

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-256257

(P2007-256257A)

(43) 公開日 平成19年10月4日(2007.10.4)

(51) Int. Cl.

G 0 1 B 11/24 (2006.01)

F I

G 0 1 B 11/24

K

テーマコード (参考)

2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2006-309529 (P2006-309529)	(71) 出願人	000001199
(22) 出願日	平成18年11月15日 (2006.11.15)		株式会社神戸製鋼所
(31) 優先権主張番号	特願2006-46997 (P2006-46997)		兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
(32) 優先日	平成18年2月23日 (2006.2.23)	(74) 代理人	100084135
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 本庄 武男
		(72) 発明者	森本 勉
			兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
			株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
		(72) 発明者	高橋 英二
			兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
			株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
		(72) 発明者	甘中 将人
			兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
			株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
			最終頁に続く

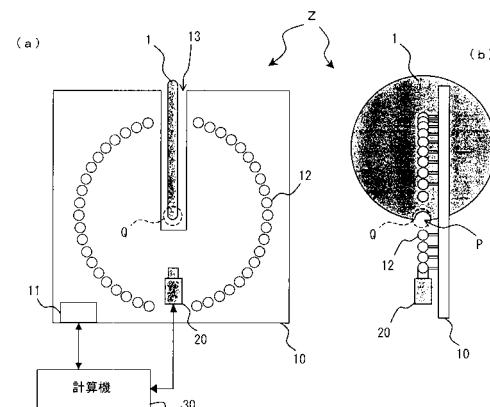
(54) 【発明の名称】 形状測定装置、形状測定方法

(57) 【要約】

【課題】半導体ウェーハなどの薄片試料のエッジプロファイル（端面の厚み方向断面の形状）の測定に適した形状測定装置及びその方法を提供すること。

【解決手段】LED駆動回路11により、1つの平面内の複数の位置各々に配置された複数のLED12を順次切り替えて点滅させることにより、ウェーハ1の測定部位Pに対し、順次異なる照射角度で光を照射し、その照射ごとに、計算機30により、測定部位Pからの反射光の輝度分布を表す画像データを、カメラ20を通じて取得し、さらに、計算機30により、各LED12に対応した画像データ（反射光の輝度分布）と光の照射角度 ϕ とに基づいて、反射光の輝度がピークとなるときの光の照射角度を推定することにより、測定部位Pの表面角度の分布及びエッジプロファイルを演算する。また、粗面の測定部位Pの形状を光切断法に基づき測定するため、測定部位Pにシート光を照射する光源をさらに備えてもよい。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

薄片試料の端面の形状を測定する形状測定装置であって、
一の平面内の複数の位置各々で光源を点灯させることにより、前記薄片試料の端面である測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する第 1 の光照射手段と、
所定の位置で前記第 1 の光照射手段の光照射による前記測定部位からの略正反射方向への反射光の一次元若しくは二次元の輝度分布を検出する第 1 の光検出手段と、
前記第 1 の光照射手段により順次異なる照射角度で光が照射されるごとに前記測定部位からの反射光の輝度分布を前記第 1 の光検出手段を通じて取得する反射光輝度取得手段と、
前記反射光輝度取得手段により取得された前記反射光の輝度分布及び前記第 1 の光照射手段により照射された光の照射角度に基づいて、前記測定部位の表面角度の分布を演算する表面角度分布演算手段と、
を具備してなることを特徴とする形状測定装置。

10

【請求項 2】

前記表面角度分布演算手段が、前記第 1 の光検出手段の光検出範囲における複数の演算対象位置各々について、前記光の照射角度と前記反射光の輝度との対応関係に基づいて前記反射光の輝度がピークとなる時の前記光の照射角度を推定する演算を行うことにより、前記演算対象位置各々の表面角度を算出してなる請求項 1 に記載の形状測定装置。

【請求項 3】

前記第 1 の光照射手段が、所定の光源を前記一の平面内の複数の位置各々に順次移動させて点灯させることにより、前記測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する移動型光照射手段である請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の形状測定装置。

20

【請求項 4】

前記第 1 の光照射手段が、前記一の平面内の複数の位置各々に配置された複数の光源を順次切り替えて点灯させることにより、前記測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する切替型光照射手段である請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の形状測定装置。

【請求項 5】

前記切替型光照射手段における複数の光源が、前記測定部位の配置位置を中心とする円弧上に配置されてなる請求項 4 に記載の形状測定装置。

30

【請求項 6】

前記測定部位に対して各々異なる方向に配置された複数の前記第 1 の光検出手段を具備し、

前記表面角度分布演算手段が、複数の前記第 1 の光検出手段各々を通じて得られた前記反射光の輝度分布ごとに、該反射光の輝度分布及び前記光の照射角度に基づいて前記測定部位の一部の領域の表面角度の分布を演算するものであり、

前記表面角度分布演算手段による前記一部の領域の表面角度の分布の演算結果又は該演算結果に基づく前記測定部位の表面形状各々をつなぎ合わせることにより、前記測定部位全体の表面角度の分布又は表面形状を演算するつなぎ合わせ演算手段をさらに具備してなる請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の形状測定装置。

40

【請求項 7】

2 つの前記第 1 の光検出手段が前記測定部位を基点として約 90° をなす方向に配置されてなる請求項 6 に記載の形状測定装置。

【請求項 8】

前記切替型光照射手段が、複数の光源を順次切り替えて点灯させる過程において、複数の前記第 1 の光検出手段各々に対応する複数の光源を同時に点灯させてなる請求項 6 又は 7 のいずれかに記載の形状測定装置。

【請求項 9】

前記測定部位に対してシート光を照射する第 2 の光照射手段と、
前記第 2 の光照射手段の光照射による前記測定部位からの正反射方向以外の方向への反

50

射光の二次元の輝度分布を検出する第 2 の光検出手段と、

前記第 2 の光検出手段の検出結果に基づく光切断法の演算により前記測定部位の表面形状を算出する光切断法形状演算手段と、

を具備してなる請求項 1～8 のいずれかに記載の形状測定装置。

【請求項 10】

二次元の輝度分布を検出する前記第 1 の光検出手段が、前記第 2 の光検出手段を兼ねるものである請求項 9 に記載の形状測定装置。

【請求項 11】

前記第 2 の光照射手段が、前記測定部位における前記薄片試料の厚み方向の断面を含む平面内でシート光を照射するものであり、該シート光を含む平面の両側のうちの一方に前記第 1 の光照射手段における光源の点灯位置が、他方に前記第 1 の光検出手段の配置位置がそれぞれ位置してなる請求項 9 又は 10 のいずれかに記載の形状測定装置。 10

【請求項 12】

前記第 1 の光照射手段による光照射時の前記第 1 の光検出手段による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算手段による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算手段による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第 1 の採用判別手段を具備してなる請求項 9～11 のいずれかに記載の形状測定装置。

【請求項 13】

前記第 1 の採用判別手段が、前記第 1 の光照射手段における 1 又は複数の光源を点灯したときの前記第 1 の光検出手段による検出輝度に基づく画像に、所定数の帯状の像が含まれるか否かに応じて、いずれの演算結果を採用するかを判別してなる請求項 12 に記載の形状測定装置。 20

【請求項 14】

前記第 2 の光照射手段による光照射時の前記第 2 の光検出手段による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算手段による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算手段による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第 2 の採用判別手段を具備してなる請求項 9～11 のいずれかに記載の形状測定装置。

【請求項 15】

前記第 2 の採用判別手段が、前記第 2 の光照射手段によりシート光を照射したときの前記第 2 の光検出手段による検出輝度に基づく画像に、所定範囲において連続する線状の像が含まれるか否かに応じていずれの演算結果を採用するかを判別してなる請求項 14 に記載の形状測定装置。 30

【請求項 16】

薄片試料の端面の形状を測定する形状測定方法であって、

所定の光照射手段によって一の平面内の複数の位置各々で光源を点灯させることにより、前記薄片試料の端面である測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する第 1 の光照射工程と、

所定の位置で前記第 1 の光照射工程の光照射による前記測定部位からの略正反射方向への反射光の一次元若しくは二次元の輝度分布を光検出手段により検出する第 1 の光検出工程と、 40

前記第 1 の光照射工程により順次異なる照射角度で光が照射されるごとに前記測定部位からの反射光の輝度分布を前記第 1 の光検出工程の実行により取得する反射光輝度取得工程と、

前記反射光輝度取得工程により取得された前記反射光の輝度分布及び前記第 1 の光照射工程による光の照射角度に基づいて、前記測定部位の表面角度の分布を演算する表面角度分布演算工程と、

を有してなることを特徴とする形状測定方法。

【請求項 17】

所定の光照射手段によって前記測定部位に対してシート光を照射する第２の光照射工程と、

前記第２の光照射工程の光照射による前記測定部位からの正反射方向以外の方向への反射光の二次元の輝度分布を光検出手段により検出する第２の光検出工程と、

前記第２の光検出工程の検出結果に基づく光切断法の演算により前記測定部位の表面形状を算出する光切断法形状演算工程と、

を有してなる請求項１６に記載の形状測定方法。

【請求項１８】

前記第１の光照射工程による光照射時の前記第１の光検出工程による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算工程による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算工程による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第１の採用判別工程を有してなる請求項１７に記載の形状測定方法。

10

【請求項１９】

前記第２の光照射工程による光照射時の前記第２の光検出工程による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算工程による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算工程による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第２の採用判別工程を有してなる請求項１７に記載の形状測定方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、半導体ウェーハ、ハードディスク用のアルミサブトレート、ガラスサブストレートなどの薄片試料の端面の形状を測定する形状測定装置及びその方法に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

半導体ウェーハ（以下、ウェーハという）の製造時や、ウェーハを用いたデバイス製造時において、ウェーハの端部（縁部）が、他の部品やウェーハ保持部材と接触することによって傷ついたり、欠けたりする場合がある。さらに、その傷や欠けが原因で、ウェーハが割れることもある。このウェーハの端部における傷や欠けの生じやすさは、ウェーハの端面の形状と関係があると考えられている。このため、ウェーハに代表される薄片試料（板状の試料）のエッジプロファイルを正しく測定することは重要である。なお、ここでの端面の形状は、ウェーハの厚み方向（一次元方向）のプロファイル、即ち、厚み方向断面の形状であり、以下、エッジプロファイルという。

30

一方、非特許文献１には、ウェーハの縁部を挟む一方の側から光を照射し、他方の側に配置されたカメラによってウェーハの投影映像を撮像し、これにより得られる像の形状（輪郭）によってウェーハのエッジプロファイルを測定する技術が示されている。

また、特許文献１には、試料の傾きを変化させつつ、試料の表面（鏡面）に向けて光を照射するとともに、その照射方向と同軸方向に反射してくる反射光のみの像をテレセントリックレンズを通じて取得し、得られた像から試料表面の角度分布、即ち、試料表面の形状を測定する表面検査装置が示されている。

40

【特許文献１】特開平１０－２６７６３６号公報

【非特許文献１】「ウェーハのエッジ・ノッチ形状の測定装置」、電子材料、１９９７年８月号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００３】

しかしながら、非特許文献１に示されるような投影方式の形状測定では、エッジプロファイルの測定部位が、投影方向（光照射方向）の前後の部分よりも窪んでいる形状（以下、窪み形状という）を有する場合には、エッジプロファイルを測定できないという問題点

