(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2024-122352
(P2024-122352A)
(43)公開日　令和6年9月9日(2024.9.9)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
G05D 21/00 (2006.01)		G05D	21/00	A	5F157
G05B 11/36 (2006.01)		G05B	11/36	N	5H004
G05B 17/02 (2006.01)		G05B	17/02		5H309
H01L 21/304 (2006.01)		H01L	21/304	651H	
		H01L	21/304	648G	

審査請求　未請求　請求項の数　6　ＯＬ　（全13頁）

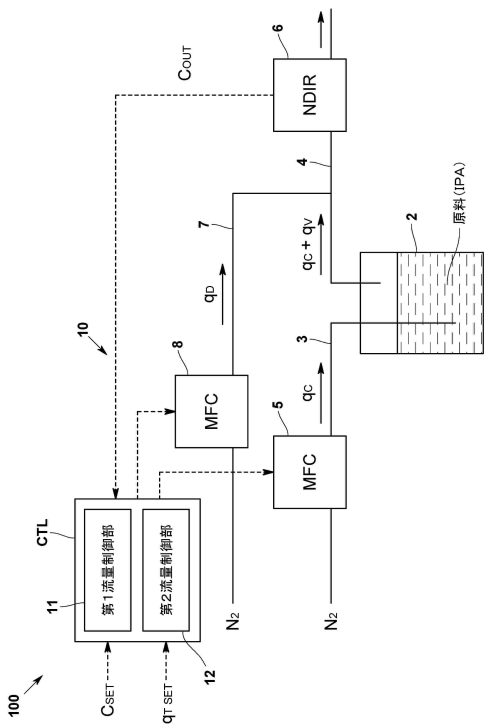
(21)出願番号　特願2023-29849(P2023-29849)
(22)出願日　令和5年2月28日(2023.2.28)

(71)出願人　000127961
株式会社堀場エステック
京都府京都市南区上鳥羽鉾立町１１番地５
(74)代理人　100121441
弁理士　西村 竜平
(74)代理人　100154704
弁理士　齊藤 真大
(74)代理人　100206151
弁理士　中村 惇志
(74)代理人　100218187
弁理士　前田 治子
(74)代理人　100227673
弁理士　福田 光起
(72)発明者　瀧尻 興太郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　濃度制御装置、原料気化システム、濃度制御方法及び濃度制御プログラム

(57)【要約】
【課題】高速かつオーバーシュートを抑えた濃度制御を可能とする。
【解決手段】気化タンク２内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システム１００に用いられる濃度制御装置１０であって、キャリアガスの流量を制御する流量制御機器５と、原料ガスの濃度を測定する濃度測定部６と、原料ガスの目標濃度値と濃度測定部６の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により流量制御機器５に入力する流量操作量を制御する流量制御部１１とを備える。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
気化タンク内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システムに用いられる濃度制御装置であって、
前記キャリアガスの流量を制御する流量制御機器と、
前記原料ガスの濃度を測定する濃度測定部と、
前記原料ガスの目標濃度値と前記濃度測定部の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により前記流量制御機器に入力する流量操作量を制御する流量制御部とを備える、濃度制御装置。
【請求項２】
前記流量制御部は、前記モデル予測制御の予測モデルとして、前記原料ガス導出路に設けられた前記濃度測定部への到達時間に基づいたむだ時間を含むモデルを用いるものである、請求項１に記載の濃度制御装置。
【請求項３】
前記流量制御部は、前記モデル予測制御の予測モデルに含まれるシステムの時定数よりも前記原料ガスの濃度に関する参照軌道の時定数を遅くしている、請求項１又は２に記載の濃度制御装置。
【請求項４】
液体又は固体の原料が収容される気化タンクと、
前記気化タンクにキャリアガスを供給するキャリアガス供給路と、
前記気化タンクから前記原料が気化した原料ガスを導出する原料ガス導出路と、
請求項１乃至３の何れか一項に記載の濃度制御装置とを備える、原料気化システム。
【請求項５】
気化タンク内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システムに用いられる濃度制御方法であって、
前記キャリアガスの流量を流量制御機器により制御し、
前記原料ガスの濃度を濃度測定部により測定し、
前記原料ガスの目標濃度値と前記濃度測定部の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により前記流量制御機器に入力する流量操作量を制御する、濃度制御方法。
【請求項６】
気化タンク内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システムにおいて前記原料ガスの濃度を制御するものであり、前記キャリアガスの流量を制御する流量制御機器と、前記原料ガスの濃度を測定する濃度測定部とを備える濃度制御装置に用いられる濃度温度制御プログラムであって、
前記原料ガスの目標濃度値と前記濃度測定部の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により前記流量制御機器に入力する流量操作量を制御する流量制御部としての機能をコンピュータに備えさせる、濃度制御プログラム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、濃度制御装置、原料気化システム、濃度制御方法及び濃度制御プログラムに関するものである。
【背景技術】
【０００２】
半導体製造プロセスの洗浄工程では、ウエハの乾燥時に発生するウォーターマークの低減が課題となっている。また、乾燥工程では、イソプロピルアルコール（ＩＰＡ）を窒素などのキャリアガスとともにウエハに吹き付けて乾燥させており、近年ではその濃度管理

