

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第4995419号  
(P4995419)

(45) 発行日 平成24年8月8日(2012.8.8)

(24) 登録日 平成24年5月18日(2012.5.18)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/205 (2006.01)

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

HO 1 L 21/205

HO 1 L 21/302 I O I G

請求項の数 30 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2004-517576 (P2004-517576)	(73) 特許権者	000219967
(86) (22) 出願日	平成15年6月27日 (2003.6.27)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公表番号	特表2005-531926 (P2005-531926A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公表日	平成17年10月20日 (2005.10.20)	(74) 代理人	100108855
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/016239		弁理士 蔵田 昌俊
(87) 国際公開番号	W02004/003822	(74) 代理人	100091351
(87) 国際公開日	平成16年1月8日 (2004.1.8)		弁理士 河野 哲
審査請求日	平成17年6月10日 (2005.6.10)	(74) 代理人	100088683
審判番号	不服2009-22023 (P2009-22023/J1)		弁理士 中村 誠
審判請求日	平成21年11月11日 (2009.11.11)	(74) 代理人	100109830
(31) 優先権主張番号	60/391,966		弁理士 福原 淑弘
(32) 優先日	平成14年6月28日 (2002.6.28)	(74) 代理人	100075672
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100095441
			弁理士 白根 俊郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 材料プロセスツール及びパフォーマンスデータを用いてプロセスを制御する方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

エッチングプロセスツールと、  
前記エッチングプロセスツールを制御するように構成され、前記エッチングプロセスツールに結合されたエッチングプロセスパフォーマンスコントローラを備えるエッチングプロセスパフォーマンス制御システムとを具備し、  
前記エッチングプロセスパフォーマンスコントローラは、  
前記エッチングプロセスツールと関係する、RFセンサ以外の少なくとも1つのセンサを含む複数の別個のセンサからエッチングツールデータの観測を受取って、前の基板に対するエッチングプロセス動作における前記エッチングツールデータの観測に基づいて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセスパフォーマンスデータを予測するように構成されたエッチングプロセスパフォーマンス予測モデルと、  
前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルから予測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータを受取って、前記予測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータおよび前の基板に対するエッチングプロセス動作を実行するために使用され、補正される必要があるエッチングプロセス方法に基づいて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセス方法補正を決定するように構成されたエッチングプロセス方法補正フィルタと、  
前記エッチングプロセス方法補正を用いて、前記エッチングプロセスツールのためのエッチングプロセス方法を更新するように構成されたエッチングプロセスコントローラとを

10

20

備える、半導体基板にエッチングプロセス動作を実施するエッチングシステム。

【請求項 2】

前記エッチングプロセスパフォーマンスデータは、エッチング深さ、アベレージエッチング深さ、平均エッチング深さ、及びエッチング深さ範囲の少なくとも 1 つを備える請求項 1 に記載のエッチングシステム。

【請求項 3】

前記エッチングツールデータは、キャパシタ位置、フォワード高周波 ( R F ) 電力、反射高周波電力、電圧、電流、位相、インピーダンス、高周波ピークトゥピーク電圧、高周波自己誘導直流バイアス、チャンバ圧力、ガス流量、温度、裏面ガス圧力、裏面ガス流量、静電クランプ電圧、静電クランプ電流、フォーカスリング厚さ、高周波時間、フォーカスリング高周波時間、及び光放射データの少なくとも 1 つを備える請求項 1 に記載のエッチングシステム。

10

【請求項 4】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルは、部分最少二乗解析からの出力を備える請求項 1 に記載のエッチングシステム。

【請求項 5】

前記エッチングプロセス方法補正フィルタは、指数関数的に重み付けされた移動アベレージ ( a v e r a g e ) フィルタを備える請求項 1 に記載のエッチングシステム。

【請求項 6】

前記エッチングプロセス方法補正は、エッチング時間を含む請求項 1 に記載のエッチングシステム。

20

【請求項 7】

前記エッチングプロセスパフォーマンス制御システムは、計測ツールと、エッチングプロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズムとをさらに備える請求項 1 に記載のエッチングシステム。

【請求項 8】

前記計測ツールは、前記エッチングプロセスツールと、前記エッチングプロセスパフォーマンスコントローラとに結合され、エッチングプロセスパフォーマンスデータを計測するように構成されている請求項 7 に記載のエッチングシステム。

【請求項 9】

前記エッチングプロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズムは、前記計測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータ及び対応するエッチングツールデータを用いる部分最少二乗アルゴリズムを備える請求項 8 に記載のエッチングシステム。

30

【請求項 10】

エッチングプロセスツールを制御するエッチングプロセスパフォーマンス制御システムであって、

前記エッチングプロセスツールに結合することができて、前記エッチングプロセスツールと関係する、 R F センサ以外の少なくとも 1 つのセンサを含む複数の別個のセンサからエッチングツールデータの観測を受取って、前の基板に対するエッチングプロセス動作における前記エッチングツールデータの観測に基づいて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセスパフォーマンスデータを予測するように構成されたエッチングプロセスパフォーマンス予測モデルと、

40

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルから予測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータを受取って、前記予測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータおよび前の基板に対するエッチングプロセス動作を実行するために使用され、補正される必要があるエッチングプロセス方法に基づいて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセス方法補正を決定するように構成されたエッチングプロセス方法補正フィルタと、

前記エッチングプロセス方法補正を用いて、前記エッチングプロセスツールのためのエッチングプロセス方法を更新するように構成されたエッチングプロセスコントローラとを

50

備えるエッチングプロセスパフォーマンスコントローラを具備するエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 1】

前記エッチングプロセスパフォーマンスデータは、平均エッチング深さ、及びエッチング深さ範囲の少なくとも 1 つを備える請求項 1 0 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 2】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルは、キャパシタ位置、フォワード高周波電力、反射高周波電力、電圧、電流、位相、インピーダンス、高周波ピークトゥピーク電圧、高周波自己誘導直流バイアス、チャンバ圧力、ガス流量、温度、裏面ガス圧力、裏面ガス流量、静電クランプ電圧、静電クランプ電流、フォーカスリング厚さ、高周波時間、フォーカスリング高周波時間及び光放射データの少なくとも 1 つを備えるエッチングツールデータの観測を受取るように構成されている請求項 1 0 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 3】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルは、部分最少二乗解析からの出力を備える請求項 1 0 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 4】

前記エッチングプロセス方法補正フィルタは、指数関数的に重み付けされた移動アベレージフィルタを備える請求項 1 0 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 5】

前記エッチングプロセス方法補正は、エッチング時間、高周波電力、圧力、流量、濃度及び温度を備える請求項 1 0 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 6】

前記エッチングプロセスパフォーマンス制御システムは、前記エッチングプロセスツールに結合することができ、かつ前記エッチングプロセスパフォーマンスコントローラに結合することができる計測ツールと、エッチングプロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズムとをさらに備える請求項 1 0 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 7】

前記計測ツールは、エッチングプロセスパフォーマンスデータを計測するように構成されている請求項 1 6 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 8】

前記エッチングプロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズムは、前記計測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータ及び対応するエッチングツールデータを用いた部分最少二乗解析を用いる請求項 1 7 に記載のエッチングプロセスパフォーマンス制御システム。

【請求項 1 9】

エッチングプロセスツールと、

前記エッチングプロセスツールを制御する手段とを具備し、

前記制御する手段は、

前記エッチングプロセスツールと関係する、RF センサ以外の少なくとも 1 つのセンサを含む複数の別個のセンサから受取った、前の基板に対するエッチングプロセス動作におけるエッチングツールデータの観測を用いて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセスパフォーマンスデータを予測する手段と、

この予測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータおよび前の基板に対するエッチングプロセス動作を実行するために使用され、補正される必要があるエッチングプロセス方法に基づいて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセス方法補正を決定する手段と、

10

20

30

40

50

前記エッチングプロセス方法補正を用いて、前記エッチングプロセスツールのためのエッチングプロセス方法を更新する手段とを備える、半導体基板にエッチングプロセス動作を実施するエッチングシステム。

【請求項 2 0】

半導体基板にエッチングプロセス動作を実施するエッチングシステムのエッチングプロセスツールを制御する方法であって、

エッチングプロセス方法を用いて、前記エッチングプロセスツールで前の基板に対する第 1 のエッチングプロセスを実行する工程と、

前記第 1 のエッチングプロセスのための、前記エッチングプロセスツールと関係する、RF センサ以外の少なくとも 1 つのセンサを含む複数の別個のセンサから得られた複数のエッチングツールデータパラメータを含むエッチングツールデータを記録する工程と、

エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルを用いて、前記第 1 のエッチングプロセスのための前記ツールデータから、次の基板に対する第 2 のエッチングプロセス動作における 1 つ以上のエッチングプロセスパフォーマンスデータパラメータを含むエッチングプロセスパフォーマンスデータを予測する工程と、

この予測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータおよび前の基板に対するエッチングプロセス動作を実行するために使用され、補正される必要があるエッチングプロセス方法に基づいて、エッチングプロセス方法補正フィルタを用いて、次の基板に対するエッチングプロセス動作のエッチングプロセス方法補正を決定する工程と、

前記エッチングプロセスツールに結合されたエッチングプロセスコントローラを用いて、前記エッチングプロセス方法補正を組み込むことによって前記エッチングプロセス方法を更新する工程と、

前記更新されたエッチングプロセス方法を用いて、前記エッチングプロセスツールで第 2 のエッチングプロセスを実行する工程とを具備する方法。

【請求項 2 1】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルを更新することをさらに備える請求項 2 0 に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項 2 2】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルを更新することは、前記エッチングプロセスツールで前記第 1 のエッチングプロセスのためのエッチングプロセスパフォーマンスデータを計測することと、前記第 1 のエッチングプロセスのための前記計測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータと、前記第 1 のエッチングプロセスのための前記記録されたツールデータと、部分最少二乗解析とを用いて、前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルに対する補正を決定することとを備える請求項 2 1 に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項 2 3】

前記エッチングプロセス方法は、エッチング時間、高周波電力、圧力、流量、濃度及び温度を備える請求項 2 0 に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項 2 4】

前記更新されたエッチングプロセス方法は、更新されたエッチング時間を備える請求項 2 0 に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項 2 5】

前記エッチングプロセスパフォーマンスデータは、平均エッチング深さ、及びエッチング深さ範囲の少なくとも 1 つを含む請求項 2 0 に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項 2 6】

前記ツールデータは、キャパシタ位置、フォワード高周波電力、反射高周波電力、電圧、電流、位相、インピーダンス、高周波ピークトゥピーク電圧、高周波自己誘導直流バイアス、チャンバ圧力、ガス流量、温度、裏面ガス圧力、裏面ガス流量、静電クランプ電圧、静電クランプ電流、フォーカスリング厚さ、高周波時間、フォーカスリング高周波時間

10

20

30

40

50

、及び光放射データの少なくとも1つを備える請求項20に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項27】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルは、部分最少二乗解析からの出力を備える請求項20に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項28】

前記エッチングプロセス方法補正フィルタは、指数関数的に重み付けされた移動平均フィルタを備える請求項20に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項29】

計測ツールを用いて、エッチングプロセスパフォーマンスデータを計測することと、  
前記計測されたエッチングプロセスパフォーマンスデータと前記計測されたツールデータとを用いて、前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルを補正することとをさらに具備する請求項20に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【請求項30】

