

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5542802号  
(P5542802)

(45) 発行日 平成26年7月9日(2014.7.9)

(24) 登録日 平成26年5月16日(2014.5.16)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>HO 1 L 21/304</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	21/304	6 2 2 S	
<b>B 2 4 B 37/013</b>	<b>(2012.01)</b>	B 2 4 B	37/04	K	

請求項の数 15 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-507606 (P2011-507606)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成21年4月29日 (2009.4.29)		アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド
(65) 公表番号	特表2011-520264 (P2011-520264A)		APPLIED MATERIALS, I NCORPORATED
(43) 公表日	平成23年7月14日 (2011.7.14)		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
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/042085	(74) 代理人	100109726
(87) 国際公開番号	W02009/134865		弁理士 園田 吉隆
(87) 国際公開日	平成21年11月5日 (2009.11.5)	(74) 代理人	100101199
審査請求日	平成24年4月27日 (2012.4.27)		弁理士 小林 義教
(31) 優先権主張番号	61/049,965		
(32) 優先日	平成20年5月2日 (2008.5.2)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数のスペクトルを使用する化学機械研磨での終点検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

インシトゥ光学監視システムを使用して少なくとも1つのスペクトルを得るステップであって、得られたスペクトルが、研磨を受けているそれぞれの最外層および少なくとも1つのそれぞれの下位層を有する基板から反射される光のスペクトルであり、前記基板から反射される前記光のスペクトルは前記最外層の厚さ及び前記下位層の厚さによって決まるステップと、

前記得られたスペクトルを複数の異なる基準スペクトルと比較するステップであって、前記複数の基準スペクトルのそれぞれが複数の基準基板のそれぞれの1つから反射される光のスペクトルを表し、それぞれの基準基板がそれぞれの最外層と少なくとも1つのそれぞれの下位層を有し、複数の基準基板の前記それぞれの最外層が共通する厚さを共有し、一方で前記少なくとも1つのそれぞれの下位層が、前記複数の基準基板の間で、少なくとも厚さ又はパターン形成の点で異なるステップと、

前記比較するステップに基づき、研磨を受けている前記最外層を有する前記基板について、研磨終点に達したかどうかを決定するステップとを含むコンピュータで実施される方法。

【請求項 2】

前記研磨終点に達したかどうかを決定するステップが、前記得られたスペクトルと前記基準スペクトルとの差を計算するステップを包含する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記研磨終点に達したかどうかを決定するステップが、前記差の少なくとも1つがしきい値に達したかどうかを決定するステップを包含する、請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記差の前記少なくとも1つが前記差のうちの最小差である、又は、前記差の中央値である、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記研磨終点に達したかどうかを決定するステップが、前記差の少なくとも1つがしきい値に達したときに終点検出アルゴリズムを起動するステップを包含する、請求項2に記載の方法。

【請求項6】

前記研磨終点に達したかどうかを決定するステップが、各々がプラテンの回転について計算される前記差の最小を表す複数の点を包含する差トレースを生成するステップを包含する、請求項5に記載の方法。

【請求項7】

前記終点検出アルゴリズムが、前記差トレースが最低値に達したかどうかを決定するステップを包含する、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記差トレースが最低値に達したかどうかを決定するステップが、前記差トレースの勾配を計算するステップを包含する、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記終点検出アルゴリズムは、前記差トレースが、前記最低値を上回るしきい値まで上昇したかどうかを決定するステップを包含する、請求項6に記載の方法。

【請求項10】

複数のスペクトルを異なる時間に得るステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項11】

複数の得られたスペクトルが、前記基板を横断する前記インシトゥ光学監視システムの複数の掃引に基づく一連の得られたスペクトルを包含する、請求項10に記載の方法。

【請求項12】

複数の得られたスペクトルが、前記基板を横断する前記インシトゥ光学監視システムの1回の同一の掃引に基づく複数の得られたスペクトルを包含する、請求項10に記載の方法。

【請求項13】

前記複数の得られたスペクトルと前記複数の基準スペクトルとの複数の差を生成するために、前記同一の掃引に基づく前記複数の得られたスペクトルを前記複数の基準スペクトルと比較するステップをさらに含む、請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記複数の差の最小を決定するステップおよび前記複数の差の前記最小を使用して研磨終点に達したかどうかを決定するステップをさらに含む、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

インシトゥ光学監視システムを使用して少なくとも1つのスペクトルを得るステップであって、得られたスペクトルが、研磨を受けているそれぞれの最外層および少なくとも1つのそれぞれの下位層を有する基板から反射される光のスペクトルであり、前記基板から反射される前記光のスペクトルは前記最外層の厚さ及び前記下位層の厚さによって決まるステップと、

前記得られたスペクトルを複数の異なる基準スペクトルと比較するステップであって、前記複数の基準スペクトルのそれぞれが複数の基準基板のそれぞれの1つから反射される光のスペクトルを表し、それぞれの基準基板がそれぞれの最外層と少なくとも1つのそれぞれの下位層を有し、複数の基準基板の前記それぞれの最外層が共通する厚さを共有し、一方で前記少なくとも1つのそれぞれの下位層が、前記複数の基準基板の間で、少なくとも厚さ又はパターン形成の点で異なるステップと、

10

20

30

40

50

前記比較するステップに基づいて、研磨を受けている前記最外層を有する前記基板について、研磨終点に達したかどうかを決定するステップとを含む動作を、データ処理装置に行わせるように動作可能な、有形プログラムキャリア上にエンコードされるコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に、化学機械研磨の間の基板の分光学的監視に関する。