50

があった。例えば、ウェーハには、その結晶方向を示すためのノッチと呼ばれる半円形状の切り欠き部（前記窪み形状の一例）が形成されているが、非特許文献1に示される投影方式の形状測定では、そのノッチ部分のエッジプロファイルを測定できない。

また、特許文献1に示されるように、試料の傾きを変化させつつ、光の照射方向と同軸方向に反射する反射光を検出する測定は、試料表面のわずかな凹凸による微小な表面角度の分布の測定に適用されるものである。この特許文献1に示される測定技術を、エッジプロファイルの測定に適用する場合、表面角度を求めたい複数の測定ポイントに光を照射するごとに、試料の傾きを変化させる必要が生じる。このため、特許文献1に示される測定技術を、表面角度がほぼ180°変化する形状を測定するエッジプロファイルの測定に適用することは、試料の支持機構が複雑になる等の阻害要因があることから、事実上困難であるという問題点があった。 10

従って、本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、半導体ウェーハなどの薄片試料のエッジプロファイル（端面の厚み方向断面の形状）の測定に適した形状測定装置及びその方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0004】

上記目的を達成するために本発明は、例えば薄片試料の端面の形状を測定する形状測定装置として構成されるものであり、以下の（1）～（4）に示す特徴的構成要素を備えるものである。

（1）一の平面内の複数の位置各々で光源を点灯させることにより、前記薄片試料の端面である測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する第1の光照射手段。 20

（2）所定の位置で前記第1の光照射手段の光照射による前記測定部位からの略正反射方向への反射光の一次元若しくは二次元の輝度分布を検出する第1の光検出手段。

（3）前記第1の光照射手段により順次異なる照射角度で光が照射されるごとに前記測定部位からの反射光の輝度分布を前記第1の光検出手段を通じて取得する反射光輝度取得手段。

（4）前記反射光輝度取得手段により取得された前記反射光の輝度分布及び前記第1の光照射手段により照射された光の照射角度に基づいて、前記測定部位の表面角度の分布（即ち、端面の厚み方向断面の表面角度分布）を演算する表面角度分布演算手段。

上記構成を備えた形状測定装置を用いれば、半導体ウェーハなどの薄片試料の表面角度の分布を測定でき、その表面角度の分布に基づいてエッジプロファイル（端面の厚み方向断面の形状）を正しく測定できる。また、半導体ウェーハのノッチ部のような前記窪み形状を有する端面についても、エッジプロファイルを測定できる。 30

即ち、上記構成を備えた形状測定装置において、前記反射光輝度取得手段により取得される反射光の輝度分布は、照射光が薄片試料の端面に正反射して前記光検出手段に到達した部分の輝度が最も高くなる。このため、前記表面角度分布演算手段は、光の入射角と反射角とが等しいという正反射の特性に基づいて、測定部位の表面角度の分布を求めることができる。その詳細については後述する。

なお、前記第1の光照射手段における光源の点灯位置と前記第1の光検出手段の配置位置とが、それぞれ略同一の平面内に位置する場合や、或いはそれぞれ異なる平面内に位置する場合が考えられる。 40

【0005】

ところで、前記光照射手段による光の照射角度の変化幅（変更幅）をごく小さくすれば、光の照射角度を変化させるごとに、反射光の輝度が最も高くなる位置を求めることにより、高い空間分解能で測定部位の表面角度の分布を算出することができる。しかしながら、光の照射角度の変化幅を小さくすることには限界がある。また、光の照射角度の変化幅を小さくするほど、反射光の輝度分布を採取する回数が増え、測定時間が長くなる。さらに、前記反射光輝度取得手段で取得すべきデータの点数が増え、必要メモリ容量の増大にもつながる。

そこで、前記形状測定装置において、前記表面角度分布演算手段が、前記第1の光検出 50

手段の光検出範囲における複数の位置（以下、演算対象位置という）各々について、前記光の照射角度と前記反射光の輝度との対応関係に基づいて前記反射光の輝度がピークとなる時の前記光の照射角度を推定する演算を行うことにより、前記演算対象位置各々の表面角度を算出するものであれば好適である。ここで、前記反射光の輝度がピークとなる時の前記光の照射角度の推定値は、例えば、前記光の照射角度と前記反射光の輝度との対応関係に基づく内挿演算処理などによって求めることができる。

これにより、光の照射角度の変化幅が比較的大きくても、高い空間分解能で測定部位の表面角度の分布を算出することができる。

【0006】

ここで、前記第1の光照射手段の構成の例としては、以下の2つが考えられる。

10

その1つは、所定の光源を一の平面内の複数の位置各々に順次移動させて点灯させることにより、前記測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する移動型光照射手段である。この構成によれば、光源の数を少なくできる。

2つ目は、一の平面内の複数の位置各々に配置された複数の光源を順次切り替えて点灯させることにより、前記測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する切替型光照射手段である。この切替型光照射手段を採用する場合、複数の光源が、前記測定部位の配置位置を中心とする円弧上に配置されたものが考えられる。この構成によれば、可動機構のないシンプルかつ位置精度の高い装置を実現できる。

【0007】

ところで、前記光検出手段としてCCDカメラ等を用いる場合、1つの前記光検出手段による光の検出範囲には制限がある。この制限は、エッジプロファイル測定において測定可能な表面角度の最大範囲の制限につながる。

20

そこで、上記形状測定装置が、前記測定部位に対して各々異なる方向に配置された複数の前記第1の光検出手段を備え、さらに、前記表面角度分布演算手段が、複数の前記第1の光検出手段各々を通じて得られた前記反射光の輝度分布ごとに、その反射光の輝度分布及び前記光の照射角度に基づいて前記測定部位の一部の領域の表面角度の分布を演算する一部表面角度分布演算手段と、その一部表面角度分布演算手段の演算結果をつなぎ合わせることで前記測定部位全体の表面角度の分布を演算するつなぎ合わせ演算手段とを備えるものが考えられる。例えば、2つの前記第1の光検出手段が前記測定部位を基点として約90°をなす方向に配置された形状測定装置が考えられる。

30

これにより、1つの前記第1の光検出手段による光の検出範囲の制限を超えて、エッジプロファイル測定における測定可能な表面角度の最大範囲を広げることができる。

また、前記形状測定装置が複数の前記第1の光検出手段と前記切替型光照射手段とを備える場合、前記切替型光照射手段が、複数の光源を順次切り替えて点灯させる過程において、複数の前記光検出手段各々に対応する複数の光源を同時に点灯させるものが考えられる。

これにより、測定時間を短縮できる。

【0008】

以上に示した形状測定装置は、前記測定部位（薄片試料の端面）が鏡面或いはそれに近い光沢のある面である（照射光が正反射する）場合にその測定部位の形状（表面角度分布）を算出できる。

40

ところで、半導体ウェーハなどの薄片試料は、その端面が、元々は照射光がほとんど正反射しない（ほとんどが散乱反射する）粗面であり、加工（研磨）されて鏡面或いはそれに近い光沢のある面となる。そして、粗面の状態の薄片試料の端面について、必要な加工量（研磨量）を把握する等のために、その形状（プロファイル）を測定したい場合があるが、以上に示した形状測定装置は、粗面の状態の薄片試料の端面の形状を測定できない。

【0009】

そこで、本発明に係る形状測定装置が、さらに次の（5）～（7）に示す構成要素を備えればなお好適である。

（5）前記測定部位に対してシート光を照射する第2の光照射手段。

50

(6) 前記第2の光照射手段の光照射による前記測定部位からの正反射方向以外の方向への反射光(即ち、散乱反射光)の二次元の輝度分布を検出する第2の光検出手段。

(7) 前記第2の光検出手段の検出結果に基づく光切断法の演算により前記測定部位の表面形状を算出する光切断法形状演算手段。

一般に、周知の光切断法は、鏡面の表面形状の測定には適していないが、粗面の表面形状を測定可能な方法である。このため、本発明に係る形状測定装置は、前記(5)～(7)に示す構成要素をさらに備えることにより、薄片試料の端面(測定部位)が光沢面であっても粗面であってもその表面形状を測定することが可能となる。

この場合、二次元の輝度分布を検出する前記第1の光検出手段が、前記第2の光検出手段を兼ねるものであれば、装置構成がシンプルになり好適である。

10

【0010】

また、前記第2の光照射手段が、前記測定部位における前記薄片試料の厚み方向の断面を含む平面内でシート光を照射するものであり、そのシート光を含む平面の両側のうちの一方に前記第1の光照射手段における光源の点灯位置が、他方に前記第1の光検出手段の配置位置がそれぞれ位置することが考えられる。

これにより、前記測定部位の表面において前記シート光により描かれる線が、ちょうど前記測定部位における前記薄片試料の厚み方向の断面の輪郭(表面形状)に沿う線状となる。その結果、前記光切断法形状演算手段によって前記測定部位(端面)における前記薄片試料の厚み方向の表面形状が高い精度で求まる。

また、本発明に係る形状測定装置が、前記第1の光照射手段による光照射時の前記第1の光検出手段による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算手段による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算手段による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第1の採用判別手段をさらに備えることが考えられる。

20

例えば、前記第1の採用判別手段が、前記第1の光照射手段における1又は複数の光源を点灯したときの前記第1の光検出手段による検出輝度に基づく画像に、所定数の帯状の像が含まれるか否かを判別し、その判別結果に応じていずれの演算結果を採用するかを判別すること等が考えられる。

同様に、本発明に係る形状測定装置が、前記第2の光照射手段による光照射時の前記第2の光検出手段による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算手段による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算手段による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第2の採用判別手段をさらに備えることも考えられる。

30

例えば、前記第2の採用判別手段が、前記第2の光照射手段によりシート光を照射したときの前記第2の光検出手段による検出輝度に基づく画像に、所定範囲において連続する線状の像が含まれるか否かを判別し、その判別結果に応じていずれの演算結果を採用するかを判別すること等が考えられる。

前記第1の採用判別手段又は前記第2の採用判別手段のいずれかを備えた形状測定装置は、前記測定部位の表面が、前記表面角度分布演算手段による形状測定が可能な光沢のある面(照射光が主に正反射する面)であるか、前記光切断法形状演算手段による形状測定が可能な粗面(照射光が主に散乱反射する面)であるかを自動判別し、前記測定部位の表面の状態に応じて適切な演算結果の採用を自動判別できる。その結果、ユーザが、前記測定部位の状態に応じて測定内容や演算内容を切り替える手間が省ける。

40

例えば、所定の制御手段が、前記第1の採用判別手段又は前記第2の採用判別手段により前記光切断法形状演算手段による前記測定部位の表面形状の演算結果を前記測定部位の形状評価に採用すると判別された場合に、前記反射光輝度取得手段及び前記表面角度分布演算手段による処理の実行を省略して前記光切断法形状演算手段による処理を実行させること等が考えられる。

【0011】

また、本発明は、以上に示した形状測定装置を用いた測定方法に相当する測定方法とし

50

て捉えることもできる。

即ち、薄片試料の端面の形状を測定する形状測定方法であって、以下の(1)～(4)に示す各工程を有するものである。

(1) 所定の光照射手段によって一の平面内の複数の位置各々で光源を点灯させることにより、前記薄片試料の端面である測定部位に対して順次異なる照射角度で光を照射する第1の光照射工程。

