

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6453421号
(P6453421)

(45) 発行日 平成31年1月16日(2019.1.16)

(24) 登録日 平成30年12月21日(2018.12.21)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01) H O 1 L 21/302 1 0 3

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2017-207735 (P2017-207735)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成29年10月27日(2017.10.27)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(62) 分割の表示	特願2014-111875 (P2014-111875) の分割		東京都港区西新橋一丁目24番14号
原出願日	平成26年5月30日(2014.5.30)	(74) 代理人	100091720 弁理士 岩崎 重美
(65) 公開番号	特開2018-14541 (P2018-14541A)	(72) 発明者	渡辺 成一
(43) 公開日	平成30年1月25日(2018.1.25)		東京都港区西新橋一丁目24番14号 株 式会社 日立ハイテクノロジーズ内
審査請求日	平成29年10月27日(2017.10.27)	(72) 発明者	井上 智己
(31) 優先権主張番号	特願2013-246891 (P2013-246891)		東京都港区西新橋一丁目24番14号 株 式会社 日立ハイテクノロジーズ内
(32) 優先日	平成25年11月29日(2013.11.29)	(72) 発明者	中元 茂
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		東京都港区西新橋一丁目24番14号 株 式会社 日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 データ処理方法、データ処理装置および処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

制御対象となる処理室と、

前記処理室に関連するデータを取得する計測装置と、

前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型2段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を0より大きくしてデータを処理するデータ処理プログラムに基づいてデータ処理が行われる演算処理装置と、

前記演算処理装置により求められたデータ平滑化処理結果と前記演算処理装置により求められた1次微分処理結果と前記演算処理装置により求められた2次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検知された前記処理室の状態または検知された前記処理室の状態の変化に基づいて前記処理室を制御する制御装置とを備え、

Nを0または自然数とするとき、前記平滑化パラメータの応答係数は、絶対誤差により相対誤差を除いた値の絶対値のN乗応答であり、

前記相対誤差は、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との相対誤差であり、

前記絶対誤差は、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との絶対誤差であることを特徴とする処理装置。

【請求項2】

試料台上に載置された試料がプラズマ処理される処理室と、

10

20

前記試料のプラズマ処理時の発光データを取得する計測装置と、
前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型 2 段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を 0 より大きしてデータを処理するデータ処理プログラムに基づいてデータ処理が行われる演算処理装置と、
前記演算処理装置により求められたデータ平滑化処理結果と前記演算処理装置により求められた 1 次微分処理結果と前記演算処理装置により求められた 2 次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検知された前記試料のプラズマ処理状態または検知された前記試料のプラズマ処理状態の変化に基づいて前記処理室を制御する制御装置とを備え、

10

N を 0 または自然数とするとき、前記平滑化パラメータの応答係数は、絶対誤差により相対誤差を除した値の絶対値の N 乗応答であり、
前記相対誤差は、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との相対誤差であり、
前記絶対誤差は、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との絶対誤差であることを特徴とする処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の処理装置において、
前記相対誤差および前記絶対誤差は、指数平滑化処理されていることを特徴とする処理装置。

20

【請求項 4】

試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、
前記試料のプラズマ処理時の発光データを計測し、
前記計測された発光データと平滑化された発光データの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型 2 段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を 0 より大きして発光データを処理し、
前記応答型 2 段指数平滑法により求められたデータ平滑化処理結果と前記応答型 2 段指数平滑法により求められた 1 次微分処理結果と前記応答型 2 段指数平滑法により求められた 2 次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検知された前記試料のプラズマ処理状態または検知された前記試料のプラズマ処理状態の変化に基づいて前記試料のプラズマ処理を制御し、

30

N を 0 または自然数とするとき、前記平滑化パラメータの応答係数は、絶対誤差により相対誤差を除した値の絶対値の N 乗応答であり、
前記相対誤差は、前記計測された発光データと平滑化された発光データの予測値との相対誤差であり、
前記絶対誤差は、前記計測された発光データと平滑化された発光データの予測値との絶対誤差であることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 5】

指数平滑法を用いてデータを処理するデータ処理方法において、
制御対象となる処理室に関連するデータを取得し、
前記取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型 2 段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を 0 より大きしてデータを処理し、
前記応答型 2 段指数平滑法により求められたデータ平滑化処理結果と前記応答型 2 段指数平滑法により求められた 1 次微分処理結果と前記応答型 2 段指数平滑法により求められた 2 次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検知された前記処理室の状態または検知された前記処理室の状態の変化に基づいて前記処理室を制御し、
N を 0 または自然数とするとき、前記平滑化パラメータの応答係数は、絶対誤差により相対誤差を除した値の絶対値の N 乗応答であり、
前記相対誤差は、前記取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との相対誤差であ

40

50

り、

前記絶対誤差は、前記取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との絶対誤差であることを特徴とするデータ処理方法。

【請求項 6】

請求項 4 に記載のプラズマ処理方法において、

前記相対誤差および前記絶対誤差は、指数平滑化処理されていることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 7】

請求項 5 に記載のデータ処理方法において、

前記相対誤差および前記絶対誤差は、指数平滑化処理されていることを特徴とするデータ処理方法。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、対象とされる系（装置、分析データ等）の一連の数値データにおけるデータ処理方法およびデータ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

対象とされる系で、一連の数値データを、データスムージング、データ予測する技術として、種々のモデルが提案されている。また、対象とされる系の状態を把握する目的で、データの变化点である極値（最大値、最小値）あるいは変曲点を検出するために、データの1次微分、2次微分等の微分処理が多用される。特に、ノイズ等を含む計測データ等の時系列データの場合は、高精度にデータスムージング処理、微分処理を行い、対象とされる系での变化点を検出し、対象とされる系の制御を行うことが重要な技術課題となっている。 20

【0003】

従来のデータスムージング、データ予測する技術は、非特許文献 1 に記載されたように、カーブフィッティング法、移動平均法等がある。カーブフィッティング法には、特許文献 1 に記載されたように、多項式適合法（Savitzky-Golay法）があり、またデジタルフィルタとしては、バターワース型ローパスフィルタ等がある。また、移動平均法には、非特許文献 2 に記載されたように、指数平滑化法等がある。非特許文献 2 には、1段指数平滑法（平滑化パラメータが 1 ケ）が開示されているが、2段平滑化法（平滑化パラメータが 2 ケ）も、需要供給予測等の経済関係の分野で利用されている。 30

【0004】

従来のデータ微分処理する技術は、非特許文献 3 に記載されたように、差分法が多用される。また特許文献 1 に記載されたように、多項式適合法（Savitzky-Golay法）が使用される場合もある。また、ノイズ等を含む計測データ等の時系列データを、データスムージング処理し、1次微分処理、2次微分処理により、データの変化点を検出し、対象とされる系を制御する例としては、特許文献 2 に、プラズマエッチング処理装置において、プラズマ発光からの分光強度信号データを、移動平均処理によりデータスムージング処理し、1次微分値、2次微分値により、エッチング終点を判定する方法が開示されている。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2000-228397 号公報

【特許文献 2】特開昭 61-53728 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】「データ処理の裏側」高橋和裕著、Journal of Surface Analysis Vol7 .No 1(2000) p68-p77. 50

【非特許文献2】「時系列モデル入門」A.C.ハーベイ著、国友直人/山本拓訳、(1985)、p173、東京大学出版会、(原著：TIME SERIES MODELS by A.C.Harvey)

【非特許文献3】「流体計算と差分法」桑原邦郎、川村哲也編著、(2005)、p1、朝倉書店

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1に記載されたように、差分法によりデータ微分処理を行うと、データスムージング処理が十分でない場合、1次微分処理の出力結果は、ノイズが多く含まれ、スムーズ(平滑な)なデータでなく、S/N比(シグナル/ノイズ比)が小さくなる。上記データを使用し、再度、差分法により、データ微分処理を行うと、2次微分処理の出力結果は、更にノイズが増大し、スムーズなデータでなく、更にS/N比が小さくなるという課題がある。

10

【0008】

差分間隔を増加させると、1次微分処理の出力結果および2次微分処理の出力結果は、スムーズなデータとなり、S/N比は増大するが(但し、差分間隔には最適値がある)、特に時系列データの場合、データ微分処理によるデータ遅延時間が増加するという課題がある。また、ローパスフィルタ等では、カットオフ周波数を減少させると、1次微分処理の出力データおよび2次微分処理の出力データは、スムーズなデータとなり、S/N比は増大するが(但し、カットオフ周波数には最適値がある)、上記と同様に、データ微分処理によるデータ遅延時間が増加するという課題がある。

