

(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2010-34118

(P2010-34118A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

|                                 |                        |             |
|---------------------------------|------------------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                    | F I                    | テーマコード (参考) |
| <b>H O 1 L 21/304 (2006.01)</b> | H O 1 L 21/304 6 2 2 S | 3 C O 3 4   |
| <b>B 2 4 B 49/12 (2006.01)</b>  | H O 1 L 21/304 6 2 1 E | 4 M 1 0 6   |
| <b>H O 1 L 21/66 (2006.01)</b>  | B 2 4 B 49/12          |             |
|                                 | H O 1 L 21/66 J        |             |

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2008-191882 (P2008-191882) | (71) 出願人 | 000000239                |
| (22) 出願日  | 平成20年7月25日 (2008.7.25)       |          | 株式会社荏原製作所                |
|           |                              |          | 東京都大田区羽田旭町 1 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 | 金馬 利文                    |
|           |                              |          | 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                  |
|           |                              | (72) 発明者 | 草 宏明                     |
|           |                              |          | 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

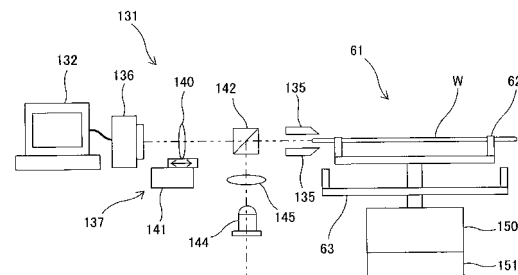
(54) 【発明の名称】 基板処理装置

## (57) 【要約】

【課題】高スループットの研磨ユニットとの組み合わせに適した、低コストの研磨状態検査ユニットを有する基板処理装置を提供する。

【解決手段】本発明の基板処理装置は、置基板Wの周縁部を研磨する研磨ユニット70A、70Bと、研磨ユニット70A、70Bにより研磨された基板Wの周縁部を撮像する撮像モジュール131と、撮像モジュール131により撮像された画像から基板の研磨状態を検査する画像処理部132とを備え、撮像モジュール131は、研磨ユニット70A、70Bが基板Wの周縁部を研磨していないときに基板の周縁部を撮像する。

【選択図】 図9



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基板の周縁部を研磨する研磨ユニットと、  
前記研磨ユニットにより研磨された基板の周縁部を撮像する撮像モジュールと、  
前記撮像モジュールにより撮像された画像から基板の研磨状態を検査する画像処理部とを備え、

前記撮像モジュールは、前記研磨ユニットが基板の周縁部を研磨していないときに前記基板の周縁部を撮像することを特徴とする基板処理装置。

**【請求項 2】**

前記基板処理装置は、前記研磨ユニットの研磨条件を決定する研磨条件決定部をさらに備え、

前記画像処理部の検査結果は前記研磨条件決定部に送られ、

前記研磨条件決定部は前記検査結果に基づいて前記研磨ユニットでの研磨条件を決定することを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

**【請求項 3】**

前記撮像モジュールは、基板の周縁部を多方向から撮像することを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

**【請求項 4】**

前記撮像モジュールは、基板の周縁部に近接して配置されたプリズムと、前記プリズムを通じて基板の周縁部を撮像する撮像カメラとを備えていることを特徴とする請求項 3 に記載の基板処理装置。

**【請求項 5】**

前記撮像モジュールは、複数の撮像カメラを有していることを特徴とする請求項 3 に記載の基板処理装置。

**【請求項 6】**

前記画像処理部は、前記撮像モジュールによって取得された画像の色に基づいて基板の周縁部の研磨状態を検査することを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

**【請求項 7】**

前記画像処理部は、

前記撮像モジュールにより取得された画像の色を数値に表し、

前記数値が予め設定された閾値を上回ったとき、または下回ったときに、除去すべき対象物が前記周縁部から除去されたと判断することを特徴とする請求項 6 に記載の基板処理装置。

**【請求項 8】**

前記基板処理装置は、基板をその中心軸回りに回転させる基板保持回転機構をさらに備え、

前記撮像モジュールは、前記基板回転機構によって保持された基板の周縁部に近接して配置されており、

前記基板保持回転機構によって基板を断続的または連続的に回転させながら、前記撮像モジュールは基板の周縁部を撮像することを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

**【請求項 9】**

前記撮像モジュールは、基板の周縁部の静止画像を取得することを特徴とする請求項 8 に記載の基板処理装置。

**【請求項 10】**

前記撮像モジュールは、基板の周縁部の積算画像を取得することを特徴とする請求項 8 に記載の基板処理装置。

**【請求項 11】**

前記撮像モジュールは、ラインスキャンカメラを有していることを特徴とする請求項 8 に記載の基板処理装置。

**【請求項 12】**

10

20

30

40

50

前記撮像モジュールは、視野の異なる複数のカメラを有していることを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 13】

前記基板処理装置は、前記研磨ユニットによって研磨された基板の所定の物理量を測定する測定ユニットをさらに備えており、

前記撮像モジュールは、前記測定ユニットに組み込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 14】

前記測定ユニットは、基板をその中心軸回りに回転させる基板保持回転機構を有しており、

前記撮像モジュールは、前記基板保持回転機構によって保持された基板の周縁部に近接して配置されていることを特徴とする請求項 13 に記載の基板処理装置。

【請求項 15】

前記基板処理装置は、前記研磨ユニットによって研磨された基板を後処理する少なくとも 1 つの後処理ユニットをさらに備えており、

前記撮像モジュールは、前記少なくとも 1 つの後処理ユニットに組み込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 16】

前記少なくとも 1 つの後処理ユニットは、基板をその中心軸回りに回転させる基板保持回転機構を有しており、

前記撮像モジュールは、前記基板保持回転機構によって保持された基板の周縁部に近接して配置されていることを特徴とする請求項 15 に記載の基板処理装置。

【請求項 17】

前記基板処理装置は、前記画像処理部の検査結果を保存する記憶装置をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 18】

前記基板処理装置は、

前記撮像モジュールによって取得された画像を保存する記憶装置と、

前記記憶装置に保存された画像を表示する画像表示部とをさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 19】

前記記憶装置は、前記画像が取得された位置を示す情報を該画像と共に保存し、

前記画像表示部は、要求された位置の画像を表示するように構成されることを特徴とする請求項 18 に記載の基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板の周縁部を研磨する研磨ユニットを有する基板処理装置に関し、特に研磨された表面状態を検査する機構を備えた基板処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス製造工程においては、高スループットの要請がますます高まっている。このような要請の下、最近では、複数の研磨モジュールで基板を取り囲むように配置した研磨装置が開発されている。このタイプの研磨装置は、回転する基板の周縁部を複数の研磨モジュールで同時に研磨することで、高スループットを実現する。一般に、研磨装置には、基板の研磨終点を検知するためのモジュールが設けられる。このような研磨終点検知モジュールとして、研磨装置の中に組み込まれた、いわゆる In-Situ 型の研磨終点検知モジュールがある。

【0003】

In-Situ 型の研磨終点検知モジュールは、研磨モジュールが基板の周縁部を研磨してい

10

20

30

40

50

る間、基板の周縁部上の膜を監視し、膜が除去されたときに研磨終点に達したと判断する。したがって、研磨終点検知モジュールは研磨モジュールに隣接して配置することが必要とされる。しかしながら、研磨中は複数の研磨モジュールが基板にアクセスしているため、研磨終点検知モジュールが基板にアクセスするためのスペースがないという問題がある。また、高スループットの研磨装置は、ウエハ 1 枚当たり数秒で研磨するため、研磨中に研磨終点を検知する意義が乏しくなっている。

#### 【 0 0 0 4 】

さらに、研磨中に基板に供給される研磨液（通常は純水）は、研磨終点検知モジュールの終点検知動作を阻害するおそれがある。In-Situ型の研磨終点検知モジュールの中には、このような研磨液の影響を避けるために、透明のテープを介して基板の周縁部を監視するものがある。このタイプのモジュールでは、透明のテープを繰り出しながらテープを基板の周縁部に接触させ、テープの裏側から基板の周縁部の研磨状態を監視する。しかしながら、透明度の高いテープが必要となり、コストの増大を招いてしまう。

【特許文献 1】特表 2 0 0 7 - 5 2 4 2 3 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 2 4 1 4 3 4 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 3 - 2 0 9 0 7 5 号公報

【特許文献 4】特許 2 9 9 9 7 1 2 号公報

【特許文献 5】特開平 1 1 - 3 5 1 8 5 0 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【 0 0 0 5 】

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、高スループットの研磨ユニットとの組み合わせに適した低コストの研磨状態検査ユニットを有する基板処理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】

#### 【 0 0 0 6 】

上述した目的を達成するために、本発明の一態様は、基板の周縁部を研磨する研磨ユニットと、前記研磨ユニットにより研磨された基板の周縁部を撮像する撮像モジュールと、前記撮像モジュールにより撮像された画像から基板の研磨状態を検査する画像処理部とを備え、前記撮像モジュールは、前記研磨ユニットが基板の周縁部を研磨していないときに前記基板の周縁部を撮像することを特徴とする基板処理装置である。

#### 【 0 0 0 7 】

本発明の好ましい態様は、前記基板処理装置は、前記研磨ユニットの研磨条件を決定する研磨条件決定部をさらに備え、前記画像処理部の検査結果は前記研磨条件決定部に送られ、前記研磨条件決定部は前記検査結果に基づいて前記研磨ユニットでの研磨条件を決定することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、基板の周縁部を多方向から撮像することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、基板の周縁部に近接して配置されたプリズムと、前記プリズムを通じて基板の周縁部を撮像する撮像カメラとを備えていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、複数の撮像カメラを有していることを特徴とする。

#### 【 0 0 0 8 】

本発明の好ましい態様は、前記画像処理部は、前記撮像モジュールによって取得された画像の色に基づいて基板の周縁部の研磨状態を検査することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記画像処理部は、前記撮像モジュールにより取得された画像の色を数値に表し、前記数値が予め設定された閾値を上回ったとき、または下回ったときに、除去すべき対象物が前記周縁部から除去されたと判断することを特徴とする。

#### 【 0 0 0 9 】

本発明の好ましい態様は、前記基板処理装置は、基板をその中心軸回りに回転させる基板保持回転機構をさらに備え、前記撮像モジュールは、前記基板回転機構によって保持された基板の周縁部に近接して配置されており、前記基板保持回転機構によって基板を断続的または連続的に回転させながら、前記撮像モジュールは基板の周縁部を撮像することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、基板の周縁部の静止画像を取得することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、基板の周縁部の積算画像を取得することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、ラインスキャンカメラを有していることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記撮像モジュールは、視野の異なる複数のカメラを有していることを特徴とする。

#### 【0010】

本発明の好ましい態様は、前記基板処理装置は、前記研磨ユニットによって研磨された基板の所定の物理量を測定する測定ユニットをさらに備えており、前記撮像モジュールは、前記測定ユニットに組み込まれていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記測定ユニットは、基板をその中心軸回りに回転させる基板保持回転機構を有しており、前記撮像モジュールは、前記基板保持回転機構によって保持された基板の周縁部に近接して配置されていることを特徴とする。

