

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-200319

(P2013-200319A)

(43) 公開日 平成25年10月3日(2013.10.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 15/00 (2006.01)	GO 1 B 15/00 K	2 F 0 6 7
GO 1 B 15/04 (2006.01)	GO 1 B 15/04 K	

審査請求 有 請求項の数 14 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-144124 (P2013-144124)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成25年7月10日 (2013.7.10)	(74) 代理人	100100310 弁理士 井上 学
(62) 分割の表示	特願2008-40816 (P2008-40816) の分割	(74) 代理人	100098660 弁理士 戸田 裕二
原出願日	平成20年2月22日 (2008.2.22)	(72) 発明者	宍戸 千絵 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内
		(72) 発明者	田中 麻紀 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子顕微鏡システム及びそれを用いたパターン寸法計測方法

(57) 【要約】

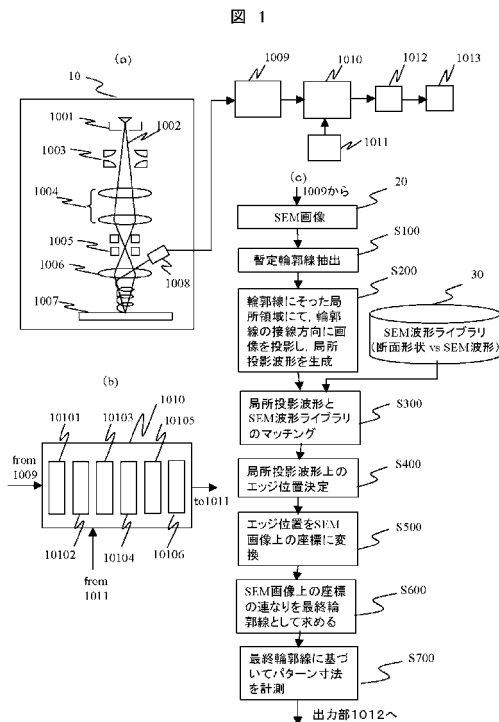
【課題】

本発明の目的は、試料の実際のパターンエッジ端に即した輪郭線情報を出力する電子顕微鏡システムを提供することにある。

【解決手段】

電子顕微鏡像のパターンエッジの各点において、パターンエッジに対して接線方向に該電子顕微鏡像を投影して局所投影波形を生成し、各点で生成した局所投影波形を、予め作成しておいた、試料の断面形状と電子線信号波形とを関連づけるライブラリに当てはめることによって、試料上に転写されたパターンの断面形状を推定し、断面形状に則したエッジ端の位置座標を求め、この位置座標の連なりとしてパターンの輪郭線を出力する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

走査型電子顕微鏡を用いて表面にパターンが形成された試料の所望の箇所の画像を取得する電子線画像取得手段と、

前記試料のパターンの断面形状と該パターンの断面形状に対応する電子線信号波形情報とを関連づけるライブラリを記憶する記憶手段と、

該電子線画像取得手段で取得した前記試料のパターンの画像から得られる情報を前記記憶手段に記憶されたライブラリ情報を参照して処理することにより前記パターンの寸法情報を抽出する寸法情報抽出手段と、

該寸法情報抽出手段で抽出した前記パターンの寸法に関連する情報を画面上に表示する出力手段と
を備えた電子顕微鏡システム。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記寸法情報抽出手段は、前記試料の画像から得られる情報を前記記憶手段に記憶されたライブラリ情報を参照して処理することにより前記パターンの寸法情報として前記試料上に形成されたパターンの輪郭情報を得ることを特徴とする電子顕微鏡システム。

【請求項 3】

請求項 2 記載の電子顕微鏡システムであって、前記寸法情報抽出手段において前記試料の画像から得られる情報は、前記試料の画像におけるパターンエッジの各点又は代表点において、パターンエッジに対して接線方向に該画像を投影して生成した局所投影波形であることを特徴とする電子顕微鏡システム。

20

【請求項 4】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記寸法情報抽出手段は前記パターンの寸法情報としてパターンの幅情報と該パターンの高さ情報とを抽出することを特徴とする電子顕微鏡システム。

【請求項 5】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記寸法情報抽出手段は前記パターンの寸法情報として複数のパターンの間隔の情報を抽出し、前記出力手段は、該抽出した複数のパターンの間隔の情報を該複数のパターンの設計データと共に画面上に表示することを特徴とする電子顕微鏡システム。

30

【請求項 6】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記記憶手段に記憶させておくライブラリは、さまざまな断面形状の試料の電子線信号波形を計算機シミュレーションによって得たものであることを特徴とする電子顕微鏡システム。

【請求項 7】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記記憶手段に記憶するライブラリにおいて、前記試料のパターンの断面形状と関連づける該パターンの断面形状に対応する電子線信号波形情報は、前記パターンのエッジに対して接線方向に該パターンの画像を投影して生成した局所投影波形から求めた電子線信号波形の特徴量であることを特徴とする電子顕微鏡システム。

40

【請求項 8】

走査型電子顕微鏡を用いて表面にパターンが形成された試料の所望の箇所の画像を取得し、

前記試料のパターンの断面形状と該パターンの断面形状に対応する電子線信号波形情報とを関連づけるライブラリを記憶し、

前記取得した試料のパターンの画像から得られる情報を前記記憶手段に記憶されたライブラリ情報を参照して処理することにより前記パターンの寸法情報を抽出し、

該抽出した前記パターンの寸法に関連する情報を画面上に表示することを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

50

【請求項 9】

請求項 8 記載のパターン寸法計測方法であって、前記パターンの寸法情報を抽出することを、前記試料の画像から得られる情報を前記記憶されたライブラリ情報を参照して処理することにより前記パターンの寸法情報として前記試料上に形成されたパターンの輪郭情報を得ることを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

【請求項 10】

請求項 9 記載のパターン寸法計測方法であって、前記パターンの寸法情報を抽出する工程において、前記試料の画像から得られる情報は、前記試料の画像におけるパターンエッジの各点又は代表点において、パターンエッジに対して接線方向に該画像を投影して生成した局所投影波形であることを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

10

【請求項 11】

請求項 8 記載のパターン寸法計測方法であって、前記パターンの寸法情報を抽出する工程において、前記パターンの寸法情報としてパターンの幅情報と該パターンの高さ情報とを抽出することを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

【請求項 12】

請求項 8 記載のパターン寸法計測方法であって、前記パターンの寸法情報を抽出する工程において、前記パターンの寸法情報として複数のパターンの間隔の情報を抽出し、前記画面上に表示する工程において、該抽出した複数のパターンの間隔の情報を該複数のパターンの設計データと共に画面上に表示することを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

20

【請求項 13】

請求項 8 記載のパターン寸法計測方法であって、前記記憶しておくライブラリは、さまざまな断面形状の試料の電子線信号波形を計算機シミュレーションによって得たものであることを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

【請求項 14】

請求項 8 記載のパターン寸法計測方法であって、前記記憶するライブラリにおいて、前記試料のパターンの断面形状と関連づける該パターンの断面形状に対応する電子線信号波形情報は、前記パターンのエッジに対して接線方向に該パターンの画像を投影して生成した局所投影波形から求めた電子線信号波形の特徴量であることを特徴とする電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は半導体製造のリソグラフィ工程に用いられるフォトマスク、及びリソグラフィ工程後のウェーハを、電子顕微鏡で撮影したパターン画像を計測するパターン画像計測システムに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体回路パターンの微細化に伴い、光露光装置の解像度は限界に達し、シリコンウェーハ上に設計通りの回路パターンを形成するため、フォトマスクの設計データにあらかじめ補正パターンを入れて、仕上がりの形状をコントロールする OPC (Optical Proximity Correction) 処理が頻繁に行われるようになりつつある。

