

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6132688号
(P6132688)

(45) 発行日 平成29年5月24日 (2017.5.24)

(24) 登録日 平成29年4月28日 (2017.4.28)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 I O 3

H O 1 L 21/66 (2006.01)

H O 1 L 21/66 P

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2013-149021 (P2013-149021)
 (22) 出願日 平成25年7月18日 (2013.7.18)
 (65) 公開番号 特開2015-23105 (P2015-23105A)
 (43) 公開日 平成27年2月2日 (2015.2.2)
 審査請求日 平成28年7月14日 (2016.7.14)

(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 100098660
 弁理士 戸田 裕二
 (72) 発明者 福地 功祐
 東京都港区西新橋1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 中元 茂
 東京都港区西新橋1丁目24番14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】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウエハを真空容器内部の処理室内に配置して、前記ウエハ上に予め配置された処理対象の膜層及びこの膜層上方に配置されたマスク層とを含む複数の膜層を有した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装置であって、

処理対象のウエハの処理の前に予め別のウエハ上の前記膜構造を処理して得られた前記処理対象の膜から検出される干渉光についての波長をパラメータとする強度のパターンとマスク層からの干渉光についての波長をパラメータとする強度のパターンとを用いて合成されて得られた複数の合成パターンと、前記ウエハの処理対象の膜の処理中に検出された当該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パターンとを比較し、前記複数の合成パターンのうちでこれらの間の差が最小となる1つに対応する膜厚さを検出して、当該膜厚さと目標の膜厚さとを比較して、前記処理対象の膜の厚さの前記目標の膜厚さへの到達を判定するプラズマ処理装置。

【請求項 2】

請求項1に記載のプラズマ処理装置であって、

前記処理対象の膜及びマスク層のうち前記処理中の膜厚さの小さい一方の膜層について、当該膜当該膜からの干渉光についての前記波長をパラメータとする強度のパターンを予め算出して、この予め算出されたパターンと前記処理対象の膜及びマスク層のうちの他方の膜からの干渉光から得られる前記波長をパラメータとする強度のパターンとを用いて前記複数のパターンを作成するプラズマ処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のプラズマ処理装置であって、
前記複数の膜のうち上方に配置されたマスク層が光を透過する材料から構成されたプラズマ処理装置。

【請求項 4】

ウエハを真空容器内部の処理室内に配置して、前記ウエハ上に予め配置された処理対象の膜層及びこの膜層上方に配置されたマスク層とを含む複数の膜層を有した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、

処理対象のウエハの処理の前に予め別のウエハ上の前記膜構造を処理して得られた前記処理対象の膜から検出される干渉光についての波長をパラメータとする強度のパターンとマスク層からの干渉光についての波長をパラメータとする強度のパターンとを用いて合成されて得られた複数の合成パターンと、前記ウエハの処理対象の膜の処理中に検出された当該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パターンとを比較し、前記複数の合成パターンのうちでこれらの間の差が最小となる 1 つに対応する膜厚さを検出して、当該膜厚さと目標の膜厚さとを比較して、前記処理対象の膜の厚さの前記目標の膜厚さへの到達を判定するプラズマ処理方法。

10

【請求項 5】

請求項 4 に記載のプラズマ処理方法であって、

前記処理対象の膜及びマスク層のうち前記処理中の膜厚さの小さい一方の膜層について、当該膜当該膜からの干渉光についての前記波長をパラメータとする強度のパターンを予め算出して、この予め算出されたパターンと前記処理対象の膜及びマスク層のうちの他方の膜からの干渉光から得られる前記波長をパラメータとする強度のパターンとを用いて前記複数のパターンを作成するプラズマ処理方法。

20

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載のプラズマ処理方法であって、

前記複数の膜のうち上方に配置されたマスク層が光を透過する材料から構成されたプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、真空容器内部の処理室内に配置された半導体ウエハなどの基板上の試料を、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またはプラズマ処理方法に係り、特に、試料表面からの光を用いて処理中の膜厚さ或いは深さを判定しつつ処理を行うプラズマ処理装置またはプラズマ処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体ウエハの製造では、ウエハの表面上に形成された様々な材料の層、及び、特に誘電材料の層の除去、又はパターン形成に、ドライエッチングが広く使用されている。このドライエッチング装置では、真空容器内部の処理室内に導入された処理ガスをプラズマ化させイオンやラジカルとし、このイオンやラジカルをウエハと反応させることにより、ウエハのエッチング加工を行う。

