104] 实施例4:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中在所述气体投配系统内未使用转向阀且未使用前体气体至前线的转向。

[0105] 实施例5:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中,仅基于所述LCV内所确定的所述压力水平确定所述工艺气体的所述初始单一剂量。不基于将所述LCV充填至所述工艺气体的所述初始单一剂量的水平所需的时间,确定所述工艺气体的所述初始单一剂量。

[0106] 实施例6:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中所述流动控制器被耦合至所述入口阀的下游。

[0107] 实施例7:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中所述流动控制器的渐升速度和渐降速度通过在所述LCV内所确定的所述压力水平补偿。

[0108] 实施例8:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中所述流动控制器的渐变曲线的形状将通过在所述LCV内确定的所述压力水平进行补偿。

[0109] 实施例9:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中所述流动控制器被配置成在三种模式中的至少一者下操作,所述三种模式选自包含下列模式的模式:流动控制模式,其中所述流动控制器被配置成控制所述工艺气体的流率;压力控制模式,其中所述流动控制器被配置成基于来自所述压力传感器的反馈回路控制所述LCV至高达并且包含所述LCV内的预定压力;以及维持模式,其中所述流动控制器将基于所述控制阀的位置反馈维持所述流动控制器内的控制阀。

[0110] 实施例10:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中所述出口阀将维持关闭状态,直到所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于预定水平之后。

[0111] 实施例11:根据实施例10所述的系统,其中所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平的确定表示:所述工艺气体的所述初始单一剂量已填充所述LCV。

[0112] 实施例12:根据实施例10所述的系统,其中所述出口阀被配置成在所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平之后开启。

[0113] 实施例13:根据实施例12所述的系统,其中在所述出口阀开启之后,所述工艺气体的所述初始单一剂量和流脉冲将被输送至所述处理室。

[0114] 实施例14:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其中至少所述入口阀将维持开启,直到所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平为止。在所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平之后,将关闭所述入口阀。

[0115] 实施例15:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其还包含自校准流量计。所述自校准流量计包含:流动控制阀;以及第二压力传感器,其位于所述流动控制阀的上游。所述流动控制阀和所述第二压力传感器都位于所述流动控制器的下游。

[0116] 实施例13:根据实施例15所述的自校准流量计,其还包含位于所述流动控制阀的下游且在所述LCV的上游的第三压力传感器。

[0117] 实施例17:根据实施例16所述的自校准流量计,其中所述自校准流量计将在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述第二压力传感器和所述第三压力传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间。第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

[0118] 实施例18:根据前述实施例中的任一者所述的系统,其还包含自校准流量计。所述自校准流量计包含:流动控制阀;以及差动压力传感器,其耦合在所述流动控制阀的两端。所述差动压力传感器具有耦合至所述流动控制阀的上游的第一分支和耦合至所述流动控制阀的下游的第二分支。

[0119] 实施例19:根据实施例18所述的自校准流量计,其还包含温度传感器,其耦合至邻近于所述流动控制阀处和所述LCV的上游。

[0120] 实施例20:根据实施例19所述的自校准流量计,其中所述自校准流量计将在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述差动压力传感器和所述温度传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据。所述第一模式将提供比第二模式更快速的响应时间。第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈。所述第二模式将比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度中的至少一者。

[0121] 实施例21:在一实施方案中,本公开的主题包含一种供给前体气体的装置。该装置包含:前体气体入口,其以气动方式耦合至入口阀;流动控制器,其以气动方式耦合而成为所述入口阀的下游;以及线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为所述流动控制器的下游。所述LCV将用所述前体气体的初始单一剂量充填。压力传感器被耦合至所述LCV以确定所述LCV内的压力水平。将基于所述LCV内的所述压力水平确定所述前体气体的所述初始单一剂量。出口阀以气动方式耦合而成为所述LCV的下游。所述出口阀被布置成在所述出口阀的下游侧上以气动方式耦合至处理室。所述出口阀还被布置成在所述LCV的所述压力水平到达预定值之后开启而将所述前体气体的所述初始单一剂量释放至所述处理室。所述流动控制器将独立于所述入口阀而控制流向所述处理室的所述前体气体的流量并在所述出口阀处于开启状态时基本上将所述流量维持在预定的设定点。所述装置就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

[0122] 实施例22:根据实施例21所述的装置,其中所述LCV是气体累积器。

[0123] 实施例23:根据实施例21或实施例22所述的装置,其中在所述气体投配装置内未使用转向阀且未使用前体气体至前线的转向。

[0124] 实施例24:根据实施例21至实施例23中任一项所述的装置,其中所述流动控制器包含质量流量控制器。

[0125] 实施例25:根据实施例21至实施例24中任一项所述的装置,其中所述流动控制器将在三种模式中的至少一者下操作,所述三种模式选自包含下列模式的模式:流动控制模式,其中所述流动控制器将控制所述前体气体的流率;压力控制模式,其中所述流动控制器

将基于来自所述压力传感器的反馈回路控制所述LCV至高达并且包含所述LCV内的预定压力;以及维持模式,其中所述流动控制器被配置成基于所述控制阀的位置反馈维持所述流动控制器内的控制阀。

[0126] 实施例26:根据实施例21至实施例25中任一项所述的装置,其中所述出口阀维持关闭状态,直到所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于预定水平之后为止。

[0127] 实施例27:根据实施例26所述的装置,其中所述出口阀将在所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平之后开启。

[0128] 实施例28:根据实施例21至实施例27中任一项所述的装置,其中所述至少一个入口阀被配置成维持开启,直到所述压力传感器指示所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平为止。在所述LCV内的所述压力水平处于所述预定水平之后,所述入口阀将关闭。

[0129] 实施例29:根据实施例21至实施例28中任一项所述的装置,其还包含自校准流量计,该自校准流量计包含:流动控制阀;以及第二压力传感器,其位于所述流动控制阀的上游。所述流动控制阀和所述第二压力传感器都位于所述流动控制器的下游。

[0130] 实施例30:根据实施例29所述的自校准流量计,其还包括第三压力传感器,其位于所述流动控制阀的下游且在所述LCV的上游。

[0131] 实施例31:根据实施例30所述的自校准流量计,其中所述自校准流量计将在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述第二压力传感器和所述第三压力传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据。所述第一模式将提供比第二模式更快速的响应时间。第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈。所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度水平和更高的精确度中的至少一者。