40

【0003】

OPC パターンの設計は、OPC 処理を行ったフォトマスクパターンが、シリコンウェーハ上にどのように転写されるかを予測する、光露光シミュレーションに基づいて行われる。その検証、すなわち、ウェーハ上に設計通りの回路パターンが形成されたかを確認するためには、ウェーハに転写されたパターン(レジストパターン)を観察することが必要である。非特許文献 1 には、電子顕微鏡で撮像したウェーハ上のパターン(図 2(a))に、設計データ(図 2(b))を重ね合わせて表示する(図 2(c))システムが開示さ

50

れている。

【0004】

また、特許文献1、特許文献2には、電子顕微鏡像からエッジを検出してパターン輪郭線を得、それと、設計データとを重ね合わせ、各パターン部位における両者の位置関係からパターン変形量を数値化する方法が開示されている。

【0005】

【特許文献1】特開2007-121147号公報(図6)

【特許文献2】特開2001-338304号公報(図49, 図53)

【非特許文献1】鈴木秀和, 松岡良一, 「CADデータに基づくウェハ転写パターン形状評価システム/Grade Scope」, LSIテストシンポジウム2002会議録, pp. 31-36(2002)

【非特許文献2】J. S. Villarrubia, A. E. Vladar, J. R. Lowney, and M. T. Postek, "Scanning electron microscope analog of scatterometry," Proc. SPIE 4689, pp. 304-312 (2002)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

OPC処理の検証をより正確に行うためには、電子顕微鏡像から得られたパターン輪郭線が、試料の実際のパターンエッジ端に即したものであることが重要である。しかしながら、特許文献1、特許文献2においては、パターンエッジ端を正しく捉えることに関して、全く考慮されていない。

【0007】

図3は特許文献1に開示されているエッジ検出方法である。二次電子顕微鏡像(SEM像)上では、エッジ部は明るい帯、ホワイトバンドとして表れるが、図3の方法によれば、概ねホワイトバンドの中心線(同図604参照)がエッジ点とされる。

【0008】

図4は特許文献2に開示されているエッジ検出方法である。図4(a)のプロファイル取得区間にて取得したプロファイルに対して、図4(b)のようにしきい値Tを与え、プロファイルとしきい値Tの交点(図ではQと表示)がエッジ点とされる。

【0009】

一方、非特許文献2に示されているように、対象パターンの断面形状によりSEM信号波形は変化する。図5(a)は、図2(a)に示したSEM画像の一部である。部位によってホワイトバンド幅が異なっているのは、部位によって試料の断面形状が異なることの現れであり、ホワイトバンド(図中の白い部分)の幅が狭い部位Aはエッジが切り立っていると推定され、ホワイトバンドの幅が広い部位Bはテーパを有している(エッジの傾きが比較的大きい)と推定される。図5(b)は部位A、部位Bに相当する部分のパターンの断面形状、及び、二次電子信号波形の模式図である。一般に、パターンエッジ端として捉えたいのは、パターンのボトム端(図中で検出したいエッジ端として示されている部分)であり、二次電子信号波形上では、黒丸を付した位置に相当する。

【0010】

しかしながら、特許文献1に記載されているパターンエッジ検出方式(図3)によれば、検出されるエッジ点はホワイトバンドの中心線なので、図5(c)の黒三角を付した位置となる。また、特許文献2に記載されているパターンエッジ検出方式(図4)によると、検出されるエッジ点は、しきい値Tに依存するが、例えばmaxとminの中点をしきい値とするならば、図5(d)の黒四角を付した位置となる。

【0011】

図5(c)および(d)において図5(b)に黒丸で示したようなパターンのボトム端が検出されていないのは明らかである。さらに問題なのは、図5(c)および(d)において、検出されるエッジ点とパターンのボトム端との距離が、パターンの断面形状(図においては部位Aと部位B)によって異なるという点である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

図 5 (a) において部位によってホワイトバンド幅が異なっていることから明らかにように、パターン断面形状は均一ではない。従来の技術においては、検出されるエッジ点と実際のパターンエッジ端とにずれがある上、そのずれ量が場所によって異なるという状況が発生する。

【 0 0 1 3 】

従来の技術は、対象パターン断面形状により検出される信号波形が変化することに対して何ら注意を払っていないという点にある。特許文献 1 に示されているホワイトバンドの中心線をエッジ点とする方法、特許文献 2 に示されているしきい値とプロファイルの交点をエッジ点とする方法のいずれも、検出されたエッジ点の物理的な意味が曖昧である。

10

【 0 0 1 4 】

OPC 処理を検証する目的は、ウェーハ上に設計通りの回路パターンが形成されたかを確認し、設計値通りのパターンになっていないことが判明すれば、補正パターンのサイズを変更することである。上記のように、パターンエッジ端が正しく検出されていない状況では、補正パターンサイズの調整量をミスリードしかねなく、高精度な OPC 検証が実現されないのは明らかである。

【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、試料の実際のパターンエッジ端に即した輪郭線情報を抽出して信頼性の高い寸法計測が可能な電子顕微鏡システムを提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

20

【 0 0 1 6 】

上記目的を達成するため、本発明では、電子顕微鏡システムを、走査型電子顕微鏡を用いて表面にパターンが形成された試料の所望の箇所の画像を取得する電子線画像取得手段と、試料のパターンの断面形状とパターン断面形状に対応する電子線信号波形情報とを関連づけるライブラリを記憶する記憶手段と、電子線画像取得手段で取得した試料のパターンの画像から得られる情報を記憶手段に記憶されたライブラリ情報を参照して処理することによりパターンの寸法情報を抽出する寸法情報抽出手段と、寸法情報抽出手段で抽出したパターンの寸法に関連する情報を画面上に表示する出力手段とを備えて構成した。

【 0 0 1 7 】

また、上記目的を達成するために、本発明では、電子顕微鏡システムを用いたパターン寸法計測方法において、走査型電子顕微鏡を用いて表面にパターンが形成された試料の所望の箇所の画像を取得し、試料のパターンの断面形状とこのパターンの断面形状に対応する電子線信号波形情報とを関連づけるライブラリを記憶し、取得した試料のパターンの画像から得られる情報を記憶手段に記憶されたライブラリ情報を参照して処理することによりパターンの寸法情報を抽出し、この抽出したパターンの寸法に関連する情報を画面上に表示するようにした。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、電子顕微鏡像のパターンエッジの各点における投影波形を、試料の断面形状と電子線信号波形とを関連づけるライブラリに当てはめることによりパターンの断面形状を推定し、推定した断面形状における所望の定義のエッジ端（例えば、ボトム端）をエッジ点とし、その連なりをパターンの輪郭線とするので、試料の実際のパターンエッジ端に即した輪郭線が出力される。

40

特に威力を発揮するのは、部位によってパターンの断面形状が変化するようなケースである。「発明が解決しようとする課題」において述べたように、従来の技術では、実際のパターンエッジ端と、検出されるエッジ端のずれ量が部位によって異なる。特に、高精度な OPC 検証を行おうとする際には、この問題は重大である。本発明によれば、部位ごとに断面形状を推定し、推定した断面形状に即してエッジ点を決定するので、実際のパターンエッジ端からのずれ量が部位によって異なるという問題が解決される。

