(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3686160号

(P3686160)

(45)発行日　平成17年8月24日(2005.8.24)　(24)登録日　平成17年6月10日(2005.6.10)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G01N 21/956	G01N	21/956	A
H01L 21/66	H01L	21/66	J

請求項の数 8　(全 14 頁)

(21)出願番号	特願平8-112073
(22)出願日	平成8年4月9日(1996.4.9)
(65)公開番号	特開平9-304289
(43)公開日	平成9年11月28日(1997.11.28)
審査請求日	平成15年1月22日(2003.1.22)
(31)優先権主張番号	特願平7-108961
(32)優先日	平成7年4月10日(1995.4.10)
(33)優先権主張国	日本国(JP)
(31)優先権主張番号	特願平8-84619
(32)優先日	平成8年3月13日(1996.3.13)
(33)優先権主張国	日本国(JP)

(73)特許権者　501387839
株式会社日立ハイテクノロジーズ
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号
(74)代理人　100068504
弁理士　小川　勝男
(72)発明者　八掛　保夫
東京都渋谷区東３丁目１６番３号　日立電子エンジニアリング株式会社内
(72)発明者　大川　隆志
東京都渋谷区東３丁目１６番３号　日立電子エンジニアリング株式会社内
(72)発明者　水谷　紀彦
東京都渋谷区東３丁目１６番３号　日立電子エンジニアリング株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ウエハ表面検査方法および検査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ウエハの上部から垂直方向にレーザ光を照射する第１の投光光学系と、

偏向したレーザ光を斜め方向から前記ウエハに照射する第２の投光光学系と、

ウエハの表面を基準とした仰角が３０°以下の角度をなす低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系と、を有し、

前記ウエハを第１の投光光学系からのレーザ光により走査して、前記低角度受光系と前記高角度受光が前記レーザ光の散乱光を受光して前記走査に対応して異物検出を行い、同じ走査位置において前記低角度受光系で検出されずに前記高角度受光系でのみ検出されたものを前記ウエハの欠陥の検出とし、前記低角度受光系と前記高角度受光でともに検出されたものを付着異物の検出とし、更に前記第２の投光光学系からの偏向したレーザ光により走査して、前記低角度受光系により検出したものを予め設定した閾値と比較して付着異物を識別することを特徴とするウエハ表面検査方法。

【請求項２】

請求項１記載のウエハ表面検査方法において、

前記低角度受光系の角度は、５°～２０°の範囲にあって、前記高角度受光系の角度は、３５°～６０°の範囲にあることを特徴とするウエハ表面検査方法。

【請求項３】

請求項２記載のウエハ表面検査方法において、

前記第２の投光系は、ウエハのブリュースター角に対応する角度でＰ偏光したレーザを

照射するものであり、前記低角度受光系の角度が前記ブリュースター角に対応する角度に選択され、かつ、Ｓ偏光の散乱光を受光するものであり、前記高角度受光系の角度は、４０°～５０°の範囲にあることを特徴とするウエハ表面検査方法。

【請求項４】

請求項１～３のいずれかに記載のウエハ表面検査方法において、

前記第１の投光光学系の前記レーザ光による走査と前記第２の投光光学系の前記レーザ光による走査とは独立に行われることを特徴とするウエハ表面検査方法。

【請求項５】

請求項１～４のいずれかに記載のウエハ表面検査方法において、

検出された前記結晶欠陥あるいは前記付着異物がディスプレイの画面上にマップ表示されることを特徴とするウエハ表面検査方法。

【請求項６】

請求項１に記載されたウエハ表面検査方法により得られるウエハの結晶欠陥と付着異物について検査結果に基づいて最適な洗浄回数を決定するウエハの製造方法。

【請求項７】

ウエハの表面を基準とした仰角が３０°以下の角度をなす低角度受光系と、

前記低角度受光系よりも大きな仰角をなす高角度受光系と、

前記ウエハの上部から垂直方向にレーザ光を照射する第１の投光光学系と、

前記ウエハの斜め方向から偏向したレーザ光を照射する第２の投光光学系と、

前記第１の投光光学系からのレーザ光の照射により、前記低角度受光系及び前記高角度受光が検出した信号を演算して結晶欠陥と付着異物を識別し、

かつ前記第２の投光光学系からの偏向したレーザ光の照射により、前記低角度受光系が検出した信号に基づき付着異物を識別するウエハ表面検査装置。

【請求項８】

請求項７記載のウエハ表面検査装置において、

前記第１の投光光学系の前記レーザ光による走査と前記第２の投光光学系による走査とを切り換える光学系切換機構を備えたことを特徴とするウエハ表面検査装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

この発明は、ウエハ表面検査方法および検査装置に関し、詳しくは、シリコンウエハの表面に付着した異物と、表面に存在する結晶欠陥とを分離して検出することができる検査方法および検査装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

半導体ＩＣの素材となるシリコンウエハは、高純度の多結晶シリコンから造られる。それは、引き上げ法などにより単結晶シリコンのインゴットを作り、これをスライスして薄板とし、その表面を研磨して鏡面に仕上げ、さらに、表面に付着した異物を入念に洗浄して製作される。この洗浄にもかかわらず、いくらかの付着異物が残留する。これが多く残留するとＩＣの品質を阻害するので、表面検査装置により付着異物の有無や程度が検査されている。

【０００３】

図１０により、従来から使用されているウエハ表面検査装置の構成を示す。

表面検査装置は、図１０(a)に示すように、回転・移動テーブル２と、検査光学系３、データ処理部４などよりなる。検査対象となるシリコンウエハ（以下単にウエハ）１は、回転・移動テーブル２に載置される。このウエハ１の上部に配置された検査光学系３は、レーザ発振管を備えたレーザ光源３１を有している。これの出力するレーザビームＬＴは、コリメータレンズ３２により平行にされ、振動ミラー３３によりＸ方向に掃引される。そして、それが集束レンズ３4によりレーザスポットＳｐ（以下スポットＳｐ）として集束されてウエハ１の表面に対して垂直に投射されて、ウエハ１の移動に応じてウエハを走査す