#### 【0011】

本発明の好ましい態様は、前記基板処理装置は、前記研磨ユニットによって研磨された基板を後処理する少なくとも1つの後処理ユニットをさらに備えており、前記撮像モジュールは、前記少なくとも1つの後処理ユニットに組み込まれていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記少なくとも1つの後処理ユニットは、基板をその中心軸回りに回転させる基板保持回転機構を有しており、前記撮像モジュールは、前記基板保持回転機構によって保持された基板の周縁部に近接して配置されていることを特徴とする。

#### 【0012】

本発明の好ましい態様は、前記基板処理装置は、前記画像処理部の検査結果を保存する記憶装置をさらに備えることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記基板処理装置は、前記撮像モジュールによって取得された画像を保存する記憶装置と、前記記憶装置に保存された画像を表示する画像表示部とをさらに備えることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記記憶装置は、前記画像が取得された位置を示す情報を該画像と共に保存し、前記画像表示部は、要求された位置の画像を表示するように構成されることを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0013】

本発明によれば、研磨処理の後に、または研磨処理を中断して、研磨処理とは独立して研磨状態を検査することができる、いわゆるIn-Line型の研磨状態検査ユニットが提供される。したがって、研磨液（純水など）の影響を受けることがなく、また透明テープを不要とすることができる。このIn-Line型の研磨状態検査ユニットは研磨ユニットの外部に設置することも可能である。この場合は、研磨ユニットの構成を変更することを要しないので、スループットの高い研磨ユニットの構成をそのまま使うことができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0014】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図1(a)および図1(b)は、半導体ウエハ等の基板（以下「ウエハ」と称す。）の周縁部を示す部分拡大断面図である。より詳しくは、図1(a)は、周縁部の断面が複数の直線部で構成されたいわゆるストレート型のウエハWの断面図であり、図1(b)は、

10

20

30

40

50

周縁部の断面が曲線部で構成されたいわゆるラウンド型のウエハWの断面図である。

【0015】

ベベル部とは、図1(a)のウエハWにおいては、ウエハWの外周面に位置する上側傾斜部(上側ベベル部)P、下側傾斜部(下側ベベル部)Q、及び側部(アベックス)RからなるB部分を指し、また図1(b)のウエハWにおいては、ウエハWの外周面に位置する、断面が曲率を有するB部分を指す。またニアエッジ部とは、ウエハWのベベル部Bよりも径方向内側に位置する領域であって、かつデバイスが形成される領域Dよりも径方向外側に位置する平坦部E1、E2を指す。以下、ウエハの周縁部というときは上記のベベル部B及びニアエッジ部E1、E2を含むものとする。また、以下の説明では、上側のニアエッジ部E1をトップニアエッジ部、下側のニアエッジ部E2をバックニアエッジ部という。

10

【0016】

図2は、本発明の一実施形態に係る基板処理装置の全体構成を示す概略平面図である。図2に示す基板処理装置1は、ウエハ供給回収装置11A、11Bを設置したロードアンロードポート10と、ウエハの直径を測定する測定ユニット30と、主にロードアンロードポート10と測定ユニット30及び下記の2次洗浄・乾燥ユニット110の間でウエハを搬送する第1搬送ロボット20Aと、ウエハ周縁部の研磨を行う第1研磨ユニット70A及び第2研磨ユニット70Bと、研磨後のウエハの1次洗浄を行う1次洗浄ユニット100と、1次洗浄されたウエハの2次洗浄及び乾燥を行う2次洗浄・乾燥ユニット110と、主に第1及び第2研磨ユニット70A、70Bと1次洗浄ユニット100と2次洗浄・乾燥ユニット110の各ユニット間でウエハを搬送する第2搬送ロボット20Bを備えて構成されている。

20

【0017】

また、基板処理装置1は、測定ユニット30によるウエハの測定結果に基づいて、第1、第2研磨ユニット70A、70Bにおける研磨条件を決定する研磨条件決定部120をさらに備えている。研磨条件決定部120は、具体的にはコントローラの一部であり、ウエハ周縁部の測定結果に基づいてその研磨条件を算出する計算手段である。

【0018】

基板処理装置1の各ユニットは、クリーンルーム2に設置されたハウジング3内に収納配置されており、クリーンルーム2の内部空間と基板処理装置1の内部空間がハウジング3によって区画されている。そして、ハウジング3の上部に設けた図示しないフィルタからハウジング3内部に清浄な空気が導入されると共に、ハウジング3の下部に設けた図示しない排気部から空気が外部へ排出されるようになっており、ハウジング3内に清浄空気のダウフローが形成されるようになっている。これにより基板処理装置1内の気流が基板処理に最適な状態に調節されている。さらにハウジング3内に設置された各ユニットもそれぞれ筐体内に収納配置されており、各ユニットの筐体内の気流も基板処理に最適な状態に調節されている。

30

【0019】

ロードアンロードポート10は、第1搬送ロボット20Aに隣接する側壁3aの外側に設置されている。このロードアンロードポート10には、処理対象のウエハを基板処理装置へ供給及び回収するFOUP(Front Opening Unified Pod)と称されるウエハ供給回収装置11A、11Bが2台並列に設置されている。そして複数のウエハを収容したウエハカセット(ウエハキャリア)12A又は12Bが、ウエハ供給回収装置11A、11Bのいずれかに搭載されると、ウエハカセット12A又は12Bの蓋が自動的に開くと共に側壁3aに設けた開閉窓(図示せず)が開くことで、ウエハカセット12A又は12Bに収容されているウエハを第1搬送ロボット20Aで取り出して基板処理装置1内へ搬入することができる状態になる。

40

【0020】

図3(a)は、以下で説明する測定ユニット30が備える基板保持回転機構を示す概略斜視図であり、図3(b)は基板保持回転機構の概略平面図である。基板保持回転機構6

50

1 は、測定ユニット 30 における測定時にウエハ W を保持し回転させる機構で、ウエハ W の外周部を把持する複数の爪部 62a を備えた上段チャック（上段スピンチャック）62 と、同じく複数の爪部 63a を備えた下段チャック（下段スピンチャック）63 を 2 段に設けている。上段チャック 62 と下段チャック 63 は同軸状に設置され、いずれも回転軸 64 周りに回転するようになっている。

【0021】

上段、下段チャック 62, 63 の爪部 62a, 63a はいずれも所定間隔で 3 本または 4 本ずつ設けられており、図 3 (b) に示すように、下段チャック 63 は、図示しない昇降機構により上下方向に移動可能となっている。さらに基板保持回転機構は、後述するように、上段チャック 62 及び下段チャック 63 を回転させる回転駆動機構としてのステッ  
10 プモータと、ウエハ W の回転位置や回転角度などを検出する回転位置検出機構としてのロータリーエンコーダとを有している。

【0022】

図 4 (a) 及び図 4 (b) を用いて基板保持回転機構 61 の動作を説明する。通常は、図 4 (a) に示すように、上段チャック 62 がウエハ W を保持し回転することでウエハ W の測定を行う。上段チャック 62 の回転により爪部 62a がウエハ W の周縁部の測定位置に重なる場合、その手前で、図 4 (b) に示すように下段チャック 63 が上昇してウエハ W を保持し、上段チャック 62 からウエハ W が離れる。その状態で上段チャック 62 が所定の角度回転することで、上段チャック 62 の爪部 62a が測定位置に重なることを回避  
20 することができる。そして上段チャック 62 の爪部 62a が測定位置を通過した後、下段チャック 63 が下降することで再度上段チャック 62 によってウエハ W を保持することができる。このように動作することで、上段チャック 62 の爪部 62a が測定位置に重なることを防ぎ、ウエハ W 周縁部の全周に亘って直径の測定を行うことを可能としている。

【0023】

図 5 は測定ユニット 30 を示す概略斜視図である。図 6 (a) は、測定ユニット 30 の概略平面図であり、図 6 (b) は、図 6 (a) の VI 方向矢視図である。なお、図 5 及び図 6 では基板保持回転機構 61 の図示を省略している。

この測定ユニット 30 は、ウエハ W の外径寸法（直径）を計測する直径計測機構を備えたもので、計測したウエハの直径からウエハ側面の研磨量を計測するものである。この測定ユニット 30 は、基板保持回転機構 61 と、該基板保持回転機構 61 で保持されたウエハ W の周縁部の所定位置の上下に設置した一対の投光装置 32 及び受光装置 33 からなる  
30 センサ機構（レーザーセンサ）31 を具備している。投光装置 32 はレーザー光を投光する装置である。

【0024】

本実施形態では 2 組のセンサ機構 31, 31 が設置されており、各組のセンサ機構 31, 31 は基板保持回転機構 61 に保持されたウエハ W の中心線上の対角位置にそれぞれ設置されている。各センサ機構 31, 31 には、受光装置 33, 33 で受光したレーザー光の光量を数値化して処理するデータ処理装置（図示せず）が接続されている。なお、受光装置 33, 33 をウエハ W の上側に設置し、投光装置 32, 32 をウエハ W の下側に設置してもよい。  
40

【0025】

センサ機構 31, 31 は、図 6 (b) に示すように、投光装置 32, 32 からウエハ W 周縁部に向けて下向きに所定の幅寸法を持つ線状（面状）のレーザー光 34, 34 を投光する。そしてこのレーザー光 34 が、ウエハ W 周縁部をウエハ W の半径方向に横断しその一部がウエハ W 周縁部の上面で遮断される。従って、レーザー光 34, 34 のうちウエハ W によって遮断されずに外側を通過するものだけが受光装置 33, 33 で受光される。この受光量をデータ処理装置で数値化することで、ウエハ W の外周部を通過したレーザー光 34, 34 の幅寸法、即ち図 6 (b) に示す D1, D2 の寸法が計測される。測定対象ウエハの直径を求めるには、予め直径が分かっている基準ウエハ（図示せず）を用意しこれを計測することで、その場合の D1, D2 の寸法を計測しておき、この基準ウエハにおけ  
50

る D 1 , D 2 の寸法と測定対象ウエハにおける D 1 , D 2 の寸法の差と、基準ウエハの直径とから測定対象ウエハの直径 D w を算出する。

【 0 0 2 6 】

さらに、基板保持回転機構 6 1 の上チャック 6 2 及び下チャック 6 3 によりウエハ W の回転方向の位置を変えることで、ウエハ W 周縁部の複数箇所では直径を測定することができる。これにより、ウエハ W 全周での研磨量のばらつきなど、1 点のみの計測では得られない情報を得ることができる。また、基板保持回転機構 6 1 を回転させた状態で連続的にウエハの直径を計測することもできる。この方法によれば、直径の計測データを連続データとして得ることができるので、ウエハの真円度を算出することができる。

【 0 0 2 7 】

次に、第 1 研磨ユニット 7 0 A 及び第 2 研磨ユニット 7 0 B の構成を説明する。第 1 、第 2 研磨ユニット 7 0 A , 7 0 B は互いに共通の構成を有するため、以下では第 1 研磨ユニット 7 0 A について説明する。図 7 は第 1 研磨ユニットの概略側断面図である。図 7 に示すように第 1 研磨ユニット 7 0 A は、各構成部が筐体 7 1 内に収納配置されており、ウエハ W の裏面を真空吸着して保持する基板保持回転部 7 2 と、ウエハ W のセンタリング及び受渡しを行う基板受渡機構 8 0 と、ウエハ W のベベル部の研磨を行なうベベル研磨部 8 3 と、ウエハ W のノッチ部の研磨を行うノッチ研磨部 9 0 とを備えている。

