

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-1296

(P2018-1296A)

(43) 公開日 平成30年1月11日(2018.1.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 4 B 37/34 (2012.01)	B 2 4 B 37/00 X	3 C 1 5 8
H O 1 L 21/304 (2006.01)	H O 1 L 21/304 6 2 2 S	5 F O 5 7

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2016-127611 (P2016-127611)	(71) 出願人	000000239
(22) 出願日	平成28年6月28日 (2016. 6. 28)		株式会社荏原製作所
			東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100106208
			弁理士 宮前 徹
		(74) 代理人	100146710
			弁理士 鐘ヶ江 幸男
		(74) 代理人	100117411
			弁理士 串田 幸一
		(74) 代理人	100186613
			弁理士 渡邊 誠

最終頁に続く

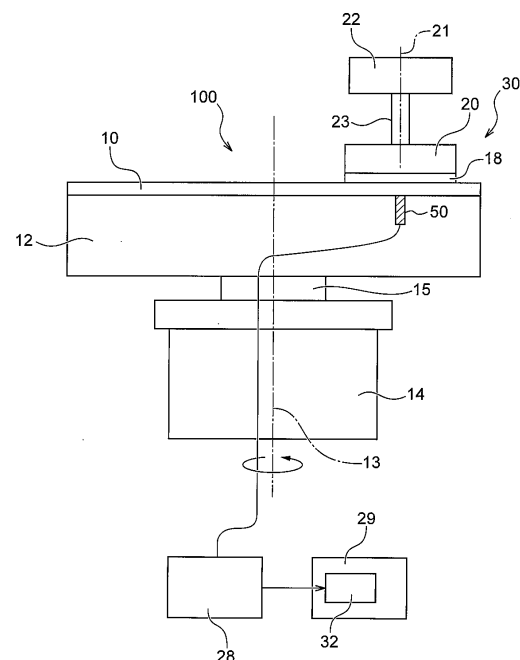
(54) 【発明の名称】 研磨装置、研磨方法、及び研磨制御プログラム

(57) 【要約】

【課題】処理システムなどの遅れ時間による測定誤差を補正して、現在の膜厚に相当するデータを推定できる研磨装置を提供する。

【解決手段】研磨部 30 は半導体ウエハ 18 の研磨を行う。渦電流センサ 50 は、半導体ウエハ 18 の膜厚の変化に応じて変化可能な渦電流を、複数の測定時刻において測定する。センサ処理部 28 は、渦電流センサ 50 が測定した渦電流に基づいて、測定時刻における半導体ウエハ 18 の膜厚を算出する。膜厚予測部 32 は、算出された膜厚を用いて、測定時刻から処理遅れ時間経過した後における膜厚を予測する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

研磨対象物を研磨する研磨装置において、
前記研磨対象物の研磨を行う研磨部と、
前記研磨対象物の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の測定時刻において測定する測定部と、
前記測定部が測定した前記物理量に基づいて、前記測定時刻における前記研磨対象物の膜厚に相当するデータを算出する膜厚算出部と、
算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から処理遅れ時間経過した後における前記データを予測する膜厚予測部と、
を有することを特徴とする研磨装置。

10

【請求項 2】

前記膜厚予測部は、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後における前記データの変化量を予測し、予測された前記変化量を用いて、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後における前記データを予測することを特徴とする請求項 1 に記載の研磨装置。

【請求項 3】

前記膜厚予測部は、算出された前記データを用いて、研磨レートを算出し、算出された前記研磨レートを用いて前記変化量を予測することを特徴とする請求項 2 に記載の研磨装置。

20

【請求項 4】

前記測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後とは、前記測定時刻に前記測定部が前記物理量を測定した後、前記膜厚算出部が当該物理量に基づいて、前記研磨対象物の前記データの算出が終了可能な時であることを特徴とする請求項 1 から 3 までのいずれか一項に記載の研磨装置。

【請求項 5】

前記測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後とは、前記測定時刻に前記測定部が前記物理量を測定した後、前記膜厚予測部が、算出された前記データを用いて、前記データの予測が終了可能な時であることを特徴とする請求項 1 から 3 までのいずれか一項に記載の研磨装置。

30

【請求項 6】

研磨対象物を研磨する研磨方法において、
前記研磨対象物の研磨を行う研磨ステップと、
前記研磨対象物の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の測定時刻において測定する測定ステップと、
前記測定ステップで測定した前記物理量に基づいて、前記測定時刻における前記研磨対象物の膜厚に相当するデータを算出する膜厚算出ステップと、
算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から処理遅れ時間経過した後における前記データを予測する膜厚予測ステップと、
を有することを特徴とする研磨方法。

40

【請求項 7】

前記膜厚予測ステップは、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後における前記データの変化量を予測し、予測された前記変化量を用いて、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後における前記データを予測することを特徴とする請求項 6 に記載の研磨方法。

【請求項 8】

50

研磨対象物の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の測定時刻において測定する測定部を有する研磨対象物を研磨する研磨装置の制御に用いる研磨制御プログラムにおいて、