40

【0003】

半導体ウエハのドライエッチング処理において、プラズマ光における特定波長の発光強度が、被処理材のエッチング進行に伴って変化する。そこで、半導体ウエハのエッチング終点検出方法の 1 つとして、従来から、ドライエッチング処理中にプラズマからの特定波長の発光強度の変化を検出し、この検出結果に基づいて被処理材がエッチングにより完全に除去されたエッチング終点を検出する方法がある。

【0004】

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

50

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。

【 0 0 0 5 】

この方法として発光分光を利用してプラズマ光を観測すると、エッチングの進行に伴い、シリコンの深さが増加することにより分光された光は、干渉波形を形成し、この干渉信号を利用して深さを計測する方法がある。

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 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。

【 0 0 0 7 】

特許文献 2 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 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 0 - 0 3 4 5 8 2 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 3 - 8 3 7 2 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

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。

【 0 0 1 0 】

しかしながら特許文献 1 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。

【 0 0 1 1 】

また特許文献 2 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。

【 0 0 1 2 】

本発明の目的は、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でき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 】

【 0 0 1 3 】

上記目的は、ウエハを真空容器内部の処理室内に配置して、前記ウエハ上に予め配置された処理対象の膜層及びこの膜層上方に配置されたマスク層とを含む複数の膜層を有した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装置またはプラズマ処理方法において、処理対象のウエハの処理の前に予め別のウエハ上の前記膜構造を処理して得られた前記処理対象の膜から検出される干渉光についての波長をパラメータとする強度のパターンとマスク層からの干渉光についての波長をパラメータとする強度のパターンとを用いて合成されて得られた複数の合成パターンと、前記ウエハの処理対象の膜の処理中に検出された当該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パターンとを比較し、前記複数の合成パターンのうちでこれらの間の差が最小となる 1 つに対応する膜厚さを検出して、当該膜厚さと目標の膜厚さとを比較して、前記処理対象の膜の厚さの前記目標の膜厚さへの到達を判定することにより達成される。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

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。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 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。

【 図 2 】 図 1 に示す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 3 】 図 1 に示す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。

10

【 図 4 】 図 1 に示す実施例に係るプラズマ処理装置において図 2 で示す膜構造を処理する際に取得した波長をパラメータとする干渉光の強度のデータを示すグラフである。

【 図 5 】 図 1 に示す実施例に係るプラズマ処理装置におけるパターンを作成する流れを示すフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 6 】

本発明の実施の形態を、図面を用いて以下説明する。

【 実施例 1 】

【 0 0 1 7 】

本発明の実施例 1 を図 1 から図 5 を用いて以下説明する。

20

【 0 0 1 8 】

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示す縦断面図である。

【 0 0 1 9 】

本実施例のプラズマ処理装置 1 は、真空容器 2 と、深さモニタ装置 9 とを備えている。真空容器 2 は、その内部に図示を省略したガス導入手段から導入されたエッチングガスがマイクロ波電力等により分解しプラズマ 3 となり、このプラズマ 3 により試料台 5 上の半導体ウエハなどの被処理材 4 がエッチングされる。

【 0 0 2 0 】

本実施例の深さモニタ装置 9 は、光ファイバ 7 と、分光器 1 0 と、第 1 デジタルフィルタ 1 1 と、微分器 1 2 と、第 2 デジタルフィルタ 1 3 と、微分波形比較器 1 4 と、微分波形パターンデータベース 1 5 と、微分波形パターン合成器 1 6 と、理論マスク微分波形パターンデータベース 1 7 と、実段差微分波形パターンデータベース 1 8 と、マスク厚値、段差値時系列データ記録器 2 1 と、回帰分析器 2 2 と、終点判定器 2 3 と、表示器 2 4 とを備えている。

30

【 0 0 2 1 】

なお、図 1 は、深さモニタ装置 9 の機能的な構成を示したものであり、光ファイバ 7 と分光器 1 0 と表示器 2 4 を除いた深さモニタ装置 9 の実際の構成は、CPU や、マスク材残存膜厚測定処理プログラムまたはシリコンのエッチング深さ測定処理プログラムや干渉光の微分波形パターンデータベース 1 5 や、理論マスク微分波形パターンデータベース 1 7 や、実段差微分波形パターンデータベース 1 8 等の各種データを保持した ROM や測定データ保持用の RAM および外部記憶装置等からなる記憶装置、データの入出力装置、および通信制御装置により構成することができる。