る。
【０００４】
ウエハ１は、回転・移動テーブル２により回転させられるとともに半径方向（Ｘ方向）に移動する。これにより、スポットＳｐは、ウエハ１の表面をスパイラル状に走査し、その結果、ウエハ１の全面が走査される。なお、回転・移動テーブル２の駆動は、後述するデータ処理部４により制御される。
ウエハ１の表面に異物ｅが存在すると、図(b)に示すように、スポットＳｐは異物ｅによりランダムな方向に散乱光Ｓｅを発生する。その一部は、光軸が４５°をなす集光レンズ３５により集光されて光電変換器である光電子増倍管（ＰＭＴ）３６に受光される。ＰＭＴ３６に入射した光はここで電気信号に変換され、変換された受光信号は、異物検出回路４１に入力される。
異物検出回路４１は、片側増幅の差動増幅器により所定の閾値ＶTHと受光信号とを比較して、閾値ＶTHを越えた成分を増幅する。これによりノイズ成分が除去された検出信号（アナログ信号）がデータ処理部４に入力される。
【０００５】
検出信号は、データ処理装置４２に設けられたＡ／Ｄ変換回路（Ａ／Ｄ）４２ｂによりデジタル値に変換されてＭＰＵ４２ａによりメモリ４２ｃに一旦記憶され、ＭＰＵ４２ａが所定のプログラムを実行することにより検出データがその走査位置（検出位置）のデータとともにデータ処理される。その結果、検出値に応じて異物ｅの大きさが判定される。さらに異物の個数がカウントされる。さらに、ＭＰＵ４２ａが所定のプログラムを実行することで異物ｅの個数と大きさ、その位置を示す異物データが生成され、プリンタ４３あるいはディスプレイ（図示せず）等に出力されて異物の状態がマップ表示される。なお、Ａ／Ｄ４２ｂは、データ処理装置４２の外部に設けられていてもよい。
前記のスポットＳｐは、その径が数μｍで非常に強い光であり、集光レンズ３５の直径は、大きく集光角度の広いものを使用している。また、ＰＭＴ３６は大きい増幅率と低ノイズの特性を有するものである。これにより０．１μｍ径程度の異物あるいは欠陥まで検出することが可能である。
なお、スポットＳｐのウエハ１に対する走査は、上記の回転走査方式のほか、ＸＹ走査方式によることもできる。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
さて、最近におけるＩＣの集積密度の向上とこれに伴う配線の細線化によって、検出する異物は、大きさの許容限界がさらに微小になってきている。そのため、ウエハ１のシリコン原子の欠損による欠陥までが問題となってきている。これを図１１と図１２により説明する。
ウエハは、無数のシリコン原子Ｓｉが互いに格子状に結合された単結晶で構成されている。図１１において示すように、シリコン原子Ｓｉが酸化されて微小な酸化物が表面に形成され、それが洗浄により欠落することで欠損することがある。これが結晶欠陥となる。この結晶欠陥は、関係者によりＣｒｉｓｔａｌ－Ｏｒｉｇｉｎａｔｅｄ－Ｐａｒｔｉｃｌｅ（ＣＯＰ）とよばれているので、以下これをもって説明する。
【０００７】
図１１では、連続した複数個（図では３個）のシリコン原子Ｓｉが欠損している。これが多数の場合を顕微鏡で観察すると、その断面は、図１２に示すような凹面をなしている。その直径φと深さδｚはもちろんさまざまであるが、直径φに比べて深さδｚが小さいという特徴がある。例えば、直径φが１～２μｍのとき、深さδｚは２０分の１程度の０．０５～０．１μｍ程度である。ＩＣに対して欠陥となるＣＯＰの大きさは、直径φが２μｍのときは、１６ＭビットのＩＣメモリ（配線幅０．７μｍ）では問題とならないが、６４Ｍビット以上のＩＣメモリに対して有害になる。
ＣＯＰの個数は、単結晶シリコンのインゴットを作るときの引き上げ速度や洗浄回数に依存して変化する。一方、付着異物ｅの個数も洗浄により減少するので、引き上げ速度と洗

浄回数を適切に決めることが必要になる。そのためには、ＣＯＰと付着異物ｅの個数および大きさを個別に計測することが必要になる。

【０００８】

そこで、ウエハ表面検査装置によりＣＯＰを計測して評価データを得たいという要請がある。しかし、前記の検査光学系３は、ＣＯＰとともに付着異物ｅが検出されるので、両者の個数あるいは両者の個数とその大きさを別個に計測することはできない。

なお、異物検出装置に関しては、高角度，低角度の２つの投光系を持つ、本出願人による「ガラスの異物検査装置」の発明がＵＳＰ５，２４５，４０３号としてある。

この発明は、付着異物とＣＯＰとを検出することができるウエハ表面検査方法を提供することを目的とする。

この発明は、付着異物とＣＯＰとを検出することができるウエハ表面検査装置を提供することを目的とする。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

このような目的を達成するためのこの発明のウエハ表面検査方法および検査装置の特徴は、ウエハの表面を基準とした仰角が３０°以下の角度をなす低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系とを有し、ウエハをレーザ光により走査して、低角度受光系と高角度受光がレーザ光の散乱光を受光して走査に対応して異物検出を行い、同じ走査位置において高角度受光系でのみ検出されたものをウエハの欠陥の検出とし、低角度受光系で検出されたものを付着異物の検出とするものである。

また、前記の付着異物については、前記低角度受光系と前記高角度受光でともに検出されたものを付着異物の検出としてもよい。

さらに、必要に応じて付着異物あるいは欠陥の大きさを判定するが、それは、高角度受光系で検出された異物の検出値において行われる。

検査装置としては、前記の低角度受光系に第１の光電変換器を設け、前記の高角度受光系に第２の光電変換器を設け、第１の光電変換器かから第１の検出信号を受け、前記第２の光電変換器から第２の検出信号を受けて所定値以上の前記第１の検出信号を受けたとき、あるいは所定値以上の前記第１の検出信号と所定値以上の第２の検出信号とをともに受けたときに付着異物検出とし、前記所定値以上の前記第２の検出信号のみ受けたときに欠陥検出とするデータ処理装置とを備えている。

【００１０】

【発明の実施の形態】

さて、この発明の発明者によりなされた付着異物と結晶欠陥の散乱光の指向特性に関する実験について述べると、付着異物の散乱光はほぼ無指向性であるが、通常の結晶欠陥は深さが直径に比べて非常に浅いので、散乱光は表面に対して約３０°以上という指向性を持つ。これ以下となる方向にはほとんど散乱されない。