(2) 所定の位置で前記第1の光照射工程の光照射による前記測定部位からの略正反射方向への反射光の一次元若しくは二次元の輝度分布を光検出手段により検出する第1の光検出工程。

(3) 前記第1の光照射工程により順次異なる照射角度で光が照射されるごとに前記測定部位からの反射光の輝度分布を前記第1の光検出工程の実行により取得する反射光輝度取得工程。 10

(4) 前記反射光輝度取得工程により取得された前記反射光の輝度分布及び前記第1の光照射工程による光の照射角度に基づいて、前記測定部位の表面角度の分布を演算する表面角度分布演算工程。

【0012】

また、本発明に係る形状測定方法は、さらに、次の(5)～(7)に示す各工程を有すれば好適である。

(5) 所定の光照射手段によって前記測定部位に対してシート光を照射する第2の光照射工程。 20

(6) 前記第2の光照射工程の光照射による前記測定部位からの正反射方向以外の方向への反射光の二次元の輝度分布を光検出手段により検出する第2の光検出工程。

(7) 前記第2の光検出工程の検出結果に基づく光切断法の演算により前記測定部位の表面形状を算出する光切断法形状演算工程。

この場合、本発明に係る形状測定方法が、さらに次の(8)又は(9)のいずれかに示す工程を有することが考えられる。

(8) 前記第1の光照射工程による光照射時の前記第1の光検出工程による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算工程による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算工程による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第1の採用判別工程。 30

(9) 前記第2の光照射工程による光照射時の前記第2の光検出工程による検出輝度に基づいて、前記表面角度分布演算工程による前記測定部位の表面角度の分布の演算結果と、前記光切断法形状演算工程による前記測定部位の表面形状の演算結果と、のいずれを前記測定部位の形状評価に採用するかを判別する第2の採用判別工程。

以上に示した各工程を有する形状測定方法を採用すれば、本発明に係る前記形状測定装置と同様の作用効果が得られる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、半導体ウェーハなどの薄片試料のエッジプロファイルを正しく測定できる。また、半導体ウェーハのノッチ部のような前記窪み形状を有する端面についても、エッジプロファイルを測定できる。また、光切断法により薄片試料の端面の形状測定を行う手段又は工程を併せ持つことにより、光沢面又は粗面のいずれの測定部位(端面)であってもその形状を測定できる。 40

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下添付図面を参照しながら、本発明の実施の形態について説明し、本発明の理解に供する。尚、以下の実施の形態は、本発明を具体化した一例であって、本発明の技術的範囲を限定する性格のものではない。

ここに、図1は本発明の実施形態に係る形状測定装置Zの概略構成図、図2は光照射角度及び表面角度の定義を表す図、図3は形状測定装置Zに採用され得るテレセントリック 50

レンズ方式のカメラの特性を表す図、図 4 は形状測定装置 Z にテレセントリックレンズ方式のカメラを採用した場合の測定部位の表面角度と光路との関係を模式的に表した図、図 5 は形状測定装置 Z により算出された測定部位の表面角度分布及びエッジプロファイルを表すグラフ、図 6 は形状測定装置 Z に採用され得る非テレセントリックレンズ方式のカメラの特性を表す図、図 7 は形状測定装置 Z に非テレセントリックレンズ方式のカメラを採用した場合の測定部位の表面角度と光路との関係を模式的に表した図、図 8 は測定部位の形状及び形状測定装置 Z のカメラによる撮影画像の第 1 例を模式的に表した図、図 9 は測定部位の形状及び形状測定装置 Z のカメラによる撮影画像の第 2 例を模式的に表した図、図 10 は形状測定装置 Z による撮影画像の一例を表す図、図 11 は所定の演算対象位置における光照射角度と反射光輝度との対応関係の一例を表すグラフ、図 12 は形状測定装置 Z による測定手順を表すフローチャート、図 13 は形状測定装置 Z の第 1 応用例である形状測定装置 Z' の概略構成を表す図、図 14 は形状測定装置 Z' により得られる 2 台のカメラ各々に対応する表面角度分布及びエッジプロファイルのフィッティング処理前後の状態を表す図、図 15 は形状測定装置 Z の第 2 応用例である形状測定装置 Z2 の概略構成を表す図、図 16 は形状測定装置 Z の第 3 応用例である形状測定装置 Z3 の概略構成を表す図、図 17 は形状測定装置 Z3 のカメラによる撮像画像の一例を模式的に表した図、図 18 は形状測定装置 Z3 の測定制御手順を表すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【0015】

まず、図 1 を参照しつつ、本発明の実施形態に係る形状測定装置 Z の構成について説明する。形状測定装置 Z は、薄片試料の一例である半導体ウェーハ 1（以下、ウェーハという）の端面の形状（エッジプロファイル）を測定する装置である。本実施形態に示すウェーハ 1 は、ほぼ円形板状であるが、矩形の板状など、他の形状の薄片試料を測定対象とすることもできる。なお、図 1（a）は、形状測定装置 Z の平面図（一部ブロック図）、図 1（b）は、形状測定装置 Z の側面図（一部省略）である。

以下、エッジプロファイルの測定対象となるウェーハ 1 の端面を、測定部位 P と称する。

図 1 に示すように、形状測定装置 Z は、光照射装置 10 と、カメラ 20 と、パーソナルコンピュータ等の計算機 30 とを備えている。

光照射装置 10 は、電子回路基板として構成され、その電子回路基板には、ウェーハ 1 に光を照射する光源である複数の LED 12 と、その LED 12 各々の点滅を切り替える LED 駆動回路 11 とが実装されている。なお、図 1（b）には、一部の LED 12 について記載を省略している。

ここで、光照射装置 10（電子回路基板）を平面視したときのほぼ中央部における所定位置を基準位置 Q と称する。

【0016】

光照射装置 10 を構成する電子回路基板には、ウェーハ 1 の測定部位 P を基準位置 Q に配置可能とするために、ウェーハ 1 が挿入される切り欠き部 13 が形成されている。即ち、基準位置 Q が、測定部位 P の配置位置となる。図 1（b）には、ウェーハ 1 のノッチ部（半円形状の切り欠き部）が、基準位置 Q に測定部位 P として配置されている例を示しているが、これに限るものではない。また、ウェーハ 1 を回転させることにより、測定部位 P を容易に変更できる。これにより、ウェーハ 1 の周囲全体、或いは周囲全体のうちの複数箇所のエッジプロファイルを容易に測定できる。

また、全ての LED 12 は、その発光部が、基準位置 Q を含む 1 つの平面内に位置するように、かつ、基準位置 Q を中心とする円弧上に（円弧に沿って）位置するように、電子回路基板に実装されている。ここで、各 LED 12 は、カメラ 20 と干渉する位置を除き、例えば基準位置 Q から見た方向が約 2° ずつ異なるように等間隔（等角度の間隔）で配置されている。また、各 LED 12 の基準位置 Q（測定部位 P）からの距離は、測定部位 P の奥行き寸法に対して十分に長い距離（例えば 150 mm 程度）とする。

また、ウェーハ 1 は、その面（おもて面及びうら面）が、LED 12 の発光部が配置される 1 つの平面に対してほぼ直交し、その面の中央部（円板の中心）が、LED 12 の発

光部が配置される 1 つの平面内に位置する状態で切り欠き部 13 に挿入され、その状態で測定が行われる。

L E D 駆動回路 11 は、計算機 30 からの制御指令に従って、このように 1 つの平面内の複数の位置各々に配置された複数の L E D 12 を順次切り替えて点滅させる。これにより、光照射装置 10 は、基準位置 Q に配置されたウェーハ 1 の測定部位 P に対し、順次異なる照射角度で光を照射する（第 1 の光照射手段、切替型光照射手段の一例）。

ウェーハ 1 の測定部位 P である端面（側面）は、滑らかに加工されており、鏡面或いはそれに近い光沢のある面となっている。このため、L E D 12 から出力された光は、測定部位 P において概ね正反射し、ほとんど乱反射はしない。

【0017】

カメラ 20 は、基準位置 Q から所定間隔隔てた位置（例えば、50 mm ~ 100 mm 程度）に固定され、ウェーハ 1 の測定部位 P からの反射光を受光して光電変換することにより、各 L E D 12 から測定部位 P に照射された光の正反射方向への反射光の二次元の輝度分布を検出するものである（第 1 の光検出手段の一例）。

図 1 に示す例では、前記カメラ 20 は、L E D 12 の発光部が配置される 1 つの平面（基準位置 Q を含む平面）内に配置され、その正面方向が、ウェーハ 1 の面の中央部に向かうように設置されている。即ち、カメラ 20 は、その正面方向が、ウェーハ 1 の厚み方向中央における平断面に沿う方向となるように（ウェーハ 1 を真横から見るように）設置されている。これにより、カメラ 20 は、ウェーハ 1 の端面を、ウェーハ 1 の厚み方向全体に渡って観測できる。

また、カメラ 20 の焦点は、基準位置 Q（即ち、測定部位 P）に設定されている。

計算機 30 は、光照射装置 10 における L E D 駆動回路 11 を制御（L E D 12 の点滅制御）するとともに、カメラ 20 のシャッター制御とカメラ 20 による撮影画像の取り込みとを行う。その具体的な動作については後述する。ここで、図 1 には示していないが、計算機 30 は、L E D 駆動回路 11 やカメラ 20 との間で、信号の授受や画像データの取得を行うためのインターフェースを備えている。

なお、以下に示す計算機 30 の処理は、計算機 30 が備える M P U が、同じく計算機 30 が備えるハードディスクドライブなどの記憶手段に予め記憶されたプログラムを実行することにより実現される。

【0018】

次に、形状測定装置 Z によるエッジプロファイル測定の原理について説明する。

測定部位 P に光が照射されると、その光は、光沢のある測定部位 P において正反射する。そして、カメラ 20 による撮影画像は、その反射光の輝度分布を表す像である。

図 8 は、測定部位 P の形状の一例（a）及びその測定部位 P のカメラ 20 による撮影画像の一例（b）を模式的に表した図である。

図 8（a）には、表面角度が単純増加（或いは、単純減少）するような測定部位 P の形状を示している。なお、図 8（a）における上下方向が、ウェーハ 1 の厚み方向である。

このような測定部位 P を、ある 1 つの L E D 12 のみによって光を照射しながらカメラ 20 により撮像すると、図 8（b）に示すような像が得られる。その画像において、輝度のピークが生じる位置 X_{peak}（X 座標方向の位置、以下、ピーク輝度位置という）は、L E D 12 から発せられた光線が測定部位 P において正反射した位置（正反射位置）に相当する。

また、測定部位 P における正反射位置の面において、その法線方向を基準とした光の入射角度と出射角度（反射方向の角度）とは等しい（左右対称）。このことから、カメラ 20 の撮影画像におけるピーク輝度位置 X_{peak}と、測定部位 P に対する光の照射方向（点灯した L E D 12 から測定部位 P へ向かう方向）とに基づいて、測定部位 P において光が正反射する位置（正反射位置）と、その正反射位置の表面角度とを一意に算出することが可能である。