【 0 0 2 8 】

基板保持回転部 7 2 は、図 7 に示すようにウエハ W を真空吸着する真空吸着用の溝部 7 3 a を上面に備えた基板保持テーブル 7 3 と、基板保持テーブル 7 3 を支持する支持軸 7 4 とを備えている。支持軸 7 4 には回転駆動装置（ステージ回転機構）7 5 が取付けられており、該回転駆動装置 7 5 により基板保持テーブル 7 3 及び支持軸 7 4 が一体に回転するようになっている。基板保持テーブル 7 3 の溝部 7 3 a は、基板保持テーブル 7 3 に形成された連通路 7 3 b に連通し、この連通路 7 3 b は支持軸 7 4 に形成された連通路 7 4 a に連通している。そして連通路 7 4 a には真空ライン 7 6 及び圧縮空気供給ライン 7 7 が接続されている。また基板保持テーブル 7 3 および支持軸 7 4 には、図示しない昇降機構が取付けられている。昇降機構によって基板保持テーブル 7 3 を上下方向に移動することができる。

【 0 0 2 9 】

また、基板保持テーブル 7 3 の溝部 7 3 a を覆うように基板保持テーブル 7 3 の上面にウレタン系の弾性部材からなる吸着パッド 7 8 が貼付されている。この吸着パッド 7 8 には、基板保持テーブル 7 3 の溝部 7 3 a に連通する多数の小径の貫通孔（図示せず）が形成されている。したがって、真空ライン 7 6 を連通路 7 4 a に連通させることにより、吸着パッド 7 8 の貫通孔に真空が形成され、基板保持テーブル 7 3 上に載置されたウエハ W が吸着パッド 7 8 の上面に真空吸着される。なお、この吸着パッド 7 8 はウエハ W と基板保持テーブル 7 3 の間に真空を形成する作用と、ウエハ W を基板保持テーブル 7 3 上に載置する際の衝撃緩和作用とを有している。

【 0 0 3 0 】

基板保持回転部 7 2 の上方には基板受渡機構 8 0 が配置されている。基板受渡機構 8 0 は一対のアーム 8 1 , 8 1 を備え、各アーム 8 1 , 8 1 にはウエハ W のベベル部に対応した凹状の面を有した複数のコマ 8 2 が固定されている。アーム 8 1 , 8 1 は開閉可能で閉鎖位置と開放位置とを取ることができ、閉鎖位置でコマ 8 2 によってウエハ W を挟持し、開放位置でウエハ W を放す。アーム 8 1 , 8 1 がウエハ W を挟持することでセンタリングが行われる。基板保持テーブル 7 3 は昇降機構により上昇して、基板受渡機構 8 0 からウエハ W を受け取り、ウエハ W を真空吸着して研磨位置まで下降する。

【 0 0 3 1 】

ベベル研磨部 8 3 は、研磨テープ 8 4 をウエハ W のベベル部に押圧接触させるベベル研磨ヘッド 8 5 と、研磨テープ送り機構 8 8 とを備えて構成されている。研磨テープ送り機構 8 8 は、ベベル研磨ヘッド 8 5 に研磨テープ 8 4 を送る供給リール 8 8 a と、ベベル研磨ヘッド 8 5 から研磨テープ 8 4 を回収する回収リール 8 8 b を具備している。ベベル研

10

20

30

40

50

磨ヘッド 8 5 は、基板保持テーブル 7 3 に面した位置に研磨テープ 8 4 を掛ける一對の送りローラ 8 6 , 8 6 を備え、該一對の送りローラ 8 6 , 8 6 の間に研磨テープ 8 4 を張り渡して該研磨テープ 8 4 の研磨面 8 4 a をウエハ W のベベル部に接触させるようになっている。また、送りローラ 8 6 , 8 6 間に掛け渡された研磨テープ 8 4 の背面側には基部 8 7 が設置されている。該基部 8 7 の研磨テープ 8 4 に当接する面には、図示は省略するが弾性部材を取付けることもできる。またベベル研磨ヘッド 8 5 は、図示しない移動機構によりウエハ W の径方向に移動可能となっており、基部 8 7 が研磨テープ 8 4 を背面から押す作用と、研磨テープ 8 4 自体の張力とによって、研磨テープ 8 4 の研磨面 8 4 a がウエハ W のベベル部に押圧される。

#### 【 0 0 3 2 】

研磨テープ 8 4 は、一定幅の帯状部材で長さが数十メートル程であり、円筒状の芯材 8 9 に巻き付けられている。芯材 8 9 が供給リール 8 8 a に取付けられて、研磨テープ 8 4 が研磨面 8 4 a を外側に向けた状態でベベル研磨ヘッド 8 5 の一對の送りローラ 8 6 , 8 6 間に掛け渡されて、その先で回収リール 8 8 b に取り付けられている。回収リール 8 8 b には図示しないモータ等の回転駆動機構が取付けられており、研磨テープ 8 4 に所定の引張力を付与しながら巻き取り回収することができる。ベベル部の研磨時には、供給リール 8 8 a から研磨テープ 8 4 が順次送られることで、ベベル研磨ヘッド 8 5 には常に新しい研磨面 8 4 a が供給されるようになっている。

#### 【 0 0 3 3 】

研磨テープ 8 4 は、砥粒を分散させた樹脂材料をテープ基材のいずれかの面に塗布して固化させることで研磨面 8 4 a を形成したものであり、砥粒には、例えばダイヤモンドや S i C 等が用いられる。砥粒の種類及び粒度は、研磨するウエハの種類や要求される研磨の程度に応じて選択されるが、例えば、粒度 4 0 0 0 ~ 2 0 0 0 0 のダイヤモンドや、粒度 4 0 0 0 ~ 1 0 0 0 0 の S i C を用いることができる。また、研磨テープ 8 4 に代えて表面に粒状物を付着させていない帯状の研磨布等を用いてもよい。異なるタイプの研磨テープを第 1 研磨ユニット 7 0 A 及び第 2 研磨ユニット 7 0 B にそれぞれ装着して異なる研磨を行うこともできる。

#### 【 0 0 3 4 】

図 8 ( a ) 乃至図 8 ( c ) はベベル研磨時のベベル研磨ヘッド 8 5 の動きを説明するための図である。ベベル研磨部 8 3 は、ベベル研磨ヘッド 8 5 をウエハ W のベベル部の研磨箇所を中心に上下方向に揺動させる揺動機構を備えており、ウエハ面に対して上下方向に所定角度傾斜した状態でベベル部に研磨テープ 8 4 の研磨面 8 4 a を接触させることができる。したがって、図 8 ( a ) に示すように、ベベル研磨ヘッド 8 5 をウエハ面に対して上方に所定角度傾けた状態で研磨することで、ベベル部の上側傾斜面及びトップニアエッジ部を研磨でき、図 8 ( b ) に示すように、ベベル研磨ヘッド 8 5 を水平方向に向けることでベベル部の側面を研磨でき、図 8 ( c ) に示すように、ベベル研磨ヘッド 8 5 をウエハ面に対して下方に所定角度傾けた状態で研磨することで、ベベル部の下側傾斜面及びバックニアエッジ部を研磨することができる。また、ベベル研磨ヘッド 8 5 の傾斜角度を微調整することにより、ベベル部の上下傾斜面や側面、及びそれらの境界部を所望の角度及び形状に研磨することができる。

#### 【 0 0 3 5 】

ノッチ研磨部 9 0 は、研磨テープ 9 1 をウエハ W のノッチ部に押圧接触させるノッチ研磨ヘッド 9 2 と、研磨テープ送り機構 9 4 とを備えて構成されている。ノッチ研磨ヘッド 9 2 は、図示しない移動機構によりウエハ W の径方向に移動可能となっている。研磨テープ送り機構 9 4 は、ノッチ研磨ヘッド 9 2 に研磨テープ 9 1 を送る供給リール 9 4 a 及びノッチ研磨ヘッド 9 2 から研磨テープ 9 1 を回収する回収リール 9 4 b を具備している。ノッチ研磨ヘッド 9 2 は、研磨テープ 9 1 を掛ける一對の送りローラ 9 3 , 9 3 を備え、該一對の送りローラ 9 3 , 9 3 の間に研磨テープ 9 1 を張り渡してその研磨面 9 1 a をウエハ W のノッチ部に接触させるようになっている。

#### 【 0 0 3 6 】

ノッチ研磨部 90 に用いる研磨テープ 91 は、ベベル研磨部 83 に用いる研磨テープ 84 と同材質の研磨テープで、ウエハ W のノッチ部の形状に合わせた幅寸法に形成されたものである。このノッチ研磨用の研磨テープ 91 は、ベベル研磨用の研磨テープ 84 より幅寸法が小さく形成されている。なお図示及び詳細な構成の説明は省略するが、ベベル研磨部 83 と同様にノッチ研磨部 90 も、ノッチ研磨ヘッド 92 をウエハ W のノッチ部の研磨箇所を中心に上下方向に揺動させる揺動機構を備えており、研磨時にウエハ面に対して所定角度傾斜した位置から研磨テープ 91 の研磨面 91 a を接触させることができる。従って、ウエハ W のノッチ部の表面形状に沿った研磨をすることができると共に、ノッチ部を所望の角度及び形状に研磨することができる。更にノッチ研磨部 90 には、図示は省略するが、ウエハ W のノッチ部を検知するノッチ検知機構が設けられている。

10

#### 【0037】

第 1 研磨ユニット 70 A は、図 7 に示すようにウエハ W 上面及び下面それぞれの研磨箇所付近に超純水等の水（研磨水）を供給する研磨水供給ノズル 95, 96 を備えている。また、基板保持テーブル 73 の上方に、ウエハ W 上面の中央部付近に研磨水を供給する研磨水供給ノズル 97 を備えている。ベベル部及びノッチ部の研磨中に研磨水供給ノズル 95, 96 から研磨水を供給することで、研磨によって発生する粒子状の研磨屑がウエハ W 上面や下面へ付着することを防止できる。

#### 【0038】

研磨水供給ノズル 97 から供給される研磨水は、ウエハ W 中心部に向かって供給され、ウエハ W の回転によって、ウエハ W の中心部から外周部に向かって流れてゆく。このため研磨屑をウエハ W の外周部の方へ押し流す作用がある。一方、下面側の研磨水供給ノズル 96 はウエハ W 裏面の基板保持テーブル 73 より外周側に露出した部分に研磨水を供給するようになっている。ウエハ W の露出した部分に研磨水を供給することにより、研磨水がウエハ W の回転により外周部に向かって流れてゆき、研磨屑を外周部の方へ押し流すことができる。

20

#### 【0039】

研磨水供給ノズル 95, 96 から供給される研磨水は、研磨屑によるウエハ W 上下面の汚染を防止するほか、研磨時の摩擦によって発生する熱を奪う冷却作用も有している。したがって供給する研磨水の温度を調節することにより、ウエハ W の研磨部位の熱を除去することができ、安定した状態で研磨を行なうことができる。

30

#### 【0040】

上記構成の研磨ユニット 70 A における研磨工程を説明する。研磨対象のウエハ W が筐体 71 内に搬入されて、基板受渡機構 80 に受け渡されると、アーム 81, 81 が閉じてウエハ W を挟持しセンタリングを行う。その後、基板保持テーブル 73 が基板受渡機構 80 の位置まで上昇して、アームの 81, 81 に保持されたウエハ W を真空吸着する。この真空吸着と同時にアーム 81, 81 が開いてウエハ W を放すことにより、ウエハ W は基板保持テーブル 73 の上面に保持される。その後、ウエハ W を保持した基板保持テーブル 73 は、図 7 に示す研磨位置まで下降する。そして回転駆動装置 75 が駆動して基板保持テーブル 73 と共にウエハ W を回転させる。