【 発明を実施するための最良の形態 】

50

【 0 0 1 9 】

本発明は、各種の荷電粒子線装置（SEM，FIB等）に適用可能であるが、以下の実施例では代表としてSEM（Scanning Electron Microscope：走査型電子顕微鏡）を対象に説明する。

【 実施例 1 】

【 0 0 2 0 】

本発明に係る半導体ウェーハの形状計測装置における形状計測のフローを図1に示す。

【 0 0 2 1 】

先ず、図1(a)に基づいて、SEM装置10を用いたSEM画像の取得方法について説明する。SEM10の電子銃1001から発射された電子線1002を加速電極1003で加速し、集束レンズ1004で収束させ、偏向器1005でX方向及びY方向（図1(a)において図面に垂直な平面内）に走査し、対物レンズ1006で電子線の焦点を計測対象パターンが形成された試料1007の表面に合わせて試料1007の表面を走査して照射する。図1(a)では図示を省略してあるが、試料1007はテーブルに載置されて平面内で移動可能になっており、試料1007の表面の所望の領域が電子線1002の照射領域に位置するように制御される。

10

【 0 0 2 2 】

電子線1002が照射された試料1007の表面から発生した二次電子の一部は検出器1008で検出され、電気信号に変換されて全体制御・画像処理部1009に送られてSEM画像が作成され、演算部1010で記憶部1011に記憶しておいたSEM波形ライブラリの情報を用いSEM画像を処理してパターンの寸法を算出し、結果が出力部1012の画面上に表示される。また、パターン寸法算出結果は、通信回線を介してサーバ1013に記憶される。全体制御・画像処理部1009は、図示していない試料1007を載置するテーブルを含めたSEM10全体の制御も行う。

20

【 0 0 2 3 】

演算部1010は、図1(b)に示すように、暫定輪郭抽出部10101、局所投影波形形成成分10102、ライブラリマッチング部10103、エッジ位置決定部10104、座標変換・輪郭線抽出部10105、寸法計測部10106を備えている。

【 0 0 2 4 】

演算部1010における処理手順を図1(c)に示したフローにそってS100～S600の各ステップを説明する。

30

【 0 0 2 5 】

(S100)：SEM10にて取得したSEM画像20から、暫定輪郭抽出部10101において暫定輪郭線を抽出する。暫定的な輪郭線の抽出方法としては、図3に示した従来の技術が適用可能である。以下、図3にて説明する。入力画像105に対して、ノイズを除去するための平滑化処理を施し(601)、ソーベルフィルタ等のエッジ強調フィルタ処理によりエッジを検出し(602)、二値化処理を行うことによりエッジ部が“1”、エッジ部以外は“0”の二値画像を得る(603)。続いて、パターン幅が1画素になるまで収縮を行う等の細線化処理により中心線を検出する(604)。得られた線画(112)が暫定輪郭線となる。

40

【 0 0 2 6 】

(S200)：本ステップでは、局所投影波形形成成分10102において、S100で得られた輪郭線に沿った局所領域にて輪郭線の接線方向に画像を投影し、局所投影波形を生成する。図6にて本ステップを補足する。なお、図6(a)は、図5の部位B付近を拡大したものである。点線112が、S100で抽出される暫定輪郭線である（前述のように、図3に示す方法を用いた場合、暫定輪郭線は概ねホワイトバンドの中心線となる）。暫定輪郭線112にそって、その接線方向の一定長さp1だけ画像を投影する。すなわち、局所矩形領域202，203，204・・・ごとに、矢印の方向に画像を投影することによって、図6(b)に示すような局所投影波形210を得る。投影長p1，及び、投影波形を得るピッチp2は固定値としても良いし、輪郭線の曲率に応じて、曲率が大きい部

50

位では p 1 及び p 2 を小さく，曲率が小さい部位では p 1 ， p 2 を大きくというように，パターン形状に応じて可変としても良い。

【 0 0 2 7 】

(S 3 0 0) : 本ステップでは，ライブラリマッチング部 1 0 1 0 3 において、S 2 0 0 で得られた局所投影波形と，予め作成しておいた，記憶部 1 0 1 1 に記憶されている S E M 波形ライブラリ 3 0 とのマッチングを行う。S E M 波形ライブラリ 3 0 とは，試料の断面形状と S E M 波形を関連づけたもので，例えば，非特許文献 2 に示されている方法，すなわち，電子線シミュレーション（モンテカルロシミュレーション）にて様々な断面形状における S E M 波形を計算することによって作成可能である。

【 0 0 2 8 】

図 7 は S E M 波形ライブラリの概念図である。横軸は試料のテーパ角，縦軸はトップコーナの丸まりの程度であり，モンテカルロシミュレーションによって計算されたパターンの各断面形状 7 0 1 における S E M 波形 7 0 2 が，断面形状と対になって保存されている。波形マッチングによりライブラリに保存されている S E M 波形の中から，S 2 0 0 で得られた局所投影波形と最も良く一致するものを選択することにより，局所投影波形が取得された部位におけるパターンの断面形状が推定されることになる。なお，図 7 では，簡単のためパターンの断面形状をテーパ角，トップコーナの丸まりの 2 個のパラメータで表現したが，実際は，計測対象パターンに応じて，その断面形状を表現するのに上記二つのパラメータ以外にも必要なパラメータを持つ必要がある。例えば，パターンの高さ，ボトムコーナの丸まりなどが考えられる。また，パターンの断面形状を表現するためのパラメータ種，各パラメータの変動範囲の決定にあたって，「背景の技術」の項目で述べた光露光シミュレーション結果を利用することも可能である。

【 0 0 2 9 】

(S 4 0 0) : 本ステップでは，エッジ位置決定部 1 0 1 0 4 において、S 3 0 0 で推定されたパターンの断面形状に基づき局所投影波形上のエッジ位置を決定する。S E M 波形ライブラリ 3 0 上では，パターンの断面形状とその部分の S E M 波形の対応関係が既知なので，パターンの断面形状に対して所望のパターンのエッジ端（例えば，ボトム端）を定義することにより，対になっている S E M 波形にその位置が伝搬され，さらに，局所投影波形上のどの位置に相当するかが伝搬される。

【 0 0 3 0 】

図 8 にパターン断面のエッジ端をユーザが指定するための G U I 画面の例を示す。図 8 (b) のように所定のパーセンテージにおけるエッジ端を検出するか（0 % とすればボトム端となる），あるいは，図 8 (c) のように所定の高さにおけるエッジ端を検出するかを（0 nm と指定すればボトム端となる），用途に応じて指定する。

【 0 0 3 1 】

(S 5 0 0) : 本ステップでは，座標変換・輪郭線抽出部 1 0 1 0 5 において、S 4 0 0 で決定された局所投影波形上のエッジ位置を S E M 画像上の位置に変換する。

【 0 0 3 2 】

(S 6 0 0) : 更に座標変換・輪郭線抽出部 1 0 1 0 5 において、S 5 0 0 で求めた S E M 画像上の座標の連なりとして，最終的な輪郭線を求める。

【 0 0 3 3 】

(S 7 0 0) : 寸法計測部 1 0 1 0 6 において、S 6 0 0 で求めた輪郭線を用いてパターンの所望の位置の寸法又は隣接するパターンの間隔を計測する。

