

(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
2021年2月11日(11.02.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/024402 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 15/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/031076

(22) 国際出願日: 2019年8月7日(07.08.2019)

(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
(HITACHI HIGH-TECH CORPORATION) [JP/
JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目
17番1号 Tokyo (JP).

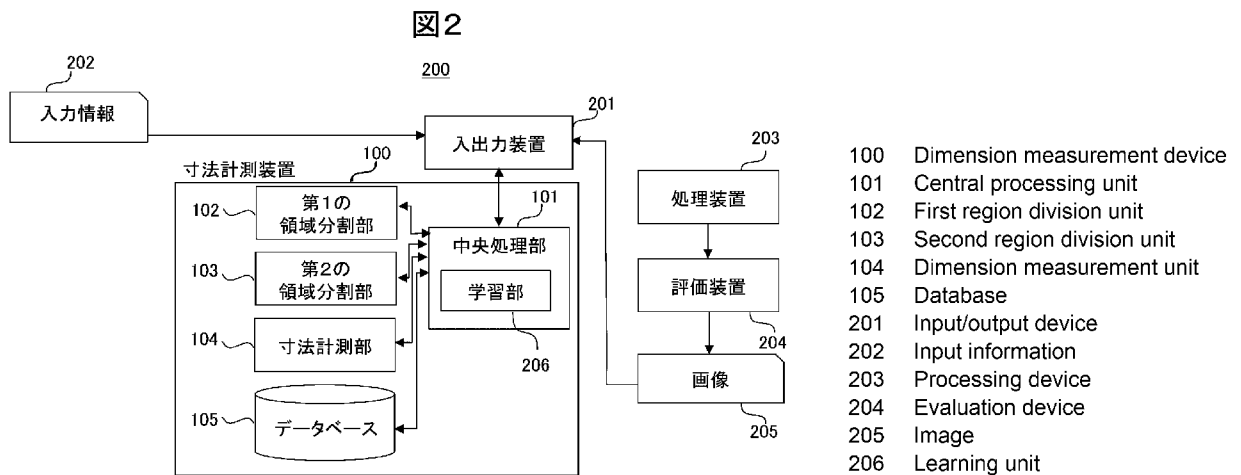
(72) 発明者: 松田 航平 (MATSUDA, Kohei);
〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2
4番14号 株式会社日立ハイテクノ
ロジーズ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人第一国際特許事務所
(Patent Corporate Body Dai-ichi Kokusai Tokkyo
Jimusho); 〒1010032 東京都千代田区岩本町
三丁目5番12号 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, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) Title: DIMENSION MEASUREMENT DEVICE, DIMENSION MEASUREMENT METHOD, AND SEMICONDUCTOR MANUFACTURING SYSTEM

(54) 発明の名称: 寸法計測装置、寸法計測方法及び半導体製造システム



(57) Abstract: The present disclosure relates to a dimension measurement device that shortens the time required for dimension measurement and eliminates errors caused by an operator. This dimension measurement device uses an input image to measure the dimensions of a measurement object, the dimension measurement device being characterized by: the generation by machine learning of a first image in which regions of the input image are labelled separately by region; the generation, on the basis of the generated first image, of an intermediate image which includes markers indicating the regions of the first image; the generation, on the basis of the input image and the generated intermediate image, of a second image in which the regions of the input image are labelled separately by region; the use of the generated second image to derive the coordinates of a boundary line of adjacent regions; the use of the derived boundary line coordinates to derive the coordinates of a feature point that defines a dimension condition of the measurement object; and the use of the derived feature point coordinates to measure the dimensions of the measurement object.

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, ST, 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).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 本開示は、寸法計測に要する時間の短縮とオペレータ起因の誤差を排除する寸法計測装置に関する。入力された画像を用いて計測対象の寸法が計測される寸法計測装置であって、入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第1の画像が機械学習により生成され、生成された第1の画像を基に第1の画像の各領域を示すマーカを含む中間画像が生成され、入力された画像と生成された中間画像を基に入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第2の画像が生成され、生成された第2の画像を用いて隣接する領域の境界線の座標が求められ、求められた境界線の座標を用いて計測対象の寸法条件を規定する特徴点の座標が求められ、求められた特徴点の座標を用いて計測対象の寸法が計測されることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

寸法計測装置、寸法計測方法及び半導体製造システム

技術分野

[0001] 本発明は、寸法計測装置、寸法計測方法及び半導体製造システムに関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体デバイスの性能向上のため、半導体デバイスに新材料が導入され、同時に半導体デバイスの構造が立体化・複雑化している。また、現在の先端半導体デバイスの加工では、ナノメートルレベルの精度が要求される。このため、半導体処理装置は多種の材料を種々の形状に極めて高精度に加工できる必要がある。そして、多種の材料を極めて高精度に加工するためには、各々の材料における形状を客観的に測定し、数値化して、加工方法を最適化する必要がある。その一方、半導体デバイスの構造の立体化・複雑化の進展に応じて、測定ニーズも飛躍的に増大し、短時間で高精度に多点測定を行う要求が高まっている。

[0003] この高精度加工のための計測には、加工試料の断面についてSEM (Scanning Electron Microscope) 又はTEM (Transmission Electron Microscope) などによる画像を取得し、その画像上の領域を手作業で計測するのが一般的である。しかしながら、手作業による計測を先端プロセスに適用する場合には、加工試料の構造が複雑になる上、画像1枚当たりの測定点数も増えることから、人手で行う寸法抽出は限界に達しつつある。

[0004] 加えて、手動による計測では、計測値にオペレータ依存性が生じる。また、ライン／スペースの単位パターンが繰り返される画像でも、個々のパターン毎に1つ1つ計測するため、計測値の統計量には、プロセスのばらつき以外に、人的誤差が加算される。更に、加工条件最適化を進める途中で、当初

計画していた測定箇所よりも重要な測定箇所が見出された場合、既に測定を行った全画像の再計測が必要となる。

これらの課題に対し、寸法計測の自動化が可能となれば、計測に要する所要時間は大きく短縮されるとともに、より正確に加工形状を把握することが可能となる。

[0005] これらの課題に対して、様々な解決策が提案されている。

例えば、再公表2018-189877（特許文献1）には「細胞の観察画像から細胞の特徴をより客観的かつ高精度に算出し、細胞の評価を行うことができる荷電粒子線装置を提供する。荷電粒子線装置は、細胞の画像を取得する画像取得部18と、画像の輪郭を抽出する輪郭抽出部19と、輪郭に基づいて輪郭の形態的特徴量を算出し、輪郭の内部領域に含まれる細胞質などの内部構造物の特徴量を算出する特徴量算出部20と、この特徴量に基づいて細胞の良否及び／又は機能性を判定する判定部21とを備え、撮像画像に含まれる細胞の良否及び／又は機能性を客観的かつ高精度に評価することができる。」と記載されている。

[0006] また、特開2012-68138号公報（特許文献2）には「パターン断面画像を画像処理して断面の輪郭線座標データを抽出し、前記輪郭線座標データからパターン上部と下部に相当する座標値を抽出し、パターンの高さ、計測範囲2点の座標値及び計測範囲の高さを算出する。前記2点の座標値に相当するx方向の輝度分布信号を取得し、信号から断面SEM画像特有の白い影部分に相当する範囲の信号成分を除去する。前記信号に対して、相互相関法を適用し、2つの信号間距離を算出し、側壁角度を算出する。」と記載されている。

[0007] また、特開2002-350127号公報（特許文献3）には、「顕微鏡画像におけるパターンの各辺部に対してエッジ検出範囲とエッジポイントの数とを指定してエッジ検出基準線を設定するステップと、設定されたエッジ検出基準線に対して垂直方向からサーチして輝度変化点であるエッジポイントを画像情報より抽出するステップと、複数のエッジポイントの位置情報を

基にパターンの各辺部を近似する線を割り出すステップと、該パターンの各辺部の近似線情報から2本の線の交点、複数の交点から割り出される特定点、2本の直線のなす角度、特定された二点間の距離によってパターンの形状を特定するステップ。」と記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：再公表2018-189877号公報

特許文献2：特開2012-68138号公報

特許文献3：特開2002-350127号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 上記の特許文献1では、画像における対象物の輪郭を適切に抽出することを前提としている。しかし、半導体デバイス構造の形状測定においては、輪郭の適切な抽出自体が困難なケースが多い。その一例として、断面SEMの場合には、観察している断面の奥行方向にある試料表面から二次電子が放出されるため、真空である領域と半導体デバイスの領域との界面に白い影の部分が生じることがある。そしてこのような白い影によって輪郭線抽出が困難になることがある。そのため、特許文献1に記載の手段を半導体デバイス構造の形状測定に適用しても、良好な測定結果が得られないことがある。

[0010] 特許文献2及び特許文献3には、いずれにも画像の輝度値を用いて、手動の方法によりオブジェクトのエッジポイントや輪郭を特定する手段が記載されているが、これらは、目視による操作を伴っているため、依然としてオペレータ依存性が残る。また、オペレータは画像を1枚ずつ見ながら作業するため、作業時間を要する。加えて、寸法計測個所を後の段階で追加・変更したい場合には、画像から目視で測り直す必要がある。

[0011] 更に、断面SEM画像（又は断面TEM画像）に含まれる対象物を計測するに際しては、画像毎に明るさが異なる、寸法計測に不必要な奥の構造が写

っている、寸法を計測したい異種材料界面の境界が不明瞭、といった課題を有している。このため、輝度値のみを基準としたエッジ検出法に基づく特許文献2及び3の方法では、界面位置を目視で判断して指定するなどの操作が必要となっている。

[0012] このため、特許文献1～3のいずれにも、断面SEM画像（又は断面TEM画像）に対して高精度の計測結果を自動的に提供することについては考慮されていない。そこで、機械学習、特に深層学習を用いた画像認識技術を応用することにより、目視による調整が不要な完全自動計測を実現し、かつ、局所的な輝度分布ではなく、画像に写っている個々の物体の領域を認識することにより物体の輪郭を抽出する手法が望まれている。

[0013] 一方で、深層学習を用いた画像認識技術にも課題が挙げられる。それは、学習データセットや学習モデルに起因する測定モデル依存性がある点である。異なる学習データセットを用いる場合、あるいは異なる学習モデルを使用した場合、入力画像が同じであっても各々の推論結果は基本的には異なるため、それらを直接比較することはできない。すなわち、異なる画像間を定量的に比較するために測定を行ったにも拘らず、上述の理由により、比較ができないという矛盾が生じる。

[0014] そこで、本発明は、機械学習（例えば深層学習による画像認識技術）と輝度を基準とした画像処理技術を組み合わせて用い、断面SEMから所望の寸法を自動で計測することにより、寸法計測時間の短縮とオペレータや深層学習に起因する誤差を含まない計測手段を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0015] 上記の課題を解決するために、代表的な本発明の寸法計測装置の一つは、入力された画像を用いて計測対象の寸法が計測される寸法計測装置であって、入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第1の画像が機械学習により生成され、生成された第1の画像を基に第1の画像の各領域を示すマーカを含む中間画像が生成され、入力された画像と生成された中間画像を基に入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第2の画像が生成

され、生成された第2の画像を用いて隣接する領域の境界線の座標が求められ、求められた境界線の座標を用いて計測対象の寸法条件を規定する特徴点の座標が求められ、求められた特徴点の座標を用いて計測対象の寸法が計測されることを特徴とする。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、機械学習（例えば深層学習による画像認識技術）と輝度を基準とした画像処理技術を組み合わせて用い、断面SEMから所望の寸法を自動で計測することにより、寸法計測時間の短縮とオペレータや深層学習起因の誤差を含まない計測手段を提供することができる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の発明を実施するための形態における説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の実施例を実施するためのコンピュータシステムのブロック図である。