前記エッチングプロセスパフォーマンス予測モデルを前記補正することは、部分最少二乗解析を備える請求項29に記載のエッチングプロセスツールを制御する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本出願は、2002年6月28日にすでに出願されている米国特許出願第60/391,966号に対して優先権を主張する。この出願は、2002年6月28日に米国特許出願第60/391,965号に関連している。これらの出願の内容全体は参照してここに組み込まれる。

【0002】

本発明は、材料処理に関し、より具体的には、材料処理システムにおけるプロセスを制御するプロセスパフォーマンス制御システム及びその方法に関する。

【背景技術】

【0003】

やりがいのある挑戦となる半導体産業における材料処理の1つの分野は、例えば、集積回路(IC)の製造である。一般にICの速度の増加、および、特にメモリデバイスに対する要求は、半導体製造者に、デバイスを基板表面にどんどん小さく形成することを強いる。また、製造コストを低減するため、IC構造を形成するのに必要な工程(すなわち、エッチング工程、蒸着工程等)の数を減らして、該IC構造及びその製造方法の全体的な複雑さを低減することが必要である。これらの要求は、特徴寸法の低減及び基板サイズの増加(例えば、200mmから300mm以上への)の両方によってさらに激化し、良好なデバイスの歩留りを最大化するために、微少寸法(critical dimensions; CD)、プロセス速度及びプロセス均一性に重きがおかれている。一般に、エッチストップ層は、オーバエッチング時に、下の層(デバイス)が損傷するのを保護するために、絶縁層の下に設けられる。エッチストップ層は、一般に、絶縁層をエッチングするのに使用される化学物質にさらされた場合に、絶縁層のエッチング速度よりも遅いエッチング速度を有する材料を含む(すなわち、エッチング化学物質は、エッチストップ層に対して、絶縁層に対する高エッチング選択性を有する)。さらに、該エッチストップ層は、オーバエッチング工程が、基板上の全ての形状構成が同じ深さまでエッチングされることを保障できるようにするバリアを形成する。

【0004】

しかし、該エッチストップ層は、プロセスインテグレーションを複雑にし、製造コストを増加させ、かつデバイス性能を低下させる。エッチストップ層がない場合、エッチング深さは、一定時間の方法が用いられるため、エッチング速度(etch rate; ER)により変化させることができる。例えば、エッチングツールは、装置の障害を受けやす

10

20

30

40

50

いため、エッチング速度は、メンテナンス周期を越えてかなり変化する可能性がある。一定のエッチング速度を維持するため、頻繁なツール制限及びメンテナンス処置が必要である。そのため、エッチング速度のその場での評価は、プロセスチャンバが通常状態にあるか否かを判断することができ、また、エッチング深さが適切となるようにエッチング時間を制御するための情報を与えることができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

本発明は、プロセスツールとプロセスパフォーマンス制御システムとを備える材料処理システムを提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【０００６】

該プロセスパフォーマンス制御システムは、該プロセスツールに結合されたプロセスパフォーマンスコントローラを備え、該プロセスパフォーマンスコントローラは、複数のセンサからツールデータを受取るように構成され、かつプロセスパフォーマンスデータを予測するように構成されたプロセスパフォーマンス予測モデルを備える。該プロセスパフォーマンス制御システムは、該プロセスパフォーマンス予測モデルに結合され、予測したプロセスパフォーマンスデータを受取るように構成され、かつプロセス方法補正を生成するように構成されたプロセス方法補正フィルタと、該プロセス方法補正フィルタに結合され、該プロセス方法補正を受取り、該プロセス方法補正を用いて該プロセス方法を更新するように構成されたプロセスコントローラとをさらに備える。

20

【０００７】

本発明は、有利には、上記プロセスツール及びプロセスパフォーマンスコントローラに結合され、該プロセスツール内で処理された基板を受取るように構成され、かつプロセスパフォーマンスデータを計測するように構成された計測ツールをさらに備える、プロセスパフォーマンス制御システムを提供する。該プロセスパフォーマンスコントローラは、計測されたプロセスパフォーマンスデータを受取るように構成され、かつ上記プロセスパフォーマンス予測モデルの調整を実行するために該プロセスパフォーマンス予測モデルに結合された、プロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズムをさらに備える。

【０００８】

30

本発明は、有利には、材料処理システムのプロセスツールを制御する方法を提供する。該方法は、上記プロセスツール内で第１のプロセスを実行する工程と、該第１のプロセスのためのツールデータを記録する工程であって、該ツールデータが複数のツールデータパラメータを備える工程と、プロセスパフォーマンス予測モデルを用いて、該第１のプロセスのためのツールデータからプロセスパフォーマンスデータを予測する工程であって、該プロセスパフォーマンスデータが、１つ以上のプロセスパフォーマンスデータパラメータを含む工程とを備える。該方法は、プロセス方法補正フィルタを用いて、該予測されたプロセスパフォーマンスデータからプロセス方法補正を決定する工程と、上記プロセスツールに結合されたプロセスコントローラを用いて、該プロセス方法補正を組み込むことによってプロセス方法を更新する工程と、該更新されたプロセス方法を用いて、上記プロセスツール内で第２のプロセスを実行する工程とをさらに含む。

40

【０００９】

本発明のこれら及び他の利点は、添付図面と共に解釈すれば、本発明の例示的な実施形態の以下の詳細な説明からより明白になり、かつより容易に認識されよう。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１０】

本発明の一実施形態によれば、プロセスツール１０とプロセスパフォーマンス制御システム１００とを含む材料処理システム１が図１に示されている。プロセスパフォーマンス制御システム１００は、プロセスツール１０に結合されたプロセスパフォーマンスコントローラ５５を含み、該プロセスパフォーマンスコントローラ５５は、プロセスパフォーマ

50

ンス予測モデル 110 と、プロセス方法補正フィルタ 120 と、プロセスコントローラ 130 と、プロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズム 150 とを含む。プロセスパフォーマンス予測モデル 110 は、プロセスツール 10 に結合された複数のセンサからツールデータを受取るように、かつプロセスパフォーマンスデータを予測するように構成されている。プロセス方法補正フィルタ 120 は、プロセスパフォーマンス予測モデル 110 に結合され、かつ予測されたプロセスパフォーマンスデータを受取って、run-to-runのプロセス制御のためのプロセス方法補正を生成するように構成されている。プロセスコントローラ 130 は、プロセス方法補正フィルタ 120 に結合されており、該プロセス方法補正に従ってプロセス方法を更新するように構成されている。

【0011】

また、プロセスパフォーマンス制御システム 100 は、計測ツール 140 をさらに含むことが可能であり、またプロセスパフォーマンスコントローラ 55 は、プロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズム 150 をさらに含むことが可能である。計測ツール 140 は、プロセスツール 10 及びプロセスパフォーマンスコントローラ 55 に結合することができ、また計測ツール 140 は、プロセスツール 10 内で処理された基板を受取り、かつプロセスパフォーマンスデータを計測するように構成することができる。プロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズム 150 は、計測ツール 140 からの計測されたプロセスパフォーマンスデータを受取るように構成することができ、またプロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズム 150 は、プロセスパフォーマンス予測モデル 110 の調整を実行するために、プロセスパフォーマンス予測モデル 110 に結合することができる。

【0012】

図 2 に示す実施形態において、材料処理システム 1 は、材料処理のためにプラズマを用いることができる。例えば、材料処理システム 1 は、プロセスツール 10 a として機能するエッチングチャンバを含む。別法として、材料処理システム 1 は、フォトレジストスピニングコーティングシステム等のフォトレジストコーティングチャンバのような他のプロセスツール 10 と、紫外線 (UV) リソグラフィシステム等のフォトレジストパターニングチャンバと、SOG (spin-on-glass) または SOD (spin-on-dielectric) システム等の誘電体コーティングチャンバと、化学気相成長 (CVD) システムまたは物理気相成長 (PVD) システム等の成膜チャンバと、熱アニールのための RTP システム等の瞬時熱プロセス (RTP) チャンバと、またはバッチ拡散炉を含むことが可能である。

【0013】

図 2 に示すように、材料処理システム 1 が、プロセスツール 10 としてエッチングまたは成膜チャンバを含む場合、該システムは、さらに、処理すべき基板 25 がその上に付着される基板ホルダ 20 と、ガス注入システム 40 と、真空ポンプシステム 58 とを含む場合がある。基板 25 は、例えば、半導体基板、ウェハ、あるいは液晶ディスプレイ (LCD) とすることができる。プロセスツール 10 は、例えば、基板 25 の表面近傍の処理領域 45 において、プラズマの生成を容易にするように構成することができ、プラズマは、加熱された電子とイオン化できるガスとの衝突を介して形成される。例えば、イオン化できるガスまたはガスの混合物は、ガス注入システム 40 を介して導入することができ、プロセス圧力は、真空ポンプシステム 58 を使用して調節することができる。好ましくは、プラズマは、所定の材料処理に特有の材料を生成するために、および材料の基板 25 への付着または基板 25 の露出面からの材料の除去のいずれかを促進するために用いられる。

【0014】

例えば、基板 25 は、静電クランプシステム 28 を介して基板ホルダ 20 に付着させることができる。さらに、基板ホルダ 20 は、さらに、基板ホルダ 20 から熱を受取って、熱を熱交換システム (図示せず) に伝達する、あるいは、加熱時に、該熱交換システムからの熱を伝達する再循環冷却剤の流れを含む冷却システムを含むことができる。また、ガスは、基板 25 と基板ホルダ 20 の間のガスギャップ熱伝導性を改善するために、裏面ガスシステム 26 を介して該基板の裏面に供給することができる。このようなシステムは、

10

20

30

40

50

該基板の温度制御が、高められた温度または低下した温度で必要な場合に用いることができる。例えば、該基板の温度制御は、プラズマから基板 25 に与えられた熱フラックスと、基板ホルダ 20 への伝達により基板 25 から除去された熱フラックスとのバランスによって実現する、定常状態を越える温度において有用になる。他の実施形態においては、抵抗性加熱要素等の加熱要素、または熱電ヒータ/クーラーを含むことができる。

#### 【0015】

図 2 に示す例示的な実施形態においては、基板ホルダ 20 は、さらに、それを介して高周波 (RF) 電力が、処理領域 45 内でプラズマに結合される電極として機能することができる。例えば、基板ホルダ 20 は、高周波電源 30 からインピーダンス整合ネットワーク 32 を介した基板ホルダ 20 への高周波電力の伝送を介して、高周波電圧で電気的バイアスをかけることができる。該高周波バイアスは、電子を加熱して、プラズマを形成して維持するように作用することができる。この構成において、上記システムは、反応性イオンエッチング (reactive ion etch; RIE) リアクタとして動作することができ、チャンバ及び上方のガス注入電極は、接地面として作用する。高周波バイアスのための典型的な周波数は、1 MHz から 100 MHz の範囲とすることができ、好ましくは、13.56 MHz である。

#### 【0016】

別法として、高周波電力は、多数の周波数で上記基板ホルダ電極に印加することができる。さらに、インピーダンス整合ネットワーク 32 は、反射電力を最少化することにより、処理チャンバ 10 内での高周波電力のプラズマへの伝達を最大化するように機能することができる。様々な整合ネットワーク形態 (例えば、L 型、型、T 型等) 及び自動制御法を用いることができる。

