

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5534672号
(P5534672)

(45) 発行日 平成26年7月2日 (2014.7.2)

(24) 登録日 平成26年5月9日 (2014.5.9)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 4 B 37/013 (2012.01)

H O 1 L 21/304 (2006.01)

B 2 4 B 49/12 (2006.01)

B 2 4 B 37/04 K

H O 1 L 21/304 6 2 2 S

H O 1 L 21/304 6 2 2 F

B 2 4 B 49/12

請求項の数 10 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2008-528048 (P2008-528048)
 (86) (22) 出願日 平成18年8月21日 (2006.8.21)
 (65) 公表番号 特表2009-505847 (P2009-505847A)
 (43) 公表日 平成21年2月12日 (2009.2.12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/032659
 (87) 国際公開番号 W02007/024807
 (87) 国際公開日 平成19年3月1日 (2007.3.1)
 審査請求日 平成21年7月8日 (2009.7.8)
 (31) 優先権主張番号 60/710,682
 (32) 優先日 平成17年8月22日 (2005.8.22)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 11/213,344
 (32) 優先日 平成17年8月26日 (2005.8.26)
 (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】 化学機械的研磨のスペクトルに基づく監視のための装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータによって実現される方法であって、

基準スペクトルを選択するステップであって、前記基準スペクトルがターゲット厚さよりも厚い対象膜で反射された白色光のスペクトルを表しているステップと、

複数の現在のスペクトルを得るステップであって、前記複数の現在のスペクトルが、基板上にあり、前記ターゲット厚さよりも厚い現在の厚さを有する対象膜で反射された白色光のスペクトルであり、前記基板上の前記対象膜には研磨ステップが施され、前記複数の現在のスペクトルの各々は異なる時間において得られるステップと、

前記基板について、前記研磨ステップの終点に達したかどうかを決定するステップとを備え、

前記研磨ステップの終点に達したかどうかを決定するステップは、差分トレースの最小値を検出することを含み、

前記差分トレースは、前記差分トレースを与える複数のデータ点を得るために、前記基準スペクトルと前記複数の現在のスペクトルの各々との間の差分を計算することにより生成され、

前記基準スペクトルは、前記最小値が検出された時が前記ターゲット厚さに一致するように選択されている、方法。

【請求項 2】

前記差分トレースの最小値を検出することは、前記差分トレースが最小値の閾値内に入

10

20

るかどうかを決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記研磨ステップの前記終点に達したかどうかを決定するステップが、前記差分トレースが前記最小値よりも上の閾値にまで上昇したかどうかを決定する工程を含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記差分トレースが最小値の閾値内に入るかどうかを決定するステップが、前記差分トレースの傾斜を計算する工程を含む、請求項 2 又は 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記現在のスペクトルと前記基準スペクトルのそれぞれが最大 / 最小増幅を呈し、
前記現在のスペクトルが、前記現在のスペクトルの前記最大 / 最小増幅が前記基準スペクトルの最大 / 最小増幅と同じまたは類似するよう正規化される、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 6】

機械読み取り可能な媒体に記憶されたコンピュータプログラム製品であって、前記製品がプロセッサに以下の動作をさせる命令を備え、前記動作には、

基準スペクトルを選択する動作が含まれ、前記基準スペクトルがターゲット厚さよりも厚い対象膜で反射された白色光のスペクトルを表していて、

複数の現在のスペクトルを得る動作がさらに含まれ、前記複数の現在のスペクトルが、基板上にあり、ターゲット厚さよりも厚い現在の厚さを有する対象膜で反射された白色光のスペクトルであり、前記基板上の対象膜には研磨ステップが施され、前記複数の現在のスペクトルの各々は異なる時間において得られ、

20

前記基板について、前記研磨ステップの終点に達したかどうかを決定する動作がさらに含まれ、

前記研磨ステップの終点に達したかどうかの決定は、差分トレースの最小値を検出することを含み、

前記差分トレースは、前記差分トレースを与える複数のデータ点を得るために、前記基準スペクトルと前記複数の現在のスペクトルの各々との間の差分を計算することにより生成され、

前記基準スペクトルは、前記最小値が検出された時が前記ターゲット厚さに一致するように選択されている、コンピュータプログラム製品。

30

【請求項 7】

前記差分トレースの最小値を検出するための命令は、前記差分トレースが最小値の閾値内に入るかどうかを決定する命令を含む、請求項 6 に記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項 8】

前記研磨ステップの終点に達したかどうかを決定する命令が、前記差分トレースが前記最小値よりも上の閾値にまで上昇したかどうかを決定する命令を含む、請求項 7 に記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項 9】

前記差分トレースが最小値の閾値内に入るかどうかを決定する命令が、前記差分トレースの傾斜を計算する命令を含む、請求項 7 又は 8 に記載のコンピュータプログラム製品。

40

【請求項 10】

前記現在のスペクトルと前記基準スペクトルのそれぞれが最大 / 最小増幅を呈し、
前記製品がさらに、前記現在のスペクトルを、前記現在のスペクトルの最大 / 最小増幅が前記基準スペクトルの最大 / 最小増幅と同一となる、または類似するよう正規化する命令を備える、請求項 6 ~ 9 のいずれか一項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】

【背景技術】

【0001】

50

[0001]本発明は、一般的に基板の化学機械的研磨に関する。

【 0 0 0 2 】

[0002]集積回路は、典型的に、基板上に導電層、半導電層、絶縁層を連続堆積させることによって、シリコンウェーハ上に形成される。或る製作ステップでは、非平坦な表面上に充填剤層を堆積させ、この充填剤層を平坦化する工程を含む。具体的な用途では、パターン化した層の頂面が露出するまで充填剤層の平坦化を行う。例えば、パターン化した絶縁層上に伝導性の充填剤層を堆積させることで、絶縁層のトレンチまたは穴を充填する。平坦化の後に、絶縁層の上昇したパターンの間に残っている導電層の各部分がビア、プラグ、ラインを形成し、これにより、基板上の薄膜回路間に伝導経路が提供される。これ以外の、酸化物研磨のような用途では、非平坦な表面の上に所定厚さの充填剤層が残るまで充填剤層を平坦化する。これに加えて、通常、基板表面の平坦化はフォトリソグラフィーに必要とされる。

10

【 0 0 0 3 】

[0003]化学機械的研磨 (C M P) は、1つの受け入れられた平坦化方法である。この平坦化方法では、典型的に、基板をキャリアまたは研磨ヘッド上に搭載する必要がある。典型的には、基板の露出面が回転研磨ディスクパッドまたはベルトパッドに対して設置される。研磨パッドは標準的なパッドまたは固定型の研磨パッドのいずれかであってもよい。標準的なパッドは耐久性のある粗い表面を有し、一方、固定型の研磨パッドは汚染媒体内に保持される研磨粒子を有する。キャリアヘッドは基板に制御可能な負荷を提供して、これを研磨パッドに対して押圧する。典型的には、研磨パッドの表面に研磨スラリーが供給される。研磨スラリーは、少なくとも1つの化学反応薬品を含んでおり、また、標準的な研磨パッドと共に使用する場合には研磨粒子を含む。

20

【 0 0 0 4 】

[0004] C M P に伴う1つの問題は、研磨処理が完了したかどうかを決定すること、即ち、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、あるい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。導電層または膜の過剰研磨 (多すぎる除去) は、回路抵抗の増加につながる。その一方で、導電層の研磨不足 (少なすぎる除去) は電気短絡につながる。基板層の初期厚さ、スラリー組成、研磨パッド状態、研磨パッドと基板の間の相対速度、基板上の負荷における変化は、材料除去速度に変化を生じさせる可能性がある。これらの変化により、研磨終点に達するまでの時間も変化してしまう。そのため、研磨終点を単純に研磨時間の関数として決定することができない。

30

【 概要 】

【 0 0 0 5 】

[0005]1つの一般的な態様において、本発明は、基準スペクトルを選択するステップを含む、コンピュータによって実現される方法であることを特徴とする。基準スペクトルは、第1基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い対象膜で反射された白色光のスペクトルである。基準スペクトルは、具体的なスペクトルに基づく終点論理を適用することで終点が呼び出されるとターゲット厚さが達成されるように、具体的なスペクトルに基づく終点決定論理に経験的に選択される。本発明は現在のスペクトルを得るステップを含む。現在のスペクトルは、第2基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い現在の厚さを有する対象膜で反射された白色光のスペクトルである。第2基板上の対象膜には研磨ステップが施される。この方法は、第2基板について、研磨ステップの終点が達成された時を決定するステップを含む。この決定は基準スペクトルと現在のスペクトルに基づく。

40

【 0 0 0 6 】

[0006]別の一般的な態様において、本発明は、2つ以上の基準スペクトルを選択するステップを含む、コンピュータによって実現される方法の特徴とする。各基準スペクトルは、第1基板上に位置しており、ターゲット厚さよりも厚い対象膜で反射された白色スペクトルである。基準スペクトルは、具体的なスペクトルに基づく終点論理を適用することで終点が呼び出されるとターゲット厚さが達成されるように、具体的なスペクトルに基づく終点決定論理について経験的に選択される。本方法は2つ以上の現在のスペクトルを得る

50

ステップを含む。各現在のスペクトルは対象膜で反射された白色光のスペクトルであり、この対象膜は第2基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い現在の厚さを有する。第2基板上の対象膜に研磨ステップが施される。この方法は、第2基板について、研磨ステップの終点に達したかどうかを決定するステップを含み、この決定は、基準スペクトルと現在のスペクトルに基づいている。

【0007】

[0007]別の一般的な態様では、本発明は、プロセッサに基準スペクトルを選択させるように動作する命令を含むコンピュータプログラム製品を特徴とする。この基準スペクトルは、第1基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い対象膜で反射された白色光のスペクトルである。基準スペクトルは、具体的なスペクトルに基づく終点論理を適用することで終点呼び出されるとターゲット厚さが達成されるように、具体的なスペクトルに基づく終点決定論理について経験的に選択される。この製品は、プロセッサに現在のスペクトルを得るようにさせる命令を含む。この現在のスペクトルは、第2基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い現在の厚さを有する対象膜で反射された白色光のスペクトルである。この第2基板上の対象膜には研磨ステップが施される。この製品は、第2基板について、研磨ステップの終点に達した時をプロセッサに決定させる命令を含む。この決定は、基準スペクトルと現在のスペクトルに基づいている。この製品は、実際にマシンによって読み出しが可能な媒体に記憶されている。

【0008】

[0008]さらに別の一般的な態様では、本発明は、実際にマシンによる読み出しが可能な媒体に記憶されているコンピュータプログラム製品を特徴とする。この製品は、プロセッサに2つ以上の基準スペクトルを選択させる命令を含む。基準スペクトルは、第1基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い対象膜で反射された白色光のスペクトルである。基準スペクトルは、具体的なスペクトルに基づく終点論理を適用することで終点呼び出されると対象厚さが達成されるように、具体的なスペクトルに基づく終点決定論理について経験的に選択される。この製品はさらに、2つ以上の現在のスペクトルを得る命令を備える。各現在のスペクトルは、第2基板上に位置し、ターゲット厚さよりも厚い現在の厚さを有する対象膜で反射された白色光のスペクトルである。第2基板上の対象膜には研磨ステップが施される。この製品はさらに、第2基板について、研磨ステップの終点に達したかどうかを決定する命令を備えており、この決定は基準スペクトルと現在のスペクトルに基づいて行われる。

【0009】

[0009]1つの一般的な態様において、本発明は、光学ヘッドの頂面を噴射する噴射システムを特徴とする。このシステムは、ガス流を提供するように構成されたガス源、搬送ノズル、ガス源を搬送ノズルと接続する搬送ライン、真空を提供するように構成された真空源、真空ノズル、真空源を真空ノズルと接続する真空ラインを含む。ガス源と搬送ノズルは、ガス流を光学ヘッドの頂面にかけて案内するように構成されている。真空ノズルと真空源はガス流が層状となるように構成されている。

【0010】

[0010]別の一般的な態様において、本発明は、研磨パッド窓の底面を噴射する噴射システムを特徴とする。このシステムは、ガス流を提供するように構成されたガス源、搬送ノズル、ガス源を搬送ノズルと接続する搬送ライン、真空を提供するように構成された真空源、真空ノズル、真空源を真空ノズルと接続する真空ラインを含む。ガス源と搬送ノズルは、研磨パッド窓の底部においてガス流を案内するように構成されており、これにより、研磨パッド窓の底面上での凝縮の形成が防止される。

【0011】

[0011]1つの一般的な態様において、本発明は、化学機械的研磨を行うアセンブリを特徴とする。このアセンブリは、研磨表面を有する研磨パッドを含む。また、アセンブリは研磨パッド内に据設された固体窓を含んでおり、この固体窓は、研磨パッドを通して光学アクセスを提供する。固体窓は、ポリウレタンから作成された第1部分と、石英から作成

10

20

30

40

50

された第２部分とを含む。第１部分は、研磨パッドの研磨表面と同平面となる表面を有する。

【００１２】

【0012】別の一般的な態様において、本発明は、頂面と底面を有する研磨層を含む研磨パッドを特徴とする。このパッドは、頂面に設けた第１開口と、底面に設けた第２開口とを有するアパーチャを含む。頂面は研磨面である。パッドは、柔軟なプラスチックから作成された第１部分と、結晶質またはガラス質の第２部分とを含む窓を含む。この窓は白色光を通す。また、窓は、第１部分がアパーチャに差し込まれ、第２部分が第１部分の底側部上に位置するように、アパーチャ内に据設されており、第１部分は耐スラリーバリヤとして機能する。

