

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6523732号  
(P6523732)

(45) 発行日 令和1年6月5日 (2019. 6. 5)

(24) 登録日 令和1年5月10日 (2019. 5. 10)

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| (51) Int. Cl.              | F I                    |
| H O 1 L 21/3065 (2006. 01) | H O 1 L 21/302 1 O 3   |
| H O 5 H 1/00 (2006. 01)    | H O 5 H 1/00 A         |
| H O 5 H 1/46 (2006. 01)    | H O 5 H 1/46 B         |
|                            | H O 1 L 21/302 3 O 1 S |

請求項の数 8 (全 21 頁)

|           |                               |           |                          |
|-----------|-------------------------------|-----------|--------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2015-63603 (P2015-63603)    | (73) 特許権者 | 501387839                |
| (22) 出願日  | 平成27年3月26日 (2015. 3. 26)      |           | 株式会社日立ハイテクノロジーズ          |
| (65) 公開番号 | 特開2016-184638 (P2016-184638A) |           | 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号   |
| (43) 公開日  | 平成28年10月20日 (2016. 10. 20)    | (74) 代理人  | 100098660                |
| 審査請求日     | 平成29年12月25日 (2017. 12. 25)    |           | 弁理士 戸田 裕二                |
|           |                               | (72) 発明者  | 臼井 建人                    |
|           |                               |           | 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株      |
|           |                               |           | 式会社日立製作所内                |
|           |                               | (72) 発明者  | 廣田 侯然                    |
|           |                               |           | 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号 株 |
|           |                               |           | 式会社 日立ハイテクノロジーズ内         |
|           |                               | (72) 発明者  | 井上 智己                    |
|           |                               |           | 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号 株 |
|           |                               |           | 式会社 日立ハイテクノロジーズ内         |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器の内部の処理室内に載置されたウエハ上面に予め形成された膜構造であって処理対象の膜及びその下方に配置された下地膜を含む膜構造を前記処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理方法であって、

任意の前記ウエハ上の前記膜構造の処理中に前記処理対象の膜から得られた干渉光の波長をパラメータとする強度の実パターンのデータと、前記任意のウエハの処理の前に予め前記処理対象の膜及び前記下地膜を有した膜構造の前記処理対象の膜の膜厚さに対する前記干渉光の波長をパラメータとする強度の複数のパターンであって前記下地膜の厚さが各々異なる3つ以上のパターンのうちから選択された2つが基本パターンとして前記実パターンのデータとの差が最小となるように合成されて得られた検出用パターンのデータと、を比較した結果を用いて前記任意のウエハの処理中の時刻の前記処理対象の膜のエッチング量を算出するステップと、

前記エッチング量を用いて前記処理対象の膜の前記処理の目標への到達を判定するステップとを備えたプラズマ処理方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法であって、

前記任意のウエハの前記膜構造の処理中に、前記3つ以上の基本パターンのうち前記実パターンとの差異が最も小さい順に2つを用いて作成した前記検出用パターンのデータと前記実パターンのデータとを比較した結果を用いて、前記エッチング量を算出するステッ

ブを備えたプラズマ処理方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のプラズマ処理方法であって、

任意の前記ウエハ上の前記膜構造の処理中に前記処理対象の膜から得られた干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値の時系列データから構成された実パターンのデータと、前記任意のウエハの処理の前に予め前記処理対象の膜及び前記下地膜を有した膜構造の前記処理対象の膜の膜厚さに対する前記干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値の時系列データから構成された複数のパターンであって前記下地膜の厚さが各々異なる 3 つ以上のパターンのうちから選択された 2 つが前記実パターンのデータとの差が最小となるように合成されて得られた検出用パターンのデータと、を比較した結果を用いて前記任意のウエハの処理中の時刻の前記処理対象の膜のエッチング量を算出するステップとを備えたプラズマ処理方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載のプラズマ処理方法であって、

算出された前記任意の時刻に係るエッチング量の値と予め記憶された前記処理中の前記任意の時刻より前の時刻に係る前記エッチング量の値とを用いて当該前記任意の時刻のエッチング量を再度算出し、当該再度検出されたエッチング量を用いて前記処理の目標への到達を判定するプラズマ処理方法。

【請求項 5】

真空容器の内部に配置された処理室と、この処理室内に配置されウエハがその上面に載置される試料台とを備え、前記ウエハの上面に予め形成された膜構造に含まれる処理対象の膜を前記処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、

20

任意の前記ウエハ上の前記膜構造の処理中に前記処理対象の膜から得られた干渉光の波長をパラメータとする強度の実パターンと、前記任意のウエハの処理の前に予め前記処理対象の膜及び前記下地膜を有した膜構造の前記処理対象の膜の膜厚さに対する前記干渉光の波長をパラメータとする強度の複数のパターンであって前記下地膜の厚さが各々異なる 3 つ以上のパターンのうちから選択された 2 つが基本パターンとして前記実パターンのデータとの差が最小となるように合成されて得られた検出用パターンのデータと、を比較した結果を用いて前記任意のウエハの処理中の時刻の前記処理対象の膜のエッチング量を算出するように構成された算出器と、このエッチング量を用いて前記処理の目標への到達を判定するように構成された判定器とを備えたプラズマ処理装置。

30

【請求項 6】

請求項 5 に記載のプラズマ処理装置であって、

前記算出器は、前記任意のウエハの前記膜構造の処理中に、前記 3 つ以上の基本パターンのうち前記実パターンとの差異が最も小さい順に 2 つを用いて作成した前記検出用パターンのデータと前記実パターンのデータとを比較した結果を用いて、前記エッチング量を算出するように構成されたプラズマ処理装置。

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載のプラズマ処理装置であって、

前記算出器は、任意の前記ウエハ上の前記膜構造の処理中に前記処理対象の膜から得られた干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値の時系列データから構成された実パターンのデータと、前記任意のウエハの処理の前に予め前記処理対象の膜及び前記下地膜を有した膜構造の前記処理対象の膜の膜厚さに対する前記干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値の時系列データから構成された複数のパターンであって前記下地膜の厚さが各々異なる 3 つ以上のパターンのうちから選択された 2 つが前記実パターンとの差が最小となるように合成されて得られた検出用パターンのデータと、前を比較した結果を用いて前記任意のウエハの処理中の時刻のエッチング量を算出するように構成されたプラズマ処理装置。

40

【請求項 8】

請求項 5 または 6 に記載のプラズマ処理装置であって、

50

前記算出器は、算出された前記任意の時刻に係るエッチング量の値と予め記憶された前記処理中の前記任意の時刻より前の時刻に係る前記エッチング量の値とを用いて当該前記任意の時刻のエッチング量を再度算出するように構成され、前記判定器は当該再度検出されたエッチング量を用いて前記処理の目標への到達を判定するように構成されたプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体集積回路の製造等で基板状の試料をエッチング処理する際にエッチング終了点を検出するプラズマ処理装置またはプラズマ処理方法に係り、特に、真空容器内の処理室内に配置した半導体ウエハ等の基板状の試料の上面に予め設けられた処理対象の膜を含む膜構造を処理室内に形成したプラズマを用いてエッチング処理を処理の状態を検出しつつ行うプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

半導体ウエハ等の基板状の試料から半導体デバイスを製造する工程では、当該ウエハの表面上に形成された様々な材料の膜層、特に、誘電材料の膜層の除去或いは当該膜でのパターンの形成に、真空容器内の処理室に形成したプラズマを用いるドライエッチングの技術が広く使用されている。このようなプラズマを用いたエッチング処理装置では、真空容器内の処理用空間である処理室内に導入された処理ガスに電界または磁界を作用させてプラズマ化し、得られたプラズマ内のイオン等荷電粒子や高活性の粒子（ラジカル）をウエハ表面に予め配置されている処理対象の膜層を含む膜構造と反応させることにより当該処理対象の膜をエッチング加工するものが一般的である。

20

【0003】

このようなウエハのエッチング処理中においては、形成したプラズマの発光における特定の波長の強度が、被処理膜のエッチング進行に伴って変化することが知られている。そこで、このような処理中のプラズマからの特定波長の発光強度の変化を処理中に検出し、この検出した結果に基づいて膜がエッチングにより除去される或いは所期の深さまで到達したエッチングの終点を検出する技術が従来から知られていた。

