

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 2 月 4 日(04.02.2016)



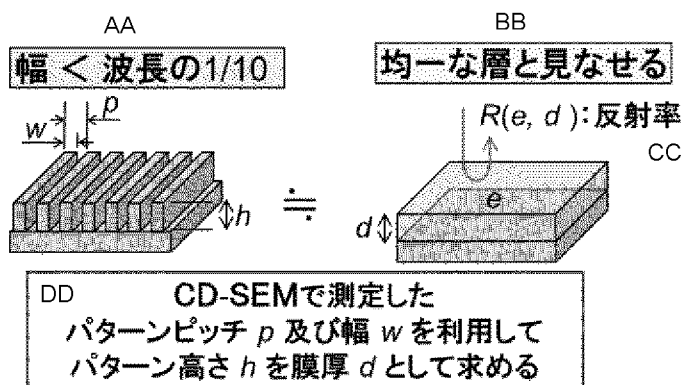
(10) 国際公開番号
WO 2016/016957 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/02 (2006.01) **G01B 15/00** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/069991
- (22) 国際出願日: 2014 年 7 月 30 日(30.07.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社 日立ハイテクノロジーズ
(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 川田 洋揮(KAWADA Hiroki); 〒1058717 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 Tokyo (JP). 笹田 勝弘(SASADA Katsuhiko); 〒1058717 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 Tokyo (JP). 廣瀬 丈師(HIROSE Takenori); 〒1058717 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 Tokyo (JP). 高見 尚(TAKAMI Shou); 〒1058717 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE Manabu et al.); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: PATTERN HEIGHT MEASUREMENT DEVICE AND CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称: パターン高さ測定装置、及び荷電粒子線装置



- AA Width < 1/10 wavelength
- BB Deemed as uniform
- CC $R(e, d)$ = reflectance
- DD Find pattern height (h) as film thickness (d), using pattern pitch (p) and width (w) measured using CD-SEM

sample in the second reflected light information when the first reflected light information and the second reflected light information fulfil prescribed conditions.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/016957 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明は、微細なパターンの高さ方向の寸法を高精度に測定することが可能なパターン高さ測定装置、及び荷電粒子線装置の提供を目的とする。上記目的を達成するために、本発明では、試料に光を照射したときの反射光を分光することによって得られる第 1 の反射光情報に基づいて、試料の高さ方向の寸法を求める演算装置を備えたパターン高さ測定装置であって、前記演算装置は、前記試料に対する荷電粒子ビームの照射によって得られる前記試料上に形成されたパターンの前記試料表面方向の寸法値、前記試料の高さ方向の寸法値、及び反射光情報との関係式に基づいて第 2 の反射光情報を求め、当該第 2 と反射光強度と、前記第 1 の反射光情報を比較し、当該第 1 の反射光情報と前記第 2 の反射光情報が所定の条件を満たす前記第 2 の反射光情報の前記試料の高さ方向の寸法値を、前記パターンの高さ方向の寸法として出力するパターン高さ測定装置を提案する。

明 細 書

発明の名称： パターン高さ測定装置、及び荷電粒子線装置

技術分野

[0001] 本発明は、試料上に形成されたパターン等の高さを測定する高さ測定装置に係り、特に、微細パターンの高さを測定する高さ測定装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの微細化に伴い、電子顕微鏡や光学式検査装置を用いたプロセス管理は、今後益々重要になるものと予想される。特許文献1には、半導体製造工程の1つである薄膜の平坦化工程の際に、薄膜の膜厚を計測する膜厚計測装置が開示されている。特許文献1には、CMP（Chemical Mechanical Polishing）法を用いて行われる加工の状態を評価すべく、白色光を薄膜に照射し、反射光のスペクトル解析に基づいて、膜厚計測を行う膜厚計測装置が説明されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第4460659号公報（対応米国特許USP6,753,972）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 昨今の更なる半導体デバイスの高集積化の要求に伴い、回路を構成するパターンの三次元構造化が進んでいる。三次元構造化の進歩に伴い、パターンの高さ方向の寸法管理の重要性が高まってくるものと予想される。特許文献1に開示されているような膜厚計測装置は、広範囲に亘って均一な厚さを持つ薄膜の膜厚測定には適しているものの、例えば数nm～数十nmの線幅を持つ微細なパターンの評価を行うことは困難である。

[0005] 一方、これまでの半導体デバイスの高集積化の方向は主に、回路を構成するパターンの縮小化による高密度化であり、数nm～数十nmで形成される

パターンの線幅等を評価するために、例えばCD-SEM (Critical Dimension-Scanning Electron Microscope) が用いられてきた。しかしながら、光学式検査装置に対し、相対的に焦点深度が深い電子顕微鏡は、高さ方向の測定を行うには不向きな装置である。

[0006] 以上のように、光学式の膜厚計測装置、及び電子顕微鏡のいずれもが、微細なパターンの高さ方向の寸法を測定することが難しく、今後の半導体デバイスの更なる三次元構造化に向けて、微細パターンの高さ方向の寸法を高精度に測定する装置の出現が望まれると予想される。

[0007] 以下に、微細なパターンの高さ方向の寸法を高精度に測定することを目的とする高さ測定装置、及び荷電粒子線装置を提案する。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するための一態様として、試料に光を照射したときの反射光を分光することによって得られる第1の反射光情報に基づいて、試料の高さ方向の寸法を求める演算装置を備えたパターン高さ測定装置であって、前記演算装置は、前記試料に対する荷電粒子ビームの照射によって得られる前記試料上に形成されたパターンの前記試料表面方向の寸法値、前記試料の高さ方向の寸法値、及び反射光情報との関係式に基づいて第2の反射光情報を求め、当該第2と反射光強度と、前記第1の反射光情報を比較し、当該第1の反射光情報と前記第2の反射光情報が所定の条件を満たす前記第2の反射光情報の前記試料の高さ方向の寸法値を、前記パターンの高さ方向の寸法として出力するパターン高さ測定装置を提案する。

[0009] また、上記目的を達成するための他の態様として、荷電粒子源から放出された荷電粒子ビームの走査によって得られる検出信号に基づいて、試料上に形成されたパターンの寸法を測定する演算装置を備えた荷電粒子線装置であって、試料に光を照射したときに得られる反射光を検出する光学装置を備え、前記演算装置は、当該光学装置の第1の反射光情報と、前記荷電粒子ビームの走査によって得られる検出信号に基づいて、前記パターンの高さを演算

する荷電粒子線装置を提案する。

発明の効果

[0010] 上記構成によれば、微細なパターンの高さ方向の寸法を正確に測定することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]パターン高さ測定装置の概要を示す図。

[図2]高さ測定の概念を示す図。

[図3]光学顕微鏡と電子顕微鏡を用いた高さ測定の工程を示すフローチャート。

[図4]光学顕微鏡を備えた走査電子顕微鏡の一例を示す図。

[図5]光学顕微鏡と走査電子顕微鏡を含む測定システムの一例を示す図。

[図6]光学顕微鏡と電子顕微鏡を用いた高さ測定の工程を示すフローチャート。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に説明する実施例は、主に半導体デバイス等の高さを測定する測定装置、及びコンピュータに高さ測定のための演算を実行させるためのコンピュータプログラムに関するものである。半導体デバイスの製造工程において、微細な形状の高さを計測する必要性が、近年高まりつつある。例えば、立体構造を持つF i n F E TデバイスのF i nラインパターンは、スイッチング電流の通り路であるため、ラインの線幅だけでなく、高さ寸法も均一にする必要がある。微細なパターンのプロセス管理のためには、微細パターンの評価が可能な電子顕微鏡等の荷電粒子線装置を用いることが望ましい。しかしながら、高さ方向の情報は、試料表面方向に対して垂直な方向からのビーム照射によって得られるトップダウン像では取得が難しいため、電子顕微鏡の電子ビームを傾け、パターンの側壁等に対し、斜めの方向からの観察を行うことによって、パターンの高さ方向の寸法を測定することが考えられる。

