

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2008 年 4 月 17 日 (17.04.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/044786 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/304 (2006.01) *B24B 37/04* (2006.01)

株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA)
[JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号
Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2007/070030

(22) 国際出願日: 2007 年 10 月 5 日 (05.10.2007)

(72) 発明者; および

(25) 国際出願の言語: 日本語

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 清水展
(SHIMIZU, Noburu) [JP/JP]; 〒1448510 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 Tokyo
(JP). 大田真朗 (OHTA, Shinro) [JP/JP]; 〒1448510 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 Tokyo (JP). 丸山浩二 (MARUYAMA, Koji) [JP/JP];
〒1448510 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 Tokyo (JP). 小林洋一 (KOBAYASHI,
Yoichi) [JP/JP]; 〒1448510 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 Tokyo (JP). 三谷
隆一郎 (MITANI, Ryuichiro) [JP/JP]; 〒1448510 東京
都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号株式会社 荏原製作所

(26) 国際公開の言語: 日本語

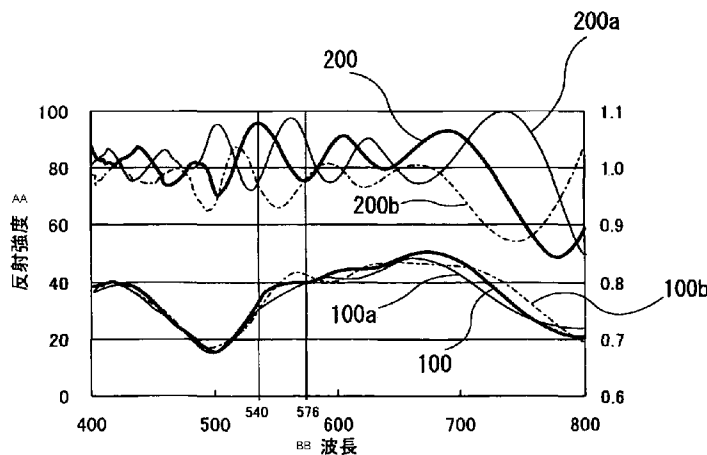
(30) 優先権データ:
特願2006-274622 2006 年 10 月 6 日 (06.10.2006) JP
特願2006-330383 2006 年 12 月 7 日 (07.12.2006) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会
社 荏原製作所 (EBARA CORPORATION) [JP/JP]; 〒
1448510 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: MACHINING END POINT DETECTING METHOD, GRINDING METHOD, AND GRINDER

(54) 発明の名称: 加工終点検知方法、研磨方法および研磨装置



AA REFLECTION INTENSITY
BB WAVELENGTH

(57) Abstract: A method for detecting the timing of a machining end point (grinding stop, change of grinding condition) by computing a characteristic value of the surface to be machined of a machining object such as a substrate. A spectral waveform indicating the relation between the reflection intensity and the wavelength at the machining end point is created by using a reference machining object or by performing simulation calculation. According to the spectral waveform, the wavelengths at which the reflection intensity takes on maximum and minimum values are selected. A characteristic value with respect to the surface to be machined is computed from the reflection intensity at the selected wavelength. The feature point of the temporal variation of the characteristic value at the machining end point is set as the machining end point. By detecting the feature point while machining the machining object, the machining end point of the machining object is detected.

(57) 要約: 本発明は、基板などの加工対象物の被加工面の特性値を算出して、加工終点 (研磨停止、研磨条件の変更など) のタイミングを検知する方法に関する。この方法は、基準被加工物を用いて、またはシミュレーション計算により、加工終点における反射強度と波長との関係を示す

[続葉有]



WO 2008/044786 A1



内 Tokyo (JP). 中井俊輔 (NAKAI, Shunsuke) [JP/JP];
〒1448510 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 Tokyo (JP). 重田厚 (SHIGETA,
Atsushi) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目
1 番 1 号株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 渡邊勇, 外 (WATANABE, Isamu et al.); 〒
1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 5 番 8 号 G O W A
西新宿 4 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

— 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受
領の際には再公開される。

分光波形を生成し、前記分光波形に基づいて、反射強度の極大値および極小値となる波長を選択し、前記選択され
た波長における反射強度から被加工面に対する特性値を算出し、加工終点における特性値の時間変化の特徴点を加
工終点として設定し、加工対象物の加工中に前記特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知する。

明細書

加工終点検知方法、
研磨方法および研磨装置

5

技術分野

本発明は、基板などの加工対象物の被加工面の特性値を算出して、加工終点（研磨停止、研磨条件の変更、エッチング停止、成膜停止など）のタイミングを検知する加工終点検知方法に関するものである。

- 10 また、本発明は、半導体ウェハなどの基板を研磨して平坦化する研磨方法および研磨装置に関するものである。

背景技術

- 15 近年の半導体デバイスの高集積化に伴う配線の微細化、及び多層化の要求によって、基板の表面の平坦度が要求されている。このため、化学機械研磨（CMP）により基板の表面の凹凸を除去してその表面を平坦化することが行われている。

- 20 上記化学機械研磨においては、所定時間の研磨を行った後に所望の位置で研磨を終了する必要がある。例えば、CuやAlなどの金属配線の上にSiO₂等の絶縁層（この後の工程で絶縁層の上に更に金属などの層を形成するため、このような絶縁層は層間膜と呼ばれる。）を残したい場合がある。このような場合、研磨を必要以上に行うと下層の金属膜が表面に露出してしまうので、層間膜を所定の膜厚だけ残すように研磨を終了する必要がある。

- 25 また、基板に予め所定パターンの配線用の溝を形成しておき、その中にCu（銅）又はその合金を充填した後に、表面の不要部分を化学機械研磨（CMP）により除去する場合がある。Cu層をCMPプロセスにより研磨する場合、配線用溝の内部に形成されたCu層のみを残して基板からCu層を選択的に除去することが必要とされる。すなわち、配線用の溝部以外の箇所では、（SiO₂などからなる）絶縁膜が露出するまでCu層を除去することが求められる。

- 30 この場合において、過剰研磨となって、配線用の溝内のCu層を絶縁膜と共に研磨してしまうと、回路抵抗が上昇し、基板全体を廃棄しなければならず、多大な損害となる。逆に、研磨が不十分で、Cu層が絶縁膜上に残ると、回路の分離がうまくいかず、短絡が起こり、その結果、再研磨が必要となり、製造コストが増大する。

このため、光学式センサを用いて反射光強度を測定し、測定された反射光強度に基づいてCMPプロセスの加工終点を検出する研磨状態監視装置が知られている。すなわち、投光素子と受光素子とを備えた光学式センサを設置し、この光学式センサから基板の被研磨面に光を照射する。そして、被研磨面における光の反射強度の変化を検知して、CMPプロセスの加工終点を検出している。

ここで、上述したCMPプロセスにおいて光学的特性を測定する方法としては、以下のようなものが知られている。

(1) 半導体レーザや発光ダイオード(LED)などの単色光源を被研磨面に照射し、その反射強度の変化を検出する。

- 10 (2) 白色光を被研磨面に照射し、その分光(比)反射強度を予め記録してある研磨終点の分光(比)反射強度と比較する。

最近では、基板の初期膜厚を推定し、レーザ光を基板に照射して、反射した反射光の反射強度の測定値の時間変化を正弦波のモデル関数で近似して膜厚を算出する研磨状態監視装置も開発されている。

- 15 また、基板に光を照射して得られたスペクトルデータに重み関数を乗じて積分することにより基板の特性値を算出し、この特性値の時間的な変化から研磨終点を検知する方法も提案されている(例えば、日本国特開2004-154928号公報参照)。

- 20 しかしながら、従来方法では、研磨終点を示す指標となる特徴点(反射強度や特性値の特徴的な変化点)を捉えることが難しく、正確な研磨終点を検知することが困難であった。例えば、単色光源を用いた場合、光源波長に対して、膜厚と反射強度信号の関係は一意的に決まり、必ずしも終点検知すべき膜厚で特徴点が出ることも限らない。また、これを修正することも困難である。

- 25 一方、白色光などの多波長を用いた場合、波長を任意に選択できるので、希望する膜厚における反射強度の特徴点を出すことは可能である。しかし、被研磨物の構造に最適な波長を選択するには、試行錯誤が必要なため、選択に多大な時間を要したり、最適な波長であることの確認が難しいという課題があった。

- 30 上記CMPを行う研磨装置として、トップリング内の複数のチャンバの圧力を独立に調整できるものが知られている。この研磨装置においては、例えば、基板上の膜厚に関連した物理量をセンサが測定し、この物理量に基づいてモニタリング信号が生成される。基板の研磨前には、予め、モニタリング信号と時間との関係を示す基準信号が用意され、研磨中においては、基板上のそれぞれの計測点におけるモニタリング信号が基準信号に収束するように、トップリングの押圧力が

調節される。これにより、基板面内で均一な残膜厚を実現する（例えば、WO 2005/123335 参照）。

- 近年では、半導体デバイスの高速化、高集積化に伴い、一つの半導体チップ内にメモリ部や演算部など諸機能を盛り込みCPUの高機能化が行われている。このような半導体チップ内では、パターンの密度や構造の異なるエリアが混在することになる。また、チップサイズも年々大きくなり、CCDデバイスではフィルムサイズ24×36mmのものもある。半導体製造では、このようなチップを1枚の基板内に多数形成するため、基板の表面内にパターンの密度や構造の異なるエリアが散在することになる。さらに、デバイスの仕上がりを評価するため、基板の一部にデバイスとはパターン構造が大きく異なる電気特性評価用のパターンが存在することもある。

- このような基板を研磨する際、光を基板の表面に照射しその反射光を光学式センサにより検出することで基板表面の膜厚変化をモニタリングすることが行われている。しかしながら、基板表面からの反射光の強度は、研磨による膜厚変化だけでなく、デバイスパターンや構造の影響も受けて複雑に変化する。即ち、研磨中は、研磨テーブルおよびトップリングが共に回転しているので、研磨テーブルに搭載された光学式センサが基板表面を走査するとき、毎回基板上のパターンの密度や構造の異なるエリアをセンサが通過することになる。このため、反射光の強度がデバイスパターンや構造の影響を受けて変化し、これが大きなノイズとなって膜厚変化を示す信号に重なってしまう。このような場合、信号を平滑化するための処理を施しても、ノイズが大きいため膜厚変化を正確にモニタリングすることができず、研磨終点検出精度や均一な膜厚を得るための研磨制御に影響を与えていた。

- 研磨対象物が銅膜である場合、膜厚を測定するために渦電流式センサが用いられることが多い。この銅膜は一般にめっきにより形成される。銅めっきを行うめっき装置は、一般に、基板の周縁部に等間隔に配置されたカソード電極を有し、基板の表面に供給されためっき液をシール部材で保持しつつ、カソード電極とめっき液中のアノード電極との間に電圧を印加して銅を基板の表面にめっきする。このようなめっき装置を用いた場合、カソード電極の接触抵抗やシール部材のシール性のばらつきによって、基板の周縁部において周方向に膜厚のばらつきが生じてしまう。その結果、研磨時においては、ある時間では、センサは膜厚の厚い部位または薄い部位のみを走査することになり、平均的な膜厚を把握することができなかった。

発明の開示

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたもので、目標膜厚において極大値、極小値などの特徴的な変化点をもつような特性値を簡便に得られる加工終点検知方法及び加工装置を提供し、精度の高い加工終点検知を実現することを第1

5 の目的とする。

また、本発明は、センサの出力信号がパターンの密度や構造の異なるエリアから受ける影響、あるいは、成膜工程で生じる周方向の膜厚のばらつきから受ける影響を軽減して、精度のよい研磨終点検知および膜厚均一性を実現することができる研磨方法および研磨装置を提供することを第2の目的とする。

- 10 上述した第1の目的を達成するために、本発明の一態様は、被加工物の被加工面に光を照射して得られる反射光の分光波形を用いて算出された前記被加工面に対する特性値に基づいて加工終点を検知する方法であって、基準被加工物を用いて、またはシミュレーション計算により、加工終点における反射強度と波長との関係を示す分光波形を生成し、前記分光波形に基づいて、反射強度の極大値および極小値となる波長を選択し、前記選択された波長における反射強度から被加工面に対する特性値を算出し、被加工物の加工終点における特性値の時間変化の特徴点を加工終点として設定し、被加工物の加工中に前記特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする。

- 20 なお、加工の具体例としては、膜を有する基板の研磨や、基板上への成膜が挙げられる。

本発明の好ましい態様は、前記基準被加工物の加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、前記基準被加工物の加工終点における反射強度を前記平均反射強度で割ることにより基準分光波形を生成し、極大値および極小値となる波長の前記選択を、前記基準分光波形に基づいて行うことを特徴とする。

- 25 本発明の好ましい態様は、前記選択された極大値となる波長を中心とした重さを有する重さ関数を定義し、被加工物の被加工面に光を照射して得られる反射光の反射強度に前記重み関数を乗じて積分することにより前記被加工面に対する特性値を算出し、前記特性値の時間変化の特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする。

- 30 本発明の好ましい態様は、前記選択された波長を前後の波長へシフトさせることを特徴とする。

本発明の他の態様は、被加工物の被加工面に多波長からなる光を照射して得られる反射光の分光波形を用いて算出された前記被加工面に対する特性値に基づい

て加工終点を検知する方法であつて、基準被加工物を用いて、またはシミュレーション計算により、加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、被加工物の加工中に多波長からなる光を照射して得られた反射光の分光波形の反射強度を、前記基準被加工物の平均反射強度で割った基準分光波形をモニタリングすることにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする。

- 5 本発明の他の態様は、光を被加工物の被加工面に照射する光源と、前記被加工面からの光を受ける受光部と、前記受光部に受光された光を分光し、電気的情報に変換する分光器ユニットと、前記分光器ユニットからの電気的情報を演算する演算部とを有し、前記演算部は、基準被加工物の加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、前記基準被加工物の加工終点における反射強度を前記平均反射強度で割ることにより基準分光波形を生成し、該基準分光波形の極大値および極小値となる波長を選択し、前記選択された波長における反射強度から前記基準被加工物の被加工面に対する特性値を算出し、被加工物の加工終点における特性値の時間変化の特徴点を加工終点として設定し、加工中に前記特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする加工装置である。
- 10
- 15

- 本発明の他の態様は、多波長からなる光を被加工物の被加工面に照射する光源と、前記被加工面からの光を受ける受光部と、前記受光部に受光された光を分光し、電気的情報に変換する分光器ユニットと、前記分光器ユニットからの電気的情報を演算する演算部とを有し、前記演算部は、基準被加工物の加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、被加工物の加工中に多波長からなる光を照射して得られた反射光の分光波形の反射強度を、前記基準被加工物の平均反射強度で割った基準分光波形をモニタリングすることにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする加工装置である。
- 20

- 本発明によれば、研磨終点などの加工終点において特徴的な変化点を持ち、かつ、SN比のよい特性値を得ることができるので、精度よく加工終点を検知することが可能となる。
- 25

- 上述した第2の目的を達成するために、本発明の一態様は、被研磨物をトップリングで保持しつつ回転させ、回転する研磨テーブル上の研磨面に被研磨物を押圧して該被研磨物を研磨し、前記研磨テーブルに設置されたセンサで研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングする工程を含み、所定の測定時間内に前記センサが被研磨物の表面に描く軌跡が前記被研磨物の表面の全周にわたって略均等に分布するように前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を設定することを特徴とする研磨方法である。
- 30

本発明の好ましい態様は、前記所定の測定時間内に前記センサの軌跡が被研磨物の表面を約 $0.5 \times N$ 回（ N は自然数）回転するように前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を設定することを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、前記所定の測定時間は、前記センサから得られたモニタリング信号を移動平均処理するときの移動平均時間であることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングして研磨終点を検知することを特徴とする。

- 10 本発明の好ましい態様は、前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングしながら、該被研磨物の表面の膜厚が均一になるように研磨することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、所定の測定時間は、4 から $16 \times V$ （ V は前記研磨テーブルの回転速度を表す）までの自然数から選択された回数を前記研磨テーブルが回転する時間であることを特徴とする。

- 15 本発明の他の態様は、被研磨物をトップリングで保持しつつ回転させ、回転する研磨テーブル上の研磨面に被研磨物を押圧して該被研磨物を研磨し、前記研磨テーブルに設置されたセンサで研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングする工程を含み、前記研磨テーブルが第1の自然数で表わされる所定の回数だけ回転する間に、前記トップリングが前記第1の自然数と互いに素な第2の自然数に等しい回数だけ回転するように、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を20 設定し、前記第1の自然数は、4以上であって、16秒の間に前記研磨テーブルが回転する回数以下であることを特徴とする研磨方法である。

- 25 本発明の他の態様は、被研磨物をトップリングで保持しつつ回転させ、回転する研磨テーブル上の研磨面に被研磨物を押圧して該被研磨物を研磨し、前記研磨テーブルに設置されたセンサで研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングする工程を含み、前記トップリングの回転速度と前記研磨テーブルの回転速度が、 $nV/m - 1 \leq R \leq nV/m + 1$ または $m \cdot R/n - 1 \leq V \leq m \cdot R/n + 1$ で表される関係式を満たすことを特徴とする研磨方法。ただし、 V は前記研磨30 テーブルの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数、 R は前記トップリングの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数、 m は所定の自然数であって、かつ前記センサが被研磨物の表面を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査するのに要する前記研磨テーブルの回転回数、 n は m と互いに素な自然数である。

本発明の他の態様は、被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、前記

トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサとを備え、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度は、所定の測定時間内に前記センサが被研磨物の表面に描く軌跡が前記被研磨物の表面の全周にわたって略均等に分布するように設定されていることを特徴とする研磨装置である。

本発明の他の態様は、被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサとを備え、前記研磨テーブルが第1の自然数で表わされる所定の回数だけ回転する間に、前記トップリングが前記第1の自然数と互いに素な第2の自然数に等しい回数だけ回転するように、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度が設定され、前記第1の自然数は、4以上であって、16秒の間に研磨テーブルが回転する回数以下であることを特徴とする研磨装置である。

本発明の他の態様は、被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサとを備え、前記トップリングの回転速度と前記研磨テーブルの回転速度が、 $nV/m-1 \leq R \leq nV/m+1$ または $m \cdot R/n-1 \leq V \leq m \cdot R/n+1$ で表される関係式を満たすことを特徴とする研磨装置である。

本発明の他の態様は、被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサと、前記センサからの信号を演算するモニタリング装置とを備え、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度は、前記センサが被研磨物の表面を走査する軌跡が毎回同じにならないように設定され、前記モニタリング装置は、被研磨物の表面を一周する複数の前記軌跡を一組として、該一組の軌跡の信号値を平均化する演算を行うことを特徴とする研磨装置である。

本発明によれば、研磨テーブルの回転速度とトップリングの回転速度を調整することにより、所定の測定時間内にセンサが被研磨物の表面の局所エリアに偏らず、ほぼ全面を均等に走査することができる。その結果、ノイズの影響を抑えて平均的な膜厚を捉えることが可能となり、精度のよい研磨終点検知および膜厚均一性を実現することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の一実施形態における研磨終点検知方法を行う研磨装置の全体構成を示す模式図である。