[図2]本発明の実施例に係る半導体製造システムの構成例を示す図である。

[図3]本発明の実施例に係るセマンティック・セグメンテーションモデル用のニューラルネットワークの構成の一例を示す図である。

[図4]本発明の実施例1に係る寸法計測方法の流れを示すフローチャートである。

[図5]本発明の実施例1に係る物体検出モデルの学習データに用いるアノテーションデータの一例を示す図である。

[図6]本発明の実施例1に係る寸法の個所と特徴点との対応関係を説明するための図である。

[図7]本発明の実施例1に係るセマンティック・セグメンテーションモデルの学習データに用いるアノテーションデータにおけるラベル名・ラベル番号・色の対応関係を示すテーブルである。

[図8]本発明の実施例1に係る入出力装置に表示されるGUI（Graphical User Interface）画面の一例を示す図である。

[図9]本発明の実施例に係るテスト画像の一例を示すための図である。

[図10]本発明の実施例2に係る寸法計測方法の流れを示すフローチャートである。

[図11]本発明の実施例2に係る入出力装置に表示されるGUI（Graphical User Interface）画面の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではない。また、図面の記載において、同一部分には同一の符号を付して示している。

[0019] 本発明に係る寸法計測手段は、第1の領域分割部と、第2の領域分割部と、寸法計測部を備える。第1の領域分割部は、計測対象物の画像の加工構造における各領域や背景を区別する画像認識モデルを用いる。この画像認識モデルは、断面SEM画像と、断面SEM画像の各領域が正しくラベル付けされた結果を示すアノテーション画像（すなわち、教師データ）とを用いて訓練され、領域別のラベル付け方法を学習する。

[0020] 第2の領域分割部は、第1の領域分割部から出力されたラベル付け画像から、第1の画像における各領域を示すマーカを含む画像を中間画像として生成し、このマーカと入力画像となる断面SEMの画像に基づいて、入力画像の輝度情報を基にして領域別にラベル付けされた画像を生成する。

[0021] 寸法計測部は、領域分けした画像から、隣接する領域における領域境界線の座標を計算し、特徴点の検出対象と、検出範囲と、検出方向等の計測条件による寸法定義を用いて、ROI（Region of Interest）毎に計測対象の寸法条件を規定する特徴点の座標を計算することにより、所定の箇所の寸法を計測する。つまり、特徴点の座標は、境界線の座標に対して定義された特徴点検出対象と、境界線の座標に対して定義された特徴点検出範囲と、境界線の座標に対して定義された特徴点検出方向に基づいて求められる。そして、所定の箇所の寸法は、求められた特徴点の座標に基づいて計測される。

以上より、オペレータの目視による調整を必要とせず、断面SEM画像から所定の寸法値を自動で計測することが可能となる。

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて説明する。

[0022] まず、図1を参照して、本開示の実施形態を実施するためのコンピュータシステム300について説明する。本明細書で開示される様々な実施形態の機構及び装置は、任意の適切なコンピューティングシステムに適用されてもよい。コンピュータシステム300の主要コンポーネントは、1つ以上のプロセッサ302、メモリ304、端末インターフェース312、ストレージインターフェース314、I/O（入出力）デバイスインターフェース316、及びネットワークインターフェース318を含む。これらのコンポーネントは、メモリバス306、I/Oバス308、バスインターフェースユニット309、及びI/Oバスインターフェースユニット310を介して、相互的に接続されてもよい。

[0023] コンピュータシステム300は、プロセッサ302と総称される1つ又は複数の汎用プログラマブル中央処理装置（CPU）302A及び302Bを含んでもよい。ある実施形態では、コンピュータシステム300は複数のプロセッサを備えてもよく、また別の実施形態では、コンピュータシステム300は単一のCPUシステムであってもよい。各プロセッサ302は、メモリ304に格納された命令を実行し、オンボードキャッシュを含んでもよい。

[0024] ある実施形態では、メモリ304は、データ及びプログラムを記憶するためのランダムアクセス半導体メモリ、記憶装置、又は記憶媒体（揮発性又は不揮発性のいずれか）を含んでもよい。メモリ304は、本明細書で説明する機能を実施するプログラム、モジュール、及びデータ構造のすべて又は一部を格納してもよい。例えば、メモリ304は、寸法計測管理アプリケーション350を格納していてもよい。ある実施形態では、寸法計測管理アプリケーション350は、後述する機能をプロセッサ302上で実行する命令又は記述を含んでもよい。

- [0025] ある実施形態では、寸法計測管理アプリケーション350は、プロセッサベースのシステムの代わりに、またはプロセッサベースのシステムに加えて、半導体デバイス、チップ、論理ゲート、回路、回路カード、および/または他の物理ハードウェアデバイスを介してハードウェアで実施されてもよい。
- ある実施形態では、寸法計測管理アプリケーション350は、命令又は記述以外のデータを含んでもよい。ある実施形態では、カメラ、センサ、または他のデータ入力デバイス（図示せず）が、バスインターフェースユニット309、プロセッサ302、またはコンピュータシステム300の他のハードウェアと直接通信するように提供されてもよい。
- [0026] コンピュータシステム300は、プロセッサ302、メモリ304、表示システム324、及びI/Oバスインターフェースユニット310間の通信を行うバスインターフェースユニット309を含んでもよい。I/Oバスインターフェースユニット310は、様々なI/Oユニットとの間でデータを転送するためのI/Oバス308と連結していてもよい。I/Oバスインターフェースユニット310は、I/Oバス308を介して、I/Oプロセッサ（IOP）又はI/Oアダプタ（IOA）としても知られる複数のI/Oインタフェースユニット312、314、316、及び318と通信してもよい。
- [0027] 表示システム324は、表示コントローラ、表示メモリ、又はその両方を含んでもよい。表示コントローラは、ビデオ、オーディオ、又はその両方のデータを表示装置326に提供することができる。また、コンピュータシステム300は、データを収集し、プロセッサ302に当該データを提供するように構成された1つまたは複数のセンサ等のデバイスを含んでもよい。
- [0028] 例えば、コンピュータシステム300は、心拍数データやストレスレベルデータ等を収集するバイオメトリックセンサ、湿度データ、温度データ、圧力データ等を収集する環境センサ、及び加速度データ、運動データ等を収集するモーションセンサ等を含んでもよい。これ以外のタイプのセンサも使用可能である。表示システム324は、単独のディスプレイ画面、テレビ、タ

ブレット、又は携帯型デバイスなどの表示装置 326 に接続されてもよい。

[0029] I/Oインタフェースユニットは、様々なストレージ又はI/Oデバイスと通信する機能を備える。例えば、端末インタフェースユニット 312 は、ビデオ表示装置、スピーカテレビ等のユーザ出力デバイスや、キーボード、マウス、キーパッド、タッチパッド、トラックボール、ボタン、ライトペン、又は他のポインティングデバイス等のユーザ入力デバイスのようなユーザI/Oデバイス 320 の取り付けが可能である。ユーザは、ユーザインターフェースを使用して、ユーザ入力デバイスを操作することで、ユーザI/Oデバイス 320 及びコンピュータシステム 300 に対して入力データや指示を入力し、コンピュータシステム 300 からの出力データを受け取ってもよい。ユーザインターフェースは例えば、ユーザI/Oデバイス 320 を介して、表示装置に表示されたり、スピーカによって再生されたり、プリンタを介して印刷されたりしてもよい。

[0030] ストレージインタフェース 314 は、1つ又は複数のディスクドライブや直接アクセスストレージ装置 322（通常は磁気ディスクドライブストレージ装置であるが、単一のディスクドライブとして見えるように構成されたディスクドライブのアレイ又は他のストレージ装置であってもよい）の取り付けが可能である。ある実施形態では、ストレージ装置 322 は、任意の二次記憶装置として実装されてもよい。メモリ 304 の内容は、ストレージ装置 322 に記憶され、必要に応じてストレージ装置 322 から読み出されてもよい。I/Oデバイスインタフェース 316 は、プリンタ、ファックスマシン等の他のI/Oデバイスに対するインターフェースを提供してもよい。ネットワークインターフェース 318 は、コンピュータシステム 300 と他のデバイスが相互的に通信できるように、通信経路を提供してもよい。この通信経路は、例えば、ネットワーク 330 であってもよい。

[0031] ある実施形態では、コンピュータシステム 300 は、マルチユーザメインフレームコンピュータシステム、シングルユーザシステム、又はサーバコンピュータ等の、直接的ユーザインターフェースを有しない、他のコンピュー

タシステム（クライアント）からの要求を受信するデバイスであってもよい。他の実施形態では、コンピュータシステム300は、デスクトップコンピュータ、携帯型コンピュータ、ノートパソコン、タブレットコンピュータ、ポケットコンピュータ、電話、スマートフォン、又は任意の他の適切な電子機器であってもよい。

実施例 1

[0032] 本実施例では、計測対象物の画像における加工構造と背景の間の境界線や、異種材料間の界面の境界線の座標を抽出するために、ROI検出アルゴリズム、セマンティック・セグメンテーションモデル、及び分水嶺アルゴリズムを組み合わせて用いる。

[0033] ここで、セマンティック・セグメンテーションモデルは、画像の各ピクセルをクラスラベル（「花」、「人物」、「道路」、「空」、「海洋」、「自動車」など）に関連付けるプロセスを実行する機械学習モデルである。セマンティック・セグメンテーションモデルにおける学習（すなわち、訓練）ステップでは、入力データである断面SEM画像と、出力データである領域毎に色分けしたアノテーション画像とを、教師データとして与えて、領域の形状を学習させる。

[0034] 学習ステップの次に行われる推論ステップでは、本発明に係る寸法計測装置は、与えられた入力画像に対し、ROI（Region of Interest）検出アルゴリズムを用いてROIを検出し、検出されたROIに対して学習済みのセマンティック・セグメンテーションモデルを用いて領域毎に色分けした画像を推定する。その後、寸法計測装置は、当該推定結果を基に、画像における各領域を示すマーカを含む中間画像を生成し、この中間画像に含まれるマーカと、検出されたROIとを分水嶺アルゴリズムに入力することにより、領域毎に色分けした画像を出力する。次に、計測ステップでは、寸法計測装置は、領域毎に色分けした画像から得られる領域境界線の座標に基づいて、所望の個所の寸法を自動的に計測する。

[0035] 次に、図2を参照して、本発明の実施例に係る寸法計測装置のシステムに

ついて説明する。

[0036] 図2は、本発明の実施例に係る半導体製造システム200の構成例を示す図である。図2に示すように、半導体製造システム200は、主に寸法計測装置100、入出力装置201、処理装置203、及び評価装置204からなる。これらの装置は、例えばインターネット等の通信ネットワーク（図示せず）を介して接続される。

[0037] 寸法計測装置100は、主に中央処理部101、第1の領域分割部102、第2の領域分割部103、寸法計測部104、及びデータベース105からなる。寸法計測装置100は、入出力装置201を介して入力される特徴点と寸法の定義、倍率、学習用データセット等の入力情報202及び断面画像205を受け付け、後述する処理により断面画像205に対して所定の寸法を計測する処理を施した後、計測の結果を入出力装置201へと出力する。

また、図2に示すように、中央処理部101は、学習部206を含む。この学習部206は、第1の領域分割部102及び第2の領域分割部103の機械学習モデルの学習（すなわち、訓練）を管理する機能部である。

