

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4274348号
(P4274348)

(45) 発行日 平成21年6月3日(2009.6.3)

(24) 登録日 平成21年3月13日(2009.3.13)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)
GO 5 B 23/02 (2006.01)

HO 1 L 21/302 I O 3
GO 5 B 23/02 P

請求項の数 15 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-193624 (P2002-193624)
(22) 出願日 平成14年7月2日(2002.7.2)
(65) 公開番号 特開2004-39805 (P2004-39805A)
(43) 公開日 平成16年2月5日(2004.2.5)
審査請求日 平成17年3月29日(2005.3.29)

(73) 特許権者 000219967
東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂五丁目3番1号
(74) 代理人 100096910
弁理士 小原 肇
(72) 発明者 原田 智
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
送センター 東京エレクトロン株式会社内

審査官 今井 淳一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロセスの予測方法及び処理装置並びにプロセス予測プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理体を処理する際に、複数の検出器からの複数の検出データを多変量解析して処理装置の装置状態を評価し、または処理結果を予測するプロセスの予測方法において、一つの処理装置を用いて複数の被処理体に対して所定条件の標準処理を行う工程と、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを主成分分析して主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルにおける上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の残差を第1の残差として求める工程と、上記処理装置と同種の他の処理装置を用いて上記被処理体と同種の複数の被処理体に対して上記標準処理を行う工程と、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の第2の残差を求める工程と、上記第2の残差のバラツキから上記第1の残差のバラツキの基準値より小さい検出データを選択する工程と、選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析モデルを作成する工程とを備えたことを特徴とするプロセスの予測方法。

【請求項2】

上記他の処理装置が上記一の処理装置を保守点検して上記各検出器の取付状態を異にする処理装置であることを特徴とする請求項1に記載のプロセスの予測方法。

【請求項3】

上記他の処理装置が上記一の処理装置を保守点検して内部部品を異にする処理装置であ

ることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 4】

上記他の処理装置が上記一の処理装置を保守点検して内部の表面状態を異にする処理装置であることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 5】

上記保守点検として洗浄を行うことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 6】

上記主成分分析ではクロスバリデーション法を用いて主成分の次数を求めることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

10

【請求項 7】

上記第 1 の残差の基準値として、その最大値及び最小値を用いることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 8】

上記多変量解析モデルは装置状態を評価するための重回帰分析モデルであることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 9】

上記多変量解析モデルは処理結果を予測するための重回帰分析モデルであることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

20

【請求項 10】

上記処理装置がプラズマ処理装置であることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 9 のいずれか 1 項に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 11】

上記検出データがプラズマの発光強度であることを特徴とする請求項 10 に記載のプロセスの予測方法。

【請求項 12】

処理容器内で被処理体に所定の処理を施す処理手段と、この処理手段による処理時に装置状態及び処理状態を検出する複数の検出器と、これらの検出器からの検出データに基づいて多変量解析を行なう多変量解析手段を有する制御装置とを備え、上記多変量解析に基づいて装置状態を評価し、または処理結果を予測する処理装置において、上記多変量解析手段は、上記処理手段により複数の被処理体に対して所定条件の標準処理を行って上記複数の被処理体それぞれから得られる上記複数の検出データを主成分分析するプログラムを記憶する第 1 記憶手段と、第 1 記憶手段のプログラムを用いて上記複数の検出データに基づいて主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルにおける上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の残差を第 1 の残差として求める演算手段と、この演算手段によって求められた第 1 の残差を記憶する第 2 記憶手段と、少なくとも取付状態、内部部品、内部の表面状態のいずれかの内部状態を異にする上記処理装置において上記複数の検出器から上記標準条件で得られた検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて上記演算手段によって求められ且つ上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の第 2 の残差を記憶する第 3 記憶手段と、上記第 2 の残差のバラツキから上記第 1 の残差のバラツキの基準値より小さい検出データを選択する選択手段と、この選択手段を介して選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析するプログラムを記憶する第 4 記憶手段とを備えたことを特徴とする処理装置。

30

40

【請求項 13】

上記処理装置がプラズマ処理装置であり、上記検出データがプラズマの発光強度であることを特徴とする請求項 12 に記載の処理装置。

【請求項 14】

被処理体を処理する際に、複数の検出器からの複数の検出データを多変量解析して処理装置の装置状態を評価し、または処理結果を予測するように、コンピュータの動作を制御

50

するプログラムであって、一つの処理装置において複数の被処理体に対して所定条件の標準処理を実行し、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを主成分分析して主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルにおける上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の残差を第1の残差として求め、また、上記処理装置と同種の他の処理装置において上記被処理体と同種の複数の被処理体に対して上記標準処理を実行し、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の第2の残差を求め、更に、上記第2の残差のパラツキから上記第1の残差のパラツキの基準値より小さい検出データを選択し、選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析モデルを作成するように、上記コンピュータの動作を制御することを特徴とするプロセス予測プログラム。

10

【請求項15】

上記処理装置がプラズマ処理装置であり、上記検出データがプラズマの発光強度であることを特徴とする請求項14に記載のプロセス予測プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、プロセスの予測方法及び処理装置並びにプロセス予測プログラムに関し、更に詳しくは、例えば半導体製造装置等の処理装置に付設された複数の検出器からの検出データを用いて処理装置のプロセスを予測する方法及びプロセスを予測することができる処理装置並びに処理装置に用いられるプロセス予測プログラムに関する。

