

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7524068号
(P7524068)

(45)発行日 令和6年7月29日(2024.7.29)

(24)登録日 令和6年7月19日(2024.7.19)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 5 D	7/06 (2006.01)	G 0 5 D	7/06	Z
G 0 1 F	1/84 (2006.01)	G 0 1 F	1/84	
B 8 1 B	3/00 (2006.01)	B 8 1 B	3/00	
請求項の数 17 (全62頁)				
(21)出願番号	特願2020-554148(P2020-554148)	(73)特許権者	592010081	
(86)(22)出願日	平成31年4月2日(2019.4.2)		ラム リサーチ コーポレーション	
(65)公表番号	特表2021-520544(P2021-520544 A)		L A M R E S E A R C H C O R P O R A T I O N	
(43)公表日	令和3年8月19日(2021.8.19)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 9 4 5 3 8, フレモント, クッシング パークウェイ 4 6 5 0	
(86)国際出願番号	PCT/US2019/025389	(74)代理人	110000028	
(87)国際公開番号	WO2019/195292		弁理士法人明成国際特許事務所	
(87)国際公開日	令和1年10月10日(2019.10.10)	(72)発明者	シャリーフ・イクバル・エー.	
審査請求日	令和4年4月1日(2022.4.1)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 5 5 フレモント, ヘロン・プレイス, 4 0 5 5	
(31)優先権主張番号	62/652,019	(72)発明者	スミス・デニス	
(32)優先日	平成30年4月3日(2018.4.3)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5	
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		最終頁に続く	
(31)優先権主張番号	62/673,382			
(32)優先日	平成30年5月18日(2018.5.18)			
	最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 MEMS コリオリ・ガス流量制御器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

流体送出システムであって、前記流体送出システムは、
入口がN個のガス源にそれぞれ流体接続されるN個の第1の弁であって、Nは、0よりも大きな整数である、N個の第1の弁と、
N個の質量流量制御器と
を備え、
前記N個の質量流量制御器はそれぞれ、
前記N個の第1の弁の対応する1つの出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS) コリオリ流量センサであって、流体が中を流れる管を含むMEMS コリオリ流量センサと、
前記MEMS コリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、前記流体を供給する出口を有する第2の弁と、
前記MEMS コリオリ流量センサと通信し、前記MEMS コリオリ流量センサを流れる前記流体の密度及び質量流量の両方を、前記MEMS コリオリ流量センサから受信する第1信号であって前記管の発振周波数を含む第1信号と、前記MEMS コリオリ流量センサから受信する第2信号であって前記管の位相ずれの測定結果を含む第2信号と、にそれぞれ基づき決定するように構成された制御器と、
を備え、
前記密度及び質量流量の決定は、温度および圧力に依存しない、流体送出システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の流体送出システムであって、
前記流体送出システムは、
前記 N 個の質量流量制御器の前記第 2 の弁の前記出口とそれぞれ流体連通する多岐管を更に備え、前記処理室は、前記多岐管の出口と流体連通する、流体送出システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の流体送出システムであって、
前記 N 個の質量流量制御器の少なくとも 1 つは、
前記第 2 の弁の前記出口に流体接続される入口を含む高精度オリフィスと、
前記第 2 の弁の前記出口と前記高精度オリフィスの前記入口との間の圧力を感知する圧力センサと
を更に備える、流体送出システム。

10

【請求項 4】

請求項 3 に記載の流体送出システムであって、
前記 N 個の質量流量制御器の少なくとも 1 つの前記制御器は、前記 N 個の質量流量制御器の少なくとも 1 つの前記圧力センサが感知した圧力に基づき流量検証を実施するように構成される、流体送出システム。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の流体送出システムであって、
前記 N 個の質量流量制御器の前記少なくとも 1 つの前記制御器は、ルックアップテーブルを含み、前記ルックアップテーブルは、検証した質量流量を出力し、圧力ごとに指数化されている、流体送出システム。

20

【請求項 6】

請求項 1 に記載の流体送出システムであって、
M 個の前記 MEMS コリオリ流量センサは、単一集積回路上に配置され、M は、2 以上、N 以下の整数である、流体送出システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、
前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

30

【請求項 8】

請求項 1 に記載の流体送出システムであって、
前記管は、10 μm から 100 μm までの範囲の内径を有し、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、1000 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、100 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

40

【請求項 11】

請求項 7 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、制御回路を含み、前記制御回路は、
前記管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路と、
前記管の振動に応答して信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、
前記信号を受信するように構成した読出し回路と
を含む、流体送出システム。

50

【請求項 1 2】

流体送出システムであって、前記流体送出システムは、

入口がN個のガス源にそれぞれ流体接続されるN個の第1の弁であって、Nは、0よりも大きな整数である、N個の第1の弁と、

N個の質量流量制御器と

を備え、

前記N個の質量流量制御器はそれぞれ、

前記N個の第1の弁の対応する1つの出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサであって、流体が中を流れる管を含むMEMSコリオリ流量センサと、

前記MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、前記流体を供給する出口を有する第2の弁と、

前記MEMSコリオリ流量センサと通信し、前記MEMSコリオリ流量センサを流れる前記流体の密度及び質量流量の両方を、前記MEMSコリオリ流量センサから受信する第1信号であって前記管の共振周波数を含む第1信号と、前記MEMSコリオリ流量センサから受信する第2信号であって前記管の位相ずれの測定結果を含む第2信号と、にそれぞれ基づき決定するように構成された制御器と

を備え、

前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記MEMSコリオリ流量センサは、加速度計を更に含む、流体送出システム。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の流体送出システムであって、

前記加速度計は、前記MEMSコリオリ流量センサの振動を測定するように構成され、

前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記制御器は、前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記MEMSコリオリ流量センサの振動が所定の振動閾値よりも大きい場合、エラー通知を生成するように構成される、流体送出システム。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記制御器は、前記加速度計の出力に基づき、前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記MEMSコリオリ流量センサの状態を検出するように構成される、流体送出システム。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記制御器は、前記検出した状態に基づき、前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つに対する複数の較正の1つを選択するように構成される、流体送出システム。

【請求項 1 6】

基板処理システムであって、

請求項 1 に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記流体送出システムは、流体を前記処理室に送出し、前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

【請求項 1 7】

基板処理システムであって、

請求項 1 に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

10

20

30

40

50

前記流体送出システムは、流体を前記処理室に送出し、前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

【関連出願の相互参照】

本出願は、2018年5月18日出願の米国特許仮出願第62／673，382号、及び2018年4月3日出願の米国特許仮出願第62／652，019号の利益を主張する。上記で参照した出願の全開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本開示は、基板処理に関し、より詳細には、微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサを含む質量流量制御器を使用して、基板処理システム内のガス等の流体の流量を制御することに関する。

【背景技術】

【0003】

本明細書で提供する背景技術の説明は、本開示の背景を全般に提示することを目的とする。この背景技術の節において説明する範囲に対する、本発明で名前を挙げた発明者等の研究及び説明の態様は、他の場合には出願当時に従来技術としての資格がない可能性があるが、本開示に対する従来技術として明示的にも、暗示的にも認めるものではない。

【0004】

基板処理システムは、半導体ウエハ等の基板上の膜を堆積、エッチング、灰化、清浄化又はその他の方法で処理するために使用される。処理中、基板は、処理室内に配置し、1つ又は複数のガス混合物に露出することができる。いくつかの例では、プラズマを使用し、化学反応を生じさせることができる。

【0005】

質量流量制御器（MFC）は、基板処理室に送出されるガスの計量を制御するために使用される。化学蒸着（CVD）、原子層堆積（ALD）及び／又は原子層エッチング（ALE）等の方法のためのより最近のレシピは、比較的低いガス流量及び迅速なガス交換時間を必要とする。これらの用途に関し、熱又は圧力ベースのMFC等の現在のMFCを使用する際、問題に遭遇している。

【発明の概要】

【0006】

流体送出システムは、N個の第1の弁を含む。N個の第1の弁の入口は、N個のガス源にそれぞれ流体接続され、Nは、0よりも大きな整数である。N個の質量流量制御器は、N個の第1の弁の対応する1つの出口と流体連通する入口を有する微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサを含む。第2の弁は、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する。MEMSコリオリ流量センサと通信する制御器は、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定するように構成される。

【0007】

他の特徴では、多岐管は、N個の質量流量制御器の第2の弁の出口のそれぞれと流体連通する。処理室は、多岐管の出口と流体連通する。N個の質量流量制御器の少なくとも1つは、第2の弁の出口に流体接続される入口を含む高精度オリフィスと、第2の弁の出口と高精度オリフィスの入口との間の圧力を感知する圧力センサとを更に備える。

【0008】

他の特徴では、N個の質量流量制御器の少なくとも1つの制御器は、N個の質量流量制御器の少なくとも1つの圧力センサが感知した圧力に基づき流量検証を実施するように構成される。N個の質量流量制御器の少なくとも1つの制御器は、ルックアップテーブルを含み、ルックアップテーブルは、検証した質量流量を出力し、圧力ごとに指数化されている。

10

20

30

40

50

【0009】

他の特徴では、M個のMEMSコリオリ流量センサは、単一集積回路上に配置され、Mは、2以上、N以下の整数である。MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0010】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有し、MEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する。

10

【0011】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路を含む制御回路と、管の振動に応答して信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、信号を受信するように構成した読出し回路とを含む。

【0012】

他の特徴では、N個の質量流量制御器の少なくとも1つのMEMSコリオリ流量センサは、加速度計を更に含む。加速度計は、MEMSコリオリ流量センサの振動を測定するように構成される。N個の質量流量制御器の少なくとも1つの制御器は、N個の質量流量制御器の少なくとも1つのMEMSコリオリ流量センサの振動が所定の振動閾値よりも大きい場合、エラー通知を生成するように構成される。

20

【0013】

他の特徴では、N個の質量流量制御器の少なくとも1つの制御器は、加速度計の出力に基づき、N個の質量流量制御器の少なくとも1つのMEMSコリオリ流量センサの状態を検出するように構成される。N個の質量流量制御器の少なくとも1つの制御器は、検出した状態に基づき、N個の質量流量制御器の少なくとも1つに対する複数の較正の1つを選択するように構成される。

【0014】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。流体送出システムは、処理室に流体を送出する。基板処理システムは、エッチングを実施する。

30

【0015】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。流体送出システムは、流体を処理室に送出し、基板処理システムは、堆積を実施する。

【0016】

流体送出システムは、ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁を含む。質量流量制御器は、第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、MEMSコリオリ流量センサを加熱する加熱器と、MEMSコリオリ流量センサの温度を感知する温度センサと、MEMSコリオリ流量センサと通信する制御器とを備える。制御器は、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、温度が所定の温度閾値よりも低い場合に加熱器にMEMSコリオリ流量センサを加熱させるように構成される。

40

【0017】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0018】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流

50

量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する。

【0019】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路を含む制御回路と、管の振動にตอบสนองして信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、信号を受信するように構成した読出し回路とを含む。

【0020】

他の特徴では、質量流量制御器のMEMSコリオリ流量センサは、加速度計を更に含む。加速度計は、MEMSコリオリ流量センサの振動を測定するように構成され、質量流量制御器の制御器は、質量流量制御器のMEMSコリオリ流量センサの振動が所定の振動閾値よりも大きい場合、エラー通知を生成するように構成される。

10

【0021】

他の特徴では、質量流量制御器の制御器は、加速度計の出力に基づき、質量流量制御器のMEMSコリオリ流量センサの状態を検出するように構成される。質量流量制御器の制御器は、検出した状態に基づき、質量流量制御器に対する複数の較正の1つを選択するように構成される。

【0022】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。流体送出システムは、処理室に流体を送出する。基板処理システムは、エッチングを実施する。基板処理システムは、堆積を実施する。

20

【0023】

流体送出システムは、ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁を含む。質量流量制御器は、第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、MEMSコリオリ流量センサの少なくとも1つのパラメータを検出するセンサと、センサ及びMEMSコリオリ流量センサと通信する制御器とを含む。制御器は、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、少なくとも1つのパラメータに基づき、MEMSコリオリ流量センサの複数の較正の1つを選択し、複数の較正の選択した1つを使用して、MEMSコリオリ流量センサを動作させるように構成される。

30

【0024】

他の特徴では、センサは、加速度計及び振動センサからなる群から選択される。センサは、MEMSコリオリ流量センサの第2の弁を開放する前にMEMSコリオリ流量センサの第1のパラメータを検出するように構成される。センサは、MEMSコリオリ流量センサの第2の弁を開放した後、MEMSコリオリ流量センサの第2のパラメータを検出するように構成される。制御器は、第1のパラメータ及び第2のパラメータに基づき、質量流量制御器の動作を診断するように構成される。

【0025】

他の特徴では、制御器は、MEMSコリオリ流量センサの第1の弁が閉鎖位置に命令されるとMEMSコリオリ流量センサの複数のパラメータを複数回それぞれ検出し、複数のパラメータに基づきMEMSコリオリ流量センサの弁の動作を診断するように構成される。

40

【0026】

他の特徴では、制御器は、パラメータの間の複数の差を複数回生成するように構成される。制御器は、複数の差に基づき、MEMSコリオリ流量センサの弁の動作を診断するように構成される。MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0027】

他の特徴では、管は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ から $100\text{ }\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは

50

、10 sccm未満の質量流量を測定する。

【0028】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路を含む制御回路と、管の振動にตอบสนองして信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、信号を受信するように構成した読出し回路とを含む。

【0029】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。

【0030】

他の特徴では、加速度計は、加速度及び振動の少なくとも1つを測定する。

10

【0031】

流体送出システムは、ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁を含む。質量流量制御器は、管を含み、第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、MEMSコリオリ流量センサと通信する制御器とを含む。制御器は、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、MEMSコリオリ流量センサの管を振動させ、管の共振周波数を検出するように構成される。

【0032】

他の特徴では、管は、半導体材料製である。管は、10 µmから100 µmまでの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、1000 sccm未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、100 sccm未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、10 sccm未満の質量流量を測定する。

20

【0033】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路を含む制御回路と、管の移動にตอบสนองして信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、信号を受信するように構成した読出し回路とを含む。

【0034】

他の特徴では、制御器は、共振周波数を所定の閾値と比較するように構成される。制御器は、比較に基づきMEMSコリオリ流量センサの動作を選択的に変更するように構成される。制御器は、比較に基づきMEMSコリオリ流量センサを選択的に遮断するように構成される。MEMSコリオリ流量センサは、加速度計を含む。制御器は、加速度に基づき共振周波数を決定するように構成される。

30

【0035】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。流体送出システムは、処理室に流体を送出する。基板処理システムは、エッチングを実施する。基板処理システムは、堆積を実施する。

【0036】

流体送出システムは、ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁を含む。質量流量制御器は、微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサを含み、微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサは、第1の弁の出口と流体連通する入口を有し、半導体材料製であり、駆動信号にตอบสนองして共振する管を含む。第2の弁は、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する。制御器は、MEMSコリオリ流量センサと通信し、管を共振させ、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、管を駆動させる駆動信号を複数回監視し、複数回のうち1回の駆動信号のパラメータと、複数回のうち別の1回の駆動信号のパラメータとを比較するように構成される。

40

【0037】

他の特徴では、制御器は、駆動信号に基づき管の剛性を推定するように構成される。制御器は、推定剛性に基づきMEMSコリオリ流量センサの推定寿命を生成するように構成

50

される。制御器は、MEMSコリオリ流量センサの推定寿命に基づき通知を選択的に生成するように構成される。

【0038】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する。

【0039】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。流体送出システムは、処理室に流体を送出する。基板処理システムは、エッチングを実施する。基板処理システムは、堆積を実施する。

【0040】

流体送出システムは、ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁を含む。質量流量制御器は、第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、MEMSコリオリ流量センサの入口で上流圧力を監視する第1の圧力センサと、MEMSコリオリ流量センサの入口と流体連通する入口、及び第2の弁の出口と流体連通する出口を有するバイパス弁とを含む。MEMSコリオリ流量センサと通信する制御器は、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、上流圧力を監視し、上流圧力に基づきバイパス弁を選択的に制御するように構成される。

【0041】

他の特徴では、第2の弁は、オン／オフ弁と、オン／オフ弁の出口と流体連通する制限オリフィスとを含む。第2の弁は、可変弁を含む。制御器は、上流圧力を所定の圧力閾値と比較し、圧力が前記所定の圧力閾値よりも大きい場合にバイパス弁を開放させるように構成される。

【0042】

他の特徴では、制御器は、MEMSコリオリ流量センサを流れる複数のガスのうち選択した1つのガスに基づき、それぞれ複数の所定の圧力閾値の1つを選択し、上流圧力が複数の所定の圧力のうち選択した圧力よりも大きい場合にバイパス弁を開放させるように構成される。

【0043】

他の特徴では、第2の圧力センサは、第2の弁の出口で下流圧力を感知し、制御器は、MEMSコリオリ流量センサが決定した質量流量及び下流圧力に基づき合計質量流量を決定するように構成される。

【0044】

他の特徴では、第2の弁は、可変弁を含み、第2の弁の出口で下流圧力を感知する第2の圧力センサを更に備える。制御器は、MEMSコリオリ流量センサが決定した質量流量、第2の弁の位置及び下流圧力に基づき、合計質量流量を決定するように構成される。

【0045】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中に管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0046】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する。

【0047】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。流体送出システムは、処理室に流体を送出する。基板

10

20

30

40

50

処理システムは、エッチングを実施する。基板処理システムは、堆積を実施する。

【0048】

基板処理システムは、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体と、ガス混合物を処理室に送出する第1のガス送出システムとを含む。第2のガス送出システムは、ガス源に流体接続される第1の弁を含む。質量流量制御器は、第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサを含む。第2の弁は、MEMSコリオリ流量センサと流体連通する入口と、流体を処理室に供給する出口とを含む。MEMSコリオリ流量センサ及び第2の弁の出口は、処理室の所定の距離内に位置し、所定の距離は、10インチ以下である。

【0049】

他の特徴では、第1のガス送出システムは、N個の第1の弁を含む。N個の第1の弁の入口は、N個のガス源にそれぞれ流体接続され、Nは、0よりも大きな整数である。N個の質量流量制御器は、N個の弁の対応する1つの出口と流体連通する入口を有する微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室と連通する出口を有する第2の弁と、制御器とを含み、制御器は、MEMS流量センサと通信し、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定するように構成される。

【0050】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中に管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0051】

他の特徴では、管は、10 μ mから100 μ mまでの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、1000sccm未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、100sccm未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、10sccm未満の質量流量を測定する。

【0052】

他の特徴では、基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中に管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0053】

他の特徴では、管は、10 μ mから100 μ mまでの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、1000sccm未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、100sccm未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、10sccm未満の質量流量を測定する。

【0054】

流体送出システムは、ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁と、質量流量制御器とを含む。質量流量制御器は、入口、出口、及び入口と出口との間の共振管を含む微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内の基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、共振管の入口で第1の圧力を感知する第1の圧力センサと、共振管の出口で第2の圧力を感知する第2の圧力センサと、共振管の入口で流体の第1の温度を感知する第1の温度センサと、共振管の出口で流体の第2の温度を感知する第2の温度センサと、制御器とを含む。制御器は、MEMSコリオリ流量センサと通信し、MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、質量流量、第1の温度、第2の温度、第1の圧力及び第2の圧力に基づき流体の圧縮率を計算するように構成される。

【0055】

他の特徴では、制御器は、第2の温度と第1の温度との間の温度差、及び第2の圧力と第1の圧力との間の圧力差を計算するように構成される。

【0056】

他の特徴では、流体の圧縮率は、質量流量、温度差及び圧力差に基づく。他の特徴では、制御器は、上流流量制御デバイスに圧縮率を出力する。

【0057】

他の特徴では、上流流量制御デバイスに対して、圧縮率に基づき、上流流量制御デバイスの較正、上流流量制御デバイスの診断、及び上流流量制御デバイスの動作の調節の少なくとも1つが実施される。

【0058】

他の特徴では、制御器は、下流流量制御デバイスに圧縮率を出力する。下流流量制御デバイスに対して、圧縮率に基づき、下流流量制御デバイスの較正、下流流量制御デバイスの診断、及び下流流量制御デバイスの動作の調節の少なくとも1つが実施される。