40

【 0 0 2 2 】

被処理材 4 からの干渉光は光ファイバ 7 を介して深さモニタ装置 9 の分光器 1 0 に導かれ、その状態に基づきシリコンのエッチング深さ測定またはマスク材の残存膜厚測定やエッチング処理の終点判定の処理を行う。

【 0 0 2 3 】

分光器 1 0 では、入射したプラズマ光は分光され、多波長の干渉光の発光強度は、それぞれ特定波長毎に発光強度に応じた電流検出信号となり電圧信号へ変換される。分光器 1 0 によりサンプリング信号として出力された複数の特定波長 (j 個) の信号は、時系列デ

50

ータ $y_{i,j}$ として図示を省略した RAM 等の記憶装置に収納される。

【0024】

時刻 i における時系列データ $y_{i,j}$ は次に、第1デジタルフィルタ回路11により平滑化処理され平滑化時系列データ $Y_{i,j}$ として図示を省略した RAM 等の記憶装置に収納される。

【0025】

この平滑化時系列データ $Y_{i,j}$ を基に、微分器12により微係数値(1次微分値あるいは2次微分値)の時系列データ $d_{i,j}$ が算出され、図示を省略した RAM 等の記憶装置に収納される。

【0026】

微係数値の時系列データ $d_{i,j}$ は、第2デジタルフィルタ回路13により、平滑化処理され平滑化微係数時系列データ $D_{i,j}$ として図示を省略した RAM 等の記憶装置に収納される。そして、この平滑化微係数時系列データ $D_{i,j}$ から干渉光強度の微分値の波長依存性を示す(波長 j をパラメータとする)実パターンが求められる。

【0027】

ここで、平滑化微係数時系列データ $D_{i,j}$ の算出について説明する。デジタルフィルタ回路12としては、例えば2次バターース型のローパスフィルタを用いる。2次バターース型のローパスフィルタにより平滑化時系列データ $Y_{i,j}$ は式(1)により求められる。

【0028】

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

ここで係数 a 、 b 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) である。

【0029】

2次微係数値の時系列データ $d_{i,j}$ は微分器13により5点の時系列データ $Y_{i,j}$ 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。

【0030】

$$d_{i,j} = \sum_{j=-2}^{j=2} w_j \cdot Y_{i,j} \quad (2)$$

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。

【0031】

前記微係数値の時系列データ $d_{i,j}$ を用いて平滑化微係数時系列データ $D_{i,j}$ はデジタルフィルタ回路14としては、例えば2次バター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。

【0032】

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

一方、微分波形パターンデータベース15には、あらかじめエッチングした干渉パターンと理論マスクパターンと作成した前記各波長に対する干渉光強度の微分波形パターンデータベース $D_g(k, m)$ 15 が設定されている。

【0033】

微分波形パターンデータベース $D_g(k, m)$ 15 は理論マスク微分波形パターンデータベース $D_m(l)$ 17 と、実段差微分波形パターンデータベース $D_s(l)$ 18 とを、

10

20

30

40

50

微分波形パターン合成器 16 によって合成し得られる。なお、微分波形パターンデータベース $Dg(k, m)$ 15 と、理論マスク微分波形パターンデータベース $Dm(1)$ 17 と、実段差微分波形パターンデータベース $Ds(1)$ 18 は、図示を省略した RAM 等の記憶装置に収納される。ここで k 、 m は任意の時刻を示す変数である。

【0034】

理論マスク微分波形パターンデータベース 17 と実段差微分波形パターンデータベースの作成方法については図 5 を用いて後述する。微分波形パターン合成器 16 では、 $Dm(1)$ と $Ds(1)$ とを加算し組み合わせた微分波形パターンを持っている。

【0035】

具体的には

$Dg(0, 0) = Dm(0) + Ds(0)$ 、 $Dg(0, 1) = Dm(0) + Ds(1)$ 、 $Dg(0, 2) = Dm(0) + Ds(2)$ 、 \dots 、 $Dg(0, l) = Dm(0) + Ds(l)$ 、 $Dg(1, 0) = Dm(1) + Ds(0)$ 、 \dots 、 $Dg(1, l) = Dm(1) + Dg(1)$