20

【0002】

【従来の技術】

半導体製造工程は多種類の半導体製造装置や検査装置等の処理装置が用いられている。例えばプラズマ処理装置はエッチング処理や成膜処理等のプラズマ処理に用いられる。この種のプラズマ処理装置は、例えば、処理室内に互いに平行に配設された上部電極と下部電極を備え、制御装置の制御下で上下両電極に高周波電力を印加すると共に処理室内にプロセスガスを導入し、上部電極と下部電極間の放電によりプロセスガスのプラズマを発生させ、このプラズマの発光強度を終点検出器によって監視しながら被処理体（例えばウエハ）に所定のプラズマ処理を施している。この際、処理室内の圧力、上下両電極の高周波電力及びプロセスガスの流量等の制御可能なパラメータ（以下、「プロセスパラメータ」と称す。）を標準条件に設定してウエハの処理を行い、この間にプラズマ処理装置に付帯する終点検出器等の複数の検出器を介してプラズマ発光強度等を検出する。

30

【0003】

そして、複数の検出データを制御装置に格納された多変量解析プログラムを介してプロセスを予測するためのモデル式を作成し、このモデル式を介してプラズマ処理装置の装置状態を評価し、または処理結果を予測する。モデル式を作成する場合には、例えば複数の検出器からの検出データを収集し、これらの検出データとプロセスパラメータとの相関関係式を重回帰分析により求め、この重回帰分析によって作成されたモデル式に検出データを当て嵌めてプロセスパラメータを予測する。

40

【0004】

モデル式を作成する場合には、まず、プラズマ処理装置の処理室内に所定のウエハを配置し、処理室内の圧力、上下両電極の高周波電力及びプロセスガス流量等のプロセスパラメータを標準条件（処理内容によって予め設定された標準的な条件）に設定して例えば7枚のウエハを処理する。これらのウエハを処理する間に終点検出器によってプラズマ発光の複数の成分波長の発光強度（光学的データ）をそれぞれ検出データとして検出する。標準条件で処理するウエハを以下では正常ウエハと定義する。次いで、複数のプロセスパラメータを標準条件から所定の範囲で大小方向に振って例えば12枚のウエハを処理し、それぞれのウエハについて複数の光学的データをそれぞれ検出データとして検出する。プロセスパラメータを振る時には田口メソッドの直交表を使用した直交実験を行う。この直交実

50

験に用いるウエハを以下では直交表ウエハと定義する。

【0005】

正常ウエハ、直交表ウエハから得られた検出データを用いて図5に示すように重回帰解析を行う。即ち、同図に示すように光学的データからなる複数の検出データを説明変数 x_{ij} (i はウエハの枚数、 j は各成分波長のサンプル数) とし、また、プロセスガスの処理室内の圧力、高周波電力及びプロセスガスの流量等のプロセスパラメータを複数の目的変数 y_{ij} として重回帰分析を行って下記のモデル式を作成する。このモデル式を作成する時には行列 X と行列 Y の相関関係を少ないデータから求めることができる PLS 法を用いて行列 B を求める。PLS 法の詳細は例えば JOURNAL OF CHEMOMETRICS, VOL.2 (PP.211-228) (1998) に掲載されている。尚、下記モデル式において、 X は説明変数を成分とする行列、 B は重回帰係数を成分とする行列、 Y は目的変数を成分とする行列である。

$$Y = BX$$

【0006】

モデル式を作成した後、洗浄前後のプラズマ処理装置を用いて正常ウエハ及び異常ウエハ (故意にプロセスパラメータを標準条件から大小方向に振って処理したウエハ) を処理し、処理時に検出される検出データを用いてプロセスパラメータを予測する。即ち、プロセスパラメータを標準条件に設定して7枚のウエハを正常ウエハとして処理し、引き続き、プロセスパラメータを標準条件から大小方向に振って15枚のウエハを異常ウエハとして処理した。この際、終点検出器からのプラズマ発光の複数の成分波長を検出データとしてそれぞれ検出すると、上記モデル式とこれらの検出データに基づいて複数のプロセスパラメータを演算し、演算値を予測値として自動的に出力する。

【0007】

次いで、上述のプラズマ処理装置を洗浄した後、洗浄後のプラズマ処理装置を用いて正常ウエハ及び異常ウエハを処理する。そして、この時に得られた複数の検出データと上記モデル式を用いて洗浄後のプラズマ処理装置のプロセスパラメータを予測した。洗浄前後の各ウエハにおけるプロセスパラメータの設定値と予測値とを比較して示したものが図6である。図6の左半分はモデル式を作成したプラズマ処理装置の場合のガス1の流量の設定値と予測値を示し、右半分は上記モデル式を用いて洗浄後のプラズマ処理装置の場合のガス1の流量の設定値と予測値を示している。図6からも明らかのようにモデル式を作成した洗浄前のプラズマ処理装置については予測値が設定値に近似しており予測精度が比較的高いことが判る。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、洗浄後のプラズマ処理装置の場合には予測値が設定値から大きく外れているため、洗浄前に作成したモデル式をそのまま用いて洗浄後のプラズマ処理装置のプロセスパラメータを予測することができない。つまり、同一のプラズマ処理装置であっても洗浄後では終点検出器の付け直しや処理室内の環境変化等によって検出データが変動するため、洗浄後にはモデル式を新たに作成し直さなくてはならないという課題があった。このことは単に洗浄前後のプラズマ処理装置に限ったことではなく、他の保守点検を行った場合、更に同種のプラズマ処理装置間にも云えることである。

【0009】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、処理装置についての予測式を一度作成すれば、この予測式を用いて他の同種の処理装置についてもプロセスパラメータ等の装置状態を評価し、処理結果を予測することができるプロセスの予測方法及び処理装置並びにプロセス予測プログラムを提案することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項1に記載のプロセスの予測方法は、被処理体を処理する際に、複数の検出器からの複数の検出データを多変量解析して処理装置の装置状態を評価し、または処理結果を予測するプロセスの予測方法において、一つの処理装置を用いて複数の被処理体に