10

【0059】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中に管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0060】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000sc cm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100sc cm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10sc cm 未満の質量流量を測定する。

【0061】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。

20

【0062】

流体送出システムは、 N 個の第1の弁を含む。 N 個の第1の弁の入口は、 N 個のガス源にそれぞれ流体接続され、 N は、0よりも大きな整数である。質量流量制御器は、 N 個の第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内の基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、制御器とを含む。制御器は、MEMSコリオリ流量センサと通信し、 N 個の第1の弁の1つを選択し、 N 個の第1の弁の選択した1つを開放し、 N 個の弁の選択した1つからMEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定するように構成される。

30

【0063】

他の特徴では、第3の弁は、 N 個の第1の弁の出口に接続される。 N 個の第1の弁の閉鎖後及び N 個の第1の弁の選択した1つの開放前、制御器は、第3の弁を開放し、 N 個の第1の弁の出口とMEMSコリオリ流量センサの入口との間の分量を除去するように構成される。質量流量制御器は、第2の弁の出口に流体接続される高精度オリフィスと、第2の弁の出口と質量流量制御器の高精度オリフィスの入口との間の圧力を感知する圧力センサとを更に備える。

【0064】

他の特徴では、制御器は、質量流量制御器の圧力センサが感知した圧力に基づき流量検証を実施するように構成される。 N 個の第1の弁の閉鎖後、及び N 個の第1の弁の選択した1つの開放前、制御器は、質量流量制御器の圧力センサが感知した圧力に基づき弁の漏出を検出するように構成される。

40

【0065】

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000sc cm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100sc cm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10sc cm 未満の質量流量を測定する。

【0066】

50

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。

【0067】

流体送出システムは、弁ブロックを含み、弁ブロックは、弁ブロックの第1の入口を第1の弁の入口に流体接続する第1の通路と、弁ブロックの第1の出口に第1の弁の出口を流体接続する多岐管と、弁ブロックの第2の出口に第2の弁の出口を流体接続する第2の通路と、弁ブロックの第2の入口を第2の弁の入口に流体接続する第3の通路とを含む。微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサは、入口及び出口を有する共振管を含む。介挿体は、半導体材料製であり、弁ブロックとMEMSコリオリ流量センサとの間に配置される。

10

【0068】

他の特徴では、介挿体は、弁ブロックの第1の出口をMEMSコリオリ流量センサの入口に流体接続する第1の通路と、MEMSコリオリ流量センサの出口を弁ブロックの第2の入口に流体接続する第2の通路とを含む。

【0069】

他の特徴では、弁ブロックに隣接して位置する介挿体の第1の通路の第1の領域は、MEMSコリオリ流量センサに隣接して位置する第1の通路の第2の領域よりも大きく、弁ブロックに隣接して位置する介挿体の第2の通路の第3の領域は、MEMSコリオリ流量センサに隣接して位置する第1の通路の第4の領域よりも大きい。

【0070】

20

他の特徴では、MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、MEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。MEMSコリオリ流量センサは、 1000scm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 100scm 未満の質量流量を測定する。MEMSコリオリ流量センサは、 10scm 未満の質量流量を測定する。

【0071】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。

【0072】

30

流体送出システムは、 T 及び N が2以上の整数である、 T 個の群の N 個の入口通路を含む弁ブロックと、 T 個の群の N 個の入口通路と流体連通する T 個の群の N 個の入口弁と、 T 個の群の N 個の入口弁の出口と流体連通する T 個の群の N 個の出口通路であって、 T 個の節点でそれぞれ接続する T 個の群の N 個の出口通路と、 T 個の節点に接続される T 個の入口通路と、 T 個の出口弁と、 T 個の出口弁の入口に流体接続される T 個の出口通路と、入口及び出口をそれぞれ含む T 個の微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサと、半導体材料製であり、弁ブロックと T 個のMEMSコリオリ流量センサとの間に配置される介挿体とを含む。

【0073】

他の特徴では、介挿体は、 T 個の入口通路を含み、 T 個の入口通路は、弁ブロックに隣接して位置する第1の断面領域、及び T 個のMEMSコリオリ流量センサに隣接して位置する第2の断面領域をそれぞれ有する。第1の断面領域は、第2の断面領域よりも大きい。介挿体は、 T 個の出口通路を更に備え、 T 個の出口通路は、弁ブロックに隣接して位置する第1の断面領域、及び T 個のMEMSコリオリ流量センサに隣接して位置する第2の断面領域をそれぞれ有する。

40

【0074】

他の特徴では、 T 個のMEMSコリオリ流量センサの2つ以上は、単一集積回路上に実装される。 T 個の入口通路及び T 個の出口通路は、単一平面内に延在する。 T 個の入口通路及び T 個の出口通路は、2つ以上の平面内に延在する。

【0075】

50

他の特徴では、 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0076】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する。

【0077】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。

10

【0078】

流体送出システムは、弁ブロックであって、弁ブロックは、 T 及び N が2以上の整数である、 T 個の群の N 個の入口通路、 T 個の群の N 個の入口通路と流体連通する T 個の群の N 個の出口通路、 T 個の群の N 個の出口通路と流体連通する T 個の群の N 個の出口通路を含む、弁ブロックと、入口及び出口をそれぞれ含む T 個の微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、半導体材料製であり、弁ブロックと T 個のMEMSコリオリ流量センサとの間に配置される介挿体とを含む。介挿体は、 T 個の第1の節点及び T 個の第1の通路に接続される T 個の群の N 個の入口通路であって、 T 個の第1の通路は、 T 個の第1の節点を T 個のMEMSコリオリ流量センサの入口にそれぞれ流体接続する、 T 個の群の N 個の入口通路と、 T 個の第2の節点及び T 個の第2の通路に接続される T 個の群の N 個の出口通路であって、 T 個の第2の通路は、 T 個の第2の節点を T 個のMEMSコリオリ流量センサの出口にそれぞれ流体接続する、 T 個の群の N 個の出口通路とを含む。

20

【0079】

他の特徴では、 T 個の群の N 個の入口通路及び T 個の群の N 個の出口通路は、弁ブロックに隣接して位置する第1の断面領域を有し、 T 個の第1の通路及び T 個の第2の通路は、 T 個のMEMSコリオリ流量センサに隣接して位置する第2の断面領域をそれぞれ有し、第1の断面領域は、第2の断面領域よりも大きい。

【0080】

他の特徴では、 T 個のMEMSコリオリ流量センサの2つ以上は、単一集積回路上に実装される。 T 個の群の入口通路及び T 個の群の出口通路は、単一平面内に延在する。 T 個の入口通路及び T 個の出口通路は、2つ以上の平面内に配置される。

30

【0081】

他の特徴では、 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、測定中、管を共振周波数で振動させ、管は、半導体材料製である。

【0082】

他の特徴では、管は、 $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有する。 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する。 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する。 T 個のMEMSコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する。

40

【0083】

基板処理システムは、流体送出システムと、処理室と、基板を支持するように処理室内に配置される基板支持体とを含む。基板処理システムは、エッチング又は堆積を実施する。

【0084】

本開示の適用範囲の更なる領域は、詳細な説明、特許請求の範囲及び図面から明らかになるであろう。詳細な説明及び特定の例は、ただ例示することを意図し、本開示の範囲を制限することを意図しない。

【0085】

本開示は、詳細な説明及び添付の図面からより完全に理解されるであろう。

50

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】図1は、本開示による微小電気機械（MEMS）ベースのコリオリ流量センサを伴う質量流量制御器（MFC）を含む基板処理システムの機能ブロック図である。

【0087】

【図2A】図2Aは、本開示によるMEMSコリオリ流量センサを伴うMFCを含むガス送出システムの機能ブロック図である。

【0088】

【図2B】図2Bは、本開示による弁ブロックに取り付けられたMEMSコリオリ流量センサの一例を示す側断面図である。

【0089】

【図2C】図2Cは、本開示によるMEMSコリオリ流量センサを伴うMFCの一例の機能ブロック図である。

【0090】

【図3】図3は、本開示によるMEMSコリオリ流量センサ及び絶対流量検証器を伴うMFCを含むガス送出システムの機能ブロック図である。

【0091】

【図4】図4は、本開示による、図3におけるシステムを使用して絶対流量検証（absolute flow verification、AFV）を実施する方法のフローチャートである。

【0092】

【図5】図5は、本開示によるMEMSコリオリ流量センサを伴う多重MFCを含むガス送出システムの機能ブロック図である。

【0093】

【図6】図6は、本開示によるMEMSコリオリ流量センサを伴う多重MFCを含むガス送出システムの機能ブロック図である。

【0094】

【図7】図7は、本開示による多重MFC及び介挿体ブロックの一例の機能ブロック図である。

【0095】

【図8A】図8Aは、本開示による多重MFC及び介挿体ブロックの別の例の機能ブロック図である。

【図8B】図8Bは、本開示による多重MFC及び介挿体ブロックの別の例の機能ブロック図である。

【図8C】図8Cは、本開示による多重MFC及び介挿体ブロックの別の例の機能ブロック図である。

【0096】

【図9A】図9Aは、本開示によるMFC及び介挿体ブロックの別の例の機能ブロック図である。

【図9B】図9Bは、本開示によるMFC及び介挿体ブロックの別の例の機能ブロック図である。

【図9C】図9Cは、本開示によるMFC及び介挿体ブロックの別の例の機能ブロック図である。

【0097】

【図10】図10は、本開示による、ガスを送出するように処理室に直接隣接して配置した1つ又は複数の弁を含む基板処理システムの一例の弁ブロック図である。

【0098】

【図11A】図11Aは、MFCの向き若しくは状態、検出されたMEMSコリオリ流量センサの振動又は他のパラメータに基づきMFCの動作を調節する加速制御回路を含むMFC制御回路の一例の機能ブロック図である。

【0099】

【図11B】図11Bは、図11Aの加速制御回路を動作させる方法の例のフローチャートである。

【図11C】図11Cは、図11Aの加速制御回路を動作させる方法の例のフローチャートである。

【0100】

【図12A】図12Aは、MEMSコリオリ流量センサの温度に基づき動作を調節する加熱器制御回路を含むMFC制御回路の一例の機能ブロック図である。

【0101】

【図12B】図12Bは、MEMSコリオリ流量センサを加熱する方法の一例のフローチャートである。

10

【0102】

【図13】図13は、本開示による、感知されたMEMSコリオリ流量センサの振動に基づき、ガス等の流体を供給する弁が開放されているかどうかを検出する方法の一例のフローチャートである。

【0103】

【図14】図14は、本開示による、感知されたMEMSコリオリ流量センサの振動に基づき、流体を供給する弁が閉鎖されているかどうかを検出する方法の一例のフローチャートである。

【0104】

20

【図15】図15は、本開示によるMEMSコリオリ流量センサ及びRF遮蔽体を含むMFCの一例の機能ブロック図である。

【0105】

【図16A】図16Aは、本開示によるMEMSコリオリ流量センサ及び共振周波数監視モジュールを含むMFCの一例の機能ブロック図である。

【0106】

【図16B】図16Bは、本開示による、管の共振周波数に基づきMEMSコリオリ流量センサを含むMFCの性能を監視する方法の一例のフローチャートである。

【0107】

【図17】図17は、本開示による、摩耗及び／又は他の動作変化を検出するためにMEMSコリオリ流量センサを含むMFCの管を共振させる駆動信号を監視する方法の一例のフローチャートである。

30

【0108】

【図18A】図18Aは、本開示による、凝縮を防止するために上流圧力を監視するMEMSコリオリ流量センサを含むMFCの例の機能ブロック図である。

【図18B】図18Bは、本開示による、凝縮を防止するために上流圧力を監視するMEMSコリオリ流量センサを含むMFCの例の機能ブロック図である。

【0109】

【図18C】図18Cは、本開示による、凝縮を防止するためにMEMSコリオリ流量センサを含むMFCの上流圧力を監視する方法の一例のフローチャートである。

40

【0110】

【図19】図19は、本開示による、液体を感知し、液体を気化器に送出するMEMSコリオリ流量センサを含むMFCの一例の機能ブロック図である。

【0111】

【図20A】図20Aは、本開示によるMEMSコリオリ流量センサ及び圧縮率計算モジュールを含むMFCの一例の機能ブロック図である。

【0112】

【図20B】図20Bは、本開示による、計算した圧縮率を上流及び／又は下流流量制御デバイスに出力する図20Aのシステムの一例の機能ブロック図である。

【0113】

50

【図 20C】図 20C は、本開示による、計算した圧縮率を上流及び／又は下流温度ベースの MFC に出力する図 20A のシステムの一例の機能ブロック図である。

【0114】

【図 20D】図 20D は、本開示による、計算した圧縮率を上流及び／又は下流圧縮ベースの MFC に出力する図 20A のシステムの一例の機能ブロック図である。

【0115】

【図 21A】図 21A は、本開示による、上流若しくは下流流量制御デバイスの動作を検証するため、圧縮率を使用する方法の例のフローチャートである。

【図 21B】図 21B は、本開示による、上流若しくは下流温度ベースの MFC を調節するため、圧縮率を使用する方法の例のフローチャートである。

10

【図 21C】図 21C は、本開示による、上流若しくは下流圧力ベースの MFC のそれぞれを調節するため、圧縮率を使用する方法の例のフローチャートである。

【0116】

【図 22】図 22 は、本開示による、MEMS コリオリ流量センサ、及び弁の間のガス流路内の残留ガスを排除するシステムを含む多重 MFC の一例の機能ブロック図である。

【0117】

【図 23】図 23 は、本開示による、弁の間の残留ガスを排除する図 22 のシステムを動作させる方法の一例のフローチャートである。

【0118】

【図 24】図 24 は、本開示による、弁の漏出又は浮動を検出するために AFV を使用する方法の一例のフローチャートである。

20

【発明を実施するための形態】

【0119】

図面では、同様及び／又は同一の要素を識別するために参照番号を再使用することがある。

【0120】

本開示による基板処理システム及び方法は、微小電気機械 (MEMS) ベースのコリオリ流量センサを含む質量流量制御器 (MFC) に関し、半導体基板用基板処理室に送出される 1 つ又は複数のガス流の質量流量及び／又は密度等、流量パラメータを測定するものである。上記の説明は、ガスの質量流量の測定を説明するが、本開示は、液体又は液体とガスとの混合物等、他の流体の質量流量制御に関する。更に、本開示は、半導体処理環境内での質量流量制御を説明するが、上記の開示は、低流量を測定する他の環境内での質量流量の測定に適用される。

30

【0121】

いくつかの例では、ガス箱は、複数のガス又はガス混合物を供給し、ガス箱の全体費用を低減するように多重化される MFC を含む (それぞれの MFC は、MEMS コリオリ流量センサを含む)。より詳細には、P 種の異なるガス又はガス混合物のための P 個の入口管 (P は 2 以上の整数である) は、T 個の同様又は適合性のあるガス種の群内に配置される (P 及び T は 2 以上の整数である)。ガス又はガス混合物の各群は、MEMS コリオリ流量センサを含む単一 MFC によって制御される。

40

【0122】

いくつかの例では、介挿体ブロックは、ガスを MEMS コリオリ流量センサの入口に送る内部通路を含む。いくつかの例では、介挿体ブロックは、1 つ又は複数の半導体材料から作製され、半導体方法を使用して製造される。いくつかの例では、介挿体ブロックは、(内部通路の両半部を画定するように) 第 1 の基板及び第 2 の基板内に整合パターン (例えば、鏡像) をエッチングし、エッチングした表面同士を位置合わせし、当接し、第 1 の基板と第 2 の基板とを一緒に接合することによって作製される。いくつかの例では、介挿体ブロックは、(同様に作製した) 多数の層を含み、ビアを接続し、層の間に接続をもたらす、更なる柔軟性を可能にする。

【0123】

50

いくつかの例では、介挿体ブロックの内部通路は、MEMSコリオリ流量センサに隣接して位置する出口直径よりも大きな入口直径を有する。言い換えれば、通路は、MEMSコリオリ流量センサに向かう方向でより細くなる。例えば、介挿体ブロック内の内部通路の入口直径は、第1の直径（例えば約1／4インチ）を有することができ、介挿体ブロックの出口直径は、約30から1000マイクロメートルとすることができるが、他の直径を使用することができる。他の例では、弁ブロックを使用し、内部通路の直径を低減することができる。例えば、弁ブロックの入口直径は、第1の直径を有し、介挿体ブロックの出口は、第1の直径よりも小さい第2の直径を有する。介挿体ブロックの入口は、第2の直径を有し、介挿体ブロックの出口は、第2の直径よりも小さい（MEMSコリオリ流量センサの入口に一致する）第3の直径を有する。戻り経路は反転する。

10

【0124】

いくつかの例では、MFCは、MEMSコリオリ流量センサを流れる流量を検証するため、絶対流量検証（AFV）を更に利用する。AFVは、高精度オリフィスと、圧力センサと、（ガスに特異的であってよい）高精度オリフィスの上流圧力に基づき流量を決定するルックアップテーブル又は式とを含む。

【0125】

いくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサは、MEMSコリオリ流量センサ内の特定の種類の水溶液による腐食を防止するため、MEMSコリオリ流量センサを所定の温度閾値まで加熱する加熱器を含む。いくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサは、環境の加速／振動を測定する加速度計も含む。他の例では、加速度計は、MEMSコリオリ流量センサの向き又は状態を決定するために使用することができる。MFC動作の補償又は調節は、環境の加速／振動及び／又は検出した向き若しくは状態に基づき実施することができる。

20

【0126】

いくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサを含むMFCの出口弁は、処理室にかなり近接（10インチ未満）して使用され、典型的には原子層堆積（ALD）又は原子層エッチング（ALE）の間に使用される短いパルス間隔の間、パルス化したガスを処理室に送出することを可能にする。

【0127】

本明細書で説明するいくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサは、半導体方法及び材料を使用して作製する。基板処理システム内のガス送出システムによって送出されるガスは、60psigまでの比較的高い圧力で送出してよい。MEMSコリオリ流量センサを使用し、より低い流量（1000sccm未満、100sccm未満、10sccm未満及び1sccm未満の流量等）を測定することができる。

30

【0128】

測定する流量が低いため、従来のMEMSコリオリ流量センサのステンレス鋼管の直径部は、製造が困難である。言い換えれば、望ましい質量流量の一部を測定するため、管の内径は、ステンレス鋼管及びより高い流量で典型的に使用されるかなり大きな直径ではなく、典型的には、約数十マイクロメートル（例えば、1000μm、250μm未満、又は10～100μm、30μm等のより小さい直径等）である。更に、1次共振は、剛性比の根を質量によって除算することによって決定される。ステンレス鋼及びシリコン等の半導体材料は、同等の剛性値を有するが、シリコンは、かなり小さい質量を有する。したがって、シリコンは、より高い共振周波数を有する。結果として、シリコン管を使用する質量流量センサは、環境振動による騒音が生じづらい。

40

【0129】

MEMSコリオリ流量センサの管は、半導体材料を使用して半導体処理の間に作製される。例えば、管は、所定外形の2分の1を第1の基体及び第2の基体の外表面に所望の管形状でエッチングすることによって形成することができる。所定の外形には、半円、楕円、長方形、「U」字形状及び／又は他の外形を含んでよい。所定の半分外形をエッチングした後、第1の基体及び第2の基体は、鏡像の半分外形同士が互いに向き合って位置合わ

50

せられた状態で、直接接触して配置される。次に、第1の基体及び第2の基体を一緒に接合する。次に、共形堆積方法（ALD等）を使用し、薄層を位置合わせした外形部の内側表面上に堆積させ、管を生成することができる。例えば、管は、シリコン、シリコン窒化物、シリコン二酸化物、シリコン炭化物又は他の半導体材料から作製してよい。その後、管を第1の基体及び第2の基体から取り外す。例えば、第1の基体及び第2の基体の材料は、材料選択的なエッチング方法を使用して溶解又は除去される。