[0013] しかしながら、近年のデバイス構造において微細化が進んでおり、隣り合うふたつのラインの間隔は約20nmしかなく、そこから下方に約40nm

下がったところにある底部を見て高さを測定するためには、ビームの傾き角度が垂直から約数度しか傾けることができない。このような制約下では、高さをナノメートル程度の精度で測定することが非常に困難になる。また、電子顕微鏡以外の手段で高さ寸法を計測しようとする、デバイスの量産工場においては、そのスループットや計測精度、あるいは装置管理コストが悪化し、生産に適用できないという問題点があった。

[0014] そこで、以下に説明する実施例にて、電子顕微鏡をなるべく改造することなく、スループット、計測精度、および装置管理コストがいずれも良好な計測手段を備えた荷電粒子線装置、測定システム、及び測定装置を提案する。

[0015] 以下に、光学顕微鏡と電子顕微鏡を備えた高さ測定装置であって、光学顕微鏡の光路に、白色光を入射させ、ウエハからの反射光を測定して得た分光スペクトルを、疑似薄膜解析法により解析して、微細パターンの高さを算出する高さ測定装置について説明する。特に、光学顕微鏡による高さ評価結果と、電子顕微鏡による寸法測定結果の双方を用いた高さ評価法について説明する。このような手法によれば、微細パターンの高さ測定を高精度に行うことが可能となり、結果として三次元構造化が進む最新のデバイスのプロセス変動の管理を高精度に行うことが可能となる。

[0016] 図 1 に、高さ計測の装置構成例を示す。図 1 に例示する電子顕微鏡は、半導体デバイスパターンの寸法計測を目的とした電子顕微鏡であり、更に、ウエハ上に形成された位置決めパターンを観察するための光学式顕微鏡が備えられている。電子顕微鏡の倍率は約 1000 倍以上で使用されるが、例えば直径 300 mm 上に形成された位置決めパターンを見つけるためには、倍率が高すぎるため視野が狭すぎて、効率よく見つけることが困難である。そこで図 1 に例示する電子顕微鏡には、低倍率での観察が可能な光学顕微鏡が併設されている。光学顕微鏡を備えた電子顕微鏡によれば、半導体デバイスパターンのウエハ上における位置を、位置決めパターンに対する、相対的な位置を示す座標で管理することができる。パターン寸法を自動計測するためには、光学顕微鏡にて位置決めパターンを探すアルゴリズムに基づく制御を行

うことが望ましい。

[0017] 本実施例では、主に位置決めパターン観察用の光学式顕微鏡の光路上に、ハーフミラーを設置することによって、光学顕微鏡に、位置決めパターン検出と高さ計測の2つの機能を持たせる例について説明する。なお、ハーフミラーは高さ計測をするときのみ光路上に移動するようにして、位置決めパターン観察ときには光路を妨げないようにしても良い。

[0018] 光学顕微鏡の光源は例えばハロゲンランプとし、約300nmから約800nmの波長の光を含んだ白色光を、偏光子に通してからハーフミラーで反射させ、光学式顕微鏡へ導入する。光源は、特定の波長のみ発光するLEDを複数組み合わせたものでも良い。ウエハで反射した光は、光学式顕微鏡で集光され、ハーフミラーを通過して、光ファイバにより分光器へ送られる。分光器では、波長による光の強度を表すスペクトルが、分光反射率として検出される。一方で、ウエハ上のパターンの様々な高さにおけるスペクトルを理論計算値として作成し、測定スペクトルに対して、理論計算値が最もよく一致するときのパターン高さを求め、これをパターン高さとして出力する。

[0019] 光学顕微鏡を用いた測定の前または後に、電子顕微鏡でウエハ表面をトップダウン方向から観察したときのパターン寸法を計測する。この寸法を、スペクトルの理論計算に代入して、より精度の高い理論計算値を求められるようにする。

[0020] また、ウエハの上または近傍に、反射試料を設置し、それを上記の測定の前後に測定して得られたスペクトルを、デバイスパターンを測定したスペクトルから差し引いても良い。このようにすると、偏光子、ハーフミラー、白色光の光路、光学式顕微鏡、あるいは光ファイバなどが経時変化してしまうことによって発生する誤差を、キャンセルすることができる。反射試料は、何もパターンが形成されていないミラーウエハの切片でも良い。あるいは、パターンが形成されているウエハの上面で、パターンが存在していない領域を、反射試料として測定しても良い。

[0021] 図2は、光学顕微鏡と走査電子顕微鏡の両方を用いたパターンの高さ計測

の原理を説明する図である。例えば、デバイスパターンが直線状であり、トップダウン方向から見たときの幅が W 、それらが等間隔で並んだ時のピッチが P 、パターンの高さが h であるとする。近年のデバイスパターンでは、例えば W が 20 nm 程度であり、試料に照射する白色光の波長が、短くても約 300 nm であるため、幅が波長の $1/10$ であるという条件を満足している。

[0022] このような条件下で白色光により測定すると、プローブ光である白色光の波長に対して、パターンがあまりにも微細であるため、ラインパターンを構成する材質、例えばシリコンと、ラインの間に存在する材質、すなわち真空とが均質に混ざり合った媒質の薄膜によって近似することができる。このような媒質を有効媒質と呼ぶ。

既知であるシリコンと真空の誘電率（複素数）をそれぞれ ϵ_a と ϵ_b とすると、以下の式により有効媒質の誘電率 e が近似される。

[0023]
$$e = f \epsilon_a + (1 - f) \epsilon_b \quad \cdots \text{数 1}$$

$$f = W/P \quad \cdots \text{数 2}$$

この誘電率は波長により変化するスペクトルである。 e と有効異質の膜厚 d から、反射光のスペクトルをフレネルの式から求めることができる。 ϵ_a と ϵ_b は既知であり、 W と P も $CD-SEM$ による計測値なので変動値でないから、膜厚 d を変数にして計算した反射率 $R(e, d)$ のスペクトルの形が、実測の反射光スペクトルと最も良く一致する d を求める。この d が、実際のライン／スペースパターンの高さ h に等しいと、みなすことができる。

[0024] また、数1は主に光の偏光状態がラインアンドスペースパターンに平行な場合に用いられる式であり、偏光状態がラインアンドスペースパターンに直交する場合には、以下の数3を用いる。

[0025]
$$1/e = f/\epsilon_a + (1 - f)/\epsilon_b \quad \cdots \text{数 3}$$

また、光学顕微鏡、の光ファイバとハーフミラーとの間、および光源とハーフミラーとの間に、それぞれ偏光板を配置することによって、ラインアンドスペースパターンの方向に応じて偏光状態を切り替えることが可能となる

。2つの偏光板の向きは平行に配置され、当該2つの偏光板を同時に回転させることによって、ラインアンドスペースパターンに平行、或いは直交に偏向状態を切り替えることが可能となる。

[0026] ところで、上述の高さ計測方法とは異なるものとして、スカタロメトリー（Scatterometry）という測定法が知られている。これは、レーザー光を試料上に反射させて、その反射スペクトルから、パターンの断面形状を推定するものである。この方式では、断面形状を様々に変化した時の反射スペクトルをあらかじめ計算で求めておき、測定した反射スペクトルに最も近い計算スペクトルを与える断面形状を探し出し、それを計測結果とするものである。