が重要となっている。また、濃度管理には、原料が収容された気化タンクの温度や窒素などのキャリアガスの流量を一定に制御しているが、プロセスの再現性の要求の高まりから、リアルタイムな濃度の管理が重要となっている。

【０００３】

ここで、従来の原料気化システムでは、特許文献１に示すように、例えば非分散赤外吸収分光法（ＮＤＩＲ）を用いた分析計によってＩＰＡの濃度を測定し、ＰＩＤ制御によりキャリアガスの流量を制御するものが考えられている。

【０００４】

しかしながら、配管中のガス置換による応答のむだ時間などにより、所望の応答時間を満たすためのＰＩＤの調整が必要であり、実現可能な応答性能の判断が難しく、ＰＩＤの調整工数などの増加が問題となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特許第４０３４３４４号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

そこで、本発明は上述した問題を解決すべくなされたものであり、応答性能を向上しつつ制御パラメータの調整工数を削減することを課題とするものである。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

すなわち、本発明に係る濃度制御装置は、気化タンク内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システムに用いられる濃度制御装置であって、前記キャリアガスの流量を制御する流量制御機器と、前記原料ガスの濃度を測定する濃度測定部と、前記原料ガスの目標濃度値と前記濃度測定部の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により前記流量制御機器に入力する流量操作量を制御する流量制御部とを備えることを特徴とする。

【０００８】

このような濃度制御装置であれば、モデル予測制御により流量制御機器に入力する流量操作量を制御しているので、従来のＰＩＤ制御に比べて、応答性能を向上させることができる。また、モデル予測制御では、１回の制御対象の同定実験を行えば良く、ＰＩＤ制御におけるパラメータの最適化が不要となり、大幅に調整工数を短縮することができる。

【０００９】

前記流量制御部は、前記モデル予測制御の予測モデルとして、前記原料ガス導出路に設けられた前記濃度測定部への到達時間に基づいたむだ時間を含むモデルを用いるものであることが望ましい。

この構成であれば、原料ガス導出路のガス置換による応答のむだ時間を考慮したモデル予測制御により、高速かつオーバーシュートを抑えた濃度制御が可能となる。

【００１０】

前記流量制御部は、前記モデル予測制御の予測モデルに含まれるシステムの時定数よりも前記原料ガスの濃度に関する参照軌道の時定数を遅くしていることが望ましい。

この構成であれば、参照軌道の時定数を制御対象の時定数よりも遅くているので、参照軌道に対して制御対象の予測軌道を一致させるように流量操作量を制御することができる。

【００１１】

また、本発明に係る原料気化システムは、液体又は固体の原料が収容される気化タンクと、前記気化タンクにキャリアガスを供給するキャリアガス供給路と、前記気化タンクから前記原料が気化した原料ガスを導出する原料ガス導出路と、上述した濃度制御装置とを備えることを特徴とする。