[0038] 入出力装置201は、GUIなどの入出力インターフェースやカードリーダー等の記憶媒体読み出し装置を備え、特徴点と寸法の定義、倍率、学習用データセット等の入力情報202を寸法計測装置100に入力する。また、入出力装置201は、評価装置204から、入力画像として、計測対象物の断面画像205を受け取り、当該入力画像を中央処理部101に送信する。入出力装置201は、例えば、キーボード、マウス、ディスプレイ、タッチパネル、記憶媒体読み出し装置などであってもよい。あるいは、入出力装置201は、寸法計測装置100から送信された計測結果をユーザへ表示するように構成されてもよい。この場合、入出力装置201は、計測結果をディスプレイで表示したり、計測結果をファイルへと書き出したりしてもよい。

[0039] 処理装置203は、半導体又は半導体を含む半導体デバイス进行处理（例えば、加工処理等）する装置である。処理装置203の処理の内容は特に限定

されない。例えば、処理装置 203 は、リソグラフィ装置、成膜装置、パターン処理装置等であってもよい。より詳細には、リソグラフィ装置は、例えば、露光装置、電子線描画装置、X線描画装置等を含む。また、成膜装置は、例えば CVD (Chemical Vapor Deposition)、PVD (Physical Vapor Deposition)、蒸着装置、スパッタリング装置、熱酸化装置等を含む。また、パターン処理装置は、例えば、ウェットエッチング装置、ドライエッチング装置、電子ビーム処理装置、レーザ処理装置を含む。処理装置 203 は、入力された加工条件に基づいて、半導体又は半導体デバイスの加工処理を行い、加工済みの半導体又は半導体デバイスの評価装置 204 に渡す。

[0040] 評価装置 204 は、処理装置 203 で処理された半導体又は半導体デバイスの断面を撮影して、処理の結果を表す断面画像 205 を取得する。評価装置 204 は、例えば、SEM、TEM、光学式モニタを用いた加工寸法計測装置であってもよい。また、処理装置 203 で処理された半導体又は半導体デバイスの一部を断片として取り出して、その断片を評価装置 204 へ運搬して計測してもよい。取得した断面画像 205 は、入出力装置 201 へ送信される。

[0041] 次に、図 3 を参照して、本発明の実施例に係るセマンティック・セグメンテーションモデル用のニューラルネットワークの構成について説明する。

[0042] 図 3 は、本発明の実施例に係るセマンティック・セグメンテーションモデル用のニューラルネットワーク 106 の構成の一例を示す図である。図 3 に示すニューラルネットワーク 106 は、上述した第 1 の領域分割部（例えば、図 2 に示す第 1 の領域分割部 102）で用いるセマンティック・セグメンテーションを実行するためのものである。図 3 に示すように、ニューラルネットワーク 106 は、入力層 107 と、中間層 108 と、出力層 109 とからなる。

[0043] ニューラルネットワーク 106 は、入力層 107 に入力される画素情報（例えば、入力画像となる SEM 断面画像の画素情報）を、中間層 108、出

力層１０９へと順に伝搬し、演算することにより、各画素の属する領域のラベル番号を出力する。中間層１０８において、畳み込み層やドロップアウト層等が多数層繰り返される。具体的な層構造は、採用するモデルにより異なる。学習時には、ニューラルネットワーク１０６によって出力される各画素のラベルと、正解のラベルを示すアノテーションデータとの誤差が最小となるように、中間層のパラメータが調整される。

なお、本例では、ニューラルネットワーク１０６を用いる構成の例を説明したが、本発明はこれに限定されず、決定木などの機械学習のモデルを用いる構成であってもよい。

[0044] 次に、図４を参照して、本発明の実施例１に係る寸法計測方法について説明する。

[0045] 図４は、本発明の実施例１に係る寸法計測方法４００の流れを示すフローチャートである。

[0046] まず、学習部（例えば図２に示す学習部２０６）は、寸法計測装置（例えば図２に示す寸法計測装置１００）に入力する学習データセット等を含む入力情報２０２を作成する。具体的には、ステップＳ１００では、学習部は、入出力装置（例えば図２に示す入出力装置２０１）を介して、評価装置（例えば、図２に示す評価装置２０４）からの入力データである断面ＳＥＭ画像と、セマンティック・セグメンテーションモデルに用いるアノテーションデータ画像とを学習データセットとして作成し、この学習データセットをデータベース（例えば、図２に示すデータベース１０５）に保存する。

[0047] 次に、ステップＳ１０１では、学習部は、データベースから、学習データセットと機械学習モデルとを第１の領域分割部（例えば、図２に示す第１の領域分割部１０２）に転送し、機械学習モデルの学習を行う。学習したモデルのパラメータは、返送されてデータベースに保存される。

なお、ここでの「機械学習モデル」は、畳み込み層やドロップアウト層等を有するニューラルネットワークを一例として説明するが、本発明はこれに限定されず、決定木等の機械学習のモデルであってもよい。

[0048] 次に、ステップS102では、第1の領域分割部は、計測対象物が写る入力画像を入出力装置から入力する。

[0049] 次に、ステップS103では、第1の領域分割部は、データベースから、機械学習モデル及び学習パラメータを取得し、取得したモデル及び学習パラメータに基づいて、ROI検出アルゴリズムを用いて、入力画像における対象の領域を指定する。

ここでは、ROI検出アルゴリズムとしては、Template Matchingを用いる例を説明するが、本発明はそれに限定されず、RPN (Region Proposal Network) 等の深層学習モデルや、Haar-Like特徴分類器等の特徴量に基づく機械学習モデルを用いることも可能である。

[0050] 次に、ステップS104では、第1の領域分割部は、検出されたROIに対し、セマンティック・セグメンテーションモデルによる推定を行う。

[0051] 次に、ステップS105では、第2の領域分割部（例えば、図2に示す第2の領域分割部103）は、ステップS104で生成された推定結果に基づいて、入力画像における各領域を示すマーカを含む画像を中間画像として生成する。ここでは、「マーカ」とは、いわゆる分水嶺アルゴリズムにおいて、確証のある領域と、確証のない領域を表す情報である。

なお、第1の領域分割部に行われたセマンティック・セグメンテーションによる推定結果はピクセル毎にラベル付けされた配列情報であるが、第2の領域分割部は、ラベルの種類数に応じてマーカの生成を行い、中間画像を生成する。

[0052] 具体的には、ラベル種類数が1つある場合には、すなわちセマンティック・セグメンテーションモデルによる推定の結果が全ピクセルにおいて同じと判断された場合には、検出されたROI内に検出すべき界面が存在しないため、本処理はステップS106へと進む。

[0053] ラベル種類数が2つある場合には、この画像は前景と背景が分離された画像であると判定される。前景と背景の領域を各々事前に定められた領域縮小

処理を施すことで、前景と背景の境界線近傍に新たに境界領域を生成し、縮小された前景と背景は確証のある領域として定義され、また新たに生成された境界領域は確証のない領域として定義される。これにより、分水嶺アルゴリズムを適用する際に、良好な領域分割結果を得ることができる。

ここでは、領域縮小処理としては、各領域の最外周から10ピクセル分縮小するアルゴリズムを用いてもよいが、本発明はそれに限定されない。

[0054] 次に、ステップS106では、第2の領域分割部は、ステップS103で生成された、対象の領域が指定されている画像と、ステップS105で生成された中間画像とに基づいて、分水嶺アルゴリズムによる領域分割を行う。

ここで、ラベル種類数が3つ以上存在する場合には、第2の領域分割部は、着目するラベルを前景とし、それ以外のラベルを全て背景として取り扱い、ラベル種類数が2の場合と同じ処理を、着目するラベルが網羅するまで実施する。

なお、本実施例では、領域分割の手段として、分水嶺アルゴリズムを用いたが、本発明はそれに限定されず、Graph cutアルゴリズム等、輝度情報を基に領域分けを行うアルゴリズムを代わりに用いることも可能である。

[0055] 次に、ステップS107では、第2の領域分割部は、入力画像に他の指定領域が存在するか否かを判定する。入力画像に他の指定領域が存在する場合には、第2の領域分割部は、上述した処理を残りの指定領域に対して繰り返す。具体的には、第2の領域分割部は、中間画像を示すマーカの生成と、領域分割とはそれぞれの指定領域に対し行い、指定領域が全て網羅されるまで実行する。

入力画像に他の指定領域が存在しない場合には、本処理はステップS109に進む。

[0056] 次に、ステップS108では、寸法計測部は、計測対象の寸法条件を規定する特徴点と寸法の定義が予めデータベースに保存されているか否かを確認する。これらの情報がデータベースにない場合には、寸法計測部は、ステッ

プS 1 0 9へと進み、検出対象となる領域ラベルと検出範囲と検出方向とを指定する。

なお、寸法計測部は、複数個所を指定する場合には、それぞれの特徴点に対する定義をそれぞれ指定する。

[0057] 次に、ステップS 1 1 0では、寸法計測部は、指定された定義に基づいて、特徴点検出を行う。

[0058] 次に、ステップS 1 1 1では、寸法計測部は、得られた特徴点に基づいて、計測対象物の寸法を計測する処理を行い、計測した寸法情報をピクセル単位から実寸法（例えば国際単位系）へと変換する。

これにより、断面SEM画像（又は断面TEM画像）に対して高精度の計測結果を自動的に生成することができる。

[0059] 次に、図5を参照して、本発明の実施例1に係る物体検出モデルの学習データに用いるアノテーションデータについて説明する。

なお、以下では、上述した処理装置がエッチング装置であり、且つROIがパターン部分である場合を一例として説明する。

[0060] 図5は、本発明の実施例1に係る物体検出モデルの学習データに用いるアノテーションデータの一例を示す図である。より詳細には、図5は、断面SEM画像551及び当該断面SEM画像551の領域が正しくラベル付けされているアノテーションデータ560と、断面SEM画像552及び当該断面SEM画像552の領域が正しくラベル付けされているアノテーションデータ570とを示す。

[0061] 断面SEM画像551と断面SEM画像552の違いは、処理装置（例えば図2に示す処理装置203）における処理方法が異なる為である。よって、ROIは同じパターン部分を指定するものであり、且つ同じ縮小率の画像であっても、ROIの大きさが入力画像に応じて異なる場合がある。ROIサイズを一定にするため、入力データセットをセマンティック・セグメンテーションモデルに入力する前に、各々のサイズを拡大又は縮小することにより、一定の大きさとなるよう画像処理を施すことができる。従って、本実施

例で示す画像は、入力データセットの大きさが一定となるように、最近傍補完法による画像処理が施されたものである。

[0062] アノテーションデータ560及びアノテーションデータ570に示す領域は、背景553、マスク554、及び基板555の3つの領域からなる。アノテーションデータ560、570は、専用ソフトウェアを用いて手作業で作成されてもよく、学習済みのセマンティック・セグメンテーションモデルを用いて作成されてもよい。

[0063] 次に、図6を参照して、本発明の実施例1に係る寸法の個所と特徴点について説明する。

[0064] 図6は、本発明の実施例1に係る寸法の個所と特徴点との対応関係を説明するための図である。図6に示す例では、寸法計測個所は、(1) L1：マスク／基板界面の幅606、(2) L2：基板最狭部の幅607、(3) L3：マスクの高さ608、(4) L4：トレンチの深さ609、の4カ所を設定している。図中のAからFまでの6つの点は、寸法計測に用いる境界線上の特徴点であり、境界線データのみから一意に定義できる点を用いる。例えば、Aはマスク上面の最高点となる点、等であってもよい。

[0065] 特徴点A～Fの定義及び寸法L1～L4と特徴点A～Fとの対応関係(L1：B, C；L2：D, Eなど)は、ユーザが入出力装置（例えば図2に示す入出力装置201）を介して入力し、データベース（例えば図2に示すデータベース105）に格納されている。定義を入力するためには、ユーザは、検出対象である領域を例えばマウスやタッチ画面等のインターフェースを介して指定し、その領域に対して検出範囲と、検出範囲内での検出する方向を指定する。ここでは、検出する方向とは、検出範囲内で最も上あるいは下、左、右のどの座標を特徴点とするかを指定するために用いられる。