【0004】

30

特に、半導体デバイスのより高い集積度化や加工の微細化を達成するために、エッチング処理の工程において被処理膜の残り厚さを所定値で処理を終了させることが重要となっている。このような被処理膜の厚さを所定値にしてエッチング処理を終了させる技術として、エッチングの進行に伴い被処理膜の残り厚さが減少することに応じて、被処理膜を含むウエハ表面からの光は干渉した波形を形成することを利用して、干渉した光（干渉光）の強度の変化を用いて残り膜厚さを検出する技術が知られていた。

【0005】

またウエハ上にマスク材を塗布後、例えば、シリコン基板をエッチングし、ウエハ上の素子を電氣的に分離するための溝をシリコンに形成する工程がある。この場合、シリコン基板を決められた深さ量だけエッチングし処理を終了させることが重要となる。

40

【0006】

例えば、特許文献1には、干渉光の少なくとも2種類の波長を検出し、これら複数の波長の干渉光の強度の値を用いて被処理膜の残り厚さを検出するものが開示されている。また、特許文献2には、複数の波長の干渉光を検出し、予め求めておいた複数の波長の波長をパラメータとする干渉光の強度に関するデータのパターンと実際に得られた干渉光の強度に関するデータとを比較することにより、被処理膜の残り厚さを検出する技術が開示されている。

【0007】

また、特許文献3では、外部からの既知の光を入射し、ウエハから反射した3つの光の波長を観測し、周波数解析を行い、エッチング深さを算出する方法が知られている。特許

50

文献４では、プラズマ光が被処理材によって反射した干渉光を観測し、干渉波形を波長帯域によりマスク成分と段差成分を分離させ、エッチング深さを算出する方法が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００８】

【特許文献１】特開２００１－０８５３８８号公報

【特許文献２】特開２００３－０８３７２０号公報

【特許文献３】特開２０１０－０３４５８２号公報

【特許文献４】特開２００３－８３７２０号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

上記従来技術は、次のような点について考慮が不十分であったため、問題が生じていた。

【００１０】

例えば、LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) により成膜された酸化膜は膜の厚さの再現性が低いことが知られており、その再現性は１０％程度であると言われている。一方、エッチング工程においては、被処理膜の厚さがこのようなばらつきを有していても、特許文献１や特許文献２開示の技術では、残り膜厚さの絶対値に応じた干渉光の強度の変化を検出することで精度良く被処理膜の残り厚さを検出することが出来る。

20

【００１１】

しかしながら、被処理膜の下層の膜である下地膜の膜が光を透過する材質であってその厚さが試料毎に大きなばらつきを有している場合には、各々のウエハで得られる干渉光の強度は例えば被処理膜の残り厚さが同じであっても異なるものとなるため、正確に被処理膜の残り厚さを検出することが出来なくなるといった問題が生じていた。このような問題について、上記従来技術では考慮されていなかった。

【００１２】

本発明の第１の目的は、プラズマを用いたエッチング処理中に処理対象の膜の残り厚さを精密に検出して処理の歩留まりを向上させるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供することにある。

30

【００１３】

また、ウエハ上に形成する各素子間を分離するために、シリコンに作成する溝の深さを、決められた深さ量だけエッチングし、処理を終了させることが重要である。

【００１４】

しかしながら特許文献３では、以下の点について、問題が生じている。ウエハから反射する光が被エッチング膜（シリコン）の表層とエッチング底部との干渉のみを考慮している。実際には、シリコン上部に形成された、例えばレジストマスクの表層からも反射するため、レジストマスクの残膜量を考慮する必要がある。そのため、この方式では、被エッチング膜（シリコン）の深さを正確に検出することが出来ない。

40

【００１５】

また特許文献４では、以下の点について問題が生じている。例えば、全ての波長でマスク成分の干渉波形と段差成分の干渉波形が重なり合っている場合、マスク成分と段差成分を波長帯域で分離できない。そのため、この方式では、被エッチング膜（シリコン）の深さを正確に検出することが出来ない場合がある。

【００１６】

本発明の第２の目的は、基板上に形成されたマスク材から影響を低減してエッチング量を高精度に検出して処理の歩留まりを向上させるプラズマ処理装置またはプラズマ処理方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

50

## 【 0 0 1 7 】

上記目的は、真空容器の内部の処理室内に載置されたウエハ上面に予め形成された膜構造であって処理対象の膜及びその下方に配置された下地膜を含む膜構造を前記処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理方法であって、任意の前記ウエハ上の前記膜構造の処理中に前記処理対象の膜から得られた干渉光の波長をパラメータとする強度の実パターンのデータと、前記任意のウエハの処理の前に予め前記処理対象の膜及び前記下地膜を有した膜構造の前記処理対象の膜の膜厚さに対する前記干渉光の波長をパラメータとする強度の複数のパターンであって前記下地膜の厚さが各々異なる3つ以上のパターンのうちから選択された2つが基本パターンとして前記実パターンのデータとの差が最小となるように合成されて得られた検出用パターンのデータと、を比較した結果を用いて前記任意のウエハの処理中の時刻の前記処理対象の膜のエッチング量を算出するステップと前記エッチング量を用いて前記処理対象の膜の前記処理の目標への到達を判定するステップとを備えたことにより達成される。

10

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 8 】

被処理材の下に形成された下地膜の影響を考慮し、正確に被処理材の残り膜厚値を検出することが出来る。また、被処理材の上に形成されたマスク材の影響を考慮し、正確に被処理材の深さ値を検出することが出来る。さらに、下地膜厚さやマスク初期膜厚さを管理し、前工程のCVDプロセスにフィードバックすることができる。

20

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 9 】

【 図 1 】 本発明の第1実施例に係るにプラズマ処理装置の構成の概略を模式的に示す図である。

【 図 2 】 図 1 に示すプラズマ処理装置がエッチング処理の対象とするウエハ上の膜構造を模式的に示す図である。

【 図 3 】 図 2 に示す膜構造に係る干渉光の強度の値と下地膜の厚さとの関係を示すグラフである。

【 図 4 】 図 1 に示す第1実施例に係るプラズマ処理装置のエッチング量を検出する動作の流れを示すフローチャートである。

【 図 5 】 図 1 に示す第1実施例においてエッチング処理されたウエハの実施結果を示すグラフである。

30

【 図 6 】 本発明の第2実施例に係るプラズマ処理装置の構成の概略を模式的に示す図である。

【 図 7 】 図 6 に示す第2実施例に係るプラズマ処理装置が処理を行う膜構造の構成を模式的に示す縦断面図である。

【 図 8 】 図 6 に示す第2実施例に係るプラズマ処理装置が行う処理の流れを示すフローチャートである。

【 図 9 】 図 6 に示す変形例に係るプラズマ処理装置を用いて図 7 で示す膜構造を有するウエハをエッチング処理した場合に得られる微分波形パターンを示すグラフである。

【 図 10 】 マスク膜層からの干渉光の理論微分波形パターンを算出し、膜構造からの干渉光の実微分波形パターンの各データから当該理論微分波形パターンの対応する各データを減算することにより、実段差微分波形パターンを算出する動作の流れを示すフローチャートである。

40

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 2 0 】

以下、本発明の実施形態について、図面を用いて説明する。

## 【 実施例 1 】

## 【 0 0 2 1 】

本発明の第1実施例について、以下図 1 乃至 5 を用いて説明する。

## 【 0 0 2 2 】

50

本発明の第 1 実施例に係るプラズマ処理装置 1 を図 1 に示す。図 1 は、本発明の実施例に係るプラズマ処理装置の構成の概略を模式的に示す図である。

【 0 0 2 3 】

プラズマ処理装置 1 は、真空容器内部に配置された真空処理室 2 を備えている。また、真空容器下部は図示していないがターボ分子ポンプ等の真空ポンプを有する排気装置と連結されている。また、円筒形を有した真空容器の上方及び周囲には、図示していない高周波電力が供給される同軸ケーブルとアンテナ或いはマイクロ波を伝播する導波管等の電界の発生手段またはソレノイドコイル等の磁界の発生手段が配置されて、電界または磁界が真空処理室 2 内部に供給可能に構成されている。

【 0 0 2 4 】

本実施例のプラズマ処理装置 1 の真空容器の外側側壁は図示しない別の真空容器である真空搬送容器と連結され、当該真空搬送容器内の減圧された内部の空間である搬送室との間で、処理対象のウエハ 4 が搬送されやり取りされる。また、真空処理室 2 の下部の中央部には、ウエハ 4 が円筒形状を有してその上面に載せられる試料台 5 が配置されている。さらに、真空容器は図示していないガス供給用の供給管と連結され、ガス供給管は真空処理室 2 の上部または天井面に配置された複数のガス導入孔と連通されている。