【００１２】
　また、本発明に係る濃度制御方法は、気化タンク内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システムに用いられる濃度制御方法であって、前記キャリアガスの流量を流量制御機器により制御し、前記原料ガスの濃度を濃度測定部により測定し、前記原料ガスの目標濃度値と前記濃度測定部の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により前記流量制御機器に入力する流量操作量を制御することを特徴とする。
【００１３】
　さらに、本発明に係る濃度制御プログラムは、気化タンク内に収容された液体又は固体の原料にキャリアガスを導入して気化し、それによって生じた原料ガスを供給する原料気化システムにおいて前記原料ガスの濃度を制御するものであり、前記キャリアガスの流量を制御する流量制御機器と、前記原料ガスの濃度を測定する濃度測定部とを備える濃度制御装置に用いられる濃度温度制御プログラムであって、前記原料ガスの目標濃度値と前記濃度測定部の測定濃度値とに基づいて、モデル予測制御により前記流量制御機器に入力する流量操作量を制御する流量制御部としての機能をコンピュータに備えさせることを特徴とする。
【００１４】
　なお、濃度制御プログラムは、電子的に配信されるものであってもよいし、ＣＤ、ＤＶＤ又はフラッシュメモリ等のプログラム記録媒体に記録されたものであってもよい。
【発明の効果】
【００１５】
　このように本発明によれば、応答性能を向上しつつ制御パラメータの調整工数を削減することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１６】
【図１】本発明の一実施形態に係る原料気化システムの構成を模式的に示す図である。
【図２】同実施形態のモデル予測制御の仕組みを示す図である。
【図３】キャリアガスをステップ状に流した場合の原料ガス（ＩＰＡ）の濃度の応答結果を示す図である。
【図４】従来のＰＩＤ制御により濃度制御を行う制御ブロック図である。
【図５】従来のＰＩＤ制御による濃度制御の実験結果を示す図である。
【図６】従来のＰＩＤ制御においてＰＩＤパラメータを調整した後の実験結果を示す図である。
【図７】同実施形態のＭＰＣによる濃度制御を行うアルゴリズムを示す図である。
【図８】同実施形態のＭＰＣによる濃度制御の実験結果を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１７】
　以下に、本発明に係る濃度制御装置を組み込んだ原料気化システムの一実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下に示すいずれの図についても、わかりやすくするために、適宜省略し又は誇張して模式的に描かれている。同一の構成要素については、同一の符号を付して説明を適宜省略する。
【００１８】
＜１．原料気化システム１００の基本構成＞
　本実施形態の原料気化システム１００は、例えば乾燥工程等の半導体製造プロセスを行う半導体製造装置に用いられるものであり、例えば乾燥工程を行うチャンバに濃度制御された原料ガスを供給するものである。
【００１９】
　具体的に原料気化システム１００は、図１に示すように、例えばイソプロピルアルコール（ＩＰＡ）等の液体又は固体の原料が収容される気化タンク２と、気化タンク２に例えば窒素（N_2）等のキャリアガスを供給するキャリアガス供給路３と、気化タンク２から

原料が気化した原料ガスを導出する原料ガス導出路４と、キャリアガス供給路３に設けられた第１流量制御機器５と、原料ガス導出路４に設けられた濃度測定部６とを備えている。

【００２０】

ここで、第１流量制御機器５は、流量センサと、流体制御バルブとを有するマスフローコントローラである。流量センサは、差圧式のものや熱式のものなどが考えられる。また、流体制御バルブは、流量センサの測定流量値と、後述の第１流量制御部１１により出力される流量操作量$q_{C\ SET}$とに基づいて、バルブ制御部（不図示）によりその弁開度が制御される。

【００２１】

また、濃度測定部６は、非分散赤外吸収分光法（ＮＤＩＲ）を用いたものである。具体的に濃度測定部６は、原料ガスが導入される測定セルと、当該測定セルに赤外光を照射する赤外光源と、測定セルを通過した赤外光を検出する赤外線検出器と、赤外線検出器により検出された光強度信号に基づいて原料ガスの濃度を算出する濃度演算部とを有している。

【００２２】

なお、第１流量制御機器５、濃度測定部６及び後述する第１流量制御部１１により、本発明に係る濃度制御装置１０が構成される。

【００２３】

本実施形態では、原料ガス導出路４に原料ガスを希釈するための希釈ガスを供給する希釈ガス供給路７が接続されており、当該希釈ガス供給路７には、希釈ガスの流量を制御する第２流量制御機器８が設けられている。