[0027] このスカタロメトリーは、本実施例のように、フレネルの薄膜反射式を用いる解析法等とは異なる方式である。

[0028] スカタロメトリーでは、特定の波長光が、デバイスパターンの立体的な構造物に当たって反射したときの干渉光を、幾何学的なモデルを使って計算して求めている。この方式では、計算量が膨大で計算時間を要するため、あらかじめ様々な断面形状に対して干渉光を計算してデータベース化しておく必要があり、そのためのコストが量産時の問題のひとつになっている。

[0029] 一方、本実施例では、試料は立体的な構造物であるとはみなされず、均一な薄膜であるとみなし、フレネルの薄膜反射式を用いて解析的にスペクトルを計算できる。このようにすると、計算時間はほとんどかからず、データベースを準備する必要が無いので、量産時のコストを抑制できる。

[0030] 図3は、光学顕微鏡と走査電子顕微鏡を用いたパターンの高さ測定の手順を示す図である。まず、ウエハ上の位置決めパターンを光学顕微鏡で探し、ウエハの位置合わせをする（ステップ1）。ステップ1は、電子顕微鏡によるパターン寸法の自動計測を行うための重要な工程であり、この位置決めによって、これから測定するパターンと既知の位置関係にある位置の座標を知ることができる。

[0031] 次に、ステップ1によって特定された位置座標に基づいて、測定対象とな

るパターンが光学顕微鏡の視野内に含まれるように、ウエハを動かす（ステップ2）。例えば、光学式顕微鏡の測定サイズが約50ミクロンである場合、50ミクロンの範囲内に測定対象パターンが含まれるように、ウエハの乗っているステージを移動させる。そして、ハーフミラーを光学顕微鏡の光路上に設置する（ステップ3）。ハーフミラーを、光学顕微鏡の光路外から光路上に移動させる場合には、ハーフミラー表面の光路に対する角度が常に一定になるように移動させる。この場合、ハーフミラー移動用のレールを用意しておき、当該レール上をモータ駆動によりハーフミラーが移動するようにしても良い。

[0032] ハーフミラーが光学顕微鏡の光路上に挿入された状態で、寸法測定対象パターンと、反射試料の反射スペクトルを測定する（ステップ4、5）。反射スペクトル測定終了後、ハーフミラーを光学顕微鏡の光路から退避させる（ステップ6）。ハーフミラーを光学顕微鏡の光路から退避させることによって、膜厚測定が可能な状態から、位置決めパターンの画像が取得可能な状態となる。

[0033] 次に、測定対象パターンを走査電子顕微鏡の視野内に位置付け、電子ビームの走査に基づいて得られる測定対象パターンの画像、或いは波形信号に基づいて、パターンの寸法測定を実施する（ステップ7）。

[0034] 以上の処理により得られたパターン寸法値（線幅、ピッチ）、反射試料と実測パターンの反射スペクトルに基づいて、薄膜の厚さを求め、当該薄膜の厚さをパターン高さに換算して、パターンの高さを出力する（ステップ8、9）。なお、上述のようにして求めた、パターンの高さ h と、電子顕微鏡で測定したパターンの上部の幅 W_t と、下部の幅 W_b とから、パターンの側壁の傾き角度 θ を、下記の式で求めることもできる。

[0035] $\theta = \arctan \{ (2 \times h / (W_b - W_t)) \} \cdots \text{数4}$

以上のような手法によれば、光学顕微鏡を用いて、光学顕微鏡では目視が困難な微細パターンのパターン高さを正確に測定することが可能となる。

[0036] 次に、上述の実施例をより具体的に説明する。図4は、走査電子顕微鏡4

00と光学顕微鏡450の複合装置からなる高さ測定装置の一例を示す図である。走査電子顕微鏡400には、試料に対し電子ビームを照射し、当該ビーム照射に基づいて得られる検出信号に基づいて、信号波形や画像を形成するために必要な構成要素が内蔵されている。電子源401から引出電極402によって引き出され、図示しない加速電極によって加速された電子ビーム403は、集束レンズの一形態であるコンデンサレンズ404によって、絞られた後に、走査偏向器405により、試料408上を一次元的、或いは二次元的に走査される。電子ビーム403は試料台409に内蔵された電極に印加された負電圧により減速されると共に、対物レンズ406のレンズ作用によって集束されて試料408上に照射される。

[0037] 電子ビーム403が試料408に照射されると、当該照射箇所から二次電子、及び後方散乱電子のような電子410が放出される。放出された電子410は、試料に印加される負電圧に基づく加速作用によって、電子源方向に加速され、変換電極412に衝突し、二次電子411を生じさせる。変換電極412から放出された二次電子411は、検出器413によって捕捉され、捕捉された二次電子量によって、検出器413の出力が変化する。この出力に応じて図示しない表示装置の輝度が変化する。例えば二次元像を形成する場合には、走査偏向器405への偏向信号と、検出器413の出力との同期をとることで、走査領域の画像を形成する。また、図4に例示する走査電子顕微鏡には、電子ビームの走査領域を移動する偏向器（図示せず）が備えられている。この偏向器は異なる位置に存在する同一形状のパターンの画像等を形成するために用いられる。この偏向器はイメージシフト偏向器とも呼ばれ、試料ステージによる試料移動等を行うことなく、電子顕微鏡の視野位置の移動を可能とする。イメージシフト偏向器と走査偏向器を共通の偏向器とし、イメージシフト用の信号と走査用の信号を重畳して、偏向器に供給するようにしても良い。

[0038] なお、図4の例では試料から放出された電子を変換電極にて一端変換して検出する例について説明しているが、無論このような構成に限られることは

なく、例えば加速された電子の軌道上に、電子倍像管や検出器の検出面を配置するような構成とすることも可能である。

[0039] 制御装置420は、走査電子顕微鏡の各構成を制御すると共に、検出された電子に基づいて画像を形成する機能や、ラインプロファイルと呼ばれる検出電子の強度分布に基づいて、試料上に形成されたパターンのパターン幅を測定する機能を備えている。また、当該制御装置420には、得られた信号に基づいて画像を形成すると共に、当該画像の画像処理を行う演算処理装置が内蔵されている。演算処理装置の詳細については後述する。

[0040] 試料室451には、走査電子顕微鏡400とは別に、光学顕微鏡450が設置されている。なお、図4の例では試料室451に光学顕微鏡450を設置する例を示しているが、これに限られることはなく、例えば、試料室451内にウエハ等の試料を導入する前に、試料が置かれた雰囲気を、試料室451と同等の真空度とする予備排気室（図示せず）等に、光学顕微鏡を設置するようにしても良い。光学顕微鏡450には、光源452、当該光源から放出されたビームの光学条件を調整する光学素子453が内蔵されている。また、光源452から放出されたビームを、試料に向かって偏光すると共に、試料からの反射光の通過を許容するハーフミラー455、観察像を拡大するための対物レンズ454、及び試料からの反射光を受光する受光素子456が内蔵されている。受光素子456で受光された光信号は、分光器457によって分光され、後述する処理を行うべく、制御装置420に送られる。また、光学顕微鏡450には、光学顕微鏡450の光軸と光軸外との間でハーフミラー455を移動させるための移動機構458が備えられている。制御装置420は、後述する測定アルゴリズムに従って、当該移動機構458を制御する。

[0041] また、図4に例示する走査電子顕微鏡の試料台409上には、試料408と同じ条件で作成された標準試料459が搭載されている。標準試料459は、パターンが形成されていないこと以外は、測定対象パターンと同じプロセスで作成されているため、上述のような経時変化に基づいて発生する誤差