他にも、定義の入力の仕方としては、任意の断面SEM画像が入出力装置のGUI画面に表示された状態で、ユーザは、画面上で特徴点をクリックすることにより指定する方法や、特徴点と寸法の定義を記述したスクリプトを与える方法であってもよい。特徴点と計測寸法の個数や位置は、計測対象の

構造に応じて適宜設定されてもよい。

[0066] 次に、図7を参照して、本発明の実施例1に係るセマンティック・セグメンテーションモデルの学習データに用いるアノテーションデータにおけるラベルについて説明する。

[0067] 図7は、本発明の実施例1に係るセマンティック・セグメンテーションモデルの学習データに用いるアノテーションデータにおけるラベル名710、ラベル番号720、及び色730の対応関係を示すテーブルである。図7に示す情報は、データベース（例えば図2に示すデータベース105）に格納されている。

なお、各ラベルに付与するラベル番号と色は任意である。

[0068] 図7に示すように、画像における「背景」のラベル名710は、「0」のラベル番号720と「黒」の色730に対応し、マスクは、「1」のラベル番号720と「グレー」に対応し、基板は、「2」のラベル番号720と「白」に対応する。上述したアノテーションデータや、領域別にラベル付けされている画像は、図7に示すテーブルの情報に従って作成される。

[0069] 次に、図8を参照して、本発明の実施例1に係る入出力装置に表示されるGUI（Graphical User Interface）画面について説明する。

[0070] 図8は、本発明の実施例1に係る入出力装置に表示されるGUI画面800の一例を示す図である。GUI画面800は、主にアノテーションウィンドウ401と、モデル学習ウィンドウ402と、寸法定義ウィンドウ403と、実行ウィンドウ404とからなる。

[0071] アノテーションウィンドウ401では、ユーザは、画像選択ボタン405でアノテーションウィンドウ401に表示したい画像ファイルを選択することができる。画像ウィンドウ406には、選択した画像が表示される。また、ユーザは、表示された画像内にマウス操作によりROI407を指定することができる。画像ウィンドウ406のうち、指定されたROI407が画像ウィンドウ408に表示される。画像ウィンドウ408に表示されるROI

1407の画像を基に、アノテーションデータが作成され、画像ウィンドウ409に表示される。ユーザは、画像対保存ボタン410をクリックすることにより、画像ウィンドウ408と、画像ウィンドウ409に表示される画像に対して各々対応付け可能な名前付けを行い、学習データセットとして保存することができる。

[0072] モデル学習ウィンドウ402では、ユーザは、データセット選択ボタン411をクリックすることによりモデル学習に使用するデータセットを指定することができる。また、ユーザは、モデル選択ボタン412をクリックすることにより、セマンティック・セグメンテーションモデルを指定することができる。また、ユーザは、モデル学習ボタン413をクリックすることにより、指定されたデータセットとモデルを用いてモデル学習を実行させることができる。モデル学習中には、学習結果が適宜に保存される。また、学習済みのモデルは、モデル選択ボタン414により、学習済みモデルを選択する際に識別可能な名称で保存される。

[0073] 寸法定義ウィンドウ403では、ユーザは、検出対象ボタン415をクリックすることにより、対象とする領域間の界面を指定することができる。また、ユーザは、検出範囲ボタン416をクリックすることにより、検出範囲417を指定することができる。また、ユーザは、検出方向ボタン418をクリックすることにより、検出範囲417内の領域間界面のうち、上下左右のどの方向の端を特徴点とするかを定義するための検出方向を指定することができる。更に、ユーザは、寸法定義ボタン419をクリックすることにより、定義に基づいて検出された特徴点からどのように寸法を計算するか指定することができる。また、ユーザは、定義保存ボタン420をクリックすることにより、寸法定義を測定定義ファイルとして保存することができる。

[0074] 実行ウィンドウ404では、ユーザは、モデル選択ボタン414をクリックすることにより学習済みモデルを指定することができる。また、ユーザは、測定定義選択ボタン421をクリックすることにより、測定定義ファイルを指定することができる。また、ユーザは、画像群選択ボタン422をクリ

ックすることにより、測定を行いたい画像群を指定することができる。また、ユーザは、実行ボタン423をクリックすることにより、指定された学習済みモデルと、指定された測定定義ファイルを用いて、測定を行いたい画像群内のそれぞれの画像に対して測定を実施させることができる。その後、ユーザは、この測定の結果を測定結果出力ファイルとして所定の場所へ出力することができる。

[0075] 次に、図9を参照して、本発明の実施例に係るテスト画像について説明する。

[0076] 図9は、本発明の実施例に係るテスト画像900の一例を示す図である。このテスト画像は、例えば上述した評価装置（例えば、図2に示す評価装置204）により撮影された画像であり、計測対象物である加工後の半導体デバイスを示す。図9に示すように、このテスト画像900には、不要な奥の構造の輪郭が写っており、これは、寸法計測の際には無視すべき構造である。

従って、このテスト画像900を入力画像として、例えば図4に示す寸法計測方法を行うことにより、断面SEM画像（又は断面TEM画像）に対して高精度の計測結果を自動的に生成することができる。

実施例 2

[0077] 実施例1では、学習データセットを事前に準備し、セマンティック・セグメンテーションモデルを用いて対象の画像における各領域を示すマーカを含む中間画像を生成する例を説明したが、このマーカ生成は必ずしもセマンティック・セグメンテーションモデルを用いる必要はない。従って、実施例2では、マーカ生成を手動で作成し、且つ、新たに生成された領域分割画像を学習データセットに追加し、セマンティック・セグメンテーションモデルの推定精度を逐次改善する構成について説明する。

この構成によれば、事前の十分な学習データセットの準備が困難で、モデルによる推定精度が十分でない場合でも、寸法測定を行うことが可能となる。

[0078] 次に、図10を参照して、本発明の実施例2に係る寸法計測方法について説明する。

[0079] 図10は、本発明の実施例2に係る寸法計測方法1000の流れを示すフローチャートである。

[0080] まず、ステップS200では、学習部（例えば図2に示す学習部206）は、学習データセットがデータベース（例えば図2に示す学習部206）に存在するか確認する。

[0081] 学習データセットが存在する場合には、次に、ステップS201では、学習部は、データベースから、学習データセットと機械学習モデルとを第1の領域分割部（例えば、図2に示す第1の領域分割部102）に転送し、機械学習モデルの学習を行う。学習したモデルのパラメータは、返送されてデータベースに保存される。

なお、ここでの「機械学習モデル」は、畳み込み層やドロップアウト層等を有するニューラルネットワークを一例として説明するが、本発明はそれに限定されず、決定木等の機械学習のモデルであってもよい。

[0082] 次に、ステップS202では、第1の領域分割部は、計測対象物が写る入力画像を入出力装置から入力する。

[0083] 次に、ステップS203では、第1の領域分割部は、データベースから、機械学習モデル及び学習パラメータを取得し、取得したモデル及び学習パラメータに基づいて、ROI検出アルゴリズムを用いて、入力画像における対象の領域を指定する。

ここでは、ROI検出アルゴリズムとしては、Template Matchingを用いる例を説明するが、本発明はそれに限定されず、RPN（Region Proposal Network）等の深層学習モデルや、Haar-Like特徴分類器等の特徴量に基づく機械学習モデルを用いることも可能である。

[0084] 次に、ステップS204では、第1の領域分割部は、学習済みモデルがデータベースにあるか確認をする。学習済みモデルがある場合には、ステップ

S 2 0 5 では、第 1 の領域分割部は、検出された R O I に対し、セマンティック・セグメンテーションモデルによる推定を行う。学習済みモデルがデータベースにない場合には、第 1 の領域分割部は、モデルによる推定を行わず、本処理はステップ S 2 0 8 へと進む。

[0085] 次に、第一の領域分割部でモデルによる推定が行われた場合には、ステップ S 2 0 6 では、第 2 の領域分割部（例えば、図 2 に示す第 2 の領域分割部 1 0 3）は、ステップ S 2 0 4 で生成された推定結果に基づいて、入力画像における各領域を示すマーカを含む画像を中間画像として生成する。ここでは、「マーカ」とは、いわゆる分水嶺アルゴリズムにおいて、確証のある領域と、確証のない領域を表す情報である。

なお、第 1 の領域分割部に行われたセマンティック・セグメンテーションによる推定結果はピクセル毎にラベル付けされた配列情報であるが、第 2 の領域分割部は、ラベルの種類数に応じてマーカの生成を行い、中間画像を生成する。

[0086] 具体的には、ラベル種類数が 1 つある場合、すなわちセマンティック・セグメンテーションモデルによる推定の結果が全ピクセルにおいて同じと判断された場合には、検出された R O I 内に検出すべき界面が存在しないため、本処理は次のステップへと進む。

[0087] ラベル種類数が 2 つある場合には、この画像は前景と背景が分離された画像であると判定される。前景と背景の領域を各々事前に定められた領域縮小処理を施すことで、前景と背景の境界線近傍に新たに境界領域を生成し、縮小された前景と背景は確証のある領域として定義され、また新たに生成された境界領域は確証のない領域として定義される。

ここでは、領域縮小処理としては、各領域の最外周から 1 0 ピクセル分縮小するアルゴリズムを用いてもよいが、本発明はそれに限定されない。

[0088] 次に、ステップ S 2 0 7 では、第 2 の領域分割部は、ステップ S 2 0 3 で生成された、対象の領域が指定されている画像と、ステップ S 2 0 6 で生成された中間画像とに基づいて、分水嶺アルゴリズムによる領域分割を行う。

ここで、ラベル種類数が3つ以上存在する場合には、第2の領域分割部は、着目するラベルを前景とみなし、それ以外のラベルを全て背景とみなして取り扱い、ラベル種類数が2の場合と同じ処理を、着目するラベルが網羅するまで実施する。

[0089] 次に、モデルによる推定が行われなかった場合、ステップS208では、ユーザはマウス操作などにより、マーカを含む中間画像を作成する。

[0090] 次に、ステップS209では、第2の領域分割部は、入力画像に他の指定領域が存在するか否かを判定する。入力画像に他の指定領域が存在する場合には、第2の領域分割部は、上述した処理を残りの指定領域に対して繰り返す。具体的には、第2の領域分割部は、領域を示すマーカの生成と、領域分割とをそれぞれの指定領域に対し行い、指定領域が全て網羅されるまで実行する。

[0091] 次に、ステップS210では、作成された領域分割画像は、学習データセットに追加され、適宜にデータベースに保存される。これにより、後の機械学習訓練では、学習部は、更新された学習データセットを用いてセマンティック・セグメンテーションモデルの訓練を行い、モデルによる推定精度を改善させることができる。

入力画像に他の指定領域が存在しない場合には、本処理はステップS211に進む。

[0092] 次に、ステップS211では、寸法計測部は、計測対象の寸法条件を規定する特徴点と寸法の定義が予めデータベースに保存されているか否かを確認する。これらの情報がデータベースにない場合には、寸法計測部は、ステップS212へと進み、検出対象となる領域ラベルと検出範囲と検出方向とを指定する。

