

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6239294号  
(P6239294)

(45) 発行日 平成29年11月29日(2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日(2017.11.10)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 3

請求項の数 10 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-149020 (P2013-149020)  
 (22) 出願日 平成25年7月18日(2013.7.18)  
 (65) 公開番号 特開2015-23104 (P2015-23104A)  
 (43) 公開日 平成27年2月2日(2015.2.2)  
 審査請求日 平成28年7月14日(2016.7.14)

(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2 4 番 1 4 号  
 (74) 代理人 100098660  
 弁理士 戸田 裕二  
 (72) 発明者 戸上 真人  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 株式会社 日立製作  
 所内  
 (72) 発明者 臼井 建人  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 株式会社 日立製作  
 所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理装置の運転方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器内部の処理室と、この処理室内で形成したプラズマからの特定の波長の発光の強度の変化を検出する検出器と、この検出器からの出力を用いて前記プラズマの形成または前記処理室内に配置されたウエハを処理する条件を調節するプラズマ処理装置であって、

前記検出器が、前記処理中の任意の時刻以前の複数の時刻で検出した前記特定の波長の発光の強度の信号から得られる前記特定の波長の発光の強度の変化を示す時系列のデータからノイズの成分を除去する第1のフィルタと、前記ノイズの成分が除去された信号から当該信号に含まれる所定の値より長い周期で時間的に変化する成分を除く第2のフィルタと、当該第2のフィルタを通して前記所定の値より長い周期で時間的に変化する成分が除去された信号の前記所定の値より短い周期で時間的に変化する成分の当該変化に基づいて前記処理の目標への到達を判定する判定部とを含み、

当該判定部の判定の結果に基づいて前記プラズマの形成または前記ウエハを処理する条件を調節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であって、

前記第2のフィルタが無限インパルス応答フィルタであるプラズマ処理装置。

【請求項 3】

請求項1または2に記載のプラズマ処理装置であって、

10

20

前記第 1 のフィルタが無限インパルス応答フィルタであるプラズマ処理装置。

【請求項 4】

請求項 2 または 3 に記載のプラズマ処理装置であって、

前記無限インパルス応答フィルタがカルマンフィルタであるプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置であって、

前記第 1 のフィルタが前記第 2 のフィルタより大きな外挿次数を用いたカルマンフィルタであり、前記第 2 のフィルタが前記第 1 のフィルタより小さな外挿次数を用いたカルマンフィルタであるプラズマ処理装置。

【請求項 6】

真空容器内部の処理室と、この処理室内で形成したプラズマからの特定の波長の発光の強度の変化を検出する検出器と、この検出器からの出力を用いて前記プラズマの形成または前記処理室内に配置されたウエハを処理する条件を調節するプラズマ処理装置の運転方法であって、

前記検出器が、前記処理中の任意の時刻以前の複数の時刻で検出した前記特定の波長の発光の強度の信号から得られる前記特定の波長の発光の強度の変化を示す時系列のデータからノイズの成分を除去した後、前記ノイズの成分が除去された信号から当該信号に含まれる所定の値より長い周期で時間的に変化する成分を除き、当該所定の値より長い周期で時間的に変化する成分が除かれた信号から前記所定の値より短い周期で時間的に変化する成分の当該変化を検出し前記処理の目標への到達を判定するものであって、

当該判定の結果に基づいて前記プラズマの形成または前記ウエハを処理する条件を調節するプラズマ処理装置の運転方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のプラズマ処理装置の運転方法であって、

前記ノイズの成分が除去された信号から当該信号の所定の値より長い周期で時間的に変化する成分を無限インパルス応答フィルタを用いて検出するプラズマ処理装置の運転方法。

【請求項 8】

請求項 6 または 7 に記載のプラズマ処理装置の運転方法であって、

前記ノイズの成分を無限インパルス応答フィルタを用いて除去するプラズマ処理装置の運転方法。

【請求項 9】

請求項 7 または 8 に記載のプラズマ処理装置の運転方法であって、

前記無限インパルス応答フィルタがカルマンフィルタであるプラズマ処理装置の運転方法。

【請求項 10】

請求項 6 に記載のプラズマ処理装置の運転方法であって、

前記検出器は、前記ノイズを第 1 の外挿次数を用いたカルマンフィルタを用いて低減させた後、このノイズを低減させた信号から前記所定の値より長い周期で時間的に変化する前記発光の強度の成分を前記第 1 の外挿次数より小さな第 2 の外挿次数を用いたカルマンフィルタを用いて検出してこれを低減するプラズマ処理装置の運転方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体集積回路等半導体デバイスを製造するため半導体ウエハ等の基板状の試料上の膜を真空容器内部の処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に係り、特にプラズマを用いて処理対象の膜に対して行う処理の終点を検出するプラズマ処理装置およびプラズマ処理装置の運転方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

半導体デバイスの微細化に伴い、エッチング処理において被エッチング材料の微弱な膜厚や反応生成物の発生量を高精度にモニタリングし、適切なタイミングで終点検出することが可能な技術 (EPD: End Point Detection) が求められている。例えば、半導体ウエハのエッチング終点検出方法の1つとして、従来から、ドライエッチング処理中にプラズマ中の対象とする反応生成物に対応する特定の波長を有する発光の強度の変化を検出し、この検出の結果に基づいて特定の膜のエッチング終点を検出する方法が知られている。

【0003】

このような技術では半導体ウエハのドライエッチング処理中において、プラズマ光における特定波長の発光強度が、特定の膜のエッチング進行に伴って変化するので、当該変化の量を高精度に検出することで処理の終点や加工の量、或いは処理対象の膜の残り厚さを検出するものである。このような検出の際には、発光強度のデータに含まれるノイズによる検出波形のふらつきやバラつきに起因する誤検出や検出の精度の低下を抑制することが求められる。

【0004】

このような発光強度の変化を精度良く検出するための従来の技術のとしては、例えば、特開昭61-53728号公報(特許文献1)や特開昭63-200533号公報(特許文献2)に開示のものが知られている。この特許文献1では得られた時間変化に対する発光強度の変化を示すデータに対して移動平均法により、また特許文献2では1次の最小2乗近似処理を行なって当該データに含まれるノイズの低減を行っている。

【0005】

また、エッチングの際に発生する反応生成物を、プラズマ処理装置の真空容器内の処理室側方から光(参照光)を放射し処理室を通過した当該光を検出器で受光して反応生成物の量の大きさや分布とその変化を検出するものが知られている。この技術では、得られた参照波形の時間変化率から反応生成物を推定するような構成を取る。