このような指向特性のため、ウエハの面を基準とした仰角が３５°～６０°の角度方向に設けた高角度受光系により付着異物と結晶欠陥の散乱光をともに受光して、これらを検出する。これに対して仰角が３０°以下の角度方向に設けた低角度受光系では、結晶欠陥の散乱光がほとんど入射しないので、これにより付着異物の散乱光のみを受光して検出する。

なお、従来技術の説明でも理解できるように、結晶欠陥や付着異物等の散乱光が強く受光できる角度としては従来から３５°～６０°程度の範囲が選択されている。そして、特に、これの適正な受光範囲としては、４０°～５０°の範囲である。

【００１１】

前記の仰角３０°以下の低角度受光は、図７に示す実験結果による。すなわち、図７（ａ）に仰角が４０°～５０°の範囲の高角度で受光したときのCZOCHRALSKI法により製造されたウエハについての異物検出データについてのマップを、（ｂ）には、仰角が５°～２０°の低角度で受光したとき同じウエハについての異物検出データについてのマップ°をそれぞれ一例として示す。これらのマップを比較すると分かるように、図（ａ）では、異

物の検出量が多く、これには付着異物と結晶欠陥とが含まれている。一方、図（ｂ）では、異物検出量が少なく、ほぼ付着異物のみが検出されている。
ウエハから付着異物を完全に除去して検査することは難しいので、このことを検証するために、ＣＯＰ欠陥がほとんど発生しないFLOATING ZONE法により製造したウエハについて異物検出を行った。仰角が４０°～５０°の範囲の高角度で受光したときのそれの検出データを（ｃ）に、仰角が５°～２０°の低角度で受光したときのそれの検出データを（ｄ）にそれぞれ示す。このマップ（ｃ），（ｄ）では、先のマップ（ａ），（ｂ）と相違して、低角度受光で検出した異物も高角度受光で検出した異物もほぼ同じような状態で検出されている。
これらマップは、代表的な例であって、多少前記の角度を前後させても相違は少ない。しかし、低角度受光系の光軸が３０°以上になると、（ｂ）の状態が（ａ）の状態に近づく。

【００１２】
ところで、最近、図８に示すように、ＣＯＰがウエハの内部にも存在することが分かってきた。また、表面には、さらに、酸化物層（ＯＳＦ；OxidationInducedStackingFolt）があって、これらは付着異物と同様にスポットを当てた場合に散乱光を発生させる。これらからの散乱光は、ＰＭＴ（光電子増倍管）の増幅率を上げた場合にノイズとして作用する。このノイズは、検出レベルが比較的低い低角度受光系での付着異物の検出において問題となる。
そこで、発明者等は、Ｐ偏光成分の反射率がほぼゼロになるブリュースター角θBに着目した。このブリュースター角θBを低角度受光系に適用することでＣＯＰとＯＳＦからの散乱光により発生するノイズ成分を低減し、より正確に付着異物を検出することができる。
ウエハ１のブリュースター角θBは、シリコンの屈折率ｎより算出することができる。ただし、一般的にシリコンやガラスなどの屈折率ｎは波長λに依存して変化する。例えば、波長３μｍに対するシリコンの屈折率ｎとしては、値３．４３であることが光学ハンドブック等で公表されている。しかし、検出光学系にこれをそのまま適用することはできない。

【００１３】
図９は、ブリュースター角についての実験データを示す曲線図で、横軸は入射角θ1、縦軸は反射率ｒと透過率ｔとを％で示している。レーザ光源としてアルゴンレーザ管を使用し、これが発振する４８８ｎｍ波長の直線偏光波の角度を変えて、Ｐ偏光波とＳ偏光波を作り、それぞれをウエハ１の表面に投射し、入射角θ1に対する反射率ｒ［P]（ただし［P]はＰ偏光成分），透過率ｔ［P]と、反射率ｒ［S]（ただし［S]はＳ偏光成分），透過率ｔ［S]とをそれぞれ測定した。その結果、図に×で示す実測値が得られた。反射率ｒ［P]は、入射角をθ1とすると、θ1＝７６°で極小値を示すので、これが一応ブリュースター角θBになる。したがって、屈折角をθ2とすると、θ2は１４°であり、前記の５°～２０°の範囲に入る。

【００１４】
ここで、屈折率ｎ1＝１の空気側から、屈折率ｎ2の誘電体の表面に対して、Ｐ偏光波とＳ偏光波の光束を、それぞれ適当な入射角θ1で投射するとすれば、$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$が成立する。この論理式からθ1＝７６°，θ2＝１４°を代入してｎ2を求めると、実際のシリコンウエハの屈折率ｎ＝４．０が得られる。
そこで、これに基づいてｒ［P]，ｔ［P]，ｒ［S]，ｔ［S]について理論値を算出すると、「・」で図示する計算値が得られた。
ｒ［P]とｔ［P]の実測値は、ブリュースター角θB（７６°）の近傍で１％程度の差異があるが、これ以外の測定範囲に関しては、計算値とほぼ正確に一致している。ただし、ｒ［S]とｔ［S]の実測値は計算値と一致していない。
これにより、前記の低角度受光系の角度を１４°前後として、さらに、この角度と等しい照射角のＰ偏光の光源を持つ投光系を設ける。低角度受光系にはＳ偏光フィルタを設け、

