

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-51269
(P2005-51269A)

(43) 公開日 平成17年2月24日(2005.2.24)

(51) Int.C1.⁷
H01L 21/02
H01L 21/205
H01L 21/3065

F 1
H01L 21/02 Z
H01L 21/205
H01L 21/302 103

テーマコード(参考)

5 F 004
5 F 045

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2004-297773 (P2004-297773)
 (22) 出願日 平成16年10月12日 (2004.10.12)
 (62) 分割の表示 特願2001-258116 (P2001-258116)
 の分割
 原出願日 平成13年8月28日 (2001.8.28)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (71) 出願人 000233077
 株式会社 日立インダストリーズ
 東京都足立区中川四丁目13番17号
 (74) 代理人 100093492
 弁理士 鈴木 市郎
 (74) 代理人 100078134
 弁理士 武 顯次郎
 (72) 発明者 田中 潤一
 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社
 日立製作所機械研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体処理装置

(57) 【要約】

【課題】

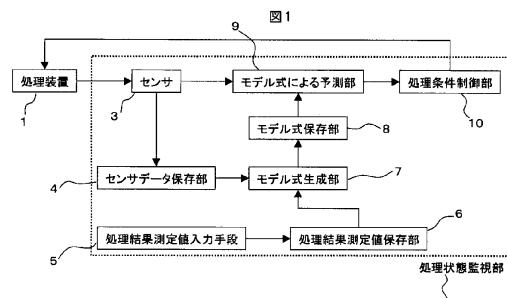
処理状態をモニタし、モニタ出力に基づき異常処理を検出あるいは処理結果を予測することにより、処理装置の稼働率と信頼性を向上する。

【解決手段】

半導体ウエ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3と、前記半導体処理装置により処理した半導体ウエハの処理結果の測定値を入力する処理結果入力手段5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7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9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10を備えた。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

半導体ウエ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エ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ことを特徴とする半導体処理装置。 10

【請求項 2】

請求項 1 の記載において、前記モデル式生成部は PLS 法 (Partial Least Square method) を用いてモデル式を生成することを特徴とする半導体処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 の記載において、前記モデル式生成部はロバスト回帰分析法 (Robust Regression) を用いてモデル式を生成することを特徴とする半導体処理装置。

【請求項 4】

請求項 1 の記載において、前記モデル式生成部は主成分ロバスト回帰分析法 (Principal Component Robust Regression) を用いてモデル式を生成することを特徴とする半導体処理装置。 20

【請求項 5】

半導体ウエ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エ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、

前記予測した予測値、あるいは該予測値と予め設定した設定値とのずれを表示する表示部を備えたことを特徴とする半導体処理装置。 30

【請求項 6】

請求項 1 の記載において、前記複数のセンサが取得した複数のセンサデータをもとに主成分を抽出する主成分抽出部と、

該抽出部が抽出した主成分の変動のばらつきをもとに処理の異常を検出する異常検出部を備え、

前記モデル式生成部にモデル式が生成されていない場合、前記異常検出部が異常を検出したとき処理を停止することを特徴とする半導体処理装置。

【請求項 7】

請求項 1 および請求項 5 の記載において、前記センサデータを保存するセンサデータ保存部および処理結果入力手段に入力した処理結果を保存する処理結果測定値保存部を備え、前記モデル式生成部は前記各保存部に保存したセンサデータおよび測定値をもとに前記モデル式を生成し、生成したモデル式をモデル式保存部に保存することを特徴とする半導体処理装置。 40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は半導体処理装置に係り、特に、処理結果を予測して装置の稼働率と信頼性を向上した半導体処理装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、半導体デバイスの寸法は微細化しており、加工の寸法精度は0.1μm以下のゲート電極を10%以下の寸法精度で加工しなければならないほど厳しくなっている。一方、熱やプラズマを用いて半導体ウエハを物理化学的に加工する半導体製造装置では、装置内部の化学反応により生成される反応生成物などが装置の内壁に付着して残留し、時間と共にウエハの処理状態を変化させる。このためウエハの処理を何枚も重ねるにつれて、ウエハ上の半導体デバイスの加工形状が徐々に変化し、性能が劣化する。