コンピュータを、

前記測定部が測定した前記物理量に基づいて、前記測定時刻における前記研磨対象物の膜厚に相当するデータを算出する膜厚算出部、及び

算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から処理遅れ時間経過した後における前記データを予測する膜厚予測部、

として機能させることを特徴とする研磨制御プログラム。

10

【請求項 9】

前記膜厚予測部は、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後における前記データの変化量を予測し、予測された前記変化量を用いて、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後における前記データを予測することを特徴とする請求項 9 に記載の研磨制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、研磨対象物の表面を研磨する研磨装置、特に、膜厚に相当するデータを予測する研磨装置、及び該装置を用いて研磨を行う研磨方法に関する。また、本発明は、研磨装置を制御する研磨制御プログラムに関する。

20

【背景技術】

【0002】

近年、半導体デバイスの高集積化が進むにつれて回路の配線が微細化し、配線間距離もより狭くなりつつある。そこで、研磨対象物である半導体ウェハの表面を平坦化することが必要となるが、この平坦化法の一手段として化学的機械的研磨（CMP）装置により研磨することが行われている。

【0003】

研磨装置は、研磨対象物を研磨するための研磨パッドを保持するための研磨テーブルと、研磨対象物を保持して研磨パッドに押圧するためのトップリングを備える。研磨テーブルとトップリングはそれぞれ、駆動部（例えばモータ）によって回転駆動される。研磨剤を含む液体（スラリー）を研磨パッド上に流し、そこにトップリングに保持された研磨対象物を押し当てることにより、研磨対象物は研磨される。

30

【0004】

研磨装置では、研磨対象物の研磨が不十分であると、回路間の絶縁がとれず、ショートするおそれが生じ、また、過研磨となった場合は、配線の断面積が減ることによる抵抗値の上昇、又は配線自体が完全に除去され、回路自体が形成されないなどの問題が生じる。また、表面全体にわたって精度よく平坦にする必要がある。このため、研磨装置では、最適な研磨終点を検出することや、表面全体にわたって精度よく研磨量を検出することが求められる。

40

【0005】

このような技術としては、特開 2012-135865 号に記載の渦電流式終点検知センサ（以下では、「渦電流センサ」と呼ぶ。）等がある。この渦電流センサにおいては、ソレノイド型又は渦巻型のコイルにより研磨対象物内の渦電流検出が行われる。研磨対象物の膜厚が変化することにより、渦電流が増加または減少する。

【0006】

研磨終点検出手段の他の方法として、研磨対象物の膜厚が変化して、研磨が異材質の物質へ移行した際の研磨摩擦力の変化を検出する方法も知られている。また、研磨対象物の表面の反射率の変化を検出する方法もある。

50

【 0 0 0 7 】

研磨中に研磨対象の膜厚を測定するこれらのセンサの出力に対して、ノイズ除去等のために、センサの出力を平均化する処理やノイズフィルタ処理、及びノ又は増幅する処理などの処理が行われる。これらの処理は、アナログ回路、又はデジタル回路（ソフトウェア等）による処理システムによって行われる。これらの処理が複雑な場合、センサでの測定時と処理終了時との間に遅れ（タイムラグ）が生じる。また、これらの処理のために、研磨装置内通信システムにおいて、又は研磨装置と他の装置との間の通信システムにおいて、データの送受信が行われることもある。データの送受信用通信システムに起因する遅れが生じることもある。この結果、研磨装置が終点検出や種々のコントロールに使用する膜厚データを把握することは、完全にはリアルタイムになりえない。アナログ回路、又はデジタル回路による処理システムや通信システムが処理している間にも研磨は進行するため、処理システムや通信システムが、処理終了時に把握する膜厚と、処理終了時における実際の膜厚には誤差が生じている。

10

【 0 0 0 8 】

半導体デバイスの微細化が進むにつれて、必要な研磨量が減り、研磨時間も短くなってきている一方で、膜厚の測定精度への要求は高まっている。そのため、処理システムや通信システムによる処理遅れに伴う処理システムや通信システムが把握する膜厚の時間的遅れの影響が大きくなっている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

20

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 2 - 1 3 5 8 6 5 号

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

本発明は、このような問題点を解消すべくなされたもので、その目的は、処理システムなどの遅れ時間による測定誤差を補正して、処理システムの処理終了時の膜厚に相当するデータを推定できる研磨装置、研磨方法、及び研磨制御プログラムを提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

30

【 0 0 1 1 】

上記課題を解決するために、第 1 の形態では、研磨対象物を研磨する研磨装置において、前記研磨対象物の研磨を行う研磨部と、前記研磨対象物の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の測定時刻において測定する測定部と、前記測定部が測定した前記物理量に基づいて、前記測定時刻における前記研磨対象物の膜厚に相当するデータを算出する膜厚算出部と、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から処理遅れ時間経過した後におけるデータを予測する膜厚予測部と、を有することを特徴とする研磨装置、という構成を採っている。