これを介して散乱光を受光する。これによりより正確に付着異物のみを検出することができる。
Ｐ偏光の光を付着異物が受けて散乱させた場合には、Ｐ成分とＳ成分の散乱光が発生するが、ＣＯＰやＯＳＦの面での反射光は、Ｐ成分のみが主体となるからである。これをＳ偏光フィルタによりカットして付着異物を検出する。これによりＣＯＰやＯＳＦからの散乱光を受光しなくて済み、S/N比が向上し、特に、ＰＭＴの感度（増幅率）を少し抑えてノイズに影響を抑制して正確に付着異物を検出をすることが可能になる。
【００１５】
【実施例】
図１は、この発明における検査光学系であって、図８と同一の構成要素は同一の符号で示す。
図１に示すウエハ表面検査装置２００の検査光学系３ａは、前記した図８の検査光学系３とほぼ同一同様な構成であるが、これが高低２つの受光系を左右に配置している点で図８のものとは相違している。その第１の受光系は、ウエハ１の表面を基準としてその仰角が４０°～５０°の角度をなす高角度受光系３７であり、第２の受光系は、仰角が５°～２０°の角度をなす低角度受光系３８である。
回転・移動テーブル２は、回転テーブル２１とこれを直線移動させる直線移動機構２２とからなり、後述するデータ処理装置５３により駆動制御回路５５を介してその位置と回転とが制御される。
なお、レーザ走査系としては、図８と同様に回転走査方式のものであるが、これをＸＹ走査方式に換えても差し支えはない。
【００１６】
高角度受光系３７は、左右の両側に対称的に設けた集束レンズ３７１,ＰＭＴ３７３と、集束レンズ３７２,ＰＭＴ３７４よりなる。ウエハ１の表面を基準としたその光軸の仰角θRHは４０～５０°の範囲内に設定してある。低角度受光系３８は、同様に左右対称に設けた集束レンズ３８１,ＰＭＴ３８３と、集束レンズ３８２,ＰＭＴ３８４とよりなる。その光軸は仰角θRLを１５～２５°の範囲内に設定してある。
図２は、ウエハ表面検査装置２００の検査光学系３ａを除いた構成を示す。図８の異物検出回路４１に対応するものとしてそれぞれの受光系に対応して異物・欠陥検出回路５１と付着異物検出回路５２とが設けられている。
異物・欠陥検出回路５１は、高角度受光のＰＭＴ３７３，３７４の検出信号を加算する加算回路５１ａと、加算された検出信号を増幅して出力するアンプ５１ｂ、このアンプ５１ｂの出力を受けて所定の閾値ＶTH1と比較して閾値を越えた信号部分を増幅する片側増幅の差動アンプ５１ｃ、ピークホールド回路５１ｄ、そしてＡ／Ｄ変換回路（Ａ／Ｄ）５１ｅとからなる。付着異物検出回路５２は、低角度受光のＰＭＴ３８３，３８４の検出信号を加算する加算回路５２ａと、加算された検出信号を増幅して出力するアンプ５２ｂ、このアンプ５２ｂの出力を受けて所定の閾値ＶTH2と比較して閾値を越えた信号部分を増幅する片側増幅の差動アンプ５２ｃ、ピークホールド回路５１ｄ、そしてＡ／Ｄ変換回路（Ａ／Ｄ）５２ｅとからなる。
なお、前記の閾値ＶTH1，ＶTH2は、調整可能であって、それぞれの受光系の検出信号の状態に応じてそれぞれ適正な値に設定される。
【００１７】
その結果、ウエハのらせん走査に応じて検出された付着異物と欠陥をと含む異物の検出信号がピークホールド回路５１ｄによりホールドされ、同時に付着異物の検出信号がピークホールド回路５２ｄによりホールドされる。それぞれのホールド値は、データ処理装置５３の制御信号に応じてＡ／Ｄ５１ｅ，５２ｅによりデジタル値に変換され、データ処理装置５３に取り込まれる。ピークホールド回路５１ｄ，５２ｄのホールド値は、Ａ／Ｄ５１ｅ，５２ｅからの信号によりそれぞれリセットされて次の検出信号のピーク値がこれらによりそれぞれホールドされる。
【００１８】

データ処理装置５３は、マイクロプロセッサ（ＭＰＵ）５３ａとメモリ５３ｂ、ディスプレイ５３ｃ、プリンタ５３ｄ，インタフェース５３ｅ等から構成されて、これらがバス５３ｆを介して相互に接続されている。そして、メモリ５３ｂには、異物検出プログラム５４ａと異物・欠陥区分けプログラム５４ｂ、異物の大きさ判定プログラム５４ｃ、検出値カウントプログラム５４ｄ、テーブル位置制御プログラム５４ｅ等が設けられ、さらに、異物データ領域５４ｆ，欠陥データ領域５４ｇとが設けられている。
ＭＰＵ５３ａは、テーブル位置制御プログラム５４ｅを実行することで、インタフェース５３ｅを介して回転・移動テーブル２を制御して走査を開始する。そして、その制御量は、走査位置情報としてメモリ５３ｂの所定の領域に記憶される。

【００１９】

異物検出プログラム５４ａは、Ａ／Ｄ５１ｅ，５２ｅのデータを所定のタイミングでインタフェース５３ｅを介して取り込み、メモリ５３ｂに走査位置データとともに記憶する処理をする。
異物・欠陥区分けプログラム５４ｂは、採取された検出値のデータから同じ検出位置、すなわち、同じ走査位置において、Ａ／Ｄ５１ｅ，５２ｅから得たデータがそれぞれに設定された所定値以上のデータ値であるときに、それを付着異物の検出データとして抽出して異物データ領域５４ｆに記憶し、Ａ／Ｄ５２ｅから得たデータがこれに対して設定された所定値以下でであり、かつ、Ａ／Ｄ５１ｅから得たデータがこれに対して設定された所定値以上であるときに、それを欠陥データとして抽出して欠陥データ領域５４ｇに記憶する。なお、所定値以上の検出データを対象とするのは、ノイズデータを除去するためである。

【００２０】

異物の大きさ判定プログラム５４ｃは、異物データ領域５４ｆのデータを読出してその値に応じて大きさのランク付けをし、各データに大きさの情報（大きさを示すデータ）を付加して異物データ領域５４ｆの元の記憶位置に記憶する処理をする。さらに、欠陥データ領域５４ｇのデータを読出してその値に応じて同様に大きさのランク付けをし、各データに大きさの情報（大きさを示すデータ）を付加して欠陥データ領域５４ｇの元の記憶位置に記憶する処理をする。
検出値カウントプログラム５４ｄは、異物データ領域５４ｆを参照して大きさに応じて付着異物の数をそれぞれカウントし、かつ、付着異物の総計を算出する。さらに、欠陥データ領域５４ｇを参照して前記と同様にその大きさに応じてそれぞれの数と欠陥の総数とをカウントして算出する。
なお、上記の異物検出プログラム５４ａは、計測器一般のデータを採取するプログラムであり、異物・欠陥区分けプログラム５４ｂは、データ値を参照して区分けするだけのプログラムであり、付着異物の大きさ判定プログラム５４ｃも所定の範囲を基準にランク分けする一般的なプログラムである。また、検出値カウントプログラム５４ｄも特定のデータだけを単にカウントするプログラムである。これらは、特別なプログラムではないのでその詳細は割愛する。