10

20

30

40

50

対して所定条件の標準処理を行う工程と、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを主成分分析して主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルにおける上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の残差を第1の残差として求める工程と、上記処理装置と同種の他の処理装置を用いて上記被処理体と同種の複数の被処理体に対して上記標準処理を行う工程と、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の第2の残差を求める工程と、上記第2の残差のバラツキから上記第1の残差のバラツキの基準値より小さい検出データを選択する工程と、選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析モデルを作成する工程とを備えたことを特徴とするものである。

10

【0011】

また、本発明の請求項2に記載のプロセスの予測方法は、請求項1に記載の発明において、上記他の処理装置が上記一の処理装置を保守点検して上記各検出器の取付状態を異にする処理装置であることを特徴とするものである。

【0012】

また、本発明の請求項3に記載のプロセスの予測方法は、請求項1または請求項2に記載の発明において、上記他の処理装置が上記一の処理装置を保守点検して内部部品を異にする処理装置であることを特徴とするものである。

【0013】

また、本発明の請求項4に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項3のいずれか1項に記載のプロセスの発明において、上記他の処理装置が上記一の処理装置を保守点検して内部の表面状態を異にする処理装置であることを特徴とするものである。

20

【0014】

また、本発明の請求項5に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の発明において、上記保守点検として洗浄を行うことを特徴とするものである。

【0015】

また、本発明の請求項6に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の発明において、上記主成分分析ではクロスバリデーション法を用いて主成分の次数を求めることを特徴とするものである。

30

【0016】

また、本発明の請求項7に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項6のいずれか1項に記載の発明において、上記第1の残差の基準値として、その最大値及び最小値を用いることを特徴とするものである。

【0017】

また、本発明の請求項8に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項7のいずれか1項に記載の発明において、上記多変量解析モデルは装置状態を評価するための重回帰分析モデルであることを特徴とするものである。

【0018】

また、本発明の請求項9に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項7のいずれか1項に記載の発明において、上記多変量解析モデルは処理結果を予測するための重回帰分析モデルであることを特徴とするものである。

40

【0019】

また、本発明の請求項10に記載のプロセスの予測方法は、請求項1～請求項9のいずれか1項に記載の発明において、上記処理装置がプラズマ処理装置であることを特徴とするものである。

【0020】

また、本発明の請求項11に記載のプロセスの予測方法は、請求項10に記載の発明において、上記検出データがプラズマの発光強度であることを特徴とするものである。

【0021】

50

また、本発明の請求項 1 2 に記載の処理装置は、処理容器内で被処理体に所定の処理を施す処理手段と、この処理手段による処理時に装置状態及び処理状態を検出する複数の検出器と、これらの検出器からの検出データに基づいて多変量解析を行なう多変量解析手段を有する制御装置とを備え、上記多変量解析に基づいて装置状態を評価し、または処理結果を予測する処理装置において、上記多変量解析手段は、上記処理手段により複数の被処理体に対して所定条件の標準処理を行って上記複数の被処理体それぞれから得られる上記複数の検出データを主成分分析するプログラムを記憶する第 1 記憶手段と、第 1 記憶手段のプログラムを用いて上記複数の検出データに基づいて主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルにおける上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の残差を第 1 の残差として求める演算手段と、この演算手段によって求められた第 1 の残差を記憶する第 2 記憶手段と、少なくとも取付状態、内部部品、内部の表面状態のいずれかの内部状態を異にする上記処理装置において上記複数の検出器から上記標準条件で得られた検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて上記演算手段によって求められ且つ上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の第 2 の残差を記憶する第 3 記憶手段と、上記第 2 の残差のバラツキから上記第 1 の残差のバラツキの基準値より小さい検出データを選択する選択手段と、この選択手段を介して選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析するプログラムを記憶する第 4 記憶手段とを備えたことを特徴とするものである。

10

また、本発明の請求項 1 3 に記載の処理装置は、請求項 1 2 の発明において、上記処理装置がプラズマ処理装置であり、上記処理装置がプラズマ処理装置であり、上記検出データがプラズマの発光強度であることを特徴とするものである。

20

また、本発明の請求項 1 4 に記載のプロセス予測プログラムは、被処理体を処理する際に、複数の検出器からの複数の検出データを多変量解析して処理装置の装置状態を評価し、または処理結果を予測するように、コンピュータの動作を制御するプログラムであって、一つの処理装置において複数の被処理体に対して所定条件の標準処理を実行し、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを主成分分析して主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルにおける上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の残差を第 1 の残差として求め、また、上記処理装置と同種の他の処理装置において上記被処理体と同種の複数の被処理体に対して上記標準処理を実行し、この標準処理により上記複数の被処理体それぞれから得られる複数の検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて上記複数の被処理体それぞれの検出データに対応する複数の第 2 の残差を求め、更に、上記第 2 の残差のバラツキから上記第 1 の残差のバラツキの基準値より小さい検出データを選択し、選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析モデルを作成するように、上記コンピュータの動作を制御することを特徴とするものである。

30

また、本発明の請求項 1 5 に記載のプロセス予測プログラムは、請求項 1 4 の発明において、上記処理装置がプラズマ処理装置であり、上記検出データがプラズマの発光強度であることを特徴とするものである。