【 0 0 1 2 】

本形態によれば、物理量の測定後における通信システムや処理システムなどの処理時間に起因した、測定部による測定が行われた測定時刻と、これらのシステムによる処理が終了した処理終了時刻との間の時間の差、すなわち、「処理遅れ時間」による測定誤差を補正できる。補正により、より正確に処理終了時刻での膜厚に相当するデータが推定されて、研磨の終点検知精度が向上する。すなわち、処理システムの遅延を補償して、終点検出の遅延を防止できる。

40

【 0 0 1 3 】

ここで、「膜厚に相当するデータ」とは、(1) 膜厚、(2) 膜厚に所定数を乗じたデータ、(3) 膜厚に所定数を加算又は減算したデータ、(4) (2) と (3) を組み合わせたデータ等が含まれる。(1) ~ (4) のデータにより、膜厚の変化をモニターすることが可能であり、研磨の終点検知、又は研磨状態のモニターが可能になる。なお、(2) ~ (4) における所定数は、

50

測定中、一定の数値でもよいが、膜の状態の時間変化、研磨部(例えば、研磨パッド)の状態の時間変化等を考慮して、測定中、変更してもよい。

【0014】

また、本実施形態によれば、従来よりも正確に膜厚に相当するデータが推定できるため、クローズループ制御(Close-loop control:CLC)の性能が向上する。なお、クローズループ制御とは、研磨結果のデータ(膜厚に相当するデータ)を、研磨装置の制御装置にフィードバックして、制御装置が研磨状態を判断し、制御装置からの指令によって研磨部を制御する方式である。

【0015】

化学的機械的研磨中のin-situ膜厚測定において、研磨中に研磨対象の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量としては、渦電流や、膜の表面の光学反射率等がある。渦電流は、膜の電気伝導率及び膜厚に依存する。これらの物理量をセンサ(測定部)が測定した後、ノイズ除去や信号増幅等を目的として、測定値の時間平均処理や、補正処理などの処理が行われて、時間遅れが生じる。研磨装置の制御システムが、終点検出や種々の研磨状態のコントロールに使用する膜厚に相当するデータは、処理等に要した時間分、古いデータである。

10

【0016】

遅れ時間は、例えば、0.2~1秒程度である。遅れ時間は、実際に測定して処理遅れ時間としてシステムに組み込むことができる。通信システムや処理システムによる遅れは、一定の値(一定の時間)としてよい。また、研磨の進行に合わせて、又は、研磨条件に応じて可変としてもよい。

20

【0017】

処理遅れ時間経過した時の膜厚に相当するデータの計算には、スプライン補間等を使用してもよい。スプライン補間とは、複数の測定データを通る滑らかな曲線(スプライン曲線)を用いた補間である。スプライン補間曲線では、隣り合う測定データに挟まれた各区间に対し、個別の多項式、例えば3次式を用いる。

【0018】

第2の形態では、前記膜厚予測部は、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後におけるデータの変化量を予測し、予測された前記変化量を用いて、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後におけるデータを予測することを特徴とする研磨装置という構成を採っている。

30

【0019】

第3の形態では、前記膜厚予測部は、算出された前記データを用いて、研磨レートを算出し、算出された前記研磨レートを用いて前記変化量を予測することを特徴とする研磨装置という構成を採っている。なお研磨レートとは、単位時間当たり(例えば1秒当たり)の研磨量(前記膜厚に相当するデータの変化量)である。

【0020】

本実施形態では、膜厚に相当するデータの時系列データより、研磨レートを用いることにより、処理システムの遅延を補償し、終点検出の遅延を防止できる。

40

【0021】

第4の形態では、前記測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後とは、前記測定時刻に前記測定部が前記物理量を測定した後、前記膜厚算出部が当該物理量に基づいて、前記研磨対象物の前記データの算出が終了可能な時であることを特徴とする研磨装置という構成を採っている。

【0022】

第5の形態では、前記測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後とは、前記測定時刻に前記測定部が前記物理量を測定した後、前記膜厚予測部が、算出された前記データを用いて、データの予測が終了可能な時であることを特徴とする研磨装置という構成を採っている。

50

【 0 0 2 3 】

第 6 の形態では、研磨対象物を研磨する研磨方法において、前記研磨対象物の研磨を行う研磨ステップと、前記研磨対象物の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の測定時刻において測定する測定ステップと、前記測定ステップで測定した前記物理量に基づいて、前記測定時刻における前記研磨対象物の膜厚に相当するデータを算出する膜厚算出ステップと、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から処理遅れ時間経過した後におけるデータを予測する膜厚予測ステップと、を有することを特徴とする研磨方法という構成を採っている。

【 0 0 2 4 】

第 7 の形態では、前記膜厚予測ステップは、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後におけるデータの変化量を予測し、予測された前記変化量を用いて、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後におけるデータを予測することを特徴とする研磨方法という構成を採っている。