なお、寸法計測部は、複数個所を指定する場合には、それぞれの特徴点に対する定義をそれぞれ指定する。

[0093] 次に、ステップS213では、寸法計測部は、指定された定義に基づいて、特徴点検出を行う。

- [0094] 次に、ステップS 2 1 4では、寸法計測部は、得られた特徴点に基づいて、計測対象物の寸法を計測する処理を行い、計測した寸法情報をピクセル単位から実寸法へと変換する。
- [0095] 次に、図11を参照して、本発明の実施例2に係る入出力装置に表示されるGUI (Graphical User Interface) 画面について説明する。
- [0096] 図11は、本発明の実施例2に係る入出力装置に表示されるGUI画面1100の一例を示す図である。図11に示すように、GUI画面1100は、領域分割ウィンドウ501と、寸法定義ウィンドウ502と、実行ウィンドウ503とからなる。
- [0097] 領域分割ウィンドウ501では、ユーザは、入力画像選択ボタン504をクリックすることにより領域分割ウィンドウ501に表示したい画像ファイルを選択することができる。画像ウィンドウ505には、選択した画像が表示される。特定のROIが事前に登録されている場合には、当該ROIがデータベース（例えば、図2に示すデータベース105）から読み出されるが、特定のROIが登録されていない場合や変更したい場合には、ユーザは、表示された画像内にマウス操作によりROIを指定し、ROI登録ボタン506をクリックすることにより当該ROIを登録することができる。
- [0098] また、ユーザは、領域指定ボタン507をクリックすることにより、ROI検出アルゴリズムを用いて領域を指定することができる。検出されたROI 508が画像ウィンドウ505に表示される。検出されたROI 508が正しくない場合には、ユーザは、ROI登録ボタン506をクリックすることによりROIを更新することができる。また、ユーザは、領域分割ボタン509をクリックすることにより、事前を選択されたセマンティック・セグメンテーションモデルを用いて、検出されたそれぞれのROI 508に対して領域分割を実施することができる。事前にセマンティック・セグメンテーションモデルが選択されていない場合や、使用するセマンティック・セグメンテーションモデル等を変更したい場合には、ユーザは、モデル選択ボタン

510をクリックすることによりモデルを選択することができる。

[0099] また、領域分割結果が画像ウィンドウ511に表示される。領域分割結果が十分でない場合には、ユーザは、モデル更新ボタン512をクリックすることにより、学習済みセマンティック・セグメンテーションモデルを更新するか、もしくは縮小量513を調整し、W a t e r s h e d アルゴリズムに使用するマーカを更新することができる。

なお、本実施例では、分水嶺アルゴリズムを一例として用いたが、本発明はそれに限定されず、G r a p h c u t アルゴリズム等の他の輝度情報を基に領域分けを行うアルゴリズムを代わりに用いることも可能である。領域分割結果が十分な場合、ユーザは、データ追加ボタン524をクリックすることにより、領域分割画像をデータベース105に追加することができる。

[0100] 寸法定義ウィンドウ502では、ユーザは、検出対象ボタン514をクリックすることにより、対象とする領域間の界面を指定することができる。また、ユーザは、検出範囲ボタン515により検出範囲516を指定することができる。また、ユーザは、検出方向ボタン517をクリックすることにより、検出範囲516内の領域間界面のうち、上下左右のどの方向の端を特徴点とするかを定義するための検出方向を指定することができる。更に、ユーザは、寸法定義ボタン518をクリックすることにより、定義に基づいて検出された特徴点からどのように寸法を計算するか指定することができる。また、ユーザは、定義保存ボタン519をクリックすることにより、寸法定義を測定定義ファイルとして保存することができる。

[0101] 実行ウィンドウ503では、ユーザは、モデル選択ボタン520をクリックすることにより学習済みモデルを指定することができる。また、ユーザは、測定定義選択ボタン521をクリックすることにより、測定定義ファイルを指定することができる。また、ユーザは、画像群選択ボタン522をクリックすることにより、測定を行いたい画像群を指定することができる。また、ユーザは、実行ボタン523をクリックすることにより、指定された学習済みモデルと、指定された測定定義ファイルを用いて、測定を行いたい画像

群内のそれぞれの画像に対し測定を実施させることができる。その後、ユーザは、この測定の結果を測定結果出力ファイルとして所定の場所へ出力することができる。

[0102] 以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

符号の説明

[0103]	1 0 0	寸法計測装置
	1 0 1	中央処理部
	1 0 2	第 1 の領域分割部
	1 0 3	第 2 の領域分割部
	1 0 4	寸法計測部
	1 0 5	データベース
	1 0 6	ニューラルネットワーク
	2 0 1	入出力装置
	2 0 2	入力情報
	2 0 3	処理装置
	2 0 4	評価装置
	2 0 5	断面画像
	4 0 1	アノテーションウィンドウ
	4 0 2	モデル学習ウィンドウ
	4 0 3	寸法定義ウィンドウ
	4 0 4	実行ウィンドウ
	4 0 5	画像選択ボタン
	4 0 6	画像ウィンドウ
	4 0 7	R O I
	4 0 8	画像ウィンドウ
	4 0 9	画像ウィンドウ

4 1 0	画像対保存ボタン
4 1 1	データセット選択ボタン
4 1 2	モデル選択ボタン
4 1 3	モデル学習ボタン
4 1 4	モデル選択ボタン
4 1 5	検出対象ボタン
4 1 6	検出範囲ボタン
4 1 7	検出範囲
4 1 8	検出方向ボタン
4 1 9	寸法定義ボタン
4 2 0	定義保存ボタン
4 2 1	測定定義選択ボタン
4 2 2	画像群選択ボタン
4 2 3	実行ボタン
5 0 1	領域分割ウィンドウ
5 0 2	寸法定義ウィンドウ
5 0 3	実行ウィンドウ
5 0 4	入力画像選択ボタン
5 0 5	画像ウィンドウ
5 0 6	ROI登録ボタン
5 0 7	領域指定ボタン
5 0 8	ROI
5 0 9	領域分割ボタン
5 1 0	モデル選択ボタン
5 1 1	画像ウィンドウ
5 1 2	モデル更新ボタン
5 1 3	縮小量
5 1 4	検出対象ボタン

5 1 5	検出範囲ボタン
5 1 6	検出範囲
5 1 7	検出方向ボタン
5 1 8	寸法定義ボタン
5 1 9	定義保存ボタン
5 2 0	モデル選択ボタン
5 5 1	断面SEM画像
5 5 2	断面SEM画像
5 5 3	背景
5 5 4	マスク
5 5 5	基板
6 0 6	マスク／基板界面の幅
6 0 7	基板最狭部の幅
6 0 8	マスクの高さ
6 0 9	トレンチの深さ
5 2 1	測定定義選択ボタン
5 2 2	画像群選択ボタン
5 2 3	実行ボタン
5 2 4	データ追加ボタン

請求の範囲

- [請求項1] 入力された画像を用いて計測対象の寸法が計測される寸法計測装置であって、
- 前記入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第1の画像が機械学習により生成され、
- 前記生成された第1の画像を基に前記第1の画像の各領域を示すマーカーを含む中間画像が生成され、
- 前記入力された画像と前記生成された中間画像を基に前記入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第2の画像が生成され、
- 前記生成された第2の画像を用いて隣接する領域の境界線の座標が求められ、
- 前記求められた境界線の座標を用いて前記計測対象の寸法条件を規定する特徴点の座標が求められ、
- 前記求められた特徴点の座標を用いて前記計測対象の寸法が計測されることを特徴とする寸法計測装置。
- [請求項2] 前記中間画像は、拡大処理または縮小処理により前記第1の画像の各領域を再定義した領域を示す画像であることを特徴とする請求項1に記載の寸法計測装置。
- [請求項3] 前記特徴点の座標は、前記求められた境界線の座標に対して定義された特徴点検出対象と、前記求められた境界線の座標に対して定義された特徴点検出範囲と、前記求められた境界線の座標に対して定義された特徴点検出方向を基に求められることを特徴とする請求項1に記載の寸法計測装置。
- [請求項4] 前記機械学習は、深層学習を用いるセマンティック・セグメンテーション手法であり、
- 前記第2の画像は、輝度情報を用いるセマンティック・セグメンテーション手法により生成されることを特徴とする請求項1に記載の寸法計測装置。

- [請求項5] 前記輝度情報を用いるセマンティック・セグメンテーション手法は、
W a t e r s h e d変換アルゴリズムまたはG r a p h c u tアルゴリズムであることを特徴とする請求項4に記載の寸法計測装置。
- [請求項6] 前記入力された画像は、断面SEM (S c a n n i n g E l e c t r o n M i c r o s c o p y) 画像であることを特徴とする請求項1に記載の寸法計測装置。
- [請求項7] 前記入力された画像は、TEM (T r a n s m i s s i o n E l e c t r o n M i c r o s c o p y) 画像であることを特徴とする請求項1に記載の寸法計測装置。
- [請求項8] 試料が処理される処理装置と、
前記処理装置による処理結果が画像として撮影される評価装置と、
前記評価装置により撮影された画像である入力された画像を用いて計測対象の寸法が計測される寸法計測装置とがネットワークを介して接続されている半導体製造システムであって、
前記寸法計測装置は、
前記入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第1の画像が機械学習により生成され、
前記生成された第1の画像を基に前記第1の画像の各領域を示すマーカーを含む中間画像が生成され、
前記入力された画像と前記生成された中間画像を基に前記入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第2の画像が生成され、
前記生成された第2の画像を用いて隣接する領域の境界線の座標が求められ、
前記求められた境界線の座標を用いて前記計測対象の寸法条件を規定する特徴点の座標が求められ、
前記求められた特徴点の座標を用いて前記計測対象の寸法が計測されることを特徴とする、

半導体製造システム。

[請求項9]

前記処理装置は、

プラズマエッチング装置であり、

前記評価装置は、断面SEM装置であることを特徴とする、

請求項8に記載の半導体製造システム。

[請求項10]

