

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6181156号
(P6181156)

(45) 発行日 平成29年8月16日 (2017. 8. 16)

(24) 登録日 平成29年7月28日 (2017. 7. 28)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/304 (2006. 01)

H O 1 L 21/304 6 2 2 S

B 2 4 B 37/013 (2012. 01)

B 2 4 B 37/013

B 2 3 Q 17/09 (2006. 01)

B 2 3 Q 17/09 A

請求項の数 15 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2015-508995 (P2015-508995)
 (86) (22) 出願日 平成25年4月5日 (2013. 4. 5)
 (65) 公表番号 特表2015-519740 (P2015-519740A)
 (43) 公表日 平成27年7月9日 (2015. 7. 9)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/035514
 (87) 国際公開番号 W02013/162857
 (87) 国際公開日 平成25年10月31日 (2013. 10. 31)
 審査請求日 平成28年4月5日 (2016. 4. 5)
 (31) 優先権主張番号 13/456, 801
 (32) 優先日 平成24年4月26日 (2012. 4. 26)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390040660
 アプライド マテリアルズ インコーポレ
 イテッド
 APPLIED MATERIALS, I
 NCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 054 サンタ クララ パウアーズ ア
 ベニュー 3050
 (74) 代理人 100109726
 弁理士 園田 吉隆
 (74) 代理人 100101199
 弁理士 小林 義教

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 研磨のインシトゥ監視時にデータをフィルタリングするための線形予測

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を研磨すること、

研磨時に前記基板をインシトゥ監視システムで監視することであって、前記監視することとはセンサから信号を生成することを含み、前記信号は一連の測定値を含む、監視すること、

フィルタリング済み信号を生成するため前記信号をフィルタリングすることであって、前記フィルタリング済み信号は一連の調整値を含み、前記フィルタリングすることは前記一連の調整値の各調整値に対して、

線形予測を使用して前記一連の測定値から少なくとも1つの予測値を生成すること、
 および

前記一連の測定値および前記予測値から前記調整値を計算すること
 を含む、フィルタリングすること、ならびに

研磨終点または研磨速度の調整の少なくとも1つを前記フィルタリング済み信号から決定すること

を含む、研磨を制御する方法。

【請求項 2】

前記インシトゥ監視システムが、モータ電流監視システムまたはモータトルク監視システムを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記インシュタント監視システムが、キャリアヘッドモータ電流監視システムまたはキャリアヘッドモータトルク監視システムを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記モータトルク監視システムが、プラテンモータ電流監視システムまたはプラテンモータトルク監視システムを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

少なくとも 1 つの予測値を生成することが複数の予測値を生成することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記調整値を計算することが周波数領域フィルタを適用することを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記複数の予測値が少なくとも 20 個の値を含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記線形予測が、第 1 の予測信号値

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i}$$

を計算することを含み、ここで、

$$\hat{x}_n$$

は第 1 の予測信号値であり、 p は前記計算で使用する信号値の数であり（ $n - 1$ に等しくすることができる）、 x_{n-i} は以前の観測信号値であり、 a_i は予測因子係数であり、および、第 2 の予測信号値

$$\hat{x}_{n+L} = \sum_{i=1}^p a_i x_{n+L-i}$$

を計算することを含み、ここで、

$$\hat{x}_{n+L}$$

は第 2 の予測信号値であり、 L は 0 より大きく、 p は前記計算に使用される信号値の数であり（ $n + L - 1$ に等しくすることができる）、 x_{n+L-i} は、 $L - i \geq 0$ に対する以前の観測信号値、および $L - i < 0$ に対する予測された信号値であり、 a_i は予測因子係数である、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

$$\sum_i^P a_i R_{i-j} = -R_j$$

および

$$R_i = E \{ x_n x_{n-i} \}$$

であり、ここで、 R は前記信号 x_n の自己相関であり、 E は予測値関数である、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記調整値を計算することが、前記少なくとも 1 つの予測信号値を計算するために線形予測が使用される修正カルマンフィルタを適用することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記修正カルマンフィルタで次の時間更新式

10

20

30

40

50

$$\hat{x}_k^- = \frac{1}{1+2L} \sum_{i=k-L}^{k+L} z_i$$

を使用し、ここで、 $2L+1$ は前記計算に使用されるデータ点の数であり、 z_i は $L=0$ に対する以前の測定信号値であり、 z_{k-L} は $L < 0$ に対する z の予測信号値である、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記修正カルマンフィルタが、演繹的推定誤差共分散 P^-_k を次式のように計算することを含み、

$$P^-_k = A^2 P_{k-1} + Q$$

ここで、

$$A = \hat{x}^-_k / \hat{x}_{k-1}$$

であり、ここで、

$$\hat{x}_{k-1}$$

は以前のステップの予測信号からの帰納的状态推定値である、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