【 0 0 2 2 】

【発明の実施の形態】

40

以下、図 1 ~ 図 4 に示す実施形態に基づいて本発明を説明する。

まず、本発明のプロセスの予測方法に用いられるプラズマ処理装置の一例について図 1 を参照しながら説明する。

【 0 0 2 3 】

本実施形態のプラズマ処理装置 1 は、例えば図 1 に示すように、所望の高真空度を保持することができる、表面がアルマイト加工され且つ電氣的に接地された処理容器 2 と、この処理容器 2 内の底面中央に配設され且つ被処理体（例えば、熱酸化膜を有するウエハ）W を載置する下部電極 3 と、この下部電極 3 を下方から支持し且つ処理容器 2 の底面に絶縁部材 2 A を介して配設された支持体 4 と、下部電極 3 と隙間を介して配設され且つ中空状に形成された上部電極 5 とを備え、ウエハ W の熱酸化膜に対してプラズマ処理（エッチン

50

グ)を行う。下部電極3には例えば2MHzの高周波電源6が整合器6Aを介して接続され、上部電極5には下部電極3よりも周波数の高い、例えば60MHzの高周波電源7が整合器7Aを介して接続されている。下部電極3にはハイパスフィルタ8が接続され、上部電極5にはローパスフィルタ9が接続されている。また、処理容器2の底面の排気口2Bには排気装置11がガス排気管11Aを介して接続され、この排気装置11は処理容器2内を真空排気して所望の真空度を維持する。尚、以下では、必要に応じて下部電極3と支持体4を纏めて載置台10と称して説明する。

【0024】

上部電極5の上面中央にはガス導入管5Aが形成され、このガス導入管5Aは絶縁部材2Cを介して処理容器2の上面中央を貫通している。そして、このガス導入管5Aにはガス供給源12がガス供給管13を介して接続され、このガス供給源12からエッチングガスを供給する。即ち、ガス供給源12は、例えば、ガス1(例えば、 C_5F_8)供給源、ガス2(例えば、 CH_2F_2)供給源、ガス3(例えば、 N_2)供給源、ガス4(例えば、Ar)供給源及びガス5(例えば、 O_2)供給源を有し、これらの各ガス供給源がそれぞれガス供給管13に接続されている。そして、これらのガスをエッチングガスとして流量制御装置を介して処理容器2内へ所定流量で供給する。

【0025】

上部電極5の下面には多数の孔5Bが均等に分散されて形成され、各孔5Bから処理容器2内へ処理ガスを均等に分散供給する。従って、排気装置11によって処理容器2内を真空引きすると共にガス供給源12から所定のエッチングガスを所定の流量で供給した状態で、下部電極3及び上部電極5にそれぞれの高周波電力を印加し、処理容器2内でエッチングガスのプラズマを発生させ、下部電極3上のウエハWに対して所定のエッチングを施す。この下部電極3には温度センサ(図示せず)が装着され、温度センサを介して下部電極3上のウエハWの温度を常時監視している。

【0026】

載置台10内には所定の冷媒(例えば、従来公知のフッ素系流体、水等)が通る冷媒流路10Aが形成され、冷媒が冷媒流路10Aを流れる間に下部電極3が冷却され、下部電極3を介してウエハWを冷却し、ウエハWを所望の温度に制御する。また、下部電極3上には絶縁材料からなる静電チャック14が配置され、静電チャック14内の電極板14Aには高圧直流電源15に接続されている。静電チャック14は高圧直流電源15から電極板14Aに印加された高電圧によって表面に発生する静電気によってウエハWを静電吸着する。下部電極3の外周縁には静電チャック14を囲むフォーカスリング16が配置され、フォーカスリング16を介してプラズマがウエハWに集束する。

【0027】

また、載置台10にはHeガス等の熱伝導性ガスをバックサイドガスとして供給するガス流路10Bが形成され、ガス流路10Bは載置台10の上面の複数箇所で開口している。これらの開口部は載置台10上の静電チャック14に形成された貫通孔と一致している。従って、載置台10のガス流路10Bにバックサイドガスを供給すると、バックサイドガスはガス流路10Bを経由して静電チャック13の貫通孔から流出し、静電チャック14とウエハW間の隙間全体に均等に拡散し、隙間での熱伝導性を高めている。尚、図1において、17は処理容器2に形成されたウエハWの搬出入口を開閉するゲートバルブである。

【0028】

プラズマ処理装置1には終点検出器18が取り付けられ、この終点検出器18を用いて処理容器2内のプラズマ発光をウエハW毎に検出し、ウエハW毎にプラズマ発光の各成分波長の発光強度を検出データとして制御装置19内に逐次取り込むようにしている。この制御装置19には多変量解析プログラムを含むプロセス予測プログラムが格納され、このプログラムを介して検出データの主成分分析等の多変量解析を行う多変量解析手段が設けられている。検出データとしては例えば200nm~950nmの範囲にある150種類の成分波長を使用する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

しかしながら、プラズマ処理装置 10 の装置状態を評価したり、処理結果を予測したりする、プロセスの予測をするにしても、洗浄等の保守点検に伴って処理室内の各種の部品や検出器を取り外して付け直すと、これらの検出器の検出データは変化することが多く、保守点検前に作成されたモデル式を用いて保守点検後のプラズマ処理装置のプロセスの予測を行うことができないことは前述した通りである。

【 0 0 3 0 】

本実施形態に用いられた多変量解析手段 20 は、処理室 2 内で上述のように複数のウエハ W に対して所定の条件で標準処理を行って得られる複数の検出器（本実施形態では、終点検出器 18）の複数の成分波長の発光強度からなる検出データを主成分分析するプログラムを記憶する第 1 記憶手段 20 A と、第 1 記憶手段 20 A のプログラムを用いて複数の成分波長の発光強度からなる検出データに基づいて主成分分析モデルを作成すると共にこの主成分分析モデルの残差を第 1 の残差として求める演算手段 20 B と、この演算手段 20 B によって求められた第 1 の残差を記憶する第 2 記憶手段 20 C と、例えば、保守点検等により取付状態、内部部品、内部の表面状態等の処理装置の内部状態を異にする終点検出器 18 から上記標準条件と同一の条件で得られた検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて求められる第 2 の残差を記憶する第 3 記憶手段 20 D と、第 1 の残差のパラツキを基準にして第 2 の残差のパラツキの小さい検出データを比較して選択する選択手段 20 E と、この選択手段 20 E を介して選択された複数の検出データの残差を用いて多変量解析モデル（例えば、重回帰分析モデル）を作成するプログラムを記憶する第 4 記憶手段 20 F とを備えて構成されている。