【0006】

一方で、このような技術は、開口率が大きい場合は参照波形の変化量が大きいため容易に反応生成物の検知が可能であるが、開口率が低くなるにつれて、参照波形の変化量が小さくなり、変化が雑音に埋もれてしまい、反応生成物の検知が困難となる。そこで、特許文献1では、波形中の雑音をデジタルフィルタで落として、変化を浮き上がらせた後で、変化を検出する技術が開示されている。この従来技術では、発光に関するデータの時間変化率を算出する際に、変化の小さい成分はベースラインとして取り除かれることになるため、変化の量が大きく検出しようとする処理の変化に対応すると予想される成分のみを抽出することができる。

【0007】

一方、これらの従来技術のように、真空容器内の処理室に形成したプラズマの放電により施されているエッチング処理中に処理の終点到達したか否かの判定を発光分光法により行うエッチング終点判定装置は、ウエハを処理する毎に堆積物付着等により検出信号が弱まって終点の検出または判定の精度が低下してしまう問題が知られていた。このような課題に対して、例えば特開昭63-254732号公報(特許文献3)に記載されたもののように、安定したエッチング終点検出を行うため検出信号のゲイン値、オフセット値を変更することで検出信号を補正するものが従来より知られていた。また、特公平4-57092号公報(特許文献4)に記載のように、安定したエッチング終点検出を行うため、ゲイン、オフセット調整機能を付加することなしに、光電変換手段に取り込まれる検出信号を設定値に調整することで補正を行うものが知られていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2000-228397公報

【特許文献2】特開昭63-200533号公報

【特許文献3】特開昭63-254732号公報

10

20

30

40

50

【特許文献4】特公平4 - 57092号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記の従来技術では、以下の点について考慮が不十分であったため問題が生じていた。すなわち、従来の技術では、処理対象の膜のエッチング処理中に当該処理を一時中断しエッチング速度と残膜厚とを検出し、その結果に基づいて更なるエッチング処理に要する時間を求め、この時間に応じてよりその後のエッチング処理あるいは終点の判定を行っている。

【0010】

このような従来技術では、試料毎に処理対象の膜厚さにバラつきが有る場合にはこのバラつきに起因して目標である残り膜厚さの値までの処理に要する時間が変動するが、この変動に応じて残りの処理の時間を増減させて精密に処理を終了させることが困難となり、加工後の残膜厚さがバラついて歩留まりを低下させてしまうという問題が生起していた。

【0011】

また、上記の通り、特許文献1の技術では、発光に関するデータの時間変化率を算出する際に、変化の小さい成分はベースラインとして取り除かれることになるため、変化の量が大きく検出しようとする処理の変化に対応すると予想される成分のみを抽出することができ、処理の終点等の特徴的变化を精度良く検出できる。しかしながら、処理室内に形成されるプラズマは、処理室内での処理の時間やこれに伴って生じる反応生成物が処理室内部に付着あるいは堆積した量が増大するに伴って、その電位や発光の強さ等のプラズマの特性が変化することが一般的である。

【0012】

このような経時に伴うプラズマの特性の変化が緩やかなものである場合には、従来の技術ではこれを十分にベースライン成分を取り除くことは困難であった。或いは、このような緩やかな変化を取り除こうとすれば、取り除こうとするノイズの大きさを当該緩やかな変化の量を含むだけ十分な大きさのものとすることになり、本来検出しようとする時間変化に伴う発光に関するデータ変化を十分な精度が得られるだけ大きなものとして検出できなくなり、検出の精度を損なってしまう、処理の歩留まりが損なわれてしまうという問題について、上記従来技術では考慮されていなかった。

【0013】

本発明の目的は、処理の歩留まりを向上させたプラズマ処理装置またはプラズマ処理装置の運転方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記目的は、IIR（無限インパルスレスポンス）フィルタにより、発光の強度の信号から時間変化のベースライン成分をその傾きの時間変化に追従しながら検出し、検出したベースラインの成分を発光の強度の信号から除くことにより変化の成分を抽出することにより達成される。

【発明の効果】

【0015】

本発明では、これにより、ベースライン成分の傾きが、緩やかに変化する場合であっても、高精度に追従し、変化成分のみを抽出することが可能となる。そして、推定した波形からベースラインを消去することで、変化成分のみを抽出することができ、処理の終点の到達に特徴的な変化を精度良く検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の実施例に掛るプラズマ処理装置の構成の概略を模式的に示す図である。

【図2】図1に示す実施例における変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【図3】図1に示す実施例におけるベースライン推定部の構成の概略を示すブロック図で

10

20

30

40

50

ある。

【図４】図１に示す実施例に係る検出器の外挿処理の流れを示すフローチャートである。

【図５】図１に示す実施例に係る検出器の終点の検出の流れを示すフローチャートである。

【図６】図１に示す実施例に係る検出器による検出の結果の例を示したグラフである。

【図７】図１に示す実施例の変形例に係る検出器の変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【図８】図１に示す実施例の別の変形例に係る検出器の変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【図９】図１に示す実施例のさらに別の変形例に係る検出器のベースライン推定部の構成の概略を示すブロック図である。 10

【図１０】図１に示す実施例の検出器の出力の外挿次数 $N$ をパラメータとした変化を示すグラフである。

【図１１】図１に示す実施例の検出器の出力の $O/P$ をパラメータとした変化を示すグラフである。

【図１２】図１に示す実施例のさらに別の変形例に係る検出器の変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【図１３】図１２に示す変形例の検出器における変化を含む波形を用いてパラメータを最適化する流れを示すフローチャートである。

【図１４】図１２に示す変形例の検出器における変化を含まない波形を用いてパラメータを最適化する流れを示すフローチャートである。 20

【発明を実施するための形態】

【００１７】

以下に、本発明の実施の形態を図面を用いて説明する。

【実施例１】

【００１８】

以下、図１乃至図６を用いて、本発明の実施例を説明する。本発明は、半導体ウエハ等の被処理材をプラズマを用いてエッチングする際に、プラズマの発光から検出した光の強度の変化を示す波形の長期的な変化（長い周期を有した変化、長い波長域の変化）の傾向を示すデータや情報（ベースライン）を高精度に推定し、得られたベースラインの値を上記波形から除くことにより、急激な或いは大きな変化の成分を示すデータや情報を検出するものである。 30

【００１９】

図１を用いて、本発明にかかるエッチング量（マスク材の残存膜厚またはシリコンのエッチング深さ）測定装置を備えた半導体素子が形成される半導体ウエハのエッチング装置であるプラズマ処理装置の全体構成を説明する。