ここで、形状測定装置 Z の測定原理を説明する前に、図 2 を参照しつつ、光の照射方向などを表す符号について説明する。なお、図 2（a）は、形状測定装置 Z を平面視した状

10

20

30

40

50

態を模式的に表した図であり、図 2 (b) は、その基準位置 P の部分を拡大して表した図である。

図 2 に示すように、測定部位 P とカメラ 20 とを結ぶ直線の方角（以下、カメラ正面方向という）を基準としたときの光の照射角度を ϕ とする。また、測定部位 P における光の正反射 P_x における、カメラ正面方向に直交する面（以下、撮影画像における X-Y 平面に相当する面という意味で、X-Y 面という）を基準とした表面角度を θ とする。

【0019】

続いて、図 4 を参照しつつ、形状測定装置 Z によるエッジプロファイル測定の原理についてより詳細に説明する。ここでは、カメラ 20 が、テレセントリックレンズ方式のカメラである場合について説明する。

テレセントリックレンズ方式のカメラは、図 3 に示すような態様で CCD 上に像を結ぶ。

反射光の輝度分布を検出するカメラ 20 が、図 3 に示すようなテレセントリックレンズ方式のカメラである場合、図 4 に示すように、カメラ 20 の CCD（受光部）に到達する反射光の方角と、カメラ 20 の正面方向とがほぼ平行となり、撮影画像において高輝のピークが存在するピーク輝度位置 X_{peak} は、そのまま測定部位 P における光の正反射位置 P_x を表す。さらに、光の照射方向と反射方向とは、正反射位置 P_x の面の法線に対して対称であることから、 $(90 - \theta - \phi / 2) = (90 - \phi)$ となり、次の (1) 式が成立する。

$$\theta = \phi / 2 \quad \cdots (1)$$

従って、撮影画像においてピーク輝度位置 X_{peak} を画像処理によって特定することにより、正反射位置 P_x を特定できる。さらに、点灯した LED 12 の位置（既知の位置）に応じて定まる光照射角度 ϕ （既知の角度）から、正反射位置 P_x における表面角度 θ を特定できる。

【0020】

次に、図 7 を参照しつつ、テレセントリックレンズ方式ではない方式（以下、非テレセントリックレンズ方式という）のカメラ 20 を採用した形状測定装置 Z によるエッジプロファイル測定について説明する。

非テレセントリックレンズ方式のカメラは、図 6 に示すような態様で CCD 上に像を結ぶ。

非テレセントリックレンズ方式のカメラ 20 を採用した場合、図 7 に示すように、測定部位 P における正反射位置 P_x で反射し、カメラ 20 の CCD に到達して像を結ぶ反射光の角度（方向）を、カメラ正面方向を基準とする角度 ψ_x として表すと、 $2\theta + \psi_x = \phi$ となり、次の (2) 式が成立する。但し、 ψ_x は、カメラ 20 の座標系における位置（X 軸方向の位置）ごとに予め求めておく。

$$\theta = (\phi - \psi_x) / 2 \quad \cdots (2)$$

従って、撮影画像においてピーク輝度位置 X_{peak} を画像処理によって特定することにより、そのピーク輝度位置 X_{peak} と角度 ψ_x とカメラ 20 から測定部位 P 間での距離とに基づいて、測定部位 P における正反射位置 P_x を特定できる。さらに、点灯した LED 12 の位置（既知の位置）に応じて定まる光照射角度 ϕ （既知の角度）から、(2) 式に基づいて、正反射位置 P_x における表面角度 θ を特定できる。

【0021】

また、点灯する LED 12 を順次切り替えるごとに（即ち、光照射角度 ϕ を切り替えるごとに）カメラ 20 を通じて測定部位 P の画像データを取得し、そのときの光照射角度 ϕ 及び表面角度 θ を求めれば、複数の正反射位置 P_x 各々についての表面角度 θ 、即ち、測定部位 P における表面角度 θ の分布を求めることができる。

図 10 は、図 8 (a) に示したのと同様の形状を有する測定部位 P について、光照射角度 ϕ ごとに得られた画像データを表す映像（カメラ 20 の映像）の一例を表す。図 10 に向かって右方向が、カメラ 20 の座標系の X 軸方向（即ち、ウェーハ 1 の厚み方向）である。

10

20

30

40

50

図10に示すように、光照射角度 ϕ の変化に応じて、測定部位Pにおける正反射Pxに対応する高輝度位置X_{peak}(X方向の位置)が変化する。この高輝度位置X_{peak}が、測定部位Pにおける正反射位置Pxに対応する。

なお、正反射位置Pxは、その位置に応じてLED12との距離が若干異なるため、以上の方法によって求めた表面角度 θ には、その距離差に応じた誤差が含まれる。しかしながら、測定部位Pの表面変位に対し、LED12と測定部位Pとの距離を十分に長くすることにより、その誤差は無視できる程度に抑えられる。

また、図10において、帯状の高輝度の部分において存在する輝度の分布は、測定部位Pの表面粗さや、カメラ20の実効Fナンバーに起因する。また、テレセントリックレンズ方式のカメラを採用した場合、カメラ正面方向に平行な反射光以外の反射光の一部がカメラ20のCCDに到達することにも起因する。 10

【0022】

一方、図9は、測定部位Pの形状の他の一例(a)及びその測定部位Pのカメラ20による撮影画像の一例(b)を模式的に表した図である。

図9(a)には、前記窪み形状を有する測定部位Pを示している。なお、図9(a)における上下方向が、ウェーハ1の厚み方向である。

このような測定部位Pを、ある1つのLED12のみによって光を照射しながらカメラ20により撮像すると、図9(b)に示すように、複数のピーク輝度位置X_{peak}を有する像が得られる。この現象は、同じ表面角度 ϕ を有する正反射位置Pxが複数存在する場合に生じるが、表面角度の求め方は、測定部位Pが、図8(a)に示したような形状を有する場合と同様である。 20

形状測定装置Zを用いれば、このように測定部位Pが窪み形状を有する場合であっても、表面角度の分布を測定できる。

【0023】

次に、図12に示すフローチャートを参照しつつ、形状測定装置Zによるウェーハ1の測定部位Pの測定手順について説明する。以下、S1、S2、…は、処理手順(ステップ)の識別符号を表す。なお、ウェーハ1の測定部位Pが、基準位置Qに位置するように配置された状態で、図12に示す処理が開始されるものとする。

[ステップS1～S5]

まず、計算機30は、LED12各々を識別する番号iを初期化($i=1$)する(S1) 30

そして、計算機30は、LED駆動回路11を制御することによるi番目のLED12の点灯(S2)、その点灯状態におけるカメラ20による測定部位Pの撮像(シャッターON)及び撮影画像の記憶(S3)を、番号iを順次カウントアップ(S5)しながら、全てのLED12について点灯及び撮像が終了するまで繰り返す(S4)。カメラ20による撮影画像は、計算機30が備えるハードディスクなどの記憶手段に記憶される。

このステップS1～S4の処理により、光照射装置10によって測定部位Pに対して順次異なる照射角度 ϕ で光が照射される(S2)。さらに、異なる照射角度で光が照射されるごとに、計算機30により、測定部位Pからの反射光の輝度分布を表す画像データ(撮影画像)が、カメラ20(第1の光検出手段の一例)を通じて取得される(反射光輝度取得手段の一例)。 40

【0024】

[ステップS6～S11]

次に、計算機30は、以下に示すステップS6～S11の処理を実行することにより、ステップS3の処理により取得された各LED12に対応した画像データ(反射光の輝度分布)と、そのLED12によって測定部位Pに照射された光の照射角度 ϕ とに基づいて、測定部位Pの表面角度の分布及びエッジプロファイルを演算する(S11、表面角度分布演算手段の一例)。

ところで、光照射装置10による光の照射角度 ϕ の変化幅(ここでは、LED12の間隔)をごく小さくすれば、光の照射角度 ϕ を変化させるごとに、反射光の輝度が最も高く 50

なる位置を求めることにより、高い空間分解能で測定部位 P の表面角度の分布を算出することができる。

しかしながら、光の照射角度 ϕ の変化幅を小さくすることには限界がある。また、光の照射角度 ϕ の変化幅を小さくするほど、カメラ 20 による撮像回数（反射光の輝度分布を採取する回数）が増え、測定時間が長くなる。さらに、計算機 30 で取得すべき画像データの点数が増え、計算機 30 における必要メモリ容量の増大にもつながる。

そこで、本実施形態における計算機 30 は、以下に示す処理により、測定部位 P の表面角度の分布及びエッジプロファイルを求める。

【0025】

まず、計算機 30 は、カメラ 20 の撮像範囲（光検出手段の光検出範囲の一例）において予め定められた X 座標方向の複数の位置（以下、演算対象位置 X_j という）各々を識別する番号 j を初期化（ $j = 1$ ）する（S6）。 10

そして、演算対象位置 X_j 各々について、光の照射角度 ϕ と反射光の輝度 E との対応関係（以下、 $\phi - E$ 対応関係という）を導出する（S7）。

図 11 は、ある演算対象位置 X_j における、光の照射角度 ϕ （横軸）と反射光の輝度 E （縦軸）との対応関係を表すグラフの一例である。

さらに、計算機 30 は、ステップ S7 で得られた $\phi - E$ 対応関係に基づく所定の演算を行うことにより、反射光の輝度 E がピークとなるとき光の照射角度 ϕ_{peak} （以下、推定ピーク時照射角度という）を推定するとともに、その演算対象位置 X_j における表面角度 θ_j を算出して記憶する（S8）。 20

【0026】

図 11 に示したように、 $\phi - E$ 対応関係は、離散的なデータに基づくものである。ここで、光照射装置 10 における各 LED12 が、極端に広い間隔で配置されているような場合を除けば、図 11 に示したような $\phi - E$ 対応関係に基づく内挿演算処理により、推定ピーク時照射角度 ϕ_{peak} を推定することができる。その内挿演算処理の具体例としては、重心法に基づく内挿演算処理や、2 次関数やガウス分布関数に回帰するフィッティング処理に基づく内挿演算処理などが考えられる。なお、内挿演算処理を施さず、単に最大の輝度を示すときの光照射角度 ϕ を、推定ピーク時照射角度 ϕ_{peak} とすることも考えられる。但し、この場合、各 LED12 の間隔によっては、誤差が大きくなる点に留意する必要がある。 30

また、推定ピーク時照射角度 ϕ_{peak} に基づく表面角度 θ_j の算出方法は、前述した光照射角度 ϕ に基づく正反射位置 P_x の表面角度 θ の算出方法と同様である。

そして、計算機 30 は、ステップ S7～S8 の処理を、番号 j を順次カウントアップ（S10）しながら、予め定められた全ての演算対象位置 X_j について行われるまで繰り返す（S9）。ステップ S8 で算出された各演算対象位置 X_j の表面角度 θ_j は、計算機 30 が備えるハードディスクなどの記憶手段に記憶される。