【 0 0 2 5 】

このようなプラズマ処理装置 1 では、真空搬送容器内に配置された搬送用のロボットのアームの先端部に載せられて試料であるウエハ 4 が搬送室内を搬送され、アームが伸長することにより前記真空容器の側壁に配置された開口であるゲートを通して真空処理室 2 内に進入し、真空処理室 2 内に配置された試料台 5 の上方でこれに受け渡される。この後、ロボットアームが収縮することで真空処理室 2 から退出してゲートが図示しないゲートバルブにより真空処理室 2 の外側から気密に閉塞されて真空処理室 2 内部が密封される。

【 0 0 2 6 】

さらに、ウエハ 4 はその載置面である試料台 5 の誘電体で構成された上面において静電気により吸着されて保持される。ウエハ 4 の裏面と試料台 5 の載置面との間には H e 等の熱伝達用のガスが供給されてウエハ 4 と試料台 5 との間の熱伝導が促進されている。

【 0 0 2 7 】

真空処理室 2 内部にはガス導入孔からガス源に連結されたガス供給管を通して供給された処理用のガスが導入されると共に、排気装置の動作により真空処理室 2 内部が排気されて、真空処理室 2 内部がガスの供給の量速度と排気の量速度とのバランスにより半導体ウエハ等の基板状の試料の処理に適した真空度の圧力まで減圧される。この状態で、真空処理室 2 内部に電界または磁界の発生手段から電界または磁界が供給され、処理用ガスの粒子が励起されプラズマ 3 が形成される。試料台 5 上のウエハ 4 の上面に予め形成された複数の膜が積層された膜構造がこのプラズマ 3 に含まれる荷電粒子或いは高い反応性を有する粒子（活性粒子）によりエッチングされる。

【 0 0 2 8 】

このプラズマ 3 に含まれる励起された粒子は高くされたエネルギーを光として放出するため、プラズマ 3 は発光を生じている。真空処理室 2 の上方の天井面であって真空容器の上部には、このプラズマの発光を受けて検知するための受光器等透光性部材を有した受光器 8 が配置されている。プラズマ 3 の発光は、直接もしくはウエハ上面で反射された後、受光器 8 に受光され、これに電氣的、光学的に連結あるいは接続されたエッチング量検出装置 9 に信号として伝達される。

【 0 0 2 9 】

図 2 を用いて、本実施例でエッチング処理される膜構造の典型的な例を説明する。図 2 は、図 1 に示すプラズマ処理装置がエッチング処理の対象とするウエハ上の膜構造を模式的に示す図である。

【 0 0 3 0 】

図 2 ( A ) に示すように、本実施例の処理対象の膜構造は、被処理膜であるポリシリコン膜 2 0 1 とその下方に境を接して配置された膜層である酸化膜である下地膜 2 0 2 とシ

10

20

30

40

50

リコン基板 203 とを有し構成されている。このような構成の膜構造に対して入射するプラズマからの光は、各膜間の境界あるいは界面部で反射して反射光を発生する。この反射光には、ポリシリコン膜 201 表面で反射する反射光 221 とポリシリコン膜 201 と下地膜 202 の境界で反射する反射光 222 と下地膜 202 とシリコン基板 203 の境界で反射する反射光 223 が存在する。

【0031】

これらの反射光の間には光路差が生じるため干渉光が形成される。また、エッチングの進行に伴い被処理膜であるポリシリコン膜 201 の膜の厚さは減少するため、各反射光の光路差は変化してその光の波長毎にその強度の変化の周期が異なる干渉現象が発生する。

【0032】

このように強度が変化する干渉光は、図 1 の真空処理室 2 の上部でプラズマ 3 に面している受光器 8 を介して、エッチング量検出装置 9 の分光器 10 に伝達される。エッチング量検出装置 9 は、伝達された干渉光に係る信号から干渉光の強度の値及びその変化の量を検出し、その結果に基づいて被処理膜であるポリシリコン膜 201 のエッチング深さや残り膜厚さ等エッチング量や処理の終点への到達の判定を行う。

【0033】

図 1 に示すように、本実施例のエッチング量検出装置 9 は、分光器 10、第 1 デジタルフィルタ 12、微分器 13、第 2 デジタルフィルタ 14、微分波形比較器 15、下地膜厚さの異なる 3 つ以上の微分波形パターンデータベース 16、これら微分波形比較器により残差を求める残差算出器 17、算出器 17 が算出した残差が小さい 2 つのパターンデータベース DBj, DBk を抜き出すデータベース選択器 18、選択されたデータベースより合成データベースを合成する合成データベース作成器 19、をパラメータとした合成データベースとのパターンマッチングを行うパターンマッチング比較器 20、残差が最も小さくなる合成係数を求める合成係数算出器 21、この算出器 21 とパターンマッチング比較器 20 からの出力に基づいて被処理膜の瞬時残膜厚さを算出しこれを時系列に記録する残膜厚さ時系列データ記録器 22 と、この残膜厚さ時系列データ記録器 22 により記録された残膜厚さの時系列データを用いて現在の残膜厚さの値を算出する回帰分析器 23、現在の残膜厚さの値からエッチングの終了を判定する終点判定器 24、及び終点判定器 24 の判定結果を表示する表示器 25 を備えている。

【0034】

なお、本実施例のエッチング量検出装置 9 は、表示器 26 を除き、各々が複数の機能の各々を奏するマイクロプロセッサ等の半導体デバイスを含む検出用ユニットが有線または無線の通信回線で接続されたものでもよく、これら複数の機能を奏することのできる 1 つの半導体デバイスで構成されていても良い。半導体デバイスを含む用の検出用ユニットは、マイクロプロセッサ等の演算器と、外部と信号を通信するための通信インターフェースと、信号、データやソフトウェアを記憶する RAM, ROM、あるいはハードディスクドライブ、CD-ROM ドライブ等の記憶装置とを備えこれらが通信可能に接続されて構成されている。

【0035】

真空処理室 2 内に形成されたプラズマ 3 の発光はウエハ 4 の上面で反射され受光器 8 を通して分光装置 10 に伝達される。受光器 8 からの信号を受けた分光装置 10 では、干渉光の信号は所定の周波数に分光され各々の波長の強度がデジタル信号に変換されて出力される。

【0036】

分光器 10 により、ウエハ 4 の処理中の任意の時刻におけるサンプリング信号として出力された複数の特定波長の信号は時系列データ  $y_{ij}$  として図示しない RAM 等の記憶装置に記憶される。この時系列データ  $y_{ij}$  は第 1 デジタルフィルタ 12 に伝達されて平滑化処理され、平滑化時系列データ  $Y_{ij}$  として RAM 等の記憶装置に記憶される。

【0037】

次に、平滑化時系列データ  $Y_{ij}$  は微分器 13 に伝達され、その時間微分（微係数）値（

10

20

30

40

50

1 次微分値あるいは 2 次微分値) の時系列データ  $d_{ij}$  が算出され R A M 等の記憶装置に記憶される。微係数値の時系列データ  $d_{ij}$  は第 2 デジタルフィルタ 1 4 により平滑化処理され、平滑化微係数時系列データ  $D_{ij}$  として R A M 等の記憶装置に記憶される。そしてこの平滑化微係数時系列データ  $D_{ij}$  から干渉光の強度の微分値の波長依存性を示す(波長をパラメータとする)微分波形のパターン(実パターン)が求められる。

【0038】

ここで、平滑化微係数時系列データ  $D_i$  の算出について説明する。本実施例では、デジタルフィルタ回路 1 2 として例えば 2 次バタワース型のローパスフィルタが用いられる。2 次バタワース型のローパスフィルタにより平滑化処理される平滑化時系列データ  $Y_i$  は式(1)により求められる。

10

【0039】

$$Y_i = b_1 \cdot y_i + b_2 \cdot y_{i-1} + b_3 \cdot y_{i-2} - [a_2 \cdot Y_{i-1} + a_3 \cdot Y_{i-2}] \quad \dots (1)$$

ここで係数  $b$ 、 $a$  はサンプリング周波数およびカットオフ周波数により数値が異なる。また、本実施例でのデジタルフィルタの係数値は例えば  $a_2 = -1.143$ 、 $a_3 = 0.4128$ 、 $b_1 = 0.067455$ 、 $b_2 = -0.013491$ 、 $b_3 = 0.067455$  (サンプリング周波数 10 Hz、カットオフ周波数 1 Hz) が用いられる。2 次微係数値の時系列データ  $d_i$  は微分器 1 3 により 5 点の時系列データ  $Y_i$  の多項式適合平滑化微分法を用いて式(2)から以下のように算出される。