【００２０】

本実施例のエッチング装置（プラズマ処理装置）１０１は、内部の空間の形状に合わせて形状が円筒形状を有した真空容器１０２を備えており、その内部の空間である円筒形状を有した処理室に図示を省略したガス導入手段から導入されたエッチング処理用のガスがマイクロ波電力等の電界または真空容器の処理室外周に配置されたソレノイド等の磁場形成のための手段により供給された磁界により励起されて処理室内にプラズマ１０３が形成される。処理室の下部には、円筒形状を有して、実質的に円形の半導体ウエハ等の基板状の被処理材の試料（以下、ウエハ）１０４がその円形を有した上面に載せられる試料台１０５が配置されこのプラズマ１０３により試料台１０５上のウエハ１０４上面に予め形成された複数の薄膜の層が上下に積層されて構成された膜構造の処理対象の膜層がエッチング処理される。 40

【００２１】

本実施例のプラズマ処理装置１０１は、処理中にプラズマによる処理の状態、特にエッチングの量（膜構造の上方の膜を構成するマスク材の残存膜厚や処理対象の膜層であるシ 50

リコン（ポリシリコン、Poly-Si）のエッチング深さ）を検出する検出器１１２が連結されて配置されている。この検出器１１２は、光ファイバー１０７を介して真空容器１０２または内部の処理室と接続されて連結され処理室内からの光を受ける分光器１０８と、分光器１０８から出力される所定の波長の前記光の強度を用いて当該光の強度の変化を検出して出力する変化強調部１０９と、変化強調部１０９からの出力を用いてプラズマによる対象膜の処理が終点へ到達したかを判定する終点判定部１１０とを有している。

#### 【００２２】

本実施例では、ウエハ１０４の処理中に、分光器１０８が有する測定用光源（例えばハロゲン光源）からの多波長の放射光１０６が、光ファイバー１０７を介して真空容器１０２の処理室内に導かれ、エッチングの際に生じる処理室内またはプラズマ中の反応生成物に垂直の入射角で照射される。光ファイバー１０７の処理室側の先端部は、真空容器の処理室の天井面または円筒形状の側壁の内面に配置された開口あるいはこれら内側の処理室に面した透光性を有した部材で構成された窓部と連結され、窓または開口を通して光が処理室の内部及び外部の光ファイバー１０７の先端の間を伝達される。

#### 【００２３】

反応生成物から反射した光は、再度光ファイバー１０７を介して検出器１１２の分光器１０８に導かれ、検出器では、分光器１０８から得られた所定の波長の光の強度の変化から検出されるエッチング処理の状態に基づいて終点の到達の判定が行われる。検出器１１２の変化強調部１０９では、エッチング処理に伴う反応生成物の影響により発光の強度の変化が生じる波長の時間波形からプラズマまたは処理室内からの光（発光）の強度の変化を抽出する部分である。

#### 【００２４】

終点判定部１１０では、発光の強度が特定の変化を示せば処理は終点に到達したものと判定される。このような発光の変化の特定の変化を検出した結果を用いる処理の終点の判定は、従来から知られた技術を用いることができる。本実施例では、発光の強度の時間的な変化（時間の変化に対する強度の発光の変化）が極値を示す、つまりその時間についての微分（時間微分）が０となる（ゼロクロスする）位置を算出することで行う。このような処理により求められたウエハのエッチング量についての情報は、検出器１１２から出力されプラズマ処理装置１０１に備えられた液晶やＣＲＴのモニタ等の表示器１１１により表示される。

#### 【００２５】

本構成における変化強調部１０９の詳細なブロック構成を図２に示す。図２は、図１に示す実施例における変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。本図において、雑音除去部２０１では、入力された発光の強度の変化を示す信号の波形のうちエッチングに伴って形成された反応生成物の影響により発光の強度に変化が生じる波長の時間波形（時間の変化に対する強度の変化）から、これと無相関な白色雑音の除去または低減する処理を、検出する予め設定されたサンプリングの時間間隔毎に行う。

#### 【００２６】

白色雑音の除去は、デジタルフィルタによるローパスフィルタを用いることは可能である。しかし、時間波形の変化の成分は、ベースラインと比べて高周波数であるため、この白色雑音を効率的に除去する目的でローパスフィルタのカットオフ周波数をベースラインの周波数近辺に設定すると、時間波形中の変化成分を除去してしまうことになり、以後の処理で目標とするエッチングの量の変化を示す発光の強度の特定の成分の抽出が困難となってしまう。

#### 【００２７】

そこで本実施例では、雑音除去部２０１では、無限インパルス応答フィルタであるカルマンフィルタ（R.E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," Trans. ASME, J. Basic Eng., vol. 82 D, no. 1, pp. 34--45, 1960.）を用いて、時間の変化に無相関な白色雑音の成分を低減する構成を備えた。本実施例では、エッチングに伴う反応生成物の影響により発光強度の変化が生じる波長の時間波形を状態

方程式

$$X_t = H(X_{t-1}) + u_t$$

でモデル化する。ここで、 $X_t$ は、対象とする時間波形中の白色雑音を含まない成分である。 $H$ は過去の状態からの状態遷移行列である。 $u_t$ は、時間波形の時間変化成分である。

【0028】

また、実際に得られる発光の強度の時間に対する変化（時間変化）を $Y_t$ とし、白色雑音を含まない成分との間の対応関係を

$$Y_t = CX_t + v_t$$

としてモデル化する。 $v_t$ は観測雑音項と呼ばれ、除去すべき白色雑音をモデル化した項である。 $C$ は状態変数の中（またはその線形結合）の内、観測される成分を特定する出力

10

【0029】

$u_t$ を0平均のガウス分布とみなし、各時間毎のばらつきの大きさを表す共分散行列を $R_u$ とする。同様に、 $v_t$ を0平均のガウス分布とみなし、 $v_t$ の共分散行列を $R_v$ とする。 $R_u$ と $R_v$ は、予め定めるパラメータとする。 $R_u$ は、1行1列目のみ  $s^2$ で定義される値を持ち、残りの要素は0となる行列として定義する。

【0030】

$s^2/R_v$ が大きい程、白色雑音除去量が小さくなり、逆に小さい程、白色雑音除去量が大きくなる。白色雑音を含まない時間波形の推定値を以下のように求める。

【0031】

予測処理： $X_t|(t-1) = H(X_{t-1}|t-1)$ 、  
フィルタリング処理： $X_t|t = X_t|(t-1) + K(Y_t - CX_t|(t-1))$

20

ここで、 $K$ はカルマンゲインと呼ばれ、観測信号の情報をどの程度、雑音を含まない時間波形の推定値にフィードバックするかを制御する変数である。 $K$ は $K = R_x t|(t-1) C^T (R_v + C R_x t|(t-1) C^T)^{-1}$ で求めることができる。

【0032】

ここで、 $R_x t|(t-1)$ は、各時刻毎の予測誤差を意味し、 $R_x t|(t-1) = H R_x(t-1)|(t-1) H^T + R_u$ となる。更に、 $R_x t|t = (I - KC) R_x t|(t-1)$ でもとまる。上記の流れは、全ての変数がガウス分布に従う確率変数とみなした時の平均二乗誤差最小化規範(MMSE)解に相当している。