【 0 0 2 5 】

第 8 の形態では、研磨対象物の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の測定時刻において測定する測定部を有する研磨対象物を研磨する研磨装置の制御に用いる研磨制御プログラムにおいて、コンピュータを、前記測定部が測定した前記物理量に基づいて、前記測定時刻における前記研磨対象物の膜厚に相当するデータを算出する膜厚算出部、及び算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から処理遅れ時間経過した後におけるデータを予測する膜厚予測部、として機能させることを特徴とする研磨制御プログラムという構成を採っている。

【 0 0 2 6 】

第 9 の形態では、前記膜厚予測部は、算出された前記データを用いて、前記測定時刻のうちの少なくとも一部の測定時刻について、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後におけるデータの変化量を予測し、予測された前記変化量を用いて、当該測定時刻から前記処理遅れ時間経過した後におけるデータを予測することを特徴とする研磨制御プログラムという構成を採っている。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 7 】

【 図 1 】 図 1 は、本実施形態に係る研磨装置の基本構成を示す図である。

【 図 2 】 図 2 は、渦電流センサの構成を示す図であり、図 2 (a) は渦電流センサの構成を示すブロック図であり、図 2 (b) は渦電流センサの等価回路図である。

【 図 3 】 図 3 は、本実施形態の渦電流センサにおけるセンサコイルの構成例を示す概略図である。

【 図 4 】 図 4 (a) は、半導体ウエハ 1 8 の実際の膜厚を示すグラフであり、図 4 (b) は、センサ処理部 2 8 が出力する半導体ウエハ 1 8 の膜厚を示すグラフであり、図 4 (c) は、膜厚予測部 3 2 が出力する半導体ウエハ 1 8 の予測された膜厚を示すグラフである。

【 図 5 】 図 5 は、所定の膜厚まで研磨を行い、所定の膜厚に到達すると研磨を終了する場合のフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 8 】

以下、本発明の一実施形態に係る研磨装置を図面に基づいて説明する。始めに、研磨装置の基本構成について説明し、その後、研磨対象物の研磨終点の検出について説明する。

【 0 0 2 9 】

図 1 は、本実施形態に係る研磨装置 1 0 0 の基本構成を示す図である。半導体ウエハ (研磨対象物) 1 8 を研磨する研磨装置 1 0 0 は、半導体ウエハ 1 8 の研磨を行う研磨部 3 0 と、渦電流センサ (測定部) 5 0 と、センサ処理部 (膜厚算出部) 2 8 とを有する。渦電流センサ 5 0 は、半導体ウエハ 1 8 の膜厚の変化に応じて変化可能な物理量を、複数の

10

20

30

40

50

測定時刻において測定する。センサ処理部 28 は、渦電流センサ 50 が測定した渦電流に基づいて、各測定時刻における半導体ウエハ 18 の膜厚に相当するデータを算出する。

【0030】

本実施形態での測定時刻は、例えば、0.5 秒間隔の時刻である。本実施形態での物理量は、半導体ウエハ 18 内の渦電流である。半導体ウエハ 18 の膜厚が変化することにより、渦電流が増加または減少する。なお、本発明での膜厚の変化に応じて変化可能な物理量は、渦電流に限られない。物理量は、研磨時の研磨摩擦力や、研磨対象物の表面の反射率でもよい。

【0031】

研磨装置 100 は、さらに、制御部 29 を有する。制御部 29 は、膜厚予測部 32 を含む。膜厚予測部 32 は、センサ処理部 28 により算出された膜厚に相当するデータを用いて、各測定時刻について、測定時刻から処理遅れ時間経過した後における膜厚に相当するデータを予測する。本実施形態における膜厚に相当するデータは、後述するインピーダンス Z の大きさ（絶対値）から得られる膜厚である。

10

【0032】

膜厚予測部 32 は、算出された膜厚を用いて、各測定時刻について、処理遅れ時間経過した後における膜厚の変化量を予測し、予測された変化量を用いて、測定時刻から処理遅れ時間経過した後における膜厚を予測する。なお、本発明は、膜厚の変化量を予測し、予測された変化量を用いて、膜厚を予測する方法に限られるものではない。例えば、膜厚の変化量を予測することなく、直接、膜厚を予測してもよい。直接、膜厚を予測する方法としては、算出された膜厚を用いて、スプライン補間により、測定時刻から処理遅れ時間経過した後における膜厚を予測してもよい。

20

【0033】

膜厚予測部 32 は、算出された膜厚を用いて、研磨レートを算出し、算出された研磨レートを用いて前記変化量を予測する。研磨レートの算出方法の詳細は後述する。

【0034】

本実施形態における測定時刻から処理遅れ時間経過した後とは、測定時刻に渦電流センサ 50 が渦電流を測定した後、センサ処理部 28 が渦電流に基づいて、半導体ウエハ 18 の膜厚の算出が終了した時である。処理遅れ時間経過した後とは、例えば、渦電流センサ 50 が渦電流を測定した後、0.2 秒後である。なお、本発明は、処理遅れ時間経過した後として、センサ処理部 28 が渦電流に基づいて、半導体ウエハ 18 の膜厚の算出が終了した時に限られるものではない。例えば、測定時刻から処理遅れ時間経過した後とは、測定時刻に渦電流センサ 50 が渦電流を測定した後、膜厚予測部 32 が、算出された膜厚を用いて、膜厚の予測が終了可能な時としてもよい。