のパターンを作成する。本実施例は、上記のパターンを、は、膜厚さを判定しようとする時系列の任意の時刻 t を含む複数の時刻の列 $\{1\}$ の各々に対応する $Dm(1)$ 及び $Ds(1)$ のパターンデータ各々を組み合わせで作成する。

【0036】

本実施例では、当該合成パターンの作成に使用する l の範囲として、例えば膜厚さを判定しようとする時系列の現在の時刻 t から正方向および負方向に全処理時間の 10% の範囲のものを選択する。この Dg は $(l+1) \times (l+1)$ のパターンを予めメモリ上へ保持しておいてもよいし、各サンプリングでエッチングの深さ量に対応した付近の Dg だけを保持しておいても良い。

【0037】

微分波形比較器 14 では上記微分波形パターンデータベース Dg 15 と現在求められた平滑化微係数時系列データ Di, j とが比較され現在のパターンと最も近い $Dg(k, m)$ を求める。この k, m により現在のマスク厚値および段差値が決定され、マスク厚値、段差値時系列データ記録器 21 にこの値を保存する。なお決定されたマスク厚値を瞬時マスク厚値と呼び、段差値を瞬時段差値と呼ぶ。ここで得られた瞬時マスク厚値を Mi とし、瞬時段差値を Si とする。

【0038】

回帰分析器 22 において、時刻 i 以前の瞬時マスク厚値、及び瞬時段差値を用いた回帰直線近似より時刻 i の現在の計算マスク厚値 VMi 、及び現在の計算段差値 VS_i を求める。なお過去時刻における瞬時マスク厚値を用いて回帰直線近似より求めた現在のマスク厚値を計算マスク厚値と呼び、過去時刻における瞬時段差値を用いて回帰直線近似より求めた現在の段差値を計算マスク厚値と呼ぶ。

【0039】

ここで回帰直線近似による計算マスク厚値 VMi 、及び計算段差値 VS_i の算出について説明する。過去の瞬時マスク厚値、又は瞬時段差値（例えば、過去 30 点分）を用いて、1 次回帰直線 $Y = Xa \times t + Xb$ (Y : 瞬時マスク厚値、もしくは瞬時段差値、 Xa : 絶対値がエッチング速度、 t : エッチング時間、 Xb : 初期マスク厚値、もしくは初期段差値) を求め、1 次回帰直線に現在の時刻を挿入することにより、現在の計算マスク厚値 VMi 、及び現在の計算段差値 VS_i を算出する。次の時刻の瞬時マスク厚値、又は瞬時段差値が入力される度に、再度 1 次回帰直線を求める。

【0040】

さらに、計算段差値 VS_i から計算マスク厚値 VMi を減算することにより、計算深さ値 VDi を求める。この計算深さ値 VDi が予め設定された目標深さ以下であるかどうかを終点判定器 23 で判定し、エッチングを終了する。以上の処理により求められた被処理材のエッチング量の結果は、表示器 24 により表示される。

【0041】

10

20

30

40

50

図 2 は、図 1 で示す実施例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 2 (a) は、エッチング処理開始直後のマスク層 2 0 1 と、シリコン層 2 0 2 とを備える膜構造を模式的に示す。

図 2 (b) は、図 1 のプラズマ処理装置 9 にて、プラズマ処理された後の、マスク層 2 0 7 と、シリコン層 2 0 8 とを備える膜構造を模式的に示す。

【 0 0 4 2 】

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

【 0 0 4 3 】

また、エッチング処理中のウエハ図 2 (b) に対してプラズマ発光 2 0 3 が入射され、マスク層 2 0 7 の表面による反射光 2 1 0 と、マスク層 2 0 7 とシリコン層 2 0 8 の境界による反射光 2 1 1、シリコン層 2 0 8 の表面による反射光 2 1 2 が発生する。

図 2 (b) において、段差値 2 1 3 を $V S$ とし、マスク厚 2 1 4 を $V M$ とし、深さ値 2 1 5 を $V D$ とする。

【 0 0 4 4 】

図 3 は、図 2 で示すマスク層 2 0 1、シリコン層 2 0 2 を併せ持つウエハを、プラズマ処理した際の、被処理層の深さを判定する手順を示すフローチャートである。