10

【００１３】

【0013】別の一般的な態様において、本発明は、研磨パッド作成方法を特徴とする。この方法では、研磨パッド窓の鋳型内に、白色光を通す結晶質またはガラス質の材料の塊を設置する。この方法は、白色光を通す柔軟なプラスチック材料の液体前駆物質を鋳型内に吐出するステップを含む。さらに、液体前駆物質を硬化させて、柔軟なプラスチック材料から作成された第１部分と、結晶質またはガラス質の第２部分とを含む窓を形成するステップを含む。また、窓を研磨パッドの鋳型内に設置するステップを含む。この方法はさらに、研磨パッド材料の液体前駆物質を研磨パッドの鋳型内に吐出するステップを含む。また、研磨パッド材料の液体前駆物質を硬化させて研磨パッドを製造するステップを含んでおり、この場合、窓は、研磨パッド製造時に窓が研磨パッド内に据設され、第１部分が耐スラリーバリヤとして機能するように研磨パッドの鋳型内に据設される。

20

【００１４】

【0014】別の一般的な態様において、本発明は研磨パッド作成方法を特徴とする。この方法は、白色光を通す結晶質およびガラス質の材料の塊を研磨パッド窓の鋳型内に設置するステップを含む。さらに、この方法は白色光を通す柔軟なプラスチック材料の液体前駆物質を鋳型内に吐出するステップを含む。また、液体前駆物質を硬化させて、柔軟なプラスチック材料から作成された第１部分と、結晶質またはガラス質の第２部分とを含む窓を形成するステップを含む。この方法はアパーチャを含む研磨層を形成するステップを含んでおり、研磨層は頂面と底面を有し、アパーチャは頂面に設けた第１開口と、底面に設けた第２開口とを有し、頂面は研磨面になっている。この方法は、窓をアパーチャ内に挿入するステップを含んでおり、この窓は、第１部分がアパーチャに差し込まれ、第２部分が、耐スラリーバリヤとして機能する第１部分の底面上に位置するようにアパーチャ内に据設されている。

30

【００１５】

【0015】別の一般的な態様において、本発明は研磨パッド作成方法を特徴とする。この方法は、研磨パッド窓の第１部分を形成するステップを含み、この第１部分は凹部を有し、白色光を通す。この方法はさらに、白色光を通す結晶質またはガラス質の材料の塊を凹部に挿入するステップを含む。また、アパーチャを含む研磨層を形成するステップを含んでおり、この研磨層は頂面と底面を有し、アパーチャは頂面に設けた第１開口と、底面に設けた第２開口とを有し、頂面は研磨表面になっている。この方法はまた、窓をアパーチャ内に挿入するステップを含み、これにより、窓が、第１部分がアパーチャに挿入され、第２部分が、耐スラリーバリヤとして機能する第１部分の底側部上に位置するようにアパーチャ内に据設される。

40

【００１６】

【0016】別の一般的な態様において、本発明はコンピュータによって実現される方法を特徴とする。研磨シーケンス中に、反射された光の第１スペクトルが基板上の第１ゾーンにおいて得られ、第２スペクトルが基板上の第２ゾーンにおいて得られる。第１スペクトルに第１インデックスを決定し、第２スペクトルに第２インデックスを決定するために、第１スペクトルと第２スペクトルがスペクトルライブラリと比較される。研磨シーケンス中の異なる時間において、反射された光の第３スペクトルが第１ゾーンから得られ、第４ス

50

ペクトルが第2ゾーンから得られる。第3スペクトルと第4スペクトルがライブラリと比較されて、第1ゾーンに第3インデックスが、第2ゾーンに第4インデックスが決定される。第1ゾーンにおける研磨速度は第1インデックスおよび第3インデックスから決定され、第2ゾーンにおける研磨速度は第2インデックスおよび第4インデックスから決定される。第1研磨速度、第2研磨速度、第1ゾーンの第1ターゲット相対厚さ、第2ゾーンの第2ターゲット相対厚さに基づいて、調整された研磨速度が第2ゾーンに決定され、これにより、第1ゾーンが第1ターゲット相対厚さに研磨されるのとほぼ同時に、第2ゾーンが第2ターゲット相対厚さに研磨される。

【0017】

[0017]本発明の実現には、次の特徴のうち1つ以上が含まれる。第1ゾーンは内部ゾーンであってもよく、第2ゾーンは外部環状ゾーンであってもよい。調整された研磨速度を第2ゾーンに決定するステップは、第1ターゲット相対厚さが第2ターゲット相対厚さからの所定閾値範囲内に在る時を決定するステップを含んでもよい。調整された研磨速度を第2ゾーンに決定するステップは、研磨シーケンスに推定される終点時間を決定するステップを含んでもよい。第1スペクトルと第2スペクトルを得るステップは、白色光スペクトルを得るステップを含んでもよい。この方法はさらに、研磨システムのパラメータを、第2ゾーンを調整された研磨速度で研磨するように調整するステップを含む。調整された研磨速度を決定するステップを設定基板上で実行することができ、また、研磨システムのパラメータを調整するステップを製品基板上で実行することができ、あるいは、2つのステップ両方を製品基板上で実行することができる。研磨システムのパラメータを調整するステップは圧力を調整するステップを含んでもよい。調整された研磨速度を決定するステップは、研磨速度を決定するステップを含むことができ、これにより、研磨シーケンスの完了時に、基板の直径に沿った断面が平坦な外形またはボウル状の外形になる。第1スペクトルと第2スペクトルを得るステップは、異なる回転場所において基板をサンプリングするステップを含むことができる。第1スペクトルと第2スペクトルを得るステップは、酸化物膜で反射されたスペクトルを測定するステップを含む。この方法はさらに、設定基板を過剰研磨されるまで研磨するステップと、研磨中に試験基板の1つのゾーンから複数のスペクトルを得るステップと、スペクトルライブラリを作成するために、複数のスペクトルを、各スペクトルを得た時間と組み合わせて記憶するステップとを含む。この方法はまた、スペクトルライブラリのためのインデックスを作成するステップを含んでもよく、この場合、インデックスは、特定の時間に設定基板から得たスペクトルを表す。

【0018】

[0018]別の一般的な態様では、本発明は化学機械的研磨処理を監視する方法を特徴とする。マルチ波長光ビームが研磨中の基板上に案内され、基板で反射された光のスペクトルが測定される。光ビームは、基板表面に亘る経路内を移動させられる。信号から一連のスペクトル測定値が抽出され、各スペクトル測定値について基板上のラジアル位置が決定される。スペクトル測定値は、ラジアル位置に従って、複数のラジアル範囲内に記憶される。複数のラジアル範囲のうち少なくとも1つのスペクトル測定値から、基板についての研磨終点が決定される。この方法はさらに、複数のラジアル範囲のうちの1つについて、調整された研磨速度を決定するステップと、この調整された研磨速度を複数のラジアル範囲のうち1つに適用するステップとを含む。

【0019】

[0019]本明細書で使用しているように、用語「基板」とは、例えば製品基板（例えば、複数のメモリまたはプロセッサダイを含む）、試験基板、剥き出しの基板、ゲート基板を含むことができる。基板は、集積回路製作の様々な段階にあってもよく、例えば基板は剥き出しのウェーハであってもよく、1つ以上の堆積および/またはパターン化された層を含んでもよい。用語「基板」には、円形のディスクや矩形のシートが含まれる。

【0020】

[0020]本発明の実現の実行可能な利点は、以下のうちの1つ以上を含む。終点決定を、実質的に研磨速度の変化を考慮せずに行うことができる。一般的に、例えば消耗品といっ

10

20

30

40

50

た、研磨速度に影響を及ぼす要素について考慮する必要はない。複数の基準および／またはターゲットスペクトルを使用することで（単一基準スペクトルおよび／または単一ターゲットスペクトルの使用に対して）、単一基準スペクトル技術を使用して生成したトレースよりも一般的に簡略な差分または終点トレースを提供でき、これにより終点決定における正確性が向上する。噴射システムは、研磨中の基板表面上でスラリーが乾燥してしまう可能性を減少することができる。研磨パッド窓は、終点決定の正確性および／または精密性を拡張できる。

【 0 0 2 1 】

[0021]本発明の１つ以上の実施形態の詳細を、添付の図面および以下の説明において述べる。これ以外の本発明の特徴、目的、利点は、説明および図面、また特許請求の範囲から明白となる。

10

【 0 0 2 2 】

[0042]多数の図面中、同様の要素は同様の参照符号において表している。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 3 】

[0043]図１は、基板１０を研磨するために動作できる研磨装置２０を示す。この研磨装置２０は、研磨パッド３０が上に据設された回転可能なディスク状のプラテン２４を含む。プラテンは軸２５の周囲で回転するように動作できる。例えば、モータが駆動シャフト２２を回すとプラテン２４が回転することができる。研磨パッド３０は、例えば接着層によってプラテン２４に取り外し可能に固着させることができる。研磨パッド３０が疲労したら取り外して交換することができる。研磨パッド３０は、外部研磨層３２と柔軟な裏張り層３４を設けた２層式研磨パッドであってもよい。

20

【 0 0 2 4 】

[0044]アパーチャ（即ち、パッドを通る穴）または固体窓を含めることにより、研磨パッドを通る光学アクセス３６が提供される。固体窓は研磨パッドに固着させることができるが、いくつかの実施においては固体窓をプラテン２４上に支持し、研磨パッドのアパーチャ内に突出させることができる。通常は、研磨パッド３０をプラテン２４の上に置くことにより、プラテン２４の凹部２６内に据設されたアパーチャまたは窓が光学ヘッド５３の上に重なるようにする。その結果、光学ヘッド５３が、アパーチャまたは窓を介して、研磨中の基板との光学アクセスを有するようになる。次に、光学ヘッドについてさらに説明する。

30

【 0 0 2 5 】

[0045]窓は、例えば石英やガラスといった硬質の結晶質あるいはガラス質の材料、さらに、シリコンやポリウレタンやハロゲン化ポリマー（例えばフッ素重合体）といった柔軟なプラスチック材料、もしくはこれらの材料の組み合わせであってもよい。窓は白色光に対して透過性を有するものであってもよい。固体窓の頂面が硬質の結晶質あるいはガラス質の材料である場合には、頂面を研磨面から十分に後退させて引掻を防止するようにしなければならない。頂面が研磨面と接近している、あるいは研磨面と接触する可能性がある場合には、窓の頂面を柔軟なプラスチック材料で製造する必要がある。いくつかの実施では、固体窓は研磨パッド内に固着されたポリウレタン製の窓であるか、または、石英とポリウレタンの組み合わせを有する窓である。窓は、青色光や赤色光のような特定色の単色光に対して、例えば約８０％といった高い透過率を有することができる。さらに、窓を研磨パッド３０に対して密封することで、窓と研磨パッド３０の境界から液体が漏出しないようにすることが可能である。

40

【 0 0 2 6 】

[0046]１つの実施において、窓は、柔軟なプラスチック材料の外層でカバーした硬質の結晶質またはガラス質の材料を含む。柔軟な材料の頂面は研磨面と同平面上にあってもよい。硬質な材料の底面は研磨パッドの底面と同平面上にある、あるいはこの面から後退していてもよい。特に、研磨パッドが２つの層を含む場合には、固体窓を研磨層と一体化させ、底層がこの固体窓と整列したアパーチャを有するようになることができる。

50

【 0 0 2 7 】

[0047]窓が硬質な結晶質あるいはガラス質の材料と柔軟なプラスチック材料との組み合わせを含むと仮定した場合には、この2つの部分を固着させるために接着剤を使用する必要はない。例えば、1つの実施において、窓のポリウレタン部分を石英部分と結合させるために接着剤を使用していない。あるいは、白色光に対して透過性のある接着剤を使用するか、もしくは窓を通過する光が接着剤を通過しないように接着剤を付加することができる。一例として、接着剤はポリウレタン部分と石英部分の間の境界周辺のみが付加することができる。屈折率ゲルを窓の底面に付加してもよい。

【 0 0 2 8 】

[0048]場合により、窓の底面に1つ以上の凹部を含めることができる。凹部の形状は、例えば、光ファイバケーブルの端部あるいは渦電流センサの端部を収容できるものであってもよい。この凹部により、光ファイバケーブルの端部または渦電流センサの端部を、窓の厚さよりも薄い研磨中の基板の表面から離れた場所に据設することが可能となる。窓が硬質の結晶質部分またはガラス質の部分を含み、このような部分に機械工作によって凹部が形成されている実現においては、機械工作によって生じた引掻を除去するために凹部の研磨を行う。あるいは、凹部の表面に溶剤および/または液体ポリマーを付加して、機械工作時に生じた引掻を除去することもできる。通常機械工作によって生じた引掻を除去することで、散乱を抑え、窓を通る光の透過性が向上する。

【 0 0 2 9 】

[0049]図2A～図2Hは、様々な窓の実現を示す。図2Aに示すように、窓は、ポリウレタン部分202と石英部分204の2つの部分を有することができる。これらの部分は層状になっており、石英部分204の上にポリウレタン部分202が据設されている。窓を研磨パッド内に据設して、ポリウレタン層の頂面206が研磨パッドの研磨面208と同平面上にあるようにすることができる。

【 0 0 3 0 】

[0050]図2Bに示すように、ポリウレタン部分202は内部に石英部分を据設する凹部を有することができる。石英部分の底面210は露出する。

【 0 0 3 1 】

[0051]図2Cに示すように、ポリウレタン部分202は突出部を含んでいてもよく、これは例えば石英部分204内へ突出する突出部212であってもよい。この突出部は、基板または保持リングからの摩擦によってポリウレタン部分202が石英部分204から引き離されてしまう傾向を低減させる働きをする。

【 0 0 3 2 】

[0052]図2Dに示すように、ポリウレタン部分202と石英部分204の間の境界は粗い面であってもよい。このような表面は、窓の2つの部分の結合を強化し、さらに、基板または保持リングからの摩擦によってポリウレタン部分202が石英部分204から引き離されてしまう傾向を低減することができる。

【 0 0 3 3 】

[0053]図2Eに示すように、ポリウレタン部分202の厚さは不均一であってもよい。光ビームの経路214内に入る場所の厚さは、光ビームの経路214に入らない場所の厚さよりも薄くなる。例証の方法によれば、厚さ t_1 は厚さ t_2 よりも薄い。あるいは、窓の縁の厚さを薄くすることもできる。

【 0 0 3 4 】

[0054]図2Fに示すように、接着剤216を使用して、ポリウレタン部分202を石英部分204に取り付けることができる。接着剤は、光ビームの経路214に入らないように付加される。