【背景技術】

【0002】

集積回路は典型的には、シリコンウェハ上への導電性、半導電性、または絶縁性の層の順次堆積によって基板上に形成される。1つの製作ステップは、非平面の表面を覆ってフィラー層を堆積させるステップおよびフィラー層を平坦化するステップを伴う。ある種の用途では、フィラー層は、パターン化層の上面が露出されるまで平坦化される。導電性フィラー層は、例えば、絶縁層の溝または穴を充填するためにパターン化絶縁層上に堆積させることができる。平坦化後に、絶縁層の高くなったパターン間に残る導電層の部分は、基板上の薄膜回路間の導電性経路を提供するビア、プラグ、および配線を形成する。酸化物研磨などの他の適用については、フィラー層は、所定の厚さが非平面の表面を覆って残されるまで平坦化される。加えて、基板表面の平坦化は通常、フォトリソグラフィのために必要とされる。

【0003】

化学機械研磨(CMP)は、一般に認められた平坦化の1つの方法である。この平坦化方法は典型的には、基板がキャリアまたは研磨ヘッドに取り付けられることを必要とする。基板の露出面は典型的には、回転研磨ディスクパッドまたはベルトパッドに接触して配置される。研磨パッドは、標準パッドまたは固定研磨剤パッドとすることができる。標準パッドは、耐久性のある粗面を有するが、一方固定研磨剤パッドは、閉じ込め媒体に保持された研磨用粒子を有する。キャリアヘッドは、基板を研磨パッドに押し付けるために基板に制御可能な負荷を提供する。研磨用粒子を含むスラリーなどの研磨液体は典型的には、研磨パッドの表面に供給される。

【0004】

CMPの1つの問題は、研磨プロセスが完了しているかどうか、すなわち基板層が所望の平坦度または厚さに平坦化されたかどうか、またはいつ所望の量の材料が除去されたか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。他方では、導電層の研磨不足(少なすぎる除去)は電氣的短絡につながる。基板層の初期厚さの変化、スラリー組成、研磨パッド状態、研磨パッドと基板との間の相対速度、および基板への負荷は、材料除去レートの変化を引き起こす可能性がある。これらの変化は、研磨終点に達するのに必要な時間の変化を引き起こす。従って、研磨終点は、単に研磨時間の関数として決定できない。

【発明の概要】

【0005】

一般的な一態様では、コンピュータで実施される方法は、その場光学監視システムを使用して少なくとも1つの現在のスペクトルを得るステップと、現在のスペクトルを複数の異なる基準スペクトルと比較するステップと、この比較するステップに基づいて、研磨を受けている最外層を有する基板について研磨終点に達したかどうかを決定するステップとを包含する。現在のスペクトルは、研磨を受けている最外層および少なくとも1つの下位層を有する基板から反射される光のスペクトルである。複数の基準スペクトルは、同じ厚さを有する最外層および異なる厚さを有する下位層を有する基板から反射される光のスペクトルを表す。

【0006】

実施形態は下記の1つまたは複数を包含することができる。研磨終点に達したかどうか

10

20

30

40

50

を決定するステップは、現在のスペクトルと基準スペクトルとの差を計算するステップを包含してもよい。研磨終点に達したかどうかを決定するステップは、差の少なくとも1つがしきい値に達したかどうかを決定するステップを包含してもよい。差の少なくとも1つは最小差であってもよい。研磨終点に達したかどうかを決定するステップは、差の少なくとも1つがしきい値に達したとき終点検出アルゴリズムを起動するステップを包含してもよい。研磨終点に達したかどうかを決定するステップは、複数の点を包含する差トレースを生成するステップを包含してもよく、この場合、これらの各点はプラテンの回転について計算される差の最小を表す。終点検出アルゴリズムは、差トレースが最低値に達したかどうかを決定するステップを包含してもよい。差トレースが最低値に達したかどうかを決定するステップは、差トレースの勾配を計算するステップまたは差トレースが最低値を上回るしきい値まで上昇したかどうかを決定するステップを包含してもよい。基準スペクトルは、実験的に生成するか、または理論から生成することができる。

10

**【0007】**

別の態様では、有形プログラムキャリア上にエンコードされるコンピュータプログラム製品は、上の方法のステップを含む動作をデータ処理装置に行わせるように動作可能である。

**【0008】**

本明細書では、基板という用語は、例えば、製品基板（例えば、それは複数のメモリまたはプロセッサダイを包含する）、テスト基板、ベア基板、およびゲーティング基板を包含することができる。基板は、集積回路製作のさまざまな段階にあるとすることができ、例えば、基板は、ベアウェハーとすることができ、またはそれは、1つまたは複数の堆積された層および/またはパターン化された層を包含することができる。基板という用語は、円形ディスクおよび矩形シートを包含することができる。

20

**【0009】**

本発明の実施形態に可能な利点は、下記の1つまたは複数を含むことができる。終点検出システムの、下位層またはパターンの基板間での変化に対する感受性は低下させることができ、それ故に終点システムの信頼性が改善しうる。複数の基準スペクトルの使用は（単一基準スペクトルとは対照的に）、単一基準スペクトル技術を使用することによって生成されるトレースよりも一般に滑らかである差または終点トレースを提供することによって終点決定の正確さを改善する。

30

**【0010】**

本発明の1つまたは複数の実施形態の詳細は、添付図面および以下の記述で説明される。本発明の他の特徴、態様、および利点は、その記述、図面、および特許請求の範囲から明らかになるであろう。