【 0 0 3 1 】

本実施形態の多変量解析手段 20 では以下の処理が行なわれる。即ち、一のプラズマ処理装置（例えば、洗浄前のプラズマ処理装置）1 の処理手段を用いてウエハ W を標準条件で処理し、ウエハ W 毎にプラズマ発光の各波長の発光強度（光学的データ）を終点検出器 18 から検出データとして検出し、これらの検出データを第 1 記憶手段 20 A のプログラムを用いて演算手段 20 B において主成分分析して主成分分析モデルを作成した後、この主成分分析モデルから各検出データの残差を求め、第 1 の残差として第 2 記憶手段 20 C に格納する。次いで、同種の他のプラズマ処理装置（例えば、上記プラズマ処理装置を洗浄した後のプラズマ処理装置）を用いてウエハを標準条件で処理し、設置状態を異にする終点検出器 18 からウエハ毎に同一の検出データを検出し、これらの検出データを上記主成分分析モデルに当て嵌めて第 2 の残差を求めて第 3 記憶手段 20 D に格納する。これらの第 2 の残差の中から洗浄前に得られた第 1 の残差の最大値及び最小値を基準にして第 2 の残差のパラツキの小さい検出データを選択手段 20 E において比較して選択した後、選択されたパラツキの小さい第 2 の残差を説明変数とし、例えば装置状態を評価するためのプロセスパラメータを目的変数とした第 4 記憶手段 20 F のプログラムを用いて多変量解析によりモデル式を作成する。このモデル式を使うことによって洗浄後であってもプロセスパラメータを高精度で予測し、装置状態を高精度で評価することができる。

【 0 0 3 2 】

ここでプラズマ発光強度からなる検出データを用いる主成分分析について概説する。まず、洗浄前のプラズマ処理装置 1 を用いてプロセスパラメータを下記表 1 の標準値に設定し、この標準条件で下記表 2 に示すように 7 枚のウエハを正常ウエハとしてそれぞれエッチングを行い、この時に終点検出器 18 から検出される n 個の成分波長の発光強度を正常ウエハ毎に光学的データを検出データとして逐次検出し、これらの検出データの主成分分析を行う。また、下記表 1 のレベル 1 とレベル 2 の範囲でプロセスパラメータを振る下記表 2 に示す田口メソッドの直交表を作成し、この直交表に従ってプロセスパラメータを設定して 12 枚のウエハを直交表ウエハとしてそれぞれエッチングし、各直交表ウエハについて n 個の成分波長の発光強度の検出データを得る。そして、これらの正常ウエハ及び直交表ウエハの検出データ及びプロセスパラメータを主成分分析のために使用する。

【 0 0 3 3 】

上述の主成分分析において、例えば、m枚（本実施形態では19枚）のウエハそれぞれについてn個（本実施形態では150箇所の成分波長）の検出データxが存在すると、これらの検出データからなる説明変数 x_{ij} を成分とする行列Xは数1で表される。そして、制御装置15の多変量解析手段20においてこれらの検出データに基づいて平均値、最大値、最小値、分散値を求めた後、これらの計算値に基づいた分散共分散行列を用いて複数の検出データの主成分分析を行って固有値及びその固有ベクトルを求める。固有値は検出データの分散の大きさを表し、固有値の大きさ順に、第1主成分、第2主成分、・・・第n主成分として定義される。また、各固有値にはそれぞれに属する固有ベクトルがある。固有ベクトルは各検出データの重み係数となる。通常、主成分の次数が高いほどデータの評価に対する寄与率が低くなり、その利用価値が薄れる。

10

【数1】

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

20

【0034】

上述のようにm枚のウエハについてそれぞれn個の検出データを採り、i番目のウエハのj番目の固有値に対応する第j主成分は数2で表される。そして、この第j主成分 t_{ij} に具体的なi番目の検出値(x_{i1} 、 x_{i2} 、・・・、 x_{in})を代入して得られた値がi番目のウエハの第j主成分の得点になる。第j主成分の得点 t_j は数3で定義され、第j主成分の固有ベクトル P_j は数4で定義される。そして、第j主成分の得点 t_j を行列Xと固有ベクトル P_j を用いると数5で表される。また、行列Xを主成分得点とそれぞれの固有ベクトルを用いて表すと数6で表される。

30

【数2】

$$t_{ij} = x_{i1}P_{j1} + x_{i2}P_{j2} + \dots + x_{in}P_{jn}$$

【数3】

$$t_j = \begin{pmatrix} t_{1j} \\ t_{2j} \\ \cdot \\ \cdot \\ t_{mj} \end{pmatrix}$$