[0132] 实施例32:根据实施例21至实施例31中任一项所述的装置,其还包含:自校准流量计,其包含流动控制阀;以及差动压力传感器,其耦合在所述流动控制阀的两端。所述差动压力传感器具有耦合至所述流动控制阀的上游的第一分支和耦合至所述流动控制阀的下游的第二分支。

[0133] 实施例33:根据实施例32所述的自校准流量计,其还包括温度传感器,其耦合至邻近于所述流动控制阀处和所述LCV的上游。

[0134] 实施例34:根据实施例33所述的自校准流量计,其中所述自校准流量计被配置成在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述差动压力传感器和所述温度传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据,所述第一模式被配置成提供比第二模式更快速的响应时间。第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈,所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度水平和更高的精确度中的至少一者。

[0135] 实施例35:在多种实施方案中,本公开的主题包含一种无转向气体投配系统。该无转向气体投配系统包含:第一工艺气体入口,其以气动方式耦合至第一入口阀以接收第一工艺气体;第二工艺气体入口,其以气动方式耦合至第二入口阀以接收第二工艺气体;第一流动控制器和第二流动控制器,其以气动方式分别耦合而成为所述第一入口阀和所述第二

入口阀的下游;以及至少一个线充填体积(LCV),其以气动方式耦合而成为第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游。所述至少一个LCV将接收以下至少一者的初始单一剂量:所述第一工艺气体与所述第二工艺气体的混合物和所述第一工艺气体与所述第二工艺气体的分离的初始单一剂量。至少一个压力传感器分别耦合至所述至少一个LCV中的对应LCV,以确定所述至少一个LCV中的每一者内的压力水平。出口阀以气动方式耦合而成为所述至少一个LCV的下游。所述出口阀将在所述出口阀的下游侧上气动耦合至处理室。所述无转向气体投配系统就所述工艺气体的所述初始单一剂量的大小而言是时间独立的。

[0136] 实施例36:根据实施例35所述的系统,其中所述第一工艺气体入口和所述第二工艺气体入口将耦合至包含不同前体气体的工艺气体供给源。

[0137] 实施例37:根据实施例35或实施例36所述的系统,其还包含以气动方式分别耦合至所述至少一个LCV中的每一者的至少一个额外出口阀。

[0138] 实施例38:根据实施例35至实施例37中任一者所述的系统,其还包含多个出口阀,其中所述多个出口阀中的每一者分别耦合至所述至少一LCV中的相应LCV。

[0139] 实施例39:根据实施例35至实施例38中任一者所述的系统,其中所述出口阀包含单一出口阀,所述单一出口阀以气动方式耦合至所述至少一个LCV中的每一者且在所述至少一LCV中的每一者的下游。

[0140] 实施例40:根据实施例35至实施例39中任一者所述的系统,其还包含:第一自校准流量计和第二自校准流量计,其分别位于所述第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游。所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者包含:流动控制阀;以及第二压力传感器,其位于所述流动控制阀的上游。

[0141] 实施例41:根据实施例40所述的第一自校准流量计和第二自校准流量计,其每一者还包含第三压力传感器,所述第三压力传感器位于其对应流动控制阀的下游和所述至少一个LCV的上游。

[0142] 实施例42:根据实施例41所述的第一自校准流量计和第二自校准流量计,其中所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者将在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述第二压力传感器和所述第三压力传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据。所述第一模式将提供比第二模式更快速的响应时间。第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈。所述第二模式被配置成比所述第一模式提供更高的准确度水平和更高的精确度水平中的至少一者。

[0143] 实施例43:根据实施例35至实施例42中任一者所述的系统,其还包含:第一自校准流量计和第二自校准流量计,其分别位于所述第一流动控制器和所述第二流动控制器的下游。所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者包含自校准流量计,该自校准流量计包含:流动控制阀;和差动压力传感器,其耦合在相应的所述流动控制阀的两端。所述差动压力传感器具有耦合至所述流动控制阀的上游的第一分支和耦合至所述流动控制阀的下游的第二分支。

[0144] 实施例44:根据实施例43所述的第一自校准流量计和第二自校准流量计,其每一者还包括温度传感器,其耦合至邻近于相应的所述流动控制阀处和所述至少一个LCV的上

游。

[0145] 实施例45:根据实施例44所述的第一自校准流量计和第二自校准流量计,其每一者其中所述第一自校准流量计和所述第二自校准流量计中的每一者将在两种模式中的至少一者下操作,所述两种模式选自包含下列模式的模式:第一模式,其中所述流动控制阀的位置将基于来自所述压力传感器的读数、来自所述差动压力传感器和所述温度传感器中至少一者的读数以及所述流动控制器的校准数据。所述第一模式将提供比第二模式更快速的响应时间。第二模式,其中对所述流动控制阀的控制将基于从所述流动控制器所接收的反馈。所述第二模式将比所述第一模式提供更高的准确度和更高的精确度水平中的至少一者。