30

【0035】

図 1 により、研磨部 30 の詳細について説明する。研磨部 30 は、研磨パッド 10 を上面に取付け可能な研磨テーブル 12 と、研磨テーブル 12 を回転駆動する第 1 の電動モータ 14 と、半導体ウエハ 18 を保持可能なトップリング 20 と、トップリング 20 を回転駆動する第 2 の電動モータ 22 と、を備えている。第 1 の電動モータ 14 のロータは、モータシャフト 15 に接続されており、モータシャフト 15 により研磨テーブル 12 が回転駆動される。

40

【0036】

トップリング 20 は、図示しない保持装置により、研磨テーブル 12 に近づけたり遠ざけたりすることができるようになっている。半導体ウエハ 18 を研磨するときは、トップリング 20 を研磨テーブル 12 に近づけることにより、トップリング 20 に保持された半導体ウエハ 18 を、研磨テーブル 12 に取り付けられた研磨パッド 10 に当接させる。

【0037】

半導体ウエハ 18 を研磨するときは、研磨テーブル 12 が回転駆動された状態で、トップリング 20 に保持された半導体ウエハ 18 が研磨パッド 10 に押圧される。また、トップリング 20 は、第 2 の電動モータ 22 によって、研磨テーブル 12 の回転軸 13 とは偏

50

心した軸線 2 1 の回りに回転駆動される。半導体ウエハ 1 8 を研磨する際は、研磨材を含む研磨砥液が、図示しない研磨材供給装置から研磨パッド 1 0 の上面に供給される。トップリング 2 0 にセットされた半導体ウエハ 1 8 は、トップリング 2 0 が第 2 の電動モータ 2 2 によって回転駆動されている状態で、研磨砥液が供給された研磨パッド 1 0 に押圧される。

【 0 0 3 8 】

研磨テーブル 1 2 の内部には、渦電流センサ 5 0 が埋設されている。渦電流センサ 5 0 の接続ケーブルは、研磨テーブル 1 2 のモータシャフト 1 5 内を通り、モータシャフト 1 5 の軸端に設けられたロータリジョイント（図示せず）を経由して、センサ処理部 2 8 に接続されている。

10

【 0 0 3 9 】

次に、本実施形態に係る研磨装置が備える渦電流センサ 5 0 について、図 2 から図 3 を用いて説明する。

【 0 0 4 0 】

図 2 は、渦電流センサ 5 0 の構成を示す図であり、図 2 (a) は渦電流センサ 5 0 の構成を示すブロック図であり、図 2 (b) は渦電流センサ 5 0 の等価回路図である。

【 0 0 4 1 】

図 2 (a) に示すように、渦電流センサ 5 0 は、検出対象の金属膜（または導電性膜） $m f$ の近傍にセンサコイル 5 1 を配置し、そのコイルに交流信号源 5 2 が接続されている。ここで、検出対象の金属膜（または導電性膜） $m f$ は、例えば半導体ウエハ 1 8 上に形成された $C u$, $A l$, $A u$, W などの薄膜である。センサコイル 5 1 は、検出用のコイルであり、検出対象の金属膜（または導電性膜）に対して、例えば 1 . 0 ~ 4 . 0 mm 程度の近傍に配置される。

20

【 0 0 4 2 】

渦電流センサには、金属膜（または導電性膜） $m f$ に渦電流が生じることにより、発振周波数が変化し、この周波数変化から金属膜（または導電性膜）を検出する周波数タイプと、インピーダンスが変化し、このインピーダンス変化から金属膜（または導電性膜）を検出するインピーダンスタイプとがある。即ち、周波数タイプでは、図 2 (b) に示す等価回路において、渦電流 I_2 が変化することで、インピーダンス Z が変化する。インピーダンス Z が変化すると、信号源（可変周波数発振器）5 2 の発振周波数が変化する。発振周波数が変化すると、検波回路 5 4 でこの発振周波数の変化を検出し、金属膜（または導電性膜）の変化を検出することができる。交流信号源 5 2 と検波回路 5 4 によりセンサ処理部 2 8 が構成される。

30

【 0 0 4 3 】

インピーダンスタイプでは、図 2 (b) に示す等価回路において、渦電流 I_2 が変化することで、インピーダンス Z が変化する。インピーダンス Z が変化すると、信号源（固定周波数発振器）5 2 から見たインピーダンス Z が変化する。検波回路 5 4 でこのインピーダンス Z の変化を検出し、金属膜（または導電性膜）の変化を検出することができる。本実施形態における膜厚に相当するデータは、インピーダンス Z の大きさ（絶対値）からセンサ処理部 2 8 によって得られる。具体的には、検波回路 5 4 は、例えば、インピーダンス Z に所定数を乗じて、実際の膜厚と一致する値を膜厚予測部 3 2 に出力する。従って、検波回路 5 4 の出力、すなわちセンサ処理部 2 8 の出力は、本実施形態では、実際の膜厚と一致する値である。