40

【数4】

$$P_j = \begin{pmatrix} p_{j1} \\ p_{j2} \\ \vdots \\ p_{jn} \end{pmatrix}$$

【数 5】

$$t_j = X p_j$$

10

【数 6】

$$X = t_1 P_1^T + t_2 P_2^T + \dots + t_n P_n^T$$

但し、 P_n^T は P_n の転置行列である。

【0035】

ところで、前述したようにプロセスを予測する場合には主成分分析を行った後、次数の高い主成分を纏めた残差行列を用いる。即ち、例えば寄与率が高いと思われる第 k 主成分まで主成分分析を行い、第 k 主成分より寄与率の低い第 $(k+1)$ 次以上の高次の主成分を一つに纏めた数 7 で定義する残差行列 E (各列はプラズマ発光の各成分波長に対応し、各行はウエハの枚数に対応する) を作り、この残差行列 E を数 6 に当て嵌めると残差行列 E は数 8 で表される。主成分分析において何次の主成分まで求めるかは、クロスバリデーション法によって決定し、予測誤差が最も小さくなる次数を求める。その結果、検出データの種類にもよるが、本実施形態の光学的データを用いる場合には例えば第 5 主成分まで求めれば良いことが判った。そこで、洗浄前のプラズマ処理装置 1 に関して 7 枚の正常ウエハにおける各検出データの残差のパラツキを求め、残差の最大値と最小値を求めたところ、最大値が 0.43 であり、最小値が -0.67 であった。

20

【数 7】

$$E = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mn} \end{pmatrix}$$

30

【数 8】

$$E = X - (t_1 P_1^T + t_2 P_2^T + \dots + t_k P_k^T)$$

40

【0036】

次いで、洗浄後のプラズマ処理装置を用いて上記表 1 に示す標準条件下で 7 枚のウエハを正常ウエハとしてそれぞれ処理し、上述した場合と同様に終点検出器 18 からのプラズマ発光の各成分波長の発光強度を検出し、これらの検出データを数 8 に当て嵌めて正常ウエハの残差を求めたところ、図 2 に示す結果が得られた。図 2 に示す残差に洗浄前の正常ウエハの残差の最大値及び最小値を閾値ラインとして記入すると、閾値ラインを超えて変化する残差を有する検出データ (成分波長) が多く存在することが判る。そこで、閾値ラインを超える波長成分の発光強度は、洗浄後のプラズマ処理装置のプロセスを予測する場合

50

の予測誤差大きくする原因と考えられる。そこで、本実施形態では洗浄後のプラズマ処理装置によって得られた検出データの残差のうち、閾値ライン内に納まる残差を示す成分波長を選択し、これらの残差を説明変数として多変量解析、例えば重回帰分析を行ってモデル式を作成し、このモデル式を用いてプロセスパラメータを予測する。

【 0 0 3 7 】

即ち、本実施形態では図3に示すように、上述のようにして選択された残差を説明変数とし、プロセスパラメータを目的変数として、多変量解析プログラムを用いて重回帰分析し、洗浄前のプラズマ処理装置1について下記(1)の重回帰式(モデル式)を作成する。モデル式を作成する際には上記表2に示す正常ウエハ及び直交表ウエハの処理によって得られた検出データの残差(上述の手法により選択された検出データの残差) X' と、これらの残差を得る時に用いられた予め設定されたプロセスパラメータ Y を用いて回帰行列 B を得た。そして、モデル式の回帰行列 B を求める際に多変量解析プログラムの PLS 法を用いた。洗浄前のプラズマ処理装置におけるモデル式の回帰行列 B を得ることによって、洗浄後のプラズマ処理装置のプロセスパラメータを予測する際に、そのプラズマ処理装置において選択された各成分波長の検出データの残差を説明変数として下記(1)のモデル式に当て嵌めることにより、目的変数であるプロセスパラメータを算出し、この計算結果からプロセスパラメータを予測することができる。

$$Y = B X' \dots (1)$$

【 0 0 3 8 】

上記 1 のモデル式を作成した後、洗浄前のプラズマ処理装置1を用いて下記表3に示すように7枚の正常ウエハ及び15枚の異常ウエハを処理した。この際、制御装置では各ウエハのプラズマ発光の各成分波長のうち、選択された検出データの残差を上記 1 に示すモデル式に当て嵌めて洗浄前のプラズマ処理装置1のプロセスパラメータを自動的に演算して予測値を自動的に出力し、プロセスパラメータを予測する。プロセスパラメータのうちの一つ(例えば、ガス1の流量)を図4の左半分に洗浄サイクル1として示した。図4に示す結果によれば、従来と同様にプロセスパラメータとして設定したガス1の流量の設定値と、予測値とが近似し、複数の検出データの中から選択された一部の検出データの残差を用いた場合でも予測値の精度が高いことが判る。

【表3】

Wafer No.		Pressure	Top POWER	Btm POWER	Gas1	Gas2	Gas3	Gas4	Gas5
		mT	W	W	sccm	sccm	sccm	sccm	sccm
1	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
2	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
3	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
4	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
5	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
6	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
7	正常ウエハ	20	3200	3500	10	10	90	450	15
8	異常ウエハ	20	3200	3600	10	10	90	450	15
9	異常ウエハ	20	3100	3500	10	10	90	350	18.5
10	異常ウエハ	20	3300	3500	10	10	70	450	15
11	異常ウエハ	20	3200	3500	10	14	90	450	15
12	異常ウエハ	20	3200	3500	14	10	90	550	11
13	異常ウエハ	25	3300	3500	10	10	90	450	15
14	異常ウエハ	20	3200	3500	10	8	90	450	18.5
15	異常ウエハ	25	3200	3500	10	10	90	350	15
16	異常ウエハ	20	3100	3500	10	10	70	450	15
17	異常ウエハ	20	3200	3500	14	10	90	450	15
18	異常ウエハ	25	3300	3600	10	10	90	550	15
19	異常ウエハ	20	3200	3400	14	10	90	450	15
20	異常ウエハ	25	3200	3400	10	10	70	350	15
21	異常ウエハ	20	3200	3500	14	10	90	450	15
22	異常ウエハ	20	3200	3500	10	14	90	350	11