【 0 0 3 5 】

[0055]図2Gに示すように、研磨パッドは研磨層と裏張り層を含むことができる。ポリウレタン部分202は研磨層を通り、また少なくとも一部が裏張り層内へと延びる。裏張り層に設けた穴は研磨層の穴よりも大きくてもよく、ポリウレタンの、裏張り層にあたる

10

20

30

40

50

区間は、ポリウレタンの、研磨層にあたる区間よりも広くあってもよい。したがって、研磨層は、窓に張り出して、ポリウレタン部分 202 を石英部分 204 から引っ張る力に抵抗するように機能するリップ部 218 を提供する。ポリウレタン部分 202 は、研磨パッドの層の穴と一致する。

【0036】

[0056] 図 2 H に示すように、石英部分 204 の底面 210 に屈折率ゲル 220 を付加することで、ファイバケーブル 222 から窓へ光を移動させるための媒体を提供することができる。屈折率ゲル 220 はファイバケーブル 222 と石英部分 204 の間の容量を充填し、さらに、ファイバケーブル 222 の屈折率と石英部分 204 の屈折率と一致するか、もしくはこれらの中間となる屈折率を有することができる。

10

【0037】

[0057] 窓が石英部分とポリウレタン部分の両方を含む実施においては、ポリウレタン部分は、研磨パッドの寿命期間中にポリウレタンが疲労して石英部分が露出してしまうことのない厚さを有するべきである。石英を研磨パッドの底面から後退させたり、ファイバケーブル 222 の一部を研磨パッド内へ延ばすことができる。

【0038】

[0058] 上述の窓と研磨パッドは様々な技術を使用して製造できる。研磨パッドの裏張り層 34 をこれの研磨外層 32 に例えば接着剤で取り付けることが可能である。例えばアパーチャを含むようにパッド 30 を切断または鋳造することで、光学アクセス 36 を提供するアパーチャをパッド 30 に形成することができ、また、窓をこのアパーチャ内に挿入し、例えば接着剤によりパッド 30 に固着させることができる。あるいは、窓となる液体前駆物質をパッド 30 のアパーチャ内部に吐出し、硬化させて窓を形成することもできる。もしくは、固体の透明要素、例えば上述した結晶質またはガラス質の部分を液体パッド材料内に位置決めし、液体パッド材料を硬化させて透明要素の周囲にパッド 30 を形成してもよい。これら 2 つの場合のいずれにおいても、パッド材料のブロックを形成することができ、また、窓が鋳造された研磨パッドの層をこのブロックから取り除くことができる。

20

【0039】

[0059] 窓が結晶質またはガラス質の第 1 部分と、柔軟なプラスチック材料から作成された第 2 部分とを含む実現では、先述した液体前駆物質技術を適用することにより、第 2 部分をパッド 30 のアパーチャ内に形成することができる。その後、第 1 部分を挿入できる。第 2 部分の液体前駆物質が凝固する前に第 1 部分を挿入した場合には、硬化によって第 1 部分と第 2 部分が結合する。液体前駆物質が硬化した後に第 1 部分を挿入した場合には、第 1 部分と第 2 部分を接着剤で固着させることができる。

30

【0040】

[0060] 研磨装置 20 は、光学アクセス 36 を通る光透過を向上させるための噴射システムを含んでもよい。この噴射システムには色々な実現方法がある。研磨パッド 30 が固体窓の代わりにアパーチャを含む研磨装置 20 の実現では、噴射システムは、光学ヘッド 53 の頂面にかけて、例えばガスや液体のような流体の層流を提供するように実現することができる。(この頂面は、光学ヘッド 53 に内蔵されているレンズの頂面であってもよい。) 光学ヘッド 53 の頂面を流れる流体の層流は光学アクセスから不透明なスラリーを一掃し、および/または頂面上でスラリーが乾燥してしまうことを防止することができるため、結果的に光学アクセスを通り透過が向上する。研磨パッド 30 がアパーチャではなく固体窓を含む実現では、噴射システムは、窓の底面においてガス流を案内するために実現される。ガス流は、光学アクセスを妨げてしまう恐れのある凝縮が固体窓の底面に形成されることを防止する。

40

【0041】

[0061] 図 3 は、層流噴射システムの実現を示す。この噴射システムはガス源 302、送達ライン 304、搬送ノズル 306、吸引ノズル 308、真空ライン 310、真空源 312 を含む。ガス源 302 と真空源は、同一容量または類似容量のガスを導入または吸引できるように構成することができる。搬送ノズル 306 は、ガスの層流を、研磨中の基板表

50

面においてではなく、イン・シトゥー監視モジュール内の透明な頂面 3 1 4 にかけて案内できるように、据設できる。この結果、研磨に望ましくない影響を与えてしまうことになる、研磨中の基板表面上でスラリーがガスの層流によって乾燥するという事態がなくなる。

【 0 0 4 2 】

[0062]図 4 は、固体窓の底面上での凝縮の形成を防止するための噴射システムの実現を示す。このシステムは、研磨パッド窓の底面での凝縮の形成を減少させる、または防止する。このシステムはガス源 4 0 2、送達ライン 4 0 4、搬送ノズル 4 0 6、吸引ノズル 4 0 8、真空ライン 4 1 0、真空源 4 1 2を含む。ガス源 4 0 2と真空源は、同一容量または類似容量のガスを導入および吸引するように構成することができる。搬送ノズル 4 0 6は、ガス流が研磨パッド 3 0 内の底面において案内されるように据設することができる。

10

【 0 0 4 3 】

[0063]図 4 の実現の代替形である 1 つの実施において、噴射システムは真空源または真空ラインを含んでいない。これら構成部品の代わりとして、噴射システムは、プラテンに形成された通気孔を有しており、これにより、固体窓の下の空間内に導入されたガスを、プラテンの側部へ、あるいは研磨装置内の耐湿性を有するこれ以外の場所へ排出することができる。

【 0 0 4 4 】

[0064]上述したガス源と真空源を、プラテンと共に回転することがないように、プラテンから離れた場所に設置するが可能である。この場合には、供給ラインと真空ラインのそれぞれに、ガスを伝播するための回転カップラを含める。

20

【 0 0 4 5 】

[0065]図 1 に戻ると、研磨装置 2 0 は組み合わせたスラリー / すすぎアーム 3 9 を含む。研磨中に、アーム 3 9 は、液体と pH 調整剤を含有したスラリー 3 8 を吐出するよう動作する。あるいは、研磨装置は、研磨パッド 3 0 上にスラリーを吐出するよう動作するスラリーポートを含む。

【 0 0 4 6 】

[0066]研磨装置 2 0 は、基板 1 0 を研磨パッド 3 0 に対して保持するよう動作するキャリアヘッド 7 0 を含む。キャリアヘッド 7 0 は、カルーセルのような支持構造 7 2 から垂下しており、また、キャリア駆動シャフト 7 4 によってキャリアヘッド回転モータ 7 6 に接続しているため、キャリアヘッドが軸 7 1 を中心に回転できる。これに加えて、キャリアヘッド 7 0 は、支持構造 7 2 に形成されたラジアルスロット内で横方向に振動することができる。動作中に、プラテンは中心軸 2 5 を中心に回転し、キャリアヘッドは中心軸 7 1 を中心に回転し、研磨パッドの頂面にかけて横方向への並進運動を行う。

30

【 0 0 4 7 】

[0067]研磨装置はまた、以降で説明する研磨終点を決定するために使用できる光学監視システムを含む。この光学監視システムは光源 5 1 と光検出器 5 2 を含む。光源 5 1 から研磨パッド 3 0 に設けた光学アクセス 3 6 を通過する光は基板 1 0 に衝突し、基板 1 0 から反射されて、再び光学アクセス 3 6 を通過して光検出器 5 2 へと移動する。

【 0 0 4 8 】

[0068]分岐型光ケーブル 5 4 を使用することで、光源 5 1 から光学アクセス 3 6 へ光を伝送し、その後、光学アクセス 3 6 から光検出器 5 2 へ戻ることができる。この分岐型光ケーブル 5 4 は「トランク」5 5 と 2 つの「分岐部」5 6、5 8 を含んでもよい。

40

【 0 0 4 9 】

[0069]上述したように、プラテン 2 4 は、内部に光学ヘッド 5 3 が据設される凹部 2 6 を含む。光学ヘッド 5 3 は、光を研磨中の基板表面へ、また基板表面から伝播するように構成された分岐型ファイバケーブル 5 4 のトランク 5 5 の一端を保持する。光学ヘッド 5 3 は、分岐型ファイバケーブル 5 4 (例えば図 3 に示すもの)の端部上に重なる 1 つ以上のレンズまたは窓を含んでもよい。あるいは、光学ヘッド 5 3 は、トランク 5 5 の端部を研磨パッドに設けた固体窓の付近に単純に保持するだけでもよい。光学ヘッド 5 3 は、上

50

述した噴射システムのノズルを保持することが可能である。さらに、例えば防止的あるいは修正的メンテナンスを施行するために、必要に応じて光学ヘッド 53 を凹部 26 から除去することができる。

【0050】

[0070] プラテンは除去可能なイン・シトゥー監視モジュール 50 を含む。このイン・シトゥー監視モジュール 50 は次のうち 1 つ以上を含むことができる：光源 51、光検出器 52、光源 51 と光検出器 52 の間で信号の送受信を行う回路部品。例えば、検出器 52 の出力は、駆動シャフト内の、例えばスリップリングのような回転式カップラを通過し、光学監視システムの制御装置へ到達するデジタル電子信号であってもよい。同様に、制御装置から回転式カップラを通りモジュール 50 へ到達するデジタル電子信号内の制御命令に応じて、光源をオン/オフ切り替えすることが可能である。

10

【0051】

[0071] また、イン・シトゥー監視モジュールは、分岐型光ファイバ 54 の分岐部 56、58 の対応端部を保持することができる。光源は、分岐部 56 を通って伝播され光学ヘッド 53 内に設置されているトランク 55 の端部から出され、さらに研磨中の基板に衝突する光を透過させるよう動作する。基板から反射された光は、光学ヘッド 53 内に設置されているトランク 55 の端部において受光され、分岐部 58 を通って光検出器 52 へ伝播される。

【0052】

[0072] 1 つの実施において、分岐型ファイバケーブル 54 は 1 束の光ファイバである。上記束は光ファイバの第 1 グループと、光ファイバの第 2 グループとを含む。第 1 グループ内の 1 本の光ファイバは、光を光源 51 から研磨中の基板表面へ伝播するように接続される。第 2 グループ内の 1 本の光ファイバは、研磨中の基板表面から反射された光を受光し、受光したこの光を光検出器へ伝播するように接続される。光ファイバは、第 2 グループ内の光ファイバが、(分岐型ファイバケーブル 54 の断面で見た場合に) 分岐型光ファイバ 54 の縦軸上で中心決めされた X 字型の形状を形成するように配列することができる。あるいは、これ以外の配列の実現も可能である。例えば、第 2 グループ内の光ファイバは、相互に対して鏡象となる V 字型の形状を形成することができる。適切な分岐型光ファイバは、テキサス州キャロルトンにあるベリティ・インストルメント社 (Verity Instruments, Inc.) より入手可能である。

20

30

【0053】

[0073] 通常は、研磨パッド窓と、この研磨パッド窓の付近における分岐型ファイバケーブル 54 のトランク 55 端部との間には最適な距離が存在する。この距離は経験的に決定することができ、かつ、例えば窓の反射率、分岐型ファイバケーブルから放出される光ビームの形状、および監視されている基板までの距離によって影響を受ける。或る実施形態においては、分岐型ファイバケーブルは、窓付近の端部が、窓に実際に接触することはないが窓底部に可能な限り接近するように据設される。この実現では、研磨装置 20 は、例えば光学ヘッド 53 の一部である機構、即ち、分岐方ファイバケーブル 54 の端部と研磨パッド窓の底面との間の距離を調整するために動作できる機構を含むことができる。あるいは、分岐型ファイバケーブルの付近端部が窓内部に埋め込まれている。

40

【0054】

[0074] 光源 51 は白色光を放出するように動作する。1 つの実施において、放出された白色光は、200 ~ 800 ナノメートルの波長を有する光を含む。適切な光源はキセノン灯またはキセノン水銀灯である。

【0055】

[0075] 光検出器 52 は分光計であってもよい。基本的に分光計は、電磁スペクトルの一部にかけての光の性質、例えば強度を測定するための光学計器である。適切な分光計は回折格子分光計である。分光計の典型的な出力は、波長の関数としての光の強度である。

【0056】

[0076] 場合により、イン・シトゥー監視モジュール 50 は他のセンサ要素を含むことが

50

できる。イン・シトウー監視モジュール50は、例えば渦電流センサ、レーザ、発光ダイオード、光検出器を含んでもよい。イン・シトウー監視モジュール50が渦電流センサを含む実現では、モジュール50は、通常、研磨中の基板が渦電流センサの作業範囲内に入るように据設される。

【0057】

[0077]光源51と光検出器52は、これらの動作を制御し、これらからの信号を受信するよう動作可能な計算デバイスに接続される。この計算デバイスは、研磨装置付近に据設されたマイクロプロセッサ、例えばパーソナルコンピュータを含むことができる。制御については、計算デバイスは、例えば光源51の起動をプラテン24の回転と同期させることができる。図5に示すように、コンピュータは光源51に、基板10がイン・シトウー監視モジュールを通過する直前に開始し、この通過の直後に終了する一連のフラッシュを発生させることができる。(図中の各点501~511は、イン・シトウー監視モジュールからの光の衝突場所と反射場所を表す。)あるいは、コンピュータは光源51に、基板10がイン・シトウー監視モジュールを通過する直前に開始し、この通過直後に終了する光を連続発生させることができる。