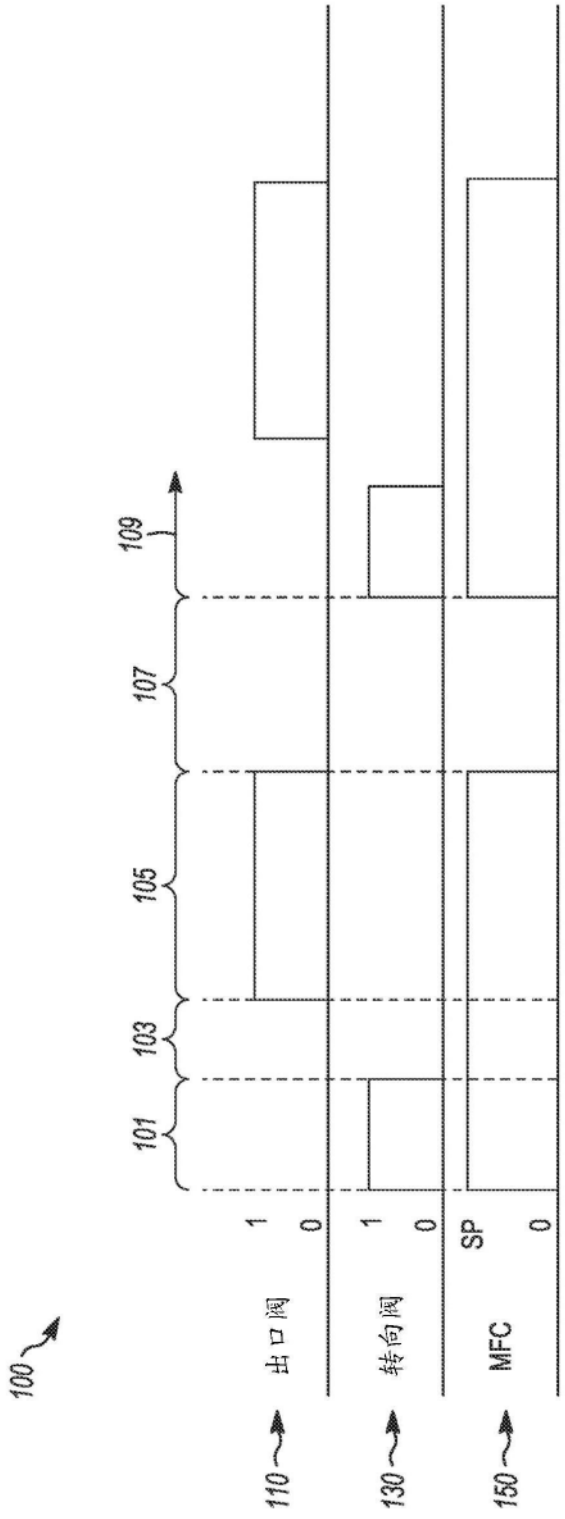


图1A(现有技术)

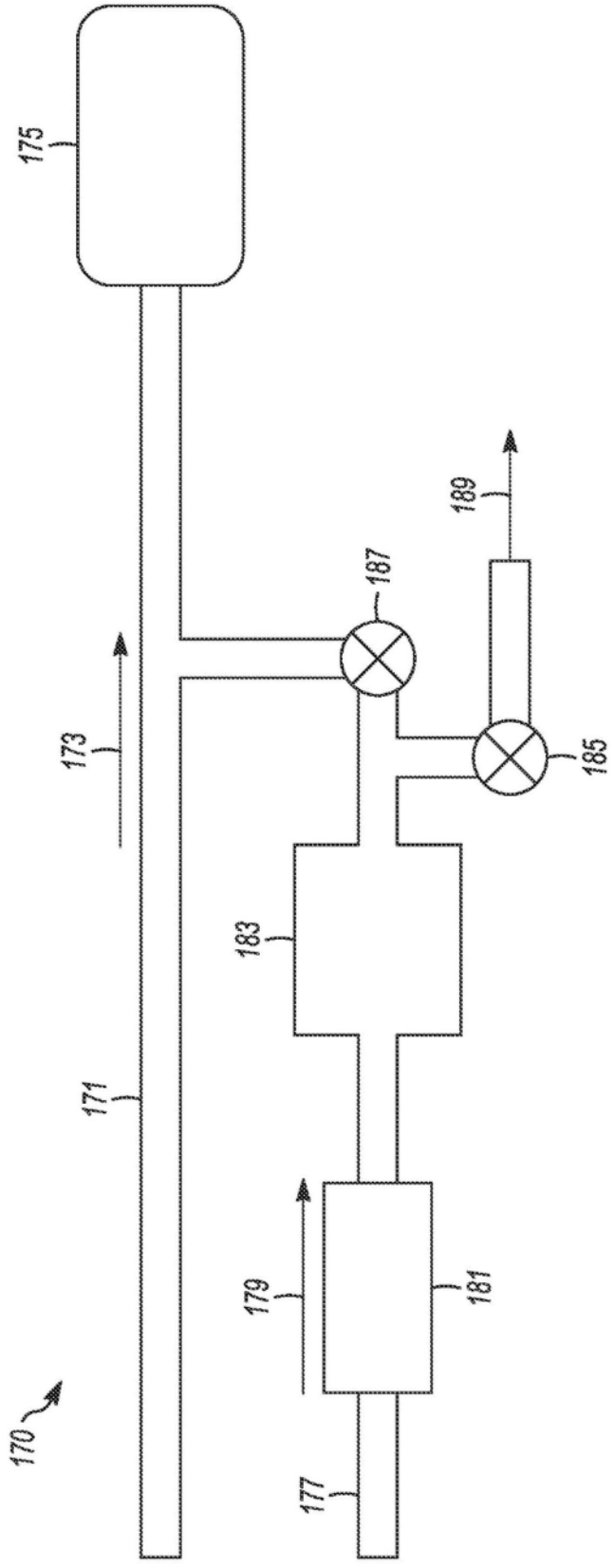


图1B(现有技术)