【0040】

$$d_i = \sum_{j=-2}^{j=2} w_j \cdot Y_{i+j} \quad \dots (2)$$

20

ここで重み係数  $w$  に関して  $w_{-2} = 2$ 、 $w_{-1} = -1$ 、 $w_0 = -2$ 、 $w_1 = -1$ 、 $w_2 = 2$  である。前記微係数値の時系列データ  $d_i$  を用いて平滑化微係数時系列データ  $D_i$  はデジタルフィルタ回路 1 4 としては、例えば 2 次バタワース型ローパスフィルタにより式(3)から以下のように算出される。

【0041】

$$D_i = b_1 \cdot d_i + b_2 \cdot d_{i-1} + b_3 \cdot d_{i-2} - [a_2 \cdot D_{i-1} + a_3 \cdot D_{i-2}] \quad \dots (3)$$

30

上記の微分波形パターンデータベース 1 6 には、所定の膜厚さを有した下地の酸化膜上方に配置されたエッチング量測定の対象となる被処理膜であるポリシリコンのエッチング処理中の残り膜厚さの量(残膜量)に対応する干渉光の強度の変化を示す微分値の波形をパラメータとするパターンのデータ値  $DB_i$  が、ウエハ 4 の処理に先立って予め記憶されている。微分波形比較器 1 5 においては、ウエハ 4 の処理中に実際に得られた干渉光に係る強度の微分値の波形をパラメータとするパターンである実パターンの値と微分波形パターンデータベース 1 6 に記憶されていた微分波形パターンデータ値  $DB_i$  とが比較されて、両パターン同士の残差値が算出される。

【0042】

例えば、同じ波長での干渉光の強度の微分値の残り膜厚さの値(これは処理開始後の時間または時刻に対応すると見做せる)の変化に伴う変化の波形が  $DB_i$  と実パターンとで各残り膜厚さの値毎に差が求められ、これが所定の波長の帯域の全体または特定の複数の波長について求められる。これらは両者の残差の値のパターンとして検出できる。

40

【0043】

微分波形パターンデータベース 1 6 内に記憶され残膜量の厚さの検出に用いるものとして登録されている微分波形パターンは、任意の範囲でばらつく下地膜である酸化膜 2 0 2 の膜厚さの上限および下限値またはこれらに近い値の膜厚さを有した酸化膜 2 0 2 とその上方に配置されたエッチング量を測定する対象となる処理対象の膜であるポリシリコンの膜構造を、半導体デバイスを量産するための処理工程を施す実際のウエハ上のマスク層を含んだ膜構造をエッチング処理する際の条件と同じ条件で処理した際の処理対象膜の残り

50



膜厚さの量（残膜量）の値に対する干渉光の強度の波長をパラメータとする微分値のパターンが3つ以上用いられている。すなわち、残り膜厚さを検出するために用いられる干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値のパターンは少なくとも下地膜を異ならせた3つのものが微分波形パターンデータベース16を構成するRAM、ROMあるいはハードディスク等の記憶装置やDVD-ROM等の記憶装置のメディアに処理開始前にデータ値DBiとして予め登録されて記録されており、これらを用いて実パターンとの間の残差が算出器17において算出される。

【0044】

一方、図2の(B)は、酸化膜である下地膜211、212の膜の厚さが異なるウエハの断面を示している。LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) により成膜された酸化膜は膜の厚さの再現性が低いことが知られておりその再現性はおよそ10%程度といわれている。

【0045】

このように下地膜である酸化膜211、212の膜の厚さが異なった場合に問題が生じる。被処理膜であるポリシリコンの残膜量が同じ場合でも、酸化膜である下地膜211、212の膜の厚さが異なる場合、図2の(C)に示すように下地膜と基板との境界で反射した光223とその他の反射光221、222との光路差は異なることになる。干渉においては、この光路差により干渉光の強度の極大極小が決まるため、同じポリシリコン膜201の厚さでも干渉光の強度の値は異なるものとなり、干渉光の強度に基づいて膜厚さを精度良く検出することが困難となる。

【0046】

図3に、下地膜の厚みが40nm及び80nmであった各々の場合において、ポリシリコン膜の残り膜厚さの変化に対する当該ポリシリコン膜からの干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値の変化を値の大小を濃淡として表したパターン（微分波形パターン）を示す。図3(a)は、下地膜厚さが40nmの場合における波長400nmにおける干渉光の強度値の変化及び波長の範囲250nm～850nmにおける微分波形パターンを示している。図3(b)は、下地膜厚さが80nmの場合における波長400nmにおける干渉光の強度値の変化及び波長の範囲250nm～850nmにおける微分波形パターンを示している。

【0047】

微分波形パターンの各図では、縦軸に波長[nm]を横軸に残り膜厚さ[nm]（ほぼ、処理開始後の時間または時刻に相当すると見做せる）を採っている。これらの図は、図2に示す膜構造に係る干渉光の強度の値と下地膜の厚さとの関係を示すグラフである。

【0048】

図3に示すように、下地酸化膜の膜厚値が異なると干渉光の強度の変化が異なるものとなる。干渉光の強度の極小値は、下地酸化膜の膜厚値が異なるウエハではポリシリコン膜の残り膜厚が異なる。これは、光干渉を利用した残り膜厚判定を行う装置にとって下地膜酸化膜の膜厚値によって、判定精度が悪くなることを意味している。

【0049】

本実施例では、半導体デバイスを量産するための処理工程を施す実際のウエハ上のマスク層を含んだ膜構造をエッチング処理する際の条件と同じ条件で、下地の酸化膜202の膜厚さの値が異なり他の構成が同等またはこれと見做せる程度に近似した膜構造複数を、酸化膜202の上方に配置されエッチング量を測定するポリシリコン膜層を処理の対称としてエッチング処理した場合における、当該ポリシリコン膜から得られる干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値のパターンを含む微分波形データベースを微分波形パターンデータベース16内に記憶し保持している。そして、上記量産のためにウエハ上実際の膜構造を処理する際に、これらのデータベースに記憶されたデータを基本データベースとして組み合わせて新たにパターンデータ或いはそのデータベースを作成しそのパターンデータを実際の膜構造の処理対象の膜層の膜厚さの検出に用いることにより、下地の酸化膜202の膜厚さの値がばらついた場合でも、その上方の処理対象のポリシリコン膜20

10

20

30

40

50

1の膜厚さあるいは終点を精度良く判定することが出来る。

【0050】

以下に、本実施例において、異なる膜厚さの酸化膜211, 212の各々に応じた微分波形データベースに記憶されたパターンデータを基本データとして組み合わせて膜厚さ検出用の微分波形を算出する構成を説明する。微分波形比較器15では、微分波形データベース16に記憶された、3つ以上の下地酸化膜の厚さが異なる膜構造複数についての処理対象の膜からの干渉光の波長をパラメータとする強度の微分波形データのパターン各々DBiのデータの値と、半導体デバイスを製造する製品用のウエハ4の処理中に得られた微分波形データの実パターンとが比較され、最小残差 $\delta_i$ 及び最小となるデータを有する微分波形パターンDBiが求められる。

10

【0051】

本実施例において、残差は以下に示すように各時系列データ値の自乗誤差の大きさを用いている。選択器18は、それぞれの残差 $\delta_i$ のうち残差が最も小さいものから順に2つのパターンを選択する。

【0052】

データベース作成器19は合成パターンデータベースDBを下記(4)式により合成係数 $\alpha$ により作成する。ここで、 $\alpha$ は0~1の数値をとることができる。

【0053】

$$BD = (t) \times DB_j + (1 - t) \times DB_k \cdots (4)$$

20

次に、パターンマッチング比較器20が、合成パターンデータベースと実パターンとを比較する。この残差 $\delta$ がより小さくなるように、算出器21が合成係数 $\alpha$ を0~1の範囲で値を変えて残差 $\delta$ が最小となる合成係数 $\alpha$ を選択する。

【0054】

この合成係数を選択する際に得られた残差 $\delta$ が最小となる合成パターンデータベースが用いられて処理中の現時点(任意の時刻)のポリシリコン膜の残り膜厚が瞬時膜厚として算出され、この値のデータが残膜厚さ時系列データ記録器22に格納される。回帰分析器23では、残膜厚さ時系列データ記録器22に記録された現時点と過去の複数の時刻での残り膜厚(瞬時膜厚)が用いられて、回帰演算により現在の残り膜厚が計算膜厚として算出される。