【0003】

この問題に対しては、通常、チャンバ内壁の付着物をプラズマによってクリーニングするか、チャンバ壁の温度を上げて付着物が付き難くするなどの対策が取られる。しかし、大抵の場合、これらの対策は完全ではなく、結局半導体デバイスの加工形状は徐々に変化してしまう。このため、加工形状が問題となる場合には、加工形状が変わる前に製造装置の部品の交換や洗浄を行わなければならない。また、前記堆積膜以外にも様々な装置状態の変動がウエハの加工形状の変動に関与する。

【0004】

このため、半導体製造装置内部の処理状態の変化を検出し、検出結果を半導体製造処理装置の入力にフィードバックして処理状態を一定に保つなどの工夫がなされてきた。

【0005】

プラズマ処理の変動を監視する方法は、例えば特許文献1に示されている。この公報には、プラズマ処理特性と装置の電気信号の関係式を用いて装置性能を予測したり、プラズマの状態を診断する方法が示されている。その方法としては、3つの電気信号と装置のプラズマ処理特性との関係を表す近似式を重回帰分析により求める方法が開示されている。

【0006】

また、もう一つの例が特許文献2に示されている。この公報には、既存の複数の検出器を取り付けた一般的な検出システムを半導体製造装置に当てはめ、その検出信号の相関信号から装置の状態を監視する方法が示されている。その相関信号を生成する方法としては、6つの電気信号の比による計算式が開示されている。

【0007】

また、もう一つの例が特許文献3に示されている。この公報には、光や質量分析器の数多くの信号を取り込んで相関信号を生成し装置の状態を監視する方法が示されている。また、この相関信号を生成する方法としては主成分分析を用いる方法が示されている。

【特許文献1】特開平10-125660号公報

【特許文献2】特開平11-87323号公報

【特許文献3】米国特許第5658423号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、前記特許文献1の方法では、装置を監視するセンサデータが多種類あつたときに、予測しようとする処理性能と無関係な多くの信号が説明変数に入るため重回帰分析による予測がうまくいかなくなる。また、前記特許文献2の方法は、よく知られた複数の検出手段からの複数の検出信号の相関をとった信号を診断に用いるという一般的な方法である。また、開示された相関をとる方法もいくつかの信号の比をとるという従来の方法であり、これら的方法を、多くの変動原因に応じて多様な状態を取る半導体製造装置の状態を正確に監視するシステムに適用することは困難である。

【0009】

前記特許文献3には、以上の方法とは異なり装置からモニタした多量のデータを主成分分析して装置状態の変動を捉えることによりプラズマの状態を監視する方法が開示されている。しかし、実際の量産に用いられる半導体製造装置では、このように一般的な統計処理の方法をあてはめるだけではうまく稼動しない。例えば、主成分がどのように変化する

10

20

30

40

50

と処理結果がどうなるのかがわからない場合がほとんどであるからである。

【0010】

本発明はこれらの問題点に鑑みてなされたもので、さまざまな種類のデバイスを処理する半導体処理装置において、処理状態をモニタし、モニタ出力に基づき異常処理を検出あるいは処理結果を予測することにより、装置の稼働率と信頼性を向上した半導体処理装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は上記課題を解決するため、次のような手段を採用した。

【0012】

半導体ウエ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エ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。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、処理状態をモニタし、モニタ出力に基づき異常処理を検出あるいは処理結果を予測するので、処理装置の稼働率および信頼性を向上することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

図1は、本発明の第1の実施形態に係る半導体処理装置を示す図である。図において半導体処理装置1には、処理状態を監視する処理状態監視部2が備えられている。処理状態監視部2は半導体処理装置1の中に組み込まれていてもよいし、処理装置1の外側に設置してもよい。また、ネットワークなどを介して離れた場所に設置してもよい。さらに、図2に示すように機能の一部がネットワークなどを介して分離されていてもよい。

【0015】

処理状態監視部2の詳細を以下に示す。まず、処理装置1におけるウエハの処理状態を監視するためのセンサ3を備える。センサ3は通常、いくつかの種類のセンサを用いる。例えば、処理装置がプラズマエッティング装置やプラズマCVD装置などである場合、前記センサ3は処理中のプラズマの発光を分光器を用いてスペクトル分解し、分解した各波長ごとの発光強度をセンサデータとして取得する。例えば、1000チャンネルのCCDアレイを有する分光器を用いたときには1000個のセンサデータを1回のサンプリングごとに取得できる。また、装置の圧力や温度、ガス流量などもセンサデータとして用いる。また、電流、電圧、インピーダンスやそれらの高調波成分などの電気的測定結果をセンサデータとして用いることができる。