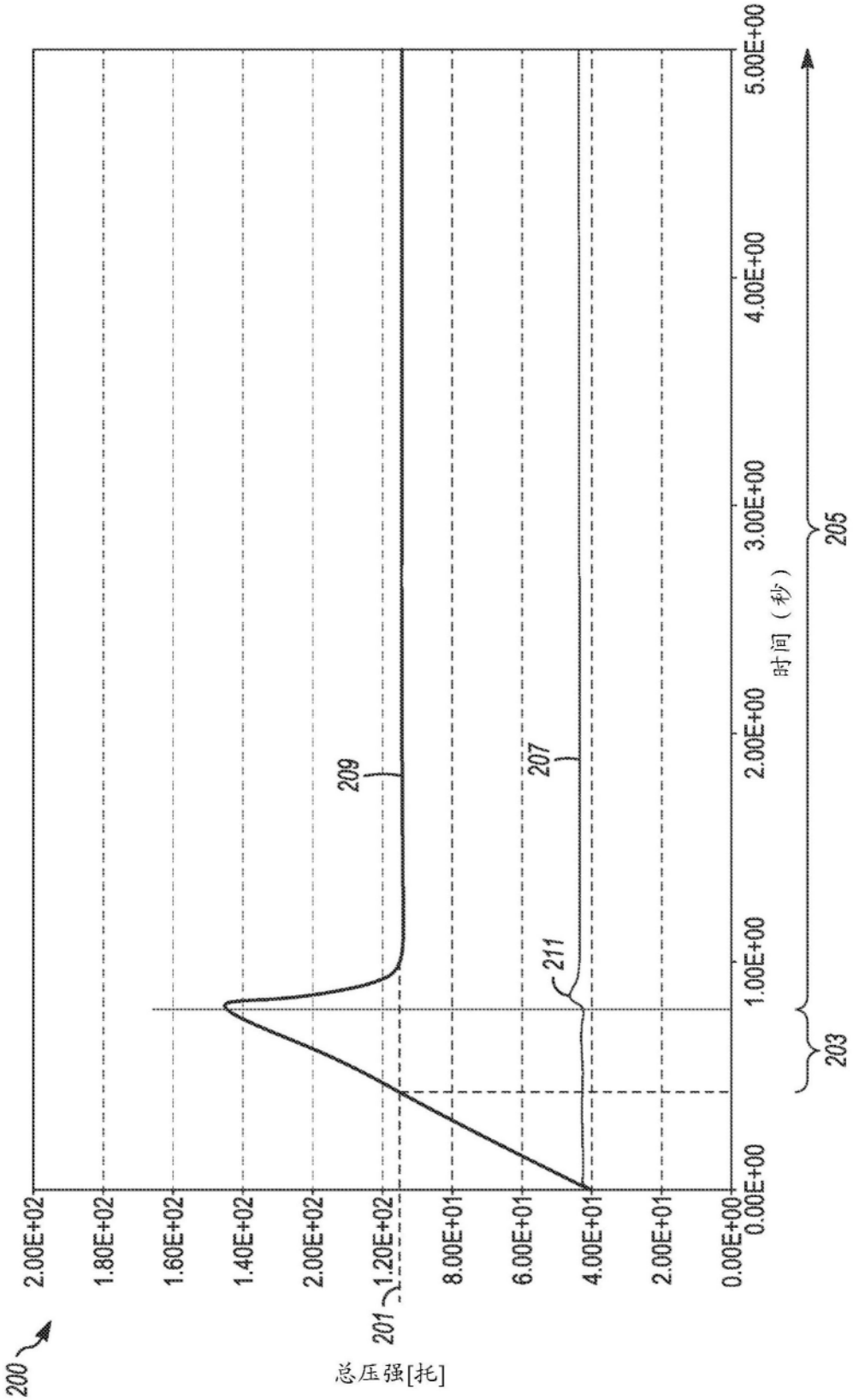

200
201
总压强[托]
2.00E+02
1.80E+02
1.60E+02
1.40E+02
2.00E+02
1.20E+02
8.00E+01
6.00E+01
4.00E+01
2.00E+01
0.00E+00
0.00E+00
1.00E+00
2.00E+00
3.00E+00
4.00E+00
5.00E+00
时间（秒）
203
205
207
209
211

图2(现有技术)

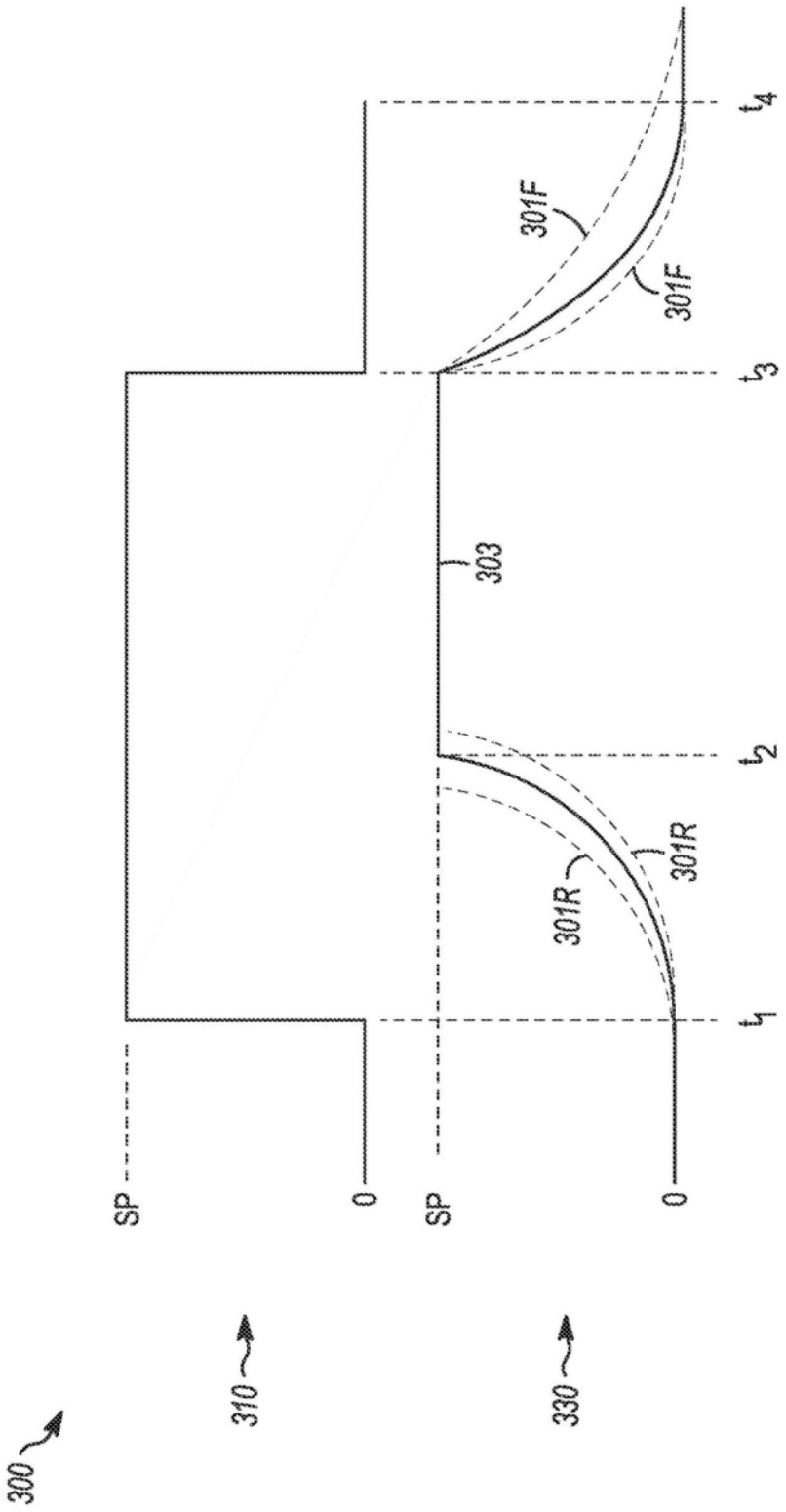


图3(现有技术)