【0058】

[0078]信号の受信については、計算デバイスは、例えば光検出器52が受光した光のスペクトルを記述する情報を携えた信号を受信できる。図6Aは、光源の1フラッシュで発生され、基板によって反射された光から測定したスペクトルの例を示す。このスペクトルは生スペクトル、即ち正規化前のスペクトルを示している。スペクトル602は、製品基板より反射された光から測定される。スペクトル604は、ベースシリコン基板(シリコン層のみを有するウェーハ)から反射された光から測定される。スペクトル606は、基板が光学ヘッド上に据設されていない時に光学ヘッド53が受光した光からのものである。本明細書中で暗い状態と呼んでいるこの状態において、受光される光は典型的にパッド窓の光からの散乱光である。

【0059】

[0079]計算デバイスは、上述の信号を処理して、研磨ステップの終点を決定することができる。どのような具体的な理論にも限定されることなく、基板10で反射された光のスペクトルは研磨の進行と共に発展する。図6Bは、対象膜の研磨の進行と共に進むこの発展の1例を提供している。図6Bのスペクトルは正規化されたものである。異なるスペクトルラインは異なる研磨時間を表す。同図からわかるように、反射された光のスペクトルの性質は膜の厚さの変化と共に変化し、また、具体的なスペクトルは膜の具体的な厚さで呈されている。計算デバイスは、終点に達した時を決定する論理を、1つ以上のスペクトルに基づいて実行できる。終点決定の基準となる1つ以上のスペクトルは、ターゲットスペクトル、基準スペクトル、またはこの両方を含むことができる。

【0060】

[0080]本明細書中で使用しているとおり、ターゲットスペクトルとは、ターゲット厚さを有する対象膜から反射された白色光が呈するスペクトルを意味する。一例として、ターゲット厚さは1、2、3ミクロンであってもよい。あるいは、対象膜を排除してこれの下にある膜を露出させている場合には、ターゲット厚さは例えばゼロであってもよい。

【0061】

[0081]具体的な対象厚さには複数のターゲットスペクトルが存在してもよく、また通常は存在している。これは、複数のスペクトルが収集される期間中、対象膜がターゲット厚さを維持することができるようにするために、研磨が有限値において生じるためである。さらに、パターン化した基板の異なる領域からは、通常、異なるスペクトルが生産される(複数のスペクトルが研磨中の同一の時間点において得られた場合でも同様)。例えば、基板内のスクライブラインから反射された光のスペクトルは、同じ基板のアレイから反射された光のスペクトルとは異なる(例えば異なった形状を有する)。本明細書において、このような現象をパターン効果と呼んでいる。したがって、具体的なターゲット厚さについて複数のスペクトルが存在していてもよく、複数のスペクトルはパターン効果のために

互いに異なったスペクトルを含んでもよい。

【 0 0 6 2 】

[0082]図 7 A は、1 つ以上のターゲットスペクトルを得る方法 7 0 0 を示す。製品基板と同じパターンを有する基板の性質を測定する（ステップ 7 0 2）。本明細書において、測定される基板のことを「設定」基板と呼ぶ。設定基板は、単純に、製品基板と類似の、またはこれと同じ基板であってもよく、また、設定基板はバッチ中の 1 枚の基板であってもよい。この性質には、基板の具体的な対象場所における事前研磨された対象膜の厚さが含まれる。典型的には、複数の場所において厚さを測定する。通常、これらの場所は、各場所について同一タイプのダイ特徴が測定されるように選択される。測定は度量衡ステーションにおいて実行される。

10

【 0 0 6 3 】

[0083]設定基板は対象の研磨ステップに従って研磨され、また、研磨中の基板表面から反射された白色光のスペクトルが研磨中に収集される（ステップ 7 0 4）。研磨およびスペクトルの収集は、上述した研磨装置において実行することができる。スペクトルは、研磨中にイン・シトゥー監視システムによって収集される。各プラテンの回転毎に、複数のスペクトルを収集することができる。基板を過剰研磨する、即ち推定された終点を越えて研磨すると、ターゲット厚さの達成時に基板から反射された光のスペクトルを得ることができる。

【 0 0 6 4 】

[0084]過剰研磨した基板の性質を測定する（ステップ 7 0 6）。この性質には、研磨前測定に用いる 1 つ以上の具体的な場所における対象膜の研磨後の厚さが含まれる。

20

【 0 0 6 5 】

[0085]この測定した厚さおよび収集したスペクトルを使用して、対象厚さ達成時に基板が呈していると決定された 1 またはスペクトルを、収集したスペクトルの中から選択する（ステップ 7 0 8）。特に、対象膜厚さの達成時におけるスペクトルを決定するために、研磨前膜厚さと研磨後基板厚さを使用して、直線補間を実行することができる。ターゲット厚さ達成時におけるスペクトルとして決定されたスペクトルは、その複数基板のバッチのターゲットスペクトルとして指定される。典型的には、収集されたスペクトルのうち 3 つがターゲットスペクトルに指定される。あるいは、5、7、9 個のスペクトルがターゲットスペクトルとして指定される。

30

【 0 0 6 6 】

[0086]場合により、収集したスペクトルの処理を行い、正確性および/または精密性を拡張する。スペクトルの処理は、例えば、スペクトルを共通の基準に正規化するため、平均化するため、および/またはスペクトルからノイズを除去するために行われる。これら処理動作の具体的な実施を以下で説明する。

【 0 0 6 7 】

[0087]本明細書中で使用しているように、基準スペクトルとは、ターゲット膜厚さに関連したスペクトルを意味する。通常、具体的なスペクトルに対して 1 個、2 個、またはこれ以上の基準スペクトルが具体的なスペクトルに基づく終点決定論理に基づいて経験的に選択される。これにより、コンピュータデバイスが具体的なスペクトルに基づく終点決定論理を付加して終点を呼び出すと、ターゲット厚さが達成される。図 7 B を参照して以下で説明するように、基準スペクトルまたは複数の基準スペクトルを繰返し選択することが可能である。通常、基準スペクトルはターゲットスペクトルではない。むしろ基準スペクトルは、通常、対象の膜がターゲット厚さよりも厚い場合に基板から反射される光のスペクトルである。

40

【 0 0 6 8 】

[0088]図 7 B は、具体的なターゲット厚さと、具体的なスペクトルに基づく終点決定論理とに基準スペクトルを選択する方法 7 0 1 を示す。いくつかの実施形態では、1 個だけではなく、2 つ以上のスペクトルを選択できる。上述のステップ 7 0 2、7 0 6 で説明したとおりに設定基板を測定し、研磨を行う（ステップ 7 0 3）。特に、収集されたスペク

50

トルと、これら収集された各スペクトルの測定時間とを記録する。研磨中の各プラテン回転について複数のスペクトルを収集することができる。

【0069】

[0089]具体的な設定基板についての研磨装置の研磨値を計算する(ステップ705)。研磨前厚さ T_1 、研磨後厚さ T_2 、実研磨時間 TP を使用し、例えば $PR = (T_2 - T_1) / TP$ から平均研磨値 PR を計算することができる。

【0070】

[0090]以下で説明するように、基準スペクトルを試験するための較正点を提供するべく、具体的な設定基板について終点時間を計算する(ステップ707)。終点時間は算出した研磨値 PR 、対象膜の研磨前開始厚さ ST 、対象膜のターゲット厚さ TT に基づいて計算することができる。また、終点時間は、研磨処理全般に亘って研磨値が一定であると仮定して単純な直線補間として例えば次のように計算できる： $ET = (ST - TT) / PR$ 。

【0071】

[0091]場合により、算出した終点時間は、パターン化した基板のバッチの中の別の基板を研磨すること、算出した終点時間において研磨を停止すること、対象膜の厚さを測定すること、によって評価することができる。この厚さが納得できる対象厚さの範囲内にある場合には、算出した終点時間は納得できるものということになる。そうでない場合には、算出した終点時間を再度計算することができる。

【0072】

[0092]収集したスペクトルのうち1つを選択し、これを基準スペクトルに指定する(ステップ709)。選択されたスペクトルは、対象膜の厚さがターゲット厚さよりも厚い、またはこれとほぼ等しい場合に基板により反射された光のスペクトルである。あるいは、2つ以上のスペクトルを基準スペクトルに指定する。典型的には、3個の収集されたスペクトルが基準スペクトルとして指定される。あるいは、5、7、9個のスペクトルを基準スペクトルとして指定する。ターゲットスペクトルの場合には、研磨値が有限であるため基準スペクトルは複数あってもよい。

【0073】

[0093]1つの実施においては、ステップ707で算出した終点時間に対応する具体的なプラテン回転が識別され、具体的なプラテン回転中に収集されたスペクトルを選択して基準スペクトルに指定する。一例として、収集したスペクトルは基板の中心領域からのものであってもよい。算出した終点時間に対応するプラテン回転は、算出した終点時間に対応する時間が発生している、プラテン回転である。一例として、算出した終点時間が25.5秒間である場合、この算出した終点時間に関連する具体的なプラテン回転は、研磨処理中の、25.5秒間の研磨が発生している、プラテン回転である。

【0074】

[0094]具体的な終点決定論理は、設定基板について収集されたスペクトルを使用し、また、1つまたは複数の基準スペクトルに指定されるよう選択された1つ以上のスペクトルを用いたシミュレーションにおいて実行される(ステップ711)。この論理を実行することで、この論理によって終点であると決定された、経験的に導出され、シミュレーションされた終点時間が生産される。

【0075】

[0095]この経験的に導出され、シミュレートされた終点時間が、算出した終点時間と比較される(ステップ713)。経験的に導出された終点時間が算出した終点時間の閾値範囲内に入る場合には、現在選択されている1つ以上の基準スペクトルは、較正点と一致する結果を生成するものとして公知である。そのため、実行時間環境内で、1つ以上の基準スペクトルを使用して終点論理を実行する場合には、システムはターゲット厚さにおける終点を、高い信頼性をもって検出するはずである。したがって、1つ以上の基準スペクトルを、同バッチ内の他の基板の研磨実行時間の基準スペクトルとして保つことができる。(ステップ718) そうでない場合には、ステップ709、711を適宜繰り返す。

【 0 0 7 6 】

[0096]場合により、各々の繰り返し毎に（即ち、ステップ 7 0 9、7 1 1 を実行する度に）、選択した 1 つ以上のスペクトル以外の変数を変更することができる。例えば、上述したスペクトル（たとえばフィルタパラメータ）の処理、および／または、最小限度の差分トレースからの閾値範囲を変更できる。差分トレースと、最小限度の差分トレースの閾値範囲とについて以下で説明する。

【 0 0 7 7 】

[0097]図 8 A は、研磨ステップの終点を決定するためにスペクトルに基づく終点決定論理を使用する方法 8 0 0 を示す。上述した研磨装置を使用して、パターン化した基板のバッチ中の別の基板の研磨を行う（ステップ 8 0 2）。プラテンの各回転時に、以下のステップが実行される。

【 0 0 7 8 】

[0098]研磨中の基板表面において反射された白色光の 1 つ以上のスペクトルを測定することにより、現在のプラテン回転に 1 つ以上の現在のスペクトルを得る（ステップ 8 0 4）。点 5 0 1 ~ 5 1 1（図 5）でのスペクトル測定は、現在のプラテン回転中に測定されたスペクトルの例である。現在のプラテン回転中に測定されたスペクトルは、図 7 A を参照して上述し、図 1 1 を参照して以下で説明しているように、正確性および／または精密性を拡張するために任意で処理される。

【 0 0 7 9 】

[0099]いくつかの実施では、測定するスペクトルが 1 個のみの場合には、この 1 つのスペクトルが現在のスペクトルとして使用される。1 回のプラテン回転につき 2 個以上のスペクトルを測定する場合には、これらのスペクトルをグループ化し、各グループ内で平均をとり、この平均を現在のスペクトルとして指定する。スペクトルのグループ化は、基板の中心からのラジアル距離によって行うことができる。一例として、第 1 の現在のスペクトルは、点 5 0 2、5 1 0（図 5）において測定したスペクトルから得られ、第 2 の現在のスペクトルは点 5 0 3、5 0 9 において測定したスペクトルから得られ、第 3 の現在のスペクトルは点 5 0 4、5 0 8 において測定したスペクトルから得られ、この後も同様に行える。点 5 0 2、5 1 0 で測定されたスペクトルは、現在のプラテン回転に対して第 1 の現在のスペクトルを得る為に平均される。現在のプラテン回転の第 2 現在のスペクトルを得るために、点 5 0 3、5 0 9 で測定されたスペクトルの平均をとる。現在のプラテン回転の第 3 の現在のスペクトルを得るために、点 5 0 4、5 0 9 で測定されたスペクトルの平均をとる。

【 0 0 8 0 】

[0100]いくつかの実施では、現在のプラテン回転の最中に測定された 2 つ以上のスペクトルが、この現在のプラテン回転の、現在のスペクトルとして選択される。1 つの実施においては、現在のスペクトルとして選択されるスペクトルが、基板の中心付近のサンプル位置において（例えば、図 5 に示す点 5 0 5、5 0 6、5 0 7 において）測定されるものである。選択されたスペクトルは平均をとらず、また、選択された各スペクトルは現在のプラテン回転の現在のスペクトルに指定される。

【 0 0 8 1 】

[0101]各現在のスペクトル、または複数の現在のスペクトルと、各基準スペクトルとの間の差分を計算する（ステップ 8 0 6）。1 つ以上の基準スペクトルは図 7 B を参照して説明した方法で得ることができる。1 つの実施において、この差分は、或る波長範囲にかけたの強度差の合計である。即ち次式が得られる：

【 0 0 8 2 】

【数 1】

$$\text{差分} = \sum_{\lambda=a}^b \text{abs}(I_{\text{current}}(\lambda) - I_{\text{reference}}(\lambda))$$

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

ここで、 a 、 b はそれぞれスペクトルの波長範囲の下限および上限であり、 $I_{current}(\lambda)$ 、 $I_{reference}(\lambda)$ は、それぞれ所与の波長の、現在のスペクトルの強度およびターゲットスペクトルの強度である。

【0084】

[0102] 各現在のスペクトルと各基準スペクトルの間の差分を計算する 1 つの方法は、各現在のスペクトルを選択するということである。選択された各現在のスペクトルについて、各基準スペクトルとの差分が計算される。例えば現在のスペクトル e 、 f 、 g と、基準スペクトル E 、 F 、 G を仮定した場合に、以下の現在のスペクトルと基準スペクトルの組み合わせのそれぞれについて差分が計算される： e と E 、 e と F 、 e と G 、 f と E 、 f と F 、 f と G 、 g と E 、 g と F 、 g と G 。