【００２１】

付着異物と欠陥の検出処理について図３に従って説明すると、まず、初期値を設定して（ステップ１００）、走査を開始する（ステップ１０１）。これによりウエハ１の表面に対して垂直にスポットＳpを投射して走査が開始されると、付着異物ｅの散乱光とＣＯＰの散乱光は、高角度受光系３７の左右の集光レンズ３７１,３７２によりそれぞれ集光されて、対応するＰＭＴ３７３,３７4に受光される。一方、低角度受光系３８の集光レンズ３８１,３８２には、付着異物ｅの散乱光のみがそれぞれ入射して集光され、対応するＰＭＴ３８３,３８4に受光される。
ＰＭＴ３７３,３７4の受光信号は、異物・欠陥検出回路５１に入力され、これに設定された閾値ＶTH1と比較されてノイズが除去され、付着異物ｅとＣＯＰとがともに検出されて、それぞれの検出信号がＡ／Ｄ５１ｅによりデジタル値に変換され、インタフェース５３ｅに出力される。また、ＰＭＴ３８３,３８4の受光信号は、付着異物検出回路５２に入力

して同様にノイズが除去され、付着異物ｅのみが検出され、検出信号がＡ／Ｄ５２ｅによりデジタル値に変換され、インタフェース５３ｅに出力される。

【００２２】

ＭＰＵ５３ａは、異物検出プログラム５４ａを実行して低角度受光と高角度受光の検出データをインタフェース５３ｅから採取して（ステップ１０２）、異物・欠陥区分けプログラム５４ｂを実行して異物・欠陥区分け処理を行う（ステップ１０３）。次に、ＭＰＵ５３ａは、異物の大きさ判定プログラム５４ｃを実行して付着異物の大きさ判定をして（ステップ１０４）、次に検出値カウントプログラム５４ｄを実行して大きさに応じて付着異物の数をカウントとし、付着異物の総計の算出処理をし、さらに欠陥についも大きさに応じて欠陥の数をカウントと欠陥の総計の算出処理をし、大きさとその総計の算出処理をして（ステップ１０５）、ディスプレイに欠陥あるいは、付着異物をそれぞれに、あるいはこれらの両者をともに、例えば色分けしてマップとして出力する処理をする（ステップ１０６）。もちろん、色分けせずに両者をマップ表示してもよい。その結果、図７で示されるような異物マップが出力される。

【００２３】

図４は、検査光学系３ｂとして図１における低角度受光系３８のうち図面右側の受光系の集束レンズ３８２,ＰＭＴ３８４の間にＳ偏光フィルタ３８５を設けて、これらの光軸のウエハ１を基準とした仰角が約１４°（俯角は約７６°）のブリュースター角に設定し、図面左側の集束レンズ３８１,ＰＭＴ３８３を削除した受光系３８ａを設け、さらにこの削除した受光系に換えて、ブリュースター角でＰ偏光のレーザスポットを照射する投光光軸の仰角が約１４°の投光系３３０を設けたものである。そして、この検査光学系３ｂは、光学系切換機構３９により検査光学系３ａと切換えられてウエハ１の上部に配置される。この切換えは、検査光学系３ａによる高角度の受光系での検査の後にデータ処理装置５３により駆動制御回路５５を介して行われる。図４は、この切換られた後の状態を示している。

なお、検査光学系３ａと検査光学系３ｂとが共にウエハ１の上部に配置できれば、光学系切換機構３９を設けて光学系の切換えを行う必要はない。

【００２４】

検査光学系３ｂの投光系３３０は、Ｐ偏光の光を照射するアルゴン（Ａｒ）レーザ光源３３１を設け、これにコリメータレンズ３３２と２個のミラー３３３，３３４、さらに集束レンズ３３５を図示の位置に付加したものである。

付着異物検出回路５２のアンプ５２ｂの閾値は、ここでは、検出光のレベルとノイズとの関係に合わせてＶTH3になっている。

データ処理装置５３の構成は前記と同じである。その処理としては、データ処理装置５３の検査データの採取が高角度受光系３７の異物・欠陥検出がウエハ１の全面走査により行われて検査位置データのとともに検査データが先ず採取され、その後に、検査光学系３ｂに切換えられて、ウエハ１の全面走査により行われてここで採取された検査位置データが先に採取されたデータの検査位置と対応させて同じ検査位置に記憶される。この点で図３の前記のステップ１０１，１０２の一度にデータを採取する処理とは相違する。その後の処理は、図３のフローチャートの異物・欠陥区分け処理を行うステップ１０３から以降の処理と同じである。

なお、ここでの、異物・欠陥区分け処理は、前記したように異物・欠陥検出回路５１では、付着異物とＣＯＰとがともに検出されるので、高角度受光系３７のみで検出されたデータがＣＯＰとされる。

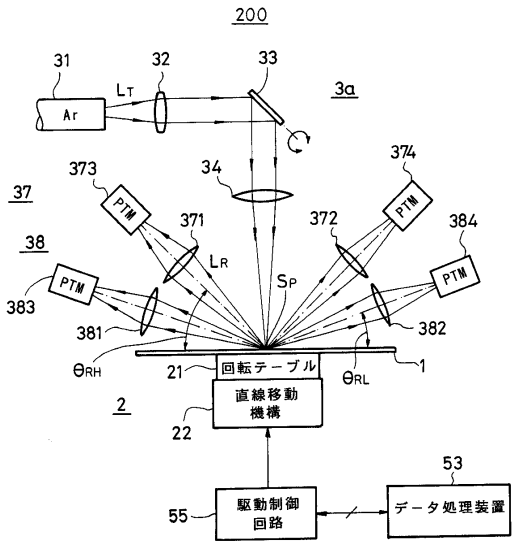
【００２５】

これにより、図５の（ａ）に示すように、ウエハ１の表面にある付着異物ｅのランダム偏光の散乱光は、受光系３８ａの集光レンズ３８２により集光されて、Ｓ偏光フィルタ３８５によりＳ偏光成分が抽出される。一方、表面および内部に存在するＣＯＰとＯＳＦは、透過光Ｔ［P]を散乱し、このランダム偏光の散乱光Ｓｃ は、その一部分が集光レンズ３８２により集光され、Ｓ偏光フィルタ３８５によりＳ偏光成分が抽出される。これが付着異