**【図面の簡単な説明】****【0011】**

【図1】基板を示す図である。

【図2】化学機械研磨装置を示す図である。

【図3】研磨パッドの俯瞰図であり、その場測定結果が取得される位置を示す。

【図4】研磨終点決定のフローチャートである。

40

【図5】分光学的監視システムからの差トレースを例示している。

【図6】研磨終点決定の実施形態のフローチャートである。

**【発明を実施するための形態】****【0012】**

さまざまな図面での同様の参照番号および記号は、同様の要素を表示する。

**【0013】**

図1に示すように、基板10は、ウェハー12、研磨を受けることになる最外層14、および最外層14とウェハー12との間にあって、そのいくつかは典型的にはパターン化される1つまたは複数の下位層16を包含することができる。化学機械研磨の間の分光学的終点検出に関連する1つの潜在的問題は、下位層（複数可）の厚さ（複数可）が基板ご

50

とに変化する可能性があることである。結果として、最外層が同じ厚さを有する基板は実際に、下位層（複数可）に応じて異なるスペクトルを反射する可能性がある。その結果、いくつかの基板について研磨終点のきっかけを与えるために使用される目標スペクトルは、例えば下位層が異なる厚さを有する場合、他の基板については適切に機能しないこともある。しかしながら、研磨の間に得られるスペクトルを複数のスペクトルと対比して比較することによってこの効果を補償することは可能であり、ただし複数のスペクトルは下位層（複数可）の変化を表す。

#### 【0014】

図2は、基板10を研磨するように動作可能な研磨装置20を示す。研磨装置20は、回転可能なディスク状プラテン24を包含し、その上に研磨パッド30が位置する。プラテンは軸25の周りを回転するように動作可能である。例えば、モータはプラテン24を回転させるために駆動シャフト22を回転させることができる。

10

#### 【0015】

研磨パッドを通る光アクセス36は、開口（すなわち、パッドを貫通する穴）または固体窓を包含することによって提供される。固体窓は、研磨パッドに固定できるが、いくつかの実施形態では、プラテン24上に支持されて研磨パッドの開口中に突き出ることができる。研磨パッド30は通常、開口または窓がプラテン24の凹部26に位置する光学ヘッド53の上に横たわるようにプラテン24上に置かれる。光学ヘッド53はその結果、研磨されている基板への開口または窓を通る光アクセスを有する。光学ヘッドについては後述でさらに説明する。

20

#### 【0016】

研磨装置20は複合スラリー/リンスアーム39を包含する。研磨の間に、アーム39は、スラリーなどの研磨液体38を分注するように動作可能である。別法として、研磨装置は、研磨パッド30上にスラリーを分注するように動作可能なスラリーポートを包含する。

#### 【0017】

研磨装置20は、研磨パッド30に接触して基板10を保持するように動作可能なキャリアヘッド70を包含する。キャリアヘッド70は、支持構造体72、例えばカールセルからつるされており、キャリアヘッドが軸71の周りを回転できるように、キャリア駆動シャフト74によってキャリアヘッド回転モータ76に接続される。加えて、キャリアヘッド70は、支持構造体72に形成される放射状スロット中で横方向に振動することができる。動作時には、プラテンはその中心軸25の周りを回転させられ、キャリアヘッドはその中心軸71の周りを回転させられ、研磨パッドの上面を横断して横方向に移動させられる。

30

#### 【0018】

研磨装置はまた、光学監視システムも包含し、それは、以下で論じられるように研磨終点を決定するために使用できる。光学監視システムは、光源51および光検出器52を包含する。光は、光源51から研磨パッド30の光アクセス36を通り抜けて衝突し、基板10に反射されて光アクセス36を通過して戻り、光検出器52へ伝わる。

#### 【0019】

分岐光ケーブル54は、光源51から光アクセス36へ、逆に光アクセス36から光検出器52へ、光を伝送するために使用できる。分岐光ケーブル54は、「トランク」55ならびに2つの「ブランチ」56および58を包含することができる。

40

#### 【0020】

上記のように、プラテン24は凹部26を包含し、その中に光学ヘッド53が位置する。光学ヘッド53は分岐ファイバケーブル54のトランク55の一端を保持し、ケーブル54は、研磨されている基板表面への光と、基板表面からの光を伝送するように構成される。光学ヘッド53は、分岐ファイバケーブル54の端部の上に横たわる1つまたは複数のレンズまたは窓を包含することができる。別法として、光学ヘッド53は、研磨パッドの固体窓に隣接するトランク55の端部を単に保持することができる。光学ヘッド5

50

3は、フラッシングシステムの上述のノズルを保持することができる。光学ヘッド53は、例えば予防または改良保全のために、必要に応じて凹部26から除去されてもよい。

【0021】

プラテンは、取り外し可能なその場監視モジュール50を包含する。その場監視モジュール50は、光源51、光検出器52、ならびに光源51および光検出器52と信号を送受信するための電気回路の1つまたは複数を含むことができる。例えば、検出器52の出力は、駆動シャフト22の回転連結器、例えばスリップリングを通過して光学監視システムのためのコントローラまで行くデジタル電子信号であってもよい。同様に、光源は、コントローラから回転連結器を通過してモジュール50まで行くデジタル電子信号中の制御命令に回答してオンまたはオフにされてもよい。