【0130】

使用中、ガス又は液体などの流体をMEMSコリオリ流量センサの入口に投入する。流体は、入口を通過し、管が振動するとMEMSコリオリ流量センサの管の周囲を流れ、出口から出る。測定中、制御器は、作動器を制御し、管を管の共振周波数で振動させ、感知回路によって生成された信号を受信、処理し、信号に基づき流体の質量流量及び密度を正確に計算する。MEMS流量センサは、センサを流れる流体の質量流量及び密度の両方を正確に測定する。これらの測定値は、温度及び圧力とは無関係である。

【0131】

いくつかの例では、管は、隣接する入口及び出口を有する「D」字形状ループ等の湾曲ループを形成する。作動器は、管を管の共振周波数で振動させる。流体を管に導入すると、振動の共振周波数は、管及び管内の流体と関連して慣性が増加するために変化する。振動の共振周波数の変化（ Δf_B ）は、流体の密度（ ρ ）に正比例する、即ち、 $\Delta f_B \propto \rho$ である。

【0132】

流体が管周囲を進行する際、振動軸から離れて進行する流体は、管の入口付近で振動軸から離れて延在する管の第1の区分上に力を加える。力が逆戻りして流体に加えられると、流体は、管の角運動量に一致する角運動量の増大を受ける。流体が、出口付近で振動軸の方に戻って延在する管の第2の区分を通じて振動軸に向かって逆戻りするにつれて、流体は、角運動量が減少するために第2の区分に力を加える。

【0133】

結果として、管の第1の区分は、管の中央部分に対して負の位相偏移を受ける（例えば、第1の区分は遅れを取る）一方で、管の第2の部分は、管の中央部分に対して正の位相偏移を受ける（例えば、第2の区分は、管の中心部分より先に振動する）。第1の部分と第2の部分との間の位相差の度合いは、MEMSコリオリ流量センサの管を流れる質量の量又は質量流量に正比例する。

【0134】

MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量は、下記式（1）に示すように、管の第1の部分と第2の部分との間の位相偏移又は時間のずれに関連し、式中、 K_u は、管の温度依存剛性であり、 K は、形状依存係数であり、 d は、管の幅であり、 τ は、時間のずれであり、 ω は、発振又は振動周波数であり、 I_u は、管の慣性である。

【数1】

[Math. 1]

$$Q_m = \frac{K_u - I_u \omega^2}{2Kd^2} \tau \quad \cdots (1)$$

【0135】

MEMSコリオリ流量センサの Δf_B を調べることによって測定される流体の密度測定値を使用すると、慣性 I_u を計算することができ、MEMSコリオリ流量センサを進行する流体に対する質量流量の正確な示度をもたらす。結果として、MEMSコリオリ流量センサは、密度及び質量流量の両方に対する正確な決定をもたらす。

【0136】

いくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサは、密度に関連する第1の信号と質量流量に関連する第2の信号とを含む少なくとも2つの信号を制御器に提供する。例えば、一方の信号は、管の共振周波数測定値を含んでよく、もう一方の信号は、位相偏移又は時間のずれの測定値を含んでよい。制御器は、信号を受信し、MEMSコリオリ流量センサを進行する流体の密度及び質量流量を計算する。制御器は、MEMSコリオリ流量センサの出口（又は入口）に配置した弁の開放を調節し、流体の流れを所望の流量に調節する。ソレノイド弁、圧電弁及びMEMS弁を含む様々な種類の弁が企図される。いくつかの例では、圧電弁は、20mm又は10mm以下であるわずかな波形率を有し、更に以下で説明するガス箱の弁ブロック内への弁の密なパッケージ化を可能にする。

10

【0137】

様々な種類のMEMSコリオリ流量センサに関連する追加情報は、「Micro-MEMS Coriolis flow sensor with Integrated Capacitive Readout」、J. Haneveld、T. S. J. Lammerink、M. J. de Boer及びR. J. Wiegerink、978-1-4244-2978-3/09 I. E. E. Transactions of Industrial Electronics (2009年)並びに「Coriolis Flow, Density and Temperature Sensing with a Single Vacuum Sealed MEMS Chip」、D. Sparks、R. Smith、S. Massoud-Ansari及びN. Najafi、Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems Workshop (2004年)で見ることができ、これらの全文が参照により本明細書に組み込まれる。

20

【0138】

次に、図1を参照すると、例示的基板処理システム120が図示される。容量結合プラズマ(CCP)を使用するエッチング、化学蒸着又は原子層堆積(ALD)のための処理室を図示するが、本明細書で説明するMEMSコリオリを伴うMFCは、あらゆる他の種類の基板処理システム内の流体の質量流量及び／又は密度を感知するために使用することができる。例えば、本明細書で説明する流量センサは、遠隔プラズマ又は誘導結合プラズマ(ICP)を使用して、基板処理システム内で使用することができる。更に、基板処理システムは、スピン・チャック、エッチング・システム、堆積システム等、低流量での正確な質量流量制御及び／又は密度測定を必要とするあらゆる他の半導体機器で 사용할ことができる。

30

【0139】

基板処理システム120は、処理室122を含み、処理室122は、基板処理システム120の他の構成要素を取り囲み、RFプラズマ(使用する場合)を収容する。基板処理システム120は、上側電極124と、静電気チャック(ESC)126又は他の基板支持体とを含む。動作中、基板128は、ESC126上に配置される。

【0140】

ほんの例として、上側電極124は、処理ガスを導入、分配するシャワーヘッド等のガス分配デバイス129を含んでよい。ガス分配デバイス129は、処理室の上表面に接続される一端を含む幹部分を含んでよい。基礎部分は、全体に円筒形であり、処理室の上表面から離間する位置で幹部分の反対端部から径方向外側に延在する。シャワーヘッドの基礎部分の基板の方を向く表面又は面板は、複数の穴を含み、複数の穴を通じて、前駆体、反応物、エッチング・ガス、不活性ガス、キャリア・ガス、他の処理ガス又はパージ・ガスが流れる。代替的に、上側電極124は、導電性板を含んでよく、処理ガスは、別の様式で導入してよい。

40

【0141】

ESC126は、下側電極として働く基礎板130を含む。基礎板130は、セラミック多重区域加熱板に対応し得る加熱板132を支持する。熱抵抗層134は、加熱板13

50

2と基礎板130との間に配置してよい。基礎板130は、基礎板130を通じて冷却剤を流す1つ又は複数の通路136を含んでよい。

【0142】

プラズマを使用する場合、RF生成システム140は、RF電圧を生成し、上側電極124及び下側電極（例えば、ESC126の基礎板130）の一方に出力する。上側電極124のもう一方及び基礎板130は、DC接地、AC接地又は浮動としてよい。単なる例として、RF生成システム140は、RF電力を生成するRF生成器142を含んでよく、RF電力は、整合・分配ネットワーク144によって上側電極124又は基礎板130に供給される。他の例では、プラズマは、誘導的に又は遠隔で生成してよい。

【0143】

ガス送出システム150は、1つ又は複数のガス源152-1、152-2、・・・及び152-N（集合的にガス源152）を含み、Nは0よりも大きな整数である。ガス源152は、弁154-1、154-2、・・・及び154-N（集合的に弁154）及びMFC156-1、156-2、・・・及び156-N（集合的にMFC156）によって多岐管160に接続される。単一ガス送出システム150を図示するが、2つ以上のガス送出システムを使用することができる。

【0144】

温度制御器163は、加熱板132内に配置した複数の熱制御要素（TCE）164に接続してよい。温度制御器163は、複数のTCE164を制御し、ESC126及び基板128の温度を制御するために使用してよい。温度制御器163は、冷却剤組立体166と通信し、通路136を通る冷却剤の流量を制御してよい。例えば、冷却剤組立体166は、冷却剤ポンプ、槽及び／又は1つ若しくは複数の温度センサを含んでよい。温度制御器163は、冷却剤組立体166を動作させ、通路136を通じて冷却剤を選択的に流し、ESC126を冷却する。

【0145】

弁170及びポンプ172は、処理室122から反応物を除去するために使用してよい。システム制御器180は、基板処理システム120の構成要素を制御するために使用してよい。

【0146】

次に、図2A～図2Cを参照すると、MFC156-1の一例が図示される。図2Aでは、MFC156-1は、MEMSコリオリ流量センサ200と、弁204と、制御器208とを含む。制御器208は、システム制御器180又は他のシステム構成要素からの所望の流量信号を受信する。制御器208は、MEMSコリオリ流量センサ200から測定した流量を受信する。制御器208は、測定した流量に基づき弁204の位置を調節し、所望の質量流量をもたらす。いくつかの例では、制御器208は、比例・積分・微分（PID）ベースの制御を使用する。

【0147】

図2Bでは、組み付けブロック242の上側表面240に取り付けた、MEMSコリオリ流量センサ200の底表面238を図示する。組み付けブロック242内に形成した内部通路254は、流体をMEMSコリオリ流量センサ200の入口250に送出する。MEMSコリオリ流量センサ200の出口（図示せず）は、別の内部通路（図示せず）に接続される。いくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサ200の底表面238は、接合材料を使用して組み付けブロック242の上側表面240に接合される。いくつかの例では、接合材料は、シリコン（Si）、シリコン二酸化物（SiO₂）、シリコン窒化物（SiN）、ホウケイ酸ガラス、ガラス・フリット、石英及び／又は金属を含む。いくつかの例では、組み付けブロック242は、鉄鋼、セラミック、ガラス又は半導体材料等の材料から作製される。

【0148】

図2Cでは、MEMSコリオリ流量センサ200をさらに詳細に示す。いくつかの例では、MEMSコリオリ流量センサ200は、MEMSコリオリ流量センサ200の加速度

10

20

30

40

50

、移動、振動、向き又は状態を測定する加速度計 256 を含む。MEMS コリオリ流量センサ 200 は、MEMS コリオリ流量センサ 200 の様々な場所又は区域に対する局所的な加熱を実施する、抵抗加熱器等の 1 つ又は複数の加熱器 258 を更に含んでよい。

【0149】

MEMS コリオリ流量センサ 200 は、入口 260 を画定する半導体基板 201 を含み、入口 260 は、内部通路 262 によって接続される。管 264 は、半導体基板 201 から延在し、半導体材料製である。管 264 の出口は、内部通路 268 によって MEMS コリオリ流量センサ 200 の出口管 270 に接続される。MEMS コリオリ流量センサ 200 は、複数の外部パッド又は接点 272 を更に含み、複数の外部パッド又は節点 272 は、ボンド・ワイヤ、ピン、導体及び／若しくは PCB トレース（全て図示せず）又は他の種類の接続を使用して MFC 制御回路 280 に接続される。

10

【0150】

MFC 制御回路 280 は、アクチュエータ回路 284 と読出し回路 288 とを含む。アクチュエータ回路 284 は、出力信号を生成し、管 264 の共振周波数で管 264 を振動させる。例えば、アクチュエータ回路 284 は、管 264 を振動させる静電力を生成する。読出し回路 288 は、管 264 の移動及び／若しくは捻じれ、管 264 の共振周波数の変化並びに／又は位相偏移若しくは時間のずれを感知する感知回路 274 に接続される。いくつかの例では、感知回路 274 は、静電容量式感知回路を含む。MFC 制御回路 280 は、MEMS コリオリ流量センサ 200 上に位置する 1 つ又は複数の加熱器 258 を駆動する加熱器駆動回路 290 を更に含んでよい。温度センサ（図 12A）は、MEMS コリオリ流量センサ及び／又はその中を流れるガスの温度を感知するように、MEMS コリオリ流量センサ 200 内に配置してよい。

20

【0151】

次に、図 3 を参照すると、絶対流検証（AFV）300 を伴う MFC 156-1 の別の例が図示される。MFC 156-1 は、MEMS コリオリ流量センサ 200 と、弁 204 と、制御器 208 とを含む。AFV 300 は、高精度オリフィス 320 と圧力センサ 324 とを更に含む。高精度オリフィス 320 は、オリフィスが所定の既知のサイズ及び形状であって、閉塞していない場合、「高精度」とみなされる。圧力センサ 324 は、高精度オリフィスをチョーク流条件で動作させる際に高精度オリフィス 320 から上流の圧力を感知する。チョーク流条件は、ガスが音速で高精度オリフィスを出る際に生じる。

30

【0152】

システム制御器 208 は、ルックアップテーブル（LUT）328 を更に含むか、又はガス及び上流圧力の関数として流量を計算する数学的関係を使用する。LUT 328 は、（チョーク流条件で動作する際の）高精度オリフィスの入口における圧力と流量との間の関係を保存する。LUT 表 328 には、MFC 156-1 を流れ、MFC 156-1 によって測定されるガス種によって更にアクセスすることができる。

【0153】

制御器 208 は、システム制御器 180 又は他のシステム構成要素からの所望の流量信号を受信する。制御器 208 は、MEMS コリオリ流量センサ 200 から測定した流量を受信する。制御器 208 は、測定した流量に基づき弁 204 の位置を調節し、所望の質量流量をもたらす。

40

【0154】

AFV の間、制御器 208 は、圧力センサ 324 から圧力測定値を受信する。制御器 208 が送出ガスを既知の場合、制御器 208 は、LUT 328 にアクセスし、上流圧力に基づき流量を決定する。制御器 208 は、所望の質量流量と、AFV 流量とを比較し、流量誤差を生成する。いくつかの例では、流量誤差は、（MFC が測定した流量から AFV が測定した流量を引いた差）／MFC が測定した流量を決定することによって計算される。いくつかの例では、制御器 208 は、流量誤差に基づき MFC 156-1 の動作を調節する。AFV に関係する更なる詳細は、同一出願人による、米国特許第 7,822,570 号、2010 年 10 月 26 日発行、名称「Methods for Performin

50

g Actual Flow Verification」で見出すことができ、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0155】

次に図4を参照すると、図3のシステムを使用して絶対流検証（AFV）を実施する方法が図示される。402において、MEMSコリオリ流量センサを流れるガスの質量流量をMEMSコリオリ流量センサを使用して測定する。406において、ガスは、チョーク流条件で動作する高精度オリフィスを流れる。いくつかの例では、弁は、AFVが望ましい場合に流れを迂回させるために使用することができる。410において、高精度オリフィスから上流の圧力を圧力センサを使用して測定する。414において、測定した圧力及び流れているガスに基づき流量を決定する。416において、流量誤差を決定する。いくつかの例では、流量誤差は、（MEMSコリオリ流量センサが測定した流量からAFVが測定した流量を引いた差）をMEMSコリオリ流量センサが測定した流量によって除算した比率である。418において、MEMSコリオリ流量センサの質量流量を流量誤差に基づき調節する。例えば、流量が+5%の誤差を有する場合、MEMSコリオリ流量センサは、示度を-5%調節する。いくつかの例では、AFV測定は、通常動作の間、ガスを迂回させる間、又は校正手順の間に実施することができる。

【0156】

次に、図5を参照すると、MEMSコリオリ流量センサを有する多重MFCを含むガス送出システム500が図示される。典型的なガス箱は、処理室に選択的に送出される多数のガス源を含んでよい。例えば、いくつかのガス箱は、送出し得る16種若しくは22種の異なるガス源及び／又はガス混合物を含む。しかし、典型的には、レシピは、一度に6種以下のガスを使用する。いくつかの例では、6種のガス群を使用するが、更なる又はより少ないガス群を使用することができる。本開示によれば、ガス箱内のガス源は、それぞれが同様又は適合性のある種のガスを有する複数のガス群に分類される。例えば、2つ以上の反応性ガスは、ガス群ごとに供給される。多数の不活性ガスは、単一MFC群を使用して供給するか又はいくつかのMFC群にわたり分布させることができる。例えば、窒素分子（N₂）、六フッ化硫黄（SF₆）、テトラフルオロメタン（CF₄）及びアルゴン（Ar）を1つのMFC群内で供給することができる。複数のガスをガス群に構成することは、使用される用途及び特定のガスによって決まる。各ガス群から1種のガスを単一MFCを使用して送出する。了解されるように、ガス箱の費用は、配管がより少なく、ガス源対MFCのより高い比率（ $\geq 2:1$ ）（例えば、1つのMFCに対して1つより少ないガス源）のために著しく低減する。

【0157】

図5において、ガス送出システム500は、複数のガス群502-1、502-2、・ ・ ・ 502-Q（集合的にガス群502）を含む（Qは、2以上）。ガス群502-1は、ガス源512-11、512-12、・ ・ ・ 及び512-1M（集合的にガス源512-1）を含む（Mは2以上の整数である）。ガス源512-1のそれぞれは、弁514-11、514-12、・ ・ ・ 及び514-1M（集合的に弁514-1）に出力される。弁514-1は、ガスをオン、オフするために使用される。弁514-1の全ての出力は、ガス節点で複合され、MEMSコリオリ流量センサ200-1の入口に供給される。制御器208-1は、弁514-1を使用して所与の時間で出力すべきガスを選択し、選択したガスの流量を測定し、対応する弁204-1を制御し、質量流量を所望の値に調節する。

【0158】

ガス群502-2は、ガス源512-21、512-22、・ ・ ・ 及び512-2P（集合的にガス源512-2）を含む（Pは2以上の整数であり、 $P=M$ 又は $P<>M$ である）。ガス源512-2のそれぞれは、弁514-21、514-22、・ ・ ・ 及び514-2P（集合的に弁514-2）に出力される。弁514-2の全ての出力は合わせられて、MEMSコリオリ流量センサ200-2に供給される。制御器208-2は、弁514-2を使用して所与の時間で出力すべきガスを選択し、選択したガスの流量を測定し

、弁 204-2 を制御し、流量を所望の値に調節する。

【0159】

同様に、ガス群 502-Q は、ガス源 512-Q1、512-Q2、・・・及び 512-QR（集合的にガス源 512-Q）を含む（R は 2 以上の整数であり、 $Q = P$ 又は $Q < P$ である）。ガス源 512-Q のそれぞれは、弁 514-Q1、514-Q2、・・・及び 514-QR（集合的に弁 514-Q）に出力される。弁 514-Q の全ての出力は、複合され、MEMS コリオリ流量センサ 200-Q に供給される。制御器 208-Q は、所与の時間で出力すべきガスを選択し、選択したガスの流量を測定し、弁 204-Q を制御し、流量を所望の値に調節する。

【0160】

いくつかの例では、ゼロ又は 1 つのガスをガス群 502-1、・・・及び 502-Q のそれぞれから選択する。他の例では、2 つのガスは、ガス群 502-1、・・・及び 502-Q のそれぞれから選択し、測定前に節点で混合する。ガス群 502-1、・・・及び 502-Q のそれぞれの出力は、多岐管 160 に送出され、処理ガス混合物を生成する。了解されるように、ガス箱の費用は、（質量流量測定前にガス流路を組み合わせるため）MFC がより少なく、複雑な配管がより少ないために著しく低減することができる。

【0161】

次に、図 6 を参照すると、MEMS コリオリ流量センサを含む多重 MFC を含むガス送出システム 600 が図示される。ガス送出システム 600 は、高精度オリフィス 610-1、610-2 及び 610-Q（集合的に高精度オリフィス 610）と、高精度オリフィス 610 から上流に位置する圧力センサ 620-1、620-2、・・・及び 620-Q（集合的に圧力センサ 620）とを更に含む。制御器 208-1、208-2、・・・及び 208-Q のそれぞれは、ルックアップテーブル（LUT）630-1、630-2、・・・及び 630-Q 又は数式を実施するモジュールを含む。了解されるように、制御器 208-1、208-2、・・・及び 208-Q は、所望の質量流量、測定した質量流量、及び AFV を使用して計算した流量誤差に基づき弁を制御する。

【0162】

次に、図 7 を参照すると、介挿体ブロックを含む多重 MFC 700 が図示される。多重 MFC 700 は、それぞれが多重 MFC のための T 個の群の入口管 704-1、704-2、・・・704-T（集合的に入口管 704）と、出口管 706-1、706-2、・・・706-T（集合的に出口管 706）とを含む（T は 2 以上の整数である）。入口管 704-1 及び対応する出口管 706-1 の群は、弁ブロック 712 に接続される。いくつかの例では、弁ブロック 712 は、ステンレス鋼、セラミック又は他の材料から作製される。

