

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5583946号
(P5583946)

(45) 発行日 平成26年9月3日 (2014.9.3)

(24) 登録日 平成26年7月25日 (2014.7.25)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 L 21/304 (2006.01)	H O 1 L 21/304 6 2 2 S
B 2 4 B 37/013 (2012.01)	B 2 4 B 37/04 K
B 2 4 B 49/04 (2006.01)	B 2 4 B 49/04 Z
B 2 4 B 49/12 (2006.01)	B 2 4 B 49/12

請求項の数 15 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2009-232135 (P2009-232135)	(73) 特許権者	000000239
(22) 出願日	平成21年10月6日 (2009.10.6)		株式会社荏原製作所
(65) 公開番号	特開2011-82286 (P2011-82286A)		東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(43) 公開日	平成23年4月21日 (2011.4.21)	(73) 特許権者	000003078
審査請求日	平成24年9月27日 (2012.9.27)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号
		(74) 代理人	100091498
			弁理士 渡邊 勇
		(74) 代理人	100093942
			弁理士 小杉 良二
		(74) 代理人	100118500
			弁理士 廣澤 哲也
		(72) 発明者	大田 真朗
			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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 研磨終点検知方法および研磨終点検知装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の被研磨面を研磨面で研磨し、
前記研磨中に、前記基板の被研磨面に光を照射し、かつ前記基板から戻る反射光を受光し、
前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得し、
取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルをそれぞれ含む複数組の分光プロファイルを選択し、
各組の分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出することにより、前記複数組の分光プロファイルについての複数の差分を求め、
前記複数の差分から、前記反射強度の複数の変化量を求め、
前記複数の変化量の平均値または総和を算出し、前記平均値または総和に基づいて研磨終点を決定するか、または、
前記複数の変化量の少なくとも1つが所定のしきい値に達したことを検出することにより研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知方法。

【請求項 2】

基板の被研磨面を研磨面で研磨し、
前記研磨中に、前記基板の被研磨面に光を照射し、かつ前記基板から戻る反射光を受光し、
前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得し、

取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なくとも 1 組の分光プロファイルを選択し、

前記選択された分光プロファイルのそれぞれについて、所定の波長での反射強度を別の波長での反射強度で割ることによりスペクトル・インデックスを生成し、

前記選択された分光プロファイル間で、スペクトル・インデックスの差分を算出し、

前記差分から前記反射強度の変化量を求め、

前記変化量に基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知方法。

【請求項 3】

基板の被研磨面を研磨面で研磨し、

前記研磨中に、前記基板の被研磨面に光を照射し、かつ前記基板から戻る反射光を受光し、

前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得し、

取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なくとも 1 組の分光プロファイルを選択し、

前記選択された分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出し、

前記差分から前記反射強度の変化量を求め、

研磨時間とともに変動する前記反射強度の変化量を微分して微分値を求め、

前記反射強度の変化量と前記微分値とに基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知方法。

【請求項 4】

前記差分を二乗することにより前記変化量を求めることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の研磨終点検知方法。

【請求項 5】

前記所定の波長は複数の波長であり、

前記複数の波長での反射強度の差分の総和から、前記変化量を求めることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の研磨終点検知方法。

【請求項 6】

前記所定の時間間隔は、前記選択された分光プロファイル間の位相差が略半周期となるように設定されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の研磨終点検知方法。

【請求項 7】

前記所定の波長は、前記選択された分光プロファイル間の位相差が略半周期となる波長範囲から選択されることを特徴とする請求項 6 に記載の研磨終点検知方法。

【請求項 8】

基板の被研磨面に光を照射する投光部と、

前記基板から戻る反射光を受光する受光部と、

前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得する分光器と、

前記分光プロファイルから得られる反射強度の変動量を監視する監視部とを備え、

前記監視部は、

取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルをそれぞれ含む複数の分光プロファイルを選択し、

各組の分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出することにより、前記複数の分光プロファイルについての複数の差分を求め、

前記複数の差分から、前記反射強度の複数の変化量を求め、

前記複数の変化量の平均値または総和を算出し、前記平均値または総和に基づいて研磨終点を決定するか、または、

前記複数の変化量の少なくとも 1 つが所定のしきい値に達したことを検出することにより研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知装置。

【請求項 9】

基板の被研磨面に光を照射する投光部と、
前記基板から戻る反射光を受光する受光部と、
前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを示す分光器と、

前記分光プロファイルから得られる反射強度の変動量を監視する監視部とを備え、
前記監視部は、
取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なく
とも 1 組の分光プロファイルを選択し、
前記選択された分光プロファイルのそれぞれについて、前記所定の波長での反射強度
を別の波長での反射強度で割ることによりスペクトル・インデックスを生成し、
前記選択された分光プロファイル間で、スペクトル・インデックスの差分を算出し、
前記差分から前記反射強度の変化量を求め、
前記変化量に基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知装置。

10

【請求項 10】

基板の被研磨面に光を照射する投光部と、
前記基板から戻る反射光を受光する受光部と、
前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを示す分光器と、
前記分光プロファイルから得られる反射強度の変動量を監視する監視部とを備え、
前記監視部は、
取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なく
とも 1 組の分光プロファイルを選択し、
前記選択された分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出し

20

、
前記差分から前記反射強度の変化量を求め、
研磨時間とともに変動する前記反射強度の変化量を微分して微分値を求め、
前記反射強度の変化量と前記微分値とに基づいて研磨終点を決定することを特徴とす
る研磨終点検知装置。

【請求項 11】

前記監視部は、前記差分を二乗することにより前記変化量を求めることを特徴とする請
求項 8 乃至 10 のいずれか一項に記載の研磨終点検知装置。

30

【請求項 12】

前記所定の波長は複数の波長であり、
前記監視部は、前記複数の波長での反射強度の差分の総和から、前記変化量を求めるこ
とを特徴とする請求項 8 または 10 に記載の研磨終点検知装置。

【請求項 13】

前記所定の時間間隔は、前記選択された分光プロファイル間の位相差が略半周期となる
ように設定されることを特徴とする請求項 8 乃至 10 のいずれか一項に記載の研磨終点検
知装置。

【請求項 14】

前記所定の波長は、前記選択された分光プロファイル間の位相差が略半周期となる波長
範囲から選択されることを特徴とする請求項 13 に記載の研磨終点検知装置。

40

【請求項 15】

研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
膜を有する基板を前記研磨パッドに押し付けるトップリングと、
請求項 8 乃至 10 のいずれか一項に記載の研磨終点検知装置とを備えたことを特徴とす
る研磨装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、絶縁膜を有する基板の研磨終点を検出する方法および装置に関し、特に基板からの反射光に基づいて研磨終点を検知する方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造工程では、シリコンウェハ上に種々の材料が膜状に繰り返し形成され、積層構造を形成する。この積層構造を形成するためには、最上層の表面を平坦にする技術が重要となっている。このような平坦化の手段として、化学機械研磨（CMP）を行う研磨装置が用いられている。