を校正するために用いることができる。

[0042] なお、図4では、走査電子顕微鏡400と光学顕微鏡450の複合装置について説明したが、走査電子顕微鏡400と、光学顕微鏡450を別体とし、これら顕微鏡と、顕微鏡から得られる検出信号をネットワーク経由で取得することによって、パターンの測定を実行する演算処理装置からなる測定システムとするようにしても良い。図5は、走査電子顕微鏡400と光学顕微鏡450と、これら顕微鏡から得られた検出信号に基づいて、パターンの測定を実行する演算処理装置501からなる測定システムを例示した図である。演算処理装置501にて行われる処理は、図4に例示した制御装置420で行うようにしても良い。

[0043] 演算処理装置501は、走査電子顕微鏡400や光学顕微鏡450に、測定条件や観察条件を含む制御信号の供給を行い、走査電子顕微鏡400や光学顕微鏡450によって得られた検出信号や測定結果に基づいて、パターンの測定に関する処理を実行する演算処理部304や、測定条件や観察条件を定める動作プログラムであるレシピや、測定結果や本実施例に例示するような演算式等を記憶するメモリ505が内蔵されている。走査電子顕微鏡400によって得られた検出信号は、演算処理装置501に内蔵されるCPU、ASIC、FPGA等の画像処理ハードウェアに供給され、目的に応じた画像処理が行われる。

[0044] 演算処理部504には、走査電子顕微鏡400や光学顕微鏡450によって得られた検出信号に基づいて形成される画像上で、所望の位置を特定するためのマッチング処理を実行するマッチング処理部506、光学顕微鏡450で得られた信号に基づいて、試料上に形成された薄膜の膜厚を測定する膜厚計測部507、走査電子顕微鏡400の検出信号に基づいて、試料上に形成されたパターン寸法を測定するパターン寸法測定部508、走査電子顕微鏡400と、光学顕微鏡450の双方の検出信号に基づいて、パターン高さを求めるパターン高さ演算部509が内蔵されている。

[0045] 測定条件等は入力装置503によって設定することが可能であり、当該設

定に基づいて、測定のためのレシピが生成される。また、入力装置503から試料座標を指定することにより、当該座標の設計データを設計データ記憶媒体502から読み出し、当該読み出された設計データに基づいて形成される図形データを、マッチング処理部506のマッチング処理に供されるテンプレートとするようにしても良い。

[0046] マッチング処理部506では、予め登録されたテンプレートを用いて、走査電子顕微鏡400や光学顕微鏡450によって得られた検出信号から生成される画像上でマッチング処理を行う。膜厚計測部507やパターン寸法測定部508は、マッチング位置と既知の位置関係にある測定対象位置に、ビームや光軸を位置付けることによって、所定の計測を実行する。

[0047] 図6は、図4に例示するような測定装置を用いて、パターン高さ計測を行う工程を示すフローチャートである。なお、図5に例示するような測定システムでも、走査電子顕微鏡400と光学顕微鏡450の座標情報をリンクさせることによって、同等の測定を行うことが可能である。この測定を行う際には、まず、試料室451に試料408を導入し、評価対象部位の座標情報に基づいて、試料台409を、評価対象部位が光学顕微鏡405の光軸下に位置付けられるように、制御する（ステップ601、602）。次に、光学顕微鏡450によって、試料の画像を取得し、得られた画像上で所定のテンプレートを用いたパターンマッチングを実行する（ステップ603、604）。パターンマッチング工程では、測定対象パターン、或いは測定対象パターンの近傍に位置するユニークなパターンを探索するために、予め当該パターンと同じパターンが表示されたテンプレートを用意しておき、当該テンプレートと画像の一致度を評価することによって、所望の位置を特定する。

[0048] 位置合わせ処理に基づいて、光学顕微鏡450の光軸に正確に測定対象パターンを位置付けた後、制御装置420は、移動機構458を駆動し、ハーフミラー455を光学顕微鏡450の光軸に挿入する（ステップ605）。ハーフミラー455の光軸への挿入によって、光源452から放出されるビームの試料408への照射が可能となる。次に、測定対象パターンに対し、

光源 4 5 2 から放出されるビームを照射し、反射スペクトルの検出を行う（ステップ 6 0 6）。受光素子 4 5 6 で受光された光は、光ファイバーを經由して分光器 4 5 7 にて波長ごとに分光され、各波長 λ の反射率（反射光強度）情報が、制御装置 4 2 0 に内蔵された記憶媒体に伝送される。

[0049] 次に評価対象パターン（評価対象部位）の座標情報に基づいて、走査電子顕微鏡 4 0 0 の視野内に評価対象パターンが位置づけられるように、試料台 4 0 9（試料ステージ）を駆動する（ステップ 6 0 7）。走査電子顕微鏡 4 0 0 の視野内に測定対象パターンが位置づけられた後、例えば低倍率像の取得、及び低倍率像上でのパターンマッチングに基づく位置合わせを行い、更に正確な位置合わせを行う。測定対象パターンに正確に走査電子顕微鏡の視野が位置づけられた後、走査偏向器 4 0 5 によって、電子ビーム 4 0 3 を一次元的、或いは二次元的に走査し、輝度プロファイルを形成することによって、パターン寸法（線幅 W とピッチ P ）を測定する（ステップ 6 0 8）。 W と P は、試料表面方向（ $X-Y$ 方向）の寸法であり、後述する d は Z 方向の寸法となる。測定された W 、 P 、及び数 4 を用いて、 f を算出し、当該 f と数 1 を用いて、 e を求める。このような演算は、制御装置 4 2 0 や演算処理部 5 0 4 によって行われる。

[0050] $f = W / P$ …数 4

なお、数 1 と数 3 では各媒質（光の通過軌道に存在する物質）の誘電率 e に基づいて、パターン高さを求める例について説明したが、各物質の光の屈折率（複素数） N を用いることもできる。誘電率 e と屈折率 N との間には次の関係がある。

[0051] $N = e^{1/2}$ …数 5

そのため、数 1 および数 3 は物質の光の屈折率 N を用いて表すことができる。

[0052] $N^{1/2} = f N_a^{1/2} + (1 - f) N_b^{1/2}$ …数 6

$1 / N^{1/2} = f / N_a^{1/2} + (1 - f) / N_b^{1/2}$ …数 7

これらの式を用いて、パターンを構成する材料の本来の屈折率 N_a と真空の

屈折率 N_0 に基づいて、パターンが形成された層の屈折率 N （後述する N_1 ）を求めることができる。

[0053] 表面の反射率 R を求める方法は以下である。

[0054] N_0 は真空（高さを測定するパターンの上方領域）の屈折率、 N_1 は高さを測定するパターンが形成された層の屈折率、 N_2 は測定対象パターンの下層に位置する物質の屈折率を示している。

[0055] 真空の屈折率、及び半導体デバイスを構成するシリコンや SiO_2 などの屈折率は既知であるため、予め所定の記憶媒体に記憶しておき、上記数 1 又は数 2 を用いて屈折率 N_1 を求めるための演算を実行する。

[0056] N_1 は走査電子顕微鏡による測定によって求められた寸法値を反映した値となる。 W はパターンの線幅、 P はピッチであり、 f はパターンとパターン間のスペースの双方が存在する空間の内、パターンが存在する空間の大きさの比率を示す値である。

[0057] 次に、算出された N_1 と数 8、9 に基づいて、真空とパターンが形成された層との界面の反射率 r_1 、パターンが形成された層とパターンの下層との界面の反射率 r_2 を求め、更に当該 r_1 、 r_2 と、数 10、11 に基づいて、反射率 R を算出する。