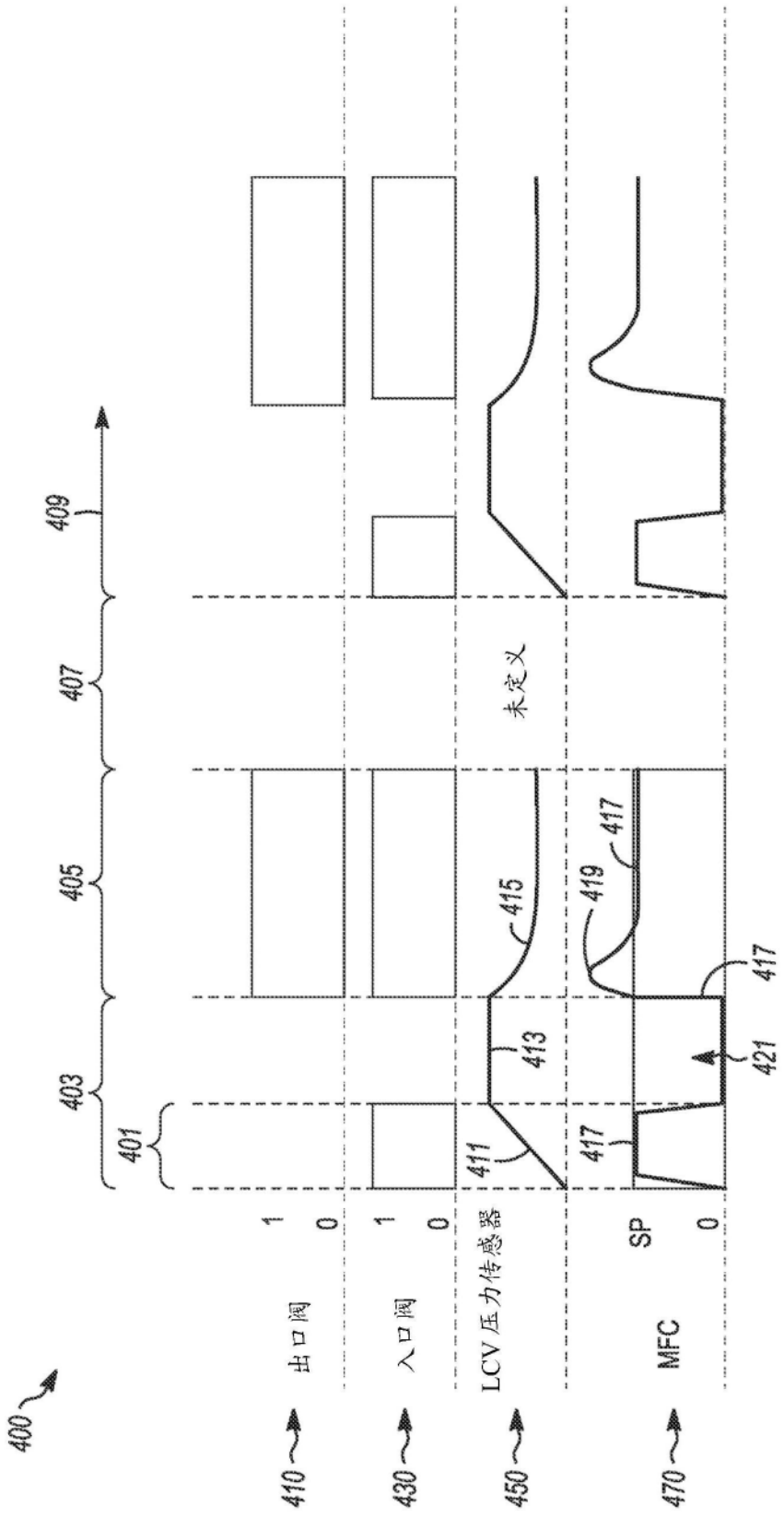

400
410
出口阀
1
0
430
入口阀
1
0
450
LCV压力传感器
未定义
470
MFC
SP
0
401
403
405
407
409
411
413
415
417
419
421