【0016】

ウエハの処理中には適当な時間間隔でこれらのセンサデータを取得し、取得したセンサデータはセンサデータ保存部4に保存する。一方、処理の終わったウエハは、処理装置1の外部あるいは装置に組み込まれた処理結果測定器により処理結果を測定する。処理結果測定は、CDSSEMによるゲート幅の測定、断面SEMによる断面形状等の加工形状の測定、あるいは加工したデバイスの電気的特性の測定である。これらの測定は、全てのウエハについて行うことは必要でなく、通常は一部のウエハを抽出して処理結果を測定すればよい。

【0017】

処理状態監視部2は、この処理結果の測定値を受け取るために処理結果測定値入力手段5を持つ。入力手段5は、フレキシブルディスクあるいはCDROM等の可搬媒体に記録された情報を読み取る読み取り装置とすることができる。また、有線あるいは無線のネット

10

20

30

40

50

トワーク接続装置とすることもできる。

【0018】

入力手段5により受け取った処理結果の測定値は、処理結果測定値保存部6に保存する。保存部6には処理結果の測定値が各種のデバイス毎に保存されることになる。

【0019】

モデル式生成部7は、センサデータ保存部4および処理結果測定値保存部6から、センサデータおよび処理結果測定値データが保存されている同種のデバイスのサンプルを取り出す。このサンプルの数が、例えば3個以上あるときセンサデータを説明変数として処理結果測定値を予測するモデル式を作成することができる。通常、このときのセンサの種類およびセンサデータの数は多数であり、予測に用いるセンサおよびセンサデータを自動的に選び出すことは困難である。特に様々なデバイスが処理される場合などでは、デバイスごとに予測に有効なセンサデータの種類は異なるので、あらかじめ予測に用いるセンサを決めておくことは困難である。

【0020】

図6は、PLS法によるモデル式生成処理を説明する図である。図6に示すように、PLS法では、予測すべきデータの変動と最も相関が強くなるような説明変数を多数のセンサデータから自動的に生成する。このとき、同時にセンサデータから説明変数を計算するための関数も得られる。

【0021】

まず、n枚のウエハの処理結果測定値を予測対象とし、 Y_i でi番目のウエハの処理結果測定値を表すこととする。また、一つのウエハからm個のセンサデータを得た場合は、 $S_{i,j}$ でi番目のウエハのj番目のセンサデータを示すこととする。この場合、m個のセンサデータは同じセンサの異なる時間におけるデータでもよいし、異なるセンサからのデータであってもよい。

【0022】

図7は、センサデータ $S_{i,j}$ の例を説明する図である。図7に示すように、処理装置1の、1枚のウエハ1に対して施す処理が3ステップ（ステップ1ないしステップ3）あり、また、このとき処理状態を監視するセンサがA、B、Cの3種類であるとき、各ステップ毎の各センサのセンサデータ $S_{i,j}$ を、それぞれ図に示すように $S_{1,1}$ ないし $S_{n,9}$ として取得する。なお、 $S_{i,j}$ は、各ステップ処理中のセンサデータの平均値としてもよいし、2乗や逆数等のセンサデータを変換した値とすることもできる。

【0023】

PLS法を用いると、複数のセンサデータ $S_{i,j}$ を、ウエハの処理結果測定値 Y_i の変動との相関の強さの順に並んだm個の説明変数 $X_{i,k}$ に変換することができる。センサデータ $S_{i,j}$ から説明変数 $X_{i,k}$ へと変換する関数 F_k は式(1)で表される。

【0024】

$$X_{i,k} = F_k(S_{i,1}, S_{i,2}, \dots, S_{i,m}) \dots \quad (1)$$

この説明変数 $X_{i,k}$ のうちのいくつかを用いて処理結果測定値を予測する。通常は、説明変数 $X_{i,1}$ が最も処理結果測定値 Y_i との相関が強いので、 $X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}$ などを説明変数として選ぶ。PLS法では式(2)のような予測式が同時に生成される。しかし、先に述べた $X_{i,1}$ などの説明変数を用いて予測式(2)を生成した方がよいこともある。

