

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5779482号  
(P5779482)

(45) 発行日 平成27年9月16日(2015.9.16)

(24) 登録日 平成27年7月17日(2015.7.17)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)  
H01L 21/31 (2006.01)

F 1

H01L 21/302  
H01L 21/31101 G  
C

請求項の数 8 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2011-249242 (P2011-249242)  
 (22) 出願日 平成23年11月15日 (2011.11.15)  
 (65) 公開番号 特開2013-105923 (P2013-105923A)  
 (43) 公開日 平成25年5月30日 (2013.5.30)  
 審査請求日 平成26年8月22日 (2014.8.22)

(73) 特許権者 501387839  
 株式会社日立ハイテクノロジーズ  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号  
 (74) 代理人 100100310  
 弁理士 井上 学  
 (74) 代理人 100098660  
 弁理士 戸田 裕二  
 (74) 代理人 100091720  
 弁理士 岩崎 重美  
 (72) 発明者 鹿子嶋 昭  
 山口県下松市大字東豊井794番地  
 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

プラズマ処理が行われるプラズマ処理室と、  
 前記プラズマ処理室内の状態をモニタするプロセスモニタと、  
 プラズマ処理条件の構成要素であるパラメータを制御するアクチュエータと、  
 前記パラメータの一つを第1の操作変数とし、前記プロセスモニタによりモニタされた  
 プラズマ処理中のモニタ値と前記プラズマ処理中のモニタ値の目標値との第1の偏差を算  
 出し、前記プラズマ処理中のモニタ値と前記第1の操作変数との予め取得された相関関係  
 を基に前記第1の偏差に対応する前記第1の操作変数の補正量を算出する第1の補正量計  
 算ユニットと、

前記パラメータの1つを第2の操作変数としたとき、前記第1の操作変数の補正量によ  
 り前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の限界値を超えるかどうかを判断する第1の  
 操作変数追加判断ユニットと、

プラズマ処理中のモニタ値と前記第2の操作変数との予め取得された相関関係を基に第2  
 の偏差に対応する前記第2の操作変数の補正量を算出する第2の補正量計算ユニットと、  
 前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の補正量により前記第1の操作変数の限界値を  
 超えると前記第1の操作変数追加判断ユニットによって判断されたとき、前記第1の操作  
 変数を前記第1の操作変数の限界値とする前記第1の操作変数の補正量および前記第2の  
 補正量計算ユニットにより算出された第2の操作変数の補正量に基づいて次ウェハのプラ  
 ズマ処理条件を補正する制御装置とを備え、

前記第<sub>2</sub>の偏差は、プラズマ処理中のモニタ値と第<sub>1</sub>の操作変数との予め取得された相関関係から第<sub>1</sub>の操作変数を限界値として算出されたモニタ値と前記目標値との偏差であることを特徴とするプラズマ処理装置。

#### 【請求項 2】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

前記第<sub>2</sub>の操作変数の補正量により前記第<sub>2</sub>の操作変数が前記第<sub>2</sub>の操作変数の限界値を超えるかどうかを判断する第<sub>2</sub>の操作変数追加判断ユニットと、

プラズマ処理中のモニタ値と第<sub>3</sub>の操作変数との予め取得された相関関係を基に第<sub>3</sub>の偏差に対応する前記第<sub>3</sub>の操作変数の補正量を算出する第<sub>3</sub>の補正量計算ユニットとをさらに備え、

前記第<sub>1</sub>の操作変数が前記第<sub>1</sub>の操作変数の補正量により前記第<sub>1</sub>の操作変数の限界値を超えると前記第<sub>1</sub>の操作変数追加判断ユニットによって判断されるとともに前記第<sub>2</sub>の操作変数が前記第<sub>2</sub>の操作変数の補正量により前記第<sub>2</sub>の操作変数の限界値を超えないとき、前記第<sub>2</sub>の操作変数追加判断ユニットによって判断されたとき、前記制御装置は、前記<sub>3</sub>の操作変数の補正量を 0 とするとともに前記第<sub>1</sub>の操作変数を前記第<sub>1</sub>の操作変数の限界値とする前記第<sub>1</sub>の操作変数の補正量および前記第<sub>2</sub>の補正量計算ユニットにより算出された第<sub>2</sub>の操作変数の補正量に基づいて次ウェハのプラズマ処理条件を補正し、

前記第<sub>3</sub>の偏差は、プラズマ処理中のモニタ値と第<sub>2</sub>の操作変数との予め取得された相関関係から第<sub>2</sub>の操作変数を限界値として算出されたモニタ値と前記目標値との偏差であることを特徴とするプラズマ処理装置。

#### 【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置において、

前記プラズマ処理室は、プラズマエッチング装置に備えられていることを特徴とするプラズマ処理装置。

#### 【請求項 4】

請求項 3 に記載のプラズマ処理装置において、

前記プラズマエッチング装置に備えられガスの流量を制御するマスフローコントローラのガス流量を前記第<sub>1</sub>の操作変数とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

#### 【請求項 5】

Run-to-Run 制御により試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、

プラズマ処理条件の構成要素であるパラメータの一つを第<sub>1</sub>の操作変数とし、前記プラズマ処理が行われるプラズマ処理室内の状態をモニタするプロセスモニタによりモニタされたプラズマ処理中のモニタ値と前記プラズマ処理中のモニタ値の目標値との第<sub>1</sub>の偏差を算出し、

前記プラズマ処理中のモニタ値と前記第<sub>1</sub>の操作変数との予め取得された相関関係および前記第<sub>1</sub>の偏差を用いて前記第<sub>1</sub>の操作変数の補正量を算出し、

前記パラメータの 1 つを第<sub>2</sub>の操作変数としたとき、前記第<sub>1</sub>の操作変数の補正量により前記第<sub>1</sub>の操作変数が前記第<sub>1</sub>の操作変数の限界値を超えるかどうかを判断し、

前記第<sub>1</sub>の操作変数の補正量により前記第<sub>1</sub>の操作変数が前記第<sub>1</sub>の操作変数の限界値を超えると判断されたとき、プラズマ処理中のモニタ値と第<sub>1</sub>の操作変数との予め取得された相関関係から第<sub>1</sub>の操作変数を限界値として算出されたモニタ値と前記目標値との第<sub>2</sub>の偏差を算出し、

プラズマ処理中のモニタ値と第<sub>2</sub>の操作変数との予め取得された相関関係および前記第<sub>2</sub>の偏差を用いて前記第<sub>2</sub>の操作変数の補正量を算出するとともに前記第<sub>1</sub>の操作変数を前記第<sub>1</sub>の操作変数の限界値とする前記第<sub>1</sub>の操作変数の補正量および前記算出された第<sub>2</sub>の操作変数の補正量に基づいて次ウェハのプラズマ処理条件を補正することを特徴とするプラズマ処理方法。

#### 【請求項 6】

請求項 5 に記載のプラズマ処理方法において、

前記第<sub>2</sub>の操作変数の補正量により前記第<sub>2</sub>の操作変数が前記第<sub>2</sub>の操作変数の限界値を

10

20

30

40

50

超えるかどうかを判断し、

前記第1の操作変数の補正量により前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の限界値を超えると判断されるとともに前記第2の操作変数の補正量により前記第2の操作変数が前記第2の操作変数の限界値を超えない場合と判断されたとき、プラズマ処理中のモニタ値と第2の操作変数との予め取得された相関関係から第2の操作変数を限界値として算出されたモニタ値と前記目標値との第3の偏差を算出し、