[0058] $r_1 = (N_0 - N_1) / (N_0 + N_1)$ …数 8

$r_2 = (N_1 - N_2) / (N_1 + N_2)$ …数 9

$2\delta = 4\pi / \lambda \cdot d \cdot \cos \phi$ …数 10

$R = (r_1 + r_2 \cdot e^{-i2\delta}) / (1 + r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-i2\delta})$ …数 11

数 4 ～ 数 11 までの演算は、走査電子顕微鏡の測定値と、既知の情報から求めることができる。上記 R を光の波長 λ ごとにプロットすることによって求められる波形スペクトルの形状は、パターンが形成されている分、変動していると考えられる。よって、数 10 の d を変化させて上記演算を繰り返し、光学顕微鏡によって得られた波形スペクトルと、走査電子顕微鏡によって得られた測定値と既知の情報に基づいて形成される波形スペクトルが一致する膜厚 d を求める。図 4 の例では、光源 452 から放出されたビームは、ハ

ーフミラー455を介して試料408に垂直に入射しているため、 ϕ はほぼゼロであり、 $\cos \phi$ は1となる。なお、 2δ は高さの評価対象となる層の表面で反射した波と、当該層を往復して評価対象となる層の表面から透過して出ていく波の位相差である。

[0059] より具体的には、異なる膜厚 d ごとに、 λ を例えば200nmから800nmまで1nm刻みに変化させた R を求め、当該 R を λ ごとにプロットすることによって、膜厚 d ごとの反射スペクトルを演算する。このように複数の演算によって求められた反射スペクトル（第2の反射光情報）と、実際に光学顕微鏡によって取得された反射スペクトル（第1の反射光情報）を比較し、第1の波形信号に最も近い第2の波形信号を演算したときの膜厚 d が、パターン高さ h と見做することができる。

[0060] なお、2つの反射スペクトルを比較するための手法としては、異なる波長ごとの R の乖離の程度を加算平均値を比較し、加算平均値が最小のものを選択したり、 R の乖離の程度が所定値以上のものをフィルタリングすることによって、適正な R の演算に用いられる d を選択するようなことが考えられる。また、上記2つの比較法を併用しても良い。他にも2つの波形形状の類似度を評価する他の手法の適用も可能である。

[0061] 図6のステップ609～612は、スペクトルの演算から適正な d を選択する工程に至るまでの処理の流れを示している。図6の例では、実測スペクトルと演算スペクトルを比較する工程を、両者が一致するまでループすると共に、一致したと認められたときの d をパターン高さとして出力する例を示している。

[0062] 以上のように、実測のスペクトルと、走査電子顕微鏡によって得られたパターン情報に基づく演算スペクトルを比較し、両者の関係が所定の条件を満たす（2つのスペクトルが一致、2つのスペクトルの乖離の程度が所定範囲以下、或いは複数の演算スペクトルの内、実測スペクトルとの一致度が最も高い（乖離の程度が最も低い）等）演算スペクトルの d をパターン高さとして出力することによって、微細なパターン情報を反映した適正な測定結果を

得ることが可能となる。

[0063] なお、上述の例では、膜厚 d を変化させながらスペクトルを求める例について説明したが、 W 、 P 、 d の3つのパラメータの組み合わせ毎のスペクトルを予めモデル化しておき、当該モデルと光学顕微鏡によって得られたスペクトルを比較し、最も近似するモデルの d をパターン高さとして出力するようにしても良い。

符号の説明

- [0064] 4 0 0 走査電子顕微鏡
4 0 1 電子源
4 0 2 引出電極
4 0 3 電子ビーム
4 0 4 コンデンサレンズ
4 0 5 走査偏向器
4 0 6 対物レンズ
4 0 8 試料
4 0 9 試料台
4 1 0 電子
4 1 1 二次電子
4 1 2 変換電極
4 1 3 検出器
4 2 0 制御装置
4 5 0 光学顕微鏡
4 5 1 試料室
4 5 2 光源
4 5 3 光学素子
4 5 4 対物レンズ
4 5 5 ハーフミラー
4 5 6 受光素子

4 5 7 分光器

4 5 8 移動機構

4 5 9 標準試料

請求の範囲

[請求項1] 試料に光を照射したときの反射光を分光することによって得られる第1の反射光情報に基づいて、試料の高さ方向の寸法を求める演算装置を備えたパターン高さ測定装置であって、

前記演算装置は、前記試料に対する荷電粒子ビームの照射によって得られる前記試料上に形成されたパターンの前記試料表面方向の寸法値、前記試料の高さ方向の寸法値、及び反射光情報との関係式に基づいて第2の反射光情報を求め、当該第2の反射光強度と、前記第1の反射光情報を比較し、当該第1の反射光情報と前記第2の反射光情報が所定の条件を満たす前記第2の反射光情報の前記試料の高さ方向の寸法値を、前記パターンの高さ方向の寸法として出力することを特徴とするパターン高さ測定装置。

[請求項2] 請求項1において、

前記演算装置は、前記第1の反射光情報と前記第2の反射光情報が一致する前記第2の反射光情報、当該第1の反射光情報と前記第2の反射光情報の程度が所定範囲以下の前記第2の反射光情報、或いは複数の第2の反射光情報の内、前記第1の反射光情報との一致度が最も高い第2の反射光情報の前記試料の高さ方向の寸法値を、前記パターンの高さ方向の寸法として出力することを特徴とするパターン高さ測定装置。

[請求項3] 請求項1において、

前記第1の反射光情報は、前記反射光を分光することによって得られる反射スペクトルであることを特徴とするパターン高さ測定装置。

[請求項4] 請求項1において、

前記演算装置は、前記関係式に複数の前記試料の高さ方向の寸法値を入力して、複数の前記第2の反射光情報を求めることを特徴とするパターン高さ測定装置。

[請求項5] 請求項1において、

前記演算装置は、下記演算式に基づいて、前記第2の反射光情報であるRを算出することを特徴とするパターン高さ測定装置。

$$N^{1/2} = f N_a^{1/2} + (1 - f) N_b^{1/2}$$

$$r_1 = (N_0 - N_1) / (N_0 + N_1)$$

$$r_2 = (N_1 - N_2) / (N_1 + N_2)$$

$$2\delta = 4\pi / \lambda \cdot d \cdot \cos \phi$$

$$R = (r_1 + r_2 \cdot e^{-i2\delta}) / (1 + r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-i2\delta})$$

N , N_1 : パターンが形成された層の光の屈折率

N_0 , N_b : 真空の光の屈折率

N_a : パターンが形成された層を構成する材料の光の屈折率

N_2 : パターンの下方領域の光の屈折率

W : パターン幅

P : パターンピッチ

2δ : 位相差

λ : 光の波長

d : パターン高さ

ϕ : 光の入射角

R : 反射光情報

[請求項6] 請求項5において、

前記演算装置は、前記Rを波長ごとにプロットすることによって、前記第2の反射光情報である反射スペクトルを形成することを特徴とするパターン高さ測定装置。

[請求項7] 荷電粒子源から放出された荷電粒子ビームの走査によって得られる検出信号に基づいて、試料上に形成されたパターンの寸法を測定する演算装置を備えた荷電粒子線装置において、

試料に光を照射したときに得られる反射光を検出する光学装置を備え、前記演算装置は、当該光学装置の第1の反射光情報と、前記荷電粒子ビームの走査によって得られる検出信号に基づいて、前記パター

ンの高さを演算することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項8]