#### 【0017】

図 2 に対する説明を続けると、プロセスガスは、ガス注入システム 40 を介して処理領域 45 に導入することができる。プロセスガスは、例えば、酸化エッチング用途の場合、アルゴン、 $CF_4$  及び  $O_2$ 、または、アルゴン、 $C_4F_8$  及び  $O_2$  等のガスの混合物、あるいは、 $O_2/CO/Ar/C_4F_8$ 、 $O_2/CO/Ar/C_5F_8$ 、 $O_2/CO/Ar/C_4F_6$ 、 $O_2/Ar/C_4F_6$ 、 $N_2/H_2$  等の他の化学物質を含むことができる。ガス注入システム 40 は、シャワーヘッドを含むことができ、この場合、プロセスガスは、ガス供給システム (図示せず) から、ガス注入プレナム (図示せず)、一連のバッフルプレート (図示せず) 及びマルチオリフィスシャワーヘッドガス注入プレート (図示せず) を介して処理領域 45 に供給される。

#### 【0018】

真空ポンプシステム 58 は、例えば、毎秒 5000 リットル (以上) の供給速度が可能なターボ分子真空ポンプ (turbo-molecular vacuum pump; TMP) と、チャンバ圧力を変化させるゲートバルブとを含むことができる。ドライプラズマエッチングに用いられる関連するプラズマ処理装置においては、毎秒 1000 から 3000 リットルの TMP が一般に使用される。TMP は、一般的には、50 mTorr 以下の低圧処理に有用である。高圧においては、TMP の供給速度は、劇的に低下する。高圧処理 (すなわち、100 mTorr 以上) の場合、メカニカルブースターポンプ及びドライ粗引きポンプを使用することができる。さらに、チャンバ圧力を監視する装置 (図示せず) が、プロセスチャンバ 16 に結合される。圧力計測装置は、例えば、マサチューセッツ州アンドーバー (Andover, MA) の MKS 株式会社 (MKS Instruments, Inc.) から市販されている Type 628B Baratron 絶対容量マノメータとすることが可能である。

#### 【0019】

図 1 に示すように、プロセスパフォーマンス制御システム 100 は、プロセスツール 10 に結合され、複数のセンサからツールデータを受取るように構成されたプロセスパフォーマンスコントローラ 55 を含む。該複数のセンサは、プロセスツール 10 に固有のセンサと、プロセスツール 10 に対して付加的なセンサの両方を含むことができる。プロセス



ツール１０に固有のセンサは、ヘリウム裏面ガス圧力、ヘリウム裏面フロー、静電クランプ (electrostatic clamping; ESC) 電圧、ESC 電流、基板ホルダ２０の温度（または下方電極 (lower electrode; LEL) 温度）、冷却剤温度、上方電極 (upper electrode; UEL) 温度、フォワード高周波電力、反射高周波電力、高周波自己誘導 DC バイアス、高周波ピークトゥピーク電圧、チャンバ壁温度、プロセスガス流量、プロセスガス部分圧力、チャンバ圧力、容量設定（すなわち、 $C_1$  及び  $C_2$  の位置）、フォーカスリング厚さ、高周波時間、フォーカスリング高周波時間及びそれらの統計量の計測等のプロセスツール１０の機能性に関するセンサを含むことができる。別法として、プロセスツール１０に固有のセンサは、例えば、図２に示すような処理領域４５内のプラズマから射出される光を監視する光検知装置３４、または図２に示すようなプロセスツール１０の電子装置を監視する電気計測装置３６等の、プロセスツール１０の機能性に直接関連しないセンサを含むことができる。

10

#### 【００２０】

例えば、光検知装置３４は、（シリコン）フォトダイオード、あるいは、プラズマから射出される総光密度を計測する光電子増倍管 (photomultiplier tube; PMT) 等の検出器を含むことができる。該装置は、さらに、狭帯域干渉フィルタ等の光フィルタを含むことができる。代替の実施形態においては、光検知装置３４は、ライン CCD（電荷結合デバイス）または CID（電荷注入素子）アレイ、および格子及びブリズム等の光分散デバイスを含むことができる。また、光検知装置３４は、所定の波長で光を計測するモノクロメータ（例えば、格子／検出器装置）、または、例えば、米国特許第 5,888,337 号明細書に記載されている装置のような、光スペクトルを計測する（例えば、回転格子を有する）スペクトロメータを含むことができる。

20

#### 【００２１】

例えば、光検知装置３４は、ピークセンサシステム (Peak Sensor Systems) の高分解能 OES センサを含むことができる。このような OES センサは、紫外線 (ultraviolet; UV)、可視 (visible; VIS) 及び近赤外線 (near infrared; NIR) 光スペクトルに及ぶ広範囲のスペクトルを有する。分解能は、約 1.4 オングストロームであり、すなわち、該センサは、240 から 1000 nm の 5550 波長を集めることが可能である。該センサは、2048 画素のリニア CCD アレイと一体化されている、高感度小型光ファイバ UV - VIS - NIR スペクトロメータを備えている。

30

#### 【００２２】

該スペクトロメータは、単一の及び束ねられた光ファイバを介して伝送された光を受け、該光ファイバから出力された光は、一定の格子を用いて、上記ライン CCD アレイの全域に分散される。上述した構成と同様に、光真空ウィンドウを介して放射される光は、凸状球面レンズを介して光ファイバの入力端部に収束される。各々が、所定のスペクトル範囲 (UV、VIS 及び NIR) に対して特に調節されている 3 つのスペクトロメータは、プロセスチャンバのためのセンサを構成する。各スペクトロメータは、独立した A/D 変換器を含む。そして、該センサの利用により、全放射スペクトルを、0.1 から 1.0 秒毎に記録することができる。

40

#### 【００２３】

電気計測装置３６は、例えば、処理領域４５、電力計またはスペクトルアナライザを含む電気システムの電圧、電流、インピーダンス及び位相等の電気的特性をモニタリングする、電流および／または電圧プローブを含むことができる。例えば、プラズマ処理システムは、しばしば高周波電力を用いてプラズマを生成するが、この場合、例えば、同軸ケーブルまたは構造等の高周波伝送ラインは、高周波エネルギーを電気結合素子（例えば、誘導コイル、電極等）を介してプラズマに結合するのに用いられる。例えば、電流電圧プローブを用いた電氣的計測は、高周波伝送ライン内等の電気 (RF) 回路内のどこでも行うことができる。さらに、電圧または電流のタイムトレース等の電気信号の計測は、（周期的信号と仮定して）個別のフーリエ級数表示を用いた該信号の周波数空間への変換を可能に

50

する。そして、フーリエスペクトル（または、時間変化信号の場合、周波数スペクトル）は、材料処理システム 1 の状態を特徴付けるために、監視して分析することができる。電圧電流プローブは、例えば、2001 年 1 月 8 日に出願された係属中の米国特許出願第 60 / 259, 862 号、および米国特許第 5, 467, 013 号明細書に詳細に記載されているような装置とすることができ、これらは全体として参照してここに組み込まれる。

#### 【0024】

代替の実施形態においては、電気計測装置 36 は、材料処理システム 1 に対して外部に放射された高周波場を計測するのに有用な広帯域高周波アンテナを備えることができる。一般入手可能な広帯域高周波アンテナは、Antenna Research Model RAM - 220 (0.1 MHz から 300 MHz) 等の広帯域アンテナである。

10

#### 【0025】

一般に、複数のセンサは、どのような数のセンサも固有かつ付加的に含むことができ、またプロセスパフォーマンス制御システム 100 のプロセスパフォーマンスコントローラ 55 にツールデータを与えるために、プロセスツール 10 に結合することができる。

#### 【0026】

上述したように、プロセスパフォーマンス制御システム 100 は、プロセスパフォーマンスコントローラ 55 を含む。プロセスパフォーマンスコントローラ 55 は、マイクロプロセッサ、メモリ、および材料処理システム 1 への入力や材料処理システム 1 からのモニタ出力を伝送しかつ動作させるのに十分な制御電圧を生成することができる (D/A および/または A/D 変換器を含んでもよい) デジタル I/O ポートを含むことができる。また、プロセスパフォーマンスコントローラ 55 は、高周波電源 30、インピーダンス整合ネットワーク 32、ガス注入システム 40、真空ポンプ装置 58、裏面ガス供給システム 26、静電クランプシステム 28、光検知装置 34 及び電気計測装置 36 に結合され、かつそれらと情報を交換する。上記メモリに格納されたプログラムは、格納されたプロセス方法に従って、材料処理システム 1 の上述した構成要素に対する入力を活動化するのに用いられる。プロセスパフォーマンスコントローラ 55 の一例は、テキサス州オースチン (Austin, Texas) のデルコーポレーション (Dell Corporation) から入手可能な、DELL PRECISION WORKSTATION 530 (商標) である。別法として、プロセスパフォーマンスコントローラ 55 は、デジタル信号プロセッサ (DSP) を備えることが可能である。

20

30

#### 【0027】

図 3 に示すように、材料処理システム 1 は、磁界装置 60 を含むことができる。例えば、磁界システム 60 は、プラズマ密度を増加させるためおよび/または材料処理均一性を改善するために、静止、あるいは機械的または電氣的回転 DC 磁界を含むことができる。また、プロセスパフォーマンスコントローラ 55 は、磁場強度または回転速度を調整するために、磁界システム 60 に結合することができる。

#### 【0028】

図 4 に示すように、図 1 の材料処理システムは、上方電極 70 を含むことができる。例えば、高周波電力は、高周波電源 72 からインピーダンス整合ネットワーク 74 を介して上方電極 70 に結合することができる。高周波電力の該上方電極への印加のための周波数は、好ましくは 10 MHz から 200 MHz であり、好ましくは 60 MHz である。また、上記下方電極への高周波電力の印加のための周波数は、好ましくは 0.1 MHz から 30 MHz であり、好ましくは 2 MHz である。また、プロセスパフォーマンスコントローラ 55 は、上方電極 70 への高周波電力の印加を制御するために、高周波電源 72 及びインピーダンス整合ネットワーク 74 に結合することができる。上方電極のデザイン及び実装は、当業者には公知である。

40

#### 【0029】

図 5 に示すように、図 1 の材料処理システムは、誘導コイル 80 を含むことができる。例えば、高周波電力は、高周波電源 82 からインピーダンス整合ネットワーク 84 を介して誘導コイル 80 に結合することができ、高周波電力は、誘導コイル 80 から絶縁ウィン

50

ドウ（図示せず）を介してプラズマ処理領域４５に誘導結合することができる。高周波電力の誘導コイル８０への印加のための周波数は、好ましくは１０ＭＨｚから１００ＭＨｚであり、好ましくは１３．５６ＭＨｚである。同様に、高周波電力のチャック電極への印加のための周波数は、好ましくは０．１ＭＨｚから３０ＭＨｚであり、好ましくは１３．５６ＭＨｚである。また、誘導コイル８０とプラズマとの間の容量性結合を低減するために、溝穴のあいたファラデーシールド（図示せず）を用いることができる。また、プロセスパフォーマンスコントローラ５５は、誘導コイル８０への高周波電力の印加を制御するために、高周波電源８２及びインピーダンス整合ネットワーク８４に結合することができる。代替の実施形態においては、誘導コイル８０は、変圧器結合プラズマ（*transformer coupled plasma*；TCP）リアクタのように、上方からプラズマ処理領域４５と連通する「うず巻き（*spiral*）」コイルまたは「平形コイル（*pancake*）」コイルとすることができる。