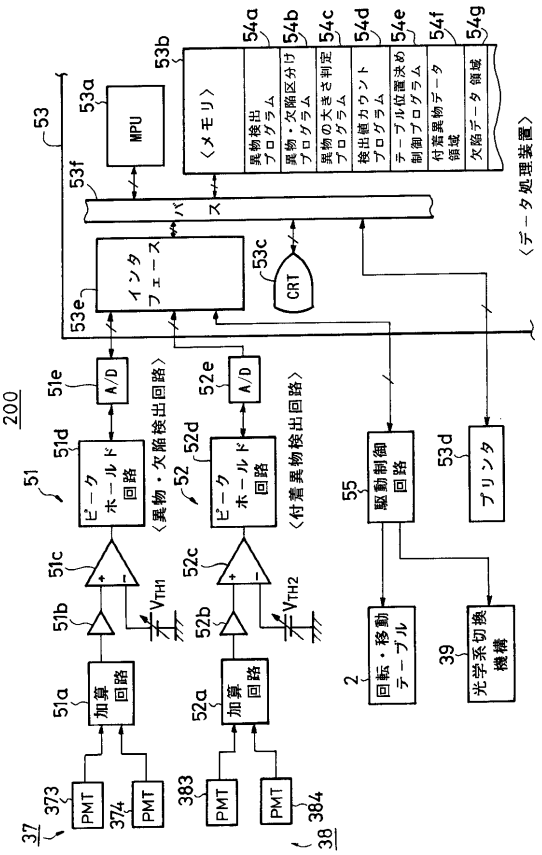
物の散乱光Ｓｅ のＳ偏光成分より弱いので、付着異物ｅの散乱光Ｓｅ は S/N比がほとんど低下せずにＰＭＴ３８３に受光される。ＰＭＴ３８３が出力する異物検出信号は、付着異物検出回路５２に入力されて、閾値ＶTH3と比較されてノイズが除去され、０．１μｍ以下までの付着異物ｅと、そのそれぞれの大きさとが検出される。
なお、図では、データ処理の説明の都合上、ＰＭＴ３８３の出力を付着異物検出回路５２に入力しているが、本来は、切換処理によりＰＭＴ３８３の出力を異物・欠陥検出回路５１に入力してもよい。この場合には、差動アンプ５１ｃの閾値をＶTH1からTＶH3に切り替える。このようにすれば付着異物検出回路５２が不要になる。
【００２６】
図６に上記により計測された付着異物ｅとＣＯＰの個数データの一例を示す。
図６においては、横軸を洗浄回数ｎ、縦軸を個数Ｎとし、それぞれ２μｍ以上の付着異物ｅの個数ＮeとＣＯＰの個数Ｎcについての曲線を示す。付着異物ｅの個数Ｎeは、当然ながら洗浄回数ｎにほぼ反比例して減少する。これに対してＣＯＰの個数ＮＣは、洗浄回数ｎが増す伴ってかなりの増加率で増加している。ただし、個数Ｎcは、インゴットの引き上げ速度が大きいほど大きい。ウエハ製造メーカにおいては、このような計測データを参考として、最適な洗浄回数ｎなどを決定することができる。
なお、この発明は、ブランクウエハに限定されるものではなく、例えば、ウエハにアルミニユームＡｌ等のデポジション膜が形成された場合に、その膜厚が０．数μｍ程度のものであれば、欠陥と付着異物との検出可能であることが確認されている。
また、前記のデータ処理装置における付着異物と結晶欠陥とのデータの区分け処理としては、例えば、高角度受光系により受光したスポットからの散乱光の検出データに対して同時に低角度受光系により受光された場合にそのデータにフラグを立てることにより行うこともできる。
【００２７】
【発明の効果】
以上説明してきたように、この発明にあっては、ウエハの表面を基準とした仰角が３０°以下の低角度受光系を設けてウエハをレーザ光により走査してこの走査に応じて付着異物を検出し、これよりも大きな仰角の高角度受光を設けて前記の走査に応じて付着異物と欠陥とを検出して、同じ走査位置において高角度受光系でのみ検出されたものをウエハの欠陥の検出とし、低角度受光系と高角度受光でともに検出されたものを付着異物の検出とするので、付着異物と結晶等の欠陥を区別して検出することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】図１は、この発明のウエハ表面検査装置の検査光学系の説明図である。
【図２】図２は、そのデータ処理部の説明図である。
【図３】図３は、その付着異物と欠陥の検出処理のフローチャートである。
【図４】図４は、図１における光学系の異物検出系にさらにブリュースター角を適用した実施例の説明図である。
【図５】図５は、付着異物とＣＯＰの散乱光状態の説明図であって、（ａ）は、付着異物の場合であり、（ｂ）は、ウエハ表面にＣＯＰがある場合、そして（ｃ）は、ウエハ内部にＣＯＰがある場合である。
【図６】図６は、計測データの一例を示す付着異物の個数と洗浄回数との相関関係の説明図である。
【図７】図７は、この発明の基礎となる付着異物とＣＯＰの散乱光の指向特性の説明図であって、（ａ）は、CZOCHRALSKI法により製造されたウエハについての仰角が４０°～５０°の範囲の高角度で受光したときの異物検出データのマップ図であり、（ｂ）は、前記のウエハについて５°～２０°の低角度で受光したとき同じマップ図である。また、（ｃ）は、FLOATING ZONE法により製造されたウエハについての仰角が４０°～５０°の範囲の高角度で受光したときの異物検出データのマップ図であり、（ｄ）は、前記のウエハについて５°～２０°の低角度で受光したとき同じマップ図である。
【図８】図８は、ウエハの内部にある結晶欠陥（ＣＯＰ）と表面にある酸化物層（ＯＳＦ