入力された画像を用いて計測対象の寸法を計測する寸法計測方法であって、

前記入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第1の画像を機械学習により生成する工程と、

前記生成された第1の画像を基に前記第1の画像の各領域を示すマーカーを含む中間画像を生成する工程と、

前記入力された画像と前記生成された中間画像を基に前記入力された画像の各領域が領域別にラベル付けされた第2の画像を生成する工程と、

前記生成された第2の画像を用いて隣接する領域の境界線の座標を求める工程と、

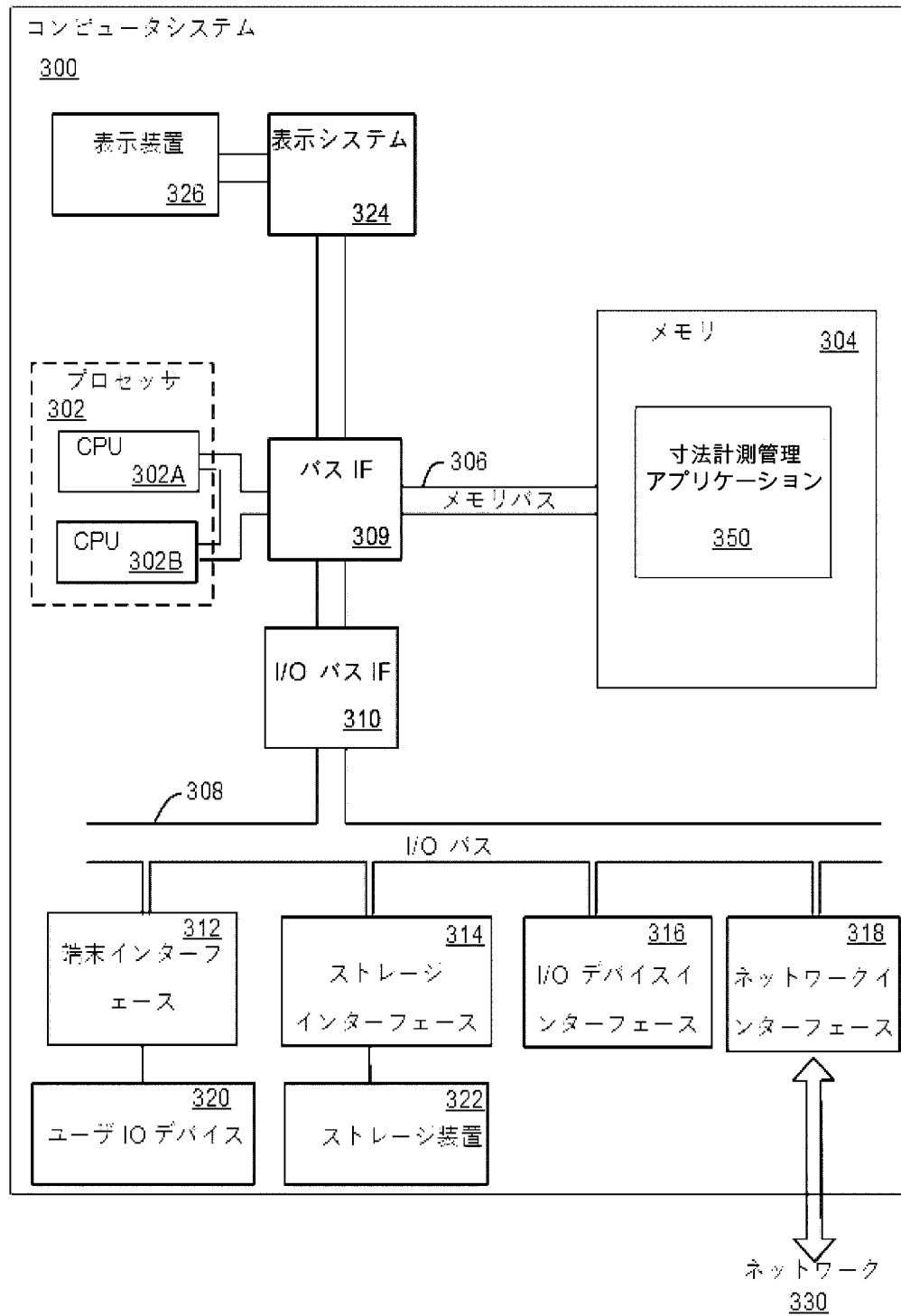
前記求められた境界線の座標を用いて前記計測対象の寸法条件を規定する特徴点の座標を求める工程と、

前記求められた特徴点の座標を用いて前記計測対象の寸法を計測する工程と、

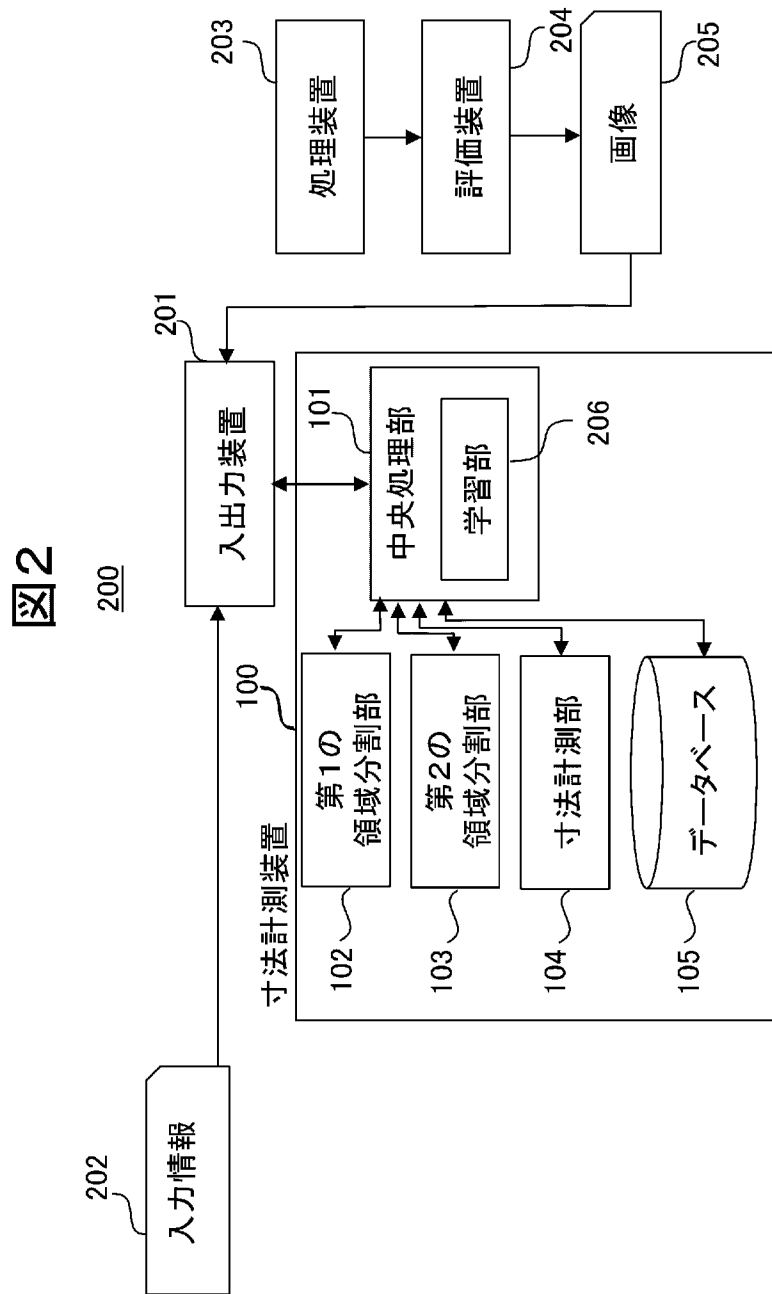
を有することを特徴とする寸法計測方法。

[図1]

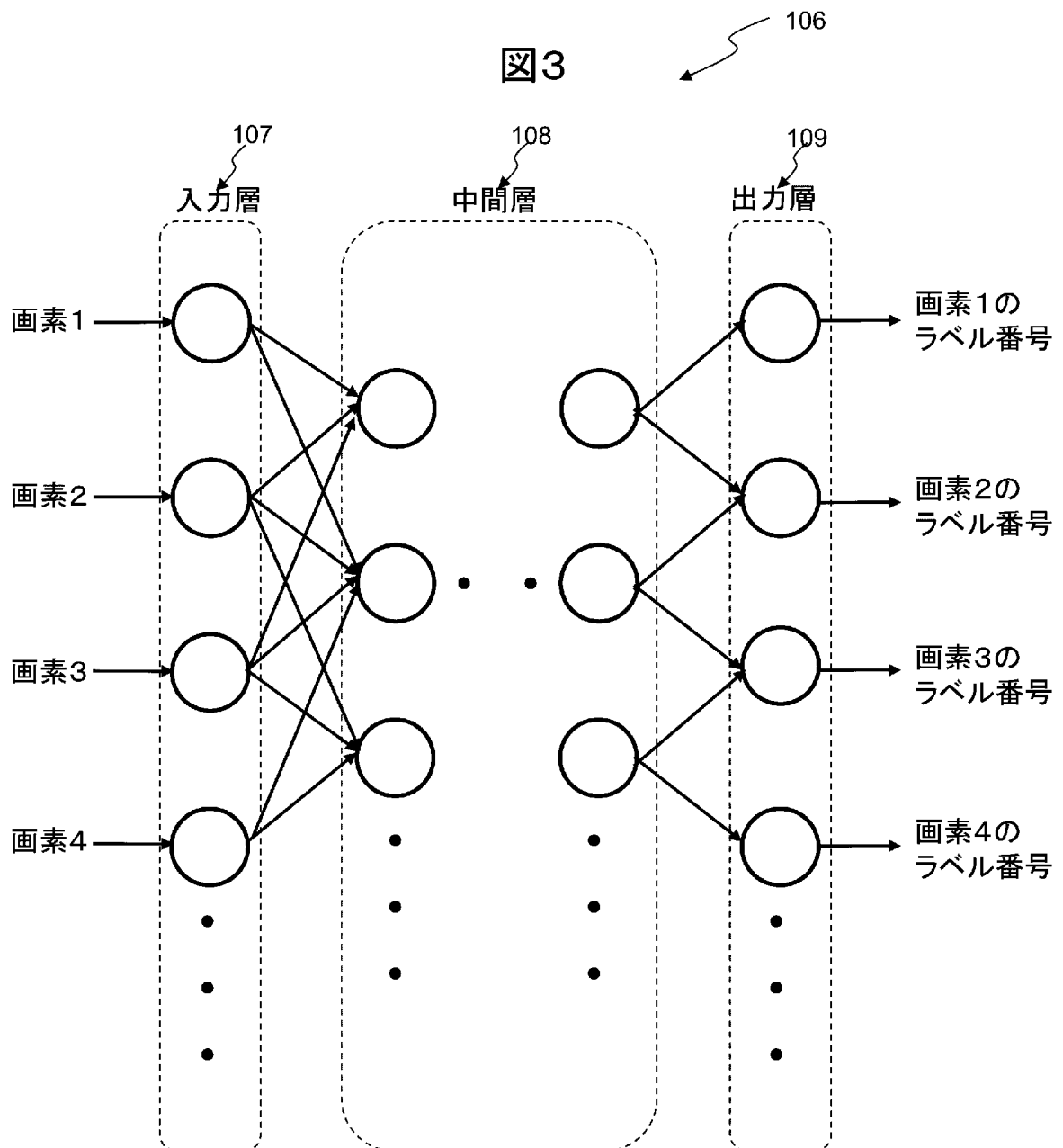
図1



[図2]



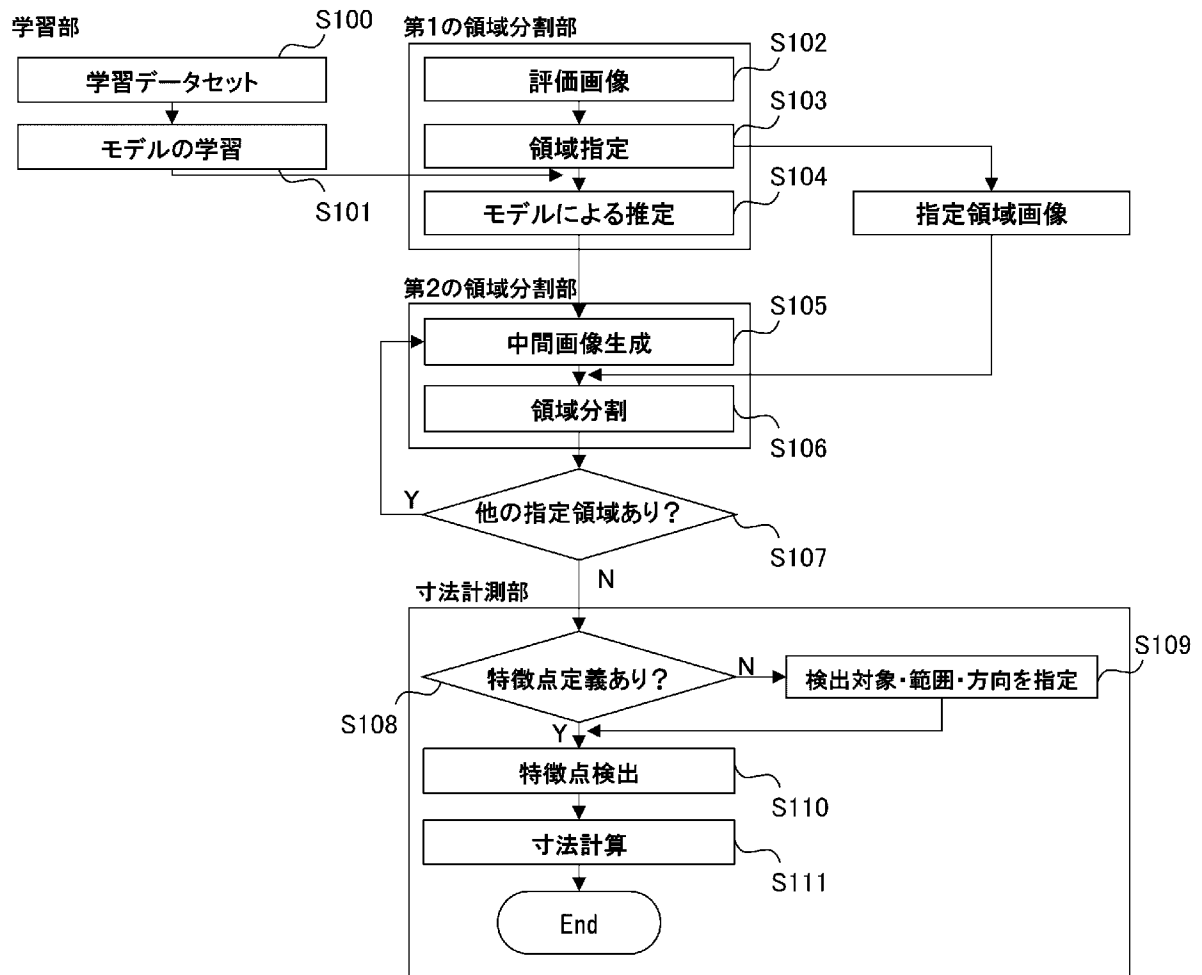
[図3]