图4A

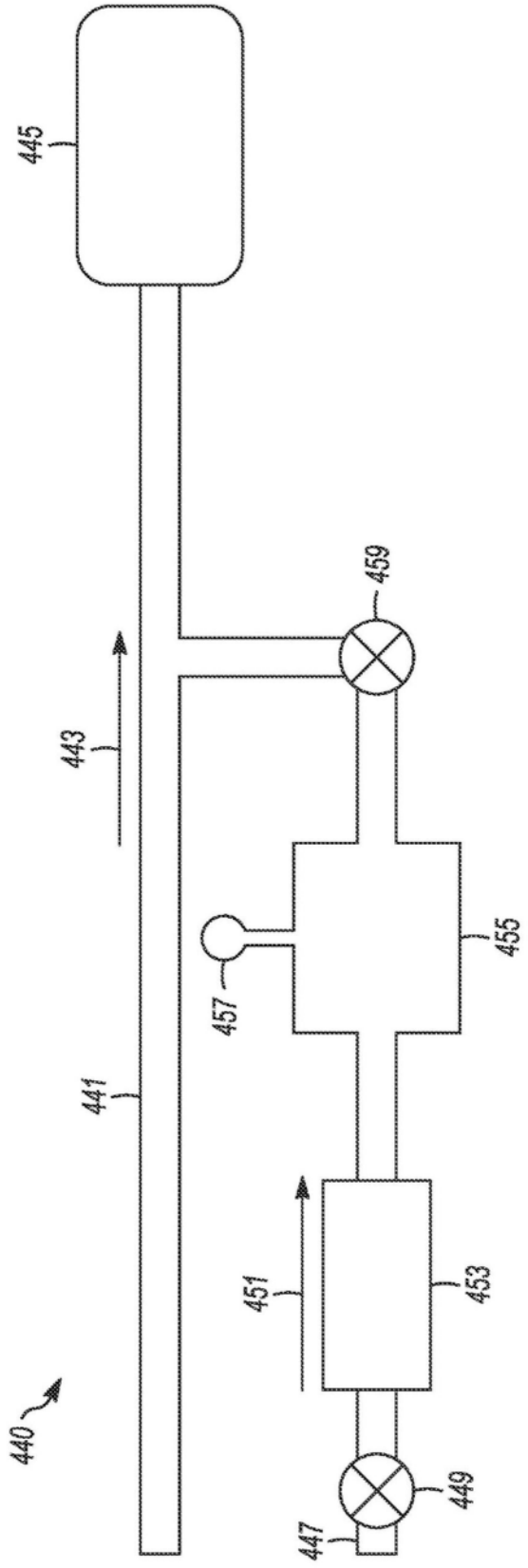


图4B

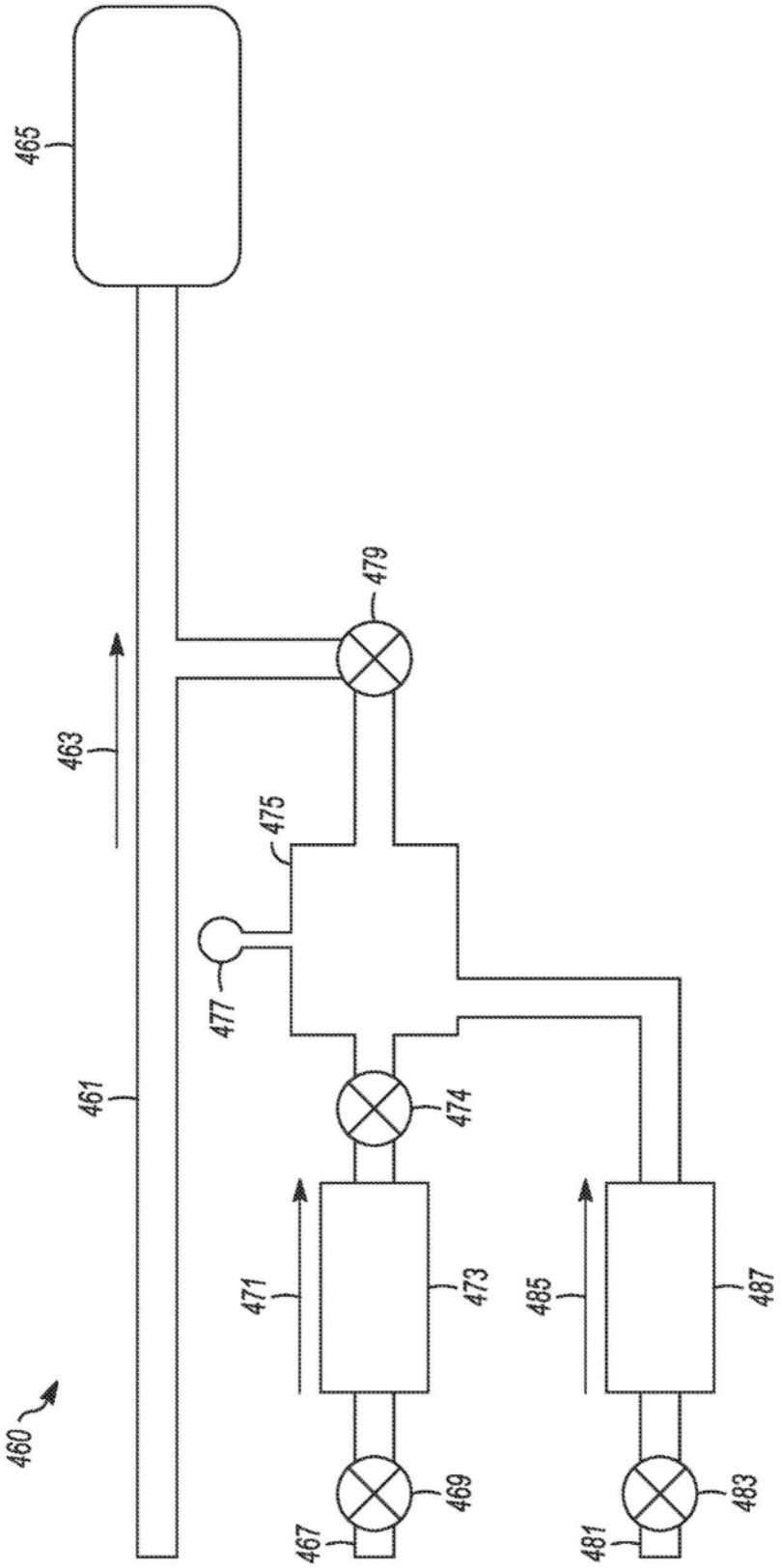


图4C

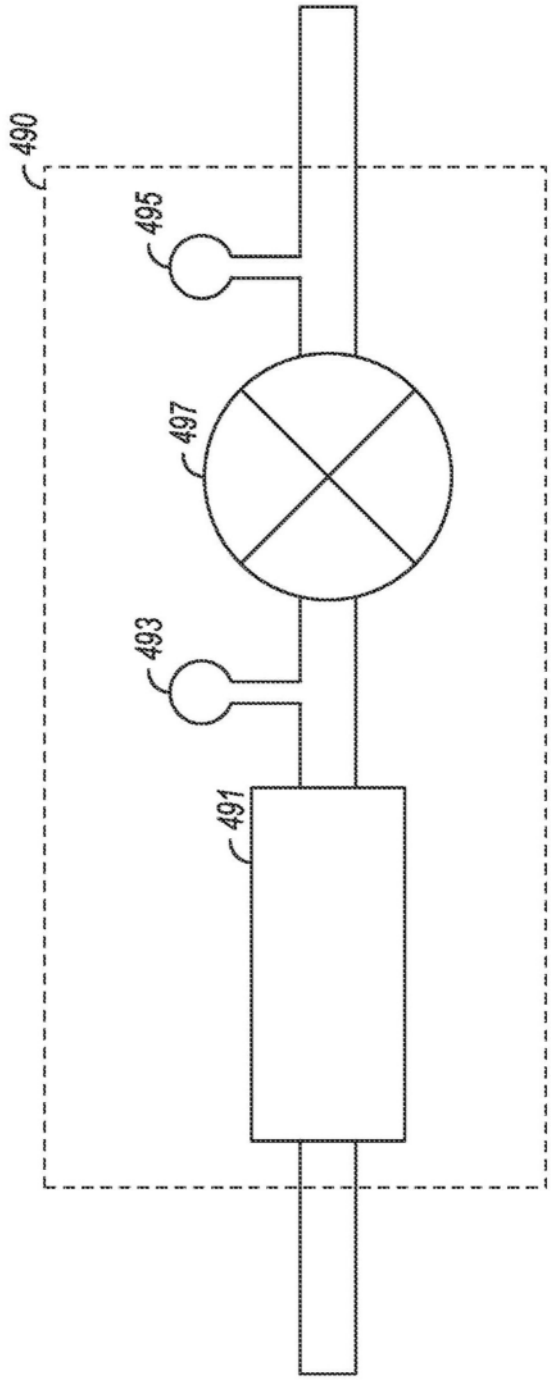


图4D

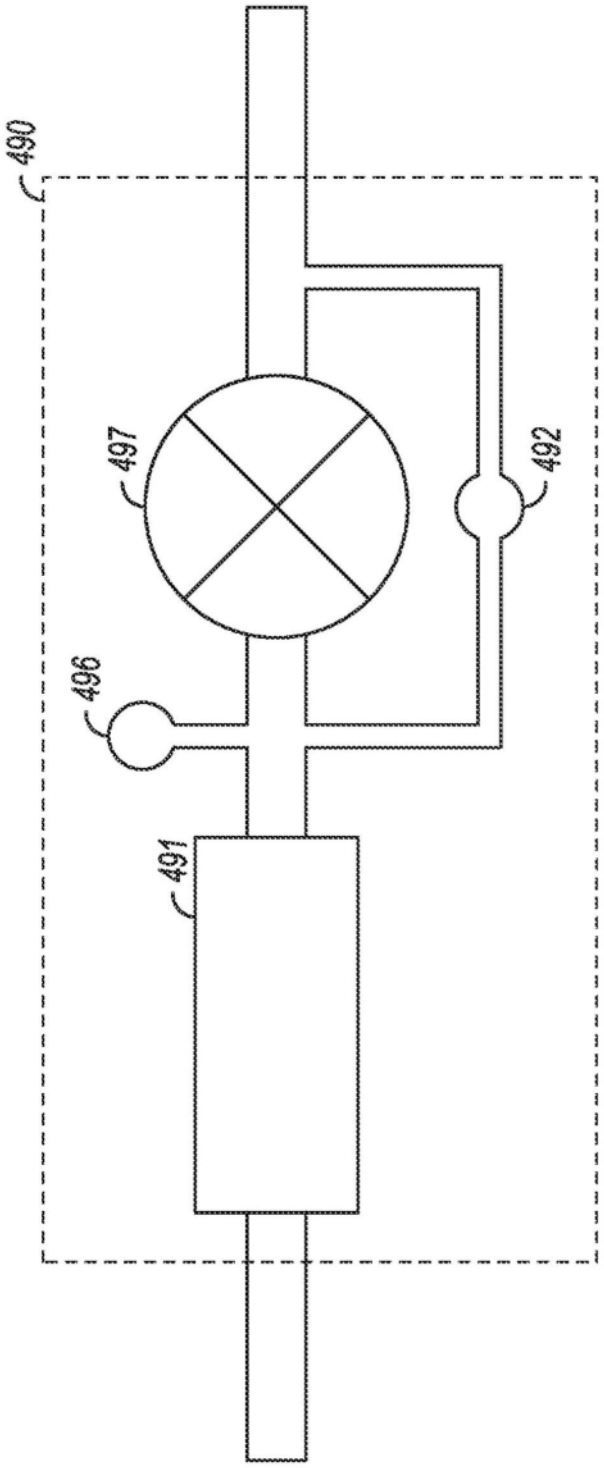