【0003】

この種の研磨装置は、一般に、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、基板（膜が形成されたウェハ）を保持するトップリングと、研磨液を研磨パッド上に供給する研磨液供給機構とを備えている。基板を研磨するときは、研磨液供給機構から研磨液を研磨パッド上に供給しながら、トップリングにより基板を研磨パッドに押し付け、さらにトップリングと研磨テーブルとを相対移動させることにより、基板を研磨して基板上の膜を平坦にする。研磨装置は、通常、研磨終点検知装置を備えている。この研磨終点検知装置は、膜が所定の厚さにまで除去されたとき、または膜全体が除去されたときに研磨終点に達したと判断する。

【0004】

研磨終点検知装置の一つの例として、基板の表面に光を照射し、反射してくる光に含まれる情報に基づいて研磨終点を判断する、いわゆる光学式研磨終点検知装置が挙げられる。光学式研磨終点検知装置は、投光部、受光部、および分光器を一般に備えている。分光器は、基板からの反射光を波長に従って分解し、波長ごとの反射強度を測定する。この光学式研磨終点検知装置は、光透過性のある膜が形成された基板を研磨する場合にしばしば用いられている。例えば、特許文献1に示す方法では、基板から戻ってくる反射光の強度（反射強度）にノイズ成分を除去するための所定の処理が施されて特性値が生成され、この特性値の時間的変化の特徴点（極大点または極小点）から研磨終点が検知される。

【0005】

反射強度から生成される特性値は、図1に示すように、研磨時間とともに周期的に変化し、極大点と極小点が交互に現れる。これは、光同士の干渉による現象である。つまり、基板に照射された光は、媒質と膜との界面と、膜とこの膜の下地層との界面で反射し、これらの界面で反射した光が互いに干渉する。この光の干渉の仕方は、膜の厚さ（すなわち光路長）に応じて変化する。このため、基板から戻ってくる反射光の強度（すなわち反射強度）は、膜の厚さに従って周期的に変化する。なお、反射強度は、反射率として表すこともできる。

【0006】

上述した光学式研磨終点検知装置は、図1に示すように、研磨開始後に現れる特性値の変化の特徴点（極大点または極小点）の数をカウントし、特徴点の数が所定の値に達した時点を検知する。そして、この検知された時点から所定時間経過した時点で、研磨が停止される。

【0007】

特性値は、波長ごとの反射強度を基にして得られる指数（スペクトル・インデックス）である。具体的には、次の式（1）を用いて求められる。

$$\text{特性値 (Spectral Index)} = \text{ref}(\lambda_1) / (\text{ref}(\lambda_1) + \text{ref}(\lambda_2) + \dots + \text{ref}(\lambda_k)) \quad \dots (1)$$

ここで、 λ は光の波長を表し、 $\text{ref}(\lambda_k)$ は、波長 λ_k における反射強度を表す。なお、特性値の算出に使用される光の波長 λ の数は、好ましくは、2つまたは3つである（すなわち、 $k = 2$ または 3 ）。

【0008】

式（1）から分かるように、反射強度を反射強度で割ることによって、反射強度に含まれるノイズ成分が除去された特性値を得ることができる。なお、特性値ではなく、反射強

10

20

30

40

50

度（反射率）そのものを監視してもよい。この場合も、図1のグラフと同様に、反射強度は研磨時間に従って周期的に変化するので、反射強度の変化から研磨終点を検出することができる。

【0009】

ところで、上層膜を研磨して下層膜を露出させることを目的とする研磨では、研磨液を調整して、上層膜に対して下層膜の研磨レートを小さくすることが一般的に行われている。これは、下層膜の過剰研磨を防止し、研磨プロセスを安定させるためである。しかしながら、研磨レートが低くなると、図2に示すように、特性値（または反射強度）があまり変化しなくなる。その結果、周期的な変化が得にくく、また特性値の特徴点（極大点または極小点）が捉えにくくなり、正確な研磨終点検知が達成できなくなってしまう。また、特性値（または反射強度）の変化は、上層、下層両方の膜厚および膜の種類の影響を受けるため、基板ごとの初期膜厚のばらつきに起因して研磨終点検知に誤差が生じることがある。一般に、成膜時における基板間の膜厚のばらつきは処理ロット毎に $\pm 10\%$ 程度ある。そのため、基板ごとの下層膜厚のばらつきに起因して、反射強度の特徴点と下地膜の露出点との関係がずれて研磨終点検知に誤差が生じてしまう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2004-154928号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は、上述した従来の問題点に鑑みてなされたもので、研磨レートの変化（低下）を利用して正確な研磨終点を検知することができる研磨終点検知方法および研磨終点検知装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上述した目的を達成するために、本発明の一態様は、基板の被研磨面を研磨面で研磨し、前記研磨中に、前記基板の被研磨面に光を照射し、かつ前記基板から戻る反射光を受光し、前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得し、取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルをそれぞれ含む複数組の分光プロファイルを選択し、各組の分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出することにより、前記複数組の分光プロファイルについての複数の差分を求め、前記複数の差分から、前記反射強度の複数の変化量を求め、前記複数の変化量の平均値または総和を算出し、前記平均値または総和に基づいて研磨終点を決定するか、または、前記複数の変化量の少なくとも1つが所定のしきい値に達したことを検出することにより研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知方法である。

本発明の他の態様は、基板の被研磨面を研磨面で研磨し、前記研磨中に、前記基板の被研磨面に光を照射し、かつ前記基板から戻る反射光を受光し、前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得し、取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なくとも1組の分光プロファイルを選択し、前記選択された分光プロファイルのそれぞれについて、所定の波長での反射強度を別の波長での反射強度で割ることによりスペクトル・インデックスを生成し、前記選択された分光プロファイル間で、スペクトル・インデックスの差分を算出し、前記差分から前記反射強度の変化量を求め、前記変化量に基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知方法である。

本発明の他の態様は、基板の被研磨面を研磨面で研磨し、前記研磨中に、前記基板の被研磨面に光を照射し、かつ前記基板から戻る反射光を受光し、前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得し、取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なくとも1組の分光プロファイルを選

10

20

30

40

50

折し、前記選択された分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出し、前記差分から前記反射強度の変化量を求め、研磨時間とともに変動する前記反射強度の変化量を微分して微分値を求め、前記反射強度の変化量と前記微分値とに基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知方法である。

【0013】

本発明の好ましい態様は、前記差分を二乗することにより前記変化量を求めることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記所定の波長は複数の波長であり、前記複数の波長での反射強度の差分の総和から、前記変化量を求めることを特徴とする。

【0017】

本発明の好ましい態様は、前記所定の時間間隔は、前記選択された分光プロファイル間の位相差が略半周期となるように設定されることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記所定の波長は、前記選択された分光プロファイル間の位相差が略半周期となる波長範囲から選択されることを特徴とする。

【0018】

本発明の他の態様は、基板の被研磨面に光を照射する投光部と、前記基板から戻る反射光を受光する受光部と、前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得する分光器と、前記分光プロファイルから得られる反射強度の変動量を監視する監視部とを備え、前記監視部は、取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルをそれぞれ含む複数の分光プロファイルを選択し、各組の分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出することにより、前記複数の分光プロファイルについての複数の差分を求め、前記複数の差分から、前記反射強度の複数の変化量を求め、前記複数の変化量の平均値または総和を算出し、前記平均値または総和に基づいて研磨終点を決定するか、または、前記複数の変化量の少なくとも1つが所定のしきい値に達したことを検出することにより研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知装置である。