30

【0055】

この回帰演算により算出された結果としての残り膜厚が終点判定器24に伝達され、終点判定器24が予め設定された目標残厚さ値と現在の残り膜厚(計算)を比較して目標残膜厚さ値を現在の残り膜厚(計算)以下であるかを判定する。目標以下であると判定された場合には、被処理膜のエッチング量が所定値になったものと判定されてエッチング処理を終了する指令をプラズマ処理装置1に送信する。さらに、その判定の結果が表示器25に伝達され、液晶或いはCRTを有する表示器25上に表示に当該結果が表示され使用者に報知される。なお、表示器26には、プラズマ処理装置1の運転、動作中の異常や動作のエラーの情報も報知される。

【0056】

40

次に図4のフローチャートを用いて、図1のエッチング量検出装置9でエッチング処理を行う際に被処理膜のエッチング量を求める手順について説明する。図4は、図1に示す実施例に係るプラズマ処理装置のエッチング量を検出する動作の流れを示すフローチャートである。主に、エッチング量検出装置9の動作の流れを示している。

【0057】

本実施例では、ウエハ4の処理に先立って、被処理膜であるポリシリコン膜201の目標の残り膜厚さの値とその検出あるいは判定に用いる微分波形パターンデータベース16に記憶されたパターンデータの設定を行う(ステップ300)。この3つ以上の微分波形パターンデータベースで選択されたパターンデータとしては、下地層の酸化膜202が異なる膜厚さであるものを3つ以上選択し設定する。また、処理対象のポリシリコン膜21

50

0の目標の膜厚さが設定され、エッチング量検出装置9内の記憶装置内に記憶される。

【0058】

次に、真空処理室2内においてウエハ4の処理を開始し、処理中に得られるウエハ4表面からの干渉光のサンプリング（たとえば0.1～0.5秒毎に）を開始する（ステップ301）。この際、エッチング処理の開始に伴いサンプリング開始命令が出される。開始後の時間の变化に伴って進行するウエハ上の膜構造のエッチングに応じて変化する処理対象の膜層からの多波長の干渉光の強度が、処理開始後の各時刻毎にエッチング量検出装置9の分光器10に伝達されその光検出器により所定の周波数毎に光の強度に応じた電圧の光検出信号として検出され出力される。

【0059】

例えば、処理開始後の任意の時刻tにおいて真空処理室2内からの干渉光を検出した処理分光器10の光検出信号はデジタル変換され、当該任意の時刻tに対応付けられたデータ信号としてのサンプリング信号yijが取得される。次に、分光器10からの多波長出力信号yijが第1段目のデジタルフィルタ回路12により平滑化され、任意の時刻の時系列データYijが算出される（ステップ302）。

【0060】

次に、微分器13に時系列データYijが伝達され、S-G法（Savitzky-Golay method）により時系列の微係数dijが算出される（ステップ303）。すなわち、微分処理（S-G法）により信号波形の係数（1次または2次）diが検出される。

【0061】

微係数dijが、第2段目のデジタルフィルタ回路14に伝達され、平滑化（smoothing）微係数時系列データDij（P）が算出される（ステップ304）。得られた平滑化微係数時系列データDij（P）は、微分波形比較器15に伝達される。

【0062】

微分波形比較器15においては、微分波形パターンデータベース16内に予め格納された3つ以上の微分波形パターンのデータと算出され微分波形比較器15に送信された平滑化微係数時系列データDij（P）とが比較され、残差  $\epsilon_i = ((P - DB_i)^2 / j)$  値が算出され、残差算出器17に送信される。残差算出器17においては、残差の値が最も小さいものから順に2つの微分波形パターンデータDBj、DBkが選択され、これらが合成データベース作成器19に伝達される。（ステップ306）。

【0063】

本実施例の合成データベース作成器19では、受信した2つの微分波形パターンデータDBj、DBkが0乃至1の間の複数の値を有する合成係数（t）を用いて合成され合成データベースDBが作成される（ステップ307）。この合成データベースDBとステップ304で作成した平滑化微係数時系列データPから得られた微分波形パターンである実パターンデータとのパターンマッチングを（t）をパラメータとして行う。

【0064】

ここで、残差が最も小さくなる合成係数（t）を合成係数算出器21により求める（ステップ308）。この合成パターンデータベースに対応する残り膜厚さを当該任意の時刻（現時刻）tでの瞬時膜厚データZiとして算出して（ステップ309）、残膜厚さ時系

【0065】

さらに、残膜厚さ時系列データ記録器22において記録された瞬時膜厚時系列データZiと処理中の過去の複数の時刻での瞬時膜厚時系列データZiとを用いて、回帰分析器23により現在の計算膜厚値が算出されて、図示していないエッチング量検出装置9内の計算膜厚時系列データ記録器内のRAM、ROM等の記憶手段内に記憶される（ステップ310）。すなわち、回帰分析器23の演算により、1次回帰直線  $Y = X_a \cdot t + X_b$ （Y：残膜量、t：エッチング時間、Xa：Xaの絶対値がエッチング速度、Xb：初期膜厚）が求められ、この回帰直線から現時刻でのエッチング量（または残膜量）が算出され記憶装置に記憶される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 6 】

なお、ステップ 3 0 9 において、比較した結果、実パターンと合成微分波形パターンデータとの残差が、予め定めた許容の範囲を区分する閾値以上であった場合には、膜厚さを判定するためのデータとしては不適切なものとして、当該最小の残差となる合成微分波形パターンデータに対応する膜厚さを現時刻での瞬時膜厚データ $Z_i$ としては残膜厚さ時系列データ記録器 2 2 に記憶せずにおくこともできる。また、任意の時刻  $t$  より過去の処理中の時刻（例えば現時刻の直前のサンプリング時刻）の瞬時膜厚データ $Z_i$ や上記回帰演算したものを代わりに現時刻の瞬時膜厚 $Z_i$ としてステップ 3 1 0 における回帰分析器 2 3 での演算を行っても良い。

## 【 0 0 6 7 】

10

次に、算出された現在の被処理膜の残膜量としての計算膜厚の値が予め設定した目標残膜厚さ値（ステップ 3 0 0 で設定）と比較される（ステップ 3 1 1）。本ステップにおいて、ステップ 3 1 0 で算出された計算膜厚値が目標の残膜厚さの値である以下と判定されると、目標に到達したと判定され、ステップ 3 1 2 に移行してエッチング処理を終了させる信号がプラズマ処理装置 1 に発信される（ステップ 3 1 2）。最後にサンプリング終了の設定が行われる。

## 【 0 0 6 8 】

到達していないと判断された場合は、ステップ 3 0 2 の処理に戻る。ステップ 3 1 1 で目標に到達したと判定された場合に、エッチング処理を終了させる制御だけでなく、次のステップのエッチング処理を行うようにプラズマ処理装置 1 に指令を発信しても良い。例えば、処理速度を低減させたオーバーエッチング処理や、エッチング処理対象の膜が複数の膜層から構成されている場合には下層の膜層に適したものにプラズマ処理装置 1 の運転条件を変更して当該処理を実施しても良い。

20

## 【 0 0 6 9 】

図 5、本実施例による効果を示す。図 5 は、図 1 に示す実施例においてエッチング処理されたウエハの効果を示すグラフである。

## 【 0 0 7 0 】

本図では、下地酸化膜の厚さが 4 5 n m ~ 7 7 n m（4 種類、各 4 枚）のウエハをエッチングした時の結果を示している。図 5 の横軸は設定目標残膜であり、縦軸はその目標残膜に対する判定された残膜を示している。それぞれ下地酸化膜に対して判定精度は  $\pm 1$  n m 以内であり、高精度な判定が実施できた事示している。

30

## 【 0 0 7 1 】

また、以上の説明の通り、十分な判定精度を満たすと共に、エッチング処理したウエハの下地酸化膜厚みの情報を得ることができるので、下地酸化膜厚みの生産管理にも使用することが出来る。

## 【 0 0 7 2 】

図 6 は、本発明の実施例の変形例に係るプラズマ処理装置の構成の概略を示す縦断面図である。本例のプラズマ処理装置 6 1 は、真空容器 2 と、深さモニタ装置 9 とを上記実施例と同様に備えている。