- 図 2 は、図 1 に示す研磨状態監視装置においてパルス点灯光源を用いた場合の
5 分光器ユニット内の受光素子の動作を示す模式図である。

図 3 は、図 1 に示す研磨状態監視装置において連続点灯光源を用いた場合の分光器ユニット内の受光素子の動作を示す模式図である。

図 4 は、図 1 に示す研磨状態監視装置のサンプリングのタイミングを説明するための平面図である。

- 10 図 5 は、金属配線上に酸化膜が形成されているサンプル基板を示す断面図である。

図 6 は、分光波形および基準分光波形を示すグラフである。

図 7 は、特性値の算出と波長の選択のプロセスを説明するためのフローダイアグラムである。

- 15 図 8 は、特性値の時間変化を示すグラフである。

図 9 は、重み関数を示すグラフである。

図 10 は、選択された 2 つの波長を長波長側に 10 nm、短波長側に 10 nm シフトしたときの特徴点の変化を示す図である。

- 図 11 は、本発明の他の実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す模式図であ
20 る。

図 12 は、図 11 に示すトップリングの断面を示す模式図である。

図 13 は、研磨テーブルと基板との関係を示す平面図である。

図 14 は、センサが基板上を走査する軌跡を示した図である。

- 図 15 は、図 14 に示す基板上の計測点のうちモニタリング装置によりモニタ
25 リングを行う計測点を選択する一例を示す平面図である。

図 16 は、反射強度を示すグラフである。

図 17 は、研磨テーブルの回転速度を 70 min^{-1} 、トップリングの回転速度を 71 min^{-1} とした場合における基板 W 上のセンサ 50 の軌跡を示す図である。

- 図 18 は、図 17 に示す条件下で得られた特性値の信号波形を示すグラフであ
30 る。

図 19 は、研磨テーブルの回転速度を 70 min^{-1} 、トップリングの回転速度を 77 min^{-1} とし、移動平均時間内にセンサ 50 が描く基板上の軌跡を示す図である。

図20は、図19に示す条件下で得られた特性値の信号波形を示すグラフである。

図21は、図19と同一の条件で研磨テーブルが10回回転する間の基板上のセンサ軌跡を示す図である。

- 5 図22は、研磨前後において、直径300mmの基板の上に形成された銅の膜厚を周方向に測定した一例を示すグラフである。

図23は、研磨テーブルの回転速度を 60min^{-1} 、トップリングの回転速度を 31min^{-1} とした場合の基板面上のセンサ軌跡を表す図である。

- 10 図24は、基板の径方向に分布する各領域C1、C2、C3、C4で膜厚が均一になることを目標とし、研磨中にトップリングの4つの圧力室の圧力を操作した結果の一例を示すグラフである。

図25は、研磨テーブルの回転速度を 60min^{-1} 、トップリングの回転速度を 36min^{-1} に調節したときの基板面上のセンサ軌跡を示す図である。

- 15 図26は、図25に示す条件の下で研磨したときのトップリングの各圧力室の圧力の変化を示すグラフである。

図27は、式(9)を満たすトップリングと研磨テーブルの回転速度比 R/V の例を示す表である。

発明を実施するための最良の形態

- 20 以下、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

- 図1は、本発明の実施形態に係る研磨終点検知方法を行う研磨装置の全体構成を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置は、上面に研磨布10が貼設された研磨テーブル12と、研磨対象物である基板Wを保持して研磨布10の上面に押圧するトップリング14とを備えている。研磨布10の上面は、研磨対象物である基板Wと摺接する研磨面を構成している。なお、微細な砥粒(CeO_2 等からなる)を樹脂等のバインダで固めた固定砥粒板の上面を研磨面として構成することもできる。

- 30 研磨テーブル12は、その下方に配置されるモータ(図示せず)に連結されており、矢印で示すようにその軸心回りに回転可能になっている。また、研磨テーブル12の上方には研磨液供給ノズル16が設置されており、この研磨液供給ノズル16から研磨布10上に研磨液Qが供給されるようになっている。

トップリング14は、トップリングシャフト18に連結されており、このトップリングシャフト18を介してモータ及び昇降シリンダ(図示せず)に連結され

ている。これにより、トップリング 14 は矢印で示すように昇降可能かつトップリングシャフト 18 回りに回転可能となっている。このトップリング 14 の下面には、研磨対象物である基板 W が真空等によって吸着、保持される。このような構成により、トップリング 14 は自転しながら、その下面に保持した基板 W を研
5 磨布 10 に対して任意の圧力で押圧することができるようになっている。

上述の構成の研磨装置において、トップリング 14 の下面に保持された基板 W は、回転している研磨テーブル 12 の上面の研磨布 10 に押圧される。このとき、研磨液供給ノズル 16 から研磨布 10 上に研磨液 Q を供給する。これによって、基板 W の被研磨面（下面）と研磨布 10 の間に研磨液 Q が存在した状態でポリッ
10 シングが行われる。

研磨テーブル 12 の内部には、研磨中に、基板 W の研磨状態を監視する研磨状態監視装置 20 が埋設されている。この研磨状態監視装置 20 は、研磨中の基板 W の被研磨面の研磨状況（残っている膜の厚みや状態など）をリアルタイムで連続的に監視するものである。また、研磨布 10 には、研磨状態監視装置 20 から
15 の光を透過させるための透光部 22 が取付けられている。この透光部 22 は、透過率の高い材質で形成されており、例えば、無発泡ポリウレタンなどにより形成される。あるいは、研磨布 10 に貫通孔を設け、この貫通孔が基板 W に塞がれる間下方から透明液を流すことにより、透光部 22 を構成してもよい。透光部 22 は、トップリング 14 に保持された基板 W の被研磨面を通過する位置であれば、
20 研磨テーブル 12 の任意の位置に配置することができるが、基板 W の中心を通過する位置に配置することが好ましい。

研磨状態監視装置 20 は、図 1 に示すように、光源 30 と、光源 30 からの光を基板 W の被研磨面に照射する発光部としての発光光ファイバ 32 と、被研磨面からの反射光を受光する受光部としての受光光ファイバ 34 と、受光光ファイバ
25 34 により受光された光を分光する分光器とこの分光器により分光された光を電気的情報として変換し、蓄積する複数の受光素子とを内部に有する分光器ユニット 36 と、光源 30 の点灯及び消灯や分光器ユニット 36 内の受光素子の読取開始のタイミングなどの制御を行う制御部 40 と、制御部 40 に電力を供給する電源 42 とを備えている。なお、光源 30 及び分光器ユニット 36 には、制御部 4
30 0 を介して電力が供給される。

発光光ファイバ 32 の発光端と受光光ファイバ 34 の受光端は、基板 W の被研磨面に対して略垂直になるように構成されている。また、発光光ファイバ 32 及び受光光ファイバ 34 は、研磨布 10 を交換するときの作業性や受光光ファイバ

34による受光量を考慮して、研磨テーブル12の表面よりも上方に突出しないように配置されている。また、分光器ユニット36内の受光素子としては、例えば512素子のフォトダイオードアレイを用いることができる。

分光器ユニット36は、ケーブル44を介して制御部40に接続されている。

- 5 分光器ユニット36内の受光素子からの情報は、ケーブル44を介して制御部40に送られ、この情報に基づいて反射光のスペクトルデータが生成される。すなわち、本実施形態における制御部40は、受光素子に蓄積された電気的情報を読み取って反射光のスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成部を構成している。制御部40からのケーブル46は、研磨テーブル12内を通り、例えば
- 10 パーソナルコンピュータからなる演算部48に接続されている。制御部40のスペクトルデータ生成部で生成されたスペクトルデータは、ケーブル46を介して演算部48に送信される。

- 演算部48では、制御部40から受信したスペクトルデータに基づいて、被研磨面の研磨状態の指標となる特性値を算出する。また、演算部48は、研磨装置
- 15 を制御するコントローラ（図示せず）から研磨条件に関する情報を受信する機能や、算出された特性値の時間変化に基づいて研磨終点（研磨停止又は研磨条件の変更）のタイミングを決定して研磨装置のコントローラに指令を行う機能も有している。

- また、図1に示すように、研磨テーブル12の外周部の下面には近接センサ50
- 20 が取付けられており、この近接センサ50に対応して研磨テーブル12の外方にドグ52が設置されている。近接センサ50は、研磨テーブル12が1回転するたびにドグ52を検知し、研磨テーブル12の回転角度を検知できるようになっている。

- 光源30としては、白色光をはじめとする波長帯域を有する光を照射する光源
- 25 を用いる。例えばキセノンランプなどのパルス点灯光源を光源30として用いることができる。光源30としてパルス点灯光源を用いた場合、研磨中に各計測点で光源30がトリガ信号によりパルス点灯される。また、タングステンランプなどを光源30として用い、少なくとも発光光ファイバ32の発光端と受光光ファイバ34の受光端とが基板Wの被研磨面に対向している間、連続して点灯させて
- 30 もよい。

光源30からの光は、発光光ファイバ32の発光端から透光部22を通して基板Wの被研磨面に照射される。この光は、基板Wの被研磨面で反射し、透光部22を通して研磨状態監視装置の受光光ファイバ34で受光される。受光光ファイ

バ34で受光された光は、分光器ユニット36内の分光器に送られ、ここで複数の波長成分に分光される。複数の波長成分に分光された光は、それぞれの波長に対応する受光素子に照射され、照射された光の光量に応じて受光素子に電荷が蓄積される。各受光素子に蓄積された電気的情報は、所定のタイミングで読み取られ（解放され）、デジタル信号に変換される。このデジタル信号は、制御部40のスペクトルデータ生成部に送られ、ここで各計測点に対応するスペクトルデータが生成される。

次に、分光器ユニット36内の受光素子の動作について説明する。図2及び図3は、分光器ユニット36内にN個の受光素子60-1～60-Nがある場合の各受光素子の動作を示す模式図である。図2はパルス点灯光源を用いた場合、図3は連続点灯光源を用いた場合を示している。図2及び図3において、横軸は時間を示しており、各受光素子に対応するグラフの立ち上がり部分は受光素子に電気的情報が蓄積されたことを示し、落ち込み部分は受光素子の電気的情報が読み取られた（解放された）ことを示している。図2において、黒丸（●）はパルス点灯光源が点灯される時点を示している。

1回のサンプリングにおいて、各受光素子60-1～60-Nは順次切り替えて読取（解放）が行われる。上述したように、各受光素子60-1～60-Nには、対応する波長成分の光の光量が電気的情報として蓄積され、位相差を持ってサンプリング周期Tで読取（解放）が繰り返される。このサンプリング周期Tは、受光素子60-1～60-Nに十分な光量が電気的情報として蓄積され、かつ、受光素子60-1～60-Nから読み取られたデータを実時間で十分処理できる範囲内で、小さ目に設定する。受光素子として512素子のフォトダイオードアレイを用いる場合には、サンプリング周期Tは10ミリ秒のオーダーとなる。図2及び図3においては、1番目の受光素子60-1の読取から最終の受光素子60-Nの読取までの時間がSとなっている。ここで、 $S < T$ である。図2の場合には、パルス点灯光源が点灯した時点（図2において●印で示す）をサンプリング時刻とし、図3の場合には、1番目の受光素子60-1の読取が行われ、新たな蓄積が開始されてから、最終の受光素子60-Nの読取が行われるまでの時間の半分の時点（図3において×印で示す）を、対応する計測領域を代表するサンプリング時刻とする。また、このサンプリング時刻において透光部22に対向する基板W上の点をサンプリング点という。

図2においては、光源30が瞬間的に点灯する間（数マイクロ秒程度）、すべての受光素子60-1～60-Nが光を蓄積する。最終の受光素子60-Nが読取

(解放)を行ってから光源30を点灯するまでの時間をQとするとき、次に1番目の受光素子60-1が読取(解放)を行う前に光源30を点灯するものとすれば、 $0 < Q < T - S$ となる。Qはこの不等式に示される範囲にある任意の値をとることができるが、以下では、 $Q = (T - S) / 2$ であるとして説明する。1番目の受光素子60-1の読取が行われ次の蓄積が開始されるのは、サンプリング時刻より、 $S + Q$ 、すなわち $(T + S) / 2$ だけ早いタイミングである。また、図3においても、1番目の受光素子60-1の読み取りが行われるのは、サンプリング時刻より、 $(T + S) / 2$ だけ早いタイミングである。なお、図3に示す連続点灯光源の場合には、受光素子60-1~60-Nの蓄積開始・読取の時点が素子により異なっているため、波長成分によって実際の計測領域が若干異なっている。

次に、研磨状態監視装置20によるサンプリングのタイミングを決定する方法について説明する。まず、パルス点灯光源を用いた場合のサンプリングのタイミングを決定する方法について説明する。図4は、研磨状態監視装置20によるサンプリングのタイミングを説明するための図である。研磨テーブル12が1回転するたびに、研磨テーブル12の外周部に設けられた近接センサ50が近接センサ作動の基準位置となるドグ52を検知する。すなわち、図4に示すように、研磨テーブル12の回転中心 C_T と基板Wの中心 C_W とを結ぶ線 L_{T-W} (以下、基板中央線という)から研磨テーブル12の反回転方向に回転角度を定義した場合に、回転角度 θ で近接センサ50がドグ52を検知する。なお、基板Wの中心 C_W は、例えばトップリング14の位置制御を行うことによって特定される。

ここで、図4に示すように、研磨テーブル12の中心 C_T と透光部22の中心 C_L との間の水平距離をL、研磨テーブル12の中心 C_T と基板Wの中心 C_W との間の水平距離をM、基板Wの被研磨面からエッジカット部を除いた基板Wの被計測面の半径をR、透光部22がこの被計測面を走査する角度を 2α とすると、余弦定理から以下の式(1)が成立し、角度 α を求めることができる。

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{L^2 + M^2 - R^2}{2LM} \right) \quad \dots(1)$$

本実施形態では、透光部22が通過する基板中央線 L_{T-W} 上の点Pを必ずサンプリング点とするように、サンプリングのタイミングを調整している。基板中央線 L_{T-W} から片側にあるサンプリング点の数をn(整数)とすると、透光部22が基板Wの被計測面を走査する間の全サンプリング点の数は、基板中央線 L_{T-W}

上のサンプリング点Pを含めて $2n+1$ となる。

- 基板Wの外側にはトップリング14の外周部が背景光を遮るように配置されているとすれば、最初のサンプリング時刻において透光部22が基板Wの被計測面内に存在するための条件は、 ω_T を研磨テーブル12の角速度として、以下の不等式(2)で表わすことができる。したがって、この不等式(2)から、この条件を満たす整数nを求めることができる。

$$\alpha - \omega_T T \leq n\omega_T T < \alpha$$

すなわち

$$\frac{\alpha}{\omega_T T} - 1 \leq n < \frac{\alpha}{\omega_T T} \quad \dots (2)$$

- ここで、透光部22と近接センサ50とが研磨テーブル12の中心 C_T に対して同一角度に位置しているものとすれば、研磨テーブル12が1回転するときに、近接センサ50がドグ52を検知してから1回目のサンプリングにおける1番目の受光素子60-1の蓄積が開始されるまでの時間 t_s 、すなわちサンプリング開始時刻 t_s は、以下の式(3)により求めることができる。

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{\theta}{\omega_T} - \left(nT + \frac{T+S}{2} \right) \\ &= \frac{\theta}{\omega_T} - \left(n + \frac{1}{2} \right) T - \frac{S}{2} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

- ここで、透光部22が基板Wの被研磨面の外側にある間に受光素子に蓄積された光量を確実にクリアするために、1回目のサンプリングを読み捨てることとしてもよい。この場合のサンプリング開始時刻 t_s は、以下の式(4)により求めることができる。

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{\theta}{\omega_T} - \left(nT + \frac{T+S}{2} + T \right) \\
 &= \frac{\theta}{\omega_T} - \left(n + \frac{3}{2} \right) T - \frac{S}{2} \quad \dots(4)
 \end{aligned}$$

5 研磨状態監視装置 20 は、このようにして求められたサンプリング開始時刻 t_s に基づいてサンプリングを開始する。すなわち、制御部 40 は、近接センサ 50 がドグ 52 を検知してから t_s 経過後に光源 30 のパルス点灯を開始し、その後サンプリング周期 T ごとにサンプリングを繰り返すように、分光器ユニット 36 内の受光素子の動作タイミングを制御する。これにより、各サンプリング点における反射スペクトルデータが制御部 40 のスペクトルデータ生成部により生成され、これが演算部 48 に送られる。演算部 48 では、このスペクトルデータに基づいて基板 W の被研磨面に対する特性値が求められる。

10 本実施形態では、透光部 22 が通過する基板中央線 L_{T-W} 上の点 P を必ずサンプリング点とするようにしているので、研磨テーブル 12 が 1 回転するたびに研磨対象物表面上の所定の半径位置の特性値を繰り返し測定することができる。また、サンプリング周期を一定とすれば、研磨対象物の表面上において、研磨テーブル 12 の回転ごとの各測定点の半径位置は一定となる。したがって、不特定の位置の特性値を測定する場合に比べて、基板 W 上の残膜の状況を把握する上でより効果的である。特に、透光部 22 が基板 W の中心 C_w を通るように構成されている場合には、研磨テーブル 12 が 1 回転するたびに基板 W の中心 C_w を定点として必ず測定することになり、基板 W 上の残膜状況の時間変化をより正確に把握することができる。

20 一方、連続点灯光源の場合は、上述したように、受光素子の蓄積が連続して行われ、かつ受光素子によって開始時点が異なるため、 n の求め方がパルス点灯光源の場合と異なっている。すなわち、1 番目の受光素子 60-1 の蓄積開始の時点で、透光部 22 が基板 W の被計測面内に存在する必要がある。したがって、 n に関する不等式は以下ようになる。

$$\alpha - \omega_T T \leq n \omega_T T + \omega_T \frac{T+S}{2} < \alpha$$

すなわち

$$\frac{\left(\frac{\alpha}{\omega_T} - \frac{S}{2}\right)}{T} - \frac{3}{2} \leq n < \frac{\left(\frac{\alpha}{\omega_T} - \frac{S}{2}\right)}{T} - \frac{1}{2} \quad \dots(5)$$

この不等式(5)から、n(整数)を求め、上記式(3)又は式(4)に基づいてサンプリング開始時刻 t_s を求めることができる。そして、研磨状態監視装置20は、パルス点灯光源の場合と同様に、求められたサンプリング開始時刻 t_s に基づいてサンプリングを開始し、各サンプリング点におけるスペクトルデータから基板Wの被研磨面に対する特性値を求める。なお、上述の例では、パルス点灯光源の点灯のタイミングや透光部22と近接センサ50との位置関係に一定の条件を設定して説明したが、これらの条件を外しても同様にnと t_s を求めることができる。