本発明の他の態様は、基板の被研磨面に光を照射する投光部と、前記基板から戻る反射光を受光する受光部と、前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得する分光器と、前記分光プロファイルから得られる反射強度の変動量を監視する監視部とを備え、前記監視部は、取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なくとも1組の分光プロファイルを選択し、前記選択された分光プロファイルのそれぞれについて、前記所定の波長での反射強度を別の波長での反射強度で割ることによりスペクトル・インデックスを生成し、前記選択された分光プロファイル間で、スペクトル・インデックスの差分を算出し、前記差分から前記反射強度の変化量を求め、前記変化量に基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知装置である。

本発明の他の態様は、基板の被研磨面に光を照射する投光部と、前記基板から戻る反射光を受光する受光部と、前記反射光の各波長での反射強度を示す分光プロファイルを所定の時間間隔で取得する分光器と、前記分光プロファイルから得られる反射強度の変動量を監視する監視部とを備え、前記監視部は、取得された複数の分光プロファイルの中から、最新の分光プロファイルを含む少なくとも1組の分光プロファイルを選択し、前記選択された分光プロファイル間で、所定の波長における反射強度の差分を算出し、前記差分から前記反射強度の変化量を求め、研磨時間とともに変動する前記反射強度の変化量を微分して微分値を求め、前記反射強度の変化量と前記微分値とに基づいて研磨終点を決定することを特徴とする研磨終点検知装置である。

【0019】

本発明の他の態様は、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、膜を有する基板を前記研磨パッドに押し付けるトップリングと、上記研磨終点検知装置とを備えたことを特徴とする研磨装置である。

【発明の効果】

【 0 0 2 0 】

反射強度の変化量の低下は、研磨レートの低下を意味する。さらに研磨レートの低下は、研磨により膜が除去されて、その下層が露出したと考えることができる。したがって、本発明によれば、反射強度の変化量を研磨中に監視することにより、研磨終点を決定することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 1 】

【図 1】研磨時間と共に特性値が変化する様子を示すグラフである。

【図 2】研磨レートが低いときの特性値を示すグラフである。

【図 3】図 3 (a) は、本発明の一実施形態に係る研磨終点検知方法を説明するための模式図であり、図 3 (b) は基板と研磨テーブルとの位置関係を示す平面図である。

10

【図 4】研磨テーブルが N - 1 回転目のときに取得された分光プロファイルと、研磨テーブルが N 回転目のときに取得された分光プロファイルを示すグラフである。

【図 5】研磨時間に従って反射強度の変化量が変動する様子を示すグラフである。

【図 6】複数の波長における反射強度の複数の差分を示すグラフである。

【図 7】2 つの分光プロファイルの時間間隔を決定するパラメータ t によって変化する反射強度の変化量を示すグラフである。

【図 8】図 8 (a) は位相が半周期だけずれた 2 つの分光プロファイルを示すグラフであり、図 8 (b) は研磨レートが低下したときの、図 8 (a) の分光プロファイルを示すグラフである。

20

【図 9】対比される 2 つの分光プロファイル間の位相差が略半周期となるようにパラメータ t および複数の波長が選択された場合の反射強度の変化量を示すグラフである。

【図 10】反射強度の変化量、一次微分値、および二次微分値が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。

【図 11】研磨装置を模式的に示す断面図である。

【図 12】図 11 に示す研磨装置の他の変形例を示す断面図である。

【図 13】S T I の一工程を示す断面図である。

【図 14】図 13 に示す基板を研磨したときの反射強度の変化量が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。

【図 15】ポリシリコン (Poly-Si) を除去するための C M P プロセスの対象となる基板の構造を示す断面図である。

30

【図 16】図 15 に示す基板を研磨したときの反射強度の変化量が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。

【図 17】バリア層を除去するための C M P プロセスの対象となる基板の構造を示す断面図である。

【図 18】図 17 に示す基板を研磨したときの反射強度の変化量が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 2 】

以下、本発明の実施形態について説明する。図 3 (a) は、本発明の一実施形態に係る研磨終点検知方法を説明するための模式図であり、図 3 (b) は基板と研磨テーブルとの位置関係を示す平面図である。図 3 (a) に示すように、研磨対象となる基板 W は、下地層 (例えば、シリコン層や S i N 膜) と、その上に形成された膜 (例えば、光透過性を有する S i O₂ などの絶縁膜) を有している。投光部 11 および受光部 12 は、基板 W の表面に対向して配置される。基板 W の研磨中は、図 3 (b) に示すように、研磨テーブル 20 および基板 W が回転し、研磨テーブル 20 上の研磨パッド (図示せず) と基板 W との相対移動により基板 W の表面が研磨される。

40

【 0 0 2 3 】

投光部 11 は、基板 W の表面に対してほぼ垂直に光を照射し、受光部 12 は基板 W から戻ってくる光を受光する。投光部 11 および受光部 12 は、研磨テーブル 20 が一回転す

50

るたびに基板Wを横切って移動する。このとき、投光部11は、基板Wの中心部を含む複数の測定点に光を投光し、受光部12は反射光を受光する。受光部12には分光器13が接続されており、分光器13は、反射光の強さ（すなわち反射強度または反射率）を波長ごとに測定する。より具体的には、分光器13は、反射光を波長に従って分解し、波長ごとの反射強度を表す分光プロファイル（分光波形）を生成する。分光器13には監視装置15が接続されており、監視装置15によって分光プロファイルが監視されている。

【0024】

この分光プロファイルは、研磨テーブル20が一回転するたびに取得される。通常、基板Wの研磨中は研磨テーブル20の回転速度は一定であるので、分光プロファイルは研磨テーブル20の回転速度によって決定される所定の時間間隔で取得される。なお、研磨テーブル20が所定回数（例えば、2回または3回）回転するたびに分光プロファイルを取得するようにしてもよい。

【0025】

図3(a)において、 n は膜の屈折率を表し、 n' は膜に接触している媒質の屈折率を表し、 n'' は下地層の屈折率を表す。膜の屈折率 n が媒質の屈折率 n' よりも大きく、下地層の屈折率 n'' が膜の屈折率 n よりも大きい場合（ $n' < n < n''$ ）は、媒質と膜との界面および膜と下地層との界面で反射する光の位相は、入射光に対してだけずれる。基板からの反射光は、媒質と膜との界面で反射した光と、膜と下地層との界面で反射した光とが干渉した光であるので、反射光の強さは、2つの光の位相差によって変化する。したがって、膜の厚さ X の変化（すなわち光路長の変化）に応じて、反射強度は周期的に変化する。

【0026】

図4は、研磨テーブルが $N-1$ 回転目のときに取得された分光プロファイルと、研磨テーブルが N 回転目のときに取得された分光プロファイルを示すグラフである。図4に示すグラフにおいて、横軸は波長を表し、縦軸は反射強度を示す。図4から分かるように、分光プロファイルは、反射光の波長に従った反射強度の分布である。研磨中に取得される分光プロファイルは、膜厚の減少に従って変化する。図4に示すように、研磨テーブル20が $N-1$ 回転目のときに取得された分光プロファイルと、研磨テーブル20が N 回転目のときに取得された分光プロファイルとは、全体として異なった形状を有している。これは、膜厚によって反射強度が変化していることを示している。