20

【0009】

また、多項式適合法(Savitzky-Golay法)によりデータ微分処理を行う場合、複数のデータを必要とし、その中心のデータの時間での微分値を導出するのが、一般的である。このため、逐次データ処理の場合、少なくとも、最新時間のデータから、上記の中心のデータまでの時間差だけ、原理的に、時間遅延が発生するという課題がある。

【0010】

また、一般に、データスムージング処理では、データ処理開始直後の一定期間、誤差が生じ易い。例えば、時系列データの場合、データ期間が短時間で、サンプル時間間隔が大きいため、データ数が少ないケースでは、データ期間全体に対し、誤差が大きい割合が大きい。また、誤差が大きい期間において、データ微分処理を行っても、信頼性が乏しいという課題がある。

30

【0011】

さらにプラズマエッチング処理装置でのプラズマエッチングの終点判定方法として特許文献2に開示された方法があるが、この特許文献2に開示されたプラズマエッチングの終点判定方法に対して主に以下のような2つの課題がある。

【0012】

現状の半導体デバイスは、高性能化および高集積化によりFin Field Effect Transistor(Fin FET)構造等の高段差構造を有している。また、通常のプラズマエッチングでは、疎部のパターンと密部のパターンとのエッチング性能差であるマイクロローディングが発生する。さらに被エッチング膜がウエハ面内で不均の場合がある。

40

【0013】

これらのことから、例えば、プラズマエッチングの終点判定に用いるプラズマ発光からの分光強度信号データの時系列データが2段で変化する場合がある。このようにプラズマ発光からの分光強度信号データの時系列データが2段で変化し、2番目の変化でプラズマエッチングの終点判定を行う場合、1番目の変化と2番目の変化が短い期間で発生するため、データ処理が2番目の変化に追従できずにプラズマエッチングの終点を検出できない。尚、ここでは、プラズマ発光からの分光強度信号データの時系列データが変化した時点をプラズマエッチングの終点としている。

50

【0014】

また、例えば、1次微分値あるいは2次微分値の遅延時間に対して短時間のプラズマエッチングにおいてもプラズマ発光からの分光強度信号データの時系列データの変化でプラズマエッチングの終点を判定する場合、1次微分値あるいは2次微分値を算出するためのデータ処理がプラズマエッチングの終点となる、プラズマ発光からの分光強度信号データの時系列データの変化に追従できない。つまり、プラズマエッチングの終点検出の応答性が不十分という1つ目の課題がある。

【0015】

次にプラズマエッチングのマスクパターンを大別すると、溝パターンと孔パターンがある。また、通常、孔パターンのウエハの開口率は、溝パターンのウエハの開口率より小さく、1%未満の開口率の場合もある。また、開口率が小さくなるに従ってプラズマ発光の分光強度は低下する。このため、例えば、1%未満の開口率のウエハの場合、プラズマ発光からの分光強度信号データの時系列データの変化が小さすぎるためにプラズマエッチングの終点検出が困難となる。つまり、低S/N比に対応できないという2つ目の課題がある。尚、ここで開口率とはウエハ全体の面積に対する被エッチング面積の割合のことである。

【0016】

以上より、対象とする系の変化点を、1次微分データや2次微分データにより検出し、対象とする系を制御する場合、低S/N比、時間遅延等により、制御精度が十分でないという課題がある。

【0017】

このため、本発明は、データを処理するデータ処理方法およびデータ処理装置において、高S/N比とデータ遅延低減を両立できるデータ処理方法およびデータ処理装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明は、制御対象となる処理室と、前記処理室に関連するデータを取得する計測装置と、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型2段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を0より大きくしてデータを処理するデータ処理プログラムに基づいてデータ処理が行われる演算処理装置と、前記演算処理装置により求められたデータ平滑化処理結果と前記演算処理装置により求められた1次微分処理結果と前記演算処理装置により求められた2次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検知された前記処理室の状態または検知された前記処理室の状態の変化に基づいて前記処理室を制御する制御装置とを備え、Nを0または自然数とするとき、前記平滑化パラメータの応答係数は、絶対誤差により相対誤差を除いた値の絶対値のN乗応答であり、前記相対誤差は、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との相対誤差であり、前記絶対誤差は、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との絶対誤差であることを特徴とする処理装置である。

【0019】

また、本発明は、制御対象となる処理室と、前記処理室に関連するデータが取得される計測装置と、2段指数平滑法を用い、前記処理室に関連するデータを入力値として平滑化されたデータの予測値である第一の予測値と平滑化されたデータの傾きの予測値である第二の予測値を出力値として求めるステップと、2段指数平滑法を用い、前記出力値として求められた第二の予測値を入力値として平滑化されたデータの予測値である第三の予測値と平滑化されたデータの傾きの予測値である第四の予測値を出力値として求めるステップとを有するデータ処理プログラムに基づいてデータ処理が行われる演算処理装置と、前記演算処理装置により求められた第一の予測値、前記演算処理装置により求められた第二の予測値、前記演算処理装置により求められた第三の予測値、前記演算処理装置により求められた第四の予測値の中で少なくとも一つの予測値に基づいて検出された前記処理室の状

10

20

30

40

50

態または検出された前記処理室の状態の変化に応じて前記処理室を制御する制御装置とを備えることを特徴とする処理装置である。

【0020】

また、本発明は、制御対象となる処理室と、前記処理室に関連するデータを取得する計測装置と、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型2段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を0より大きしてデータを処理するデータ処理プログラムに基づいてデータ処理が行われる演算処理装置と、前記演算処理装置により求められたデータ平滑化処理結果と前記演算処理装置により求められた1次微分処理結果と前記演算処理装置により求められた2次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検出された前記処理室の状態または検出された前記処理室の状態の変化に応じて前記処理室を制御する制御装置とを備えることを特徴とする処理装置である。

10

【0021】

また、本発明は、試料台に載置された試料がプラズマ処理される処理室と、前記試料のプラズマ処理時の発光データを取得する計測装置と、前記計測装置により取得されたデータと平滑化されたデータの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型2段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を0より大きしてデータを処理するデータ処理プログラムに基づいてデータ処理が行われる演算処理装置と、前記演算処理装置により求められたデータ平滑化処理結果と前記演算処理装置により求められた1次微分処理結果と前記演算処理装置により求められた2次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検出された前記試料のプラズマ処理状態または検出された前記試料のプラズマ処理状態の変化に応じて前記処理室を制御する制御装置とを備えることを特徴とする処理装置である。

20

【0022】

また、本発明は、2段指数平滑法を用いてデータを処理するデータ処理方法において、前記2段指数平滑法を用い、前記データを入力値として平滑化されたデータの予測値である第一の予測値と平滑化されたデータの傾きの予測値である第二の予測値を出力値として求めるステップと、2段指数平滑法を用い、前記第二の予測値を入力値として平滑化されたデータの予測値である第三の予測値と平滑化されたデータの傾きの予測値である第四の予測値を出力値として求めるステップとを有することを特徴とする。

30

【0023】

また、本発明は、2段指数平滑法を用いてデータを処理するデータ処理方法において、データ入力開始後における任意の数のデータの多項近似式を求めるステップと、前記多項近似式を用いてデータ入力開始前における平滑化されたデータの予測値である第一の予測値とデータ入力開始前における平滑化されたデータの傾きの予測値である第二の予測値を求めるステップと、前記第一の予測値と前記第二の予測値をそれぞれ初期値として2段指数平滑化処理を前記データに行うステップとを有することを特徴とする。

【0024】

また、本発明は、誤差に応じて平滑化パラメータを変化させる応答型2段指数平滑法を用いてデータを処理するデータ処理方法において、入力データと平滑化されたデータの予測値との誤差に応じて第一の平滑化パラメータが0とならないように前記第一の平滑化パラメータを変化させながら平滑化されたデータの予測値を求め、平滑化されたデータの予測値の傾きと平滑化されたデータの傾きの予測値との誤差に応じて第二の平滑化パラメータが0とならないように前記第二の平滑化パラメータを変化させながら平滑化されたデータの傾きの予測値を求めることを特徴とする。

40

【0025】

また、本発明、指数平滑法を用いてデータを処理するデータ処理方法において、N段指数平滑化処理により前記データを処理し、前記Nを3以上の自然数とした場合、前記N段指数平滑化処理は、平滑化された前記データの予測値を求めるとともに前記平滑化されたデータにおける1回目の傾きの予測値から前記平滑化されたデータにおけるN-1回目の