10

【0022】

その場監視モジュールはまた、分岐光ファイバー54のブランチ部分56および58のそれぞれの端部を保持することもできる。光源は、光を伝送するように動作可能であり、その光は、ブランチ56を通過して、光学ヘッド53にあるトランク55の端部の外へ伝えられ、研磨されている基板にぶつかる。基板から反射された光は、光学ヘッド53にあるトランク55の端部で受け取られ、ブランチ58を通過して光検出器52まで伝えられる。

【0023】

一実施形態では、分岐ファイバーケーブル54は光ファイバーの束である。その束は、光ファイバーの第1の群および光ファイバーの第2の群を包含する。第1の群の光ファイバーは、光源51から研磨されている基板表面まで光を伝えるように接続される。第2の群の光ファイバーは、研磨されている基板表面から反射する光を受け取り、受け取られた光を光検出器まで伝えるように接続される。光ファイバーは、第2の群の光ファイバーが分岐光ファイバー54の縦軸上に中心があるXのような形状を形成するように配置できる(分岐ファイバーケーブル54の横断面で見ると)。別法として、他の配置を実施できる。例えば、第2の群の光ファイバーは、互いの鏡像であるVのような形状を形成することができる。適切な分岐光ファイバーは、Carrollton, TexasのVerity Instrument, Inc.から入手できる。

20

【0024】

光源51は、白色光を放出するように動作可能である。一実施形態では、放出される白色光は、200~800ナノメートルの波長を有する光を包含する。適切な光源は、キセノンランプまたはキセノン水銀ランプである。

30

【0025】

光検出器52は、分光計とすることができる。分光計は基本的には、電磁スペクトルの一部分にわたって光の強度を測定するための光学機器である。適切な分光計は、回折格子分光計である。分光計についての典型的な出力は、波長の関数としての光の強度である。

【0026】

光源51および光検出器52は、それらの動作を制御し、それらの信号を受け取るように動作可能なコンピュータデバイスに接続される。コンピュータデバイスは、研磨装置の近くに位置するマイクロプロセッサ、例えばパーソナルコンピュータを包含することができる。制御に関しては、コンピュータデバイスは、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3で示されるように、コンピュータは、基板10がその場監視モジュールの上を通過する直前に始まり、直後に終わる一連のフラッシュを光源51に放出させることができる。(描画される点301~311の各々は、その場監視モジュールからの光がぶつかり、反射した位置を表す。)別法として、コンピュータは、基板10がその場監視モジュールの上を通過する直前に始まり、直後に終わる光を連続的に光源51に放出させることができる。どちらの場合にも、検出器からの信号は、サンプリング周期にわたって積分されて、サンプリング周波数でスペクトル測定結果を生成できる。図示しないが、基板10の監視モジュール上の通過毎の、基板の監視モジュールとの位置合わせは、先の通過と異なってもよい。プラテンの1回転にわたって、スペクトルは基板上の異なる半径から得られる。すなわち、いくつかのスペクトルは、基板の中心の方

40

50

に近い位置から得られ、いくつかはエッジの方に近い位置から得られる。加えて、プラテンの複数の回転にわたって、一連のスペクトルが時間とともに得られてもよい。

【0027】

動作時には、コンピュータデバイスは、例えば光源の特定のフラッシュまたは検出器の時間枠について、光検出器52によって受け取られる光のスペクトルを記述する情報を運ぶ信号を受け取ることができる。このように、このスペクトルは研磨の間にその場で測定されるスペクトルである。

【0028】

いかなる特定の理論にも限定されることなく、基板10から反射される光のスペクトルは、研磨が進むにつれて最外層の厚さの変化に起因して変化し、それ故に一連の時間変化するスペクトルを生じさせる。その上、特定のスペクトルは、特定の厚さの積層によって提示される。

10

【0029】

コンピュータデバイスは、研磨ステップの終点を決定するために信号を処理することができる。特に、コンピュータデバイスは、測定スペクトルに基づいて、いつ終点に達したかを決定するロジックを実行することができる。

【0030】

要するに、コンピュータデバイスは、測定スペクトルを複数の基準スペクトルと比較することができる。比較の結果を使用していつ終点に達したかを決定する。

【0031】

20

本明細書で使用されるように、基準スペクトルは、基板の研磨より前に生成される所定のスペクトルである。基準スペクトルは、最外層の厚さなどの基板特性の値との、所定の、すなわち研磨動作よりも前に規定される関連を有することができる。基準スペクトルは、実験的に、例えば既知の層厚を有するテスト基板からのスペクトルを測定することによって生成できるか、または理論から生成できる。

【0032】

基準スペクトルは、目標スペクトルとすることができ、それは、終点プロセス補償目標スペクトルまたは非補償目標スペクトルとすることができる。非補償目標スペクトルは、最外層が目標厚さを有するとき基板によって提示されるスペクトルのことである。例として、目標厚さは、1から3マイクロメートルとすることができる。別法として、目標厚さは、例えば下位層が露出されるように対象の膜が取り除かれるとき、ゼロとすることができる。しかしながら、システムが目標厚さを表すスペクトルを受け取るのと研磨が停止する時間との間に時間のずれがあることもある（それは、複数のプラテン回転からのスペクトルを必要とする終点検出アルゴリズム、命令がコントローラから処理システムに伝送される時間、およびプラテンの回転を停止するのに必要な時間に起因する可能性もある）。従って、研磨終点は、目標厚さを達成するより前の時間に設定できる。終点プロセス補償目標スペクトルは、特定の終点アルゴリズムおよび研磨制御システムのもとで研磨終点のきっかけを与えるために使用されるとき、実質的に目標厚さを有する、例えば時間のずれの補償がなされなかった場合よりも目標厚さに著しく近い厚さの基板をもたらすスペクトルである。