- 次に、各サンプリング点におけるスペクトルデータから研磨終点を検知する方法について説明する。図5は、金属配線上に形成された酸化膜を有する基板(基準被研磨物)を示す断面図である。この例では金属配線70上の酸化膜80を約800nm(104秒)研磨したときの反射強度をサンプルデータとして取得する。図5において、目標研磨終点は94秒時点であり、この時点における分光波形が図6中の符号100で表されている。符号100aおよび100bは、94秒時点とは異なる他の研磨時点における分光波形を表している。分光波形100、100a、100bの形状の差異は、研磨時間の差異(すなわち、膜厚の差異)を示している。しかしながら、デバイスパターンや下地膜の材質などの影響で、分光波形の基本形状が大きく歪んでいるため、膜厚変化による反射強度変化の特徴を明確に認めることが困難であることが分かる。
- そこで、分光波形の基本形状の歪みを排除するために、研磨時間内における各波長の反射強度の平均値で、基準被研磨物の目標膜厚(研磨終点)における分光波形100を割り算した基準分光波形を作成する。すなわち、研磨時間内(この例では、0~104秒)における平均反射強度を波長ごとに求め、分光波形100で示される反射強度を、各波長に対応する平均反射強度で割ることにより、基準分光波形を求める。図6において、右側の縦軸は基準分光波形の大きさを表し、基準分光波形200、200a、200bは、それぞれ分光波形100、100a、100bに対応する。図6から分かるように、基準化前の分光波形と比較すると、膜厚の違いによる基準分光波形の形状の差異が明確になり、極大点および

極小点もはっきり現れている。そこで、目標膜厚における基準分光波形 200 に基づいて、極大値および極小値となる波長を選択し、これらの波長における反射強度の組合せから、膜厚の指標となる特性値を算出する。なお、本実施形態では、各波長において反射強度を平均反射強度で割ったが、各波長において反射強度から平均反射強度を差し引いても同様の結果が得られる。また、分光波形が歪んでいない場合は、基準分光波形を求めずに分光波形から極大極小点を決めてもよい。

ここで、特性値の算出と波長の選択について、図 7 のフローダイアグラムを参照して説明する。まず、図 5 に示す、パターン配線を有する基板（基準被研磨物）を目標膜厚になるまで研磨し、膜厚を測定する。次に、研磨された基板の基準分光波形から、極大値および極小値となる 2 つの波長を選択する。そして、選択された 2 つの波長における反射強度から特性値を求める。必要に応じて、選択すべき波長を長波長側または短波長側にシフトして特性値を微調整してもよい（この点については後述する）。次に、基準被研磨物と同一の構成を有する基板を研磨し、膜厚が目標膜厚となったときに上記特性値が特徴点を示すか否か、すなわち、上記特性値の時間変化を監視することで目標膜厚が検出できるか否かを確認する。目標膜厚が検出できる場合は、上記特徴点を研磨終点として設定し、上記特徴点は他の基板の研磨終点検知に用いられる。これらの処理は演算部 48 によって行われる。

特性値を求めるプロセスについて、具体例を挙げて説明する。図 6 に示すように、基準分光波形 200 の極大値となる波長 540 nm および極小値となる波長 576 nm を選択し、特性値 $X(t)$ を次の式から求める。

$$X(t) = \rho_{540}(t) / (\rho_{540}(t) + \rho_{576}(t)) \quad \dots (6)$$

ここで、 ρ は反射強度、 t は研磨時間を表す。

当該特性値を、次に研磨される基板、または任意の枚数目の基板の研磨時に適用する。

なお、ここでは基準被研磨物の基準分光波形から特性値を算出するプロセスを説明したが、別の実施例として、基準被研磨物の研磨時間内における各波長の反射強度の平均値を、次に、または任意の枚数目に研磨する基板の研磨時に適用してもよい。すなわち、現在研磨中の基板から得られる分光波形の反射強度を、基準被研磨物の各波長の反射強度の平均値で割って基準分光波形を取得し、この基準分光波形を上述のようにモニタリングすることにより研磨終点を検知してもよい。前述したように、基準分光波形は形状の差異が明確であることから、精度の高い研磨終点検知が可能となる。

図8は、上記式(6)から求められた特性値の時間変化を示すグラフである。意図した通り、94秒時点に特性値の極大値が現れていることが図8から分かる。したがって、この極大値が現れる特徴点を研磨終点として予め設定しておき、この特徴点を検知したときに研磨を終了させる。なお、特徴点を検知した後、所定

5 時間オーバーポリッシュしてもよい。ここで、図8に示すように、初期の20秒間は、研磨初期における段差解消の途上にあるため、特性値にノイズが多く、細かな極値が存在する。そこで、研磨終点検知シーケンスとして、例えば、研磨開始後25秒から特性値のモニタリングを開始し、この例でいうと、5番目の極大値を研磨終点とするような手順にすればよい。

- 10 特性値を求める極値波長として、最大極大値および最小極小値となる波長を選択した場合、特性値の変化幅が大きくなり、SN比もよいことが多い。しかし、デバイス構造によっては、最大極大値および最小極小値となる波長の選択が最良とも限らない場合がある。そこで、複数の極値波長からいくつかの組合せを選択し、それぞれの組合せで特性値の波形を見て、目標膜厚で特徴点が明確に現れる
- 15 ような極値波長を選択することが好ましい。上記例では、2つの極値波長を抽出して特性値を求めたが、特性値は得られたn個の極値波長のうち、任意の個数を抽出して組合せてもよい。例えば、 ρ_k / ρ_i 、 $(\rho_j + \dots + \rho_{j+q}) / (\rho_i + \dots + \rho_{i+p})$ などである。

- 上記例では、選択された極値波長における反射強度の時間変化に基づいて特性
- 20 値を求める例について説明してきたが、特開2004-154928号公報(特願2003-321639)に開示されているように、極値波長を中心とした重みを有する重み関数を分光波形に乗じて特性値を求めてもよい。重み関数の形状としては、例えば正規分布などを用いることができる。このような重み関数を利用する方法について、以下に説明する。

- 25 まず、研磨終点における基準分光波形200に基づき、極大値を示す波長 $\lambda = 540\text{ nm}$ を選択する。次に、図9に示すように、この波長を中心に重みを持つ重み関数 $w(\lambda)$ を定義する。そして、被研磨面からの反射光の反射強度の測定値 $\rho(\lambda)$ に重み関数 $w(\lambda)$ を乗じて積算したもの、すなわち、積分してスカラー値としたものを特性値Xとする。すなわち、特性値Xを以下の式(7)により
- 30 定義する。

$$X = \sum_{\lambda} w(\lambda) \rho(\lambda) \Delta \lambda \quad \dots (7)$$

この場合において、複数の重み関数 $w_i(\lambda)$ ($i = 1, 2, \dots$) を定義して、例えば、以下の式 (8) により特性値 X_i を定義してもよい。

$$X_i = \frac{\sum_{\lambda} w_i(\lambda) \rho(\lambda) \Delta \lambda}{\sum_i \sum_{\lambda} w_i(\lambda) \rho(\lambda) \Delta \lambda} \quad \dots (8)$$

- このような方法によれば、膜厚が目標の厚さとなったとき、すなわち研磨終点のときに、特性値は極大値あるいは極小値などの特徴的な変化点（特徴点）を示す。したがって、研磨中に特性値を監視し、この特性値の時間変化の特徴点を検知することで、研磨終点（研磨停止又は研磨条件の変更）を検知することができる。また、この方法によれば、ある波長において反射強度の測定値に外乱が入ったとしても、積分演算を行っているため、目標膜厚における反射強度を直接監視する場合に比べて、その影響を軽減できる。

- 本実施形態における研磨終点検知方法は、上述した特開 2004-154928 号公報に開示されている方法に比べて、次のような利点がある。すなわち、特開 2004-154928 号公報の方法では、目標膜厚（研磨終点）において特性値が特徴的な変化を示すような重み関数を抽出するのは試行錯誤の繰り返しであり、多大な時間が必要とされる。また、重み関数によっては SN 比（信号／ノイズ比）が悪く、安定した研磨終点が検知できない場合もある。さらに、研磨される膜質、膜厚が同じであっても、デバイスパターンの違い、下地膜の種類、デバイス構造の違いが反射光の分光波形に影響を与えてしまうため、異なる種類の基板ごとに最適な重み関数を定義する必要があり、結果として生産性を低下させてしまう。本実施形態によれば、反射強度を平均反射強度で割ることにより、特徴的な極値を有する基準分光波形を得ることができるので、最適な重み関数を容易に得ることができる。

- ここで、デバイスパターンに起因するノイズレベルが大きいと、基準化前の分光波形はもちろん、基準化された分光波形を用いて求められた特性値の特徴点が目標残膜厚（目標研磨終了時間）からずれる場合がある。このようなときは、特性値を計算するときに選択した分光波形の極値波長をシフトすることで、特性値の極値時間を前後に移動させることができる。したがって、研磨終点において特

微点を示す最適な波長を選択し直せばよい。なお、選択された2つの波長を長波長側にシフトすれば特性値の特徴点が現れる時間は研磨時間の短い方（膜厚の大きい方）に移動し、短波長側にずらせば、研磨時間の長い方（膜厚の小さい方）に移動することが分かっている。図10は、選択された2つの波長を長波長側に

5 10 nm、短波長側に10 nmシフトしたときの特徴点の変化を示している。このような方法で略研磨終点となる波長が求められれば、選択波長の微調整により特性値の特徴点を研磨終点に合わせることは簡単である。

基準化前の分光波形から膜厚変化による反射強度の変化に特徴点が捉えられる場合は、基準化前の分光波形の極値となる波長から特性値を求めてもよい。また、

10 デバイスの構造が単純であり、シミュレーション計算により所定膜厚の分光波形を実用上問題のない精度で得ることができる場合には、シミュレーション計算から得られた分光波形を用いてもよい。

以上述べたように、本実施形態によれば、研磨終点において特徴的な変化点を持ち、かつ、基板のデバイスパターンに応じたSN比のよい特性値を求めること

15 ができるので、精度よく研磨終点を検知することが可能となる。なお、本実施形態は、研磨方法及び研磨装置のみならず、膜を目標膜厚までエッチングする方法及び装置や、膜を目標膜厚になるまで形成する方法及び装置にも適用することができる。

次に、本発明の他の実施形態について詳細に説明する。

20 図11は、本発明の他の実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す模式図である。図11に示すように、研磨装置は、上面に研磨パッド110が貼設された研磨テーブル112と、研磨対象物である基板を保持して研磨パッド110の上面に押圧するトップリング114とを備えている。研磨パッド110の上面は、研磨対象物である基板と摺接する研磨面を構成している。

25 研磨テーブル112は、その下方に配置されるモータ（図示せず）に連結されており、矢印で示すようにその軸心周りに回転可能になっている。また、研磨テーブル112の上方には図示しない研磨液供給ノズルが設置されており、この研磨液供給ノズルから研磨パッド110上に研磨液が供給されるようになっている。

30 トップリング114は、トップリングシャフト118に連結されており、このトップリングシャフト118を介してモータ及び昇降シリンダ（図示せず）に連結されている。これにより、トップリング114は昇降可能かつトップリングシャフト118周りに回転可能となっている。このトップリング114の下面には、研磨対象物である基板が真空等によって吸着、保持される。

上述の構成において、トップリング 114 の下面に保持された基板は、回転している研磨テーブル 112 の上面の研磨パッド 110 に押圧される。このとき、研磨液供給ノズルから研磨パッド 110 上に研磨液が供給され、基板の被研磨面（下面）と研磨パッド 110 の間に研磨液が存在した状態で基板が研磨される。

- 5 図 12 は図 11 に示すトップリングの断面を示す模式図である。図 12 に示すように、トップリング 114 は、トップリングシャフト 118 の下端に自在継手部 130 を介して連結される略円盤状のトップリング本体 131 と、トップリング本体 131 の下部に配置されたリテーナリング 132 とを備えている。トップリング本体 131 は金属やセラミックス等の強度および剛性が高い材料から形成されている。また、リテーナリング 132 は、剛性の高い樹脂材またはセラミックス等から形成されている。なお、リテーナリング 132 をトップリング本体 131 と一体的に形成することとしてもよい。

- 10 トップリング本体 131 およびリテーナリング 132 の内側に形成された空間内には、基板 W に当接する弾性パッド 133 と、弾性膜からなる環状の加圧シート 34 と、弾性パッド 133 を保持する概略円盤状のチャッキングプレート 135 とが収容されている。弾性パッド 133 の上周端部はチャッキングプレート 135 に保持され、弾性パッド 133 とチャッキングプレート 135 との間には、4 つの圧力室（エアバッグ）P1、P2、P3、P4 が設けられている。これらの圧力室 P1、P2、P3、P4 にはそれぞれ流体路 137、138、139、140 を介して加圧空気等の加圧流体が供給され、あるいは真空引きがされるようになっている。中央の圧力室 P1 は円形であり、他の圧力室 P2、P3、P4 は環状である。これらの圧力室 P1、P2、P3、P4 は、同心上に配列されている。

- 25 圧力室 P1、P2、P3、P4 の内部圧力は図示しない圧力調整部により互いに独立して変化させることが可能であり、これにより、基板 W の 4 つの領域、すなわち、中央部 C1、内側中間部 C2、外側中間部 C3、および周縁部 C4 に対する押圧力を概ね独立に調整することができる（正確には、隣り合う領域など他の領域に対する圧力室の影響を多少なりとも受ける）。また、トップリング 114 の全体を昇降させることにより、リテーナリング 132 を所定の押圧力で研磨パッド 110 に押圧できるようになっている。チャッキングプレート 135 とトップリング本体 131 との間には圧力室 P5 が形成され、この圧力室 P5 には流体路 141 を介して加圧流体が供給され、あるいは真空引きがされるようになっている。これにより、チャッキングプレート 135 および弾性パッド 133 全体が上

下方向に動くことができる。なお、基板Wの周縁部にはリテーナリング132が設けられ、研磨中に基板Wがトップリング114から飛び出さないようになっている。

図11に示すように、研磨テーブル112の内部には、基板Wの膜の状態を監視（検知）するセンサ150が埋設されている。このセンサ150はモニタリング装置153に接続され、このモニタリング装置153はCMPコントローラ154に接続されている。上記センサ150としては光学式センサや渦電流センサを用いることができる。センサ150の出力信号はモニタリング装置153に送られ、このモニタリング装置153で、センサ150の出力信号（センシング信号）に対して必要な変換・処理（演算処理）を施してモニタリング信号が生成される。このモニタリング信号（およびセンサ信号）の値は膜厚自体を示すものではないが、モニタリング信号の値は膜厚に応じて変化する。

モニタリング装置153は、モニタリング信号に基づいて各圧力室P1, P2, P3, P4の内部圧力を操作する制御部として、および研磨終点を検知する終点検知部としても機能する。すなわち、モニタリング装置153では、モニタリング信号に基づいてトップリング114が基板Wを押圧する力が決定され、この押圧力がCMPコントローラ154に送信される。CMPコントローラ154は、トップリング114の基板Wに対する押圧力を変更するように図示しない圧力調整部に指令を出す。なお、モニタリング装置153と制御部とを別々の装置としてもよく、モニタリング装置153とCMPコントローラ154とを一体化して1つの制御装置としてもよい。

図13は、研磨テーブル112と基板Wとの関係を示す平面図である。図13に示すように、センサ150は、トップリング114に保持された研磨中の基板Wの中心 C_w を通過する位置に設置されている。符号CTは研磨テーブル112の回転中心である。例えば、センサ150は、基板Wの下方を通過している間、通過軌跡（走査線）上で連続的に基板WのCu層等の導電性膜の膜厚あるいは膜厚の変化に応じて増加又は減少する量を検出できるようになっている。

図14は、センサ150が基板W上を走査する軌跡を示したものである。すなわち、センサ150は、研磨テーブル112が1回転するごとに基板Wの表面（被研磨面）を走査するが、研磨テーブル112が回転すると、センサ150は概ね基板Wの中心 C_w （トップリングシャフト118の中心）を通る軌跡を描いて基板Wの被研磨面上を走査することになる。トップリング114の回転速度と研磨テーブル112の回転速度とは通常異なっているため、基板Wの表面におけるセ

ンサ150の軌跡は、図14に示すように、研磨テーブル112の回転に伴って走査線 SL_1 , SL_2 , SL_3 , ...と変化する。この場合でも、上述したように、センサ150は、基板Wの中心 C_w を通る位置に配置されているので、センサ150が描く軌跡は、毎回基板Wの中心 C_w を通過する。そして、本実施形態では、

5 センサ150による計測のタイミングを調整して、センサ150によって基板Wの中心 C_w を毎回必ず計測するようにしている。

また、基板Wの研磨速度のプロファイルは、基板Wの中心 C_w を通り表面に垂直な軸に関して概ね軸対象になることが知られている。したがって、図14に示すように、m番目の走査線 SL_m 上のn番目の計測点を MP_{m-n} と表すとき、各走

10 査線におけるn番目の計測点 MP_{1-n} , MP_{2-n} , ..., MP_{m-n} に対するモニタリング信号を追跡することにより、n番目の計測点の半径位置における基板Wの膜厚の推移をモニタリングすることができる。

なお、図14においては、簡略化のため、1回の走査における計測点の数を15としている。しかしながら、計測点の個数はこれに限られるものではなく、計測の周期および研磨テーブル112の回転速度に応じて種々の値にすることができる。センサ150として渦電流センサを用いる場合には、通常、1つの走査線上に100個以上の計測点がある。このように計測点を多くすると、いずれかの計測点が基板Wの中心 C_w に概ね一致するので、上述した基板Wの中心 C_w に対する計測タイミングの調整を行わなくてもよい。

20 図15は、図14に示す基板W上の計測点のうちモニタリング装置153によりモニタリングを行う計測点を選択する一例を示す平面図である。図15に示す例では、押圧力が独立して操作される各領域C1, C2, C3, C4の中心近傍と境界線近傍に対応する位置の計測点 MP_{m-1} , MP_{m-2} , MP_{m-3} , MP_{m-4} , MP_{m-5} , MP_{m-6} , MP_{m-8} , MP_{m-10} , MP_{m-11} , MP_{m-12} , MP_{m-13} , MP_{m-14} , MP_{m-15} のモニタリングを行っている。ここで、図14に示した例とは異なり、計測点 MP_{m-i} と $MP_{m-(i+1)}$ との間に別の計測点があってもよい。

25 なお、モニタリングする計測点の選択は、図15に示す例に限られず、基板Wの被研磨面上において制御上着目すべき点をモニタリングすべき計測点として選択することができ、走査線上の全計測点を選択することも可能である。

30 モニタリング装置153は、選択した計測点におけるセンサ150の出力信号（センシング信号）に所定の演算処理を行い、モニタリング信号を生成する。さらに、モニタリング装置153は、生成されたモニタリング信号と後述する基準信号とに基づいて、基板Wの各領域C1, C2, C3, C4に対応する、トップ

リング 1 1 4 内の圧力室 P 1, P 2, P 3, P 4 の圧力をそれぞれ算出する。すなわち、モニタリング装置 1 5 3 は、上述のようにして選択された計測点について取得されたモニタリング信号を、予め設定された基準信号と比較し、各モニタリング信号が基準信号に収束するための圧力室 P 1, P 2, P 3, P 4 の最適な
5 圧力値を算出する。そして、算出された圧力値はモニタリング装置 1 5 3 から CMP コントローラ 1 5 4 に送信され、CMP コントローラ 1 5 4 は圧力室 P 1, P 2, P 3, P 4 の圧力を変更する。このようにして、基板 W の各領域 C 1, C 2, C 3, C 4 に対する押圧力が調整される。