【0163】

弁ブロック 712 内に画定される内部通路 716 は、入口管 704 の群の各管に対応する弁 718 の入口に接続する。弁 718 は、対応するガス又はガス混合物のためのオン／オフ弁として動作する。入口管 704 の群のそれぞれに対する弁 718 の出口は、内部通路 720 によって共通節点又は接合部 724 に接続され、共通節点又は接合部 724 は、以下で更に説明する弁ブロック 712 内又は介挿体ブロック 725 内に配置し得る。

【0164】

内部通路 720 は、節点又は接合部 724 で接続し、次に、介挿体ブロック 725 内の内部通路 726 を通じて複数の MEMS コリオリ流量センサ 736 の 1 つの入口 730 に流れる。いくつかの例では、弁ブロック 712 は、上記した方法を使用して介挿体ブロック 725 に接合される。いくつかの例では、「C」字封止体を使用し、弁ブロック 712 と介挿体ブロック 725 との間に封止をもたらす。

【0165】

介挿体ブロック 725 内の内部通路 737 は、MEMS コリオリ流量センサ 736 の出口 732 に接続される。弁ブロック 712 内の内部通路 738 は、内部通路 737 を弁 739-1、739-2、・・・及び 739-T（集合的に弁 739）の入口に接続する。

10

20

30

40

50

弁 7 3 9 は、MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 を通るガスの流量を制御する制御器によって使用される可変弁である。弁ブロック 7 1 2 内の内部通路 7 4 0 は、出口管 7 0 6 に接続される。

【0166】

いくつかの例では、MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 の全ては、1つのダイに統合される。他の例では、MEMS コリオリ流量センサは、ダイスにされ、個々にパッケージ化される。MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 上のパッド若しくは端子 7 4 2 は、（パッド若しくは端子 7 4 2 にはんだ付けしてよい）ボンド・ワイヤ 7 4 4 によって接続される及び／又は 1 つ又は複数の接続器 7 4 6 によってプリント回路板（PCB）7 5 0 のトレース（図示せず）に接続される。1 つ又は複数の制御回路 7 5 4 は、PCB 7 5 0 に接続される。いくつかの例では、制御回路 7 5 4 は、それぞれがプロセッサとメモリと制御プログラムとを含む 1 つ又は複数の集積回路を含む。

【0167】

次に、図 8 A から図 8 C を参照すると、多重 MFC 8 0 0 の別の例が示される。図 7 では、7 0 4 - 1 等の入口管の群は、7 0 6 - 1 等の対応する出口管に隣接して配置される。しかし、図 8 A では、入口管 7 0 4 - 1、・・・及び 7 0 4 - T の群は、（図 8 A では左に）隣り合わせに配置され、7 0 6 - 1、・・・及び 7 0 6 - T 等の出口管は、（図 8 A では右に）互いに隣接して配置される。図 7 の介挿体ブロック 7 2 5 は、ガスを単層で送る一方で、図 8 A の介挿体ブロック 8 2 5 は、複数のガスを送る層と相互接続ビアとを含む。図 8 A では介挿体ブロック 8 2 5 は 2 つの層を含むが、更なる層を使用することができる。

【0168】

図 8 B 及び図 8 C では、介挿体ブロック 8 2 5 は、ビア 8 3 0 を含み、ビア 8 3 0 は、ガスを 7 0 4 - 1 等の入口管から介挿体ブロック 8 2 5 の下側層（図 8 B 及び図 8 C の 8 4 8 又は 8 7 0）内の内部通路 8 5 0、8 6 0 及び 8 6 2 に向ける。ビア 8 3 4 は、ガスを介挿体ブロック 8 2 5 の下側層 8 4 8 又は 8 7 0 内の内部通路 8 5 0、8 6 0 及び 8 6 2 から MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 の 1 つの入口 7 3 0 に戻す。内部通路 8 3 5 は、MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 のそれぞれの出口 7 3 2 を対応する出口管 7 0 6 に接続する。

【0169】

図 8 C からわかるように、内部通路 8 5 0、8 6 0 及び 8 6 2 の長さは、弁 7 1 8 から MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 の入口 7 3 0 への距離を均等にするように変更することができる。同様に、弁 7 1 8 の位置は、必要に応じて流路の長さを更に均等にするため、弁ブロック 7 1 2 内で（例えば、図 8 A では上下に）変更することができる。

【0170】

次に、図 9 A から図 9 C を参照すると、介挿体ブロック 9 3 0 を含む MFC 9 0 0 の別の例が示される。上述の例は 2 : 1 以上の比率を有する MFC の多重化を示すが、各ガス源を MFC に関連付けた状態で 1 : 1 の比率を使用してよい。図 9 A では、入口管 9 0 4 は、弁ブロック 9 1 2 内の内部通路 9 0 6 によって弁 9 0 8 に接続される。弁 9 0 8 の出口は、内部通路 9 1 0 によって介挿体ブロック 9 3 0 の内部通路 9 2 4 の入口に結合される。内部通路 9 2 4 は、MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 の入口に接続される。

【0171】

図 9 B では、MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 の出口 7 3 2 は、ビア 9 3 6 によって介挿体ブロック 9 3 0 の下側層 9 4 0 内の内部通路 9 4 2 に接続される。ビア 9 4 4 は、下側層 9 4 0 から弁ブロック 9 1 2 の内部通路 9 4 8 に内部通路 9 4 2 を接続する。内部通路 9 4 8 は、弁 9 5 0 の入口に接続される。弁 9 5 0 の出口は、弁ブロック 9 1 2 内の内部通路 9 5 2 によって出口管 9 5 4 に接続される。他の入口管は、隣接する出口管に同様に接続される。

【0172】

図 9 C では、MEMS コリオリ流量センサ 7 3 6 の出口は、ビア 9 3 6 によって介挿体

10

20

30

40

50

ブロック 930 の下側層 960 内の内部通路 962 に接続される。了解されるように、上述の例の内部通路は X-Y 方向で直線接続を画定するが、内部通路は、962 に図示するように、いくつかの対角経路を有することもできる。ビア 944 は、弁ブロック 912 の内部通路 948 に内部通路 962 を接続する。

【0173】

図 10 を参照すると、ガスを注入するか又はガスを短い間隔（例えば、10 秒、5 秒、2 秒又は 1 秒未満）でパルス化する更なるガス送出システム 1010 を含む基板処理システム 1000 が示され、ガス送出システム 1010 は、処理室に直に隣接する。例えば、更なるガス送出システム 1010 は、処理室の所定の距離 d 内に出口を有する弁を使用してパルス化したガスを送出する。いくつかの例では、距離 d は、10 インチ未満である。他の例では、距離 d は、5～6 インチ未満である。

10

【0174】

原子層堆積（ALD）及び原子層エッチング（ALE）等の用途では、ガスは、超短期間の間、迅速にパルス化され、単層膜回りに堆積又はエッチングされる。多岐管 160 から処理室 12 へのガスの移送時間は、比較的長いことがある。例えば、移送距離は、多岐管 162 からガス分配デバイス 129（シャワーヘッド等）まで約 10 フィートとなることがある。この問題を軽減するため、いくつかの基板処理システムは、弁 1022 を多岐管 160 の後、処理室 122 の次に配置し、多岐管 160 の出口と処理室付近の送出場所との間にガスを捕捉するようにする。パルス継続時間が極めて短いと、移送距離は著しく低減するはずである。

20

【0175】

更なるガス送出システム 1010 は、ガス源 1030 と、弁 1040 と、MFC 1050 とを含み、MFC 1050 は、MEMS コリオリ流量センサ（MCFS）1060 と弁 1070 とを含む。弁 1070 の出口は、処理室から所定距離 d 内に位置する。了解されるように、移送距離が低減されると、パルス化ガスを送出する間の応答時間を著しく改善する。いくつかの例では、更なるガス送出システム 1010 がパルス化ガスの送出のために使用される場合、弁 1020 を省いてよい。単一パルス化ガスを送出する単一ガス路が図示されるが、同様の構造及び異なるガスを有する更なるガス源及びガス路を設けてよい。いくつかの例では、MFC は、上記のように、複数のパルス化ガス源のために多重化することができる。いくつかの例では、AFV は、上記したパルス化ガスの流れを検証するために使用してもよい。いくつかの例では、酸素分子（O₂）を供給するが、他のガスを使用してもよい。

30

【0176】

次に、図 11A を参照すると、システム 1100 は、加速制御回路 1124 を有する MFC 制御回路 1120 を含み、MEMS コリオリ流量センサ 1110 の加速度計 1114 が検出した加速、振動、向き、状態又は他のパラメータ若しくは条件に基づき動作を調節するようにする。加速又は振動の測定値は、向き若しくは状態の検出及び／又は環境振動の検出を含め、様々な様式で使うことができる。例えば、管の振動は、管を共振周波数で振動させる前に測定し、基準線振動を決定することができる。次に、管を共振周波数で振動させ、基準線振動を減算するか、又は補償を実施し、基準線振動の影響を軽減する。

40

【0177】

次に、図 11B 及び図 11C を参照すると、図 11A の加速制御回路を動作させる方法の例が図示される。図 11B では、加速度計 1114 が検出した振動が所定の振動閾値を超えた際にエラー通知を生成するか、又は補償を実施する方法 1140 を図示する。いくつかの例では、振動閾値は、振動の周波数に対応する、及び／又は他の例では、所定の振動閾値は、振動の大きさに対応する。1142 において、方法は、MEMS コリオリ流量センサの振動を検出する。1144 において、方法は、検出した振動周波数及び／又は大きさが所定の閾値を超えるかどうかを決定する。1144 に当てはまる場合、加速度制御回路 1124 は、エラー通知を生成するか又は MFC の動作を変更する。

【0178】

50

図 1 1 C において、別の方法 1 1 6 0 は、MEMS コリオリ流量センサの向き、状態、加速又は他の条件を検出し、これらに基づき較正を選択する。いくつかの例では、加速度計 1 1 1 4 は、MEMS コリオリ流量センサ 1 1 1 0 の向き又は状態を検出するために使用される。他の例では、他のセンサは、MEMS コリオリ流量センサ 1 1 1 0 のパラメータを感知し、MEMS コリオリ流量センサ 1 1 1 0 の状態を決定し、較正を選択する。

【0 1 7 9】

1 1 6 2 において、方法は、MEMS コリオリ流量センサの向き、加速、状態又は他の条件を検出する。1 1 6 4 において、方法は、センサが第 1 の状態又は向きにあるかどうかを決定する。いくつかの例では、第 1 の状態は、第 1 の向き、状態、加速、振動又は他の条件に対応する。いくつかの例では、第 1 の状態は、第 1 の所定の範囲の値を含んでよい。センサが第 1 の状態にある場合、制御器は、第 1 の較正式又はルックアップテーブルを使用する、並びに／又は 1 1 6 8 において式の重み及び／若しくは係数を調節する。1 1 6 4 に当てはまらない場合、方法は、センサが第 2 の状態にあるかどうかを決定する。いくつかの例では、第 2 の状態は、第 2 の所定の範囲の値を含んでよい。センサが第 2 の状態にある場合、1 1 7 4 において、制御器は、第 2 の較正式又はルックアップテーブルを使用する、並びに／又は式の重み及び／若しくは係数を調節する。更なる状態（1 1 7 2 及び 1 1 7 4 並びに／又は 1 1 7 8 及び 1 1 8 0 のそれぞれに示す N - 1 及び N）を較正することができる。1 1 7 0 で決定されるように、MEMS コリオリ流量センサの状態が変化した場合、1 1 6 2 に戻ることによって較正を繰り返すことができる。

【0 1 8 0】

単なる例として、第 1 の状態又は向きは、管が地面に平行な平面に向き、入口及び出口が管の底表面上に位置することに対応してよく、第 2 の状態又は向きは、管が地面に平行な平面に直交してよく、他の状態又は向きは、これらの間の向きに対応してよい。了解されるように、管を地面に直交して配置すると、重力、浮力及び／又は他の作用が管の振動に影響を与え、補償を必要とすることがある。他の例では、MEMS コリオリ流量センサの動作は、MEMS コリオリ流量センサが選択した向き又は状態にある場合にのみ可能である。

【0 1 8 1】

次に、図 1 2 A 及び図 1 2 B を参照すると、MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 の温度を制御するシステム 1 2 0 0 が図示される。MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 の加熱を図示するが、整備の後、水溶液が生じさせる腐食を防止するように内部通路及びブロックの加熱も実施してよい。塩素（Cl）種及び臭化水素（Hbr）等の一部のガスは、水溶液形態である場合に腐食を生じさせることがある。周囲空気中の水は、これらの種と結合し、水溶液を生成することがある。

【0 1 8 2】

したがって、いくつかの例では、整備中又は整備後、MFC 及び／又は付近の流路に対して摂氏 2 0 0 度等の所定の温度までの加熱を所定期間実施し、腐食を防止する。いくつかの例では、加熱手順の後、不活性ガスを使用して処理室及び供給管路の浄化を実施する。いくつかの例では、管路の加熱は、処理室の内部構成要素が周囲に露出されることがある室の開放、ガス管路の開放及び／又はボトルの交換等の整備手順後に実施される。

【0 1 8 3】

図 1 2 A では、MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 は、加熱器 1 2 1 4 と温度センサ 1 2 1 6 とを含む。いくつかの例では、加熱器 1 2 1 4 は、抵抗加熱器を含む。MFC 制御回路 1 2 2 0 は、加熱器制御回路 1 2 2 4 を含む。加熱器制御回路 1 2 2 4 は、MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 の温度及び／又は MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 を流れるガスの温度に対応する温度測定値を受信する。加熱器制御回路 1 2 2 4 は、測定した温度と、1 つ又は複数の所定の温度閾値とを比較する。MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 の温度及び／又は MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 を流れるガスの温度が所定の閾値を下回った場合、加熱器制御回路 1 2 2 4 は、電力を加熱器 1 2 1 4 に供給し、MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1 0 の温度及び／又は MEMS コリオリ流量センサ 1 2 1

0を流れるガスの温度を上昇させる。いくつかの例では、適用する所定の温度閾値は、MEMSコリオリ流量センサ1210を流れるガス種に基づき選択される。他の例では、適用する所定の温度閾値は、MEMSコリオリ流量センサ1210を流れるガス種とは無関係である。

【0184】

図12Bでは、MEMSコリオリ流量センサ内に配置される加熱器を制御する方法1240を図示する。1242において、MEMSコリオリ流量センサ又はMEMSコリオリ流量センサを流れるガスの温度を検出する。1244において、温度を所定の閾値と比較する。1244で決定されるように、温度が所定の閾値よりも小さい場合、1248において加熱器を使用して温度を調節する。いくつかの例では、ヒステリシスを使用し、制御回路が加熱器を急激にオン・オフしないようにすることができる。言い換えれば、加熱器は、測定した温度が、所定の温度閾値を下回る所定のデルタ温度に落ちた際に作動する。

【0185】

次に、図13を参照すると、方法1310は、ガス供給弁が、MEMSコリオリ流量センサ200の振動の変化に基づき正確に開放又は閉鎖されているかどうかを検出するものである（振動の変化は、加速度計256を使用して検出される）。MEMSコリオリ流量センサ200の振動は、大部分は、動作中に弁が開放され、ガスが流れている間の共振周波数での管の振動によるものである。したがって、MEMSコリオリ流量センサ200の振動の変化（及びいくつかの例では対応する動作状態の変化）を使用し、MEMSコリオリ流量センサ200の動作を診断することができる。

【0186】

図13に示す方法は、弁閉鎖／開放の移行に関連するが、同様の手法を弁開放／閉鎖の移行で使うことができる。1320において、弁を開放する前にMEMSコリオリ流量センサの振動を検出する。1324において、方法は、弁が開放されているかどうかを決定する。1328において、弁を開放した後にMEMSコリオリ流量センサの振動を検出する。振動の測定には、MEMSコリオリ流量センサの振動周波数及び／又は大きさの標本化を含んでよい。弁は閉鎖状態から開放状態に移行しているはずであるため、MEMSコリオリ流量センサの振動は、この状態移行の間に増大するはずである。変化が検出されない場合、弁に対する更なる診断を実施してよい、及び／又は処理室を整備のために遮断してよい。例えば、振動のレベルが依然として変化しない場合、弁は既に開放されているか、又は弁は開放されていないかのいずれかである。

【0187】

1332において、弁が閉鎖されているはずの間、及び弁を開放したはずの後、振動測定値の間で1つ又は複数の差を生成する。1336において、方法は、1つ又は複数の差が、1つ又は複数の対応する閾値以下であるかどうかを決定する。代替的に、開放命令前及び／又は開放命令後の振動レベルを、1つ又は複数の所定の値又は範囲と直接比較することができる。例えば、開放命令後の振動レベルを、開放弁に対応する所定の値又は範囲と比較し、弁が実際に開放されているかどうかを決定することができる。例えば、開放命令前の振動レベルを、閉鎖弁に対応する所定の値又は範囲と比較し、弁が実際に閉鎖されているかどうかを決定することができる。

【0188】

1336に当てはまる場合、方法は、1338において、エラー通知を生成する。いくつかの例では、対応する弁は、任意で閉鎖する、及び／又は処理室を整備のために遮断する。了解されるように、同様の手法を使用し、弁が開放状態から閉鎖状態に移行する際に弁の動作を診断してよい。言い換えれば、振動は、開放状態から閉鎖状態への移行の前後で検出してよい。振動は、開放／閉鎖の移行後に減少するはずである。（開放／閉鎖の移行及び閾値との比較の前後で）差が生成されるか、又は開放／閉鎖の移行の前後で対応する振動レベルのいずれかを1つ又は複数の所定の閾値又は範囲と比較する。

【0189】

次に、図14を参照すると、別の方法1410は、MEMSコリオリ流量センサの振動

10

20

30

40

50

の感知に基づき、弁が閉鎖しているかどうかを検出することによって弁の動作を診断する。より詳細には、MEMSコリオリ流量センサの振動レベルは、弁が閉鎖している間、比較的一定のままである。弁が閉鎖している間のMEMSコリオリ流量センサの振動の変化は、弁の誤動作を示すことがある。現在の振動レベルは、1つ若しくは複数の所定の閾値若しくは範囲、及び／又は弁を閉鎖状態に命令した場合、1つ若しくは複数の以前の間隔と比較することができる。

【0190】

1424において、方法は、下流弁が閉鎖されているかどうかを決定する。1428において、周期的間隔又はイベント・ベースでMEMSコリオリ流量センサの振動を検出する。1432において、弁を閉鎖している間の2つ以上の間隔（例えば、現在の間隔と以前の間隔）での振動レベルの間の2つ又は複数の差を生成する。例えば、現在の間隔に対する振動を検出し、所定の振動閾値及び／又は（弁が閉鎖していた場合）1つ若しくは複数の以前の間隔の間の振動レベルと比較する。1436において、方法は、差が閾値よりも小さいかどうかを決定する。代替的に、方法は、現在の間隔の振動と、所定の振動閾値又は範囲とを比較し、現在の間隔の振動が所定の閾値を超える（又は所定の範囲外である）場合、1436に進む。1436に当てはまる場合、方法は1424に戻る。1436に当てはまらない場合、方法はエラー通知を生成する1438。いくつかの例では、通知に応じて処理室を遮断することができる。了解されるように、振動の変化を使用し、弁の異常動作を検出することができる。

【0191】

次に、図15を参照すると、MEMSコリオリ流量センサを有するMEMSベースのMFCは、プラズマ生成による高RF信号、ペDESTAL電圧RFバイアス電圧、基板支持体内の加熱器のための温度制御信号、及び／又は他の制御若しくはバイアス信号に露出されることが多い環境内に位置する。比較的わずかな流量を測定するため、制御器に関連付けられる電子機器は、高感度で、かなり正確である必要があり、環境干渉によって悪影響を及ぼされることがある。したがって、RF遮蔽体1510をMFC156-1の周囲に配置し、環境干渉を低減する。いくつかの例では、RF遮蔽体1510は、ファラデー・ケージ、金属筐体、ワイヤ・メッシュ、又は別の基準電位に接地若しくは接続される他のRF遮蔽体を含む。RF遮蔽体1510を使用すると、MEMSコリオリ流量センサ200の動作時のRFノイズの影響を低減することができる。