10

**【００３０】**

別法として、プラズマは、電子サイクロトロン共鳴（*electron cyclotron resonance*；ECR）を用いて生成することができる。また別の実施形態においては、プラズマは、ヘリコン波の発射によって生成される。さらに別の実施形態においては、プラズマは、伝播表面波によって形成される。

**【００３１】**

上述したように、プロセスパフォーマンス予測モデル１００は、ツールデータとプロセスパフォーマンスデータとの関係を設定し、そのため、該モデルは、ツールデータの所定の観測に対するプロセスパフォーマンスデータの予測を可能にする。以下は、プロセスパフォーマンス予測モデル１１０を構成する方法についての説明である。

20

**【００３２】**

表１は、６１のツールデータパラメータを含む、プロセスパフォーマンスデータと関連付けられるツールデータの例示的なセットを示す。

【表 1】

PARAMETER	DESCRIPTION	PARAMETER	DESCRIPTION
APC	Adaptive pressure control valve setting	RF FORWARD-S	Forward RF power, Standard deviation
HE C PRESS	Helium backside pressure (center), Average	C2 POSITION	Capacitor no. 2 position, Average
AR FLOW	Argon gas flow rate, Average	ESC CURRENT	Electrostatic clamp current, Average
PRESSURE	Chamber pressure, Average	LOWER TEMP	LEL temperature, Average
UPPER TEMP	UEL temperature, Average	RF REFLECT	Reflected RF power, Average
VIP Z	Current-voltage probe impedance, Average	VIP PHASE	Current-voltage probe phase, Average
HE C FLOW-S	Helium backside flow (center), Standard deviation	APC-S	Adaptive pressure control valve setting, Standard deviation
ESC VOLTAGE-S	Electrostatic clamp voltage, Standard deviation	HE C PRES-S	Helium backside pressure (center), Standard deviation
MAGNITUDE-S	Match network control signal, magnitude, Standard deviation	AR FLOW-S	Argon gas flow rate, Standard deviation
RF VDC-S	DC voltage, RF system, Standard deviation	PRESSURE-S	Chamber pressure, Standard deviation
VIP RF ON-S	Current voltage probe on/off status, Standard deviation	UPPER TEMP-S	UEL temperature, Standard deviation
C1 POSITION	Capacitor no. 1 position, Average	VIP Z-S	Current-voltage probe impedance, Standard deviation
HE E PRES	Helium backside pressure (edge), Average	HE C FLOW	Helium backside flow (center), Average
CSF8 FLOW	CSF8 gas flow rate, Average	ESC VOLTAGE	Electrostatic clamp voltage, Average
RF FORWARD	Forward RF power, Average	MAGNITUDE	Match network control signal, magnitude, Average
VIP I	Current-voltage probe current, Average	RF VDC	DC voltage, RF system, Average
WALL TEMP	Chamber wall temperature, Average	VIP RF ON	Current voltage probe on/off status, Average
HE E FLOW-S	Helium backside flow (edge), Standard deviation	C1 POSITION-S	Capacitor no. 1 position, Standard deviation
O2 FLOW-S	Oxygen gas flow rate, Standard deviation	HE E PRES-S	Helium backside pressure (edge), Standard deviation
PHASE-S	Match network control signal, phase, Standard deviation	CSF8 FLOW-S	CSF8 gas flow rate, Standard deviation
RF VPP-S	RF voltage peak-to-peak, Standard deviation	VIP I-S	Current-voltage probe current, Standard deviation
VIP V-S	Current-voltage probe voltage, Standard deviation	WALL TEMP-S	Chamber wall temperature, Standard deviation
HE E FLOW	Helium backside flow (edge), Average	VIP PHASE-S	Current-voltage probe phase, Standard deviation
O2 FLOW	Oxygen gas flow rate, Average	RF HR	RF hours
PHASE	Match network control signal, phase, Average	SLOT ID	Wafer slot index
RF VPP	RF voltage peak-to-peak, Average	RF HRxRF THK	RF hours (X) Focus ring thickness
VIP V	Current-voltage probe voltage, Average	RF HRxRF RFHR	RF hours (X) Focus ring RF hours
C2 POSITION-S	Capacitor no. 2 position, Standard deviation	FR THK	Focus ring thickness
ESC CURRENT-S	Electrostatic clamp current, Standard deviation	FR RFHR	Focus ring RF hours
LOWER TEMP-S	LEL temperature, Standard deviation	FR THKxRF RFHR	Focus ring thickness (X) Focus ring RF hours
RF REFLECT-S	Reflected RF power, Standard deviation		

【 0 0 3 3 】

表 1 : 例示的なツールデータ

10

20

30

40

50

また、ダマシンプロセスの一部としてのトレンチエッチングに属するプロセスパフォーマンスデータの例示的なセットは、平均 (mean) トレンチエッチング深さ及びトレンチエッチング深さ範囲を含むことができる。平均 (mean) トレンチエッチング深さは、例えば、基板上の複数の位置におけるトレンチエッチング深さの空間的なアベレージ (average) を含むことができる。トレンチエッチング深さ範囲は、例えば、最少最大範囲、平方偏差、標準偏差、または該エッチング深さの平均 (mean) 値に関するデータ分散の二乗平均平方根 (rms) を含むことができる。

#### 【0034】

トレンチエッチング深さ及びトレンチエッチング深さ範囲の計測は、割れ目が形成された基板からのSEM (scanning electron microscope) 顕微鏡写真を見るための走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて直接に、あるいは、例えば、DUV分光偏光解析法 (例えば、「鏡面スペクトルスキヤタロメトリ (Specular spectroscopic scatterometry)」, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 14, No. 2, 2001年5月、その全体が参照してここに組み込まれる) のような、高等なその場での技術を用いて間接的に実行することができる。オプティカルディジタルプロフィロメトリ (optical digital profilometry; ODP) を備える一般入手可能な製品は、Timbre Technologies, Inc., Therma-Wave, Inc. (1250 Reliance Way, Fremont, CA 94539) のハードウェアと結合されたATEL Company (5341 Randall Place, Fremont, CA 94538) によって販売され、配布されている。

#### 【0035】

ツールデータ及び対応するプロセスパフォーマンスデータの両方を含むデータの各セットは、観測セットを含み、単一の観測は、基板毎に行うことができるか、あるいは、複数の観測は、基板毎に実行することができる。ツールデータ及びプロセスパフォーマンスデータを含む観測セットにおける各観測は、 $n$  次数統計 (すなわち、時間アベレージ (average)、タイムトレースのrms、タイムトレースのひずみ度等) を含むことができる。例えば、各観測セットは、処理された基板に対応させることができ、各ツールデータパラメータは、プロセスの期間中にサンプリングされ、調整され (例えば、サンプリングされたデータの始まりと終わりのデータは、始点/終点過渡を移動させるように調整される)、アベレージ化 (averaged) される。

#### 【0036】

複数の観測セットを仮定すれば、該複数の観測セットにおけるツールデータと、該複数の観測セットにおけるプロセスパフォーマンスデータとの関係は、多変量解析 (multivariate analysis; MVA) を用いて判断することができる。このような関係を判断するための1つの例示的なMVA法は、部分最少二乗 (partial least squares; PLS) モデリングである。

#### 【0037】

PLSを用いて、ツールデータの観測セットは、複数のセンサから受取られる。各観測セットに対して、ツールデータは、行列 $X$ の行として格納することができ、プロセスパフォーマンスデータは、行列 $Y$ の行として格納することができる。すなわち、行列 $X$ が一旦組立てられると、各行は異なる観測を表わし、各列は、(表1からの) 異なるツールデータパラメータを表わし、また、行列 $Y$ が一旦組立てられると、各行は異なる観測を表わし、かつ各列は、異なるプロセスパフォーマンスパラメータを表わす。すなわち、表1のパラメータのセットを用いて、行列 $X$ は、大きさが $M \times 61$ の直交行列となり、 $M$ は観測セットの数である。同様に、行列 $Y$ は、大きさが $M \times 2$ の直交行列である。より一般的には、行列 $X$ は、 $m \times n$  行列とすることができ、行列 $Y$ は、 $m \times p$  行列とすることができ、全てのデータが一旦行列に格納されると、データは、必要に応じて平均センタリングし (mean-centered)、および/または正規化することができる。行列に格納さ

れたデータを平均センタリング (mean - centered) するプロセスは、列要素の平均 (mean) 値の計算と、各要素からの平均 (mean) 値の減算を伴う。また、行列の列に属するデータは、列内のデータの標準偏差によって正規化することができる。

【 0 0 3 8 】

以下の説明において、ツールデータ及びプロセスパフォーマンスデータのセットは、それによってツールデータが最適化され、かつツールデータとプロセスパフォーマンスデータを関連付けるモデルが設定される方法を示すために、45の基板によって用いられる (すなわち、上記の説明においては、 $M = 45$ )。45のプロセス動作 (run) (基板) は、エッチングチャンバ内で処理される3組の基板セットを含み、各基板セットは、チャンバウェットクリーンに先行する。PLS解析モデルに含まれるツールデータは表1に示されており、プロセスパフォーマンスデータは、平均 (mean) トレンチエッチング深さ及びトレンチエッチング深さ範囲を含む。

10

【 0 0 3 9 】

PLS解析においては、ツールデータ (X) をプロセスパフォーマンスデータ (Y) に関連付けるローディング (または相関) 係数を定義することができる。ここで、X、Y、T、P、U、C、W、E、F、H等は行列を表すように表記の上にバーが付いたものであるが (数式参照)、文中では省略する。一般に、多変量解析の場合、ツールデータとプロセスパフォーマンスデータの関係は、次のように表わすことができる。

【 数 1 】

20

$$\overline{XB} = \overline{Y}, \quad (1)$$

【 0 0 4 0 】

ただし、Xは、上述した $m \times n$ 行列を表わし、Bは、 $n \times p$  ( $p < n$ ) ローディング (または相関) 行列を表わし、Yは、上述した $m \times p$ 行列を表わす。

【 0 0 4 1 】

データ行列X及びYが一旦組立てられると、X及びY空間に最大限近づけるように、かつXとYの相関関係を最大化するように意図された関係が、PLS解析を用いて設定される。

30

【 0 0 4 2 】

PLS解析モデルにおいて、行列X及びYは、次のように分解される。

【 数 2 】

$$\overline{X} = \overline{TP}^T + \overline{E}; \quad (2a)$$

【 数 3 】

40

$$\overline{Y} = \overline{UC}^T + \overline{F}; \quad (2b)$$

【 数 4 】

$$\overline{U} = \overline{T} + \overline{H}; \quad (2c)$$

【 0 0 4 3 】

ただし、Tは、X変数を要約するスコアの行列であり、Pは、行列Xのためのローディ

50

ングの行列であり、Uは、Y変数を要約するスコアの行列であり、Cは、YとT(X)の相関関係を表す重みの行列であり、E、F及びHは、残りの行列である。さらに、PLS解析モデルにおいては、UとXを関連付け、Tを計算するのに用いられる重みと呼ばれる追加的なローディングWがある。要約すると、PLS解析は、元のデータテーブルX及びYに良好に近づけ、かつハイパー平面上の観測位置の間の共分散を最大化するという目的によって、線、平面またはハイパー平面を、多次元空間におけるポイントとして表わされるX及びYのデータに適合させることに幾何学的に対応する。