）の説明図である。
【図９】図９は、ブリュースター角についての実験データと論理値との関係を示すグラフ図である。
【図１０】図１０は、従来のウエハ表面検査装置であって、（ａ）は、その構成図、（ｂ）は、その異物についての照射光の散乱状態の説明図である。
【図１１】図１１は、結晶欠陥（ＣＯＰ）の説明図である。
【図１２】図１２は、ＣＯの形状の説明図である。
【符号の説明】
１…ウエハ、２…回転・移動テーブル、
３，３ａ，３ｂ…検査光学系、４…データ処理部、
３７…高角度受光系、３８…低角度受光系、
３７３，３７４，３８３，３８４…光電子増倍管（ＰＭＴ）、
５１…異物・欠陥検出回路、５１ａ，５２ａ…加算回路、
５１ｂ，５２ｂ…アンプ、５１ｃ，５２ｃ差動アンプ、
５１ｄ，５２ｄ…ピークホールド回路、
５１ｅ，５２ｅ…Ａ／Ｄ変換回路（Ａ／Ｄ）、
５２…付着異物検出回路、５３…データ処理装置、
５３ａ…マイクロプロセッサ（ＭＰＵ）、
５３ｂ…メモリ、５３ｃ…ディスプレイ、５３ｄ…プリンタ、
５４ａ…異物検出プログラム、
５４ｂ…異物・欠陥区分けプログラム、
５４ｃ…異物の大きさ判定プログラム、
５４ｄ…検出値カウントプログラム、
５４ｅ…テーブル位置制御プログラム、
５４ｆ…異物データ領域、５４ｇ…欠陥データ領域、
５５…駆動制御回路。

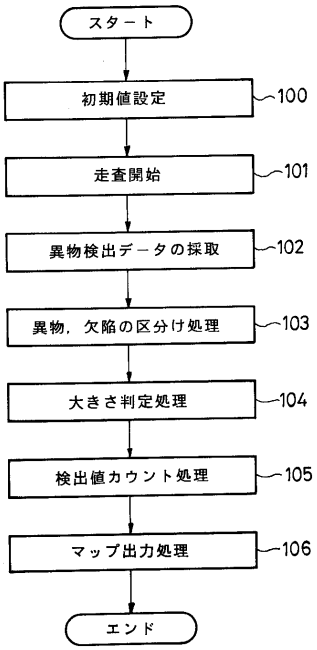
【図１】


200
31
32
33
3a
Ar
LT
373
34
374
37
PTM
371
372
384
38
LR
SP
383
381
382
θRH
21
回転テーブル
θRL
1
2
直線移動機構
22
53
55
駆動制御回路
データ処理装置

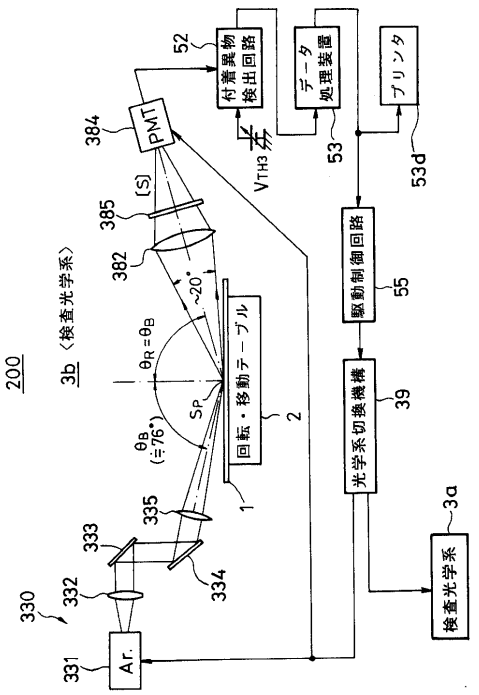
【図２】


53b
54a
54b
54c
54d
54e
54f
54g
53a
MPU
〈メモリ〉
異物検出プログラム
異物・欠陥区分けプログラム
異物の大きさ判定プログラム
検出値カウントプログラム
テーブル位置決め制御プログラム
付着異物データ領域
欠陥データ領域
〈データ処理装置〉
53
53f
バス
53c
CRT
53e
インタフェース
51e
A/D
52e
A/D
200
51d
ピークホールド回路
〈異物・欠陥検出回路〉
52d
ピークホールド回路
〈付着異物検出回路〉
55
駆動制御回路
53d
プリンタ
51
52
51c
52c
51b
52b
VTH1
VTH2
51a
加算回路
52a
加算回路
2
回転・移動テーブル
39
光学系切換機構
373
PMT
374
PMT
383
PMT
384
PMT
37
38

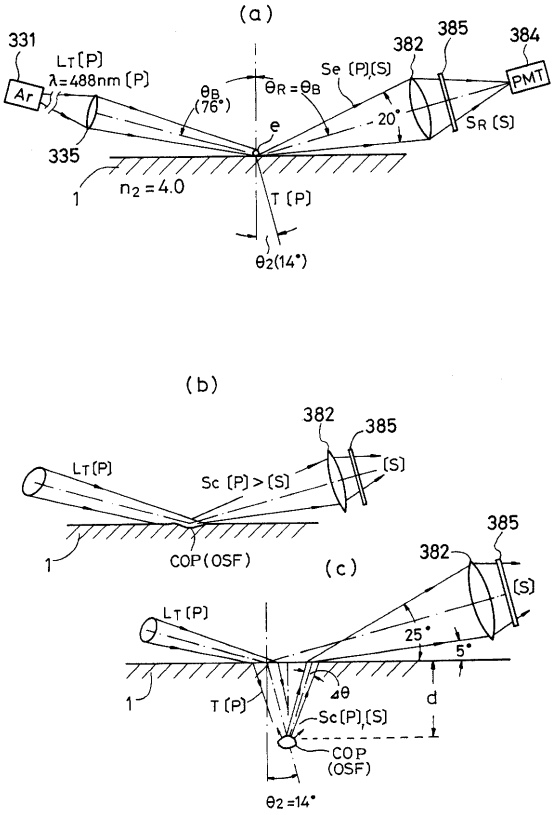
【図３】


スタート
初期値設定
100
走査開始
101
異物検出データの採取
102
異物，欠陥の区分け処理
103
大きさ判定処理
104
検出値カウント処理
105
マップ出力処理
106
エンド