【 0 0 4 5 】

最初に、目標シリコン深さ値（目標エッチング量）と、マスクデータベース $D m (1)$ と段差データベース $D s (1)$ の設定を行う（ステップ 4 0 2）。なお、ステップ 4 0 2 の詳細については、図 5 を用いて後述する。

【 0 0 4 6 】

次のステップにおいて、ウエハからの干渉光のサンプリング（たとえば 0 . 2 5 ~ 0 . 5 秒毎に）を開始する。（ステップ 4 0 3）すなわち、エッチング処理開始に伴い、サンプリング開始命令が出される。エッチングの進行に従って変化する多波長の発光強度が、光検出器（分光器 1 0）により発光強度に応じた電圧の光検出信号として検出される。分光器 1 0 の各波長 j 毎の光検出信号は、デジタル変換され、サンプリング信号 $y i , j$ を取得する。

【 0 0 4 7 】

次に、分光器 1 0 からの多波長出力信号 $y i , j$ を第 1 段目のデジタルフィルタ 1 1 により平滑化し、平滑化時系列データ $Y i , j$ を算出する（ステップ 4 0 4）すなわち、第 1 段目のデジタルフィルタによりノイズを低減し、平滑化時系列データ $Y i , j$ を求める。

【 0 0 4 8 】

次に、微分器 1 2 において、一般的な微分法により平滑化時系列データ $Y i , j$ を微分して、各波長毎の微係数 $d i , j$ を算出する（ステップ 4 0 5）。例えば $S - G$ 法（ $S a v i t z k y - G o l a y m e t h o d$ ）や差分法を用いて擬似的に微分を行っても良い。この微分処理により各波長毎の信号波形の微係数（1 次または 2 次） $d i , j$ を求める。

【 0 0 4 9 】

さらに、第 2 段目のデジタルフィルタ 1 3 により平滑化微係数時系列データ $D i , j$ を算出する（ステップ 4 0 6）。

【 0 0 5 0 】

次に、マスクデータベース $D m (1)$ と段差データベース $D s (1)$ を組み合わせて、合成データベース $D g (k , m)$ を作成する（ステップ 4 0 7）。具体的には、 $D g (0 , 0) = D m (0) + D s (0)$ 、 $D g (0 , 1) = D m (0) + D s (1)$ 、 \dots 、 $D g (1 , 1) = D m (1) + D s (1)$ の $(1 + 1) \times (1 + 1)$ のパターンを作り出す。上記の通り、ここで組み合わせに使用する 1 の範囲は、例えば現在の時刻から正方向および負方向に全処理時間の 1 0 % の範囲を持つ。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

そして、微分波形比較器 1 4 において、マッチングパターン偏差値（最小） $s = (D_{i,j} - D_g(k, m)) / j$ 値の算出を行い、平滑化微係数時系列データ $D_{i,j}$ に対するマッチングパターン偏差値（最小） s が最小値となる合成データベース $D_g(k, m)$ を決定する（ステップ 4 0 8）。

【 0 0 5 2 】

ここで $D_g(k, m)$ の k はマスクデータベース $D_m(k)$ であり、 $D_g(k, m)$ の m は段差データベース $D_s(m)$ に相当する。なお、 $k (k = 0, \dots, 1)$ 、 $m (m = 0, \dots, 1)$ はサンプリング時刻を示す数である。マスクデータベース $D_m(k)$ は時刻 k における波長依存性を示す理論マスク干渉波形パターンで構成されており、段差データベース $D_s(m)$ は時刻 m における波長依存性を示す実段差干渉波形パターンで構成されている。すなわち k, m が前記微分波形比較器 1 4 にて決定されることにより、現在の瞬時マスク厚値 M_i 及び瞬時段差値 S_i が決定される。

【 0 0 5 3 】

過去の瞬時マスク厚時系列データ M_i より、回帰分析を行い現在の計算マスク厚値 $V M_i$ を算出する。さらに過去の瞬時段差値時系列データ S_i より回帰分析を行い現在の計算段差値 $V S_i$ を算出する。