30

40

【0033】

上で述べたように、最外層の特定の対象厚さについて、複数の基準スペクトルがある。異なる基板について下位層（複数可）の異なる厚さは、たとえ最外層が同じ厚さを有しても、異なるスペクトルをもたらす可能性がある。加えて、異なる集積化チップ製品のための基板は、層の異なるパターン化を有することになり、それはまた、たとえ最外層が同じ厚さを有しても、異なるスペクトルをもたらす可能性がある。このように、最外層の特定の厚さに対して複数のスペクトルがある可能性があり、その複数のスペクトルは、基板が異なる製品を提供することを目的としていることに起因して下位層（複数可）の異なる厚さまたは異なるパターンのために互いに異なるスペクトルを包含することができる。

50

## 【 0 0 3 4 】

基準スペクトルは研磨動作より前に収集され、各基準スペクトルのその関連する基板特性との関連は保存される。基準スペクトルは実験的に決定できる。

## 【 0 0 3 5 】

例えば、目標スペクトルを決定するために、製品基板と同じパターンを有する「設定」基板の特性は、計測ステーションで研磨前に測定できる。基板特性は最外層の厚さとすることができる。設定基板は次いで、スペクトルが収集されながら研磨される。設定基板は研磨システムから周期的に除去でき、その特性は計測ステーションで測定される。基板は、目標厚さが達せられるとき基板から反射される光のスペクトルを得ることができるように過剰研磨されてもよく、すなわち所望の厚さを越えて研磨されてもよい。

10

## 【 0 0 3 6 】

測定厚さおよび収集スペクトルは、基板が対象の厚さを有したとき基板によって提示されると決定される 1 つまたは複数のスペクトルを収集スペクトルの中から選択するために使用される。特に、目標厚さが達成されたときに提示される時間および対応するスペクトルを決定するために、測定された研磨前の膜厚さおよび研磨後の基板厚さを使用して、線形補間を行うことができる。目標厚さが達成されたときに提示されると決定されるスペクトルまたは複数スペクトルは、目標スペクトルまたは複数目標スペクトルであると指定される。

## 【 0 0 3 7 】

次に、これらのステップを、追加の基準スペクトルを生成するために、製品基板と同じパターンを有するが、異なる厚さの下位層（複数可）を有する 1 つまたは複数の追加の設定基板について繰り返すことができる。このように、結果として生じる基準スペクトルの集積は、同じ目標厚さについてはあるが、下位層（複数可）の異なる厚さのために互いに異なる目標スペクトルを包含する。

20

## 【 0 0 3 8 】

別法としてまたは加えて、次に、これらのステップを、追加の基準スペクトルを生成するために、製品基板と異なるパターンを有する 1 つまたは複数の追加の設定基板について繰り返すことができる。このように、結果として生じる基準スペクトルの集積は、同じ目標厚さについてはあるが、異なるパターンのために互いに異なる目標スペクトルを包含する。

30

## 【 0 0 3 9 】

オプションとして、収集されたスペクトルは、正確さおよび/または精密さを高めるために処理される。スペクトルは、例えばスペクトルを共通基準に正規化するために、スペクトルを平均化するために、および/またはスペクトルからのノイズをフィルターにかけられるために、処理できる。

## 【 0 0 4 0 】

加えて、基準スペクトルのいくつかまたはすべては、理論から、例えば基板層の光学モデルを使用して計算できる。

## 【 0 0 4 1 】

図 4 は、研磨ステップの終点を決定するためにスペクトルを基にした終点決定ロジックを使用するための方法 200 を示す。製品基板を、上述の研磨装置を使用して研磨される（ステップ 402）。プラテンの各回転で次のステップが行われる。

40

## 【 0 0 4 2 】

研磨されている基板表面から反射する光の少なくとも 1 つのスペクトルを測定する（ステップ 404）。オプションとして、複数のスペクトルを測定することができ、例えば、基板上の異なる半径で測定されるスペクトルは、プラテンの単一回転から、例えば点 301 ~ 311（図 3）で得ることができる。複数のスペクトルが測定される場合、スペクトルの 1 つまたは複数のサブセットが、終点検出アルゴリズムでの使用のために選択できる。例えば、基板の中心に近いサンプル位置で（例えば、図 3 で示される点 305、306、および 307 で）測定されるスペクトルが選択されることもあり得る。現在のプラテン

50

回転の間に測定されるスペクトルはオプションとして、正確さおよび/または精密さを高めるために処理される。

【0043】

選択された測定スペクトルの各々と基準スペクトルの各々との差を計算する(ステップ406)。基準スペクトルは目標スペクトルとすることができる。一実施形態では、差は、波長の範囲にわたる強度の差の合計である。すなわち、

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

10

式中、aおよびbは、それぞれスペクトルの波長の範囲の下限および上限であり、 $I_{current}()$ および $I_{reference}()$ は、それぞれ所与の波長に対する現在のスペクトルの強度および目標スペクトルの強度である。別法として、差は、平均二乗誤差として計算でき、すなわち、

$$Difference = \sum_{\lambda=a}^b (I_{current}(\lambda) - I_{reference}(\lambda))^2$$