【0192】

次に、図16A～図16Bを参照すると、管の共振周波数を監視し、動作の変動及び／又は摩耗を検出し得る。いくつかの例では、管の共振周波数は、管の振動の大きさに基づき決定してよい。管の振動の大きさは、管の共振周波数で増大する傾向がある。代替的に、加速度計を使用し、振動の増大を検出することができる。この例では、MEMSコリオリ流量センサは、MFC制御回路280に管の共振周波数及び／又は共振周波数に比例する（若しくは別様に関連する）他のデータを報告する。本開示によるMEMSコリオリ流量センサは、MFC制御回路280内の共振周波数監視モジュールに共振周波数を出力する。MFC制御回路280は、管の共振周波数を監視し、管の共振周波数に基づき、MEMSコリオリ流量センサ200の動作を診断する。例えば、共振周波数の変化は、管の剛性が経時的に変化するにつれて生じることがある。管の剛性の変化は、共振周波数監視モジュールによって使用し、整備又は交換を開始することができる。他の例では、共振周波数監視モジュールは、管（及びMEMSコリオリ流量センサ）の整備又は交換を必要とする将来の日付を推定する。

【0193】

図16Aでは、MEMSコリオリ流量センサ200は、制御器1610を更に含み、制御器1610は、管264の共振周波数を監視し、他の制御機能を実施する。いくつかの例では、MFC制御回路280は、MEMSコリオリ流量センサ200から管264の共振周波数を受信する。いくつかの例では、MFC制御回路280は、MEMSコリオリ流量センサ200から受信した他のデータに基づき、共振周波数を決定又は計算する。MF

C制御回路280は、共振周波数監視モジュール1620を更に含む。制御器1610は、管264の共振周波数（又は他の関連データ）をMFC制御回路280に周期的に報告する。共振周波数監視モジュール1620は、管の共振周波数を経時的に監視する。

【0194】

図16Bにおいて、管264の共振周波数を監視する方法1630を図示する。1632において、管264の共振周波数をMEMSコリオリ流量センサから受信する。1636において、共振周波数と1つ又は複数の共振周波数閾値とを比較する。1640において、共振周波数の値を経時的に監視することによって弁及び／又はMFCの動作に関する詳細を決定することができる。例えば、この比較を使用し、任意で、MFCの動作を変更するか又は質量流量計算（若しくは他の値の計算）の補償を可能にしてよい。

10

【0195】

図17では、共振管264に対する駆動信号の出力に基づき、MEMSコリオリ流量センサ200の性能を監視する方法1710を図示する。管の剛性が経時的に減少するにつれて、駆動信号は減少することがある。したがって、駆動信号の変化は、管の剛性に相関することがある。1714において、管264を振動させて管を共振させるために出力される駆動信号は、イベント・ベース又は周期的に監視される。1718において、現在の駆動信号を1つ又は複数の以前の駆動信号と比較する。1724において、方法は、差を所定の閾値と比較する。代替的に、駆動信号を所定の閾値又は範囲と比較してよい。

【0196】

1728において、管264の推定剛性は、任意で計算される。1730において、管の経時的な剛性の変化に基づき、MEMSコリオリ流量センサ200の寿命を推定する。1732において、推定剛性を閾値と比較する。剛性が閾値よりも大きい場合、方法は1714に戻る。剛性が閾値よりも小さい場合、方法は、1736において、MEMSコリオリ流量センサ（及び／若しくはMFC）を交換する通知を生成する、又はMFCを交換する準備の可能性がある将来の日付の推定をもたらす。

20

【0197】

次に、図18A～図18Cを参照すると、上流圧力を監視し、MFCに入るガスの凝縮を防止することができる。ガスの圧力がガスの蒸気圧を超えると、ガスは凝縮して液体になる。ガス管内の液体は、欠陥を生じさせ、除去が非常に困難である。したがって、影響を受けた構成要素は、通常交換されるが、費用及び遮断時間を増大させる。

30

【0198】

MFCの入口での圧力が所定の圧力よりも大きい（この圧力を上回ると凝縮が生じやすい）場合、バイパス路を使用し、MFCをバイパスし、入口での圧力を凝縮圧力よりも下に下げることができる。了解されるように、MFCの制御器は、（バイパス路が開放されている際）バイパス路の質量流量を考慮し、送出される合計質量流量を決定する。

【0199】

図18Aでは、MFC1800は、入口圧力を監視するため、弁204の上流に配置される圧力センサ1820を更に含む。圧力センサ1824は、バイパス路を通る質量流量を決定するため、弁154-1の下流に配置してよい。いくつかの例では、弁204は、可変弁、圧電弁又は他の種類の弁を含む。図18Bでは、MFC1840は、弁204と制限オリフィス1844とを含む。いくつかの例では、弁204は、オン／オフ弁を含んでよく、制限オリフィス1844は、高精度オリフィスを含む。

40

【0200】

次に、図18Cを参照すると、凝縮を防止するため、MEMSコリオリ流量センサを含むMFCの上流圧力を監視する方法1850が図示される。1854において、MEMSコリオリ流量センサは、最初に、バイパス弁を閉鎖した状態で動作させる。MEMSコリオリ流量センサによって質量流量を計算する。1858において、MEMSコリオリ流量センサの入口圧力を監視する。1862において、方法は、上流圧力P1が所定の圧力閾値よりも大きいかどうかを決定する。1862に当てはまらない場合、方法は1854に戻る。1862に当てはまる場合、方法は1866に続き、バイパス弁の開放を調節し、

50

流れを迂回させ、MEMSコリオリ流量センサの入口圧力を圧力閾値よりも低く低減させる。1870において、MEMSコリオリ流量センサの質量流量、弁の位置、上流圧力及び／又は下流圧力に基づき、(バイパス弁を使用する際の)合計質量流量を計算する。結果として、低い蒸気圧のガスで、凝縮を生じさせずにシステムを使用することができる。

【0201】

次に、図19を参照すると、MEMSコリオリ流量センサを有するMEMSベースのMFCによって液体流体を送出することもできる。液体送出システム1900は、弁1924を介してMFC1928の入口に液体を送出する液体源1920を含み、MFC1928は、MEMSコリオリ流量センサを含む。MFC1928の出口は、液体を気化させる気化器1932に供給される。気化器1932は、典型的には、加熱要素(図示せず)を含む。気化器1932に供給される液体は、加熱要素と接触し、気化される。

10

【0202】

次に、図20Aを参照すると、MFC2000は、MEMSコリオリ流量センサ200を含む。MFC制御回路280は、圧縮率計算モジュール2010を更に含む。MEMSコリオリ流量センサ200は、MEMSコリオリ流量センサ200の入口260の第1の温度センサ2014と、MEMSコリオリ流量センサ200の出口270の第2の温度センサ2016とを更に含む。MEMSコリオリ流量センサ200は、MEMSコリオリ流量センサ200の入口260の第1の圧力センサ2020と、MEMSコリオリ流量センサ200の出口270の第2の圧力センサ2022とを更に含む。MEMSコリオリ流量センサ200は、入口及び出口で測定した温度及び圧力をMFC制御回路280に報告する。MFC制御回路280は、ガスの状態式を使用して、管264を流れるガスの ΔT 及び ΔP 並びに圧縮率(Z)を計算する。

20

【0203】

図20Bから20Dでは、MFC2000が計算する圧縮率を使用する様々な例が図示される。図20Bでは、ガス送出システム2040が図示される。MFC2000のMFC制御回路280は、測定した圧縮率を上流流量制御デバイス2050及び／又は下流流量制御デバイス2060に出力する。図20Cでは、ガス送出システム2070が図示される。MFC2000のMFC制御回路280は、測定した圧縮率を制御器2076に出力し、制御器2076は、上流温度ベースのMFC2072及び／又は下流温度ベースのMFC2074を制御する。図20Dでは、ガス送出システム2080が図示される。MFC2000のMFC制御回路280は、測定した圧縮率を制御器2086に出力し、制御器2086は、上流圧力ベースのMFC2082及び／又は下流温度ベースのMFC2084を制御する。

30

【0204】

次に、図21Aを参照すると、上流若しくは下流流量制御デバイスの動作を検証及び／又は調節するため、MEMSコリオリ流量センサを含むMFCによって計算した圧縮率を使用する方法2110が図示される。2114において、MEMSコリオリ流量センサの入口及び出口における温度及び／又は圧力を測定する。2118において、MEMSコリオリ流量センサを使用して質量流量を計算する。2122において、 ΔT 及び／又は ΔP に基づき圧縮率を計算する。いくつかの例では、状態式は、 ΔT 及び／又は ΔP に基づき圧縮率を計算するために使用される。2124において、計算した圧縮率を上流又は下流流量制御デバイスに出力する。上流又は下流流量制御デバイスは、圧縮率を使用し、流量制御デバイスの動作を検証及び／又は流量制御デバイスを較正する。

40

【0205】

次に、図21Bを参照すると、上流若しくは下流流量制御デバイスの動作を検証及び／又は調節するため、MEMSコリオリ流量センサを含むMFCによって計算した圧縮率を使用する方法2140が図示される。2144において、MEMSコリオリ流量センサの入口及び出口における温度及び／又は圧力を測定する。2148において、MEMSコリオリ流量センサを使用して質量流量を計算する。2152において、 ΔT 及び／又は ΔP に基づき圧縮率を計算する。いくつかの例では、状態式は、 ΔT 及び／又は ΔP に基づき

50

圧縮率を計算するために使用される。2154において、計算した圧縮率を上流又は下流温度ベースMFCに出力する。上流又は下流温度ベースMFCは、圧縮率を使用し、上流又は下流温度ベースMFCの動作を較正、診断及び／又は調節する。

【0206】

次に、図21Cを参照すると、上流若しくは下流流量制御デバイスの動作を検証及び／又は調節するため、MEMSコリオリ流量センサを含むMFCによって計算した圧縮率を使用する方法2160が図示される。2164において、MEMSコリオリ流量センサの入口及び出口における温度及び／又は圧力を測定する。2168において、MEMSコリオリ流量センサを使用して質量流量を計算する。2172において、 ΔT 及び／又は ΔP に基づき圧縮率を計算する。いくつかの例では、状態式は、 ΔT 及び／又は ΔP に基づき圧縮率を計算するために使用される。2174において、計算した圧縮率を上流又は下流圧力ベースMFCに出力する。上流又は下流圧力ベースMFCは、圧縮率を使用し、上流又は下流圧力ベースMFCの動作を較正、診断及び／又は調節する。

【0207】

次に、図22を参照すると、MEMSコリオリ流量センサを有する多重質量流量センサ(MFS)を含むガス送出システム2200が図示される。ガス送出システム2200は、弁2210-1、2210-2、...及び2210-Q(集合的に弁2210)と、ガス流路2211-1、2211-2、...及び2211-Q(集合的にガス流路2211)とを更に含む。弁2210及びガス流路2211は、流路2212-1、2212-2、...及び2212-Q(集合的にガス流路2212)を真空源及び／又は別の排気システムに選択的に接続する。弁2210及びガス流路2211は、弁514と204との間のガス流路2212-1、2212-2、...及び2212-Qを排気する。動作中、いくつかのガスを多重MFCのそれぞれによって供給するため、ガス流路2212の排気により、ステップ間の残留ガスを除去し、欠陥を低減させる。他の例では、同じガスを使用するが汚れている可能性がある場合にもガス流路2212を排気する。

【0208】

いくつかの例では、基板処理システムは、複数のサイクルを含む原子層堆積(ALD)又は原子層エッチング(ALE)を実施し、複数のサイクルのそれぞれには、基板を第1のガス混合物に露出することと、処理室を浄化することと、基板を第2のガス混合物に露出することと、処理室を浄化することとを含む。ステップの間、プラズマを使用してよい。いくつかの例では、ガス流路2212は、第1のガス混合物と第2のガス混合物との間で排気される。いくつかの例では、ALD又はALEサイクル及び／又はサブサイクルは、比較的短い(例えば、10s、5s、2s、1s以下)。

【0209】

次に、図23を参照すると、弁514と204との間の残留ガスを排除するために図22のシステムを動作させる方法2410が図示される。2414において、多重MFSを使用してガスを供給する。2416において、方法は、ガス源を別の種のガスに切り替えるかどうかを決定する。2420において、ガス供給弁(弁514の一方及び弁204の一方)を閉鎖する。2424において、弁を真空(又は排気)管路に開放し、弁514と204との間の残留ガスを排除する。2428において、真空(又は排気)への弁を閉鎖する。方法は、2414に戻り、次のガスを供給する。了解されるように、弁は、ガス源を変更しない場合、汚れているガスを排除するために使用することもできる。

【0210】

次に、図24を参照すると、弁の漏出(弁が閉鎖している際にガス流が生じている)を検出するためにAFVを使用する方法2510が図示される。2514において、MFSに関連付けた弁を閉鎖する。2518において、AFVを使用して弁を閉鎖している間の質量流量を検出する。このとき、ガスは、MFSを通じて供給されるはずがなく、質量流量はゼロに等しいはずである。AFVが0以外の質量流量を検出した場合、弁は漏出の可能性がある。2522において、MFSにより質量流量を任意で検出する。2524において、MFS及びAFVが検出した質量流量を任意で比較する。2526において、AF

V測定値、MFS測定値及び／又は2つの測定値の間の比較に基づき、弁の漏出及び／又は他の診断決定を行うことができる。例えば、MFS及びAFVがゼロの質量流量を検出した場合、MFSは正確に動作している。例えば、MFS及びAFVが同様のゼロ以外の（即ち所定の許容差内の）質量流量を検出した場合、MFSは、正確に動作している可能性があり、弁の一方が漏出している可能性がある。例えば、MFS及びAFVが異なるゼロ以外の（即ち所定の許容差外の）質量流量を検出した場合、MFSは、不正確に動作している可能性がある、及び／又は弁の一方が漏出している可能性がある。

【0211】

上記の説明は単に例示的にすぎず、本開示、本開示の用途又は使用法を決して限定する意図ではない。本開示の広範な教示は、様々な形態で実施してよい。したがって、本開示は特定の例を含むが、本開示の真の範囲をそのように限定すべきではない。というのは、他の修正形態は、図面、明細書及び以下の特許請求の範囲を検討すれば明らかになるためである。方法内の1つ又は複数のステップは、本開示の原理を変更せずに、異なる順序で（又は同時に）実行してよいことを理解されたい。更に、実施形態のそれぞれは、特定の特徴を有するものとして上記で説明されるが、本開示の任意の実施形態に対して説明したこれらの特徴のいずれか1つ又は複数のは、他の実施形態内で実施してよい、及び／又はそのような組合せが明示的に説明されていない場合でさえ、他の実施形態のいずれかの特徴と組み合わせでよい。言い換えれば、説明する実施形態は、相互に排他的ではなく、1つ又は複数の実施形態の互いに対する置換は、依然として本開示の範囲内である。

【0212】

要素間（例えば、モジュール、回路要素、半導体層等の間）の空間的及び機能的な関係は、「接続」、「係合」、「結合」、「隣接」、「～の次」、「～の上部」、「～の上」、「～の下」及び「配設」を含め、様々な用語を使用して説明される。第1の要素と第2の要素との間の関係を上記の開示で説明する際に「直接的」なものとして明示的に説明しない限り、その関係は、他の介在要素が第1の要素と第2の要素との間に存在しない直接的な関係とすることができるが、1つ又は複数の介在要素が第1の要素と第2の要素との間に（空間的若しくは機能的に）存在する間接的な関係とすることもできる。本明細書で使用する、A、B及びCの少なくとも1つという句は、非排他的論理ORを使用する論理（A OR B OR C）であることを意味すると解釈すべきであり、「Aの少なくとも1つ、Bの少なくとも1つ、及びCの少なくとも1つ」を意味すると解釈すべきではない。

【0213】

いくつかの実装形態では、制御器はシステムの一部であり、システムは上述の例の一部であってよい。そのようなシステムは、半導体処理機器を備えることができ、半導体処理機器は、1つ又は複数の処理器具、1つ又は複数の室、処理及び／又は特定の処理構成要素（ウエハ台、ガス流システム等）のための1つ又は複数のプラットフォームを含む。これらのシステムは、半導体ウエハ又は基板の処理前、処理間及び処理後にシステムの動作を制御する電子機器と共に一体化してもよい。これらの電子機器は、「制御器」と呼ぶことがあり、1つ若しくは複数のシステムの様々な構成要素又は下位部品を制御してもよい。制御器は、処理要件及び／又はシステムの種類に応じて、本明細書で開示する工程のいずれかを制御するようにプログラムしてもよく、これらの工程には、処理ガスの送出、温度設定（例えば、加熱及び／又は冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、高周波（RF）発生器設定、RF整合回路設定、周波数設定、流量設定、流体送出設定、位置及び動作設定、器具への及び器具からのウエハの運搬、並びに特定のシステムに接続若しくはインターフェースで接続される他の運搬器具及び／又はロード・ロックを含む。

【0214】

大まかに言うと、制御器は、様々な集積回路、論理、メモリ、及び／又はソフトウェアを有する電子機器として定義してよく、命令を受信し、命令を発行し、動作を制御し、洗浄動作を可能にし、終了点測定を可能にする、等のものである。集積回路は、プログラム命令を記憶するファームウェアの形態のチップ、デジタル信号プロセッサ（DSP）、特定用途向け集積回路（ASIC）として定義されるチップ及び／又はプログラム命令（例

例えば、ソフトウェア)を実行する1つ又は複数のマイクロプロセッサ又はマイクロコントローラを含んでよい。プログラム命令は、様々な個々の設定(又はプログラム・ファイル)の形態で、制御器に伝達される命令であってもよく、これらの設定は、半導体ウエハ上で若しくは半導体ウエハのため、又はシステムに対して特定の工程を実行する動作パラメータを定義する。動作パラメータは、いくつかの実施形態では、1つ又は複数の層、材料、金属、酸化物、シリコン、シリコン二酸化物、表面、回路及び／又はウエハのダイを作製する間、1つ又は複数の処理ステップを達成する工程技師によって定義される方策の一部であってよい。

【0215】

制御器は、いくつかの実装形態では、コンピュータの一部であるか、又はコンピュータに結合してよく、コンピュータは、システムと一体化されるか、システムに結合するか、他の方法でシステムにネットワーク化されるか、又はそれらの組合せである。例えば、制御器は、「クラウド」内にあるか又は製造ホスト・コンピュータ・システムの全て若しくは一部であってよく、これにより、ウエハ処理に対する遠隔アクセスを可能にすることができる。コンピュータは、システムへの遠隔アクセスを可能にし、製造動作に関する現在の経過を監視し、過去の製造動作の履歴を調査し、複数の製造動作から傾向若しくは性能メトリックを調査し、現在の処理のパラメータを変更し、現在の処理に追従する処理ステップを設定する、又は新たな工程を開始してよい。いくつかの例では、遠隔コンピュータ(例えば、サーバ)は、ネットワーク上で工程レシピをシステムに提供することができ、ネットワークには、ローカル・ネットワーク又はインターネットを含んでよい。遠隔コンピュータは、ユーザ・インターフェースを含んでよく、ユーザ・インターフェースは、パラメータ及び／又は設定の入力又はプログラム化を可能にし、これらのパラメータ及び／又は設定は、次に、遠隔コンピュータからシステムに伝達される。いくつかの例では、制御器は、1つ又は複数の動作の間に実施すべき処理ステップのそれぞれに関するパラメータを指定するデータの形態の命令を受信する。パラメータは、実施すべき処理の種類、及び制御器をインターフェースで接続するか又は制御するように構成した器具の種類に固有であってよいことを理解されたい。したがって、上記のように、制御器は、1つ又は複数の離散制御器を備える等によって、分散してよく、1つ又は複数の離散制御器は、一緒にネットワーク化され、本明細書で説明する工程及び制御等の共通の目的に向かって働く。そのような目的のための分散制御器の一例は、処理室上での工程を制御するように組み合わせる(プラットフォーム・レベルで、又は遠隔コンピュータの一部として等)遠隔に位置する1つ又は複数の集積回路と通信している、処理室上の1つ又は複数の集積回路である。