【 0 0 3 4 】

S 7 0 0 で計測した結果は，出力部 1 0 1 2 の画面上に表示されると共に，通信回線を介してサーバ 1 0 1 3 に記憶される。

【 0 0 3 5 】

出力部 1 0 1 2 の画面上に表示される例として，図 6 と同じ部位に対応する S 6 0 0 で求めた最終的な輪郭線を表示する場合を図 9 に示す。図 9 において，S E M 画像 9 0 1 上に重ねて表示されている点線 1 1 2 は S 1 0 0 で求められる暫定輪郭線であり，実線 1 1

10

20

30

40

50

3が最終的な輪郭線である。

【0036】

得られた輪郭線113は、例えば、太い実践で示した設計データ114との比較に用いることができる。このように設計データと比較することにより、例えばエッジブレースメントエラー量E、あるいは、設計上の線幅L1と、実際の線幅L2とがどの程度異なっているかといった評価を、従来の技術によって求められる輪郭線112を用いた場合と比べてより高い信頼度を持って行なうことが出来るようになり、より高精度なOPC検証が可能となる。

【0037】

また、本発明は、OPC検証に限らず、プロセス変動のモニタする用途に手適用することも可能である。また、シリコンウェーハ上に転写されたパターンの形状計測に限らず、同様の方法を、フォトマスクの形状計測に対して適用することも可能である。

【実施例2】

【0038】

図10は、本発明の第2の実施の形態に係わる形状計測のフローである。本実施例におけるSEMシステムの構成は、基本的には実施例1で説明した図1に示した構成と同じであるが、演算部1010の構成が多少異なる。

【0039】

図10(a)に、本実施例における演算部1020の構成を示す。演算部1020は、暫定輪郭抽出部10201、局所投影波形形成部10202、特徴量算出部10203、代表点抽出部10204、ライブラリマッチング部10205、エッジ位置決定部10206、座標変換・輪郭線抽出部10207、寸法計測部10208を備えている。

【0040】

以下、図10(b)に示したフローにそって各ステップを説明する。

【0041】

(S110)：第1の実施の形態におけるS100と同様に、SEM10で検査対象試料を撮像し全体制御・画像処理部1009から出力されたSEM画像20から、暫定輪郭抽出部10201において暫定輪郭線を抽出する。

【0042】

(S210)：第1の実施の形態におけるS200と同様に、局所投影波形形成部10202において、S100で得られた輪郭線に沿った局所領域にて輪郭線の接線方向に画像を投影し、局所投影波形を生成する。

【0043】

(S211)：本ステップでは、特徴量算出部10203において、S210で生成した局所投影波形から、図11(a)に示すようなパターン断面形状1100に対して種々の特徴量を算出する。図11(b)において、特徴量f1はホワイトバンド幅である。ホワイトバンド幅は、垂直上方からみた場合のエッジ部の見込み幅を反映する特徴量である。特徴量f2は、ホワイトバンド部において、ピーク位置より外側部の平均幅であり、ボトム部1102の曲率の大きさを反映する特徴量である。特徴量f3は、ホワイトバンド部において、ピーク位置より内側部の平均幅であり、トップ部1101の曲率の大きさを反映する特徴量である。特徴量f4は信号強度の大きさであり、図7が示すようにテーパ角の大きさを反映する特徴量である。

【0044】

(S212)：本ステップでは、代表点抽出部10204において、S211における暫定輪郭線上の各点における特徴量の算出結果に基づき、ライブラリマッチングを行う代表点を決定する。図12(b)は、図11(b)に示した特徴量f1、すなわち、ホワイトバンド幅が図12(a)に示したSEM画像121上における暫定輪郭線122にそってどのように変化しているかを示したものである。ホワイトバンド幅は、図12(a)における始点からポイントP1までほぼ一定、その後ポイントP2まで緩やかに増加、その後ポイントP3まで急激に減少し、P3から終点まではほぼ一定という具合に推移してい

10

20

30

40

50

る。特徴量の推移は断面形状の推移の現れといえる。種々の特徴量が一定であれば、概ね断面形状が等しいことを意味しているので、次ステップにおいて全点で断面形状を推定する必要はない。

【0045】

そこで、本ステップでは、特徴量の推移に基づき、断面形状の推定を行うべき代表点を決定する。図12(b)において、黒丸を付した点が代表点である。同図のように、代表点間隔は、特徴量の変化率が小さい領域では広く、特徴量の変化率が大きい領域では狭くする。図11(b)のように複数の特徴量を用いる場合には、特徴量ごとに代表点間隔を求め、それらの平均値、あるいは、最小代表点間隔を採用するようにする。

【0046】

(S310)：本ステップでは、ライブラリマッチング部10205で、S210で決定した代表点について、予め作成して記憶部1011に記憶しておいた、SEM波形ライブラリ30とのマッチングを行い、断面形状の推定を行う。マッチングの方法は第1の実施の形態のS300で説明した方法と同様である。

【0047】

(S410)：本ステップでは、エッジ位置決定部10206において、S301で推定された断面形状に基づき局所投影波形上のエッジ位置を決定する。方法は第1の実施の形態のS400で説明した方法と同様である。

【0048】

(S411)：本ステップでは、エッジ位置決定部10206で、各代表点においてS110で算出した暫定輪郭線の局所投影波形上の位置(図13(a)の黒三角点)と、S410で算出したエッジ位置(図13(b)の黒丸点)との距離dを算出する。dの算出結果をプロットした結果を図13(b)上の白丸点として示す。

【0049】

(S412)：本ステップでは、エッジ位置決定部10206で、代表点にて算出した上記dの値(図13(b)の白丸点)を補間することで(図13(b)の破線が補間結果)全点のd値を求め、暫定輪郭線の位置をd値に基づき補正することで、全投影波形上のエッジ位置を決定する。

【0050】

(S510)第1の実施の形態と同様に、座標変換・輪郭線抽出部10207において、S412で決定された局所投影波形上のエッジ位置をSEM画像上の位置に変換する。

【0051】

(S610)第1の実施の形態と同様に、座標変換・輪郭線抽出部10208において、S510で求めたSEM画像上の座標の連なりとして、最終的な輪郭線を求める。

【0052】

(S710)：寸法計測部10208において、S610で求めた輪郭線を用いてパターンの所望の位置の寸法又は隣接するパターンの間隔を計測する。

【0053】

S710で計測した結果は、出力部1012の画面上に表示されると共に、通信回線を介してサーバ1013に記憶される。

【0054】

出力部1012の画面上への表示は、第1の実施例において図9を用いて説明したものと同一である。

【0055】

第2の実施の形態によれば、演算時間が要するライブラリマッチング処理を代表点についてのみ行うので、より高速な処理が可能である。

【実施例3】

【0056】

図14は、本発明の第3の実施の形態に係わる形状計測のフローである。本実施例による形状計測のフローは基本的には図1を用いて説明した第1の実施の形態の場合と同じで

10

20

30

40

50

あるが、第1及び第2の実施の形態においては、局所投影波形から断面形状を推定するのに、記憶部1011に記憶しておいたパターンの断面形状701とSEM波形702を関連づけたライブラリ30を用いたのに対して、本実施の形態においては、パターンの断面形状701'とSEM波形702'から算出した特徴量を関連づけた、SEM波形特徴量ライブラリ31を記憶部1011に記憶させておいて、これを用いるようにした点で異なる。すなわち、図14に示した処理フローの中で、S221とS320とが図1で説明した処理フローと異なる点である。