プラズマ処理中のモニタ値と第3の操作変数との予め取得された相関関係および前記第3の偏差を用いて前記第3の操作変数の補正量を算出し、前記第3の操作変数の補正量を0とするとともに前記第1の操作変数を前記第1の操作変数の限界値とする前記第1の操作変数の補正量および前記算出された第2の操作変数の補正量に基づいて次ウェハのプラズマ処理条件を補正することを特徴とするプラズマ処理方法。10

#### 【請求項 7】

請求項5または請求項6に記載のプラズマ処理方法において、  
前記プラズマ処理は、プラズマエッチングであることを特徴とするプラズマ処理方法。

#### 【請求項 8】

請求項7に記載のプラズマ処理方法において、  
前記プラズマ処理室に供給されるガスの流量を前記第1の操作変数とすることを特徴とするプラズマ処理方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

20

##### 【0001】

本発明は、プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に係り、特に、プラズマ処理の進行に伴って発生するプロセス性能の変動による影響を抑制することができるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

プラズマ処理装置は、例えば、真空処理室内にエッチングガスを導入し、減圧下でプラズマを生成し、このプラズマにより生成されたラジカルあるいはイオンを、被処理物であるウェハ表面に反応させてプラズマエッチングするプラズマエッチング装置が知られている。30

##### 【0003】

このようなプラズマ処理装置では、デバイスの微細化に伴い、同じ製造条件（以下レシピと称する）で処理を行っても、種々の外乱により所望の処理性能（以下プロセス性能と称する）を毎回得ることは困難になってきている。

##### 【0004】

そこで、これを解決するために、外乱による影響を抑制することのできるAdvanced Process Control技術（以下APCと称する）が採用されてきている。APCとは、通常、予め設定されたレシピで処理されるプラズマ処理を、フィードバック制御あるいはフィードフォワード制御でダイナミックにレシピを補正して処理する方法である。

##### 【0005】

40

特に、処理単位、例えば、ウェハ毎あるいはロット毎に処理条件であるレシピを補正し、プロセス性能の変動を抑制しようとする制御方法をラントゥーラン（以下Run-to-Runと称する）制御とも呼んでいる。なお、レシピには、処理条件項目である複数の項目（以下パラメータと称する）が存在し、例えば、高周波電力、ガス流量、圧力、処理時間等が挙げられ、Run-to-Run制御で補正されるパラメータにはこれらの中の1つ以上のパラメータとなる。

##### 【0006】

例えば、プラズマエッチング装置では、通常、レシピに設定された処理条件に基づいてプラズマエッチングの処理が行われる。ところが、プラズマエッチング室の内壁への付着物やプラズマエッチング室内の部品の消耗具合等が変化することにより、プロセス性能の50

結果（プラズマエッティング装置の場合は、エッティングレートや加工寸法等）が経時的に変動してしまうことがある。このような経時的な変動を低減・防止するため、処理単位毎にレシピを補正するRun-to-Run制御が適用される。

#### 【0007】

Run-to-Run制御として、特許文献1には、真空処理室内に収容した試料に処理を施すプラズマ処理装置と、処理中のプロセス量をモニターするセンサと加工処理結果推定モデルの推定結果をもとに最適レシピ計算モデルが生成したレシピに基づいて、プラズマ処理を制御することが開示されている。

#### 【0008】

また、特許文献2には、半導体ウェハを処理する半導体処理装置の処理状態を監視するセンサと、前記半導体処理装置により処理した半導体ウェハの処理結果の測定値を入力する処理結果入力手段と、前記センサが取得したセンサデータおよび前記測定値をもとに前記センサデータを説明変数として処理結果を予測するモデル式を生成するモデル式生成部と、前記モデル式および前記センサデータをもとに処理結果を予測する処理結果予測部と、前記予測した処理結果と予め設定した設定値を比較してそのずれを補正するように前記半導体処理装置の処理条件を制御する処理条件制御部を備えた半導体処理装置が開示されている。10

#### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

##### 【0009】

【特許文献1】特開2003-017471号公報20

【特許文献2】特開2003-068717号公報

##### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0010】

一般的に、Run-to-Run制御は、プロセス性能結果が所望の値から外れようとした場合に、それを目標値へ近づけるように機能する。その方法は、プロセス性能結果と相關のあるプロセスマニターバリューと、予めプロセス性能結果から決定されたプロセスマニターバリューの目標値との差分から、対象レシピのパラメータの補正量を算出し、次回処理で補正されたレシピを適用しプラズマ処理を実行する。しかし、一般的に、レシピのパラメータの値には補正可能な上限値、下限値が存在する。30

##### 【0011】

Run-to-Run制御において、既定の範囲を超えたパラメータを有する特定のレシピでプラズマ処理を実行すると、プロセス性能結果に悪影響を与える場合がある。例えば、プラズマエッティング処理では、ウェハに印加する高周波バイアス電力をエッティング深さを制御しようとした時、高周波バイアス電力を所定の値より大きくしがれると、マスク材にダメージを与えてしまい、加工形状が所望の形状にならない等の弊害が発生する場合がある。

##### 【0012】

一方、上記のパラメータの制御範囲は、プロセス性能的な制約だけでなく、ハードウェアの制約もある。例えば、ガス流量を制御するマスフローコントローラの場合は、各々のフルスケール（最大流量）の約5～100%の範囲が制御範囲となる。したがって、この範囲を超えたガス流量には制御できることになる。40

##### 【0013】

このようなことから、Run-to-Run制御においては、レシピの補正量に上限および下限を設けてその範囲外では制御を行わないようにしている。そして、通常、レシピの補正量が範囲外となる場合は制御エラーとしてプラズマ処理を停止している。しかし、このプラズマ処理停止は、プラズマ処理装置の稼働率を大きく低下させるため、プラズマ処理停止を低減、抑制できるRun-to-Run制御が求められる。

##### 【0014】

本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、装置稼働率を低下させること50

なく安定したプロセス性能結果が得られるRun-to-Run制御によりプラズマ処理を行うことができるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、プラズマ処理が行われるプラズマ処理室と、前記プラズマ処理室内の状態をモニタするプロセスモニタと、プラズマ処理条件の構成要素であるパラメータを制御するアクチュエータと、前記パラメータの一つを第1の操作変数とし、前記プロセスモニタによりモニタされたプラズマ処理中のモニタ値と前記プラズマ処理中のモニタ値の目標値との第1の偏差を算出し、前記プラズマ処理中のモニタ値と前記第1の操作変数との予め取得された相関関係を基に前記第1の偏差に対応する前記第1の操作変数の補正量を算出する第1の補正量計算ユニットと、前記パラメータの1つを第2の操作変数としたとき、前記第1の操作変数の補正量により前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の限界値を超えるかどうかを判断する第1の操作変数追加判断ユニットと、プラズマ処理中のモニタ値と前記第2の操作変数との予め取得された相関関係を基に第2の偏差に対応する前記第2の操作変数の補正量を算出する第2の補正量計算ユニットと、前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の補正量により前記第1の操作変数の限界値を超えると前記第1の操作変数追加判断ユニットによって判断されたとき、前記第1の操作変数を前記第1の操作変数の限界値とする前記第1の操作変数の補正量および前記第2の補正量計算ユニットにより算出された第2の操作変数の補正量に基づいて次ウェハのプラズマ処理条件を補正する制御装置とを備え、前記第2の偏差は、プラズマ処理中のモニタ値と第1の操作変数との予め取得された相関関係から第1の操作変数を限界値として算出されたモニタ値と前記目標値との偏差であることを特徴とするプラズマ処理装置である。10