指示を有する非一時的コンピュータ可読媒体を備えたコンピュータプログラム製品であって、前記コンピュータ可読媒体が研磨システムのプロセッサによって実行されると、前記研磨システムが、

基板を研磨し、

研磨時に前記基板をインシトゥ監視システムで監視し、前記監視はセンサから信号を生成することを含み、前記信号は一連の測定値を含み、

フィルタリング済み信号を生成するため前記信号をフィルタリングし、前記フィルタリング済み信号は一連の調整値を含み、前記フィルタリングは前記一連の調整値の各調整値に対して、

線形予測を使用して前記一連の測定値から少なくとも 1 つの予測値を生成すること、および

前記一連の測定値および前記予測値から前記調整値を計算することを含み、ならびに

研磨終点または研磨速度の調整の少なくとも 1 つを前記フィルタリング済み信号から決定する

コンピュータプログラム製品。

【請求項 14】

少なくとも 1 つの予測値を生成させる指示が、複数の予測値を生成させる指示を含む、請求項 13 に記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項 15】

線形予測を使用することが、第 1 の予測信号値

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i}$$

を計算することを含み、ここで、

$$\hat{x}_n$$

は第 1 の予測信号値であり、 p は前記計算で使用される信号値の数であり ($n-1$ に等しくすることができる)、 x_{n-i} は以前の観測信号値であり、 a_i は予測因子係数である、請求項 14 に記載のコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、研磨を制御するインシトゥ監視システムによって得られたデータにフィルタを使用し、適用することに関する。

【背景技術】

【0002】

集積回路は一般に、導電性、半導電性、または絶縁性の層を連続してシリコンウエハ上に堆積することによって基板上に形成される。1つの製造ステップは、非平面の表面を覆う充填層を堆積し、この充填層を平坦化することを含む。特定の応用例では、充填層は、パターン層の上面が露出するまで平坦化される。例えば、導電性充填層を絶縁パターン層上に堆積して、絶縁層内のトレンチまたは孔を充填することができる。平坦化後、高くなった絶縁層のパターン間に残っている金属層の部分が、基板上の薄膜回路間の導電経路になるビア、プラグ、およびラインを形成する。酸化物研磨などの他の応用例では、充填層は、非平面の表面を覆う所定の厚さを残して平坦化される。加えて、基板表面の平坦化は通常、フォトリソグラフィで必要とされる。

【0003】

化学機械研磨(CMP)は、1つの認められた研磨方法である。この研磨法では一般に、基板がキャリアまたは研磨ヘッドに取り付けられる必要がある。基板の露出面は一般に、回転研磨パッドに当てられる。キャリアヘッドは、基板を研磨パッドに押し付けるために、制御可能な荷重を基板にかける。研磨用研磨スラリが一般に、研磨パッドの表面に供給される。

【0004】

CMPの1つの問題は、研磨処理が完了しているかどうか、すなわち基板層が所望の平坦度または厚さにまで平坦化されたかどうか、または所望の量の材料が除去されたときを決定することである。スラリ分布、研磨パッド状態、研磨パッドと基板の間の相対速度、および基板への荷重の各ばらつきが、材料除去速度のばらつきを生じさせる可能性がある。これらのばらつき、ならびに基板層の初期厚さのばらつきが、研磨終点に到達するのに必要な時間のばらつきを生じさせる。したがって、研磨終点は通常、単なる研磨時間の関数として決定することができない。

【0005】

いくつかのシステムでは、基板は、例えばプラテンまたはキャリアヘッドを回転させるのにモータが必要とするトルクを監視することによって、研磨時にインシトゥで監視することができる。しかし、既存の監視技法では、半導体デバイス製造者の増大する要望を満足させることができない。