請求項7において、

前記演算装置は、前記試料に対する荷電粒子ビームの照射によって得られる前記試料上に形成されたパターンの前記試料表面方向の寸法値、前記試料の高さ方向の寸法値、及び反射光情報との関係式に基づいて第2の反射光情報を求め、当該第2と反射光強度と、前記第1の反射光情報を比較し、当該第1の反射光情報と前記第2の反射光情報が所定の条件を満たす前記第2の反射光情報の前記試料の高さ方向の寸法値を、前記パターンの高さ方向の寸法として出力することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9]

請求項7において、

前記演算装置は、前記第1の反射光情報と前記第2の反射光情報が一致する前記第2の反射光情報、当該第1の反射光情報と前記第2の反射光情報の程度が所定範囲以下の前記第2の反射光情報、或いは複数の第2の反射光情報の内、前記第1の反射光情報との一致度が最も高い第2の反射光情報の前記試料の高さ方向の寸法値を、前記パターンの高さ方向の寸法として出力することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10]

請求項7において、

前記第1の反射光情報は、前記反射光を分光することによって得られる反射スペクトルであることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項11]

請求項7において、

前記演算装置は、前記関係式に複数の前記試料の高さ方向の寸法値を入力して、複数の前記第2の反射光情報を求めることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項12]

請求項7において、

前記演算装置は、下記演算式に基づいて、前記第2の反射光情報であるRを算出することを特徴とする荷電粒子線装置。

$$N^{1/2} = f N_a^{1/2} + (1 - f) N_b^{1/2}$$

$$r_1 = (N_0 - N_1) / (N_0 + N_1)$$

$$r_2 = (N_1 - N_2) / (N_1 + N_2)$$

$$2\delta = 4\pi / \lambda \cdot d \cdot \cos \phi$$

$$R = (r_1 + r_2 \cdot e^{-i2\delta}) / (1 + r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-i2\delta})$$

N , N_1 : パターンが形成された層の光の屈折率

N_0 , N_b : 真空の光の屈折率

N_a : パターンが形成された層を構成する材料の光の屈折率

N_2 : パターンの下方領域の光の屈折率

W : パターン幅

P : パターンピッチ

2δ : 位相差

λ : 光の波長

d : パターン高さ

ϕ : 光の入射角

R : 反射光情報

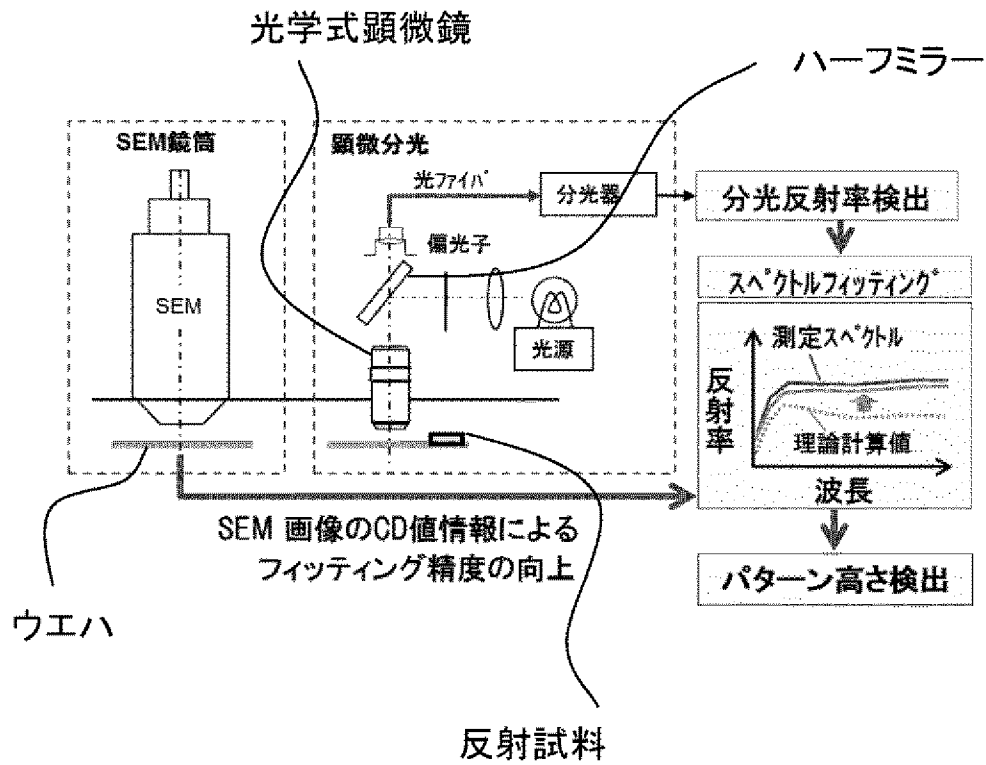
[請求項13] 請求項12において、

前記演算装置は、前記 R を波長ごとにプロットすることによって、前記第2の反射光情報である反射スペクトルを形成することを特徴とする荷電粒子線装置。

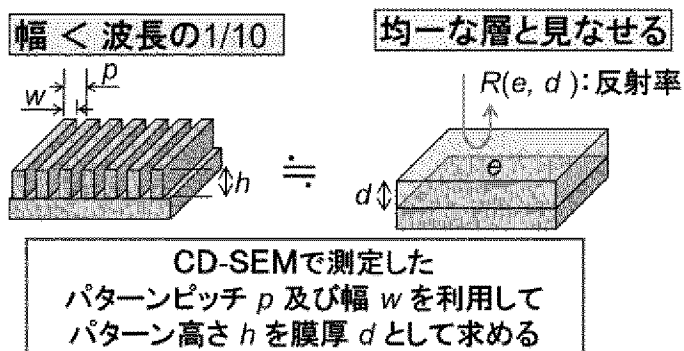
[請求項14] 請求項7において、

前記光学装置は、前記光を照射するための光源と、前記第1の反射光情報を得るときに、前記光源から放出された光を試料に向けて偏光するハーフミラーを挿入するための移動機構を備えていることを特徴とする荷電粒子線装置。