## 【 0 0 7 3 】

40

図 1 に示した実施例との相違は、微分波形パターンデータベースとしてマスク膜厚さの異なる 3 つ以上の微分波形データベース 1 1 6 を有し、残膜厚さ時系列データ記録器 2 2 に換えて深さ時系列データ記録器 1 2 2 を有している点である。他の構成は、図 1 と同等の構成であって同等の作用を奏するものである。

## 【 0 0 7 4 】

図 7 は、図 6 で示す変形例が処理を行うウエハ上に予め形成され配置された膜構造の構成を模式的に示す縦断面図である。図 7（a）は、エッチング処理開始直後のマスク層 1 2 0 1 と、シリコン層 1 2 0 2 とを備える膜構造を模式的に示す。図 7（b）は、図 1 のプラズマ処理装置 1 において、プラズマ処理された後のマスク層 1 2 0 7 と、シリコン層 1 2 0 8 とを備える膜構造を模式的に示す。

50

## 【 0 0 7 5 】

エッチング処理開始直後のウエハ図 7 ( a ) に対してプラズマ発光 1 2 0 3 が入射されると、マスク層 1 2 0 1 の表面による反射光 1 2 0 4 と、マスク層 1 2 0 1 とシリコン層 1 2 0 2 の境界による反射光 1 2 0 5、シリコン層 1 2 0 2 の表面による反射光 1 2 0 6 が発生する。

## 【 0 0 7 6 】

また、エッチング処理中のウエハ図 7 ( b ) に対してプラズマ発光 1 2 0 3 が入射され、マスク層 1 2 0 7 の表面による反射光 1 2 1 0 と、マスク層 1 2 0 7 とシリコン層 1 2 0 8 の境界による反射光 1 2 1 1、シリコン層 1 2 0 8 の表面による反射光 1 2 1 2 が発生する。図 7 ( b ) において、段差値 1 2 1 3 を V S とし、マスク厚 1 2 1 4 を V M とし、深さ値 1 2 1 5 を V D とする。

10

## 【 0 0 7 7 】

次に図 8 のフローチャートを用いて、図 6 のエッチング量検出装置 9 でエッチング処理を行う際に被処理膜のエッチング量を求める手順について説明する。図 8 は、図 6 に示す変形例に係るプラズマ処理装置のエッチング量を検出する動作の流れを示すフローチャートである。このフローチャートは、図 7 で示すマスク層 1 2 0 1 及びその下方に配置されたシリコン層 1 2 0 2 を有する膜構造が予め表面に形成され配置されたウエハ 4 をプラズマを用いてエッチング処理した際の、処理対象の膜層であるポリシリコン層 1 2 0 2 にマスク層 1 2 0 1 をマスクとして形成される溝または孔の深さを判定する手順を示すものであって、主にエッチング量検出装置 9 の動作の流れを示している。

20

## 【 0 0 7 8 】

本実施例では、ウエハ 4 の処理に先立って、処理対象の膜層であるシリコン層 1 2 0 2 と 3 つ以上の異なる膜厚さのマスク層とを有した膜構造をエッチング処理した際に当該膜構造から得られる干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値のパターン（微分波形パターン）のデータ各々をデータ D B i として微分波形パターンデータベース 1 1 6 を設定する（ステップ 1 3 0 1）。また、シリコン層の目標深さの値をエッチング量検出装置 9 内の記憶装置内に記憶して保持する。

## 【 0 0 7 9 】

次に、真空処理室 2 内においてウエハ 4 の処理を開始し、処理中に得られるウエハ 4 表面からの干渉光のサンプリング（たとえば 0 . 1 ~ 0 . 5 秒毎に）を開始する（ステップ 1 3 0 1）。この際、エッチング処理の開始に伴いサンプリング開始命令が出される。開始後の時間の変化に伴って進行するウエハ上の膜構造のエッチングに応じて変化する処理対象の膜層からの多波長の干渉光の強度が、処理開始後の各時刻毎にエッチング量検出装置 9 の分光器 1 0 に伝達されその光検出器により所定の周波数毎に光の強度に応じた電圧の光検出信号として検出され出力される。

30

## 【 0 0 8 0 】

例えば、処理開始後の任意の時刻 t において真空処理室 2 内からの干渉光を検出した処理分光器 1 0 の光検出信号はデジタル変換され、当該任意の時刻 t に対応付けられたデータ信号としてのサンプリング信号 y i j が取得される。次に、分光器 1 0 からの多波長出力信号 y i j が第 1 段目のデジタルフィルタ回路 1 2 により平滑化され、任意の時刻の時系列データ Y i j が算出される（ステップ 1 3 0 2）。

40

## 【 0 0 8 1 】

次に、微分器 1 3 に時系列データ Y i j が伝達され、S-G法（Savitzky-Golay method）により時系列の微係数 d i j が算出される（ステップ 1 3 0 3）。すなわち、微分処理（S-G法）により信号波形の係数（1 次または 2 次）d i が検出される。

## 【 0 0 8 2 】

微係数 d i j が、第 2 段目のデジタルフィルタ回路 1 4 に伝達され、平滑化（smoothing）微係数時系列データ D i j ( P ) が算出される（ステップ 1 3 0 4）。得られた平滑化微係数時系列データ D i j ( P ) は、微分波形比較器 1 5 に伝達される。

## 【 0 0 8 3 】

50

微分波形比較器 15 においては、微分波形パターンデータベース 16 内に予め格納された 3 つ以上の微分波形パターンのデータと算出され微分波形比較器 15 に送信された平滑化微係数時系列データ  $D_{ij}(P)$  とが比較され、残差  $i = ((P - DB_i)^2 / j)$  値が算出され、残差算出器 17 に送信される。残差算出器 17 においては、残差の値が最も小さいものから順に 2 つの微分波形パターンデータ  $DB_j$ 、 $DB_k$  が選択され、これらが合成データベース作成器 19 に伝達される。(ステップ 1306)。

【0084】

本実施例の合成データベース作成器 19 では、受信した 2 つの微分波形パターンデータ  $DB_j$ 、 $DB_k$  が 0 乃至 1 の間の複数の値を有する合成係数  $(t)$  を用いて合成され合成データベース  $DB$  が作成される(ステップ 1307)。この合成データベース  $DB$  とステップ 304 で作成した平滑化微係数時系列データ  $P$  から得られた微分波形パターンである実パターンデータとのパターンマッチングを  $(t)$  をパラメータとして行う。

10

【0085】

ここで、残差が最も小さくなる合成係数  $(t)$  を合成係数算出器 21 により求める(ステップ 1308)。この合成パターンデータベースに対応するシリコン層 1202 のエッチング深さの値を当該任意の時刻(現時刻)  $t$  での瞬時深さデータ  $Z_i$  として算出して(ステップ 1309)、深さ時系列データ記録器 122 内に送信して記憶させる。

【0086】

さらに、深さ時系列データ記録器 122 において記録された瞬時深さ時系列データ  $Z_i$  と処理中の過去の複数の時刻での瞬時深さ時系列データ  $Z_i$  とを用いて、回帰分析器 23 により現在の計算深さ値が算出されて、図示していないエッチング量検出装置 9 内の計算深さ時系列データ記録器内の RAM、ROM 等の記憶手段内に記憶される(ステップ 1310)。すなわち、回帰分析器 23 の演算により、1 次回帰直線  $Y = X_a \cdot t + X_b$  ( $Y$ : 残膜量、 $t$ : エッチング時間、 $X_a$ :  $X_a$  の絶対値がエッチング速度、 $X_b$ : 初期膜厚) が求められ、この回帰直線から現時刻でのエッチング量(または深さ量)が算出されこれを示すデータが記憶装置に記憶される。

20

【0087】

なお、ステップ 1309 において、比較した結果、実パターンと合成微分波形パターンデータとの残差が、予め定めた許容範囲を区分する閾値以上であった場合には、当該深さを判定するためのデータとしては不適切なものとして、当該最小の残差となる合成微分波形パターンデータに対応する深さを現時刻での瞬時深さデータ  $Z_i$  としては深さ時系列データ記録器 22 内に記憶せずにおくこともできる。また、任意の時刻  $t$  より過去の処理中の時刻(例えば現時刻の直前のサンプリング時刻)の瞬時深さデータ  $Z_i$  や上記回帰演算したものを代わりに現時刻の瞬時深さ  $Z_i$  としてステップ 1310 における回帰分析器 23 での演算を行っても良い。