30

【0033】

本実施例では、 $H$ の1行目を、 $[2, -1]$ 、2行目を $[1, 0]$ とする2行2列の行列とする。これは、雑音除去後の波形が過去2点からの直線近似で予測できることを前提としていることに相当する。 $C$ は、 $[1, 0]$ の1行2列とすることで、雑音除去後の波形が観測した時間波形のちょうど中央を通る信号として推定されることになる。

【0034】

カルマンフィルタ後の信号は、カルマン smoother による補正を施される。カルマン smoother とは、雑音抑圧対象の時間よりも先の時間の信号を利用して、雑音抑圧性能を高めるような構成を指す。カルマン smoother では、現在の信号を以下の流れで補正する。

40

【0035】

$$\begin{aligned} R_{x|t}|L_t &= R_{x|t}|t - A_t(R_{x|t+1}|t - R_{x|t+1}|L_t)A_t^T \\ X_{t|L_t} &= X_{t|t} + A_t(X_{t+1}|L_t - X_{t+1}|t) \\ A_t &= R_{x|t}|t C^T R_{x|t+1}|t^{-1} \end{aligned}$$

ここで、 $L_t = t + L$ は、時間 $t$ の雑音を低減する対象の信号の補正に利用する複数のサンプリング時間の最大時間のものの番号（インデックス）とする。つまり、白色雑音の除去の処理後の時間波形が出力される時間が $L$ の分だけ時間の進行の方向に遅れることになる。雑音除去部201はカルマン smoother で補正した信号を出力する。

【0036】

50

ベースライン推定部 202 は、雑音除去部 201 からの出力を受けて白色雑音が除かれた後の発光の強度の時間波形を用いて反応生成物の発生に伴う変化を含まない成分（ベースライン）を検出する。本実施例のベースライン推定部 202 は、カルマンフィルタに基づく構成となるが、過去の状態からの変動を外挿により推定する際に用いる過去のサンプリング時刻の時点の数である外挿次数  $N$  を、雑音除去部 201 のカルマンフィルタのものよりも大きい値（3 以上）に設定する。

【0037】

このことにより、時間毎に緩やかにしか傾きが変わらないベースライン成分をより強調してより明確に抽出する。 $N = 2$  の場合であっても、 $R_u$  と、観測雑音の分散パラメータ  $R_v$  の比率を、雑音除去 201 の 1 構成として示したカルマンフィルタよりも、小さい値に設定することで、時間毎に緩やかにしか傾きが変わらないベースライン成分を強調して抽出することが可能となる。

10

【0038】

有限の外挿次数  $N$  を用いてベースラインの推定を行うことにより、時間の経過とともに緩やかに変化するベースラインの値は、その変化の割合あるいは変化率の時間的な変動に追従しつつ高い精度で検出または推定される。また、発光の強度の信号のベースラインの検出に用いる外挿次数  $N$  の大きさを反応生成物に起因する発光の変化の成分の抽出に用いる外挿次数  $N$  より大きくすることで、より長い周期のベースラインの変化とより短い周期の反応生成物に起因する発光の変化とを明確に分けて検出し、その検出の精度を向上させることで、後述する終点の判定等のプラズマの形成や処理の条件の変化、調節というプラズマ処理装置 101 の動作の制御を高精度に行うことができる。

20

【0039】

図 10 に外挿次数  $N$  をパラメータとして変化させた場合の検出器 112 から得られる変化の推定値の値の変化を示す。図 10 は、図 1 に示す実施例の検出器の出力の外挿次数  $N$  をパラメータとした変化を示すグラフである。本図では、100 秒直後の変化成分が、 $N$  の増大に伴ってより大きく明確に検出出来ていることが判る。

【0040】

ベースライン推定部 202 のより詳細な構成を図 3 に示す。図 3 は、図 1 に示す実施例におけるベースライン推定部の構成の概略を示すブロック図である。

【0041】

30

本図に示す通り、ベースライン推定部 202 は、雑音が除去された雑音除去波形を受信して内分処理した結果を外挿係数により補正してベースライン推定値として出力するとともに、当該ベースライン推定値をベースラインのデータベースに記憶あるいは格納する。まず、内分パラメータ設定部 307 は、状態遷移時の雑音の分散パラメータ  $R_u$  と、観測雑音の分散パラメータ  $R_v$  を、設定ファイルから読み込んだり、表示器 111 上に表示される画面での PC のキーボードやマウス等の入出力手段を用いたもの等の標準的なユーザーインターフェース機構を用いて設定される。

【0042】

そして、読み込んだ  $R_u, R_v$  は、ベースライン推定部 202 の処理を行うコンピュータ等の制御用の装置上にあるメモリやハードディスク等の記憶領域内に設定された内分パラメータデータベース 306 に記憶される。図 11 に、 $R_v/R_u$  の比率の  $\log_{10}$  を取った値 ( $O/P$ ) を示す。 $O/P$  が大きくなるほど、100 秒直後の変化が明確に検出出来ていることが判る。

40

【0043】

外挿係数算出部 304 では、カルマンフィルタにおいて外挿処理によりベースラインを推定する際に、用いる過去のベースラインのポイント数（外挿次数）を設定ファイルから読み込んだり標準的なユーザーインターフェース機構を用いて設定される。ここで、設定された次数を  $N$  とする。外挿係数算出部 304 では、外挿次数  $N$  に応じて外挿係数  $G$  が算出あるいは予め得られた複数のデータのうちから選択される。

【0044】

50



外挿係数  $G$  を推定する流れを図 4 に示す。図 4 は、図 1 に示す実施例に係る検出器の外挿処理の流れを示すフローチャートである。

【 0 0 4 5 】

上記のユーザインターフェースが用いられて、外挿次数  $N$  が設定される（ステップ 401、以下同）。次に、設定された外挿次数  $N$  から、外挿係数  $G$  の算出に用いる 1 行 2 列のベクトル  $k$  が  $(N+1, 1)$  として設定される（402）。

【 0 0 4 6 】

次に、 $N$  行 2 列の行列  $H$  が、2 列目が全て 1、1 列目の  $n$  行目が  $n$  となるように設定される（403）。次に、 $H$  の擬似逆行列  $H$  が  $H^+ = H^T (HH^T)^{-1}$  となるように算出される（404）。

10

【 0 0 4 7 】

$N$  行  $N$  列の行列  $G$  の 1 行目を  $kH^+$  とする。それ以外の行を 0 とする（405）。算出した行列  $G$  を出力する（406）。

このようにして求めた外挿係数  $G$  は、二乗誤差最小化の観点で最適となる過去  $N$  点のベースライン推定値から次のポイントのベースライン推定値を求めるための外挿曲線の係数となる。