10

【0085】

[0103] いくつかの実施では、算出したそれぞれの差分が差分トレースに追加される（ステップ 808）。一般的に、差分トレースは算出した差分のプロットである。差分トレースは、プラテン回転 1 回につき少なくとも 1 回更新される。（複数の現在のスペクトルが各プラテン回転に対して得られたとき、差分トレースは、プラテン回転 1 回につき複数回更新される。

【0086】

[0104] 一般的に、差分トレースは算出した差分のうちの 1 つのプロットである（この場合は、現在のプラテン回転に算出した差分のうちの最小のもののプロットである）。最小差分ではなく、別の差分、例えば複数の差分の中間値や、最小差分の次の差分をトレースに追加することも可能である。

20

【0087】

[0105] 最小の差分をとることで、終点決定処理の正確性が向上する。現在のスペクトルには、基板上の異なる場所（例えば、スクライプラインやアレイ）で反射された光からのスペクトルが含まれていてもよく、また、上述したパターン効果はこれらのスペクトラ間の差を大きくすることができる。同様に、基準スペクトルは、基板上の異なる場所で反射された光からのスペクトルを含むことができる。こうした異なるスペクトルの比較には欠陥があり、終点決定を誤ったものにしてしまう可能性がある。例えば、パターン化された基板のスクライプラインで反射された光の現在のスペクトルを、パターン化された基板のアレイで反射された光の基準スペクトルと比較することで、終点決定の計算に誤りが生じる可能性がある。比喩的に言えば、このような比較はりんごとオレンジを比較するようなものである。最小の差分のみを考慮した場合には、これらのタイプの比較は（たとえこれらが行われた場合でも）計算から除外される。そのため、複数の基準スペクトルと複数の現在のスペクトルを使用することで、また、これらのスペクトル間の最小差分を考慮することで、先述の誤った比較によって生じる誤差を回避できる。

30

【0088】

[0106] 場合により、例えば、先行する 1 つ以上の算出差分からの閾値を超えて逸脱した算出差分を取り除いて差分トレースを簡略化することで差分トレースの処理を行うことができる。

【0089】

40

[0107] 差分トレースが最小の閾値内に入るかどうか決定される（ステップ 810）。最小値が検出されると、差分トレースが具体的な最小閾値を越えて上昇を始める時に終点が呼び出される。あるいは、差分トレースの傾斜に基づいて終点を呼び出すこともできる。具体的には、差分トレースの傾斜はゼロに接近し、また、最小値がゼロ付近の傾斜の閾値範囲内にある時点においてゼロになる。

【0090】

[0108] 場合により、決定ステップ 808 を促進するために窓論理を適用することができる。使用に適した窓論理は、共同出願人による米国特許第 5、893、796 号、6、296、548 号に説明されているものであり、これらの全体は参照によって、本明細書中に組み込まれる。

50

【 0 0 9 1 】

[0109]差分トレースが最小閾値範囲に達したと決定されない場合には、研磨は継続することができ、ステップ 8 0 4、8 0 6、8 0 8、8 1 0 が適宜繰り返される。そうでない場合には、終点が呼び出され、研磨が停止する（ステップ 8 1 2）。

【 0 0 9 2 】

[0110]図 8 B は、上述の終点を決定する方法を例証している。トレース 8 0 1 は生差分トレース（raw difference trace）である。トレース 8 0 3 は簡略化した差分トレースである。この簡略化した差分トレース 8 0 3 が最小値 8 0 7 よりも上の閾値に達すると、終点が呼び出される。

【 0 0 9 3 】

[0111]1 つ以上の基準スペクトルの使用の代替形として、方法 8 0 0 において 1 つ以上のターゲットスペクトルを使用することができる。差分計算は、1 つ以上の現在のスペクトルと 1 つ以上のターゲットスペクトル間のものとなり、終点は、差分トレースが最小に達した時に決定される。

【 0 0 9 4 】

[0112]図 9 A は、スペクトルに基づく終点決定論理を使用して研磨ステップの終点を決定する代替方法 9 0 0 を示す。設定基板が研磨され、1 つ以上のターゲットスペクトルと 1 つ以上の基準スペクトルが得られる（ステップ 9 0 2）。これらのスペクトルは、図 7 A、図 7 B を参照して上述したとおりに得ることができる。

【 0 0 9 5 】

[0113]ターゲット差分を計算する（ステップ 9 0 4）。1 つの基準スペクトルを使用する場合には、ターゲット差分は、基準スペクトルとターゲットスペクトルの間の差分であり、これは、上述の差分方程式を使用して計算できる。2 つ以上の基準スペクトルを使用する場合には、ターゲット差分は基準スペクトルとターゲットスペクトルの差分の最小差分となり、これは上述の差分方程式および差分算出方法を使用して計算される（即ちステップ 8 0 8）。

【 0 0 9 6 】

[0114]基板のバッチ内の別の基板の研磨を開始する（ステップ 9 0 6）。研磨の最中に、各プラテン回転について以下のステップが実行される。研磨中の基板表面で反射された白色光の 1 つ以上のスペクトルは、現在のプラテンの回転について 1 つ以上の現在のスペクトルを得るために測定される（ステップ 9 0 8）。1 つ以上の現在のスペクトルと基準スペクトルの間の差分を計算する（ステップ 9 1 0）。算出した 1 つ以上の差分（現在のスペクトルが 2 個以上ある場合）が差分トレースに追加される（ステップ 9 1 2）。（ステップ 9 0 8、9 1 0、9 1 2 は、ステップ 8 0 4、8 0 6、8 0 8 にそれぞれ類似する。）差分トレースがターゲット差分の閾値範囲内にあるか否かを決定する（ステップ 9 1 4）。差分トレースがターゲット差分の閾値範囲に達したと決定されない場合には、研磨を継続することができ、ステップ 9 0 8、9 1 0、9 1 2、9 1 4 を適宜繰り返す。そうでない場合は、終点が呼び出され、研磨が停止する（ステップ 9 1 6）。

【 0 0 9 7 】

[0115]図 9 B は、上述の終点決定方法を例証している。トレース 9 0 1 は生差分トレースである。トレース 9 0 3 は簡略化した差分トレースである。この簡略化した差分トレース 9 0 3 がターゲット差分 9 0 7 の閾値範囲 9 0 5 内に入る場合に終点が呼び出される。

【 0 0 9 8 】

[0116]図 1 0 A は、研磨ステップの終点を決定する別の方法 1 0 0 0 を示す。1 つ以上の基準スペクトルが得られる（ステップ 1 0 0 2）。この 1 つ以上の基準スペクトルは図 7 B を参照して上述したとおりに得られる。

【 0 0 9 9 】

[0117]基準スペクトルを得る処理から収集したスペクトルはライブラリに記憶される（ステップ 1 0 0 4）。あるいは、ライブラリは、収集はされていないが理論的に生成されたスペクトルを含むことができる。基準スペクトルを含む複数のスペクトルにインデック

10

20

30

40

50

スを付けて、各スペクトルが一意的インデックス値を有するようにする。このインデックス付けは、スペクトルを測定した順序においてインデックス値が連続するように実現される。そのため、インデックスは時間および/またはプラテン回転と相関する。1つの実施において、時間中に第1点で収集された第1スペクトルは、時間中のこれ以降の点において収集された第2スペクトルよりも小さいインデックス値を有する。ライブラリは、研磨装置の計算デバイスのメモリ内において実現することができる。

【0100】

[0118]基板バッチ内の1枚の基板が研磨され、各プラテン回転について以下のステップが実行される。現在のプラテン回転に現在のスペクトルを得るために、1つ以上のスペクトルを測定する(ステップ1006)。上述したとおりにスペクトルが得られる。各現在のスペクトルがライブラリ内に記憶されたスペクトルと比較され、任意の現在のスペクトルと最も一致するライブラリスペクトルが決定される(ステップ1008)。現在のスペクトルの任意のものに最も良く一致すると決定されたライブラリスペクトルのインデックスは、終点インデックストレースに付加される(ステップ1010)。終点トレースが任意の1または複数の基準スペクトルのインデックスに達すると、終点が要求される(ステップ1012)。

10

【0101】

[0119]図10Bは、終点を決定する上述の方法を例証する。トレース1004は生インデックストレースである。トレース1003は簡略化した差分トレースである。線1005は、基準スペクトルのインデックス値を表す。基板の下における光学ヘッドをスweepする度に複数の現在のスペクトルを得ることができ、例えば、基板上の各ラジアルゾーン

20

【0102】

[0120]図11は、研磨ステップ中に終点を決定する実現を示している。各プラテン回転について以下のステップを実行する。研磨中の基板表面で反射された白色光の複数の生スペクトルが測定される(ステップ1102)。

【0103】

[0121]1つ以上の対象膜以外の媒体から寄与される光反射を除去するために、測定されたそれぞれの生スペクトルが正規化される(ステップ1104)。スペクトルを正規化することで、スペクトルどうしの比較が促進される。1つ以上の対象膜以外の媒体から寄与される光反射には、研磨パッド窓からの光反射、基板のベースシリコン層から寄与される光反射が含まれる。窓からの寄与は、イン・シトゥー監視システムが暗い状態において(即ち、イン・シトゥー監視システムの上に基板が配置されていない時に)受光した光のスペクトルを測定することで推定できる。シリコン層からの寄与は、剥き出しのシリコン基板の光反射のスペクトルを測定することで推定できる。剥き出しのシリコン基板からの寄与は、研磨ステップの開始前に得ることができる。しかしながら、窓からの寄与、いわゆる暗い寄与は、動的に、即ち、図5中の点511のような各プラテン回転について得られる。

30

【0104】

[0122]測定された生スペクトルは以下のとおり正規化される。

40

【0105】

正規化されたスペクトル = $(A - \text{Dark}) / (S_i - \text{Dark})$

ここで、Aは生スペクトル、Darkは暗い状況下で得たスペクトル、 S_i は剥き出しのシリコン基板から得たスペクトルである。

【0106】

[0123]場合により、収集したスペクトルを、このスペクトルを生成したパターン領域に基づいて記憶することができ、また、いくつかの領域からのスペクトルを除外することができる。特に、スクライプラインから反射する光からのスペクトルは考慮から除去することができる(ステップ1106)。通常、パターン基板の異なる領域は異なるスペクトル

50

を生産する（スペクトルが研磨中の何れかの時間点において得られた場合も同様である）。例えば、基板内のスクライブラインで反射された光のスペクトルは、基板のアレイで反射する光のスペクトルとは異なる。スペクトルは形状が異なるため、パターンのこれら両方の領域からのスペクトルの使用は通常、終点の決定にエラーをもたらす。しかし、スペクトルを、これらの形状に基づいて、スクライブラインのグループとアレイのグループ毎に記憶することができる。スクライブラインの場合にはスペクトルの変化がより大きいいため、通常はこのスペクトルを考慮から除外して精密性を拡張することができる。

【 0 1 0 7 】

[0124]ステップ 1 1 0 6 は、不適切な比較によって生じた上述のエラーを補正するために複数の基準スペクトル（方法 8 0 0 のステップ 8 0 8 において上述したもの）を使用する技術の代替形であってもよい。ステップ 1 1 0 6 はステップ 8 0 8 の代わりとして、またはこれに加えて実行することができる。

10

【 0 1 0 8 】

[0125]これまでに、処理されたスペクトルのサブセットが選択され、いくつかの場合においては平均が取られている（ステップ 1 1 0 8 ）。サブセットは、基板上の或る領域内の複数の点において基板から反射された光から得たスペクトルで構成されている。この領域は、例えば領域 5 0 3、領域 5 0 7 であってもよい（図 5 ）。

【 0 1 0 9 】

[0126]場合により、測定した生スペクトルに高パスフィルタが付加される（ステップ 1 1 1 0 ）。典型的には、高パスフィルタを付加することで、スペクトルのサブセットの平均低周波歪みが除去される。高パスフィルタは生スペクトル、この平均、または生スペクトル及びこの平均の両方に付加することができる。

20

【 0 1 1 0 】

[0127]この平均値を、この振幅が基準スペクトルの振幅と同一となる、または類似するように正規化する（ステップ 1 1 1 2 ）。スペクトルの振幅はスペクトルのトラフ値のピークである。あるいは、この平均値を、この基準スペクトルが基準振幅と同一となる、または類似するように正規化する。この場合、この基準スペクトルはこの基準振幅に正規化されている。いくつかの実施では、複数のスペクトルのサブセットうちの各スペクトルが、これらの振幅が基準スペクトルの振幅と同一となる、または類似するように正規化されるか、あるいは、基準スペクトルも正規化されている基準振幅と同一となる、または類似するように正規化される。

30

【 0 1 1 1 】

[0128]正規化された平均又はスペクトルと基準スペクトルとの間の差分が計算される（ステップ 1 1 1 4 ）。図 7 B を参照して説明したとおり、1 つ以上の基準スペクトルが得られる。上述したスペクトル間の差分を算出する方程式を使用して、差分の計算を行う。

【 0 1 1 2 】

[0129]差分トレースを現在の差分または最小の算出差分で更新する（ステップ 1 1 1 6 ）。差分トレースは、正規化した平均またはスペクトルと、時間の関数としての 1 つ以上の基準スペクトル（またはプラテン回転）との間の算出差分を呈する。

40

【 0 1 1 3 】

[0130]更新した差分トレースに中間フィルタおよび低パスフィルタを付加する（ステップ 1 1 1 8 ）。典型的には、これらのフィルタを付加することでトレースが簡略化される（トレース中のスパイクを低減または排除することによる）。

【 0 1 1 4 】

[0131]更新およびフィルタリングされた差分トレースに基づいて終点決定を実行する（ステップ 1 1 2 0 ）。この決定は、差分トレースが最小値に達したときに基づいて行われる。この決定を行うために上述の窓論理を使用する。