#### 【0041】

その状態で、ベベル研磨部 83 の供給リール 88 a から研磨テープ 84 を供給して未使用の研磨面 84 a をベベル研磨ヘッド 85 の送りローラ 86, 86 間に配置する。そして、移動機構によりベベル研磨ヘッド 85 をウエハ W に向けて移動させ、研磨テープ 84 の研磨面 84 a をウエハ W のベベル部に接触させて、ベベル部を研磨する。このとき、ベベル研磨部 83 に設けた揺動機構を駆動し、ベベル研磨ヘッド 85 を上下方向に揺動させながら研磨する。これによりウエハ W のベベル部のみならずニアエッジ部も研磨することができる。

40

#### 【0042】

ウエハ W のノッチ研磨を行なうには、まず、ノッチ検出機構によりウエハ W のノッチ部を検出し、ウエハ W を回転させることで該ノッチ部をノッチ研磨ヘッド 92 に位置合わせ

50

する。位置合わせが終わったら、ノッチ研磨部 90 の供給リール 94 a から研磨テープ 91 を供給して未使用の研磨面 91 a をノッチ研磨ヘッド 92 の送りローラ 93 , 93 間に配置する。そして、移動機構によりノッチ研磨ヘッド 92 をウエハ W に向けて移動させ、研磨テープ 91 の研磨面 91 a をウエハ W のノッチ部に接触させて、ノッチ部を研磨する。このとき、ノッチ研磨部 90 に設けた揺動機構を駆動し、ノッチ研磨ヘッド 92 を上下方向に揺動させて研磨する。さらに、研磨テープ送り機構 94 により研磨テープ 91 を小刻みに前後させてウエハ W のノッチ部に摺接させて研磨してもよい。

#### 【0043】

第 1 研磨ユニット 70 A および / または第 2 研磨ユニット 70 B によって研磨されたウエハ W は、次に 1 次洗浄ユニット 100 に搬送され、ここでウエハ W が洗浄される。1 次洗浄ユニット 100 は、ウエハ W を回転させながら、回転する一對のロール型の洗浄部材（ロールスポンジ）をウエハ W の表面および裏面に接触させてウエハ W をスクラブ洗浄する。ウエハ W をスクラブ洗浄する間、ウエハ W には洗浄液（例えば純水）が供給されるようになっている。スクラブ洗浄後、ウエハ W の上面、下面にエッチング液を供給し、ウエハ W の上下面のエッチング（化学的洗浄）を行い、残留する金属イオンを除去する。

#### 【0044】

1 次洗浄ユニット 100 により洗浄されたウエハ W は、次に 2 次洗浄・乾燥ユニット 110 に送られる。この 2 次洗浄・乾燥ユニット 110 は洗浄機能付きスピン乾燥ユニットである。より具体的には、2 次洗浄・乾燥ユニット 110 は、ウエハ W を低速で回転させながら、ウエハ W の上面に洗浄液（例えば純水）を供給する。この状態で、回転するペンシル型の洗浄部材をウエハ W の上面に接触させてスクラブ洗浄する。スクラブ洗浄後は、ウエハ W を高速で回転させてウエハ W のスピン乾燥を行う。

#### 【0045】

乾燥されたウエハ W は、次に測定ユニット 30 に送られ、ここで、ウエハ W の直径が測定される。測定ユニット 30 は、直径計測機構に加え、ウエハ W の周縁部を撮像する撮像モジュールを備えている。この撮像モジュールは、研磨されたウエハの表面状態を検査するための研磨状態検査ユニットの一部である。以下、研磨状態検査ユニットについて詳細に説明する。

#### 【0046】

図 9 は、研磨状態検査ユニットを示す模式図である。この研磨状態検査ユニットは、除去対象物である膜が研磨によってウエハの周縁部から除去されたか否かを画像から判断する。図 9 に示すように、研磨状態検査ユニットは、上記撮像モジュール 131 と、撮像モジュール 131 によって取得された画像を分析する画像処理部 132 とを備えている。撮像モジュール 131 は、ウエハ W の周縁部を囲むように配置されたプリズム 135 と、プリズム 135 を通じてウエハ W の周縁部を撮像する撮像カメラ 136 と、プリズム 135 と撮像カメラ 136 との間に配置されたフォーカスレンズユニット 137 とを備えている。撮像カメラ 136 としては、CCD などのイメージセンサを備えたデジタルスチールカメラが使用される。撮像カメラ 136 と画像処理部 132 とは接続されており、撮像カメラ 136 によって取得された画像は画像処理部 132 に送られるようになっている。

#### 【0047】

ウエハ W は、上述した基板保持回転機構 61 に保持される。この基板保持回転機構 61 は、上段チャック 62 及び下段チャック 63 を介してウエハ W をその軸心回りに回転させるステップモータ 150 と、ウエハ W の回転位置や回転角度などを検出するロータリーエンコーダ（位置検出器）151 とを備えている。この実施形態では、ウエハ W の絶対位置を検出するアブソリュートタイプのロータリーエンコーダ 151 が用いられている。撮像モジュール 131 は、図示しない駆動機構により、基板保持回転機構 61 に保持されたウエハ W に近接および離間する方向に移動可能となっている。

#### 【0048】

フォーカスレンズユニット 137 は、光軸に配置されたレンズ 140 と、このレンズ 140 を光軸に沿って動かすフォーカス用のアクチュエータ（例えばリニアモータ）141

10

20

30

40

50

を備えている。画像処理部 132 とアクチュエータ 141 とは電氣的に接続されており、画像処理部 132 からの指示により、アクチュエータ 141 は、画像が撮像カメラ 136 のイメージセンサ上で結像するようにレンズ 140 を移動させる。画像処理部 132 としては、汎用のパーソナルコンピュータを使用することができる。

#### 【0049】

プリズム 135 とレンズ 140 との間にはハーフミラー 142 が配置されている。このハーフミラー 142 には光源（例えば白色 LED）144 からの光が照射されるようになっている。光源 144 とハーフミラー 142 との間にはレンズ 145 が配置されている。このレンズ 145 は、光源 144 からの光をウエハ W の周縁部に導くためのものである。光源 144 の光は、レンズ 145 を通過してハーフミラー 142 で反射し、ウエハ W の周縁部に到達する。これによりウエハ W の周縁部は明るく照らされる。プリズム 135 は、ウエハ W の周縁部の上部および下部に対向するように配置されている。このプリズム 135 は、光路長を補正する（光路長を変える）性質を有しており、これにより、ウエハ W の周縁部の上部、中央部、および下部の各画像をイメージセンサ上に同時に結像させることができる。このような性質を有するプリズム 135 としては、株式会社クロビットジャパンから販売されている商品「クロビット」が好適に用いられる。

#### 【0050】

以下、プリズム 135 の機能について詳細に説明する。図 10 は、画像の光路を説明するための模式図である。図 10 において、面 A は撮像カメラ 136 のイメージセンサの表面を表し、面 B はレンズ 140 の中心を通る平面を表し、面 C はウエハ W のベベル部の側部（アベックス）を表し、面 D はベベル部の上側傾斜部および下側傾斜部を表している。面 A、B、C は互いに平行である。面 A と面 C は、レンズ 140 によって共役関係である。つまり、面 C 上の画像は面 A 上に像を結ぶ。面 D 上の画像は、プリズム 135 の中で一度反射され、レンズ 140 に向かう。面 C から面 A までの光路長  $d_1$  と、プリズム 135 を通した面 D から面 A までの光路長  $d_2$ 、 $d_3$  とは、光学的に互いに等しい。これは、プリズム 135 によって光路長  $d_2$ 、 $d_3$  が補正（短縮）されているからである。言い換えれば、本実施形態では、光路長  $d_1$  と光路長  $d_2$ 、 $d_3$  とが互いに等しくなるようなプリズム 135 が採用される。光路長  $d_1$  と光路長  $d_2$ 、 $d_3$  とが互いに等しいので、C 面の画像および D 面の画像は、レンズ 140 によって面 A（すなわちイメージセンサの表面）上に結像する。

#### 【0051】

面 D の角度はウエハのベベル部の角度のことであり、ウエハの種類または研磨状態によって変わりうる。このため、面 A 上に像を結んだときに面 D と面 A とが必ずしも平行であるとは限らず、面 D 全体が面 A 上で合焦しないことがある。この場合は、面 D と面 A との間に配置される光学系の焦点深度を深くすれば、面 D の像を面 A 上で結ぶことができる。この焦点深度を変化させる手段の一例は、レンズ 140 に隣接して絞りを設置することである。具体的には、図 10 において、レンズ 140 の左側に絞りが配置される。この絞りの孔を小さくすることにより、焦点深度を深くすることができる。

#### 【0052】

ウエハ W の周縁部の上部、中央部、および下部の各画像は、平面上に展開した画像として取得される。ウエハ W の周縁部の上部および下部の画像は、プリズム 135 を通じて撮像カメラ 136 によって取得される。一方、ウエハ W の周縁部の中央部の画像は、プリズム 135 を通さずに撮像カメラ 136 によって取得される。上述したように、プリズム 135 を通過することによって、周縁部の上部および下部と撮像カメラ 136 との間の光路長と、周縁部の中央部と撮像カメラ 136 との間の光路長とは、互いに等しくなる。したがって、撮像カメラ 136 によって、ウエハ W の周縁部を多方向から同時に撮像することができる。ここで、より良好な画像を取得するために、撮像カメラ 136 のイメージセンサのほぼ全面に画像が結像するような倍率のレンズ 140 を使用することが好ましい。

#### 【0053】

次に、上述した撮像モジュール 131 を用いてウエハ W の周縁部を撮像する方法につい

て説明する。画像の撮像方法の例としては、ウエハWを断続的に回転させながら周縁部の静止画像を取得するステップ・アンド・リピート方式と、ウエハWを連続的に回転させながら周縁部の積算画像を取得するスキャン方式とが挙げられる。以下、それぞれの方式について説明する。

図11はステップ・アンド・リピート方式でのウエハの撮像位置の例を示す図であり、図12はステップ・アンド・リピート方式の動作シーケンスを示すフローチャートである。

図11に示すように、この方式では、ウエハWの周縁部上での複数の撮像位置が予め設定されている。

#### 【0054】

画像処理部132はステップモータ150に指令信号を送り、ウエハWを回転させる（ステップ1）。ウエハWの回転位置はロータリーエンコーダ151により計測される（ステップ2）。回転するウエハWが所定の撮像位置に達すると、ウエハWの回転を停止させる。そして、撮像カメラ136によりウエハWの周縁部を撮像する（ステップ3）。取得された画像は、画像処理部132に送られ、画像処理部132のメモリ（記憶装置）に保存される（ステップ4）。画像処理部132は、後に説明する画像処理方法に従って画像を処理し、残膜の有無を検査する（ステップ5）。検査結果は画像処理部132のメモリに保存される（ステップ6）。各撮影位置は、ウエハWの回転位置または回転角度に関連づけられて画像処理部132に登録される。画像が取得された位置を示す情報はロータリーエンコーダ151から画像処理部132に送られ、その位置情報が画像と共にメモリに保存される。したがって、撮像された画像から、残膜の位置や大きさ（面積）などの情報が得られる。残膜の有無や残膜の位置などの情報は検査結果としてメモリに保存される。