以上のステップ S1～S10 の処理により、測定部位 P の表面角度 θ の分布（演算対象位置 X_j と表面角度 θ_j との対応関係を表す情報）が得られる。

このように、計算機 30 は、カメラ 20 の撮像範囲（即ち、光検出範囲）における複数の演算対象位置 X_j 各々について、光照射角度 ϕ と反射光の輝度 E との対応関係に基づいて、推定ピーク時照射角度 ϕ_{peak} （反射光の輝度がピークとなるとき光の照射角度）を推定する演算を行うことにより、演算対象位置 X_j 各々の表面角度 θ_j を算出する（S7～S10、表面角度分布演算手段の一例）。その結果、光照射装置 10 における各 LED12 を、非常に密に配置した場合と同様の高い空間分解能で、表面角度 θ_j の分布を測定できる。理論上は、カメラ 20 の解像度（画素分解能）のレベルまで、表面角度分布の空間分解能を高めることができる。 40

【0027】

最後に、計算機 30 は、ステップ S6～S10 の処理によって得られた表面角度 θ_j の分布に基づいて、測定部位 P のエッジプロファイル（表面形状）を算出して記憶し（S11）、測定処理を終了させる。このとき、計算機 30 は、必要に応じて、測定部位 P のエ 50

ッジプロファイルをその表示部に表示させる。

ここで、測定部位 P におけるある演算対象位置 X_j の表面高さと、その隣りの演算対象位置 X_{j+1} の表面高さとの差 Δh_j は、次の (3) 式により計算できる。

$$\Delta h_j = d \cdot \tan \theta_j \quad \cdots (3)$$

ただし、 d は、測定部位 P における隣り合う演算対象位置 X_j の距離 (X 軸方向の距離) である。ここでは、カメラ 20 の X 軸方向の画素間距離を、実空間に換算した距離である。

この (3) 式を、演算対象位置 X_j の基点から順次適用することにより、測定部位 P の高さ分布、即ち、エッジプロファイルを算出できる。

図 5 は、あるウェハ 1 の測定部位 P を形状測定装置 Z で測定することによって得られた表面角度 $\phi(x)$ の分布及びエッジプロファイルの一例を表すグラフである。横軸は、ウェハ 1 の厚み方向の位置を表し、左縦軸は測定部位の表面位置 (即ち、エッジプロファイル)、右縦軸は表面角度 θ である。なお、図 5 において細い実線グラフで表す表面角度 $\theta(x)$ は、その各々の演算対象位置 X_j を、測定部位 P における実空間の位置に置き換えたものである。また、太い実線グラフで表すエッジプロファイルは、(3) 式に基づいて算出したものである。

このように、形状測定装置 Z を用いれば、ウェーハ 1 などの薄片試料のエッジプロファイルを高精度で測定することができる。

【0028】

[形状測定装置 Z' (第 1 応用例)]

次に、図 13 を参照しつつ、形状測定装置 Z の第 1 応用例である形状測定装置 Z' について説明する。以下、形状測定装置 Z' について、前述した形状測定装置 Z と異なる点についてのみ説明する。なお、図 13 において、図 1 に示した構成要素と同じものについては、同じ符号を記している。

図 13 に示すように、形状測定装置 Z' は、測定部位 P からの反射光の輝度分布を検出するカメラ 20 として 2 台のカメラ 20R、20L を備え、それらが、測定部位 P に対して各々異なる方向に配置されている。以下、それぞれ第 1 カメラ 20R、第 2 カメラ 20L と称する。

さらに、形状測定装置 Z' は、前述の計算機 30 の代わりに、実行するプログラムの一部が異なる計算機 30' を備えている。

【0029】

図 13 に示す例では、2 台のカメラ 20R、20L が、基準位置 Q (即ち、測定部位 P) を基点として 90° をなす方向 (ウェーハ 1 の面方向に対して $\pm 45^\circ$ の方向) に配置されている。これにより、両カメラ 20R、20L 各々は、測定部位 P の全領域 (全面) のうちの一部の領域 (各々の配置位置から見える領域) で反射した反射光の輝度を検出する。

そして、計算機 30' は、前述したステップ S3 (図 12 参照) において、光照射角度 ϕ が変更されるごとに、2 台のカメラ 20R、20L 両方により画像データの撮像及び記憶を行うよう制御する。

さらに、計算機 30' は、前述したステップ S7 及び S8 (図 12 参照) において、2 台のカメラ 20R、20L 各々を通じて得られた画像データ (反射光の輝度分布を表すデータ) ごとに、その画像データ及び光の照射角度 (推定ピーク時照射角度 ϕ_{peak}) に基づいて、測定部位 P の一部の領域の表面角度 θ_j の分布を算出する。図 13 に示す例では、計算機 30' は、第 1 カメラ 20R を通じて得た画像データに基づいて、図 13 に示すウェーハ 1 の右側の面 (一方の面) に近い側の領域の表面角度 θ_j の分布を算出する。同様に、計算機 30' は、第 2 カメラ 20L を通じて得た画像データに基づいて、同ウェーハ 1 の左側の面 (他方の面) に近い側の領域の表面角度 θ_j の分布を算出する。ここで、それら両領域の一部は重複している。

【0030】

さらに、計算機 30' は、前述したステップ S11 において、両カメラ 20R、20L

に対応する前記一部の領域の表面角度 θ_j の分布（ステップS8の処理での演算結果）の各々に基づいて、その一部の領域各々についてのエッジプロファイルを算出するとともに、それらをつなぎ合わせる処理を行うことによって測定部位P全体のエッジプロファイルを算出する（つなぎ合わせ演算手段の一例）。

或いは、計算機30'は、前述したステップS11において、両カメラ20R、20Lに対応する前記一部の領域の表面角度 θ_j の分布（ステップS8の処理での演算結果）の各々をつなぎ合わせる処理を行うことによって測定部位P全体の表面角度分布 θ_j を算出し、その算出結果に基づいて測定部位P全体のエッジプロファイルを算出する（つなぎ合わせ演算手段の一例）。

このように、各領域のエッジプロファイルを求めてからその各々をつなぎ合わせる方法、或いは各領域の表面角度 θ_j の分布をつなぎ合わせてから全領域のエッジプロファイルを求める方法の2通りの方法が考えられる。 10

ここで、前記つなぎ合わせは、両カメラ20R、20L各々に対応する前記一部の領域の重複部分について、各カメラ20R、20Lに対応するエッジプロファイル或いは表面角度 θ_j の分布の差が最小となるように、それらのオフセット等を調節（補正）する周知のフィッティング処理により行えばよい。

これにより、例えば、1台のカメラの視野範囲（光の検出範囲）が $\pm 60^\circ$ 程度であっても、一般的なエッジプロファイル測定で必要となる $\pm 90^\circ$ （計 180° ）の範囲での表面角度分布測定を行うことができる。

【0031】

20

さらに、計算機30'は、前述したステップS11において、両カメラ20R、20Lに対応する前記一部の領域の表面角度 θ_j の分布（ステップS8の処理での演算結果）の各々に基づいて、その一部の領域各々についてのエッジプロファイルを算出するとともに、それらをつなぎ合わせる処理を行うことによって測定部位P全体のエッジプロファイルを算出する（つなぎ合わせ演算手段の一例）。

或いは、計算機30'は、前述したステップS11において、両カメラ20R、20Lに対応する前記一部の領域の表面角度 θ_j の分布（ステップS8の処理での演算結果）の各々をつなぎ合わせる処理を行うことによって測定部位P全体の表面角度分布 θ_j を算出し、その算出結果に基づいて測定部位P全体のエッジプロファイルを算出する（つなぎ合わせ演算手段の一例）。 30

【0032】

図14は、形状測定装置Z'により得られる2台のカメラ各々に対応する表面角度分布及びエッジプロファイルのフィッティング処理前後の状態を表す図である。図14(a)はフィッティング処理前、図14(b)はフィッティング処理後を表す。

また、図中、「表面角度分布R」及び「エッジプロファイルR」と表記するものは、第1カメラ20Rに対応する表面角度 θ_j の分布及びエッジプロファイルを表す。同様に、「表面角度分布L」及び「エッジプロファイルL」と表記するものは、第2カメラ20Lに対応する表面角度 θ_j の分布及びエッジプロファイルを表す。

図14(a)に示すように、第1カメラ20Rに対応する領域の表面角度分布R及びこれに基づくエッジプロファイルRと、第2カメラ20Lに対応する領域の表面角度分布L 40 及びこれに基づくエッジプロファイルLとの間にはオフセット（ずれ）が生じ得る。

これらの結果を、重複する領域の部分についてフィッティング処理を行うことによってつなぎ合わせれば、図14(b)に示すように、測定部位Pの全領域の表面角度分布（全体）或いはエッジプロファイル（全体）が得られる。

【0033】

また、計算機30'は、LED駆動回路11を通じて複数のLED12を順次切り替えて点灯させる過程（ステップS1～S5）において、一部のLED12については、各カメラ20R、20Lに対応する複数のLED12を同時に点灯させるよう制御する（切替型光照射手段の一例）。

図13に示すように、円弧上に複数配列されたLED12のうち、第1カメラ20Rに 50

対し、第2カメラ20Lとは反対側に配置されているLED12Rの一部（例えば、LED12Ra）については、その出力光は、ウェーハ1により遮断されて第2カメラ20Lには到達しない（検出されない）。

同様に、第2カメラ20Lに対し、第1カメラ20Rとは反対側に配置されているLED12Lの一部（例えば、LED12La）については、その出力光は、ウェーハ1により遮断されて第2カメラ20Lには到達しない。

そこで、計算機30'は、ステップS2において、第1カメラ20Rに対応する一部のLED（LED12Raなど）と、第2カメラ20Lに対応する一部のLED（LED12Laなど）とが同時に点灯するようLED駆動回路11を制御する。

これにより、測定時間を短縮できる。

10

なお、図13に示した形状測定装置Z'は、2台のカメラ20を備えるものであるが、3台以上のカメラ20を備えた構成としても、同様の作用効果が得られる。

【0034】

以上に示した実施形態では、拡散光源であるLED12をそのまま光源として採用している。このような構成を採用できる理由は、各LED12が、測定部位Pの大きさ（奥行き長さ）に比べて十分に遠い距離に配置されており、各LED12の光が測定部位Pにおいて平行光とみなせるためである。

一方、LED12等の光源を測定部位Pに近づけて配置する場合、その光源の光を、レンズを用いて平行光とした上で測定部位Pに照射することが望ましい。

また、前述した実施形態では、光源としてLED12を採用しているが、レーザダイオードや白熱電球、蛍光灯など、他の種類の光源を採用してもかまわない。

20

また、前述した実施形態では、ウェーハ1の端面の形状を、ウェーハ1の厚み方向全体に渡って測定するため、カメラ20は、ウェーハ1を真横から見るように設定されていた。しかしながら、カメラ20は、目的に応じて前述の実施形態とは異なる位置及び向きで設置されることも考えられる。

また、一般的なエッジプロファイル測定では、測定部位P各々について、一次元方向（ウェーハ1の厚み方向）の表面角度分布を測定できれば十分である。このため、測定部位Pからの反射光の輝度を検出する手段として、複数の光電変換素子が一行に（一次元方向に）配列されて構成された一次元の受光器を用いることも考えられる。