ここで、ノイズの影響を排除してデータを平滑化するために、近傍の計測点に
10 ついてのモニタリング信号を平均化したものを使用してもよい。あるいは、基板 W の表面を中心 C_w からの半径に応じて同心円状に複数の領域に分割し、各領域内の計測点に対するモニタリング信号の平均値または代表値を求めて、この平均値または代表値を制御用の新たなモニタリング信号として用いてもよい。ここで、研磨中の各時点において各計測点の C_w からの距離を求めてどの領域に属するか
15 を判断するようにすれば、センサが研磨テーブル 1 1 2 の半径方向に複数個並んで配置された場合や、研磨中にトップリング 1 1 4 がトップリングヘッドシャフト 1 1 8 を中心として揺動する場合にも効果的に対応することができる。

次に、センサ 1 5 0 として光学式センサを用いた場合において、各計測点において得られた反射強度から研磨終点を検知する方法について特開 2 0 0 4 - 1 5
20 4 9 2 8 号公報の記載に基づいて説明する。

被研磨膜が酸化膜のような透光性の薄膜である場合、厚みが均一で、外乱のない理想的な状態を考えると、被研磨膜による干渉のため、各波長の相対反射率の時間変化は概ね図 1 6 に示すようになる。被研磨膜の屈折率を n 、膜厚を d 、光の波長(真空中)を λ とするとき、時間変化 1 周期分に相当する膜厚差は $\Delta d = \lambda$
25 $/ 2 n$ である。したがって、膜厚が研磨時間に伴い直線的に減少すると、相対反射率は図 1 6 に示すように極大値及び極小値が周期的に現れた時間変化をする。ここで、実線は波長 $\lambda = 5 0 0 \text{ nm}$ の場合を示し、破線は $\lambda = 7 0 0 \text{ nm}$ の場合を示す。

スペクトルデータの波長成分に重み係数を乗じる乗算を含む演算により求められる特性値に関しても、研磨時間、すなわち膜厚の減少に応じて、同様に値が増減を繰り返す。また、パターン膜の場合にも、波形にノイズや歪みが現れることはあるが、同様に特性値は増減する。

モニタリングにおいては、このようにして得られる特性値時間変化の極大値及

び／又は極小値を検出して、研磨進捗状況を表わす。予め、極値検出時点で研磨を停止してリファレンスとして膜厚測定を行っておけば、研磨進捗状況を被研磨膜の膜厚と関連付けることが出来る。

- 5 研磨終点（研磨停止点又は研磨条件変更点）の検出においては、所望の膜厚の直前の極値（特徴点の一つ）を検出して、極値に対する膜厚と所望の膜厚との差分に相当する時間だけ、オーバーポリッシュする。

- 10 なお、センサ150が基板Wの表面を1回走査するごとに、各計測点において測定された反射強度を平均化し、平均化された値から上述の特性値を算出してもよい。反射強度データに上述した一連の処理を施して特性値を計算する場合は、
10 反射強度データの処理の適当な段階で移動平均処理を行うことが好ましい。例えば、得られた反射強度データを移動平均処理してから一連の処理を施して特性値を求めてもよく、あるいは、算出された特性値に移動平均処理してもよい。なお、移動平均処理とは、ある所定の時間区間を移動させつつこの時間区間（移動平均時間）内で得られた時系列データを平均化する処理をいう。

- 15 次に、センサ150が基板の表面を走査するときの軌跡（走査線）について説明する。

- 20 研磨テーブルの回転速度とトップリングの回転速度が同一である場合、基板上のあらゆる点で相対速度が同一となり、かつ研磨テーブルに設けられたセンサは毎回基板の同一場所を走査することが理論的に分かっている。しかし、現実として厳密に研磨テーブルとトップリングの回転速度を同一にすることができないことと、同一の回転速度とすると、研磨テーブルとトップリングが同期し、研磨パッド上の溝などの影響で局部的に過小研磨される場合がある。このため、研磨テーブルの回転速度とトップリングの回転速度を意図的にわずかに変えることが多い。

- 25 図17は研磨テーブル112の回転速度を 70min^{-1} 、トップリング114の回転速度を 71min^{-1} とした場合における基板W上のセンサ150の軌跡を示す図である。

- 30 この条件では、例えば、移動平均時間を5秒とすると、その間にセンサ150は基板W上を6回走査することができ、研磨テーブル112が1回転するごとにセンサ軌跡が5.14度しか回転しない。その結果、図17に示すように基板W上の偏った部分の情報しか得られず、本来の膜厚変化に応じた反射強度の変化が正確に把握できない。

図18は図17に示す条件下で得られた特性値の信号波形を示すグラフである。

一般に、反射強度から求められる特性値は、光の干渉により膜厚変化に応じてサイン曲線状に変化する。しかしながら、研磨テーブル112の回転速度を 70min^{-1} 、トップリング114の回転速度を 71min^{-1} 、移動平均時間を5秒（移動平均点数で6点）とした場合、図18に示すように、特性値の信号波形の上にランダムなノイズが現れていることが分かる。上述したように、通常、特性値の極大値または極小値を検知して研磨終点とするが、ノイズのため極値をはっきり捉えることができず、あるいは極値を示す時間が本来の研磨終点時間からずれたりして正確な研磨終点検知ができない。

そこで、本発明では、所定の時間内（例えば、移動平均時間内）にセンサ150が基板W上に描く軌跡が基板Wの表面の全周にわたってほぼ均等に分布するようにトップリング114と研磨テーブル112の回転速度比を調整する。図19は、研磨テーブル112の回転速度を 70min^{-1} 、トップリング114の回転速度を 77min^{-1} として、移動平均時間（この例では5秒）内にセンサ150が描く基板上の軌跡を示す図である。図19に示すように、この条件下では、研磨テーブル112が1回転するごとにセンサ150の軌跡が36度回転するので、5回走査するごとにセンサ軌跡が基板W上を半周だけ回転することになる。センサ軌跡の湾曲も考慮すると、移動平均時間内にセンサ150が基板Wを6回走査することにより、センサ150は基板W上をほぼ均等に全面スキャンすることになり、パターン密度や構造の異なるエリアの影響が移動平均時間ごとにほぼ同じ程度になることが期待される。

図20は図19に示す条件下で得られた特性値の信号波形を示すグラフである。図20から分かるように、図18に比べて特性値の信号波形上のノイズが少ない。さらに、移動平均時間を倍の10秒にするか、研磨テーブル112の回転速度 70min^{-1} 、トップリング114の回転速度 84min^{-1} にすれば、移動平均時間内にセンサ軌跡が約1周回転することになるので、研磨終点検知の精度をさらに向上させることができる。

一般に、時系列データに移動平均処理を施すと、処理後のデータは実際のデータに対して移動平均時間の約半分の時間だけ遅れて取得されることになる。また、トップリング114と研磨テーブル112の回転速度比を大きく変えると、基板W上におけるトップリング114と研磨テーブル112の相対速度の分布が変化し、これにより基板Wの膜厚プロファイルが変化することが知られている。したがって、CMPプロセスに応じた遅れ時間の許容範囲、および膜厚プロファイルの変化の程度を考慮して、移動平均時間、研磨テーブル112の回転速度、トッ

トップリング 114 の回転速度を決める必要がある。通常、トップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比の少しの変化は研磨プロファイルにほとんど影響を与えないので、トップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比の調整だけでセンサ 150 に基板 W の表面を略均等に走査させることは容易である。

- 5 上述した例では、トップリング 114 の回転速度が研磨テーブル 112 の回転速度よりも速い場合を示したが、トップリング 114 の回転速度が研磨テーブル 112 の回転速度よりも遅い場合（例えば、研磨テーブル 112 の回転速度が 70min^{-1} 、トップリング 114 の回転速度が 63min^{-1} ）も、センサ軌跡が逆方向に回転するだけであり、所定の時間内にセンサ 150 が基板 W の表面に描く軌跡を基板 W の表面の全周にわたって分布させる点では上述の例と同じである。

- 10 また、上述の例では、トップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比が 1 に近い場合を述べたが、回転速度比が 0.5 や 1.5、2 など（0.5 の倍数）に近い場合も同様である。即ち、トップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比が 0.5 の場合、研磨テーブル 112 が 1 回転するごとにセンサ軌跡が 180 度回転し、基板 W から見ればセンサ 150 が一回転ごとに逆方向から同一軌跡上を移動することになる。

- 15 そこで、トップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比を 0.5 から少しずらして（例えば、トップリング 114 の回転速度を 36min^{-1} 、研磨テーブル 112 の回転速度を 70min^{-1} とする）、研磨テーブル 112 が 1 回転するごとにセンサ軌跡が $(180 + \alpha)$ 度回転するようにすれば、センサ軌跡が見かけ上 α 度ずれるようにできる。したがって、移動平均時間内にセンサ軌跡が基板 W の表面上を約 0.5 回、または約 N 回、または約 $0.5 + N$ 回（言い換えれば、0.5 の倍数、すなわち $0.5 \times N$ 回（N は自然数））だけ回転するように α を設定（即ち、トップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比を設定）すればよい。

- 25 移動平均時間内にセンサ 150 が基板 W の表面に描く軌跡が全周にわたって略均等に分布するようにすることは、移動平均時間の調整も考慮すると広い範囲において回転速度比の選択を可能とする。したがって、研磨液（スラリー）の特性などによりトップリング 114 と研磨テーブル 112 の回転速度比を大きく変える必要がある研磨プロセスにも対応できる。

- 30 ところで、一般に、トップリング 114 の回転速度が研磨テーブル 112 の回転速度の丁度半分である場合を除いて、センサ 150 が基板 W 上に描く軌跡は図 19 のように湾曲する。したがって、所定の時間内（例えば移動平均時間内）にセンサ 150 が基板 W 上に描く軌跡が基板 W の全周にわたって分布したとしても、

センサ軌跡が必ずしも厳密な意味で周方向に均等に分布する訳ではない。センサ軌跡を基板Wの周方向に厳密に均等に分布させるには、所定時間毎にセンサ軌跡が基板Wの周上をちょうどN回（Nは自然数）だけ回転するようにする必要がある。この間に、センサ150は、基板Wの表面を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査する。これを実現するためには、例えば研磨テーブル112が所定の回数（自然数）だけ回転する間に、トップリング114がちょうど研磨テーブル112の回転回数とは異なる回数（自然数）だけ回転するように、研磨テーブル112とトップリング114の回転速度を定めればよい。この場合においても、上述のようにセンサ軌跡は湾曲するため、センサ軌跡が周方向に等間隔に分布するとはいえないが、センサ軌跡を2本ずつ対にして考えれば、センサ軌跡は任意の半径位置において周方向に均等に分布しているものと見なすことができる。図21はこれを示す例であり、図19と同一の条件で研磨テーブル112が10回転する間の基板W上のセンサ軌跡を示した図である。以上より、センサ150は、上述の例に比べて基板Wの全面の様々な構造をより平均的に反映したデータを取得することができる。

このような考え方を具体化した例として、次に、被研磨物が銅膜であり、センサ150として渦電流センサを用いた場合の実施形態について説明する。本実施形態では、センサ150を用いて基板の表面状態をモニタリングし、基板径方向の膜厚が均一になるよう、研磨面に対する基板の押圧分布を調整するリアルタイム制御が行われる。なお、上述した光学式センサを用いた実施形態では、1回の走査で得られた全データを平均化して処理することができるが、本実施形態では、そのような平均化処理を行わない。すなわち、センサ150が基板Wの表面を走査する間に得られる膜厚を表すデータは、基板Wの径方向に分布する各領域C1、C2、C3、C4（図15参照）に対応して割り当てられ、各領域でのデータを用いてその領域に対応する圧力室の圧力が決定される。この場合、研磨テーブル112が回転するに従って得られるデータを領域ごとに移動平均処理してもよい。

図22は、研磨前後において、直径300mmの基板上に形成された銅の膜厚を周方向に測定した一例を示すグラフである。図22から分かるように、基板の中間部（半径 $r = 116\text{ mm}$ ）においては、膜厚は概ね均一であるが、基板の周縁部（ $r = 146\text{ mm}$ ）においては周方向に無視できないレベルの膜厚のばらつきが認められる。これは、上述したように、基板の周縁部に等間隔に配置されたカソード電極（陰極）における接触抵抗のばらつきや、めっき液を保持するためシール部材のシール性のばらつき等が存在するからである。このような接触抵抗

やシール性のばらつきは、めっき装置の部品の個体差や組み付け誤差、部品の経時劣化などが原因とされる。また、めっき装置内に複数のセル（めっき槽）が搭載され、それぞれのセルでめっきを行う場合には、それぞれのセルによって周方向の膜厚のばらつきが異なる。さらに、部品交換前後でも膜厚のばらつきの傾向が変わってくる。

図23は、研磨テーブル112の回転速度を 60min^{-1} 、トップリング114の回転速度を 31min^{-1} とした場合の基板面上のセンサ軌跡を表す図である。この図23に示す例は、センサ軌跡が徐々に回転する点で図17の例と同様であるが、研磨テーブル112が1回転（ 360° 回転）する間にトップリング114は 186° 回転するから、センサ軌跡は、走査の向きを考慮に入れないことにすると、30秒で基板Wの表面上を半周して元の位置に戻る。したがって、移動平均点数を5点とすると、この間、センサ150は、基板Wの周縁部において膜厚の大きい部位または小さい部位のみを連続して走査することになり、膜厚の過大評価や過小評価が発生する。

図24は、基板Wの径方向に分布する各領域C1、C2、C3、C4で膜厚が均一になることを目標とし、上記の回転速度条件下で研磨中にトップリング114の4つの圧力室（エアバッグ）P1、P2、P3、P4の圧力を操作した結果の一例を示すグラフである。図24から分かるように、基板Wの周縁部における膜厚の周方向のばらつきの影響を受けて、約30秒の周期で外側の圧力室ほど大きく圧力が変動する。

図25は、このような問題を回避するために、研磨テーブル112の回転速度を 60min^{-1} 、トップリング114の回転速度を 36min^{-1} に調節したときの基板面上のセンサ軌跡を示す図である。この例では、図25から分かるように、研磨テーブル112が5回転するごとにセンサ軌跡が基板Wの表面上を反時計回りに2周していると見なすことができ、その間にセンサ150が基板Wの表面を全周にわたって周方向に均等な方向・向きに走査している。

図26は、図25に示す条件の下で研磨したときのトップリング114の各圧力室P1、P2、P3、P4の圧力の変化を示すグラフである。この例では、移動平均時間4秒とし、ある時点から4秒前までの1秒間隔の5点のデータ、すなわち、研磨テーブル112が5回転する間に取得されたデータについて移動平均処理を行っている。図26に示すように、図24に見られたような30秒程度の周期の圧力変化が見られず、基板の周方向に関して平均的な膜厚をセンサ150が把握できているものと推定される。

ここで、センサ 150 が基板 W の表面上を等間隔の角度で均等に走査するための、研磨テーブル 112 の回転速度とトップリング 114 の回転速度との関係について説明する。

- いま、研磨テーブル 112 が所定の回数 m (自然数) だけ回転する間に、センサ 150 が基板 W の表面上を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査するものとすれば、このときの研磨テーブル 112 の回転速度 V とトップリング 114 の回転速度 R との関係は次式で表される。

$$R/V = n/m \quad \text{すなわち} \quad m \cdot R/V = n \quad (9)$$

- ここで R : トップリングの回転速度、
 10 V : 研磨テーブルの回転速度、
 m : 所定の研磨テーブル回転回数 (自然数)、
 n : 研磨テーブルが m 回回転する間にトップリングが回転する回数 (自然数) を表す。

- いま、研磨テーブルが m 回だけ回転したとき、センサが基板 W の表面を 1 周分
 15 均等に走査するものとすれば、 m と n とは互いに素な自然数である。

- 上記式 (9) の根拠となる考え方は次の通りである。研磨テーブル 112 が m 回転する間に、トップリング 114 は $m \cdot R/V$ 回転する。この間に、センサ 150 が基板 W の表面上を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査したとすると、トップリング 114 はちょうど n 回転しなければならない (式 (9))。ただし、研磨テーブル 112 が m 回 (トップリング 114 が n 回) だけ回転する前に、
 20 このような状況が発生しないことを条件とする。言い換えれば、 m と n とは互いに素な自然数になる。

ここで、式 (9) を別の視点から見ると、研磨テーブル 112 の回転速度 V とトップリング 114 の回転速度 R との関係は次の式で表すこともできる。

- 25 $| (V-R)/V | \cdot m = n' \quad \text{すなわち、} \quad | 1 - R/V | \cdot m = n' \quad (10)$

ただし、 n' は自然数であり、基板の表面上を回転するセンサ軌跡が初期方向に戻るまでのセンサ軌跡の回転回数を示す。

このとき $V > R$ ならば $m \cdot R/V = m - n' \quad \text{ただし } n' = 1, 2, \dots, m - 1$

- 30 $V < R$ ならば $m \cdot R/V = m + n' \quad \text{ただし } n' = 1, 2, \dots$

したがって、 $V > R$ のとき $m - n'$ を n と置き換え、 $V < R$ のとき $m + n'$ を n と置き換えれば、式 (10) は式 (9) と等価になる。すなわち、基板表面上におけるセンサ軌跡の回転回数 n' は、研磨テーブル 112 の回転回数 m とトッ

ブリング 1 1 4 の回転回数 n との差になっている。

- ここで、研磨中の膜厚の変化に応じて各圧力室 $P 1$, $P 2$, $P 3$, $P 4$ の圧力をリアルタイムで制御するためには、圧力を決定する時点にできるだけ近い時点での膜表面の状態を把握する必要がある。この理由から、上記 m はある程度小さい方が望ましい。例えば、圧力決定時点から長くても 1 6 秒以内の膜の表面状態を把握しようとするならば、 $m/V \leq 1 6$ 秒とする必要がある。一方、周方向の膜厚のばらつき、パターン密度、構造の違いによらず膜の平均的な表面状態を把握するためには m をある程度大きくする必要がある。周方向の膜厚のばらつきを少なくとも 4 本の走査線に対応する 8 個の計測値で代表するものとするならば、
 5 $m \geq 4$ となる。したがって、リアルタイム制御と膜厚のばらつきとを考慮して、
 10 回転回数 m は、好ましくは $4 \leq m \leq 1 6 \times V$ となるように設定する。

- 図 2 7 は、式 (9) を満たすトップリングと研磨テーブルの回転速度比 R/V の例を示す表である。実際には、研磨装置の研磨性能も考慮して、この表の中から適当な回転速度比を選んで、トップリング 1 1 4 と研磨テーブル 1 1 2 の回転
 15 速度を決定する。

めっき装置のセル（めっき槽）の構造などから、基板の周縁部の膜厚変化に M 周期の空間的な周期性が認められる場合には、トップリング 1 1 4 と研磨テーブル 1 1 2 の回転速度の関係は以下のように表される。

$$R/V = n / (m \cdot M) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

- 20 ここで、研磨テーブル 1 1 2 が m 回転したときに始めて、走査線が基板 W 上で周方向にばらつきのある膜厚の各値を均等に走査するものとするれば、 m と n とは互いに素な自然数である。