【発明の概要】

【0006】

インシトゥ監視システムのセンサは一般に、時間につれ変動する信号を生成する。この信号を分析して研磨終点を検出することができる。平滑化フィルタは、「生」信号から雑音を取り除くためにしばしば使用され、フィルタリング済み信号が分析される。この信号はリアルタイムで分析されるので、因果フィルタが使用されてきた。しかし、因果フィルタの中には遅延を与えるものもある。すなわち、フィルタリング済み信号は、センサからの「生」信号よりも遅れる。いくつかの研磨処理およびいくつかの終点検出技法(例えば、モータトルクの監視)では、フィルタが、許容できない遅延を生じさせる可能性がある。例えば、フィルタリング済み信号中に終点基準が検出された時間までに、ウエハは既に著しく過剰研磨されている。しかし、この問題に対抗するための技法は、信号からのデータに基づく線形予測を含むフィルタを使用することである。

【0007】

一態様では、研磨を制御する方法は、基板を研磨すること、研磨時に基板をインシトゥ監視システムで監視することであって、監視することはセンサから信号を生成することを

含む監視すること、およびフィルタリング済み信号を生成するため信号をフィルタリングすることを含む。信号は一連の測定値を含み、フィルタリング済み信号は一連の調整値を含む。フィルタリングすることは、一連の調整値の各調整値に対し、線形予測を使用して一連の測定値から少なくとも1つの予測値を生成すること、および一連の測定値および予測値から調整値を計算することを含む。研磨終点または研磨速度の調整の少なくとも1つが、フィルタリング済み信号から決定される。

【0008】

諸実施態様は、以下の特徴の1つ以上を含むことができる。インシトゥ監視システムは、モータ電流監視システムまたはモータトルク監視システムとすることができる（例えば、キャリアヘッドモータ電流監視システム、キャリアヘッドモータトルク監視システム、プラテンモータ電流監視システム、またはプラテンモータトルク監視システム）。少なくとも1つの予測値を生成することは、複数の予測値を生成することを含みうる。調整値を計算することは、周波数領域フィルタを適用することを含みうる。複数の予測値には、少なくとも20個の値が含まれうる。調整値を計算することは、少なくとも1つの予測信号値を計算するために線形予測が使用される修正カルマンフィルタを適用することを含みうる。

【0009】

別の態様では、持続するコンピュータ可読媒体が命令を収納しており、この命令は、プロセッサによって実行されたときに、プロセッサに上記方法の動作を実施させる。

【0010】

諸実施態様は、以下の潜在的な利点の1つ以上を含むことができる。フィルタ遅延は低減することができる。研磨は、より確実に目標厚さで停止させることができる。

【0011】

1つまたは複数の実施形態の詳細を添付の図面および以下の記述で説明する。他の態様、特徴および利点は、これらの記述および図面から、ならびに特許請求の範囲から明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】研磨装置の一例の概略断面図である。

【図2】カスタマイズされたフィルタおよび標準低域通過フィルタによって生成されたフィルタリング済みの各プラテントルク信号を比較するグラフである。

【図3】カスタマイズされたフィルタおよび標準低域通過フィルタによって生成されたフィルタリング済みの各プラテントルク信号を比較するグラフである。

【0013】

別個の図面中の同じ参照符号は同じ要素を示す。

【発明を実施するための形態】

【0014】

いくつかの半導体チップ製造プロセスでは、例えばシリコン酸化物またはポリシリコンである上層が、例えばシリコン酸化物、窒化ケイ素または高K誘電体などの誘電体である下層が露出するまで研磨される。いくつかの応用例では、下層の露出を光学的に検出することが可能な場合がある。いくつかの応用例では、下層は、上層とは異なる摩擦係数を研磨層に対し有する。そのため、下層が露出すると、指定回転速度でプラテンまたはキャリアヘッドを回転させるのにモータが必要とするトルクが変化する。研磨終点は、このモータトルクの変化を検出することによって決定することができる。

【0015】

図1は、研磨装置100の一例を示す。研磨装置100は、研磨パッド110が上にある回転円盤形プラテン120を含む。研磨パッド110は、外側研磨層112、およびより柔らかいバッキング層114による2層研磨パッドとすることができる。プラテンは、軸125を中心に回転するように動作可能である。例えば、モータ121（例えば、DC誘導モータ）は、駆動シャフト124を回してプラテン120を回転させることができる

。

【0016】

研磨装置100は、研磨スラリーなどの研磨液132を研磨パッド110の上に供給するポート130を含むことができる。研磨装置はまた、研磨パッド110を摩耗させて研磨パッド110を安定した研磨状態に維持するための、研磨パッドコンディショナを含むこともできる。