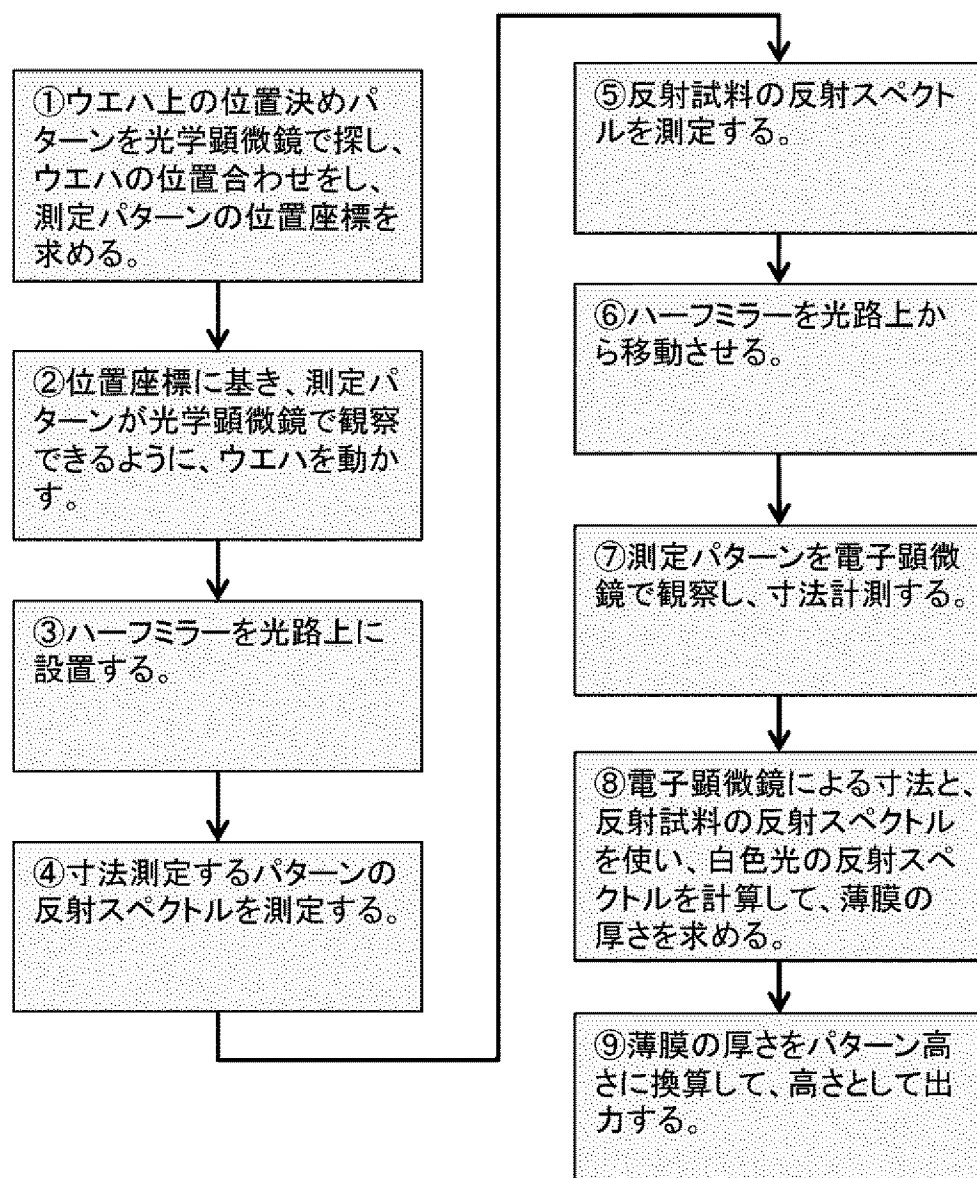
[図1]



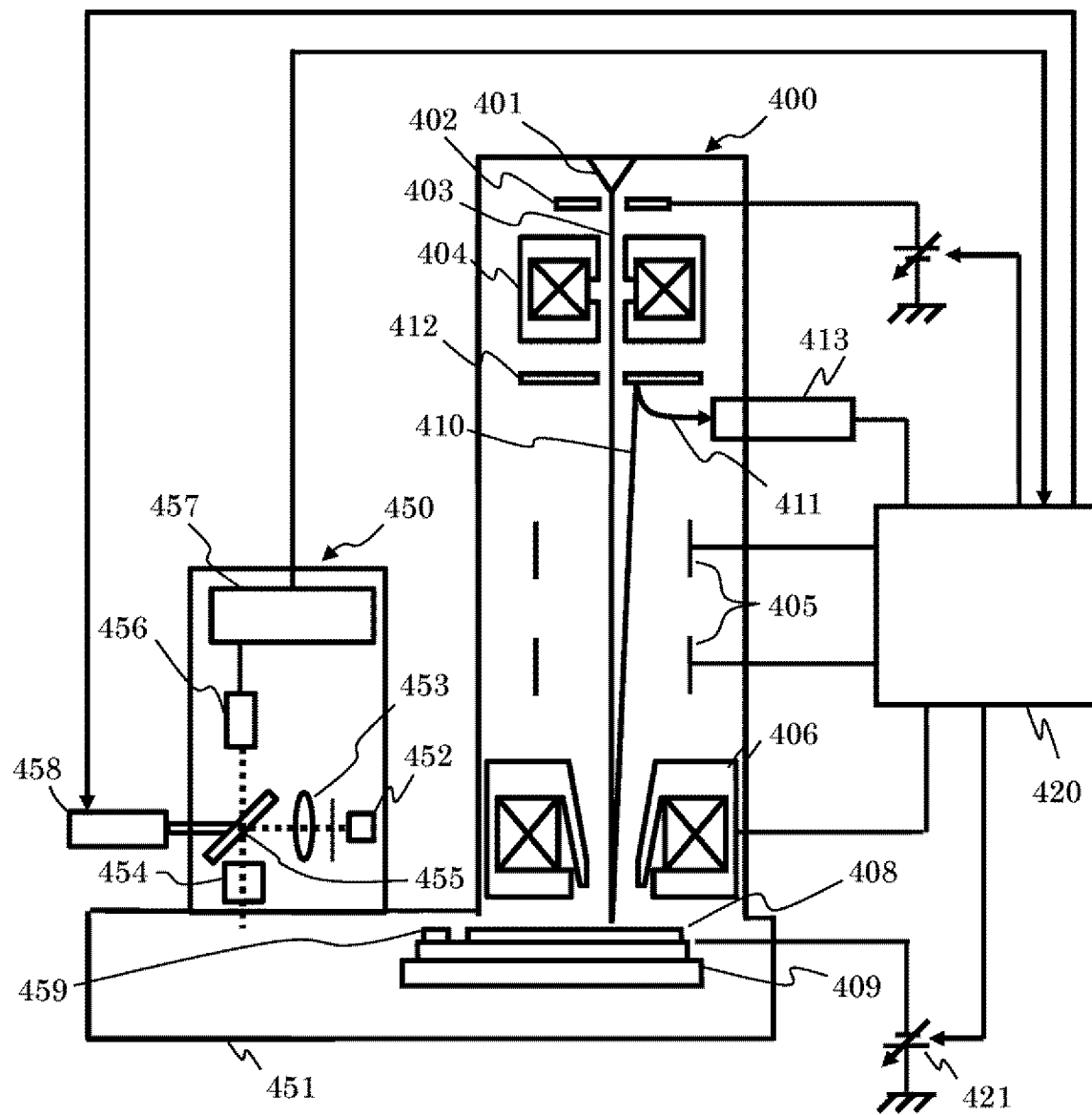
[図2]