- 上記式 (9), (10), (11) に基づいて研磨テーブル 1 1 2 の回転速度を研磨装置の設定単位（例えば 1 min^{-1} ）の整数倍に設定するとき、トップリング 1
 25 1 4 の回転速度が上記設定単位の整数倍にならないことがある。このような場合には、上記式で求めた値に近い整数をトップリング 1 1 4 の回転速度として設定すればよい。また、上記式に基づいて研磨テーブル 1 1 2 およびトップリング 1 1 4 の回転速度を決定した場合、研磨テーブル 1 1 2 が m 回転する間に、研磨パッド 1 6 の同一の部位が基板 W の表面上の同一部位を 1 回研磨することになって、
 30 研磨パッド 1 6 上の溝などの影響を受け、基板 W の研磨が局所的に不十分となる場合がある。そのような場合には、上式で求めた研磨テーブル 1 1 2 またはトップリング 1 1 4 の回転速度に研磨装置の設定単位（例えば 1 min^{-1} ）の回転速度を加算または減算すればよい。

例えば、トップリング 1 1 4 および研磨テーブル 1 1 2 の回転速度は、上式 (9) に基づいて、次の式で表される範囲内で設定することができる。

$$n V / m - 1 \leq R \leq n V / m + 1 \quad (12)$$

$$\text{または } m \cdot R / n - 1 \leq V \leq m \cdot R / n + 1 \quad (13)$$

- 5 ただし、V は研磨テーブル 1 1 2 の回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数であり、R はトップリング 1 1 4 の回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数である。

- 10 センサ 1 5 0 が基板 W の面上を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査するといっても、実用的には、研磨テーブル 1 1 2 が m 回だけ回転する間に、トップリング 1 1 4 がちょうど n 回だけ回転する必要はない。研磨テーブル 1 1 2 が m 回回転したときに、トップリング 1 1 4 が ± 0.2 回転の範囲でずれることを認めれば、研磨テーブル 1 1 2 の回転速度 V を次の式で表される範囲内で設定することができる。

$$m \cdot R / (n + 0.2) \leq V \leq m \cdot R / (n - 0.2) \quad (14)$$

- 15 なお、上述した方法が、研磨のリアルタイム制御に限らず、研磨終点検知や膜厚のモニタリングのみを行う場合にも適用できることはもちろんである。膜厚の均一性を目的とする研磨制御においては、多くの場合、基板の周縁部の膜厚が重要視される。しかしながら、研磨終点検知や単なる膜厚のモニタリングのみの場合には、必ずしも基板の周縁部をモニタリングする必要はなく、基板の中心部および/またはその付近のみの膜厚をモニタリングしてもよい。基板の中心部とその周辺では、センサ軌跡が 1 8 0 度回転した状態であっても、ほぼ同一部位の表面状態を取得できるので、研磨終点検知や膜厚のモニタリングのみの場合には、前述の式 (9) において、n を $n/2$ に置き換えることができる。すなわち、この場合の回転速度比は次の式で表される。

- 25 $R / V = n / (2m)$ (15)

- 30 以上の例では、モニタリング信号のノイズ成分を抑える平滑化の方法として移動平均法を例にとりて説明したが、モニタリング信号に生ずる回転回数 m に相当する周期のノイズ成分を実質的に平滑化できるものであれば移動平均に限定されるものでなく、例えば無限インパルス応答型のデジタルフィルタであってもよい。さらに、モニタリング信号を基にリアルタイム制御する場合、回転回数 m と同期しないように制御周期（具体的には、膜厚の変化に応じて圧力室の圧力を変化させる周期）を適当に設定すれば、移動平均処理等の平滑化処理を行うことなく良好な制御を行うことも可能である。

- 上述したように、本発明は、半導体ウェハ等の基板の表面に形成された膜を、化学機械的研磨（CMP）で平坦化する際に、光学式あるいは渦電流式センサなどの In-situ タイプのセンサから出力される研磨状態を示すモニタリング信号の処理に適用することができる。光学式センサは、一般に、光を透過するシリコン
- 5 酸化膜系の研磨に使われる。一方、金属などの導体膜研磨には渦電流式センサが使われる。しかしながら、金属においても膜厚が数十 nm 以下になれば光が透過するため、光学式センサを使うこともできる。

また、本発明は、上記モニタリング信号を用いて被研磨膜の研磨後の膜厚が均一になるよう研磨する場合にも適用することができる。

10

産業上の利用可能性

本発明は、基板などの加工対象物の被加工面の特性値を算出して、加工終点のタイミングを検知する加工終点検知方法及び装置に適用可能である。

請求の範囲

1. 被加工物の被加工面に光を照射して得られる反射光の分光波形を用いて算出された前記被加工面に対する特性値に基づいて加工終点を検知する方法であ
- 5 って、
- 基準被加工物を用いて、またはシミュレーション計算により、加工終点における反射強度と波長との関係を示す分光波形を生成し、
- 前記分光波形に基づいて、反射強度の極大値および極小値となる波長を選択し、
- 前記選択された波長における反射強度から被加工面に対する特性値を算出し、
- 10 被加工物の加工終点における特性値の時間変化の特徴点を加工終点として設定し、
- 被加工物の加工中に前記特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする加工終点検知方法。
- 15 2. 前記基準被加工物の加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、前記基準被加工物の加工終点における反射強度を前記平均反射強度で割ることにより基準分光波形を生成し、
- 極大値および極小値となる波長の前記選択を、前記基準分光波形に基づいて行うことを特徴とする請求項 1 に記載の加工終点検知方法。
- 20 3. 前記選択された極大値となる波長を中心とした重さを有する重さ関数を定義し、
- 被加工物の被加工面に光を照射して得られる反射光の反射強度に前記重み関数を乗じて積分することにより前記被加工面に対する特性値を算出し、
- 25 前記特性値の時間変化の特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする請求項 1 に記載の加工終点検知方法。
4. 前記選択された波長を前後の波長へシフトさせることを特徴とする請求項 1 に記載の加工終点検知方法。

5. 被加工物の被加工面に多波長からなる光を照射して得られる反射光の分光波形を用いて算出された前記被加工面に対する特性値に基づいて加工終点を検知する方法であって、

基準被加工物を用いて、またはシミュレーション計算により、加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、

被加工物の加工中に多波長からなる光を照射して得られた反射光の分光波形の反射強度を、前記基準被加工物の平均反射強度で割った基準分光波形をモニタリングすることにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする加工終点検知方法。

10

6. 光を被加工物の被加工面に照射する光源と、
前記被加工面からの光を受ける受光部と、
前記受光部に受光された光を分光し、電気的情報に変換する分光器ユニットと、
前記分光器ユニットからの電気的情報を演算する演算部とを有し、

15 前記演算部は、基準被加工物の加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、前記基準被加工物の加工終点における反射強度を前記平均反射強度で割ることにより基準分光波形を生成し、該基準分光波形の極大値および極小値となる波長を選択し、前記選択された波長における反射強度から前記基準被加工物の被加工面に対する特性値を算出し、被加工物の加工終点における特性値の時間変化の
20 特徴点を加工終点として設定し、加工中に前記特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする加工装置。

7. 前記演算部は、前記選択された波長を前後の波長へシフトさせることを特徴とする請求項6に記載の加工装置。

25

8. 前記演算部は、前記選択された極大値となる波長を中心とした重さを有する重さ関数を定義し、被加工物の被加工面に光を照射して得られる反射光の反射強度に前記重み関数を乗じて積分することにより前記被加工面に対する特性値を算出し、前記特性値の時間変化の特徴点を検知することにより被加工物の加工
30 終点を検知することを特徴とする請求項6に記載の加工装置。

9. 多波長からなる光を被加工物の被加工面に照射する光源と、
前記被加工面からの光を受ける受光部と、
前記受光部に受光された光を分光し、電気的情報に変換する分光器ユニットと、
前記分光器ユニットからの電気的情報を演算する演算部とを有し、
- 5 前記演算部は、基準被加工物の加工時間内における各波長の平均反射強度を求め、被加工物の加工中に多波長からなる光を照射して得られた反射光の分光波形の反射強度を、前記基準被加工物の平均反射強度で割った基準分光波形をモニタリングすることにより被加工物の加工終点を検知することを特徴とする加工装置。
- 10 10. 被研磨物をトップリングで保持しつつ回転させ、
回転する研磨テーブル上の研磨面に被研磨物を押圧して該被研磨物を研磨し、
前記研磨テーブルに設置されたセンサで研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングする工程を含み、
所定の測定時間内に前記センサが被研磨物の表面に描く軌跡が前記被研磨物の
- 15 表面の全周にわたって略均等に分布するように前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を設定することを特徴とする研磨方法。
11. 前記所定の測定時間内に前記センサの軌跡が被研磨物の表面を約0.5×N回（Nは自然数）回転するように前記トップリングと前記研磨テーブルの
- 20 回転速度を設定することを特徴とする請求項10に記載の研磨方法。
12. 前記所定の測定時間は、前記センサから得られたモニタリング信号を移動平均処理するときの移動平均時間であることを特徴とする請求項10に記載の研磨方法。
- 25 13. 前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングして研磨終点を検知することを特徴とする請求項10に記載の研磨方法。
14. 前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングしながら、該被
- 30 研磨物の表面の膜厚が均一になるように研磨することを特徴とする請求項10に記載の研磨方法。

15. 所定の測定時間は、4から $16 \times V$ （ V は前記研磨テーブルの回転速度を表す）までの自然数から選択された回数を前記研磨テーブルが回転する時間であることを特徴とする請求項10に記載の研磨方法。

- 5 16. 被研磨物をトップリングで保持しつつ回転させ、
回転する研磨テーブル上の研磨面に被研磨物を押圧して該被研磨物を研磨し、
前記研磨テーブルに設置されたセンサで研磨中の被研磨物の表面状態をモニタ
リングする工程を含み、
前記研磨テーブルが第1の自然数で表わされる所定の回数だけ回転する間に、
10 前記トップリングが前記第1の自然数と互いに素な第2の自然数に等しい回数だ
け回転するように、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を設定し、
前記第1の自然数は、4以上であって、16秒の間に前記研磨テーブルが回転
する回数以下であることを特徴とする研磨方法。

- 15 17. 前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングして研磨終点を
検知することを特徴とする請求項16に記載の研磨方法。

18. 前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングしながら、該被
研磨物の表面の膜厚が均一になるように研磨することを特徴とする請求項16に
20 記載の研磨方法。

25

30

19. 被研磨物をトップリングで保持しつつ回転させ、
 回転する研磨テーブル上の研磨面に被研磨物を押圧して該被研磨物を研磨し、
 前記研磨テーブルに設置されたセンサで研磨中の被研磨物の表面状態をモニタ
 リングする工程を含み、

5 前記トップリングの回転速度と前記研磨テーブルの回転速度が、

$$nV/m-1 \leq R \leq nV/m+1 \text{ または } m \cdot R/n-1 \leq V \leq m \cdot R/n+1$$

ただし、Vは前記研磨テーブルの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の
 倍数を示す自然数、

10 Rは前記トップリングの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を
 示す自然数、

mは所定の自然数であって、かつ前記センサが被研磨物の表面を全周にわたり
 周方向に均等な方向・向きに走査するのに要する前記研磨テーブルの回転
 回数、

15 nはmと互いに素な自然数、

で表される関係式を満たすことを特徴とする研磨方法。

20. 前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングして研磨終点を
 検知することを特徴とする請求項19に記載の研磨方法。

20

21. 前記センサにより被研磨物の表面状態をモニタリングしながら、該被
 研磨物の表面の膜厚が均一になるように研磨することを特徴とする請求項19に
 記載の研磨方法。

25 22. 被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、

前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能
 な研磨テーブルと、

前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングす
 るセンサとを備え、

30 前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度は、所定の測定時間内に前記
 センサが被研磨物の表面に描く軌跡が前記被研磨物の表面の全周にわたって略均
 等に分布するように設定されていることを特徴とする研磨装置。

23. 前記所定の測定時間内に前記センサの軌跡が被研磨物の表面を約 $0.5 \times N$ 回 (N は自然数) 回転するように前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度が設定されていることを特徴とする請求項 22 に記載の研磨装置。

- 5 24. 前記所定の測定時間は、前記センサから得られたモニタリング信号を移動平均処理するときの移動平均時間であることを特徴とする請求項 22 に記載の研磨装置。

- 10 25. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、研磨終点を検知する終点検知部をさらに備えることを特徴とする請求項 22 に記載の研磨装置。

26. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、該被研磨物の表面を均一に研磨するための被研磨物の前記研磨面に対する押圧力を決定する制御部をさらに備えることを特徴とする請求項 22 に記載の研磨装置。

15

27. 所定の測定時間は、4 から $16 \times V$ (V は前記研磨テーブルの回転速度を表す) までの自然数から選択された回数を前記研磨テーブルが回転する時間であることを特徴とする請求項 22 に記載の研磨装置。

- 20 28. 被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、
前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、

前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサとを備え、

- 25 前記研磨テーブルが第 1 の自然数で表わされる所定の回数だけ回転する間に、
前記トップリングが前記第 1 の自然数と互いに素な第 2 の自然数に等しい回数だけ回転するように、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度が設定され、
前記第 1 の自然数は、4 以上であって、16 秒の間に研磨テーブルが回転する回数以下であることを特徴とする研磨装置。

30

29. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、研磨終点を検知する終点検知部をさらに備えることを特徴とする請求項 28 に記載の研磨装置。

30. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、該被研磨物の表面を均一に研磨するための被研磨物の前記研磨面に対する押圧力を決定する制御部をさらに備えることを特徴とする請求項28に記載の研磨装置。

- 5 31. 被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、
前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、
前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサとを備え、
- 10 前記トップリングの回転速度と前記研磨テーブルの回転速度が、

$$nV/m-1 \leq R \leq nV/m+1 \text{ または } m \cdot R/n-1 \leq V \leq m \cdot R/n+1$$
ただし、Vは前記研磨テーブルの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数、
- 15 Rは前記トップリングの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数、
mは所定の自然数であって、かつ前記センサが被研磨物の表面を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査するのに要する前記研磨テーブルの回転回数、
- 20 nはmと互いに素な自然数、
で表される関係式を満たすことを特徴とする研磨装置。

32. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、研磨終点を検知する終点検知部をさらに備えることを特徴とする請求項31に記載の研磨装置。

25

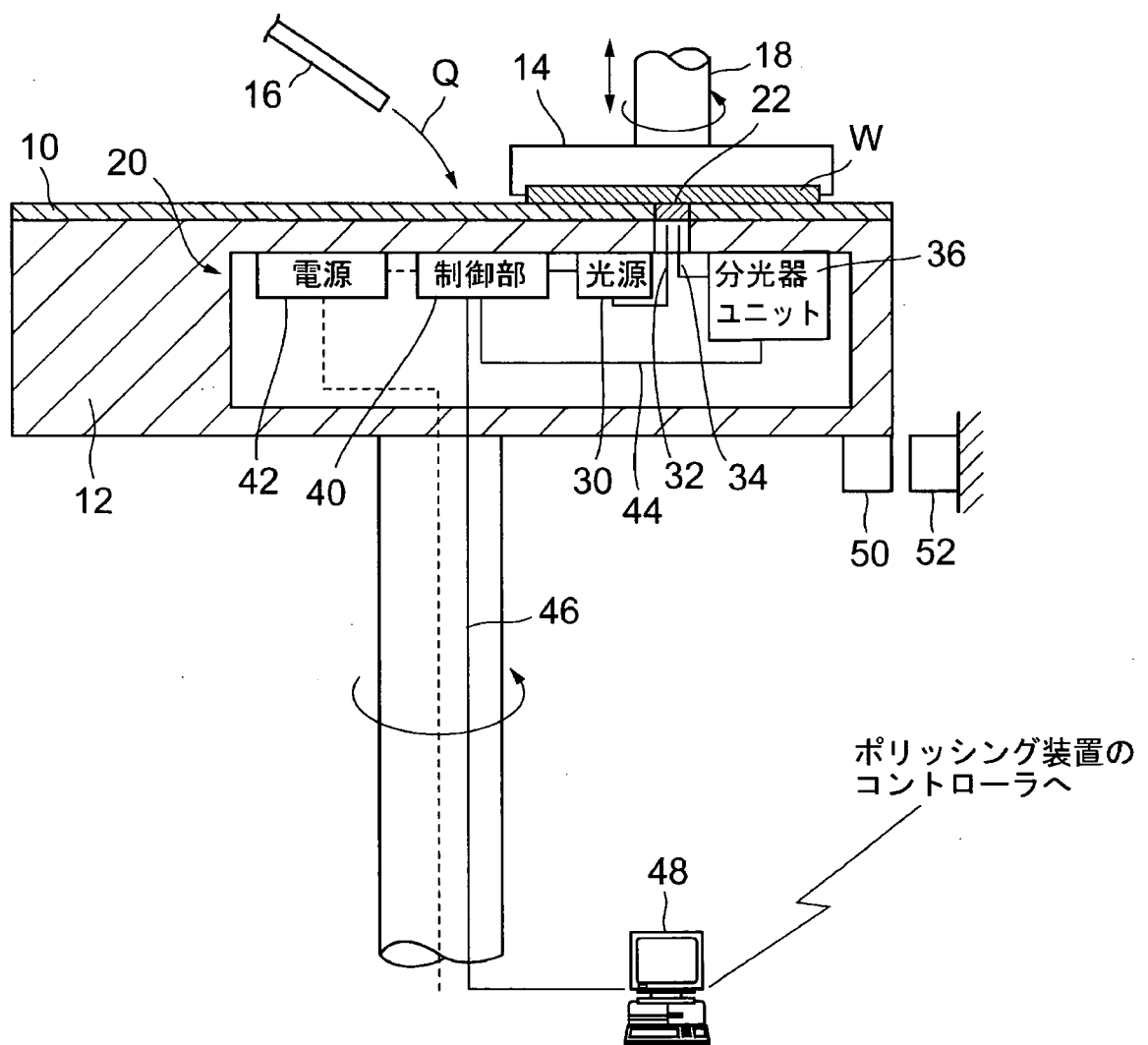
33. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、該被研磨物の表面を均一に研磨するための被研磨物の前記研磨面に対する押圧力を決定する制御部をさらに備えることを特徴とする請求項31に記載の研磨装置。

30

34. 被研磨物を保持しつつ回転させるトップリングと、
前記トップリングに保持された被研磨物が押圧される研磨面を有する回転可能な研磨テーブルと、
前記研磨テーブルに設置され、研磨中の被研磨物の表面状態をモニタリングするセンサと、
5 前記センサからの信号を演算するモニタリング装置とを備え、
前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度は、前記センサが被研磨物の表面を走査する軌跡が毎回同じにならないように設定され、
前記モニタリング装置は、被研磨物の表面を一周する複数の前記軌跡を一組として、該一組の軌跡の信号値を平均化する演算を行うことを特徴とする研磨装置。
10
35. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、研磨終点を検知する終点検知部をさらに備えることを特徴とする請求項34に記載の研磨装置。
- 15 36. 前記センサから得られた被研磨物の表面状態に基づき、該被研磨物の表面を均一に研磨するための被研磨物の前記研磨面に対する押圧力を決定する制御部をさらに備えることを特徴とする請求項34に記載の研磨装置。