30

【0088】

次に、算出された現在の被処理膜の深さ量としての計算深さの値が予め設定した目標深さ値(ステップ 1300 で設定)と比較される(ステップ 1311)。本ステップにおいて、ステップ 310 で算出された計算膜厚値が目標の残膜厚さの値である以下と判定されると、目標に到達したと判定され、ステップ 1312 に移行してエッチング処理を終了させる信号がプラズマ処理装置 61 に発信される(ステップ 1312)。最後にサンプリング終了の設定が行われる。

40

【0089】

到達していないと判断された場合は、ステップ 1302 の処理に戻る。ステップ 1311 で目標に到達したと判定された場合に、エッチング処理を終了させる制御だけでなく、次のステップのエッチング処理を行うようにプラズマ処理装置 1 に指令を発信しても良い。例えば、処理速度を低減させたオーバーエッチング処理や、エッチング処理対象の膜が複数の膜層から構成されている場合にはマスクの残膜量に適したものにプラズマ処理装置 61 の運転条件を変更して当該処理を実施しても良い。

【0090】

50

図9は、図6に示す変形例に係るプラズマ処理装置を用いて図7で示す膜構造を有するウエハをエッチング処理した場合に得られる微分波形パターンを示すグラフである。本図の3つのグラフの各々のパターンは、膜構造を処理中に当該膜構造の表面から得られた干渉光の波長をパラメータとする強度の微分値の大小を濃淡で表した微分波形パターンを表したものである。本図では縦軸に波長、横軸に処理開始後の時間（これは処理中の残り膜厚さの値と同等またはこれと見做せる程度に近似した値となる）を示す。

【0091】

図9(a)は、理論的に算出されたマスク膜からの干渉光の波長をパラメータとする強度の微分波形パターン（理論微分波形パターン）を示す図である。図9(b)は図7に示す膜構造を表面に有するウエハを実際にエッチング処理した際に得られた表面からの干渉光の波長をパラメータとする強度の微分波形パターン（実微分波形パターン）を示すものである。

【0092】

また、図9(b)において1507, 1508は実微分波形パターンにおける、シリコンがエッチングされていることにより生じる段差からの干渉光に係る波形の成分を示し、1509, 1510は当該実微分波形パターンにおける、マスク膜の残り膜さがエッチング処理の進行に伴って減少することにより発生する干渉光の強度の変化の成分を示す。図9(c)は上記図9(b)のパターンの各時間及び波長の対に対応するデータからウエハの開口率に応じた比率で図9(a)のパターンの各データを減算したデータを横軸に時間を縦軸に波長を採って示した図であって、エッチング処理の進行に伴って残り膜厚さが変化する（つまり段差の深さが変化する）処理対象膜からの干渉光の波長をパラメータとする強度の微分波形のパターン（実段差微分波形パターン）を示している。

【0093】

図9(c)の実段差干渉波形を例に図の説明を行う。最初に光路差の定義式は以下の式(14)で表される。

【0094】

$$2dn / \cos \theta = m \quad \cdots (14)$$

( $m = 0, 1, 2, \dots$ 、すなわち $m$ が整数の場合に最大値をとる。なお屈折率 $n$ 、入射角 $\theta$ 、膜厚 $d$ とする。)

エッチング処理前は段差による光路差はマスク膜の厚さ分である。エッチング処理が進むにつれて処理対象膜の膜厚さは減少するため光路差は増加する。

【0095】

この際、式(14)から分かるように最大値をとる光路差 $2d$ は波長に依存することが分かる（単純化のため $\theta = 0$ とする）、すなわち短波長側の波長周期に比べ、長波長側の波長周期が長くなるため、実段差干渉波形図9(c)のように波長が長くなるに従い、正の微分値1514と、零近傍の微分値1515と、負の微分値1516とが、右肩下がりになっていくことが分かる。

【0096】

マスク膜の理論微分波形パターンを示す図9(a)については、処理対象膜の実段差微分波形パターン9(c)とは逆に、エッチング処理が進むにつれマスク厚さは減少する。つまり、光路差は減少する。よって、マスク膜層の理論微分波形パターンの図9(a)のように波長が長くなるに従い、正の微分値1504と、零近傍の微分値1505と、負の微分値1506とが、右肩上がりになっていく。

【0097】

図9(b)の実微分波形パターンは図7に示す膜構造のウエハを実際にエッチングした際に得られた波形であり、図9(a)に示すマスク膜層の理論微分波形パターンと図9(c)に示す実段差微分波形パターンとが重なり合ったような図となる。よって、処理対象膜の実段差微分波形パターンの各データは、膜構造全体から得られる実微分波形パターン

の各データからマスク膜層の理論微分波形パターンの各データを減算またはその部分を取り除くことにより、検出することができる。以下に、マスク膜層の理論微分波形パターンを求める構成について説明する。

#### 【0098】

図10は、マスク膜層からの干渉光の理論微分波形パターンを算出し、膜構造からの干渉光の実微分波形パターンを算出する動作の流れを示すフローチャートである。

#### 【0099】

動作のスタート(ステップ1601)後に、まず、処理対象の製品ウエハと同じ構成の膜構造を表面に供えたテストウエハのエッチング処理を行い、膜構造からの干渉光の実微分波形パターンを取得する(ステップ1602)。さらに、実際にエッチング処理を行ったテストウエハの予め得られた初期マスク膜厚、最終(処理の終点での)マスク膜厚、エッチング処理時間 $t$ を得て、これらのデータの値からエッチング速度 $R_m$ を算出する(ステップ1604)。ここで、エッチング速度 $R_m$ は、 $R_m = (\text{初期マスク膜厚} - \text{最終マスク膜厚}) / t$ により算出できる。

#### 【0100】

すなわち、ウエハの処理を行う前に取得するマスクの初期膜厚と、エッチング処理中に得られた干渉波形データ及び、処理後のウエハをSEMで測定することにより得られるウエハの最終膜厚を用いることで、エッチング処理を行った際のマスクの削れ量とエッチング処理時間 $t$ よりエッチング速度(エッチングレート)を求めることができる。

#### 【0101】

次に、被処理層の物性値等が記載されている文献、例えば「Handbook of Optical Constants of Solids」(Edward D. Palic(Naval Research Laboratory Washington D.C.), Academic Press, Inc. 1985)から、マスク素材の波長 $\lambda_i$ に対応する屈折率 $n_i$ の値を取得する。得られた $\lambda_i$ 及び $n_i$ と、ステップ1604で得られた $R_m$ 、初期マスク膜厚から、テストウエハのマスク膜層の理論干渉波形 $I_m$ を算出する(ステップ1604)。このような理論干渉波形 $I_m$ は、従来より知られている技術(例えばフレネルの振幅反射係数を用いる方法等)を用いて求めることができる。ステップ1604は、ステップ1602に先立って実施しても良い。

#### 【0102】

次に、ステップ1602において得られたテストウエハの実微分波形パターンを算出する(ステップ1604)において得られた当該テストウエハの膜構造のマスク膜層の理論微分波形パターンを算出することにより、実段差微分波形パターンのデータを算出する(ステップ1605)。膜構造の実微分波形パターンからマスク膜層の理論微分波形パターンを減算する場合、例えば、実微分波形パターンのデータを取得したテストウエハの開口率を用いて、減算する理論微分波形パターンのデータの割合を決定する。

#### 【0103】

さらに、ステップ1604において得られた $\lambda_i$ 、 $n_i$ および $R_m$ を用いて、初期の厚さの値が異なる複数の(本実施例では3つ以上)のマスク膜層からの干渉光の強度の波長をパラメータとする強度の微分波形パターン(理論微分波形パターン)を算出する(ステップ1606)。さらに、ステップ1605で求めた実段差微分波形パターンの各データとステップ1606で求めた複数の膜厚のマスク膜層からの理論微分波形パターン各々の対応するデータを重畳した微分波形パターン $DB_i$ を算出し(ステップ1607)、各々のデータを微分波形パターンデータベース116に記憶し格納する(ステップ1608)。この際、各々のパターン $DB_i$ のデータは、エッチング量検出装置9内に配置されたROMやRAM等の記憶装置やDVD-ROMやハードディスク等の外部記憶装置等に収納される。