【0027】

上層の膜が研磨により除去されて、下層が露出すると、研磨レート（除去レートともいう）が極端に低下することがある。研磨レートが低下すると、分光プロファイルの形状変化が小さくなる。そこで、本実施形態では、監視装置15により、所定の時間間隔で取得された分光プロファイル同士を順次対比することにより、研磨レートの変化を監視する。具体的には、監視装置15は、研磨中に取得された複数の分光プロファイルから2つの分光プロファイルを選択し、図4に示すように、この2つの分光プロファイル間の、所定の波長1での反射強度の差分を算出する。さらに、監視装置15は、求められた差分を二乗し、分光プロファイルの形状変化を示す指標としての反射強度の変化量を求める。差分を二乗することにより、差分の大きさを強調することができるとともに、マイナスの符号を持たない変化量を得ることができる。

【0028】

選択される2つの分光プロファイルのうち一方は最新の分光プロファイルである。新たな分光プロファイルが取得されるたびに、比較すべき2つの分光プロファイルが特定され、予め設定された波長1での反射強度の差分が求められる。研磨中は、分光プロファイルの特定と反射強度の変化量の算出が繰り返される。対比される2つの分光プロファイルの間の時間間隔は、研磨を通じて一定に維持される。この時間間隔は、研磨テーブル20の回転回数に関連付けて決定することができる。すなわち、最新の分光プロファイルが研磨テーブル20の N 回転目のときに取得されたとすると、選択すべきもう一方の分光プロファイルは研磨テーブル20が $N-t$ 回転目のときに取得されたものである。このバラ

【 0 0 2 9 】

【 0 0 3 0 】

10

【 0 0 3 1 】

20

【 0 0 3 2 】

30

【 0 0 3 3 】

40

【 0 0 3 4 】

50

【 0 0 3 5 】

一方、上層膜が除去されて研磨レートが低下すると、これら 2 つの分光プロファイルの位相差はゼロに近づく。図 8 (b) は、研磨レートが低下したときの、図 8 (a) の分光プロファイルを示すグラフである。研磨レートが大きく低下すると、分光プロファイルの形状がほとんど変化しなくなる。このため、図 8 (b) に示すように、2 つの分光プロファイル間の位相差はゼロに近づき、反射強度の差分は小さくなる。

【 0 0 3 6 】

図 8 (a) および図 8 (b) に示すようなパラメータ t を選択した場合、研磨レートが低下する前は、反射強度の変化量はあまり変動せずに比較的大きな値で推移し、研磨レートが低下すると、反射強度の変化量は急激に低下する。したがって、研磨終点を決定するためのしきい値の設定がしやすくなり、結果として、研磨終点の誤検知が防げる。このような観点から、 N 回転目の分光プロファイルと、 $N - t$ 回転目の分光プロファイルとの位相が半周期（または半周期の整数倍）だけずれるようなパラメータ t を選択することが好ましい。

【 0 0 3 7 】

さらに、図 8 (a) から分かるように、2 つの分光プロファイル間の位相差は、波長によっても変わりうる。したがって、パラメータ t の上記選択に加えて、 N 回転目の分光プロファイルと、 $N - t$ 回転目の分光プロファイルとの位相が半周期（または半周期の整数倍）だけずれるような波長を選択することが好ましい。図 8 (a) に示す例では、波長の範囲が $400 \sim 500 \text{ nm}$ であるときに、分光プロファイルの位相差が約半周期となる。したがって、この波長範囲の中から波長を選択することが好ましい。

【 0 0 3 8 】

図 9 は、対比される 2 つの分光プロファイル間の位相差が略半周期となるようにパラメータ t および複数の波長が選択された場合の反射強度の変化量を示すグラフである。図 9 の縦軸は反射強度の変化量を示し、横軸は研磨時間を示す。図 9 は、パラメータ t を 25 としたときの例を示している。図 9 から分かるように、反射強度の変化量は、研磨レートが低下する前では、図 5 に示す例（パラメータ $t = 10$ ）に比べて変動が小さい。また、研磨レートが低下したときは、反射強度の変化量は急激に低下する。したがって、研磨終点の誤検知を確実に防止することができる。

【 0 0 3 9 】

上述の例では、1 組の分光プロファイル間での反射強度の差分を算出しているが、複数組の分光プロファイルから反射強度の差分を算出してもよい。複数組の分光プロファイルを用いる場合は、2 つ以上のパラメータ t が選択される。この場合も、各組の分光プロファイルは、最新の分光プロファイルを含む 2 つの分光プロファイルから構成される。例えば、3 組の分光プロファイルを選択する場合、最新の分光プロファイル（ N 回転目）と先に取得された分光プロファイル（ $N - 1$ 回転目）からなる第 1 の組と、最新の分光プロファイル（ N 回転目）と先に取得された他の分光プロファイル（ $N - 5$ 回転目）からなる第 2 の組と、最新の分光プロファイル（ N 回転目）と先に取得された更に他の分光プロファイル（ $N - 10$ 回転目）からなる第 3 の組を選択することができる。反射強度の差分は、各組について算出される。

【 0 0 4 0 】

上述の例と同様に、各組について算出された差分は二乗され、これにより反射強度の複数の変化量が求められる。上述した図 7 のグラフは、複数組の分光プロファイルから得られた複数の変化量を示している。このようにして得られた複数の変化量を個々に監視してもよく、または複数の変化量の総和または平均値を監視してもよい。複数の変化量を個々に監視する場合は、予め定められた個数の変化量がしきい値に達したときに研磨終点に到達したと判断することができる。この場合、しきい値は、各組について共通する 1 つのしきい値を設定してもよく、または各組について個別にしきい値を設定してもよい。複数の変化量の総和または平均値を監視する場合は、その総和または平均値が所定のしきい値に達したときに研磨終点に到達したと判断することができる。

【 0 0 4 1 】

また、複数組の分光プロファイルから得られた複数の変化量と、対応するパラメータ t によって決定される複数の時間間隔とから、複数の変化速度を求め、これら変化速度がゼロに近づいていく変化速度線から研磨終点を決定することも可能である。例えば、複数の変化速度のうち少なくとも 1 つが所定のしきい値に達した時点を研磨終点とすることができる。また、複数の変化速度の総和または平均値を監視することとしてもよい。

【 0 0 4 2 】

反射強度は、次の式で定義されるスペクトル・インデックス (S I) として表すこともできる。

【 数 1 】

10

$$SI = \sum_{\lambda=p}^q [ref(\lambda)/(ref(\lambda)+ref(\lambda+C))] \cdot \dots \quad (2)$$

ここで、 $ref(\quad)$ は、分光プロファイルから求められた、波長 λ での反射強度を表し、 C は定数であり、 p は予め定めた波長範囲の下限であり、 q は前記波長範囲の上限から定数 C を引いた値である。

例えば、 C を 100 とし、波長範囲を 400 ~ 800 とした場合、上記式 (2) は次のようになる。

【 数 2 】

20

$$SI = \sum_{\lambda=400}^{700} [ref(\lambda)/(ref(\lambda)+ref(\lambda+100))] \cdot \dots \quad (3)$$