50

傾きの予測値までを順次求めることを特徴とする。

【0026】

さらに、本発明は、試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、前記試料のプラズマ処理時の発光データを計測し、前記計測された発光データと平滑化された発光データの予測値との誤差に基づいて平滑化パラメータを変化させる応答型2段指数平滑法を用いるとともに前記平滑化パラメータの変化させる範囲の下限値を0より大きくして発光データを処理し、前記応答型2段指数平滑法により求められたデータ平滑化処理結果と前記応答型2段指数平滑法により求められた1次微分処理結果と前記応答型2段指数平滑法により求められた2次微分処理結果の中で少なくとも一つの処理結果に基づいて検出された前記試料のプラズマ処理状態または検出された前記試料のプラズマ処理状態の変化に応じて前記試料のプラズマ処理を制御することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、データを処理するデータ処理方法およびデータ処理装置において、高S/N比とデータ遅延低減を両立できる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】実施例1に係るデータ処理装置1の全体構成を示す図である。

【図2】実施例1に係るデータ処理のフローを示す図である。

【図3】実施例1における初期値の導出のフローを示す図である。

20

【図4】実施例1に係る有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図5】エッチング終点検出のための代表的なデータ処理のフロー図である。

【図6】実施例1のデータ処理装置によるデータ処理結果を示す。

【図7】従来のローパスフィルタおよび差分法によるデータスムージング、データ微分処理のデータ処理結果である。

【図8】実施例2における、ベキ乗Nをパラメータとした場合の、応答係数と相対誤差/絶対誤差の絶対値の関係を示す図である。

【図9】実施例2のデータ処理装置において、ベキ乗パラメータN=1の場合のデータ処理結果を示す図である。

【図10】実施例2のデータ処理装置において、ベキ乗パラメータN=5の場合のデータ処理結果を示す図である。

30

【図11】実施例2のデータ処理装置のベキ乗パラメータN=1の場合において、データ入力開始直後にデータの変化点があるケースのデータ処理結果を示す図である。

【図12】実施例3に係るデータ処理のフローを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、図面を参照しながら本発明の実施例を説明する。

【実施例1】

【0030】

まず、本発明の第1の実施例に係るデータ処理装置を、図1から図7により説明する。ここでは、有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置において、高精度のエッチング処理を目的とした、プラズマ分光によるエッチング終点検出に、本発明を適用した例について説明する。

40

【0031】

図1に、第1の実施例のデータ処理装置1の構成図を示す。本実施例では、データ処理装置1は、データ入出力装置2、記憶装置であるデータ記憶装置3、データ処理プログラム記憶装置4、データ演算処理装置5で構成され、相互にデータ移動が可能ないように接続されている。また必要に応じて、上記に加え、データ表示装置(図示省略)が設けられる。データ処理装置1は、対象とする系6(装置、分析データ等)とデータを入出力することができる。これにより、対象とする系6を、高精度に制御する。本実施例の場合、対象とす

50

る系6は、マイクロ波プラズマ処理装置である。また、データ処理装置1は、単独で使用しても良く、データ解析等に利用することができる。

【0032】

データ入出力装置2は、処理データ、データ処理プログラムのパラメータ等を入出力することができる。データ入出力装置2は、対象とする系6等より、一括あるいは逐次に処理するデータを受け取り、RAM等のデータ記憶装置3で記憶し、RAM等のデータ処理プログラム記憶装置4に記憶されたデータ処理プログラムに従って、データ演算処理装置5により、データスムージング処理、データ微分処理を行い、データ入出力装置2により、データスムージング処理結果データ、データ微分処理結果データを、対象とする系6等に出力し、対象とする系6の制御に利用する。

10

【0033】

図2に、データ処理プログラムに記憶されているデータ処理方法の全体フロー図を示す。一括あるいは逐次に処理するデータを受け取り、データが入力される。本実施例では、入力データは、時系列データ Y_{1t} ： $t=1, 2, \dots$ とした。次に、後述する方法で、初期値を導出する。次に、下記式(1)、式(2)により、1回目の2段指数平滑化処理を行い、1回目出力のデータの平滑化の予測値 S_{1t} と平滑化データの傾きの予測値 B_{1t} を得る。

【0034】

$$\text{データの平滑化} : S_{1t} = \alpha Y_{1t} + (1 - \alpha) (S_{1t-1} + B_{1t-1}) \quad (1)$$

$$\text{平滑化データの傾き} : B_{1t} = \alpha (S_{1t} - S_{1t-1}) + (1 - \alpha) B_{1t-1} \quad (2)$$

次に、1回目出力の平滑化データの傾きの予測値 B_{1t} を2回目の入力データ Y_{2t} とし、2回目の2段指数平滑化処理を行うことにより、2回目出力のデータの平滑化の予測値 S_{2t} と平滑化データの傾きの予測値 B_{2t} を得る。次に、データスムージング処理結果データ S_{1t} 、データ1次微分処理結果データ S_{2t} 、データ2次微分処理結果データ B_{2t} は、一括あるいは逐次データを出力される。ここで、1回目の2段指数平滑化における、データの平滑化の平滑化パラメータ α_1 、平滑化データの傾きの平滑化パラメータ β_1 および2回目の2段指数平滑化における、データの平滑化の平滑化パラメータ α_2 、平滑化データの傾きの平滑化パラメータ β_2 は、あらかじめ任意の定数に設定されている。

20

【0035】

但し、 $0 < \alpha_1 < 1$ 、 $0 < \beta_1 < 1$ 、 $0 < \alpha_2 < 1$ 、 $0 < \beta_2 < 1$ とする。1回目出力の平滑化データの傾きの予測値 B_{1t} も1次微分処理結果に相当するため、これを使用しても良いが、データ結果のばらつきが大きいため、2回目の2段指数平滑化処理により、データスムージング処理を行っている。

30

【0036】

図3に、本実施例の初期値の導出のフロー図を示す。一般に、2段指数平滑化処理における、データの平滑化の予測値 S_1 の初期値および平滑化データの傾きの予測値 B_1 の初期値は、例えば、次の方法で導出される。データの平滑化の予測値 S_1 の初期値は、 $S_1 =$ 入力データ Y_1 (方法A1)、あるいは $S_1 =$ 初期N個の入力データの平均値 $(\{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_N\} / N)$ 等(方法A2)で導出される。平滑化データの傾きの予測値 B_1 の初期値は、 $B_1 = Y_2 - Y_1$ (方法B1)、 $B_2 = \{ (Y_2 - Y_1) + (Y_4 - Y_3) \} / 2$ 等(方法B2)で導出される。

【0037】

一般に、2段指数平滑化処理は、データ処理の開始直後は、誤差が大きという課題があった。その原因の1つは、上記従来の導出方法による初期値が、真の初期のデータの平滑化の予測値、真の初期の平滑化データの傾きの予測値との誤差が大きかった。また、従来は、所望の初期N個のデータを使用し、初期値を導出した後、N+1個目以降の入力データ Y_{N+1} 、 \dots を2段指数平滑化処理しており、初期N個の入力データは2段指数平滑化処理が行われず、上記期間のデータ出力結果が欠落していた。

40

【0038】

特に、処理する入力データ数が少ない場合は、上記データ出力結果の欠落の影響が顕著となる。以上より、データ処理開始直後に対象とする系の状態が変化する場合は、データ開始直後のデータ処理の誤差が大き、あるいはデータ開始直後のデータ出力が欠落する

50

等により、対象とする系を高精度に制御することが困難であるという課題があった。

【 0 0 3 9 】

図 3 に示すように、本実施例では、所望のN個のデータ入力開始後初期のデータ $Y1_1$ ($t=1$ 、2、 \dots 、N)を用いて、最小 2 乗法により多項式近似式を導出する。本実施例では、10個の等時間間隔の時系列データを使用した。上記で導出された多項式近似式より、入力データの直前 $t = 0$ の仮想データであるデータの平滑化の予測値 $S1_0$ 、平滑化データの傾きの予測値 $B1_0$ を導出する。本実施例では、多項式近似式として、直線1次式を使用し、データの平滑化の予測値 $S1_0$ 、平滑化データの傾きの予測値 $B1_0$ は、各々、式(3)、式(4)で、導出される。

$$\begin{aligned} \text{データの平滑化の予測値} S1_0 = & \{ 330 Y1_1 + 275 Y1_2 + 220 Y1_3 + 165 Y1_4 \\ & + 110 Y1_5 + 55 Y1_6 + 0 Y1_7 - 55 Y1_8 - 110 Y1_9 \\ & - 165 Y1_{10} \} / 825 \quad \text{式(3)} \end{aligned} \quad 10$$

$$\begin{aligned} \text{平滑化データの傾きの予測値} B1_0 = & \{ -45 Y1_1 - 35 Y1_2 - 25 Y1_3 - 15 Y1_4 \\ & - 5 Y1_5 + 5 Y1_6 + 15 Y1_7 + 25 Y1_8 + 35 Y1_9 \\ & + 45 Y1_{10} \} / 825 \quad \text{式(4)} \end{aligned}$$