#### 【0055】

上述したウエハWの回転（ステップ1）から検査結果の保存（ステップ6）までの工程は、全ての撮像位置での検査が完了するまで繰り返えられる。このようにしてウエハWの回転の回転と停止とを繰り返しながら、ウエハWの周縁部の静止画像が取得される。撮像位置はウエハWの周縁部の一部のみでもよく、またはウエハWの全周に亘って散発的に設定してもよい。ただし、検査結果の信頼性の観点から、ウエハWの全周に亘って撮像位置を設定することが好ましい。

#### 【0056】

図13はスキャン方式でのウエハの撮像位置を示す図であり、図14はスキャン方式の動作シーケンスを示すフローチャートである。

この方式では、ウエハWの周縁部がその全周に亘って撮像される。画像処理部132はステップモータ150に指令信号を送り、ウエハWを回転させる（ステップ1）。ウエハWの回転位置はロータリーエンコーダ151により計測される（ステップ2）。

#### 【0057】

ウエハWの回転と同時に撮像カメラ136によりウエハWの周縁部を撮像する（ステップ3）。ウエハWが回転している間、撮像カメラ136のイメージセンサは露光され続ける。上段チャック62の爪部62aがプリズム135に近接すると、撮像モジュール131は撮像を停止し、一時的にウエハWから退避する。上段チャック62の爪部62aがプリズム135を通過すると、撮像モジュール131がウエハWに近づき、再びウエハWの周縁部の撮像を開始する。このような撮像モジュール131の撮像および退避動作は、ウエハWが一周するまで継続される。取得された画像は画像処理部132に送られ、画像処理部132のメモリに保存される。図13(a)に示す例では、上段チャック62は4つの爪部62aを有しているので、撮像カメラ136は4回撮像を繰り返して、4つの領域F1、F2、F3、F4の画像を取得する。

#### 【0058】

撮像が終わった後、ウエハWの回転が停止され、撮像モジュール131は一旦退避する。その後、下段チャック63が上昇し、ウエハWが上段チャック62から下段チャック6

10

20

30

40

50

3に持ち替えられる。この状態で、上段チャック62が45度回転し、その後、下段チャック63が下降する。これにより、ウエハWは異なる位置で上段チャック62により把持される(ステップ4)。そして、撮像モジュール131がウエハWに近づき、ウエハWが回転すると同時に撮像が開始される。撮像モジュール131は、上述と同じように、撮像と退避動作をウエハWが一周するまで繰り返す(ステップ5)。すなわち、図13(b)に示すように、撮像カメラ136は4回撮像を繰り返して、上記領域F1~F4に重複する4つの領域F5、F6、F7、F8の画像を取得する。このようにして、ウエハWの周縁部全体が撮像される。取得された画像は画像処理部132に送られ、画像処理部132のメモリーに保存される。

【0059】

10

このスキャン方式では、ウエハWを回転させながらイメージセンサを露光させているので、ウエハWの周縁部の積算画像が取得される。画像処理部132は、後に説明する画像処理方法に従って画像を処理し、残膜の有無を検査する(ステップ6)。検査結果は画像処理部132のメモリーに保存される(ステップ7)。

【0060】

ここで、撮像カメラ136としてラインスキャンカメラを用いることができる。ラインスキャンカメラとは、ライン状の画像を連続的に撮像し、その画像を順次並べていくことで横長の画像を得るカメラである。この場合も、画像が取得された位置を示す情報がロータリーエンコーダ151から画像処理部132に送られ、その位置情報が画像と共にメモリーに保存される。このようなラインスキャンカメラを用いることで、残膜の正確な位置や大きさを特定することが可能となる。

20

【0061】

ステップ・アンド・リピート方式とスキャン方式とは組み合わせてもよい。例えば、スキャン方式により高速で検査を行い、次いでステップ・アンド・リピート方式によって、より正確な検査を行うことができる。残膜の位置や大きさを観察するためには、ウエハの静止画像を取得することが必要とされる。したがって、この場合は、上述したステップ・アンド・リピート方式を用いるか、またはスキャン方式とインラインスキャンカメラとの組み合わせが用いられる。

【0062】

また、ステップ・アンド・リピート方式によって比較的少ない撮像位置で高速に検査を行い、次に残膜のある位置や大きさなどを正確に検査するために比較的多くの撮像位置で再検査してもよい。同様に、スキャン方式によって高速な検査と正確な検査を含む多段階検査を行うこともできる。

30

【0063】

画像処理部132は画像表示部を備えており、メモリーに保存されている画像を表示することができるようになっている。なお、画像表示部は、画像処理部132から独立して設けてもよい。画像は、上述したように、画像の位置を示すウエハWの回転位置または回転角度に関連付けられてメモリーに保存されている。したがって、所望の位置の画像を画像表示部に表示することが可能である。さらに、ある位置で膜が残存していると判定された場合に、その位置の画像を撮像モジュール131によって再度取得し、その画像を画像表示部に表示させることも可能である。

40

【0064】

次に、画像処理部132による画像処理および研磨状態検査の方法について説明する。以下に説明する例では、上述した研磨ユニットを用いて、図15に示すように、ウエハWのベベル部を5つのエリアA1、A2、A3、A4、A5に分けて5段階研磨が行われる。すなわち、ベベル研磨ヘッド85を図8(a)乃至図8(c)に示すように傾けて、各エリアA1~A5を順次研磨する。なお、この例では、ベベル部を研磨しているが、さらにニアエッジ部も同様に研磨することができる。研磨されたウエハWは、1次洗浄ユニット100により洗浄され、さらに2次洗浄・乾燥ユニット110により洗浄され、乾燥される。乾燥されたウエハWは測定ユニット30に送られ、ここで、上述したようにウエハ

50

Wの周縁部の画像が撮像モジュール131によって取得される。

【0065】

図16は、撮像モジュールによって撮像されたウエハの周縁部の画像を示す模式図である。符号200Aは上側のプリズム135を通して取得されたウエハの周縁部の画像であり、符号200Bはプリズム135を介さないで取得されたウエハの周縁部の画像であり、符号200Cは下側のプリズム135を通して取得されたウエハの周縁部の画像である。

【0066】

図16に示すように、ベベル部の上部に位置するエリアA1, A2の画像は上側のプリズム135を通して撮像カメラ136により取得され、ベベル部の中央部に位置するエリアA3の画像はプリズム135を介さないで撮像カメラ136により取得され、ベベル部の下部に位置するエリアA4, A5の画像は下側のプリズム135を通して撮像カメラ136により取得される。撮像カメラ136は、3つの画像200A, 200B, 200Cを1つの視野内で同時に撮像することが可能であり、かつフォーカス調整も同時に行える。

【0067】

各エリアA1~A5には、画像処理部132が監視すべき特定の領域(以下、ターゲット領域T1, T2, T3, T4, T5という)がそれぞれ設定されている。画像処理部132は、これらターゲット領域T1~T5の色を監視し、色の変化に基づいて膜が除去されているか否かを検知する。なお、ターゲット領域T1~T5としては、各エリアA1~A5の研磨状態を最もよく表す部分が選択される。1つのエリアにおいて複数のターゲット領域を設定することもできる。

【0068】

次に、画像処理部132が画像を処理して膜が除去されているか否かを判定する方法について説明する。

上述したように、画像処理部132は、ターゲット領域の色の変化に基づいて膜除去を判断する。画像処理部132には、予めターゲット色が登録されており、画像処理部132は、ターゲット領域の色が、登録されている所定のターゲット色に一致するときには、ウエハWから膜が除去されたと判定する。より詳しくは、画像処理部132は、ターゲット領域におけるターゲット色の画素の数が増加して所定の閾値を上回ったとき、またはターゲット領域におけるターゲット色の画素の数が減少して所定の閾値を下回ったとき、ウエハWから膜が除去されたと判定する。

【0069】

通常、ターゲット色は、研磨によって表出する色(例えばシリコンの色)、または除去対象物の色(例えば $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}$ の色)のいずれかから選択することが多い。また、色の選択は1つに限らず、複数の色を選択することもできる。図17は、ターゲット色の設定に用いられるカラーチャートおよび明度チャートを示す図である。図17に示すように、カラーチャートは、色相の分布を示す横軸と、彩度を示す縦軸とを有している。明度チャートは、明るさの度合いを示す縦軸を有している。ターゲット色は、カラーチャートおよび明度チャートの中に置かれたスコープS1, S2によって指定された色情報(色相、彩度、明度)によって決定することができる。

【0070】

ここで、図18を参照して、ターゲット色としてシリコンの色を選択した場合の膜除去判定プロセスを説明する。

まず、画像処理部132にターゲット色としてシリコンの色(通常は白)を登録する(ステップ1)。上述したように、色の選択は1つに限らず、複数の色を選択することができる。次に、ターゲット領域を指定する(ステップ2)。そして、ターゲット領域内におけるターゲット色の画素の数Nが所定の閾値Pを上回っている場合は、画像処理部132は研磨によって膜が除去されたと判断する。これは、研磨によって膜が除去されると、下地層のシリコンの色が表出するからである。一方、ターゲット領域内におけるターゲット

色の画素の数  $N$  が所定の閾値  $P$  以下である場合は、画像処理部 132 は膜がウエハ  $W$  上に残存していると判断する（ステップ 3）。

【0071】

図 19 は、ターゲット色として除去すべき膜の色を選択した場合の膜除去判定プロセスを示すダイアグラムである。

図 19 に示すように、まず、画像処理部 132 にターゲット色として除去対象膜の色を登録する（ステップ 1）。この場合も、色の選択は 1 つに限らず、複数の色を選択することもできる。次に、ターゲット領域を指定する（ステップ 2）。そして、ターゲット領域内におけるターゲット色の画素の数  $N$  が所定の閾値  $P$  を下回っている場合は、画像処理部 132 は研磨によって膜が除去されたと判断する。これは、研磨によって膜が除去されると、膜の色が消えるからである。一方、ターゲット領域内におけるターゲット色の画素の数  $N$  が所定の閾値  $P$  以上である場合は、画像処理部 132 は膜がウエハ  $W$  上に残存していると判断する（ステップ 3）。

【0072】

画像処理部 132 の検査結果は研磨条件決定部に送られ、研磨条件の決定に提供される。例えば、画像処理部 132 がウエハに膜が残存していると判定した場合は、次に研磨されるウエハの研磨条件（例えば、研磨時間や研磨テープを押し当てる力など）に反映させる。検査結果は 5 つのエリア  $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $A4$ 、 $A5$  ごとに得られるので、検査結果に応じてこれら 5 つのエリアごとに研磨条件を変えることができる。また、膜が残存しているウエハは再度研磨ユニット 70A または 70A に送られ、再研磨されることが好ましい。この場合の研磨時間は 1 回目の研磨時間よりも短く設定することができる。

【0073】

以上説明した例は、取得された画像の色の变化から研磨状態を検査する方法であるが、取得された画像からウエハの周縁部の表面粗さを検出することもできる。以下、ウエハの周縁部の表面粗さを検出する方法について説明する。

表面粗さを検出するためには、ウエハの静止画像を取得することが好ましい。したがって、表面粗さ検出方法では、上述したステップ・アンド・リピート方式を用いるか、またはスキャン方式とインラインスキャンカメラとの組み合わせを用いることが好ましい。