[図4]

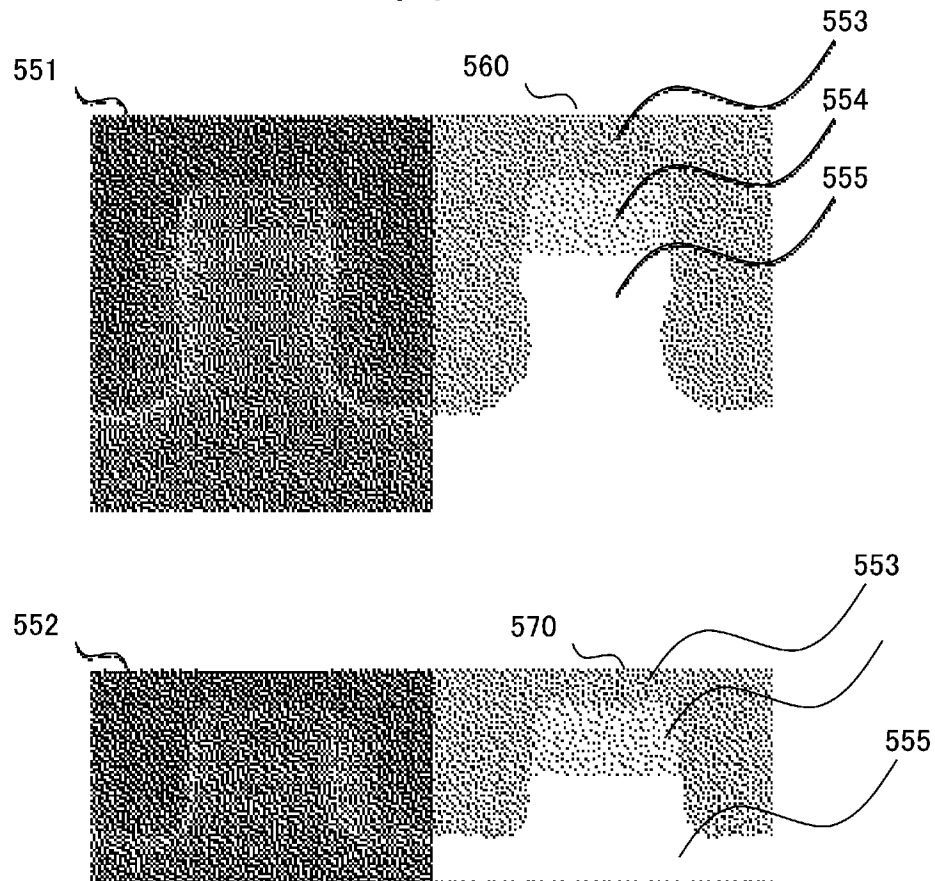
図4

400



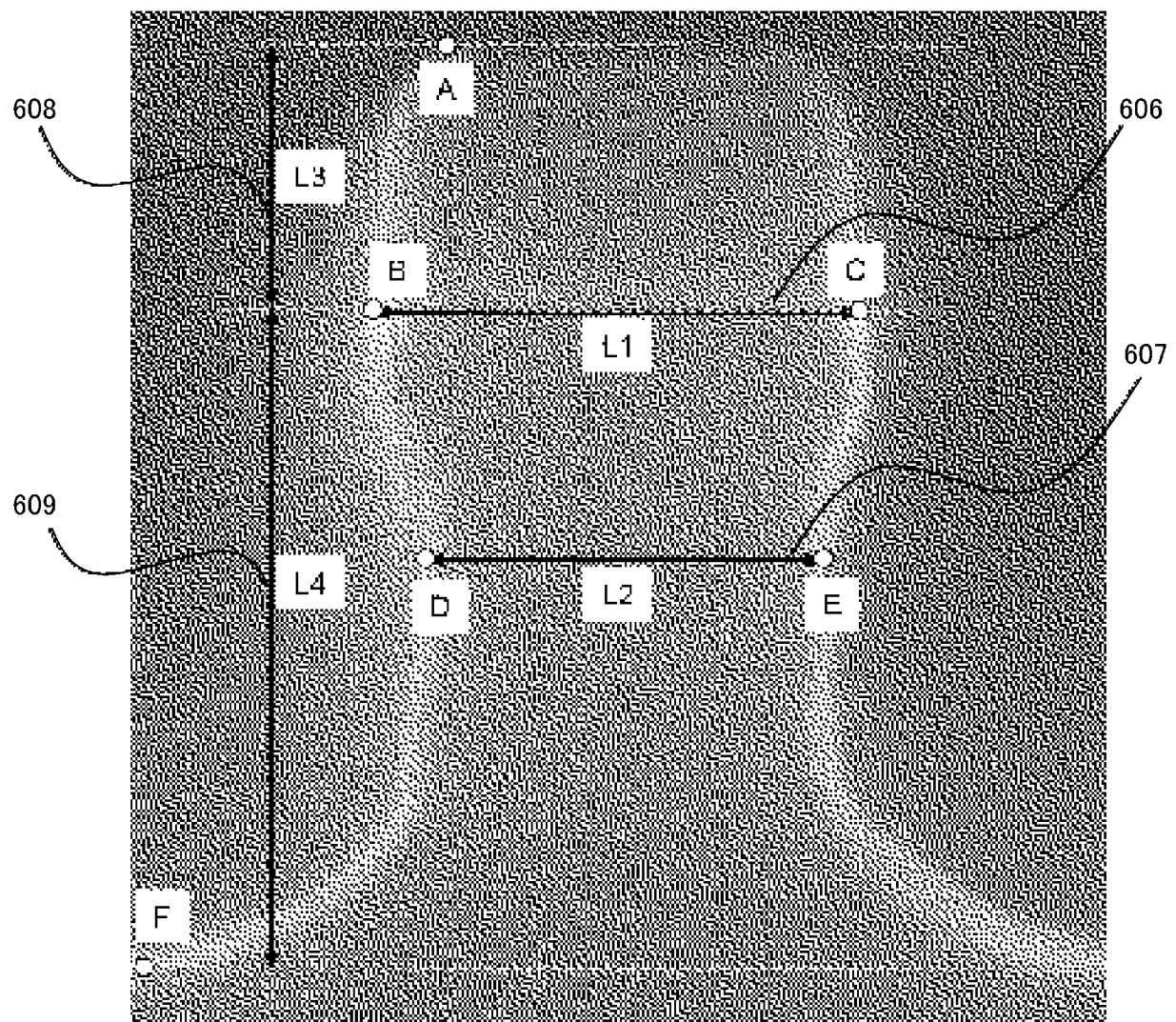
[図5]

図5



[図6]

図6

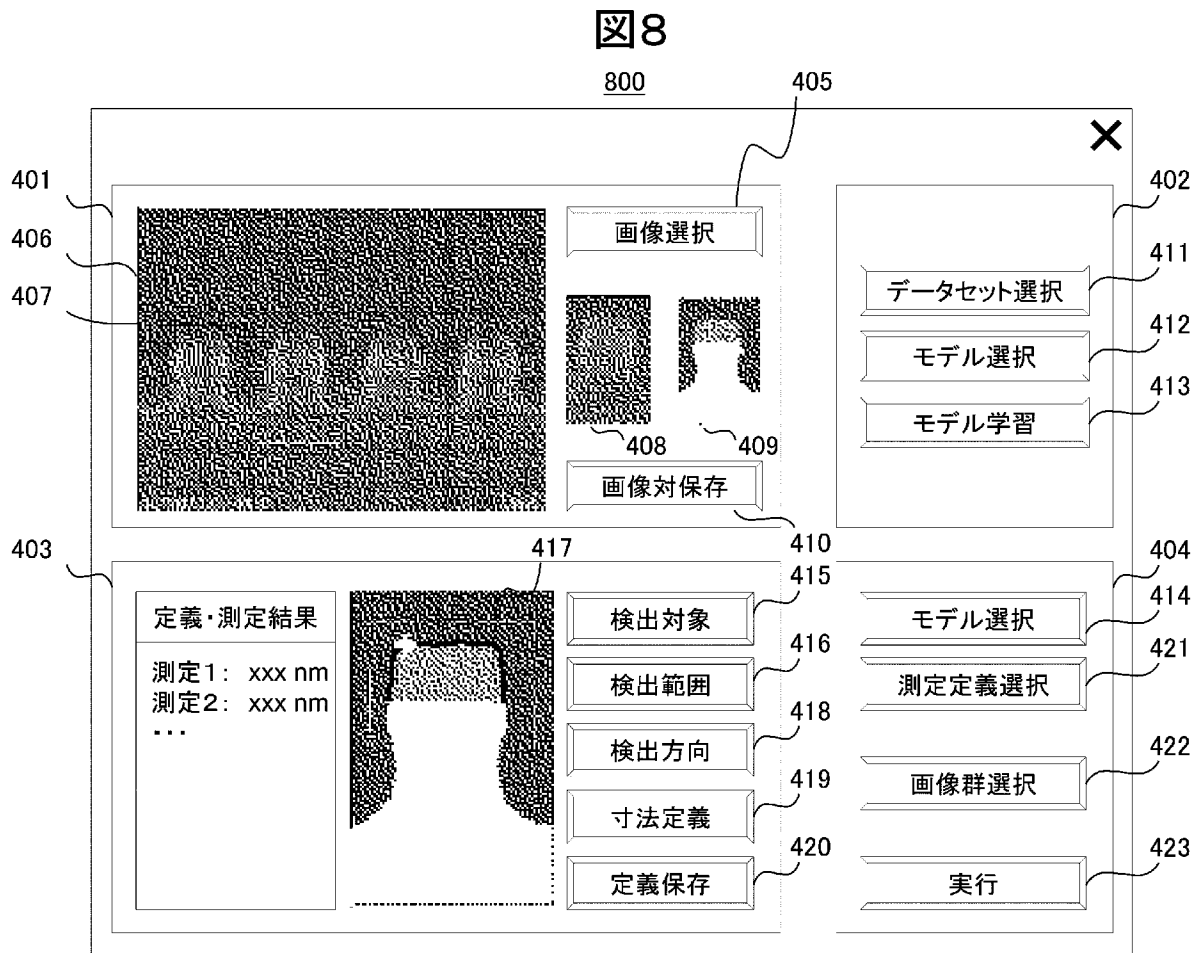


[図7]