【 0 0 4 3 】

式 (2) および式 (3) から分かるように、スペクトル・インデックス S I は、複数の波長での反射強度を用いて求められる。ノイズの少ない安定したスペクトル・インデックスを得るためには、100 個以上の波長を選択することが好ましく、さらに好ましくは 300 個以上の波長を選択する。例えば、上述した分光器 13 (図 3 (a) 参照) が測定可能な波長範囲が 400 ~ 800 nm である場合、その波長範囲全体に亘って得られる反射強度を用いてスペクトル・インデックスを算出することが好ましい。

【 0 0 4 4 】

30

ここで、パラメータ $t = 6 \sim 10$ とし、複数組の分光プロファイルを用いる場合、反射強度の変化量は次のようになる。

【 数 3 】

$$\sum_{t=6}^{10} [SI(N) - SI(N-t)]^2 \quad \dots \quad (4)$$

ただし、 $SI(N)$ は、研磨テーブルが N 回転目のときの分光プロファイルから求められたスペクトル・インデックスを表す。

【 0 0 4 5 】

スペクトル・インデックス (S I) は、式 (3) から分かるように、ある波長での反射強度を他の波長での反射強度で割ることにより得られる。このように反射強度を反射強度で割り算することにより、反射強度の変化量の変動が大きく現われ、さらに反射強度に含まれるノイズ成分が低減される。その結果、反射強度の変化量が描く波形が強調されるとともに安定し、研磨終点の検出精度が向上する。

【 0 0 4 6 】

反射強度の変化量を微分して一次微分値を求め、この一次微分値が所定のしきい値に達したか否かに基づいて研磨終点を決定してもよい。さらに、反射強度の変化量の二次微分値を求め、この二次微分値が所定のしきい値に達したか否かに基づいて研磨終点を決定してもよい。図 10 は、反射強度の変化量、一次微分値、および二次微分値が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。このグラフから分かるように、反射強度の変化量

50

、一次微分値、および二次微分値が大きく変動する時点は概ね一致する。したがって、反射強度の変化量と、一次微分値および/または二次微分値を監視し、そのいずれもが各しきい値に達した時点を検出することにより研磨終点を決定してもよい。

【0047】

従来の研磨終点検知の手法として、リファレンス基板のスペクトルデータを基準データとして予め取得しておいて、製品基板のスペクトルデータと基準データとを比較し、研磨終点を決定する方法がある。しかしながら、この方法では、測定位置の誤差による膜厚の差異や配線パターンの密度の差異に起因して、基板ごとにスペクトルデータが異なることがあり、正確な研磨終点検知ができない場合がある。本発明によれば、製品基板自身のスペクトルデータ（すなわち分光プロファイル）を基準データとして用いるので、研磨終点の検知精度が向上する。

10

【0048】

なお、上述した研磨終点検知方法において、反射強度に代えて、相対反射率を用いることができる。この相対反射率は、光の基準強度（基準反射強度 - 背景強度）に対する反射光の強度（測定された反射強度 - 背景強度）の比である。相対反射率は、研磨対象基板の研磨中の各波長での反射強度、及びある研磨条件の下で取得された各波長での基準反射強度のそれぞれから、反射対象物がない状態で測定された背景強度を減算し、得られた2つの反射強度のうち前者を後者で除算することで求められる。具体的には、相対反射率は次の式から求められる。

$$\text{相対反射率 } R(\lambda) = \{E(\lambda) - D(\lambda)\} / \{B(\lambda) - D(\lambda)\} \cdots (5)$$

20

ここで、 λ は波長であり、 $E(\lambda)$ は研磨対象となる基板の反射強度であり、 $B(\lambda)$ は基準反射強度であり、 $D(\lambda)$ は基板が存在しない状態で取得された背景強度（ダークレベル）である。基準反射強度 $B(\lambda)$ としては、例えば、研磨パッド上に純水を供給しながらシリコンウェハを水研磨しているときに、このシリコンウェハからの反射光の強度を用いることができる。この場合において、シリコンウェハに代えて、屈折率（ n ）及び吸収係数が安定した膜が形成されたウェハを用いてもよい。

【0049】

次に、研磨終点検知装置を組み込んだ研磨装置について説明する。図11は、研磨装置を模式的に示す断面図である。図11に示すように、研磨装置は、研磨パッド22を支持する研磨テーブル20と、基板Wを保持して研磨パッド22に押圧するトップリング24と、研磨パッド22に研磨液（スラリー）を供給する研磨液供給ノズル25とを備えている。研磨テーブル20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、軸心周りに回転可能になっている。研磨パッド22は、研磨テーブル20の上面に固定されている。

30

【0050】

研磨パッド22の上面22aは、基板Wを研磨する研磨面を構成している。トップリング24は、トップリングシャフト28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24は昇降可能かつトップリングシャフト28周りに回転可能となっている。このトップリング24の下面には、基板Wが真空吸着等によって保持される。

40

【0051】

トップリング24の下面に保持された基板Wはトップリング24によって回転させられつつ、回転している研磨テーブル20上の研磨パッド22にトップリング24によって押圧される。このとき、研磨液供給ノズル25から研磨パッド22の研磨面22aに研磨液が供給され、基板Wの表面と研磨パッド22との間に研磨液が存在した状態で基板Wの表面が研磨される。本実施形態においては、基板Wの表面と研磨パッド22とを摺接させる相対移動機構は、研磨テーブル20およびトップリング24によって構成される。

【0052】

研磨テーブル20には、その上面で開口する孔30が形成されている。また、研磨パッド22には、この孔30に対応する位置に通孔31が形成されており、孔30と通孔31

50

とは連通している。通孔 3 1 は、研磨面 2 2 a で開口しており、通孔 3 1 の径は約 3 ~ 6 mm である。孔 3 0 は液体供給路 3 3 およびロータリージョイント 3 2 を介して液体供給源 3 5 に連結されている。研磨中は、液体供給源 3 5 からは、透明な液体として水（好ましくは純水）が孔 3 0 に供給され、基板 W の下面と通孔 3 1 とによって形成される空間を満たし、液体排出路 3 4 を通じて排出される。研磨液は水と共に排出され、これにより光の光路が確保される。液体供給路 3 3 には、研磨テーブル 2 0 の回転に連動して作動するバルブ（図示せず）が設けられている。このバルブは、通孔 3 1 の上に基板 W が位置しないときは水の流れを止める、または水の流量を少なくするように動作する。

【 0 0 5 3 】

研磨装置は、上述した方法に従って研磨終点を検出する研磨終点検知装置を有している。この研磨終点検知装置は、光を基板 W の被研磨面に照射する投光部 1 1 と、基板 W から戻ってくる光を受光する受光部としての光ファイバー 1 2 と、光ファイバー 1 2 によって受光された光を波長に従って分解して分光プロファイルを取得する分光器 1 3 と、分光器 1 3 によって得られた分光プロファイルから反射強度の変化量を求め、この変化量を監視する監視装置 1 5 とを備えている。この監視装置 1 5 は、上述したように、反射強度の変化量に基づいて研磨終点を検知する。