【0016】

また、本発明は、Run-to-Run制御により試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、プラズマ処理条件の構成要素であるパラメータの一つを第1の操作変数とし、前記プラズマ処理が行われるプラズマ処理室内の状態をモニタするプロセスモニタによりモニタされたプラズマ処理中のモニタ値と前記プラズマ処理中のモニタ値の目標値との第1の偏差を算出し、前記プラズマ処理中のモニタ値と前記第1の操作変数との予め取得された相関関係および前記第1の偏差を用いて前記第1の操作変数の補正量を算出し、前記パラメータの1つを第2の操作変数としたとき、前記第1の操作変数の補正量により前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の限界値を超えるかどうかを判断し、前記第1の操作変数の補正量により前記第1の操作変数が前記第1の操作変数の限界値を超えると判断されたとき、プラズマ処理中のモニタ値と第1の操作変数との予め取得された相関関係から第1の操作変数を限界値として算出されたモニタ値と前記目標値との第2の偏差を算出し、プラズマ処理中のモニタ値と第2の操作変数との予め取得された相関関係および前記第2の偏差を用いて前記第2の操作変数の補正量を算出するとともに前記第1の操作変数を前記第1の操作変数の限界値とする前記第1の操作変数の補正量および前記算出された第2の操作変数の補正量に基づいて次ウェハのプラズマ処理条件を補正することを特徴とする。30

【発明の効果】

【0017】

本発明は、以上の構成を備えるため、装置稼働率を低下させることなく安定したプロセス性能結果が得られるRun-to-Run制御によりプラズマ処理を行うことができる。40

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の実施形態に係るプラズマ処理装置の概要を示す図である。

【図2】プラズマエッチングによるウェハのプラズマ処理結果を示す図である。

【図3】エッチング深さの経時変化を示す図である。

【図4】第一の操作変数である高周波バイアス電力とエッチング結果との相関関係を示す図である。50

【図5】第二の操作変数である酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量とエッティング結果との相関関係を示す図である。

【図6】プロセスモニタ値とエッティング結果との相関関係を示す図である。

【図7】Run-to-Run制御によりプロセスモニタ値が目標値に制御された結果を示す図である。

【図8】Run-to-Run制御による第一の操作変数の補正量を時系列に示した図である。

【図9】第二の操作変数を追加してRun-to-Run制御が継続された場合の高周波バイアス電力の補正量を時系列に示した図である。

【図10】第二の操作変数を追加してRun-to-Run制御が継続された場合の酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量の補正量を時系列に示した図である。 10

【図11】本発明のRun-to-Run制御のフローを示す図である。

**【発明を実施するための形態】**

**【0019】**

本発明を実施するための最良の形態として、プラズマエッティング装置でのRun-to-Run制御を行う形態について図を参照しながら以下説明する。

**【0020】**

プラズマエッティング処理のプロセスは、シリコン材のエッティング、絶縁材のエッティング等の被エッティング材によって様々なプロセスが存在する。本実施例では、シリコン窒化膜のエッティングを例に説明する。

**【0021】**

図2にシリコン窒化膜のエッティングの簡単な例を示す。シリコン窒化膜のエッティングプロセスは、マスク材101をマスクとしてシリコン窒化膜100をエッティングするプロセスである。また、シリコン窒化膜をエッティングするためのガスとしては、例えば、表1に示すようなフッ化メチルガス(CH<sub>3</sub>Fガス)と酸素ガス(O<sub>2</sub>ガス)との混合ガスを用いるプロセスがある。なお、エッティング性能の良し悪しを評価する指標としては、エッティング深さ102や加工寸法103であるCD(critical dimension)等が挙げられる。プラズマエッティング装置では、プラズマエッティング処理室に搬入された試料が所望のCD値およびエッティング深さの形状にエッティングされ、プラズマエッティング処理毎に所望のエッティングレート及びCD値が安定的に得られることが必要となる。 20

**【0022】**

**【表1】**

表 1

CH <sub>3</sub> Fガス	50ml/min
O <sub>2</sub> ガス	30ml/min
処理圧力	0.5Pa
マイクロ波電力(プラズマ生成用電力)	1000W
高周波バイアス電力	400W
処理時間	200sec

**【0023】**

プラズマ処理装置では、プラズマエッティング装置に限らず、処理条件であるレシピを使ってプラズマ処理が行われる。また、レシピは、通常、複数のパラメータで構成される。プラズマエッティング装置であれば、例えば、表1に示すようなガス流量、処理圧力、プラズマ生成用電力、高周波バイアス電力、処理時間等がパラメータとなる。 40

**【0024】**

通常、プラズマ処理装置では、処理工程毎に1つのレシピを適用する。つまり、処理さ 50

れるウェハの仕様が同じであれば、毎回同じレシピを適用し、プラズマ処理を行うことになる。

#### 【0025】

しかし、例えばプラズマエッティング装置では、試料であるウェハとエッティング用ガスとの反応生成物のプラズマ処理室内壁への堆積、プラズマ処理室内の部品の温度変化、プラズマ処理室内の部品の消耗によって、プラズマ処理室内の環境がウェハの処理枚数と共に変化する。近年、半導体装置の微細化に伴い、プラズマ処理条件のマージンが小さくなってきており、上記のプラズマ処理室内の環境変動が、プラズマ処理結果に少なからず影響を及ぼしている。このプラズマ処理室内の環境変動は、プラズマエッティング装置に限ったことではなく、プラズマ処理装置全般に同様のことが言える。

10

#### 【0026】

図3は、図2で示したシリコン窒化膜のエッティングプロセスにおいて、エッティング結果の善し悪しを表す指標の一つであるエッティング深さ102の値をウェハ処理毎に時系列でプロットした図である。図3では、ウェハの処理枚数を増加させる毎に、25枚のウェハの集まりであるロット内では、エッティング深さ102がロット内の変動200で示した方向およびロット間の変動201で示した方向へ変動している。

#### 【0027】

これは、プラズマエッティング処理室内の環境の経時的な変動がエッティング結果に影響を及ぼした例である。なお、ロット内の変動200がロット処理毎にリセットされるのは、ロット処理開始前に、例えばプラズマクリーニング等の前処理を行ってプラズマエッティング処理室の環境をある程度リセットしているためである。

20

#### 【0028】

ロット内の変動200およびロット間の変動201は、半導体装置の不良となる特性異常を発生させたり、後工程での処理異常を誘発する場合もあるため、避けなければならない課題である。

#### 【0029】

このため、予め設定されたレシピでロット内のウェハを全てプラズマ処理し続けるのではなく、プラズマ処理状態をモニタしながらウェハ毎にレシピをダイナミックに補正していくRun-to-Run制御が適用される。

#### 【0030】

30

本実施例では、レシピの補正量が制御範囲外になる場合において、制御エラーとしてプラズマ処理を停止することなく、安定したプロセス性能結果が得られるRun-to-Run制御を行うことができるプラズマ処理装置を説明する。

#### 【0031】

図1は、本発明の実施形態に係るRun-to-Run制御システムを有するプラズマ処理装置の概要を示す図である。

#### 【0032】

プラズマ処理装置は、試料台315に載置された試料であるウェハ301をプラズマ処理するプラズマ処理室300と、レシピを構成するそれぞれのパラメータを制御するアクチュエータ302と、プラズマ処理室300内の状態をモニタするプロセスマニタ303と、プラズマ処理室300内に搬入されたウェハ301にRun-to-Run制御によるプラズマ処理を行うための制御を行う制御装置308とを備える。

40

#### 【0033】

アクチュエータ302は、プラズマ処理室300内に供給するガスの流量を制御するマスフローコントローラ(図示せず)と、プラズマ処理室300内にプラズマ生成用の高周波電力を供給するプラズマ生成用電源(図示せず)と、試料台315に高周波バイアス電力を供給する高周波バイアス電源(図示せず)と、プラズマ処理室300内の圧力を制御する圧力制御用バルブ(図示せず)とを有する。