【００２４】

ここで、第２流量制御機器８は、流量センサと、流体制御バルブとを有するマスフローコントローラである。流量センサは、差圧式のものや熱式のものなどが考えられる。また、流体制御バルブは、流量センサの測定流量値と、後述の第２流量制御部１２により出力される流量操作量$q_{D\ SET}$とに基づいて、バルブ制御部（不図示）によりその弁開度が制御される。

【００２５】

そして、原料気化システム１００は、濃度測定部６により測定された原料ガスの濃度測定値c_{OUT}及び目標濃度値c_{SET}に基づいて、第１流量制御機器５を制御して、原料ガスの濃度c_{OUT}を制御する制御装置ＣＴＬを有している。また、本実施形態の制御装置ＣＴＬは、気化タンク２に供給するキャリアガスの流量q_Cと、希釈ガス供給路７から原料ガス導出路４に供給する希釈ガスの流量q_Dとの合計流量（$q_C + q_D$）が一定になるように制御する。

【００２６】

＜２．制御装置ＣＴＬの具体的構成＞

本実施形態の制御装置ＣＴＬは、ＣＰＵ、メモリ、Ａ／Ｄコンバータ、Ｄ／Ａコンバータ、各種入出力機器を備えたいわゆるコンピュータである。そして、メモリに格納されている濃度制御プログラムが実行されて、各種機器が協働することによって、第１流量制御機器５の動作を制御する第１流量制御部１１と、第２流量制御機器８の動作を制御する第２流量制御部１２としての機能を発揮する。

【００２７】

第１流量制御部１１は、原料ガスの目標濃度値c_{SET}と濃度測定部６の測定濃度値c_{OUT}とに基づいて、モデル予測制御（Ｍｏｄｅｌ Ｐｒｅｄｉｃｔｉｖｅ Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｒ：ＭＰＣ）により第１流量制御機器５に入力する流量操作量$q_{C\ SET}$を制御するものである。

【００２８】

ここで、モデル予測制御は、図２に示すように、各時刻で未来の応答を予測しながら最適化を行う制御手法であり、第１流量制御部１１の内部に予測モデル（制御対象モデル）を持つことで、制御対象の現時刻からある有限区間に渡る未来の振る舞いを予測するもの

である。

【００２９】

図２において、目標指令ｒ（ｔ）は、原料ガスの目標濃度値c_{SET}であり、制御入力ｕ（ｔ）は、第１流量制御機器５に入力される流量操作量$q_{C\ SET}$であり、制御出力ｙ（ｔ）は、濃度測定部６により測定される原料ガスの濃度c_{OUT}である。この制御対象から測定された濃度測定値c_{OUT}を第１流量制御部１１の内部における予測モデルに適用し、最適化器にて現在の時刻から所定の時刻における追従誤差を最小化するように新たな制御入力ｕ（ｔ）を決定する。

【００３０】

ここで、第１流量制御部１１は、モデル予測制御の予測モデルとして、原料ガス導出路４に設けられた濃度測定部６への到達時間に基づいたむだ時間を含むモデルを用いている。このむだ時間は、気化タンク２から濃度測定部６までの原料ガス導出路４におけるガス置換に伴う応答のむだ時間である。むだ時間の詳細は後述する。

【００３１】

また、第１流量制御部１１は、モデル予測制御の予測モデルに含まれるシステム（伝達関数）の時定数よりも原料ガスの濃度に関する参照軌道の時定数を遅くしている。システム（伝達関数）の時定数及び参照軌道の時定数の詳細は後述する。

【００３２】

第２制御部１２は、キャリアガス流量q_Cと希釈ガス流量q_Dとの合計流量（q_C+q_D）が一定となるように、第２流量制御機器８に入力する流量操作量$q_{D\ SET}$を制御するものである。具体的に第２流量制御部１２は、キャリアガス及び希釈ガスの全流量設定値$q_{T\ SET}$と第１流量制御機器５の流量操作量$q_{C\ SET}$との差分（$q_{T\ SET}-q_{C\ SET}$）を第２流量制御機器８の流量操作量$q_{D\ SET}$（希釈ガスの設定流量値）とする。