#### 【0044】

図6は、PLS解析に対するデータ入力、X及びY、及び対応する出力T、P、U、C、W、E、F、H及び射影における可変重み(variable importance in the projection; VIP)の概略説明を示す。PLS解析モデリングをサポートする一般に入手可能なソフトウェアの実例は、SIMCA-P8.0である。このソフトウェアの詳細は、ユーザマニュアルを参照されたい(SIMCA-P8.0のユーザガイド：多変量データ解析の新基準(A new standard in multivariate data analysis), Umetrics AB, Version 8.0, 1999年9月)。

10

#### 【0045】

一般に、SIMCA-Pは、モデルの設定電力に関する他の重要な情報(すなわち、XとYの間で得られる相関の品質)と、該モデルの予測電力を出力する。例えば、SIMCA-Pは、一度に1つのPLS要素を繰り返し計算し、それはXスコアT、YスコアU、重みW及びC、ローディングPの各々の1つのベクトルである。PLS要素は、重みの降順に計算される。各PLS要素の後、SIMCA-Pは、次のこと、すなわち、電流要素( $R^2 X$ 、 $R^2 Y$ )で説明される全てのY及びXの二乗の和(the sum of squares; SS)の分数、電流要素( $R^2 X_{adj}$ 、 $R^2 Y_{adj}$ )で説明される全てのY及びXの平方偏差の分数、全ての導出された要素( $R^2 X(cum)$ 、 $R^2 Y(cum)$ )で説明される全てのY及びXの累積SSと、全ての導出された要素( $R^2 X_{adj}(cum)$ 、 $R^2 Y_{adj}(cum)$ )で説明される全てのY及びXの累積平方偏差を表示することができる。

20

#### 【0046】

さらに、各有効変数に対して、SSの一部( $R^2 V$ )または説明した平方偏差( $R^2 V_{adj}$ )を表示することができる。この値は、電流成分のために、および、全てのPLS成分のために漸増的に計算される。応答変数Yの場合、この値は、 $R^2$ (多重相関係数)、すなわち適合の「良好性」に相当する。例えば、上記のデータを用いると、図7は、各プロセスパフォーマンスパラメータ、すなわち、平均(mean)エッチング深さ及びエッチング深さ範囲に対するY( $R^2 V Y(cum)$ )のこの値を示す。図7を見ると、各適合の「良好性」は、最初の4つのPLS成分を用いた場合、97%を超えている。

30

#### 【0047】

一般に、モデル次元(重要なPLS成分の数)を決めるのに用いる追加的な判定基準は、クロスバリデーションである。クロスバリデーションの場合、観測は、モデル展開から避けられており、該避けられた観測に対する応答値(Y)は、該モデルによって予測され、実際の値と比較される。この手順は、各観測が一旦、および一度だけ避けられるまで、数回繰り返される。平方の予測誤差合計(the prediction error sum of squares; PRESS)は、観測されたYと観測が避けられた場合の予測値との平方差である。各次元に対して、全体のPRESS/SSが計算され、SSは、直前の次元の平方の残余合計であり、また各Y変数(m)に対する(PRESS/SS)<sub>m</sub>である。これらの値は、上記モデルの予測電力の良好な計測値である。例えば、SIMCA-Pは、この情報を次のように、すなわち、成分( $Q^2 = (1.0 - PRESS/SS)$ )によって予測できるYの全体の変動の一部、成分( $Q^2 V = (1.0 - PRESS/SS)_m$ )によって予測できる変数Y<sub>m</sub>の変動の一部、導出された成分( $Q^2 cum = 1.0 - PRESS/SS$ )に対する累積 $Q^2$ 、および変数( $Q^2 V cum$

40

50

$m = I I ( 1 . 0 - P R E S S / S S ) k a )$  の累積  $Q^2 V$  として表わすことができる。図 7 は、さらに、各プロセスパフォーマンスパラメータ、すなわち、平均 (  $m e a n$  ) エッチング深さ及びエッチング深さ範囲に対する予測電力 (  $Q^2 V c u m$  ) を示す。図 7 を見ると、各適合の予測電力は、最初の 4 つの  $P L S$  成分を用いた場合、91%を超えている。

#### 【 0 0 4 8 】

図 8 は、上述したツールデータ及びプロセスパフォーマンスデータに対する、ワークセットローディング、 $w^* c ( 1 )$  対  $w^* c ( 2 )$  を示す。該プロットは、 $X$  重み (  $w$  または  $w^*$  ) 及び  $Y$  重み (  $c$  ) を示し、それにより  $X$  と  $Y$  の相関構造を示している。また図 8 は、 $X$  及び  $Y$  変数が、射影においてどのように結合しているか、および  $X$  変数が、どのよう

10

#### 【 0 0 4 9 】

図 9 は、ワークセットスコア、 $t ( 1 )$  対  $u ( 1 )$  を示す。このプロットは、射影された  $X ( T )$  及び  $Y ( U )$  空間の対象を示し、 $Y$  空間座標 (  $u$  ) が、どのようにうまく  $X$  空間座標 (  $t$  ) と相関しているかを示している。

#### 【 0 0 5 0 】

図 10 及び図 11 は、それぞれ、平均 (  $m e a n$  ) エッチング深さモデル及びエッチング深さ範囲モデルのために各ツールデータパラメータに割り当てられた係数を示す。

20

#### 【 0 0 5 1 】

一旦、 $P L S$  解析が完了し、かつ上記の出力行列が計算されると、 $X$  行列における各項または列の  $Y$  行列に対する影響、すなわち  $V I P$  が決定される。 $V I P$  は、寄与変数影響 (  $v a r i a b l e \ i n f l u e n c e ; V I N$  ) の全てのモデル次元に対する合計である。所定の  $P L S$  次元の場合、 $( V I N ) _{i j}^2$  は、該項の  $P L S$  重みの二乗 (  $w _{i j}$  )<sup>2</sup> に関連する。( 全ての  $P L S$  次元に対して ) 累積された値、

#### 【 数 5 】

$$VIP_j = \sum_i (VIN)_{ij}^2, \quad (3)$$

30

#### 【 0 0 5 2 】

は、別の解析に用いられる。一旦、行列  $X$  の各変数に対して  $V I P$  が計算されると、該  $V I P$  は、上記変数に対して降順で分類しかつプロットすることができる。最大  $V I P$  を有するそれらの変数は、行列  $Y$  におけるプロセスパフォーマンスデータに対して最大のインパクトを有することになる。

#### 【 0 0 5 3 】

例えば、図 12 は、単調な降順で ( 4 つの  $P L S$  成分モデルに対する )  $V I P$  を示す ( すなわち、プロットの左側にあるツールデータパラメータは、該モデルにおいて最も重要なパラメータである ) 。

40

#### 【 0 0 5 4 】

図 12 の  $V I P$  データを用いて、プロセスパフォーマンスデータ  $Y$  上の所定のツールデータパラメータの相対重要度を評価することができ、それによりデータ行列  $X$  を、元のデータ行列  $X$  の変数次元  $n$  を減じることによってさらに正確にすることができる。プロセスパフォーマンスデータに対して最少のインパクトまたは小さな重要度の変数を捨てるのに用いる例示的な判定基準は、( 1 )  $V I P$  が、所定のしきい値内に入る変数を捨てること ( 図 13 参照 )、( 2 ) 最下 10 ( 10 t h ) の百分位数または他の所定の範囲内の  $V I P$  と関連する変数を捨てること ( あるいは、換言すれば、上位 90 ( 90 t h ) の百分位数の最大  $V I P$  に関連する変数を保持するが、選択された百分位数のしきい値または範囲を本願明細書に記載した 90 / 10 の実施形態と異ならせることができることに注意する

50



）、（３）該変数に対するVIPの一次、二次またはそれ以上の微分を、それ以下またはそれ以上で、それらの変数が捨てられる、VIPのための値を選択するのに用いてもよいこと（すなわち、一次または二次微分の最大値、または、一次微分が所定のしきい値傾斜以下になる場合）を含む。

#### 【００５５】

上述した判定基準のうちのいずれか一つを用いて、プロセスパフォーマンスデータに対して最少のインパクトを有する変数を捨てることができる。このデータの低減または洗練も、データ行列Xの列空間を、p（上記の実施例において61）からq（例えば、<61パラメータ）に低減し、m×q次元（45×<61）の「新たな」低減されたまたは洗練されたデータ行列X\*を生成する。一旦、最初のデータ低減が発生すると、ツールデータとプロセスパフォーマンスデータの間に「良好な」モデルを設定するそれらのツールデータパラメータの重要度を格納することができる。そして、データ行列X\*のさらなる洗練または低減を実行することができ、および/または上記方法を、低減されたデータ行列X\*を用いてPLS解析モデルから出力行列を再計算すること、およびツールデータとプロセスパフォーマンスデータとの関係を設定する相関行列Bを決めることによって進めることができる。

10

#### 【００５６】

ここで、図6に示した概略図に従うPLSモデルは、低減された行列X\*が、PLS解析への入力として用いられる点を除いて、繰り返される。そして、出力行列が再計算される。上述したように、図13に関する説明に従うVIPは、データ行列Xをさらに正確にするために検討することができ、あるいは、相関行列Bは、次の関係を用いて、出力データから求めることができる。

20

#### 【数6】

$$\bar{B} = \bar{W}(\bar{P}^T \bar{W})^{-1} \bar{C}^T. \quad (4)$$

#### 【００５７】

一旦、データ行列X\*が最適化されると、相関行列Bを計算するのに必要な出力行列を更新または再計算するために、最終的にPLS解析を通すことが、一般に必要となる。そして、式(4)は、サンプリングされたツールデータから予測プロセスパフォーマンスデータを導出するのに用いられる相関係数のセットをもたらす。

30

#### 【００５８】

図14は、計測した平均(mean)トレンチエッチング深さ対予測した平均(mean)トレンチエッチング深さを示し、図15は、計測したトレンチエッチング深さ範囲対予測したトレンチエッチング深さ範囲を示す。まとまった傾斜は、計測値と予測値との間の良好な一致を示している。

#### 【００５９】

図16を用いて、プロセスパフォーマンス予測モデルを構成する方法を説明する。処理手順550はステップ510で始まり、行列Xは、観測されたツールデータから組立てられる。上述したように、各列は、異なるツールデータパラメータを表わし、かつ各行は、観測を表わす。同様に、ステップ520において、行列Yは、観測されたプロセスパフォーマンスデータを用いて組立てられる。ここでまた、各列は、異なるプロセスパフォーマンスデータパラメータを表わし、各行は、観測を表わす。ステップ530において、行列X及びYは、PLS解析モデルに入力されて、上述した出力データ（例えば、ローディングデータ、重み付けデータ、スコアデータ、VIPデータ等；図6から図12参照）を計算する。ステップ540において、PLS出力統計は、電力および/または予測電力に適合するPLSが受け容れられるか否かを判断するためにチェックされる。ステップ550において、VIPデータは、図12に示すように、降順でプロットされて解析される。PLS解析からのステップ550におけるデータを用いて、行列Xをさらに正確にするか否かの判断が、ステップ560において実行される。洗練（すなわち、ツールデータパラメ