また、図 2 に記載の 2 回目の 2 段指数平滑化処理における、データの平滑化の予測値の初期値 $S2_1$ と平滑化データの傾きの予測値の初期値 $B2_1$ は、各々、 $S2_1 = S1_1$ 、 $B2_1 = 0$ に、設定している。逐次データ処理の場合、初期N個のデータ入力後に、初期値を導出した後、初期N個のデータを順次、2 段指数平滑化処理を行い、データスム-ジング処理、データ微分処理結果を出力する。それ以降($t=N+1$ 以降)は、データ入力毎に、2 段指数平滑化処理を、逐次行い、データスム-ジング処理、データ微分処理結果を、リアルタイムで出力する。このため本実施例によれば、データ入力開始後初期の入力データも、誤差が少なく、高精度に、データスム-ジング処理、データ微分処理できるという効果がある。

【 0 0 4 0 】

図 4 は、本発明の第 1 の実施例に係る、有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置の縦断面図を示す。本実施例では、有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置が、図 1 の対象とする系 6 (装置、分析データ等)に相当する。容器 7、放電管 8、石英板 9 及び石英窓 10 で区画された処理室 11 の内部を、排気用開閉バルブ 12 を開とし、真空排気装置 13 により減圧する。エッチングガスは、マスフローコントローラ (図示省略) を介して、ガス配管 14 を通り、石英板 9 と石英シャワープレート 15 の間を通過して、石英シャワープレート 15 のガス孔より処理室 11 に導入される。処理室 11 に導入されたエッチングガスは、排気速度可変バルブ 16 により処理室 11 内の圧力を所望の圧力に調整する。

【 0 0 4 1 】

また、処理室 11 は、コイル 17、18 とヨーク 19 により生成される磁場領域内にある。マグネトロン 20 から発振された、この場合周波数 2.45GHz のマイクロ波は、アイソレータ (図示省略)、パワーモニタ (図示省略)、整合器 21 を経由して矩形導波管 22 内を矩形 TE10 モードで伝播し、円矩形変換器 23 を経由して、円形導波管 24 内を円形 TE11 モードで伝播する。その後、マイクロ波は、空洞共振器 25 に導入され、石英板 9、石英シャワープレート 15 を透過して処理室 11 内に入射される。処理室 11 内には、導入される 2.45GHz のマイクロ波と電子サイクロトロン共鳴を生じる磁束密度 875Gauss の磁場領域が、処理室 11 の中心軸およびマイクロ波の導入方向に対し垂直に、また処理室 11 の中心軸に対する断面方向に対し、全面に形成されている。

【 0 0 4 2 】

この 2.45GHz のマイクロ波と 875Gauss の磁場との相互作用により主に生成されたプラズマより、試料台であるウェハ載置用電極 26 に配置されたウェハ 27 がエッチング処理される。また、試料であるウェハ 27 のエッチング形状を制御するため、ウェハ載置用電極 26 には整合器 (図示省略) を介して高周波電源 28 が接続され、高周波電圧を印加することが可能になっている。またウェハ載置用電極 26 には、チラーユニット (図示省略) が接続され、ウェハ 27 の温度を制御することができる。

【 0 0 4 3 】

10

20

30

40

50

処理室 11、ウェハ 27、ウェハ載置用電極 26 は、同軸に配置され、エッチングガスを導入する石英シャワープレート 15 のガス孔領域、真空排気部である排気用開閉バルブ 12、排気速度可変バルブ 16、真空排気装置 13 も処理室 11 に対し同軸で配置されている。このため、ウェハ 27 上でのガス流れは同軸対称である。磁場を生成するコイル 17、18、ヨーク 19 も処理室 11 に対し同軸で配置されているため、処理室 11 内の磁場プロファイル、磁束 875Gauss の電子サイクロトロン共鳴領域は処理室 11 に対し同軸に形成される。また、円形導波管 24、空洞共振器 25 も処理室 11 に対し同軸に配置されているため、処理室 11 に導入されるマイクロ波も処理室 11 に対し同軸に導入される。

【 0 0 4 4 】

磁場が処理室 11 に対し同軸に生成され、マイクロ波も処理室 11 に対し同軸に導入されるため、磁場とマイクロ波との相互作用によって形成されるプラズマは、処理室 11 に対し同軸に生成され、プラズマ中の電子やイオンは、ウェハ 27 に対し同軸に輸送される。また、エッチングガスの流れも処理室 11 に対し同軸であるため、プラズマにより生成されたラジカルやウェハ 27 のエッチングによる反応生成物もウェハ 27 に対し同軸に導入、排気される。従って、エッチングレートや材料選択比やエッチング形状等のエッチングプロセス処理性能を、ウェハ面内で均一性良く、エッチング処理することができる。

【 0 0 4 5 】

処理室 11 で生成されたプラズマからの光は、処理室 11 側方からは、石英窓 10、光ファイバー 29 を通過して、分光器 30 に導入され、光強度の波長依存性の時系列データとして、出力される。また処理室 11 上方からは、石英シャワープレート 15、石英板 9、空洞共振器 25、円形導波管 24、円矩形変換器 23、光ファイバー 31 を通過して、分光器 32 に導入され、光強度の波長依存性の時系列データとして、出力される。

【 0 0 4 6 】

処理室 11 には、エッチングガスおよびウェハ 27 からのエッチング反応生成物が導入され、これらがマイクロ波と磁場の相互作用により、解離し、プラズマを生成する。このため、処理室 11 で生成されたプラズマからの光には、エッチングガスおよびエッチング反応生成物の構成される原子、分子、ラジカルおよびこれらの反応物の情報が含まれている。

【 0 0 4 7 】

例えば、パターンマスクの下方に poly-Si 膜と SiO₂ 膜が配置された Si 基板の代表的な poly-Si エッチングでは、下地 SiO₂ と高選択比で Poly-Si エッチングすることが要求される。エッチングガスは、ハロゲン系ガスが使用され、エッチング反応生成物には、被エッチング材料である Si とハロゲンが含まれる。エッチング反応生成物は、プラズマにより再解離されるため、プラズマからの Si に起因した波長 288nm の発光の光強度を、分光器 30 あるいは分光器 32 でモニタする。この場合、poly-Si 膜のエッチングが終了し、下地 SiO₂ が出現すると、下地 SiO₂ のエッチレートは小さいため、Si に起因した波長 288nm のプラズマ発光強度が、急激に減少し、遂には一定値に近づく。このプラズマ発光の変化をモニタし、エッチングの終点検出を行う。

【 0 0 4 8 】

処理室 11 側方からの光には、エッチングガスとエッチング反応生成物の情報が含まれるが、処理室 11 上方からの光には、上記情報に加え、プラズマ光がウェハ 27 の膜構造および段差構造で干渉を生じるため、ウェハ 27 の膜構造および段差構造の情報も含まれている。このプラズマ発光データを解析することにより、エッチング中の膜厚、エッチング深さなどをモニタすることができる。本実施例では、簡単のために、処理室 11 側方からのプラズマ発光データを、エッチング終点モニタに使用した。

【 0 0 4 9 】

図 5 に、エッチング終点検出のための代表的なデータ処理フローを示す。入力データは、エッチング中のプラズマ発光強度の変化を模擬した式(5)の評価関数で作成した。

【 0 0 5 0 】

$$Y(t) = H / [1 + \exp\{-A(t - T)\}] + C t + D + F (R - 0.5) \quad \text{式(5)}$$

10

20

30

40

50

ここで、H、A、T、C、D、Fは、任意の定数、Rは0~1の乱数である。上記評価関数を使用すれば、データスムージング処理、1次微分処理、2次微分処理の解析的な真値が既知であるため、種々のデータ処理方法において、真値との絶対誤差、データ処理に伴う遅延時間、S/N比（シグナル/ノイズ比）等のデータ処理性能を比較、評価することができる。