【0216】

限定はしないが、例示的システムは、プラズマ・エッチング室又はモジュール、堆積室又はモジュール、スピンドル室又はモジュール、金属めっき室又はモジュール、クリーン室又はモジュール、斜縁エッチング室又はモジュール、物理蒸着(PVD)室又はモジュール、化学蒸着(CVD)室又はモジュール、原子層堆積法(ALD)室又はモジュール、原子層エッチング(ALE)室又はモジュール、イオン注入室又はモジュール、組み立てライン室又はモジュール、並びに半導体ウエハの作製及び／又は製造に関連付けるか又は使用してよいあらゆる他の半導体処理システムを含んでよい。

【0217】

上記のように、工程ステップ又は器具によって実施するステップに応じて、制御器は、他の器具回路若しくはモジュール、他の器具構成要素、クラスタ器具、他の器具インターフェース、隣接器具、近隣器具、工場全体に置かれた器具、主コンピュータ、別の制御器、又は半導体製造工場内の器具の場所の間及び／又は積み下ろしポート間でウエハの容器を運搬する材料搬送で使用する器具のうち1つ又は複数と通信してよい。

本開示は、以下の形態として実現することができる。

[形態1]

流体送出システムであって、前記流体送出システムは、

10

20

30

40

50

入口がN個のガス源にそれぞれ流体接続されるN個の第1の弁であって、Nは、0よりも大きな整数である、N個の第1の弁と、

N個の質量流量制御器と
を備え、

前記N個の質量流量制御器はそれぞれ、

前記N個の第1の弁の対応する1つの出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、

前記MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、

前記MEMSコリオリ流量センサと通信し、前記MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定するように構成された制御器と
を備える、流体送出システム。

10

[形態2]

形態1に記載の流体送出システムであって、

前記流体送出システムは、

前記N個の質量流量制御器の前記第2の弁の前記出口とそれぞれ流体連通する多岐管を更に備え、前記処理室は、前記多岐管の出口と流体連通する、流体送出システム。

[形態3]

形態1に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つは、

前記第2の弁の前記出口に流体接続される入口を含む高精度オリフィスと、

前記第2の弁の前記出口と前記高精度オリフィスの前記入口との間の圧力を感知する圧力センサと
を更に備える、流体送出システム。

20

[形態4]

形態3に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記制御器は、前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記圧力センサが感知した圧力に基づき流量検証を実施するように構成される、流体送出システム。

[形態5]

形態3に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記制御器は、ルックアップテーブルを含み、前記ルックアップテーブルは、検証した質量流量を出力し、圧力ごとに指数化されている、流体送出システム。

30

[形態6]

形態1に記載の流体送出システムであって、

M個の前記MEMSコリオリ流量センサは、単一集積回路上に配置され、Mは、2以上、N以下の整数である、流体送出システム。

[形態7]

形態1に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記MEMSコリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

40

[形態8]

形態7に記載の流体送出システムであって、

前記管は、10 μm から100 μm までの範囲の内径を有し、

前記MEMSコリオリ流量センサは、1000 sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態9]

形態8に記載の流体送出システムであって、

50

前記MEMSコリオリ流量センサは、100sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態10]

形態8に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、10sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態11]

形態7に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、制御回路を含み、前記制御回路は、

前記管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路と、

前記管の振動に応答して信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、

前記信号を受信するように構成した読出し回路と

を含む、流体送出システム。

[形態12]

形態1に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記MEMSコリオリ流量センサは、加速度計を更に含む、流体送出システム。

[形態13]

形態12に記載の流体送出システムであって、

前記加速度計は、前記MEMSコリオリ流量センサの振動を測定するように構成され、

前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記制御器は、前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記MEMSコリオリ流量センサの振動が所定の振動閾値よりも大きい場合、エラー通知を生成するように構成される、流体送出システム。

[形態14]

形態12に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記制御器は、前記加速度計の出力に基づき、前記N個の質量流量制御器の少なくとも1つの前記MEMSコリオリ流量センサの状態を検出するように構成される、流体送出システム。

[形態15]

形態14に記載の流体送出システムであって、

前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つの前記制御器は、前記検出した状態に基づき、前記N個の質量流量制御器の前記少なくとも1つに対する複数の較正の1つを選択するように構成される、流体送出システム。

[形態16]

基板処理システムであって、

形態1に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記流体送出システムは、流体を前記処理室に送出し、前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態17]

基板処理システムであって、

形態1に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記流体送出システムは、流体を前記処理室に送出し、前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態18]

10

20

30

40

50

流体送出システムであって、
ガス源に流体接続される入口を有する第１の弁と、
質量流量制御器と
を備え、
前記質量流量制御器は、

前記第１の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械（ＭＥＭＳ）コリオリ
流量センサと、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置さ
れた基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第２の弁と、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサを加熱する加熱器と、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの温度を感知する温度センサと、
制御器と

を備え、

前記制御器は、前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサと通信し、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも１つ
を決定し、

前記温度が所定の温度閾値よりも低い場合に前記加熱器に前記ＭＥＭＳコリオリ流量
センサを加熱させる
ように構成される、流体送出システム。

[形態１９]

形態１８に記載の流体送出システムであって、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態２０]

形態１９に記載の流体送出システムであって、

前記管は、１０μｍから１００μｍまでの範囲の内径を有し、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、１０００ｓｃｃｍ未満の質量流量を測定する、流
体送出システム。

[形態２１]

形態２０に記載の流体送出システムであって、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、１００ｓｃｃｍ未満の質量流量を測定する、流体
送出システム。

[形態２２]

形態２０に記載の流体送出システムであって、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、１０ｓｃｃｍ未満の質量流量を測定する、流体送
出システム。

[形態２３]

形態１９に記載の流体送出システムであって、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、制御回路を含み、前記制御回路は、

前記管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路と、

前記管の振動に応答して信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、

前記信号を受信するように構成した読出し回路と

を含む、流体送出システム。

[形態２４]

形態１８に記載の流体送出システムであって、

前記質量流量制御器の前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、加速度計を更に含む、流体
送出システム。

[形態２５]

形態２４に記載の流体送出システムであって、

前記加速度計は、前記MEMSコリオリ流量センサの振動を測定するように構成され、
前記質量流量制御器の前記制御器は、前記質量流量制御器の前記MEMSコリオリ流量センサの振動が所定の振動閾値よりも大きい場合にエラー通知を生成するように構成される、流体送出システム。

[形態26]

形態24に記載の流体送出システムであって、

前記質量流量制御器の前記制御器は、前記加速度計の出力に基づき、前記質量流量制御器の前記MEMSコリオリ流量センサの状態を検出するように構成される、流体送出システム。

[形態27]

形態26に記載の流体送出システムであって、

前記質量流量制御器の前記制御器は、前記検出した状態に基づき、前記質量流量制御器に対する複数の較正の1つを選択するように構成される、流体送出システム。

[形態28]

基板処理システムであって、

形態18に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記流体送出システムは、流体を前記処理室に送出し、前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態29]

基板処理システムであって、

形態18に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記流体送出システムは、流体を前記処理室に送出し、前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態30]

流体送出システムであって、

ガス源に流体接続される入口を有する第1の弁と、

質量流量制御器と

を備え、前記質量流量制御器は、

前記第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、

前記MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、

前記MEMSコリオリ流量センサの少なくとも1つのパラメータを検出するセンサと、制御器と

を備え、

前記制御器は、前記センサ及び前記MEMSコリオリ流量センサと通信し、前記MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、前記少なくとも1つのパラメータに基づき、前記MEMSコリオリ流量センサの複数の較正の1つを選択し、前記複数の較正のうち選択した1つを使用して前記MEMSコリオリ流量センサを動作させるように構成される、流体送出システム。

[形態31]

形態30に記載の流体送出システムであって、

前記センサは、加速度計及び振動センサからなる群から選択される、流体送出システム。

[形態32]

形態 30 に記載の流体送出システムであって、

前記センサは、前記 MEMS コリオリ流量センサの前記第 2 の弁を開放する前に前記 MEMS コリオリ流量センサの第 1 のパラメータを検出するように構成され、

前記センサは、前記 MEMS コリオリ流量センサの前記第 2 の弁を開放した後に前記 MEMS コリオリ流量センサの第 2 のパラメータを検出するように構成され、

前記制御器は、前記第 1 のパラメータ及び前記第 2 のパラメータに基づき前記質量流量制御器の動作を診断するように構成される、流体送出システム。

[形態 33]

形態 30 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記 MEMS コリオリ流量センサの前記第 1 の弁が閉鎖位置に命令されると前記 MEMS コリオリ流量センサの複数のパラメータを複数回それぞれ検出し、前記複数のパラメータに基づき前記 MEMS コリオリ流量センサの前記弁の動作を診断するように構成される、流体送出システム。

[形態 34]

形態 33 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記パラメータの間の複数の差を複数回生成するように構成される、流体送出システム。

[形態 35]

形態 34 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記複数の差に基づき前記 MEMS コリオリ流量センサの前記弁の動作を診断するように構成される、流体送出システム。

[形態 36]

形態 30 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態 37]

形態 36 に記載の流体送出システムであって、

前記管は、100 μm から 1000 μm までの範囲の内径を有し、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、1000 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 38]

形態 37 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、100 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 39]

形態 37 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 40]

形態 36 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、制御回路を含み、前記制御回路は、

前記管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路と、

前記管の振動に応答して信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、

前記信号を受信するように構成した読出し回路とを含む、流体送出システム。

[形態 41]

基板処理システムであって、

形態 30 に記載の流体送出システムと、

処理室と、

10

20

30

40

50

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態 4 2]

基板処理システムであって、

形態 3 0 に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

10

[形態 4 3]

形態 3 0 に記載の流体送出システムであって、前記加速度計は、加速度及び振動の少なくとも 1 つを測定する、流体送出システム。

[形態 4 4]

流体送出システムであって、

ガス源に流体接続される入口を有する第 1 の弁と、

質量流量制御器と

を備え、前記質量流量制御器は、

管を含み、前記第 1 の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械 (MEMS) コリオリ流量センサと、

20

前記 MEMS コリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第 2 の弁と、

制御器と

を備え、

前記制御器は、前記 MEMS コリオリ流量センサと通信し、前記 MEMS コリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも 1 つを決定し、前記 MEMS コリオリ流量センサの前記管を振動させ、前記管の共振周波数を検出するように構成される、流体送出システム。

[形態 4 5]

形態 4 4 に記載の流体送出システムであって、

30

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態 4 6]

形態 4 5 に記載の流体送出システムであって、

前記管は、10 μm から 100 μm までの範囲の内径を有し、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、1000 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 4 7]

形態 4 6 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、100 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

40

[形態 4 8]

形態 4 6 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 4 9]

形態 4 4 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、制御回路を含み、前記制御回路は、

前記管を共振周波数で振動させるように構成したアクチュエータ回路と、

前記管の移動に応答して信号を生成するように構成した静電容量式感知回路と、

前記信号を受信するように構成した読出し回路と

50

を含む、流体送出システム。

[形態 5 0]

形態 4 4 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記共振周波数を所定の閾値と比較するように構成される、流体送出システム。

[形態 5 1]

形態 5 0 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記比較に基づき前記 MEMS コリオリ流量センサの動作を選択的に変更するように構成される、流体送出システム。

[形態 5 2]

形態 5 0 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記比較に基づき前記 MEMS コリオリ流量センサを選択的に遮断するように構成される、流体送出システム。

[形態 5 3]

形態 4 4 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、加速度計を含み、前記制御器は、加速度に基づき共振周波数を決定するように構成される、流体送出システム。

[形態 5 4]

基板処理システムであって、

形態 4 4 に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備え、

前記流体送出システムは、前記処理室に流体を送出する、基板処理システム。

[形態 5 5]

形態 5 4 に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態 5 6]

形態 5 4 に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態 5 7]

流体送出システムであって、

ガス源に流体接続される入口を有する第 1 の弁と、

質量流量制御器と

を備え、前記質量流量制御器は、

前記第 1 の弁の出口と流体連通する入口を有し、半導体材料製であり、駆動信号に応答して共振する管を含む微小電気機械 (MEMS) コリオリ流量センサと、

前記 MEMS コリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第 2 の弁と、

制御器と

を備え、

前記制御器は、

前記 MEMS コリオリ流量センサと通信し、

前記管を共振させ、

前記 MEMS コリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも 1 つを決定し、

前記管を駆動させる前記駆動信号を複数回監視し、

前記複数回のうち 1 回の前記駆動信号のパラメータと、前記複数回のうち別の 1 回の前記駆動信号のパラメータとを比較する

ように構成される、流体送出システム。

10

20

30

40

50

〔形態５８〕

形態５７に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記駆動信号に基づき前記管の剛性を推定するように構成される、流体送出システム。

〔形態５９〕

形態５８に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記推定剛性に基づき前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの推定寿命を生成するように構成される、流体送出システム。

〔形態６０〕

形態５９に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの前記推定寿命に基づき、通知を選択的に生成するように構成される、流体送出システム。

〔形態６１〕

形態５７に記載の流体送出システムであって、

前記管は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ から $100\text{ }\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有し、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

〔形態６２〕

形態６１に記載の流体送出システムであって、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

〔形態６３〕

形態６１に記載の流体送出システムであって、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

〔形態６４〕

基板処理システムであって、

形態５７に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備える、基板処理システム。

〔形態６５〕

形態６４に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

〔形態６６〕

形態６４に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

〔形態６７〕

流体送出システムであって、

ガス源に流体接続される入口を有する第１の弁と、

質量流量制御器と

を備え、

前記質量流量制御器は、

前記第１の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械（ＭＥＭＳ）コリオリ流量センサと、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内に配置された基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第２の弁と、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの前記入口で上流圧力を監視する第１の圧力センサと、

前記ＭＥＭＳコリオリ流量センサの前記入口と流体連通する入口、及び前記第２の弁

10

20

30

40

50

の前記出口と流体連通する出口を有するバイパス弁と、
制御器と

を備え、

前記制御器は、

前記MEMSコリオリ流量センサと通信し、

前記MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定し、

前記上流圧力を監視し、前記上流圧力に基づき前記バイパス弁を選択的に制御するように構成される、流体送出システム。

[形態68]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記第2の弁は、オン／オフ弁と、前記オン／オフ弁の出口と流体連通する制限オリフィスを含む、流体送出システム。

[形態69]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記第2の弁は、可変弁を含む、流体送出システム。

[形態70]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、上流圧力を所定の圧力閾値と比較し、前記圧力が前記所定の圧力閾値よりも大きい場合に前記バイパス弁を開放させるように構成される、流体送出システム。

[形態71]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記MEMSコリオリ流量センサを流れる複数のガスのうち選択した1つに基づき複数の所定の圧力閾値の1つをそれぞれ選択し、前記上流圧力が前記複数の所定の圧力のうち選択した1つよりも大きい場合に前記バイパス弁を開放させるように構成される、流体送出システム。

[形態72]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記流体送出システムは、前記第2の弁の出口で下流圧力を感知する第2の圧力センサを更に備え、前記制御器は、前記MEMSコリオリ流量センサが決定した前記質量流量及び前記下流圧力に基づき合計質量流量を決定するように構成される、流体送出システム。

[形態73]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記第2の弁は、可変弁を含み、前記流体送出システムは、前記第2の弁の出口で下流圧力を感知する第2の圧力センサを更に備え、前記制御器は、前記MEMSコリオリ流量センサが決定した前記質量流量、前記第2の弁の位置及び前記下流圧力に基づき合計質量流量を決定するように構成される、流体送出システム。

[形態74]

形態67に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記MEMSコリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態75]

形態74に記載の流体送出システムであって、

前記管は、10 μm から100 μm までの範囲の内径を有し、

前記MEMSコリオリ流量センサは、1000 sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態76]

形態75に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、100 sccm未満の質量流量を測定する、流体

10

20

30

40

50

送出システム。

[形態 77]

形態 75 に記載の流体送出システムであって、

前記 MEMS コリオリ流量センサは、10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 78]

基板処理システムであって、

形態 67 に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備える、基板処理システム。

10

[形態 79]

形態 78 に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態 80]

形態 78 に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態 81]

基板処理システムであって、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体と、ガス混合物を前記処理室に送出する第 1 のガス送出システムと、第 2 のガス送出システムと

20

を備え、

前記第 2 のガス送出システムは、

ガス源に流体接続される第 1 の弁と、

質量流量制御器と

を含み、

前記質量流量制御器は、

前記第 1 の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械 (MEMS) コリオリ流量センサと、

30

前記 MEMS コリオリ流量センサと流体連通する入口、及び流体を前記処理室に供給する出口を含む第 2 の弁と

を含み、

前記 MEMS コリオリ流量センサ及び前記第 2 の弁の前記出口は、前記処理室の所定の距離内に位置し、前記所定の距離は、10 インチ以下である、基板処理システム。

[形態 82]

形態 81 に記載の基板処理システムであって、

前記第 1 のガス送出システムは、

入口が N 個のガス源にそれぞれ流体接続される N 個の第 1 の弁であって、N は、0 よりも大きな整数である、N 個の第 1 の弁と、

40

N 個の質量流量制御器と

を含み、前記 N 個の質量流量制御器は、

前記 N 個の弁の対応する 1 つの出口と流体連通する入口を有する微小電気機械 (MEMS) コリオリ流量センサと、

前記 MEMS コリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び前記処理室と連通する出口を有する第 2 の弁と、

制御器と

を備え、

前記制御器は、前記 MEMS 流量センサと通信し、前記 MEMS コリオリ流量センサを

50

流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定するように構成される、基板処理システム。

[形態83]

形態81に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、前記MEMSコリオリ流量センサは、測定中、前記管を共振周波数で振動させる、基板処理システム。

[形態84]

形態83に記載の基板処理システムであって、

前記管は、半導体材料製である、基板処理システム。

[形態85]

形態83に記載の基板処理システムであって、

前記管は、10 μm から100 μm までの範囲の内径を有する、基板処理システム。

[形態86]

形態85に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、1000 sccm未満の質量流量を測定する、基板処理システム。

[形態87]

形態85に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、100 sccm未満の質量流量を測定する、基板処理システム。

[形態88]

形態85に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、10 sccm未満の質量流量を測定する、基板処理システム。

[形態89]

形態81に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態90]

形態81に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態91]

形態81に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記MEMSコリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製であり、

前記管は、10 μm から100 μm までの範囲の内径を有し、

前記MEMSコリオリ流量センサは、1000 sccm未満の質量流量を測定する、基板処理システム。

[形態92]

形態90に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、100 sccm未満の質量流量を測定する、基板処理システム。

[形態93]

形態90に記載の基板処理システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、10 sccm未満の質量流量を測定する、基板処理システム。

[形態94]

形態81に記載の基板処理システムであって、

前記基板処理システムは、エッチング及び堆積からなる群から選択される処理を実施する、基板処理システム。

10

20

30

40

50

〔形態 9 5〕

流体送出システムであって、
ガス源に流体接続される入口を有する第 1 の弁と、
質量流量制御器と

を備え、

前記質量流量制御器は、

入口、出口、及び前記入口と前記出口との間の共振管を含む微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサと、

前記 MEMS コリオリ流量センサの前記出口と流体連通する入口、及び処理室内の基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第 2 の弁と、

前記共振管の入口で第 1 の圧力を感知する第 1 の圧力センサと、

前記共振管の出口で第 2 の圧力を感知する第 2 の圧力センサと、

前記共振管の前記入口で流体の第 1 の温度を感知する第 1 の温度センサと、

前記共振管の前記出口で流体の第 2 の温度を感知する第 2 の温度センサと、

制御器と

を備え、

前記制御器は、

前記 MEMS コリオリ流量センサと通信し、

前記 MEMS コリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも 1 つを決定し、

前記質量流量、前記第 1 の温度、前記第 2 の温度、前記第 1 の圧力及び前記第 2 の圧力に基づき前記流体の圧縮率を計算するように構成される、流体送出システム。

〔形態 9 6〕

形態 9 5 に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記第 2 の温度と前記第 1 の温度との間の温度差、及び前記第 2 の圧力と前記第 1 の圧力との間の圧力差を計算するように構成される、流体送出システム。