1/18

FIG. 1



2/18

FIG. 2

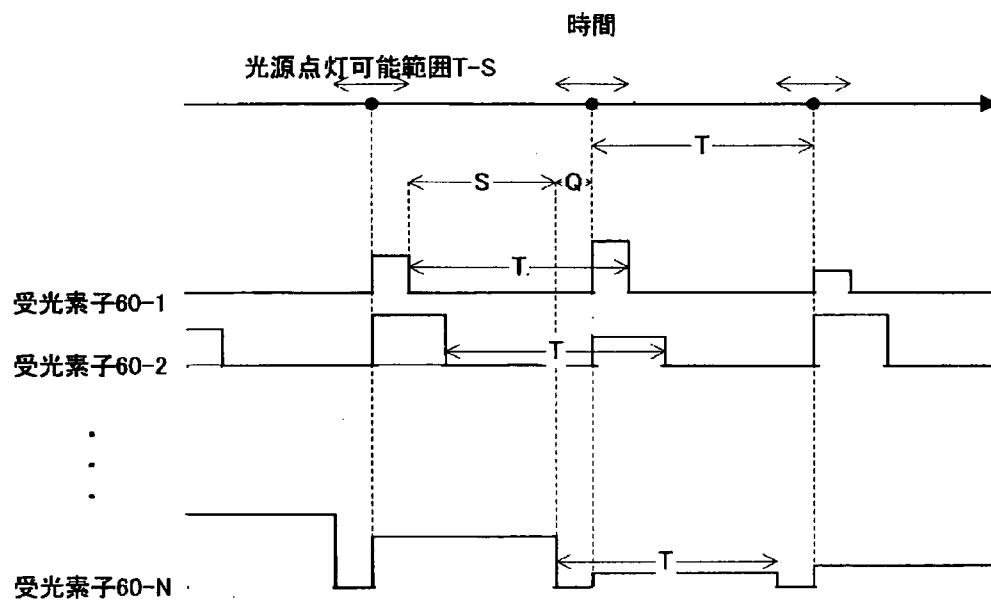
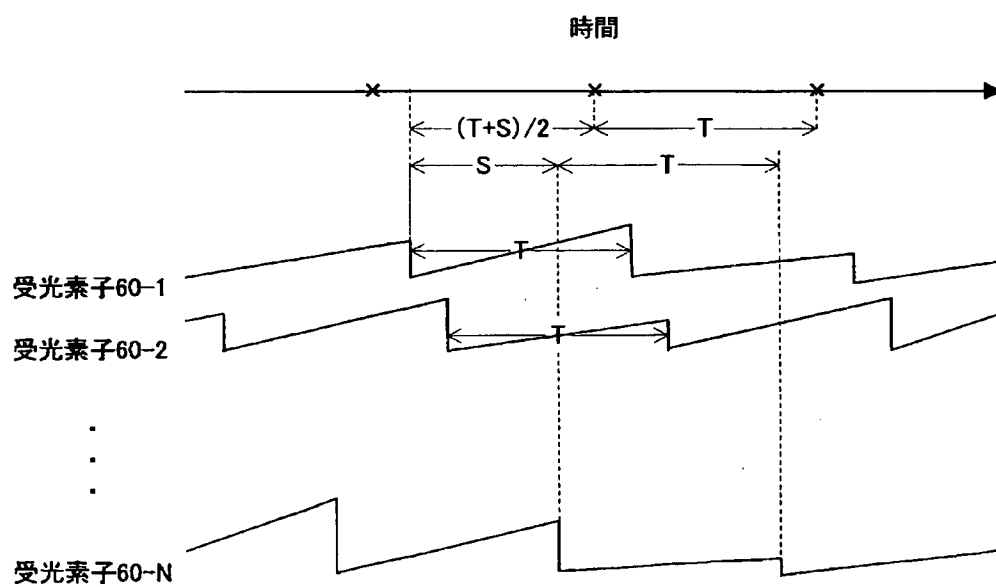
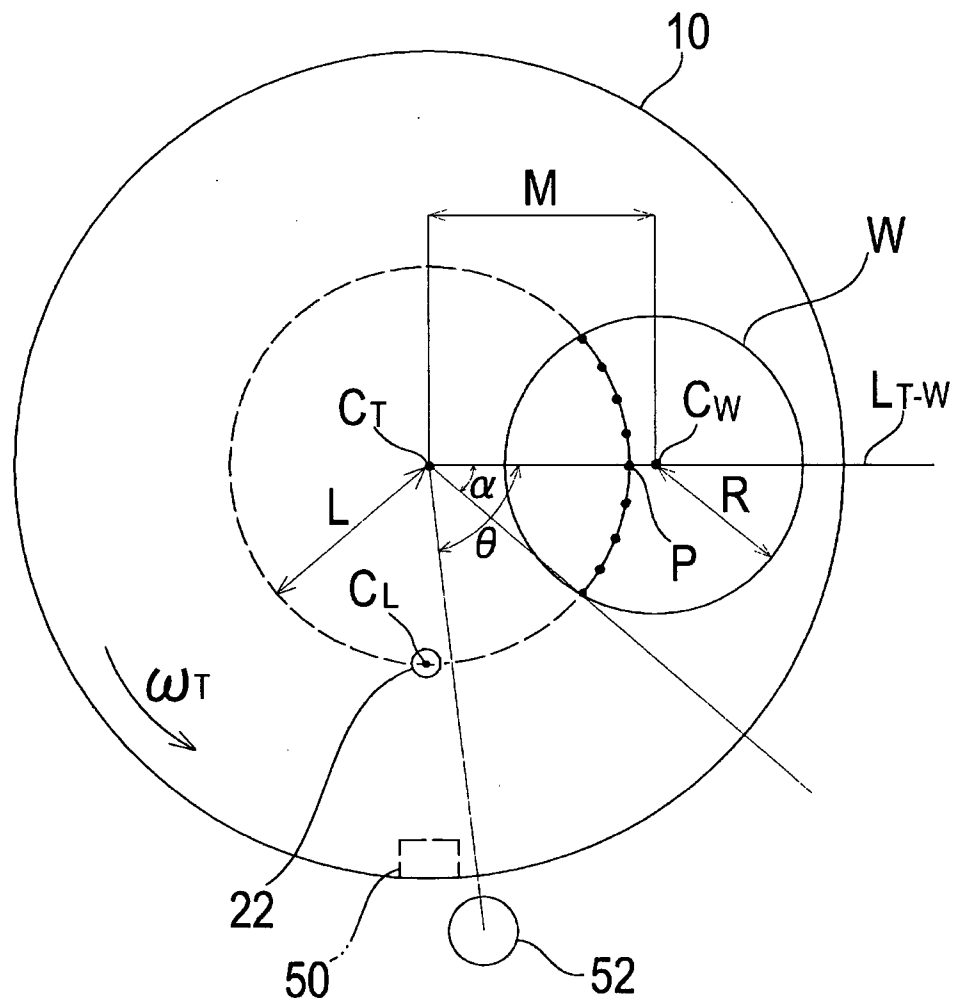


FIG. 3



3/18

FIG. 4



4/18

FIG. 5

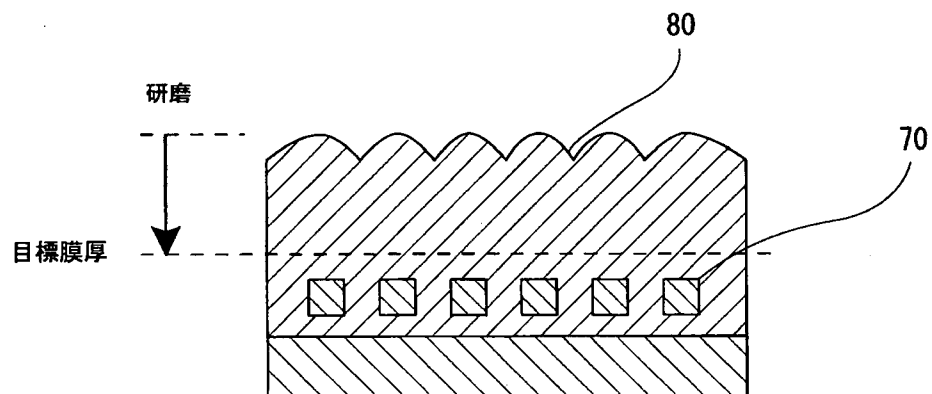
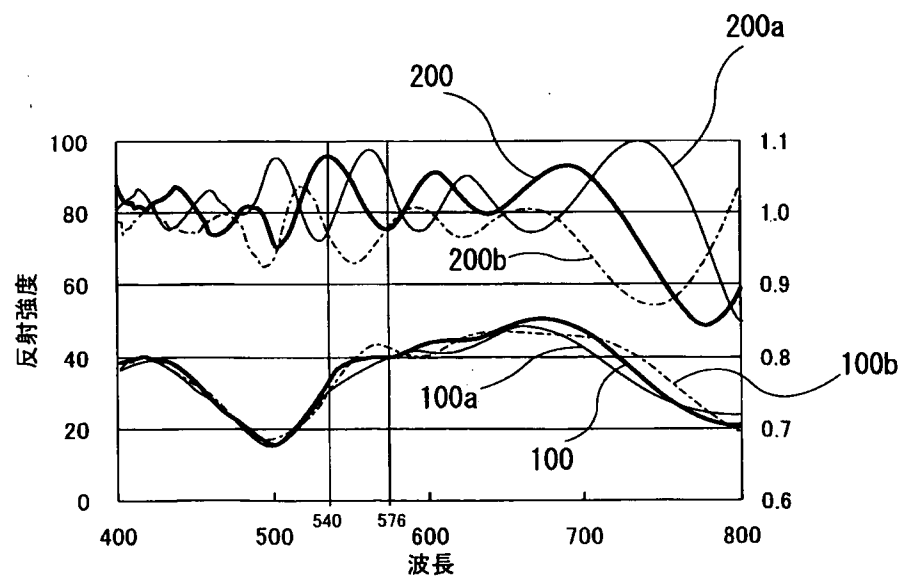
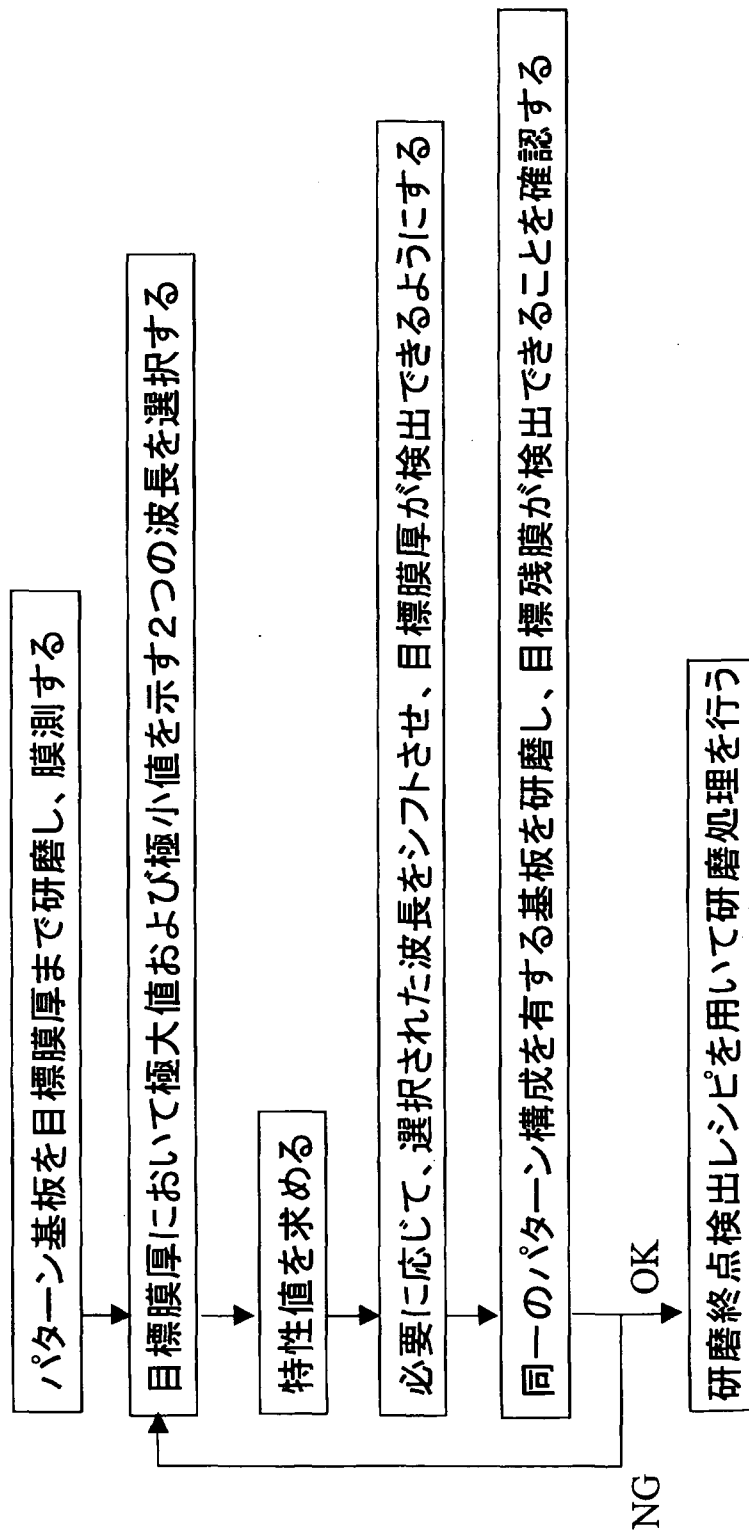


FIG. 6



5/18

FIG. 7



6/18

FIG. 8

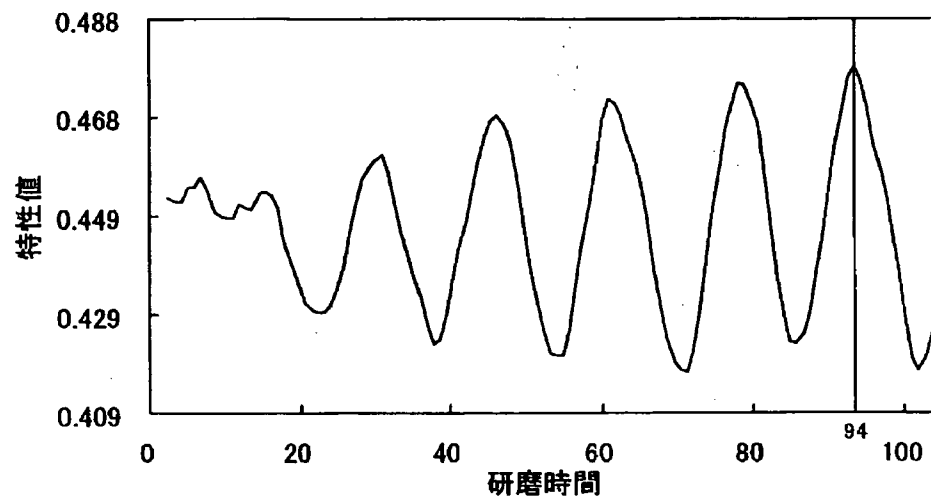
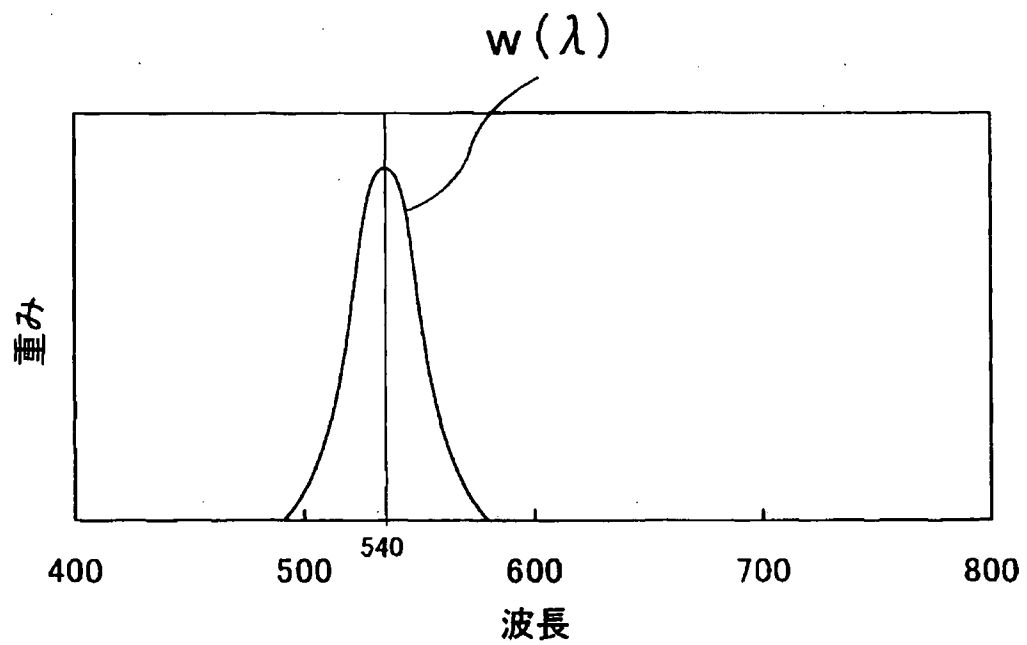
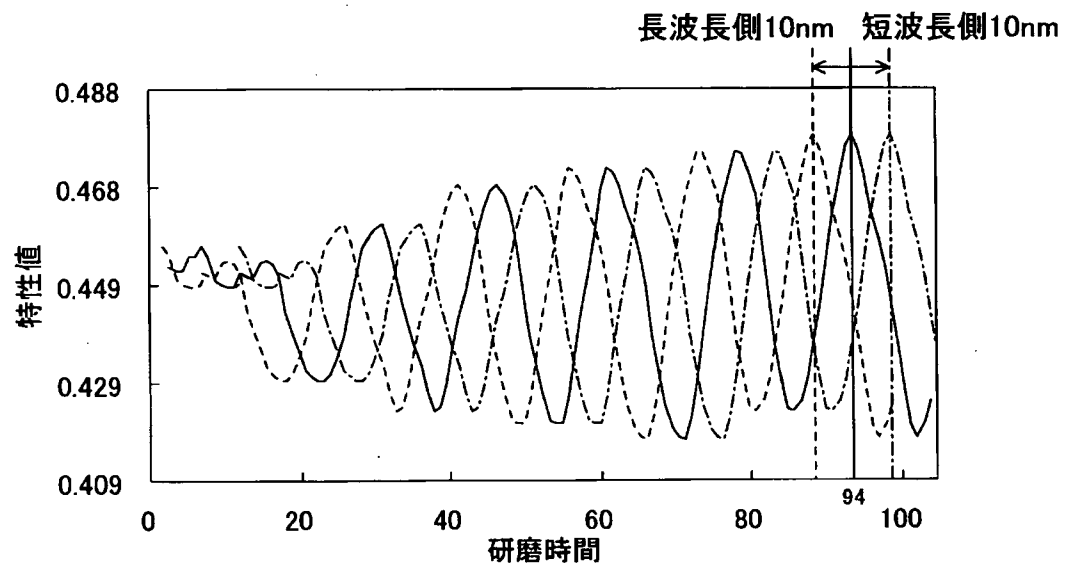