【００３３】

以下、従来のＰＩＤ制御による濃度制御と、本実施形態の制御装置ＣＴＬのＭＰＣによる濃度制御の詳細について説明する。

【００３４】

＜３．制御対象について＞

制御対象は、図１に示すものであり、制御したい物理量は、濃度測定部６により測定される濃度測定値c_{OUT}と全流量q_T（キャリアガス流量q_Cと希釈ガス流量q_Dの合計流量）である。

【００３５】

ここで、流量制御には、マスフローコントローラを用いており、マスフローコントローラの流量の応答性能は、濃度出力の応答より十分高速な応答性を有している。

【００３６】

原料ガス（ＩＰＡ）の濃度c_{OUT}は、濃度測定部６（ＮＤＩＲ）によって測定され、以下の式で示すことができる。操作量としてキャリアガス流量q_Cを用いるが、その流量が分母にあるため、濃度c_{OUT}は非線形性を有した特性となる。なお、以下の式において、q_Vは、原料ガス流量である。

【００３７】

【数１】

$$c_{OUT}=\frac{q_V}{q_C+q_V+q_D}\times 100$$

【００３８】

図３に濃度c_{OUT}の応答結果を示している。ここでは、濃度制御は行わず、キャリアガスをステップ状に流した場合の濃度c_{OUT}である。キャリアガスの流量は、実際の運用条件に近い２００ｓｃｃｍとしている。

【００３９】

この実験結果から同定を行い、以下の伝達関数Ｐ（ｓ）を求める。この伝達関数Ｐ（ｓ）には、むだ時間が約1秒含まれており、このむだ時間が濃度制御の応答調整を困難にしている。

【００４０】

【数２】

$$P(s)=\frac{0.055\cdot s+1}{1.84\cdot s^2+1.75\cdot s+1}0.0069e^{-s}$$

【００４１】

この伝達関数Ｐ（ｓ）は、図３に示す応答結果に基づいて、以下の一般式の各係数a_1、b_1、b_2、Ｌを演算することにより求める。なお、係数Ｌは、むだ時間を示すものである。また、q_Cは図３におけるキャリアガス流量、q_Vは図３における原料ガス流量、q_Dは図３における希釈ガス流量である。

【００４２】

【数３】

$$P(s)=\frac{a_1\cdot s+1}{b_2\cdot s^2+b_1\cdot s+1}\frac{q_V}{q_C+q_V+q_D}e^{-sL}q_C$$

【００４３】

＜４．ＰＩＤ制御による濃度制御＞

目標設定として原料ガスの目標濃度値c_{SET}とキャリアガス全流量設定値$q_{T\ SET}$の２つの設定が制御装置ＣＴＬに入力される。応答については原料ガスの濃度c_{OUT}及びキャリアガス全流量q_Tを１０秒以内に収束させ、出来るだけオーバーシュートを抑えたい。

【００４４】

図４にＰＩＤ制御系のブロック線図を示している。従来法では制御装置ＣＴＬがＰＩＤ制御を行うものであり、キャリアガスの流量目標値$q_{C\ SET}$を演算して原料ガスの濃度c_{OUT}を制御する。

【００４５】

キャリアガス全流量設定値$q_{T\ SET}$は、以下の式に示すキャリアガスの流量目標値$q_{C\ SET}$と希釈ガスの流量目標値$q_{D\ SET}$との総和となる。よって本制御系の全流量制御は$q_{T\ SET}$と$q_{C\ SET}$の差分を希釈流量設定$q_{D\ SET}$に設定する構成となっている。

【００４６】

【数４】

$$q_{T\,SET}=q_{C\,SET}+q_{D\,SET}$$

【００４７】

従来法のＰＩＤ制御による実験結果を図５に示している。ここでは、原料ガスの目標濃度値（濃度設定）c_{SET}を１％、目標合計流量値（全流量設定）$q_{T\ SET}$を２０００ｓｃｃｍとし、ステップ応答の実験を行った。