#### 【0034】

プロセスマニタ303としては、例えば、上記マスフローコントローラからプラズマ処

50

理室 300 内に供給されるガスの流量を検出するモニタ、プラズマ生成のためにプラズマ処理室 300 内に供給される高周波電力の進行波及び反射波を検出する検出器等がある。また、プラズマ処理室 300 内で生成されたプラズマの発光のスペクトルを解析する発光分光モニタ (Optical Emission Spectroscopy : OES)、プラズマ処理室 300 内で生成されたプラズマのプラズマ粒子の質量を分析する 4 重極質量分析装置 (Quadrupole Mass Spectrometry : QMS) 等もプロセスモニタ 303 に含まれる。

#### 【0035】

プラズマエッティング処理対象のウェハ 301 は、搬送手段（図示せず）によりウェハカセット 304 からプラズマ処理室 300 内に搬入され、プラズマ処理室 300 内でレシピと呼ばれるプラズマ処理条件を使ってプラズマエッティング処理が実行される。プラズマエッティング処理が完了したら、ウェハ 301 は、搬送手段（図示せず）によりプラズマ処理室 300 から搬出されてウェハカセット 305 へ収納され、次のウェハがウェハカセット 304 からプラズマ処理室 300 内に搬入されてプラズマエッティング処理される。このような処理がウェハカセット 304 内のウェハが全てプラズマエッティング処理されるまで繰り返される。10

#### 【0036】

しかし、上述したようにウェハカセット 304 内の全てのウェハを同一のレシピでプラズマエッティング処理を続けると図 3 に示したような経時変化が発生する場合がある。このため、Run-to-Run 制御が適用されるが、Run-to-Run 制御を行うには、まず、制御対象、本実施例ではエッティング深さに対して制御性が良い操作変数（パラメータ）を決定する必要がある。尚、操作変数は、候補となるパラメータと制御対象の値との相関関係を予め求め、予め求められた相関関係から制御対象に最適なパラメータを操作変数として決定される。20

#### 【0037】

例えば、パラメータの 1 つである高周波バイアス電力とエッティング深さ 102 との関係が図 4 のように強い相関があった場合は、Run-to-Run 制御のための操作変数の候補となり得る。

#### 【0038】

さらに、別のパラメータ、例えば、表 1 に示すシリコン窒化膜のエッティングにおけるレシピのパラメータの 1 つである酸素 ( $O_2$ ) ガスの流量とエッティング深さ 102 との関係が図 5 のように強い相関がある場合には、酸素 ( $O_2$ ) ガスの流量も Run-to-Run 制御のための操作変数の候補となり得る。30

#### 【0039】

このように操作変数の複数候補がある場合は、制御対象であるエッティング深さ 102 と操作変数の複数候補のそれぞれとの相関の強さによって操作変数の複数候補に優先度をつける。例えば、回帰直線へのあてはまり具合を表す相関係数 ( $R^2$ ) が大きい値となっている高周波バイアス電力を第一の操作変数、酸素 ( $O_2$ ) ガスの流量を第二の操作変数という優先順位のつけ方でも良い。

#### 【0040】

あるいは、高周波バイアス電力は、エッティング深さ 102 のみを制御できるが、酸素 ( $O_2$ ) ガスの流量は、エッティング深さ 102 だけでなく、加工寸法 103 である CD にも多少の影響を与えることが分かっている場合は、上記の相関係数にこの副作用分を考慮して、第一の操作変数として高周波バイアス電力、第二の操作変数として酸素 ( $O_2$ ) ガスの流量という優先順位のつけ方でも良い。40

#### 【0041】

さらに、ウェハ処理毎の Run-to-Run 制御を行うには、ウェハ毎にエッティング結果を計測する必要がある。本実施例でのエッティング結果はエッティング深さ 102 である。しかし、エッティング深さ 102 を計測するためには、Optical Critical Dimension ( OCD ) で代表される光学的な計測装置やその他の測定機へウェハを搬送して計測しなければならない。しかし、ウェハ処理毎の Run-to-Run 制御を行うためには、エッティング処理直後にエッチ50

ング結果を把握する必要がある。

**【0042】**

そこで、エッチング結果を直接的に計測するのではなく、プラズマ発光等、プラズマ処理中にモニタできる情報を利用して処理状態を推測する方法を用いる。プロセスモニタ値とプラズマ処理結果との間に相関関係があれば、プラズマ処理結果をモニタ値で代替することができるうことになる。

**【0043】**

例えば、エッチング深さ 102 とプロセスモニタ値との間に図 6 のような相関関係がある場合は、プロセスモニタ値は、エッチング深さを間接的に計測していると言える。ここでのプロセスモニタ値としては、シリコン窒化膜のエッチングの反応生成物である CN の発光強度（波長：385 nm の発光強度）等が用いられる。本実施例では、この発光強度をプロセスモニタとして用いることにした。そして、このプロセスモニタ値とプラズマ処理結果との相関関係から Run-to-Run 制御におけるプロセスモニタ値の目標値 306 を予め決定しておく。

**【0044】**

図 1において、上述のように決定されたプロセスモニタ 303 の値がウェハ処理毎に取得され、予め設定されたプロセスモニタ値の目標値 306 との差分が第一の補正量計算ユニット 307 にて計算される。続いて、この計算された差分が予め第一の補正量計算ユニット 307 に格納されている、操作変数とプロセスモニタとの相関関係を用いて操作変数の補正量が第一の補正量計算ユニット 307 において計算される。この第一の補正量計算ユニット 307 で計算された補正量は、制御装置 308 に入力され、予め設定されている次ウェハのレシピの操作変数に対応するパラメータにこの補正量が加算される。

**【0045】**

次に、制御装置 308 は、上記のように補正されたレシピをアクチュエータ 302 に送り、補正されたレシピに従い、次のウェハのエッチング処理が実行される。

**【0046】**

ここで、第一の操作変数である高周波バイアス電力のみで Run-to-Run 制御を実行した場合のプロセスモニタにおけるウェハ処理毎の値を時系列にプロットした例が図 7 である。また、第一の操作変数である高周波バイアス電力のみで Run-to-Run 制御を実行した場合の高周波バイアス電力におけるウェハ処理毎の値を時系列にプロットした例が図 8 である。

**【0047】**

図 7 ではプロセスモニタ値がプロセスモニタ値の目標値 306 になるように制御されていることがわかる。また、図 8 では操作変数である高周波バイアス電力がウェハ処理枚数とともに補正されていることがわかる。

**【0048】**

本実施例において第一の操作変数とした高周波バイアス電力は、高周波バイアス電力値が高すぎると、シリコン窒化膜のエッチング中にマスク材 101 にダメージを与えてしまい、所望のエッチング形状を得ることが困難になる。このため、本実施例の高周波バイアス電力では、図 8 に示すように高周波バイアス電力の上限値が高周波バイアス電力の上限値 800 に設定され、高周波バイアス電力が高周波バイアス電力の上限値 800 を越えるような補正は行われないようになっている。つまり、予め設定されている操作変数の上限値および下限値を操作変数が超えないように操作変数の補正量の制御範囲が定められている。

**【0049】**

このように第一の補正量計算ユニット 307 により計算された第一の操作変数の補正量が制御範囲を超える場合の本発明の Run-to-Run 制御では、第一の操作変数の補正量を制御範囲の上限値または下限値としたまま、第二の操作変数の補正量を算出し、Run-to-Run 制御を行う。