【0017】

研磨装置100は、少なくとも1つのキャリアヘッド140を含む。キャリアヘッド140は、基板10を研磨パッド110に当てて保持するように動作可能である。各キャリアヘッド140は、それぞれの基板と関連づけられた研磨パラメータ（例えば圧力）を個別に制御することができる。

10

【0018】

キャリアヘッド140は、可撓性の膜144の下に基板10を保持するための保持リング142を含むことができる。キャリアヘッド140はまた、膜によって画定された1つまたは複数の個別に制御可能であり、加圧可能なチャンバ（例えば3つのチャンバ146a～146c）を含み、このチャンバは、可撓性の膜144上、すなわち基板10上の関連づけられたゾーンに、個別に制御可能な圧力を加えることができる（図3参照）。図を分かりやすくするために3つのチャンバだけが図2および図3に示されているが、1つもしくは2つのチャンバ、または4つ以上のチャンバ（例えば5つのチャンバ）もありうる。

20

【0019】

キャリアヘッド140は、支持構造体150（例えば、回転ラック）から懸架され、キャリアヘッドが軸155を中心に回転できるように、ドライブ軸152によってキャリアヘッド回転モータ154（例えば、DC誘導モータ）に連結される。任意選択で各キャリアヘッド140は、例えば回転ラック150上のスライダによって、または回転ラック自体の回転振動によって、横方向に振動することができる。典型的な動作において、プラテンは、その中心軸125を中心に回転し、各キャリアヘッドは、その中心軸155を中心に回転すると共に、研磨パッドの上面全体にわたって横方向に並進運動する。

【0020】

キャリアヘッド140が1つだけ図示されているが、研磨パッド110の表面領域を効率的に使用できるように、複数のキャリアヘッドを設けて追加の基板を保持することができる。したがって、同時研磨処理のために基板を保持するように適合されたキャリアヘッドアセンブリの数は、少なくとも一部は研磨パッド110の表面積に基づきうる。

30

【0021】

プログラム可能コンピュータなどのコントローラ190が、プラテン120およびキャリアヘッド140の回転速度を制御するためにモータ121、154に接続される。例えば、各モータは、付随するドライブ軸の回転速度を測定するエンコーダを含むことができる。モータ自体の中にありうる、またはコントローラの一部もしくは別の回路とすることができるフィードバック制御回路が、測定された回転速度をエンコーダから受け取り、また、ドライブ軸のこの回転速度がコントローラから受け取られた回転速度に一致することを確実にするために、モータに供給される電流を調整する。

40

【0022】

研磨装置はまた、研磨終点を決定するために使用できる、例えばモータ電流またはモータトルクの監視システムであるインシトゥ監視システム160を含む。インシトゥ監視システム160は、モータトルクおよび/またはモータに供給される電流を測定するセンサを含む。

【0023】

例えば、トルクメータ160をドライブ軸124上に配置することができ、かつ/またはトルクメータ162をドライブ軸152上に配置することができる。トルクメータ160および/または162の出力信号は、コントローラ190まで導かれる。

50

【 0 0 2 4 】

別法として、または加えて、電流センサ 1 7 0 は、モータ 1 2 1 に供給される電流を監視することができ、かつ / または電流センサ 1 7 2 は、モータ 1 5 4 に供給される電流を監視することができる。電流センサ 1 7 0 および / または 1 7 2 の出力信号は、コントローラ 1 9 0 まで導かれる。電流センサは、モータの一部として図示されているが、コントローラの一部（コントローラ自体がモータのドライブ電流を出力する場合）または別個の回路とすることもできる。

【 0 0 2 5 】

センサの出力は、デジタル電子信号とすることができる（センサの出力がアナログ信号である場合は、その出力をセンサまたはコントローラ内の A D コンバータによってデジタル信号に変換することができる）。デジタル信号は一連の信号値からなり、信号値間の時間周期がセンサのサンプリング周波数によって決まる。この一連の信号値は、信号対時間曲線と呼ぶことができる。この一連の信号値は、一組の値 x_n として表すことができる。

【 0 0 2 6 】

上記のように、センサからの「生」デジタル信号は、線形予測を内蔵するフィルタを使用して平滑化することができる。線形予測は、未来のデータを予測するために現在および過去のデータを使用する統計的手法である。線形予測は、現在および過去の自己相関の経過を追う 1 組の式で実行することができ、簡単な多項式外挿で可能な予測よりもはるか未来のデータを予測することができる。