【００４８】

ＰＩＤパラメータを調整した結果、全流量については設定から２秒程度で安定している。しかし、濃度出力には１５秒程度の収束時間となった。

【００４９】

さらに応答を１０秒に到達するように、ＰＩＤの調整を行った。図６にその結果を示す。ＰＩＤ制御では、応答時間を１０秒に調整しようとすると、オーバーシュートが大きく

なる結果となった。これは、制御対象にむだ時間が含まれていることが原因であると考えられる。

【００５０】

＜５．ＭＰＣによる濃度制御＞

次にＭＰＣによる濃度制御について説明する。なお、全流量q_Tの制御については、従来のＰＩＤ制御と同様である。

【００５１】

図７に第１流量制御部１１のＭＰＣのアルゴリズムを示している。ここで、ｋはサンプリング周期T_sで離散化された時間を表すものとする。

【００５２】

予測ホライズン点数（将来を予測する時間）をH_Pとすると、参照軌道$c_{reftraj}(k+i|k)$（ｉ＝１，・・・，H_P）は理想的な軌道を示し、その応答時間を時定数T_{ref}によって決定する。

【００５３】

【数５】

$$c_{reftraj}(k+i|k) = c_{OUT}(k)e^{-\frac{i\cdot T_S}{T_{ref}}} + c_{SET}(1-e^{-\frac{i\cdot T_S}{T_{ref}}})$$

【００５４】

操作量$\Delta q_{C\,SET}$を与えた場合の予測軌道$\hat{c}_{OUT}(k+i|k)$（上付きの記号$\hat{}$は、予測値を表す）は、現在の操作量の下での自由応答$c_{free}(k+i|k)$と、上記の数２から計算される単位ステップ応答Ｓ（ｉ）から以下の式で表される。

【００５５】

【数６】

$$\hat{c}_{out}(k+i|k) = c_{free}(k+i|k) + S(i)\Delta q_{C\,SET}$$

【００５６】

参照軌道$c_{reftraj}(k+i|k)$と予測軌道$\hat{c}_{OUT}(k+i|k)$が予測ホライズンの最終ｎ点で一致するようにサンプリング周期T_s毎に$\Delta q_{C\,SET}$を定め、次のサンプリング周期の$q_{C\,SET}$を決定する。

【００５７】

【数７】

$$q_{C\,SET}(k) = q_{C\,SET}(k-1) + \Delta q_{C\,SET}$$

【００５８】

次に、ＭＰＣの実装を行い濃度制御の実験を行った。予測軌道の時定数、予測ホライゾン、データ区間は、以下とした。

サンプリング周期T_S［ｓ］：０．１

予測軌道の時定数T_{ref}［ｓ］：２

予測ホライゾン点数H_P［ｓ］：５

データ区間ｎ：５

【００５９】

また、原料ガスの目標濃度値（濃度設定）c_{SET}を１％、目標合計流量値（全流量設定）$q_{T\,SET}$を２０００ｓｃｃｍで実験を行った。

【００６０】

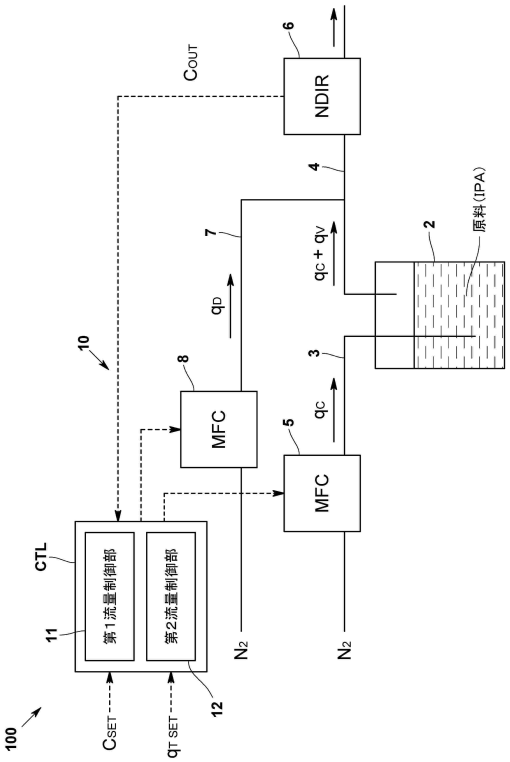
その実験結果を図８に示す。この図８から分かるように、ＭＰＣによる濃度制御によって、濃度制御の収束時間が約１０秒となりオーバーシュートが抑えられている。また全流