**【0050】**

つまり、第一の補正量計算ユニット 307 により計算された第一の操作変数の補正量が

10

20

30

40

50

制御範囲を超えた場合、その第一の操作変数の補正量を制御範囲の上限値または下限値に設定し、第一の操作変数追加判断ユニット309にて追加できる操作変数があるかどうかを判断する。本実施例では、上述した通り、酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量を第二の操作変数としていたため、第一の操作変数追加判断ユニット309は、酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量を第二の操作変数として追加し、第二の補正量計算ユニット310により酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量の補正量を計算する。第二の補正量計算ユニット310にて計算された酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量の補正量は、制御装置308に入力され、予め設定されている次ウェハのレシピの酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量値に加算され、補正された次ウェハのレシピに基づいて次ウェハのエッチング処理が実行される。

#### 【0051】

10

なお、本実施例と違って第二の操作変数がない場合は、第一の操作変数追加判断ユニット309は、第一の操作変数と異なる操作変数による追加の制御を行わず、制御エラーとしてプラズマ処理を停止する(311)。

#### 【0052】

上述した第二の操作変数を追加してRun-to-Run制御が継続される場合の、第一の操作変数と第二の操作変数の補正の挙動をそれぞれ、図9、図10に示す。

#### 【0053】

20

第二の操作変数を追加してRun-to-Run制御が継続された場合の、第一の操作変数である高周波バイアス電力の補正量を時系列に示したグラフを図9に示す。高周波バイアス電力の上限値800を超える処理枚数である処理枚数802までは、高周波バイアス電力による補正が行われているが、高周波バイアス電力の上限値800を超える処理枚数である処理枚数802以降では高周波バイアス電力が高周波バイアス電力の上限値800以上になるような補正が行われていないことがわかる。

#### 【0054】

一方、図10から高周波バイアス電力の上限値800を超える処理枚数である処理枚数802までは、酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量が酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量801と一定のままで酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量の補正が行われず、高周波バイアス電力の上限値800を超える処理枚数である処理枚数802以降から第一の操作変数である高周波バイアス電力の代わりに第二の操作変数である酸素(O<sub>2</sub>)ガスの流量による補正が行われていることがわかる。

30

#### 【0055】

このように、本発明のRun-to-Run制御を行うことにより、処理枚数が増加しても高周波バイアス電力値の増加によるマスク材101へのダメージを抑制するとともに安定した所望のプロセス性能結果を得ることができる。つまり、本発明のRun-to-Run制御システムでは、第一の操作変数により制御できない範囲を、第二の操作変数で補完して制御することができる。

#### 【0056】

40

さらに、第二の操作変数でも制御範囲を超える場合は第三の操作変数を追加してもよい。例えば、第二の補正量計算ユニット310により計算された第二の操作変数の補正量が制御範囲を超えた場合、その第二の操作変数の補正量を制御範囲の上限値または下限値に設定し、第二の操作変数追加判断ユニット312により第三の操作変数が追加可能どうかを判定する。第三の操作変数の追加が可能な場合は、第三の補正量計算ユニット313により第三の操作変数の補正量を計算する。

#### 【0057】

次に、第三の補正量計算ユニット313にて計算された第三の操作変数の補正量は、制御装置308に入力され、予め設定されている次ウェハのレシピの第三の操作変数に該当するパラメータの値に加算され、補正された次ウェハのレシピに基づいて次ウェハのエッチング処理が実行される。なお、第三の操作変数が無い場合、第二の操作変数追加判断ユニット312は、第一の操作変数および第二の操作変数と異なる操作変数による追加の制御を行わず、制御エラーとしてプラズマ処理を停止する(314)。

50

**【0058】**

次に上述した本発明のRun-to-Run制御のフローを図11を参照しながら説明する。

**【0059】**

ステップ700は、本発明に係るプラズマ処理装置のRun-to-Run制御の開始点、あるいは、プラズマクリーニング等を行いプラズマ処理室300内の環境状態を初期状態にリセットしたRun-to-Run制御の再開始点とする。

**【0060】**

ステップ701において当該プラズマ処理がRun-to-Run制御の対象となるプラズマ処理かどうかを判断し、Run-to-Run制御の対象のプラズマ処理であればY(Yes)の処理、Run-to-Run制御の対象のプラズマ処理でなければN(No)の処理に移行する。基本的にRun-to-Run制御は、対象となるプラズマ処理のみに適用される。10

**【0061】**

例えば、Run-to-Run制御の対象となるプラズマ処理が製品ウェハのプラズマ処理の場合、製品ウェハのプラズマ処理の間にプラズマ処理されるプラズマクリーニング等はRun-to-Run制御の対象外となり、Run-to-Run制御の対象外のプラズマ処理ではレシピの補正は行われない。なお、Run-to-Run制御の対象外となった場合はフローチャートの通り、次のプラズマ処理へ移行する。

**【0062】**

ステップ702において前回のステップ717で作成された補正レシピに基づいてプロセス処理を実行する。今回のステップ702の処理がステップ700から開始した最初の処理で、前回のステップ717の処理が行われていない場合は、予め設定された補正されていないレシピによりプラズマ処理を実行する。また、ステップ703において、実行されたプラズマ処理に用いたレシピの補正量などの履歴を保持しておく。20

**【0063】**

次に、ステップ704において、プラズマ処理中のプラズマ処理室300内の状態をモニタしたプロセスモニタ値を取得する。プロセスモニタ値は、例えば、プラズマ処理中に取得される特定波長毎のプラズマ発光強度、あるいは複数の波長のプラズマ発光強度の比などでもよい。

**【0064】**

ステップ705においては、ステップ704で取得されたプロセスモニタ値と予め設定されている目標値との偏差を算出する。30

**【0065】**

ステップ706においては、ステップ705で算出された偏差と、予め取得された第一の操作変数とプロセスモニタ値との相関関係を用いて、第一の操作変数の補正量を算出する。

**【0066】**

次に、ステップ707において、ステップ706で算出された補正量を次ウェハのレシピの第一の操作変数に該当するパラメータに適用する場合、ステップ706で算出された補正值により第一の操作変数が第一の操作変数の限界値を超えないかどうかを判断する。限界値とは、プロセス処理結果に悪影響を与える、レシピのパラメータである当該操作変数の閾値である。つまり、限界値とは、レシピのパラメータの上限値または、下限値のことである。また、上記の上限値または下限値は、プロセス処理結果に基づいて規定された値であるが、アクチュエータ302のハード面から規定される場合もある。40

**【0067】**

ステップ707において、ステップ706で算出された補正量により第一の操作変数の限界値を超えないかどうかを判断し、超えない場合は、Y(Yes)の処理に移行し、ステップ708において、第一の操作変数の補正量は、ステップ706で算出された補正量とし、第二の操作変数以降の操作変数があれば、第二の操作変数以降の操作変数の補正量は0とする。

**【0068】**

つまり、ステップ706で算出された補正值によりレシピを補正しても第一の操作変数が限界値を超えない場合は、第一の操作変数のみで制御対象の制御が可能であるため、第二の操作変数以降の操作変数に該当するパラメータは、予め設定されたレシピ通りのままである。

#### 【0069】

そして、ステップ707において、ステップ706で算出された補正值により第一の操作変数が第一の操作変数の限界値を超える場合はN(No)の処理に移行する。次に、ステップ709において、第一の操作変数の補正量は、第一の操作変数が限界値となる補正量とする。これは、第一の操作変数が限界値を超えててしまうとプラズマ処理結果に悪影響を及ぼすため、第一の操作変数の補正量は限界値を超えない補正量とする必要があるからである。また、第一の操作変数の補正量は、第一の操作変数が限界値となる補正量以下であればよい。但し、この場合は、第二の操作変数以降の操作変数の補正量がそれぞれの操作変数の補正量の制御範囲を超えない必要がある。10