40

50

ータの数の、重要なツールデータパラメータのみへの低減)が必要な場合には、上記手順は、ステップ570の後に、対応する新たな重み、ローディング、変数影響及びスコア行列を再計算するために、新たなデータ行列 $X^*$ を用いてPLS解析を繰り返す。ステップ570において、図12に示したVIP情報に関連して説明した判断基準は、行列 $X$ を新たな行列 $X^*$ に変換するのに用いられ、変換された行列は、プロセスパフォーマンスデータにとっては重要ではないと考えられる変数(列)を捨てる(例えば、ツールデータパラメータとプロセスパフォーマンスデータとの間には、弱い相関または最少のインパクトがある)。一旦、ステップ560で、行列 $X^*$ が最終決定されたと判断されると、ステップ580が実行される。ステップ580は、プロセスパフォーマンス予測モデルとしての最新の利用のために、式(4)から相関行列 $B$ を計算することを含む。ステップ590において、該プロセスパフォーマンス予測モデルは、例えば、障害検知アルゴリズムに組み込まれる。

#### 【0060】

一旦、相関行列 $B$ が評価される(または、プロセスパフォーマンス予測モデルが作成される)と、相関行列 $B$ を障害検知アルゴリズムの一部として用いて、プロセス障害の確実な判断及び予測を生成することができる。該障害検知アルゴリズムは、一般に、様々なプロセスに適用することができるが、上述したように、生成された特定の相関行列 $B$ は、特定のプロセスツールの特定のプロセスに対して固有のものとなる。例えば、エッチング等のシリコン処理は、図1から図5に示したのと同様のプロセスツールで実行することができる。

#### 【0061】

図17は、本発明の一実施形態によるプロセスパフォーマンス予測モデルを用いる材料処理システムのための障害状態を検知する方法を示す。該方法は、特定のプロセスのためにチャンバ条件を準備することによるステップ610で始まる処理手順600を含む。例えば、該チャンバ設定は、処理すべき基板を装填することと、真空チャンバを基本圧力まで低下させることと、プロセスガスの流れを初期化することと、真空ポンプスロットルバルブを調節してチャンバプロセス圧力を設定することとを含む。ステップ620において、プラズマは、例えば、図2から図5を参照して説明したような電極への高周波電力の印加によって加熱され、それによって該プロセスを始める。ステップ630において、ツールデータの観測が記録される。ステップ640において、上記設定されたプロセスパフォーマンス予測モデルは、プロセスパフォーマンスデータを予測するために、該観測されたツールデータと共に用いられ、これは、記録されたツールデータを、例えば、ベクトル乗算(または行列乗算)によって1つ以上の相関データ(プロセスパフォーマンス予測モデル)上に射影することを含む。ステップ650において、予測されたプロセスパフォーマンスデータは、目標のプロセスパフォーマンスデータと比較される。該比較は、数値差から差データを生成すること、および数値差の二乗を生成すること等を含む。ステップ660において、該差データは、しきい差データと比較され、該差データが該しきい差データを越えた場合に、該プロセスに対して、障害が検知されおよび/または予測され、逆に、該差データが該しきいデータを越えていない場合には、該プロセスは、許容範囲内で行われる。該プロセスが、許容範囲内で行われている場合、該プロセスは、ステップ670において継続することができる。障害が検知されまたは予測された場合、オペレータは、ステップ680において気付くことが可能である。

#### 【0062】

上述した説明においては、プロセスパフォーマンス予測モデル110を構成する方法及び障害検知に対して該モデルを適用する方法について説明してきた。上記の実施例を用いて、障害の検知を、平均(mean)トレンチエッチング深さまたはトレンチエッチング深さ範囲のいずれかにおける障害と関連付けることができる(例えば、プロセス速度および/またはプロセス均一性のうちの一方)。

#### 【0063】

例えば、平均(mean)トレンチエッチング深さにおける障害の発生は、プロセスツ

10

20

30

40

50

ールパフォーマンス（例えば、プロセスドリフト等）、センサノイズ、センサ較正におけるドリフト等の不安定さにより生じる可能性がある。プロセスパフォーマンスの変動を引き起こす、run-to-runから生じる多数の変数が存在する。しかし、プロセスパフォーマンス予測モデル110の生成の場合、前の動作からのツールデータの観測を用いたプロセスパフォーマンスデータの予測は、不安定なプロセスを補正するために、プロセス方法を更新するのに用いることができる。

【0064】

上述したように、（ダマシン構造）トレンチエッチのためのプロセス方法に必要な要件は、トレンチエッチング速度の知識を要するトレンチエッチング時間である。本発明の実施形態によれば、プロセスパフォーマンス予測モデル110は、ツールデータの観測から平均（mean）トレンチエッチング深さを予測するのに用いることができる。予測された平均（mean）トレンチエッチング深さ  $d_{predicted}$  を、前の動作中のエッチング時間  $\tau_{old}$  で割ると、予測平均（mean）トレンチエッチング速度  $v_{predicted}$  が得られる（すなわち、 $v_{predicted} = d_{predicted} / \tau_{old}$ ）。

【0065】

プロセスパフォーマンス予測モデル110及び前の動作の既知のエッチング時間を用いた、平均（mean）トレンチエッチング速度の予測に続いて、補正したエッチング時間を、プロセス方法補正フィルタ120を用いて決めることができる。プロセス方法補正フィルタ120は、エッチング時間の古い値、該エッチング時間の予測値及びフィルタ係数を用いた、該プロセス方法におけるエッチング時間を補正する指数関数的に重み付けされた移動アベレージ（exponentially weighted moving average; EWMA）、すなわち、

【数7】

$$\tau_{new} = (1 - \lambda)\tau_{old} + \lambda(\tau_{predicted} - \tau_{old}), \quad (5)$$

【0066】

を含むことができ、ただし、 $\lambda$  はEWMAフィルタ係数（0 から 1）であり、 $\tau_{old}$  は、前の動作の（古い）プロセス方法エッチング時間であり、 $\tau_{predicted}$  は、（ダマシン）トレンチ構造の場合の、既知のエッチング深さ  $d$  及び予測エッチング速度（すなわち、 $v_{predicted} = d / \tau_{predicted}$ ）を用いた予測エッチング時間であり、 $\tau_{new}$  は、次の動作に対する（新たな）プロセス方法エッチング時間である。 $\lambda = 0$  の場合には、新たなエッチング時間は、古いエッチング時間と等しく、 $\lambda = 1$  の場合には、新たなエッチング時間は、上記予測エッチング時間に等しいことに注意する。

【0067】

図18は、二乗平均平方根誤差（root mean square error; RMSE）を最適化し、かつアルゴリズム安定性を最大化する上記平均（mean）トレンチエッチング深さの予測のための最適なフィルタ係数の計測を示す。一連の52の基板は、4つのウェットクリーンサイクルを含むプロセスツール10によって実行された。最初のウェットクリーンは、基板番号1に先行し（すなわち、最初のウェットクリーンサイクルは、基板1から16を含み）、第2のウェットクリーンは、基板番号17に先行し（すなわち、第2のウェットクリーンサイクルは、基板17から36を含み）、第3のウェットクリーンは、基板番号37に先行し（すなわち、第3のウェットクリーンサイクルは、基板37から47を含み）、第4のウェットクリーンは、基板番号48に先行した（すなわち、第4のウェットクリーンサイクルは、基板48から52を含む）。該52の基板の実行中、基板番号1から25は、プロセスパフォーマンス予測モデル110の生成に用いられ、基板番号26から52は、モデル評価に用いられた。

## 【 0 0 6 8 】

一般に、モデル評価のための基板番号 2 6 から 5 2 を用いた場合、計測し予測したデータの R M S E は、プロセスパフォーマンス予測モデル 1 1 0 を定量化するのに用いられ、該 R M S E は、次のように定義される。

## 【 数 8 】

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_{predicted}^i - \varepsilon_{measured}^i)^2}{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_{predicted}^i - \bar{\varepsilon}_{measured})^2}} \cdot (6)$$

10

## 【 0 0 6 9 】

式 ( 6 ) において、 $i = 1$  から  $n$  に対する合計は、モデル評価に用いられる基板 ( 2 6 から 5 2 ) に対する合計を表わし、 $\varepsilon_{measured}$  は、アベレージ ( average ) 計測エッチング速度を表わす。図 1 8 を見ると、明らかに、上述の例示的なプロセスの場合の最適なフィルタ係数は、 $= 0.5$  である。プロセス方法補正フィルタ 1 2 0 によれば、プロセスコントローラ 1 3 0 は、各基板動作の前に、プロセス方法エッチング時間を更新することができる。

20

## 【 0 0 7 0 】

図 1 9 は、プロセスパフォーマンス予測モデル 1 1 0 及びプロセス方法補正フィルタ 1 2 0 (  $= 0.5$  ) を用いた計測トレレンチエッチング速度 ( オングストローム ( A ) / 分 ( min ) ) 及び予測トレレンチエッチング速度を、基板番号の関数として示す。図 1 9 を見ると、計測結果と予測結果の一致が、( 約 5 3 0 0 オングストローム / 分エッチの場合 ) アベレージ誤差 ( average error ) 2 6 . 5 オングストローム / 分で非常に良好であることが明らかである。

## 【 0 0 7 1 】

該アベレージ誤差 ( average error ) は、プロセスパフォーマンス予測モデル 1 1 0 の定期的な更新を実施することによってさらに改善することができる。基板処理における所定の間隔で、基板は、プロセスツール 1 0 から、プロセスパフォーマンスデータの計測のための計測ツール 1 4 0 へ移送することができる。上記の例示的なプロセスに従って、プロセスパフォーマンスデータは、平均 ( mean ) トレンチエッチング深さ及びトレレンチエッチ範囲を含むことができる。このデータは、上述したように、計測ツール 1 4 0 において従来の技術を用いて計測することができる。

30

## 【 0 0 7 2 】

プロセスパフォーマンスデータの計測は、プロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズム 1 5 0 に行わせることができる。ツールデータ及び対応する計測したプロセスパフォーマンスデータは、ツールデータ行列 X 及びプロセスパフォーマンスデータ行列 Y に挿入され、相関行列 B は、図 1 6 に関して説明したように、PLS 解析を用いて再評価される。そして、更新された相関行列は、電流プロセスパフォーマンス予測モデル 1 1 0 の置換のためのプロセスパフォーマンス予測モデル 1 1 0 に行わせることができる。図 2 0 は、図 1 9 のデータを示し、プロセスパフォーマンス予測モデル 1 1 0 は、プロセスパフォーマンス補正アルゴリズム 1 5 0 を用いて定期的に更新される。アベレージ誤差 ( average error ) は、さらに、2 4 . 7 オングストローム / 分まで低減される。

40

## 【 0 0 7 3 】

図 2 1 は、本発明の実施形態によるプロセスパフォーマンス制御システムを用いた材料処理システムにおけるプロセスを制御する方法を示す。該方法は、図示されたプロセスが実行されるステップ 7 1 0 で始まる処理手順 7 0 0 を含む。例えば、プロセス実行は、チャンバ設定 ( 例えば、処理すべき基板を装填すること、真空チャンバを基礎圧力まで下げ