〔形態 9 7〕

形態 9 6 に記載の流体送出システムであって、

前記流体の圧縮率は、前記質量流量、前記温度差及び前記圧力差に基づく、流体送出システム。

〔形態 9 8〕

形態 9 5 に記載の流体送出システムであって、

前記流体送出システムは、上流流量制御デバイスを更に備え、

前記制御器は、前記上流流量制御デバイスに前記圧縮率を出力する、流体送出システム。

〔形態 9 9〕

形態 9 8 に記載の流体送出システムであって、

前記上流流量制御デバイスに対して、前記圧縮率に基づき、前記上流流量制御デバイスの較正、前記上流流量制御デバイスの診断、及び前記上流流量制御デバイスの動作の調節の少なくとも 1 つが実施される、流体送出システム。

〔形態 1 0 0〕

形態 9 5 に記載の流体送出システムであって、

前記流体送出システムは、下流流量制御デバイスを更に備え、

前記制御器は、前記下流流量制御デバイスに前記圧縮率を出力する、流体送出システム。

〔形態 1 0 1〕

形態 1 0 0 に記載の流体送出システムであって、

前記下流流量制御デバイスに対して、前記圧縮率に基づき、前記下流流量制御デバイスの較正、前記下流流量制御デバイスの診断、及び前記下流流量制御デバイスの動作の調節の少なくとも 1 つが実施される、流体送出システム。

〔形態 1 0 2〕

形態 9 5 に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、
前記MEMSコリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、
前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態103]

形態102に記載の流体送出システムであって、
前記管は、10 μ mから100 μ mまでの範囲の内径を有し、
前記MEMSコリオリ流量センサは、1000sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態104]

形態95に記載の流体送出システムであって、
前記MEMSコリオリ流量センサは、100sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態105]

形態95に記載の流体送出システムであって、
前記MEMSコリオリ流量センサは、10sccm未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態106]

基板処理システムであって、
形態95に記載の流体送出システムと、
処理室と、
基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体と
を備える、基板処理システム。

[形態107]

形態106に記載の基板処理システムであって、
前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態108]

形態106に記載の基板処理システムであって、
前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態109]

流体送出システムであって、
入口がN個のガス源にそれぞれ流体接続されるN個の第1の弁であって、Nは、0よりも大きな整数である、N個の第1の弁と、
質量流量制御器と
を備え、

前記質量流量制御器は、
前記N個の第1の弁の出口と流体連通する入口を有する微小電気機械(MEMS)コリオリ流量センサと、

前記MEMSコリオリ流量センサの出口と流体連通する入口、及び処理室内の基板を処理するため、流体を供給する出口を有する第2の弁と、

制御器と
を備え、

前記制御器は、
前記MEMSコリオリ流量センサと通信し、
前記N個の第1の弁の1つを選択し、前記N個の第1の弁の選択した1つを開放し、
前記N個の弁の選択した1つから前記MEMSコリオリ流量センサを流れる流体の質量流量及び密度の少なくとも1つを決定するように構成される、流体送出システム。

[形態110]

形態109に記載の流体送出システムであって、
前記流体送出システムは、
前記N個の第1の弁の前記出口に接続される第3の弁

を更に備え、

前記N個の第1の弁の閉鎖後、及び前記N個の第1の弁の選択した1つの開放前、前記制御器は、前記第3の弁を開放し、前記N個の第1の弁の前記出口と前記MEMSコリオリ流量センサの前記入口との間の分量を除去するように構成される、流体送出システム。

[形態111]

形態109に記載の流体送出システムであって、

前記質量流量制御器のそれぞれは、

前記第2の弁の前記出口に流体接続される高精度オリフィスと、

前記第2の弁の前記出口と前記質量流量制御器の前記高精度オリフィスの入口との間の圧力を感知する圧力センサと

を更に備える、流体送出システム。

[形態112]

形態111に記載の流体送出システムであって、

前記制御器は、前記質量流量制御器の前記圧力センサが感知した圧力に基づき流量検証を実施するように構成される、流体送出システム。

[形態113]

形態111に記載の流体送出システムであって、

前記N個の第1の弁の閉鎖後、及び前記N個の第1の弁の選択した1つの開放前、前記制御器は、前記質量流量制御器の前記圧力センサが感知した圧力に基づき弁の漏出を検出するように構成される、流体送出システム。

[形態114]

形態109に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記MEMSコリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態115]

形態114に記載の流体送出システムであって、

前記管は、10 μm から100 μm までの範囲の内径を有し、

前記MEMSコリオリ流量センサは、1000 s c c m未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態116]

形態115に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、100 s c c m未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態117]

形態115に記載の流体送出システムであって、

前記MEMSコリオリ流量センサは、10 s c c m未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態118]

基板処理システムであって、

形態109に記載の流体送出システムと、

処理室と、

基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体とを備える、基板処理システム。

[形態119]

形態118に記載の基板処理システムであって、前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態120]

形態118に記載の基板処理システムであって、前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

10

20

30

40

50

〔形態 1 2 1〕

流体送出システムであって、
弁ブロック
を備え、
前記弁ブロックは、
前記弁ブロックの第 1 の入口を前記第 1 の弁の入口に流体接続する第 1 の通路と、
前記第 1 の弁の出口を前記弁ブロックの第 1 の出口に流体接続する多岐管と、
第 2 の弁の出口を前記弁ブロックの第 2 の出口に流体接続する第 2 の通路と、
前記弁ブロックの第 2 の入口を前記第 2 の弁の入口に流体接続する第 3 の通路と、
入口及び出口を有する共振管を含む微小電気機械（MEMS）コリオリ流量センサと、
半導体材料製であり、前記弁ブロックと前記 MEMS コリオリ流量センサとの間に配置される介挿体と
を含む、流体送出システム。

10

〔形態 1 2 2〕

形態 1 2 1 に記載の流体送出システムであって、
前記介挿体は、前記弁ブロックの前記第 1 の出口を前記 MEMS の前記入口に流体接続する第 1 の通路と、前記 MEMS コリオリ流量センサの前記出口を前記弁ブロックの前記第 2 の入口に流体接続する第 2 の通路とを含む、流体送出システム。

〔形態 1 2 3〕

形態 1 2 2 に記載の流体送出システムであって、
前記弁ブロックに隣接して位置する前記介挿体の前記第 1 の通路の第 1 の領域は、前記 MEMS コリオリ流量センサに隣接して位置する前記第 1 の通路の第 2 の領域よりも大きく、
前記弁ブロックに隣接して位置する前記介挿体の前記第 2 の通路の第 3 の領域は、前記 MEMS コリオリ流量センサに隣接して位置する前記第 1 の通路の第 4 の領域よりも大きい、流体送出システム。

20

〔形態 1 2 4〕

形態 1 2 1 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、
前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

30

〔形態 1 2 5〕

形態 1 2 4 に記載の流体送出システムであって、
前記管は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ から $100\text{ }\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有し、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

〔形態 1 2 6〕

形態 1 2 5 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

40

〔形態 1 2 7〕

形態 1 2 5 に記載の流体送出システムであって、
前記 MEMS コリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

〔形態 1 2 8〕

基板処理システムであって、
形態 1 2 1 に記載の流体送出システムと、
前記弁ブロックの前記第 2 の出口と流体連通する処理室と、
処理中、基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体と
を備える、基板処理システム。

50

[形態 1 2 9]

形態 1 2 8 に記載の基板処理システムであって、
前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態 1 3 0]

形態 1 2 8 に記載の基板処理システムであって、
前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態 1 3 1]

流体送出システムであって、
弁ブロックであって、

T 及び N が 2 以上の整数である、T 個の群の N 個の入口通路、

前記 T 個の群の N 個の入口通路と流体連通する T 個の群の N 個の入口弁、

前記 T 個の群の N 個の入口弁の出口と流体連通する T 個の群の N 個の出口通路であって、前記 T 個の群の N 個の出口通路は、T 個の節点でそれぞれ接続する、T 個の群の N 個の出口通路、

前記 T 個の節点に流体接続される T 個の入口通路、

T 個の出口弁、並びに

前記 T 個の出口弁の入口に流体接続される T 個の出口通路

を含む、弁ブロックと、

入口及び出口をそれぞれ含む T 個の微小電気機械 (MEMS) コリオリ流量センサと、

半導体材料製であり、前記弁ブロックと前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサとの間に配置される介挿体と
を備える、流体送出システム。

[形態 1 3 2]

形態 1 3 1 に記載の流体送出システムであって、

前記介挿体は、T 個の入口通路を含み、前記 T 個の入口通路は、前記弁ブロックに隣接して位置する第 1 の断面領域、及び前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサに隣接して位置する第 2 の断面領域をそれぞれ有し、前記第 1 の断面領域は、前記第 2 の断面領域よりも大きい、流体送出システム。

[形態 1 3 3]

形態 1 3 2 に記載の流体送出システムであって、

前記介挿体は、T 個の出口通路を更に備え、前記 T 個の出口通路は、前記弁ブロックに隣接して位置する第 1 の断面領域、及び前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサに隣接して位置する第 2 の断面領域をそれぞれ有する、流体送出システム。

[形態 1 3 4]

形態 1 3 2 に記載の流体送出システムであって、

前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサの 2 つ以上は、単一集積回路上に実装される、流体送出システム。

[形態 1 3 5]

形態 1 3 2 に記載の流体送出システムであって、

前記 T 個の入口通路及び前記 T 個の出口通路は、単一平面内に延在する、流体送出システム。

[形態 1 3 6]

形態 1 3 2 に記載の流体送出システムであって、

前記 T 個の入口通路及び前記 T 個の出口通路は、2 つ以上の平面内に延在する、流体送出システム。

[形態 1 3 7]

形態 1 3 2 に記載の流体送出システムであって、

前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、

前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、

前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

10

20

30

40

50

[形態 138]

形態 137 に記載の流体送出システムであって、
前記管は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ から $100\text{ }\mu\text{m}$ までの範囲の内径を有し、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、 1000 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 139]

形態 138 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、 100 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 140]

形態 138 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、 10 sccm 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 141]

基板処理システムであって、
形態 132 に記載の流体送出システムと、
前記流体送出システムが流体を送出する処理室と、
基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体と
を備える、基板処理システム。

[形態 142]

形態 132 に記載の基板処理システムであって、
前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態 143]

形態 132 に記載の基板処理システムであって、
前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

[形態 144]

流体送出システムであって、
弁ブロックであって、前記弁ブロックは、
T 及び N が 2 以上の整数である、T 個の群の N 個の入口通路、
前記 T 個の群の N 個の入口通路と流体連通する T 個の群の N 個の入口弁、
前記 T 個の群の N 個の入口弁の出口と流体連通する T 個の群の N 個の出口通路
を含む、弁ブロックと、
入口及び出口をそれぞれ含む T 個の微小電気機械 (MEMS) コリオリ流量センサと、
半導体材料製であり、前記弁ブロックと前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサとの間に配置される介挿体と
を備え、前記介挿体は、

T 個の第 1 の節点及び T 個の第 1 の通路に接続される T 個の群の N 個の入口通路であって、前記 T 個の第 1 の通路は、前記 T 個の第 1 の節点を前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサの入口にそれぞれ流体接続する、T 個の群の N 個の入口通路と、

T 個の第 2 の節点及び T 個の第 2 の通路に接続される T 個の群の N 個の出口通路であって、前記 T 個の第 2 の通路は、前記 T 個の第 2 の節点を前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサの出口にそれぞれ流体接続する、T 個の群の N 個の出口通路とを含む、流体送出システム。

[形態 145]

形態 144 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の群の N 個の入口通路及び前記 T 個の群の N 個の出口通路は、前記弁ブロックに隣接する第 1 の断面領域を有し、前記 T 個の第 1 の通路及び T 個の前記第 2 の通路は、前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサに隣接する第 2 の断面領域をそれぞれ有し、前記第 1 の断面領域は、前記第 2 の断面領域よりも大きい、流体送出システム。

[形態 146]

形態 1 4 4 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサの 2 つ以上は、単一集積回路上に実装される、
流体送出システム。

[形態 1 4 7]

形態 1 4 4 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の群の入口通路及び前記 T 個の群の出口通路は、単一平面内に配置される、流体送出システム。

[形態 1 4 8]

形態 1 4 4 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の入口通路及び前記 T 個の出口通路は、2 つ以上の平面内に配置される、流体送出システム。

10

[形態 1 4 9]

形態 1 4 4 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、流体が中を流れる管を含み、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、測定中に前記管を共振周波数で振動させ、
前記管は、半導体材料製である、流体送出システム。

[形態 1 5 0]

形態 1 4 9 に記載の流体送出システムであって、
前記管は、1 0 μ m から 1 0 0 μ m までの範囲の内径を有し、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、1 0 0 0 s c c m 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

20

[形態 1 5 1]

形態 1 4 4 に記載の流体送出システムであって、
前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、1 0 0 s c c m 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 1 5 2]

形態 1 4 4 に記載の流体送出システムであって、前記 T 個の MEMS コリオリ流量センサは、1 0 s c c m 未満の質量流量を測定する、流体送出システム。

[形態 1 5 3]

基板処理システムであって、
形態 1 5 1 に記載の流体送出システムと、
前記流体送出システムが流体を送出する処理室と、
基板を支持するように前記処理室内に配置された基板支持体と
を備える、基板処理システム。

30

[形態 1 5 4]

形態 1 5 3 に記載の基板処理システムであって、前記基板処理システムは、エッチングを実施する、基板処理システム。

[形態 1 5 5]