【0051】

図5に示すように、エッチング終点のための代表的なデータ処理フローは、図5(A)に示すような入力データ波形を、図5(B)に示すようにデータスムージング処理を行った後、図5(C)に示すように1次微分処理、図5(D)に示すように2次微分処理を行う。ノイズが多く含まれる入力データは、データスムージング処理により変化点が明瞭となる。この変化点を、1次微分処理ではピーク値の点（時間）として、2次微分処理ではゼロクロスする点（時間）として検出する。これを基準に、エッチング終点を判断し、エッチング装置を制御し、高精度のエッチング処理を行う。

【0052】

変化点は、1次微分処理のピーク、2次微分処理のゼロクロスで、順次、より明確に、より簡便に判断できるが、シグナル強度の絶対値は、順次、小さくなる。このため、S/N比の高いデータ処理が重要となる。特に、被エッチング面積が小さい、低開口率のマスクパターンのエッチングの場合は、エッチング終点前後のプラズマ発光強度の変化が小さいために、更に高S/N比のデータ処理が必要となる。一般に、データスムージング処理、データ微分処理では、S/N比が高くなると、遅延時間が長くなり、真値との絶対誤差が大きくなる。つまりS/N比と遅延時間、絶対誤差は、トレードオフ関係となっており、S/N比、遅延時間、絶対誤差を同時に満足する、データスムージング処理、データ微分処理が必要である。

【0053】

本実施例では、図2および図3のデータスムージング処理、データ微分処理フローを用いて、図5のデータ処理を行う。また図5の入力データは、図4の有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置におけるエッチング中のプラズマ発光をモニタする分光器30からの出力データに相当する。図4に示すように、有磁場マイクロ波エッチング装置をシステムとして制御するシステム制御装置33（データ入出力装置、データ処理装置、データ表示装置等を含む）と、本実施例のデータ処理装置1が設けられている。データ処理装置1は、システム制御装置33の一部として、組み込まれても良い。

【0054】

分光器30、分光器32からの出力データは、データ処理装置1に伝送され、データスムージング処理結果、データ1次微分結果、データ2次微分結果が、制御装置であるシステム制御装置33に伝送される。このデータスムージング処理結果、データ1次微分結果、データ2次微分結果にもとづいて、システム制御装置33はエッチング終点判定を行い、有磁場マイクロ波エッチング装置をシステムとして制御する。エッチング終点判定では、主にプラズマ生成を制御するため、図4では、システム制御装置33は、マグネトロン20、高周波電源28への接続が図示されている。また、図4での図示は省略したが、システム制御装置33は、システムを構成する他の機器にも接続されている。

【0055】

図6に、本発明の第1の実施例のデータ処理装置1によるデータ処理結果を示す。図6(A)には入力データおよびデータスムージング処理波形を、図6(B)には1次微分処理波形を、図6(C)には2次微分処理波形を示す。また、図7に、従来行われているローパスフィルタおよび差分法によるデータ処理装置1によるデータ処理結果を示す。この場合、ローパスフィルタのカットオフ周波数は0.025Hzとした。図7(A)には入力データおよびデータスムージング処理波形を、図7(B)には1次微分処理波形を、図7(C)には2次微分処理波形を示す。ここで、図6と図7の入力データは、同じものを使用した。

【0056】

図6と図7を比較すると、図6(A)に示すように、本発明の第1の実施例のデータスム

10

20

30

40

50

ージング処理、データ微分処理装置では、入力データとデータスムージング処理結果との絶対誤差が非常に少なく、データスムージング処理を良好に実施することができる。また、図6(B)および図6(C)に示すように、1次微分処理、2次微分処理を、高S/N比で実施することができる。このため、エッチング終点判定の基準となる1次微分のピークの点(時間)、2次微分のゼロクロス点(時間)を明瞭に、検出することができる。データ処理性能を数値データと比較すると、上記の絶対誤差は、本発明の第1の実施例のデータスムージング処理、データ微分処理装置では、22.4、従来のローパスフィルタおよび差分法は、191.2である。

【0057】

また、S/N比は、本発明の第1の実施例のデータスムージング処理、データ微分処理装置では、32、従来のローパスフィルタおよび差分法は、28である。2次微分のゼロクロス時間は、本発明の第1の実施例のデータスムージング処理、データ微分処理装置が、従来のローパスフィルタおよび差分法よりも、5.4秒早く、遅延時間が短い。

10

【0058】

本発明の第1の実施例によれば、絶対値誤差が小さく、S/N比が高く、遅延時間が短い、データスムージング処理、データ微分処理を、リアルタイムで逐次処理できるという効果がある。

【実施例2】

【0059】

次に、本発明の第2の実施例に係るデータ処理装置を説明する。本実施例は、本発明の第1の実施例における、データスムージング処理、データ微分処理方法の全体フローを示す図2において、1回目の2段指数平滑化処理の式(1)、式(2)を、下記式(6)~式(15)に置き換えたものである。

20

【0060】

データの平滑化 : $S1_t = \alpha_t Y_t + (1 - \alpha_t) (S1_{t-1} + B1_{t-1})$ 式(6)

平滑化データの傾き : $B1_t = \alpha_t (S1_t - S1_{t-1}) + (1 - \alpha_t) B1_{t-1}$ 式(7)

平滑化係数 : $\alpha_t = (K - L) F + L$ 式(8)

応答係数 : $F = (|\alpha_t / \alpha_{t-1}| + 1)^N$ 式(9)

相対誤差 : $\epsilon_t = A1 (Y_t - S1_t) + (1 - A1) \epsilon_{t-1}$ 式(10)

絶対誤差 : $\epsilon_t = A1 |Y_t - S1_t| + (1 - A1) \epsilon_{t-1} +$ 式(11)

30

平滑化係数 : $\alpha_t = (K - L) F + L$ 式(12)

応答係数 : $F = (|\alpha_t / \alpha_{t-1}| + 1)^N$ 式(13)

相対誤差 : $\epsilon_t = A2 \{ (S1_t - S1_{t-1}) - B_t \} + (1 - A2) \epsilon_{t-1}$ 式(14)

絶対誤差 : $\epsilon_t = A2 | (S1_t - S1_{t-1}) - B_t | + (1 - A2) \epsilon_{t-1} +$ 式(15)

ここで、 K 、 L 、 K 、 L 、 N 、 $A1$ 、 $A2$ は、任意の定数である。但し、 $1 > K > L > 0$ 、 $1 > K > L > 0$ 、 $1 > A1 > 0$ 、 $1 > A2 > 0$ である。 ϵ_t は、絶対誤差 ϵ_t および ϵ_t 、また応答係数 F および F が、ゼロ値となるのを回避するためにあり、通常の演算に影響が非常に少なくなるように、極微小値が選択される。

【0061】

データの平滑化の式(6)と平滑化データの傾きの式(7)は、図2に示す、本発明の第1の実施例の場合と、基本型は同じだが、式(8)と式(12)に示すように、平滑化係数 α_t は $K > \alpha_t > L$ の範囲を、また、平滑化係数 α_t は $K > \alpha_t > L$ の範囲を、データ処理の状況に応じて、逐次、変化する。また式(9)と式(13)に示すように、応答係数 F は、データの平滑化の相対誤差/絶対誤差の絶対値のべき乗応答となり、応答係数 F は、平滑化データの傾きの相対誤差/絶対誤差の絶対値のべき乗応答となる。式(10)、式(11)、式(14)および式(15)では、直近のデータの影響がもっと大きく、過去のデータになるにつれて、指数的に影響度が減少するように積算し、平滑化しており、定数 $A1$ 、 $A2$ は、この指数的な積算し平滑化するためのパラメータである。

40

【0062】

式(10)、式(11)の相対誤差 ϵ_t 、絶対誤差 ϵ_t は、各々、入力データ Y_t とデータの平

50

滑化の予測値 $S1_t$ との相対誤差と絶対誤差を算出する。また式(14)、式(15)の相対誤差 ϵ_t 、絶対誤差 δ_t は、各々、データの平滑化の予測値の傾き $(S1_t - S1_{t-1})$ と平滑化データの傾きの予測値 B_t との相対誤差と絶対誤差を算出する。

【0063】

図8に、本発明の第2の実施例における、ベキ乗 N をパラメータとした場合の、応答係数と相対誤差/絶対誤差の絶対値との関係を示す。相対誤差/絶対誤差の絶対値は、入力データとデータの平滑化の予測値とのズレを、最大値1～最小値0で評価することができる。相対誤差/絶対誤差の絶対値が0の場合、入力データとデータの平滑化の予測値は一致している。図8に示すように、 $N=0$ の場合は、平滑化係数の応答係数が1となり、平滑化係数は一定となるため、実質的に、本発明の第1の実施例と同じとなる。