【 0 0 4 8 】

外挿係数算出部 304 では、求めた外挿曲線の係数  $G$  を、上記の記憶領域内に設定された外挿係数データベース 303 に記憶する。バッファ部 301 では、補正処理部 308 から出力される時刻  $t$  でのベースラインの推定値  $x_t|t$  を異なる時刻で受け取るたびに、これをベースラインバッファデータベース 311 に FIFO (Fast In Fast Out) で送信してこれに記憶させる。本実施例のベースラインバッファデータベース 311 は、少なくとも  $N$  点のベースライン推定値を保持できるだけの記憶容量を有するものとする。

20

【 0 0 4 9 】

また、バッファ部 301 は、ベースラインバッファデータベース 311 に記憶された過去  $N$  点のベースライン推定値  $(x_t|t, x_{t-1}|t-1, \dots, x_{t-N+1}|t-N+1)$  を用いて、これらのベースライン推定値を各行に並べたベクトル  $X_{t-1}|t-1$  を生成する。

【 0 0 5 0 】

外挿処理部 302 では、 $X_{t-1}|t-1$  に左から外挿係数  $G$  をかけた  $X_t|t-1 = GX_{t-1}|t-1$ （外挿値）を算出する。 $X_t|t-1$  の第 1 行の値が、 $t$  ポイント目におけるベースラインの予測値となる。

30

【 0 0 5 1 】

内分処理部 305 では、まず、誤差予測部 310 が推定する誤差予測値  $V_t|t-1$  から、内分の行列  $K$ （内分量）を  $K = V_t|t - 1C^T (V_t|t - 1 + Ru)^{-1}$  として算出し出力する。ここで、 $C$  は 1 行  $N$  列のベクトルであり、1 列目が 1 で、残りの列は 0 となる行列とする。

【 0 0 5 2 】

補正処理部 308 では、内分処理部 305 が出力する内分量  $K$  と、雑音除去波形  $y_t$  から、ベースライン推定値  $X_t|t$  を、 $X_t|t = X_t|t-1 + K(y_t - CX_t|t-1)$  で求める。そして、 $X_t|t$  の 1 行目を出力する。

【 0 0 5 3 】

40

誤差更新部 309 では、誤差予測部 310 が出力する  $V_t|t-1$  と、内分処理部 305 が出力する  $K$  から、誤差推定値  $V_t|t$  を、 $V_t|t = (I - KC)V_t|t-1$  として算出し出力する。誤差予測部 310 では、誤差更新部 309 が出力する  $V_t|t$  を  $V_{t-1}|t-1$  と読み替え、外挿処理部 302 が出力する外挿係数  $G$  と内分パラメータ 306 に格納されている内分パラメータ  $Ru$  から、 $V_t|t-1 = GV_{t-1}|t-1 - 1G^T + Ru$  として  $V_t|t-1$  を求めて出力する。

【 0 0 5 4 】

ベースライン推定部 202 は、補正処理部 308 が出力するベースライン推定値  $x_t|t$  を図 2 の引き算部 203 に出力して終了する。引き算部 203 では、雑音が除去された後の発光の強度の時間変化を示す信号  $y_t$  から  $x_t|t$  を引いた信号  $z_t$  を出力する。 $x_t|t$  がベースライン推定値であるため、信号  $z_t$  は、雑音が低減された後の信号中の反応生成物発生に伴う波

50

形の変化の成分を示すものとなり、これはベースラインよりも周期の短い（波長の長い）変化の成分をより多くの割合で含むものとなる。

【 0 0 5 5 】

雑音除去部 2 0 4 では、雑音除去部 2 0 1 と同様の処理により、zt中の白色雑音を取り除いた信号（変化成分の雑音除去波形）atを出力する。差分処理部 2 0 5 では、 $bt=at-at-1$ で、atの一階差分値btを算出する。算出された値は、発光の強度の信号のベースラインの成分が除かれた変化の成分としての差分値を示している。

【 0 0 5 6 】

更に、雑音除去部 2 0 6 では、btから雑音除去部 2 0 1 で行われる処理と同様に、白色雑音を除去した信号が出力される。この出力の信号は、ベースラインの成分が除かれた発光の強度の信号の差分であって処理の進行に伴う、より周期（波長の）の短い変化である、処理対象の膜あるいはプラズマ中の粒子または処理室内部の状態の変化が強調された信号を示している。

【 0 0 5 7 】

これが変化強調部 2 0 9 による演算の結果の出力として出力される。変化強調部 1 0 9 中の全ての雑音を除去する部分でカルマンフィルタを用いることにより、ベースラインが緩やかな変動を持つ場合であっても、その影響を強く受けずより明確に変化の成分を抽出することができる。

【 0 0 5 8 】

図 5 で、本実施例における終点の判定を行う処理のフローを記載する。図 5 は、図 1 に示す実施例に係る検出器の終点の検出の流れを示すフローチャートである。

【 0 0 5 9 】

本図において、まず変化強調部 1 0 9 の内部で用いられるパラメータが処理開始前に設定される（ステップ 5 0 1、以下同）。この設定は、上記と同様に設定ファイルから読み込んだり、表示器 1 1 1 上に表示される画面での P C のキーボードやマウス等の入出力手段を用いたもの等の標準的なユーザーインターフェース機構を用いて設定される。

【 0 0 6 0 】

次に、発光の強度を示す信号を予め設定された時間のサンプリング間隔毎に検出するサンプリングを開始する（5 0 2）。新しい信号を検出する毎にその信号に対して変化強調処理を実行する（5 0 3）。

【 0 0 6 1 】

そして、終点の判定の処理を実施して（5 0 4）、終点と判定された場合にサンプリングが終了する（5 0 5）。終点と判定されない場合は、次のサンプリングを行うステップに戻り得られた信号の変化強調の処理を繰り返す。

【 0 0 6 2 】

図 6 が本実施例により、雑音や右下がりのベースラインを含んだ時間波形から変化成分を抽出した結果を示すもの。図 6 は、図 1 に示す実施例に係る検出器による検出の結果の例を示したグラフである。

【 0 0 6 3 】

この図に示す通り、受光して分光器 1 0 8 から出力された信号の波形では 9 0 秒前後の変化が存在すると推定されていた時間帯での変化は、変化強調部 1 0 9 からの出力からは 1 1 0 秒前後に変化の成分として大きな値の増減として得られている。この図から、本実施例により原波形では不明瞭であった変化の成分を明確に検出できていることがわかる。

【 変形例 1 】

【 0 0 6 4 】

本発明の実施例の変形例に係る変化強調部 1 0 9 のブロック構成を図 7 に示す。図 7 は、図 1 に示す実施例の変形例に係る検出器の変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【 0 0 6 5 】