【 0 0 3 9 】

次いで、洗浄後のプラズマ処理装置を用いて上記表3に示す正常ウエハ及び異常ウエハをそれぞれ処理した。この際に洗浄後のプラズマ処理装置では制御装置において各ウエハのプラズマ発光の各成分波長のうち、選択された検出データの残差を上記 1 に示すモデル式に当て嵌めてプロセスパラメータの予測値を自動的に出力し、プロセスパラメータを予測する。プロセスパラメータのうち、ガス1の流量の設定値及び予測値を図4の右半分に洗浄サイクル2として示した。図4に示す結果によれば、洗浄後であってもプロセスパラメータとして設定したガス1の流量の設定値と、予測値とが近似し、洗浄前に匹敵する

精度で予測することができ、従来と比較してガス流量を格段に高精度に予測できることが判る。従って、図 4 に示す結果によれば、洗浄サイクル 1、2 のいずれの場合にもプロセスパラメータを高精度で予測することができ、モデル式を洗浄前のプラズマ処理装置 1 について作成すれば、洗浄後のプラズマ処理装置にそのモデル式をそのまま適用してもプロセスパラメータを高精度に予測することができる。

【 0 0 4 0 】

次いで、各プロセスパラメータの予測誤差を数 9 に示す式を用いて具体的に求めた。その結果を下記表 4 及び下記表 5 に示した。下記表 4 は予測誤差を示し、下記表 5 は予測精度を示している。下記表 4 及び表 5 に示す結果によれば、図 4 に示すガス 1 の場合には本実施形態の予測方法では予測値は設定値 10 sccm に対して 0.4 sccm の誤差があり、設定値に対して 4 % の誤差で予測することができる。これに対して、従来の予測方法では予測値は設定値 10 sccm に対して 1.7 sccm の誤差、即ち設定値に対して 17 % の誤差があり、本実施形態の方法に対して予測精度が格段に劣ることが判る。また、下記表 4 及び表 5 に示す結果によれば、他のプロセスパラメータに関しても本実施形態の予測方法による予測精度が従来と比較して格段に高くなっていることが判る。

【数 9】

$$\text{予測誤差} = \sqrt{\sum (Y \text{ 設定値} - Y \text{ 予測値})^2 / n}$$

但し、式中、n はウエハの枚数を示す。

【表 4】

	圧力	上部電極	下部電極	ガス 1	ガス 2	ガス 3	ガス 4	ガス 5
	mT	W	W	sccm	sccm	sccm	sccm	sccm
本発明	0.6	41.2	41.8	0.4	0.5	3.5	17.6	1.5
従来	1.0	256.4	90.1	1.7	1.4	15.3	72.1	4.0

【表 5】

	圧力	上部電極	下部電極	ガス 1	ガス 2	ガス 3	ガス 4	ガス 5
	20 mT	3200 W	3500 W	10 sccm	19 sccm	90 sccm	450 sccm	15 sccm
本発明	3%	1%	1%	4%	5%	4%	4%	10%
従来	5%	8%	3%	17%	14%	17%	16%	27%

【 0 0 4 1 】

以上説明したように本実施形態によれば、ウエハ W を処理する際に、洗浄前のプラズマ処理装置 1 を用いて複数のウエハ W に対して標準処理を行う工程と、この標準処理により得られるプラズマ発光の複数の成分波長の発光強度からなる検出データを第 1 記憶手段 20 A のプログラムを用いて演算手段 20 B において主成分分析して主成分分析モデル（数 6）を求めると共に各検出データの残差をそれぞれ第 1 の残差として求める工程と、第 1 の残差を第 2 記憶手段 20 C に格納する工程と、洗浄後のプラズマ処理装置を用いて複数のウエハに対して洗浄前と同一の標準処理を行う工程と、この標準処理により得られる複数の検出データを用いて演算手段 20 B において上記主成分分析モデル（数 6）によりこれらの検出データの残差をそれぞれ第 2 の残差として求める工程と、第 2 の残差を第 3 記憶手段 20 D に格納する工程と、第 1 の残差のバラツキの最大値及び最小値を基準にして第 2 の残差の中からバラツキの小さい残差を有する検出データを選択手段 20 E において選択する工程と、選択された複数の残差を用いて第 4 記憶手段 20 F のプログラムを介して重回帰モデル（式 1）を作成する工程とを備えているため、式 1 に示す重回帰モデルでは洗浄前後で検出データの残差の変動が小さく、洗浄前後に拘わらずプラズマ処理装置のプロセスパラメータを高精度で予測することができる。更に、洗浄の度毎に多変量解析による予測用のモデル式を作成する必要がなく、洗浄前のプラズマ処理装置 1 について一度モデル式を作成すれば、そのモデル式をその後の洗浄後のプラズマ処理装置にその

まま使用することができ、モデル式を作成する手間を削減することができる。

【0042】

また、本実施形態によれば、主成分分析を行う際に、クロスバリデーション法を用いて予測誤差の小さい主成分の次数（例えば、第5主成分）を求めようとしたため、予測誤差の小さい残差行列Eを効率良く求めることができる。また、残差のバラツキの小さい検出データを選択する基準として洗浄前の残差の最大値及び最小値を用いるようにしたため、残差の小さい検出データを効率良く機械的に選択することができ、予測精度の高いモデル式を確実に作成することができる。尚、検出データを選択する基準として洗浄前の残差の最大値及び最小値に対して所定の比率を乗じた値を用いても良い。