【 0 1 1 5 】

[0132]より一般的には、ステップ 1 1 0 4 ~ 1 1 1 2 の信号処理ステップを使用して終

50

点決定手順を向上させることができる。例えば、差分トレースを生成する代わりに、図 10 A を参照して上述したように、正規化した平均スペクトルを使用して、インデックストレースを生成するスペクトルをライブラリから選択する。

【0116】

[0133] 図 12 はステップ 1112 の正規化を示す。図からわかるように、正規化の対象として考慮されるのはスペクトルの一部（またはスペクトルの平均）のみである。本明細書において、正規化に考慮されるこの部分を正規化範囲と呼び、さらにユーザが選択できるようになっている。正規化は、正規化範囲内の最高点と最低点がそれぞれ 1 ~ 0 に正規化されるように遂行される。正規化は次のとおり計算できる：

$$\begin{aligned} g &= (1 - 0) / (r_{\max} - r_{\min}) \\ h &= 1 - r_{\max} * g \\ N &= Rg + h \end{aligned}$$

ここで、g は利得、h はオフセット、 r_{\max} は正規化範囲内の最高値、 r_{\min} は正規化範囲内の最低値、N は正規化後のスペクトル、R は正規化前のスペクトルである。

【0117】

[0134] 図 13 は、複数の基準をスペクトルを用いて円滑効果を与えることを示す。トレース 1302 は、シングル基準スペクトル（平均値）を使用して生成された。トレース 1304 は 3 個の基準スペクトル（図 8 を参照して上述されたもの）を使用して生成された。トレース 1306 は 9 個の基準スペクトルを使用して生成された。図からわかるように、トレース 1304 に含まれているスパイクの数は、トレース 1302 に含まれているスパイクの数よりも少ない。つまり、トレース 1304 はトレース 1302 よりも簡略化されている。さらに、トレース 1304 はトレース 1306 よりもはっきりした降下を有しているが、この降下によって終点決定論理が終点を呼び出すことが可能になるので重要である。よりはっきりとした降下は終点決定を促進する。

【0118】

[0135] 図 14 は、所望の基板外形を達成するためにスペクトルを使用する方法 1200 を示す。製品基板の研磨に予測される終点時間を決定する（ステップ 1210）。いくつかの実施では、この予想される終点時間は、所定処理パラメータによって設定基板を研磨し、設定基板が所望の厚さに達する時間を決定し（例えば、従来のオフライン方法測定を用いる）、設定基板が所望の厚さに達する研磨時間を予想される終点時間として使用することで決定される。

【0119】

[0136] 製品基板研磨を開始する（ステップ 1218）。2 基板の個以上のラジアル位置においてスペクトルを得る（ステップ 1226）。各スペクトルの測定毎に基板上のラジアル位置を決定し、スペクトル測定値をこれらのラジアル点に基づいてゾーン内に入れることができる。基板は、中心ゾーン、中間ゾーン、辺縁ゾーンといった複数のゾーンを有することができる。300 mm のウェーハ上において、中心ゾーンは中心から半径 50 mm、中間ゾーンは半径 50 ~ 約 100 mm、辺縁ゾーンは約 100 ~ 150 mm の距離に亘っていてもよい。いくつかの実施では、基板はこれら 3 個よりも多いまたは少ないゾーンを有している。スペクトルを得る位置は 2004 年 8 月 18 日に提出の米国出願 10 / 922、110 号、“Determination of Position of Sensor Measurements During Polishing”、または米国特許第 7、018、271 号において説明されている方法を使用して決定することができる。これらは全ての目的のために参照によって本明細書に組み込まれる。

【0120】

[0137] 図 10 A に関連して上述したように、各ゾーンからのスペクトル（または、各ゾーンについての、基板にわたるセンサのシングルスイープで得られるゾーン内のスペクトル平均）を、スペクトルライブラリ内のスペクトルと比較する。対応するインデックス数は、スペクトルライブラリ内の比較から各ゾーンに対して決定される（ステップ 1238）。

【 0 1 2 1 】

[0138] ゾーンのインデックスが1または複数の終点基準と一致すると研磨が停止する。例えば、事前に選択したゾーンが所望のインデックスに到達した時、または、何れかのゾーンが所望のインデックスに最初に到達した時、あるいは、各ゾーンで所望のインデックスが達成された時に研磨を停止できる（ステップ1244）。各ゾーンの所望のインデックスは、最終的に所望の基板の外形によって決定される。研磨完了後の基板を平坦な外形にしたり、均等な酸化物膜を設ける場合には、全てのゾーンで得られたスペクトルが同一またはほぼ同一でなければならない、また、全てのゾーンが同一または類似の所望のインデックス数を有する。

【 0 1 2 2 】

[0139] 全てのゾーン内の最終的なインデックス数が所望の最終インデックス数と等しくなるように、ゾーン内での研磨速度を、フィードバックループを使用して調整することができる。図15は、予想された終点時間において所望の基板外形を得るために研磨処理を調整する1つの方法1400を示す。予想された終点時間における所望のインデックス数は基板上の各ゾーンに決定される（ステップ1402）。研磨が開始し（ステップ1404）、基板が上述したとおりに光学監視されることで、基板上の全てのゾーンにインデックストレースが決定される（ステップ1406）。研磨処理を安定させる初回遅延時間の後に、時間に従ったインデックスの変化速度が計算される（時間を表すものとしてプラテン回転数を使用できる）（ステップ1408）。インデックスの変更速度は、異なる時間にインデックスを生成したスペクトル測定どうしの間に経過したプラテン回転数で割った、2つの異なる時間におけるインデックスの差分として単純に算出できる。インデックス数の変化速度は研磨速度を表す。典型的には、どの研磨パラメータにも変化がない場合には、研磨速度は一定していると仮定できる。

【 0 1 2 3 】

[0140] 各ゾーンについてのインデックスの変化速度を使用してインデックストレースを補外することで、関連するゾーンに予想された終点時間に達成されるインデックス数を決定することができる（ステップ1412）。予想された終点時間に所望のインデックス数を超えた、または未だこの数に達していない場合には、必要に応じて研磨速度を上方または下方に調整することができる（ステップ1420）。予想された終点時間に所望のインデックス数に達した場合には、調整は必要ない。2個以上の外挿と調整がなされるべきかどうかの決定は、研磨シーケンスにわたって生じ得る。研磨速度の調整を行う必要があるかどうかの決定には、研磨終点の発生時に所望のインデックス数が達成されるかどうかの決定と、最終インデックスが所望の最終インデックス数からの許容可能な範囲内に入るかどうかの決定とが含まれる。

【 0 1 2 4 】

[0141] いくつかの実施では、例えば中心ゾーンのような1つのゾーンに予想される終点時間を決定する。次に、必要に応じてこの他のゾーン内の研磨速度を調整することで、これらゾーンの所望の終点が、中心ゾーンのような選択されたゾーンに予想される終点時間と同時に達成される。研磨速度は、例えばキャリアヘッド内部における対応ゾーン内の圧力を増減することで調整できる。例えば米国公報第2005-0211377号で説明されているキャリアヘッドのようないくつかのキャリアヘッドにおいては、キャリアヘッドは調整可能な圧力ゾーンを有する。研磨速度の変化は圧力の変化に直接比例すると仮定でき、これは例えば、単純なプレストニアン（Prestonian）モデルである。これに加えて、プラテンまたはヘッド回転速度の影響、異なるヘッド圧力の組み合わせの2次効果、研磨温度、スラリー流、また、研磨速度に影響するこれ以外のパラメータを考慮した、基板を研磨するための制御モデルを開発することが可能である。

【 0 1 2 5 】

[0142] さらに、方法800において上述したスペクトルに基づく終点決定論理を使用して研磨終点を決定することができ、また、この終点決定論理を研磨処理の調整と共に使用して、所望の基板外形を得ることもできる。各ゾーンの相対厚さは、ゾーン間の差分を使

10

20

30

40

50

用して、ステップ 806 に関連して上で提供された方程式から決定される。基板の研磨時にスペクトルが得られ、このスペクトルがゾーン内に入れられる。場合により、スペクトルに信号の処理およびフィルタリングを付加する。各ゾーンについて収集したスペクトルと、所定基準スペクトルとに対して 2 乗誤差和計算を適用する。所定基準スペクトルは、研磨終点に達した際に得たスペクトルである。

【0126】

[0143] 基準スペクトルを伴った 2 乗誤差和が 1 つのゾーン内の最小値に接近すると、任意のゾーンにおける研磨速度に対して変更するべきかどうかを決定するために、他のゾーンの研磨圧力の検査が行われる。2 乗誤差和が最小値に接近しているゾーンにおける研磨速度は減少され、他のゾーンにおける研磨速度は増加し得る。研磨全体に亘って 2 乗誤差和を分析し、これにより、研磨シーケンスの初期において研磨速度の調整の変更を行うこともできる。方法 1400 で説明した方法とは異なり、この方法では、スペクトルライブラリからの研磨スペクトルとインデックス数の間の相関を必要としない。

【0127】

[0144] 図 16 を参照すると、例えば基板表面全体にかけて均一な厚さを有するといったように具体的な外形が望ましい場合には、時間に従ったインデックス数の変化で表される研磨速度の傾斜を監視し、さらに研磨速度の調整を行うことができる。研磨安定期間 1505 の後に、中心ゾーン 1510、辺縁ゾーン 1515、これらの間の中間ゾーン 1520 においてスペクトルが得られる。ここでは、ゾーンは円形または環状形のゾーンである。各スペクトルは対応するインデックスと相関される。この処理をプラテン回転の回数だけ、または時間にかけて繰り返し、さらに、中心ゾーン 1510、中間ゾーン 1520、辺縁ゾーン 1515 のそれぞれにおける研磨速度を決定する。研磨速度は、インデックス 1530 (y 軸) を回転数 1535 (x 軸) に従ってプロットして得た線の傾斜で表される。いずれかの速度が他のものよりも速いまたは遅いような場合には、このゾーン内の速度を調整することができる。ここでは、この調整は中心ゾーン 1510 の終点 C_E に基づいている。現在の基板に十分なデータ点またはプラテン回数が収集された後に、中心ゾーンにおおよその研磨終点 (「EDP」)、または推定された終点時間 (「EET」) が決定される。各プラテン回転の後に EET が再計算される。研磨処理中の最初の研磨時間 T_1 に、中間ゾーン 1520 での研磨速度が減速し、辺縁ゾーンでの研磨速度が増加する。中間ゾーン 1520 で研磨速度を調整しなければ、中間ゾーンは基板の他のゾーンよりも速く、過剰研磨速度 M_A 速度で研磨されるようになる。辺縁ゾーン 1515 の研磨速度 T_1 を調整しなければ、辺縁ゾーン 1515 の研磨は速度 E_U で研磨不足となる。

【0128】

[0145] 研磨処理中の後続の時間 (T_2) でも、必要であれば速度を調整することが可能である。この研磨処理における目標は、基板の表面が平坦になった場合、あるいは比較的平坦な表面全体にかけて酸化物層である場合に研磨を終了することである。研磨速度の調整量を決定する 1 つの方法は、中心、中間、辺縁ゾーンのそれぞれのインデックスが、ほぼ研磨終点 EDP において等しくなるように速度の調整を行うというものである。そのため、辺縁ゾーンにおける研磨速度は調整が必要であるが、中心および中間ゾーンが T_2 以前と同じ速度で研磨される。EDP は、中心ゾーンの近似直線が所望の ASL レベルに達した場合に決定される。これ以外の全てのゾーンは、これらの近似直線が同時に ASL レベルと交差するために可能な限り接近するように制御される。

【0129】

[0146] 具体的な外形を達成するために研磨速度のスペクトルに基づく観察を使用する別の方法には、第 1 基板を研磨し、研磨速度を監視し、この後に研磨される基板に対して研磨速度情報を供給するというものがある。図 17 を参照すると、第 1 設定基板が研磨され、さらに、中心ゾーン 1610、中間ゾーン 1620、辺縁ゾーン 1630 の研磨速度と相対酸化物厚さを決定するスペクトルが得られる。中間ゾーン 1620、中心ゾーン 1610、辺縁ゾーン 1630 の開始インデックスはそれぞれ M_O 、 C_O 、 E_O で表される。中心ゾーン 1610 は、ターゲットスペクトルに選択される終点 C_E スペクトルを有する。

現在のウェーハの研磨の最後に、他の2つのゾーンが、中心終点 C_E のインデックスからの閾距離1640に入るインデックス数を有する場合には、次のウェーハの辺縁ゾーン1630または中間ゾーン1620の研磨速度を調整する必要はない。同様に、研磨中の研磨速度とインデックス数が許容範囲1650内にある場合にも、辺縁ゾーン1630または中間ゾーン1620に調整を行う必要はない。ここでは、研磨の最後に、中間ゾーンMEの終点はこの中間ゾーンが過剰研磨されたことを示し、辺縁ゾーン E_E の終点はこの辺縁ゾーンが研磨不足であることを示している。その結果、後続のウェーハでは、研磨速度パラメータを、全てのゾーンE、M、Cの終点における厚さが許容範囲1640内に入るように調整することになる。図18は、次のウェーハのゾーンE、M、Cに予想される信号の発生を表す。

10

【0130】

[0147]図18を参照すると、イン・シトゥー調整を使用した場合の研磨処理中に、研磨速度を例えば4回、3回、2回または1回のみといったように数回変更するだけにするのが好ましい。調整は、研磨処理の開始時付近、中間、終了近くに行うことができる。インデックス数を設けたスペクトルに関連して、各ゾーンにおける研磨の直線比較が作成され、また、研磨処理を制御し、複雑なソフトウェアまたは処理ステップを不要にする方法を決定するのに必要な計算が単純化される。

【0131】

[0148]基板の差分ゾーンから得られたスペクトルは基板プロファイルを得ることができるが、酸化物層の絶対厚さを提供する必要はない。そのため、ここで説明しているいくつかのスペクトルに基づく研磨速度調整方法を使用して、基板全体にかけての酸化物相対厚さを監視することができる。これらスペクトルに基づく方法は、基板のゾーン内での研磨速度の決定および調整を行うために使用できるので、スペクトルに基づく方法は、続いて起こる基板の厚さ変化と、ウェーハの非均一性において誘発された研磨とを補正することができる。