40

【 0 0 4 4 】

インピーダンスタイプの渦電流センサでは、信号出力 X 、 Y 、位相、インピーダンス Z 等、が取り出し可能である。信号出力 X 、 Y とは、それぞれインピーダンス Z の実数成分、虚数成分である。周波数 F 、またはインピーダンス Z 等から、金属膜（または導電性膜） $C u$, $A l$, $A u$, W の膜厚の測定情報が得られる。渦電流センサ 5 0 は、研磨テーブル 1 2 の内部の表面付近の位置に内蔵することができる。渦電流センサ 5 0 は、研磨対象の半導体ウエハに対して研磨パッドを介して対面するように位置する。渦電流センサ 5

50

0 は、半導体ウエハ上の金属膜（または導電性膜）に流れる渦電流から金属膜（または導電性膜）の膜厚の変化を検出することができる。

【0045】

図3は、本実施形態の渦電流センサ50におけるセンサコイルの構成例を示す概略図である。図3に示すように、センサコイル51は、金属膜（または導電性膜）に渦電流を形成するためのコイルと、金属膜（または導電性膜）の渦電流を検出するためのコイルとを分離したものである。センサコイル51は、ボビン71に巻回された3層のコイル72, 73, 74により構成されている。ここで中央のコイル72は、交流信号源52に接続される発振コイルである。この発振コイル72は、交流信号源52より供給される電圧の形成する磁界により、近傍に配置される半導体ウエハ18上の金属膜（または導電性膜）m
fに渦電流を形成する。ボビン71の上側（金属膜（または導電性膜）側）には、検出コイル73が配置され、金属膜（または導電性膜）に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。そして、発振コイル72の検出コイル73と反対側にはバランスコイル74が配置されている。バランスコイル74は、測定に用いる抵抗ブリッジ回路でバランスの調整を行うためのものである。バランスコイル74により、ゼロ点の調整が可能である。従って、金属膜（または導電性膜）に流れる渦電流をゼロの状態から検出することが可能になるので、金属膜（または導電性膜）中の渦電流の検出感度が高められる。

【0046】

次に、制御部29内の膜厚予測部32における処理について、図4により具体的に説明する。図4(a)は、研磨時間の経過に伴う半導体ウエハ18の実際の膜厚を示すグラフである。図4(b)は、研磨時間の経過に伴うセンサ処理部28が出力する半導体ウエハ18の膜厚を示すグラフであり、図4(c)は、膜厚予測部32が出力する半導体ウエハ18の予測された膜厚を示すグラフである。これらのグラフの横軸は共通であり、時間を示す。その単位は、秒である。これらのグラフの縦軸は膜厚であり、同一スケールである。その単位は、 μm である。図4(a)に示す曲線34は、時間とともに研磨が進み、膜厚が薄くなることを示す。

【0047】

時刻 $t_1 \sim t_4$ 、 $t_6 \sim t_{10}$ は、渦電流センサ50により測定が行われ、その出力がセンサ処理部28に送られる時刻を示す。図4(b)に示すセンサ処理部28の出力は、本実施形態では、実際の膜厚と一致する値である。但し、渦電流センサ50から入力を受けてから、センサ処理部28が出力するまでの時間に遅れがあるため、図4(a)のグラフと図4(b)のグラフとの間にはずれがある。

【0048】

図4では、時刻 t_4 までの測定と処理が行われている。膜厚 $s_1 \sim s_4$ は、センサ処理部28の出力であり、それぞれ、時刻 $t_1 \sim t_4$ での渦電流センサ50からの入力を処理した結果である。時刻 $t_1 \sim t_4$ と、膜厚 $s_1 \sim s_4$ が出力される時間との間には、時間差36がある。膜厚 $r_1 \sim r_4$ は、膜厚予測部32が出力する膜厚であり、時間遅れが補正された膜厚である。膜厚 $r_1 \sim r_4$ は、時刻 $t_1 \sim t_4$ に実際の測定により得られた値であるため、時間差36だけ、膜厚 $s_1 \sim s_4$ を戻す操作をすることにより、膜厚 $r_1 \sim r_4$ は得られる。膜厚 $s_1 \sim s_4$ と、膜厚 $r_1 \sim r_4$ は、それぞれ、同じ値である。時間差36が、センサ処理部28が処理に要する時間である。曲線40は、実際の膜厚を示す曲線であり、曲線42は、予測された膜厚を示す曲線である。

【0049】

本実施形態における測定時刻から処理遅れ時間経過した後とは、測定時刻に渦電流センサ50が渦電流を測定した後、センサ処理部28が渦電流に基づいて、半導体ウエハ18の膜厚の算出が終了した時である。処理遅れ時間が、時間差36に相当する。処理遅れ時間経過した後が時刻 t_5 である。時間差36は、例えば、渦電流センサ50が渦電流を測定した時刻 t_4 から、0.2秒後である。本実施形態では、膜厚予測部32での処理に要する時間は無視できる。図4においては、膜厚 $r_1 \sim r_4$ は、過去のデータ44であり、膜厚 r_5 が最新の予測データである。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