【0025】

$$Y_i = p(X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}) \dots \quad (2)$$

ところで、処理結果測定値の中には、ウエハの処理状態が悪く、異常な処理を施されたウエハの異常データも入っている。このようなデータ含めて通常の重回帰分析で予測を行うと、前記異常データに影響されて予測精度の悪いモデル式が生成される。

【0026】

図8は、ロバスト回帰分析を説明するグラフである。ロバスト回帰分析を予測に用いる

10

20

30

40

50

と、図 8 に示すように、異常のあるデータがアウトライアとして予測対象からはずされる。このため正しい予測モデル式を生成することができる。

【0027】

図 9 は、モデル式生成部 7 のモデル式作成処理を説明するフローチャートである。モデル式生成部 7 において、センサデータの種類がたくさんあるときには、センサデータの主成分解析を行い(ステップ 901, 902)、得られた第 1 主成分を用いてロバスト回帰分析を行い処理結果を予測する(ステップ 905 ~ 906)。このとき、処理結果の予測に必要のない主成分も説明変数に含まれるので、回帰係数が小さい主成分を除去して(ステップ 907)、別の主成分(第 2 主成分)を説明変数に追加(ステップ 904)し、再び重回帰分析を行う(ステップ 906)という処理を、予測誤差が設定値より小さくなるまで(ステップ 908)繰り返し行う。予測誤差が設定値より小さくなると処理を終了する(ステップ 909)。これらの回帰分析は線形でもよいし、処理の物理的特性や経験値から導かれる非線形の回帰分析を用いてもよい。

【0028】

このような方法で生成したモデル式は、図 1 に示すモデル式保存部 8 に保存する。モデル式は同種のデバイスごとに作成するため、モデル式保存部には処理装置 1 で処理するデバイスの数だけのモデル式が保存されることになる。

【0029】

処理装置 1 による処理が開始し、処理装置 1 に特定のデバイスを形成すべきウエハをロードして処理するとき、予測部 9 はモデル式保存部 8 から前記特定のデバイスに対応するモデル式をロードする。このウエハの処理中にセンサ 3 から得られた信号は、例えば PLS 法により得られた式 1 を用いて説明変数に変換するか、あるいは主成分分析により主成分に変換し、式 2 のモデル式を用いて処理結果の予測値を計算する。計算した予測値は処理条件制御部 10 に渡す。処理条件制御部 10 は前記予測値と処理結果の設定値とのずれを補正するように処理条件

を変更する。

【0030】

次に前記処理条件制御部 10 による処理条件の補正を説明する。ここで、再び PLS 法を用いる。通常の半導体デバイスの処理では、加工の要求としていくつかの相反する処理性能が要求されることが多い。例えば、ゲート電極のエッチング加工などでは、ゲート電極の側壁の垂直性と下地酸化膜と、ゲートポリシリコンのエッチング選択性が要求される。

すなわち、側壁の垂直性を改善するためには堆積性の低いエッチング条件を用いたほうがよく、下地酸化膜との高選択性を達成するためには堆積性の高いエッチング条件を用いたほうがよい。このように二つの相反する要求がある場合には処理条件の制御は難しい。

図 10, 11, 12 は、このような相反する要求を満足する処理条件を求める方法を説明する図である。

【0031】

例えば、処理装置 1 の経時変化により側壁の垂直性が悪くなったときに、処理条件 1 (ここではガス A の流量) を減少させると垂直性が良くなるとしても、同時に下地酸化膜の選択性が悪くなる場合は処理条件としては好ましくない。

【0032】

このため、例えば、処理条件 1 と処理条件 2 (ここではウエハバイアス電力) を組み合わせ、側壁の垂直性を改善しながら、かつ、下地酸化膜の選択性が悪化しない条件を見出さなければならない。

【0033】

このためには、まず、図 10 に示すように、通常の処理条件(中心条件)の周りに数点から数十点の処理条件を変えた実験条件を設定して加工処理を行い、処理結果を測定する。図 12 中の点 1 ~ 4 は、図 10 の実験条件 1 ~ 4 にあたる。ここでは処理結果測定値 A