形態 1 5 3 に記載の基板処理システムであって、前記基板処理システムは、堆積を実施する、基板処理システム。

40

【図面】
【図 1】

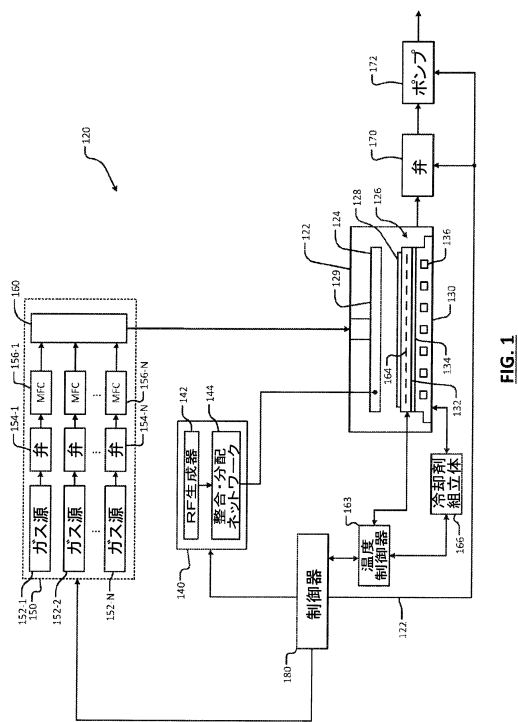


FIG. 1

【図 2 A】

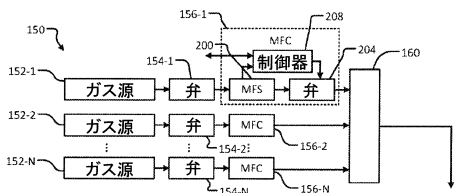


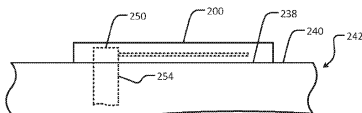
FIG. 2A

10

20

【図 2 B】

FIG. 2B



【図 2 C】

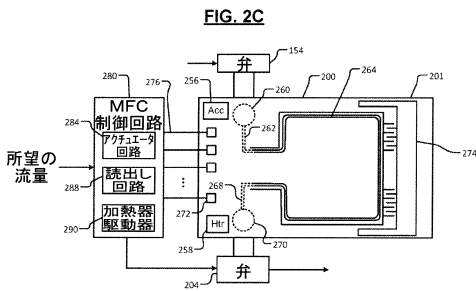


FIG. 2C

30

40

50

【図 3】

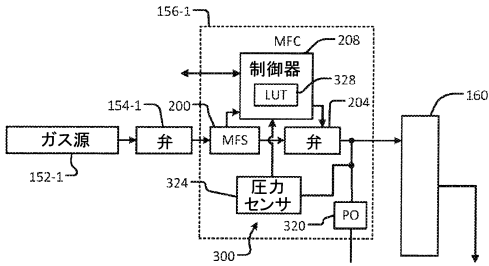


FIG. 3

【図 4】

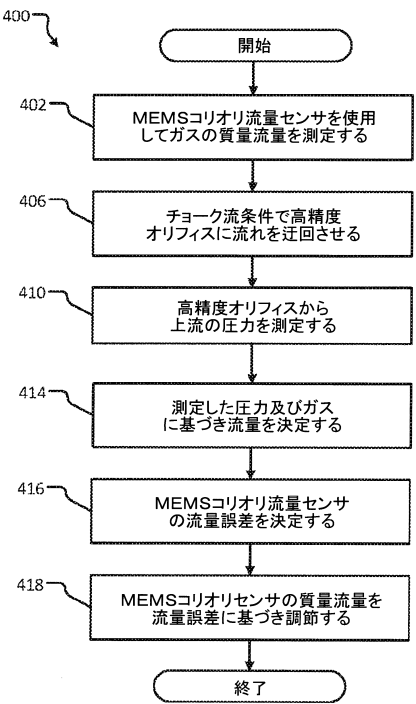


FIG. 4

【図 5】

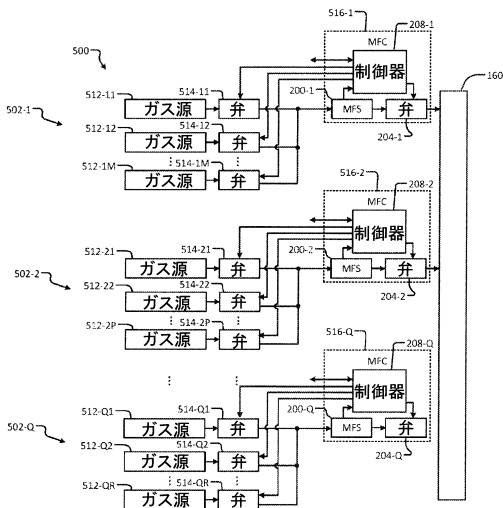


FIG. 5

【図 6】

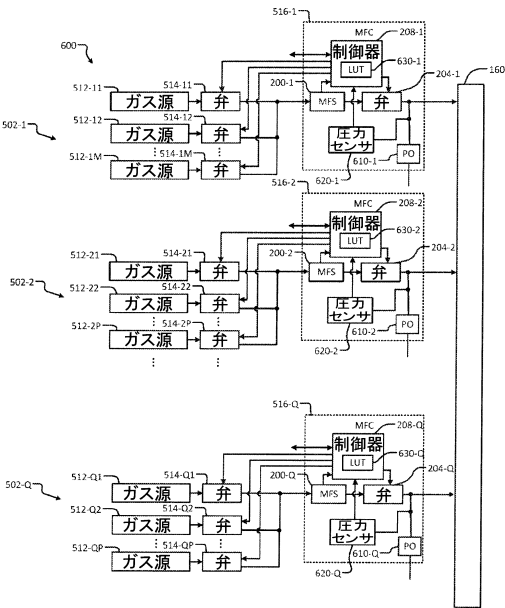


FIG. 6

【図 7】

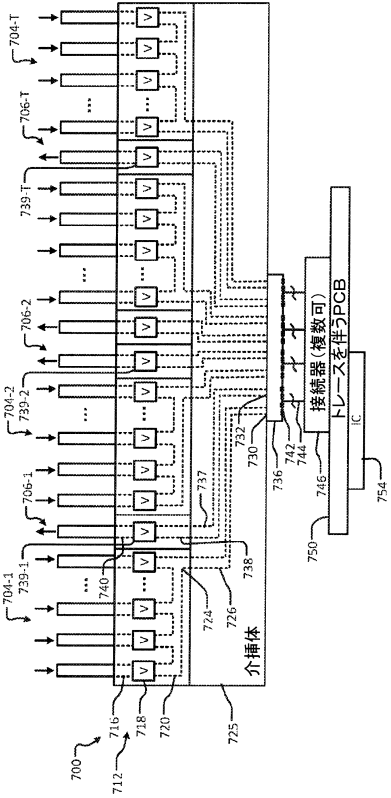


FIG. 7

【図 8 A】

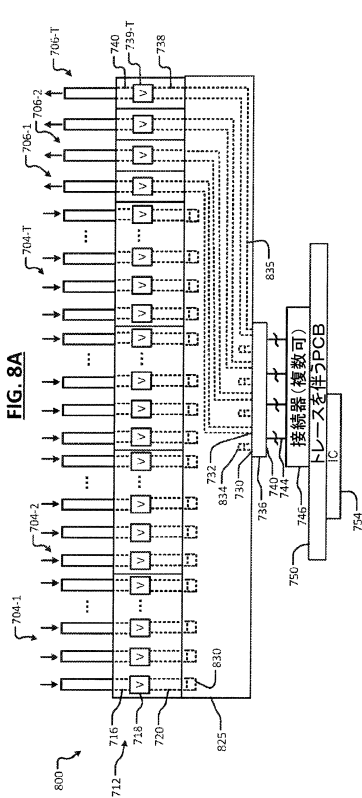


FIG. 8A

【図 8 B】

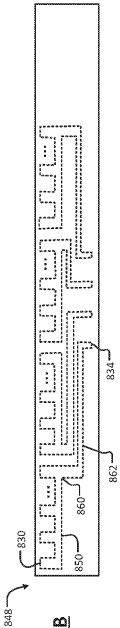


FIG. 8B

【図 8 C】

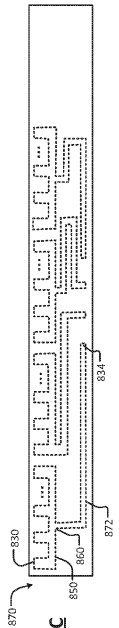


FIG. 8C

10

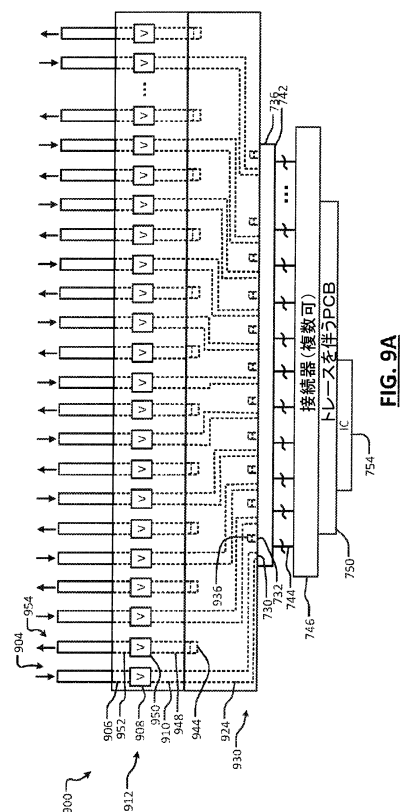
20

30

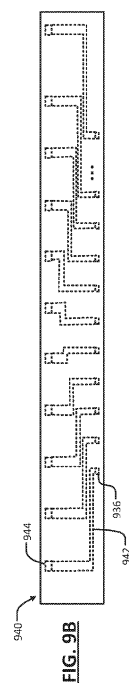
40

50

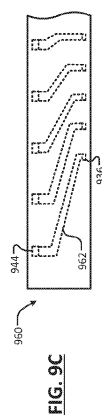
【図 9 A】



【図 9 B】



【図 9 C】



【図 10】

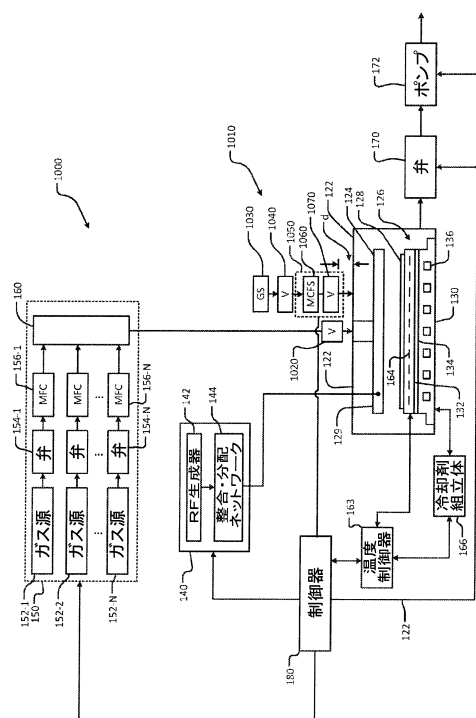
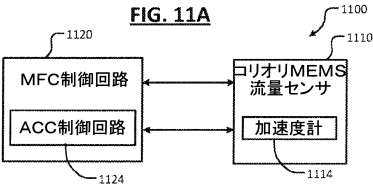


FIG. 10

【図 1 1 A】



【図 1 1 B】

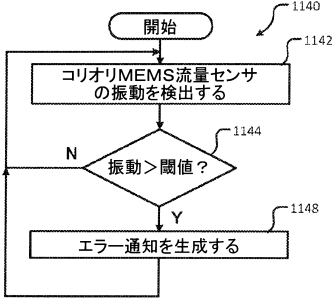
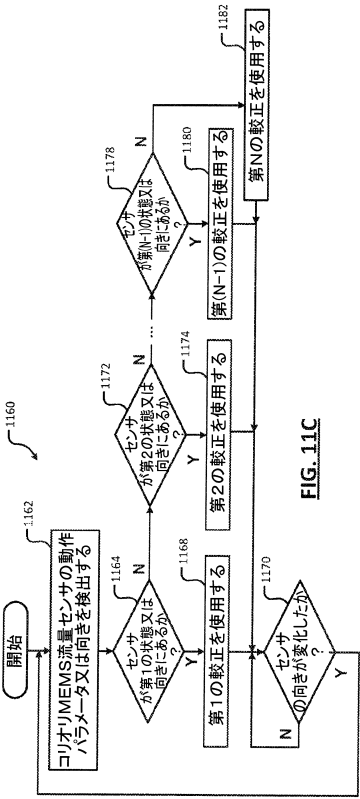
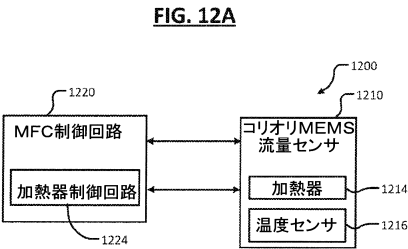


FIG. 11B

【図 1 1 C】



【図 1 2 A】



10

20

30

40

50

【図 1 2 B】

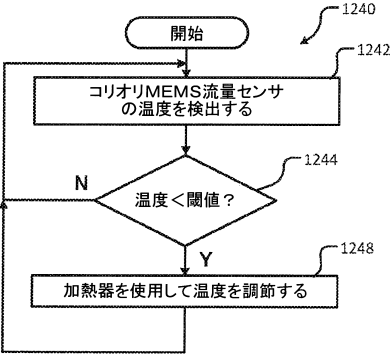


FIG. 12B

【図 1 3】

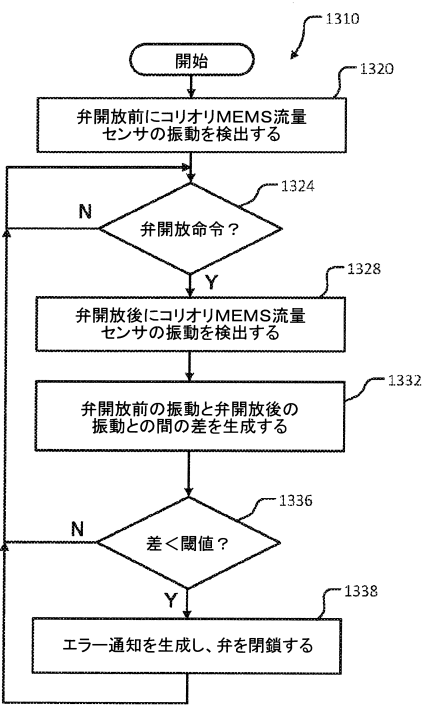


FIG. 13

【図 1 4】

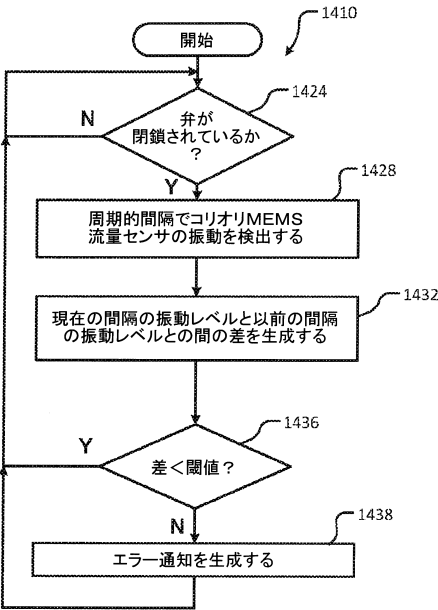


FIG. 14

【図 1 5】

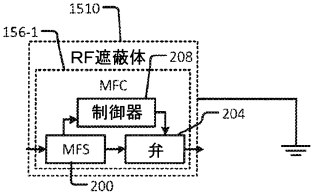


FIG. 15

10

20

30

40

50

【図 1 6 A】

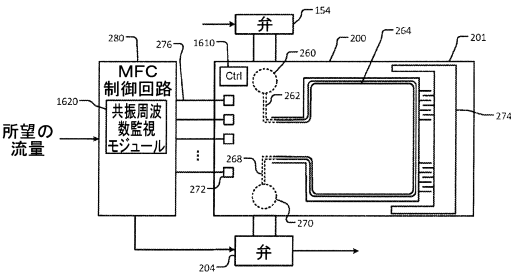


FIG. 16A

【図 1 6 B】

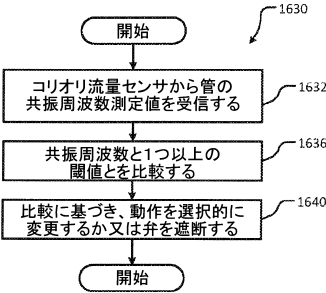


FIG. 16B

【図 1 7】

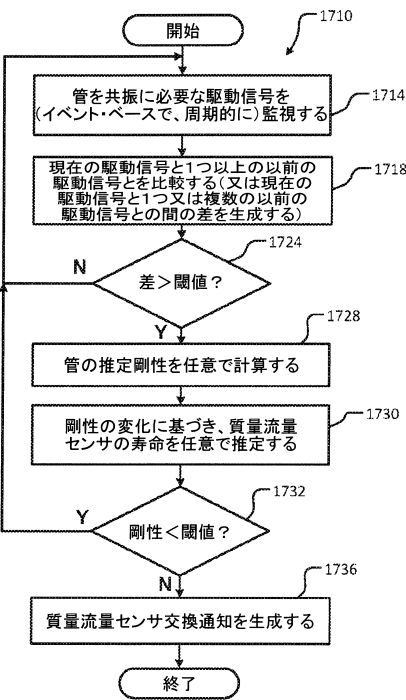


FIG. 17

【図 1 8 A】

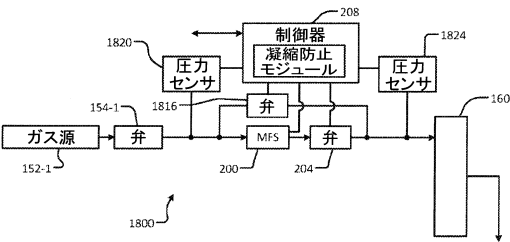


FIG. 18A

10

20

30

40

50

【図 1 8 B】

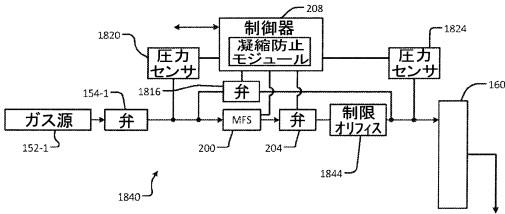


FIG. 18B

【図 1 8 C】

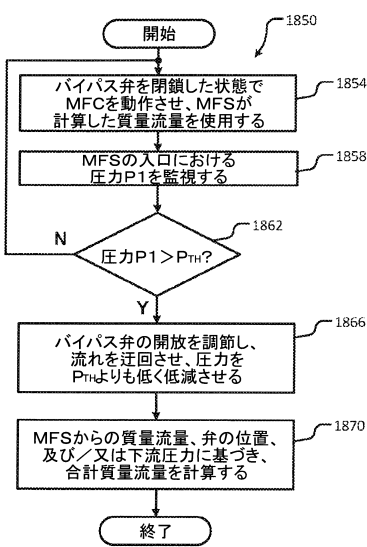


FIG. 18C

【図 1 9】

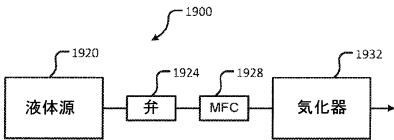


FIG. 19

【図 2 0 A】

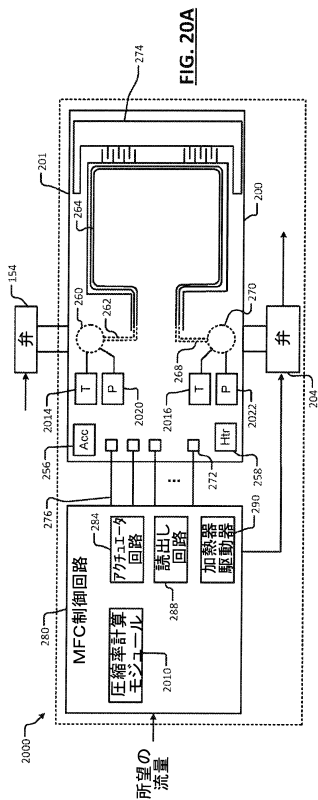


FIG. 20A

10

20

30

40

50

【図 2 0 B】

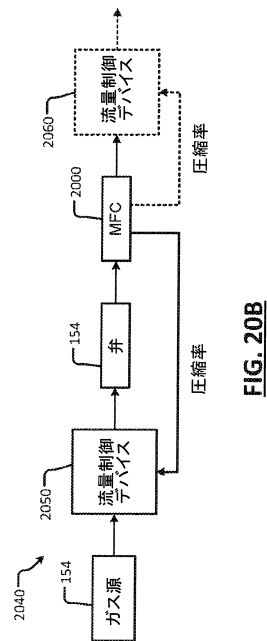


FIG. 20B

【図 2 0 C】

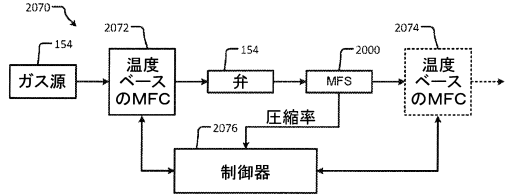


FIG. 20C

10

20

【図 2 0 D】

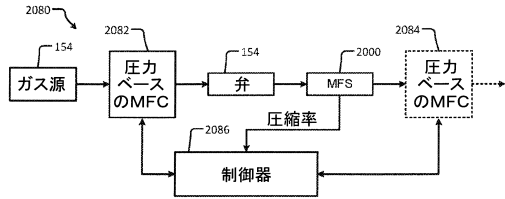


FIG. 20D

【図 2 1 A】

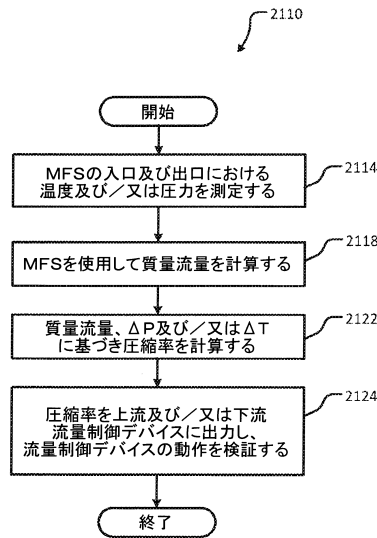


FIG. 21A

30

40

50

【図 2 1 B】

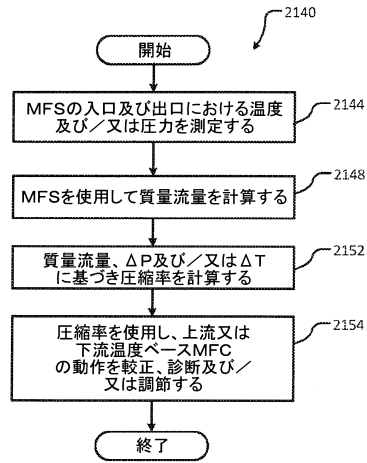


FIG. 21B

【図 2 1 C】

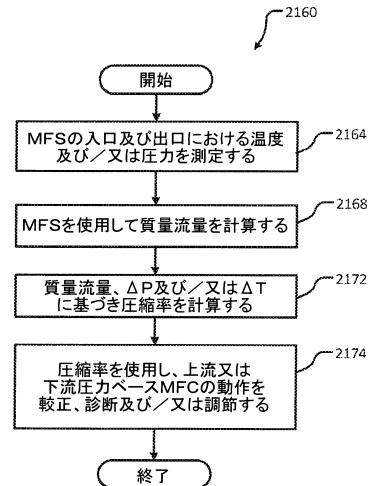


FIG. 21C

【図 2 2】

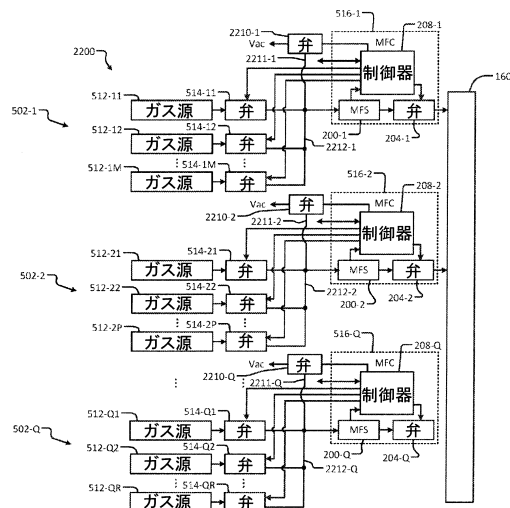


FIG. 22

【図 2 3】

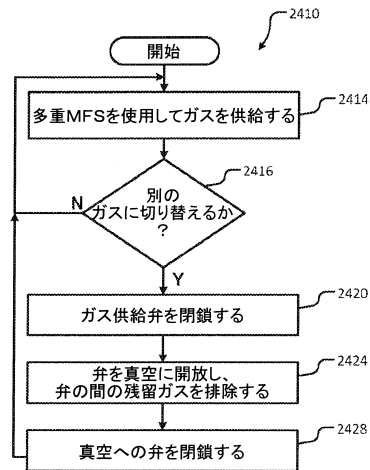


FIG. 23

【図 2 4】

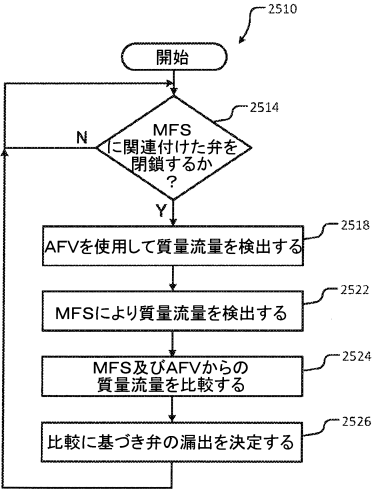


FIG. 24

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

120 サン・ホセ, パソ・ロス・セリトス, 6067

(72)発明者 ドーアティ・ジョン・イー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州94539 フレモント, ブラックフット・ドライブ, 1809

審査官 岩▲崎▼ 優

(56)参考文献

特表2004-517396 (JP, A)

国際公開第2017/123089 (WO, A1)

特表2008-529033 (JP, A)

特開2014-089205 (JP, A)

特開平11-051953 (JP, A)

特開2017-036493 (JP, A)

特表2010-533837 (JP, A)

特表2008-528968 (JP, A)

米国特許出願公開第2002/0083984 (US, A1)

米国特許出願公開第2007/0151335 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G05D 7/00 - 7/06

G01F 1/00 - 1/90