10

【0064】

$N=1$ の場合は、相対誤差/絶対誤差の絶対値に比例して、応答係数が0～1に増加するため、平滑化係数は、最小値から最大値まで、同様に比例して増加する。 $N=5$ の場合は、相対誤差/絶対誤差の絶対値の5乗で、応答係数が0～1に増加するため、平滑化係数は、最小値から最大値まで、同様に5乗の応答性で増加する。すなわち、 $N=1$ と $N=5$ の場合を比較すると、 $N=5$ の場合の方が、入力データとデータの平滑化の予測値が多少ズレても平滑化係数を小さく保ち、逆に入力データとデータの平滑化の予測値が大きくズレると平滑化係数を急激に大きくする作用がある。

【0065】

平滑化係数が小さいと、データ処理のS/N比は増加するが、絶対誤差が大きくなり、遅延時間が長くなる。一方、平滑化係数が大きいと、絶対誤差が小さくなり、遅延時間が短くなるが、データ処理のS/N比が減少する。入力データに応じて、最適な平滑化係数を選択する必要がある。本発明の第1の実施例では、平滑化係数は固定していたが、本発明の第2の実施例では、平滑化係数は、入力データとデータの平滑化の予測値とのズレ等に適応して、逐次、調整する。このため、データ処理のS/N比と絶対誤差、遅延時間とのトレードオフを回避し、高S/N比で、絶対誤差が小さく、遅延時間の短い、データスムージング処理、データ微分処理を行うことができる。

20

【0066】

また、平滑化係数は、入力データとデータの平滑化の予測値との誤差等に応じて、逐次、変化されるが、一旦、平滑化係数がゼロとなると、それ以降は、平滑化係数は変化しなくなる。また平滑化係数が、ゼロに近いと、絶対誤差、遅延時間が長くなるため、平滑化係数の可動範囲で下限値を設定することは、適応型2段指数平滑化処理において、安定に、最適なデータ処理を行うことができるという効果がある。

30

【0067】

図9に、本発明の第2の実施例のデータスムージング処理、データ微分処理装置において、ベキ乗パラメータ $N=1$ の場合のデータ処理結果を示す。図9(A)には入力データおよびデータスムージング処理波形を、図9(B)には1次微分処理波形を、図9(C)には2次微分処理波形を示す。また、図10に、本発明の第2の実施例のデータ処理装置において、ベキ乗パラメータ $N=5$ の場合のデータ処理結果を示す。図10(A)には入力データおよびデータスムージング処理波形を、図10(B)には1次微分処理波形を、図10(C)には2次微分処理波形を示す。ここで、図9と図10の入力データは、図6と図7の入力データと同じものを使用した。

40

【0068】

図9と図6を比較すると、本発明の第2の実施例のデータ処理装置において、ベキ乗パラメータ $N=1$ の場合では、図9(B)および図9(C)に示すように、1次微分処理、2次微分処理を、本発明の第1の実施例の場合より、高S/N比で実施することができる。また、図9と図10を比較すると、本発明の第2の実施例のデータ処理装置において、ベキ乗パラメータ $N=5$ の場合では、図10(B)および図10(C)に示すように、1次微分処理、2次微分処理を、ベキ乗パラメータ $N=1$ の場合より、更に高S/N比で実施することができることが分かる。

50

【0069】

データ処理性能を数値データと比較すると、絶対誤差は、本発明の第2の実施例のデータスムージング処理、データ微分処理装置において、ベキ乗パラメータ $N=1$ の場合では、23.6、ベキ乗パラメータ $N=5$ の場合では、27.6である。またS/N比は、ベキ乗パラメータ $N=1$ の場合では、226.5、ベキ乗パラメータ $N=5$ の場合では、1607.2である。2次微分のゼロクロス時間は、ベキ乗パラメータ $N=1$ の場合が、ベキ乗パラメータ $N=5$ の場合よりも、0.4秒早く、遅延時間が短い。したがって、データ処理性能おける高S/N比と絶対誤差、遅延時間との優先度に応じて、ベキ乗パラメータ N を最適に選択し、所望のデータスムージング処理、データ微分処理を行うことができる。

【0070】

図11に、本発明の第2の実施例のデータ処理装置のベキ乗パラメータ $N=1$ の場合において、データ入力開始直後にデータの変化点があるケースのデータ処理結果を示す。データ入力開始直後にデータの変化点がある場合においても、データ入力開始直後のデータより、データスムージング処理結果、1次微分処理結果および2次微分処理結果が、欠落することなく、また誤差も小さく、良好に出力されている。

【0071】

このため、特に短時間のエッチングプロセスでのエッチング終点検出等に有効である。半導体デバイスの高集積化、微細化に伴ない、半導体エッチングでは、多層薄膜をエッチングする工程が増加しており、短時間のエッチングプロセス、エッチングステップでのエッチング終点検出が重要となっている。この短時間プロセス対応は、本発明の実施例1の図3により説明した、多項式近似式により、データ入力開始直前のデータの平滑化の予測値、平滑化データの傾きの予測値を導出し、初期値とした点による寄与が大きい。これに加え、本発明の実施例2により、1次微分処理、2次微分処理でS/N比が向上し、更に明瞭に、エッチング終点判定が可能となった。

【0072】

本実施例の場合、実施例1の効果に加えて、入力データとデータの平滑化の予測値との誤差等に応じて、逐次、平滑化係数を最適化しているため、データ処理性能である、S/N比と絶対値誤差、遅延時間とのトレードオフ関係を乗り越えて、高S/N比で、データスムージング処理、データ微分処理を行うことができる。このため、対象となる系(装置等)の状態および状態の変化を、明瞭に検出できるため、対象となる系(装置等)を高精度に制御することができるという効果がある。

【実施例3】

【0073】

次に、本発明の第3の実施例に係るデータ処理装置1を、図12により説明する。本実施例では、本発明の実施例1における、データスムージング処理、データ微分処理方法の全体フローを示す図2において、1回目の2段指数平滑化処理の式(1)、式(2)を、3段指数平滑化処理の下記式(16)～式(18)に置き換えたものである。

【0074】

データの平滑化の予測値： $S1_t = 1 Y1_t + (1 - 1) (S1_{t-1} + B1_{t-1})$ 式(16)

平滑化データの傾きの予測値：

$$B1_t = 1 (S1_t - S1_{t-1}) + (1 - 1) (B1_{t-1} + G1_{t-1}) \quad \text{式(17)}$$

平滑化データの傾きの傾きの予測値：

$$G1_t = 1 (B1_t - B1_{t-1}) + (1 - 1) G1_{t-1} \quad \text{式(18)}$$

次に、1回目出力の平滑化データの傾きの予測値 $B1_t$ を2回目の入力データ $Y2_t$ とし、また1回目出力の平滑化データの傾きの傾きの予測値 $G1_t$ を2回目の入力データ $Y3_t$ とし、2回目の2段指数平滑化処理を2つ実施する。これにより、2回目出力の2つのデータの平滑化の予測値 $S2_t$ と $S3_t$ を得る。次に、データスムージング処理結果データ $S1_t$ 、データ1次微分処理結果データ $S2_t$ 、データ2次微分処理結果データ $S3_t$ は、一括あるいは逐次データを出力される。

【0075】

10

20

30

40

50

ここで、1回目の3段指数平滑化における、データの平滑化の予測値の平滑化パラメータ α_1 、平滑化データの傾きの予測値の平滑化パラメータ β_1 、平滑化データの傾きの傾きの予測値の平滑化パラメータ γ_1 および2回目の2つの2段指数平滑化における、データの平滑化の予測値の平滑化パラメータ α_2 、 β_2 、平滑化データの傾きの予測値の平滑化パラメータ β_3 、 γ_3 は、あらかじめ設定されている。但し、 $0 < \alpha_1 < 1$ 、 $0 < \beta_1 < 1$ 、 $0 < \gamma_1 < 1$ 、 $0 < \alpha_2 < 1$ 、 $0 < \beta_2 < 1$ 、 $0 < \beta_3 < 1$ 、 $0 < \gamma_3 < 1$ とする。

【0076】

1回目出力の平滑化データの傾きの予測値 $B1_t$ も1次微分処理結果に相当し、また1回目出力の平滑化データの傾きの傾きの予測値 $G1_t$ も2次微分処理結果に相当するため、これを使用しても良いが、データ結果のばらつきが大きいため、2回目の2つの2段指数平滑化処理により、データスムージング処理を行っている。