【 0 0 5 4 】

投光部 1 1 は、光源 4 0 と、光源 4 0 に接続された光ファイバー 4 1 とを備えている。光ファイバー 4 1 は、光源 4 0 の光を基板 W の表面まで導く光伝送部である。光ファイバー 4 1 は、光源 4 0 から孔 3 0 および通孔 3 1 を通って基板 W の被研磨面の近傍位置まで延びている。光ファイバー 4 1 および光ファイバー 1 2 の各先端は、トップリング 2 4 に保持された基板 W の中心に対向して配置され、研磨テーブル 2 0 が回転するたびに基板 W の中心を含む領域に光が照射されるようになっている。なお、研磨パッド 2 2 の交換作業が容易に行えるように、光ファイバー 4 1 の先端が研磨テーブル 2 0 の上面より突き出ず、孔 3 0 に納まる位置に、光ファイバ 4 1 を設置してもよい。

【 0 0 5 5 】

光源 4 0 としては、発光ダイオード（LED）、ハロゲンランプ、キセノンランプなどを用いることができる。光ファイバー 4 1 と光ファイバー 1 2 は互いに並列に配置されている。光ファイバー 4 1 および光ファイバー 1 2 の各先端は、基板 W の表面に対して垂直に配置されており、光ファイバー 4 1 は基板 W の表面に垂直に光を照射するようになっている。

【 0 0 5 6 】

基板 W の研磨中は、投光部 1 1 から光が基板 W に照射され、受光部としての光ファイバー 1 2 によって基板 W からの反射光が受光される。光が照射される間、孔 3 0 には水が供給され、これにより、光ファイバー 4 1 および光ファイバー 1 2 の各先端と、基板 W の表面との間の空間は水で満たされる。分光器 1 3 は、波長ごとに反射光の強さを測定し、分光プロファイルを生成する。監視装置 1 5 は、分光プロファイルから算出された反射強度の変化量を監視し、そして、変化量が所定のしきい値に達した時点を検出することにより、研磨終点を決定する。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 は、図 1 1 に示す研磨装置の他の変形例を示す断面図である。図 1 2 に示す例では、液体供給路、液体排出路、液体供給源は設けられていない。これに代えて、研磨パッド 2 2 には透明窓 5 0 が形成されている。投光部 1 1 の光ファイバー 4 1 は、この透明窓 5 0 を通じて研磨パッド 2 2 上の基板 W の表面に光を照射し、受光部としての光ファイバー 1 2 は、透明窓 5 0 を通じて基板 W からの反射光を受光する。その他の構成は、図 1 1 に示す研磨装置と同様である。

【 0 0 5 8 】

本発明は、STI（Shallow Trench Isolation）プロセス、ポリシリコン（Poly-Si）除去プロセス、バリア層除去プロセスなどに適用することができる。図 1 3 は、STI の一工程を示す断面図であり、シリコンウェハ 1 0 0 に形成されたトレンチに絶縁膜であ

10

20

30

40

50

る SiO_2 膜102が埋め込まれた状態を示している。図13に示すように、シリコンウェハ100の表面と SiO_2 膜102の間にはパッド酸化膜(Pad Oxide)104が形成され、トレンチが形成されていないパッド酸化膜104の上には SiN 膜103が形成されている。

【0059】

SiO_2 膜102は、その下層膜である SiN 膜103が露出するまで、CMPにより研磨される。具体的には、研磨の初期段階では、 SiO_2 膜102の表面上の段差が除去され(除去点を符号Aで示す)、研磨の最終段階では、 SiN 膜103上の SiO_2 膜102が除去される(除去点を符号Bで示す)。図14は、図13に示す基板を研磨したときの反射強度の変化量が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。この例では、パラメータ t は10に設定されている。図14のグラフから分かるように、 SiO_2 膜102の表面上の段差が除去されたとき(符号Aで示す)、および SiN 膜103上の SiO_2 膜102が除去されたとき(符号Bで示す)には、反射強度の変化量(すなわち研磨レート)が低下している。したがって、上述した本実施形態に係る研磨終点検知方法によれば、 SiN 膜103が露出した時点、すなわち研磨終点の検出が可能である。

10

【0060】

図15は、ポリシリコン(Poly-Si)を除去するためのCMPプロセスの対象となる基板の構造を示す断面図である。より具体的には、図15は、ディープトレンチキャパシタの形成工程を示す。図15に示すように、ディープトレンチが形成されたシリコンウェハ100の表面には SiO_2 膜102が形成され、さらに SiO_2 膜102の上にはポリシリコン膜105が形成されている。ポリシリコン膜105は、その下層の SiO_2 膜102が露出するまでCMPにより研磨され、これによりポリシリコンからなるキャパシタ106がディープトレンチ内に形成される。図15では、ポリシリコン膜105の除去点は符号Cで示されている。

20

【0061】

図16は、図15に示す基板を研磨したときの反射強度の変化量が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。この例においても、パラメータ t は10に設定されている。図16のグラフから分かるように、 SiO_2 膜102上のポリシリコン膜105が除去されたとき(符号Cで示す)に、反射強度の変化量(すなわち研磨レート)が低下している。したがって、上述した本実施形態に係る研磨終点検知方法によれば、 SiO_2 膜102が露出した時点、すなわち研磨終点の検出が可能である。

30

【0062】

図17は、バリア層を除去するためのCMPプロセスの対象となる基板の構造を示す断面図である。図17に示すように、Low-k膜(層間絶縁層)120の表面には SiO_2 膜(ハードマスク膜)121が形成されており、 SiO_2 膜121の表面およびLow-k膜120に形成された配線溝の表面には、Ta/TaN膜(バリア層)122が形成されている。さらにTa/TaN膜122の表面には金属配線を構成するCu膜124が形成されている。

【0063】

CMPプロセスは、主として2段階に分けられる。第1の研磨段階はCu膜124を除去する工程であり、Ta/TaN膜122が露出するまで行われる。この第1の研磨段階では、研磨終点検知は一般に渦電流センサを用いて行われる。第2の研磨段階は、Ta/TaN膜122および SiO_2 膜121を除去してLow-k膜120を露出させる工程である。この第2の研磨段階では、上述した本実施形態に係る研磨終点検知方法が用いられる。

40

【0064】

図18は、図17に示す基板を研磨したときの反射強度の変化量が研磨時間に従って変動する様子を示すグラフである。図18に示すグラフでは、Ta/TaN膜122、 SiO_2 膜121、およびLow-k膜120が研磨されているときの反射強度の変化量を示している。この例においても、パラメータ t は10に設定されている。図18のグラフが

50

ら分かるように、ハードマスク膜である SiO_2 膜 121 が除去されて Low - k 膜 120 が露出すると、反射強度の変化量（すなわち研磨レート）が低下する。したがって、上述した本実施形態に係る研磨終点検知方法によれば、Low - k 膜 120 が露出した時点、すなわち研磨終点の検出が可能である。

【0065】

このように、本発明は、上層膜の研磨速度と下層膜の研磨速度とに差がある膜の組み合わせに適用することができる。つまり、上層膜の研磨速度が下層膜の研磨速度よりも大きい場合、および上層膜の研磨速度が下層膜の研磨速度よりも小さい場合のいずれにおいても、研磨終点を検出することが可能である。

【0066】

上述した実施形態は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が本発明を実施できることを目的として記載されたものである。上記実施形態の種々の変形例は、当業者であれば当然になしうることであり、本発明の技術的思想は他の実施形態にも適用しうることである。したがって、本発明は、記載された実施形態に限定されることはなく、特許請求の範囲によって定義される技術的思想に従った最も広い範囲とすべきである。