【 0 0 5 4 】

計算段差値 $V S_i$ から計算マスク厚 $V M_i$ を減算することで、計算深さ値 $V D_i$ を算出する。（ステップ 4 1 1）

計算深さ値 $V D_i$ と、目標シリコン深さ値を比較することで、エッチング量の判定を行い（ステップ 4 1 2）、現在の計算深さ値 $V D_i$ が目標シリコン深さ値に達していたら、該当のエッチングを終了させ、サンプリングを終了する（ステップ 4 1 3）。現在の計算深さ値 $V D_i$ が目標シリコン深さ値に達していない場合はステップ 4 0 4 に戻る。

【 0 0 5 5 】

図 4 は、図 1 で示す実施例に係るプラズマ処理装置にて、図 2 で示す膜構造の構成を模式的に示した試料を処理する際に、取得できる各波長の干渉波形データを、正の微分値は赤色、零近傍の微分値は緑色、負の微分値は青色となるように図で表したものである。縦軸に波長、横軸に時間を示す。

【 0 0 5 6 】

図 4 (a) は理論マスク干渉波形を示す。図 4 (b) は図 2 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実干渉波形を図で示す。また図 4 (b) において 5 0 7、5 0 8 は実干渉波形における、シリコンがエッチングされていることにより生じる干渉波形の段差成分を示し、5 0 9、5 1 0 は実干渉波形における、マスク残膜がエッチングによって減少することにより発生する干渉波形のマスク成分を示す。図 4 (c) は上記図 4 (b) からウエハの開口率に応じた比率で、図 4 (a) を減算した実段差干渉波形を、図で示したものである。

【 0 0 5 7 】

図 4 (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 (4) で表される。

$$2 d n / \cos \theta = m \quad \dots (4)$$

($m = 0, 1, 2, \dots$ 、すなわち m が整数の時最大値をとる。なお屈折率 n 、入射角、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厚分である。エッチング処理が進むにつれて光路差は増加する。この時、式 (4) から分かるように最大値をとる光路差 $2 d$ 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 4 (c) のように波長が長くなるに従い、正の微分値 5 1 4 と、零近傍の微分値 5 1 5 と、負の微分値 5 1 6 とが

10

20

30

40

50

、右肩下がりになっていくことが分かる。

【0058】

理論マスク干渉波形図4(a)については、実段差干渉波形図4(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。よって理論マスク干渉波形図4(a)のように波長が長くなるに従い、正の微分値504と、零近傍の微分値505と、負の微分値506とが、右肩上がりになっていく。

【0059】

実干渉波形図4(b)は、図2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、理論マスク干渉波形図4(a)と実段差干渉波形図4(c)が重なり合ったような図となる。

10

【0060】

よって実段差干渉波形は、実干渉波形から理論マスク干渉波形を抜き出すことにより、導出される。

【0061】

図5は、理論マスク干渉波形を算出し、実干渉波形から理論マスク干渉波形を減算することにより、実段差干渉波形を抽出することを示すフローチャートである。

【0062】

まず、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 λ_i に対応する屈折率 n_i を取得する(ステップ602)。

20

【0063】

次に、製品ウエハと同じ構成のサンプルウエハのエッチング処理を行い、実干渉波形を得る(ステップ603)。実際に、エッチング処理を行ったウエハの初期マスク膜厚、最終マスク膜厚、エッチング処理時間 t からエッチング速度 R_m を算出する(ステップ604)。ここで、エッチング速度 R_m は、 $R_m = (\text{初期マスク膜厚} - \text{最終マスク膜厚}) / t$ により算出される。

【0064】

すなわち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。

30

【0065】

次に、ステップ602で得られた λ_i 及び n_i と、ステップ604で得られた R_m 、初期マスク膜厚から、マスクの理論干渉波形 I_m を算出する(ステップ605)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。

【0066】

次に、マスク実干渉波形と実段差干渉波形が合わさった実干渉波形から、理論マスク干渉波形を減算することにより、実段差干渉波形を抽出する(ステップ606)。実干渉波形から理論マスク干渉波形を減算する場合、例えば、実干渉波形を取得したウエハの開口率から減算する理論マスク干渉波形の割合を決定する。

40

【0067】

最後に、ステップ606で求めた実段差干渉波形と、ステップ605で求めた理論マスク干渉波形をデータベースとして保持する(ステップ607)。このとき、データベースは、例えばROMやRAM等の記憶装置や外部記憶装置等に収納される。