10

【0077】

本実施例では、平滑化パラメータを固定したが、本発明の実施例2と同様に、入力データとデータの平滑化の予測値との誤差等に応じて、逐次、平滑化係数を変更する、適応型3段指数平滑化処理としても良い。

【0078】

本実施例の場合、実施例1と同様の作用効果がある。また1回目の3段指数平滑化処理のみで、データスムージング処理、1次微分処理、2次微分処理を行っても良い。この場合は、1回の処理で、簡便に、少ないデータ記憶容量で、データスムージング処理、1次微分処理、2次微分処理を実施できるという効果がある。また、容易に推察できるように、本実施例と同様の方法で、式(16)～式(18)をN段指数平滑化処理に拡張することにより、データスムージング処理および1次微分処理からN-1次微分処理まで行うことができる。

20

【0079】

以上、上述した実施例では、マイクロ波プラズマエッチング装置におけるエッチング終点検出に適用し、高精度にエッチングを行う場合について詳述したが、他のプラズマ生成方式（誘導結合型、平行平板型等）のエッチング装置および成膜装置、あるいは他の分野の処理装置およびその他の装置等においても、装置等から得られる数値データを入力とし、本発明のデータ処理装置およびデータ処理方法を適用することにより、装置の状態を監視し、状態の変化点を高精度に検出することができるので、対象とする装置を、高精度に制御できるという効果がある。

30

【0080】

また、需要供給予測等の経済や金融分野でも、本発明のデータ処理装置およびデータ処理方法を適用することにより、高精度にデータを分析することができるという効果がある。

【0081】

本発明は、逐次データ処理で、データスムージング処理、データ微分処理を、高S/N比で、データ遅延が小さく、またデータ処理開始初期の期間も信頼性が高い、データ処理を行うことができる。また、本発明は、データスムージング値、1次微分値、2次微分値が、高いS/N比、短い遅延時間、あるいは、データ処理開始の初期も高い信頼性で、逐次、リアルタイムに得られる。さらに、本発明は、このデータスムージング値、1次微分値、2次微分値を用いて、対象とする系を、高精度に制御することができる。

40

【0082】

なお、本発明は前記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、前記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることも可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

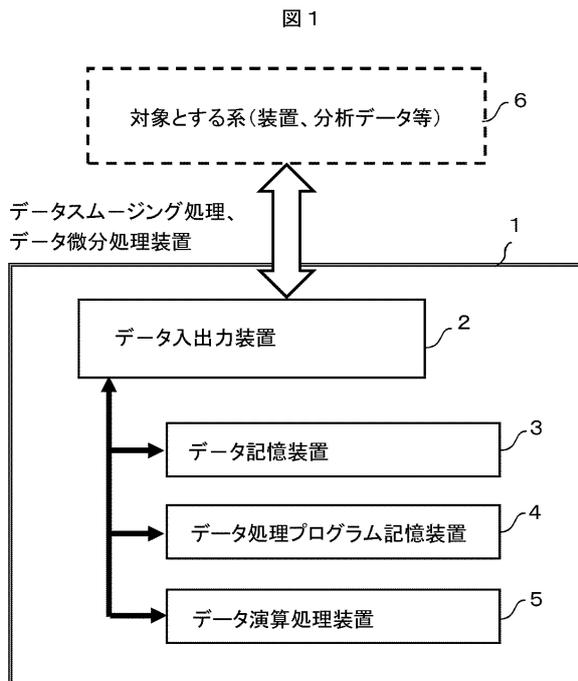
【符号の説明】

50

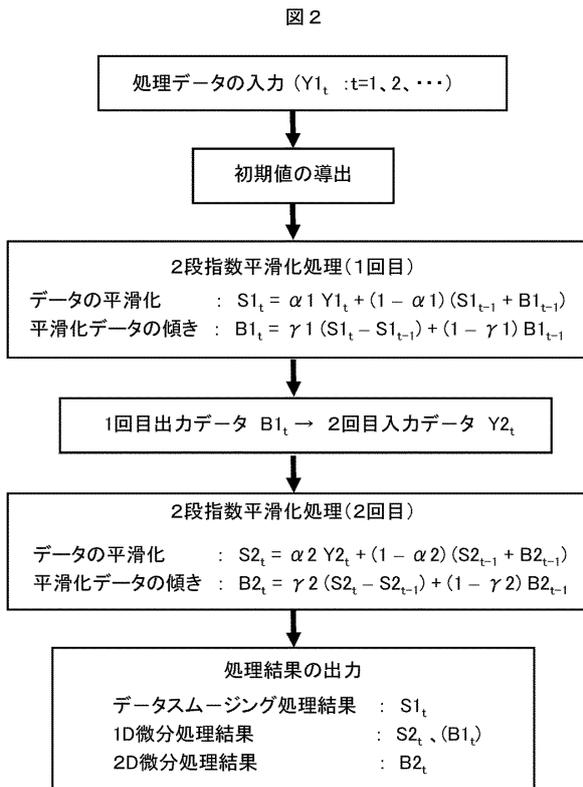
【 0 0 8 3 】

1 ...データ処理装置、2 ...データ入出力装置、3 ...データ記憶装置、4 ...データ処理プログラム記憶装置、5 ...データ演算処理装置、6 ...対象とする系、7 ...容器、8 ...放電管、9 ...石英板、10 ...石英窓、11 ...処理室、12 ...排気用開閉バルブ、13 ...真空排気装置、14 ...ガス配管、15 ...石英シャワープレート、16 ...排気速度可変バルブ、17 ...コイル、18 ...コイル、19 ...ヨーク、20 ...マグネトロン、21 ...整合器、22 ...矩形導波管、23 ...円矩形変換器、24 ...円形導波管、25 ...空洞共振器、26 ...ウェハ載置用電極、27 ...ウェハ、28 ...高周波電源、29 ...光ファイバー、30 ...分光器、31 ...光ファイバー、32 ...分光器、33 ...システム制御装置