20

【0132】

[0149]ここで説明しているように、相対厚さを使用して所望の基板外形を達成することができる。上述した例のうちのいくつかでは、研磨後の所望の基板外形は平坦外形である。しかし、平坦以外の外形を達成することも可能である。多くの場合、基板は2個以上のプラテン上で研磨される。1つのゾーンを他のゾーンよりも高速で固有に研磨する研磨処理がいくつか知られている。この非均一研磨を補正するために、第1プラテンでの研磨を、例えば次のプラテン上ではより高速に研磨される1つのゾーンを、他のゾーンよりも厚く残すように制御することができる。この厚さの差分は、ターゲットインデックス数の差分や、1つのゾーンの終了インデックス数と他のゾーンの終了インデックス数の間の割合を選択することで達成できる。

30

【0133】

[0150]本発明の実施形態、および本明細書中で説明した全ての機能動作は、デジタル電子回路要素内で、または、本明細書およびこれの構造同等物、あるいはこれらの組み合わせにおいて開示された構造手段を含む、コンピュータソフトウェア、ファームウェア、ハードウェア内で実現することが可能である。本発明の実施形態は、1つ以上のコンピュータプログラム製品として、即ち、例えばプログラム可能なプロセッサ、コンピュータ、複数のプロセッサまたはコンピュータのようなデータ処理装置によって実行される、またはこれの動作を制御するための、マシン読み出し可能な記憶装置のような情報キャリアや伝播信号内で実際に具現化される1つ以上のコンピュータプログラムとして実現することができる。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、コードとしても公知)は、コンパイルされた言語や翻訳された言語を含む任意のプログラム言語形式で書くことができ、さらに、コンポーネント、サブルーチン、これ以外の、計算環境での使用に適したユニットをスタンドアロンプログラムまたはモジュールとして含む任意の形式で展開することが可能である。コンピュータプログラムは必ずしもファイルに関連していない。プログラムは、他のプログラム又はデータを保持するファイ

40

50

ルの一部、質問またはコーディネートされた複数のファイル（例えば、1または複数のモジュール、サブプログラム、コードの各部を記憶するファイル）内のプログラムに専念された単一ファイルに記憶することができる。コンピュータプログラムは、1台のコンピュータ上、あるいは1箇所に設置された、または複数個所に分散され通信ネットワークでつながれた数台のコンピュータ上で実行されるように展開することができる。

【0134】

[0151]本明細書中で説明した処理フローおよび論理フローは、データの入力と出力の生成を行うことによって機能を実効する1つ以上のコンピュータプログラムを実行している、1つ以上台のプログラム可能なプロセッサによって実現することができる。プロセスフローおよび論理フローは、例えばFPGA（フィールドプログラマブルゲートアレイ）やASIC（アプリケーション特化型集積回路）のような特殊用途論理回路によって実現することができ、さらに、装置をこのような特殊用途論理回路として実現することも可能である。

10

【0135】

[0152]上述した研磨装置および方法は、様々な研磨システムに適用できる。研磨パッドまたはキャリアヘッド、あるいはこれらの両方は、研磨面と基板の間の相対動作を提供するように移動できる。例えば、プラテンは回転ではなく軌道旋回することができる。研磨パッドは、プラテンに固着された円形（またはこれ以外の形状）のパッドであってもよい。終点検出システムのいくつかの態様は、例えば、研磨パッドが連続している、あるいはリール・ツー・リールベルトが直線方向に移動する直線研磨システムに適用することができる。研磨層は標準的な（例えば、充填材を含む、または含まないポリウレタン）研磨材料、柔軟な材料、固定研磨材料であってもよい。相対位置決め方式を使用できる：研磨表面と基板を垂直方位またはこれ以外の方位に保持できることが理解されるべきである。

20

【0136】

[0153]本発明の具体的な実施形態を説明してきた。これ以外の実施形態も特許請求の範囲内に包括される。例えば、特許請求項で引用した動作を異なる順序で実行しても、所望の結果を達成することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0137】

[0022]

30

【図1】化学機械的研磨装置を示す。

【図2A】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2B】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2C】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2D】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2E】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2F】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2G】研磨パッド窓の実施を示す。

【図2H】研磨パッド窓の実施を示す。

【図3】噴射システムの実施を示す。

40

【図4】噴射システムの代替実施を示す。

【図5】研磨パッドの頭上図であり、イン・シトゥー測定値を採取する場所を示している。

【図6A】イン・シトゥー測定値から得たスペクトルを示す。

【図6B】研磨の進行に従ったイン・シトゥー測定値から得たスペクトルの回転を図示する。

【図7A】ターゲットスペクトルを得る方法を示す。

【図7B】基準スペクトルを得る方法を示す。

【図8A】終点決定方法を示す。

【図8B】終点決定方法を示す。

50

【図 9 A】終点決定の代替方法を示す。

【図 9 B】終点決定の代替方法を示す。

【図 10 A】終点決定の別の代替方法を示す。

【図 10 B】終点決定の別の代替方法を示す。

【図 11】終点決定の実施を示す。

【図 12】スペクトルの最大 / 最小正規化を図示する。

【図 13】複数の基準スペクトルの提供を使用した簡略化効果を図示する。

【図 14】研磨中にゾーン内でスペクトルを得る方法を示す。

【図 15】所望の外形を達成するためにゾーン内の研磨速度を調整する方法を示す。

【図 16】研磨速度を調整する処理を研磨進行対時間において表したグラフを示す。

10

【図 17】研磨速度を調整しない処理を研磨進行対時間において表したグラフを示す。

【図 18】研磨制御の前送り方法を使用する処理を、研磨進行対時間において表したグラフを示す。

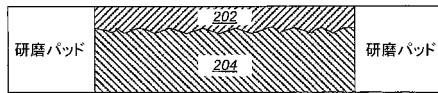
【符号の説明】

【 0 1 3 8 】

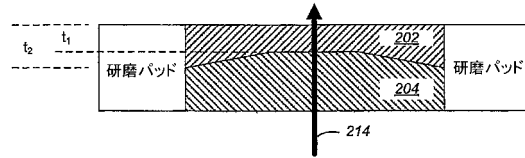
1 0 ... 基板、2 0 ... 研磨装置、2 4 ... プラテン、2 5 ... 軸、3 0 ... 研磨パッド、3 2 ... 外部の研磨層、3 4 ... 柔軟な裏張り層、3 8 ... スラリー、5 1 ... 光源、5 2 ... 光検出器、5 3 ... 光学ヘッド、7 0 ... キャリアヘッド、7 2 ... 支持構造、2 0 2 ... ポリウレタン部分、2 0 4 ... 石英部分、2 0 6 ... 頂面、2 0 8 ... 研磨面、2 1 0 ... 底面、3 0 2 ... ガス源、3 0 4 ... 搬送ライン、3 0 6 ... 搬送ノズル、3 0 8 ... 吸引ノズル、3 1 0 ... 真空ライン、3 1 2 ... 真空源、3 1 4 ... 透明な頂面、4 0 2 ... ガス源、4 0 4 ... 搬送ライン、4 0 6 ... 搬送ノズル、4 0 8 ... 吸引ノズル、4 1 0 ... 真空ライン、4 1 2 ... 真空源、5 0 1、5 0 2、5 0 3、5 0 4、5 0 5、5 0 6、5 0 7、5 0 8、5 0 9、5 1 0、5 1 1 ... 点、6 0 2、6 0 4、6 0 6 ... スペクトル、8 0 1、8 0 3 ... トレース、8 0 5 ... 閾値、8 0 7 ... 最小値、9 0 1、9 0 3 ... トレース、9 0 5 ... 閾値範囲、9 0 7 ... ターゲット差分、1 0 0 3 ... トレース、1 0 0 5 ... 線、1 3 0 2、1 3 0 4、1 3 0 6 ... トレース、1 5 0 5 ... 研磨安定期間、1 5 1 0 ... 中心ゾーン、1 5 1 5 ... 辺縁ゾーン、1 5 2 0 ... 中間ゾーン、1 5 3 0 ... インデックス、1 6 1 0 ... 中心ゾーン、1 5 2 0 ... 中間ゾーン、1 6 3 0 ... 辺縁ゾーン、1 6 4 0 ... 許容可能な範囲、1 6 5 0 ... 許容範囲

20

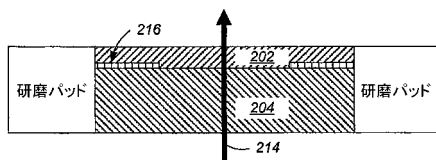
【図 2 D】



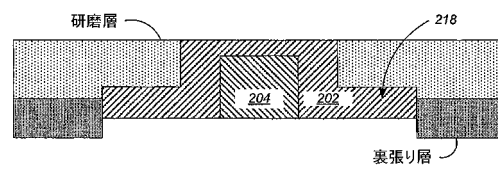
【図 2 E】



【図 2 F】



【図 2 G】



【図 2 H】

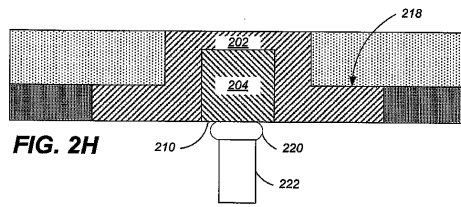
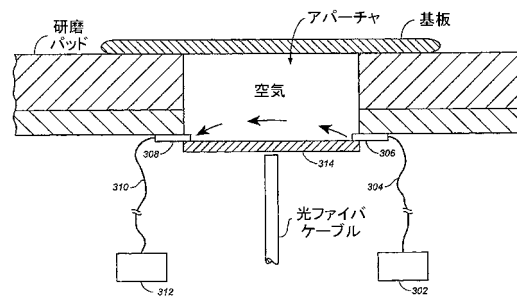
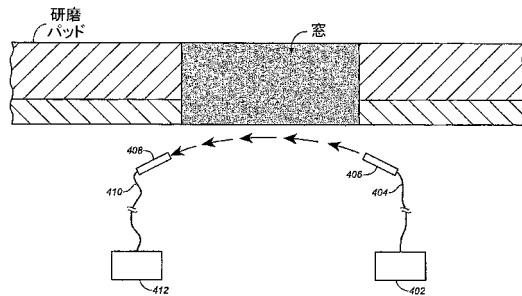


FIG. 2H

【図 3】



【図 4】



【図 5】

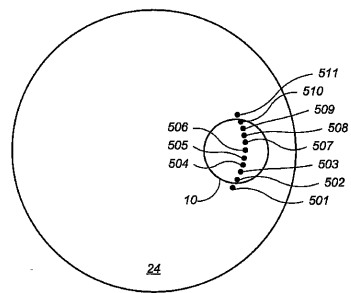
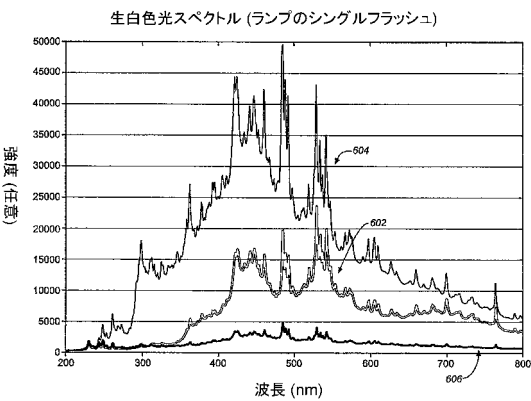
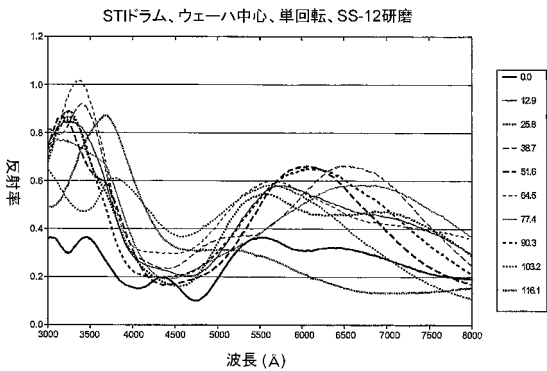