10

20

30

40

50

として側壁の垂直性の測定値をとり、処理結果測定値 B として下地酸化膜選択比をとる。

【0034】

次に、図 1 1 に示すように、以上の実験に対して P L S 法を適用し、二種類の処理条件と二種類の処理結果測定値の相関を調べる。そうすると、図 1 2 に示すように側壁垂直性に相関の強い条件の方向 A が得られる。また、同様にして P L S 法により得られる下地酸化膜選択比に相関の強い方向から、方向 A に直交し下地酸化膜選択比に相関の強い方向 B が計算できる。この条件方向 A と条件方向 B を、図 1 に示す処理条件制御部 1 0 に設定しておく。このように設定しておけば、モデル式をもとに予測部 9 が側壁の垂直性が悪化していると予測したとき、処理条件を条件方向 A に振れば下地酸化膜選択比を犠牲にせずに側壁垂直性のみを改善することができる。計算した処理条件の制御方向は、制御条件制御部 1 0 の処理条件制御方向保存手段 1 4 に保存しておき、モデル式による処理結果予測値が設定値からずれた場合に処理条件を修正するのに用いる。

【0035】

以上の例では、二種類の処理条件を変化させたが、P L S 法ではさらに多くの種類の処理条件を変化させることができ、多くの処理条件を変化させるほど好ましい結果が得られる。また、相反する処理結果測定値も、二種類だけでなく、もっと多数の処理結果を対象とすることができる。例えば、側壁の垂直性と下地酸化膜選択比に加えて、マスク選択比などを対象とすることができます。

【0036】

図 3 は、本発明の他の実施形態を示す図である。図において、1 1 は予測値表示部であり、予測値、あるいは該予測値と予め設定した設定値とのずれを警告表示する。なお、図において図 1 に示される部分と同一部分については同一符号を付してその説明を省略する。なお、前記表示部は、警報を発するブザーあるいは電子メール等の発信手段とすることができます。

【0037】

図 4 は、本発明のさらに他の実施形態を示す図である。以上の説明では、モデル式が生成されていることを前提に処理条件制御部 1 0 の監視制御を説明した。しかし、モデル式を未だ生成していない種類のデバイスに対しては監視制御することができない。処理結果の測定には非常に時間がかかる場合が多く、ほとんど処理結果の測定が行われない場合があり、そのようなデバイスに対してはモデル式を生成することができない。図 4 は、このような場合でも監視制御することのできる処理状態監視部（副処理状態監視部）2' を示す図である。

【0038】

図 4 に示すように、多数のセンサ 3 からの多種のセンサデータをもとに主成分抽出部 1 2 で主成分を抽出する。異常監視部 1 3 は前記抽出した主成分の変動のばらつきを監視することにより処理の異常を検出する。異常を検出した場合には次のウェハ処理の着手を停止すると良い。異常の検出には、例えば S P C (Statistical Process Control) と呼ばれるばらつきの管理方法を用いればよい。このためには、該当するデバイスの処理中の主成分の平均値と分散を記憶しておき、測定された主成分が平均値から分散の数倍以上離れたときに処理を異常と判定する。

【0039】

図 5 は、処理状態監視部 2 および副処理状態監視部 2' の双方を備えた処理装置に好適な処理フローを説明する図である。まず、処理しようとするデバイスに対するモデル式を生成し保存しているか否かを判定する（ステップ 501）。モデル式が保存されている場合は処理状態監視部 2 により監視制御を実行する（ステップ 502）。モデル式が保存されていない場合は処理状態監視部 2' により監視制御を実行する（ステップ 503）。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図 1】本発明の実施形態にかかる半導体処理装置を示す図である。