量も１秒程度で収束しており従来法よりも収束時間を短縮で きている。
【００６１】
＜６．本実施形態の効果＞
このように本実施形態における原料気化システム１００によれば、モデル予測制御により第１流量制御機器５に入力する流量操作量q_{CSET}を制御しているので、従来のＰＩＤ制御に比べて、応答性能を向上させることができる。また、モデル予測制御では、１回の制御対象の同定実験を行えば良く、ＰＩＤ制御におけるパラメータの最適化が不要となり、大幅に調整工数を短縮することができる。
【００６２】
また、モデル予測制御の予測モデルとして、原料ガス導出路４に設けられた濃度測定部６への到達時間に基づいたむだ時間を含むモデルを用いているので、原料ガス導出路４のガス置換による応答のむだ時間を考慮したモデル予測制御により、高速かつオーバーシュートを抑えた濃度制御が可能となる。
【００６３】
さらに、モデル予測制御の予測モデルに含まれるシステムの時定数よりも原料ガスの濃度に関する参照軌道の時定数を遅くしているので、参照軌道に対して制御対象の予測軌道を一致させるように流量操作量を制御することができる。
【００６４】
＜７．その他の実施形態＞
例えば、前記実施形態の原料はイソプロピルアルコール等の液体原料であったが、固体の原料であっても良い。
【００６５】
また、気化方式はバブリングの他に、加熱方式等のその他の気化方式であっても良い。
【００６６】
さらに、前記実施形態では、キャリアガス流量と希釈ガス流量との合計流量を一定に制御するものであったが、その合計流量を一定に制御しない構成としても良い。
【００６７】
その上、前記実施形態では、希釈ガス供給路を有しており、原料ガスを希釈する構成としているが、希釈ガス供給路を有さない構成としても良い。
【００６８】
加えて、モデル予測制御の予測モデルに含まれるシステムの時定数と、原料ガスの濃度に関する参照軌道の時定数とを同じにしても良い。
【００６９】
さらに加えて、前記実施形態の濃度制御装置は、半導体製造装置のチャンバに原料ガスを供給するものであったが、その他のチャンバに原料ガスを供給するものであっても良い。
【００７０】
また、前記実施形態の濃度制御装置は、原料気化システムに組み込まれたものであったが、原料気化システムとは別の装置（モジュール）としたものであっても良い。
【００７１】
その他、本発明の趣旨に反しない限りにおいて様々な実施形態の変形や組み合わせを行っても構わない。
【符号の説明】
【００７２】
１００・・・原料気化システム
１０　・・・濃度制御装置
２　　・・・気化タンク
３　　・・・キャリアガス供給路
４　　・・・原料ガス導出路
５　　・・・第１マスフローコントローラ（第１流量制御機器）

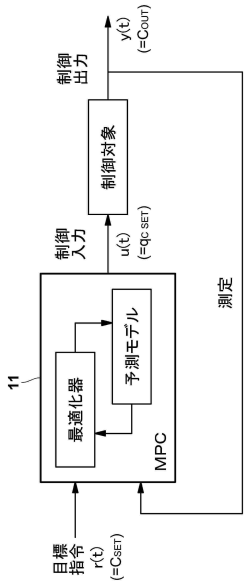
６　　・・・濃度測定部
７　　・・・希釈ガス供給路
８　　・・・第２マスフローコントローラ（第２流量制御機器）
ＣＴＬ・・・制御装置
１１　・・・第１流量制御部
１２　・・・第２流量制御部