#### 【0070】

次に、ステップ710において、第二の操作変数が存在するかどうかを判断する。これは、予め複数の操作変数のそれぞれと制御対象であるプロセス処理結果との相関関係を調べておき、制御可能な操作変数を選定しておく。本実施例での操作変数の選定の基準は、それぞれの操作変数とプロセス処理結果との相関関係の強さとした。また、操作変数を複数選定した場合は、それぞれの操作変数に優先度をつけて、優先度の高い操作変数から補正量を算出する。本実施例でのそれぞれの操作変数の優先度は、それぞれの操作変数とプロセス処理結果との相関関係の強さにより決めた。20

#### 【0071】

ステップ710において、第二の操作変数が存在しない場合はN(No)の処理に移行し、ステップ711にてRun-to-Run制御はエラーとしてプラズマ処理を停止する。あるいは、第二の操作変数の補正量は、0のままで、第一の操作変数の補正量を第一の操作変数が限界値となる補正量にしてプラズマ処理を継続してもよい。この場合、通常、第一の操作変数が限界値に留まっているため、プロセスマニタ値が目標値へと収束していかない。しかし、処理枚数の増加とともに変動するプラズマ処理室300内の部品の温度等の影響により、プロセスマニタ値が徐々に目標値へ近づく場合があるため、この場合は、第一の操作変数の補正量を第一の操作変数が限界値となる補正量にしても処理を継続することは可能となる。30

#### 【0072】

そして、ステップ710において、第二の操作変数が存在する場合はY(Yes)の処理に移行する。次に、ステップ712において、第一の操作変数の補正量を第一の操作変数が限界値となる補正量の場合のプロセスマニタ値と目標値との偏差を算出する。

#### 【0073】

続いて、ステップ713において、ステップ712により算出された偏差と事前に取得された第二の操作変数とプロセスマニタ値との相関関係を用いて、第二の操作変数の補正量を算出する。

#### 【0074】

次に、ステップ714において、ステップ713により算出された第二の操作変数の補正量を次ウェハのレシピの第二の操作変数に該当するパラメータに適用する場合、第二の操作変数の補正量により第二の操作変数が限界値を超えないかどうかを判断する。限界値を超えない場合はY(Yes)の処理に移行し、ステップ715において、第二の操作変数の補正量は、ステップ713により算出された補正量とし、第三の操作変数以降の操作変数があれば、第三の操作変数以降の操作変数の補正量を0とする。40

#### 【0075】

そして、ステップ714において、第二の操作変数の補正量により第二の操作変数が限界値以上となる場合は、N(No)の処理であるステップ716に移行する。

#### 【0076】

10

20

30

40

50

ステップ716の「A」は、ステップ709～716で記述した「第一の操作変数」を「第二の操作変数」、「第二の操作変数」を「第三の操作変数」、「第三の操作変数」を「第四の操作変数」とそれぞれ置き換えたステップ709～716のことである。さらに、この「A」は自らのステップ716を含んだ再帰的なステップ処理となっており、以降、「第Nの操作変数」を「第N+1の操作変数」と置き換えることを意味する。つまり、本発明のRun-to-Run制御では、第N+1の操作変数まで適用したRun-to-Run制御が可能である。

#### 【0077】

ステップ717においては、前ステップまでに算出された、あるいは、0とされた第一の操作変数から第N+1の操作変数のそれぞれの補正量を、Run-to-Run制御対象のプラズマ処理のレシピにおけるそれぞれの操作変数に該当するパラメータに適用して補正レシピを作成する。この時、ステップ703で記録された過去のそれぞれの操作変数の補正量も参照され、今回の補正レシピが決定される。この補正レシピは、次のステップ702が処理されるまで保持される。10

#### 【0078】

以上の各ステップを繰り返しながらRun-to-Run制御が繰り返し実行される。

#### 【0079】

また、ステップ718において、制御エラーとしてプラズマ処理が停止、プラズマ処理装置の何らかの異常によりプラズマ処理装置が停止、または、所定枚数のウェハのプラズマ処理が完了した時にRun-to-Run制御が終了する。20

#### 【0080】

以上、上述した本発明のRun-to-Run制御のフローに基づいたRun-to-Run制御を制御装置308が行う。このため、本発明は、制御エラーを極力発生させずに継続してRun-to-Run制御を実行でき、プラズマ処理装置の稼働率を低下させることなく安定した所望のプロセス性能結果を得ることができる。

#### 【0081】

本実施例は、プラズマ処理として、プラズマエッチングの例であったが、プラズマスパッタ、プラズマCVD (plasma-enhanced chemical vapor deposition) 等の成膜、プラズマアッキング等の他のプラズマ処理でも本発明のRun-to-Run制御を適用できる。