10

20

30

40

50

【図2】半導体処理装置の変形例を示す図である。

【図3】本発明の他の実施形態を示す図である。

【図4】本発明のさらに他の実施形態を示す図である。

【図5】処理状態監視部および副処理状態監視部を備えた処理装置に好適な処理フローを説明する図である。

【図6】PLS法によるモデル式生成処理を説明する図である。

【図7】センサデータの例を示す図である。

【図8】ロバスト回帰分析を説明するグラフである。

【図9】モデル式生成部のモデル式作成処理を説明するフローチャートである。

【図10】処理条件を求める方法を説明する図である。

【図11】処理条件を求める方法を説明する図である。

【図12】処理条件を求める方法を説明する図である。

【符号の説明】

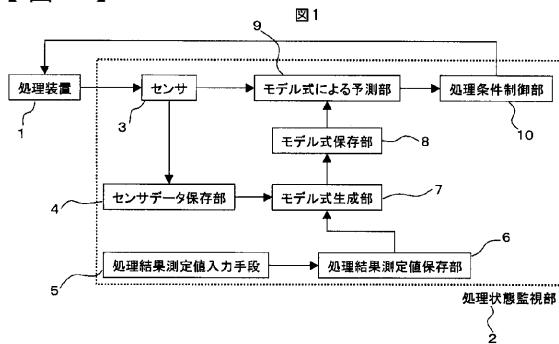
【0041】

- 1 半導体処理装置
- 2 処理状態監視部
- 3 センサ
- 4 センサデータ保存部
- 5 処理結果測定値入力手段
- 6 処理結果測定値保存部
- 7 モデル式生成部
- 8 モデル式保存部
- 9 モデル式による予測部
- 10 処理条件制御部
- 11 予測値表示部
- 12 主成分抽出部
- 13 異常検出部
- 14 処理条件制御方向保存手段