本変形例は、反応生成物発生に伴う時間波形の変化を含む波形（入力波形）だけでなく

10

20

30

40

50

、反応生成物発生に伴う時間波形の変化を含まない波長の波形（参照波形）を使って、より高精度な変化の検出を行うものである。図7に示す変化強調部109では、入力波形、参照波形の各々は雑音除去部201に入力されて、雑音成分が除去される。

【0066】

雑音が除去された後の入力波形 $ct$ 、参照波形 $dt$ とし、割り算部701では、 $et=ct/dt$ を算出する。割り算部701からの出力 $et$ は雑音除去部201に入力される。

【0067】

出力 $et$ は、ベースラインが除去されているが、変化成分は消えずに残る波形となる。その他の構成は、図3に示した変化強調部109の構成と同様である。

【変形例2】

【0068】

上記実施例の別の変形例について図8を用いて説明する。図8は、図1に示す実施例の別の変形例に係る検出器の変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【0069】

本図における変化強調部の構成は、図7に記載の構成と比較して、雑音除去部204後で出力する変化成分の雑音が除去された信号に、もう一度ベースライン推定を行った後に当該ベースラインを除去する構成となっている点が異なる。すなわち、雑音除去部204からの出力はベースライン推定部202に再度入力され、これから得られた出力である推定値を雑音除去部204からの出力から引き算することで、変化の成分を差分の値として算出する。

【0070】

引き算部203からの出力は雑音除去部206に入力されて、差分値から雑音が除去されて変化強調部109から出力される。このような構成により、単純な差分を取らずに、上記ベースライン推定を繰り返し行うことにより、変化の成分の抽出をより高精度に行うことが可能となる。

【変形例3】

【0071】

上記実施例の別の変形例を図9を用いて説明する。図9は、図1に示す実施例のさらに別の変形例に係る検出器のベースライン推定部の構成の概略を示すブロック図である。

【0072】

本図に示す本変形例のベースライン推定部109は、図2に示すベースライン推定部202の構成を簡略化し雑音を低減した後の信号を直接外挿して、次の時刻のベースライン推定値とする構成となっている。すなわち、雑音が除去された雑音除去部201からの信号を受信したバッファ部301から出力された補正值配列は、外挿処理部302に入力され、外挿係数データベース303から得られた外挿係数 $G$ を用いて外挿値が算出される。

【0073】

外挿処理部302から出力された外挿値がベースラインの推定値としてベースライン推定部202から出力される。このような構成により、第一の実施例と比べて、低い処理量で、ベースラインを推定することができる。

【変形例4】

【0074】

上記実施例の別の変形例を図12乃至14を用いて説明する。図12は、図1に示す実施例のさらに別の変形例に係る検出器の変化強調部の構成の概略を示すブロック図である。

【0075】

本図に示す構成は、第一の実施例における変化強調部109において、内分パラメータデータベース306と外挿係数データベース303に記憶または格納されるデータが、パラメータ最適化部1201により生成される点が異なっている。パラメータ最適化部1201は変化を含んだ波形または変化を含まない波形からベースライン推定部のパラメータを推定する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 6 】

また、本変形例では、副次的に雑音除去部 2 0 1 の除去の手段としてカルマンフィルタを用いる場合に当該カルマンフィルタのパラメータも最適化する構成となっており、最適化されたカルマンフィルタのパラメータを雑音除去部 2 0 1 のパラメータとして用いるような構成を取っても良い。

## 【 0 0 7 7 】

図 1 3 に、変化を含んだ波形から、パラメータを最適化する際の処理フロー図を示す。図 1 3 は、図 1 2 に示す変形例の検出器における変化を含む波形を用いてパラメータを最適化する流れを示すフローチャートである。

## 【 0 0 7 8 】

本図に示す処理の流れは、雑音除去部 2 0 1 の除去手段としてカルマンフィルタを用いることを前提としている。まず、ステップ 1 3 0 1 ( 1 3 0 1、以下同 ) では各種のパラメータとして雑音除去部 2 0 1 のカルマンフィルタのパラメータを予め設定する。本変形例では、 $s$  と、 $Rv$  とした。

## 【 0 0 7 9 】

次に、変化を含んだ学習データをサンプリングする ( 1 3 0 2 )。これは、サンプルとして処理されるウエハをエッチング処理中に得られる発光から検出する。次に、得られた学習データの中の反応生成物の変化を含んだ区間を手動でラベリングする ( 1 3 0 3 )。

## 【 0 0 8 0 】

ラベリング後、学習データ中の反応生成物の変化が生じる前の時間帯 ( 変化を含まない区間 ) に対して、カルマンフィルタによる雑音除去を実施し、雑音が低減した信号を得て ( 1 3 0 4 ) ステップ 1 3 0 4 で得られた雑音が低減された信号と、低減前の学習データとの差分を計算する。

## 【 0 0 8 1 】

計算した差分の時間相関 ( 1 点前の時刻との相関 ) が最小値を取るように  $s$  を変化させる ( 1 3 0 5 )。これは、準ニュートン法等の従来より知られた技術を用いることができる。

## 【 0 0 8 2 】

次に、学習データの全区間に対して、求めた  $s$  を用いて、カルマンフィルタによる雑音の低減を行う ( 1 3 0 6 )。次に、ラベリングした変化を含んだ区間の区間長 ( ポイント数 ) を計算する ( 1 3 0 7 )。計算したポイント数の 2 分の 1 の値をベースライン推定 2 0 2 の  $N$  とする。そして、本  $N$  に従い、外挿係数を算出する。

## 【 0 0 8 3 】

変化を含んだ区間において、前のポイントとの時間差分を算出し、算出した時間差分の最大値を  $a1$  とする ( 1 3 0 8 )。同様に変化を含まない区間において、前のポイントとの時間差分を算出し、算出した時間差分の最大値を  $a2$  とする ( 1 3 0 9 )。

## 【 0 0 8 4 】

算出したベースライン推定 2 0 2 のカルマンフィルタの内分係数を、 $Rv/Ru=a1^2/a2^2$  となるように設定する ( 1 3 1 0 )。設定した内分係数、外挿係数を出力して処理を終了する ( 1 3 1 1 )。

## 【 0 0 8 5 】

図 1 4 に、変化を含まない波形から、パラメータを最適化する際の処理フロー図を示す。図 1 4 は、図 1 2 に示す変形例の検出器における変化を含まない波形を用いてパラメータを最適化する流れを示すフローチャートである。

## 【 0 0 8 6 】

本図に示すパラメータの最適化の構成と図 1 3 に示したものの違いは、雑音除去部 2 0 1 のカルマンフィルタ用のパラメータ  $s$  と、 $Rv$  だけでなく、ベースラインの  $N$ 、 $a1$  をシミュレーションで生成した変化を含んだ波形から予めきめておく ( 1 4 0 1 ) ことである。他の構成は、図 1 3 に示したものと同等であるので、記載を省略する。