【 0 0 2 7 】

線形予測は、他のインシトゥ監視システムにおける信号のフィルタリングにも適用できるが、モータトルクまたはモータ電流の監視システムにおける信号のフィルタリングに特に適切である。モータトルクまたはモータ電流の信号対時間曲線は、ランダム雑音によって崩れるだけでなく、研磨パッド全体にわたりキャリアヘッド 1 4 0 を掃引することによる、大きい系統的な正弦波外乱によっても崩れる可能性がある。モータ電流信号については、線形予測により、未来の 3 つまたは 4 つの掃引期間を良好な精度で予測することができる。

【 0 0 2 8 】

第 1 の実施態様では、線形予測が現在のデータセット（現在および過去の信号値の因果データ）に適用されて拡張データセット（すなわち、現在のデータセットに予測値を加えたもの）が生成され、次いで、得られた拡張データセットに周波数領域フィルタが適用される。線形予測は、4 0 ~ 6 0 個の値（4 回または 5 回のキャリアヘッド掃引に相当する）を予測するのに使用することができる。周波数領域フィルタは遅延をほとんどまたは全く示さないで、フィルタ遅延を大幅に減らすことができる。周波数領域フィルタは、データセットの始まりと終わりの両方でエッジ歪みを示す可能性がある。最初に線形予測を使用することによって、エッジ歪みが実際の現在のデータから実質上遠ざけられる（もはやデータセットの終わりに位置していない）。

【 0 0 2 9 】

線形予測は次式のように表すことができ、

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i}$$

ここで、

$$\hat{x}_n$$

は予測信号値であり、 p は計算に使用されるデータ点の数であり（ $n - 1$ に等しくすることができる）、 x_{n-i} は以前の観測信号値であり、 a_i は予測因子係数である。追加の予測値、例えば

10

20

30

40

$$\hat{x}_{n+1}$$

を生成するために、計算は、 n を増加させること、および x_{n-i} 中に以前に予測された値を使用することによって、繰り返すことができる。

【0030】

予測因子係数 a_i を生成するために、自己相関基準とも呼ばれる二乗平均平方根基準が使用される。信号 x_n の信号の自己相関は次式のように表すことができ、

$$R_i = E \{ x_n x_{n-i} \}$$

ここで、 R は信号 x_n の自己相関であり、 E は予測値関数（例えば平均値）である。自己相関基準は、 $1 < j < p$ として、次式のように表すことができる。

$$\sum_i^P a_i R_{i-j} = -R_j$$

【0031】

第2の実施態様では、線形予測がカルマンフィルタと合わせて使用される。従来のカルマンフィルタは、WelchおよびBishopの「An Introduction to the Kalman Filter」に記載されている。標準カルマンフィルタ（具体的には、「離散的カルマンフィルタ」）は、フィルタリングされる系のノイズ特性が式に含まれるので、平滑化機能を有する。標準カルマンフィルタはまた、現在および過去のデータに基づいて未来のデータ値を推定する予測ステップを用いる。この予測ステップは通常、1つのデータステップによって未来に拡張するだけである（すなわち、近い将来の予測）。しかし、この種類の近い将来の予測は、商業的に実行可能になるようにCMPモータトルクのフィルタ遅延を十分に低減することができない。標準カルマン予測ステップの代わりに線形予測を使用することによって、「修正カルマン」フィルタは、フィルタ遅延を有意に最小限にする。

【0032】

以下で説明するカルマン技法の実施態様には、状態変数の演繹的推定、およびこの演繹的推定の下流で別の計算の順序を決定するための修正された技法が含まれる。線形予測を使用する他の実施態様も可能であることを理解されたい。

【0033】

モータ電流監視技法またはモータトルク監視技法では、基板摩擦は対象となる変数である。しかし、測定される量は、上記のように研磨パッド全体にわたりキャリアヘッド140を掃引することによる系統的な正弦波外乱を含む合計摩擦である。以下の式では、状態変数 x は基板摩擦であるのに対し、測定された量 z は合計摩擦（例えばモータ電流測定値）である。