50

ること、プロセスガスのフローを始めること、および真空ポンプスロットルバルブを調節してチャンバプロセス圧力を設定すること）と、プロセスを始めること（例えば、図2から図5に関して説明したような電極への高周波電力の印加を介してプラズマを加熱すること）と、プロセスを終了させること（例えば、高周波電力を終了させることにより、該プロセス方法によって設定されたプロセス時間に従ってプロセスを完了させることや基板を取り除くこと）とを含むことができる。ステップ710のプロセス中に、ツールデータの観測が、ステップ720において記録される。ステップ730においては、プロセスパフォーマンス予測モデルを更新する決定がなされる。必要に応じて、ステップ710のプロセス中に処理された基板は、（ステップ780及びステップ790に関して以下に説明するような）計測ツールへ移送される。ステップ740においては、上記設定されたプロセスパフォーマンス予測モデルが、プロセスパフォーマンスデータを予測するために、上記観測されたツールデータと共に用いられ、これは、記録されたツールデータを、例えば、ベクトル乗算（または行列乗算）によって1つ以上の相関データ（プロセスパフォーマンス予測モデル）上に射影することを含む。

#### 【0074】

ステップ750において、上記プロセス方法補正フィルタは、プロセス方法補正を判断することにより該プロセス方法を補正するために、EWMAフィルタ及びプロセスパフォーマンスデータのモデル予測を用いる。該プロセス方法に対する補正は、例えば、エッチング時間に対する補正を含むことができる。該EWMAフィルタは、フィルタ係数を用い、好ましくは、選択されたフィルタ係数は、最適なフィルタ係数である。ステップ760において、該プロセス方法は、ステップ770において、他のプロセスが動作されるか否かを判断する前に、上記プロセスコントローラを用いて更新される。

#### 【0075】

ステップ730が、上記プロセスパフォーマンス予測モデルを更新すべきであると判断した場合には、制御はステップ780に移る。ステップ780において、プロセスパフォーマンスデータは、上記計測ツールを用いて計測されて、プロセスパフォーマンスモデル補正アルゴリズムに与えられる。ステップ790において、該プロセスパフォーマンスモデルアルゴリズムは、上述した処理手順に従って、PLS解析を用いる。該PLS解析は、（上記計測ツールからの）計測されたプロセスパフォーマンスデータ及び対応するツールデータと、上記電流プロセスパフォーマンス予測モデルの生成に用いられるツールデータ及びプロセスパフォーマンスデータを用いる。適切な場合（基板動作を実行することに関してプロセスパフォーマンス予測モデルを更新する時間の長さによって考えられる場合）、該プロセスパフォーマンス予測モデルは更新される。

#### 【0076】

本発明のある例示的な実施形態のみを詳細に説明してきたが、当業者は、多くの変更例が、本発明の新規な教示及び効果を著しく逸脱することなく、該例示的な実施形態において可能であることを容易に認識するであろう。従って、そのような全ての変更例は、本発明の範囲に含まれると解釈すべきである。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0077】

【図1】本発明の好適な実施形態に係る材料処理システムを示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る材料処理システムを示す図である。

【図3】本発明の他の実施形態に係る材料処理システムを示す図である。

【図4】本発明の別の実施形態に係る材料処理システムを示す図である。

【図5】本発明の追加的な実施形態に係る材料処理システムを示す図である。

【図6】部分最少二乗（partial least squares；PLS）分析モデルのための入力及び出力のうちの一部の概略説明を示す図である。

【図7】PLS分析モデルからの統計の例示的な出力を示す図である。

【図8】 $w^*c(1)$ 対 $w^*c(2)$ をロードするワークセットの例示的なグラフを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 9】  $t(1)$  対  $t(2)$  のワークセットスコアの例示的なグラフを示す図である。

【図 10】 平均 (mean) トレンチエッチング深さモデルの係数の例示的なセットを示す図である。

【図 11】 トレンチエッチング深さ範囲モデルの係数の例示的なセットを示す図である。

【図 12】 予測データにおける可変重み (variable importance in the projection; VIP) のセットの例示的な度数分布を示す図である。

【図 13】 VIP データを用いてツールデータを正確にするための例示的な基準を示す図である。

【図 14】 観察された平均 (mean) トレンチエッチング深さと予測された平均 (mean) トレンチエッチング深さの例示的な比較を示す図である。

10

【図 15】 観察されたトレンチエッチング深さ範囲と予測されたトレンチエッチング深さ範囲の例示的な比較を示す図である。

【図 16】 本発明の一実施形態に係るプロセス動作予測モデルを構成する方法のフロー図を示す図である。

【図 17】 本発明の一実施形態に係るプロセス動作予測モデルを用いた障害検知の方法のフロー図を示す図である。

【図 18】 指数関数的に重み付けされた移動アベレージ (EMWA) フィルタ係数の関数としての二乗平均誤差 (RMSE) の例示的なグラフを示す図である。

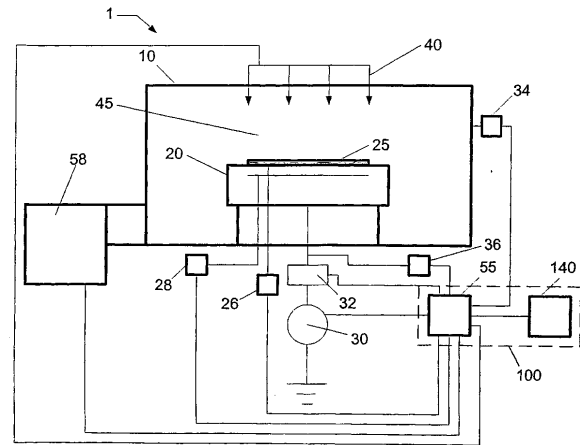
【図 19】 フィルタ係数が 0.5 の場合の基板番号の関数としての、計測されたトレンチエッチング速度と予測されたトレンチエッチング速度の例示的なグラフを示す図である。

20

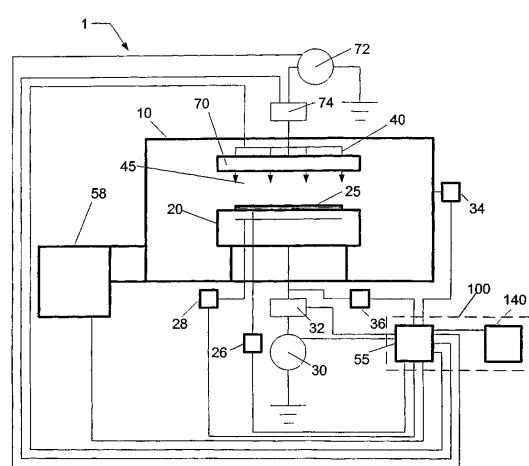
【図 20】 プロセス動作予測モデルの定期的更新を利用した基板番号の関数としての、計測されたトレンチエッチング速度と予測されたトレンチエッチング速度の例示的なグラフを示す図である。

【図 21】 本発明の一実施形態に係る材料処理システムのためのプロセス方法を制御する方法のフロー図を示す図である。

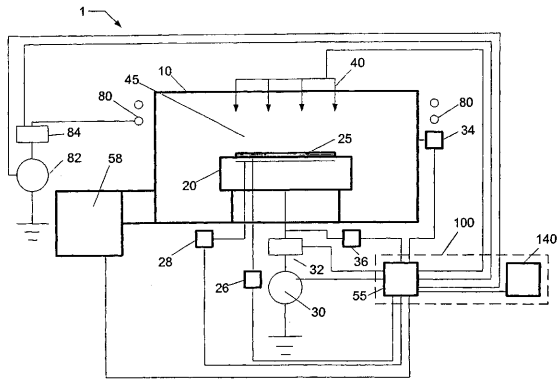
【 図 2 】



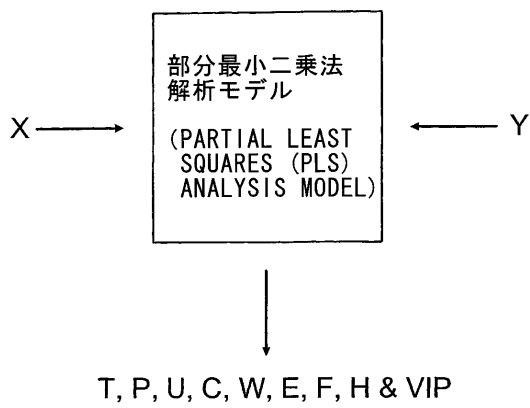
【 図 4 】



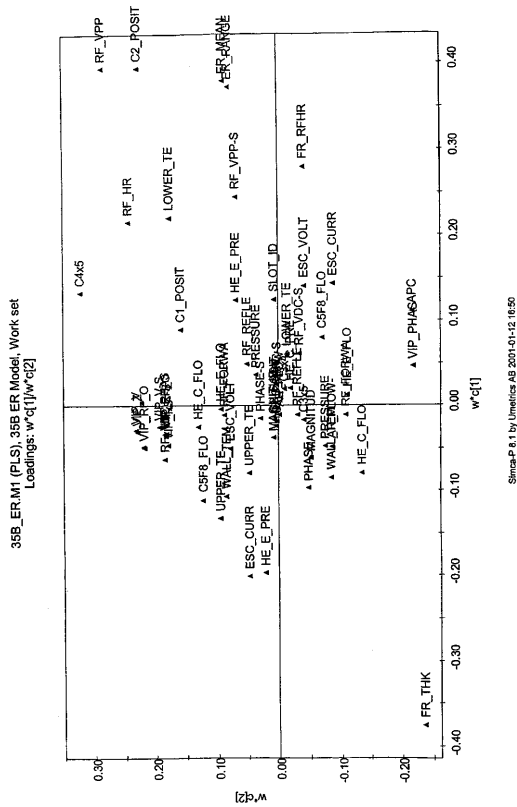
【 図 5 】



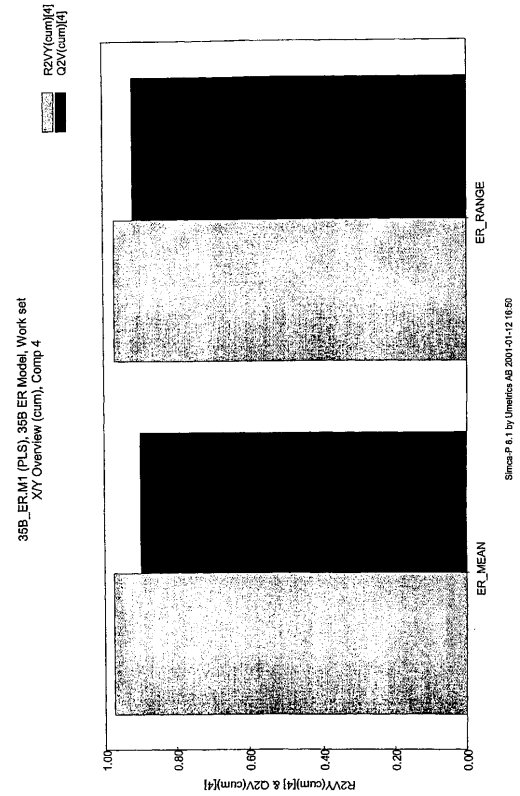
【 図 6 】



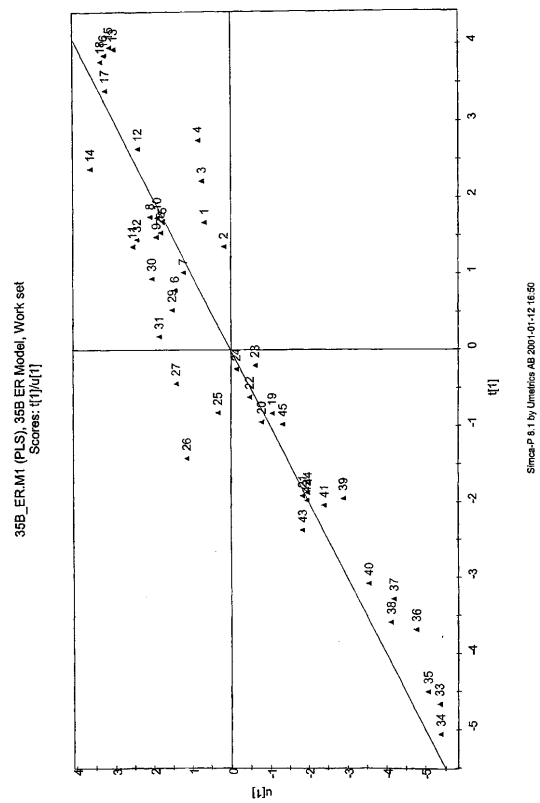
【 図 8 】



【圖 7】

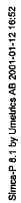
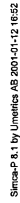