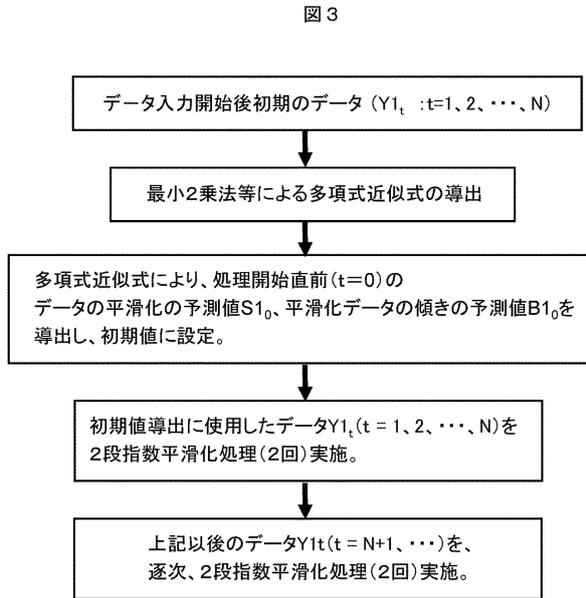
【 図 1 】



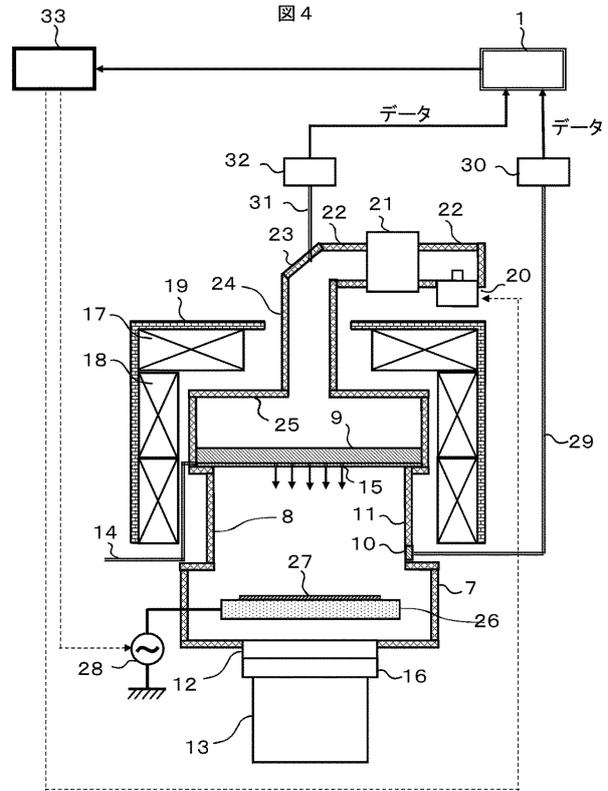
【 図 2 】



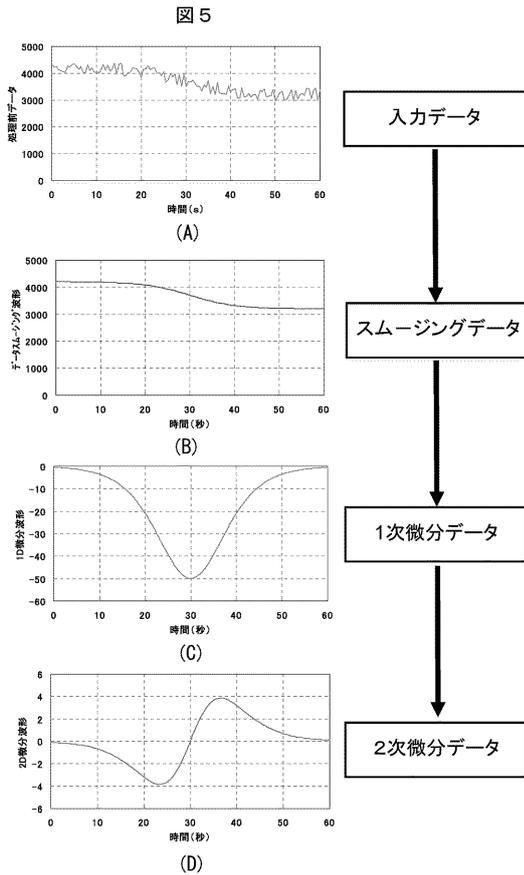
【 図 3 】



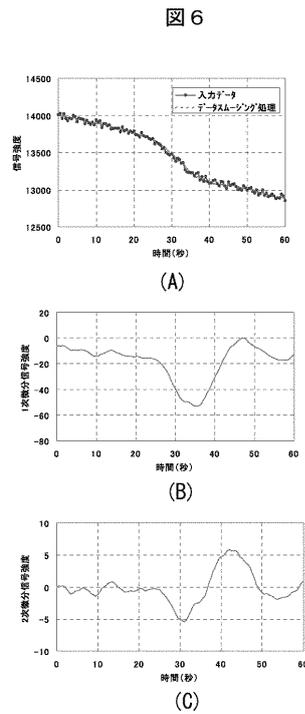
【 図 4 】



【 図 5 】

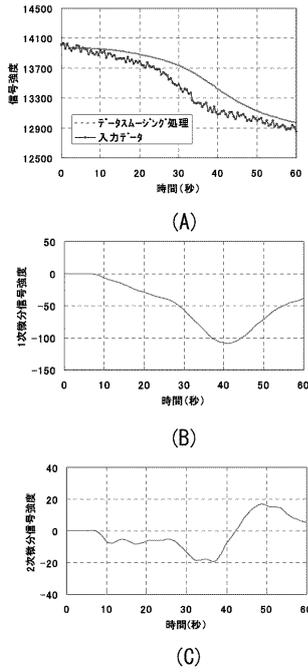


【 図 6 】



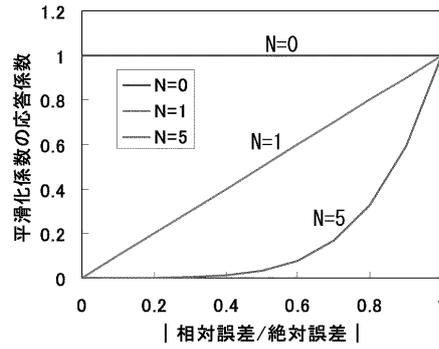
【 図 7 】

図 7



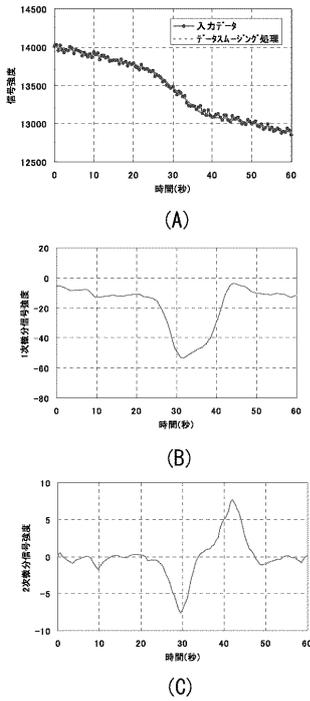
【 図 8 】

図 8



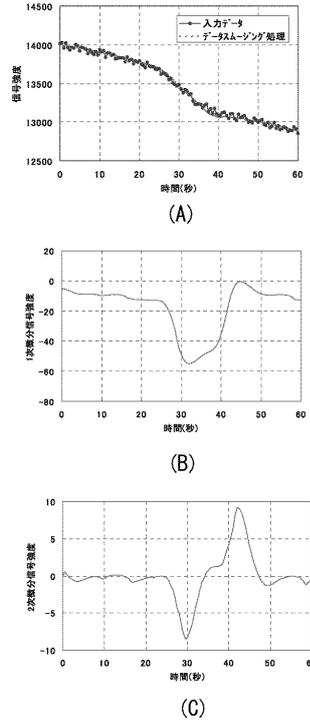
【 図 9 】

図 9



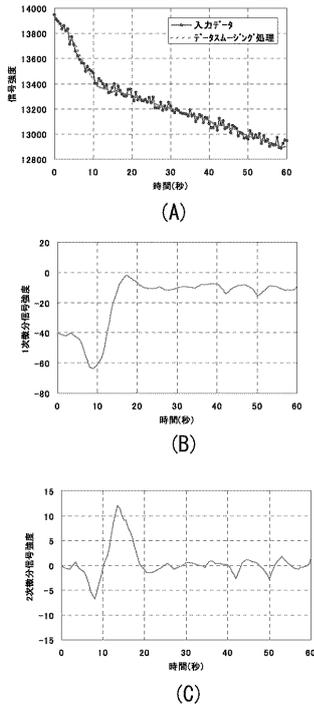
【 図 10 】

図 10



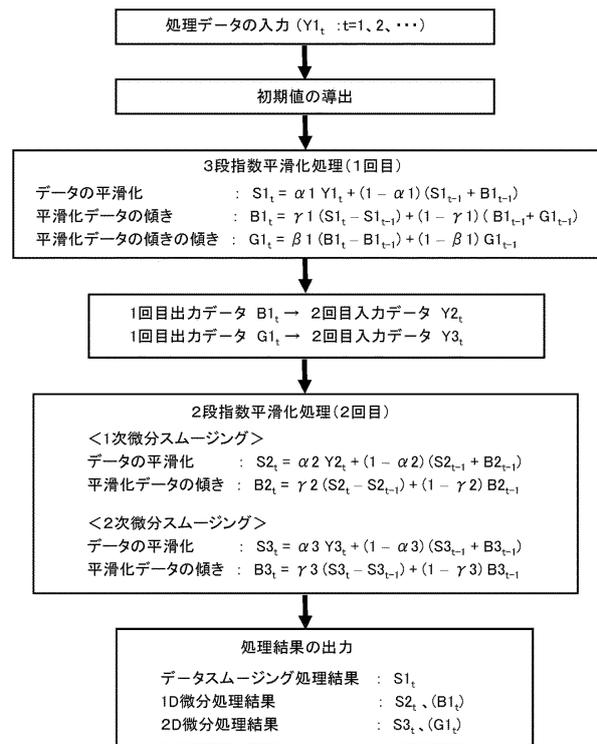
【 図 1 1 】

図 1 1



【 図 1 2 】

図 1 2



フロントページの続き

(72)発明者 福地 功祐

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献 特表2006-505138(JP,A)

特開2009-231718(JP,A)

特開2001-244252(JP,A)

特表2004-537102(JP,A)

特開2011-258967(JP,A)

Min Gyo Chung, 外1名, Efficient jitter compensation using double exponential smoothing, Information Sciences, 2012年12月11日, Vol. 227, pp. 83-89

IT情報マネジメント編集部, 指数平滑法, 情報マネジメント用語辞典, ITmedia, Inc, 2004年8月24日, [平成30年7月3日検索], インターネット, URL, <http://itmedia.co.jp/m/articles/0408/24/news092.html>

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302、21/3065、21/461、

H01J 37/30-37/36、

G06F 17/00-17/18、19/00、

G06Q 10/00、30/00、50/00-90/00