【0034】

特定の時間ステップ k について、状態変数の演繹的推定値

$$\hat{x}_k^-$$

が計算される。演繹的推定値

$$\hat{x}_k^-$$

は、ステップ k の前に測定された測定量 z の複数の値と、 z の複数の線形補間値との平均として計算することができる。周期的外乱が存在する場合、演繹的推定値

$$\hat{x}_k^-$$

は、測定データからなる周期の半分（「左側」すなわち過去の半分）および線形予測を用いて生成される周期の半分（「右側」すなわち未来の半分）を有する、1周期にわたる値から計算することができる。演繹的推定値

$$\hat{x}_k^-$$

は、測定量の平均、すなわち

$$\hat{x}_k^- = \bar{z}$$

として計算することができ、この平均は、時間ステップ k を中心にして 1 周期にわたって行われている。したがって、演繹的推定値

$$\hat{x}_k^-$$

は、測定データと線形予測データの両方を含む値の平均として計算することができる。モータトルク測定値の場合では、この周期はヘッド掃引周期になる。

【 0 0 3 5 】

例えば

$$\hat{x}_k^-$$

は次式のように計算することができ、

$$\hat{x}_k^- = \frac{1}{1+2L} \sum_{i=k-L}^{k+L} z_i \quad (\text{式 TT.1})$$

ここで、 $2L+1$ は計算で使用されたデータ点の数であり、 z_i は $L=0$ に対する z の以前の観測測定値であり、 z_{k-L} は $L < 0$ に対する z の予測値である。 z の予測値は、線形予測を使用して生成することができる。

【 0 0 3 6 】

CMP モータ電流またはモータトルクの測定値を含む場合では、摩擦に主に寄与するのは、正弦波に近い信号を時間の関数として示す掃引摩擦である。掃引摩擦を取り除くために、この手法では、測定信号を 1 つの掃引周期にわたって合計し、掃引周期内のデータ点の数で割り、それによって 1 つの掃引周期にわたって平均信号を得る。この平均信号により、基板摩擦の近似値が適切に求まる。この式は、正弦波の形で変化する掃引摩擦の挙動をフィルタ除去する。

【 0 0 3 7 】

標準カルマンフィルタでは、量 A は、それが演繹的推定値を計算するために使用されるので、演繹的推定が行われる前に計算される。この修正カルマン法では、 A は演繹的推定には使用されないが（上記の式 TT.1）、 P_k^- （演繹的推定誤差共分散）を含む次の時間更新式に必要な。1 つの実施態様では、 A の式は次の通りであり、

$$A = \hat{x}_k^- / \hat{x}_{k-1} \quad (\text{TT.2})$$

ここで

$$\hat{x}_{k-1}$$

は、以前のステップからの帰納的状态推定値である。

【 0 0 3 8 】

次に、演繹的推定誤差共分散 P_k^- が計算される。 P_k^- は、標準カルマン式

$$P_k^- = A^2 P_{k-1} + Q \quad (\text{TT.3})$$

を使用して計算することができる。この実施態様では、 A はスカラー量である。しかし、より一般的な場合では、 A は行列とすることができ、それに応じて式が修正される。

【 0 0 3 9 】

次に、残余 R_s および量 H を計算することができる。残余 R_s は H に依存せずに計算され、次に H が推定される。この残余は次式のように計算され、

$$R_s = \text{測定値} - \text{fut}[1] \quad (\text{MM.1})$$

ここで、 $fut[1]$ は測定の予測値であり、この予測値は、以前のすべての測定データについて線形予測式を使用して計算される。添え字 $[1]$ は、予測が未来の1つのステップで行われることを指す。

【0040】

いくつかの実施態様では、 Rs は次式のように計算することができ、

$$Rs = z_k - \sum_{i=1}^p a_i z_{k-i}$$

a_i の値は、線形予測について前述した通りに計算される。

10

【0041】

H は、次の式を使用して計算することができる。

$$H = \frac{fut[1]}{\hat{x}_k^-} \quad (MM.2)$$

【0042】

H 、 R および P_k^- が計算された後、測定更新式を実行することができる。

$$K_k = \frac{HP_k^-}{(H^2 P_k^- + R)} \quad (MM.3)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H \hat{x}_k^-) \quad (MM.4)$$

$$P_k = (1 - K_k H) P_k^- \quad (MM.5)$$

20

【0043】

上述の両実施形態では、従来の平滑化フィルタを用いたほどにはデータが平滑にならないことがあるというトレードオフによって、フィルタ遅延が低減する。

【0044】

図2は、「生」プラテントルク信号200と、生プラテントルク信号に修正フィルタの第1の実施態様を適用することによって生成されたフィルタリング済み信号210と、生プラテントルク信号に標準低域通過フィルタを適用することによって生成されたフィルタリング済み信号220とのグラフを示す。この修正されたフィルタは、遅延の大幅な低減を実現する。