である。

【0044】

20

現在のスペクトルの各々と基準スペクトルの各々との差を計算するための1つの方法は、現在のスペクトルの各々を選択することである。選択された現在の各スペクトルについて、差は、基準スペクトルの各々に対比して計算される。現在のスペクトルe、f、およびg、ならびに基準スペクトルE、F、およびGを所与として、例えば、差は、現在のスペクトルと基準スペクトルの次の組合せ、すなわちeとE、eとF、eとG、fとE、fとF、fとG、gとE、gとF、およびgとGの各々について計算されることになる。

【0045】

計算された差の最小を、差トレースに付加する(ステップ408)。差トレースは通常、プラテン1回転につき1回更新される。差トレースは一般に、計算された差の1つのプロットである(この場合現在のプラテン回転について計算された差の最小)。最小差の代用として、差のもう1つ、例えば差の中央値または最小差の次のものを、トレースに付加することができる。

30

【0046】

オプションとして、差トレースを処理することができ、例えば、先行する1つまたは複数の計算された差からしきい値を超えて逸脱する計算された差をフィルターで除去することによって、差トレースを滑らかにすることができる。

【0047】

差トレースがしきい値を下回るかどうかを決定する(ステップ410)。いったん差トレースがしきい値を下回ると、終点ロジックが開始され、終点条件、例えば差トレースの最低値を検出するために適用できる(ステップ412)。例えば、終点は差トレースが最低値の特定のしきい値を過ぎて上昇し始めるとき、または差トレースの勾配がゼロに近いしきい値を下回る場合にコールすることができ、または他の窓ロジックが適用できる。いったん終点ロジックが終点条件を検出すると(ステップ414)、研磨は停止される(ステップ416)。

40

【0048】

いくつかの実施形態では、いったん差トレースがしきい値を下回ると、最近接マッチを、例えば測定スペクトルからの最小差を提供した特定の基準スペクトルは次いで、終点決定プロセスの残りのための唯一の基準スペクトルとして使用される。これは、終点が、下位層が研磨されている基板と似ている基板を表す目標スペクトルに基づくことを保証する。

50

## 【 0 0 4 9 】

異なる厚さの下位層を有する基板を表す複数の基準スペクトルを使用することによって、終点検出システムの、下位層の変化に対する感受性が低下し、それ故終点システムの信頼性が改善しうる。同様に、異なるパターンを有する基板を表す複数の基準スペクトルを使用することによって、終点検出システムの、パターンの変化に対する感受性が低下し、それ故終点システムの信頼性が改善しうる。

## 【 0 0 5 0 】

差トレースが最低値のしきい範囲に達したと決定されない場合、研磨の継続が許可され、ステップ 4 0 4、4 0 6、4 0 8 は必要に応じて繰り返される。

## 【 0 0 5 1 】

図 5 は、時間の関数としての差トレースの例となるグラフであり、しきいを例示する。トレース 5 0 2 は、差トレースであり、すでにフィルターをかけられて滑らかにされていてよい。終点検出 5 0 8 は、滑らかにされた差トレース 5 0 2 が最低値 5 0 6 を上回るしきい値 5 0 4 に達するとき起動される。

## 【 0 0 5 2 】

図 6 は、研磨ステップの終点を決定する方法 6 0 0 を示す。研磨動作より前に、基準スペクトルが生成され、例えば、設定基板を研磨し、スペクトルを測定することなどによって実験的に収集されるか、または例えば基板層の光学モデルを使用して理論から計算される。スペクトルはライブラリーに保存される。しかしながら、目標厚さを表す目標スペクトルだけが使用される図 4 のプロセスとは異なり、ライブラリーの基準スペクトルは、外層に種々の異なる厚さを有する基板を表す。測定スペクトルは次いで、ライブラリーのスペクトルと比較され、ライブラリーのスペクトルの 1 つがマッチするものとして選択される。

## 【 0 0 5 3 】

スペクトルは、特定の下位層厚さを有する基板を表すスペクトルの集積のうちの各々が固有の指標値を有するように指標付けされる（異なる下位層厚さを有する基板を表すスペクトルが、同じ指標値と関連付けられてもよい）。指標付けは、研磨の間にスペクトルが測定された順序または測定されると予想される順序で指標値が並べられるように実施される。指標値は、研磨が進むにつれて単調に増加するように選択でき、例えば、指標値は、プラテン回転数に比例する、例えば線形に比例してもよい。このように、各指数は整数とすることができ、指数は、関連するスペクトルが現れることになる予想プラテン回転を表すことができる。ライブラリーは、研磨装置のコンピュータデバイスのメモリで実施できる。

## 【 0 0 5 4 】

基板のバッチのうちの 1 つの基板を研磨し（ステップ 6 0 2）、次のステップを、各プラテン回転について行う。1 つまたは複数のスペクトルを、現在のプラテン回転について現在のスペクトルを得るために測定する（ステップ 6 0 4）。ライブラリーに保存されたスペクトルのうち、現在のスペクトルに最も近いスペクトルを決定する（ステップ 6 0 6）。現在のスペクトルに最も近いライブラリースペクトルの指標をライブラリーから決定し（ステップ 6 0 8）、終点指標トレースに付加する（ステップ 6 1 0）。上で論じられたように、指標は、研磨動作より前に決定することができ、例えばスペクトルを指標に関係づけるデータベースとして後のアクセスのために保存できる。終点は、終点トレースが目標スペクトルの指標に達するときコールされる（ステップ 6 1 2）。