【符号の説明】

【0067】

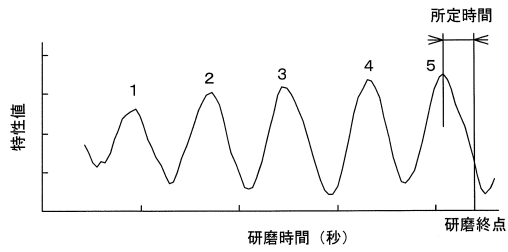
11	投光部
12	受光部
13	分光器
15	監視装置
20	研磨テーブル
22	研磨パッド
24	トップリング
25	研磨液供給ノズル
28	トップリングシャフト
30	孔
31	通孔
32	ロータリージョイント
33	液体供給路
34	液体排出路
35	液体供給源
40	光源
41	光ファイバー
50	透明窓

10

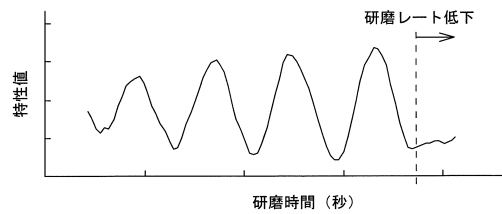
20

30

【図 1】

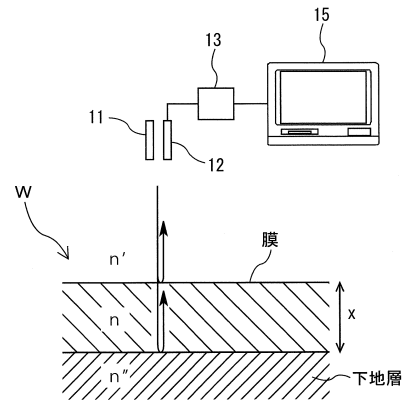


【図 2】

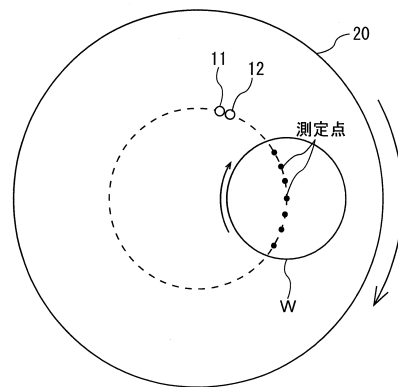


【図 3】

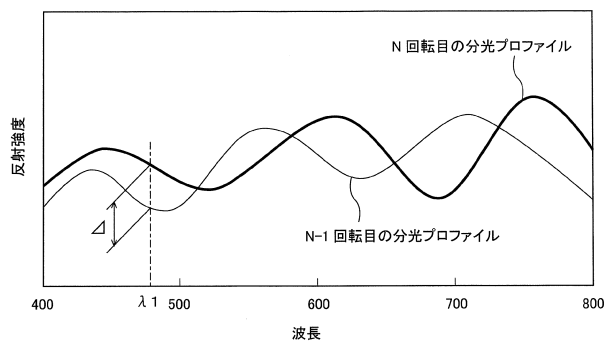
(a)



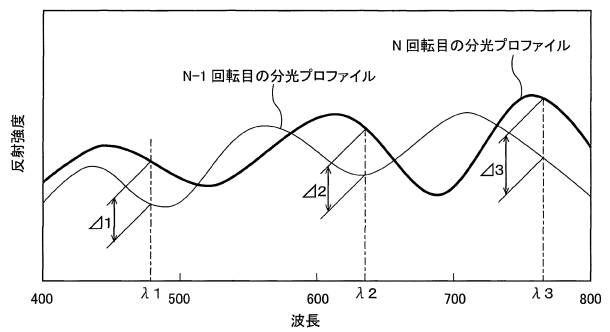
(b)



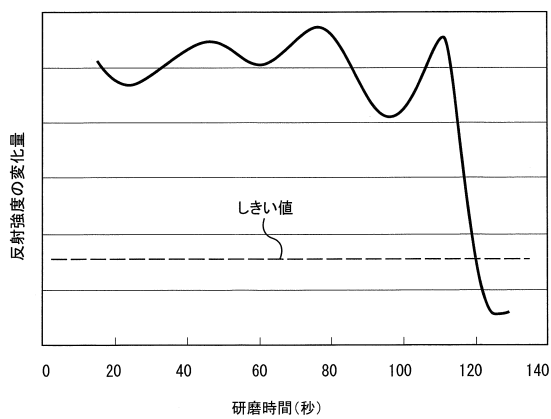
【図 4】



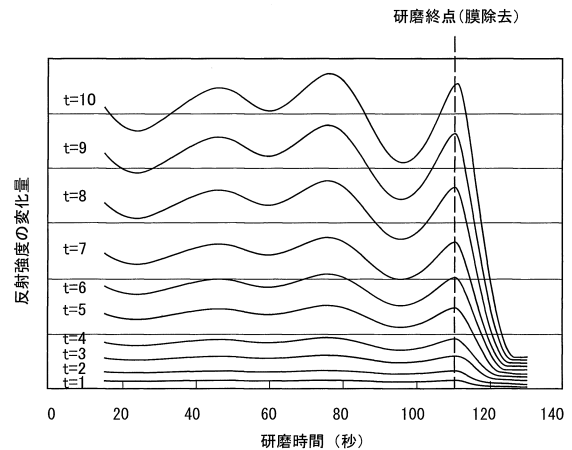
【図 6】



【図 5】

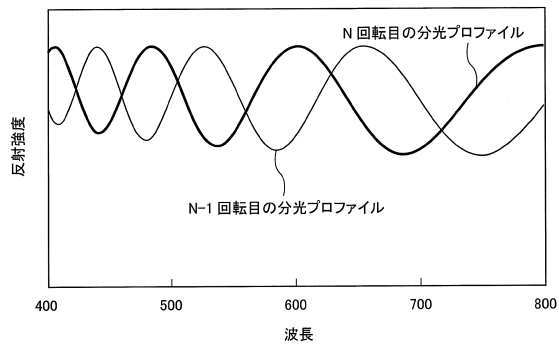


【図 7】

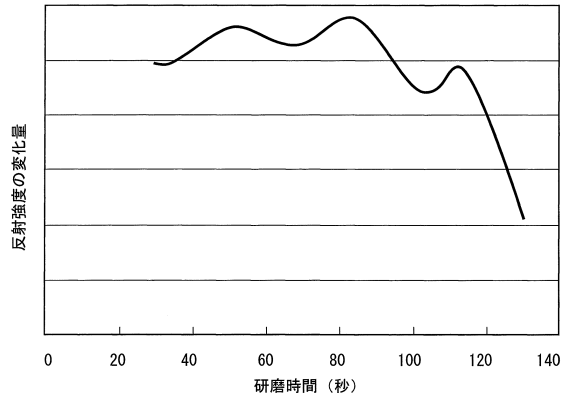


【図 8】

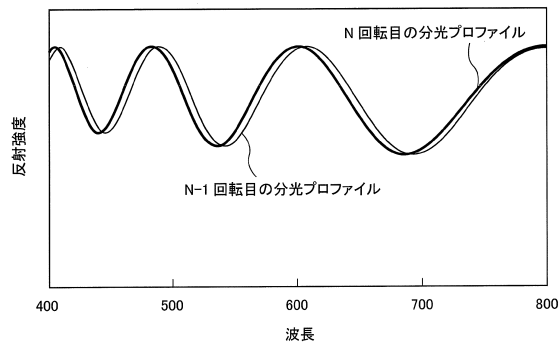
(a)