時刻 $t_1 \sim t_4$ 、 $t_6 \sim t_{10}$ では、実際の測定値を得ることができる。しかし、時刻 $t_1 \sim t_4$ 、 $t_6 \sim t_{10}$ の中間の時刻、例えば、センサ処理部 28 が膜厚 s_4 を出力する時刻 t_5 においては、実際の膜厚は不明である。膜厚予測部 32 は、時刻 t_5 における膜厚を予測する。膜厚予測部 32 は、すでに算出された膜厚 $s_1 \sim s_4$ を用いて、測定時刻 t_4 以前における研磨レートを算出し、算出された研磨レートを用いて、時刻 t_5 における膜厚 r_5 を予測する。時刻 t_4 における研磨レート $R(t_4)$ は、時刻 t_3 における膜厚 s_3 と、時刻 t_4 における膜厚 s_4 から次式により求める。

$$R(t_4) = (s_4 - s_3) / (t_4 - t_3) \cdots (1) \text{式}$$

時刻 t_5 における膜厚 r_5 は次式により求める。

$$r_5 = r_4 + R(t_4) * (t_5 - t_3) \cdots (2) \text{式}$$

図 4(c) に示す変化量 38 が、膜厚 r_4 と膜厚 r_5 との差であり、(2) 式の $R(t_4) * (t_5 - t_3)$ である。

【 0 0 5 1 】

研磨レートの算出方法は、(1) 式のものに限られない。すなわち、研磨レートとして、研磨レート $R(t_4)$ のみを用いることに限られない。他の方法としては、時刻 $t_1 \sim t_3$ についても、(1) 式と同様に研磨レート $R(t_1) \sim R(t_3)$ を求めて、これらの 4 個の研磨レート $R(t_1) \sim R(t_4)$ の平均を、(2) 式の $R(t_4)$ の代わりに用いてもよい。なお、変化量を求めずに、スプライン補間により、直接、膜厚 $r_1 \sim r_4$ から膜厚 r_5 を求めてもよい。

【 0 0 5 2 】

膜厚予測部 32 を含む制御部 29 は、研磨装置 100 全体の制御に用いる研磨制御プログラムを実行する。制御部 29 は、図示しない磁気ハードディスク装置や半導体記憶装置などの記憶装置を有し、センサ処理部 28 によって生成された膜厚データをデータベースとして記憶する。記憶装置は、各時刻と、その時刻における各膜厚とを対応付けて、時系列に沿って記憶する。制御部 29 は、図示しない演算部を有し、記憶装置に記憶されているデータに基づいて、研磨レートを推定し、膜厚を予測する。制御部 29 は、バスで接続された CPU (Central Processing Unit) やメモリや補助記憶装置を備える。演算部は、プログラムを実行することによって、センサ処理部 28、及び膜厚予測部 32 として機能する。

【 0 0 5 3 】

上記のように構成される研磨装置 100 における半導体ウエハ 18 を研磨する研磨方法について、図 5 により説明する。図 5 は、所定の膜厚まで研磨を行い、所定の膜厚に到達すると研磨を終了する場合のフローチャートである。時刻 t_5 での膜厚を予測する場合を例に説明する。他の時刻でも同様に処理が行われる。

【 0 0 5 4 】

半導体ウエハ 18 の研磨を行開始する(研磨ステップ S10)と、半導体ウエハ 18 の渦電流(具体的にはインピーダンス Z)を、各時刻において測定する(測定ステップ S12)。時刻 t_4 においてインピーダンス Z を測定すると、測定したインピーダンス Z に基づいて、時刻 t_4 における半導体ウエハ 18 の膜厚に相当するデータを算出する(膜厚算出ステップ S14、S16)。算出されたデータを用いて、時刻 t_4 について、時刻 t_4 から時間差 36 だけ経過した後におけるデータを、既述のように予測する(膜厚予測ステップ S18、S20)。膜厚予測ステップ S18 では、膜厚の時系列データより、研磨レート $R(t_4)$ を計算する。膜厚予測ステップ S20 では、研磨レートの予測値を元に、現在時刻の膜厚 r_5 を計算する。次に、膜厚 r_5 から、所定の膜厚まで研磨が行われたかどうかを判定する(ステップ S22)。所定の膜厚まで研磨が行われた場合(YES)は、研磨を終了する。所定の膜厚まで研磨が行われていない場合(NO)は、研磨を続行する。

【 0 0 5 5 】

以上、本発明の実施形態の例について説明してきたが、上記した発明の実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、

10

20

30

40

50

その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得るとともに、本発明には、その均等物が含まれることはもちろんである。また、上述した課題の少なくとも一部を解決できる範囲、または、効果の少なくとも一部を奏する範囲において、特許請求の範囲および明細書に記載された各構成要素の任意の組み合わせ、または、省略が可能である。