## 【 0 0 5 5 】

いくつかの実施形態では、得られた各スペクトルにマッチする指標は、時間またはプラテン回転に従ってプロットされる。線を、ロバスト画像照合 (Robust line fitting) を使用してプロットされた指数に適合する。線が目標指標と出会うところが、終点時間または回転を規定する。

## 【 0 0 5 6 】

上で論じられたように、異なる厚さの下位層を有する基板を表す複数の基準スペクトル

10

20

30

40

50

を使用することによって、終点検出システムの、下位層の変化に対する感受性が低下し、それ故終点システムの信頼性が改善しうる。

【0057】

終点プロセスの間に適用できる方法は、マッチするスペクトルを探索するライブラリーの部分を限定することである。ライブラリーは典型的には、基板を研磨しながら得られるよりも広い範囲のスペクトルを包含する。範囲が広いということは、スペクトルが、より厚い開始最外層から得られること、および過剰研磨後に得られることを意味する。基板研磨の間は、ライブラリー探索は、ライブラリースペクトルの所定の範囲に限定される。いくつかの実施形態では、研磨されている基板の現在の回転指標Nが決定される。Nは、ライブラリースペクトルのすべてを探索することによって決定できる。その後の回転の間 10  
に得られるスペクトルについては、ライブラリーは、Nの自由度の範囲内で探索される。すなわち、1回転の間に指数がNであると見いだされる場合、X回転後であるその後の回転の間に、自由度はYであるとして、探索されることになる範囲は、 $(N + X) - Y$ から $(N + X) + Y$ である。例えば、基板の第1の研磨回転で、マッチする指標が8であると見いだされ、自由度が5であると選択される場合、第2の回転の間に得られるスペクトルについては、指数 $9 \pm 5$ に対応するスペクトルだけが、マッチするものを探して検査される。

【0058】

本発明の実施形態およびこの明細書で述べられる機能的動作のすべては、デジタル電子回路で、またはコンピュータソフトウェア、ファームウェアで、またはこの明細書で開示 20  
される構造的手段およびその構造的等価物を含むハードウェアで、またはそれらの組合せで実施することができる。本発明の実施形態は、1つまたは複数のコンピュータプログラム製品として、すなわち、データ処理装置、例えばプログラマブルプロセッサ、コンピュータ、または複数のプロセッサまたはコンピュータによる実行のために、またはそれらの動作を制御するために、情報キャリアで、例えば機械可読記憶デバイスでまたは伝播信号で有形に具体化される1つまたは複数のコンピュータプログラムとして実施することができる。コンピュータプログラム（またプログラム、ソフトウェア、ソフトウェア応用、またはコードとしても既知の）は、コンパイラ型またはインタープリタ型言語を含む任意の形式のプログラミング言語で書くことができ、それは、スタンドアロン型プログラム 30  
としてまたはモジュールとしてコンポーネント、サブルーチン、またはコンピュータ環境での使用に適した他のユニットを包含する任意の形式で展開できる。コンピュータプログラムは、必ずしもファイルに対応しない。プログラムは、他のプログラムまたはデータを保持するファイルの一部分に、問題のプログラム専用の単一ファイルに、または複数の協調ファイル（例えば、1つまたは複数のモジュール、副プログラム、またはコードの部分を保存するファイル）に保存することができる。コンピュータプログラムは、1つのサイトで、または複数のサイトに分散されて、通信網によって相互接続される複数のコンピュータ上で、或いは1つのコンピュータ上で、実行されるように開発することができる。

【0059】

この明細書で述べられるプロセスおよびロジックの流れは、入力データで動作し、出力を生成することによって機能を行うために1つまたは複数のコンピュータプログラムを実行する1つまたは複数のプログラマブルプロセッサによって行うことができる。プロセスおよびロジックの流れはまた、特殊目的ロジック回路、例えばFPGA（フィールドプログラマブルゲートアレイ）またはASIC（特定用途向け集積回路）によって行うことができ、装置はまた、それらとして実施することもできる。 40

【0060】

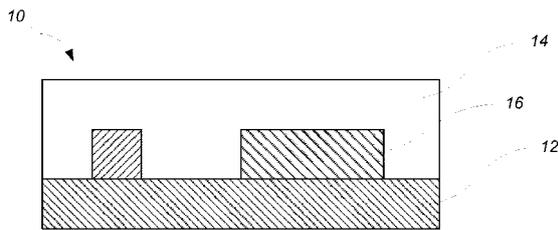
上述の研磨装置および方法は、種々の研磨システムで応用できる。研磨パッドか、キャリアヘッド、または両方が、研磨表面と基板との間の相対運動を提供するために動くことができる。例えば、プラテンは、回転するよりもむしろ軌道を回ってもよい。研磨パッドは、プラテンに固定される円形（またはある他の形状）パッドとすることができる。終点検出システムのいくつかの態様は、線形研磨システム、例えば研磨パッドが線形に動く連 50

続的なまたはリールツールールのベルトである場合に適用可能であってもよい。研磨層は、標準の（例えば、フィラーのあるまたはないポリウレタン）研磨材料、軟質材料、または固定研磨剤材料とすることができる。相対位置決め条件が使用され、研磨表面および基板が、垂直配向またはある他の配向で保持できると理解されるべきである。