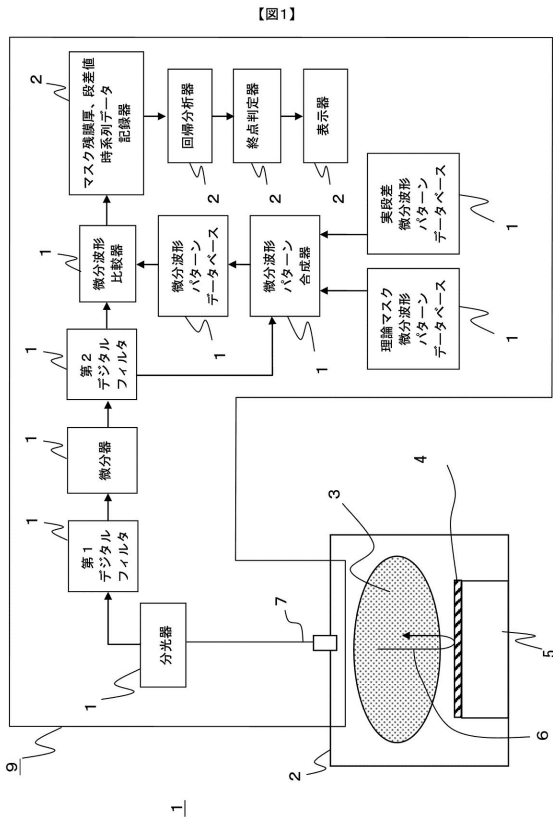
【符号の説明】

【0068】

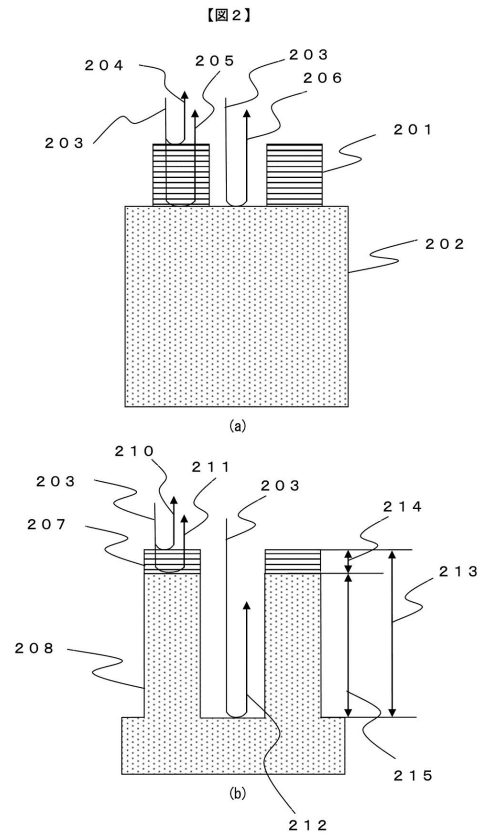
50

1	プラズマ処理装置	
2	真空処理室	
3	プラズマ	
4	被処理材	
5	試料台	
7	光ファイバ	
9	深さモニタ装置	
1 0	分光器	
1 1	第 1 デジタルフィルタ	
1 2	微分器	10
1 3	第 2 デジタルフィルタ	
1 4	微分波形比較器	
1 5	微分波形パターンデータベース	
1 6	微分波形パターン合成器	
1 7	理論マスク微分波形パターンデータベース	
1 8	実段差微分波形パターンデータベース	
2 1	マスク厚値、段差値時系列データ記録器	
2 2	回帰分析器	
2 3	終点判定器	
2 4	表示器	20
2 0 1	マスク層	
2 0 2	シリコン層	
2 0 3	プラズマ発光	
2 0 4	反射光	
2 0 5	反射光	
2 0 6	反射光	
2 0 7	マスク層	
2 0 8	シリコン層	
2 1 0	反射光	
2 1 1	反射光	30
2 1 2	反射光	
2 1 3	段差値	
2 1 4	マスク厚	
2 1 5	深さ値。	