【0057】

図15(b)にSEM波形特徴量ライブラリ31の概念図を示す。SEM波形特徴量ライブラリ31は、図7に示した電子線シミュレーションによって図15(a)に示すようなSEM波形ライブラリ30を作成した後、得られたSEM波形702'から、図11に示した波形特徴量 $f_1 \sim f_4$ を算出することによって作成する。図15(a)に示すように、SEM波形特徴量ライブラリ31は、特徴量ごとの、断面形状パラメータ(テーパ角、トップコーナの丸まりなど)に対する特徴量の変化を記述したテーブルである。

10

【0058】

図14で、SEM波形特徴量ライブラリ31とのマッチングを行うステップ(S320)においては、最尤法を適用するなどして、局所投影波形から算出した特徴量群($f_1 \sim f_n$)が最も合致する断面形状パラメータの組み合わせ(テーパ角、トップコーナの丸まりなど)を求める。

【0059】

なお、本実施の形態を、第2の実施の形態と組み合わせることも可能である。

20

【実施例4】

【0060】

図16は、本発明の第4の実施の形態に係わる形状計測のフローである。

本実施例による形状計測のフローは基本的には図1を用いて説明した第1の実施の形態の場合と同じであるが、異なる点は、本実施の形態においては、暫定輪郭線を抽出(S130)した後、設計データとのマッチングを行い、設計データを参照することで、輪郭線上の各点について、近傍エッジとの距離を算出しておく(S131)点である。

【0061】

図17(a)に設計データのイメージ図を示すが、この図において、例えば、着目点111に対しては、近傍に他のエッジが存在しないので「距離大」という情報を付与し、着目点112は近傍エッジが距離 w の位置に存在するので「距離 w 」という情報を付与する。

30

【0062】

局所投影波形を作成するステップ(S230)は第1の実施の形態のS200と同様である。本実施の形態で使用するSEM波形ライブラリ32の概念図を図17(b)に示す。ライブラリを作成する際は、近傍エッジとの距離を変化させて電子線シミュレーションを行いパターンの断面形状701''とSEM波形702''との関係を求め、それら全部の結果をライブラリとして保存する。局所投影波形とSEM波形ライブラリ32とのマッチングを行う際は(S330)、S131で付与した近傍エッジとの距離の情報を用い、その距離に相当するライブラリを用いる。

40

【0063】

なお、近傍エッジとの距離が設計データ通りになるとは限らないので、マッチングを行う際は(S330)、S131で付与された距離情報だけでなく、付与された距離 $\pm [nm]$ のライブラリとマッチングするようにしても良い。

【0064】

近傍エッジとの距離に応じたSEM波形ライブラリ32を使用するのは、二次電子信号波形が、近傍エッジとの距離によって変化するからである。例えば、エッジ間隔が狭いと、エッジとエッジの間に位置する部位からの二次電子信号強度が小さくなるといった影響を受ける。回路パターンの微細化に伴い、パターン幅、あるいは、パターン間隔が数十nmを下回るようになった場合には、本実施の形態の適用が必要である。

50

【実施例 5】

【0065】

図18は、本発明の第5の実施の形態に係わる形状計測のフローである。本実施例による形状計測のフローは基本的には図1を用いて説明した第1の実施の形態の場合と同じであるが、異なる点は、本実施の形態においては、暫定輪郭線を抽出(S140)した後、暫定輪郭線に沿った局所領域にて、部分画像を切り出し(S240)、三次元の断面形状を対象に電子線シミュレーションを行って作成したSEM像ライブラリ33とのマッチングを行う(S340)点である。S440以降のステップは、基本的に図1で説明したS400以降のステップと同じである。

【0066】

本実施の形態は、ホールパターン、ラインエンドなど、直線的なパターンエッジが存在しない部位において有効である。第4の実施の形態と同じように、設計データを参照して、部位ごとに、局所投影波形を用いるか、部分画像を用いるかを切り替えるようにしても良い。

【実施例 6】

【0067】

図19(a)は、本発明の第6の実施の形態に係わる形状計測のフローである。ステップS150、S250、S251までは、第2の実施の形態のステップS110、S210及びS211と同様である。第2の実施の形態においては、S210で算出した波形特徴量を代表点の三択に用いているが、本実施の形態は、S251で算出した波形特徴量の算出結果をユーザに提示して(S252)終了する。

【0068】

図19(b)は、波形特徴量の表示画面の例である(部位は図9と同じ)。同図は、S150で抽出した暫定輪郭線112にそって生成した局所投影波形から算出した特徴量f1(ホワイトバンド幅)を、その値に応じて、色分けして表示したものである。

【0069】

前述のように、波形特徴量は試料の断面形状を反映しているので、部位によって断面形状がどう変化しているかを捉える用途に有効である。また、色分け表示の基となっているデータは、図12の下段に示したデータであるが、このデータを蓄積し、プロセスモニタに活用することも可能である。

【実施例 7】

【0070】

第1～第5の実施の形態においては、単一の輪郭線を出力したが、例えば、SEM画像2000上で高さ0%(2001)、25%(2002)、50%(2003)、75%(2004)といった具合に、複数のエッジ端を出力するようにしても良い(図20参照)。あるいは、各点における断面形状が推定済みなので、等高線として出力しても良い。

【0071】

レジストパターンにおいては、所謂、膜減り(レジスト高さの減少)の状況把握が重要であるため、特に、出力結果を比較する対象として、「背景技術」の項目で述べた、光露光シミュレーション結果と比較する場合には、本実施の形態が有効である。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】本発明の第1の実施の形態を説明するフロー図である。

【図2】SEM画像と設計データの重ね合わせ表示の例を示す図である。

【図3】SEM画像から輪郭線を抽出するための従来技術を示す図である。

【図4】SEM画像から輪郭線を抽出するための従来技術の別の例を示す図である。

【図5】従来技術の問題点を説明する図である。

【図6】SEM像から局所投影波形を生成する方法の説明図である。

【図7】SEM波形ライブラリの概念図である。

【図8】エッジ端をユーザが定義するGUI画面の一例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図9】最終的な出力結果，及び，設計データとの比較評価の説明図である。