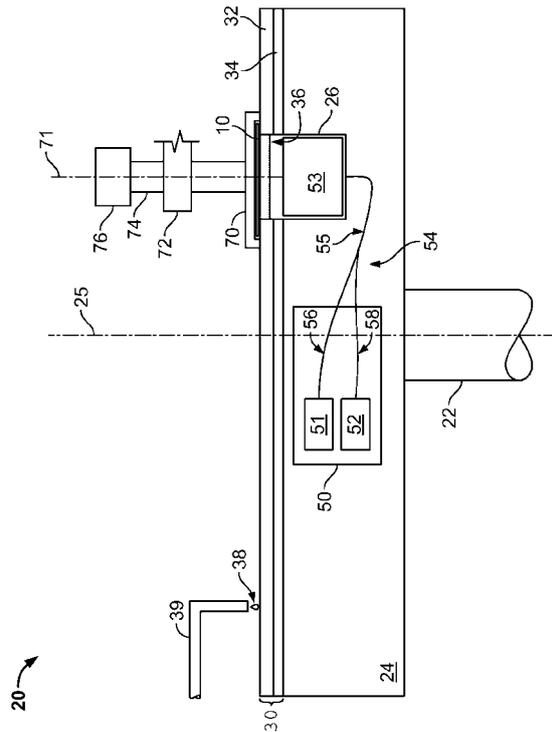
【 0 0 6 1 】

本発明の特定の実施形態について説明した。他の実施形態も特許請求の範囲に含まれる。例えば、特許請求の範囲に列挙されるアクションは、異なる順序で行うことができ、なお望ましい結果を達成することができる。

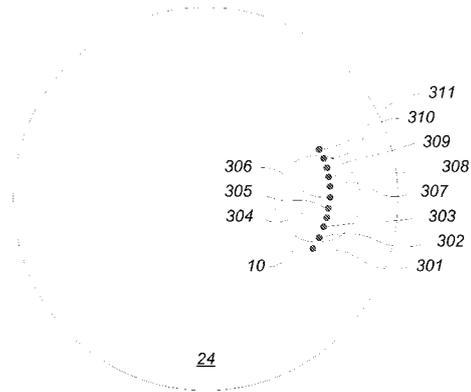
【 図 1 】



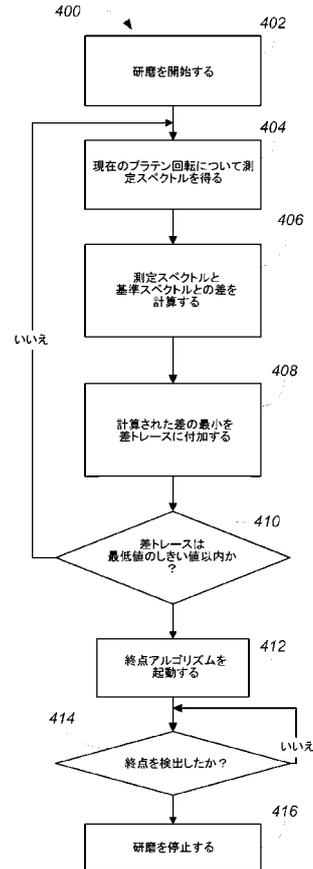
【 図 2 】



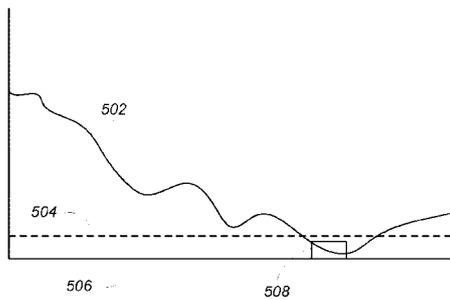
【図3】



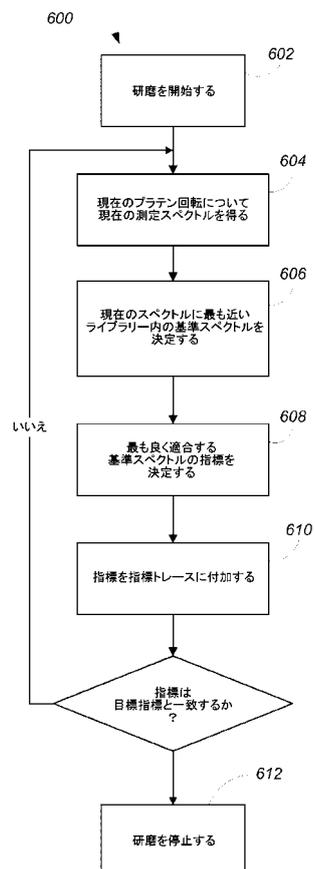
【図4】



【図5】



【図6】



## フロントページの続き

- (72)発明者 キアン, ジュン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 94087, サニーヴェール, ダブリン ウェイ 575
- (72)発明者 ダンダバニ, シヴァクマー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95136, サン ホセ, ホワイト チャペル アヴェニ  
ュー 494
- (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 94024, ロス アルトス, ベン ロー ドライヴ 1  
501
- (72)発明者 オスターヘルド, トーマス, エイチ.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 94040, マウンテン ヴュー, バーバラ アヴェニュー  
ー 1195
- (72)発明者 チュ, ジセ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95014, クパチーノ, テリー ウェイ 3番 102  
82

審査官 大光 太朗

- (56)参考文献 国際公開第2007/024807(WO, A2)  
特開2002-343842(JP, A)  
国際公開第2008/044786(WO, A1)  
特表2001-522139(JP, A)  
特開平11-325840(JP, A)  
特開2004-363201(JP, A)  
米国特許出願公開第2004/0016895(US, A1)  
特開2000-009437(JP, A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/304  
B24B 37/013