【 図 9 】

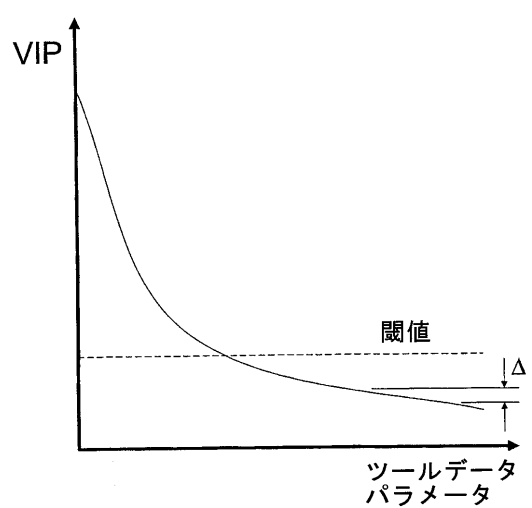
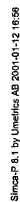




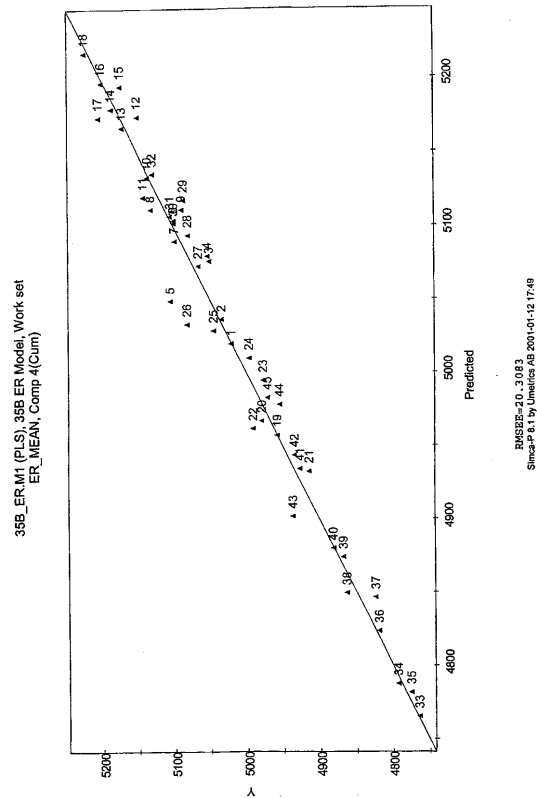
【 図 1 1 】



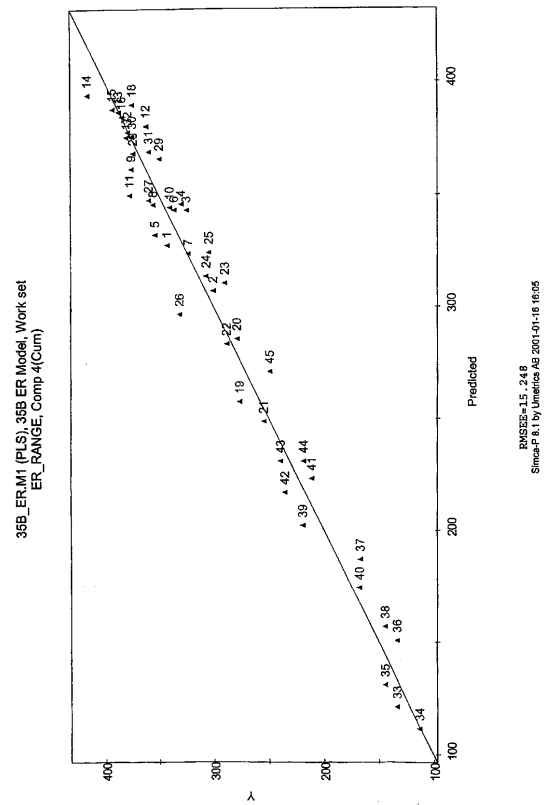
【 図 1 3 】



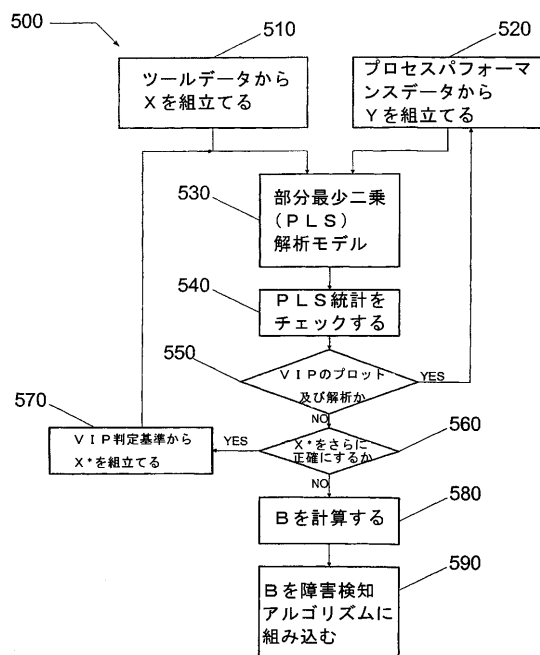
【図 14】



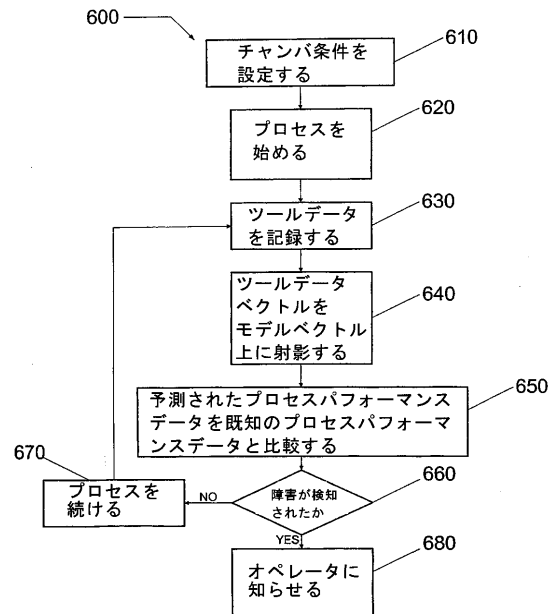
【図 15】



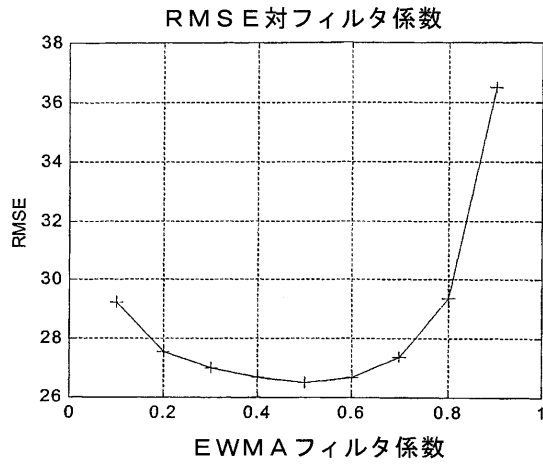
【図 16】



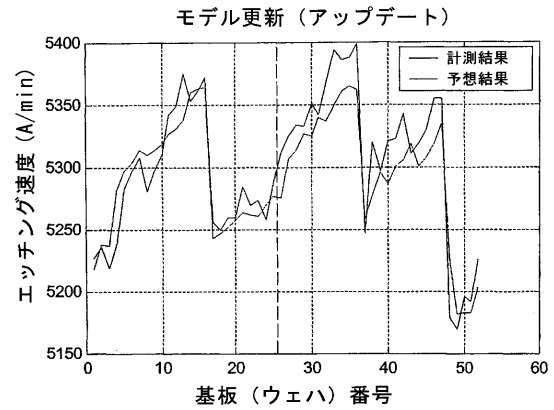
【図 17】



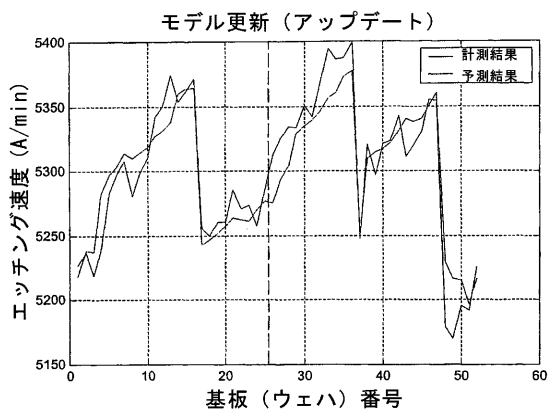
【図 18】



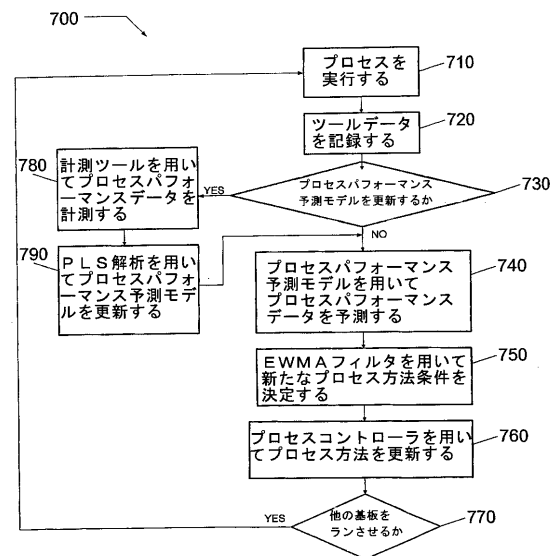
【図 19】



【図 20】



【図 21】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100084618  
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034  
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100119976  
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051  
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176  
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100101812  
弁理士 勝村 紘
- (74)代理人 100070437  
弁理士 河井 将次
- (74)代理人 100124394  
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807  
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073  
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290  
弁理士 竹内 将訓
- (74)代理人 100127144  
弁理士 市原 卓三
- (74)代理人 100141933  
弁理士 山下 元
- (72)発明者 ラム、ヒュー・エー  
アメリカ合衆国、テキサス州 75082、リチャードソン、アピンドン・ドライブ 5808
- (72)発明者 ユ、ホンギョ  
アメリカ合衆国、テキサス州 78749、オースティン、ジャナビルド・レーン 5705

## 合議体

審判長 藤原 敬士  
審判官 鈴木 正紀  
審判官 川村 健一

- (56)参考文献 特開平10-125660(JP,A)  
特開平8-288258(JP,A)  
特開平8-246169(JP,A)  
特開平4-212414(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L21/205  
H01L21/3065