#### 【符号の説明】

#### 【0082】

100 シリコン窒化膜

101 マスク材

102 エッチング深さ

103 加工寸法

200 ロット内の変動

201 ロット間の変動

300 プラズマ処理室

301 ウェハ

302 アクチュエータ

303 プロセスモニタ

304、305 ウェハカセット

306 目標値

307 第一の補正量計算ユニット

308 制御装置

309 第一の操作変数追加判断ユニット

310 第二の補正量計算ユニット

312 第二の操作変数追加判断ユニット

313 第三の補正量計算ユニット

315 試料台

30

40

50

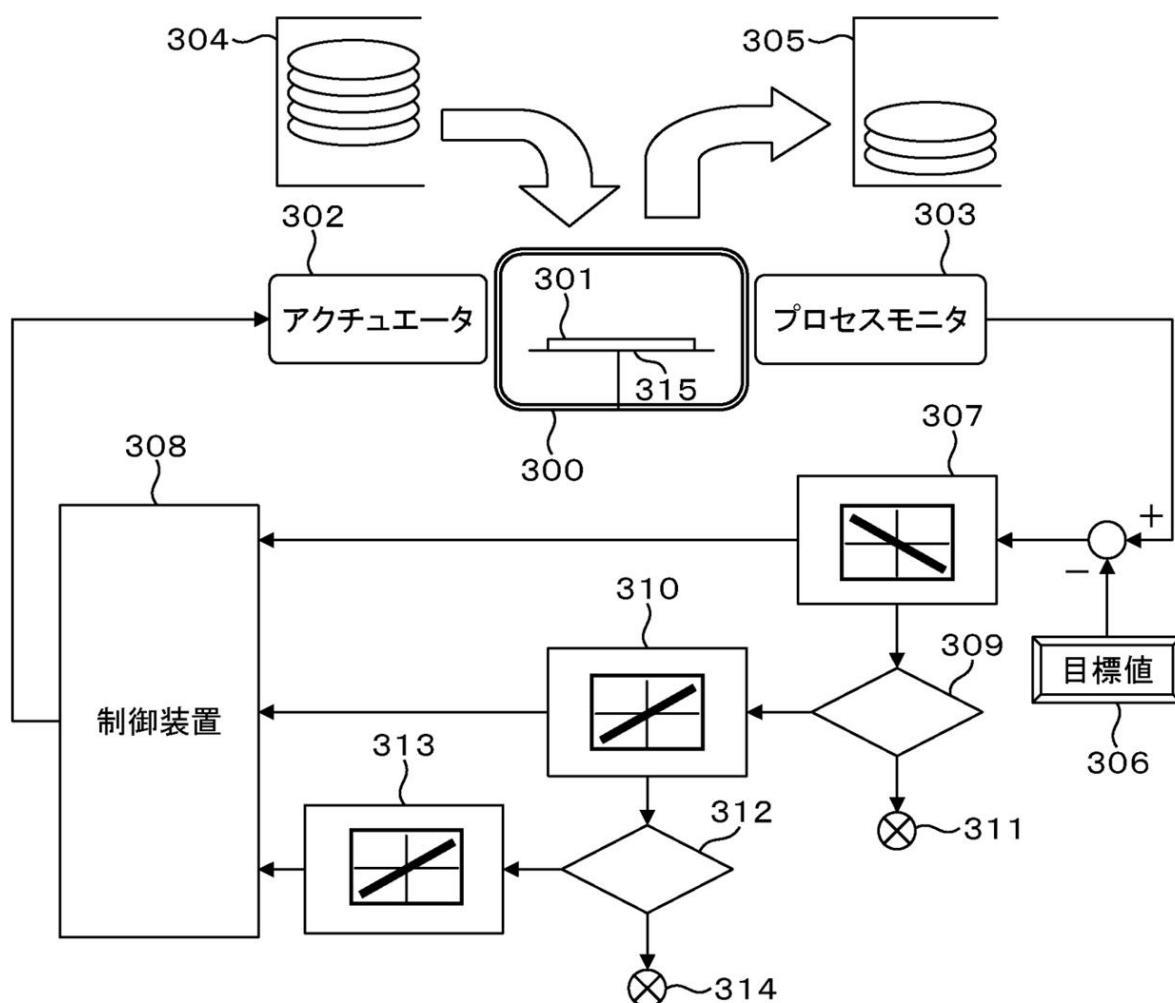
8 0 0 高周波バイアス電力の上限値

8 0 1 酸素 (O<sub>2</sub>) ガスの流量

8 0 2 高周波バイアス電力の上限値 8 0 0 を超える処理枚数である処理枚数

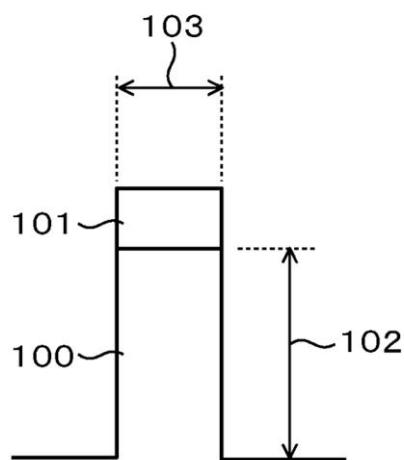
【図1】

図 1



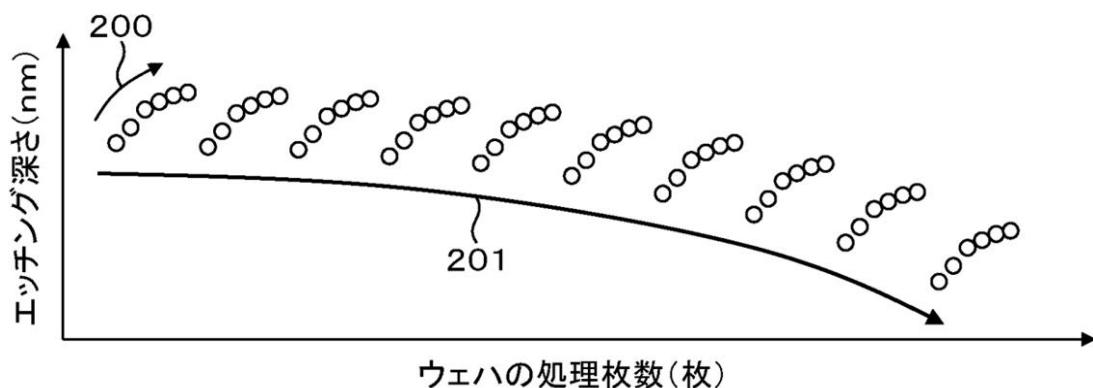
【図2】

図 2



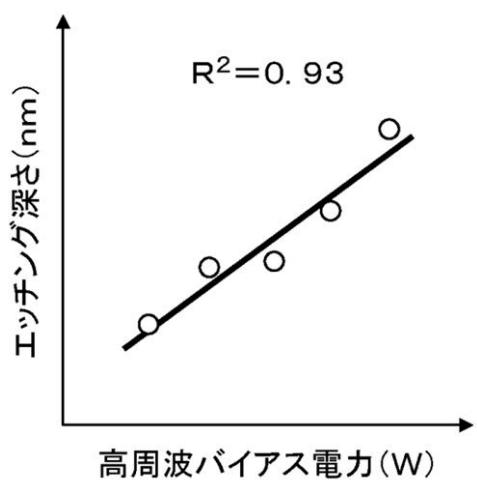
【図3】

図 3