FIG. 9



7/18

FIG. 10



8/18

FIG. 11

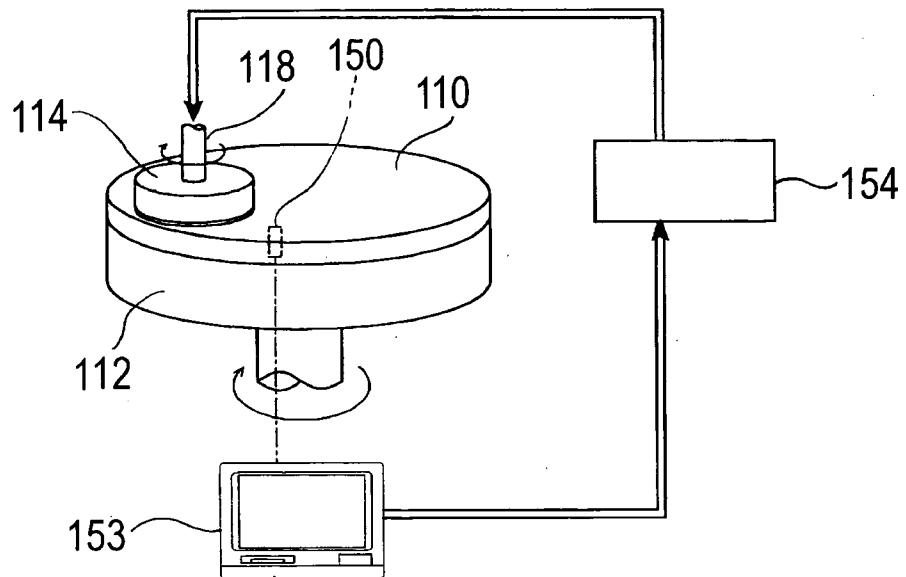
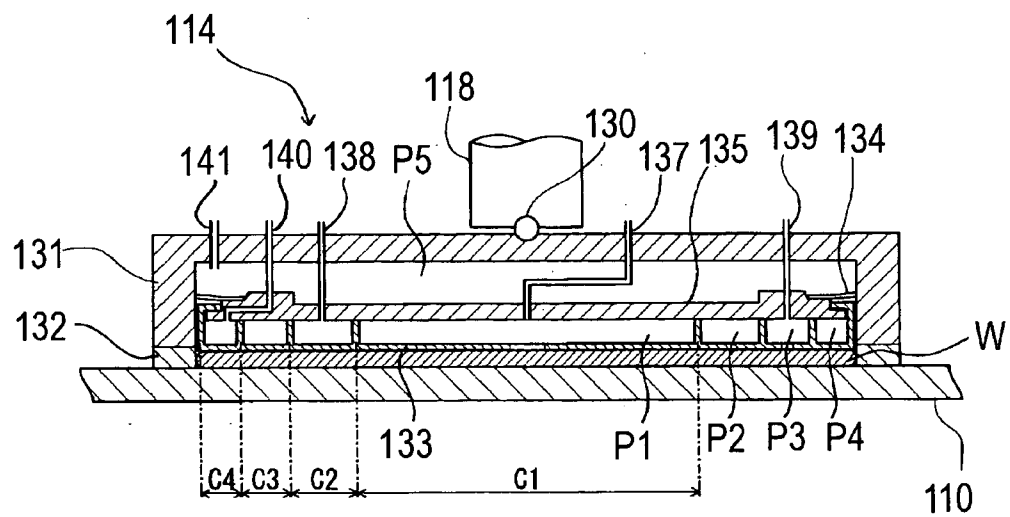
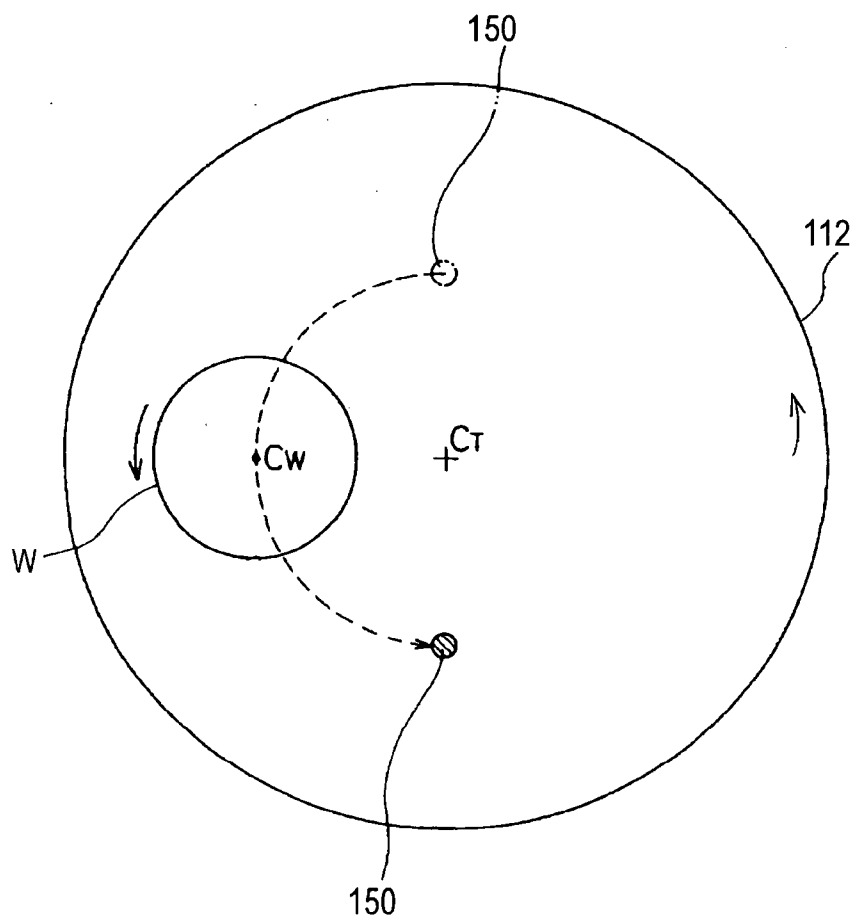


FIG. 12



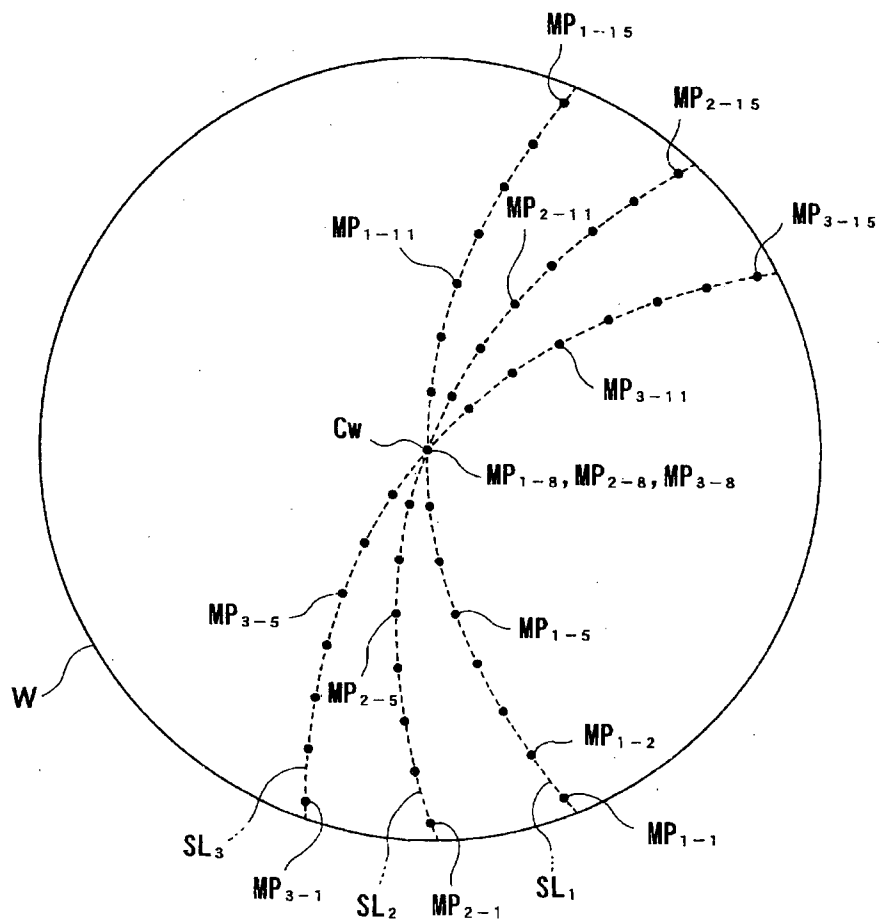
9/18

FIG. 13



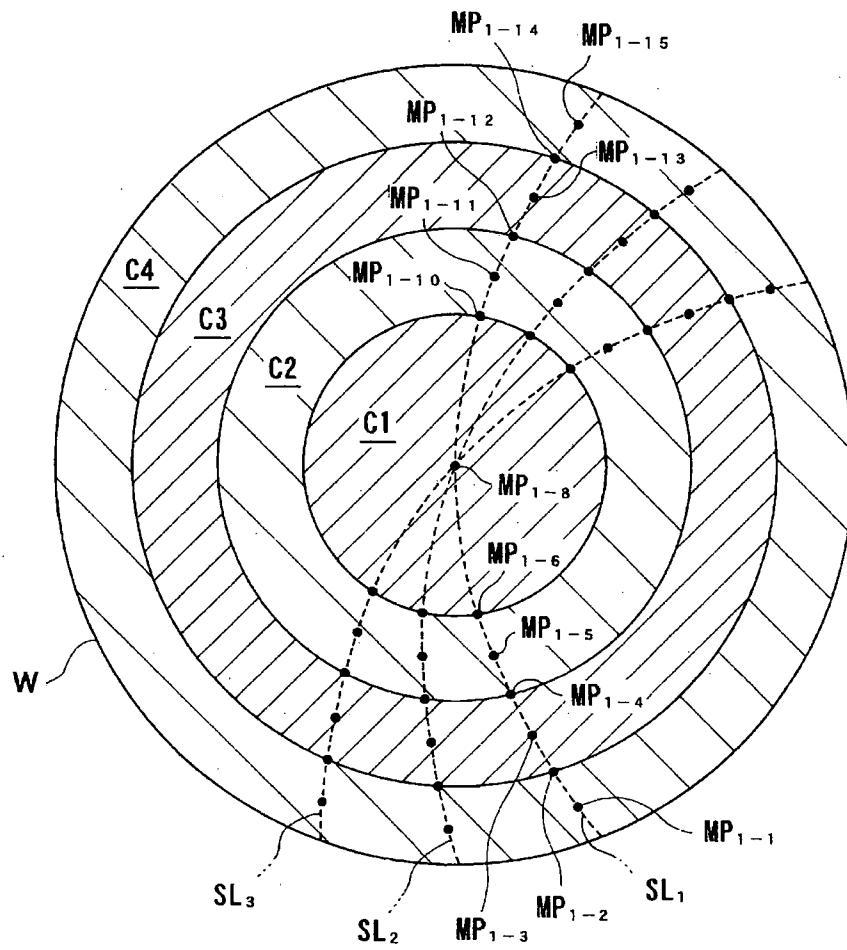
10/18

FIG. 14



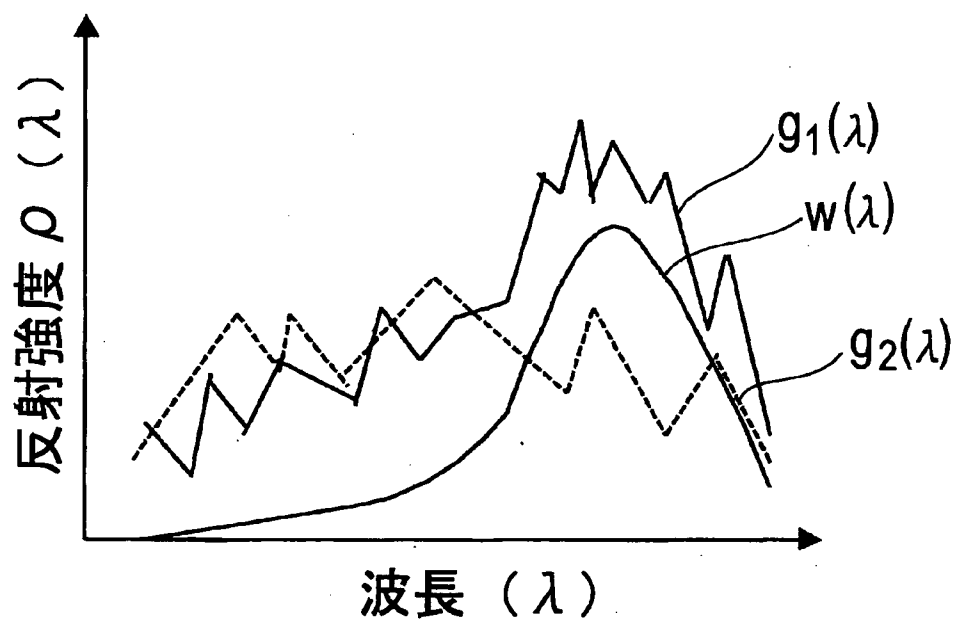
11/18

FIG. 15



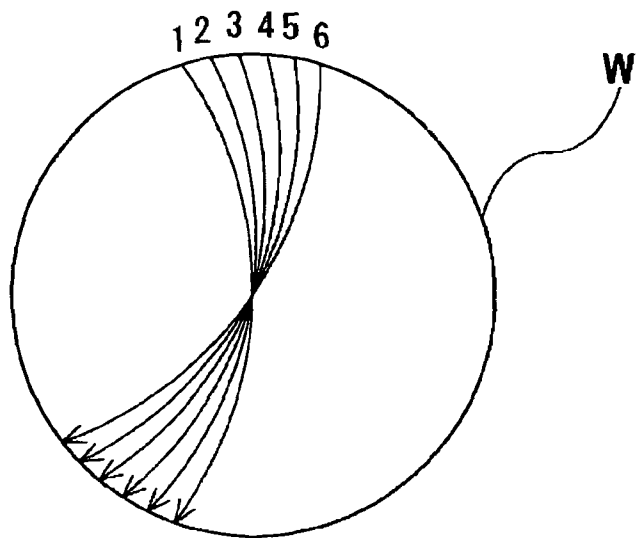
12/18

FIG. 16



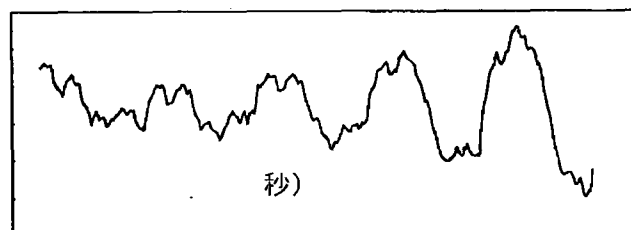
13/18

FIG. 17



ウェハ上のセンサ軌跡 (TT/TR=70/71 min⁻¹)

FIG. 18



信号波形 (TT/TR=70/71 min⁻¹、移動平均時間 5秒)

14/18

FIG. 19

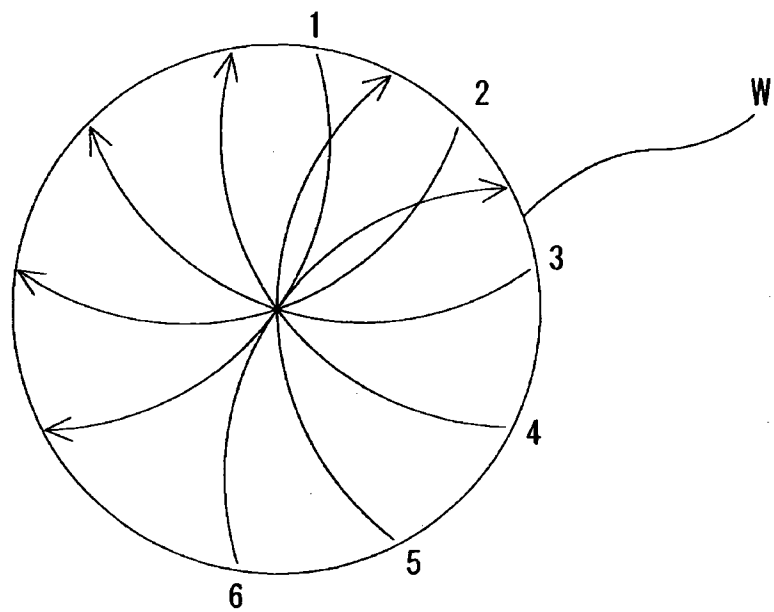
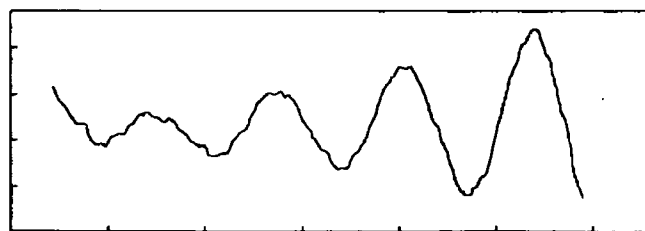


FIG. 20



信号波形(TT/TR=70/77 min⁻¹、移動平均時間 5秒)