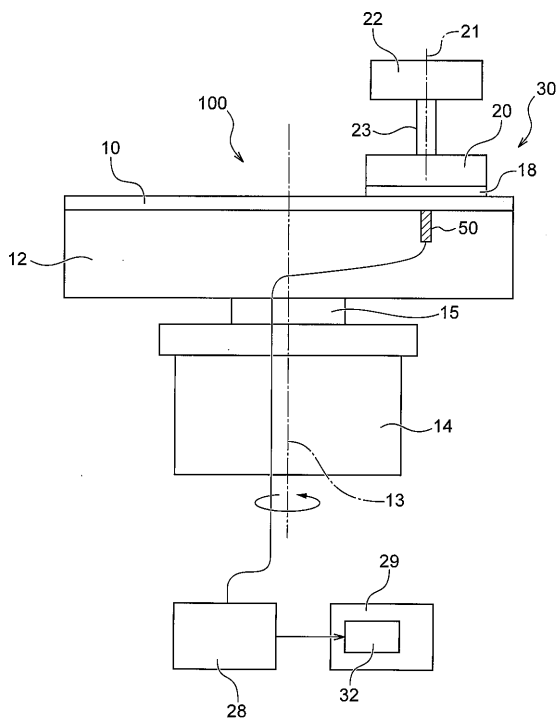
【符号の説明】

【 0 0 5 6 】

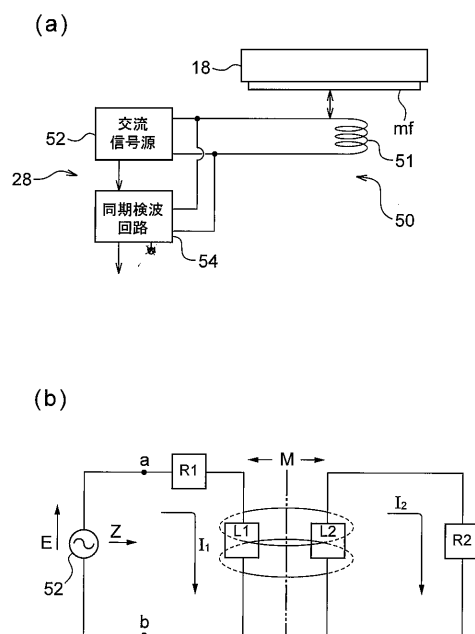
- 1 2 ... 研磨テーブル
1 8 ... 半導体ウエハ
2 8 ... センサ処理部
2 9 ... 制御部
3 0 ... 研磨部
3 2 ... 膜厚予測部
5 0 ... 渦電流センサ
5 1 ... センサコイル
5 2 ... 交流信号源
5 4 ... 検波回路
1 0 0 ... 研磨装置

10

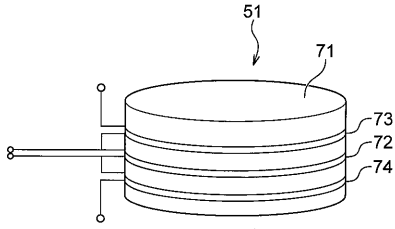
【 図 1 】



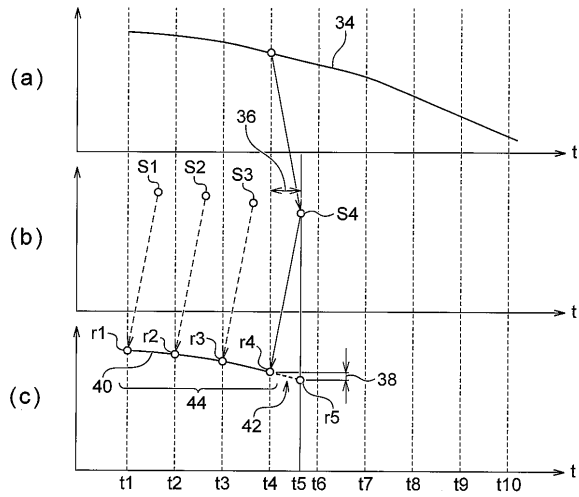
【圖 2】



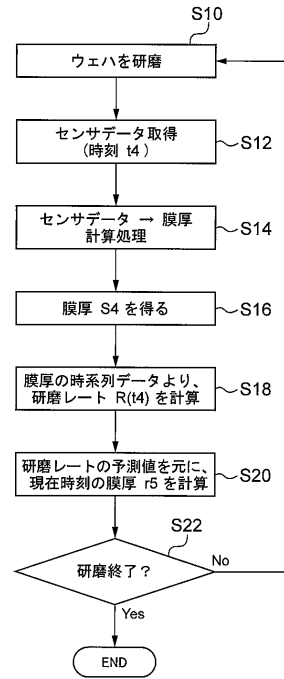
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 顕

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内

Fターム(参考) 3C158 AA07 BA01 BA02 BB02 BC01 CA01 CB01 DA12 DA17 EA11

EB01

5F057 AA20 BA15 BB22 BB23 BB24 BB25 BB27 CA11 DA03 GA12

GA16 GB03 GB13