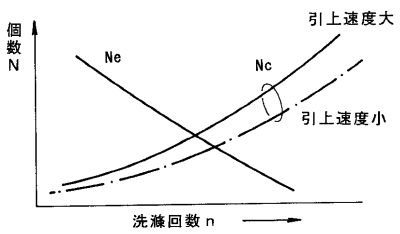
【図４】


52
付着異物検出回路
データ処理装置
プリンタ
384
PMT
VTH3
53
53d
385
[S]
382
~20°
θR=θB
SP
θB (≒76°)
回転・移動テーブル
2
1
200
3b〈検査光学系〉
335
333
334
332
330
331
Ar.
駆動制御回路
55
光学系切換機構
39
3a
検査光学系

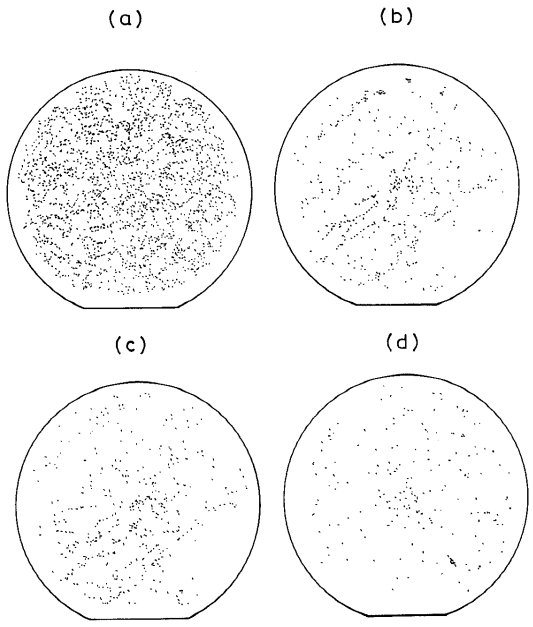
【図５】


(a)
331
LT〔P〕
λ=488nm〔P〕
Ar
θB
(76°)
θR=θB
Se〔P〕〔S〕
382
385
384
PMT
20°
SR〔S〕
e
335
1
n2=4.0
T〔P〕
θ2(14°)
(b)
382
385
LT(P)
Sc〔P〕>〔S〕
〔S〕
1
COP(OSF)
(c)
385
382
〔S〕
LT〔P〕
25°
5°
4θ
1
T〔P〕
Sc〔P〕,〔S〕
d
COP
(OSF)
θ2=14°

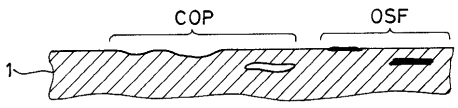
【図６】


個数N
引上速度大
Ne
Nc
引上速度小
洗濯回数 n

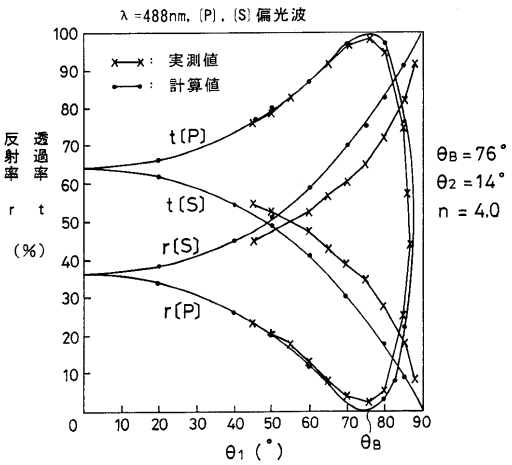
【図７】


(a)
(b)
(c)
(d)

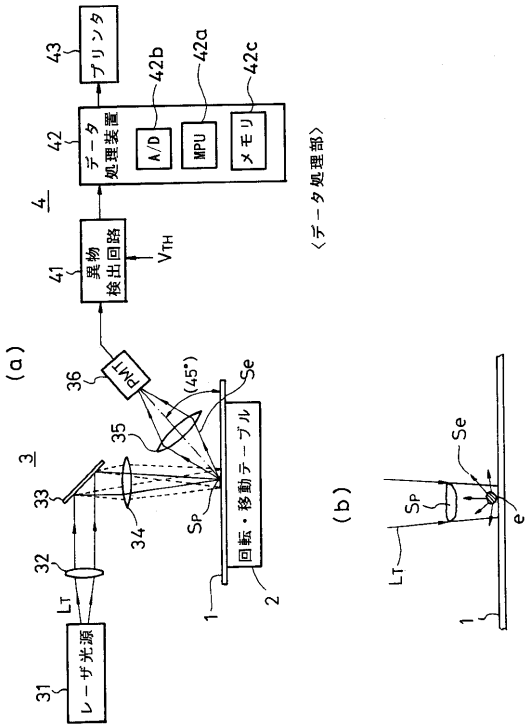
【図８】


COP
OSF
1

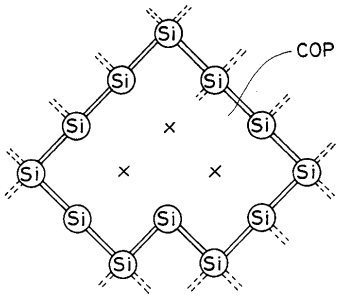
【図９】


λ=488nm,〔P〕,〔S〕偏光波
実測値
計算値
反射率 r
透過率 t
(%)
t〔P〕
t〔S〕
r〔S〕
r〔P〕
θB=76°
θ2=14°
n=4.0
θ1(°)
θB

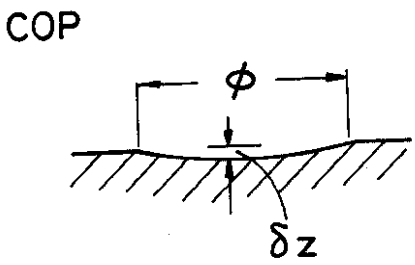
【図１０】


(a)
(b)
〈データ処理部〉
プリンタ
データ処理装置
A/D
MPU
メモリ
異物検出回路
V_{TH}
PMT
回転・移動テーブル
レーザ光源
Se
Sp
Lr
e
45°

【図１１】


Si
COP

【図１２】


COP
φ
δz

フロントページの続き

(72)発明者　飯塚　繁晴
東京都渋谷区東３丁目１６番３号　日立電子エンジニアリング株式会社内

審査官　田邉　英治

(56)参考文献　特開昭６３－１４３８３１（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２９８０３５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01N 21/84-21/958
G01B 11/00-11/30