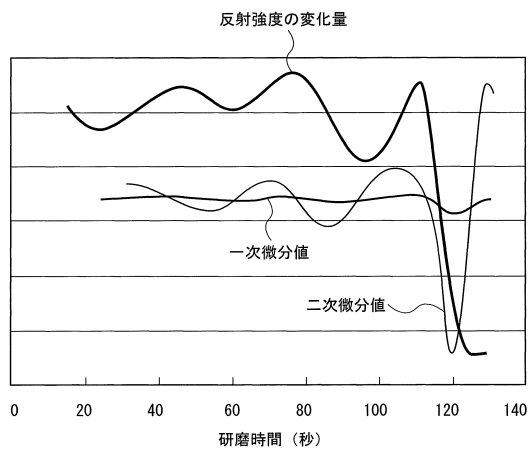
【図 9】



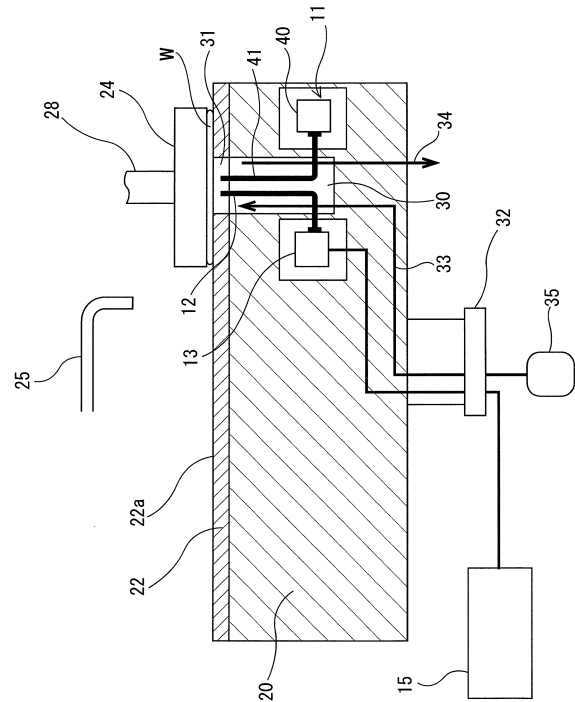
(b)



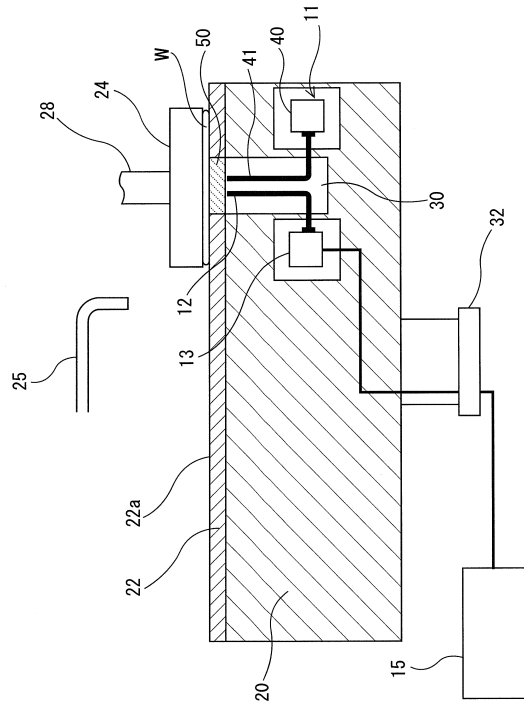
【図 10】



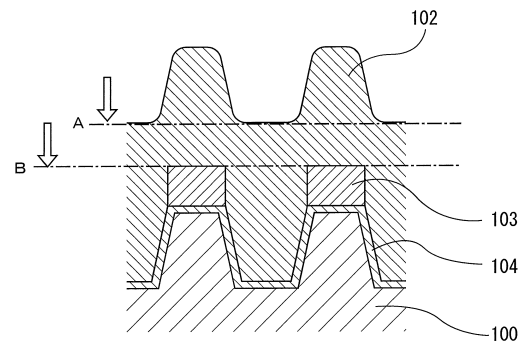
【図 11】



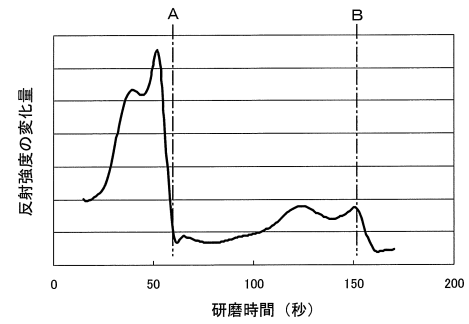
【図 1 2】



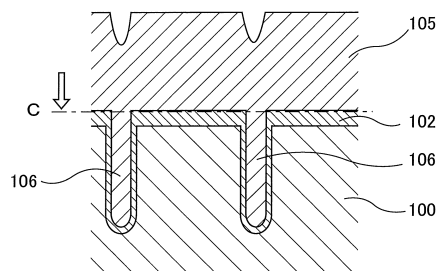
【図 1 3】



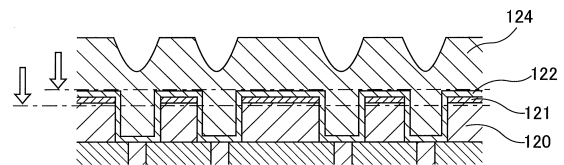
【図 1 4】



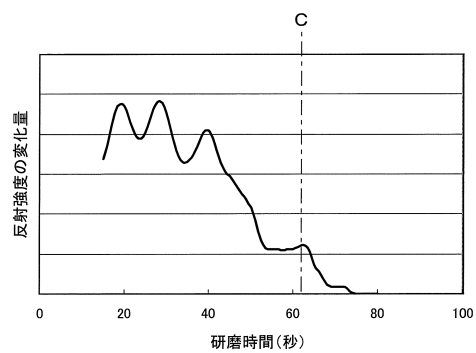
【図 1 5】



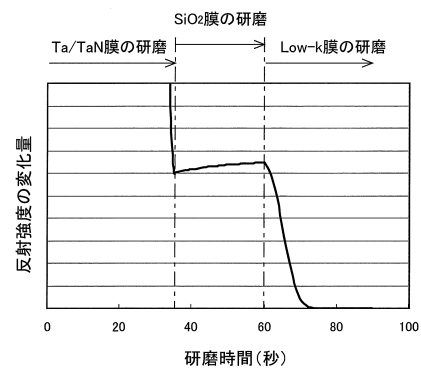
【図 1 7】



【図 1 6】



【図 1 8】



フロントページの続き

(72)発明者 重田 厚
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 岩瀬 昌治

(56)参考文献 特開2005-244047(JP,A)
特開2007-059597(JP,A)
特開2004-165473(JP,A)
国際公開第2008/044786(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/304
B24B 37/013
B24B 49/04
B24B 49/12