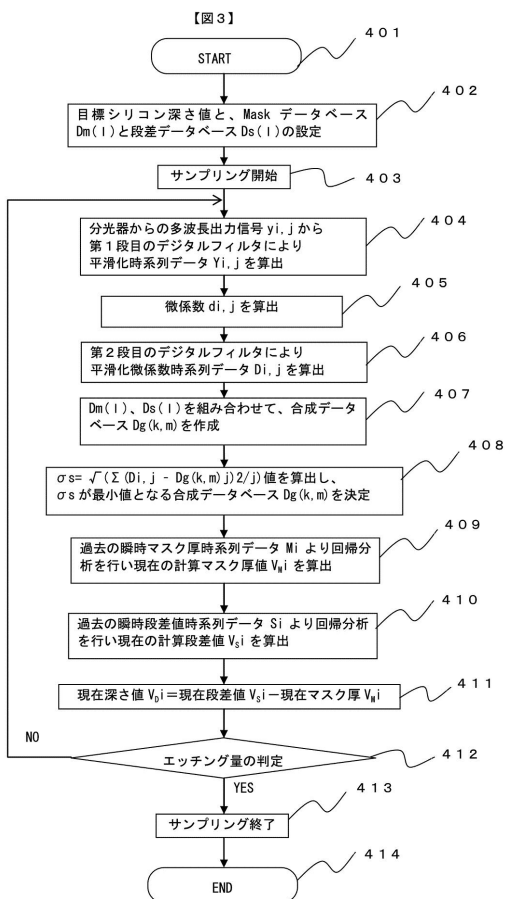
【図 1】



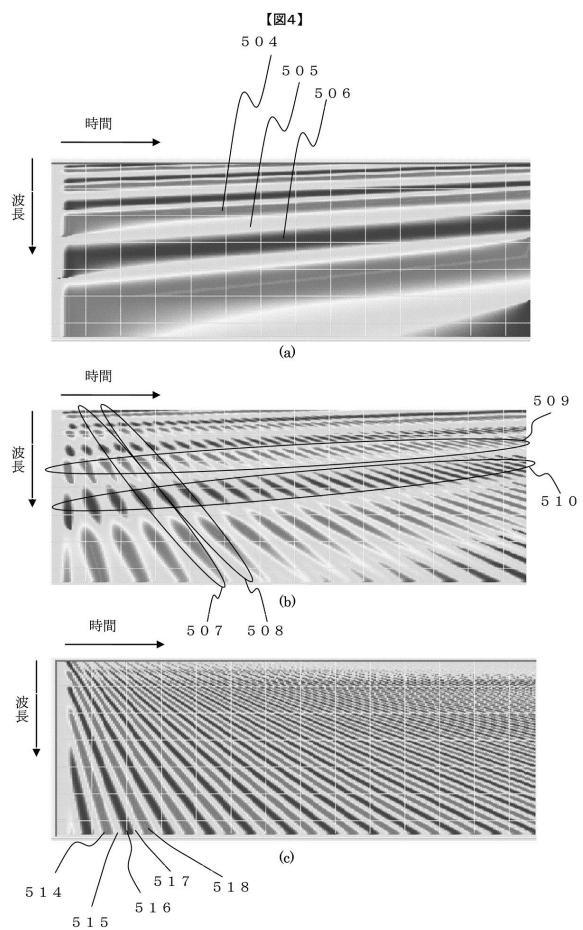
【図 2】



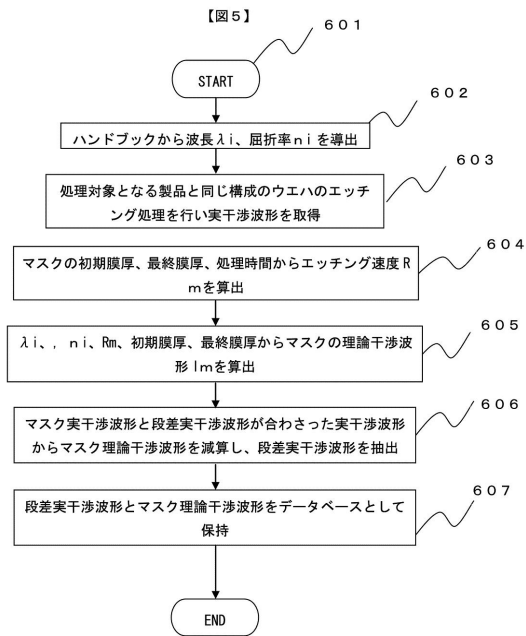
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (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 井上 智己
東京都港区西新橋1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 廣田 侯然
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

審査官 佐藤 靖史

- (56)参考文献 特開2005-005534(JP,A)
特開2001-244254(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065
H01L 21/66