なお、アルミサブストレート、ガラスサブストレートなどの薄片試料についても、同様にエッジプロファイルの測定が可能である。

30

【0035】

また、前述した実施形態では、測定部位Pからの反射光を直接的にカメラ20に入射させる構成を示した。しかしながら、測定部位Pからの反射光を変向させる光学機器（ミラーなど）を設け、その光学機器により変向された反射光をカメラ20に入射させる構成も考えられる。これにより、光源（LED12）が配置される平面に沿う方向への反射光を検出したい場合に、設置スペースが比較的大きいカメラ20と光源との干渉を回避できる。これにより、光照射角度の範囲を拡大でき、測定部位Pの表面角度の測定範囲をより広げることができる。

また、前述した実施形態における光照射装置10は、複数の光源（LED12）を順次切り替えて点灯させる切替型の光照射装置であった。しかしながら、光照射装置としては、1つ又は比較的小数の光源（LED等）を一の平面内の複数の位置（例えば、光照射装置10において各LED12が配置された位置）各々に順次移動させる光源移動機構を備え、その移動先の各位置で光源を点灯させる移動型の光照射装置も考えられる。このような移動型の光照射装置によっても、前記光照射装置10と同様に、測定部位Pに対して順次異なる照射角度 ϕ で光を照射する装置を構成できる。

40

この移動型の照明装置としては、例えば、基準位置Qを中心とする円弧状にレールと、そのレールに沿ってLED等の光源を移動させる移動機構と、この移動機構によってLEDが予め定められた複数の位置各々に到達したことを検知する位置センサと、光源がその位置センサにより検知される各位置へ順次移動するよう前記移動機構を制御する制御装置

50

とを備えたものが考えられる。

【0036】

ところで、複数の光源（前述の実施形態ではLED12）を切り替えて測定部位Pに光を照射する光照射装置10を用いる場合、光源それぞれの個体差により、各光源から基準位置Qの測定部位Pに照射される光の光量（強度）にばらつきが生じ得る。そこで、そのばらつきが極力小さくなるよう予め調整することが重要である。

具体的には、測定部位Pが配置される基準位置Qに光センサを配置し、各光源を順次切り替えて点灯させたときに、その光センサで検出される光強度がほぼ一定のレベルとなるように各光源に供給する電力（電圧や電流）、即ち、各光源の発光量（発光強度）を予め調整しておく。

10

例えば、光源がLEDである場合、各LEDに対する電力供給ラインに可変抵抗を設け、この可変抵抗の抵抗値を調整することによって各LEDへの供給電流を予め調整する。或いは、各LEDに対する電力供給をパルス幅変調（PWM）によって制御可能とするパルス幅変調装置を設け、これによって各LEDへの供給電力を予め調整する。

その他、測定部位Pが配置される基準位置Qに反射方向や反射率が既知の反射部材（鏡など）を配置し、各光源を順次切り替えて点灯させたときにカメラ20で検出される光強度のばらつきに基づいて、光源ごとの光強度の補正係数を予め算出して記憶しておくことも考えられる。そして、実際の測定時には、その補正係数に基づく補正後の測定値（光強度分布）を用いて測定する。

以上に示すような調整を行うことにより、光源の特性のばらつきに起因する測定誤差が発生することを回避できる。

20

【0037】

〔形状測定装置Z2（第2応用例）〕

次に、図15を参照しつつ、形状測定装置Zの第2応用例である形状測定装置Z2について説明する。以下、形状測定装置Z2について、前述した形状測定装置Zと異なる点についてのみ説明する。なお、図15において、図1に示した構成要素と同じものについては、同じ符号を記している。また、図15（a）は、形状測定装置Z2の平面図（一部ブロック図）、図15（b）は、形状測定装置Z2の側面図である。

図15に示すように、形状測定装置Z2は、前記形状測定装置Zと全く同じ構成要素を備えるが、前記光照射装置10における前記LED12及び前記カメラ20の配置位置が前記形状測定装置Zとは異なる。

30

図1に示したように、前記形状測定装置Zにおいては、全てのLED12の発光部が、前記基準位置Qを含み、ウェーハ1（薄片試料）の面に直交する1つの平面内、即ち、基準位置Q（測定部位P）におけるウェーハ1（薄片試料）の厚み方向の断面を含む平面内に位置するように配置されていた。

一方、図15（b）に示すように、形状測定装置Z2においては、基準位置Q（測定部位P）におけるウェーハ1（薄片試料）の厚み方向の断面を含む平面50の両側のうちの一方に各LED12の点灯位置が、他方にカメラ20（第1の光検出手段の一例）の配置位置がそれぞれ位置している。なお、平面50は、基準位置Q（測定部位P）を含み、ウェーハ1（薄片試料）の表裏の面にほぼ直交する平面である。

40

そして、形状測定装置Z2において、各LED12の点灯位置が並ぶ平面に対し直交する方向から見たときの各LED12及びカメラ20の位置関係（図15（a））は、前記形状測定装置Zにおけるそれらの位置関係（図1（a））と同じである。

このような形状測定装置Z2においても、前記形状測定装置Zを用いて行ったのと同じ測定及び演算を行うことにより、ウェーハ1の測定部位Pの形状測定（エッジプロファイルの算出）が可能である。また、形状測定装置Z2においては、測定部位Pの正面方向においてLED12を連続的に並べても、そのLED12がカメラ20と干渉しないように配置できるため、測定部位Pの正面方向の一部の範囲について、表面形状測定の空間分解能をより高めることができる。

【0038】

50

〔形状測定装置 Z 3（第 3 応用例）〕

次に、図 1 6 を参照しつつ、形状測定装置 Z の第 3 応用例である形状測定装置 Z 3 について説明する。以下、形状測定装置 Z 3 について、前述した形状測定装置 Z 2 と異なる点についてのみ説明する。なお、図 1 6 において、図 1 及び図 1 5 に示した構成要素と同じものについては、同じ符号を記している。また、図 1 6（a）は、形状測定装置 Z 3 の平面図（一部ブロック図）、図 1 6（b）は、形状測定装置 Z 3 の側面図である。

図 1 6 に示すように、形状測定装置 Z 3 は、前記形状測定装置 Z 2 が備える全ての構成要素を備え、前記光照射装置 1 0 における前記 L E D 1 2 及び前記カメラ 2 0 の配置位置も前記形状測定装置 Z 2 と同じである。なお、カメラ 2 0 は、テレセントリックレンズ方式のカメラである。

さらに、形状測定装置 Z 3 は、ウェーハ 1 の測定部位 P（端面）に対してシート光 L s（シート状の光、スリット光といってもよい）を照射するレーザ光源 4 0（第 2 の光照射手段の一例）と、そのレーザ光源 4 0 を駆動するレーザ駆動回路 4 1 とを備えている。

ここで、前記レーザ光源 4 0 は、測定部位 P におけるウェーハ 1 の厚み方向の断面を含む平面 5 0 内、即ち、基準位置 Q（測定部位 P）を含み、ウェーハ 1 の表裏の面にほぼ直交する平面 5 0 内でシート光 L s を照射する。

これにより、形状測定装置 Z 3 においては、前記シート光 L s を含む平面 5 0 の両側のうちの一方に前記光照射装置 1 0 における L E D 1 2 の点灯位置が、他方に前記カメラ 2 0（第 1 の光検出手段の一例）の配置位置がそれぞれ位置している。

また、前記レーザ駆動回路 4 1 は、計算機 3 0 からの制御指令に従って、レーザ光源 4 0 によるシート光 L s の出射又はその停止を制御する。

【0039】

そして、前記カメラ 2 0 は、前記 L E D 1 2 から測定部位 P に照射された光の正反射方向の反射光の二次元の輝度分布を検出するもの（第 1 の光検出手段の一例）であると同時に、前記レーザ光源 4 0 が出射するシート光 L s の測定部位 P からの正反射方向以外の方向への反射光の二次元の輝度分布を検出するもの（第 2 の光検出手段の一例）でもある。

さらに、形状測定装置 Z 3 が備える計算機 3 0 は、形状測定装置 Z 1、Z 3 が備える計算機 3 0 と同じ処理を実行する機能を備え、さらに、前記レーザ駆動回路 4 1 の制御プログラムを実行する機能と、光切断法による形状演算プログラムを実行する機能を備えている。なお、レーザ駆動回路 4 1 の制御プログラムや光切断法による形状演算プログラムは、計算機 3 0 の記憶部に予め記憶されている。

即ち、計算機 3 0 は、レーザ駆動回路 4 1 を制御することによってレーザ光源 4 0 から測定部位 P にシート光 L s を照射させ、シート光 L s 照射時の測定部位 P からの反射光の画像データ（二次元輝度分布データ）をカメラ 2 0 を通じて取り込み、その画像データに基づいて、周知の光切断法の演算により測定部位 P の表面形状を算出する機能を備えている（光切断法形状演算手段の一例）。

【0040】

図 1 7 は、シート光を照射中の測定部位 P（a）、（b）及びその測定部位 P のカメラ 2 0 による撮影画像（c）の一例を模式的に表した図である。また、図 1 7（a）は、測定部位 P をシート光 L s が形成する面に垂直な方向から見た図、図 1 7（b）は、測定部位 P をシート光 L s の照射方向から見た図である。

シート光 L s は、前述したように測定部位 P におけるウェーハ 1 の厚み方向の断面を含む平面 5 0 内にある。このため、測定部位 P の表面においてシート光 L s により描かれる線 C L 0 は、ちょうど測定部位 P におけるウェーハ 1 の厚み方向の断面の輪郭（表面形状）に沿う線状となる。また、その線 C L 0 は、測定部位 P をシート光 L s の照射方向から見た場合は図 1 7（b）に示すようにほぼ直線状となる。

一方、測定部位 P が粗面である（光沢面でない）場合、シート光 L s を照射中の測定部位 P をカメラ 2 0 で観測すると、図 1 7（c）に示すように、シート光 L s の反射光により形成される高輝度部分の像が線状の像 C L 1（以下、光切断線の像という）となる。この光切断線の像 C L 1 の Y 軸方向の座標の分布（X 軸方向における分布）は、測定部位 P

10

20

30

40

50

の厚み方向における表面高さ分布に対応した値となる。

【0041】

具体的には、図17に示すように、測定部位Pにおいて、厚み方向の所定の基準となる位置（図17（a）では、ウェーハ1のおもて面と端面（側面）との境界位置）における表面高さを基準とした場合の厚み方向各位置の表面高さを h 、測定部位Pをカメラ20で撮像して得られた画像における、前記基準となる位置に相当する位置の前記光切断線の像CL1のY座標と各X座標における前記光切断線の像CL1のY座標との差を h_{ccd} 、シート光Lsと測定部位Pからカメラ20に向かう反射光とのなす角度を θ_x 、測定部位Pからカメラ20の撮像素子へ至る経路の光学系の倍率を M とした場合、次の（4）式が成立する。

10

$$h = h_{ccd} / \{M \cdot \sin(\theta_x)\} \quad \cdots (4)$$

従って、計算機30が、カメラ20による撮像画像に基づいて前記光切断線の像CL1のY座標の分布（X軸方向（ウェーハ1の厚み方向）の各位置における h_{ccd} の分布）を検出し、検出したY座標の値を（4）式に代入して演算することによって測定部位Pのエッジプロファイル（厚み方向における表面高さ分布）を算出できる。