FIG. 5

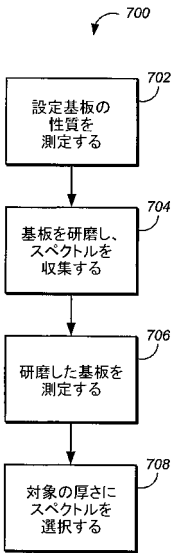
【図 6 A】



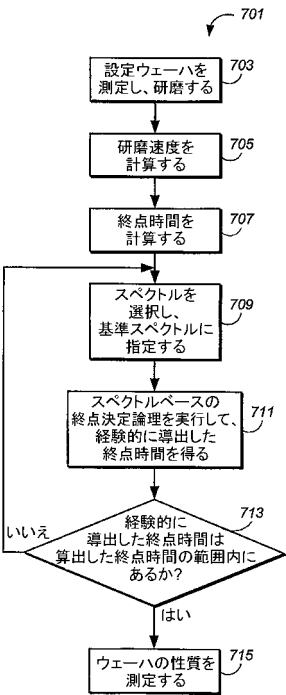
【図 6 B】



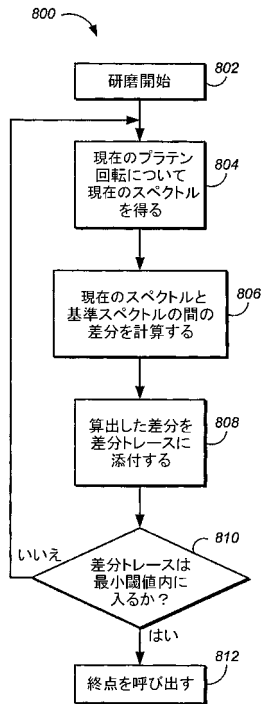
【図 7 A】



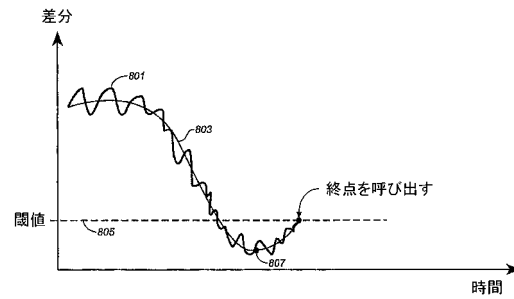
【図 7 B】



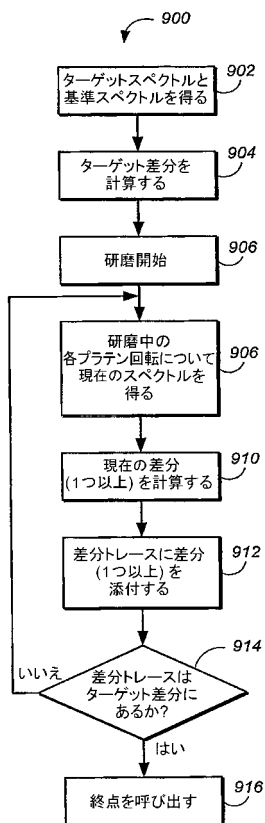
【図 8 A】



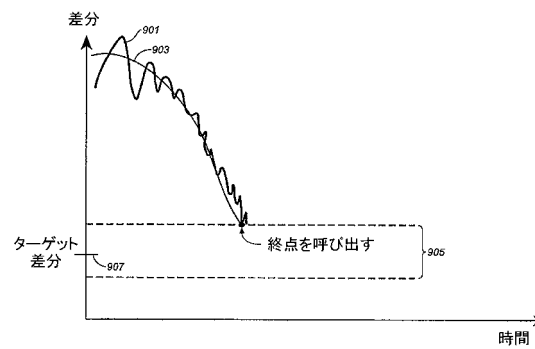
【図 8 B】



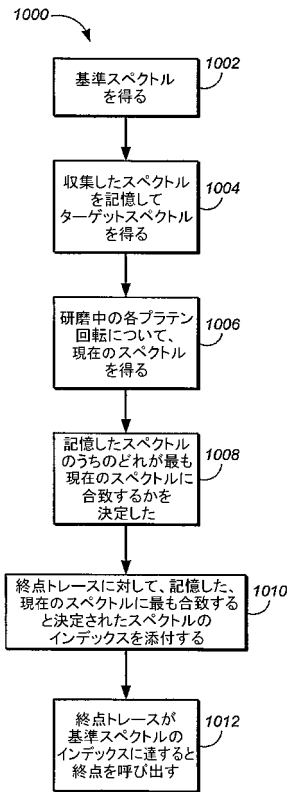
【図 9 A】



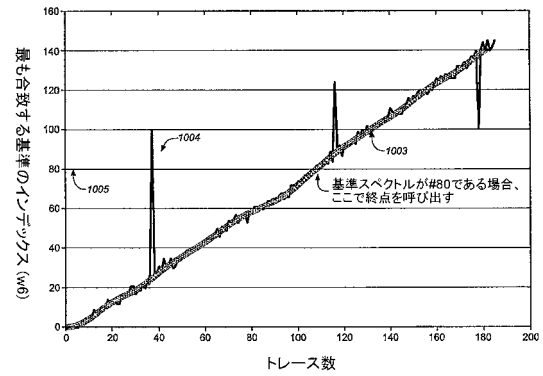
【図 9 B】



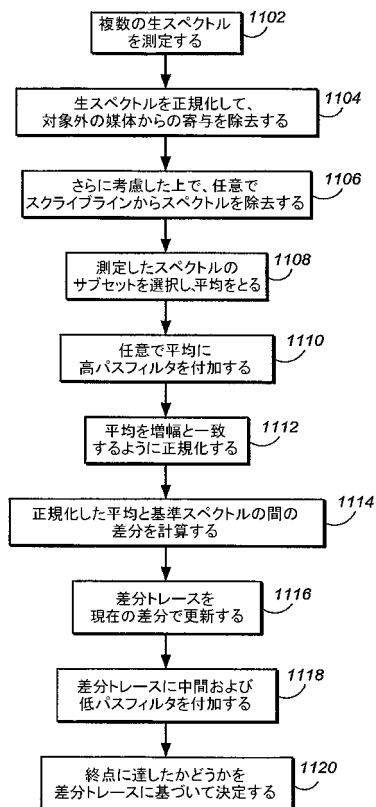
【図10A】



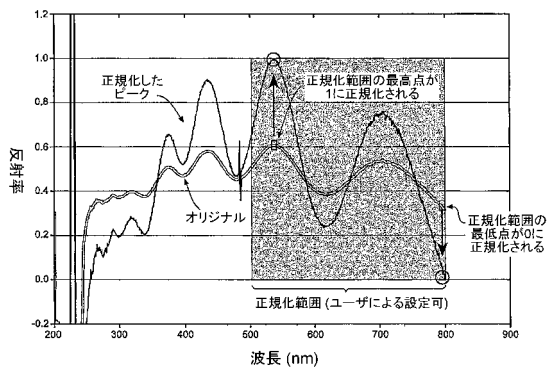
【図10B】



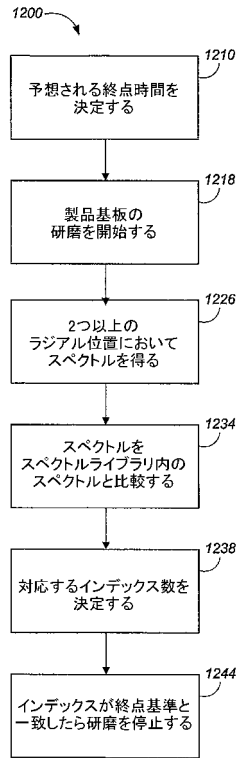
【図11】



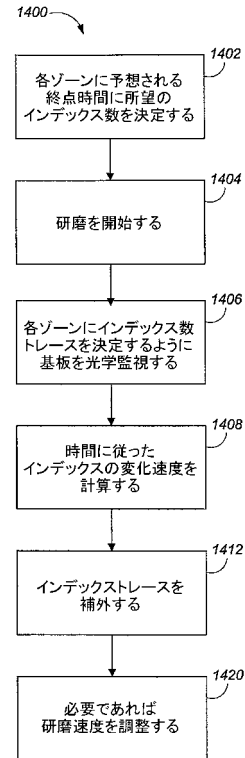
【図12】



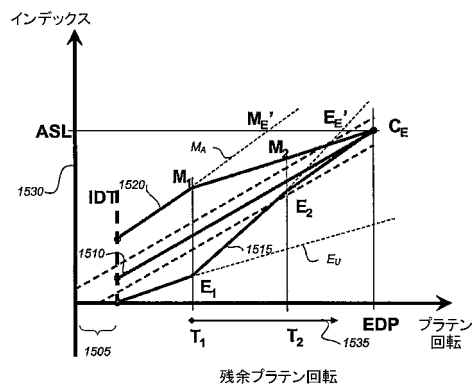
【図 14】



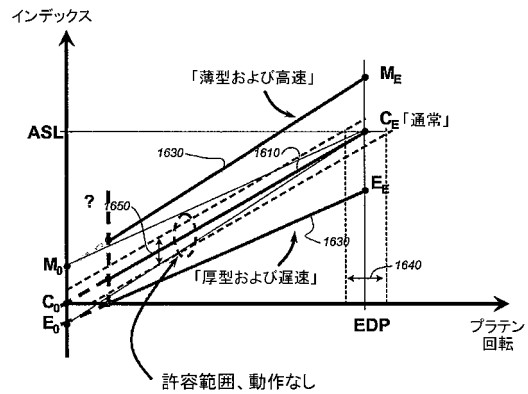
【図 15】



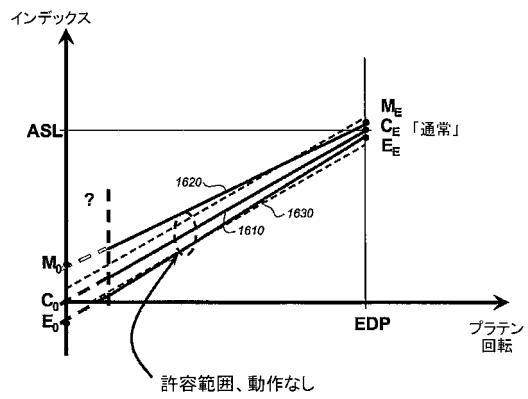
【図 16】



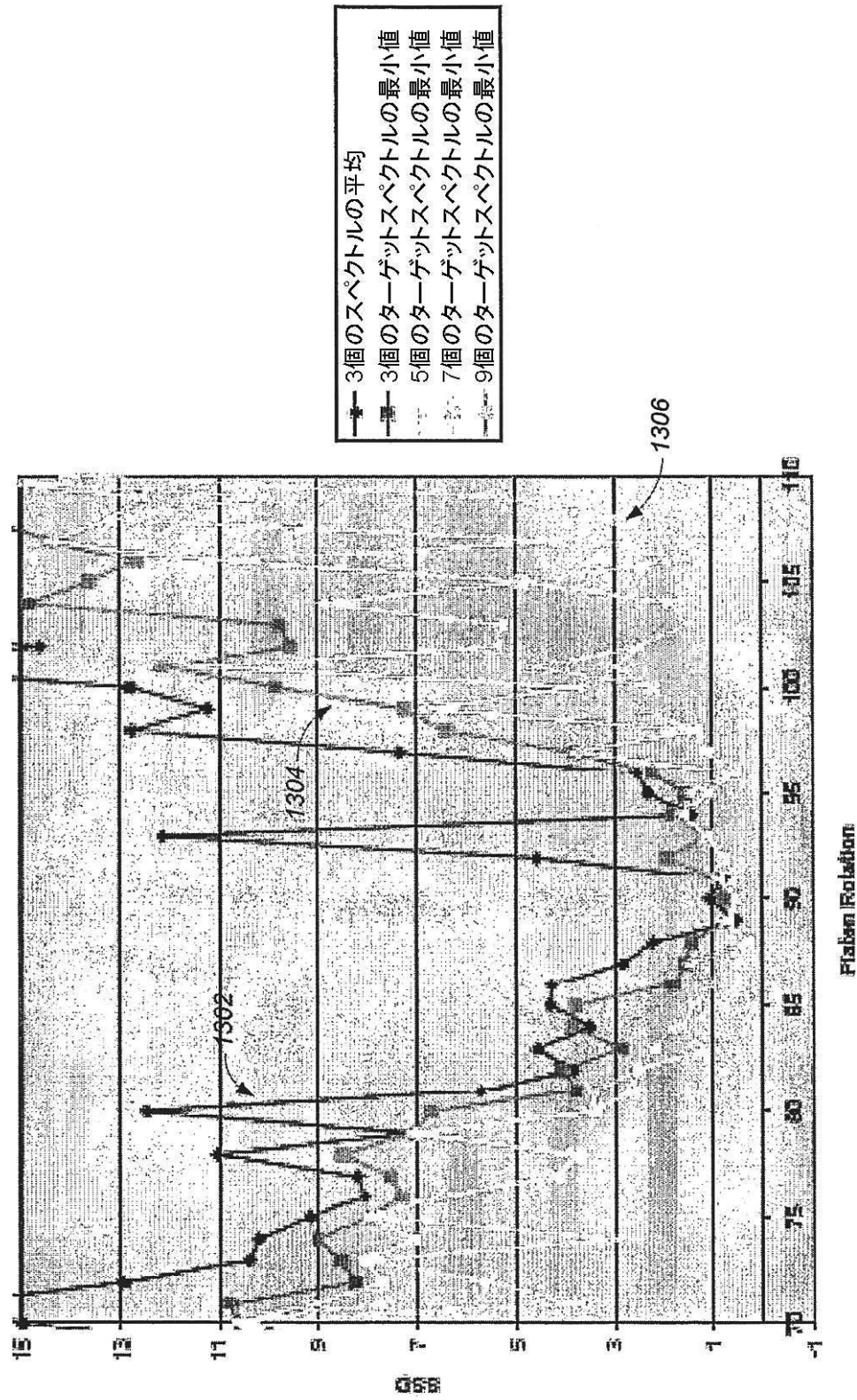
【図 17】



【図 18】



【図 13】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 11/213,675
 (32)優先日 平成17年8月26日(2005.8.26)
 (33)優先権主張国 米国(US)
 (31)優先権主張番号 11/213,674
 (32)優先日 平成17年8月26日(2005.8.26)
 (33)優先権主張国 米国(US)
 (31)優先権主張番号 11/261,742
 (32)優先日 平成17年10月28日(2005.10.28)
 (33)優先権主張国 米国(US)
 (31)優先権主張番号 60/747,768
 (32)優先日 平成18年5月19日(2006.5.19)
 (33)優先権主張国 米国(US)
- (72)発明者 ベンヴェグニュ , ドミニーク , ジェイ .
 アメリカ合衆国 , カリフォルニア州 , ラ ホンダ , ビヴァリー ドライヴ 241
 (72)発明者 デイヴィッド , ジェフリー , ドゥリュウ
 アメリカ合衆国 , カリフォルニア州 , サン ホゼ , マルケス アヴェニュー 2208
 (72)発明者 スウェデック , ボグダン
 アメリカ合衆国 , カリフォルニア州 , クーパチーノ , エル ブラド ウェイ 10315
 エー
 (72)発明者 リー , ハリー , キュー .
 アメリカ合衆国 , カリフォルニア州 , ロス アルトス , ベン ロー ドライヴ 1501
 (72)発明者 カルピアー , ラクシュマナン
 アメリカ合衆国 , カリフォルニア州 , サン ホゼ , サイカモア グローヴ プレイス 27
 20

審査官 石井 孝明

- (56)参考文献 特開2001-287159(JP,A)
 特開2004-165473(JP,A)
 特開2002-009030(JP,A)
 特開2002-359217(JP,A)
 特開2000-040680(JP,A)
 特開2000-183001(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B24B 37/013
 B24B 49/12
 H01L 21/304