图4E

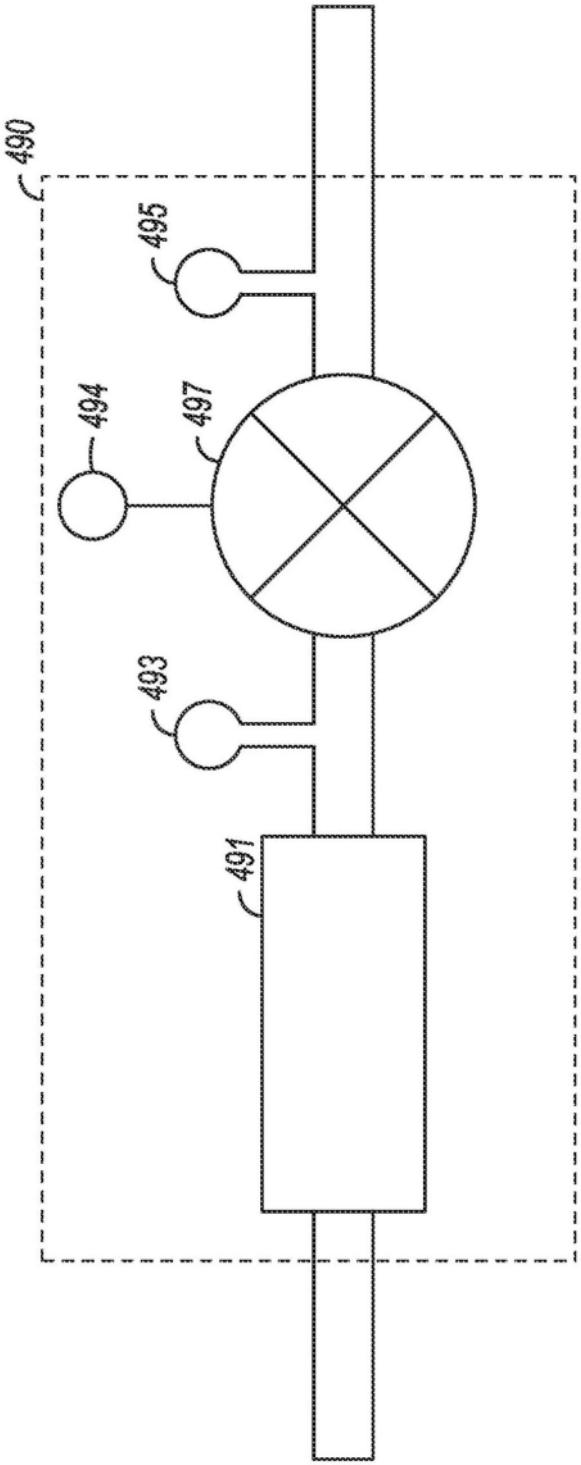


图4F

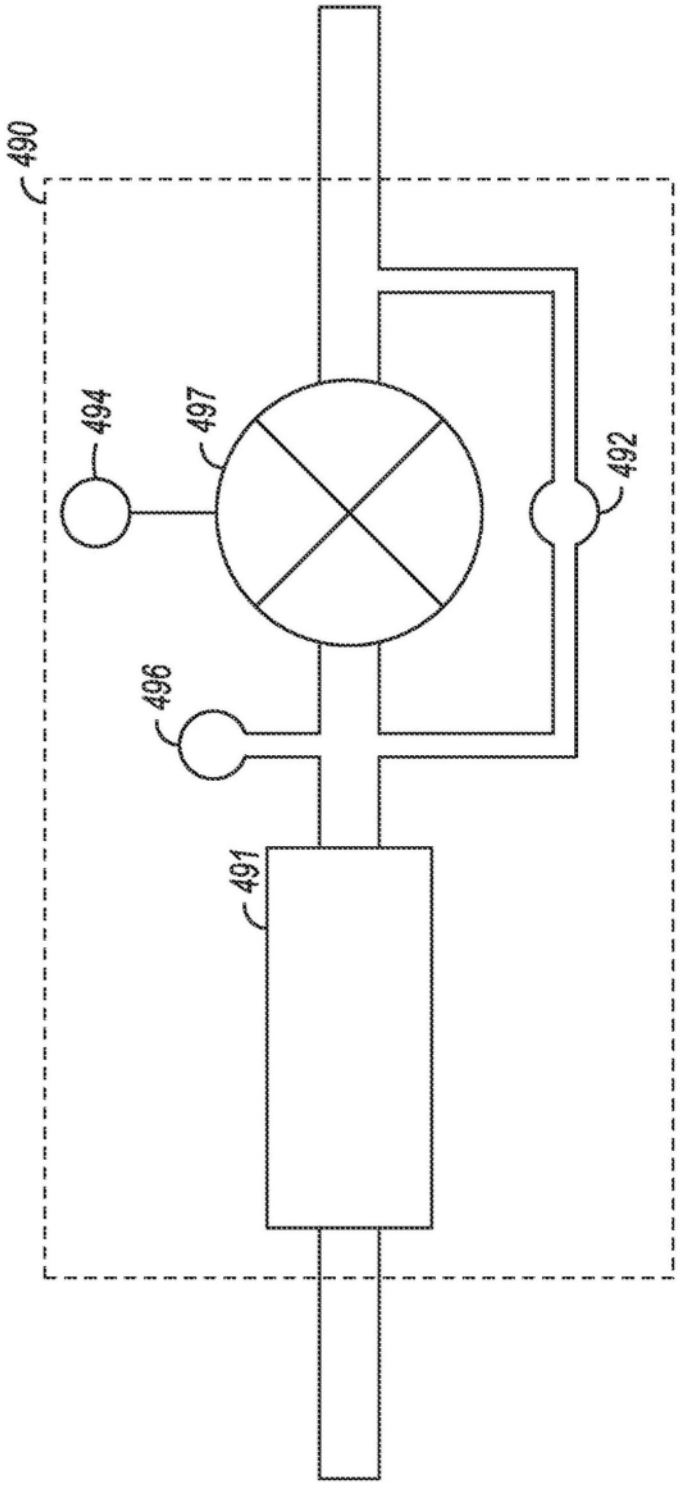


图4G

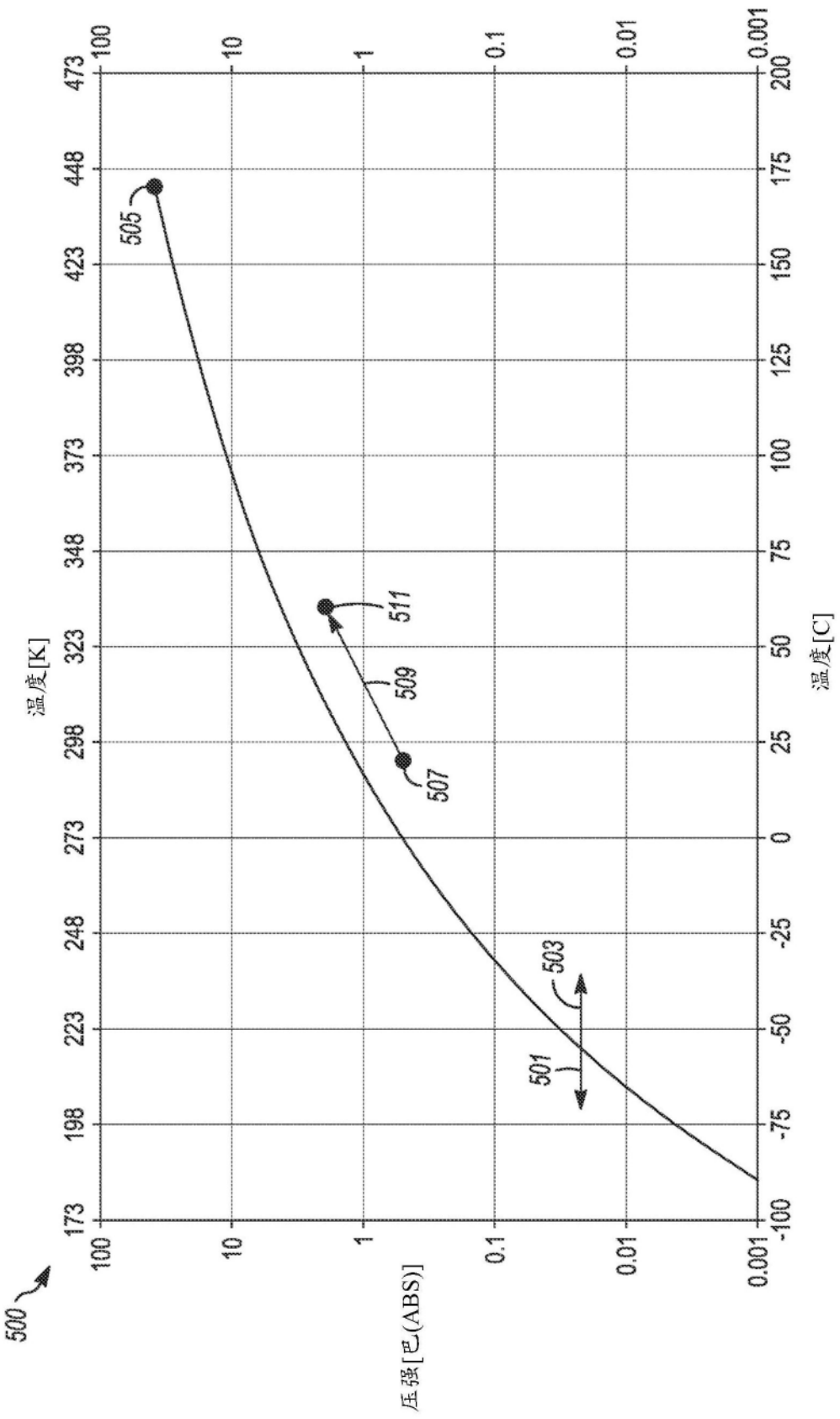

500
505
511
509
507
503
501
温度[K]
压强[巴(ABS)]
温度[C]
473
448
423
398
373
348
323
298
273
248
223
198
173
100
10
1
0.1
0.01
0.001
200
175
150
125
100
75
50
25
0
-25
-50
-75
-100

图5