【図面】

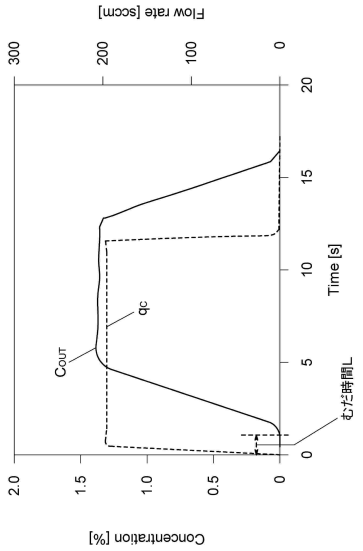
【図１】



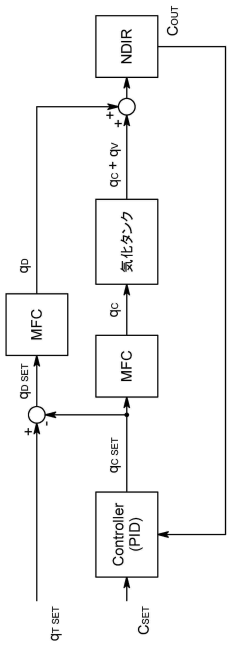
【図２】



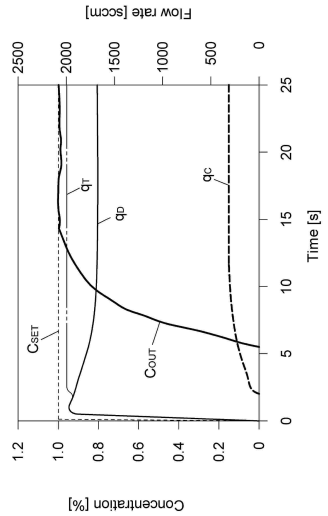
【図３】


Flow rate [sccm]
Concentration [%]
Time [s]
C_{OUT}
q_C
むだ時間L

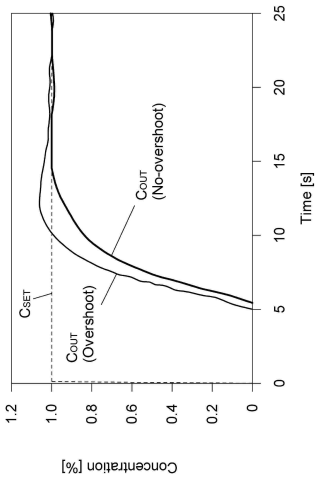
【図４】


C_{OUT}
NDIR
$q_C + q_V$
気化タンク
q_C
MFC
q_C SET
q_D
MFC
q_D SET
Controller (PID)
q_T SET
C_{SET}

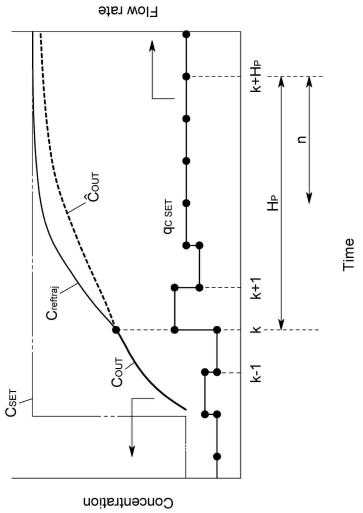
【図５】


Flow rate [sccm]
Concentration [%]
Time [s]
C_{SET}
C_{OUT}
q_T
q_D
q_C

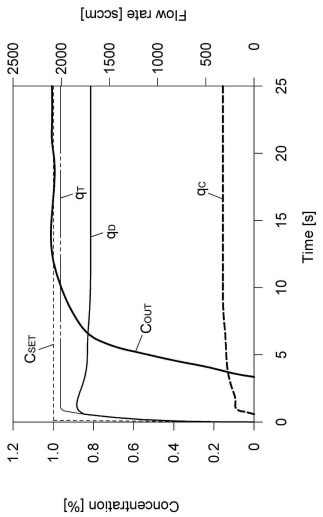
【図６】


Concentration [%]
Time [s]
C_{SET}
C_{OUT} (Overshoot)
C_{OUT} (No-overshoot)

【図７】


Flow rate
Concentration
Time
C_{SET}
C_{refraj}
C_{OUT}
C_{OUT}
$q_{C\ SET}$
k-1
k
k+1
k+Hp
Hp
n

【図８】


Flow rate [sccm]
Concentration [%]
Time [s]
C_{SET}
C_{OUT}
q_T
q_D
q_C
2500
2000
1500
1000
500
0
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
25
20
15
10
5
0

フロントページの続き

京都府京都市南区上鳥羽鉾立町１１番地５　株式会社堀場エステック内

Ｆターム（参考）　5F157　CB14 CD46 CE52 CE82 CF14 CF42 CF44 CF60 CF99 DB37
DC01 DC11
5H004　GA01 GA30 GB01 HA04 HB04 KC27 LA03
5H309　AA02 BB05 BB16 CC06 DD12 EE03 FF01 GG07 JJ06