【0074】

撮像カメラ 136 で取得された画像は画像処理部 132 に送られ、ここで画像処理が行われる。具体的には、取得された画像からターゲット領域（ $T1 \sim T5$ ）の画像を切り出し、この切り出されたカラー画像を白黒画像に変換する。次に、表面粗さを強調させるために、微分フィルタにより画像を微分処理する。そして、得られた画像をヒストグラム上に表示する。ヒストグラムは、輝度を表す横軸と、画素の数を表す縦軸とを有する。

【0075】

図 20（a）はウエハの周縁部の表面が粗いときの画像であって、微分処理した画像を示す模式図であり、図 20（b）は図 20（a）に示す画像を数値化したヒストグラムである。図 20（a）に示すように、ウエハ  $W$  の被研磨面が粗い場合は、表面の凹凸を示す白い部分が画像に現れる。この表面粗さは数値としてヒストグラム上に表すことができる。すなわち、被研磨面が粗い場合は、画像に白い部分が多く現れ、その結果、ヒストグラム上では輝度の高い画素の数が多くなる。

【0076】

一方、図 21（a）はウエハの周縁部の表面が滑らかなときの画像であって、微分処理した画像を示す模式図であり、図 21（b）は図 21（a）に示す画像を数値化したヒストグラムである。図 21（a）に示すように、ウエハ  $W$  の被研磨面が滑らかな場合は、表面の凹凸を示す白い部分がほとんど画像に現れない。その結果、ヒストグラム上では輝度の低い画素の数が多くなる。したがって、画像処理部 132 は、所定の輝度の画素の数が予め設定された値を上回ったとき（例えば輝度 0 ～ 64 の画素の数が 1000 を超えたとき）、または下回ったときに（例えば輝度 64 以上の画素の数が 10 を下回ったとき）、ウエハ  $W$  の周縁部の表面が滑らかになったと判断することができる。

## 【 0 0 7 7 】

次に、撮像モジュール 1 3 1 の変形例について図 2 2 を参照して説明する。図 2 2 に示すように、この変形例では、プリズム 1 3 5 を用いずに、複数の撮像カメラによりウエハ W の周縁部を多方向から撮像する。図 2 2 に示すように、この撮像モジュール 1 3 1 は、複数の末端撮像部（例えば対物レンズ）1 6 0 A , 1 6 0 B , 1 6 0 C と、これらの末端撮像部 1 6 0 A , 1 6 0 B , 1 6 0 C に光ファイバーを介してそれぞれ連結される撮像カメラ 1 3 6 A , 1 3 6 B , 1 3 6 C とを有している。

## 【 0 0 7 8 】

末端撮像部 1 6 0 A はウエハ W の上方に配置され、末端撮像部 1 6 0 B はウエハ W の側方に配置され、末端撮像部 1 6 0 C はウエハ W の下方に配置されている。末端撮像部 1 6 0 A ~ 1 6 0 C に隣接して照明部 1 6 3 A , 1 6 3 B , 1 6 3 C , 1 6 3 D が配置されている。末端撮像部 1 6 0 A ~ 1 6 0 C および照明部 1 6 3 A ~ 1 6 3 D は支持部材 1 6 5 に固定されている。図 2 2 には図示されていないが、各撮像カメラ 1 3 6 A ~ 1 3 6 C は画像処理部 1 3 2 に接続されている。

## 【 0 0 7 9 】

これら末端撮像部 1 6 0 A ~ 1 6 0 C および照明部 1 6 3 A ~ 1 6 3 D はいずれもウエハ W の周縁部を向いている。より詳しくは、末端撮像部 1 6 0 A は周縁部の上部を向き、末端撮像部 1 6 0 B は周縁部の中央部を向き、末端撮像部 1 6 0 C は周縁部の下部を向いている。このような構成により、ウエハ W の周縁部の上部、中央部、および下部の画像が各末端撮像部 1 6 0 A ~ 1 6 0 C を介して撮像カメラ 1 3 6 A ~ 1 3 6 C により取得される。取得された画像は画像処理部 1 3 2 に送られ、上述した方法に従って処理される。

## 【 0 0 8 0 】

図 2 3 ( a ) は、撮像モジュールの更なる変形例を示す模式図である。この例では、図 9 に示す撮像モジュール 1 3 1 に加え、ウエハ W の裏面を撮像する第 2 の撮像モジュール 1 7 0 が設けられている。この第 2 の撮像モジュール 1 7 0 は、上述したプリズム 1 3 5 に代えて、ミラー 1 7 1 を有している。第 2 の撮像モジュール 1 7 0 は、第 1 の撮像モジュール 1 3 1 よりも広い視野（撮像領域）を有している。その他の構成は、第 1 の撮像モジュール 1 3 1 と同一である。ミラー 1 7 1 は第 2 の撮像モジュール 1 7 0 の撮像カメラ（図 9 参照）と一体に移動可能となっている。ウエハ W の裏面の画像はミラーで反射して方向を変え、第 2 の撮像モジュール 1 7 0 によって撮像される。なお、図示されていないが、ウエハ W は基板保持回転機構 6 1 によって保持されている。

## 【 0 0 8 1 】

図 2 3 ( b ) は、第 2 の撮像モジュール 1 7 0 によって撮像される領域を示す模式図である。第 2 の撮像モジュール 1 7 0 によって撮像される領域は、ベベル部よりも径方向内側に位置する平坦面（バックニアエッジ部を含む面）である。この領域の幅は、約 6 mm である。第 2 の撮像モジュール 1 7 0 は第 1 の撮像モジュール 1 3 1 と連動して動き、同様のタイミングで撮像する。第 2 の撮像モジュール 1 7 0 によって取得された画像は画像処理部 1 3 2 に送られ、上述した方法に従って処理される。

## 【 0 0 8 2 】

上述した実施形態では、撮像モジュール 1 3 1 は測定ユニット 3 0 に組み込まれているが、本発明はこの配置に限定されない。例えば、上記撮像モジュール 1 3 1 と上記基板保持回転機構 6 1 とを他のユニットから独立した 1 つのユニットとして設けてもよい。基板保持回転機構は、チャックで把持するタイプ以外にも、ウエハの裏面を吸着するタイプを用いることもできる。

## 【 0 0 8 3 】

基板処理装置に組み込まれる測定ユニットの他の例としては、ウエハの形状や温度などの他の物理量を計測する測定ユニットが挙げられる。このようなドライな状況でウエハの所定の物理量を計測する測定ユニットにも上記撮像モジュール 1 3 1 を設けることができる。また、乾燥処理などの後処理ユニットに上記撮像モジュール 1 3 1 を設けることができる。例えば、2 次洗浄・乾燥ユニット 1 1 0 に撮像モジュール 1 3 1 を組み込み、ウエ

10

20

30

40

50

ハWを乾燥した後に研磨状態を検査するようにしてもよい。さらに、複数の撮像カメラおよび末端撮像部を設ける場合は、複数のユニット（例えば、測定ユニット30と2次洗浄・乾燥ユニット110）に分けて撮像カメラおよび末端撮像部を設けることもできる。

【0084】

撮像モジュール131は、洗浄および乾燥した後のウエハWを検査することが好ましいが、本発明はこれに限定されない。例えば、撮像モジュール131を第1研磨ユニット70Aおよび/または第2研磨ユニット70Bの内部に設けてもよい。この場合は、ベベル研磨ヘッド85がウエハWを研磨しているときは、撮像モジュール131はウエハWから離れた位置で待機し、ベベル研磨ヘッド85がウエハWから離間したときに、撮像モジュール131がウエハWに近づいてウエハWの周縁部を撮像する。このような構成によれば、複数のベベル研磨ヘッド85をウエハWの周りに配置しても、ベベル研磨ヘッド85と撮像モジュール131とが接触することはなく、それぞれの処理が阻害されることはない。

10

【0085】

In-Line型の撮像モジュール131は、研磨処理が行われていないときにウエハWの画像を取得する。例えば、ウエハWの研磨が終わった後に、研磨ユニットの内部または外部に配置された撮像モジュール131によってウエハWの周縁部が撮像される。または、ウエハWの研磨を一旦中断して、研磨ユニット内に配置された撮像モジュール131によりウエハWの周縁部を撮像し、撮像終了後に再びウエハWを研磨してもよい。

【0086】

20

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。

【図面の簡単な説明】

【0087】

【図1】図1(a)および図1(b)は、半導体ウエハ等の基板の周縁部を示す部分拡大断面図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る基板処理装置の全体構成を示す概略平面図である。

30

【図3】図3(a)は測定ユニットが備える基板保持回転機構を示す概略斜視図であり、図3(b)は基板保持回転機構の概略平面図である。

【図4】図4(a)及び図4(b)は基板保持回転機構の動作を説明するための図である。

【図5】測定ユニットを示す概略斜視図である。

【図6】図6(a)は、測定ユニットの概略平面図であり、図6(b)は、図6(a)のVI方向矢視図である。

【図7】第1研磨ユニットの概略側断面図である。

【図8】ベベル研磨時のベベル研磨ヘッドの動きを説明するための図である。

【図9】研磨状態検査ユニットを示す模式図である。

40

【図10】画像の光路を説明するための模式図である。

【図11】ステップ・アンド・リピート方式でのウエハの撮像位置を示す図である。

【図12】ステップ・アンド・リピート方式の動作シーケンスを示すフローチャートである。

【図13】スキャン方式でのウエハの撮像位置を示す図である。

【図14】スキャン方式の動作シーケンスを示すフローチャートである。

【図15】ウエハのベベル部を5つの領域に区分けした図である。

【図16】撮像モジュールによって撮像されたウエハの周縁部の画像を示す模式図である。

【図17】ターゲット色の設定に用いられるカラーチャートおよび明度チャートを示す図

50

である。

【図 1 8】ターゲット色としてシリコンの色を選択した場合の膜除去判定プロセスを説明するダイアグラムである。

【図 1 9】ターゲット色として除去すべき膜の色を選択した場合の膜除去判定プロセスを示すダイアグラムである。

【図 2 0】図 2 0 ( a ) はウエハの周縁部の表面が粗いときの画像であって、微分処理した画像を示す模式図であり、図 2 0 ( b ) は図 2 0 ( a ) に示す画像を数値化したヒストグラムである。

【図 2 1】図 2 1 ( a ) はウエハの周縁部の表面が滑らかなときの画像であって、微分処理した画像を示す模式図であり、図 2 1 ( b ) は図 2 1 ( a ) に示す画像を数値化したヒストグラムである。

【図 2 2】撮像モジュールの変形例を示す図である。

【図 2 3】図 2 3 ( a ) は撮像モジュールの更なる変形例を示す図であり、図 2 3 ( b ) は、第 2 の撮像モジュールによって撮像される領域を示す模式図である。