【図10】本発明の第2の実施の形態を説明するフロー図である。

【図11】波形特徴量の例を示す図である。

【図12】本発明の第2の実施の形態の補足説明図である。

【図13】本発明の第2の実施の形態の補足説明図である。

【図14】本発明の第3の実施の形態を説明するフロー図である。

【図15】本発明の第3の実施の形態の補足説明図である。

【図16】本発明の第4の実施の形態を説明するフロー図である。

【図17】本発明の第4の実施の形態の補足説明図である。

【図18】本発明の第5の実施の形態を説明するフロー図である。

【図19】本発明の第6の実施の形態を説明するフロー図である。

【図20】本発明の第7の実施の形態の補足説明図である。

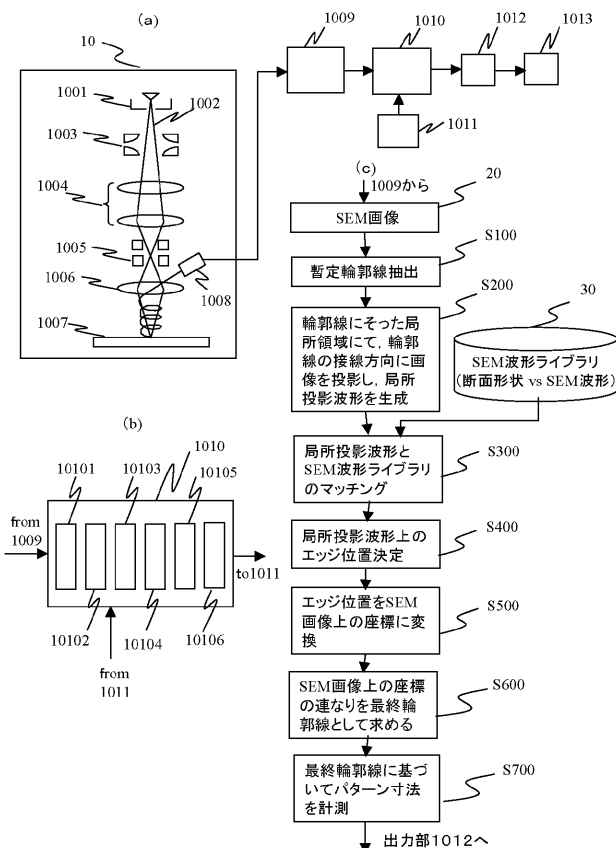
【符号の説明】

【0073】

- 10・・・電子顕微鏡 20・・・SEM画像 30～33・・・ライブラリ 1
- 12・・・暫定輪郭線 113・・・最終出力の輪郭線 114・・・設計データ
- 202～20・・・局所矩形領域 210・・・局所投影波形 212・・・色分け表示した波形特徴量
- S100～S700・・・形状計測のステップ

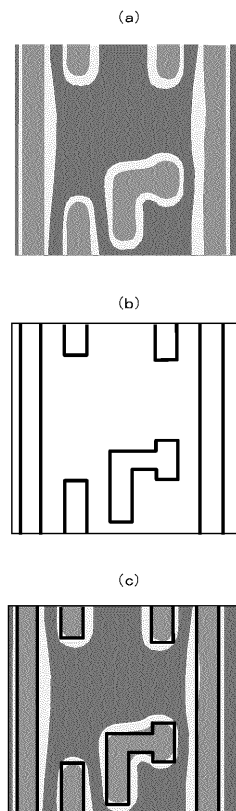
【図1】

図1



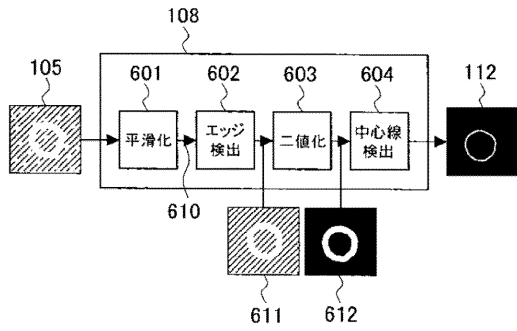
【図2】

図2



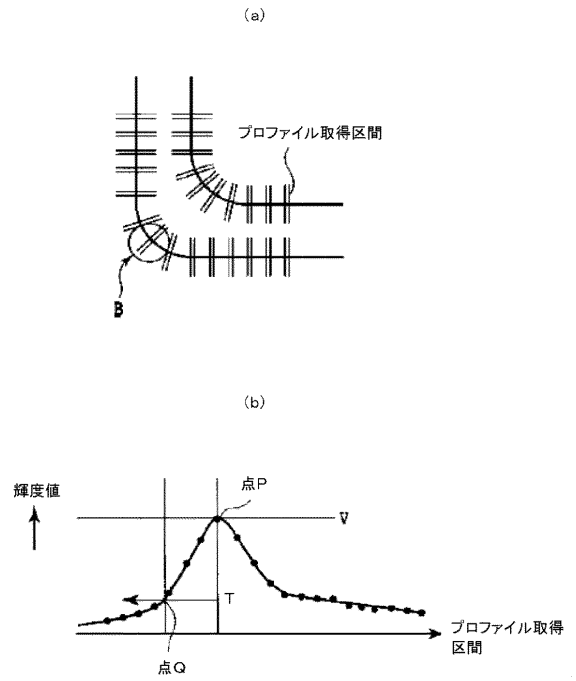
【 図 3 】

図 3



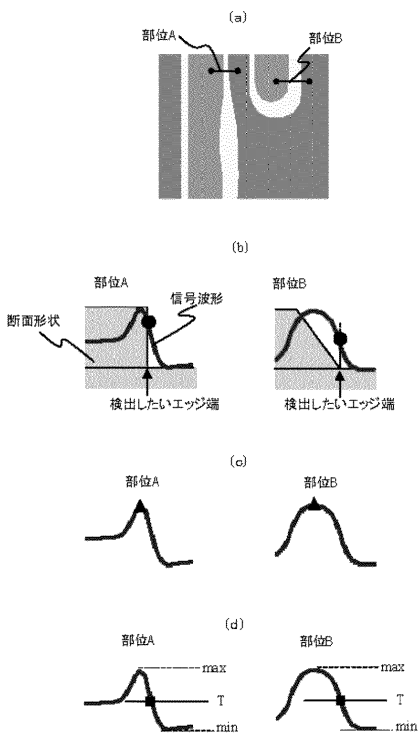
【 図 4 】

図 4



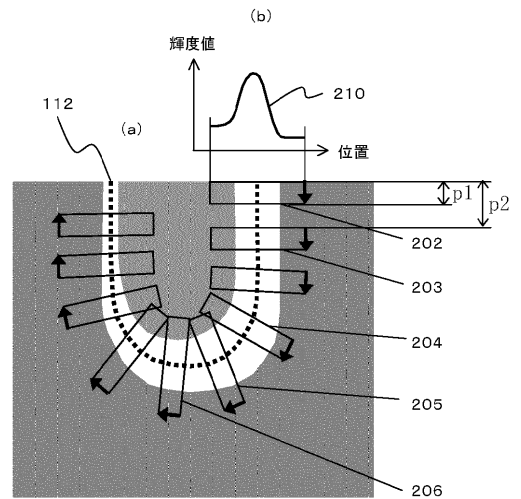
【 図 5 】

図 5



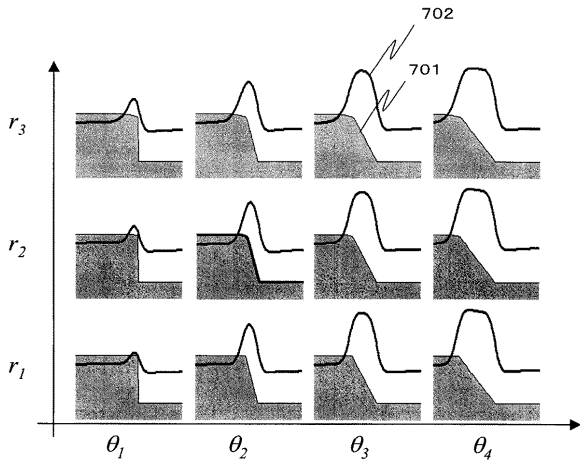
【 図 6 】

図 6



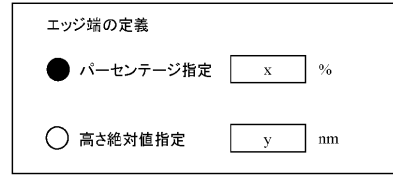
【 図 7 】

図 7

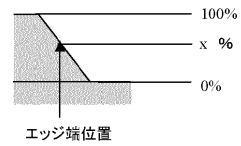


【 図 8 】

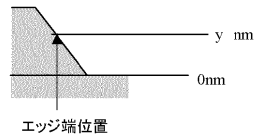
図 8



(b)