30

【0045】

図3は、「生」ヘッドトルク信号300と、生ヘッドトルク信号に修正フィルタの第1の実施態様を適用することによって生成されたフィルタリング済み信号310と、生ヘッドトルクに標準低域通過フィルタを適用することによって生成されたフィルタリング済み信号320とのグラフを示す。修正されたフィルタは、依然として遅延の低減を実現するが、ウエハ摩擦の変化が小さいので遅延の低減は少しあるにすぎない。

【0046】

本明細書に記載の実施態様、および機能的動作のすべては、デジタル電子回路として、または、本明細書に開示された構造的手段およびその構造的等価物を含むコンピュータソフトウェア、ファームウェアもしくはハードウェアとして、またはこれらの組合せとして実施することができる。本明細書に記載の実施態様は、1つまたは複数の持続するコンピュータプログラム製品として、すなわちデータ処理装置（例えばプログラム可能プロセッサ、コンピュータ、または複数のプロセッサもしくはコンピュータ）によって実行するための、またはデータ処理装置の動作を制御するための、機械読取り可能記憶デバイス内に有形に具現化された1つまたは複数のコンピュータプログラムとして、実施することができる。

40

【0047】

コンピュータプログラム（プログラム、ソフトウェア、ソフトウェアアプリケーションまたはコードとしても知られている）は、コンパイルまたは翻訳された言語を含むプログラミング言語の任意の形で書くことができ、また独立型プログラムとして、またはモジュ

50

ール、構成要素、サブルーチン、もしくは計算環境で使用するのに適している他のユニットとして配置することを含め、任意の形で配置することができる。1つのコンピュータプログラムは、必ずしも1つのファイルに対応しない。プログラムは、他のプログラムまたはデータを保持するファイルの一部分、問題になっているプログラム専用の単一のファイル、または複数の協調的なファイル（例えば、1つまたは複数のモジュール、サブプログラム、またはコードの一部分を収納するファイル）に収納することができる。コンピュータプログラムは、1つのコンピュータ上で実行されるように配置すること、あるいは1つの場所にある、または複数の場所にわたって分散された、通信ネットワークによって相互接続された複数のコンピュータ上で実行されるように配置することができる。

【0048】

10

本明細書に記載の処理および論理の流れは、1つまたは複数のプログラム可能プロセッサによって実施することができ、このプロセッサは、1つまたは複数のコンピュータプログラムを実行して、入力データに対して動作し出力を生成することによって諸機能を実施する。処理および論理の流れはまた、例えばFPGA（フィールドプログラマブルゲートアレイ）またはASIC（特定用途向け集積回路）である専用論理回路によって実施することができ、この専用論理回路として装置を実装することもできる。

【0049】

「データ処理装置」という用語は、1つのプログラム可能プロセッサ、コンピュータ、または複数のプロセッサもしくはコンピュータを例として含む、データを処理するためのすべての装置、デバイスおよび機械を包含する。装置は、ハードウェアに加えて、問題になっているコンピュータプログラムの実行環境を作り出すコード（例えば、プロセッサファームウェア、プロトコルスタック、データベース管理システム、オペレーティングシステム、またはこれらの1つまたは複数の組合せを構成するコード）を含むことができる。コンピュータプログラムを実行するのに適しているプロセッサには、例として、汎用および専用の両方のマイクロプロセッサ、および任意の種類のデジタルコンピュータの任意の1つまたは複数のプロセッサが含まれる。

20

【0050】

コンピュータプログラム命令およびデータを収納するのに適しているコンピュータ読取り可能媒体には、半導体メモリデバイス（例えばEPROM、EEPROM、およびフラッシュメモリデバイス）、磁気ディスク（例えば、内蔵ハードディスクまたは着脱可能なディスク）、光磁気ディスク、ならびにCD-ROMおよびDVD-ROMディスクを例として含む、あらゆる形の不揮発性メモリ、媒体およびメモリデバイスが含まれる。プロセッサおよびメモリは、専用論理回路によって補足すること、または専用論理回路に組み込むことができる。

30

【0051】

上述の研磨装置および方法は、種々の研磨システムに適用することができる。研磨パッドもしくはキャリアヘッド、または両方が、研磨面とウエハの間の相対運動をするように動くことができる。例えば、プラテンは回転するのではなく、軌道を描いて回ることができる。研磨パッドは、プラテンに固定された円形（または何か他の形状の）パッドとすることができる。終点検出システムのいくつかの態様は、直線的研磨システムに適用可能でありうる（この場合、例えば研磨パッドは、直線的に動く連続ベルトまたはリール間ベルトである）。研磨層は、標準的な（例えば、充填剤を加えた、または加えないポリウレタンの）研磨材料、軟化材料、または固定研磨材料とすることができる。相対的位置決めという用語が使用され、研磨面とウエハは、垂直配向にもいくつか別の配向にも保持できることを理解されたい。