## 【 符号の説明 】

10

20

30

40

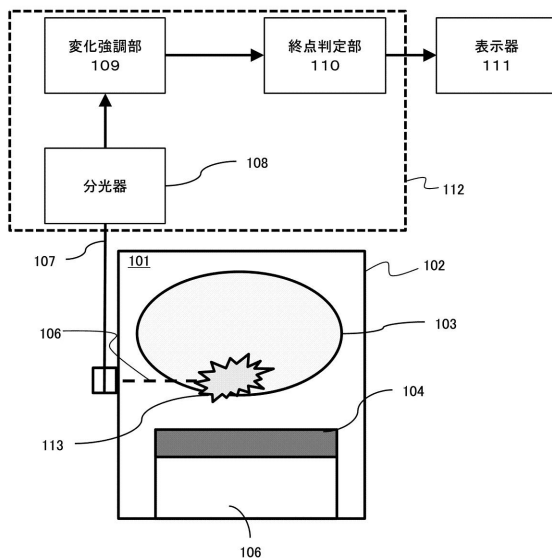
50

## 【 0 0 8 7 】

1 0 1 エッチング装置、1 0 2 真空容器、1 0 3 プラズマ、1 0 4 ウエハ、1 0 5 試料台、1 0 6 放射光、1 0 7 光ファイバー、1 0 8 分光器、1 0 9 変化強調部、1 1 0 終点判定部、1 1 1 表示器。