図7

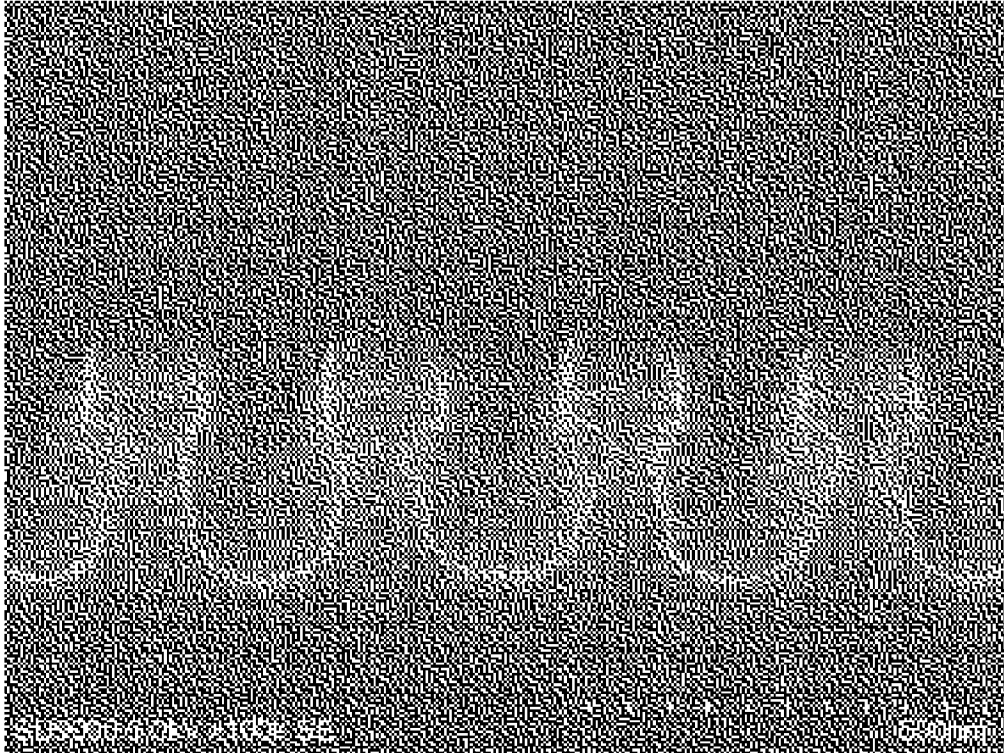
ラベル名	ラベル番号	色
背景	0	黒
マスク	1	グレー
基板	2	白

[図8]



[図9]

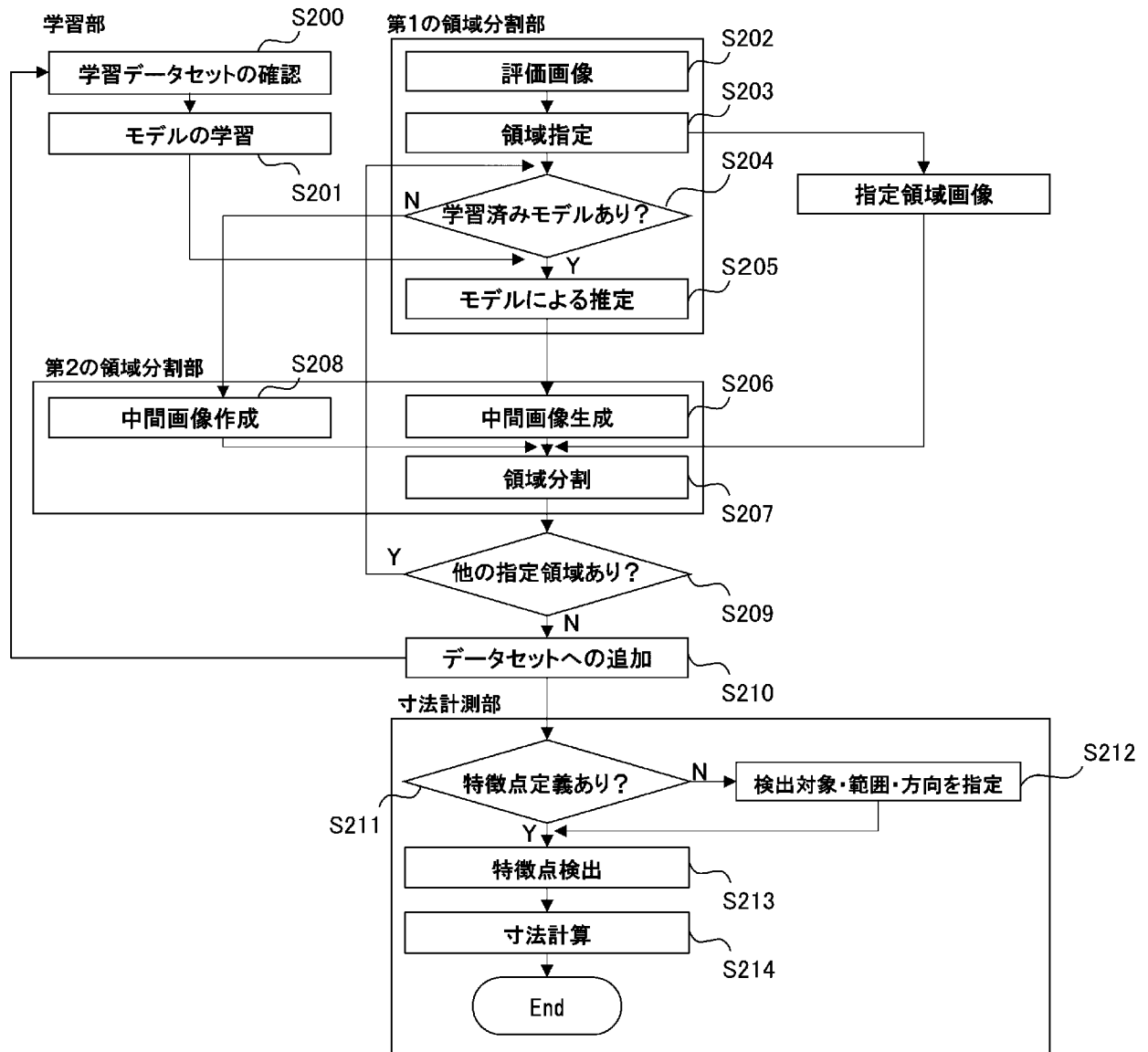
図9

900

[図10]

図10

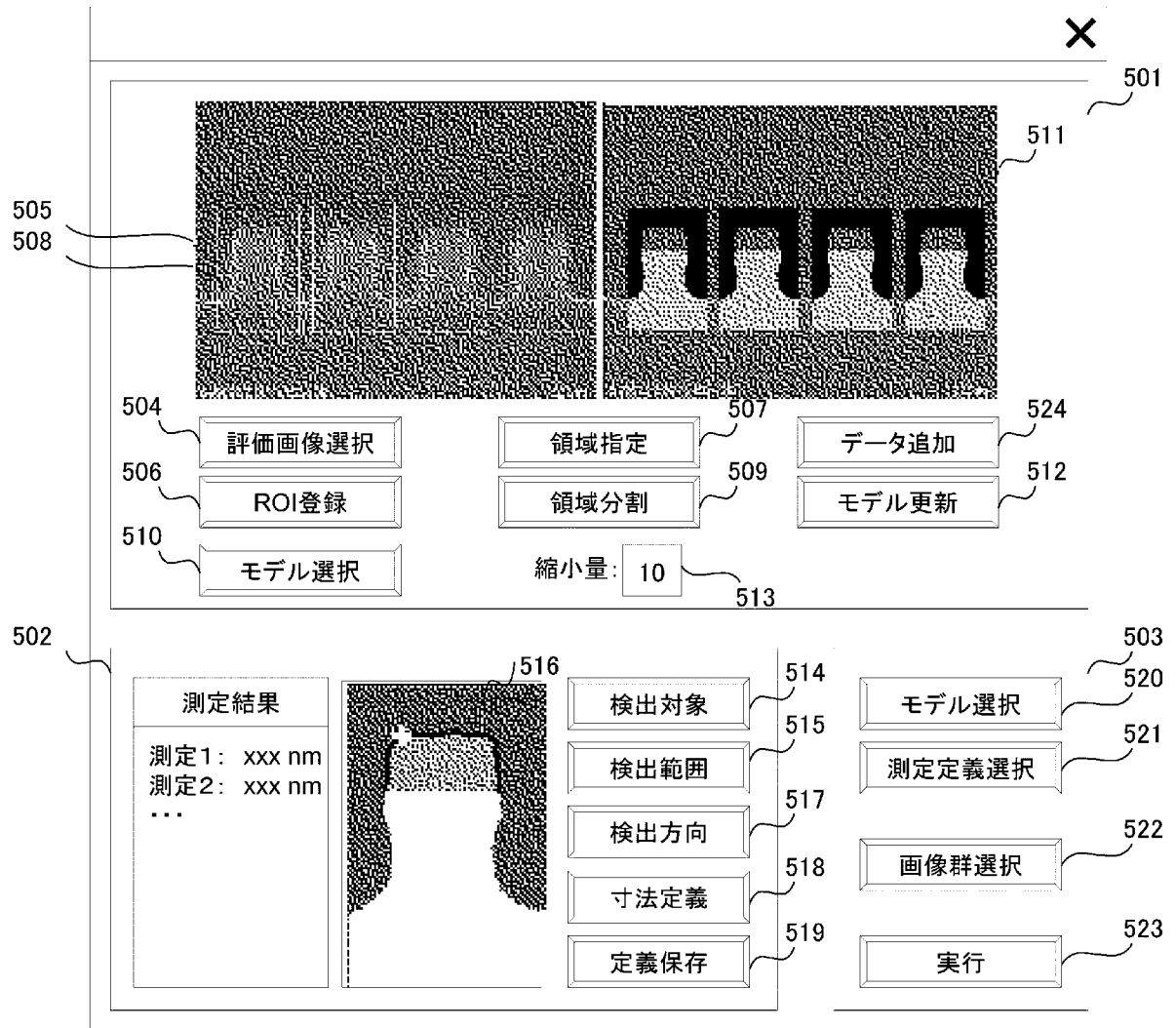
1000



[図11]

図 11

1100



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/031076

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01B15/04 (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)

Int. Cl. G01B15/04

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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 2017-111816 A (RICOH CO., LTD.) 22 June 2017, paragraphs [0002], [0017]-[0019], [0025], [0027], [0032]-[0034] & CN 106886998 A	1-10
Y	JP 2019-087518 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 06 June 2019, fig. 6 (Family: none)	1-10
A	JP 2019-119545 A (HITACHI ZOKEN CORP.) 22 July 2019 (Family: none)	1-10
A	JP 2014-081220 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 08 May 2014 & US 2015/0228063 A1	1-10

☐

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

24.09.2019

Date of mailing of the international search report

08.10.2019

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01B15/04(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 (IPC))

Int.Cl. G01B15/04

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 2017-111816 A (株式会社リコー) 2017.06.22, 段落0002, 0017-0019, 0025, 0027, 0032-0034 & CN 106886998 A	1-10
Y	JP 2019-087518 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2019.06.06, 図6 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2019-119545 A (日立造船株式会社) 2019.07.22, (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2014-081220 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2014.05.08, & US 2015/0228063 A1	1-10

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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

24.09.2019

国際調査報告の発送日

08.10.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/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)

九鬼 一慶

2 S

4 4 0 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3216