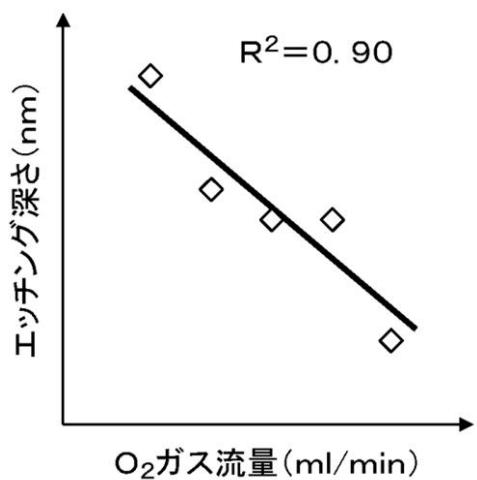
【図4】

図 4



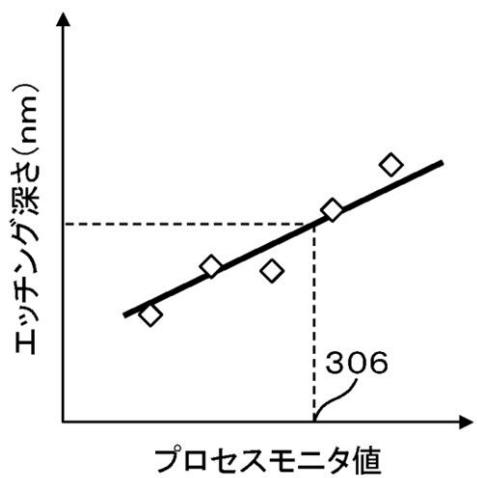
【図5】

図 5



【図6】

図 6



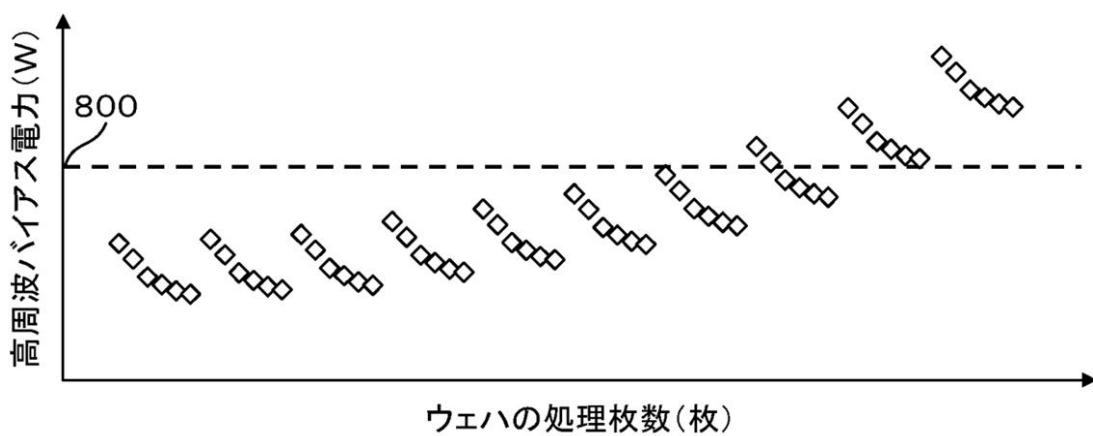
【図7】

図 7



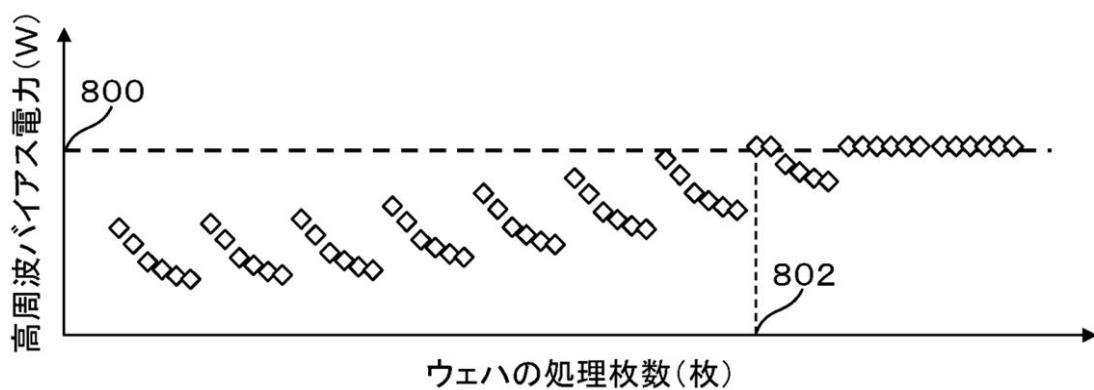
【図8】

図 8



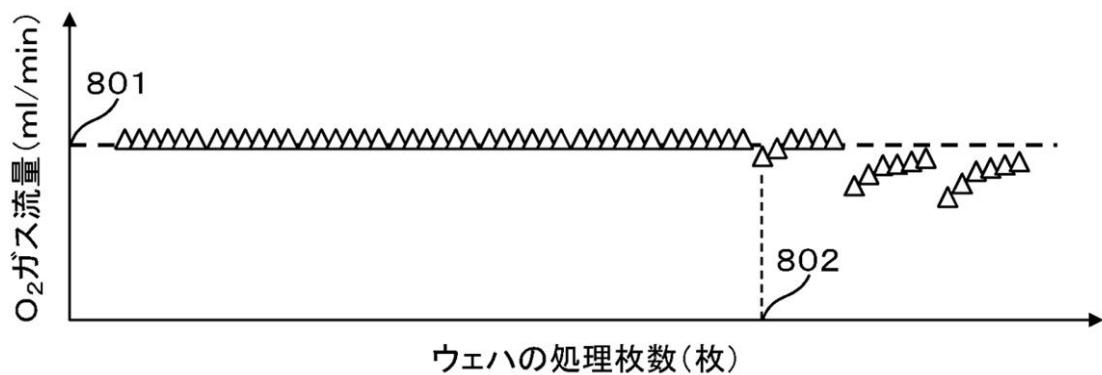
【図9】

図 9



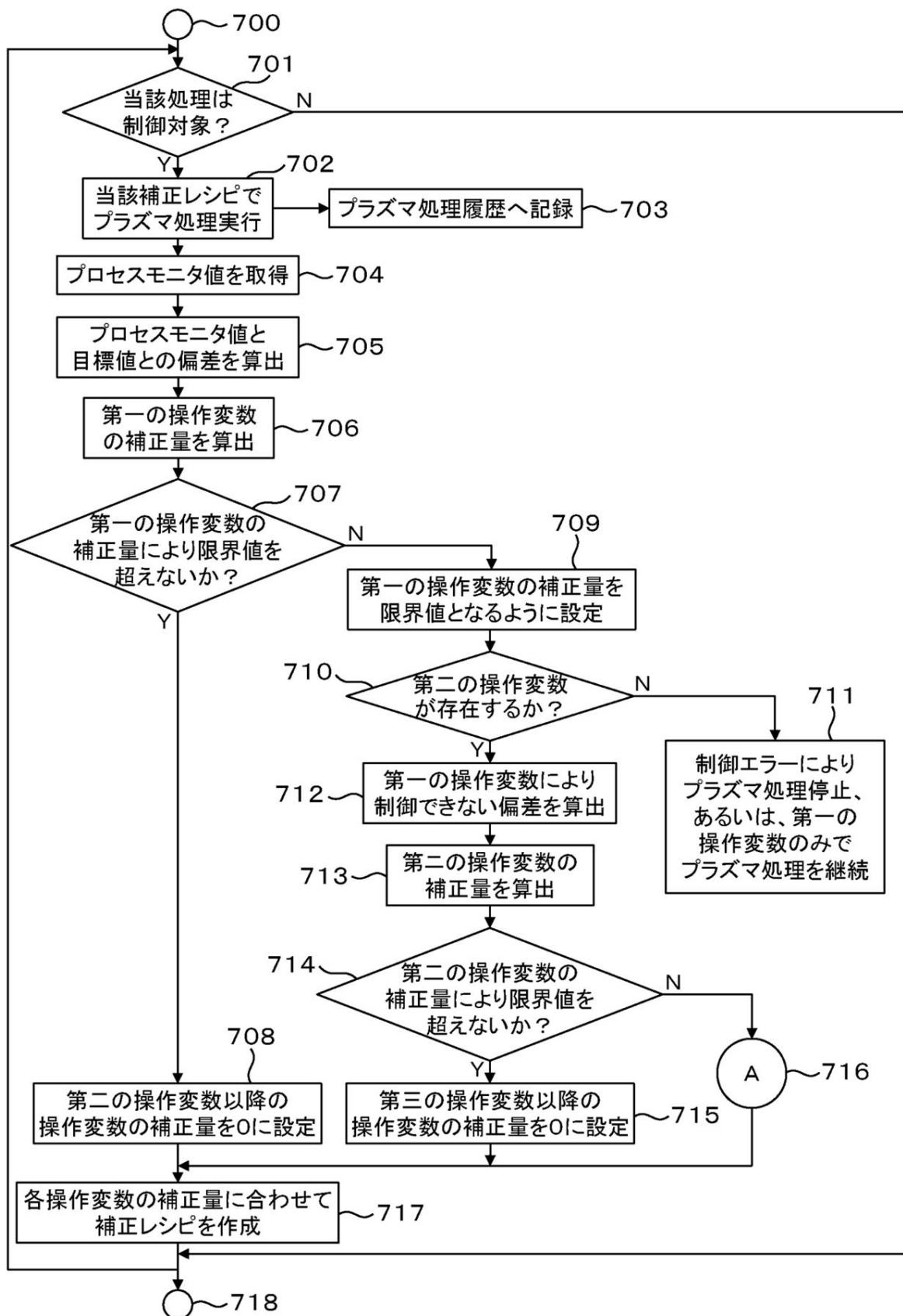
【図10】

図 10



【図11】

図 11



---

フロントページの続き

(72)発明者 白石 大輔

山口県下松市大字東豊井794番地  
ズ 笠戸事業所内

株式会社 日立ハイテクノロジー

(72)発明者 長谷 裕治

山口県下松市大字東豊井794番地  
ズ 笠戸事業所内

株式会社 日立ハイテクノロジー

審査官 溝本 安展

(56)参考文献 特開2011-082441(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065  
H01L 21/31