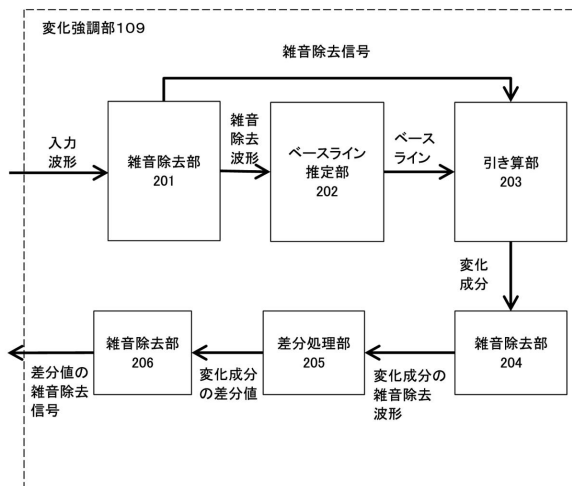
【 図 1 】

図 1



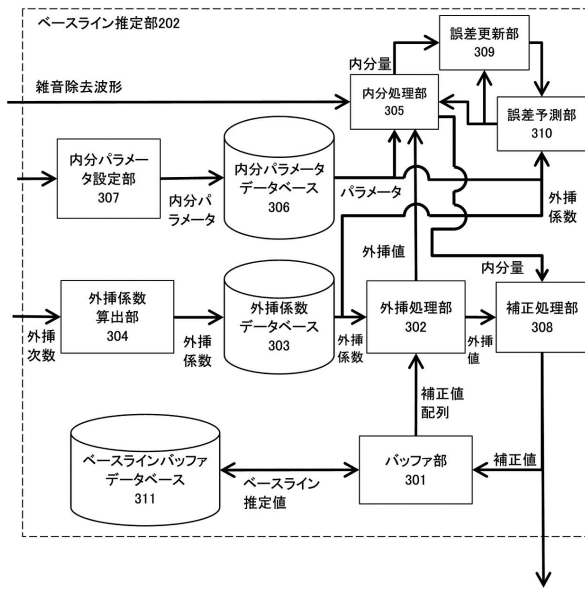
【 図 2 】

図 2



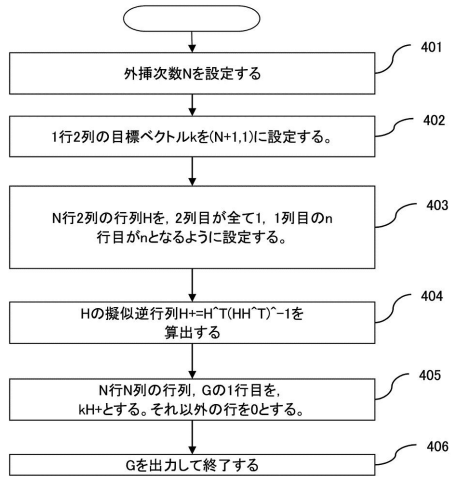
【図 3】

図 3



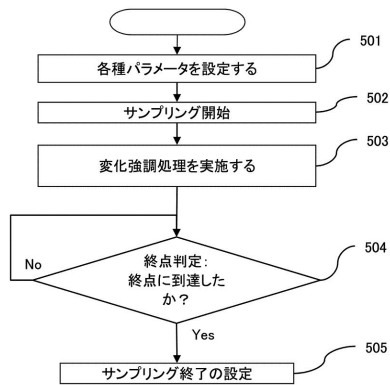
【図 4】

図 4



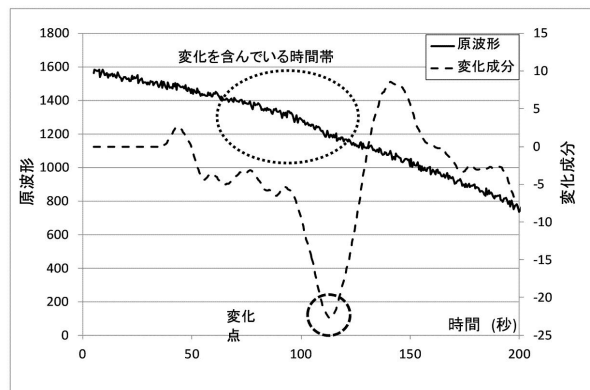
【図 5】

図 5

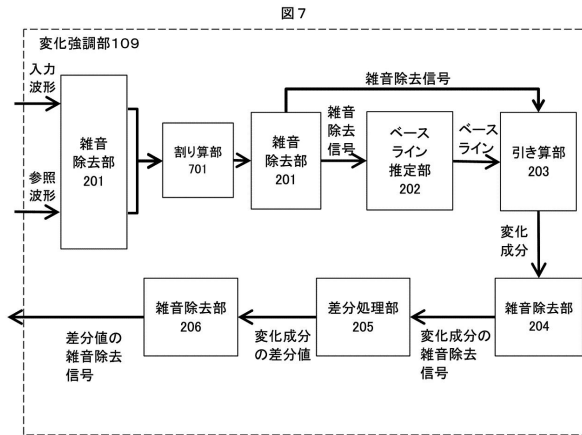


【図 6】

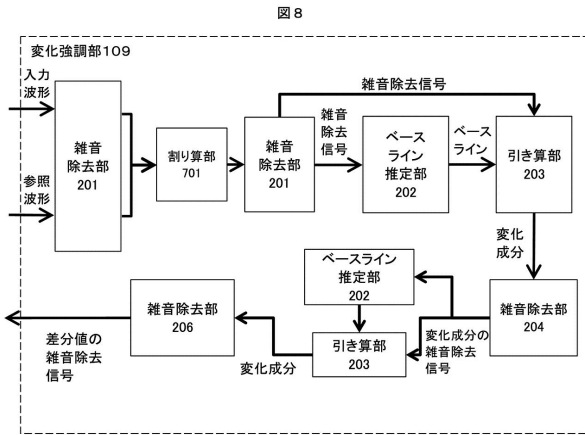
図 6



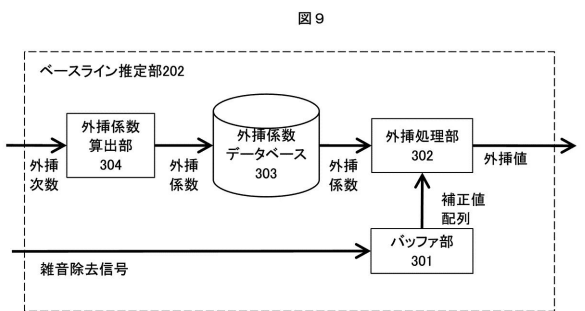
【図 7】



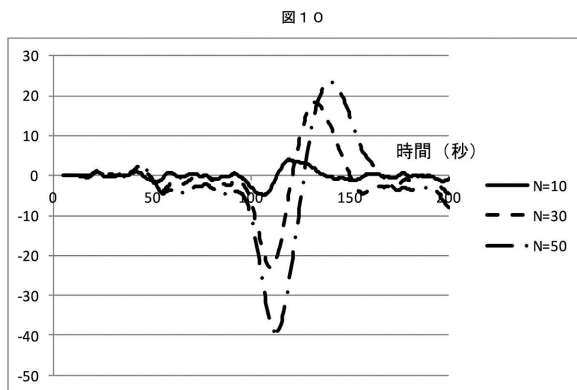
【図 8】



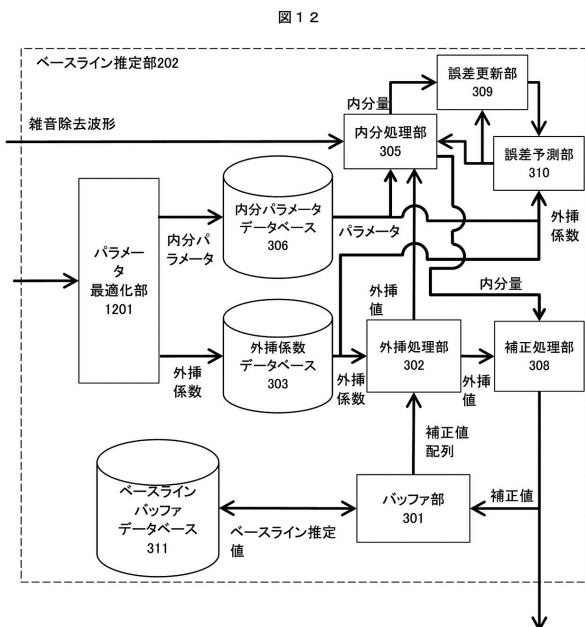
【図 9】



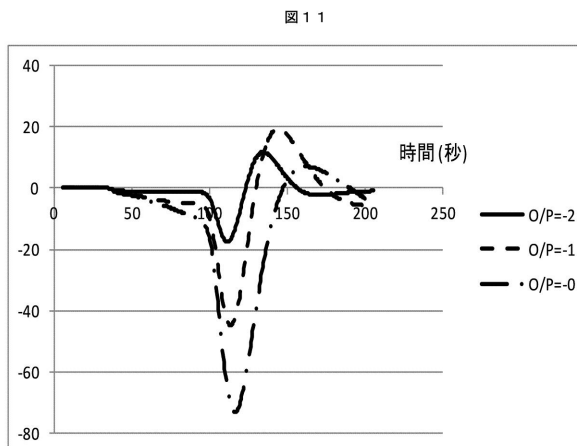
【図 10】



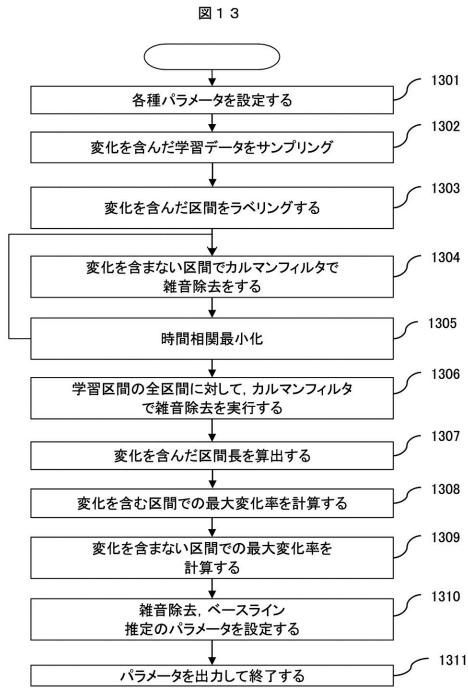
【図 12】



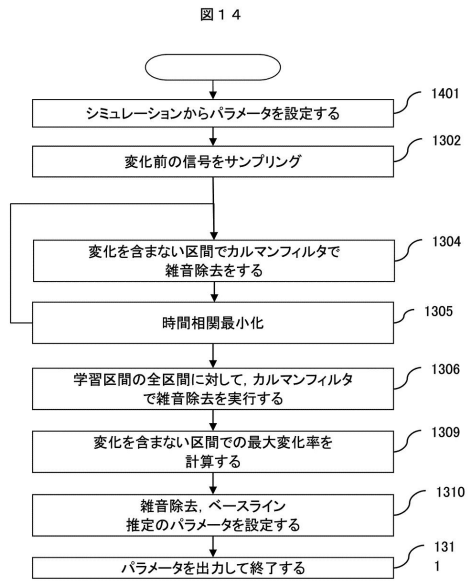
【図 11】



【図 13】



【図 14】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 廣田 侯然  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
株式会社 日立製作所内
- (72)発明者 井上 智己  
東京都港区西新橋1丁目24番14号  
株式会社 日立ハイテクノロジー  
ズ内
- (72)発明者 中元 茂  
東京都港区西新橋1丁目24番14号  
株式会社 日立ハイテクノロジー  
ズ内

審査官 佐藤 靖史

- (56)参考文献 特開2000-012527(JP,A)  
特開2010-251813(JP,A)  
特開平10-189552(JP,A)  
特開平10-050662(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 21/3065