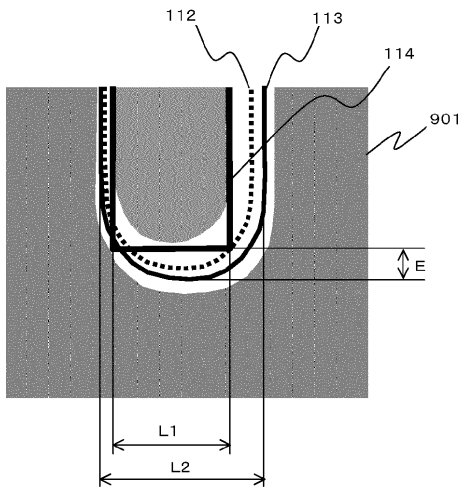


(c)



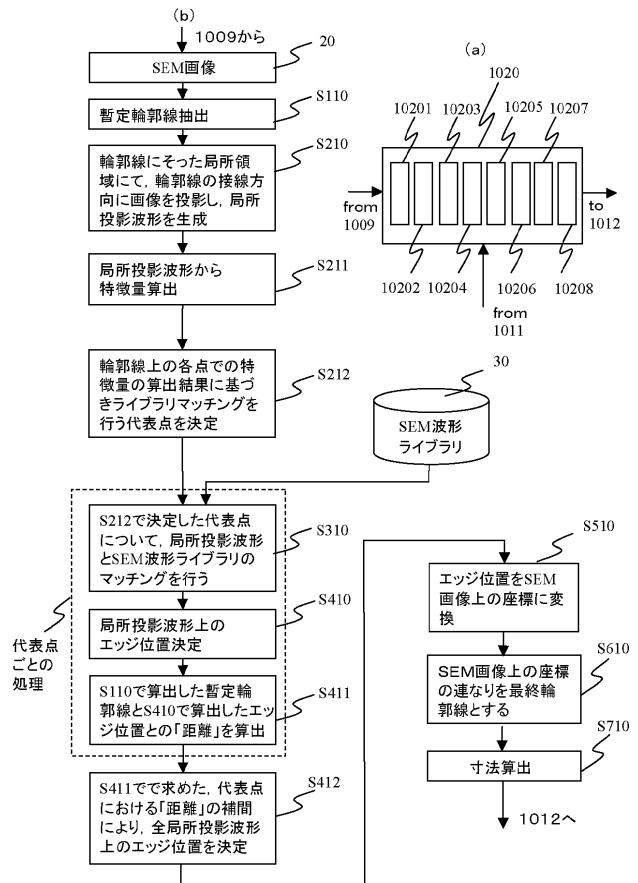
【 図 9 】

図 9

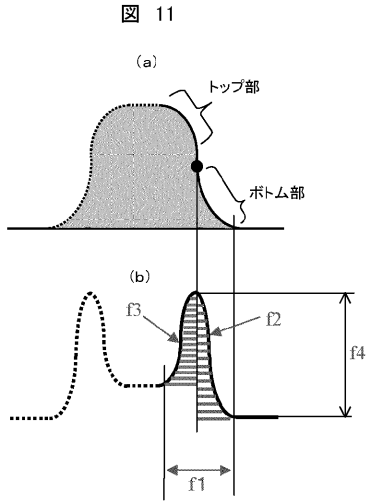


【 図 10 】

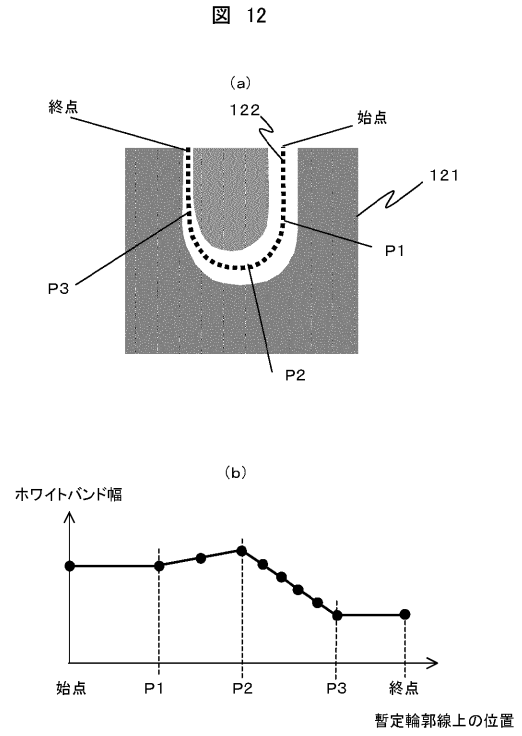
図 10



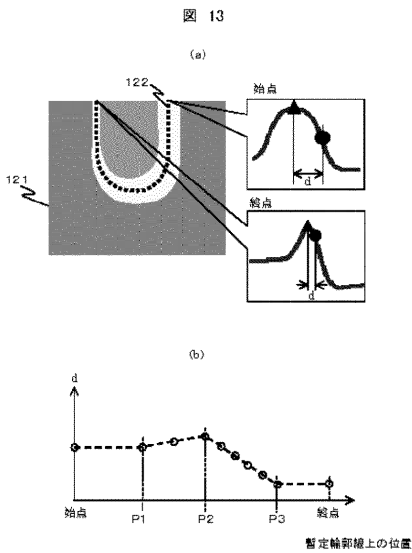
【 図 1 1 】



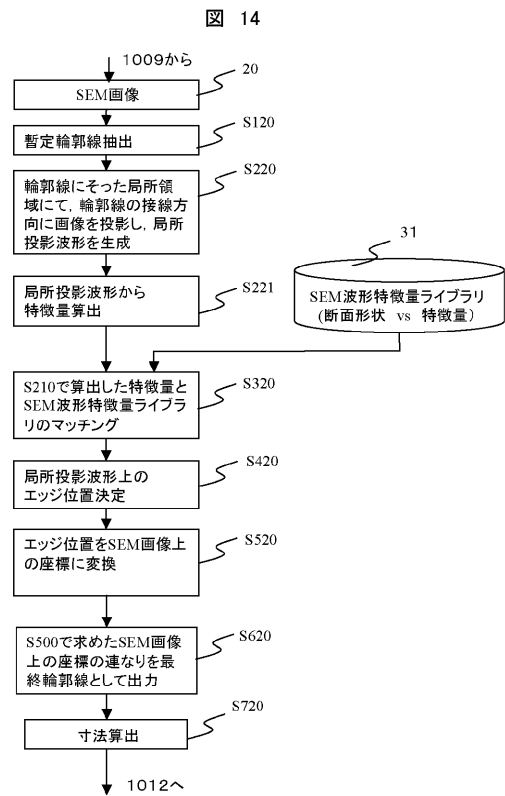
【 図 1 2 】



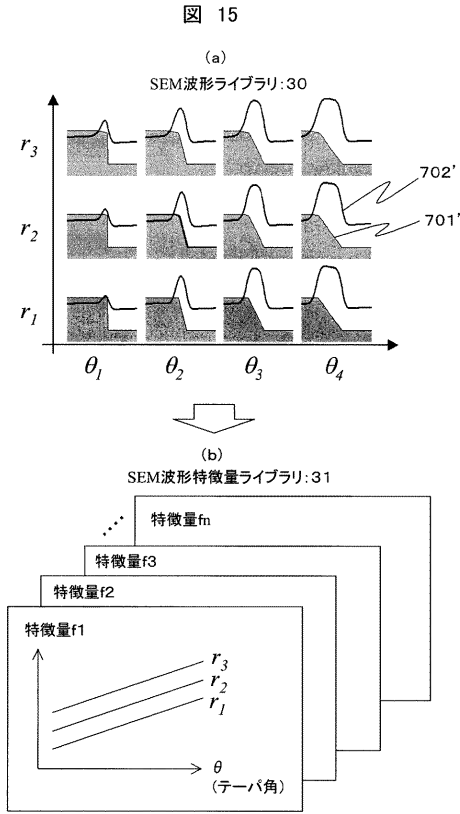
【 図 1 3 】



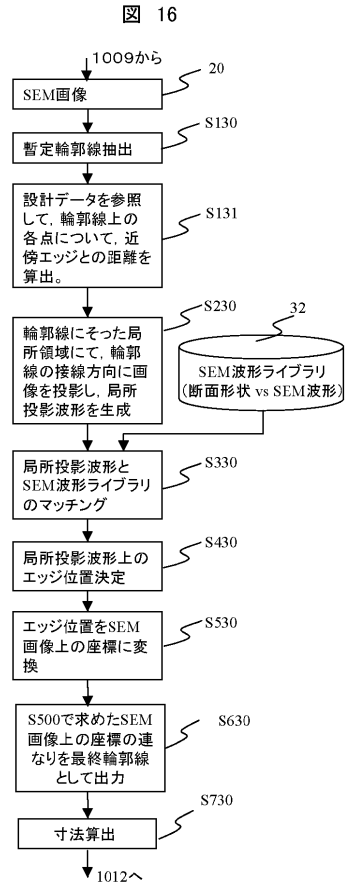
【 図 1 4 】



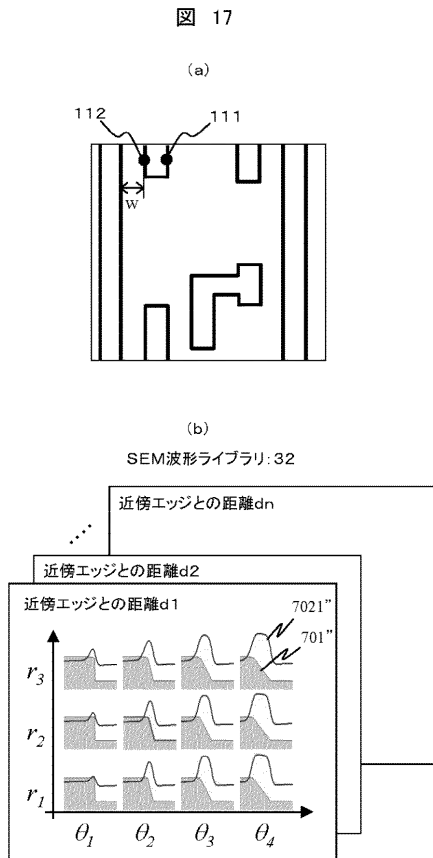
【 図 1 5 】



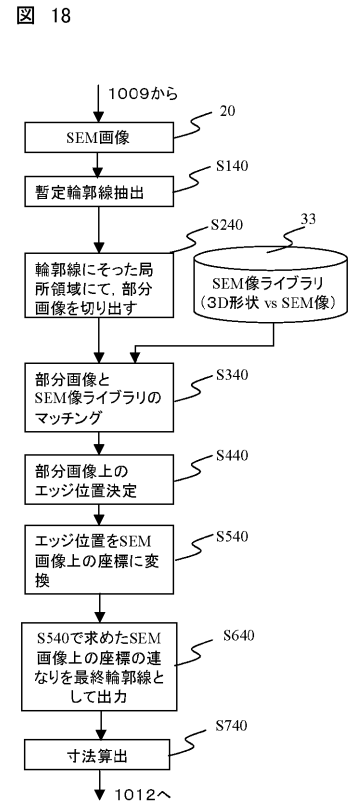
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

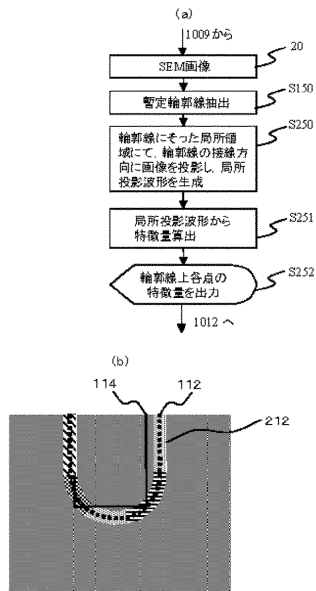


【 図 1 8 】



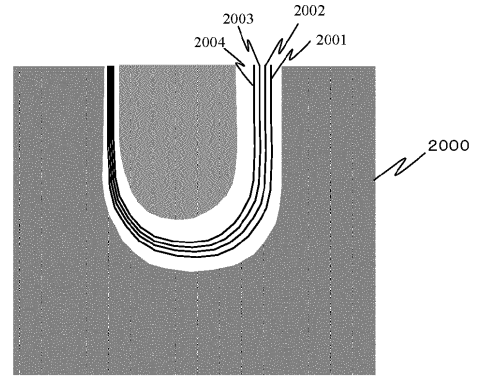
【 図 1 9 】

図 19



【 図 2 0 】

図 20



【 手続 補正書 】

【 提出日 】平成25年7月10日 (2013.7.10)

【 手続 補正 1 】

【 補正対象書類名 】特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】全文

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

走査型電子顕微鏡を用いて表面にパターンが形成された試料の所望の箇所の画像を取得する電子線画像取得手段と、