【0043】

尚、上記各実施形態では、検出器として終点検出器からの検出データを用いた場合を例に挙げて説明したが、プラズマ処理装置に付設された他の検出器からの検出データを用いても上記実施形態と同様の作用効果を期することができる。また、上記実施形態では、装置状態を評価するためのプロセスパラメータを予測する場合について説明したが、本発明ではウエハの処理結果を予測するための重回帰分析モデルも作成することができる。また、上記実施形態では、洗浄前後のプラズマ処理装置のプロセスを予測する方法について説明したが、本発明は洗浄以外の保守点検後のプラズマ処理装置についても適用することができる。更に、同一種のプラズマ処理装置であれば、一つのプラズマ処理装置についてモデルを作成すれば、他の同種のプラズマ処理装置についてもそのモデル適用することができる。また、上記各実施形態ではプラズマ処理装置を例に挙げて説明したが、本発明はプラズマ処理装置以外の半導体製造装置やその他の一般的な生産装置にも適用することができる。

【0044】

【発明の効果】

本発明によれば、ある処理装置についての予測式を一度作成すれば、この予測式を用いて他の同種の処理装置についてもプロセスパラメータ等の装置状態を評価し、処理結果を予測することができるプロセスの予測方法及び処理装置並びにプロセス予測プログラムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプロセスの予測方法を適用するプラズマ処理装置の一例を示す構成図である。

【図2】洗浄後のプラズマ処理装置に付設された終点検出器によって検出されたプラズマの200～950nmの波長領域にある各成分波長の残差の変化を示すグラフである。

【図3】本発明のプロセスの予測方法に用いるモデルを作成する方法を示す概念図である。

【図4】本発明のプロセスの予測方法を用いて洗浄前後のプラズマ処理装置のプロセスパラメータを予測した場合の予測値と設定値を示すグラフである。

【図5】従来のプロセスの予測方法に用いるモデルを作成する方法を示す概念図である。

【図6】従来のプロセスの予測方法を用いて洗浄前後のプラズマ処理装置のプロセスパラメータを予測した場合の予測値と設定値を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 プラズマ処理装置
- 2 処理室（処理手段）
- 3 下部電極（処理手段）
- 5 上部電極（処理手段）
- 6、7 高周波電源（処理手段）
- 18 終点検出器
- 19 制御装置
- 20 多変量解析手段
- 20A 第1記憶手段

10

20

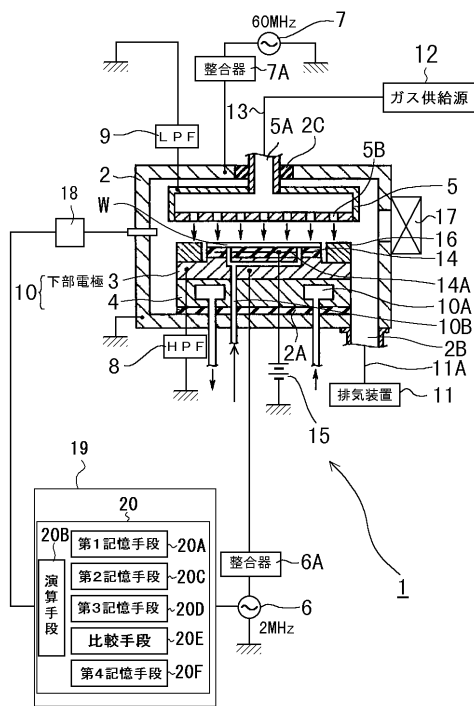
30

40

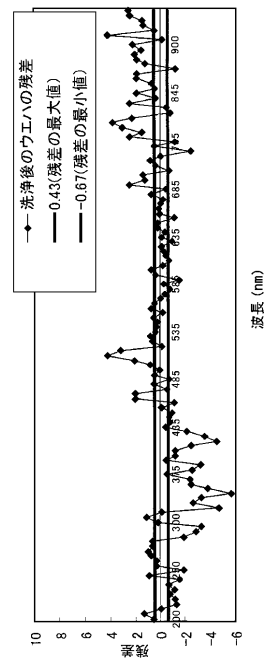
50

- 20B 演算手段
- 20C 第2記憶手段
- 20D 第3記憶手段
- 20E 選択手段
- 20F 第4記憶手段
- W ウエハ(被処理体)

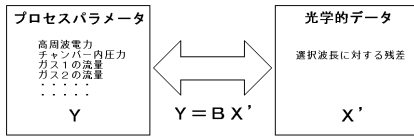
【図1】



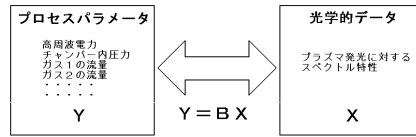
【図2】



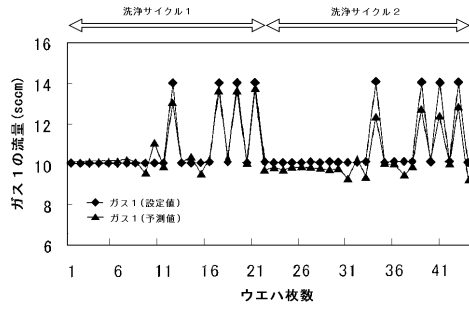
【 図 3 】



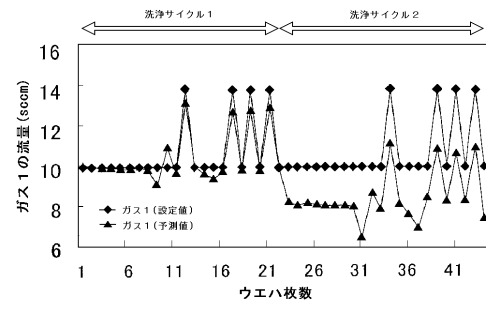
【 図 5 】



【 図 4 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特表平11-510898(JP,A)
特開2001-060585(JP,A)
特開2002-025981(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
G05B 23/02