## 【 0 1 0 4 】

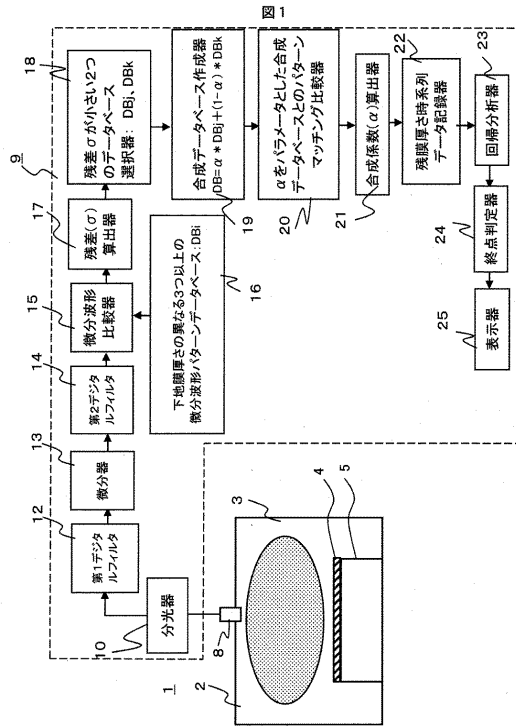
以上の通りの構成において、下地膜厚さやマスク膜層の初期の厚さがバラツいても、精度よく残り膜厚さの判定や深さの判定を実施することが可能となり処理の歩留まりが向上する。さらに、下地膜厚さやマスク膜層の厚さの情報を精度良く得る事ができるので、下地膜厚やマスク膜厚さの生産管理にも利用することが出来る。

## 【 符号の説明 】

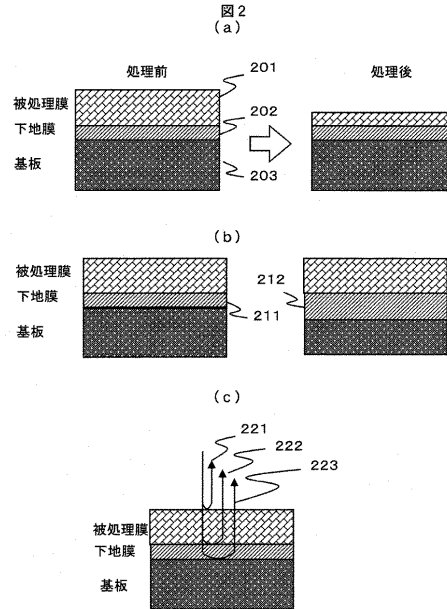
## 【 0 1 0 5 】

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1 ... プラズマ処理装置           |    |
| 2 ... 真空処理室              |    |
| 3 ... プラズマ               | 10 |
| 4 ... ウエハ                |    |
| 5 ... 試料台                |    |
| 8 ... 受光器                |    |
| 9 ... エッチング量検出装置         |    |
| 1 0 ... 分光器              |    |
| 1 2 ... 第1デジタルフィルタ       |    |
| 1 3 ... 微分器              |    |
| 1 4 ... 第2デジタルフィルタ       |    |
| 1 5 ... 微分波形比較器          |    |
| 1 6 ... 微分波形パターンデータベース   | 20 |
| 1 7 ... 残差算出器            |    |
| 1 8 ... データベース選択器        |    |
| 1 9 ... 合成データベース作成器      |    |
| 2 0 ... パターンマッチング比較器     |    |
| 2 1 ... 合成係数算出器          |    |
| 2 2 ... 残膜厚さ時系列データ記録器    |    |
| 2 3 ... 回帰分析器            |    |
| 2 4 ... 終点判定器            |    |
| 2 5 ... 表示器              |    |
| 2 0 1 ... ポリシリコン膜        | 30 |
| 2 0 2 ... 下地膜            |    |
| 2 0 3 ... 基板             |    |
| 2 1 1 ... 下地膜            |    |
| 2 1 2 ... 下地膜            |    |
| 1 1 6 ... 微分波形パターンデータベース |    |
| 1 2 2 ... 深さ時系列データ記録器。   |    |

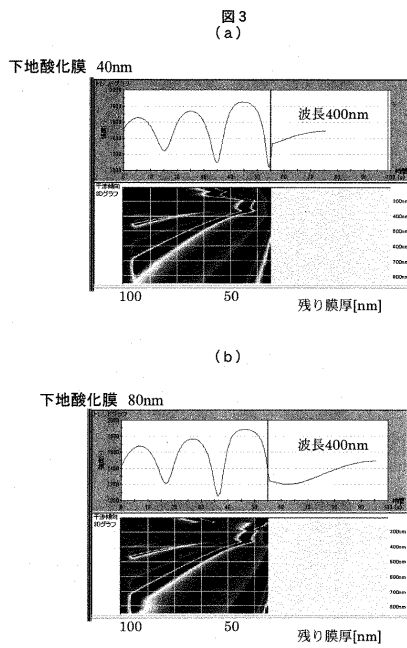
【 図 1 】



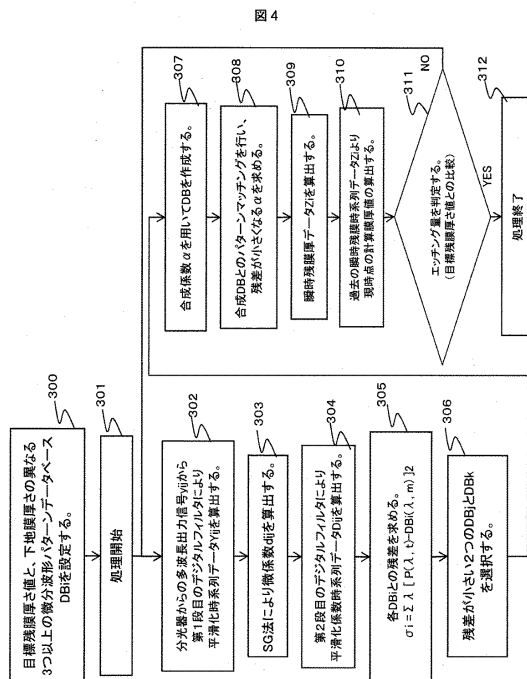
【 図 2 】



【 図 3 】

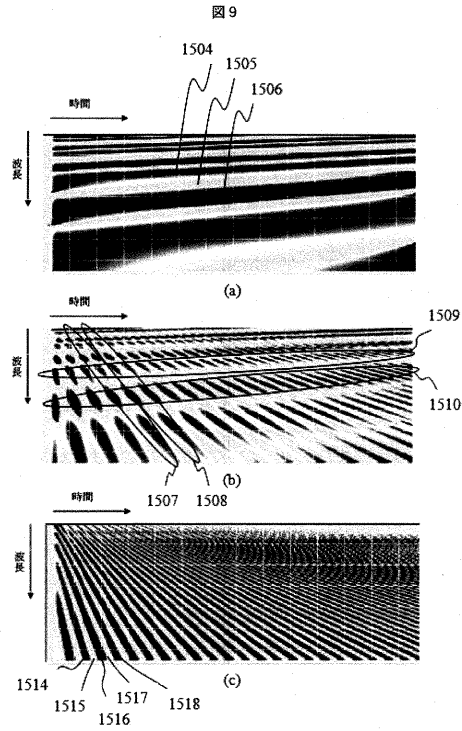


【 図 4 】

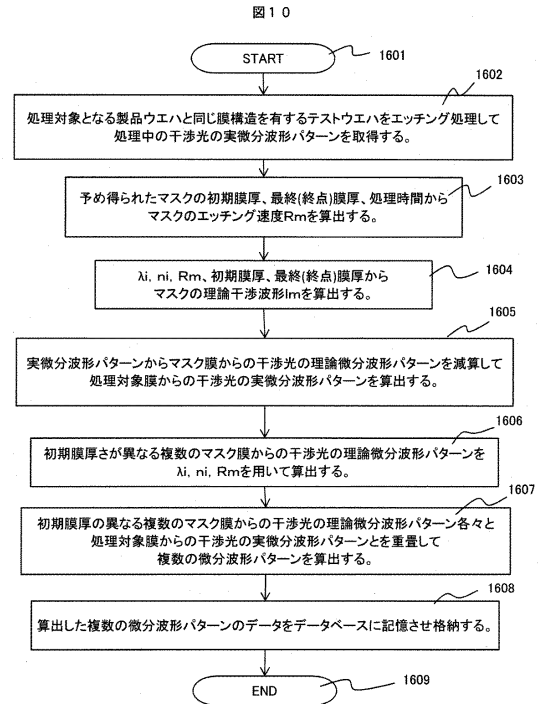




【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 中元 茂

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内

(72)発明者 福地 功祐

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内

審査官 佐藤 靖史

(56)参考文献 特開2014-195005(JP,A)

特開2015-023105(JP,A)

特開2003-083720(JP,A)

特開2008-306219(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H05H 1/00

H05H 1/46