40

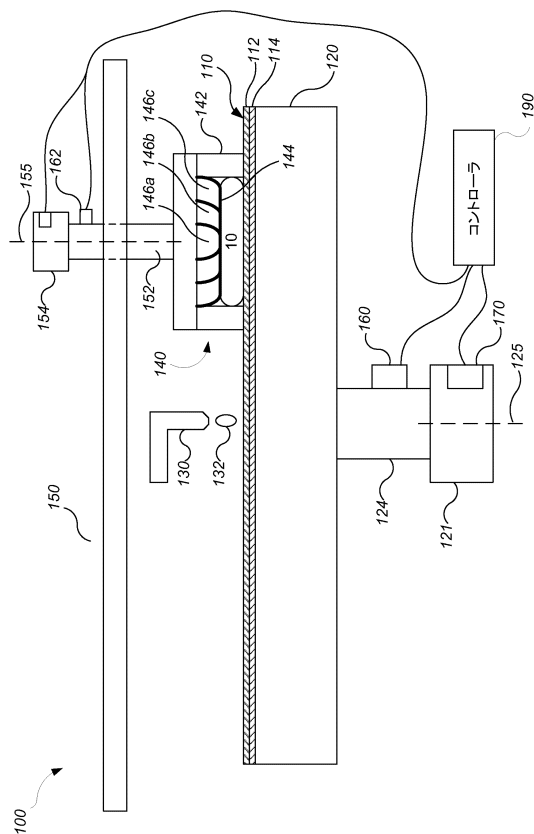
【0052】

本明細書は多くの細目を含むが、これらは、特許請求することができる範囲の制限事項としてではなく、むしろ特定の発明の特定の実施形態に特定のでありうる特徴の説明として解釈されるべきである。いくつかの実施態様では、本方法は、上にある材料と下にある材料の別の組合せに適用すること、および別の種類のインシトゥ監視システム（例えば、

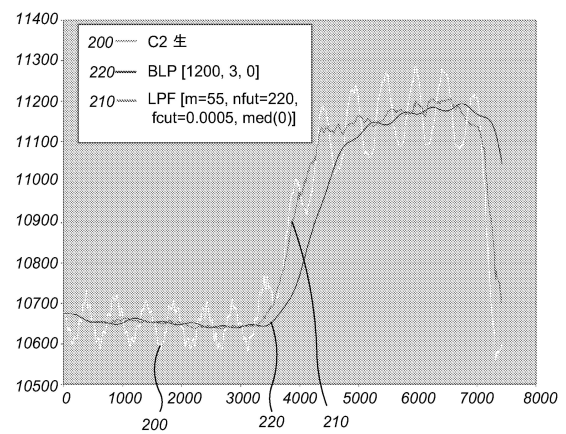
50

光学的監視システムまたは渦電流監視システム)からの信号に適用することができる。

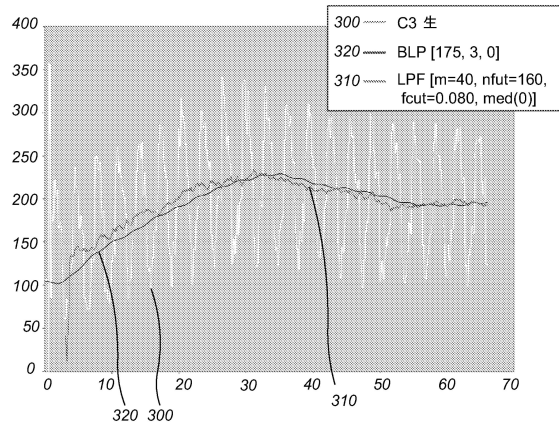
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 ベンヴェニユ , ドミニク ジェイ .
アメリカ合衆国 カリフォルニア 94020 , ラ ホンダ , ビバリー ドライブ 241

審査官 内田 正和

(56)参考文献 特開2009-059828(JP,A)
特開2002-222000(JP,A)
米国特許第06747283(US,B1)
米国特許第06290572(US,B1)
米国特許第06293845(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)
H01L 21/304
B23Q 17/09
B24B 37/013