15/18

FIG. 21

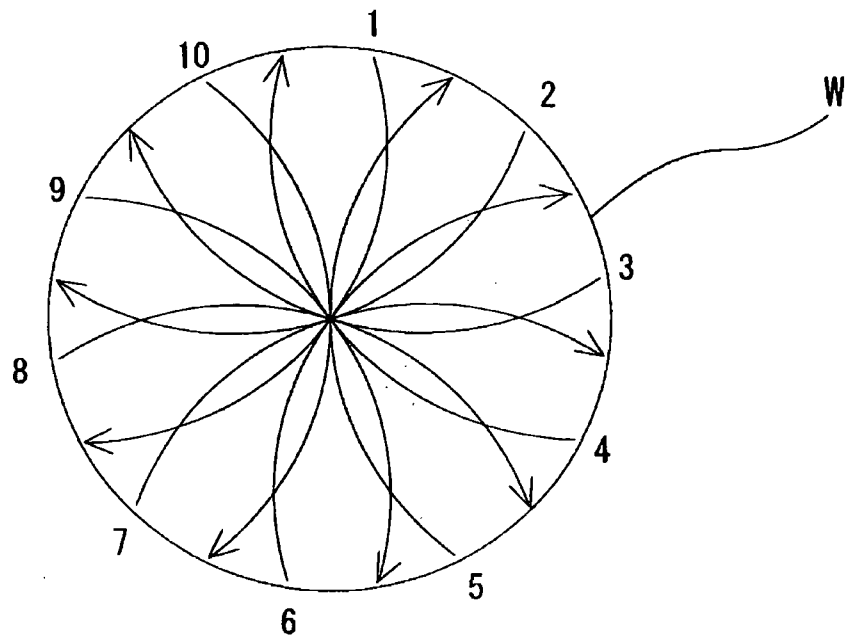
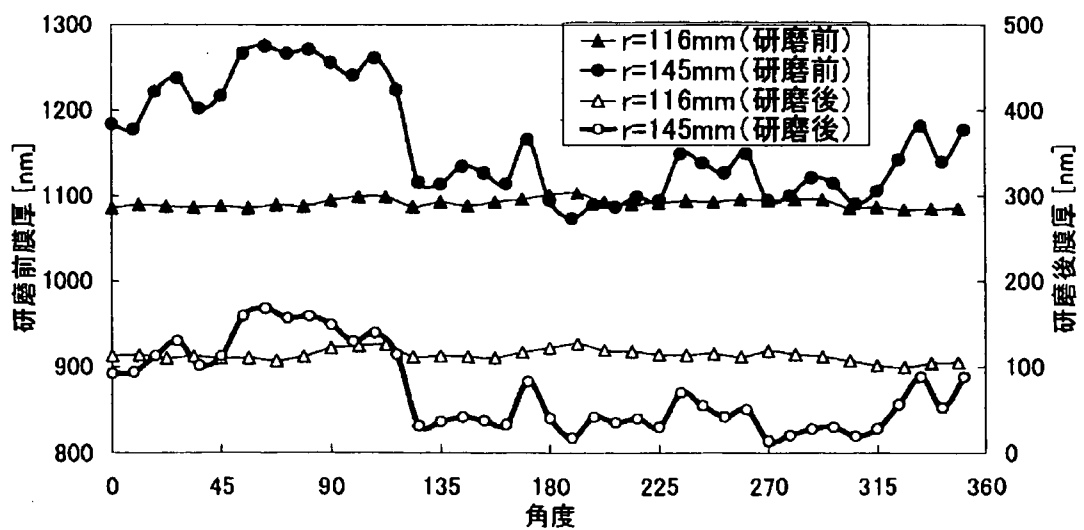


FIG. 22

ウェハ周方向Cu膜厚測定例



16/18

FIG. 23

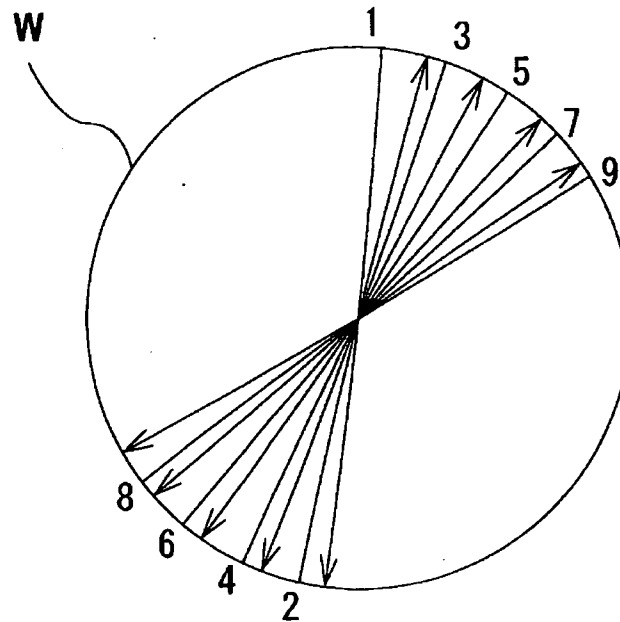
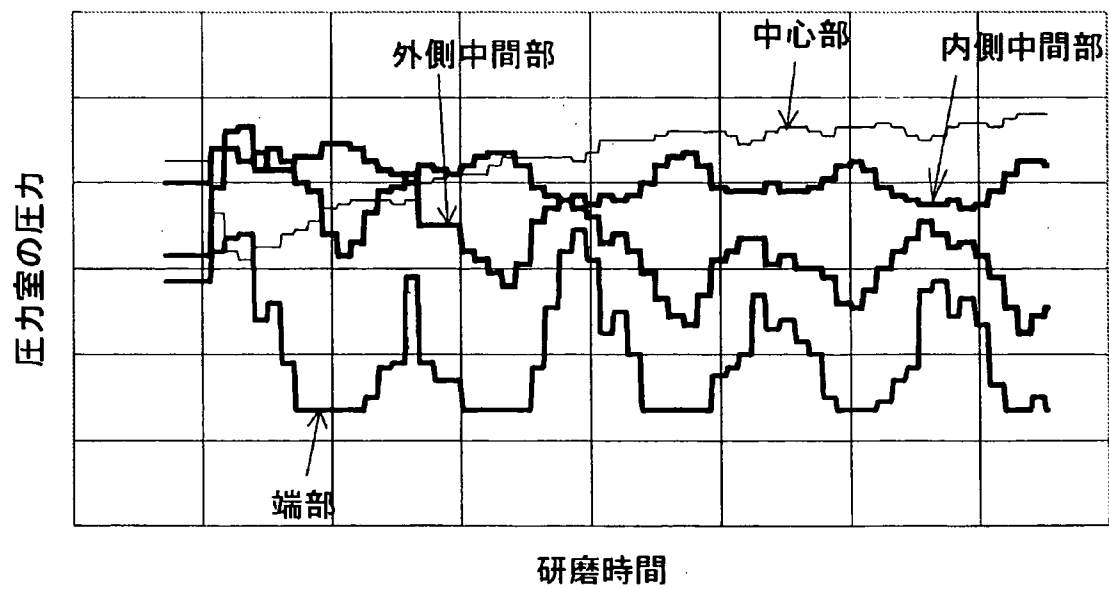


FIG. 24



17/18

FIG. 25

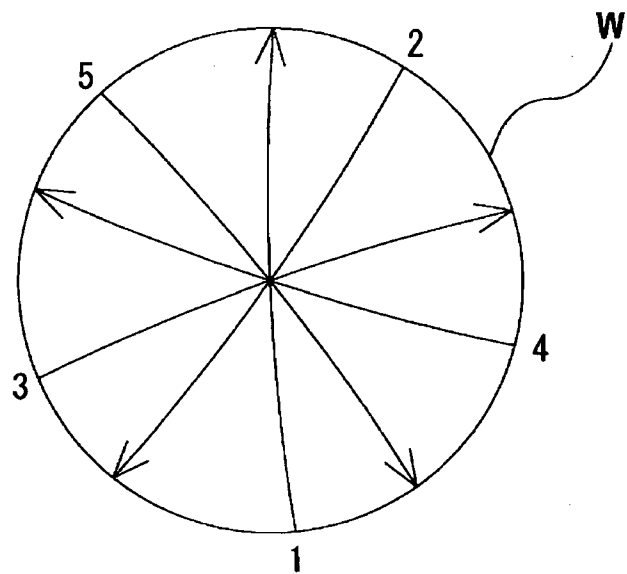
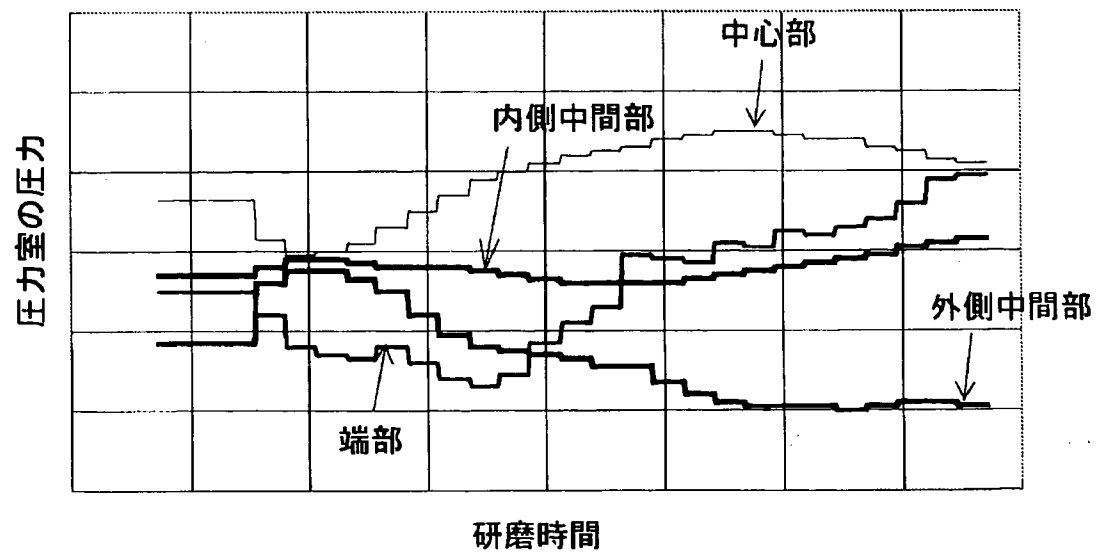


FIG. 26



18/18

FIG. 27

$n \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	0.100	0.091	0.083	0.077	0.071	0.067	0.063
2	2.000	NA	0.667	NA	0.400	NA	0.286	NA	0.222	NA	0.182	NA	0.154	NA	0.133	NA
3	3.000	1.500	NA	0.750	0.600	NA	0.429	0.375	NA	0.300	0.273	NA	0.231	0.214	NA	0.188
4	4.000	NA	1.333	NA	0.800	NA	0.571	NA	0.444	NA	0.364	NA	0.308	NA	0.267	NA
5	5.000	2.500	1.667	1.250	NA	0.833	0.714	0.625	0.556	NA	0.455	0.417	0.385	0.357	NA	0.313
6	6.000	NA	NA	NA	1.200	NA	0.857	NA	NA	NA	0.545	NA	0.462	NA	NA	NA
7	7.000	3.500	2.333	1.750	1.400	1.167	NA	0.875	0.778	0.700	0.636	0.583	0.538	NA	0.467	0.438
8	8.000	NA	2.667	NA	1.600	NA	1.143	NA	0.889	NA	0.727	NA	0.615	NA	0.533	NA
9	9.000	4.500	NA	2.250	1.800	NA	1.286	1.125	NA	0.900	0.818	NA	0.692	0.643	NA	0.583
10	10.000	NA	3.333	NA	NA	NA	1.429	NA	1.111	NA	0.909	NA	0.769	NA	NA	NA
11	11.000	5.500	3.667	2.750	2.200	1.833	1.571	1.375	1.222	1.100	NA	0.917	0.846	0.786	0.733	0.688
12	12.000	NA	NA	NA	2.400	NA	1.714	NA	NA	NA	1.091	NA	0.923	NA	NA	NA
13	13.000	6.500	4.333	3.250	2.600	2.167	1.857	1.625	1.444	1.300	1.182	1.083	NA	0.929	0.867	0.813
14	14.000	NA	4.667	NA	2.800	NA	NA	NA	1.556	NA	1.273	NA	1.077	NA	0.933	NA
15	15.000	7.500	NA	3.750	NA	NA	2.143	1.875	NA	NA	1.364	NA	1.154	1.071	NA	0.938
16	16.000	NA	5.333	NA	3.200	NA	2.286	NA	1.778	NA	1.455	NA	1.231	NA	1.067	NA
17	17.000	8.500	5.667	4.250	3.400	2.833	2.429	2.125	1.889	1.700	1.545	1.417	1.308	1.214	1.133	1.063
18	18.000	NA	NA	NA	3.600	NA	2.571	NA	NA	NA	1.636	NA	1.385	NA	NA	NA
19	19.000	9.500	6.333	4.750	3.800	3.167	2.714	2.375	2.111	1.900	1.727	1.583	1.462	1.357	1.267	1.188
20	20.000	NA	6.667	NA	NA	NA	2.857	NA	2.222	NA	1.818	NA	1.538	NA	NA	NA

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/070030

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/304(2006.01)i, B24B37/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/304, B24B37/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-154928 A (Ebara Corp., Shimadzu Corp.), 03 June, 2004 (03.06.04), Full text & WO 2004/035265 A1 & US 2006/166606 A1	1-9
A	JP 2000-33561 A (Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.), 02 February, 2000 (02.02.00), Full text (Family: none)	1-9
A	JP 11-33901 A (Nikon Corp.), 09 February, 1999 (09.02.99), Full text & US 6489624 B1	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 January, 2008 (30.01.08)

Date of mailing of the international search report

12 February, 2008 (12.02.08)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/070030

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2004-514273 A (ASML US, Inc., Massachusetts Institute of Technology), 13 May, 2004 (13.05.04), Full text & WO 2002/010729 A1 & US 6476921 B1	10-36

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/070030

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

"The special technical feature" of the inventions of claims 1-4, 6-8 relates to a technique in which "a spectral waveform indicating the relation between the reflection intensity and the wavelength at the machining end point is created, the wavelengths at which the reflection intensity takes on maximum and minimum values are selected according to the spectral waveform, a characteristic value with respect to the surface to be machined is computed from the reflection intensity at the selected wavelength, the feature point of the temporal variation of the characteristic value at the machining end point is set as the machining end point, and by detecting the feature point while machining the machining object, (Continued to extra sheet)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/070030

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

the machining end point of the machining object is detected". "The special technical feature" of the inventions of claims 5, 9 relates to a technique in which "the reference spectral waveform obtained by dividing the reflection intensity of the spectral waveform of the reflected light produced by shining light having multiple wavelengths while machining a machining object by an average reflection intensity of the reference object to be ground is monitored to detect the machining end point of the machining object".

"The special technical feature" of the inventions of claims 10-15, 22-27 relates to a technique in which "the rotational speeds of the top ring and the grinding table are determined so that the traces drawn on the surface of the object in grinding by the sensor within a predetermined measurement time are substantially uniformly distributed over the whole circumference of the surface of the object in grinding". However, the search has revealed that the matter is not novel since it is disclosed in documents such as JP 2004-514273 A (ASML US, Inc., Massachusetts Institute of Technology), 13 May, 2004 (13.05.04), [0059] - [0063], [FIG. 18]. In consequence, since the matter makes no contribution over the prior art, the common matter is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence. Therefore, there is no matter common to all the inventions of claims 10-15, 22-27. Since there exists no other common matter considered as a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, no technical relationship between these different inventions within the meaning of PCT Rule 13 can be seen.

"The special technical feature" of the inventions of claims 16-18, 28-30 relates to a technique in which "the rotational speeds of the top ring and the grinding tables are determined so that while the grinding table rotates predetermined turns expressed by a first natural number, the top ring rotates the turns equal to a second natural number coprime to the first natural number, the first natural number is four or more and a number equal to or less than the number of turns that the grinding table turns for 16 seconds". "The special technical feature" of the inventions of claims 19-21, 31-33 relates to a technique in which "the rotational speeds of the top ring and the grinding table meet the relations $nT/m-1 \leq R \leq nT/m+1$, where T is the rotational speed of the grinding table and is a natural number expressing an integral multiple of the set unit allowed by the grinding device, R is the rotation speed of the top ring and is a natural number expressing an integral multiple of the set unit allowed by the grinding device, m is a predetermined natural number and is the number of turns of the grinding table required for the sensor to scan in uniform circumferential directions over the circumference of the surface of the object in grinding, and n and m are natural number coprime to each other".

"The special technical feature" of the inventions of claims 34-36 relates to a technique in which "the monitoring device classifies the traces each making one turn on the surface of the object in grinding into sets and averages the signal values of the traces of each set".

Since these inventions are not in a technical relationship involving one or more of the same or corresponding special technical features, it cannot be considered that they are so linked as to form a single general inventive concept.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
 Int.Cl. H01L21/304(2006.01)i, B24B37/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））
 Int.Cl. H01L21/304, B24B37/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 8 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 8 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 8 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2004-154928 A（株式会社荏原製作所, 株式会社島津製作所） 2004.06.03, 全文 & WO 2004/035265 A1 & US 2006/166606 A1	1-9
A	JP 2000-33561 A（大日本スクリーン製造株式会社）2000.02.02, 全 文（ファミリーなし）	1-9
A	JP 11-33901 A（株式会社ニコン）1999.02.09, 全文 & US 6489624 B1	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

3 0 . 0 1 . 2 0 0 8

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 2 . 2 0 0 8

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小野田 達志

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 6 4

3 P

3 1 1 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2004-514273 A (エイエスエムエル ユーエス インコーポレイ テッド, マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロ ジー) 2004.05.13, 全文 & WO 2002/010729 A1 & US 6476921 B1	10-36

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1－4, 6－8に係る発明の「特別な技術的特徴」は「加工終点における反射強度と波長との関係を示す分光波形を生成し、前記分光波形に基づいて、反射強度の極大値および極小値となる波長を選択し、前記選択された波長における反射強度から被加工面に対する特性値を算出し、被加工物の加工終点における特性値の時間変化の特徴点を加工終点として設定し、被加工物の加工中に前記特徴点を検知することにより被加工物の加工終点を検知すること」に関し、請求の範囲5, 9に係る発明の「特別な技術的特徴」は「被加工物の加工中に多波長からなる光を照射して得られた反射光の分光波形の反射強度を、前記基準被研磨物の平均反射強度で割った基準分光波形をモニタリングすることにより被加工物の加工終点を検知すること」に関するものである。

（特別ページに続く）

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☒ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

また請求の範囲10-15, 22-27に係る発明の共通の事項は、[所定の測定時間内に前記センサが被研磨物の表面に描く軌跡が前記被研磨物の表面の全周にわたって略均等に分布するように前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を設定すること]である。しかしながら、調査の結果、上記事項は、文献JP 2004-514273 A (エイエスエムエル ユーエス インコーポレイテッド, マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロジー), 2004.05.13, 【0059】-【0063】, 【図18】などに開示されているから、新規でないことが明らかとなった。結果として、上記事項は先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別な技術的特徴ではない。それ故、請求の範囲10-15, 22-27に係る発明全てに共通の事項はない。PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通の事項は存在しないので、それらの相違する発明の間にPCT規則13の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

また請求の範囲16-18, 28-30に係る発明の「特別な技術的特徴」は[研磨テーブルが第1の自然数で表わされる所定の回数だけ回転する間に、前記トップリングが前記第1の自然数と互いに素な第2の自然数に等しい回数だけ回転するように、前記トップリングと前記研磨テーブルの回転速度を設定し、前記第1の自然数は、4以上であって、16秒の間に前記研磨テーブルが回転する回数以下であること]に関し、請求の範囲19-21, 31-33に係る発明の「特別な技術的特徴」は[トップリングの回転速度と前記研磨テーブルの回転速度が、 $nT/m-1 \leq R \leq nT/m+1$ ただし、Tは前記研磨テーブルの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数、Rは前記トップリングの回転速度で、研磨装置が許容する設定単位の倍数を示す自然数、mは所定の自然数であって、かつ前記センサが被研磨物の表面を全周にわたり周方向に均等な方向・向きに走査するのに要する前記研磨テーブルの回転回数、nはmと互いに素な自然数、で表される関係式を満たすこと]に関し、請求の範囲34-36に係る発明の「特別な技術的特徴」は[モニタリング装置は、被研磨物の表面を一周する複数の前記軌跡を一組として、該一組の軌跡の信号値を平均化する演算を行うこと]に関するものである。

これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係がないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。