前記試料のパターンの断面形状と該パターンの断面形状に対応する電子線信号波形情報とを関連づけるライブラリを記憶する記憶手段と、

該電子線画像取得手段で取得した前記試料のパターンの画像から得られる情報を前記記憶手段に記憶されたライブラリ情報を参照して処理することにより前記パターンの寸法情報として前記試料上に形成されたパターンの輪郭情報を抽出する寸法情報抽出手段と、

該寸法情報抽出手段で抽出した前記パターンの寸法に関連する情報を画面上に表示する出力手段とを備え、

前記寸法情報抽出手段において前記試料の画像から得られる情報は、前記試料の画像におけるパターンエッジの各点又は代表点にて局所領域を切り出した部分画像であることを特徴とする電子顕微鏡システム。

【 請求項 2 】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記寸法情報抽出手段は前記パターンの寸法情報としてパターンの幅情報と該パターンの高さ情報とを抽出することを特徴とする電子顕微鏡システム。

【請求項 3】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記寸法情報抽出手段は前記パターンの寸法情報として複数のパターンの間隔の情報を抽出し、前記出力手段は、該抽出した複数のパターンの間隔の情報を該複数のパターンの設計データと共に画面上に表示することを特徴とする電子顕微鏡システム。

【請求項 4】

請求項 1 記載の電子顕微鏡システムであって、前記記憶手段に記憶させておくライブラリは、さまざまな断面形状の試料の電子線信号波形を計算機シミュレーションによって得たものであることを特徴とする電子顕微鏡システム。

フロントページの続き

(72)発明者 宮本 敦

神奈川県横浜市戸塚区吉田町2-9-2番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

Fターム(参考) 2F067 AA03 AA16 AA21 AA26 AA42 AA52 AA54 BB04 BB27 CC16
CC17 FF11 HH06 JJ05 KK04 KK08 QQ02 QQ11 RR00 RR28
RR29 RR32 RR44 SS13