【符号の説明】

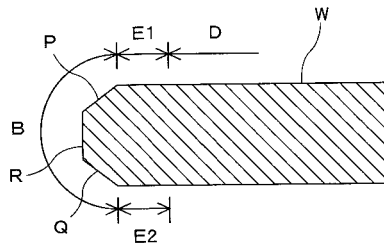
【 0 0 8 8 】

|               |             |    |
|---------------|-------------|----|
| 1             | 基板処理装置      |    |
| 2             | クリーンルーム     |    |
| 3 a           | ハウジング       |    |
| 3             | 側壁          | 20 |
| 1 0           | ロードアンロードポート |    |
| 1 1 A , 1 1 B | ウエハ供給回収装置   |    |
| 1 2 A , 1 2 B | ウエハカセット     |    |
| 2 0 A         | 第 1 搬送口ポート  |    |
| 2 0 B         | 第 2 搬送口ポート  |    |
| 3 0           | 測定ユニット      |    |
| 3 1           | センサ機構       |    |
| 3 2           | 投光装置        |    |
| 3 3           | 受光装置        |    |
| 3 4           | レーザー光       | 30 |
| 6 1           | 基板保持回転機構    |    |
| 6 2           | 上段チャック      |    |
| 6 2 a         | 爪部          |    |
| 6 3           | 下段チャック      |    |
| 6 3 a         | 爪部          |    |
| 6 4           | 回転軸         |    |
| 7 0 A         | 第 1 研磨ユニット  |    |
| 7 0 B         | 第 2 研磨ユニット  |    |
| 7 1           | 筐体          |    |
| 7 2           | 基板保持回転部     | 40 |
| 7 3           | 基板保持テーブル    |    |
| 7 3 a         | 溝部          |    |
| 7 3 b         | 連通路         |    |
| 7 4           | 支持軸         |    |
| 7 4 a         | 連通路         |    |
| 7 5           | 回転駆動装置      |    |
| 7 6           | 真空ライン       |    |
| 7 7           | 圧縮空気供給ライン   |    |
| 7 8           | 吸着パッド       |    |
| 8 0           | 基板受渡機構      | 50 |

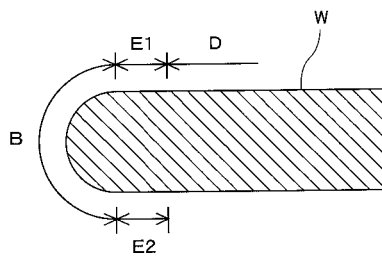
|                   |              |    |
|-------------------|--------------|----|
| 8 1               | アーム          |    |
| 8 2               | コマ           |    |
| 8 3               | ベベル研磨部       |    |
| 8 4               | 研磨テープ        |    |
| 8 4 a             | 研磨面          |    |
| 8 5               | ベベル研磨ヘッド     |    |
| 8 6 , 8 6         | 送りローラ        |    |
| 8 7               | 基部           |    |
| 8 8               | 研磨テープ送り機構    |    |
| 8 8 a             | 供給リール        | 10 |
| 8 8 b             | 回収リール        |    |
| 8 9               | 芯材           |    |
| 9 0               | ノッチ研磨部       |    |
| 9 1               | 研磨テープ        |    |
| 9 1 a             | 研磨面          |    |
| 9 2               | ノッチ研磨ヘッド     |    |
| 9 3 , 9 3         | 送りローラ        |    |
| 9 4               | 研磨テープ送り機構    |    |
| 9 4 a             | 供給リール        |    |
| 9 4 b             | 回収リール        | 20 |
| 9 5 , 9 6         | 研磨水供給ノズル     |    |
| 9 7               | 研磨水供給ノズル     |    |
| 1 0 0             | 1 次洗浄ユニット    |    |
| 1 1 0             | 2 次洗浄・乾燥ユニット |    |
| 1 3 1             | 撮像モジュール      |    |
| 1 3 2             | 画像処理部        |    |
| 1 3 5             | プリズム         |    |
| 1 3 6             | 撮像カメラ        |    |
| 1 3 7             | フォーカスレンズユニット |    |
| 1 4 0             | レンズ          | 30 |
| 1 4 1             | アクチュエータ      |    |
| 1 4 2             | ハーフミラー       |    |
| 1 4 4             | 光源           |    |
| 1 4 5             | レンズ          |    |
| 1 5 0             | ステップモータ      |    |
| 1 5 1             | ロータリーエンコーダ   |    |
| 1 6 0 A ~ 1 6 0 C | 末端撮像部        |    |
| 1 6 3 A ~ 1 6 3 D | 照明部          |    |
| 1 6 5             | 支持部材         |    |
| 1 7 1             | ミラー          | 40 |

【図 1】

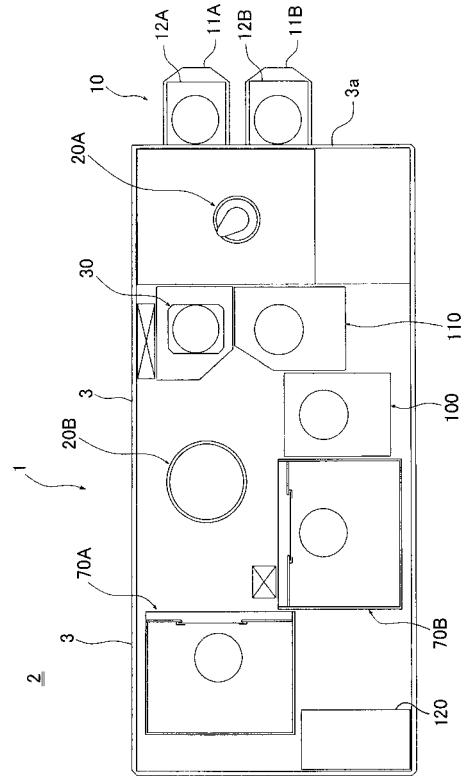
(a)



(b)

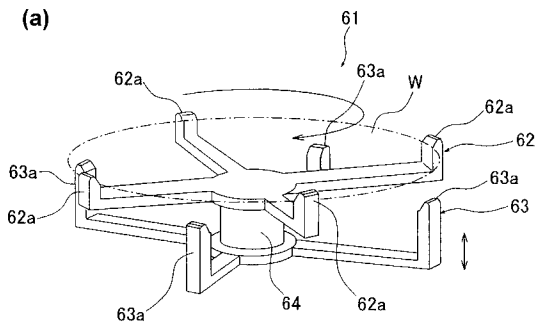


【図 2】

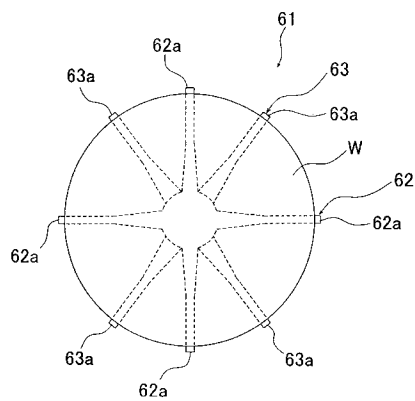


【図 3】

(a)

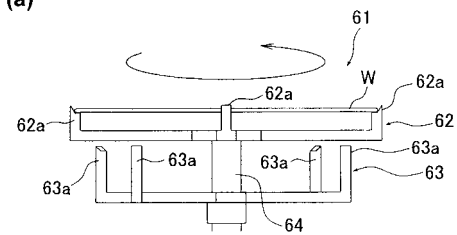


(b)

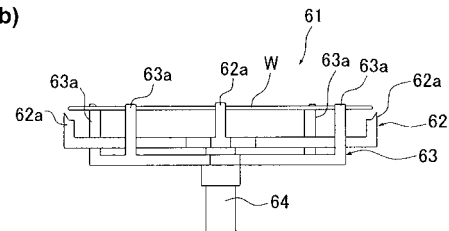


【図 4】

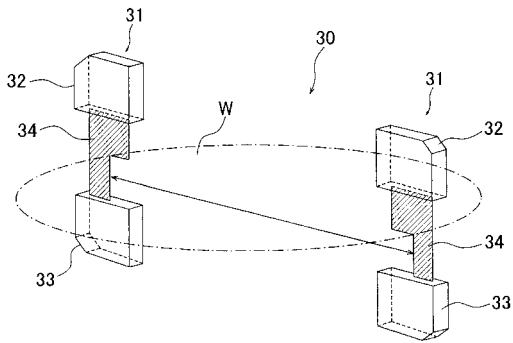
(a)



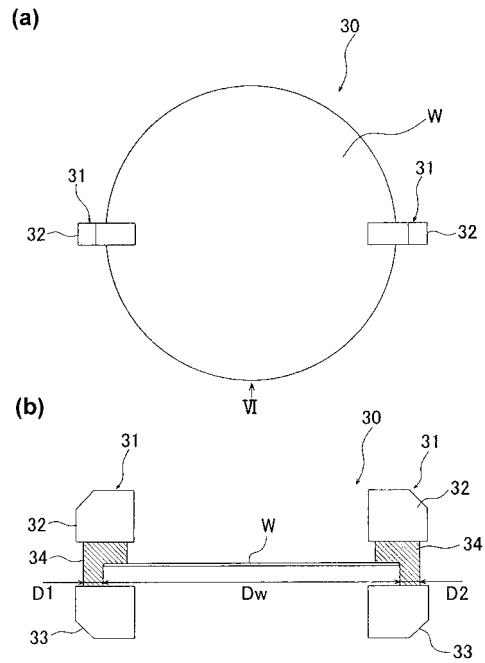
(b)