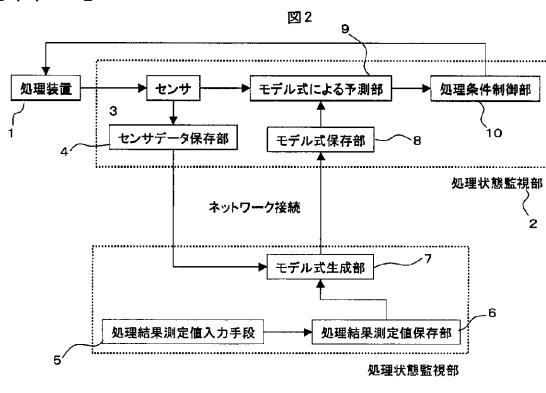
10

20

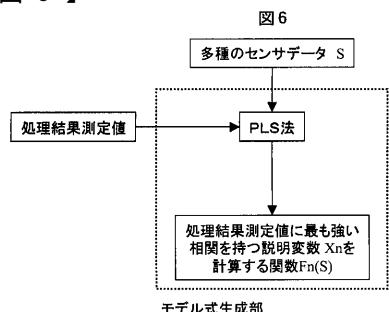
【 図 1 】



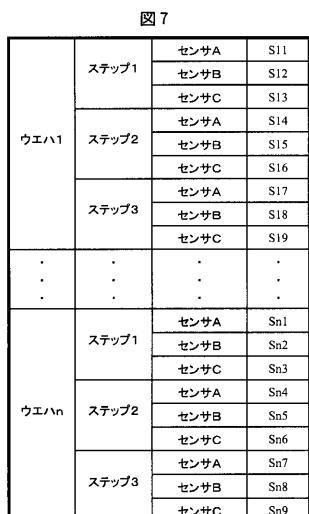
【 図 2 】



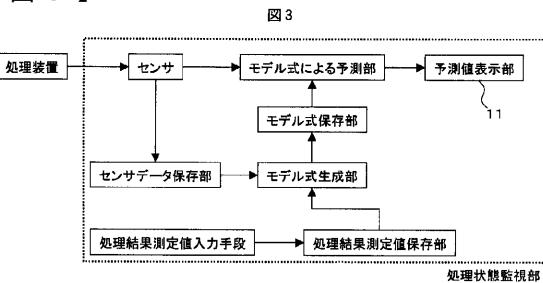
【 図 6 】



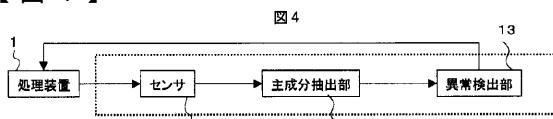
〔 四 7 〕



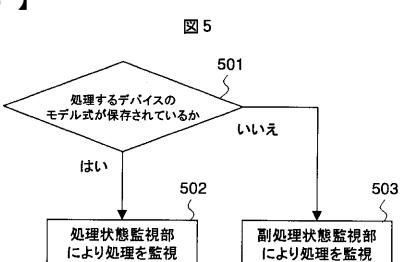
【図3】



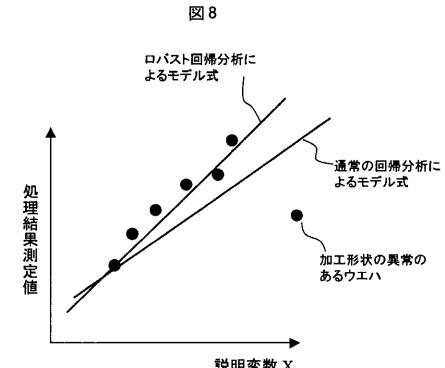
【 図 4 】



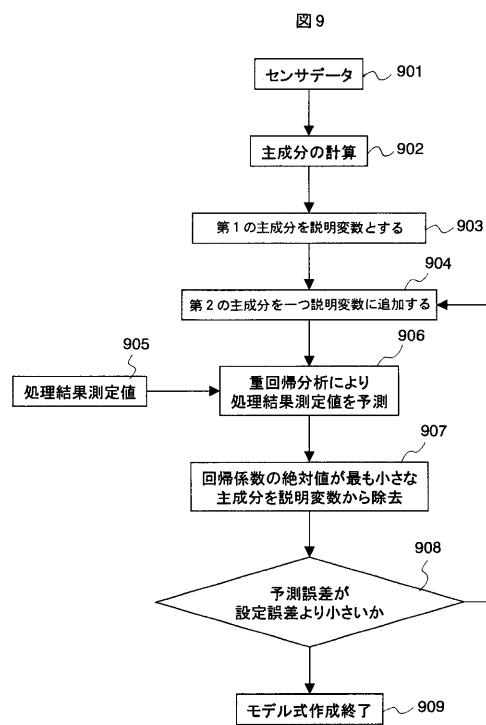
【図5】



【 図 8 】



【図9】

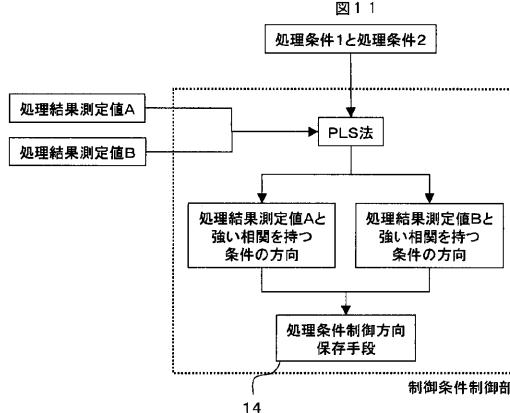


【図10】

図10

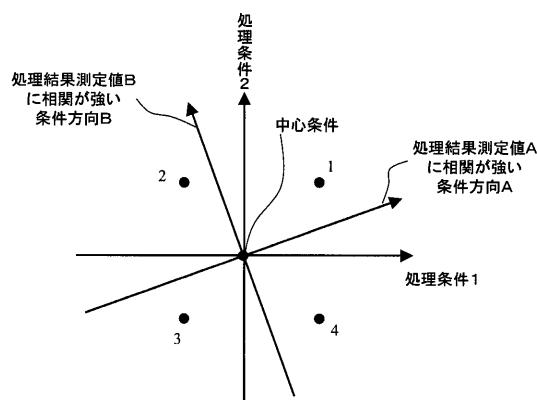
	処理条件1 (ガスAの流量)	処理条件2 (ウエハバイス電力)
中心条件	500sccm	50W
実験条件1	520sccm	60W
実験条件2	520sccm	60W
実験条件3	480sccm	40W
実験条件4	480sccm	40W

【図11】



【図12】

図12



フロントページの続き

(72)発明者 橋内 浩之
茨城県土浦市神立町 502 番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 鹿子嶋 昭
山口県下松市大字東豊井 794 番地 株式会社日立製作所笠戸事業所内

(72)発明者 白石 大輔
山口県下松市大字東豊井 794 番地 株式会社日立製作所笠戸事業所内

(72)発明者 山本 秀之
山口県下松市大字東豊井 794 番地 株式会社日立製作所笠戸事業所内

(72)発明者 幾原 祥二
東京都足立区中川四丁目 13 番 17 号 日立テクノエンジニアリング株式会社内

(72)発明者 増田 俊夫
茨城県土浦市神立町 502 番地 株式会社日立製作所機械研究所内

F ターム(参考) 5F004 AA01 BD04 CB02
5F045 AA08 BB01 GB04 GB15

【要約の続き】