【0042】

次に、図18に示すフローチャートを参照しつつ、形状測定装置Z3の測定制御手順について説明する。図18に示す測定制御手順は計算機30が実行するものであり、具体的には、測定部位Pの表面の状態を自動判別し、その表面の状態に適した表面形状測定を実行するよう制御する手順である。以下、S21、S22、…は、処理手順（ステップ）の識別符号を表す。なお、ウェーハ1の測定部位Pが、基準位置Qに位置するように配置された状態で、図18に示す処理が開始されるものとする。

20

〔ステップS21、S22〕

まず、計算機30は、レーザ光源駆動回路41を制御することにより、レーザ光源40から測定部位Pにシート光Lsを照射させる（S21）。

さらに、計算機30は、シート光Lsの照射中におけるカメラ20による測定部位Pの撮像（シャッターON）及び撮影画像の記憶を実行する（S22）。カメラ20による撮影画像は、計算機30が備えるハードディスクなどの記憶手段に記憶される。

【0043】

〔ステップS23〕

次に、計算機30は、レーザ光源40によりシート光Lsを照射中のカメラ20の撮影画像（第2の光検出手段による検出輝度に相当）に基づいて、光照射角度変更方式による形状演算結果と、光切断法に基づく形状演算結果とのいずれを測定部位Pの形状評価に採用するかを自動判別する（S23、第2の採用判別手段の一例）。ここで、光照射角度変更方式による形状演算結果とは、図12に示したLED12の点灯制御及び表面角度分布演算（S1～S11）による測定部位Pの表面角度の分布の演算結果のことである。

30

具体的には、計算機30は、シート光Lsを照射中のカメラ20の撮影画像に、X軸方向におけるウェーハ1の厚みに相当する範囲において連続する線状の像（所定輝度以上の画素からなる像）である前記光切断線の像CL1（図17参照）が含まれているか否かを判別する。ここで、測定部位Pの表面が粗面である場合、シート光Lsが測定部位Pで散乱反射し、その反射光がカメラ20に到達するので、カメラ20の撮影画像に前記光切断線の像CL1が表れる。一方、測定部位Pの表面が研磨された光沢面（鏡面等）である場合、シート光Lsが測定部位Pで正反射し、その反射光はカメラ20に到達しないので、カメラ20の撮影画像に前記光切断線の像CL1が表れない。

40

そして、計算機30は、カメラ20の撮影画像に前記光切断線の像CL1が含まれていると判別した場合には、光切断法に基づく形状演算による測定部位Pの表面形状の演算結果を採用すると判別し、そうでなければ前記光照射角度変更方式による形状演算結果を採用すると判別する。

【0044】

〔ステップS24、S25〕

50

そして、計算機 30”は、前記光照射角度変更方式による形状演算結果を採用すると判別した場合は、図 12 に示した LED 12 の点灯制御及び表面角度分布演算 (S1~S11) を実行することにより、測定部位 P の表面角度の分布に基づくエッジプロファイルの算出及び算出結果の記憶等を行い (S24)、測定処理を終了させる。

一方、計算機 30”は、光切断法に基づく形状演算結果を採用すると判別した場合は、ステップ S22 で撮影した画像 (画像データ) に基づいて、光切断法による測定部位 P のエッジプロファイルの算出 (表面形状演算) 及び算出結果の記憶を行い (S25)、測定処理を終了させる。このとき、計算機 30”は、必要に応じて、測定部位 P のエッジプロファイルをその表示部に表示させる。具体的には、計算機 30”は、測定部位 P の厚み方向における表面高さ h の分布 (エッジプロファイル) を、前記 (4) 式に基づいて算出する。 10

このように、形状測定装置 Z3 は、ウェーハ 1 (薄片試料) の端面が光沢面であっても粗面であってもその表面形状を測定することが可能である。しかも、ユーザが、測定部位 P の状態に応じて測定内容や演算内容を切り替える手間を要しない。

【0045】

ところで、図 18 に示したステップ S23 の処理は、前記レーザ光源 40 による光照射時のカメラ 20 による撮影画像 (第 2 の光検出手段による検出輝度に相当) に基づいて、前記光照射角度変更方式による形状演算結果 (表面角度分布の演算結果) と、光切断法に基づく形状演算結果とのいずれを測定部位 P の形状評価に採用するかを判別する例を示した。 20

これに対し、計算機 30” (第 1 の採用判別手段の一例) が、ステップ S23 において、光照射装置 10 (第 1 の光照射手段の一例) における LED 12 の光を照射時のカメラ 20 による撮影画像 (検出輝度) に基づいて、前記光照射角度変更方式による形状演算結果 (表面角度分布演算手段による測定部位の表面角度の分布の演算結果に相当) と、光切断法に基づく形状演算結果とのいずれを測定部位 P の形状評価に採用するかを判別することも考えられる。

【0046】

例えば、計算機 30”が、前記光照射装置 10 における予め定められた 1 つ又は複数の LED 12 を点灯させ、そのときのカメラ 20 による撮影画像 (第 1 の光検出手段による検出輝度に基づく画像) に、点灯した LED 12 の位置及び数に応じた数の帯状の像 (図 8 参照) が含まれるか否かを判別し、その判別結果に応じていずれの演算結果を採用するかを判別すること等が考えられる。 30

測定部位 P が研磨後の鏡面である場合、LED 12 の光が測定部位 P において正反射し、その反射光がカメラ 20 に到達するため、図 8 に高輝度部分として示すような Y 軸方向に伸びる帯状の像が表れる。この帯状の像の数は、測定部位 P の概ねの形状が既知であれば、点灯した LED 12 の位置及び数に応じて一意に定まる。

一方、測定部位 P の表面が研磨前の粗面である場合、点灯した LED 12 の光が測定部位 P で散乱反射し、その反射光はカメラ 20 に到達しないので、カメラ 20 の撮影画像に前記帯状の像が表れない。

このため、計算機 30”が、カメラ 20 の撮影画像に点灯した LED 12 の位置及び数に応じた数の前記帯状の像が含まれていると判別した場合には、前記光照射角度変更方式による形状演算結果を採用すると判別し、そうでなければ光切断法に基づく形状演算による測定部位 P の表面形状の演算結果を採用すると判別することが考えられる。 40

前記形状測定装置 Z3 は、以上に示した処理を実行することによっても、ウェーハ 1 (薄片試料) の端面の状態に応じて測定内容や演算内容を自動的に切り替えるものとなる。

【0047】

また、図 16 に示した前記レーザ光源 40 は、測定部位 P におけるウェーハ 1 の厚み方向の断面を含む平面 50 内でシート光 Ls を照射するよう配置されているが、それ以外の平面内でシート光 Ls を照射するよう配置されることも考えられる。但し、シート光 Ls が前記平面 50 以外の平面内で照射される場合、測定部位 P の表面においてシート光 Ls 50

により描かれる線 C L 0 は、測定部位 P におけるウェーハ 1 の厚み方向の断面の輪郭（表面形状）に対してずれた線状となる。このため、前記平面 5 0 に対するシート光 L s を含む平面のずれが大きくなるに従って、前記光照射角度変更方式による形状演算結果と、光切断法に基づく形状演算結果との間の誤差が大きくなる。

また、シート光 L s の反射光の二次元の輝度（画像）を検出するカメラが、L E D 1 2 の光の反射光の輝度を検出する前記カメラ 2 0 と別個に設けられた例も考えられる。

【産業上の利用可能性】

【0 0 4 8】

本発明は、半導体ウェーハ、ハードディスク用のアルミサブストレートやガラスサブストレート等の薄片試料の形状測定装置への利用が可能である。

10

【図面の簡単な説明】

【0 0 4 9】

【図 1】本発明の実施形態に係る形状測定装置 Z の概略構成図。

【図 2】光照射角度及び表面角度の定義を表す図。

【図 3】形状測定装置 Z に採用され得るテレセントリックレンズ方式のカメラの特性を表す図。

【図 4】形状測定装置 Z にテレセントリックレンズ方式のカメラを採用した場合の測定部位の表面角度と光路との関係を模式的に表した図。

【図 5】形状測定装置 Z により算出された測定部位の表面角度分布及びエッジプロファイルを表すグラフ。

20

【図 6】形状測定装置 Z に採用され得る非テレセントリックレンズ方式のカメラの特性を表す図。

【図 7】形状測定装置 Z に非テレセントリックレンズ方式のカメラを採用した場合の測定部位の表面角度と光路との関係を模式的に表した図。

【図 8】測定部位の形状及び形状測定装置 Z のカメラによる撮影画像の第 1 例を模式的に表した図。

【図 9】測定部位の形状及び形状測定装置 Z のカメラによる撮影画像の第 2 例を模式的に表した図。

【図 1 0】形状測定装置 Z による撮影画像の一例を表す図。

【図 1 1】所定の演算対象位置における光照射角度と反射光輝度との対応関係の一例を表すグラフ。

30

【図 1 2】形状測定装置 Z による測定手順を表すフローチャート。

【図 1 3】形状測定装置 Z の第 1 応用例である形状測定装置 Z ' の概略構成を表す図。

【図 1 4】形状測定装置 Z ' により得られる 2 台のカメラ各々に対応する表面角度分布及びエッジプロファイルのフィッティング処理前後の状態を表す図。

【図 1 5】形状測定装置 Z の第 2 応用例である形状測定装置 Z 2 の概略構成を表す図。

【図 1 6】形状測定装置 Z の第 3 応用例である形状測定装置 Z 3 の概略構成を表す図。

【図 1 7】形状測定装置 Z 3 のカメラによる撮像画像の一例を模式的に表した図。

【図 1 8】形状測定装置 Z 3 の測定制御手順を表すフローチャート。

【符号の説明】

40

【0 0 5 0】

Z、Z'、Z 2、Z 3…形状測定装置

1…ウェーハ

1 0…光照射装置

1 1…L E D 駆動回路

1 2…L E D

1 3…切り欠き部

2 0…カメラ

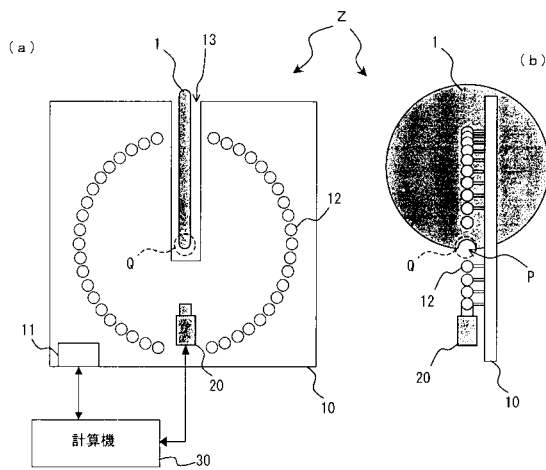
3 0、3 0'、3 0''…計算機

4 0…レーザ光源

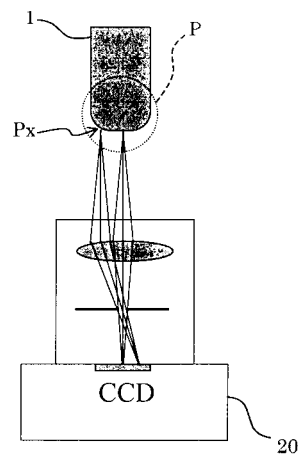
50

- 4 1 … レーザ駆動回路
 5 0 … 測定部位におけるウェーハの厚み方向の断面を含む平面
 L s … シート光
 C L 0 … シート光により描かれる線
 C L 1 … 光切断線の像
 ϕ … 光照射角度
 θ … 表面角度