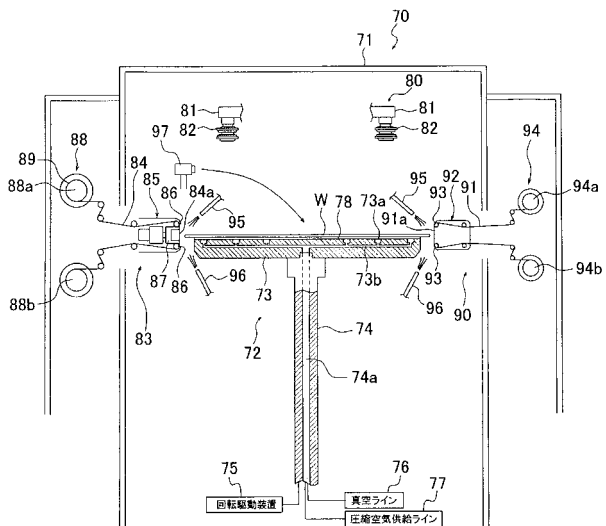
【図 5】



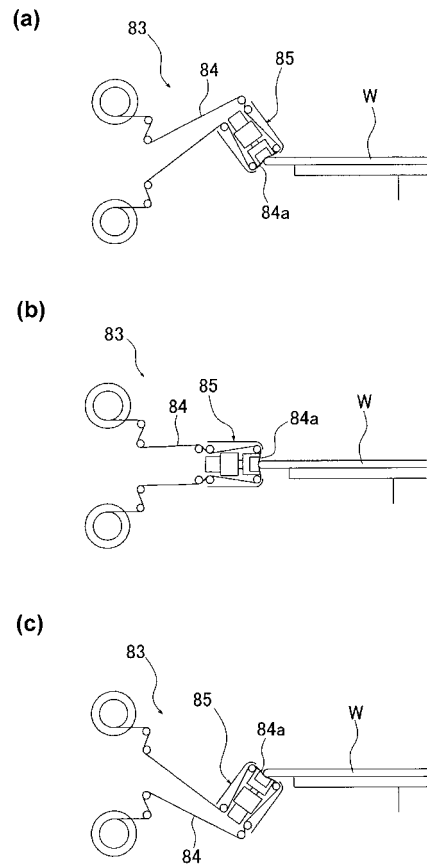
【図 6】



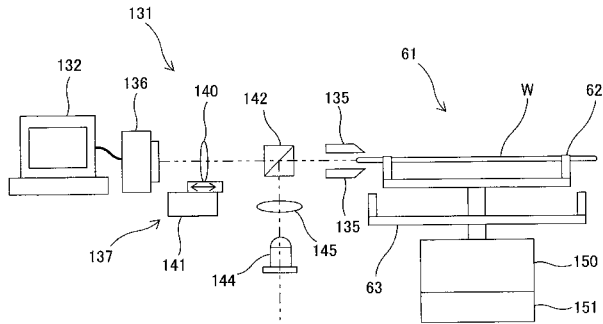
【図 7】



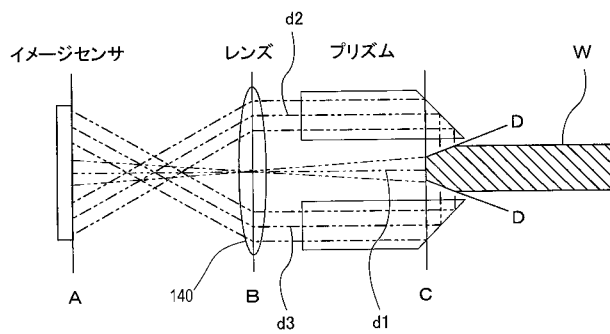
【図 8】



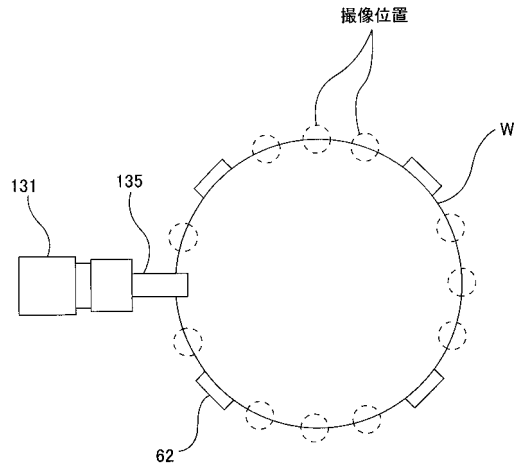
【図 9】



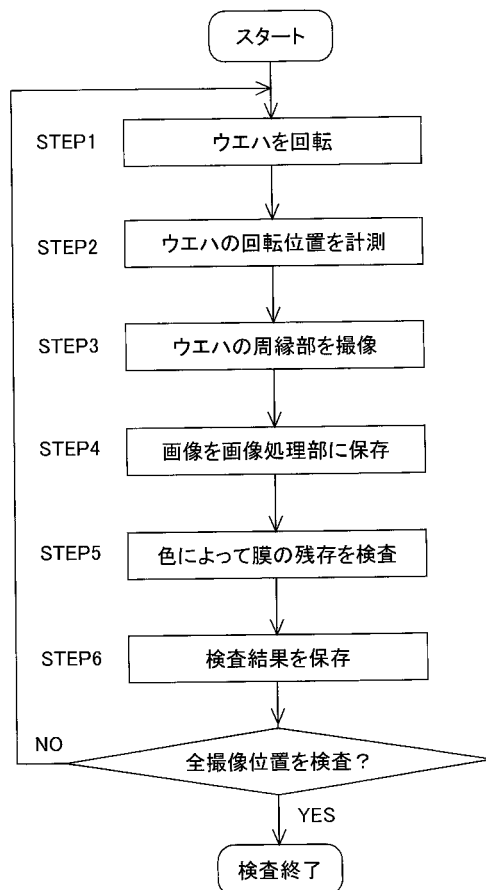
【図 10】



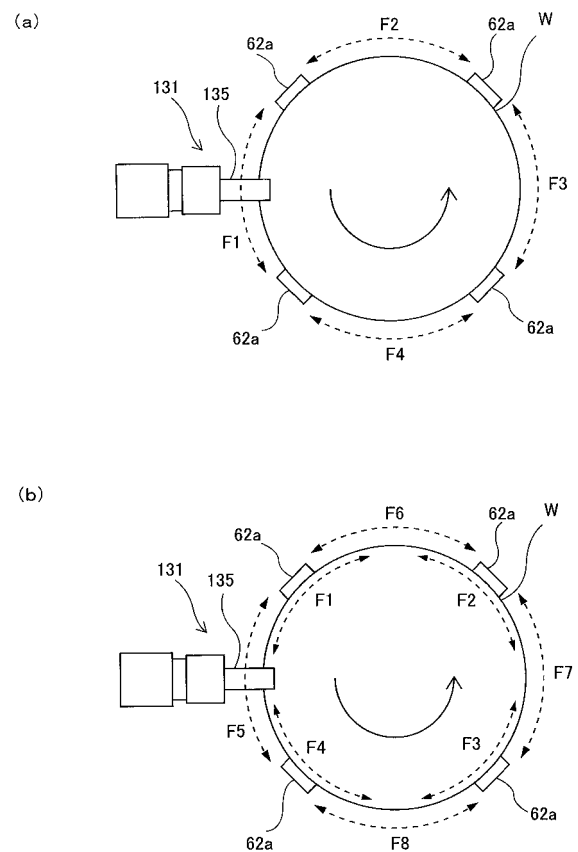
【図 11】



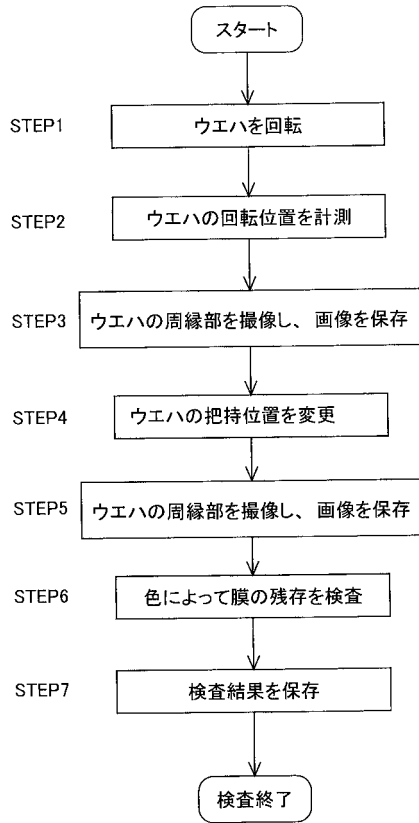
【図 12】



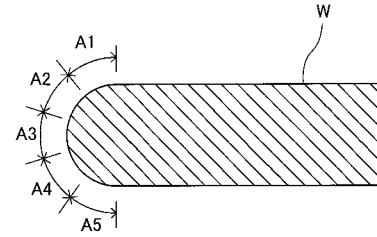
【図 13】



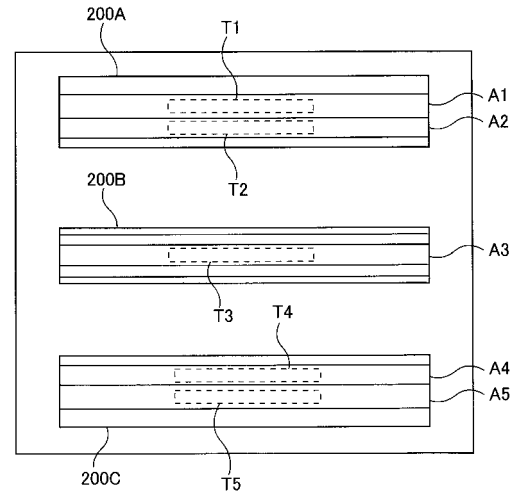
【図 14】



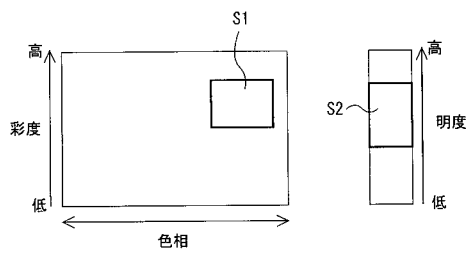
【図 15】



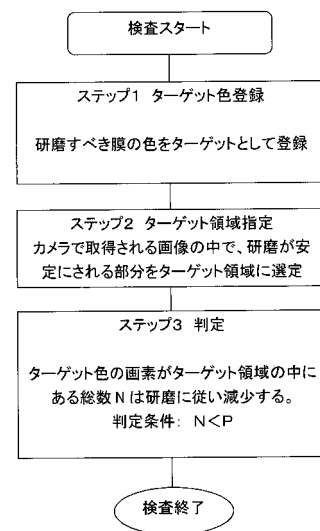
【図 16】



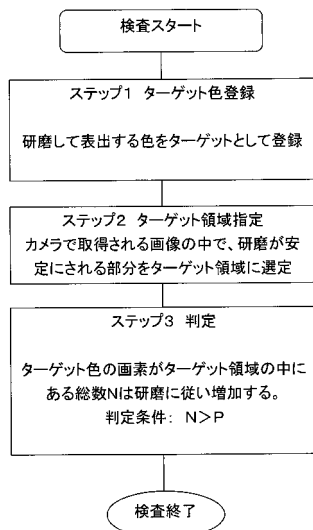
【図 17】



【図 19】

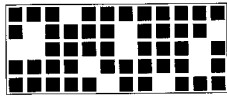


【図 18】

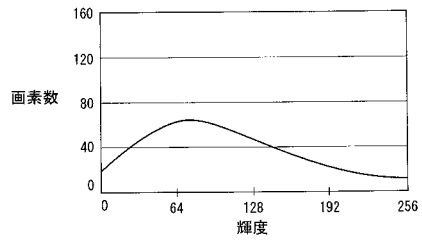


【図 20】

(a)

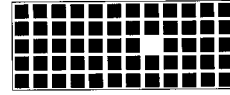


(b)

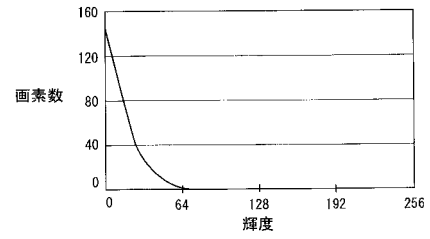


【図 21】

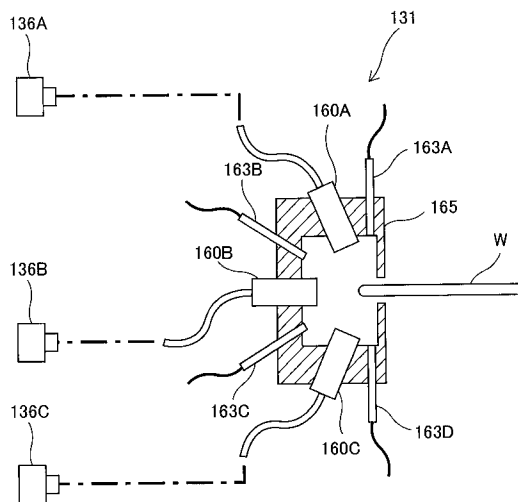
(a)



(b)

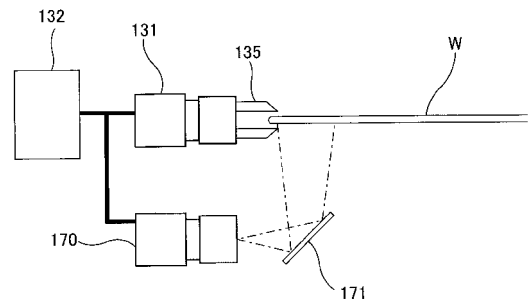


【図 22】

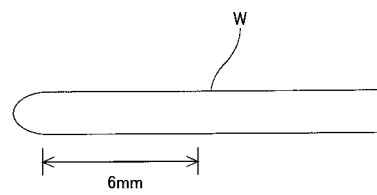


【図 23】

(a)



(b)



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 3C034 AA19 CA02 CA22 CB18 DD10 DD20  
4M106 AA01 CA38 DB04 DJ38