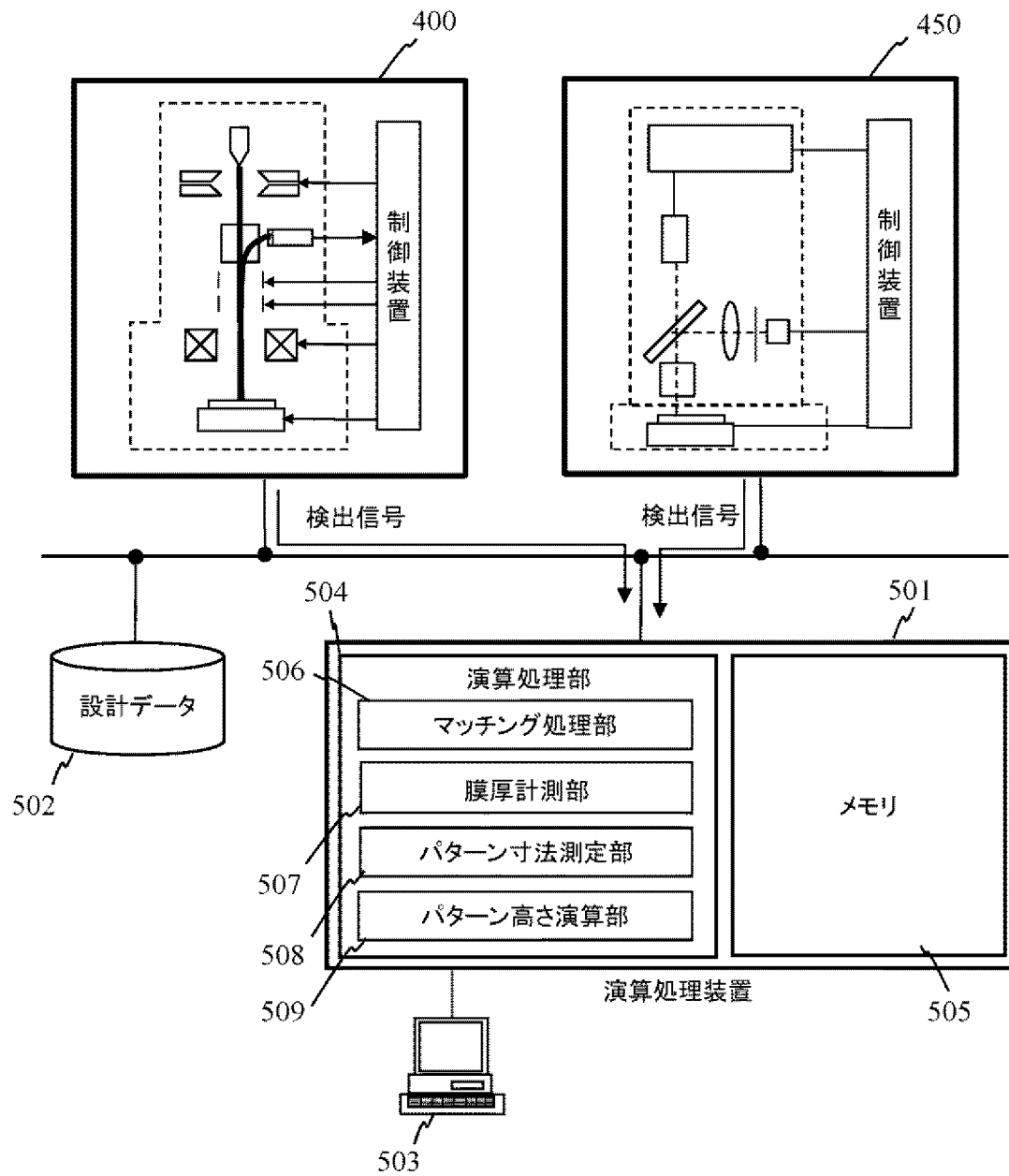
[図3]



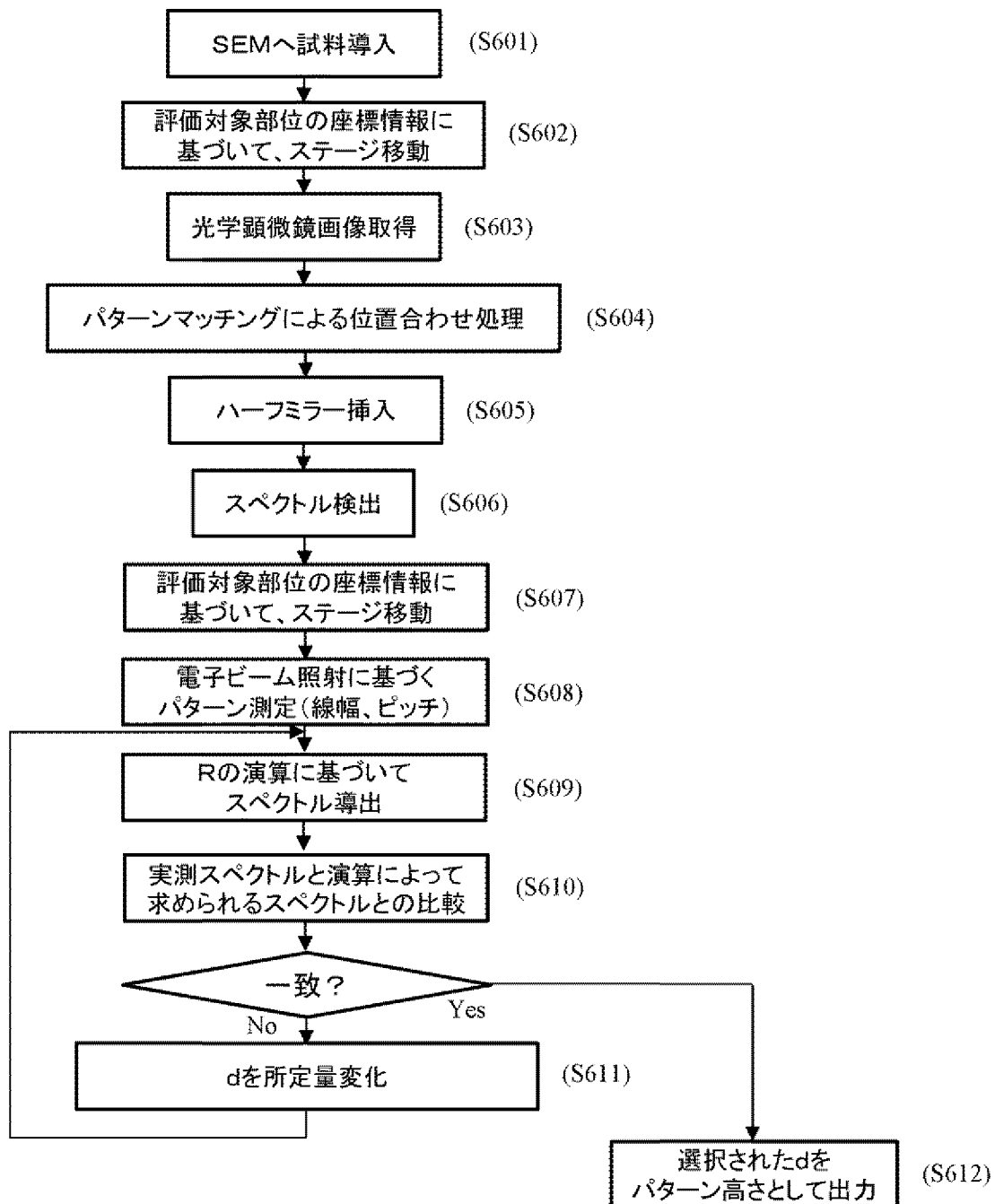
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/069991

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/02(2006.01)i, G01B15/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B11/00-11/30, G01B15/00-15/08, H01L21/64-21/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-150832 A (Hitachi, Ltd.), 09 July 2009 (09.07.2009), paragraphs [0014] to [0027]; fig. 4 to 7 & US 2009/0161244 A1 paragraphs [0036] to [0050]; fig. 4 to 7	1-6, 8-14
X Y	JP 2011-27461 A (Renesas Electronics Corp.), 10 February 2011 (10.02.2011), paragraph [0055] & US 2011/0020956 A1 paragraph [0078]	7 1-6, 8-14
A	JP 2002-93870 A (Toshiba Corp.), 29 March 2002 (29.03.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 October, 2014 (27.10.14)

Date of mailing of the international search report
04 November, 2014 (04.11.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B11/02(2006.01)i, G01B15/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B11/00-11/30, G01B15/00-15/08, H01L21/64-21/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2009-150832 A（株式会社日立製作所）2009.07.09, 【0014】 - 【0027】, 第4-7図 & US 2009/0161244 A1, [0036]-[0050], FIG. 4-7	1-6, 8-14
X Y	JP 2011-27461 A（ルネサスエレクトロニクス株式会社）2011.02.10, 【0055】 & US 2011/0020956 A1, [0078]	7 1-6, 8-14
A	JP 2002-93870 A（株式会社東芝）2002.03.29, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-14

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 7 . 1 0 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 4 . 1 1 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

岸 智史

2 S

3 6 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8