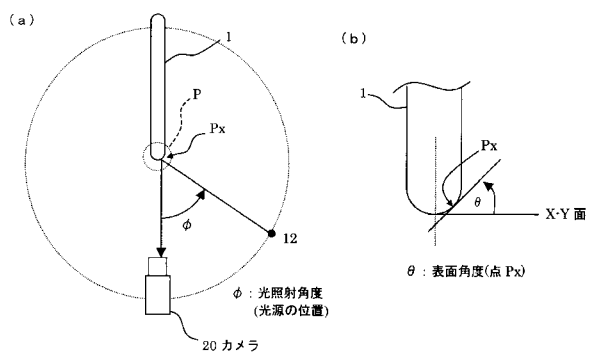
【図 1】



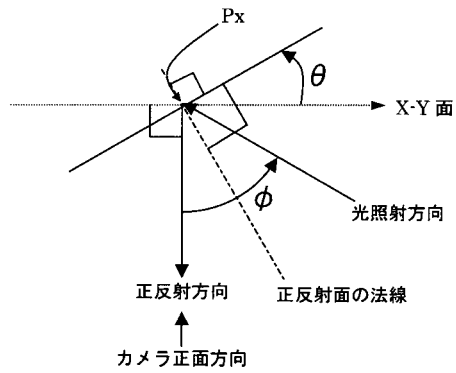
【図 3】



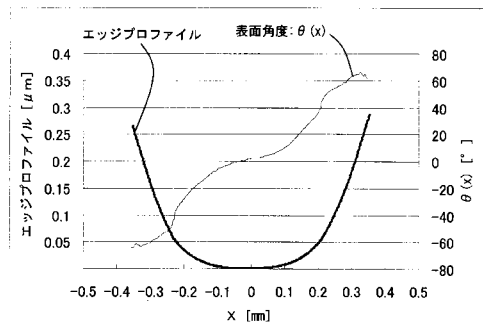
【図 2】



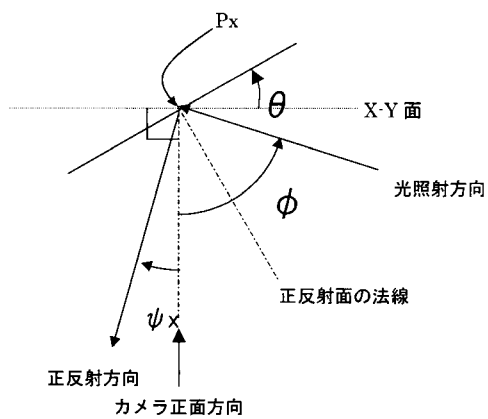
【図 4】



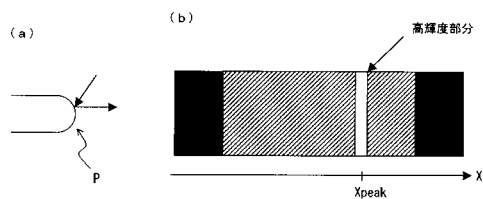
【図 5】



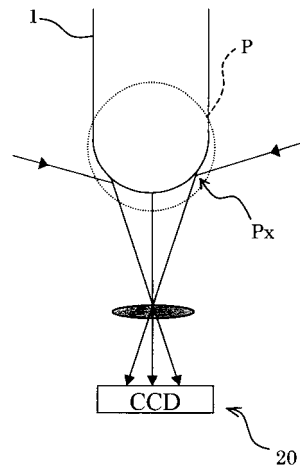
【図 7】



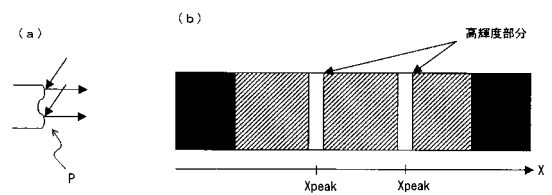
【図 8】



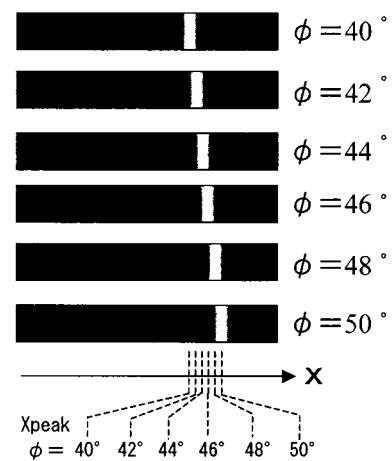
【図 6】



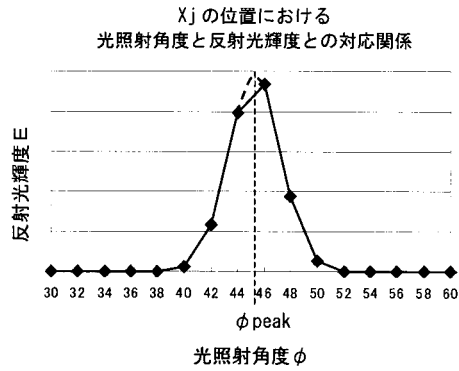
【図 9】



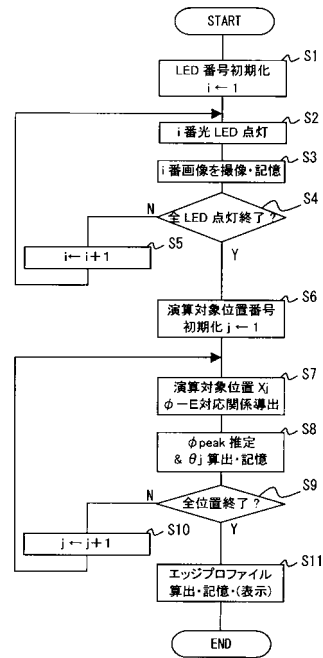
【図 10】



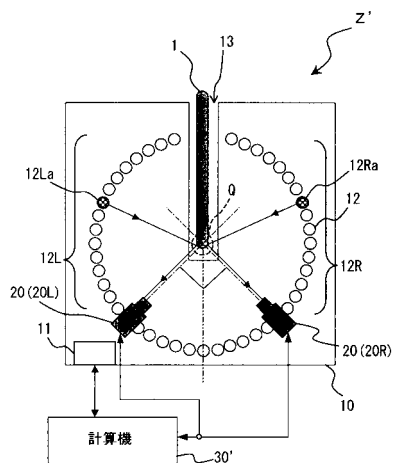
【図 1 1】



【図 1 2】

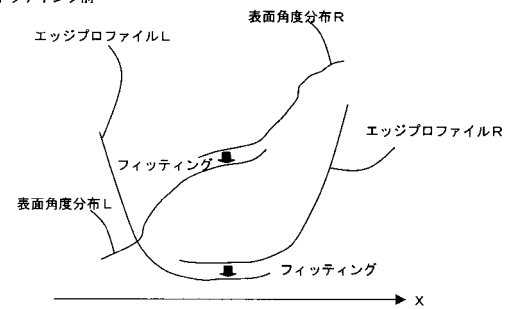


【図 1 3】

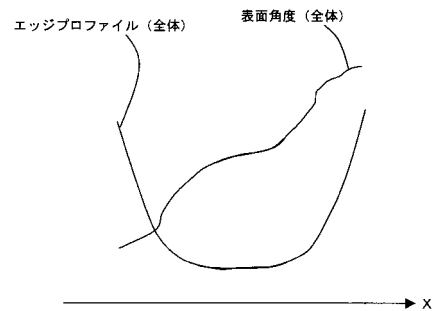


【図 1 4】

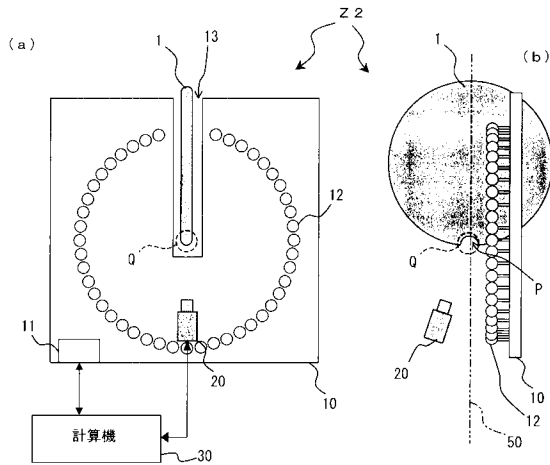
(a) フィッティング前



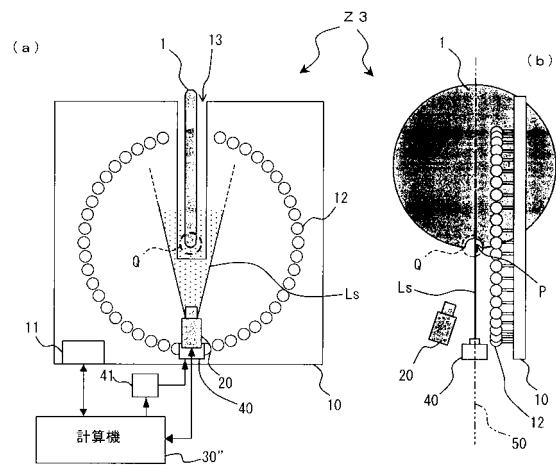
(b) フィッティング後



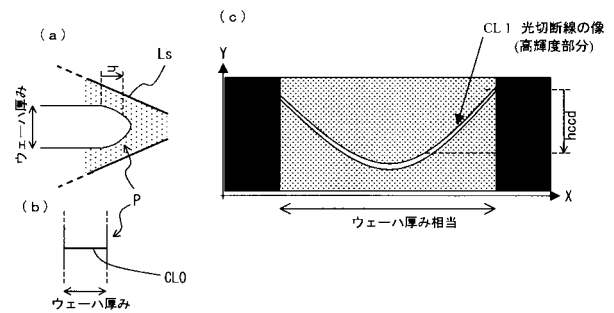
【図 15】



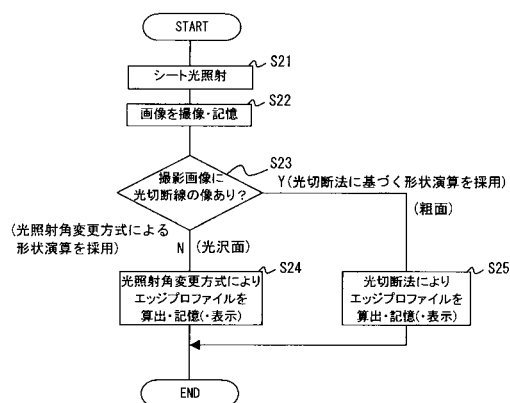
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA52 BB03 CC19 FF01 FF02 FF41 GG04 GG06 GG07 GG13
HH02 HH05 HH13 HH14 JJ03 JJ05 JJ09 JJ26 LL04 MM04
PP13 QQ03 QQ24 SS03 SS13 UU03 UU05